

浙江慈溪不同利用年限水稻土微生物 生物量与酶活性比较

胡君利^{1,2,3}, 林先贵^{1,2,*}, 尹睿^{1,2}, 褚海燕^{1,2}, 王俊华^{1,2}, 张华勇^{1,2}, 曹志洪^{1,2}

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:测定了浙江慈溪 5 个不同利用年限水稻土(50 ~ 2000 a)的微生物生物量 C、N 和过氧化氢酶、转化酶、脲酶、磷酸酶的活性,分析了水稻土的生物化学环境质量与利用年限的相关性。结果发现,随着利用年限的延长,水稻土的微生物生物量 C 与 N 均趋于下降,其中微生物生物量 N 能较灵敏地反映利用年限造成的差异($p = 0.091$);水稻土的过氧化氢酶与转化酶活性均呈下降趋势,其中过氧化氢酶活性与利用年限之间确有线性回归关系($p = 0.042$);水稻土的脲酶活性不呈显著变化规律,而磷酸酶活性显著上升,其与利用年限之间确有线性回归关系($p = 0.022$)。总体表明,利用年限延长虽然会降低水稻土中微生物的生物量和整体活性,但对水稻土的肥力并没有产生不良影响,相反对水稻土的供磷能力有保育和增强作用,而对水稻土的供氮能力没有定向影响。

关键词:水稻土;利用年限;微生物生物量;土壤酶活性;供氮能力;供磷能力

文章编号:1000-0933(2008)04-1552-06 中图分类号:S154.3, X171.1 文献标识码:A

Comparison of microbial biomass and enzyme activities in paddy soils with different utilized years in Cixi, Zhejiang Province

HU Jun-Li^{1,2,3}, LIN Xian-Gui^{1,2,*}, YIN Rui^{1,2}, CHU Hai-Yan^{1,2}, WANG Jun-Hua^{1,2}, ZHANG Hua-Yong^{1,2}, CAO Zhi-Hong^{1,2}

1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Institute of Soil Science and Hongkong Baptist University, Nanjing 210008, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1552 ~ 1557.

Abstract: The microbial biomass C, N and the activities of enzymes, including catalase, invertase, urease and phosphatase, were investigated in five paddy soils with different utilized years, from 50 a to 2000 a, and the correlations between these biochemical properties in paddy soils and the utilized years were estimated. Both soil microbial biomass C and N tended to decrease with the increased utilized years, and the biomass N was more sensitive to reflect the difference caused by utilized years ($p = 0.091$). With increased utilized years, soil catalase activity decreased significantly ($p = 0.042$) and invertase activity tended to decrease, while urease activity had nondirective alteration, but the phosphatase activity increased evidently ($p = 0.022$). The results suggested that, the sustained utilization of paddy soil could decrease

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(40335047)

收稿日期:2006-12-25; 修订日期:2007-08-23

作者简介:胡君利(1982 ~), 男, 安徽绩溪人, 硕士生, 主要从事环境微生物生态学研究. E-mail: jlhu@issas.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xglin@issas.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the key project of National Natural Science Foundation of China (No. 40335047)

Received date: 2006-12-25; **Accepted date:** 2007-08-23

Biography: HU Jun-Li, Master candidate, mainly engaged in environmental microbial ecology. E-mail: jlhu@issas.ac.cn

the biomass and the total activity of soil microbial community, but could not result in the decline of soil fertility. Our result also indicated that, the sustained utilization had a potential to increase phosphorus supply capacity of paddy soils, but may not affect the nitrogen supply capacity.

Key Words: paddy soil; utilized years; microbial biomass; soil enzyme activity; nitrogen supply capacity; phosphorus supply capacity

据慈溪水利志^[1]记载,现慈溪市境在 6 000 多年前尚是一片汪洋浅海,以后由江河输入大海的陆地泥砂在海洋动力因素影响下逐渐沉积堆高形成海涂,存在生物活动以及有机质、氮素等的积累,有一定生产力;公元 5 世纪起,民间随海涂地形不同开始垒土筑塘、围涂开垦,并随着海涂淤积的北移不断增筑海塘,故在杭州湾南岸根据海塘建筑年代可以大致核定各区域内水稻土的利用年限。然而,随着利用年限的延长,水稻土的理化性质势必会发生变化,例如红壤水稻土的孔隙结构会逐渐得到改善,且重金属含量总体上趋于降低^[2,3]。那么,利用年限延长会对水稻土的生物学性质产生什么样的影响呢?

土壤微生物是使土壤具有生命力的最主要成分,在土壤形成和发育过程中起主要作用,是评价土壤质量的一个重要指标^[4]。其中,土壤微生物生物量是指土壤中个体体积小于 5 000 μm^3 的活微生物总量,既是土壤有机质和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;微生物生物量库的任何变化都会影响土壤养分的循环和有效性^[5],并能较早地指示整个农田生态系统功能的变化。此外,土壤酶参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环,在土壤的发生发育与肥力形成的过程中起有重要作用,作为表征土壤性质的生物活性指标已被广泛应用于评价土壤营养物质的循环转化情况以及各种农业措施的作用效果;农业耕作方式和管理措施会对土壤酶活性产生直接或间接的影响^[6],而湿地条件下的积水更会通过改变土壤微生物群落来影响酶的合成,增加诸如 Fe^{2+} 等抑制因子的浓度而影响土壤酶活性^[7]。

本试验以采自浙江慈溪的不同利用年限水稻土为研究对象,探讨利用年限对水稻土微生物生物量和酶活性的影响,为揭示水稻土的生物化学环境质量演变规律和可持续利用机理提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

浙江慈溪位于杭州湾南岸,介于北纬 $30^{\circ}02' \sim 30^{\circ}24'$ 和东经 $121^{\circ}02' \sim 121^{\circ}42'$ 之间,处北亚热带南缘,属季风型气候,年平均气温为 16.3°C ,平均降水量为 1 325.0 mm,平均日照为 1933.5 h,平均风速为 $2.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。2006 年 3 月 3 日~4 日,在浙江慈溪依据地方资料记载的海塘建筑年代大致核定各海塘间水稻土的利用年限,并采集在利用年限上具有明显差距(50~2 000 a)的水稻土耕作层样品 5 个,装入自封袋中带回实验室,过 2 mm 筛,置于 4°C 冰箱贮存。不同利用年限水稻土样品的编号及其基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤样品的基本理化性质
Table 1 Basic properties of the tested soils

编号 Sample number	利用年限 Utilized year (a)	耕作层深 Cultivation depth (cm)	有机碳 Organic C ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷 Total P ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全钾 Total K ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	铵态氮 NH_4^+-N ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	硝态氮 NO_3^--N ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效磷 Available P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH
P01	50	0~13	14.39	2.08	1.01	22.03	2.47	6.79	21.32	210.00	7.37
P07	500	0~15	12.48	1.23	1.02	18.60	1.21	8.09	22.36	157.33	7.82
P09	700	0~15	15.23	1.39	0.53	19.23	1.97	1.71	17.64	125.33	7.37
P11	1 000	0~18	13.35	1.52	0.64	20.77	1.71	3.47	26.67	234.67	6.93
P13	2 000	0~12	14.63	1.52	0.41	24.43	3.08	5.64	35.71	211.33	4.33

1.2 试验方法

土壤微生物生物量 C 和 N 用氯仿熏蒸浸提法测定,C 的系数为 2.64^[8],N 的系数为 1.85^[9];过氧化氢酶

活性用高锰酸钾滴定法测定(以 KMnO_4 计),转化酶活性用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定(以葡萄糖计),脲酶活性用靛酚比色法测定(以 NH_4^+ -N 计),磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定(以酚计)^[10]。

1.3 数据处理

实验数据使用 Excel 2003 软件进行制图和线性回归,并使用 SPSS 13.0 软件检验回归方程的显著性(F 检验, $p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物生物量 C 和 N 的比较

土壤微生物生物量是土壤有机质中最活跃和最易变化的部分,对植物养分具有贮存和调节作用,其大小和活性直接影响养分的矿化和固定^[11]。其中,土壤微生物生物量 C 一般只占土壤有机 C 全量的 1% ~ 4%^[12],却是土壤有效养分一个很大的给源和库存,受环境条件以及施肥、耕作、栽培等技术措施的影响;土壤微生物生物量 N 一般占土壤全 N 的 2% ~ 7%,是土壤有机-无机态 N 转化的一个关键环节,它的活性与消长是土壤 N 素内循环的本质性内容^[13]。随着利用年限的延长,土壤微生物生物量 C 和 N 均呈下降趋势(图 1),其中微生物生物量 N 能较灵敏地反映利用年限造成的差异($F = 6.061$, $p = 0.091$)。

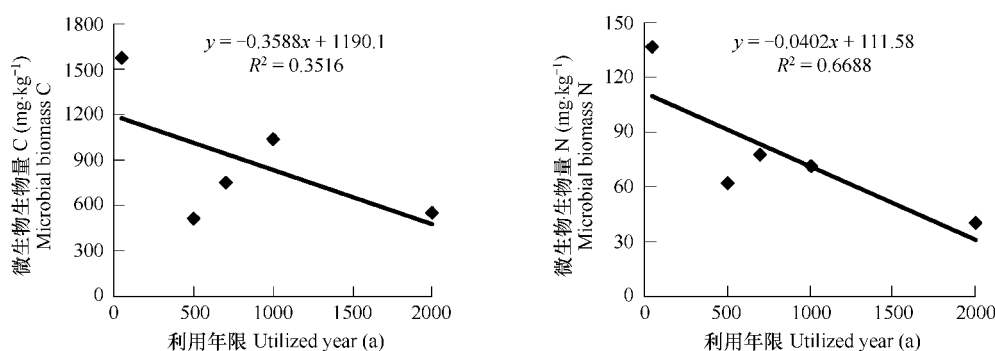


图 1 不同利用年限水稻土微生物生物量 C 和 N 的比较

Fig. 1 Comparison of microbial biomass C and N in paddy soils with different utilized years

土壤微生物生物量作为生态学指标,可以反映人类活动的干扰和指示微生物群落的大小^[14,15]。随着利用年限的延长,土壤微生物生物量趋于下降,这可能是长期固定的稻作模式定向改变着土壤的微生物区系和微生物生物量。研究发现,森林生态系统转变成农田生态系统会导致土壤退化^[16],土壤微生物生物量在土壤开发利用后快速下降^[17],且会随着农业耕作而降低^[18],这与本研究的结果都是一致的。当然,在达到一定利用年限之后,土壤微生物生物量的变化幅度明显减小,即微生物群落大小达到一个相对稳定的状态。

2.2 土壤过氧化氢酶与转化酶活性的比较

土壤过氧化氢酶酶促分解由生物呼吸过程和有机物的生物化学氧化反应过程所产生的过氧化氢,从而解除其对土壤生物体的毒害作用,是土壤水、盐、温、热、酸碱性及有机质等综合作用的结果,会在土壤条件和特征发生变化时得到重新分布,其活性在一定程度上反映了土壤微生物学过程的强度^[19],故在生物动力学研究中极受重视。随着利用年限的延长,土壤过氧化氢酶活性显著下降(图 2),两者之间确有线性回归关系($F = 11.688$, $p = 0.042$),这与土壤微生物生物量在利用年限上的变化规律是基本一致的。

转化酶又名蔗糖酶,在土壤中对驱动碳循环以及增加易溶性营养物质起着重要作用,其活性与土壤有机质、氮磷含量以及呼吸强度等有关,可作为表征土壤生物学活性强度和评价土壤熟化程度的一个重要指标^[10]。随着利用年限的延长,土壤转化酶活性趋于下降(图 2),这与土壤微生物生物量的变化规律一致。研究表明,转化酶的活性与微生物的数量有关^[20],利用年限延长对水稻土微生物生物量的不利影响导致转化酶活性的降低;转化酶的酶促作用产物葡萄糖是微生物的营养源,反过来又会影响微生物的生长。

2.3 土壤脲酶与磷酸酶活性的比较

不同种类微生物分泌酶的种类和数量是不同的。脲酶是土壤酶系中是唯一催化尿素水解的酶,其活性反

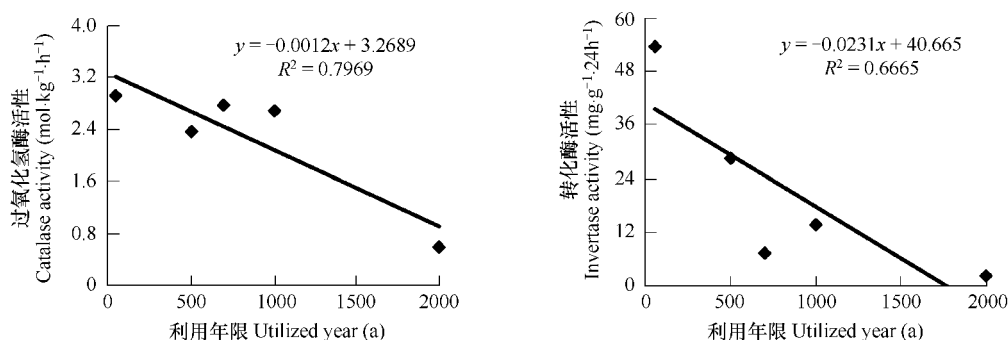


图2 不同利用年限水稻土过氧化氢酶与转化酶活性的比较

Fig. 2 Comparison of catalase and invertase activities in paddy soils with different utilized years

映土壤有机态氮向有效态氮转化和供应无机态氮的能力^[21],可以作为评价土壤肥力状况的重要指标。水稻土的脲酶活性较早作土要低得多^[22],不同利用年限水稻土的脲酶活性均处于较低水平(图3)。土壤营养物质状况影响土壤脲酶的数量及其活性^[22],长期以氮为主的施肥模式或掩盖了种植年限对脲酶活性的可能影响。比较不同利用年限水稻土的矿质氮含量(表1),也会发现它们的供氮能力没有呈现线性变化。

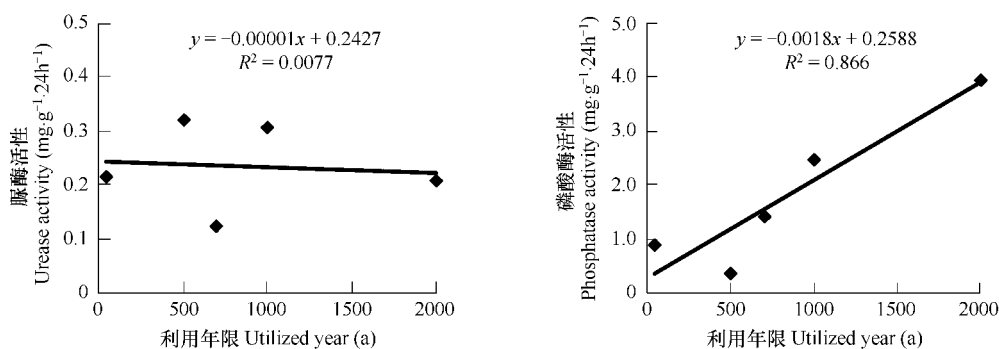


图3 不同利用年限水稻土脲酶与磷酸酶活性的比较

Fig. 3 Comparison of urease and phosphatase activities in paddy soils with different utilized years

磷酸酶是土壤中唯一催化有机磷酸酯水解成可供植物吸收的无机磷酸的酶,其活性的高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化和生物有效性;土壤有机磷的矿化和动态取决于磷酸酶的作用与活性,而土壤有机磷又能通过诱导作用提高土壤磷酸酶活性^[23]。随着利用年限的延长,水稻土的磷酸酶活性显著升高(图3),两者之间确有线性回归关系($F = 19.370, p = 0.022$),这与脲酶的表现是不一致的。比较不同利用年限水稻土的有效磷含量(表1),不难发现,它们的供磷能力确实随着利用年限的延长而呈线性升高。

3 讨论

中国具有悠久的水稻种植历史^[24],探索长期稻作条件下土壤质量的演变规律具有重要意义^[25]。微生物生物量与土壤健康密切相关,可以反映土壤养分有效性以及生物活性,习惯上被视为土壤肥力变化的一个重要指标^[26, 27],是土壤质量的一个重要方面。但是,微生物生物量只反映土壤微生物在总量上的差异,无法表现其在组成或区系上的变化,一般需要结合土壤微生物多样性等的研究才能反映土壤的生物活性^[28]。研究证明,土壤中各种生化反应除受微生物本身活动的影响外,实际上是在各种相应酶的参与下完成的^[4]。人们认为检测土壤酶活性比检测微生物数量更能直接表达土壤的生物活性,土壤酶活性也因此被普遍用作评价土壤肥力的生物学指标。

但有的学者认为,土壤酶活性与土壤肥力、微生物数量之间并不存在直线关系,土壤酶活性不能用作阐明土壤微生物学特性的参数,且高酶活性并不完全意味着作物的高产;对不同土壤而言,土壤酶活性与生物量的

分析资料之间可能不是线性相关,但与生命活动中产生该酶的微生物数之间存在直线相关^[10]。因此,对土壤酶活性的分析是有助于了解特定类群微生物在土壤形成或物质转化中所起的作用。例如,水稻土中控制脲酶活性和磷酸酶活性的菌群在利用年限上的变化规律与土壤微生物群落的整体活性是不一致的,即土壤的供肥能力只与特定微生物类群有关,而土壤供氮能力与供磷能力之间又是不一致的。

酶是有机体的代谢动力,土壤酶活性在一定程度上反映着土壤所处的状况,但在复杂的土壤体系中必须配合其它因子来共同说明土壤肥力状况。当然,在一定条件下,借助对酶活性的了解可以在一定程度上反映土壤肥力状况,尤其在比较同一土壤由于不同耕作措施引起的土壤状况变化时是有一定意义的。研究不同利用年限水稻土的微生物生物量、过氧化氢酶与转化酶活性能够了解土壤微生物的群落大小和整体活性,而研究脲酶与磷酸酶活性对揭示土壤肥力具有很好的参考价值。通过本研究可以发现,水稻土的持续利用对其生物化学环境质量是有影响的,例如会降低微生物的生物量和整体活性,但对土壤肥力并没有产生不良影响。

References:

- [1] Compilatory Committee on Water Conservancy of Cixi. Water Conservancy Records of Cixi. Hangzhou: Zhejiang People's Publishing House, 1991. 4—5.
- [2] Li D C, LI Z P, Velde B, *et al.* Image analysis on hole-structure differences in paddy soils cultivated for different years in a red soil region. *Soils*, 2002, 34(3): 134—137.
- [3] Li D C, Li Z P, Zhang T L. Contents of heavy metal elements in paddy soils cultivated for different years in a red soil region. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(3): 336—338.
- [4] Huang C Y. *Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 50—65.
- [5] Roy S, Singh J S. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest. *Journal of Ecology*, 1994, 82: 503—509.
- [6] Zhang Y M, Zhou G Y, Wu N. A review of studies on soil enzymology. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12(1): 83—90.
- [7] Dendooven L, Murphy M F, C'att J A. Dynamics of the denitrification process in soil from the Brimstone Farm experiment, UK. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 727—734.
- [8] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(6): 703—707.
- [9] Brookes P C, Andera L, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 12(6): 837—842.
- [10] Zheng H Y, Zhang D S. *Research Methods of Soil Dynamic Biochemistry*. Beijing: Science Press, 1982. 70—265.
- [11] Yin S H. Research progress in soil microbial biomass and its correlation with nutrient cycling. *Progress in Soil Science*, 1993, 4: 1—8.
- [12] Jenkinson D S, Ladd J N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. *Soil Biochemistry*, 1981, 5: 415—471.
- [13] Mary B, Recous S, Robin D. Amethods for calculating nitrogen fluxes in soil using ¹⁵N tracing. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998. 30: 1963—1979.
- [14] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, 1992, 67: 321—358.
- [15] Liu Z F, Liu G H, Fu B J, *et al.* Dynamics of soil microbial biomass C, N along restoration chronosequences in pine plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1011—1018.
- [16] Caldwell B A, Griffiths R P, Sollins P. Soil enzyme response to vegetation distance in two lowland Costa Rican. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1603—1608.
- [17] Sparling G P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst C, Doube B M, Gupta V V V S R eds. *Biological Indicators of Soil Health*. Oxon: CABI Publisking, 1997. 97—120.
- [18] Sagar S, Yeates G W, Shepherd T G. Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. *Soil Tillage Research*, 2001, 58(1-2): 55—68.
- [19] Department of Microbiology, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Analytical Methods of Soil Microbe*. Beijing: Science Press, 1985. 263—264.
- [20] Yan Y, Yuan X, Fan H N. Influence of five pesticides on invertase activity in soil. *China Environmental Science*, 2004, 24(5): 588—591.
- [21] Zhang W Z. Effects of crop stubble on soil enzyme activities and microbes. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 1993, (5): 12—14.

- [22] Wang Y P, He T B. Study on urease activity of main cultivated soil in Guizhou. *Tropical and Subtropical Soil Science*, 1994, 3(4): 226—232.
- [23] Yu Q Y. Study on soil phosphatase activity and their influenced factors. *Journal of Anhui Technical Teachers College*, 2001, 15(4): 5—8.
- [24] Li C H, Zhang G Y, Yang L Z, *et al.* Pollen and phytolith analyses of ancient paddy fields at Chuodun Site, the Yangtze River Delta. *Pedosphere*, 2007, 17(2): 209—218.
- [25] Zhong W H, Cai Z C. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay. *Applied Soil Ecology*, 2007, 36(2-3): 84—91.
- [26] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 159—164.
- [27] Powlson D S, Jenkinson D S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct drilled soils. *Journal of Agricultural Sciences*, 1981, 97: 713—721.
- [28] 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. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(3): 413—422.

参考文献:

- [1] 慈溪水利志编撰委员会. 慈溪水利志. 杭州: 浙江人民出版社, 1991. 4~5.
- [2] 李德成, 李忠佩, Velde B, 等. 不同利用年限的红壤水稻土孔隙结构差异的图像分析. *土壤*, 2002, 34(3): 134~137.
- [3] 李德成, 李忠佩, 张桃林. 不同利用年限的红壤水稻土中重金属元素含量研究. *土壤通报*, 2004, 35(3): 336~338.
- [4] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 50~65.
- [6] 张咏梅, 周国逸, 吴宁. 土壤酶学的研究进展. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(1): 83~90.
- [10] 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物化学研究法. 北京: 科学出版社, 1982. 70~265.
- [11] 殷士华. 土壤微生物量及其与养分循环的关系研究进展. *土壤学进展*, 1993, 4: 1~8.
- [15] 刘占锋, 刘国华, 傅伯杰, 等. 人工油松林(*Pinus tabulaeformis*)恢复过程中土壤微生物生物量 C、N 的变化特征. *生态学报*, 2007, 27(3): 1011~1018.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. 263~264.
- [20] 闫颖, 袁星, 樊宏娜. 五种农药对土壤转化酶活性的影响. *中国环境科学*, 2004, 24(5): 588~591.
- [21] 张为政. 作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响. *土壤肥料*, 1993, (5): 12~14.
- [22] 汪远品, 何腾兵. 贵州主要耕作土壤的脲酶活性研究. *热带亚热带土壤科学*, 1994, 3(4): 226~232.
- [23] 于群英. 土壤磷酸酶活性及其影响因素研究. *安徽技术师范学院学报*, 2001, 15(4): 5~8.
- [28] 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. *土壤学报*, 1999, 36(3): 413~422.