

# 长期施有机肥与缺素施肥对潮土微生物活性的影响<sup>①</sup>

陈梅生<sup>1,2,3</sup>, 尹睿<sup>1,2\*</sup>, 林先贵<sup>1,2</sup>, 张华勇<sup>1,2</sup>, 王俊华<sup>1,2</sup>, 钦绳武<sup>1</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 利用中国科学院封丘农业生态国家实验站潮土农田生态系统养分平衡长期定位试验地, 研究长期施有机肥或缺素施肥对农田土壤呼吸强度及酶活性的影响。结果发现, 与不施肥对照(CK)相比, 施肥处理均不同程度地提高了土壤的呼吸强度及转化酶、脲酶与磷酸酶活性; 从 N、P、K 平衡施肥角度比较, 施有机肥(OM)与有机无机配施(1/2OM+1/2NPK)的效果均显著高于施无机肥( $p < 0.05$ ); 从缺素施肥角度分析, 缺 P 显著低于 NPK 处理( $p < 0.05$ ), 缺 N 次之, 缺 K 影响较小。结果表明, 长期配施有机肥更有利于提高潮土的微生物活性, 长期缺施 P 肥最不利于保育潮土的微生物学质量。

**关键词:** 长期定位施肥; 土壤酶活; 呼吸强度; 土壤质量

**中图分类号:** S154.36

农田生态系统是在自然基础上经人工控制形成的农业生态系统中的亚生态系统, 提供了全世界 66% 的粮食供给<sup>[1]</sup>, 稳定而优质的土壤质量是保证农田生态系统服务功能的基础。但是, 随着农业生产的发展, 土地的高强度利用导致土壤营养元素缺乏、肥力质量下降, 制约了作物的产量、品质以及农业经济效益<sup>[2]</sup>, 因此, 施肥已经成为保障作物产量和粮食安全的必由途径。然而长期施肥又会对土壤性质产生深远的影响。为了研究施肥对土壤的影响, 国外已有长达 160 多年历史的长期定位试验, 并积累了宝贵的研究资料<sup>[3]</sup>, 解决了许多实际问题。我国的长期肥料试验起始于 20 世纪 50 年代, 之后随着农业的发展和肥料的大量施用, 并受国外大量长期肥料定位试验结果对现实农业生产指导作用的启迪<sup>[4-6]</sup>, 中国科学院在全国不同生态类型区布置了“土壤养分循环和平衡的长期定位试验”<sup>[7]</sup>。

土壤是微生物的最大栖息地, 而土壤微生物在物质养分循环中也起着极其重要的作用, 影响着土壤的物质能量循环甚至整个土壤的质量。国内外学者愈来愈认识到微生物在整个生态系统中的重要功能, 并把注意力从研究土壤理化性质作为持续性指标来评价土壤肥力及其对作物产量的影响, 逐步转移到用土壤微生物参数来评估土壤的健康和质量, 如土壤微生物生物量、土壤酶活性以及微生物多样性等<sup>[8]</sup>。土壤呼吸

强度一般指土壤吸收 $O_2$ 和释放 $CO_2$ 的强度, 而土壤微生物活动是土壤呼吸的主要来源, 因此通常作为表征土壤生化强度的总指标, 可以用来表示土壤中微生物总的代谢能力, 是衡量土壤微生物整体活性的重要指标。土壤酶是土壤的重要组分, 主要来源于土壤微生物、植物根系及土壤动物, 是土壤养分循环的重要推动力, 在土壤的发生发育以及土壤肥力的形成过程中起着重要作用。近些年来, 土壤酶活性作为表征土壤性质的生物活性指标, 已被广泛应用于评价土壤营养物质的循环转化情况, 以及评价各种农业措施和肥料施用的效果<sup>[9]</sup>。

在长期的农业科学研究与农业生产实践中, 人们发现有机肥能够改善土壤养分库容, 提高土壤供肥容量。研究表明长期施有机肥能够显著增加土壤的微生物生物量、脱氢酶活性以及硝化和反硝化潜力。关松荫<sup>[10]</sup>认为施有机肥可能从多个方面保养与改善土壤。大量科研结果与生产实践证明, 植物营养缺乏会引起生产率降低, 甚至是各种缺素症。而土壤缺素会直接影响植物营养缺乏, 最终导致农田生产力低下。本研究以中国科学院封丘农业生态国家实验站长期施肥试验地为平台, 研究施有机肥与缺素施肥对农田土壤酶活性及呼吸强度的影响, 用以评估长期不同施肥对潮土微生物学性状的影响, 以为合理制定施肥策略提供科学依据。

<sup>①</sup>基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-408)和国家重点基础研究发展规划项目(2005CB121108)资助。

\* 通讯作者(ryin@issas.ac.cn)

作者简介: 陈梅生(1980—), 男, 江苏宿迁人, 硕士研究生, 主要从事微生物生态研究。E-mail: mschen@issas.ac.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

中国科学院封丘农业生态国家实验站 (35°04' N, 113°10' E), 位于黄淮海平原内, 土壤类型为轻壤质黄潮土, 该区属半干旱、半湿润的暖温带季风气候, 年均降水量 650 mm。年均温度 13.9℃。潮土农田生态系统养分平衡长期定位施肥试验始于 1989 年秋季, 采用夏玉米-冬小麦的轮作方式。试验开始时土壤各种养分相对很贫瘠, 有机质 5.83 g/kg、全 N 0.445 g/kg、全 P 0.50 g/kg、全 K 18.6 g/kg、速效 N 9.51 mg/kg、速效 P (以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计) 1.93 mg/kg、速效 K (以 K<sub>2</sub>O 计) 78.8 mg/kg 和 pH 8.65, 土壤总体上呈缺 N、P 而富 K 的状态<sup>[7]</sup>。

### 1.2 试验设计

试验共包括 7 个处理: ①不施肥 (CK); ②有机肥 (OM); ③有机无机配施 (1/2OMNPK); ④化学肥料 N、P、K (NPK); ⑤化学肥料 N、P (NP); ⑥化学肥料 P、K (PK); ⑦化学肥料 N、K (NK)。每处理 4 次重复。随机区组排列, 小区面积为 47.5 m<sup>2</sup>。所施肥料 N、P、K 分别为尿素、过磷酸钙、硫酸钾, 各种肥料用量见表 1。试验用有机肥以粉碎的麦秆为主, 加入适量粉碎后的大豆饼和棉仁饼, 以提高有机肥的含 N 量, 每季用量约 4500 kg/hm<sup>2</sup>。有机肥经堆制发酵后再施用, 施用前先分析 N、P、K 养分含量, 以等 N 量为标准, 有机肥中的 P、K 不足部分用 P、K 化肥补足到等量。与当地农户当时所种大田的施肥量相比, 试验地的施肥量居中等水平。

表 1 试验小区肥料施用量 (kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 1 Fertilization in the experimental field

| 作物 | 施肥时期 | N 肥 | P 肥 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | K 肥 (K <sub>2</sub> O) |
|----|------|-----|--------------------------------------|------------------------|
| 小麦 | 基肥   | 90  | 75                                   | 150                    |
|    | 追肥   | 60  | 0                                    | 0                      |
| 玉米 | 基肥   | 60  | 60                                   | 150                    |
|    | 追肥   | 90  | 0                                    | 0                      |

### 1.3 土样采集及测定方法

土壤采集时间为 2006 年 3 月份小麦追肥前, 采集时土壤基本性质见表 2<sup>[11]</sup>。在各施肥处理小区内采用多点混合采样法采集耕作层 (0~15 cm) 土壤, 装入自封袋内, 带回实验室, 过 2 mm 筛, 4℃ 保存, 尽快测定。土壤呼吸强度用碱液吸收法测定<sup>[12]</sup>, 转化酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定<sup>[13]</sup>, 脲酶活性用靛酚比色法测定<sup>[14]</sup>, 磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色

法测定<sup>[14]</sup>。

表 2 供试土壤基本理化性质

Table 2 Basic physical and chemical properties of the tested soils

| 处理       | pH  | 有机 C<br>(g/kg) | 全 N<br>(g/kg) | 速效 P<br>(mg/kg) | 有效 K<br>(mg/kg) |
|----------|-----|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| OM       | 8.1 | 12.6           | 1.13          | 25.1            | 154             |
| 1/2OMNPK | 8.1 | 9.8            | 0.92          | 22.2            | 159             |
| NPK      | 8.0 | 7.0            | 0.64          | 14.3            | 146             |
| NP       | 7.9 | 6.6            | 0.65          | 14.3            | 48              |
| PK       | 8.1 | 5.6            | 0.54          | 30.5            | 216             |
| NK       | 8.0 | 4.7            | 0.48          | 2.4             | 243             |
| CK       | 8.4 | 4.7            | 0.43          | 1.8             | 64              |

### 1.4 数据分析

试验数据使用 SPSS13.0 进行统计分析, 并使用 Duncan 检验进行多重比较 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 施有机肥对土壤呼吸强度及酶活性的影响

图 1 示长期施有机肥对土壤呼吸强度和转化酶、脲酶、磷酸酶活性的影响。总的来看, 施肥处理 (OM、1/2OMNPK、NPK) 的各指标均高于未施肥处理 (CK), 这表明施肥增加了土壤的微生物活性, 并有利于营养物质的转化。与施用化肥 (NPK) 相比, 施用有机肥 (OM) 能显著提高土壤呼吸强度, 而有机无机配施 (1/2OMNPK) 在施有机肥 (OM) 与施无机肥 (NPK) 中间处于一个比较均衡的位置, 低于施有机肥, 高于施无机肥。结果显示, 施有机肥在保养微生物活性方面有较好的优势, 而施无机肥在提高微生物活性方面则远逊于施有机肥。

土壤转化酶又名蔗糖水解酶, 是有机质转化过程中重要的水解酶之一, 同时其产物也是土壤生物的重要能源<sup>[14]</sup>, 它对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用<sup>[15]</sup>。脲酶是一种比较专性以尿素为底物的水解酶, 其活性可以反映土壤有机态 N 向有效态 N 的转化能力和土壤无机 N 的供应能力<sup>[16]</sup>。土壤磷酸酶是 P 养分循环中重要的水解酶, 将土壤中有有机 P 水解为无机 P<sup>[17]</sup>, 该过程是土壤 P 素循环的一个重要过程。结果发现, 有机施肥 (OM) 显著增加了土壤转化酶、脲酶、磷酸酶活性, 有机无机配施 (1/2OM + 1/2NPK) 也在一定程度上促进了土壤酶活性的提高, 施无机肥 (NPK) 土壤酶活性最低。表明施有机肥可以维持土

壤营养元素的良好循环, 而有机无机配施则次之, 施无机肥最差。

另有研究<sup>[10]</sup>证明, 有机肥可能从下面几个方面保养与改善土壤: ①为植物提供各种营养元素, 提高土壤供肥水平; ②为土壤微生物提供营养源和能源; ③

提高土壤保水保肥能力和缓冲性能; ④利于形成良好的土壤结构; ⑤调节土壤的固液气三相的比例; ⑥提高土壤温度和改善土壤其他物理机械性能。这和我们结果中有机肥有利于促进土壤微生物活性和土壤中营养元素循环相统一。

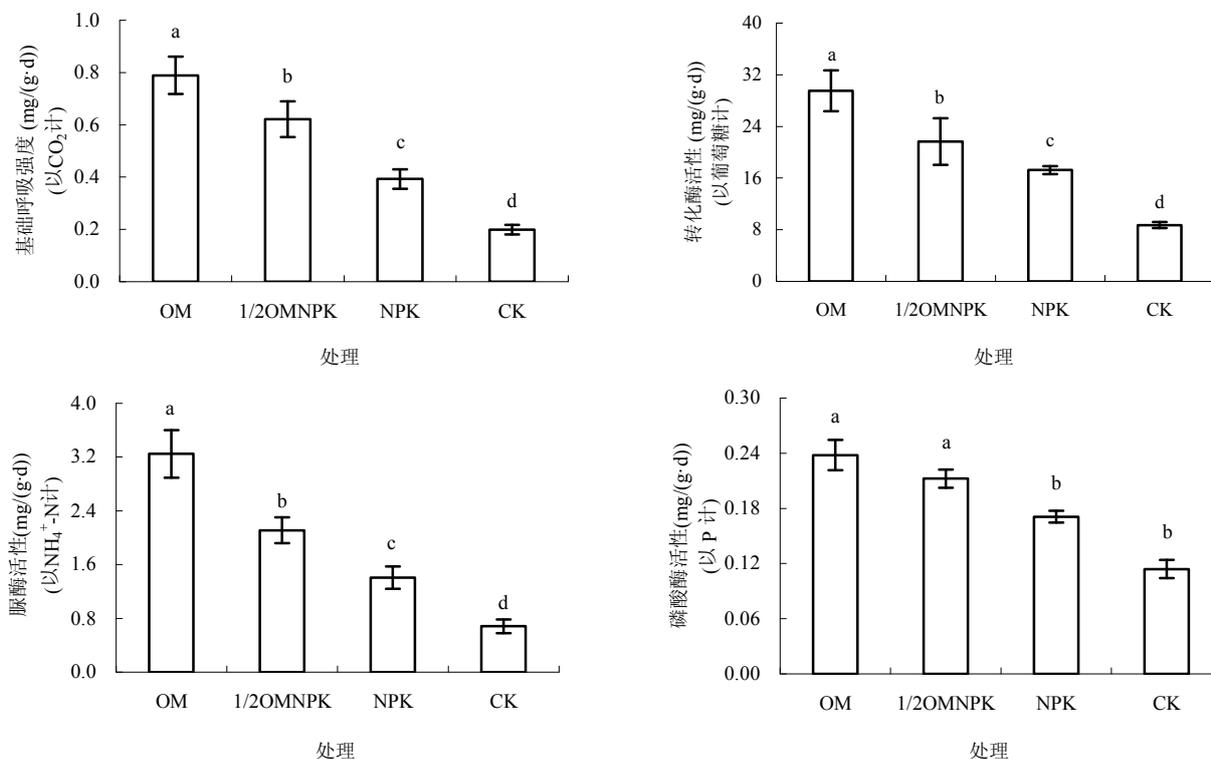


图1 长期施有机肥对土壤呼吸强度和转化酶、脲酶、磷酸酶活性的影响

Fig. 1 The effects of long-term organic matter fertilization on soil respiration and some soil enzyme activities

## 2.2 缺素施肥对土壤呼吸强度及酶活性的影响

长期的生产实践表明土壤缺素可导致土壤元素的缺乏, 从而影响土壤性质。图 2 示长期缺素施肥对封丘潮土呼吸强度和转化酶、脲酶、磷酸酶活性的影响。总的来看, 缺 N、P (PK、NK) 施肥对土壤微生物活性及酶活性影响较大, 显著低于均衡施肥 (NPK) 的水平; 缺 K 施肥 (NP) 与均衡施肥 (NPK) 之间各指标均无显著差异。与均衡施肥 (NPK) 相比, 缺 P 施肥 (NK) 比缺 N 施肥 (PK) 对土壤呼吸强度及转化酶、脲酶活性的促进作用相对较低, 这说明对于封丘潮土, P 元素对土壤性质的影响最大, N 次之, K 最小, 无机施肥中, 施用 P 肥在提高土壤质量方面有重要作用。

通过对土壤理化性质分析发现, 封丘潮土缺 N、P

而富 K, 尤其缺乏 P, P 已经成为封丘潮土最主要的限制性营养元素<sup>[14]</sup>。因此, 相对于 N、P、K 均衡施肥, 缺 P 施肥对土壤生物活性的促进作用最低, 而缺 N 施肥稍好, 缺 K 施肥的水平则与均衡施肥相近。Cai 和 Qin<sup>[18]</sup>研究了该试验小区 1990—2003 年的产量, 也发现缺 P 施肥 (NK) 小区的产量比缺 N 施肥 (PK) 小区更低, 缺 K 施肥的产量与均衡施肥比较接近, 这也说明施用 P 肥在提高土壤质量方面有着显著的作用。

## 3 结论

(1) 施有机肥比施无机肥更有利于提高土壤微生物活性以及维持土壤营养元素的良好循环, 有机无机配施也比施纯无机肥具有明显的优势。总的来说, 我

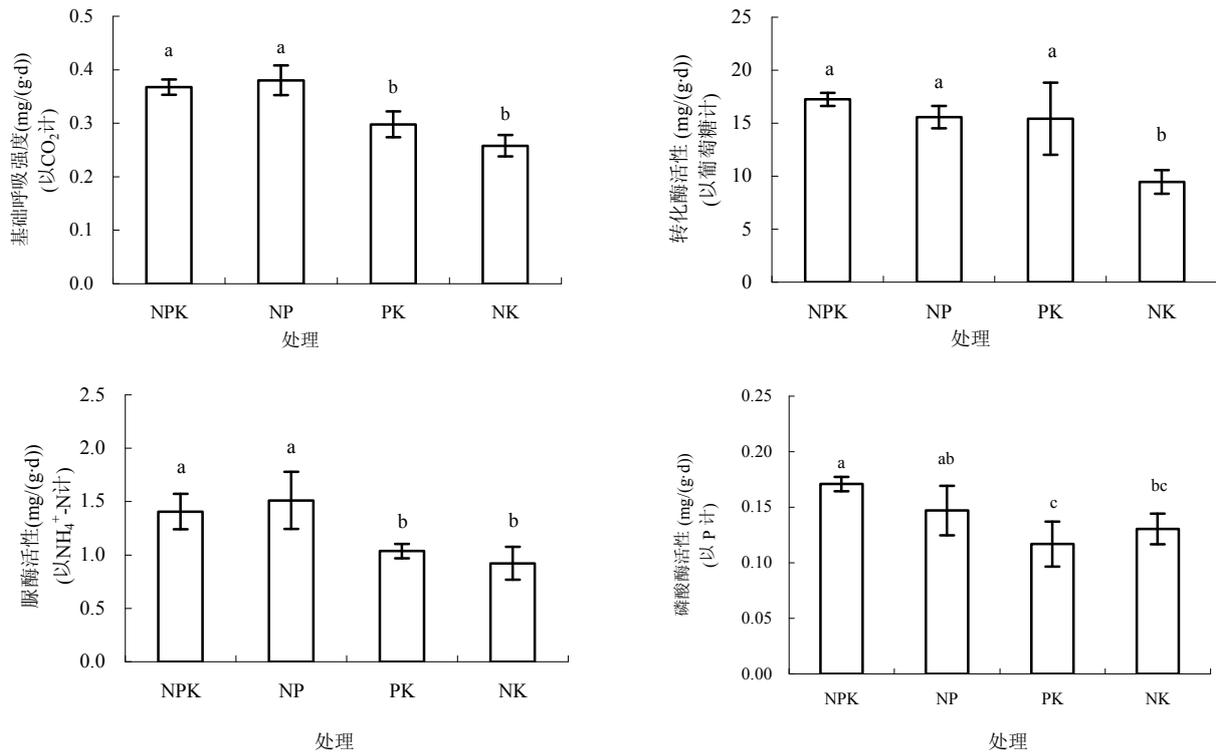


图2 长期缺素施肥对土壤呼吸强度和转化酶、脲酶、磷酸酶活性的影响

Fig. 2 The effects of long-term mineral fertilization on soil respiration and some soil enzyme activities

们认为施有机肥更有利于封丘土壤质量的保养和田生态环境的维护。

(2) P 元素是封丘潮土最大的限制因子, 其次是 N, 因而缺 P 施肥对土壤生物活性的促进作用最低, 缺 N 施肥稍好, 缺 K 施肥的水平则与均衡施肥相近, 对封丘潮土来说, P 肥的施用是提高土壤质量上有更显著的作用。

#### 参考文献:

- [1] 尹飞, 毛任钊, 傅博杰, 刘国华. 农田生态系统服务功能及其形成机制. 农业生态学报, 2006, 17(5): 929-934
- [2] 周修冲, 刘国坚, Portch S. 平衡施肥在广东“三高”农业中的作用. 广东农业科学, 1998 (1): 32-34
- [3] 范晓晖, 林德喜, 沈敏, 钦绳武. 长期试验地潮土的矿化与硝化作用特征. 土壤学报, 2005, 42(2): 340-343
- [4] 沈善敏. 国外的长期肥料试验 (一). 土壤通报, 1984, 15(2): 85-91
- [5] 沈善敏. 国外的长期肥料试验 (二). 土壤通报, 1984, 15(3): 134-138
- [6] 沈善敏. 国外的长期肥料试验 (三). 土壤通报, 1984, 15(4): 184-185
- [7] 钦绳武, 顾益初, 朱兆良. 土壤肥力演变和施肥作用的长期定位实验初报. 土壤学报, 1998, 35(3): 367-375
- [8] Warentin BP. The concept of soil quality. Journal of Soil, Land and Water Conservation, 1995, 50: 226-228
- [9] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96
- [10] 关松荫. 土壤酶及研究法. 北京: 农业出版社, 1986
- [11] Chu HY, Fujii T, Morimoto S, Lin XG, Yagi K, Hu JL, Zhang JB. Community structure of ammonia-oxidizing bacteria under long-term application of mineral fertilizer and organic manure in a sandy loam soil. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73: 485-491
- [12] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986: 1
- [13] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987: 5
- [14] Acosta-Martinez V, Tabatabai MA. Enzyme activities in a limed agricultural soil. Biology and Fertility of Soils, 2000, 31: 85-91
- [15] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用. 植物营养与肥料

- 学报, 2003, 9(4): 406-410
- [16] 张为政, 祝廷成, 张镇媛, 杨靖春. 作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响. 土壤肥料, 1993 (5): 12-14
- [17] 程国华, 郭树凡, 薛景珍, 董翔云, 郭鹏程. 长期施用含氯化肥对土壤酶活性的影响. 沈阳农业大学学报, 1994, 25(4): 360-365
- [18] Cai ZC, Qin SW. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Geoderma*, 2006, 136 (3/4): 708-715

## Effects of Organic Manure or Mineral Fertilizer Application on Microbial Activity in a Sandy Loam Soil

CHEN Mei-sheng<sup>1,2,3</sup>, YIN Rui<sup>1,2</sup>, LIN Xian-gui<sup>1,2</sup>, ZHANG Hua-yong<sup>1,2</sup>, WANG Jun-hua<sup>1,2</sup>, QIN Sheng-wu<sup>1</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;*

*2 Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences and Hongkong Baptist*

*University, Nanjing 210008, China; 3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** Changes in soil enzyme activities and respiration were investigated in response to a series fertilization regimes in a long-term field experiment in order to evaluate nutrition equipoise in a fluvo-aquic soil at the Fengqiu National Agro-Ecological Experiment Station in Fengqiu, China under different fertilization treatments including control (CK), nitrogen + potassium (NK), phosphorus + potassium (PK), nitrogen + phosphorus (NP), nitrogen + phosphorus + potassium (NPK), organic manure (OM), and 1/2OM +1/2 NPK. Results showed that soil enzyme activities (invertase, urease and phosphatase) and respiration were significantly influenced by long-term fertilization. In general, organic manure fertilization was more beneficial for improving the soil respiration and soil hydrolytase activities related with the recycling of carbon, nitrogen and phosphorus than chemical fertilizer application. Balanced chemical fertilizer application was more beneficial than unbalanced chemical fertilizer application except the treatment of nitrogen + phosphorus. It suggested that organic manure application will maintain or improve soil quality, especially to soil biochemical properties.

**Key words:** Long-term fertilization regime, Soil enzyme activity, Soil respiration, Soil quality