

吴元华,王 永,石 屹,等. 冬牧 70 黑麦秸秆还田对烟田土壤氮素矿化的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):506–509.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2016.05.144

# 冬牧 70 黑麦秸秆还田对烟田土壤氮素矿化的影响

吴元华<sup>1</sup>,王 永<sup>2</sup>,石 屹<sup>1</sup>,闫慧峰<sup>1</sup>,孙艳茹<sup>1</sup>,刘光亮<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所,山东青岛 266101;2. 山东省中烟工业有限公司,山东济南 250000)

**摘要:**采用田间原位培养法研究不同翻压量的冬牧 70 黑麦秸秆对烟田土壤氮素矿化及无机氮释放规律的影响。结果表明,翻压后冬牧 70 黑麦的有机氮矿化释放出铵态氮和硝态氮,并呈阶段性动态变化;翻压冬牧 70 黑麦的氮净矿化量均高于未翻压的处理,其中最大翻压量为 60 000 kg/hm<sup>2</sup>,该处理与未翻压处理差异极显著;翻压 12 周后,无机氮释放减缓,氮素矿化趋于平稳;土壤水分与氮素矿化速率呈显著负相关,氮素矿化速率与培养前土壤初始矿质氮呈极显著负相关;硝化速率与土壤硝态氮、有机质含量均呈极显著负相关。

**关键词:**冬牧 70 黑麦;秸秆还田;烟田;铵态氮;硝态氮;氮素矿化  
**中图分类号:** S572.06      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002–1302(2016)05–0506–03

由于长期大量施用化肥,我国黄淮烟区存在土壤板结、有机质含量下降等现象,不仅限制烟叶质量的提高,也不利于烟草的可持续发展。种植绿肥是烟田土壤改良的重要措施,还田后具有增加土壤有机质含量、更新土壤腐殖质组成、改善土壤结构、促进土壤养分循环、减少水土流失、改善生态环境等作用<sup>[1–5]</sup>。一年生冬牧 70 黑麦(*Secale cereale*)是禾本科绿肥,产量高,具有增加土壤有机质的作用,是适于黄淮烟区种植的绿肥作物<sup>[6–7]</sup>。

绿肥一般具有 C/N 值较低、翻压后分解速度快的特点,但不同种类绿肥的养分含量及生物量不同,翻压后养分释放规律也不同。同种绿肥的翻压量及翻压后所处土壤环境不同,则矿化速率和规律不相同,所产生的改良效应也不同<sup>[8]</sup>。相关研究表明,绿肥翻压后的分解矿化速率及规律直接影响烟株的生长发育和烟叶品质<sup>[9–11]</sup>,但尚无关于冬牧 70 黑麦压青还田后矿化规律及无机氮释放的报道。通过田间小区试验研究冬牧 70 黑麦不同翻压量还田后的氮素矿化特征及其影响因素,旨在为

黄淮烟区种植冬牧 70 黑麦改良烟田土壤提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验基本情况

试验于 2013 年在中国农业科学院烟草研究所即墨试验站进行,该试验站地处温带季风气候区,年均气温 12 ℃,年均日照时数 2 540.1 h,年均降水量 737 mm,降水丰富但季节分配不均,雨季集中在 6—9 月,雨热同季。土壤类型为花岗岩发育的潮棕壤,供试土壤的基本理化性状见表 1。试验地土壤肥力较贫瘠,按照中国土壤质地分类<sup>[13]</sup>可知,该试验地土壤质地较疏松,属于砂土质地组。

试验地前茬作物为甘薯,于 2012 年 11 月 9 日施绿肥,之后播种冬牧 70 黑麦,播种量为 150 kg/hm<sup>2</sup>,播种时表施撒可富三元复合肥 150 kg/hm<sup>2</sup>。冬牧 70 黑麦于 2012 年 4 月 28 日翻压,翻压时生物量为 39 000 kg/hm<sup>2</sup>,干质量(含根系)为 10 257 kg/hm<sup>2</sup>,C/N 值为 39.1。

表 1 供试土壤的基本理化性状

全氮 (g/kg)	有机质 (g/kg)	铵态氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	pH 值	土壤机械组成(%)		
					>0.050 mm	0.050~0.005 mm	<0.005 mm
0.27	5.48	8.20	2.42	5.58	43.19	50.34	6.47

### 1.2 试验设计

试验采用田间原位埋设尼龙滤布包法,设 CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 等 4 个翻压量处理,翻压量分别为 0、20 000、40 000、60 000 kg/hm<sup>2</sup>,每个处理为 1 m<sup>2</sup> 微区,设 3 次重复,随机区组排列。从长势均匀的冬牧 70 黑麦地块中划出 28 m<sup>2</sup>,将冬牧 70 黑麦连根拔

出,冲洗干净后称质量并测生物量,然后剪为 3~5 cm 的小段,按不同翻压量水平换算出不同处理滤布包中需要的施用量。同时从试验地块中取 0~30 cm 耕层土壤,过 2 mm 筛并混匀,每份准确称取 100 g 土,混匀后装入 300 目尼龙包中密封。为防止地下昆虫咬破尼龙网袋,再套装大尼龙网袋,埋入相应处理的微区 15~20 cm 土层中,于翻压后 1、2、3、4、6、8、10、12、16 周分别取出检测。

### 1.3 测定项目与方法

土壤中的总有机碳含量采用重铬酸钾容量法<sup>[12]</sup>测定,全氮含量采用半微量凯氏法<sup>[12]</sup>测定,土壤粒径采用 Mstersizer 2000 型激光粒度仪测定。

培养过程中,精确称取 10.00 g 新鲜试验土样加入 50 mL 2 mol/L KCl 溶液,于 25 ℃下恒温振荡 30 min 后过滤。分别

收稿日期:2015–04–08  
基金项目:国家公益性行为(农业)科研专项(编号:201203091);山东省烟草专卖局项目(编号:200815)。  
作者简介:吴元华,女,助理研究员,主要从事烟草生理与水分研究。  
E-mail:wyh6213@tom.com。  
通信作者:石 屹,研究员,主要从事烟草营养与生理研究。  
E-mail:qdishiyi@163.com。

采用紫外分光光度法、靛酚蓝比色法<sup>[12]</sup>测定滤液中的硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )、铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )含量,并测定样品含水量,计算样品中各形态氮的含量。

采用 Excel 2007、DPS 14.10 软件对试验数据进行统计分析。

#### 1.4 计算方法

各指标的计算公式<sup>[13]</sup>为:

氮素净矿化量( $\text{mg/kg}$ ) = 培养后无机氮含量( $\text{mg/kg}$ ) - 培养前无机氮含量( $\text{mg/kg}$ );

氮素净矿化速率 $[\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})]$  =  $\frac{\text{培养后无机氮含量}(\text{mg/kg}) - \text{培养前无机氮含量}(\text{mg/kg})}{\text{培养时间}(\text{d})}$ ;

氮素硝化速率 $[\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})]$  =  $\frac{\text{培养后硝态氮含量}(\text{mg/kg}) - \text{培养前硝态氮含量}(\text{mg/kg})}{\text{培养时间}(\text{d})}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同翻压量处理中土壤铵态氮和硝态氮含量的动态变化

由图 1 可知,在冬牧 70 黑麦翻压后 1~2 周,各处理土壤的铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )含量均迅速增加, $\text{T}_3$ 增幅最大, $\text{T}_2$ 次之。所有处理的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量均于翻压后 2~8 周下降,并于翻压后 8 周达到最低,该阶段  $\text{T}_2$  与  $\text{T}_3$ 、CK 与  $\text{T}_1$  的变化基本一致。 $\text{T}_1$ 、CK 处理的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量于翻压后 4~6 周略有上升,但均低于翻压前水平。翻压后 8 周,所有处理的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量开始快速增加,此时  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量的从高到低依次为  $\text{T}_3 > \text{T}_2 > \text{T}_1 > \text{CK}$ 。翻压后 12~16 周,各处理的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变化区域平缓, $\text{T}_1$  含量略增加,CK、 $\text{T}_2$ 、 $\text{T}_3$  含量开始下降。在整个培养期间,所有处理的表现基本一致。

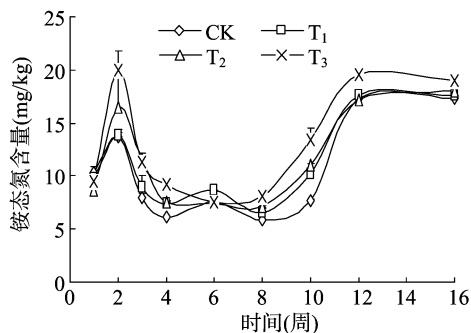


图1 不同冬牧 70 黑麦翻压量处理中土壤铵态氮含量的变化

由图 2 可知,不同处理间土壤  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的变化趋势一致,均随培养时间呈波浪形变化。自 12 周以后,所有处理土壤的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量变化均较为平缓,且均低于培养前含量。培养 4~8 周,土壤  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的变化幅度最大,并于培养后 6 周达到顶峰。培养后 2~8 周,土壤  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量以 CK 最高,且  $\text{CK} > \text{T}_3 > \text{T}_2 > \text{T}_1$ 。

### 2.2 不同翻压量处理中土壤氮素硝化速率的动态变化

由图 3 可知,不同冬牧 70 黑麦翻压量处理对土壤氮素硝化速率具有一定影响。4 个处理的变化趋势基本一致,均呈“4 峰”形波动变化特征,但 CK、 $\text{T}_1$  的变化幅度较大, $\text{T}_2$ 、 $\text{T}_3$  的变化幅度较小,在培养后 4~10 周表现尤为明显。可见,当冬牧 70 黑麦翻压量达到一定程度后,土壤氮素硝化速率的变化

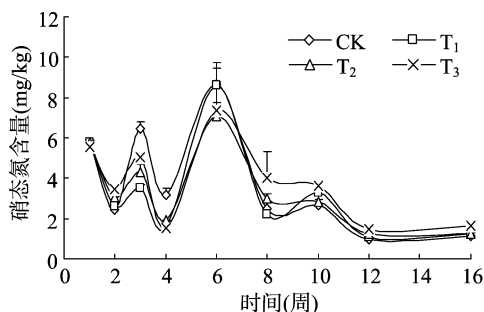


图2 不同冬牧 70 黑麦翻压量处理中土壤硝态氮含量的变化

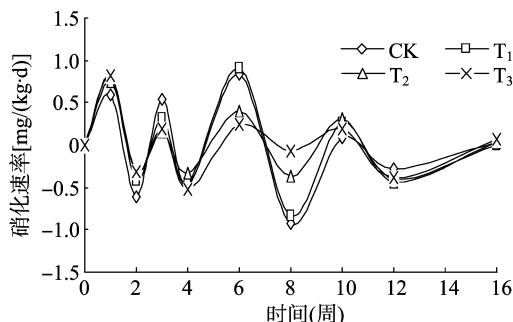


图3 不同冬牧 70 黑麦翻压量处理中土壤氮素硝化速率的动态变化

幅度较小。

### 2.3 不同翻压量处理中土壤氮素净矿化量的变化

由各处理土壤氮素净矿化量的动态(图 4)可知,4 个处理的变化趋势一致。培养后 1~2 周,矿化出的无机氮含量较多,其中  $\text{T}_3$  处理的土壤氮素矿化量最高, $\text{T}_2$  处理次之;培养后 2~4 周矿化量下降,培养后 4~6 周小幅增长,培养后 6~8 周再次下降,培养 8 周以后缓慢增加并趋于平稳。在培养后 4 周,除  $\text{T}_3$  外其余处理的净矿化量均为负值,其中  $\text{T}_1$  最低,仅为  $-2.51 \text{ mg/kg}$ ;  $\text{T}_2$  次之,为  $-1.82 \text{ mg/kg}$ 。在培养后 8 周,4 个处理的净矿化量均为负值,其中 CK 最低,仅为  $-3.72 \text{ mg/kg}$ ;  $\text{T}_1$  次之,为  $-3.03 \text{ mg/kg}$ 。

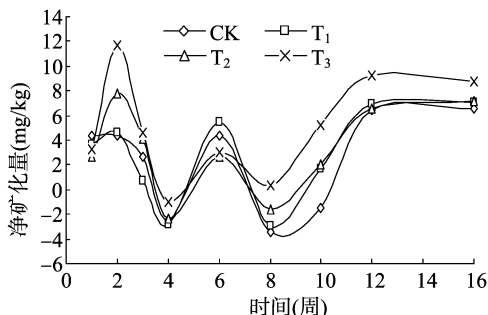


图4 不同翻压量处理中土壤氮素净矿化量的动态

经 16 周的原位培养,该时间段内各处理的净氮素矿化总量见表 2。 $\text{T}_3$  处理的土壤无机氮释放量最高,为  $4.14 \text{ mg/kg}$ , $\text{T}_2$ 、 $\text{T}_1$  处理次之,CK 处理的矿化量最低。 $\text{T}_3$  处理与其他 3 个处理的差异均达到显著水平,与  $\text{T}_1$ 、CK 处理的差异均达到极显著水平, $\text{T}_2$ 、 $\text{T}_1$  与 CK 处理的差异均不显著。在研究时段内,鲜质量少于  $40\,000 \text{ kg/hm}^2$  的冬牧 70 黑麦翻压对土壤氮素净矿化量并未产生显著影响,且土壤氮素净矿化量随着冬牧 70 黑麦翻压量的增加而增加。

表 2 不同处理氮素净矿化量的差异比较结果

处理	氮素净矿化量 (mg/kg)
T <sub>3</sub>	4.14aA
T <sub>2</sub>	2.93bAB
T <sub>1</sub>	2.67bB
CK	2.44bB

2.4 土壤温度对矿化速率及硝化速率的影响

土壤氮矿化速率与土壤温度的相关性见表 3。在培养期间,氮素矿化量与不同层次土壤的温度均呈正相关,但本研究中相关系数均未达到显著水平,这可能与培养时段内土壤温度的变化幅度(20~25℃)较窄、取样次数有关。

表 4 土壤氮素矿化速率及硝化速率与土壤理化性状的相关性

氮素转化 速率	与土壤理化性状的相关系数					
	全氮含量	有机质含量	碳氮比	铵态氮含量	硝态氮含量	土壤水分
净矿化速率	-0.333 *	-0.248	-0.051	-0.350 *	-0.331 *	-0.341 *
净硝化速率	-0.216	-0.442 **	-0.233	0.093	-0.720 **	-0.155

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平下差异显著。

率与土壤有机质、硝态氮含量均呈极显著负相关,土壤有机质对氮素矿化具有一定抑制作用,有机质含量过高对氮素硝化过程的抑制作用则更加显著。土壤净矿化速率、净硝化速率均与 C/N 值呈负相关,但相关关系不显著。

3 讨论

绿肥还田、作物吸收氮素、土壤氮素的矿化与固持等因素均可引起土壤铵态氮和硝态氮含量的变化<sup>[17-20]</sup>。本研究中冬牧 70 黑麦掩青还田后,土壤铵态氮、硝态氮的含量呈动态变化,这与王岩等提出的绿肥养分释放规律<sup>[21]</sup>基本一致。在冬牧 70 黑麦掩青还田后 2、12 周,雨水充沛导致土壤通气性差,一定程度淹水条件下主要以还原态的铵态氮为主,因此翻压后 2、12 周土壤铵态氮含量出现高峰值。翻压后的前期和后期以铵态氮为主,翻压后 3~6 周以硝态氮为主,翻压后期各处理硝态氮含量显著降低,矿化氮可能参与了氮的固持、硝态氮的淋溶、反硝化、氨气挥发等其他方面的损失。土壤铵态氮含量总体从翻压后 3 周逐渐下降,在翻压后 3~8 周相对稳定,可能是由于烟草开始进入快速生长阶段,对土壤矿质氮的吸收量大,土壤有机氮矿化及肥料氮素转化无法满足烟草的吸收。与对照相比,加入外源有机氮均提高了各生育期铵态氮的含量。土壤硝态氮含量自冬牧 70 黑麦翻压后 3、6 周出现高峰值,12 周后趋于稳定,在翻压初期(2~4 周),不同翻压量处理的土壤硝态氮含量均低于对照,这与朱春茂等的研究结论<sup>[22]</sup>一致。主要原因是土壤有机氮矿化的激发效应,化学氮肥多引起正激发效应,有机氮肥的净激发量则为负值。冬牧 70 黑麦秸秆的易腐解部分迅速被微生物分解,导致处理间的土壤硝态氮含量显著降低;随着翻压时间的延长和土壤通气状况的改善,处理间的土壤硝态氮含量与对照相比显著增加;翻压 12 周后,外源有机氮对硝态氮含量的影响均不显著。在冬牧 70 黑麦翻压处理期间,土壤净矿化速率与土壤的全氮、硝态氮、铵态氮含量均呈显著负相关,表明土壤中存在控制氮矿化的反馈机制,即较高的矿质氮初始值会限制土壤氮矿化,这一机制可能与土壤微环境中的“矿化-固持”过程有关。

表 3 土壤氮素矿化速率与土壤温度的相关性

处理	与不同土层地温的相关系数		
	5 cm	10 cm	15 cm
CK	0.48	0.38	0.54
T <sub>1</sub>	0.61	0.43	0.67
T <sub>2</sub>	0.47	0.47	0.49
T <sub>3</sub>	0.51	0.45	0.62

2.5 土壤理化性质对净矿化速率及硝化速率的影响

由表 4 可知,土壤净矿化速率与土壤的全氮、硝态氮、铵态氮、水分含量均呈显著负相关,表明土壤中存在控制氮矿化的反馈机制,即较高的矿质氮初始值会限制土壤氮矿化,该机制与土壤微环境中“矿化-固持”过程有关<sup>[14-16]</sup>。净硝化速

4 结论

在冬牧 70 黑麦田间原位培养期间,土壤无机氮呈阶段性变化特征,表现出氮固持-矿化的相互转化。

土壤理化性质对绿肥还田后土壤氮的转化过程具有一定影响,全氮、铵态氮、硝态氮、土壤含水量均与净氮矿化速率呈显著负相关,土壤有机质、硝态氮含量均与土壤净硝化速率呈显著负相关。

冬牧 70 黑麦对土壤无机氮含量的影响分别在翻压后 6、8、12 周,即大部分冬牧 70 黑麦在翻压后 6 周内分解。其中,翻压量为 60 000 kg/hm<sup>2</sup> 的处理对土壤氮素矿化的影响最为明显;翻压量少于 40 000 kg/hm<sup>2</sup> 的处理对土壤氮素矿化量的影响不显著。翻压 12 周后,无机氮释放减缓,氮素矿化速率趋于平稳,表明土壤中翻压的冬牧 70 黑麦养分基本分解完全。

参考文献:

[1] 刘世平,陈文林,聂新涛,等. 麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1049-1053.

[2] 刘国顺,李 正,敬海霞,等. 连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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,2002,23(3):5-7.

[6] 田永强,曹之富,张雪艳,等. 不同农艺措施下温室土壤酶活性的动态变化及其相关性分析[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(4):857-864.

[7] 马宁宁,李天来,武春成,等. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1766-1771.

江 晖,李 丹,廖天宇,等. 超声波联合光催化对沼液脱氮处理的效果[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):509-513.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.145

# 超声波联合光催化对沼液脱氮处理的效果

江 晖,李 丹,廖天宇,曾庆文,耿文华

(南京工业大学生物与制药工程学院,江苏南京 211816)

**摘要:**通过超声波和二氧化钛光催化反应对畜禽养殖场沼液进行脱氮处理,以总氮和氨氮的去除率综合评价脱氮效果。先通过超声和光催化反应的单因素试验确定最佳值,再利用正交试验确定脱氮的最佳条件。结果表明,在超声时间为3 h、超声功率为50 W、沼液pH值为10.5的条件下,沼液总氮、氨氮去除率分别为65.39%、68.84%;而在光照时间为1.0 h、沼液pH值为8.0、流速为4.0 mL/s的光催化脱氮最佳试验条件下,沼液总氮、氨氮去除率分别为44.76%、39.90%;最后联合光催化和超声波对沼液进行脱氮处理后,沼液的总氮、氨氮去除率分别达到84.21%、83.58%,可以有效减轻后续沼液处理的负荷。

**关键词:**沼液;超声;光催化;脱氮处理

**中图分类号:** X703

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2016)05-0509-05

近年来,随着畜禽养殖业体系的转变以及经济全球化的发展,中国规模化畜禽养殖业快速发展,经济增长的同时带来了环境的污染。为了解决此类问题,国家大力扶持沼气工程建设,带来了大量的优质清洁能源<sup>[1-3]</sup>,同时大量的沼渣沼

液带来了新的问题,由于沼液有机质浓度高、含氮量高<sup>[4-5]</sup>、碳氮比低,可生化性较差<sup>[6-7]</sup>,若直接排放势必会对水源、农业生态产生直接威胁和危害<sup>[8-9]</sup>。

沼液中大量的氮、磷等营养物质进入水体后,促使水生生物过度繁殖,致使水体中溶解氧急剧下降,易发生富营养化<sup>[10-13]</sup>;长期饮用含氮废水,会增加新生儿先天性心脏病发生的概率<sup>[14]</sup>,另外,还易导致水体透明度下降、水体散发气味等危害。研究表明,太湖外部污染总量中,工业污染源仅占10%~16%,而农业面源污染高达59%,其中畜禽养殖污染占较大比例<sup>[15]</sup>。

目前,国内外废水脱氮的处理方法包括物理法、生物法和化学法。物理法包括反渗透和超声处理等<sup>[16-17]</sup>。生物法包括硝化反应、厌氧氨氧化、人工湿地、菌类处理和氮硫协同去

收稿日期:2015-04-20

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAD15B02);国家“863”计划(编号:2012AA021405);江苏省科技支撑计划(编号:BE2010359)。

作者简介:江 晖(1983—),男,江苏泰州人,硕士,主要从事环境技术方面的研究。E-mail:njutjh@126.com。

通信作者:耿文华,博士,教授,主要从事工业废水处理、养殖和生活污水达标排放、农业废弃物资源化利用与无害化处理等研究。E-mail:gengwenhua@njtech.edu.cn。

[8] Tu C, Ristaino J B, Hu S J. Soil microbial biomass and activity inorganic tomato farming systems: effects of organic inputs and straw mulching[J]. Soil Biol Biochem., 2006, 38: 247-255.

[9] Wu J, Brookes P C. The proportional mineralization of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grass land soil[J]. Soil Biol Biochem., 2005, 37: 507-515.

[10] 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.

[11] 徐振峰,唐 正,万 川,等. 模拟增温对川西亚高山两类针叶林土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2727-2733.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[13] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[14] 徐华勤,章家恩,冯丽芳,等. 广东省典型土壤类型和土地利用方式对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1464-1471.

[15] Li Z, Liu G S, Jing H X, et al. Effects of green manure application on microbial biomass C, N and enzyme activity of tobacco-planted soils[J]. Acta Pratac Sin, 2011, 20(3): 225-232.

[16] Boerner R J, Brinkman J A, Smith A. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005(37): 1419-1426.

[17] Zhang Y M, Zhou G Y, Wu N, et al. Soil enzyme activity changes in different-aged spruce forests of the eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Pedosphere, 2004, 14(3): 305-312.

[18] Paz-Ferreiro J, Trasar-Cepeda C, Leiros M C, et al. Biochemical properties in managed grassland soils in a temperate humid zone: modifications of soil quality as a consequence of intensive grassland use[J]. Biology and Fertility of Soils, 2009, 45(7): 711-722.

[19] Guo Y J, Ni Y, Han J G. The influence of land use change on chemical and biological properties of steppe soils in northern China[J]. Arid Land Research and Management, 2009, 23(3): 197-212.

[20] 潘福霞,鲁剑巍,刘 威,等. 不同种类绿肥翻压对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1359-1364.

[21] 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.

[22] 朱春茂,李志芳,吴文良,等. 甜玉米/白三叶草秸秆还田的碳氮矿化研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 423-428.