

不同配方施肥对长期缺施钾肥的红壤性水稻土微生物特性的影响

陈建国¹, 张杨珠^{1*}, 曾希柏^{2*}, 周卫军¹, 谭周进³, 蒋端生¹

(1 湖南农业大学资环学院, 长沙 410128; 2 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3 湖南农业大学食品科技学院, 长沙 410128)

摘要: 为了验证平衡施肥对长期缺施钾肥的南方红壤性水稻土的修复效果, 通过 2 年盆栽试验, 以五种不同施肥处理(NPK、NPKSi、NPKOM、NPhK、NPhKOM)研究了长期缺施钾肥的水稻土的微生物特性。结果发现, 在对照(NPK)基础上增施硅肥(NPKSi)、钾肥(NPhK)能促进细菌和放线菌数量的增长, 提高微生物活性, 加速微生物量 N、P 的转化, 同时也能提高微生物量 C。相反, 在淹水条件下配施有机肥(NPKOM), 由于降低了水稻根际环境的氧化还原电位, 使根际微生物生长萎缩, 微生物活性、微生物量 C 无显著提高; 虽然土壤微生物量 N、P 随之增加, 但有机 N 的矿化减弱, 植株可吸收的有效态养分减少。增施钾肥的同时配施有机肥(NPhKOM)具有增施钾肥的优点, 即可提高微生物活性, 提高微生物量 C, 加速有机 N、P 的矿化, 但同时也会减少微生物数量。因此在缺钾水稻土的修复实践中, 常规施肥的基础上对水稻增施硅肥、钾肥应是有效举措。而配施有机肥则须谨慎, 有机肥或需适量酌施, 或需结合增施钾(硅)肥。

关键词: 缺钾水稻土; 施肥; 土壤微生物区系; 土壤微生物活性; 土壤微生物生物量

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)06-1200-06

Effects of different fertilizations on soil microbial characteristics in a paddy soil from red earth with long-term K-deficiency

CHEN Jian-guo¹, ZHANG Yang-zhu^{1*}, ZENG Xi-bai^{2*}, ZHOU Wei-jun¹, TAN Zhou-jin³, JIANG Duan-sheng¹

(1 College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2 Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3 College of Food Sciences and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: To test remediation effects of balanced fertilization on a paddy soil with long-term K-deficiency, a pot experiment has been being carried out since April, 2005 with five fertilization treatments(NPK, NPKSi, NPKOM, NPhK and NPhKOM). The results showed that the amount of bacterium and actinomyces, microbial biomass C and the microbial activities increased, and the rate of mineralization of organic nitrogen and phosphorus promoted with the increasing application rate of silicon fertilizer(NPKSi) or potassium fertilizer(NPhK). While the above mentioned parameter appeared an opposite trend with the addition of organic manure(NPKOM) because it resulted in a worse anaerobic condition though the microbial biomass N and P increased. Increasing potassium application accompanied with organic manure(NPhKOM) increased microbial biomass C and microbial activity, but decreased the amounts of microbe. Consequently, applying silicon or potassium fertilizer may remediate the paddy soil with long-term K-deficiency more efficiently. Excessive application of organic manure application should be avoided. Combine application of silicon fertilizer or potassium fertilizer was recommended suppose large amount of organic manure was addressed under our study condition.

收稿日期: 2007-09-19 接受日期: 2008-05-14

基金项目: 国家科技部“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD05B01)资助。

作者简介: 陈建国(1968—)男, 湖南省龙山县人, 高级农艺师, 博士研究生, 主要研究农业土壤的退化与修复。

Tel: 0731-7787418, E-mail: chenjing789@163.com

* 通讯作者 Tel: 0731-4618156, E-mail: zhangyangzhu2006@163.com; zengxb@cjac.org.cn

Key words: paddy soil with K-deficiency; fertilizations; microbial flora; microbial activities; soil microbial biomass

由于长期种植高产喜钾水稻品种以及不合理施肥, 中国南方水稻土大面积存在缺钾障碍, 主要表现为土壤缓效钾、有效钾含量低^[1]。当前对水稻土与作物钾素供需矛盾的研究多集中在补钾提高作物的经济产量, 而对土壤肥力的关注不够, 因此研究合理施肥以提高缺钾水稻土土壤肥力很有必要。

土壤微生物活动状况是重要的土壤肥力指标。土壤微生物数量和种类直接受耕作制度、作物种类、作物生育期、施肥技术等因素影响, 因而利用土壤微生物区系指标能够反映施肥修复措施对缺钾土壤肥力状况的改善程度^[2]。土壤微生物活度反映土壤微生物在土壤物质循环过程中的生化过程强度, 它是由植物代谢物总量和可利用的碳决定的。据报道, 有机质转化所需能量的 90% 以上来自微生物的分解作用, 故土壤微生物活度是土壤-植物体系中有有机质转化的较好指标^[3]。微生物生物量是土壤中有有机质养分的一种短暂而最有效的贮存形式, 是土壤养分的源和库以及土壤肥力水平的活指标^[4]。因此, 研究不同配方施肥对土壤微生物种群、数量、微生物活度以及微生物生物量的影响, 对于土壤质量的调控与评价均有着十分重要的意义。本研究试图通过盆栽试验, 研究不同施肥处理对缺钾土壤微生物特性的影响, 以此评价不同施肥结构对缺钾退化土壤的修复效果, 为缺钾土壤的修复提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验土壤

供试土壤于 2005 年 4 月采自湖南省农业厅土壤肥料站临澧县土壤肥力和肥效长期定位试验地,

该试验于 1986 年布置, 为缺施钾肥(NP)处理区的表层土壤, 属第四纪红色粘土发育的红黄泥。该处理试验地面积 66.67 m², 取样后分析土样养分含量, 其有机质含量 33.57 g/kg, 全 N 1.91 g/kg, 全 P 0.89 g/kg, 全 K 15.60 g/kg, 碱解 N 158.1 mg/kg, 速效 K 67.2 mg/kg, Olsen-P 17.59 mg/kg, 有效 Si 100.5 mg/kg, pH 5.31。

1.2 试验设计

本试验设计的主要因子为: 与水稻营养密切相关的硅、钾、有机肥及氮、磷、钾平衡施肥配比。试验各处理的施肥及施肥量见表 1。采用盆栽试验, 共设 5 个处理: 1) NPK, 施用常量氮、磷、钾肥; 2) NPhK, 在处理 1) 的基础上提高钾肥施用量的 1 倍; 3) NPKSi, 在处理 1) 的基础上配施硅肥; 4) NPKOM, 有机无机肥配合施用, 配合比例按有机肥 N、P、K 含量与无机肥 N、P、K 含量之和等于处理 1) 施入土壤中的 N、P、K 量来确定; 5) NPhKOM, 在处理 4) 的基础上, 提高钾肥施用量的 1 倍。每处理重复 6 次, 每盆栽装风干土 5.5 kg, 每盆栽插 3 蔸。供试氮肥为尿素, 磷肥为钙镁磷肥, 钾肥为氯化钾, 硅肥为偏硅酸钠, 有机肥早稻为猪粪和紫芸英, 晚稻为猪粪和鲜稻草。试验自 2005 年 4 月 15 日开始, 种植制度为稻一稻一冬闲。

1.3 分析测定方法

于 2006 年晚稻收获时(10 月 17 日)用取样器每盆采集土壤约 250 g, 新鲜土壤立即带回实验室, 于 4℃ 冰箱保存备用, 测定微生物区系、微生物活度与微生物生物量后风干, 过 2.0 mm 和 0.25 mm 筛, 装瓶保存备用。

表 1 试验设计

Table 1 The experimental designs

处理 Treatments	化肥用量(g/kg, Soil) Chemical fertilizer application rate			有机肥用量(g/kg, Soil) Organic manure application rate		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	偏硅酸钠 Sodium silicate	紫芸英/鲜稻草 Astragali/Green straw	猪粪 Pig feces
NPK	0.2/0.3	0.1/0.15	0.2/0.3	0	0	0
NPKOM	0.12/0.18	0.06/0.09	0.12/0.18	0	10	10
NPKSi	0.2/0.3	0.1/0.15	0.2/0.3	0.2	0	0
NPhK	0.2/0.3	0.1/0.15	0.4/0.6	0	0	0
NPhKOM	0.12/0.18	0.06/0.09	0.24/0.36	0	10	10

注(Note): 化肥 N、P、K 施用量中“/”前者为早稻用量; “/”后者为晚稻用量。The numbers before “/” are fertilizer rate for early rice, and after “/” for late rice in N, P, and K chemical fertilizer applied rate.

1.3.1 土壤微生物区系 好气和厌气性细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,放线菌用高泽氏 1 号琼脂培养基,真菌用马丁氏-孟加拉红链霉素琼脂培养基。好气性细菌采用稀释平板计数法,30℃下培养 30 h;厌气性细菌采用液体石蜡油法计数^[5],30℃下培养 48 h;放线菌和真菌采用稀释平板计数法,28~30℃下培养 5 d 均重复 3 次。

1.3.2 土壤微生物活性 采用改进的 FDA 法测定。在无菌磷酸缓冲液中(pH 7.6)加入 FDA 储备液至终浓度 10 μg/mL,再加入土壤,24℃振荡培养 90 min,加等体积丙酮终止反应,6000 r/min 离心 5 min,过滤,490nm 波长处进行比色。重复 3 次,以隔日 2 次高压湿热灭菌土壤为对照^[3]。

1.3.3 土壤微生物生物量 土壤微生物生物量碳(MB-C)的测定采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取的方法。称取相当于 25 g 烘干土重的新鲜土样于直径 12 cm 的培养皿中,加入无乙醇氯仿,与土壤拌和均匀,移入真空干燥器中用氯仿蒸汽熏蒸 24 h,用反复抽真空的方法除去残存氯仿后,再用 100 mL 0.5 mol/L K₂SO₄ 溶液振荡提取 30 min,过滤;取 5 mL 提取液于 50 mL 消化管中,用重铬酸钾-硫酸亚铁容量法测定有机 C。以熏蒸土样与不熏蒸土样提取的有机 C 的差值除以转换系数 K_C(0.38)计算土壤 MB-C。

土壤微生物生物量氮(MB-N)的测定:提取液的制备与上述相同。取 15 mL 提取液,加 CuSO₄和浓硫酸消化,用凯氏定氮法测定氮。以熏蒸土样与不熏蒸土样提取的有机氮的差值除以转换系数 K_N(0.45)计算土壤 MB-N。

土壤微生物生物量磷(MB-P)的测定:称取相当于 5.0 g 烘干基的新鲜土样于直径 12 cm 的培养皿中,按上述方法熏蒸,用 100 mL 0.5 mol/L NaHCO₃(pH 8.5)提取(振荡 30 min),过滤;钼锑抗法显色,分光光度计法(VIS-723G 型可见分光光度计)测

定无机磷。同时用外加无机磷酸盐(KH₂PO₄)的方法测定磷的提取回收率。以熏蒸土样与不熏蒸土样提取磷的差值并校正提取回收率后,除以转换系数 K_P(0.4)计算土壤 MB-P。

1.3.4 土壤 pH 的测定 土壤 pH 采用蒸馏水(土水比 1:4)浸提 15 min,用 pHS-3C 型 pH 计测定^[6]。

1.3.5 数据处理与统计分析 试验数据采用统计软件 SPSS 12 及 Microsoft Excel 2003 处理。土壤微生物数量、土壤微生物活性、微生物生物量碳、氮、磷、等指标数据利用单因素方差分析(ONE-WAY ANOVA),最小显著差数法(LSD)的差异显著性为 0.05 水平。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤微生物数量的影响

2.1.1 细菌 水稻根际土壤的细菌主要由好气性细菌、嫌气性细菌、兼性嫌气细菌组成,好气性细菌数量大^[7],与水稻根系的生理活动(如分泌氧气及其他有机物)呈正相关^[8],而施肥处理直接影响水稻的生理活动。从表 2 可以看出,NPKSi 处理的土壤细菌数量最大,为 34.90×10^6 CFU/g 土,与对照 NPK 处理(26.1×10^6 CFU/g 土)差异达显著水平;NPhK 处理细菌数量(28.40×10^6 CFU/g 土)比对照高 8.8%,差异不显著;NPhKOM、NPKOM 处理则比对照分别低 29.8%、70.49%,差异达极显著水平。NPKSi 在对照的基础上满足了水稻对硅的需求,水稻根系生理活动旺盛,根系分泌物多,细菌数量最大,显然,硅是根际细菌数量的显著影响因子;与对照相比,增施钾肥处理 NPhK 可能弥补了土壤钾的不足,从而促进了水稻的生长,刺激了根系的生理活动,因而细菌数量较高,但差异不显著;施入有机肥的两个处理 NPKOM、NPhKOM 细菌数量较对照低,可能是因为在淹水条件下新鲜有机肥的加入,强化

表 2 不同施肥处理土壤微生物数量和 pH

Table 2 The quantities of microbe and pH in the soils with different fertilization treatments

施肥处理 Treatments	细菌 Bacteria ($\times 10^6$ CFU/g)	放线菌 Actinomycetes ($\times 10^3$ CFU/g)	真菌 Fungi ($\times 10^3$ CFU/g)	pH
NPK	26.1 b	4.67 b	6.00 b	7.24
NPKSi	34.9 a	6.80 a	3.93 c	7.47
NPKOM	7.7 d	3.83 b	2.20 d	7.28
NPhK	28.4 b	6.50 a	12.60 a	7.40
NPhKOM	18.3 c	4.10 b	2.10 d	7.33

注(Note): 同行数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同 Values followed by different letters within a row are significantly different at $P < 0.05$ level. The same below.

了产甲烷细菌等嫌气细菌的活动, 结果根际氧化还原电位降低, 直接影响根系生理活动, 从而使根际好气性细菌数量减少^[9-10]。另外, 新鲜有机肥的加入, 加大了根际土壤有机物的 C/N 值, 土壤微生物与水稻根系争夺氮素, 使水稻根系氮素相对缺乏而引起水稻根系活动减弱, 进而也影响根际细菌数量^[11]。NPhKOM 处理比 NPKOM 处理细菌数量高, 原因可能是前者增施的钾肥在缺钾土壤中能较好满足水稻对钾的需求, 有利于水稻根系发育, 根际形成较好的细菌(特别是好氧性细菌)生长条件, 这也间接说明在逆境中钾素对水稻生长具有促进作用。

2.1.2 放线菌 放线菌属好氧性微生物, 生活环境宜于微碱性^[7]。在稻田淹水条件下, 数量较低。如表 2, NPKSi、NPhK 处理放线菌数量较高, 分别为 6.80×10^3 CFU/g 土、 6.50×10^3 CFU/g 土, 与对照相比, 分别提高了 45.6%、39.2%, 差异显著; NPhKOM、NPKOM 处理放线菌数量比对照低 12.2%、17.9%, 差异不显著。加入新鲜有机肥和不加新鲜有机肥差异显著的原因可能是: 新鲜有机肥的加入降低了根际土壤氧化还原电位, 减少了根系的泌氧活动, 使放线菌数量减少; 相反, NPKSi、NPhK 分别是在 NPK 平衡施用的基础上满足了水稻对硅的需求和突破了土壤缺钾的限制, 因此水稻生理活动旺盛, 根系泌氧功能强, 放线菌数量较多。

2.1.3 真菌 真菌也属好氧性微生物, 宜于微酸性

环境下生活, 故其数量在稻田淹水条件下对水稻根系活力依赖较大。表 2 看出, 真菌数量以 NPhK 处理最高, 达 12.60×10^3 CFU/g 土, 比对照高 110%, 差异极显著; NPKSi、NPKOM、NPhKOM 处理的真菌数量分别为 3.93×10^3 、 2.2×10^3 、 2.1×10^3 CFU/g 土, 比对照低 34.5%、63.3%、65%, 与对照差异极显著。NPhK 处理真菌数量高可能是由于钾提高了真菌在微碱性环境中的抗逆能力; NPKSi、NPKOM、NPhKOM 处理与对照比较, 真菌数量低的原因可能是配施 Si、有机肥后提高了土壤 pH(见表 2), 同时, 加入有机肥也加剧了土壤的厌氧环境。

2.2 施肥对土壤微生物活度及微生物生物量的影响

2.2.1 对微生物活度的影响 微生物活度代表微生物活动过程中生化代谢强度, 能反映土壤养分代谢状况, 由植物代谢总量和可利用碳决定。表 3 显示, NPKSi(0.600)、NPhK(0.600)、NPhKOM(0.562)处理微生物活度最高, 分别比对照 NPK(0.363)高 65.3%、65.3%、54.8%, 差异极显著; NPKOM(0.395)与对照相比略高, 但差异不显著。增施硅、钾能增强水稻生理活动, 提高水稻代谢总量; 而增施有机肥能提高微生物可利用碳量, 但同时又能降低土壤氧化还原电位, 削弱根系活力。故增施硅、钾比增施有机肥更能提高土壤微生物活度。

表 3 晚稻收获期不同施肥处理土壤微生物活度和微生物生物量

Table 3 The microbial activity and the microbial biomass in the soils with different fertilization treatments after later rice harvested in 2006

施肥处理 Treatments	微生物活度(OD) Microbial activities	MB-C (mg/kg)	MB-N (mg/kg)	MB-P (mg/kg)
NPK	0.363 ± 0.019 b	469.06 c	85.03 a	33.00 b
NPKSi	0.600 ± 0.035 a	491.63 c	62.27 b	21.75 d
NPKOM	0.395 ± 0.004 b	480.05 c	86.57 a	38.53 a
NPhK	0.600 ± 0.006 a	579.56 b	75.89 ab	26.99 c
NPhKOM	0.562 ± 0.007 a	681.23 a	60.43 b	14.17 e

2.2.2 对微生物生物量碳(MB-C)的影响 本试验各处理土壤 MB-C 以 NPhKOM 处理最高, 为 681.23 mg/kg, 其次为 NPhK 处理(579.56 mg/kg), 以下依次是 NPKSi(491.63 mg/kg)、NPKOM(480.05 mg/kg)、NPK(469.06 mg/kg)(表 3)。土壤 M-C 与土壤中被微生物直接利用的有机碳呈正相关, 同时长期淹水和较低的温度有利于 MB-C 的积累^[9]。在本试验各处理中可被土壤微生物利用的有机碳包括施肥时

加入的有机肥, 前季水稻留下的根茬和当季水稻收获前死亡的根及根系细胞脱落物, 低分子分泌物^[12]。缺钾土壤中, 在对照 NPK 处理基础上增施钾肥(NPhK)有利于土壤速效钾的补充, 可促进根的生长; 施入硅肥(NPKSi)有利于水稻生物量的提高。NPhKOM 处理兼有增钾、增外源微生物可利用碳的优势, 故其 MB-C 最高; 与硅相比, 微生物可能更需要钾素, 因而 NPhK 处理比 NPKSi 处理 MB-C 高。

NPKOM 处理虽有外源有机肥的加入,但与 NPKSi 处理比较,却不能满足水稻对硅的需求,使得其水稻生物量较低,各季水稻根系产生能为微生物利用的有机碳较少,故其 MB-C 较低。

2.2.3 对微生物生物量氮(MB-N)的影响 各处理土壤 MB-N 以 NPKOM 处理(86.57 mg/kg)最高,以下依次为对照 NPK(85.03 mg/kg)、NPhK(75.89 mg/kg)、NPKSi(62.27 mg/kg)、NPhKOM(60.43 mg/kg),在 NPK 处理的基础上增施硅(NPKSi)、钾(NPhK)降低了 MB-N,可能是增施硅、钾后水稻生理功能增强,加强了根系对氮吸收,进而加速 MB-N 的分解;而增施有机肥提高 MB-N 的原因可能是由于微生物可利用碳量提高,加强了对氮的积累^[13]。各处理间 MB-N 与微生物活度呈显著负相关(图 1),这是因为微生物活度与 MB-N 矿化呈相反趋势:微生物活度高会加速 MB-N 矿化,存留于土壤中的 MB-N 就较少;相反,微生物活度低则会减缓 MB-N 矿化,存留的 MB-N 就较多。

2.2.4 对微生物生物量磷(MB-P)的影响 从表 3 可见,土壤 MB-P 以 NPKOM 处理最高(38.53 mg/kg),其次为对照 NPK(33.00 mg/kg) > NPhK(26.99 mg/kg) > NPKSi(21.75 mg/kg) > NPhKOM(14.17 mg/kg),各处理 MB-P 大小顺序与 MB-N 相同,且二者呈极显著正相关(r 为 0.95)。以上说明在氮磷钾肥平衡施用的基础上,其他施肥因子(增施硅、钾、有机肥)对 MB-P 的影响与对 MB-N 影响效果相同,各处理微生物对氮磷的固持同步。

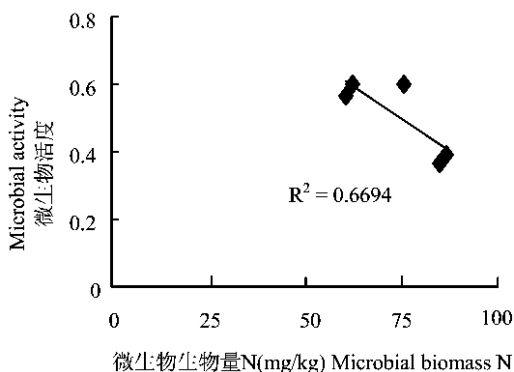


图 1 试验土壤不同处理微生物生物量 N 与微生物活度的相关性

Fig.1 The correlation between MB-N and microbial activities in the paddy soils with different fertilization treatments

微生物生物量 C/N 值往往能反映微生物种类。有报道,真菌菌丝的 C/N 值在 7~12 之间,细菌的 C/N 值在 3~6 之间^[14]。本试验各处理间微生物生物量 C/N 值大小顺序依次为: NPhKOM(11.27)、NPKSi(7.90)、NPhK(7.64)、NPKOM(5.55)、NPK(5.52)。显然,施肥处理不同,缺钾土壤的微生物种类是不同的。NPhKOM、NPKSi、NPhK 处理的土壤微生物以真菌(放线菌)为主,而 NPKOM、对照 NPK 处理的土壤微生物以细菌为主。

3 结论

由于硅素对水稻的特殊生理功能以及缺钾水稻土中水稻对钾素的需求,相对于对照(NPK),增施硅肥(NPKSi)、钾肥(NPhK)能促进微生物数量的增长,提高微生物活度,加速微生物量氮、磷的转化,同时也能提高微生物量碳。相反,在淹水条件下配施有机肥(NPKOM),由于加剧了水稻根际厌氧环境,根际微生物生长萎缩,微生物活度、微生物量碳无显著提高,虽然其微生物量氮、磷有所增加,但该处理土壤有机氮的矿化减弱,植株可吸收的有效态养分减少。增施钾肥同时配施有机肥(NPhKOM)具有增施钾肥的优点,即提高微生物活度、提高微生物量碳,加速有机氮、磷的矿化,但同时也会减少微生物数量。

缺钾水稻土修复实践中,在水稻常规施肥的基础上增施硅肥、钾肥是有效措施;因为配施有机肥会导致淹水土壤缺氧,水稻施用有机肥时须谨慎,需适量酌施或者结合增施钾(硅)肥。

参考文献:

- [1] 慕成功. 钾素营养与施肥技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997. 46-47.
Mo C G. Potassium nutrition and technology of fertilization[M]. Beijing: Chinese Agricultural Sciencetech Press, 1997. 46-47.
- [2] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对微生物 C、N、P 含量的影响[J]. 土壤学报, 2000, 33(1): 89-95.
Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping[J]. Acta Pedol. Sin., 2002, 35(1): 89-95.
- [3] Schnurer J, Rosswall T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter[J]. Appl. Environ. Microbiol., 1982, 46: 1256-1261.
- [4] Ritz K, Wheatley R E. Effects of water amendment on basal and substrate induced respiration rates of mineral soil[J]. Biol. Fert. Soils, 1989, 8: 242-246.
- [5] 李卓棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京:

- 中国农业出版社,1996.36,305-308.
- Li F D, Yu Z N, He S J. Agricultural microbiology experimental technology[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1996. 36, 305-308.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2004. 12, 150.
- Lu R Q. Analytical methods of agricultural soil chemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Sciencetech Press, 2004.12, 150
- [7] 李阜棣. 土壤微生物学[M]. 北京:中国农业出版社,1996. 80-96.
- Li F L. Soil microbiology[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1996. 80-96.
- [8] 谭周进,李倩,陈冬林,等. 稻草还田对晚稻土微生物及酶活性的影响[J]. 生态学报,2006,26(10):3385-3392.
- Tan Z J, Li Q, Chen D L *et al.* On the effect of rice-straw returned to the field on microbes and enzyme activity in paddy soil[J]. Acta Ecol. Sin., 2006, 26(10): 3385-3392.
- [9] Olivier C D, William R H. Decomposition of rice straw and microbial carbon use efficiency under different soil temperatures and moistures[J]. Soil Biol. Biochem. 2000, 32: 1773-1785.
- [10] Glissmann K, Conrad R. Fermentation pattern of methanogenic degradation of rice straw in anoxic paddy soil[J]. FEMS Microbiol. Ecol., 2000, 31: 117-126.
- [11] Ocio J A, Martinez J, Brookes P C. Contribution of straw-derived N to total microbial biomass N following incorporation of cereal straw to soil[J]. Soil Biol. Biochem, 1991, 23: 655-659.
- [12] 焦海华. 根的分泌物与根际微生物关系的研究[J]. 洛阳师范学院学报,2003(2):88-90.
- Jiao H H. Study of the relation between plant root secretions to root region microorganism[J]. J. Luoyang Norm. Coll., 2003, (2): 88-90.
- [13] 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):276-280.
- Pang X, Zhang F S, Wang J G. Effect of different nitrogen levels on SMB-N and microbial activity[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 6(4): 276-280.
- [14] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils[J]. Soil Biol. Biochem, 1989, 21: 471-479.