

# 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响

贾伟<sup>1</sup>, 周怀平<sup>1, 2\*</sup>, 解文艳<sup>2</sup>, 关春林<sup>1, 2</sup>, 郜春花<sup>1, 2</sup>, 石彦琴<sup>3</sup>

(1 山西大学生物工程学院, 山西太原 030006;

2 山西省农业科学院土壤肥料研究所, 山西省土壤环境与养分资源重点实验室, 山西太原 030031;

3 中国农业大学农学与生物技术学院, 区域农业发展研究中心, 北京 100094)

**摘要:**通过对山西省寿阳长期定位试验田 0—20 cm 和 20—40 cm 的土壤测定和分析, 探讨了长期有机无机肥配施下褐土微生物生物量碳、氮和酶活性的变化以及相关性和相关性。结果表明, 褐土微生物生物量碳、氮变化基本一致。褐土微生物生物量碳、氮从 0—20 cm 到 20—40 cm 土层均呈减少趋势; 长期单施高量有机肥、有机无机肥合理配施都能提高褐土微生物生物量碳、氮; 不同用量的长期单施化肥处理不能使微生物生物量碳、氮显著增加。脲酶和碱性磷酸酶活性从 0—20 cm 到 20—40 cm 土层呈减少趋势; 长期单施高量有机肥和有机无机肥合理配施可使褐土脲酶及碱性磷酸酶活性增加。脲酶活性随单施化肥量的增加有增加趋势, 而碱性磷酸酶活性则呈减小趋势。土壤微生物量碳、氮、土壤酶活性及土壤养分之间的显著相关性表明, 微生物生物量碳、氮和土壤酶活性可以判断褐土土壤有机质和 N 素状况, 可作为评价褐土肥力水平和土壤培肥效果的生物学指标, 同时也为提高褐土肥力水平和土壤培肥效果提供依据。

**关键词:**长期施肥; 褐土; 微生物生物量; 土壤酶活性; 有机无机肥配施

中图分类号: S147.2; S158

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)04-0700-06

## Effects of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure on microbial biomass C, N and enzyme activity in cinnamon soil

JIA Wei<sup>1</sup>, ZHOU Huai-ping<sup>1, 2\*</sup>, XIE Wen-yan<sup>2</sup>, GUAN Chun-lin<sup>1, 2</sup>, GAO Chun-hua<sup>1, 2</sup>, SHI Yan-qin<sup>3</sup>

(1 Bioengineering College, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2 Institute of Soil and Fertilizer, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Shanxi Province Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources, Taiyuan 030031, China;

3 Regional Farming System Research Center, College of Agronomy and Biotechnology, China Agriculture University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The soil of long-term experimental field (0–20 cm and 20–40 cm) was collected and analyzed in Shouyang county, Shanxi province. The changes of microbial biomass C, N and soil enzyme activity in cinnamon soil and the correlation among them were both explored. The results were as follows: The changes of microbial biomass C, N in cinnamon soil were basically consistent. The amount of  $B_C$  and  $B_N$  in cinnamon soil both decreased from 0–20 cm layer to 20–40 cm layer.  $B_C$  and  $B_N$  in cinnamon soil could both increased through long term application of organic fertilizer only, inorganic fertilizer combined with organic manure in a right way.  $B_C$  and  $B_N$  in cinnamon soil could not both be observed to increase through long term application of different dosage of inorganic fertilizer only. The activity of Urease and Alkaline phosphatase in cinnamon soil both decreased from 0–20 cm to 20–40 cm layer, too. Urease and Alkaline phosphatase activity in cinnamon soil could also be increased by long-term application of organic fertilizer or inorganic fertilizer combined with organic manure in a right way. Urease activity in cinnamon soil tended to increase with long term application of inorganic fertilizer; however, the changing tendency of Alkaline phosphatase activity was just opposite to Urease's. The apparent

收稿日期: 2007-09-13

接受日期: 2007-11-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2002AA2Z4311-07); 山西省科技攻关项目(2006031042)资助。

作者简介: 贾伟(1981—)男, 山西省临汾人, 硕士研究生, 主要从事水土资源管理与荒漠化防治。E-mail: jiawei711@126.com

\* 通讯作者 Tel: 0351-7126414; E-mail: huapingzhou@126.com

positive correlation was found between the contents of organic matter and the four kinds of soil quality indicators-microbial biomass C, microbial biomass N, Alkaline phosphatase and nitrate reductase, which was also found to be positively correlated with total N content. The contents of organic matter and total N could be estimated using microbial biomass C, N and soil enzyme activity, which could be used as biological indices in the evaluation of soil fertility, and provided the basis of how to improve soil fertility.

**Key words:** long-term fertilization; cinnamon soil; microbial biomass; soil enzyme activity; inorganic fertilizer combined with organic manure

褐土是我国半干旱、半湿润偏旱区的主要土壤类型之一,总土地面积 2516 万公顷。山西省是我国褐土分布最集中也是比较典型的区域,褐土面积 724.1 万公顷,占全国褐土总面积的 28.8%,山西省的主要耕作土壤中有 286.1 万公顷是褐土,是山西省粮食、蔬菜、水果和肉、蛋、奶等农副产品生产的重要基地<sup>[1]</sup>。由于自然环境和农业经营方式的弊端以及中低肥力耕地面积大,无法发挥褐土最大生产潜力。一个时期以来,从褐土理化性质变化特点研究褐土肥力不高原因较多,而从生物学活性角度研究较少。

土壤生物学活性主要指土壤微生物和酶活性。土壤微生物是土壤中各种生物化学过程主要调节者,微生物量碳、氮被认为是土壤活性养分的储存库,是植物生长可利用养分的重要来源<sup>[2]</sup>。土壤酶不仅在土壤物质和能量转化过程中起主要的催化作用,而且通过它对土壤有机物质和有机残体的生物化学转化,从而使生态系统的各组分间实现功能上的联系,保持了土壤生物化学的相对稳定状态<sup>[3]</sup>。因此,土壤微生物活动和土壤酶活性是土壤有机质和养分转化的关键因子,同时它们受施肥等因素的影响可以迅速发生变化,常被用于评价土壤质量生物学性状<sup>[4]</sup>。受外界条件重大影响,不同气候类型区微生物生物量大小和酶活性差异很大,因此通过长期定位试验研究特定类型区土壤微生物生物量和酶活性对评价土壤肥力水平和土壤培肥效果具有重要意义。近年来,我国学者对黑土、棕壤、褐潮土、水稻土、塍土、红壤等土壤的微生物生物量和酶活性及

其与肥力的关系进行了大量研究,但是长期定位施肥试验下褐土的这方面研究未见报道。

褐土作为我国北方半湿润区域主要耕作土壤,了解其土壤生物性状很有必要。本研究以山西省寿阳长期定位试验田的褐土为研究对象,通过对 0—20 cm、20—40 cm 两个层次上土壤微生物生物量及土壤酶活性的研究,试图探讨长期有机无机肥配施下褐土微生物量碳、氮和酶活性的变化以及相关性和相关性,为寻求作物良好的土壤生态化学环境,更好地培肥土壤提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

定位试验设在山西省寿阳县宗艾村国家旱作农业科技攻关试验区的北坪旱塬上。多年平均气温 7.3℃,≥10℃积温 3400℃,无霜期为 135~140 d,年均降水量 500 mm,年际间变率大,干燥度 1.3,属半湿润偏旱区。该区气候特征为一年四季分明,季节温差大,无霜期 130 d 左右。有机无机肥配合施用长期定位试验从 1992 年春开始,已历时 15 年。试验采用氮、磷、有机肥三因素四水平正交设计,另设对照和高量有机肥区,共 18 个处理,小区面积 66.7 m<sup>2</sup>,随机排列,无重复。氮肥、磷肥、有机肥以不同水平施用。本研究选用其中的 9 个处理,即:不施肥对照(CK,1 号),不同氮、磷化肥配施处理(2 号、3 号、4 号、5 号),有机无机肥配施处理(6 号、7 号、8 号),单施高量有机肥(9 号)处理。试验设计见表 1。其中 2 号为低量施肥,3 号为农民习惯施肥,4 号为

表 1 长期定位有机无机肥配施试验设计(kg/km<sup>2</sup>)

Table 1 Experimental design of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure

处理 Treatment	1 N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> M <sub>0</sub> (CK)	2 N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> M <sub>0</sub>	3 N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> M <sub>0</sub>	4 N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> M <sub>0</sub>	5 N <sub>4</sub> P <sub>4</sub> M <sub>0</sub>	6 N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	7 N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	8 N <sub>4</sub> P <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	9 N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> M <sub>6</sub>
N	0	60	120	180	240	120	180	240	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	37.5	75	112.5	150	37.5	75	75	0
有机肥 M	0	0	0	0	0	22500	67500	45000	135000

较高量施肥 5 号为高量施肥;有机无机肥配施处理中 6 号为推荐施肥,7 号和 8 号为高量施肥。

供试土壤为褐土,质地轻壤,土层深厚,地下水埋深在 10 m 以下。试验开始时耕层土壤(0—20 cm)基本性质为:有机质 23.5 g/kg,全氮 1.07 g/kg,全磷 0.79 g/kg,碱解氮 106.4 mg/kg,速效磷 4.79 mg/kg,速效钾 117.2 mg/kg,pH 8.4。每年秋季结合耕翻将肥料一次施入。供试氮肥为尿素,含 N 量 46%,磷肥为过磷酸钙(太原),含  $P_2O_5$  14%。试验用有机肥的有机质含量 90.5~127.3 g/kg,全氮含量 3.93~4.97 g/kg,全磷含量 1.37~1.46 g/kg,全钾含量 14.1~34.3 g/kg。种植制为一年一季玉米,品种 1992~1995 年为烟单 14 号,1996~2002 年为晋单 34 号,2003~2007 年为强盛 31 号,密度 4.5~5.0 万株/hm<sup>2</sup>,行距 60 cm,株距 34~37 cm。播种时间一般在 4 月 15 日~4 月 28 日间,收获时间一般在 9 月 20 日~10 月 10 日间。田间管理按大田丰产要求进行。

## 1.2 土样采集及测定项目与方法

2007 年 4 月 17 日于玉米播种前按“之”字型采集 0—20 cm 和 20—40 cm 土样,每小区每层取 10 个点混成一个样。混合样分成两份:一份立即过 2 mm 筛,测定微生物生物量碳( $B_C$ )和微生物生物量氮( $B_N$ )。另一份经风干后过 1 mm 筛,供脲酶(Urease,URE)、碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase,ALP)以及土壤有机质、全氮和硝态氮含量测定。

土壤微生物生物量碳用熏蒸提取—容量分析法测定<sup>[5]</sup>。浸提液中有有机碳是通过取 10 mL 浸提液和 10 mL 重铬酸钾—硫酸溶液在磷酸浴 175℃ 煮沸 10 min 后,用硫酸亚铁溶液标定后计算出。微生物生物量碳的计算<sup>[6]</sup>:

$$B_C(\text{mg/kg}) = 2.64 \times E_C$$

$E_C$  为熏蒸与未熏蒸土壤中有机碳的差值。

土壤微生物生物量氮用熏蒸提取后凯氏定氮法测定<sup>[5]</sup>。微生物生物量氮的计算:

$$B_N(\text{mg/kg}) = E_N/k_{EN}$$

$E_N$  为熏蒸与未熏蒸土壤的差值; $k_{EN}$  为转换系数,取值 0.45。

土壤脲酶使用靛酚盐比色法测定<sup>[7]</sup>,脲酶活性用 38℃ 下 3 h 后 1 g 土壤中  $NH_3-N$  的质量(mg)表示;土壤碱性磷酸酶使用磷酸苯二钠比色法测定<sup>[7]</sup>,碱性磷酸酶活性用 38℃ 下 3 h 后 1 g 土壤中 phenol 的质量(mg)表示。

土壤基本理化性状采用常规分析法测定。有机

质用重铬酸钾容量法;全氮用半微量凯氏法;硝态氮用 2 mol/L KCl 浸提流动注射分析仪测定。

用 SPSS13.0 进行数据单因素方差分析,用新复极差法进行多重比较。数据间相关性分析用 Pearson 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 对不同耕层土壤微生物量碳、氮的影响

土壤微生物生物量作为土壤养分转化的活性库或源,其高低可部分反映土壤微生物活动的强弱和养分转化速率的快慢,是土壤微生物质量变化的灵敏指标<sup>[8]</sup>。

在 0—20 cm 土层不同施肥处理之间微生物生物量碳差异不同。由于单施化肥抑制了微生物繁殖生长,单施化肥处理土壤微生物生物量碳比对照略低,但没有显著差异。本试验条件下,施化肥处理微生物生物量碳随化肥施用量的增高而增高,但施高量化肥  $B_C$  即明显降低(表 2)。可见,土壤中速效养分偏高,不利于微生物生长。表 2 还看出,有机无机肥配施和高量有机肥处理土壤微生物生物量碳比 CK 的高,其中适量无机肥与有机肥配施处理和单施高量有机肥处理与 CK 间差异达显著水平。这与有机肥使微生物分解有机碳源速度加快、同化作用加强有关。

在 20—40 cm 土层微生物生物量碳均低于 0—20 cm 土层,但各施肥处理均比对照处理高。这可能与收获后残留的植物根系及其他有机物比较多,有利于微生物繁殖有关。单施高量有机肥处理比有机无机肥配施  $B_C$  高,其中单施高量有机肥与高量化肥和有机配施处理间差异显著。土壤微生物生物量碳的高低主要受土壤中有有机碳源的制约<sup>[2]</sup>,而有机肥的施入能为微生物提供丰富的碳源。

土壤微生物生物量 N 的变化与微生物生物量碳的变化相似。表 2 可知,在 0—20 cm 土层不同施肥处理之间微生物生物量氮差异不同。单施适量化肥处理有利于微生物繁殖生长。有机无机肥配施和单施高量有机肥微生物生物量氮比对照高,低量无机肥与有机配施比对照下降了 4.69 mg/kg。可见不合理的配施化肥也会抑制微生物的生长繁殖。据报道,微生物对施入肥料氮的固持,一方面可以减少肥料氮的挥发、淋溶和反硝化损失,另一方面这部分氮在作物生长期间还可以释放出来,成为作物的有效氮源。土壤微生物对 N 素的固持作用主要取决于土壤微生物生物量氮的大小。有机无机肥配施能够

提高微生物对肥料氮的固持量,即可以提高微生物生物量氮<sup>[9-10]</sup>,这与本研究结果一致。

在 20—40 cm 土层微生物生物量氮均低于 0—20 cm 土层,其下降幅度为 0.81~40.12 mg/kg。而除高量化肥处理外,施肥处理比不施肥处理的微生物生物量氮要高。可见长期高量单施化肥可使土壤环境发生变化,微生物的增殖从而导致  $B_N$  降低。0—20 cm 和 20—40 cm 土层中,单施高量有机肥处理在所有处理中的微生物生物量氮最高,可见长期施有机肥可以使土壤保持高的微生物生物量,这与樊军<sup>[11]</sup>等的报道一致。

土壤中微生物群落不同,土壤微生物生物量碳氮比( $B_C/B_N$ )也不一样。 $B_C/B_N$  也可以作为土壤氮素有效性的评价指标。土壤  $B_C/B_N$  值小,土壤氮素的生物有效性高。表 2 看出,在 0—20 cm 土层中, $B_C/B_N$  值范围是 1.89~5.66,平均为 3.53;在 20—40 cm 土层中, $B_C/B_N$  值范围 2.17~5.01,平均为 3.61。据 Patra<sup>[12]</sup>等研究认为,土壤  $B_C/B_N$  平均为 4.5;吴金水<sup>[5]</sup>等人报道,我国旱耕地土壤  $B_C/B_N$  为 4.2~6.1,我们的结果较低,这可能与肥料施入时期和方式以及土样采集时间有关。

表 2 不同施肥处理对土壤微生物生物量碳、氮及  $B_C/B_N$  的影响

Table 2 Effect of different fertilization on  $B_C$ ,  $B_N$  and  $B_C/B_N$  of soil

编号 No.	处理 Treatment	$B_C$ (mg/kg)		$B_N$ (mg/kg)		$B_C/B_N$	
		0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
1	$N_0P_0M_0$ (CK)	110.09 a	42.43 a	34.80 bc	19.57 ab	3.16	2.17
2	$N_1P_1M_0$	90.29 a	49.37 a	20.58 a	19.77 ab	4.39	2.50
3	$N_2P_2M_0$	107.08 a	103.61 bc	37.72 bc	20.68 abc	2.84	5.01
4	$N_3P_3M_0$	112.52 a	81.51 ab	40.55 c	22.29 bc	2.77	3.66
5	$N_4P_4M_0$	61.68 a	46.66 a	32.58 b	16.64 a	1.89	2.80
6	$N_2P_1M_1$	122.23 a	109.58 bc	30.11 b	27.84 de	4.06	3.94
7	$N_3P_2M_3$	323.67 b	99.37 bc	57.19 d	22.15 bc	5.66	4.49
8	$N_4P_2M_2$	133.09 a	81.51 ab	41.41 c	25.01 cd	3.21	3.26
9	$N_0P_0M_6$	265.57 b	144.07 c	70.88 e	30.76 e	3.75	4.68

注 (Note): 同列中不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同 Different letters in the same column means significant at 5% level. The same below.

## 2.2 对不同耕层土壤脲酶及碱性磷酸酶活性的影响

脲酶是对尿素转化起关键作用的酶,它的酶促反应产物是可供植物利用的氮源,它的活性可以用来表示土壤供氮能力。表 3 看出,在 0—20 cm 土层,有机无机肥配施处理使脲酶活性提高的幅度大于单施化肥处理,差异性显著,这与任祖淦等<sup>[13]</sup>的研究一致;但单施高量有机肥处理其脲酶活性则显著低于有机无机肥配施处理。单施化肥处理随着施氮、磷肥量的增加土壤脲酶活性有增加趋势,这虽有利于尿素的分解供作物利用,但也可能导致氮挥发造成损失。在 20—40 cm 土层各施肥处理脲酶活性均明显低于 0—20 cm 土层,尤其以有机无机肥配施处理下降幅度大(表 3)。

磷酸酶与土壤磷素转化密切相关,是土壤磷素肥力的指标。表 3 看出,在 0—20 cm 土层,单施化肥处理,随施肥量增加碱性磷酸酶活性减少;有机无机肥配施处理和单施高量有机肥处理土壤碱性磷

酸酶活性比对照显著增高,这可能是与施入有机肥本身含有较高的磷酸酶有关,这与其它一些研究结果一致<sup>[14-15]</sup>。

在 20—40 cm 土层各施肥处理碱性磷酸酶活性均明显低于 0—20 cm 土层。单施化肥处理碱性磷酸酶活性与 0—20 cm 土层的变化趋势相似;但单施高量有机肥处理和有机无机肥配施处理与对照相比没有显著变化,这与长期施肥使该土层磷素形成累积效应,导致碱性磷酸酶活性降低有关。

## 2.3 土壤微生物量碳、氮,土壤酶活性及土壤养分之间的相关性

相关性分析(表 4)表明,土壤微生物生物量碳和土壤微生物生物量氮与碱性磷酸酶活性分别达到极显著和显著的正相关水平;但微生物生物量碳、氮和脲酶活性的相关性,碱性磷酸酶与脲酶活性的相关性均未达到显著相关水平,与樊军等的研究结果不同<sup>[16]</sup>。这可能与我们长期施肥方式和肥料用量不同有关系。

表 3 不同施肥处理对土壤脲酶和碱性磷酸酶活性的影响

Table 3 Effect of different fertilization on Urease and Alkaline phosphatase in soil

编号 No.	处理 Treatment	脲酶 Urease (NH <sub>3</sub> -N mg/g)		碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase (phenol mg/g)	
		0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> M <sub>0</sub> (CK)	0.4622 a	0.3141 c	0.4031 a	0.2823 cd
2	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> M <sub>0</sub>	0.4600 a	0.2032 a	0.4883 b	0.2214 bc
3	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> M <sub>0</sub>	0.5014 a	0.2572 b	0.3524 ab	0.1238 a
4	N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> M <sub>0</sub>	0.7586 b	0.4928 d	0.3477 a	0.2192 bc
5	N <sub>4</sub> P <sub>4</sub> M <sub>0</sub>	0.8937 c	0.5171 d	0.2869 a	0.1515 ab
6	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	0.6842 b	0.2356 b	0.4904 b	0.3097 cd
7	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	1.1159 d	0.5235 d	0.6952 c	0.2145 bc
8	N <sub>4</sub> P <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	1.2053 e	0.6945 f	0.4286 ab	0.2546 c
9	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> M <sub>6</sub>	0.9240 c	0.6547 e	0.7423 c	0.3358 d

表 4 土壤微生物生物量碳、氮 酶活性及土壤养分的相关性

Table 4 Correlations between microbial biomass C and N, soil enzyme activity and soil nutrients

项目 Items	B <sub>C</sub>	B <sub>N</sub>	脲酶 URE	碱性磷酸酶 ALP	有机质 OM	全氮 TN	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
B <sub>C</sub>	1	0.897**	0.506	0.820**	0.695*	0.761*	0.291
B <sub>N</sub>		1	0.642	0.765*	0.832**	0.869**	0.405
脲酶 URE			1	0.317	0.686*	0.614	0.760*
碱性磷酸酶 ALP				1	0.703*	0.774*	0.240
有机质 OM					1	0.975**	0.618
全氮 TN						1	0.561
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N							1

注 (Note): \*, \*\*, 分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平 Means significant at 5% and 1% levels, respectively.

表 4 还看出,土壤微生物生物量碳、氮与有机质、全氮的含量呈极显著或显著正相关,其中 B<sub>N</sub> 与有机质、全氮的含量成极显著正相关。脲酶和碱性磷酸酶活性与有机质呈显著正相关;碱性磷酸酶活性与全氮含量呈显著正相关;而脲酶活性与全氮含量无明显的相关性。脲酶活性与硝态氮含量呈显著正相关;而碱性磷酸酶活性与硝态氮含量无明显的相关性。

### 3 结论

长期单施高量有机肥和有机无机肥合理配施使褐土微生物生物量碳、氮增加,随着有机肥施入量的提高可使 B<sub>C</sub>、B<sub>N</sub> 显著增加。适量施用氮、磷化肥可以使 B<sub>C</sub>、B<sub>N</sub> 增加但不显著,过低或者过高的氮、磷化肥导致 B<sub>C</sub>、B<sub>N</sub> 减少。良好的土壤结构能明显提高土壤微生物活性,土壤翻耕等剧烈改变土壤理化状况的农作措施常常导致土壤微生物区系改变和微生物量下降。本研究表明,长期单施化肥处理土壤微生物生物量碳、氮没有显著增加。

长期合理单施化肥和有机无机肥合理配施可以

明显提高褐土土壤脲酶活性,而对碱性磷酸酶活性影响较小。长期单施高量有机肥对褐土土壤脲酶和碱性磷酸酶活性都有显著提高。

土壤微生物量碳、氮,土壤酶活性及土壤养分间的相关显著,表明土壤微生物生物量碳、氮和土壤酶活性可以作为判断土壤肥力状况的生物学指标,同时也可为提高褐土土壤肥力水平和土壤培肥效果提供依据。

今后,应进一步研究长期施用有机肥和有机无机肥配施对褐土土壤微生物生物量和酶活性动态变化,以更全面地反映褐土土壤质量和生产力,并通过土壤微生物生物量和酶活性变化指标建立长期施肥下褐土土壤质量评价标准的土壤生物学预警体系。

### 参考文献:

- [1] 徐明岗,梁国庆,张夫道,等. 中国土壤肥力演变[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006. 335.
- Xu M G, Liang G Q, Zhang F D et al. Evolution of soil fertilizer in china[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006. 335.
- [2] 王晓龙,胡峰,李辉信,等. 红壤小流域不同土地利用方式对土

- 壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 143-147.
- Wang X L, Hu F, Li H X *et al.* Effects of different land used patterns on soil microbial carbon and nitrogen in small red soil watershed[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2006, 25(1): 143-147.
- [3] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006. 77.
- Yao H Y, Huang C Y. Soil microbial ecology and its experimental technology[M]. Beijing: Science Press, 2006. 77.
- [4] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 III. 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, 29(5): 225-234.
- Sun B, Zhao Q G, Zhang T L *et al.* Quality of soil and persistence environment III. The Biology index of evaluating the quality of soil[J]. Soils, 1997, 29(5): 225-234.
- [5] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. Soil microbial biomass-methods and application[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [6] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 63-66.
- Lin Q M, Wu Y G, Liu H L. Modification of fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon[J]. Chin. J. Ecol., 1999, 18(2): 63-66.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 268-269, 273-275.
- Nanjing Institute of Soil Science, CAS. Research methods of soil microbe[M]. Beijing: Science Press, 1985. 268-269, 273-275.
- [8] 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨[J]. 土壤学报, 1999, 32(3): 413-422.
- Yu S, Li Y, Wang J H *et al.* Study on the soil microbial biomass as a bio-indicator of soil quality in the red earth ecosystem. [J]. Acta Pedol. Sin., 1999, 32(3): 413-422.
- [9] 韩晓日, 郭鹏程, 陈恩凤, 邹德乙. 土壤微生物对施入肥料氮的固持及其动态研究[J]. 土壤学报, 1998, 31(3): 412-418.
- Han X R, Guo P C, Chen E F, Zou D Y. Immobilization of fertilizer nitrogen by soil microbes and its changes[J]. Acta Pedol. Sin., 1998, 31(3): 412-418.
- [10] 刘守龙, 肖和艾, 童成立, 吴金水. 亚热带稻田土壤微生物生物量碳、氮、磷状况及其对施肥的反应特点[J]. 农业现代化研究, 2003, 24(4): 278-283.
- Liu S L, Xiao H A, Tong C L, Wu J S. Microbial biomass C, N and P and their responses to application of inorganic and organic fertilizers in subtropical paddy soil[J]. Res. Agric. Modern., 2003, 24(4): 278-283.
- [11] 樊军, 郝明德. 长期轮作施肥对土壤微生物碳氮的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 85-87.
- Fan J, Hao M D. Effects of long-term rotations and fertilizations on soil microbial biomass carbon and nitrogen[J]. Res. Soil Water Conserv., 2003, 10(1): 85-87.
- [12] Patra D D, Brookes P C, Coleman K *et al.* Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been under uniform management for many years[J]. Soil Biol. Biochem., 1990, 22(6): 739-742.
- [13] 任祖淦, 陈玉水, 唐福钦, 等. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(3): 279-283.
- Ren Z G, Chen Y S, Tang F Q *et al.* Effect of inorganic fertilizer combined with organic manure on the microflora and enzyme activities in paddy soil[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1996, 2(3): 279-283.
- [14] 谢林花, 吕家珑, 张一平. 长期不同施肥对石灰性土壤微生物磷及磷酸酶的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 65-68.
- Xie L H, Lü J L, Zhang Y P. Long-term effects of different fertilization on calcareous soil microbial P and phosphatase[J]. Chin. J. Ecol., 2004, 23(4): 65-68.
- [15] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410.
- Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S *et al.* Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting controlling soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(4): 406-410.
- [16] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 146-150.
- Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the plateau II. Relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(2): 146-150.