

冬季作物对稻田土壤微生物量碳、氮 和微生物熵的短期影响

张 帆*, 黄凤球, 肖小平, 吴家梅

(湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)

摘要: 研究不同的冬季作物马铃薯、黑麦草、紫云英、油菜在“冬季作物-双季稻”轮作种植制度下短期内对稻田土壤微生物碳、氮和微生物熵的影响, 在湖南省土壤肥料研究所的实验网室内设置了小区试验。试验结果表明: 几种冬季作物均提高了稻田土壤微生物碳、氮含量, 黑麦草明显提高了土壤微生物量碳和微生物熵, 紫云英明显提高了土壤微生物量氮。冬季作物对土壤微生物量碳和土壤微生物量氮的季节性影响变化趋势基本一致, 紫云英、马铃薯处理的土壤微生物量 C、N 含量均在水稻生育期间 8 月中旬达到最大值。

关键词: 冬季作物; 稻田土壤; 土壤微生物量碳; 土壤微生物量氮; 微生物熵

文章编号: 1000-0933(2009)02-0734-06 中图分类号: Q143, Q938, S154.36 文献标识码: A

Short-term influences of winter crops on microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen and C_{mic} -to- C_{org} in a paddy soil

ZHANG Fan*, HUANG Feng-Qiu, XIAO Xiao-Ping, WU Jia-Mei

Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha 410125, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0734 ~ 0739.

Abstract: Winter crop-rice-rice is an important cropping system in rice production region of Hunan Province. The selection of an appropriate winter crop that is beneficial to rice crop and paddy soil is critical to sustainable crop production. The objective of this study was to investigate the effects of selected winter crops on soil microbial biomass carbon, microbial nitrogen and C_{mic} -to- C_{org} in a reddish paddy soil, using an experiment initiated in 2004. The winter crops included potato, ryegrass, Chinese milk vetch, and rape seed, and fallow was used as control. The results indicated that under winter crops soil microbial biomass C and microbial N were relatively higher than under fallow. Ryegrass significantly increased soil microbial biomass C and C_{mic} -to- C_{org} , Chinese milk vetch significantly increased soil microbial biomass N, and the trends of soil microbial biomass C and N during rice growth seasons were similar among different crops. Soil microbial biomass C and microbial N under Chinese milk vetch and potato reached the maximum in mid-August.

Key Words: winter crops; paddy soil; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; C_{mic} -to- C_{org}

土壤微生物是土壤有机质和养分循环转化的动力, 是土壤养分转化过程中的一个重要的活性库或源, 对土壤碳、氮、磷和硫的植物有效性及在陆地生态系统的循环产生深刻的影响。土壤微生物量碳(soil microbial biomass carbon, SMBC)、土壤微生物量氮(soil microbial biomass nitrogen, SMBN)、微生物熵(microbial quotient or C_{mic} -to- C_{org})均被用作评价土壤肥力和土壤质量早期变化的有效指标^[1,2]。国内外研究表明, 环境条件和农

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD15B08)

收稿日期: 2007-09-20; 修订日期: 2008-01-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangfan898@sina.com

业中的种植制度、耕作方式、轮作措施、有机残体的投入,施肥方法均是影响土壤微生物生物量的重要因素^[3-7]。湖南是我国双季稻的主产区,“冬季作物-双季稻”轮作是该区重要的种植制度,保持该区稻田土壤肥力的稳定和持续是水稻稳产、高产的重要基础。国内对该区稻田土壤微生物生物量的研究大多集中在施肥措施(制度)对其产生的影响^[3,8,9],彭佩钦等^[4]对洞庭湖区不同土地利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响进行了研究。但有关“冬季作物-双季稻”轮作种植制度,土地利用方式是旱地-水田轮作,不同的冬季作物对稻田土壤微生物生物量影响的研究很少。本试验主要是探讨几种冬季作物在纳入到该区的“冬季作物-双季稻”轮作种植制度中,冬季作物对稻田土壤微生物量和微生物熵所产生的短期影响,旨在为水稻栽培制度、生产管理以及选择适宜的冬季作物提供科学参考依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验设计与栽培管理

试验在湖南省农科院土壤肥料研究所实验网室内进行。供试土壤为第四纪红粘土发育的红黄泥,土壤有机碳 13.3 g kg^{-1} ,全氮 1.46 g kg^{-1} ,全磷 0.81 g kg^{-1} ,有效氮 154.5 mg kg^{-1} ,速效磷 39.2 mg kg^{-1} ,速效钾 $120.43 \text{ mg kg}^{-1}$ 。以“冬季作物-双季稻”轮作为种植制度,试验设对照冬闲(CK)、马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)、黑麦草(*Lolium multiflorum*)、紫云英(*Astragalus sinicus* L.)、油菜(*Brassica napus* L.)5个处理,采用随机区组设计,小区面积为 $1\text{m} \times 1\text{m}$,3次重复。冬季作物马铃薯在冬季12月初采用稻草覆盖、穴播种植,密度为 $7.5 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$;黑麦草在晚稻收获后免耕直播,播种量为 $22\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;紫云英在晚稻收获前套播,播种量为 $37\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;油菜在晚稻收获前套播,播种量为 $4\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;在对照处理中没种植冬季作物,主要作物是当地的冬季杂草。早稻品种为湘杂优31号,晚稻品种为威优16号,早稻和晚稻的插植密度为 $20\text{cm} \times 12.5\text{cm}$ 。早稻移栽时间是在每年5月份的第1周,晚稻是在每年早稻收获第3天移栽,移栽时间是在每年7月份的第2周。氮、磷、钾化肥分别用尿素、过磷酸钙和氯化钾。双季稻和冬季作物种植时均施入底肥,施用量和方法为:早稻氮肥 $\text{N } 225\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,早稻磷肥 $\text{P } 375\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,早稻钾肥 $\text{K } 112.5\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;晚稻氮肥 $\text{N } 300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,晚稻磷肥 $\text{P } 375\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,晚稻钾肥 $\text{K } 112.5\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;冬季作物氮肥 $\text{N } 75\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,冬季作物磷肥 $\text{P } 375\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。后作物(早稻)移栽种植前的1~2周内,冬季作物均被收获,其中黑麦草和紫云英被翻压还田用作绿肥,还田量为 $25\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$;马铃薯收获后其秸秆作为养分循环利用被全部翻压还田。

该试验开始于2004年9月,已连续进行2a,每年的施肥方法和田间管理措施如灌溉、使用机械、喷洒农药等均一致。

1.2 样品采集与测定方法

在2006年分别于4月8日,5月20日,6月20日,7月12日,8月13日,9月14日,10月10日进行土壤样品的采集,每处理用内径20mm的土钻取5个点,土层为0~20cm的耕层土壤。土壤剔除石砾及植物残茬等杂物,一部分新鲜土壤过2mm筛子,放置于4℃冰箱内贮,备测定土壤微生物量碳和土壤微生物量氮分析之用。

样品测定中土壤样品全氮和有机碳的测定方法参见《土壤农业化学分析方法》^[10]。土壤微生物量碳采用熏蒸浸提-重铬酸钾容量法测定^[11],土壤微生物量氮采用熏蒸浸提取法测定^[12]。

数据处理、相关分析采用Excel2003软件进行,方差分析和多重比较采用DPS 3.11(Data Processing System for Practical Statistics)软件进行,多重比较采用Duncan新复极差法。

2 结果与分析

2.1 冬季作物对水稻生育期土壤微生物量碳、氮的影响

由图1可见,在早稻整个生育期间(2006-05~2006-07),种植冬季作物处理的SMBC含量都比对照冬闲的高,特别是黑麦草处理SMBC含量显著高于其它处理($P < 0.05$),并且在7月中旬达到最大值,SMBC含量是 $490.14 \text{ mg kg}^{-1}$ 。马铃薯处理、紫云英处理的SMBC含量均在晚稻的生长季节里8月中旬达到最大值。9月中旬出现异常,冬闲处理的SMBC含量高于其它处理。图1表明,每个处理的SMBN含量具有相似的变

化趋势。从6月中旬到8月中旬,每个处理的 SMBN 含量开始逐渐增加且在8月中旬达到最大值。这主要是因为这段时间稻田土壤温度较高,微生物活性增强;早稻收获后残根残茬也为微生物的大量繁殖提供了新的能源(碳源),土壤微生物数量增加的同时对氮素的固持也相应增加;7月中旬至8月中旬这段时间水稻植株营养体比较小,需氮量小,在7月中旬晚稻移栽时所施用的化学氮肥和前茬冬季作物的残留物的养分释放保证了晚稻前期对 N 的需求,导致土壤微生物对氮固持量增加。在早、晚稻整个生育期间,每个处理的 SMBN 含量比冬闲均有所提高,其中黑麦草处理和紫云英处理的 SMBN 含量与冬闲相比提高显著($P < 0.05$),特别是紫云英处理的 SMBN 含量显著高于其它冬季作物处理($P < 0.05$),而马铃薯和油菜处理对 SMBN 含量的影响差异不显著($P > 0.05$)。

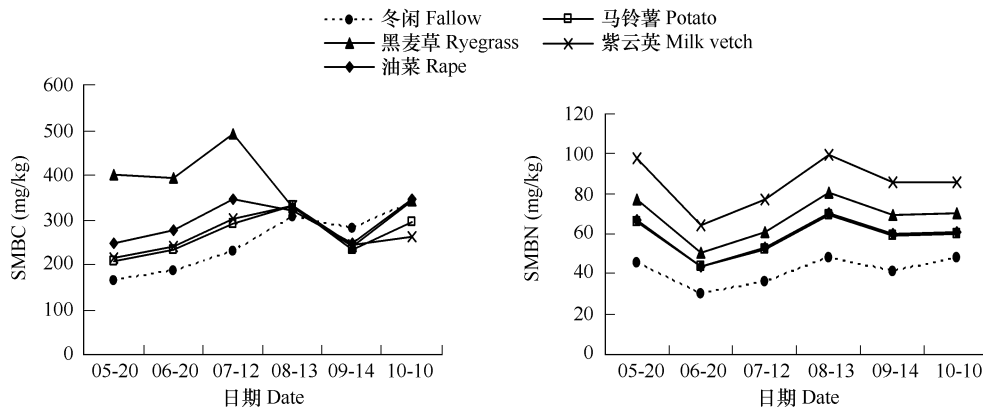


图1 水稻生育期间土壤微生物量 C 和土壤微生物量 N 的变化 (mg kg^{-1})

Fig. 1 The change of soil microbial biomass carbon, nitrogen during double cropping rice growth periods

由图1可见,在早、晚稻的整个生育期间从6月中旬开始,每个处理的土壤微生物量氮的季节性变化和土壤微生物量碳的季节变化基本保持同步,说明稻田土壤微生物对 N 素的固持作用主要取决于土壤微生物本身的生物量大小,表明 SMBC、SMBN 两者具有极显著的正相关关系^[3]。8月中旬至9月中旬,每个处理的 SMBC、SMBN 含量都是逐渐在减少。这主要是因为晚稻的抽穗期对养分氮的吸收增加,需从土壤中吸收大量的养分,使得微生物固持的氮释放出来以满足水稻生长需求,而微生物分解前茬作物残留物需要消耗自身一部分养分,导致微生物固氮量减少。在晚稻成熟期(2006-09-14 ~ 2006-10-10)间,每个处理的 SMBC、SMBN 含量又开始逐渐增加,这可能是因为晚稻成熟期植株部分根系死亡,为微生物的繁殖提供新的碳源;在晚稻生长的后期水稻根系活动明显减弱,根系对养分吸收量减少,使得土壤中一部分养分被微生物所固持。

2.2 冬季作物对水稻生育期土壤微生物熵 ($C_{\text{mic-to-}C_{\text{org}}}$) 的影响

土壤微生物量碳 (C_{mic}) 与土壤总有机碳 (C_{org}) 的比值称为微生物熵 ($C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$),它充分反映了土壤中活性有机碳所占的比例,从微生物学的角度揭示土壤肥力的差异。由于它是一个比值(单位为%),能够避免在使用绝对量或对不同有机质含量的土壤进行比较时出现的一些问题。国内外已有部分研究证明了微生物熵可以作为土壤碳动态和土壤质量研究的有效指标^[2,8]。

由图2可见,在早稻的生育期间(2006-05 ~ 2006-07),黑麦草处理的微生物熵值显著高于其它处理($P < 0.05$),且在7月中旬达到最大值, $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 是3.34%。从5月至8月中旬,马铃薯、紫云英、油菜各处理的微生物熵都是逐渐增加,并且在8月中旬达到最大值。本研究中各处理土壤微生物熵与土壤微生物量碳的季节性变化变化基本一致。刘守龙等^[8]研究认为,微生物熵并不能完全代替土壤有机碳来反映土壤质量的变化趋势,但微生物熵的变化可以作为有机碳变化的早期指标。已有研究表明,有机物的投入能提高土壤微生物熵^[8,13]。从全年平均值来看,黑麦草显著提高了稻田土壤微生物熵,其值为2.64%。但在本研究中油菜处理的微生物熵高于马铃薯和紫云英且差异不显著。

2.3 冬季作物对稻田土壤有机碳、全氮、土壤微生物量碳和土壤微生物量氮的影响

从全年平均值来看(表 1),种植冬季作物处理的土壤有机 C、全 N 比对照均有所提高。其中,马铃薯处理的土壤有机 C、全 N 都比对照显著提高($P < 0.05$),是冬季作物中提高幅度最大的。黑麦草和紫云英处理的土壤有机碳比对照分别提高了 6.71% 和 3.63% 且差异显著。分析表明土壤有机 C 与全 N 有极显著正相关关系($R = 0.98$)。

种植冬季作物处理的 SMBC、SMBN 比对照冬闲有所提高。其中黑麦草处理的 SMBC 显著高于其它冬季作物处理和对照冬闲,而紫云英处理的 SMBN 含量显著高于其它冬季作物处理和对照冬闲。已有研究证明稻田土壤微生物量 N 和土壤全 N 之间、土壤微生物量 C 和土壤有机 C 之间存在极其显著的正相关性^[3,4,9],从冬季作物对稻田土壤影响的短期来看,本研究没有证明这一点,它们之间仅存在很小的相关关系。

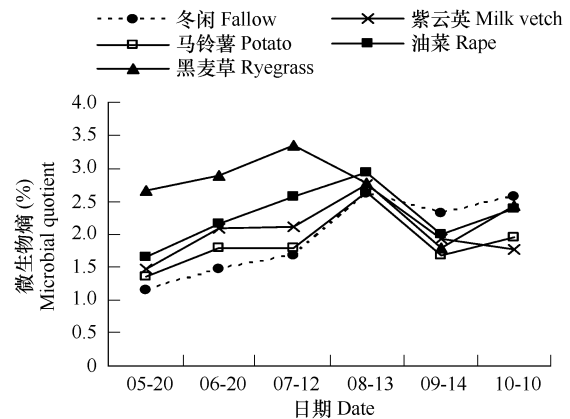


图 2 水稻生育期间土壤微生物熵的变化

Fig. 2 The change of microbial quotient during double cropping rice growth periods

表 1 冬季作物对土壤有机碳、全氮、土壤微生物量碳、氮的影响

Table 1 Winter crops effected on soil organic C, total nitrogen, soil microbial biomass C, soil microbial biomass N concentrations

冬季作物 Winter crops	土壤有机碳 (g/kg) SOC	全 N (g/kg) Total N	土壤微生物量碳 (mg/kg) SMBC	土壤微生物量氮 (mg/kg) SMBN	微生物熵 V(%) C_{mic}/C_{org}
冬闲(CK) Fallow	12.96d	1.27b	250.49b	41.54c	1.96b
马铃薯 Potato	14.40a	1.37a	263.76b	58.32bc	1.86b
黑麦草 Rye-grass	13.83b	1.32ab	365.44a	68.13b	2.64a
紫云英 Chinese milk vetch	13.43bc	1.29b	265.64b	85.03a	2.01b
油菜 Rape	13.24cd	1.28b	297.43b	59.01bc	2.27ab

同列不同字母表示差异达 5% 显著水平 Different letters within a column mean significant at 5% level

3 讨论

刘守龙等^[9]的研究得出增加新鲜有机物的投入(如秸秆还田和施有机肥)是提高稻田土壤微生物量及其对养分的固持能力的主要途径。陈安磊等^[3]的研究得出有机养分循环利用可提高稻田土壤微生物量 N、P, 显著提高微生物量 C。在本研究中,马铃薯处理在早稻移栽种植前马铃薯秸秆连同水稻秸秆被作为养分循环利用也被翻压还田(2006 年马铃薯地上部分鲜重产量为 $28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),在提高土壤微生物量 C、N 含量没有黑麦草和紫云英效果显著,原因可能是土壤中存在化学和分解程度不同的水稻和马铃薯秸秆,但却显著提高了土壤有机 C、全 N。

作物轮作对土壤物理、化学、生物学性状所产生的有益影响主要是因为较高的碳蓄积和进入土壤中植物秸秆(植物残留物)的多样性^[7]。本研究中冬季作物地下部分生物量和地下部分碳蓄积也是影响稻田土壤微生物量 C 差异的原因之一,冬季作物地下部分生物量、生物碳量分别是:黑麦草为 4768、1534 kg/hm^2 ;油菜为 925、339 kg/hm^2 ;紫云英为 830、293 kg/hm^2 ,即地下部分生物量、生物碳量是黑麦草 > 油菜 > 紫云英,而土壤微生物量 C 也是:黑麦草 > 油菜 > 紫云英。土壤微生物量氮含量与加入土壤的有机碳源种类和数量有关^[14]。本研究得出土壤微生物量 N 是:紫云英 > 黑麦草 > 油菜。这与紫云英是豆科植物密切相关,它在生长期利用根瘤固氮,植株中含氮的有机化合物多一些,被用作绿肥对微生物量 N 的影响大于禾本科植物。尽管黑麦草和紫云英被用作绿肥还田量相同,但两者地上部分生物碳含量不同,黑麦草是 4045 kg/hm^2 ,紫云英是 1800 kg/hm^2 。本研究也证明了禾本科作物用作绿肥对土壤有机碳和 SMBC 的影响更为有利^[9,15,16],黑麦草比紫云

英明显地影响了 SMBC。

土壤微生物量 N 含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映^[17]。无论是从全年平均值还是水稻的整个生育期间来看,被用作绿肥的紫云英和黑麦草明显地提高了 SMBN 含量,说明较多的 N 素通过同化作用转入微生物体内暂时固定,相应地通过 NH₃ 挥发、NO₃⁻ 淋失和反硝化脱氮等途径造成的 N 素损失将减少^[3],因此紫云英和黑麦草对提高水稻栽培生产中的 N 肥利用率、调节稻田土壤对 N 素供应和减少 N 肥对环境的污染有积极的意义。在湿润半湿润地区,黑麦草还可以减少冬季降雨期间土壤发生 NO₃⁻-N 淋溶的可能性^[16,18]。据田间调查,黑麦草鲜草产量可达 62.8 ~ 65.3 t·hm⁻²,有强大的碳蓄积能力,可以提高土壤碳汇效应,用做绿肥有利于稻田土壤可持续生产能力。综上所述,在“冬季作物-双季稻”轮作种植制度中该区适合选择禾本科作物黑麦草作为冬季作物来开发利用,以促进稻田的良性循环。

4 结论

从短期来看,在“冬季作物-双季稻”轮作种植制度里不同的冬季作物影响了稻田的土壤微生物量碳、氮及微生物熵的变化,被用作绿肥的冬季作物黑麦草对 SMBC 和微生物熵有显著影响,被用作绿肥的冬季作物紫云英对 SMBN 有显著影响。冬季作物对土壤微生物量碳和土壤微生物量氮的季节性影响变化趋势基本一致。

References:

- [1] Zhao X L, Cheng H T, Lü G H, *et al.* Advances in soil microbial biomass. *Journal of Meteorology and Environment*, 2006,22(4):68—72.
- [2] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter. *Australia Journal of Soil Research*, 1992, 30:195—207.
- [3] Chen A L, Wang K R, Xie X L. Effects of fertilization system and nutrient recycling on microbial biomass C,N, and P in a Red-dish Paddy soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005,24(6):1094—1099.
- [4] Peng P Q, Wu J S, Huang D Y, *et al.* Microbial biomass C,N,P of farmland soils in different land uses and cropping systems in Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(7):2262—2266.
- [5] Hu C, Cao Z P, Ye Z N, *et al.* Impact of soil fertility maintaining practice on soil microbial biomass carbon in low production agro-ecosystem in northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(3):808—814.
- [6] Ekenler M, Tabatabai M A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. *Biol. Fertil. Soils*, 2003,39:51—61.
- [7] Moore J M, Susanne Klose, Tabatabail M A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. *Biol. Fertil. Soils*, 2000,31:200—210.
- [8] Liu S L, Su Y R, Huang D Y, *et al.* Response of C_{mic}-to-C_{org} to land use and fertilization in subtropical region of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006,39(7):1411—1418.
- [9] Liu S L, Xiao H A, Tong C L, *et al.* microbial biomass C,N and P and their responses to application of inorganic and organic fertilizers in subtropical paddy soil. *Research of Agricultural Modernization*, 2003,24(4):278—282.
- [10] Lu R K ed. *Analytical Methods for Agricultural chemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press,2000. 106—163
- [11] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 1987,19:703—707.
- [12] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen, a rapid direct extraction method to measure microbial nitrogen in soil. *Soil Biol & Biochem.*, 1985,17:827—842.
- [13] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil/ Biplgy and Biochemistry*, 1989, 21: 471—479.
- [14] Zhou J B, Li S X, Chen Z J. Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relationships with nitrogen supplying ability of soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2001,21(10):1710—1723.
- [15] Liu X B, Song C Y, Stephen J. Herbert, *et al.* Ecological effects of cover crops. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002,13(3):365—368.
- [16] Kuo S, Sainju U M, Jellum E J. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997,61:145—152.

- [17] Zhao J Y, Yu Z W, Li Y Q, *et al.* Effect of nitrogen application rate on soil inorganic nitrogen distribution, microbial biomass nitrogen content and yield of wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006,12(4):466—472.
- [18] Kuo S, Sainju U M, Jellum E J. Winter cover cropping influence on nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*,1997,61:1392—1399.

参考文献:

- [1] 赵先丽,程海涛,吕国红,等. 土壤微生物量研究进展. *气象与环境学报*,2006,22(4):68~72.
- [3] 陈安磊,王凯荣,谢小立. 施肥制度与养分循环对稻田土壤微生物生物量碳氮磷的影响. *农业环境科学学报*,2005,24(6):1094~1099.
- [4] 彭佩钦,吴金水,黄道友,等. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响. *生态学报*,2006,26(7):2262~2266.
- [5] 胡诚,曹志平,叶钟年,等. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响. *生态学报*,2006,26(3):808~814.
- [8] 刘守龙,苏以荣,黄道友,等. 微生物商对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应. *中国农业科学*,2006,39(7):1411~1418.
- [9] 刘守龙,肖和艾,童成立,等. 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. *农业现代化研究*,2003,24(4):278~282.
- [10] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,2000. 106~163
- [14] 周建斌,陈竹君,李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用. *生态学报*,2001,21(10):1710~1723.
- [15] 刘晓冰,宋春雨,Stephen J. Herbert,等. 覆盖作物的生态效应. *应用生态学报*,2002,13(3):365~368.
- [17] 赵俊晔,于振文,李延奇,等. 施氮量对土壤无机氮分布和微生物量氮含量及小麦产量的影响. *植物营养与肥料学报*,2006,12(4):466~472.