

# 不同培肥方式对黑土供磷能力的影响

王凤菊<sup>1,2</sup>, 韩晓增<sup>1,2</sup>, 王凤仙<sup>1,2</sup>, 宋春<sup>2</sup>, 朱霞<sup>2</sup>, 卢斯佳<sup>1,2</sup>

(1. 东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081)

**摘要:** 利用采自海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站长期定位试验地的三个施肥处理: 无肥(CK)、化肥(NP)、化肥配施有机肥(NPM)的土壤进行框栽试验, 研究了不同培肥方式对黑土供磷能力的影响。结果表明: CK、NP、NPM 土壤中的有机磷都能自然矿化, 其中 CK 土壤有机磷矿化能力较弱, 而 NP、NPM 土壤有机磷矿化能力较强, 并且种植作物有利于土壤磷的矿化; CK 土壤基础供磷能力较弱, 施用磷肥可提高 CK 土壤的供磷能力, 而 NP、NPM 土壤基础供磷能力较强, 施用磷肥对土壤供磷能力影响不大; 长期种植作物不施磷肥土壤中的磷处于耗竭状态, 施 NPK 肥种植作物处理能加剧土壤中磷的消耗; CK 土壤供磷能力较弱, 作物对土壤磷的依存率较低, 对磷肥的利用率高, 施用磷肥增产效果明显; NP、NPM 土壤供磷能力较强, 作物对土壤磷的依存率较高, 对磷肥的利用率低, 施用磷肥增产效果不大。

**关键词:** 培肥方式; 供磷能力; 黑土

**中图分类号:** S153.6\*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0072-04

磷是自然生态系统中生命存在的必需元素, 植物的生长发育也不例外<sup>[1]</sup>。植物生长发育所需要的磷主要是从土壤磷库中获得。然而土壤缺磷是世界范围内普遍存在的问题, 据估计, 我国有 1/3 ~ 1/2 的耕地土壤缺磷<sup>[2]</sup>。为了改善这种状况势必每年向土壤中投入大量的磷肥, 长期施用磷肥造成了磷素在土壤中大量积累, 磷素在土壤中的积累, 既造成了磷肥资源的浪费, 也必然导致农田径流中磷浓度的提高。据估算, 1949 ~ 1992 年间, 我国累计施入农田的磷肥达  $3.4 \times 10^7$  t, 其中大约有  $2.6 \times 10^7$  t 累积在土壤中<sup>[3]</sup>, 使得施入土壤中的磷肥当季利用率仅为 10% ~ 25%<sup>[4]</sup>。磷肥利用率低在农业生产中是一个大问题, 因此关于如何提高磷肥的利用率一直是人们所关心的问题<sup>[5-7]</sup>。土壤供磷状况是磷肥合理分配和有效施用的重要依据<sup>[8]</sup>。因此, 本试验利用中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站长期定位试验地三个施肥处理: 无肥(CK)、化肥(NP)、化肥配施有机肥(NPM)的土壤做盆栽试验, 分别设置不同的施肥处理, 研究了不同培肥方式下黑土磷素的矿化能力、供磷能力及磷肥利用率的差异, 为本地区农业土壤培肥和合理施用磷肥提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验设在中国科学院东北地理与农业生态研究

所哈尔滨试验场。框栽试验的土壤样品采自中国科学院海伦农业生态系统国家野外科学观测研究站长期定位试验地, 试验地概况如下:

试验地土壤类型属典型黑土, 开垦前植被为草甸草原植被。1985 年试验地设置前为开垦 100 年左右的农田土壤, 开垦后的前 60 年间不施肥, 接下来的 20 年左右开始施用农家肥, 后 20 年施用化学氮肥。1993 年将耕地设为 3 个处理: 无肥(CK)、化肥(NP)、化肥配施有机肥(NPM), 种植方式为小麦 - 玉米 - 大豆轮作, 施肥量为: 小麦(N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 54.96 kg/hm<sup>2</sup>、有机肥 15 000 kg/hm<sup>2</sup>)、玉米(N 150 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75.00 kg/hm<sup>2</sup>、有机肥 30 000 kg/hm<sup>2</sup>)、大豆(N 32.26 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 82.44 kg/hm<sup>2</sup>、有机肥 15 000 kg/hm<sup>2</sup>), 有机肥为腐熟猪粪(含 N 22.1 g/kg、P 2.6 g/kg、K 2.4 g/kg)。2008 年 4 月 26 日进行取样, 取样时农田前茬作物为大豆。取样深度为 0 ~ 20 cm, 每小区随机取 4 个点, 混合制样。风干过筛后进行基本理化性状分析。供试土壤的基本理化性状见表 1。

2008 年 5 月 4 日将取回来的 CK、NP 和 NPM 处理的土壤进行框栽试验, 将风干过筛后的土样装入 PVC 材料制成的无底圆柱形小桶(直径 15cm, 高 20cm), 小桶底部用 200 目砂网包裹, 每桶装土 3 kg, 将装好土的小桶埋入地下, 露出 2cm 桶沿, 浇水至 65% 田间持水量。各土壤均设以下 6 个处理:

收稿日期: 2009-02-18

基金项目: 中国科学院知识创新工程(KSCX1-YW-09-09); 国家科技支撑计划(2006BAD05B05)

作者简介: 王凤菊(1984—), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤化学与植物营养方面的研究。E-mail: fengjie0452@163.com。

通讯作者: 韩晓增(1957—), 男, 辽宁瓦房店人, 研究员, 主要从事土壤生态方面的研究。E-mail: xzhan@cern.ac.cn。

(1)不施肥不种植作物;(2)不施肥种植作物;(3)施 NP 肥种植作物:磷酸二铵 0.561 g/盆、尿素 1.054 g/盆;(4)施 NK 肥种植作物:尿素 1.318 g/盆、硫酸钾 0.449 g/盆;(5)施 PK 肥种植作物:磷酸二氢钾 0.58 g/盆、硫酸钾 0.075 g/盆;(6)施 NPK 肥种植

作物:磷酸二铵 0.561 g/盆、尿素 1.054 g/盆、硫酸钾 0.45 g/盆。共计 18 个处理,72 盆,随机排列。肥料做基肥一次施入。供试作物为玉米(品种为海玉 6),每桶种玉米 4 株,保苗 2 株。玉米于 5 月 20 日播种,8 月 11 日收获。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 The basic physical and chemical properties of the test soil

| 处理<br>Treatments | 有机碳<br>OC<br>(g/kg) | 全氮<br>Total N<br>(g/kg) | 全磷<br>Total P<br>(g/kg) | 全钾<br>Total K<br>(g/kg) | 碱解氮<br>Avail. N<br>(mg/kg) | 速效磷<br>Avail. P<br>(mg/kg) | 有机磷<br>Organic P<br>(mg/kg) | 速效钾<br>Avail. K<br>(mg/kg) | pH<br>(H <sub>2</sub> O) |
|------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| CK               | 28.2                | 2.11                    | 0.699                   | 23.2                    | 152.4                      | 19.5                       | 401.0                       | 139.7                      | 6.30                     |
| NP               | 29.6                | 2.19                    | 0.886                   | 24.4                    | 161.4                      | 51.7                       | 412.0                       | 110.0                      | 5.80                     |
| NPM              | 35.8                | 2.82                    | 1.496                   | 26.0                    | 193.3                      | 222.7                      | 432.0                       | 174.0                      | 6.10                     |

1.2 采样与测定方法

土样于收获玉米时采集,阴干,过 2 mm 筛备用。将玉米植株分为地上和根两部分,105℃下杀青,80℃烘干至恒重,测定干重。

有机碳与全氮采用 VarioEL III 型元素分析仪测定;土壤全磷采用 HClO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮,钼锑抗比色法测定;土壤全钾采用氢氧化钠熔融法 - 火焰光度计测定;土壤速效钾采用乙酸铵提取法 - 火焰光度计测定;土壤有效氮采用碱解扩散法测定;土壤速效磷采用 Olsen 法<sup>[9]</sup>测定;土壤有机磷采用灼烧法测定;土壤 pH 采用 DELTA320pH 计测定;植物全磷采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,钼锑抗比色法测定。

1.3 统计分析

试验所得数据均为 4 次重复的平均值,用 SAS9.0 软件(SAS Institute 2005)进行统计分析,采用 Excel2003 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同培肥方式下农田黑土磷素的矿化能力

试验前,CK、NP、NPM 三种土壤的速效磷含量差异极显著(图 1),NPM 分别为 NP 和 CK 的 4.3 倍和 11.4 倍,表现为:NPM > NP > CK。化肥配施有机肥显著提高了土壤速效磷含量,说明磷肥与有机肥配施对土壤磷库的发展产生更为显著的影响<sup>[10]</sup>。

CK、NP、NPM 三种土壤,经过一段时间的自然矿化后,土壤速效磷含量差异极显著,与原始土壤相比均有所增加(图 1),NPM 速效磷的增加量分别是 NP 和 CK 增加量的 2.0 倍和 5.4 倍。主要是由于 NPM 土壤本身有机磷含量高,有机磷的初始含量影响矿化率(包括积累矿化率和单位时间矿化率),有机磷初始含量愈高,其矿化率和矿化速率也就愈高<sup>[11]</sup>。NP 大于 CK,是因为磷肥的残效期较长,长期施用磷

肥可以在土壤中建立起有效的磷库<sup>[11]</sup>。

对于 CK、NP、NPM 三种施肥处理的土壤,不施肥种植作物处理土壤速效磷含量与自然矿化相比均有所减少。CK 土壤减少了 17.3%,NP 土壤减少了 22.1%,NPM 土壤减少了 25.8%,原因是作物吸收带走了磷,长期不施磷肥作物收获对土壤中磷的携出是土壤磷含量降低的主要影响因素<sup>[12]</sup>。另外,植物的根系分泌物(酸性磷酸酶、有机酸、质子)对土壤中磷的活化起多重作用,使土壤中的难溶态磷向可溶态转化,而且这些小分子有机酸还能提高土壤中有机磷向根系扩散能力<sup>[13]</sup>,但由于作物吸收磷的量大于自然矿化的磷量,因此使土壤速效磷含量降低。

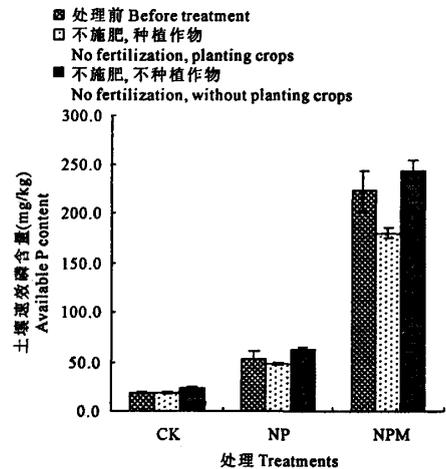


图 1 不同培肥方式和种植作物对黑土磷素矿化能力的影响  
Fig.1 Effect of different fertilization systems and planting crop on P mineralization in black soil

2.2 不同培肥方式下农田黑土供磷能力

土壤的基础供磷能力用不施肥作物的总吸磷量来表示。从图 2 中可以看出,土壤的基础供磷能力

为 CK < NP < NPM, CK 土壤的基础供磷能力较弱, NP、NPM 土壤基础供磷能力较强。

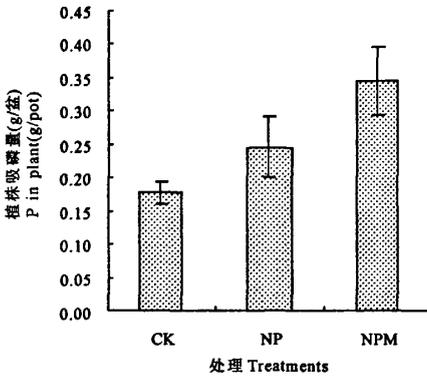


图 2 不同施肥处理黑土的基础供磷能力  
Fig.2 The basic P supplying ability of black soil under different fertilization systems

土壤速效磷作为土壤有效磷贮库中对作物最为有效部分,能直接供作物吸收利用,因而是评价土壤供磷能力的重要指标<sup>[14]</sup>。如图 3 所示,对于 CK、NP、NPM 三种土壤,分别进行种植玉米和施用 NK、NPK、NP 和 PK 处理后,土壤速效磷含量发生了不同程度的变化,但均表现为: NPM > NP > CK, 表明 NPM、NP 土壤具有很好的供磷能力,而 CK 土壤供磷能力较差。

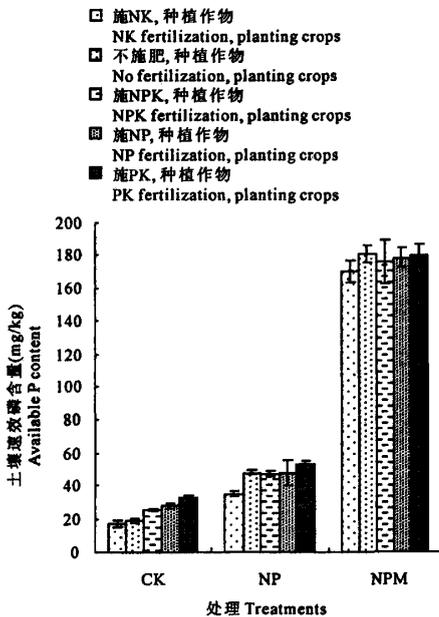


图 3 不同培肥方式黑土供磷能力  
Fig.3 Effect of different fertilization systems on P supplying ability in black soil

对于 CK 土壤,与不施肥处理相比,施用 NPK、NP 和 PK,土壤速效磷含量分别增加了 35.7%、47.0%和 71.0%。分析结果表明,施用磷肥处理,土壤速效磷的含量均增加,说明施用磷肥可提高土壤的供磷能力。而施 NK 后,与不施肥处理相比,CK、NP、NPM 三种土壤速效磷含量均降低,表明施用 NK 后,磷成为最小养分,成为作物生长发育的限制因子,因而土壤中的磷处于耗竭状态。

对于 CK、NP、NPM 三种土壤,与不施肥不种植作物处理相比,种植作物和施 NK 种植作物后,土壤速效磷含量均显著降低(图 4),其中种植作物后土壤速效磷含量分别降低了 17.3%(CK)、22.1%(NP)和 25.8%(NPM);施 NK 后土壤速效磷含量分别降低了 26.2%(CK)、42.6%(NP)和 30.0%(NPM)。可以看出长期不施磷肥,土壤速效磷含量降低,土壤中的磷素处于耗竭状态,特别是施 NK 肥后,加速了土壤磷素的消耗。

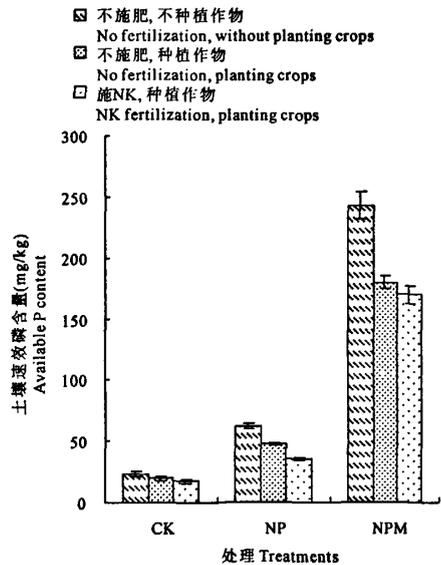


图 4 不同培肥方式下黑土磷素的耗竭状况  
Fig.4 Effect of crops planting on soil P under different fertilization systems

### 2.3 不同培肥方式下农田黑土的磷肥利用率

本试验中的磷肥利用率是通过不同培肥方式下的施磷肥处理玉米植株吸收的磷量与不施磷肥处理玉米植株吸收的磷量之差再除以每桶施用的磷量计算出来的。公式如下:

$$P\% = (\text{施 NPK 种植作物处理的玉米植株的吸磷量} - \text{施 NK 肥种植作物处理的玉米植株的吸磷量}) / \text{NPK 肥处理的施磷量} \times 100$$

从图 5 中可以看出,CK 土壤的磷肥利用率较高,施用磷肥增产效果明显;NP、NPM 土壤的磷肥利用率较低,施用磷肥增产效果不大。

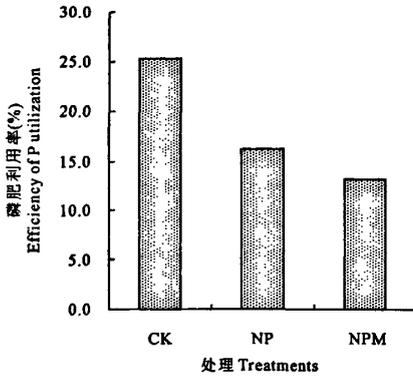


图 5 不同培肥方式下黑土磷肥利用率

Fig.5 Effect of different fertilization systems on efficiency of P utilization in black soil

作物对土壤磷的依存率用土壤基础供磷量(无肥作物总吸磷量)占各施肥处理作物吸磷总量的百分数表示。作物对土壤磷的依存率的大小直接反映了作物吸收利用土壤磷的多少,间接反映了作物吸收利用肥料磷的能力<sup>[15]</sup>。如表 2 所示,CK 土壤中作物对土壤磷的依存率在 84.0%~89.5%之间,在 NP、NPM 土壤中作物对土壤磷的依存率在 94.3%~97.7%之间,可以看出 CK 土壤的供磷能力较差,而 NP、NPM 土壤供磷能力较强;间接反映出 CK 土壤磷肥的利用率较高,施用磷肥增产效果明显,而 NP、NPM 土壤磷肥的利用率较低,施用磷肥增产效果不大。

表 2 不同培肥方式作物对土壤磷的依存率  
Table 2 The dependence of crops on soil P under different fertilization systems

| 类型<br>Type | 施 NP 肥 (%)<br>NP fertilization | 施 PK 肥 (%)<br>PK fertilization | 施 NPK 肥 (%)<br>NPK fertilization |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| CK         | 84.0                           | 89.5                           | 86.8                             |
| NP         | 94.3                           | 96.3                           | 94.3                             |
| NPM        | 96.1                           | 97.7                           | 97.2                             |

因此,在实际生产中应按肥力高低合理施用磷肥,对于肥力高的土壤应该少施或者不施,低肥力的土壤可以适当多施并注意 NP 配施,以达到增产的效果。

### 3 结论

1) CK、NP、NPM 土壤中,土壤速效磷含量 CK <

NP < NPM;CK、NP、NPM 土壤中的有机磷都能自然矿化,其中 CK 土壤矿化能力较弱,NP、NPM 土壤矿化能力较强,并且种植作物有利于土壤磷的矿化。

2) CK 土壤基础供磷能力较弱,施用磷肥可提高 CK 土壤的供磷能力;NP、NPM 土壤基础供磷能力较强,施用磷肥对土壤供磷能力影响不大;长期种植作物不施磷肥土壤中的磷处于耗竭状态,施 NK 肥种植作物处理能加剧土壤中磷的消耗。

3) CK 土壤供磷能力较差,作物对土壤磷的依存率低,对磷肥的利用率就高,施用磷肥增产效果明显;NP、NPM 土壤供磷能力较强,作物对土壤磷素的依存率高,对磷肥的利用率就低,施用磷肥增产效果不大;对于 CK、NP、NPM 土壤,P 肥与 N 肥配施磷肥的利用率较高。

### 参考文献:

- [1] 刘正宇.植物的磷营养和土壤磷的生物有效性[J].土壤,1992,24(2):97-101.
- [2] 沈善敏.农业生态系统中主要营养元素循环及农田土壤养分收支平衡[C]//沈善敏.中国土壤肥力.北京:中国农业出版社,1998:80-83.
- [3] 杨钰,阮晓红.土壤磷素循环及对土壤流失的影响[J].土壤与环境,2001,10(3):256-258.
- [4] 鲁如坤,时正元,顾益初.土壤积累态研究 II.磷肥的表现积累利用率[J].土壤,1995,27(6):286-287.
- [5] 蒋柏藩,沈仁芳.石灰性土壤无机磷形态分布及其有效性[J].土壤学报,1992,29(1):80-85.
- [6] 郭智芬,徐书新.石灰性土壤不同形态无机磷对作物磷营养的贡献[J].中国农业科学,1997,30(10):26-32.
- [7] 郭晓冬,杨玲,张雪琴.甘肃省主要耕地土壤磷素形态及其有效性研究[J].土壤通报,1998,29(3):119-122.
- [8] 张爱君,张明普.定位 20 年黄潮土速效磷养分的变化特征[J].上海交通大学学报,2002,20(3):178-180.
- [9] Olsen S R, Watanable K S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the langmuir isotherm[J]. Soil Sci Soc Am Proc. 1957,21(2):144.
- [10] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
- [11] 赵少华,宇万太,张璐,等.东北黑土有机磷矿化过程的研究[J].应用生态学报,2005,16(10):1858-1861.
- [12] Haas H J, Grunes D L, Reichman G A. Phosphorus changes in Great Plains soils as influenced by cropping and manure applications[J]. Soil Sci Soc Am Proc. 1961,25:214-218.
- [13] 赵琼,曾德慧.陆地生态系统磷循环及其影响因素[J].植物生态学报,2005,29(1):153-163.
- [14] 胡鹰堂.植物营养学(下册)[M].北京:北京农业大学出版社,1995:48-53.

(英文摘要下转第 98 页)

Journal of Agriculture & Biology, 2005, 7(3): 508—510.

- [6] Limin Wang, Yongxia Wei, Tianfang Fang. Water-saving and anti-drought combined technological measures' influences on maize yield formation factors and water utilization efficiency in semi-arid region [J]. Nature and Science, 2005, 3(1): 88—94.
- [7] 夏更寿, 郭志平. 马铃薯不同生育期追施钾肥效果的研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2007, 25(4): 392-394.
- [8] Radford P J. Growth analysis formulae—their use and abuse[J]. Crop Science, 1967, 7: 171—175.
- [9] Singh M, Singh S. Net assimilation rate, relative growth rate and yield of pea genotypes under different  $\text{NaHCO}_3$  concentrations[J]. Biologia Plantarum, 1994, 36(1): 145—148.
- [10] Geok-Yong Tan, Wai-Koon Tan. Net assimilation rate and relative nitrogen assimilation rate in relation to the dry matter production of alfalfa cultivars[J]. Plant and Soil, 1981, 59(2): 185—192.

## Effect of zinc application on net assimilation rate of different cotton growth stages

ZHI Jin-hu<sup>1,2</sup>, NIE Yun-jiang<sup>3</sup>, WAN Su-mei<sup>1</sup>

(1. College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

2. Cotton Science Institute of Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

3. 30th Regiment of No. 2 Agriculture Division of Xinjiang Production and Construction Group, Korla, Xinjiang 841006, China)

**Abstract:** Dynamic regulation of cotton net assimilation rate(NAR) was studied under zinc application by field experiment. The results showed that with the increased use of zinc, the yield had a tendency of increasing first and decreasing then; and as the process of growth and development of cotton, NAR had a tendency of increasing first and decreasing then. In the period of flourishing budding to flourishing flowering, NAR reached the maximum. With the enhancement of zinc dosage, NAR increased at growth prophase and decreased at metaphase to anaphase obviously. After bell period, the response of NAR to exogenous zinc showed very exceptional, and regardless of the amount of zinc fertilized, NAR was always lower than that of control. At the period of full flowering to bell, whether the relationship of NAR and zinc amount is linear, exponential or a quadratic curve-type, they all reached a significant level. Nevertheless, the quadratic curve was fitting better. Thus, by studying the effect of zinc application on net assimilation rate of different cotton growth stages, we may obtain some new ideas of rational fertilization for cotton cultivation.

**Keywords:** zinc; cotton; net assimilation rate(NAR); dynamics

(上接第 75 页)

## Effect of different fertilization systems on available phosphorus in black soil

WANG Feng-ju<sup>1,2</sup>, HAN Xiao-zeng<sup>1,2</sup>, WANG Feng-xian<sup>1,2</sup>, SONG Chun<sup>2</sup>, ZHU Xia<sup>2</sup>, LU Si-jia<sup>1,2</sup>

(1. Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China)

**Abstract:** Soil samples without fertilizer(CK), and with chemical fertilizer(NP) and chemical fertilizer amended with organic manure(NPM) were collected from the Hailun Agricultural Ecology Station of the Chinese Academy of Sciences to study the effects of different fertilizations on phosphorus supplying in black soil by pot experiment. The results showed that organic P in NP and NPM soils had stronger mineralization than that in CK soil, and planting maize was in favor of mineralization of soil P; The basic P supplying ability of CK soil was weaker than that of NP and NPM soils, and fertilization improved P supplying ability of CK soil, however, fertilization had little effect on the P supplying ability. Long-term planting crops without fertilizer application made P of soil in exhausting, and NK fertilization and planting crops increased the consumption of soil P. CK soil had weaker P supplying ability, and the dependence of crops on soil P was lower, but it had higher efficiency in P utilization, so that P fertilization had obvious effect on crop yield increasing, however, NP and NPM soil had a reverse effect.

**Keywords:** fertilization system; P supplying ability; black soil