

# 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响

刘恩科<sup>1,3</sup> 赵秉强<sup>1,3\*</sup> 李秀英<sup>1</sup> 姜瑞波<sup>1</sup> 李燕婷<sup>1</sup> Hwat Bing So<sup>2</sup>

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081) (2 昆士兰大学土地和食品科学学院,布里斯班 4072,澳大利亚)

(3 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,北京 100081)

**摘要** 该文以北京国家褐潮土土壤肥力与肥料效益长期监测基地的长期肥料定位试验为平台,研究了长期不同施肥制度对土壤的生物学特性及其土壤酶的影响。主要研究结果:长期撂荒土壤(15年)的有机质和全氮(TN)的含量、微生物量碳(SMB-C)和氮(SMB-N)、土壤的蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性以及SMB-C/SOC(土壤有机碳)和SMB-N/TN比值都高于种植作物的农田土壤,而其代谢商和容重值低于农田土壤。长期施肥的农田(NPK、NPKM、NPKS和NPKF)其土壤养分含量、微生物量碳和氮以及土壤蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性均高于不施肥的农田(CK),而小麦(*Triticum aestivum*)-玉米(*Zea mays*)→小麦-大豆(*Glycine max*)复种轮作(NPKF)的农田又高于长期复种连作(NPK)的农田,在施肥处理中(NPK、NPKM、NPKS和NPKF),长期化肥与有机肥配合施用的处理(NPKM)的土壤上述指标高于其它施肥处理(NPK、NPKS和NPKF),但其土壤的代谢商、pH值和容重值较低。

**关键词** 长期肥料试验 施肥制度 土壤微生物量  $qCO_2$  土壤酶活性

## BIOLOGICAL PROPERTIES AND ENZYMATIC ACTIVITY OF ARABLE SOILS AFFECTED BY LONG-TERM DIFFERENT FERTILIZATION SYSTEMS

LIU En-Ke<sup>1,3</sup>, ZHAO Bing-Qiang<sup>1,3\*</sup>, LI Xiu-Ying<sup>1</sup>, JIANG Rui-Bo<sup>1</sup>, LI Yan-Ting, and HWAT Bing So<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China, <sup>2</sup>School of Land and Food Sciences, University of Queensland, Brisbane, Queensland 4072, Australia, and <sup>3</sup>Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

**Abstract Aims** Cropping practices and fertilizer/organic matter application affects the soil microbial growth and activity. In china, only few studies have been conducted on the influence of long-term fertilizer and organic matter with fertilizer application on the soil biological properties. Our objective was to study the changes in soil biological and biochemical characteristics under a long-term(15 years) field experiment involving fertility treatments(inorganic fertilizers and organic matter with fertilizers) and two crop rotation systems.

**Methods** In 1990, thirteen different treatments were established in the Drab Fluvo-aquic soil in Beijing for the long-term experiment. Six treatments were chosen in this study. Four were in a wheat-maize rotation receiving no fertilizer(CK), mineral fertilizers(NPK), mineral fertilizers plus farmyard manure(NPKM) and mineral fertilizers with maize straw incorporated(NPKS). One was in a wheat-maize/wheat-soybean rotation receiving NPK(NPKF). The other was abandoned arable land(CK0) growing weeds. The amount of chemical fertilizer per year was N 150 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg·hm<sup>-2</sup>, K<sub>2</sub>O 45 kg·hm<sup>-2</sup>, manure 22.5 Mg·hm<sup>-2</sup> and maize straw 2.25 Mg·hm<sup>-2</sup>. Established methods were used to analyze soil enzymes and soil physical and chemical characteristics. Analysis was done using an integrative method combining correlation and component analyses in SPSS.

**Important findings** The soil organic C(SOC) and total N(STN) content, microbial biomass C(SMB-C) & N(SMB-N), activities of soil invertase, phosphatase and urease, and the ratio of SMB-C/SOC and SMB-N/STN were found higher in long-term(15 years) abandoned arable land than those in cultivated arable land soils. However, the soil metabolic quotient, pH value and bulk density of fallow soil were lower than those in cultivated arable land soils. The soil nutrient concentration, microbial biomass C & N, activities of soil invertase, phosphatase and urease, were higher in treatments with fertilizer application(NPK, NPKM, NPKS and NPKF) compared to no fertilizer application treatment(CK). The above soil parameters were also found higher

收稿日期:2006-10-12 接受日期:2007-10-09

基金项目:国家自然科学基金(30471012) 国家基础研究重大项目前期研究专项(2001CCB00800和2003CCB00300)和中国农业科学院杰出人才基金项目

本文在农业部植物营养与养分循环重点实验室完成

\* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: bqzhao@sohu.com

in wheat-maize/wheat-soybean rotation cropping system compared to continuous wheat-maize cropping system. Among the fertilizer application treatments ( NPK , NPKM , NPKS and NPKF ), NPKM had relative higher soil nutrient concentration , microbial biomass C & N , and enzyme activities compared to other fertilizer application treatments. However , the soil metabolic quotient , pH value and bulk density of NPKM were lower than them.

**Key words** long-term fertilization experiment , fertilization systems , soil microbial biomass ,  $qCO_2$  , soil enzyme activity

土壤质量不仅取决于土壤的理化性质,而且与土壤的生物学性质密切相关。土壤微生物生物量、土壤呼吸和酶活性等生物特性比土壤有机质、养分含量等其它理化性状能更敏感地对土壤质量的变化做出响应(Doran *et al.* , 1996)。土壤微生物生物量既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库,其对土壤环境因子的变化极为敏感,土壤的微小变动均会引起其活性变化。土壤呼吸是指土壤释放  $CO_2$  的过程,是农田生态系统碳循环的一个重要过程,也是土壤碳库主要输出途径,通常作为土壤生物活性、土壤肥力乃至透气性的指标(Fu *et al.* , 2002; Neilson & Pepper , 1990)。土壤酶是土壤物质循环和能量流动的重要参与者,是土壤生态系统中最活跃的组分之一。土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶等水解酶活性能够表征土壤碳、氮、磷等养分的循环状况,而土壤脱氢酶常被认为是土壤微生物活性的一个有效指标(Visser & Parkinson , 1992)。

施肥是影响土壤质量演化及其可持续利用最为深刻的农业措施之一。过去人们关于施肥对土壤物理、化学性质及其环境的影响效应做了大量研究(Belay *et al.* , 2002)。近 20 年来,土壤的生物学特性在土壤肥力与质量中作用的研究得到不断加强。前人研究认为施用有机肥料可以显著地提高土壤微生物量碳、氮的含量以及土壤酶活性,并且随着有机肥料施用量的增大,效果越明显(Plaza *et al.* , 2004; Kautz *et al.* , 2004; 徐阳春等, 2002)。施用化学肥料也有提高土壤微生物量的效应,但过量的施用化肥(氮磷钾),降低了土壤微生物量碳的含量(Masto *et al.* , 2006)。但前人的研究大多集中在施用化肥或有机肥对一种或两种土壤微生物学指标的影响,而在我国系统的研究长期施用化肥、有机肥、秸秆还田以及轮作等措施对土壤生物量、土壤呼吸和土壤酶活性等多种土壤生物学指标影响较少,特别是以长期试验为平台,研究长期撂荒与种植作物对土壤微生物学特性的影响更少。因此本研究是以北京昌平国家褐潮土土壤肥力与肥料效益长期监测基地的长期肥料定位试验为研究平台,研究了长期不同施

肥制度对土壤生物学特性的影响,为建立合理施肥制度,提高土壤质量和实现土壤可持续利用提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验点基本情况

试验在“国家褐潮土土壤肥力与肥料效益长期监测基地”的大田长期肥料定位试验中进行。监测基地位于北京市昌平区  $40^{\circ}13' N$  ,  $116^{\circ}14' E$  ,海拔高度为 43.5 m ,年平均温度为  $11^{\circ}C$  ,  $\geq 10^{\circ}C$  积温为  $4500^{\circ}C$  ,年降雨量为 600 mm ,年蒸发量为 1065 mm ,无霜期为 210 d ,灾害性天气主要是春旱和夏季暴雨。试验始于 1990 年,土壤母质为黄土性物质,属褐潮土,试验开始时耕层土壤理化性质为:有机质  $12.310 g \cdot kg^{-1}$ 、全氮  $0.805 g \cdot kg^{-1}$ 、全磷  $0.687 g \cdot kg^{-1}$ 、全钾  $14.582 g \cdot kg^{-1}$ 、速效磷  $4.62 mg \cdot kg^{-1}$ 、速效钾  $65.27 mg \cdot kg^{-1}$ 、缓效钾  $407.60 mg \cdot kg^{-1}$ 、pH 值 8.22。

### 1.2 试验设计

本研究选择了 6 个长期肥料试验处理:1)对照(CK,不施肥种植作物);2)氮磷钾(NPK);3)氮磷钾+有机肥(NPKM);4)氮磷钾+秸秆(NPKS);5)氮磷钾肥+种植方式II(NPKF);6)撂荒(CK0)。

其中,氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾,施用量分别为  $N 150 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P_2O_5 75 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $K_2O 45 kg \cdot hm^{-2}$ ;M 为有机肥(猪厩肥),用量  $22.5 Mg \cdot hm^{-2}$ ,养分含量分别为  $N 146 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P 63 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $K 78 kg \cdot hm^{-2}$ ;S 为玉米秸秆,用量  $2.25 Mg \cdot hm^{-2}$ ,养分含量分别为  $N 18 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P 3 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $K 23 kg \cdot hm^{-2}$ 。化肥于小麦(*Triticum aestivum*)和玉米(*Zea mays*)或大豆(*Glycine max*)播种前一次性施入,猪厩肥和秸秆还田 1 年施用 1 次,于小麦播种前做基肥。种植制度 I 为冬小麦→夏玉米复种连作,包括 CK、NPK、NPKM 和 NPKS 处理;种植方式 II 为冬小麦-玉米→冬小麦-大豆复种轮作,包括 NPKF 处理。小区处理面积  $200 m^2$ ,为大区对比试验,未设重复。

### 1.3 测试方法

试验于 2005 年 10 月 2 日夏玉米收获后在田间取样,每个处理分为 3 个重复取样小区,取 0~20 cm 耕层土壤。3 个取样小区再分别取 5 个点的土壤混匀后作为该取样小区的样品。新鲜土样通过 2 mm 筛后,4 °C 保存供分析微生物生物量碳和氮;另一部分在室温下风干,过 1 和 0.25 mm 筛,用于土壤化学性状和土壤酶活性的测定。

土样微生物量碳和氮采用 Joergensen 和 Mueller (1996) 及 Vance 等 (1987) 的氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法,浸提液中的微生物量碳采用 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 加热氧化,FeSO<sub>4</sub> 滴定法;浸提液中的微生物量氮采用凯氏定氮法。每个土样重复 3 次测定。土壤呼吸采用室内密闭培养法测定(鲁如坤,2000)。用 NaOH 溶液作为 CO<sub>2</sub> 吸收溶液。培养完毕后,用标准酸滴定 NaOH 溶液。

土壤转化酶活性和过氧化氢酶活性、脲酶活性、磷酸酶活性依次用硫代硫酸钠滴定法、高锰酸钾滴定法、靛酚蓝比色法和磷酸苯二钠比色法测定(关松荫,1986)。蔗糖酶活性以 24 h 后每克土消耗 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 硫代硫酸钠毫升数表示,过氧化氢酶活性以每克土消耗 0.02 mol·L<sup>-1</sup> 高锰酸钾毫升数表示,脲酶活性以每克土 NH<sub>3</sub>-N 的微克数表示,磷酸酶活性以每克土酚的毫克数表示。

土壤基本理化性状采用常规分析法测定(鲍士旦,2000)。有机质用重铬酸钾容量法;全氮用半微量凯氏法;全磷用高氯酸-硫酸-钼锑抗比色法;速效磷用 0.5 mol·L<sup>-1</sup> 碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法。

#### 1.4 数据处理

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS10.0 软件包进行单因素方差(One-Way ANOVA)分析,不同处理之间多重比较采用 LSD 方法,然后经过 *t* 检验(*p* <

0.05)。绘图由 SigmaPlot8.0 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥制度土壤基本理化性状

从表 1 可以看出,与长期不施肥种植作物(CK)相比,施肥可以显著提高土壤有机质、全氮、全磷和速效磷的含量,同时还可以降低土壤 pH 值和容重。在各施肥处理中,长期化肥与有机肥配施处理(NPKM)的土壤有机质、全氮、全磷和速效磷的含量最高,与 CK 相比,分别增加 62.07%、91.53%、175.0% 和 6 195.9%。长期施用化肥并且小麦和玉米两种作物复种连作(NPK),虽然可以提高各养分的含量,但在 4 种施肥制度中,其各养分含量最低,并且其 pH 值和容重值较高;而长期施化肥并且小麦-玉米→小麦-大豆复种轮作的处理(NPKF)与长期复种连作相比,可以较明显的提高养分含量,同时降低 pH 值和容重。长期撂荒的处理(CK0)可以显著提高土壤有机质和全氮含量,降低容重值,但对土壤磷素含量影响较少。

### 2.2 不同施肥制度对土壤微生物量碳与氮的影响

表 2 结果表明,长期不同施肥措施对土壤微生物量碳氮产生显著影响。长期撂荒土壤微生物量碳氮显著高于其它各农田土壤处理,这与前人报道的撂荒下表土层微生物生物量和微生物过程总是显著地高于耕翻土壤的结果相似(Sall *et al.*, 2006)。不同的农田土壤 4 种施肥处理(NPKM、NPKF、NPKS 和 NPK)的微生物量碳氮都显著高于长期不施肥处理。说明施肥有利于提高土壤微生物量碳氮的含量。其中长期化肥与有机肥配施处理明显提高了土壤微生物量碳氮的含量。不同的种植方式,长期复种轮作处理的微生物量碳氮显著高于长期复种连作。

表 1 不同施肥制度对土壤基本理化性质的影响

Table 1 Effects of long-term different fertilization systems on soil physic-chemical properties (0–20 cm)

处理 Treatments	有机质 Organic matter (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	容重 Bulk density (g·cm <sup>-3</sup> )
CK	10.36 <sup>c</sup>	0.59 <sup>d</sup>	0.56 <sup>d</sup>	2.21 <sup>d</sup>	8.48 <sup>a</sup>	1.341 <sup>a</sup>
NPK	12.55 <sup>b</sup>	0.69 <sup>cd</sup>	0.72 <sup>bc</sup>	14.88 <sup>c</sup>	8.30 <sup>b</sup>	1.334 <sup>a</sup>
NPKM	16.79 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>	139.14 <sup>a</sup>	8.21 <sup>b</sup>	1.312 <sup>a</sup>
NPKS	13.70 <sup>b</sup>	0.80 <sup>bc</sup>	0.76 <sup>b</sup>	18.89 <sup>b</sup>	8.24 <sup>b</sup>	1.328 <sup>a</sup>
NPKF	14.11 <sup>b</sup>	0.85 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	18.97 <sup>b</sup>	8.22 <sup>b</sup>	1.326 <sup>a</sup>
CK0	18.92 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	0.61 <sup>cd</sup>	2.58 <sup>d</sup>	8.29 <sup>b</sup>	1.118 <sup>b</sup>

CK 对照 Control NPK: 氮磷钾 N, P and K NPKM: 氮磷钾 + 有机肥 NPK + organic fertilizer NPKS: 氮磷钾 + 秸秆 NPK + maize straw NPKF: 氮磷钾 + 种植方式 II NPK + planting patterns II CK0: 撂荒 Abandoned 表中的小写字母表示 5% 水平的差异显著性 The small letters represent significant level at 5% level

表 2 不同施肥制度对土壤微生物量碳氮含量的影响

Table 2 The effect of long-term different fertilization systems on soil microbial biomass C and N of soil (0–20 cm)

处理 Treatments	SMB-C ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	SMB-N ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	SMB-C/SOC (%)	SMB-N/TN (%)	土壤微生物碳氮比 SMB-C/SMB-N
CK	133.28 <sup>d</sup>	16.97 <sup>e</sup>	2.22 <sup>e</sup>	2.86 <sup>d</sup>	7.86 <sup>a</sup>
NPK	167.94 <sup>cd</sup>	32.53 <sup>d</sup>	2.31 <sup>b</sup>	4.73 <sup>c</sup>	5.16 <sup>b</sup>
NPKM	226.95 <sup>b</sup>	59.53 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	5.28 <sup>b</sup>	3.81 <sup>d</sup>
NPKS	181.82 <sup>c</sup>	39.09 <sup>cd</sup>	2.29 <sup>bc</sup>	4.91 <sup>c</sup>	4.65 <sup>c</sup>
NPKF	194.02 <sup>c</sup>	43.96 <sup>c</sup>	2.37 <sup>b</sup>	5.16 <sup>b</sup>	4.41 <sup>c</sup>
CK0	282.57 <sup>a</sup>	70.17 <sup>a</sup>	2.58 <sup>a</sup>	5.98 <sup>a</sup>	4.03 <sup>cd</sup>

SMB: 土壤微生物 Soil microbial biomass SOC: 土壤有机碳 Soil organic C TN: 全氮 Total N 表注见表 1 Notes see Table 1

土壤微生物商(MBC/SOC)可以指示土壤进化和土壤健康的变化,比土壤微生物量碳和土壤有机碳更有效的反应土壤质量的变化(Sparling, 1992)。长期撂荒处理,土壤微生物商显著高于农田土壤,这与 Saggarr 等(2001)研究是一致的。长期施肥处理的土壤微生物商高于 CK,而 4 种施肥处理土壤微生物商没有显著的差异。

微生物量氮与土壤全氮的比值(SMB-N/TN)变化趋势与土壤微生物量氮的变化趋势基本相似,均为长期撂荒处理高于长期施肥处理,长期施肥处理高于长期不施肥的处理。其中各施肥处理中,长期化肥与有机肥配施的 SMB-N/TN 值最高。

土壤微生物量碳/土壤微生物量氮比可反映微生物群落结构信息,其显著的变化喻示着微生物群落结构变化可能是微生物量较高的首要原因(Lovell *et al.*, 1995)。从表 2 中我们可以看出,长期化肥与有机肥配施 SMB-C/SMB-N 的比值最低,其比值显著低于其它各处理,其次为长期撂荒处理,长期不施肥

处理比值最高。

### 2.3 不同施肥制度对土壤基础呼吸和代谢商的影响

土壤基础呼吸一定程度上反映了微生物的整体活性,本试验结果表明长期化肥与有机肥配施处理的呼吸量最高,其次为长期撂荒处理,而长期不施肥种植作物的土壤呼吸量最低。长期复种轮作土壤的基础呼吸量要高于长期复种连作。

$q\text{CO}_2$  表明了微生物群落的维持能大小和对基质的利用效率。效率高,则形成单位微生物质量所呼出的  $\text{CO}_2$  少,  $q\text{CO}_2$  较小;  $q\text{CO}_2$  较大则说明利用相同能量而形成的微生物量较小,释放的  $\text{CO}_2$  较多,微生物体的周转率较快,平均菌龄较低。从图 1 可以看出,长期不施肥种植作物的土壤代谢商最高,其次为各施肥处理,而长期撂荒的土壤代谢商最低。在各施肥处理中,长期复种连作处理代谢商最高,可以达到  $28.23 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{C} \cdot \text{mg}^{-1} \text{biomass C} \cdot \text{d}^{-1}$ ,而长期复种轮作处理和长期化肥与有机肥配施处理的土壤代

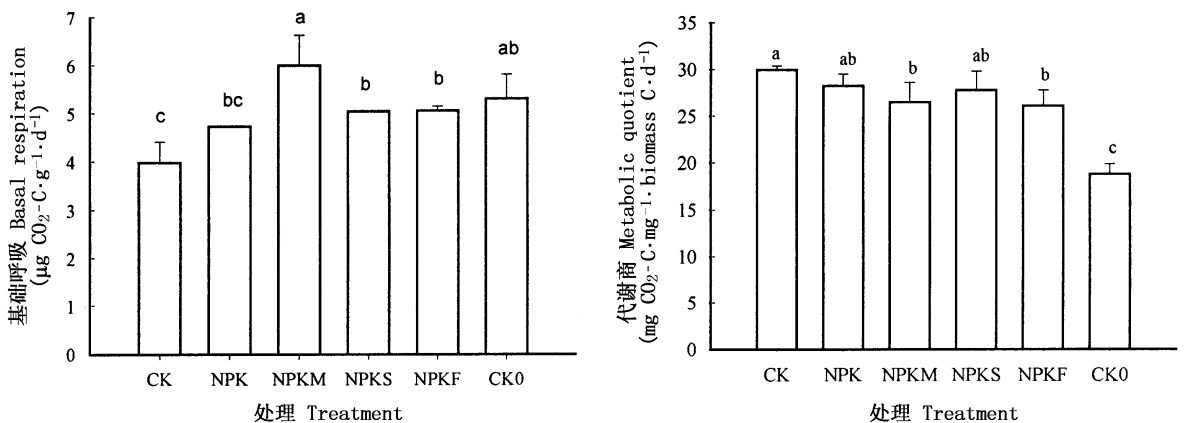


图 1 不同施肥制度对土壤基础呼吸和代谢商的影响

Fig. 1 Effects of long-term different fertilization systems on basal respiration and the metabolic quotient in the 0–20 cm soil layer

各个处理见表 1 Treatments see Fig. 1 相同字母表示处理间差异不显著 Means associated with the same letter are not significantly different ( $p \leq 0.05$ )

谢商较低。

### 2.4 不同施肥制度对土壤酶活性的影响

转化酶又名蔗糖酶,研究结果表明,各施肥处理蔗糖酶活性均高于长期不施肥种植作物的处理,而小于长期撂荒处理;从种植方式来看,采用长期复种轮作比长期复种连作更能明显提高转化酶活性。

脲酶是对尿素转化起关键作用的酶,分析表明,与长期不施肥土壤(CK 和 CK0)相比,长期合理施肥能够提高土壤脲酶的活性,其中长期化肥与有机肥配施处理的脲酶活性最高,其次为长期秸秆还田处理,说明增施外源的有机物质(厩肥、秸秆)有利于提

高土壤脲酶的活性。从种植方式来看,长期复种轮作能够增加土壤脲酶活性。

从图2中可以看出,长期撂荒处理磷酸酶活性显著高于其它处理,在农田土壤中,长期施肥的处理显著高于长期不施肥的处理,各施肥处理与CK相比磷酸酶活性增加17.7%~51.9%。

从图2中我们可以看出,长期撂荒和长期不施肥种植作物的处理过氧化氢酶活性高于长期施肥处理,这与有些文献报道长期施肥可以提高土壤过氧化氢酶活性不同,可能是由于所研究的土壤类型、施肥方式及肥料用量不同的缘故。

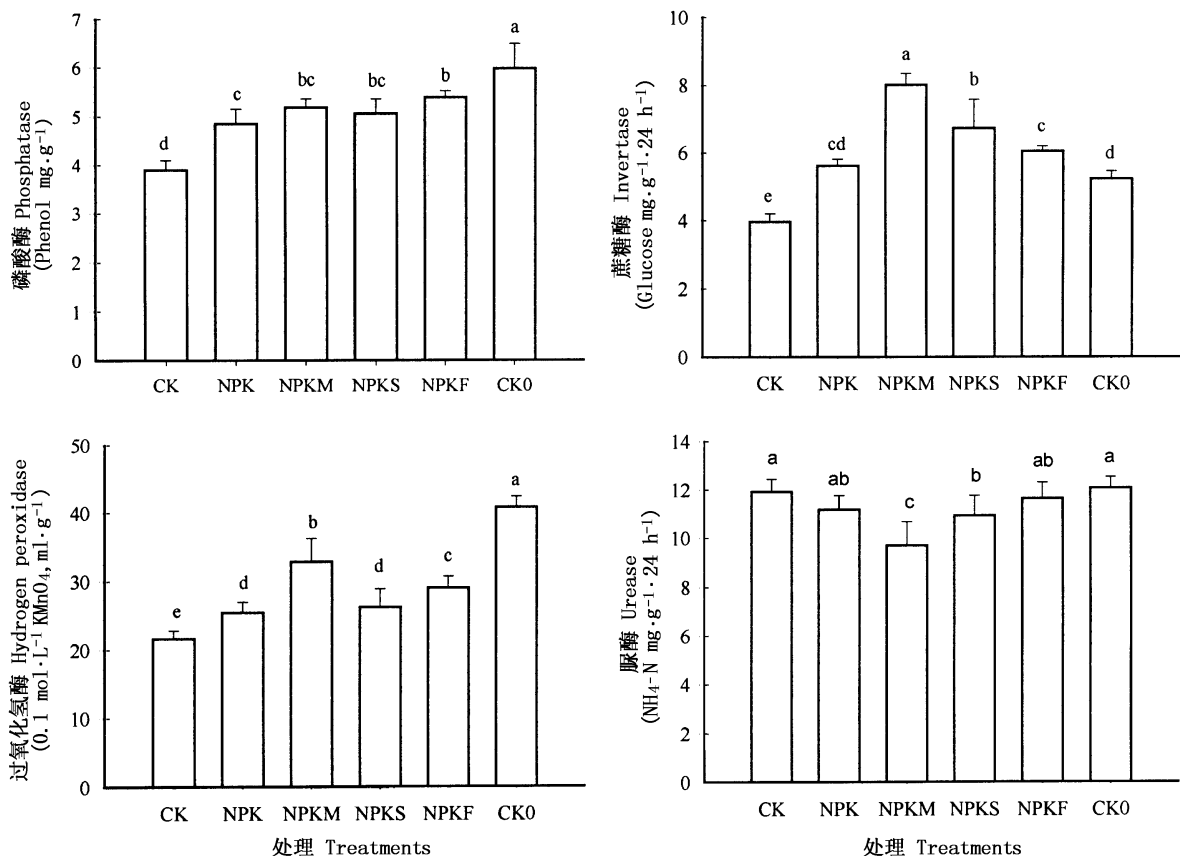


图2 不同施肥制度对土壤酶活性的影响  
Fig.2 Changes in soil enzymatic activities in long-term different fertilization systems  
图注见图1 Notes see Fig. 1

### 3 讨论

1) 长期撂荒的处理可以显著提高土壤有机质和全氮含量,降低土壤容重值,但对土壤磷素含量影响较少。农田土壤中,长期化肥与有机肥配施处理的土壤有机质、全氮、全磷和速效磷含量最高,并且

其可以降低pH值和容重值,这与Goyal等(1999)的研究相一致。长期复种轮作处理和长期秸秆还田处理与长期单施化肥处理相比,可以较明显的提高养分含量,同时降低pH值和容重。

2) 长期撂荒的土壤,微生物量碳氮的含量显著高于农田土壤,产生这种差异的原因是撂荒不扰动

土层 植物残体主要积累在表土层中 相应地可供微生物维持生命活动的能量充足 同时 长期撂荒使植物根系多集中分布于表土层 根系分泌的大量低分子量的根系分泌物也加剧了土壤微生物的繁衍 使其生命活动旺盛 从而导致该土层中土壤微生物生物量碳氮含量比农田土壤的高。并且长期撂荒可明显地提高微生物商 这与 Sparling(1997) 等研究是一致的 他认为土壤被开发利用 土壤微生物量碳库下降速率比土壤有机质的下降速率快 微生物商也随之降低。

对于农田土壤 不同施肥管理和轮作措施对土壤微生物生物量也具有明显的影响 与不施肥处理土壤相比 施肥可以显著的提高土壤的微生物量碳氮的含量 其中长期化肥与有机肥配施的效果最为明显 主要原因是施肥可以增加生物产量 改善土壤环境 有利于土壤有机质的降解和微生物量碳的增加。小麦-玉米→小麦-大豆复种轮作方式土壤的微生物量碳氮的含量高于玉米-小麦复种连作方式。长期施秸秆还田处理与长期单施化肥相比 并没有显著提高土壤微生物量碳氮的含量。

3)  $qCO_2$  值的变化能够反映土壤微生物种群利用土壤有机成分的效率  $qCO_2$  值降低表明土壤微生物碳利用效率高(Dilly & Munch, 1996)。6个不同处理中 长期撂荒的处理土壤其  $qCO_2$  值最低 而在5种不同的施肥农田中 长期化肥与有机肥配施土壤的  $qCO_2$  值最低 并且 SMB-C/SOC 值增加 这与 Kanchikerimath 和 Singh(2001) 等研究结果相一致。长期不施肥种植作物处理的  $qCO_2$  值最高 表明其土壤微生物利用土壤养分效率最低。Odum(1985) 认为生物为了恢复由于干扰造成的破坏 需要消耗大量用于生长和生产的能量来维持生存。  $qCO_2$  值升高表明土壤微生物活性降低及土壤养分利用效率下降 另外有可能因土壤中细菌/真菌数量比例发生改变(Dilly & Munch, 1998)。本研究中长期不施肥种植作物处理的代谢商最高 长期化肥与有机肥配施处理的  $qCO_2$  值最低 可见有机肥可为土壤微生物提供更有效的营养。

4) 土壤酶主要来自于土壤微生物代谢过程 此外也能由土壤动物、植物产生残体分解。土壤中一切生化反应都是在土壤酶的参与下完成的 土壤酶活性的高低能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度(Mersi & Schinner, 1991)。土壤酶活性常被作为土壤质量的重要指标来研究(de la Paz Jimenez et al., 2002)。长期施肥对土壤酶活性产生不同的影

响 其主要原因可能是长期的不同施肥制度导致土壤微生物量、区系组成以及代谢过程改变 从而使得主要由土壤微生物产生的土壤酶的数量和活性发生变化。长期撂荒处理土壤的蔗糖酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性高于农田土壤 但尿酶活性并不高。在农田土壤中 长期化肥与有机肥配施处理的土壤的脲酶和磷酸酶的活性显著高于其它各农田土壤 蔗糖酶的活性也较高 这说明土壤输入有机肥后碳氮元素循环较快 土壤质量明显改善 长期秸秆还田处理与长期化肥与有机肥配施处理相比 土壤的蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性均有显著的下降 这可能是由于秸秆还田处理的土壤 C/N 值较高 不利于提高土壤酶的活性 小麦-玉米→小麦-大豆复种轮作方式的土壤中蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性高于玉米-小麦复种连作方式 说明复种轮作特别是豆科作物轮作 能提高土壤酶的活性 这是因为豆科作物根系可以释放较多的酶 并给土壤留下了更多富含氮素的有机残体 后者在土壤中分解后 使土壤含有较多的氮素及其它化合物 促进了土壤生物学活性的增强。

## 参 考 文 献

- Bao SD (鲍士旦) (2000). *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* (土壤农化分析). China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Belay A, Claassens AS, Wehner FC (2002). Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 420 - 427.
- de la Paz Jimenez M, de la Horra A, Pruzzo L, Palma RM (2002). Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 302 - 306.
- Dilly O, Munch JC (1996). Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn) forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1073 - 1081.
- Dilly O, Munch JC (1998). Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 374 - 379.
- Doran JW, Sarrantonio M, Liebig MA (1996). Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 56, 1 - 54.
- Fu L, Cheng WX, Susfalk R (2002). Rhizosphere respiration varies with plant species and phenology: a greenhouse pot experiment. *Plant and Soil*, 239, 133 - 140.
- Goyal S, Chander K, Mundra MC, Kapoor KK (1999). Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic

- matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 29, 196 – 200.
- Guan SY (关松荫) (1986). *Soil Enzyme and Study Method (土壤酶及其研究法)*. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Joergensen RG, Mueller T (1996). The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the  $k_{EC}$  value. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 3 – 37.
- Kanchikerimath M, Singh D (2001). Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 86, 155 – 162.
- Kautz T, Wirth S, Ellmer F (2004). Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. *European Journal of Soil Biology*, 40, 87 – 94.
- Lovell RD, Jarvis SC, Bardgett RD (1995). Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 969 – 975.
- Lu RK (鲁如坤) (2000). *Analysis Methods of Soil Agro-Chemistry (土壤农业化学分析方法)*. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Masto RE, Chhonkar PK, Singh D, Patra AK (2006). Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1577 – 1582.
- Mersi W, Schinner F (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodonitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soils*, 11, 216 – 220.
- Neilson JW, Pepper IL (1990). Soil respiration as an index of soil aeration. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 428 – 432.
- Odum E (1985). Trends expected in stressed ecosystems. *Biology Science*, 35, 419 – 422.
- Plaza C, Hernández D, García-Gil JC, Polo A (2004). Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1577 – 1585.
- Saggar S, Yeates GW, Shepherd TG (2001). Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. *Soil and Tillage Research*, 58, 55 – 68.
- Sall SN, Masse D, Ndour NYB, Chotte JL (2006). Does cropping modify the decomposition function and the diversity of the soil microbial community of tropical fallow soil? *Applied Soil Ecology*, 31, 211 – 219.
- Sparling GP (1992). Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30, 195 – 207.
- Sparling GP (1997). Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst C, Doube BM, Gupta VVSR eds. *Biological Indicators of Soil Health*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, 97 – 120.
- Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 703 – 707.
- Visser S, Parkinson D (1992). Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, 33 – 37.
- Xu YC (徐阳春), Shen QR (沈其荣), Ran W (冉伟) (2002). Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping. *Acta Pedologica Sinica (土壤学报)*, 39, 89 – 96. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 李晓林 责任编辑: 刘丽娟