

长期施肥对黑土磷素积累及有效性影响的研究^{*}

周宝库¹, 张喜林¹, 李世龙², 丛喜波³, 赵瑞广³, 张迅甫⁴

(1. 黑龙江省农科院土肥所, 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省海林市农业技术推广中心, 海林 157100; 3. 沈阳军区直属农场局, 哈尔滨 150030; 4. 黑龙江省宁安小北湖林场 157415)

摘要: 通过黑土长期定位试验, 查明了长期不同施肥条件下, 土壤磷素积累及有效性。长期不施肥, 土壤全磷下降 37.4%, 速效磷下降了 60%; 长期施用磷肥土壤全磷增加 53.9%~65.7%, 速效磷增加 6~15 倍。积累在土壤中的磷素具有生物有效性。

关键词: 黑土; 土壤磷素; 有效性; 长期施肥

中图分类号: S 155.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2004)04-0005-04

Study on Soil Phosphorus Accumulation and Its Availability Through Long-term Fertilization to Black Soil

ZHOU Bao-ku¹, ZHANG Xi-lin¹, LI Shi-long², CONG Xi-bo³, ZHAO Rui-guang³

(1. Soil and Fertilizer Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; 2. Hailin Agricultural Technique Extension Center, Hailin 157100; 3. Subordinated Farm Bureau under Shenyang Military Command, Harbin 150030)

Abstract: The soil phosphorus accumulation and its availability were tested through long term and fixed-site trails for black soil. The result show that total P and available P in soil decreased by 37.4% and 60% respectively, if no fertilizer applying for a long time. If applying phosphorus fertilizer to black soil for a long term, total P and available P increased by 53.9%~65.7% and 6~10 times, respectively. The accumulated phosphorus in black soil is available to crop.

Key words: black soil; phosphorus; availability; long-term fertilizer application

在矿质肥料中, 作物对磷肥的利用率比较低, 一般当季只有 10%~25%, 其余 75%~90% 的磷以不同形态积累在土壤中, 这些积累的磷对作物的有效性一直是国内外学者关注的热点^[1~3]。按传统的观点, 当季被作物利用后残留在土壤中的磷, 大部分是不可逆的被土壤固定, 但是近 20 年来, 国际上相当部分的学者对此提出了异议。认为, 过去对磷的固定问题看得过于严重, 对所谓被固定的磷的利用率及其后效需要重新做出估量。在这方面, 国内还缺乏比较长期性的磷肥试验可以提供论证, Cooke 综合了英国洛桑试验站的长期肥料试验的结果认为, 残留在土壤中的磷, 可增加土壤可溶性磷的潜在贮量, 最终都有可能被作物利用^[4,5]。

磷肥在黑龙江省从 70 年代开始大量应用, 效果也很好, 决策部门大量地进口高浓度的磷肥(磷酸二铵、重过磷酸钙), 使化肥氮磷比例失调, 致使有相当一部分农田土壤大量施用磷肥, 肥料利用率下降和化肥资源的浪费。

利用长期定位试验, 探讨黑土在长期施用磷肥条件下土壤磷的积累及后效, 为肥料的合理布局、减少肥料浪费、提高肥料利用率提供理论依据。

1 材料与方法

试验以黑龙江省农业科学院土肥所 1979 年设立的黑土肥力长期定位监测试验为基础。试验按小麦—大豆—玉米顺序轮作, 到 2003 年为第 24 个生

* 收稿日期: 2004-02-16

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(C9807)

第一作者简介: 周宝库(1963—), 男, 黑龙江省延寿县人, 副研究员, 从事土壤肥料研究。

长季, 小区面积 168 m^2 , 每区 8 垄, 垄长 30 m, 垄距 70 cm, 无重复。

1980 年设 16 个常量施肥处理, 1986 年增加 8 个 2 倍量和 8 个 4 倍量, 共 32 个处理, 其中 8 个 4 倍量施肥处理 1992 年以后观察后效。常量施肥处理, 在小麦和玉米上为 $\text{N } 10 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 5 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O } 5 \text{ kg}/667\text{m}^2$; 在大豆上为 $\text{N } 5 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 10 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O } 5 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 。记作 N_1 、 P_1 、 K_1 , 有机肥为纯马粪, 每轮作周期施一次, 施于玉米茬, 按氮量 $5 \text{ kg}/667\text{m}^2$ (约马粪 $1240 \text{ kg}/667\text{m}^2$), 记作 D_1 , 二倍量组的施肥量为常量组的二倍, 记作 N_2 、 P_2 、 D_2 。

氮、磷、钾肥均秋施肥, 氮肥为尿素, 磷肥为三料过磷酸钙、磷酸二铵, 钾肥为硫酸钾。

秋季取田间土壤样品, 在每小区中间位置随机选 5 点, 取 0~20 cm 土壤混合。

分析方法: 土壤全磷为钼兰比色法, 速效磷为 Olsen 法。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对磷素积累的影响

2.1.1 长期施肥对土壤全磷积累的影响 土壤全磷是土壤磷素总体水平的体现, 是土壤无机磷素和

有机磷素的总和, 能反映土壤磷库大小和潜在的供磷能力。

黑土肥力长期定位监测试验是 1979 年设立的, 到 2002 年已坚持了 23 年, 基础肥力全磷含量为 0.107%, 其监测结果是, 23 年不施肥, 土壤全磷由 1979 年的 0.107% 下降到 2002 年的 0.067%, 下降了 37.4%, 其他不施磷肥处理全磷下降的也都非常明显, 单施氮肥处理 (N_1) 下降了 29.0%, 氮钾 (N_1K_1) 处理下降了 26.2%。而施磷肥处理土壤全磷都有明显的积累, 尤其是施 2 倍量磷肥处理, 连续 17 年 (2 倍量施肥处理为 1986 年设立) 大量施用磷肥, 土壤全磷积累更加明显, 土壤全磷与原始土壤相比增加了 53.92%~65.69%。

图 1 反映了土壤全磷的年度变化, 从图中能清楚地看出土壤全磷的积累趋势。无肥处理从 1980 年到 2002 年土壤全磷呈下降趋势, 单施有机肥处理土壤全磷也仍然是下降的趋势, 说明单施有机肥还不能保持土壤磷素的平衡。而施磷肥的各个处理土壤全磷都呈上升趋势, 尤其是施 2 倍量磷肥处理, 上升的趋势更加明显。

23 年后不同处理土壤全磷含量, 2 倍量磷肥处理土壤全磷是不施磷肥处理的 2.5 倍, 常量处理也是不施磷肥处理的 2 倍左右。由此可以看出, 长期

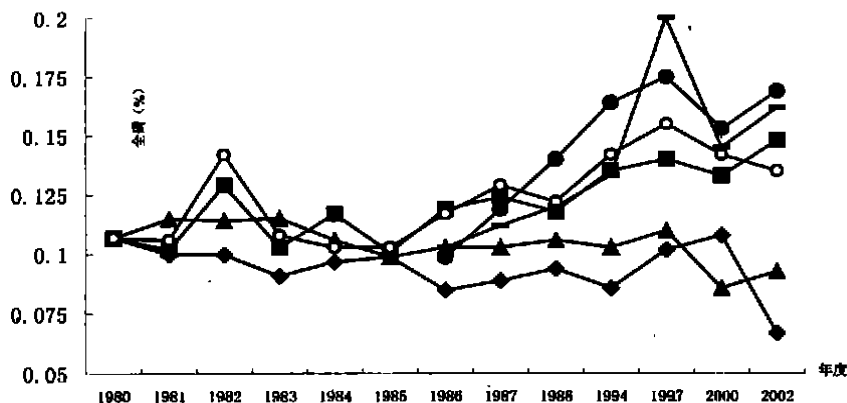


图 1 长期施肥条件下土壤全磷年度间动态变化

施用磷肥, 土壤磷素会在土壤中大量积累。

2.1.2 长期施肥对土壤速效磷积累的影响 土壤全磷是土壤磷素总体水平的体现, 而土壤速效磷则是土壤供磷能力的一项指标, 可以说明土壤供磷水平, 土壤速效磷是用 0.5 M NaHCO_3 浸提的磷素, 与土壤供磷能力有显著的相关性, 土壤速效磷含量越高, 说明土壤供磷能力就越强。

长期施用磷肥土壤全磷大量积累, 土壤速效磷

和全磷的积累趋势是一致的。23 年不施肥, 土壤速效磷下降了 60%, 长期施有机肥土壤速效磷下降了 23.2%, 其他不施磷肥处理土壤, 速效磷下降的也都十分明显。而施磷肥处理, 土壤速效磷都有显著的增加, 与不施肥相比土壤速效磷增加 6~15 倍, 施磷量越多, 土壤速效磷积累的也就越多 (见图 2)。

2.2 长期施肥对土壤磷素有效性的影响

评价土壤磷素有效性是一个十分复杂的问题,

因为土壤磷素形态并不是化学上的单一化合物,而是一系列化合物的组合,不同形态的无机磷、有机磷之间以及无机磷各组分之间处于一个动态平衡的过

程,它们之间存在着相互影响和制约。而土壤有效磷含量的高低取决于各组分磷素的分布和转化方向,任何形态的土壤磷素变化都会影响有效磷的

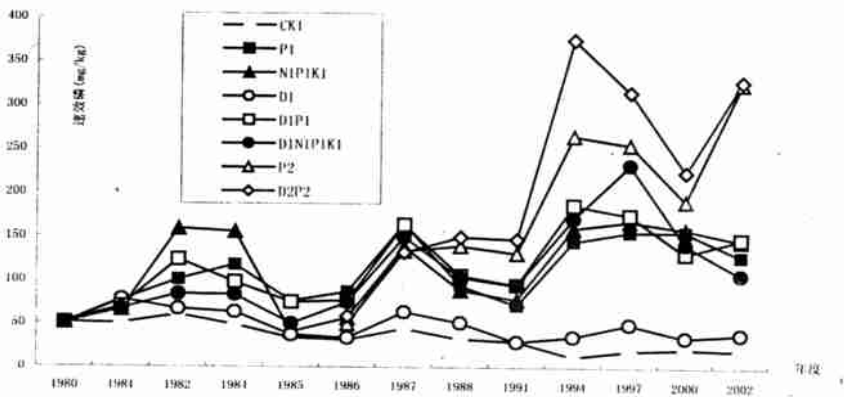


图2 长期施肥条件下土壤速效磷年度变化

变化。
对土壤磷素有效性的评价有很多方法,植物对土壤磷素的反应是评价有效性的最好方法,为了进一步评价长期施肥对土壤磷素有效性的影响,进行了生物试验,以明确积累的磷素对作物的有效性。

试验方法为盆栽试验,取长期定位试验CK、P、NP、NK、NPK、P₂、N₂P₂、D₂N₂P₂ 8个处理的土壤进

行盆栽试验,每个处理的土壤在满足氮素供应的基础上,分别设施磷和不施磷2个处理,共16个处理,5次重复。供试作物为小麦,品种为龙辐麦4号。每盆装土5 kg,每盆均施尿素3.00 g,施磷处理每盆施2.00 g 三料磷肥(含P₂O₅46%)。

从试验结果看(见表1),长期不施磷肥处理(CK、NK)土壤施用磷肥效果非常明显。

表1 土壤磷素生物有效性试验结果

| 序号 | 处理 | 6月5日 | | | 7月3日 | | | 7月10日 | | | 8月22日(收获期) | | |
|----|---|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|------------|------------|
| | | 株高 (cm) | 鲜重 (g/10株) | 干重 (g/10株) | 株高 (cm) | 鲜重 (g/10株) | 干重 (g/10株) | 株高 (cm) | 鲜重 (g/10株) | 干重 (g/10株) | 株高 (cm) | 穗长 (cm) | 千粒重 (g) |
| 1 | CK | 18.42 | 2.07 | 3.16 | 39.44 | 17.0 | 7.0 | 39.8 | 6.4 | 25.85 | 6.70 | | |
| 2 | CK+P | 27.73 | 6.44 | 6.71 | 47.30 | 43.0 | 19.4 | 46.8 | 10.9 | 30.26 | 17.83 | | |
| 3 | P | 27.91 | 7.12 | 7.16 | 51.70 | 46.0 | 20.0 | 51.0 | 11.1 | 34.04 | 20.81 | | |
| 4 | P+P | 28.55 | 7.55 | 7.49 | 48.60 | 43.6 | 19.2 | 48.5 | 11.0 | 34.93 | 19.87 | | |
| 5 | NP | 25.17 | 6.16 | 5.69 | 49.90 | 38.0 | 17.0 | 49.0 | 10.7 | 33.12 | 18.02 | | |
| 6 | NP+P | 26.94 | 6.96 | 6.26 | 43.20 | 32.3 | 14.0 | 44.4 | 10.2 | 30.49 | 18.57 | | |
| 7 | NK | 24.14 | 3.84 | 3.89 | 41.00 | 27.4 | 9.0 | 42.6 | 8.2 | 27.41 | 10.50 | | |
| 8 | NK+P | 29.40 | 6.45 | 7.60 | 46.90 | 44.0 | 18.4 | 46.2 | 10.5 | 31.49 | 17.79 | | |
| 9 | NPK | 28.00 | 5.58 | 3.52 | 51.20 | 43.4 | 17.0 | 51.4 | 11.8 | 34.80 | 19.34 | | |
| 10 | NPK+P | 30.16 | 5.48 | 5.14 | 52.90 | 50.0 | 18.4 | 51.2 | 11.2 | 36.91 | 20.57 | | |
| 11 | P ₂ | 26.86 | 4.25 | 7.17 | 41.10 | 31.8 | 13.8 | 43.1 | 10.2 | 28.90 | 14.34 | | |
| 12 | P ₂ +P | 27.54 | 5.54 | 7.74 | 44.00 | 36.4 | 15.4 | 43.2 | 10.6 | 29.17 | 14.24 | | |
| 13 | N ₂ P ₂ | 30.72 | 6.26 | 5.34 | 50.10 | 41.6 | 16.6 | 47.5 | 11.0 | 29.22 | 15.29 | | |
| 14 | N ₂ P ₂ +P | 30.29 | 5.85 | 6.10 | 43.90 | 29.0 | 11.6 | 44.9 | 10.7 | 27.12 | 14.61 | | |
| 15 | D ₂ N ₂ P ₂ | 29.28 | 5.38 | 6.48 | 50.70 | 52.2 | 22.2 | 47.8 | 11.2 | 30.48 | 19.89 | | |
| 16 | D ₂ N ₂ P ₂ +P | 30.54 | 5.99 | 6.04 | 48.50 | 44.0 | 18.4 | 47.2 | 11.1 | 32.73 | 20.89 | | |

从生育期株高、生物量都可以明显的看出是磷肥的效果。长期不施肥的土壤,小麦子实产量仅为施磷肥处理的37.6%,说明长期不施磷肥的土壤已经严重的缺磷,必须补充磷素营养才能保证作物生长的正常需要。

而长期施用磷肥处理的土壤,施用磷肥效果不明显。不施磷肥的子实产量是施用磷肥的94.0%~104.7%。施用磷肥基本上没有效果。也就是说,积累在土壤中的磷素对作物是有效的,在土壤中大量的积累了磷素的情况下,可不必每年大量施用磷肥,

以避免肥料资源的浪费。

2.3 作物对土壤磷素的吸收利用

作物对磷素的吸收,除了作物自身特性外,主要和土壤供磷能力有关,从测定结果看(见表2),长期不施磷土壤在不施磷肥的情况下,植株吸收磷的数量很少,施用磷肥以后显著增加。而长期施用磷肥

的土壤,植株吸收磷素的能力较强,在此基础上再施用磷肥,植株吸收磷的量还有显著增加,说明植株吸收磷的数量不仅和土壤含磷量有关,还与施用磷肥的数量有关。而子实吸收磷的量和施磷量关系不大,即大量施用磷肥,磷素也不会子实中大量积累。

表2 小麦植株磷素积累的分析结果 %

| 序号 | 处理 | 6月5日 | 7月3日 | 收获期 | | 序号 | 处理 | 6月5日 | 7月3日 | 收获期 | |
|----|------|-------|-------|-------|------|----|---|-------|-------|-------|------|
| | | | | 植株 | 子实 | | | | | 植株 | 子实 |
| 1 | CK | 0.370 | 0.515 | 0.120 | 1.48 | 9 | NPK | 1.400 | 0.740 | 0.145 | 1.68 |
| 2 | CK+P | 0.382 | 0.570 | 0.110 | 1.20 | 10 | NPK+P | 2.060 | 0.900 | 0.310 | 1.48 |
| 3 | P | 1.400 | 0.570 | 0.150 | 1.60 | 11 | P ₂ | 1.240 | 0.675 | 0.145 | 1.64 |
| 4 | P+P | 1.920 | 0.800 | 0.155 | 1.28 | 12 | P ₂ +P | 2.040 | 0.870 | 0.355 | 1.48 |
| 5 | NP | 0.820 | 0.540 | 0.115 | 1.60 | 13 | N ₂ P ₂ | 1.680 | 0.710 | 0.160 | 1.72 |
| 6 | NP+P | 1.480 | 0.740 | 0.222 | 1.40 | 14 | N ₂ P ₂ +P | 2.060 | 1.010 | 0.465 | 1.60 |
| 7 | NK | 0.620 | 0.530 | 0.115 | 1.68 | 15 | D ₂ N ₂ P ₂ | 1.480 | 0.740 | 0.160 | 1.60 |
| 8 | NK+P | 1.600 | 0.710 | 0.205 | 1.28 | 16 | D ₂ N ₂ P ₂ +P | 2.380 | 0.930 | 0.320 | 1.48 |

3 结论与讨论

3.1 长期不施肥,土壤全磷下降了37.4%,施磷肥处理土壤全磷都有明显的积累,尤其是施2倍量磷肥处理。连续大量施用磷肥,土壤全磷积累更加明显,土壤全磷与原始土壤相比增加了53.92%~65.69%。单施有机肥处理土壤全磷也仍然是下降的趋势,说明单施有机肥还不能保持土壤磷素的平衡。

3.2 土壤速效磷和全磷的积累趋势一致,23年不施肥,土壤速效磷下降了60%,长期施有机肥土壤速效磷下降了23.2%,其他不施磷肥处理土壤速效磷下降的也都十分明显。而施磷肥处理,土壤速效磷都有显著的增加,与不施肥相比土壤速效磷增加6~15倍,施磷量越多,土壤速效磷积累的也越多。

3.3 长期不施磷肥处理,土壤施用磷肥效果非常明显,整个生育期都可以看出是磷肥的效果。长期不施磷肥的土壤严重的缺磷,必须补充磷素营养才能保证作物生长的正常需要。而长期施用磷肥处理的土壤,施用磷肥效果不明显。不施磷肥的子实产量是施用磷肥的94.0%~104.7%。施用磷肥基本上没有效果,积累在土壤中的磷素,对作物是有效的,在土壤中大量积累了磷素的情况下,可不必每年大量施用磷肥,以避免肥料资源的浪费。

3.4 长期不施磷的土壤,在不施磷肥的情况下,植株吸收磷的数量很少,施用磷肥以后植株吸磷量显

著增加。而长期施用磷肥处理的土壤,植株吸收磷素的能力较强,在此基础上再施用磷肥,植株吸收磷的量还有显著增加,植株吸收磷的数量不仅和土壤含磷量有关,还与施用磷肥的数量有关。而子实吸收磷的量和施磷量关系不大,即大量施用磷肥,磷素也不会子实中大量积累。

近年来,由于我省大量连续使用磷肥,使磷素在土壤中大量积累,造成土壤养分失调、肥料利用率下降和化肥资源的浪费。本项目经过3年试验研究,摸清了长期施肥(23年)条件下,土壤磷素的积累状况和土壤积累磷素的生物有效性,提出了连续施磷情况下的减磷措施。在连续大量施用磷肥情况下,施肥应以“稳氮、减磷、补钾”的原则进行合理施肥,充分利用土壤积累的磷素,节约资源,避免浪费。

参考文献:

[1] 林葆,林继雄,李家康. 关于合理施用磷肥的几个问题[J]. 土壤, 1992, 24(2): 57-60.

[2] 沈善敏,廉鸿志,张璐,等. 磷肥残效及农业系统养分循环再利用中长期试验[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(4): 339-344.

[3] 顾益初,钦绳武. 长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累、形态转化和有效性[J]. 土壤, 1997, (1): 13-17.

[4] 李志洪,陈丹,曹国军. 黑土、黑钙土玉米苗期根际无机磷的形态变化[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 127-131.

[5] 鲁如坤,时正元,钱承梁. 土壤积累态磷研究 III. 几种典型土壤中积累态磷的形态特征及其有效性[J]. 土壤, 1997, (2): 57-61.