

连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响

刘国顺¹, 李正¹, 敬海霞¹, 叶协锋¹, 史宏志¹, 王永^{1,2}, 杨超³, 常栋¹

(1 河南农业大学, 国家烟草栽培生理生化研究基地, 烟草行业烟草栽培重点实验室, 河南郑州 450002;

2 郑州经济技术开发区, 河南郑州 450016; 3 重庆市烟草公司, 重庆 400023)

摘要: 通过3年田间定位试验, 研究连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响。结果表明, 连年翻压绿肥能提高土壤微生物量碳、氮及土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的活性, 且随翻压年限的增加而增加。整个生育期, 翻压3年绿肥的处理与对照相比微生物量碳、氮分别提高31.0%~67.1%、23.0%~145.1%; 土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性分别提高34.4%~51.9%、11.0%~18.6%、58.0%~172.7%、24.0%~50.0%, 表明翻压绿肥后土壤生物过程活跃, 利于有机物质的转化和烤烟正常生长所需的营养供应。动态变化特征表明, 翻压绿肥1、2、3年的各处理微生物量碳、氮均在团棵期出现峰值, 土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶均在旺长期出现峰值。在出现峰值时翻压3年的处理与对照相比微生物量碳、氮分别提高67.1%、60.7%; 土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性分别提高51.9%、14.2%、30.6%。此时正值生育旺期, 利于烟株生长发育, 说明连年翻压绿肥后培肥土壤效果显著。土壤微生物量C、N和酶活性能灵敏反映土壤肥力的变化, 可作为评价土壤质量的生物学指标。

关键词: 绿肥; 土壤微生物量碳; 土壤微生物量氮; 土壤酶活性

中图分类号: S142; S154

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)06-1472-07

Effects of consecutive turnover of green manures on soil microbial biomass and enzyme activity

LIU Guo-shun¹, LI Zheng¹, Jing Hai-xia¹, YE Xie-feng¹, SHI Hong-zhi¹, WANG Yong^{1,2}, YANG Chao³, CHANG Dong¹

(1 Henan Agricultural University/National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research

Centre/Key Laboratory for Tobacco Cultivation of Tobacco Industry, Zhengzhou 450002, China;

2 Economic and Technological Development Zone of Zhengzhou, Zhengzhou, 450016, China;

3 Tobacco Company of Chongqing, Chongqing 400023, China)

Abstract: A consecutive 3-year field experiment was conducted to study the effects of incorporation green manure on soil microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen and soil enzyme activities. The results showed that incorporation green manure could increase soil microbial biomass C, N and the activities of soil urease, acid phosphatase (ACP), sucrase, and catalase with the increasing of the returning age. Compared with the control, the contents of soil microbial biomass C and N were increased by 31.0%–67.1% and 23.0%–145.1%, and the activities of soil urease, ACP, invertase and catalase by 34.4%–51.9%, 11.0%–18.6%, 58.0%–172.7%, and 24.0%–50.0% after three years' consecutive turnover of green manure, respectively, suggesting that the turnover of organic matter was facilitated and more nutrients were released to meet the demanding of crop growth. The dynamical changes of soil microbial biomass C, N and the enzyme activity within tobacco development period showed that the maximum of microbial biomass C and N was observed at the roset stage, while the peak of soil enzyme activities was appeared at the busy stage of flue-cured tobacco. Compared with the control, the maximum of soil biomass C,

收稿日期: 2010-02-01

接受日期: 2010-04-08

基金项目: 国家烟草专卖局“重庆市山地特色烟叶生产技术体系研究”项目(200801001/200801002)资助。

作者简介: 刘国顺(1954—),男,河南叶县人,教授,博士生导师,主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: liugh1851@163.com

N increased 67.1% and 60.7% after tree years' consecutive turnover of green manure, respectively. The peak of soil urease, ACP, catalase activity increased 51.9%, 14.2%, 30.62%, respectively. Our results proved that incorporation green manure had a positive effect on soil fertility, microbial biomass C and N, and also indicated that the enzyme activities might be used as biological indices for soil quality due to their high sensitivity to soil fertility change.

Key words: turnover, green manure; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; soil enzyme activity

土壤微生物量碳、氮是土壤碳素和氮素养分转化和循环研究中的重要参数,它们较为直观地反映了土壤微生物和肥力状况^[1]。土壤的生物活性包括土壤微生物种群结构及土壤酶活性,是土壤微生态环境中生理活性最强的部分,其作为评价土壤生态环境质量的重要指标,越来越受到人们的重视^[2-6]。近年来,许多学者对施用化肥^[1,7-8]、饼肥^[9-10]和秸秆还田^[11-13]等处理下微生物量和酶活性的变化进行了深入的研究,但对涉及绿肥及植烟土壤方面的研究较少,而且已有的研究主要集中在绿肥对土壤微生物数量、群落结构及土壤理化性质方面^[14-16]。绿肥作为一种重要的有机肥料,其在减少氮肥用量、提高作物产量、培肥土壤地力等方面起到了积极的作用。关于翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响,尤其连年翻压绿肥后烟株整个生长期系统内动态变化的研究尚未见报道。因此,开展了连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量碳、氮和酶活性在烟株生育期内动态变化影响的研究,旨在阐明绿肥养分释放过程和烟株对矿质营养吸收过程的协调作用机理,为植烟土壤改良和特色烟叶开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005 ~ 2008 年在重庆市武隆县赵家乡新华村老街自然村进行。地处 E107°33.588', N29°16.593', 海拔 1036 m。供试土壤类型为水稻土,土壤基础肥力为有机质 24.19 g/kg, 碱解氮 124.63 mg/kg, 速效磷 21.88 mg/kg, 速效钾 150.78 mg/kg, pH 5.43; 供试绿肥品种为黑麦草。烤烟品种为云烟 87, 于 5 月 5 日移栽。基肥为烤烟专用复合肥 750 kg/hm², 过磷酸钙 75 kg/hm²; 追肥为硝酸钾 150 kg/hm²。在 2005 ~ 2008 年连续种植绿肥的基础上, 设置翻压 1、2、3 年处理(绿肥年翻压量为 22500 kg/hm²), 并以不翻压绿肥为对照, 分别用 T1、T2、T3、CK 表示。小区面积为 334 m², 重复 3

次,绿肥在烤烟移栽前 20 d 左右翻压。

1.2 测定项目与方法

每个处理分别于移栽后 10 d(移栽期)、30 d(团棵期)、45 d(旺长期)、60 d(现蕾期)、75 d(圆顶期)、90 d(成熟期)随机选取烟垄上两株烟正中位置(距烟株 27.5 cm 处)0—20 cm 土层采集 5 个土样,混匀,测定土壤微生物量碳、氮和相关酶活性。

土壤微生物量碳、氮的测定用氯仿熏蒸法^[17-18]; 土壤脲酶用比色法; 磷酸酶用磷酸苯二钠比色法; 过氧化氢酶用 KMnO₄ 滴定法; 蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[19]。

测定结果采用 DPS 6.55 和 Excel 2003 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 翻压绿肥对植烟土壤微生物量的影响

2.1.1 对土壤微生物量碳的影响 土壤微生物量碳是土壤有机碳的灵敏指示因子^[20]。土壤微生物量碳的消长反映微生物利用土壤碳源进行自身细胞建成,并大量繁殖和解体使有机碳矿化的过程^[21]。表 1 看出,翻压绿肥能够明显提高土壤微生物碳的含量,翻压年限越多,提高幅度越大。翻压绿肥 2 和 3 年的处理在烟株全生育期与对照相比差异显著; 翻压绿肥 3 年的处理微生物碳含量提高幅度为 31.0% ~ 67.1%。翻压 1 年的处理在移栽 10 和 75 d 与对照无明显差异,但在其它生育时期均有显著提高。翻压绿肥 3 年比翻压 1 年的微生物量碳有明显提高; 除 45 d 外,与翻压 2 年的处理也有显著差异。所有处理的微生物量碳的动态变化呈现相似的规律性,各处理分别在移栽后 30 和 60 d 出现峰值, T1、T2、T3 处理微生物量碳在 30 d 分别比 CK 提高了 12.3%、40.4%、67.1%; 在 60 d 分别提高了 30.2%、32.1%、49.9%。这可能与绿肥腐解规律及烟株吸肥规律有关。绿肥中大部分养分在前 6 周释放^[22], 而土壤中绝大多数微生物属于有机营养型, 随着气温逐渐升高, 绿肥释放营养物质增多, 而且烟

株根系分泌物和脱落物逐渐增加,为土壤微生物提供充足的有机碳源,促进土壤微生物繁殖,在烟株团棵期达到最大值。此时正值绿肥分解达到高峰,该期间微生物区系以发酵性微生物为主,微生物主要利用易分解的简单有机物;烟株进入旺长期后,绿肥中复杂的有机物进一步分解,土壤中营养物质和能源增加,约在 60 d 左右土壤微生物量碳出现第二个峰值。随后,土壤微生物活性与数量降低,微生物量碳随之平缓下降。从圆顶期到成熟期,除对照继续下降外,翻压绿肥的各处理均略有回升。

2.1.2 对土壤微生物量氮的影响 微生物量氮是土壤氮素的重要储备库^[23],在土壤氮素循环与转化过程中起着重要的调节作用。表 1 还看出,翻压绿肥后土壤微生物量氮明显增加,且随着翻压年限的增加而增加。翻压绿肥 2 年和 3 年的处理在烤烟全生育期,与对照相比差异显著,翻压 3 年

比对照提高了 21.0%~145.1%。翻压 1 年的处理,在 45 d 前和 75 d 时与对照相比差异显著,但在 60 和 90 d 时差异不显著。微生物量氮和微生物量碳的动态变化呈现相似的规律性。随着烟株的生长,微生物氮含量在烟草移栽后 30 和 75 d 左右出现峰值,T1、T2、T3 处理在 30 d 分别比 CK 提高了 20.6%、45.0%、60.7%;在 75 d 分别提高了 32.7%、72.2%、116.0%。说明翻压绿肥后既补充了有机碳源,又改善了土壤的理化性状,大大刺激了土壤微生物的活性。同时,由于移栽初期化肥的施入,有较多的氮素被微生物暂时固定,减少氮素损失,当烟株进入旺长期后,需肥量增加,固定的微生物氮被释放出来供植株利用,到圆顶以后烟株对氮素的需求量明显减少,多余的氮素被再次固定,所以微生物量氮在团棵期、圆顶期出现峰值,旺长期、现蕾期含量较低。

表 1 翻压绿肥对植烟土壤微生物量碳、氮的影响

Table 1 Effect of turnover of green manure on microbial biomass carbon and nitrogen of the soil

处理 Treatment	移栽后天数 Days after transplanting(d)					
	10	30	45	60	75	90
土壤微生物量碳 Soil microbial biomass C (mg/kg)						
T3	137.34 a	194.74 a	127.78 a	166.32 a	144.78 a	156.27 a
T2	110.53 b	163.62 b	123.34 a	146.51 b	122.65 b	126.32 b
T1	105.89 bc	130.79 c	105.62 b	133.34 b	112.67 c	121.67 b
CK	102.15 c	116.52 d	90.53 c	110.94 c	110.55 c	105.21 c
土壤微生物量氮 Soil microbial biomass N (mg/kg)						
T3	40.49 a	60.25 a	36.34 a	27.56 a	67.32 a	49.27 a
T2	37.56 b	54.39 a	23.68 b	22.77 ab	53.66 b	26.83 b
T1	35.65 b	45.24 b	18.17 c	15.67 bc	41.37 c	21.65 c
CK	32.93 c	37.50 c	14.83 d	11.88 c	31.17 d	20.34 c

注(Note): 同列数值后不同字母的表示处理间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters within the same column are significant at 5% level.

2.2 翻压绿肥对植烟土壤酶活性的影响

2.2.1 对土壤脲酶活性的影响 土壤脲酶直接参与土壤中含氮有机化合物的转化,其活性高低在一定程度上反应了土壤供氮水平状况^[19]。图 1 看出,翻压绿肥后土壤脲酶活性明显提高,翻压年限越多,脲酶活性越强。翻压绿肥 3 年的处理,脲酶活性提高了 34.4%~51.9%。说明连年翻压绿肥后,土壤熟化程度提高,利于土壤中氮素的转化。在烟株生育期,所有处理土壤脲酶活性的动态变化规律相似,脲

酶活性以旺长期最高,T1、T2、T3 处理分别比对照提高了 19.1%、33.8%、51.9%;在现蕾期脲酶活性有所下降,随后又略有增加。土壤酶是来源于土壤微生物的活动、植物根系分泌物和动植物残体腐解过程中释放的酶^[19],翻压绿肥后,土壤微生物和酶活性增加。因此,脲酶活性的变化反映出连年翻压绿肥对植烟土壤氮素转化、积累、供应效应与土壤产生的保肥性之间的协调性。

2.2.2 对土壤酸性磷酸酶活性的影响 土壤酸性磷

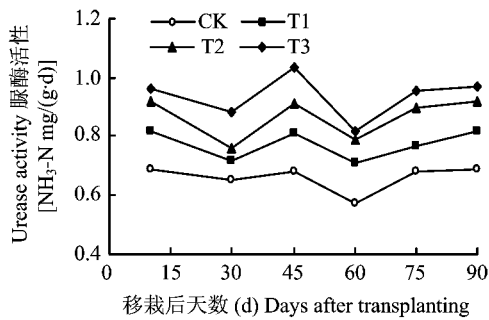


图1 翻压绿肥对植烟土壤脲酶活性的影响

Fig.1 Effect of turnover of green manure on the activity of soil urease

酸酶活性高低可以反映土壤速效磷的供应状况^[19],是评价土壤磷素生物转化方向与强度的指标。

图2显示,翻压绿肥后,土壤酸性磷酸酶活性明显增强,在烟株生育期内呈现先上升后下降趋势。所有处理均在45 d左右出现峰值,此时烟株进入旺长期,T1、T2、T3处理分别比CK提高6.6%、19.7%、14.2%;T2高于T3处理,而其它时期T3处理明显高于其它处理。在整个生育期,T3处理比对照提高了11.0%~18.6%。磷酸酶活性的动态变化反映出土壤速效磷的供应状况和烟株对磷需求的变化,烟株进入旺长期后,植株生长对磷的需求量增加,磷酸酶活性在45 d出现峰值,说明翻压绿肥,尤其连年翻压提高了土壤中磷的有效性。

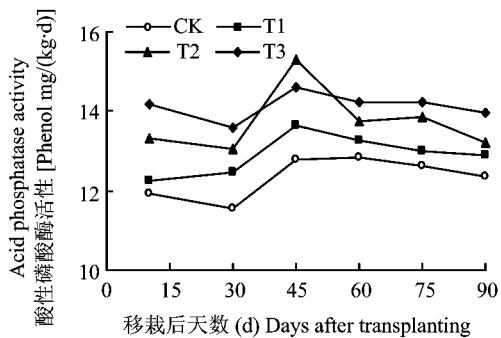


图2 翻压绿肥对植烟土壤酸性磷酸酶活性的影响

Fig.2 Effect of turnover of green manure on the activity of soil acid phosphatase

2.2.3 对土壤蔗糖酶活性的影响 蔗糖酶的活性强弱反应了土壤熟化程度和肥力水平^[21],是表征土壤生物活性的重要酶之一。图3表明,翻压绿肥的处理土壤蔗糖酶活性明显高于对照,而且翻压年限越长,活性越强。在烟株生育期,所有处理土壤蔗糖酶活性表现出相似的规律,60 d前活性较低,60 d后则迅速增加,75 d后增速变缓。其中,T3处理在60

d前明显高于其它处理,到75 d则低于T2处理,90 d时达最高。在整个生育期,T3处理蔗糖酶活性比CK提高了58.0%~172.7%。

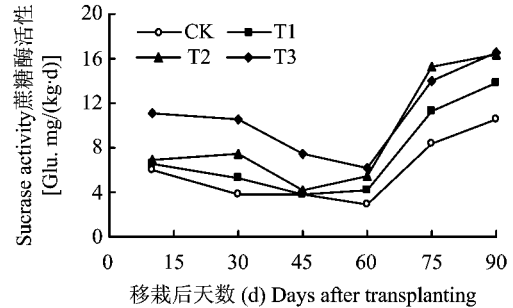


图3 翻压绿肥对植烟土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.3 Effect of buring green manure on the activity of soil sucrose

2.2.4 土壤过氧化氢酶活性的影响 过氧化氢酶广泛存在于土壤和生物体内,直接参与生物呼吸过程的物质代谢,同时可以解除在呼吸过程中产生的对活细胞有害的过氧化氢。图4看出,翻压绿肥处理土壤过氧化氢酶活性明显高于对照,而且翻压年限越长,酶活性越强。翻压绿肥3年的处理,在10 d时略低于翻压2年的处理外,在其余时期则明显高于翻压1年和2年的处理;与对照相比,提高幅度达24.0%~50.0%。这与绿肥提供了大量营养,使土壤微生物具有较高的活性有关。翻压年限越长,绿肥残留量越大,其转化的底物也越多,使微生物数量大幅增加。在烟株整个生育期,过氧化氢酶活性分别在烤烟移栽后10、45、75 d出现峰值。这是由于在移栽初期,烟草在移栽后35 d内,植株地上部分生长缓慢,叶面积较小,光合产物少,但对氮素的吸收量却较大,是烟株对氮素的积累阶段,吸收氮素约占总吸氮量的40%左右;移栽后35~70 d是烟

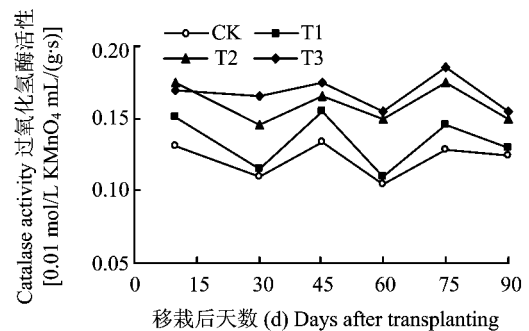


图4 翻压绿肥对植烟土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig.4 Effect of buring green manure on the activity of soil catalase

株旺盛生长、干物质积累最大的时期,也是烟草对营养元素吸收量最大的阶段^[24]。绿肥翻压初期,过氧化氢酶活性即出现高峰,可以解除绿肥腐解以及烟株旺盛生长积累的过氧化氢等物质产生的毒害,说明过氧化氢酶活性与烟株生长发育进程密切相关。

3 讨论与结论

前人研究指出,施有机肥的土壤微生物量碳、氮、磷都比不施有机肥的高^[25]。有机肥分解产生的可利用的氮及其它营养元素又促进了作物的生长,增加了根的生长和根系分泌物,因而也促进了土壤微生物的繁殖,提高了微生物的生物量^[26]。一般而言,在较少的有机物施入土壤时,土壤微生物碳、氮含量是相对稳定的,二者能较好地反映特定土壤的氮素肥力状况^[27]。但如果给土壤施以较多的有机物或前茬在土壤中留有较多的植物残体,则当季土壤微生物量会明显增加,所增加的微生物量在土壤中的维持时间则主要取决于有机物料的质和量^[23,28]以及土壤环境条件的变化^[29]。

本研究表明,翻压绿肥能明显提高植烟土壤微生物碳、氮含量和土壤酶活性,这与武雪萍等^[9]研究结果一致。连年翻压绿肥后,土壤微生物碳、氮含量和土壤酶活性随翻压年限的增加而增加,这是因为绿肥腐解过程需要大量微生物的参与,同时为微生物的生长提供碳和氮源,微生物的活动促进了作物的旺盛生长。翻压绿肥与化肥配合施用,加速绿肥腐解,增强微生物活性,从而促进了土壤酶活性的提高。

微生物量碳、氮只占土壤有机碳、氮的 1.3%~6.4% 和 2.5%~4.2%^[30]。由于微生物的 C/N 比值较低,在土壤中分解速度比土壤有机质快,对土壤有机质的分解及养分的转化循环等有重要的作用。本试验看出,总体上微生物的 C/N 比随着绿肥翻压年限的增加呈下降趋势,且均在 60 d 左右出现峰值。说明翻压绿肥后,土壤中微生物分解的速度较快,土壤有效养分积累充分;到现蕾期,植株的旺盛生长消耗了大量养分,此时翻压绿肥的处理土壤中只剩下难分解的有机物料,微生物分解速度变慢,因而微生物 C/N 比较高。

武雪萍等^[9]研究看出,施用芝麻饼肥的烟草不同生育期,根际土壤微生物碳、氮含量的动态变化不同,根际土壤微生物碳含量的峰值出现在现蕾期,微生物氮含量的峰值出现在团棵期。本试验表明,翻压绿肥后微生物碳、氮含量的动态变化均呈现双峰

曲线,微生物碳含量的高峰出现在团棵期和现蕾期;而微生物氮含量的高峰出现在团棵期和圆顶期。这是由于团棵期绿肥腐解迅速,土壤微生物大量繁殖,部分氮素被微生物固定,使土壤微生物氮大量增加;而后,随着烟草的生长发育,土壤中氮素被大量消耗,所固定的微生物氮又被释放出来,供烟草生长发育需要。从旺长期到圆顶期,正值多雨季节,高温高湿促使土壤中残存的有机物料进一步分解,多余的氮素再次被微生物固定,因此,微生物碳含量在 60 d 左右,微生物氮含量在 75 d 左右达到第二个高峰。成熟期微生物碳、氮含量明显降低,但翻压绿肥的各处理微生物碳量比圆顶期略有回升,说明翻压绿肥后,提高了土壤的保肥性能;而微生物氮量的变化则反映出土壤微生物氮在协调土壤氮素供应以及烟株对氮素吸收方面的重要作用。

本试验结果还看出,在烟株生长过程中,不同土壤酶活性的动态变化规律并不一致,土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性均在烟株需肥较大的旺长期出现峰值,蔗糖酶活性在 60 d 以后逐渐升高。而刘添毅等^[10]认为,施用菜籽饼和花生饼后土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶活性在团棵期明显增强,这可能与腐熟的饼肥 C/N 低,较易分解有关。

总体来看,翻压绿肥后土壤微生物量碳、氮和不同土壤酶活性的动态变化反映出绿肥腐解过程中土壤养分供应和烟株生长发育之间的协调性。绿肥翻压年限越长,微生物量碳、氮和酶活性提高的趋势越明显。本试验针对连续翻压 3 年的土壤微生物量碳、氮和土壤酶活性进行了研究,但连续翻压绿肥多少年,才能使土壤的肥力状况能够在没有绿肥投入的情况下仍然能够保持较高的水平,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 王继红,刘景双,于君宝,等. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(1): 35-38.
Wang J H, Liu J S, Yu J B *et al.* Effect of fertilizing N and P on soil microbial biomass carbon and nitrogen of black soil corn agroecosystem[J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2004, 18(1): 35-38.
- [2] 邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3): 277-280.
Qiu L P, Liu J, Wang Y Q *et al.* Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2004, 10(3): 277-280.
- [3] 周卫军,曾希柏,张杨珠,等. 施肥措施对不同母质发育的稻田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 应用生态学报,

- 2007, 18(5): 1043–1048.
- Zhou W J, Zeng X B, Zhang Y Z *et al.* Effects of fertilization on microbial biomass C and N in paddy soils derived from different parent materia[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(5): 1043–1048.
- [4] Tu C, Ristaino J B, Hu S J. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems; Effects of organic inputs and straw mulching[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2006, 38: 247–255.
- [5] Wu J, Brookes P C. The proportional mineralization of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, 37: 507–515.
- [6] Devi N B, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, Northeast India[J]. *Appl. Soil Ecol.*, 2006, 31: 220–227.
- [7] 王光华, 齐晓宁, 金剑, 等. 施肥对黑土农田土壤全碳、微生物量碳及土壤酶活性的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(4): 661–666.
- Wang G H, Qi X N, Jin J *et al.* Effect of fertilization on total soil C, microbial biomass C and soil enzyme activities in farmland black soil[J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2007, 38(4): 661–666.
- [8] 马冬云, 郭天财, 宋晓, 等. 尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(12): 5222–5228.
- Ma D Y, Guo T C, Song X *et al.* Effects of urea application rate on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in wheat rhizosphere[J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2007, 27(12): 5222–5228.
- [9] 武雪萍, 刘增俊, 赵跃华, 等. 施用芝麻饼肥对植烟根际土壤酶活性和微生物碳、氮的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 541–546.
- Wu X P, Liu Z J, Zhao Y H *et al.* Effects of sesame cake fertilizer on soil enzyme activities and microbial C and N at rhizosphere of tobacco[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(4): 541–546.
- [10] 刘天毅, 李春英, 熊德中, 等. 烤烟有机肥与化肥配合施用效应的探讨[J]. *中国烟草科学*, 2000, (4): 23–26.
- Liu T Y, Li C Y, Xiong D Z *et al.* The effects of organic fertilizer combined with chemical fertilizer on the flue-cured tobacco[J]. *Chin. Tobacco Sci.*, 2000, (4): 23–26.
- [11] 周文新, 陈冬林, 卜毓坚, 等. 稻草还田对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(2): 326–330.
- Zhou W X, Chen D L, Bo Y J *et al.* Effects of rice-straw returning to the field on the metabolic diversity of soil microbial communities[J]. *Acta Sci. Circum.*, 2008, 28(2): 326–330.
- [12] 宋日, 吴春胜, 牟金明, 等. 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.
- Song R, Wu C S, Mou J M *et al.* Effects of maize stubble remaining in field on dynamics of soil microbial biomass C and soil enzyme activities[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(3): 303–306.
- [13] 曹志平, 胡诚, 叶钟年, 等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田土壤微生物生物量碳的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(5): 1486–1493.
- Cao Z P, Hu C, Ye Z N *et al.* Impact of soil fertility maintailing practice on microbial biomass carbon in high production agro-ecosystem in northern China[J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2006, 26(5): 1486–1493.
- [14] 刘国顺, 罗贞宝, 王岩, 等. 绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 95–98.
- Liu G S, Luo Z B, Wang Y *et al.* Effect of green manure application on soil properties and soil microbial biomass in tobacco field[J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2006, 20(1): 95–98.
- [15] 卢萍, 单玉华, 杨林章, 等. 绿肥轮作还田对稻田土壤溶液氮素变化及水稻产量的影响[J]. *土壤*, 2006, 38(3): 270–275.
- Lu P, Shan Y H, Yang L Z *et al.* Influence of green manure crop on nitrogen concentration in soil solution of paddy field and rice yield[J]. *Soils*, 2006, 38(3): 270–275.
- [16] 石屹, 计玉, 姜鹏超, 等. 富钾绿肥籽粒苋对夏烟烟叶品质的影响研究[J]. *中国烟草科学*, 2002, (3): 5–7.
- Shi Y, Ji Y, Jiang P C *et al.* Studies on effects of green manure on quality of flue-cured tobacco transplanted in summer[J]. *Chin. Tobacco Sci.*, 2002, (3): 5–7.
- [17] 王岩, 沈其荣, 史瑞和. 有机无机肥料施用后土壤生物量 C、N、P 的变化及 N 素转化[J]. *土壤学报*, 1998, 35(2): 227–233.
- Wang Y, Shen Q R, Shi R H. Changes of soil microbial biomass C, N and P and the N transformation after application of organic and inorganic fertilizers[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1998, 35(2): 227–233.
- [18] Vance E D. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19(6): 703–707.
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- Guan S Y. *Soil enzyme and its study method*[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [20] Bradley L, Fyles J W. A kinetic parameter describing soil available carbon and its relationship to rate increase in C mineralization[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1944, 22(2): 167–172.
- [21] 张成娥, 梁银丽. 不同氮磷施肥量对玉米生育期土壤微生物量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2001, 9(2): 72–74.
- Zhang C E, Liang Y L. Effect of different amounts of nitrogen phosphorus fertilizers applied on soil microbial biomass during corn growth periods[J]. *Chin. J. Eco-Agric.*, 2001, 9(2): 72–74.
- [22] 王岩, 刘国顺. 绿肥中养分释放规律及对烟叶品质的影响[J]. *土壤学报*, 2006, 43(2): 273–279.
- Wang Y, Liu G S. Nutrient release from green manures and its effect on quality of tobacco leaves[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2006, 43(2): 273–279.
- [23] Schnure J, Rosswall T. Mineralization of nitrogen from ¹⁵N labelled fungi, soil microbial biomass and roots and its uptake by barely plant[J]. *Plant Soil*, 1987, 102: 71–78.
- [24] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.

- Liu G S. Tobacco cultivation[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003.
- [25] 许月蓉. 不同施肥条件下潮土中微生物量及其活性[J]. 土壤学报, 1995, 32(3): 349-352.
- Xu Y R. Microbial biomass and activity in a fluvo-aquic soil under various[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1995, 32(3): 349-352.
- [26] Kanchikerimath M, Singh D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India[J]. *Agric., Ecosys. Environ.*, 2001, 86: 155-162.
- [27] Bonde A T, Schniirer J, Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1988, 20: 447-452.
- [28] Chilin A J, Huang G Y, Wu C F. Microbial biomass carbon trends in black and red soils under single straw application: Effect of straw placement, mineral N addition and tillage[J]. *Pedosphere*, 2002, 12(1): 59-72.
- [29] 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.
- [30] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下的微生物量研究[J]. 土壤通报, 1998, 29(6): 276-278.
- Chen G C, He Z L. The study of red soil use pattern on soil microbial biomass[J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 1998, 29(6): 276-278.