

文章编号:1000-8551(2012)09-1317-05

# 稻草还田配施化肥与腐秆菌剂下的土壤微生物及有机碳组分特征

魏赛金<sup>1,2</sup> 李昆太<sup>1</sup> 涂晓嵘<sup>1</sup> 倪国荣<sup>2</sup> 曾研华<sup>2,3</sup> 潘晓华<sup>2</sup>

(1. 江西农业大学生物科学与工程学院,江西 南昌 330045;2. 江西农业大学 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室,江西 南昌 330045;  
3. 中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室,浙江 杭州 310006)

**摘要:**通过田间试验,研究了稻草还田配施化肥与腐秆菌剂对早稻土壤微生物、酶活性及有机碳组分和产量的影响。结果表明:稻草还田配施化肥与菌剂可以有效地提高土壤细菌、真菌、放线菌数量,增强蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶的活性。与稻草不还田施肥(F)和不施肥(CK)相比,稻草还田配施化肥与菌剂(SFM),提高了土壤不同形态有机碳含量和碳库管理指数,其中活性有机碳、碳库管理指数分别提高了10.33%~28.88%、12.85%~30%;并且因为有利于早稻分蘖,产量增加3.56%~23.29%。可见,稻草还田配施化肥与菌剂,不仅可以提高产量,而且对改善稻田土壤肥力也有重要的作用。

**关键词:**微生物菌剂;稻草还田;土壤微生物;土壤酶;碳库管理指数;产量

## THE CHARACTERISTICS OF MICROBES AND ORGANIC CARBON COMPOSITION IN THE SOILS APPLIED TOGETHER WITH CHEMICAL FERTILIZER, STRAW INCOOPERATION AND MICROBIAL AGENT

WEI Sai-jin<sup>1,2</sup> LI Kun-tai<sup>1</sup> TU Xiao-rong<sup>1</sup> NI Guo-rong<sup>2</sup> ZENG Yan-hua<sup>2,3</sup> PAN Xiao-hua<sup>2</sup>

(1. Department of Bioengineering, JAU, Nanchang, Jiangxi 330045; 2. Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, JAU, Nanchang, Jiangxi 330045; 3. State Key Laboratory of Rice Biology; China National Rice Research Institute, Hangzhou, Zhejiang 310006)

**Abstract:** Through field experiment, the effects of straw returning with straw decomposition agent on microbes, enzyme and organic carbon components in early rice soils and its yield were investigated in this paper. The results showed that straw returning with chemical fertilizer as well as microbial agent significantly could not only enhance the quantity of bacteria, fungi and actinomyces in the soil, but only improve the activity of sucrase, urease and catalase. Moreover, comparing to fertilization without straw returning(F) and treatments without fertilizer(CK) when rice straw was returned to the soil with chemical fertilizer and microbial agent(SFM), the contents of all types of soil carbon and carbon pool management index (CPMI) were both improved, in which the active carbon and CPMI were increased by 10.33%~28.88% and 12.85%~30%, respectively. Furthermore, it was obvious that straw returning with chemical fertilizer and microbial agent was favorable to tillering of early rice, and the early rice yield was significantly increased by 3.56%~23.29%. According to the results obtained in this study, it can be concluded that straw returning with chemical fertilizer and microbial agent has the potential to improve the production of crop yield, but also has an important role in

收稿日期:2012-05-21 接受日期:2012-08-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD16B04),国家科技支撑计划项目(2012BAD14B14),江西农业大学自然科学基金自由申请项目(2010)

作者简介:魏赛金(1969-),女,江西南昌人,硕士,副教授,主要从事微生物应用及水稻根际生态研究。E-mail: weisaijin@126.com

通讯作者:潘晓华(1963-),男,江西分宜人,教授,博士生导师,主要从事作物生理研究。Tel:0791-83813490;E-mail: xhuapan@163.com

ameliorating the soil fertility of paddy.

**Key words:** microbial agent; straw returning; soil microbe; soil enzyme; carbon pool management index; yield

随着水稻机械收获的不不断提高,新鲜稻草全量还田的面积逐年扩大。稻草全量还田对土壤有机质积累和水稻生长发育的影响,以及加速新鲜稻草腐烂的研究备受关注<sup>[1,2]</sup>。已有研究表明,稻草还田能促进土壤微生物大量繁殖<sup>[3]</sup>,增强土壤微生物活性<sup>[4]</sup>,有效提高土壤有机碳的含量<sup>[5]</sup>。土壤有机碳对调节土壤养分流向有重要作用<sup>[6,7]</sup>,与作物产量和土壤肥力密切相关<sup>[8]</sup>。土壤有机碳包括活性有机碳和非活性有机碳,其氧化稳定性可用土壤活性碳与全碳的比值来度量<sup>[9,10]</sup>。曾研华等<sup>[11]</sup>研究指出,稻草全量还田可提高土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数。稻草全量还田下添加微生物制剂可显著增强蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶和纤维素酶的活力<sup>[2]</sup>,但化肥与菌剂配施下稻草还田对土壤有机碳组分的影响少有报道。

为了解决稻草快速腐烂、消除稻草还田带来的微生物与水稻争氮等不利影响,江西农业大学筛选出快速分解稻草的微生物,并研制成腐秆菌剂。试验表明,自制腐秆菌剂对加速双季早稻新鲜稻草腐烂、提高双季晚稻产量有良好作用<sup>[2]</sup>。为进一步阐明自制腐秆菌剂在稻草还田下的土壤培肥机制及增产效果,本文对稻草还田配合施用腐秆菌剂和化肥处理下的早稻土壤微生物学及有机碳组分特征进行了研究。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

试验于2011年春季在江西农业大学科技园水稻试验田进行,供试红壤pH6.2,有机质20.01g/kg,全氮0.158g/kg,碱解氮80.08mg/kg,有效磷18.32mg/kg,速效钾63.2mg/kg。

供试水稻品种为淦鑫203。稻草高效分解菌制剂由真菌LF、F23和细菌LB1、LB2、B110、B112及草炭组成,含真菌 $1.0 \times 10^{10}$  cfu/g以上,细菌 $1.30 \times 10^{10}$  cfu/g以上,由江西农业大学生物科学与工程学院应用微生物实验室自行研制。所用肥料为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含 $P_2O_5$  12%)和氯化钾(含 $K_2O$  60%)。

### 1.2 试验设计

试验设6个处理,分别为:稻草不还田(CK)、稻草还田(S)、稻草还田+菌剂(SM)、稻草不还田+化肥(F)、稻草还田+化肥(SF)、稻草还田+化肥+菌剂

(SFM)。

早稻于3月29日播种,4月24日移栽,行株距为23.1cm×13.2cm。试验采用随机区组排列,重复3次,小区面积10m<sup>2</sup>(2m×5m),小区间筑埂并用塑料薄膜包埋,防止水肥流动。小区做好后,将人工切割成长约10cm的晚稻稻草均匀撒入小区,灌水后再均匀撒施菌剂,并人工脚踩入田。稻草还田量为风干稻草0.5kg/m<sup>2</sup>,自制菌剂施用量为5g/m<sup>2</sup>。尿素施用量为36g/m<sup>2</sup>,按基肥:分蘖肥:穗肥=5:2:3施用;氯化钾施用量为30g/m<sup>2</sup>,按基肥:穗肥=7:3施用;过磷酸钙施用量为62.5g/m<sup>2</sup>,在整地时一次性施用。其他管理措施同一般高产田块。

在早稻成熟期采用5点混合取样法采集耕层土壤原状样品,用于微生物数量、土壤酶活性测定。成熟期按文献<sup>[11]</sup>方法取土,测定不同处理土壤有机碳、活性有机碳、矿化碳含量。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 3大类微生物数量与土壤酶活性 土壤微生物数量参考文献<sup>[12]</sup>测定,蔗糖酶活性测定用硫代硫酸钠滴定法,过氧化氢酶活性测定用高锰酸钾滴定法,脲酶活性测定用苯酚-次氯酸钠比色法<sup>[13]</sup>。

1.3.2 土壤有机碳组分 土壤总有机碳的测定采用重铬酸钾容量法。土壤活性有机碳测定:称量处理过约含15mg有机碳的土样,放在塑料瓶(100ml)内,用333mmol/L KMnO<sub>4</sub>溶液25ml震荡处理1h,震荡后离心5min(4000r/min),取上清液,用去离子水按1:625比例稀释,分光光度计565nm比色测定,根据KMnO<sub>4</sub>浓度的变化计算活性有机碳含量,单位mgC/g<sup>[14]</sup>(氧化过程中1mmol/L KMnO<sub>4</sub>消耗0.175mmol/L或9mg碳)。土壤矿化碳含量采用碱吸收法测定<sup>[15]</sup>。稳态碳、碳库活度、碳库指数、碳库活度指数、碳库管理指数(CPMI)的计算公式<sup>[14]</sup>:

$$\text{稳态碳} = \text{总有机碳 (TOC)} - \text{活性有机碳 (AC)} \quad (1)$$

$$\text{碳库活度 (A)} = \text{活性碳 (AC)} / \text{稳态碳 (UA)} \quad (2)$$

$$\text{碳库指数 (CPI)} = \text{农田土壤有机碳} / \text{对照农田土壤有机碳} \quad (3)$$

$$\text{碳库活度指数 (AI)} = \text{农田碳库活度} / \text{对照土壤碳库活度} \quad (4)$$

$$\text{碳库管理指数 (CPMI)} = \text{碳库指数} \times \text{碳库活度指数} \times 100 \quad (5)$$

1.3.3 考种与测产 成熟期每小区调查 120 茏水稻有效穗,并根据平均有效穗数随机取样 5 茏,进行经济性状考察,同时分 3 点测定各处理的实际产量。

#### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据统计,利用 DPS7.05 进行数据的方差分析及 Duncan 氏新复极差法检验,  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 大类群土壤微生物数量

图 1 结果显示,对照(CK)处理下,3 大类群土壤微生物数量很低;稻草还田配施腐解菌剂(SM)处理的土壤细菌和放线菌数量很低,但真菌数量较高;配施化肥(SF、SFM)处理,微生物数量均有所增加,尤其是稻草还田与化肥和菌剂配施(SFM)的处理,微生物数量增加显著,其中细菌为  $5.0 \times 10^6$  cfu/g、真菌为  $1.85 \times 10^4$  cfu/g。与 CK 相比,稻草还田配施化肥与菌剂可以有效提高早稻成熟期土壤细菌、真菌、放线菌的数量,提高幅度分别为 185.71%、137.18%、233.33%。

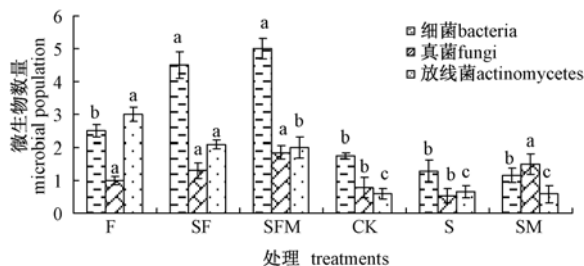


图 1 不同稻草还田措施土壤主要类群微生物数量的差异

Fig. 1 Differences of different rice straw returning treatments on soil microbe quantity in rhizosphere soil

细菌数量单位:  $10^6$  cfu/g; 真菌数量单位:  $10^4$  cfu/g; 放线菌数量单位:  $10^5$  cfu/g。不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

The unit of bacteria quantity is  $10^6$  cfu/g, the unit of fungi quantity is  $10^4$  cfu/g, the unit actinomycetes quantity is  $10^5$  cfu/g. Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), the same as following figure.

### 2.2 稻草还田对土壤酶活性的影响

不同处理下土壤的酶活性如图 2, 其中施肥处理的蔗糖酶活性显著高于不施肥处理。脲酶和过氧化氢酶活性在不同处理间差异不显著, 蔗糖酶活性在 SM 和 SFM 处理间的差异不明显, 但显著高于其他处理,

其中 SFM 处理较 CK 提高 174.36%。

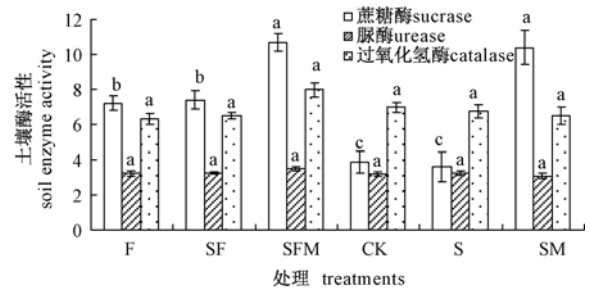


图 2 不同稻草还田措施土壤酶活性的差异

Fig. 2 Differences of different rice straw returning treatments on soil enzyme activity

蔗糖酶活力单位:  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ml} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ; 脲酶活力单位:  $\text{NH}_3\text{-N mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ; 过氧化氢酶活力单位:  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4 \cdot 10 \text{g}^{-1} 20 \text{min}^{-1}$   
The unit of sucrose is  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ml} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ; the unit of urease is  $\text{NH}_3\text{-N mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ; the unit of catalase is  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4 \cdot 10 \text{g}^{-1} 20 \text{min}^{-1}$

### 2.3 稻草还田对土壤有机碳组分的影响

从表 1 中可以看出, SFM 处理的活性有机碳含量与 SF 处理间相差不显著, 但显著高于其他处理, 增幅为 3.82% ~ 29.44%; 各处理活性碳有效率与活性碳变化趋势一致。土壤矿化碳含量, 在不施肥条件下 SM 处理最小; 施肥条件下, SFM 处理最小。结果表明, 稻草还田与化肥和菌剂配施有利于土壤有机碳、活性碳含量的提高。

以稻草不还田(CK)的土壤为参照, 计算得出其他处理的碳库管理指数见表 1。表 1 显示, 稻草还田各处理稳态碳、碳库活度、活度指数、碳库指数、碳库管理指数总体高于对照, 且以 SFM 处理为最高, 其中碳库管理指数较其他处理高 4.84% ~ 31.18%, 差异显著。

### 2.4 稻草还田对水稻籽粒产量的影响

从表 2 可知, 施化肥处理的水稻产量均极显著高于不施化肥的处理, 平均增幅 20.11%。施肥条件下, SFM 和 F 处理间的产量差异不显著, 但 SFM 处理的产量显著高于 SF 处理。在不施肥条件下, 处理间产量差异不显著。从产量构成因素看, 稻草还田配施化肥与菌剂处理的产量之所以显著高于其他处理, 主要与其有效穗数多有关。分析表明, 土壤碳库管理指数(x)与早稻产量(y)呈一元二次抛物线关系, 相关方程为:  $y = -0.0015x^2 + 0.3895x - 17.763 (r = 0.9712^{**})$ 。

表 1 不同稻草还田措施对有效碳库不同形态碳素及其有效率和土壤碳库管理指数的影响

Table 1 Effects of different rice straw returning treatments on different available carbon, its efficiency and C pool management index in soil

处理 treats	有机碳 organic (g·kg <sup>-1</sup> )	活性有 机碳 active C (g·kg <sup>-1</sup> )	矿化碳 mineraliza-ble C(g·kg <sup>-1</sup> )	稳态碳 unactive C(g·kg <sup>-1</sup> )	矿化碳 有效率 availability of mineral- izable C (%)	活性碳 有效率 availability of Active C (%)	碳库活度 activity of C pool	活度指数 activity index	碳库指数 C pool index	碳库管理 指数 carbon pool management index
F	12.27a	2.71b	0.90a	9.56a	7.33a	22.10b	0.284a	0.940a	1.226a	115.2b
SF	12.47a	2.88ab	0.64b	9.59a	5.13b	23.11a	0.301a	0.996a	1.246a	124.0ab
SFM	12.61a	2.99a	0.60b	9.62a	4.76b	23.74a	0.311a	1.031a	1.260a	130.0a
CK	10.01b	2.32c	0.84a	7.69b	8.39a	23.19a	0.302a	1.000a	1.000b	100.0c
S	10.15b	2.31c	0.84a	7.84b	8.28a	22.77ab	0.295a	0.977a	1.014b	99.1c
SM	10.48b	2.35c	0.54c	8.13b	5.15b	22.40b	0.289a	0.957a	1.047b	100.2c

注:同列不同字母表明差异显著( $P < 0.05$ ),下表同。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), the same as following tables.

表 2 不同稻草还田措施对水稻产量及产量构成的影响

Table 2 Effects of different rice straw returning treatments on yield and its components

处理 treats	有效穗 effective ear (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 grain numbersper spike	结实率 setting rate (%)	千粒重 1000 grain weight (g)	产量 yield (t/hm <sup>2</sup> )
F	311.6 ± 13.68b	95.87 ± 7.56a	86.74 ± 3.50b	28.34 ± 0.20a	7.31 ± 0.05ab
SF	326.1 ± 2.42b	96.97 ± 2.17a	88.65 ± 1.11b	28.43 ± 0.24a	7.10 ± 0.02b
SFM	365.6 ± 29.83a	100.65 ± 7.67a	85.57 ± 3.20b	28.98 ± 0.51a	7.57 ± 0.48a
CK	221.2 ± 7.04c	87.65 ± 1.13a	93.66 ± 1.55a	28.26 ± 0.02a	6.14 ± 0.02c
S	209.4 ± 13.70c	86.00 ± 1.25a	92.23 ± 1.32a	28.50 ± 0.26a	6.04 ± 0.08c
SM	196.5 ± 5.81c	88.03 ± 2.66a	95.64 ± 1.00a	28.81 ± 0.35a	6.12 ± 0.16c

### 3 讨论

#### 3.1 稻草还田对土壤微生物的影响

土壤微生物种群及土壤酶活性是评价土壤生态环境质量的重要指标<sup>[16]</sup>。稻草还田配施菌剂后,丰富的有机质促使菌剂中的细菌和真菌大量繁殖,从而提高土壤中有益微生物的数量,增加土壤中酶的种类和活性<sup>[17]</sup>。这些土壤酶又有效促进土壤中矿质元素的转化,促进水稻生长<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,稻草还田配施化肥与菌剂和单一的稻草还田相比,显著提高了土壤微生物数量、土壤酶活性及早稻产量。其原因是稻草还田配施化肥与菌剂,在水稻生长前期使稻草分解菌大量快速繁殖,形成优势菌群,从而使稻草快速腐烂,使微生物与水稻生长的需氮高峰期在时间上错开,减少了微生物与水稻的争氮问题的发生<sup>[2]</sup>,从而有利于早稻分蘖和产量的提高。

#### 3.2 稻草还田对土壤有机碳组分的影响

前人的研究指出,土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数的变化程度与耕作方式和施肥等农业管理措

施密切相关<sup>[19,20]</sup>。本研究表明,稻草还田提高了土壤总有机碳的含量,这与王燕<sup>[21]</sup>的研究结果一致,但减少了土壤矿化碳含量,与相关报道不一致<sup>[20,22]</sup>,这可能与土壤质地和种植制度不同有关,也可能与稻草还田后稻草腐解程度不同有关。本研究表明,稻草还田配施化肥与菌剂,有利于耕作层土壤活性碳含量和碳库管理指数的提高,且对增加土壤碳素有效率有较好的效果。这一结果为稻草还田配施化肥与菌剂的推广应用提供了理论依据。

### 4 结论

化肥与菌剂配合施用的稻草还田后,丰富的有机质含量促使菌剂中的细菌和真菌大量繁殖,提高了有益微生物的数量,增强土壤微生物活性,增加土壤中酶的活性,促进土壤中营养元素的转化,有利于水稻产量的提高。稻草还田配施化肥与菌剂能显著提高土壤有机碳的含量,使土壤碳库管理指数得到显著增加。且土壤碳库管理指数与水稻产量有很好的相关性,说明碳库管理指数能较灵敏地指示土壤肥力状况。

参考文献:

[1] 吴建富,曾研华,潘晓华,石庆华,杨小华,吴玉成. 机械化稻草全量还田对水稻产量和土壤碳库管理指数的影响[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(5): 835-839

[2] 倪国荣,涂国全,魏赛金,吴建富,石庆华,潘晓华. 稻草还田配施催腐菌剂对晚稻根际土壤微生物与酶活性及产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012,31(1):149-154

[3] 蔡晓布,钱成,张元,普琼. 西藏中部地区退化土壤秸秆还田的微生物变化特征及其影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3):463-468

[4] 谭周进,李倩,李建国,屠乃美,肖启明,周清明,陈莹. 稻草还田量对晚稻土微生物数量及活度的动态影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3):670-673

[5] 田慎重,宁堂原,王瑜,李洪杰,仲惟磊,李增嘉. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 373-378

[6] Grneme Blair I, Rod D R, Efrog. Soil carbon fractions based on their degrees of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Aust. J. Agri. Res. 1995, 46: 56-66

[7] Wang W J, Dalal R C, Moody P W. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35:273-284

[8] Ishaq M, Ibrahim M. Tillage effects on soil properties at different levels of fertilizer application in Punjab, Pakistan[J]. Soil & Tillage Research, 2002, 68: 93-99

[9] Bradley R L, Fyles J W. A kinetic parameter describing soil available C and its relationship to rate increase in C mineralization[J]. Soil Boil Biochem, 1995, 27(2): 167-172

[10] Sparling G P, Ord B G, Vaughan D. Changes in microbial biomass and activity in soil amended with phenolic acids[J]. Soil Biol

Biochem, 1981, 13: 455-460

[11] 曾研华,吴建富,潘晓华,石庆华,吴自明,邓伟明,杨小华,吴玉成. 不同稻草还田方式下土壤碳库管理指数的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30):77-81

[12] 杨珍平,张翔宇,苗果园. 施肥对生土地谷子根苗生长及根际土壤酶和微生物种群的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(4):802-808

[13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 科学出版社, 1986: 294-329

[14] 邵月红,潘剑君,孙波. 长期施肥对红壤不同形态碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 126-127

[15] Choromanska U, Deluca T H. Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soil following heating[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34: 263-271

[16] 宋日,吴春胜,牟金明,姜岩,郭继勋. 玉米根茬留田对土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 303-306

[17] 季立声,贾君永,张圣武,赵秉强. 秸秆直接还田的土壤生物学效应[J]. 山东农业大学学报, 1992, 23(4):375-379

[18] 庞欣,张福锁,王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4):476-480

[19] 沈宏,曹志洪. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报, 2000,37(2):166-172

[20] 陈尚洪,朱钟麟,刘定辉,舒丽,王昌全. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 806-809

[21] 王燕,王小彬,刘爽,梁二,蔡典雄. 保护性耕作及其对土壤有机碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 766-771

[22] 刘丽,周连仁,苗淑杰. 长期施肥对黑土水溶性碳含量和碳矿化的影响[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 61-62

(责任编辑 邱爱枝)



(上接第 1325 页)

[12] 胡汝晓,赵松义,谭周进,肖汉乾,巢进,屠乃美,周清明. 烟草连作对稻田土壤微生物及酶的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(5):494-497

[13] 陈宗泽,殷勤燕,王旭明,邹永久. 大豆连作土壤微生物区系动态研究初报[J]. 中国农业科学, 1997, 30(4):96

[14] 刘亚锋,孙富林,周毅,贾新成. 黄瓜连作对土壤微生物区系的

影响 I - 基于可培养微生物种群的数量分析[J]. 中国蔬菜, 2006(7):4-7

[15] 郝慧荣,李振方,熊君,陈慧,张重义,林文雄. 连作杯牛膝根际土壤微生物区系及酶活性的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2008,16(2):307-311

(责任编辑 邱爱枝)