

# 长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征

李娟<sup>1</sup>, 赵秉强<sup>1\*</sup>, 李秀英<sup>1</sup>, So Hwat Bing<sup>2</sup>

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2 澳大利亚格里菲斯大学工程学院, 昆士兰州布里斯班市 4111)

**摘要:** 研究长期不同施肥条件下褐潮土微生物量碳(SMBC)、微生物量氮(SMBN)和土壤酶活性随季节的变化特征。结果表明, 长期施肥条件下土壤 SMBC、SMBN 含量及土壤酶活性均表现出一定的季节变化。SMBC、SMBN 含量在各施肥处理中的顺序为: 化肥与猪厩肥配施处理(NPKM) > 化肥配施玉米秸秆处理(NPKS) > 单施化肥处理(NPK) > 不施肥处理(CK), 各处理之间差异显著( $P < 0.05$ ); 施肥还显著提高了土壤脲酶、转化酶、碱性磷酸酶活性, 有机无机配施的高于单施化肥的。除过氧化氢酶活性随季节变化显著下降外, SMBC、SMBN、酶活性的值一般在夏季(6月到8月)较高。通过双因素单变量方差分析表明, 不同施肥制度与季节变化对 SMBC、SMBN 与酶活性的影响分别达极显著水平( $P < 0.01$ ), 不同施肥制度的 SMBC、SMBN 与酶活性的季节波动有极显著不同( $P < 0.01$ )。

**关键词:** 长期施肥; 土壤微生物量; 土壤酶; 季节变化

中图分类号: S154.2; S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)05-1093-07

## Seasonal variation of soil microbial biomass and soil enzyme activities in different long-term fertilizer regimes

LI Juan<sup>1</sup>, ZHAO Bing-qiang<sup>1\*</sup>, LI Xiu-ying<sup>1</sup>, So Hwat Bing<sup>2</sup>

(1 Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China;

2 Griffith School of Engineering, Griffith University, Nathan, Brisbane Qld 4111, Australia)

**Abstract:** The long-term impact of fertilizer regimes on soil microbial biomass carbon (SMBC), soil microbial biomass nitrogen (SMBN) and soil enzyme activities were studied over the growing season in a fluvo-aquic soil in Changping County, Beijing, China. Four different fertilization treatments were established in 1991. They were in a wheat - maize rotation receiving either no fertilizer (CK), mineral fertilizers (NPK), mineral fertilizers plus swine manure (NPKM) or mineral fertilizers with maize straw incorporated (NPKS). Results indicated that long-term fertilizer regimes had considerable effects on SMBC, SMBN and enzyme activities compared to CK. The order of SMBC and SMBN in all fertilization treatments was NPKM > NPKS > NPK > CK, and they were significantly different among these treatments ( $P < 0.05$ ). Studies on soil enzyme activities showed that soil urease, invertase, alkaline phosphatase activities were significantly enhanced in the treatments applied with fertilizers, and were much higher in the treatments applied of mineral fertilizers with organic manure or maize straw (NPKM, NPKS) than in NPK treatment. Catalase activity was markedly decreased in these treatments throughout the season from April to September. Further analysis indicated that treatment and sampling date had obvious influence on the SMBC, SMBN and soil enzyme activities separately and there were significant interactions between treatment and sampling date ( $P < 0.01$ ).

收稿日期: 2008-03-07

接受日期: 2009-01-09

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2007-37); 国家自然科学基金(30471012); 国家基础研究重大项目(973)前期研究专项(2001CCB00800, 2003CCB00300); 中国农科院杰出人才基金项目资助。

作者简介: 李娟(1981-), 女, 山东肥城人, 博士研究生, 主要从事长期土壤肥力与肥料效益监测研究。E-mail: juanli2002@163.com

\* 通讯作者 Tel: 010-82108658, E-mail: bqxzhao@163.com

本研究在农业部植物营养与养分循环重点实验室完成。

**Key words** : long-term fertilizer regimes ; soil microbial biomass ; soil enzyme ; seasonal variation

微生物生物量的大小可以表明微生物新陈代谢活动的强弱,而微生物生长与死亡的交替过程也就是养分的固持与释放过程<sup>[1]</sup>。土壤微生物推动着生态系统的能量流动和物质循环,维持生态系统的正常运转<sup>[2]</sup>。土壤酶在土壤生物化学循环中具有重要地位,是土壤功能的直接体现<sup>[4]</sup>。土壤微生物活性与酶活性受非生物因素(如温度、水分、pH和氧气含量)的影响较多,研究者也观察到季节(时间)对二者的作用<sup>[5-7]</sup>,但是迄今为止,结果不一。一些研究认为,田间土壤微生物量相对稳定<sup>[5]</sup>,而有的则认为具有显著的季节性变化<sup>[6]</sup>。

近年来的研究表明,长期施肥不仅改变了农田土壤的物理与化学性质,而且还改变了土壤的生物或微生物种群结构及生化性能<sup>[8]</sup>。短期施用无机氮肥对土壤酶活性和微生物生物量只产生有限的影响,而长期施用无机氮肥可减少土壤微生物的活性<sup>[9-10]</sup>;施用有机肥可以显著提高土壤微生物量和微生物活性<sup>[11]</sup>,配施有机肥对土壤酶活性的影响远大于单施化肥和不施肥土壤<sup>[12-13]</sup>。但是,随季节变化土壤微生物量和土壤酶活性动态变化特征报道则较少。本研究主要通过研究长期施肥条件下褐潮土微生物和酶活性的季节动态变化来深入了解土壤微生物在土壤肥力中的调节作用,以期为寻求作物稳产、高产的土壤生物化学环境及促进土壤生态的良性循环提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本研究在国家褐潮土肥力与肥料效益长期监测基地的长期肥料试验中进行。监测基地位于北京市昌平区,北纬40°13',东经116°14',海拔高度43.5 m,年平均温度11℃,≥10℃积温4500℃,年降水量600 mm,年蒸发量1065 mm,无霜期210 d,灾害性天气主要是春旱和夏季暴雨。

长期肥料定位试验始于1991年,种植制度为冬小麦—夏玉米。土壤母质为黄土性母质,属褐潮土。试验开始时耕层(0—20 cm)土壤理化性质为:有机质12.90 g/kg,全氮0.48 g/kg,全磷0.58 g/kg,速效氮6.49 mg/kg,速效磷3.77 mg/kg,缓效钾503.67 mg/kg, pH 8.12。

试验设4个处理:1)不施肥对照(CK);2)施氮、磷、钾化肥(NPK);3)氮、磷、钾化肥+猪厩肥

(NPKM);4)氮、磷、钾化肥+玉米秸秆还田(NPKS)。4次重复,随机区组排列,小区面积2.0 m×1.5 m。每季作物施氮、磷、钾化肥分别为N 160 kg/hm<sup>2</sup>、P 35 kg/hm<sup>2</sup>、K 49.8 kg/hm<sup>2</sup>;猪厩肥(M)用量为33 t/hm<sup>2</sup>;玉米秸秆(S)用量为2.17 t/hm<sup>2</sup>。化肥于每季作物播种前一次性施入,猪厩肥和秸秆还田一年施用一次,于小麦播种前做基肥。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。田间管理按大田丰产要求进行。

### 1.2 样品采集及测定方法

分别于2006年4月12日(小麦拔节期)、6月13日(小麦收获后,玉米播种前)、8月22日(玉米抽雄期)、9月29日(玉米收获后)采集土样,每个小区随机取5点耕层土壤(0—20 cm),剔除石砾和植物残根等杂物,混合制样,过2 mm筛后,于4℃冰箱内保存,并立即进行土壤微生物量碳、氮的测定;部分样品风干后分别过1 mm筛备用。

1.2.1 土壤微生物量碳、氮的测定方法 将新鲜的土壤样品含水量调节至田间含水量的40%,5℃下密封预培养7~10 d,以保持土壤均匀和不同地方所得结果的可比性。采用氯仿熏蒸—K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提取法<sup>[14]</sup>测定土壤微生物量碳、氮。即称取预处理的湿润土壤每份20.0 g(烘干基重),放入50 mL烧杯中,将其置于底部有少量NaOH、少量水(约200 mL)和去乙醇氯仿的真空干燥器中,抽真空后保持氯仿沸腾3~5 min;然后,将干燥器移置在黑暗条件下25℃熏蒸土壤24 h,再次抽真空完全去除土壤中的氯仿。将熏蒸好的土壤转移到200 mL提取瓶中,加入约80 mL 0.5 mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提取液(土水比为1:4),振荡30 min后过滤。同时做未熏蒸空白和试剂空白,每份土壤重复3次。

土壤微生物量碳用重铬酸钾氧化法测定。微生物量碳(B<sub>c</sub>)=E<sub>c</sub>/K<sub>c</sub>,E<sub>c</sub>表示熏蒸与未熏蒸对照土壤浸取有机碳的差值,K<sub>c</sub>为转换系数,取值0.38<sup>[14]</sup>。

土壤微生物量氮用凯氏定氮法测定。微生物量氮(B<sub>N</sub>)=E<sub>N</sub>/K<sub>N</sub>,E<sub>N</sub>为熏蒸与未熏蒸对照土壤矿质态氮的差值,K<sub>N</sub>为转换系数,取值0.45<sup>[15-16]</sup>。

1.2.2 土壤酶测定方法 土壤脲酶活性用靛酚蓝比色法测定,以24 h每千克干土生成的NH<sub>3</sub>-N的毫克数表示;转化酶活性用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以1 h每克干土中葡萄糖的毫克数表示;

碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定,以 1 h 每克干土释放的酚的毫克数表示;过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定<sup>[17]</sup>,以 1 h 每克干土消耗 0.02 mol/L 高锰酸钾的毫升数表示。

试验数据经 Excel 2003 整理,采用 DPS v2.00 统计分析软件进行单因素方差(One-Way ANOVA)分析,不同处理之间多重比较采用 Duncan 新复极差方法,然后经过 *t* 检验 ( $P < 0.05$ );双因素单变量方差分析用 SPSS11.5 统计软件完成,多重比较采用 LSD 法,然后进行 *t* 检验 ( $P < 0.01$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 长期不同施肥条件下 SMBC、SMBN 季节动态变化

不同处理在相同采样时期内 SMBC、SMBN 总的变化规律一致,为 NPKM > NPKS > NPK > CK。除在

小麦拔节期 NPKS 与 NPK 处理之间的 SMBC 和小麦收获后 NPKS、NPK、CK 处理之间的 SMBC 无显著差异外,其余各时期的 SMBC、SMBN 均有显著差异(表 1)。

由相同处理在不同采样时期的 SMBC 变化规律看出,NPKM、CK 处理的 SMBC 随季节变化整体趋势基本一致,即在小麦收获后达到最高,然后下降;在小麦收获期均显著高于其他采样时期。但 NPKM 处理的 SMBC 在玉米抽雄期到收获呈缓慢下降趋势,CK 处理在此期间随季节波动变化。NPKS 与 NPK 处理中的 SMBC 随季节变化差异不显著。

季节变化对 NPKM 处理的 SMBN 的影响较为显著,SMBN 先呈现上升趋势,在小麦收获期达到峰值,然后下降;在玉米抽雄期达到最低,玉米抽雄期到收获又有缓慢上升。NPKS 处理的 SMBN 在小麦收获期明显降低,而后持续上升。NPK、CK 处理的 SMBN 季节波动不显著。

表 1 长期不同施肥条件下 SMBC、SMBN 的季节动态变化 (mg/kg)

Table 1 Seasonal variation of SMBC、SMBN in different long-term fertilizer regimes

处理 Treatment	采样日期(日/月)Sampling date (Day/Mon)			
	12/4		13/6	
	SMBC	SMBN	SMBC	SMBN
CK	96.49 ± 21.06 Cc	35.89 ± 8.27 Da	217.58 ± 18.56 Ba	37.49 ± 9.46 Ba
NPK	214.11 ± 45.17 Ba	51.11 ± 4.45 Ca	226.58 ± 47.26 Ba	44.78 ± 8.62 Ba
NPKM	500.12 ± 77.10 Ab	101.82 ± 8.17 Ab	567.36 ± 66.37 Aa	132.41 ± 16.65 Aa
NPKS	281.62 ± 49.24 Ba	64.09 ± 9.48 Bb	256.57 ± 41.82 Ba	48.27 ± 11.88 Bc
处理 Treatment	采样日期(日/月)Sampling date (Day/Mon)			
	22/8		29/9	
	SMBC	SMBN	SMBC	SMBN
CK	176.16 ± 32.71 Cb	33.24 ± 7.55 Da	119.86 ± 41.94 Dc	34.30 ± 3.54 Da
NPK	230.03 ± 53.80 Ba	48.08 ± 8.47 Ca	187.23 ± 26.41 Ca	49.06 ± 2.65 Ca
NPKM	373.88 ± 27.38 Ac	86.02 ± 10.86 Ac	349.38 ± 52.36 Ac	109.12 ± 19.05 Ab
NPKS	256.52 ± 59.41 Ba	67.21 ± 6.96 Bab	278.97 ± 33.67 Ba	76.57 ± 9.93 Ba

注( Note ): SMBC—土壤微生物量碳 Soil microbial biomass carbon; SMBN—微生物量氮 Soil microbial biomass nitrogen. 表中数据后大写字母表示同一时期不同处理间的差异显著性,小写字母表示同一处理不同时间的差异显著性( $P < 0.05$ )。Significant differences of different treatments were showed by capital letters in the same stage, significant differences of different stages were showed by small letters in the same treatment, and the significant differences are showed by different letters in tabl( $P < 0.05$ ).

### 2.2 长期不同施肥条件下土壤酶活性的季节动态变化

图 1 表明,不同处理间土壤脲酶活性基本上呈 NPKM > NPKS > NPK > CK 的规律,其中在小麦拔节期各处理间差异显著,其余 3 个采样期 NPKS 与 NPK 处理间均无显著差异,但与 NPKM 和 CK 处理间差异显著。各处理脲酶活性都在玉米抽雄期达到峰值,且显著高于其他 3 个采样时期。

除在小麦收获期 NPKS 与 NPK 处理转化酶活性差异不显著之外,其余时期各处理之间的转化酶活性均有显著差异,其中以 NPKM 处理最高,CK 最低。在小麦拔节期,NPK 处理中的转化酶活性显著高于 NPKS 处理;而在玉米抽雄期与收获期则相反。NPKM、NPKS 处理转化酶活性随季节的变化呈逐渐上升趋势,在不同采样时期之间有着较显著的差异。NPK、CK 处理在玉米抽雄期有所降低,但收获期又

基本恢复到小麦拔节期的水平。

从图 1 还可看出,除 NPKS 与 NPK 处理的碱性磷酸酶活性在小麦收获期和玉米收获期差异不显著以外,其余各时期不同处理间均差异显著,NPKM 处理最高,CK 最低,在小麦拔节期,NPK 处理大于 NPKS 处理,而在玉米抽雄期则 NPKS 处理大于 NPK 处理。NPKM 处理在小麦收获期碱性磷酸酶活性显著下降,到玉米抽雄期又呈上升趋势,并达到峰值;此期的碱性磷酸酶活性与其他 3 个采样时期差异显著,到玉米收获期又呈下降趋势。NPKS、NPK、CK 处理除玉米抽雄期外,其他 3 个时期的酶活性无显著变化。不同的是,NPKS 处理在玉米抽雄期碱性磷酸酶活性呈上升趋势,NPK、CK 处理的呈下降趋势,且

变化幅度明显。各处理在 9 月份玉米收获时碱性磷酸酶活性水平与 4 月份小麦拔节期水平基本达到一致。

NPKM、NPK 处理土壤过氧化氢酶活性先呈现上升趋势,在小麦收获期出现高峰,然后开始下降;但 NPKS 和 CK 处理一直呈下降趋势。不同处理同一采样时期过氧化氢酶活性的变化趋势为:在小麦拔节期,NPKM 处理最高,CK 其次,且差异显著;NPKS 与 NPK 处理最低,两者之间差异不显著,但与其他处理差异显著。到小麦收获期,不同处理之间变化为 NPKM > NPK > CK > NPKS,差异显著,在玉米收获期各处理间无显著差异,且达到各时期的最低值。

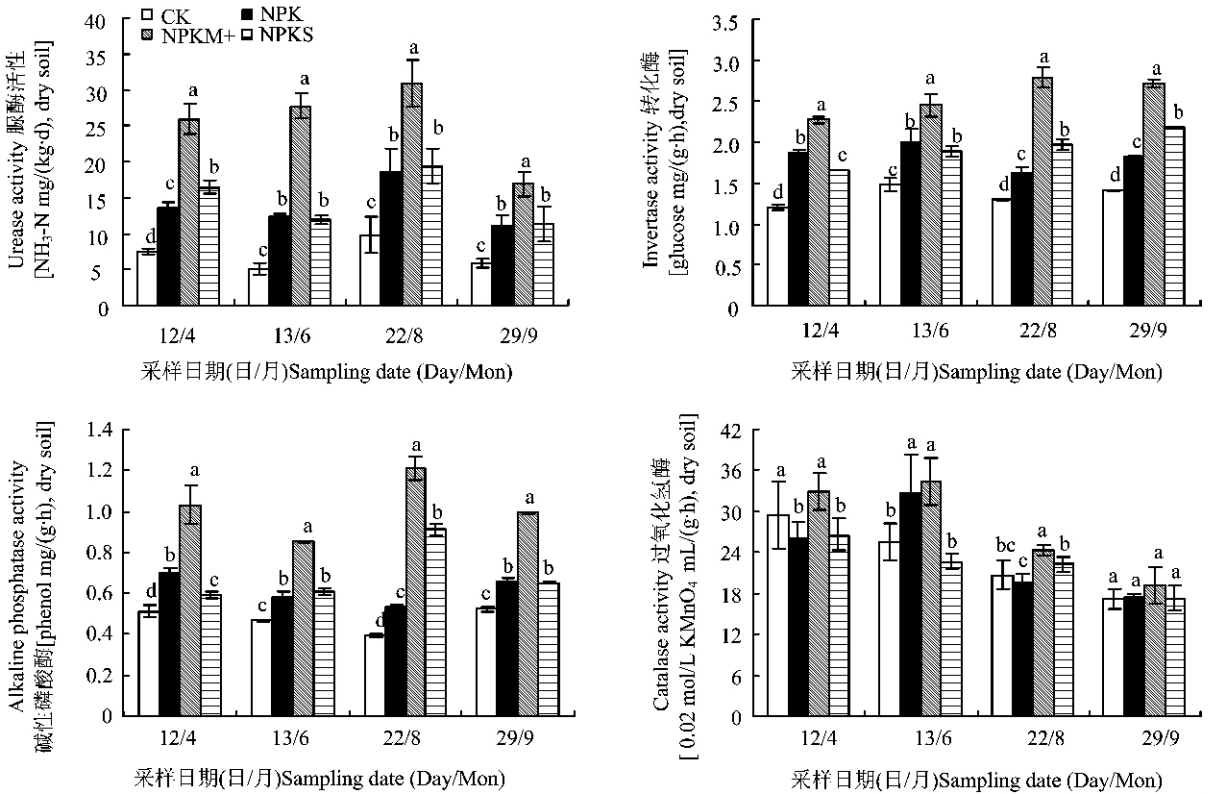


图 1 长期不同施肥条件下土壤脲酶、转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性的季节动态变化

Fig. 1 Seasonal variation of soil urease, invertase, alkaline phosphatase, catalase activities in different long-term fertilizer regimes

[注 (Note): 图柱不同小写字母表示同一时期不同处理间在 5% 水平差异显著 (P < 0.05). Different small letters above the bars

indicate significant at 5% level of different treatments in the same stage (P < 0.05). ]

### 2.3 长期不同施肥条件与季节变化对 SMBC、SMBN 和土壤酶活性的影响

对所测指标进行双因素(处理和日期)单变量的方差分析,结果显示(表 2),不同施肥制度与季节变化对 SMBC、SMBN 及土壤酶活性的影响达到极显著水平,二者的交互作用对土壤 SMBC、SMBN 及酶活

性亦有极显著的影响。

## 3 讨论

3.1 长期不同施肥条件下 SMBC、SMBN 季节变化 土壤微生物量是土壤肥力的重要生物学指标<sup>[18]</sup>。SMBC 可反映微生物的活动状况,是土壤有

表 2 长期不同施肥条件与季节变化对 SMBC、SMBN 和土壤酶活性的影响

Table 2 Significance of treatment and sampling date on SMBC, SMBN, urease, invertase, alkaline phosphatase and catalase

变异来源 Source of variation	微生物量碳 SMBC	微生物量氮 SMBN	脲酶 Urease	转化酶 Invertase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	过氧化氢酶 Catalase
处理 Treatment(I)	* *	* *	* *	* *	* *	* *
日期 Sampl. Date(II)	* *	* *	* *	* *	* *	* *
I × II	* *	* *	* *	* *	* *	* *

注( Note ): \* \* 表示差异达 1% 显著水平(  $P < 0.01$  ) Statistically significant at 1% (  $P < 0.01$  ).

机碳的灵敏指示因子<sup>[19]</sup>; SMBN 是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映, 凡是影响氮素矿化与固持过程的因素都会影响 SMBN 的含量。本试验中, SMBC、SMBN 在不同处理中的变化趋势相同, 说明它们所反映的土壤微生物学性质变化是一致的。

施肥提高了土壤的 SMBC、SMBN 含量, 化肥与猪厩肥、化肥与玉米秸秆配施的效果更明显。可以认为引起 SMBC、SMBN 含量变化的主要原因是猪厩肥和玉米秸秆为微生物提供了碳源, 造成微生物数量增加, 表现在微生物量上是含量的增加。由于土壤微生物分解有机质的适宜 C/N 比是 25:1, 而玉米秸秆的 C/N 在 50:1 左右, 与猪厩肥( C/N 大约 20:1 )相比, 微生物分解需要更多的氮源, 所以导致在相同的外界条件下, 土壤微生物活动相对缓慢, 化肥与猪厩肥配施更能提高 SMBC、SMBN 含量。

NPKM、CK 处理在小麦收获后期 SMBC 含量达到最高, 其原因可能是随着温度的不断升高, 微生物活跃, 又因为此时地上部无作物吸收养分, 收获后死亡的根系部分腐解, 微生物生长迅速。在玉米生长前期( 播种到抽雄 )虽然玉米根系生长迅速, 根系分泌物、脱落物增多, 累积了大量有机物质, 但是此时随着玉米吸收土壤养分的不断增多, 微生物矿化作用大于固持作用, SMBC 明显下降。在玉米生长后期( 抽雄到收获 )变化幅度较低, 是因玉米根系活动在后期开始明显减弱, 根系对养分吸收速度减慢, 吸收量减少, 代谢活动减弱, 根系分泌物减少; 完熟期根系活动基本停止, 代谢产物减少, 土壤微生物活性和繁殖能力下降, 数量减少。NPKS、NPK 处理的 SMBC 含量随季节变化差异不显著, NPKS 处理虽然增加了土壤里的有机物质, 但是微生物分解有机物质固持碳素需要更多的氮量; 而 NPK 处理虽然增加了土壤有效氮, 在一定程度上会促使土壤中植物根茬等残留量增加, 但土壤中碳源有限, 土壤 C/N 比下降, 土壤中原有的有机碳加速分解, 导致土壤中积累的有机碳总量减少。所以, NPKS 与 NPK 处理在玉米生长情况下, 微生物与玉米之间存在争夺有效

碳、氮的矛盾, 抑制了微生物的繁殖, 是 SMBC 没有显著增加的原因之一。

NPKM 处理的 SMBN 与 SMBC 变化趋势基本相同, 稍微不同的是玉米收获后 SMBN 有所增加。因为在收获后死亡的根系部分腐解, 加之先前的微生物细胞死亡, 一部分氮素从微生物体释放出来而重新回到土壤中, 使得土壤中的无机氮有所积累<sup>[20-21]</sup>, 为微生物的繁殖提供新能源; 微生物数量有所增加, 使得玉米成熟后仍有部分氮被微生物所固持。同样, 由于 NPKS 处理添加 C/N 较高的玉米秸秆, 在小麦收获期土壤氮素有限, 所以 SMBN 有明显降低; 在玉米播种前又由于施入 NPK 底肥, SMBN 又随之升高, 使其在玉米抽雄期与收获期差异不显著; NPK、CK 处理的 SMBN 含量随季节变化差异不显著。这充分表明化肥配施玉米秸秆( NPKS )和单施化肥( NPK )处理的 SMBC、SMBN 并未与温度呈正比关系, 而是在某种程度上这两个施肥处理使得土壤微生物生长与作物生长之间产生颉颃作用, 导致 SMBC、SMBN 含量随季节变化不大。Ross 等<sup>[22]</sup>指出, SMBC、SMBN 的季节波动与有效氮的摄入有关而不是由于植物残茬或者是肥料的施入。本试验也证实了这个结论。

### 3.2 长期不同施肥条件下土壤酶活性的季节变化

除过氧化氢酶外, 在整个作物生长期, 施肥提高了其他土壤酶活性, 施肥处理的酶活性显著高于不施肥处理。化肥与猪厩肥配施又显著高于化肥与玉米秸配施和单施化肥处理。由于玉米秸秆 C/N 高, 微生物需要更多的氮源去分解, 在某些时期土壤氮量不足, 某种程度上就抑制了微生物的繁殖。所以, 在相同条件下化肥与玉米秸配施和单施化肥微生物分泌酶活性差异不显著, 这个跟土壤酶的种类和施肥类型、温度等也有关系。

脲酶是一种酰胺酶, 直接参与尿素形态的转化, 其产物是植物最重要的土壤速效氮。脲酶活性的变化充分表明了土壤氮素的供应情况, 并符合作物生长需要的变化趋势。Zantua 和 Bremner<sup>[23]</sup>认为, 往土

壤中施入能促进微生物活动的葡萄糖或其他有机物质能使土壤的脲酶活性得到增加。本试验也证明了这点。由于 NPKS 与 NPK 处理均存在微生物与玉米之间存在争夺有效碳、氮的矛盾,所以在玉米整个生长期 NPKS 与 NPK 处理的土壤脲酶活性无显著差异。

转化酶又名蔗糖酶,广泛存在于动植物和微生物中,是一种重要的水解酶类<sup>[18]</sup>。磷酸酶与有机磷转化密切相关,主要是催化磷酸酯类转化成可被植物吸收利用的无机磷酸盐。转化酶与碱性磷酸酶在不同处理中的季节变化趋势相似。说明随温度升高,添加有机物料可使转化酶和碱性磷酸酶活性升高,而 NPK 和 CK 处理却随温度升高在玉米生长最迅速时期抑制转化酶活性。这与王光华等<sup>[24]</sup>的结论有相似之处。

过氧化氢酶是参与土壤中物质和能量转化的一种重要的氧化还原酶,在一定程度上可以表征土壤生物氧化过程的强弱<sup>[25]</sup>。化肥与猪厩肥配施可显著提高过氧化氢酶活性,随季节变化,各处理的过氧化氢酶活性逐渐降低。该研究结果说明,猪厩肥与秸秆和化肥配合施用在玉米生育末期对过氧化氢酶活性有抑制作用,单施化肥在玉米生育后期对过氧化氢酶活性也有抑制作用且更加明显,该研究结果与王光华等<sup>[24]</sup>对黑土和杨丽娟等<sup>[26]</sup>对菜田土壤酶研究结果相一致。

### 3.3 长期不同施肥条件与季节变化对 SMBC、SMBN 和土壤酶活性的影响

刘恩科等<sup>[12]</sup>、孙瑞莲等<sup>[8]</sup>均证明长期不同施肥制度对土壤微生物量及土壤酶活性具有显著影响。Spedding 等<sup>[7]</sup>指出,基于土壤微生物指标来评价土壤质量必须考虑季节变化对土壤理化性质的影响。由于本试验得出季节变化与施肥对 SMBC、SMBN 及酶活性有着极显著的影响,因此,当使用土壤微生物来作为评价土壤肥力的指标时也应该把季节变化的因素考虑进去。

## 4 结论

1) 长期不同施肥制度下,SMBC、SMBN 与酶活性均表现出一定的季节变化。其中 SMBC、SMBN 变幅较大,SMBC 变化介于 96.49~567.36 mg/kg 之间;SMBN 介于 35.89~132.41 mg/kg 之间。虽然各施肥处理中的土壤微生物量碳、氮、酶活性随季节变化较大,但长期施肥处理的值在不同时期基本都高于长期不施肥处理的,有机无机结合的又高于单施氮

磷钾化肥的。

2) 长期施肥与季节变化的交互作用对 SMBC、SMBN、酶活性有着极显著的影响,除过氧化氢酶外,SMBC、SMBN、酶活性的值一般在夏季(6月到8月)较高。

3) 长期不同施肥条件下 SMBC、SMBN 与土壤酶随季节的显著分异,既表明了施肥制度对褐潮土微生物量和酶活性的影响,也进一步肯定了土壤微生物量和土壤酶在监测土壤质量上的作用。

### 参考文献:

- [1] 赵晓丽,张增祥,周全斌,等. 中国土壤侵蚀现状及综合防治对策研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 43-48.  
Zhao X L, Zhang Z X, Zhou Q B *et al.* Soil erosion actuality and its synthesis prevention countermeasures in China [J]. J. Soil Water Conserv., 2002, 16(1): 43-48.
- [2] Clark F E, Pawl E A. The microflora of grassland [J]. Adv. Agron., 1970 (22): 375-435.
- [3] 李秀英,赵秉强,李絮花,等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1591-1599.  
Li X Y, Zhao B Q, Li X H *et al.* Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility [J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(8): 1591-1599.
- [4] Marschner P, Grierson P F, Rengel Z. Microbial community composition and functioning in the rhizosphere of three *Banksia* species in native woodland in Western Australia [J]. Appl. Soil Ecol., 2005, 28: 191-201.
- [5] Holems W E, Zak D R. Soil microbial biomass dynamics and net nitrogen mineralization in northern hardwood ecosystems [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 238-243.
- [6] Singh J S, Raghubanshi A S, Singh R S *et al.* Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna [J]. Nature, 1989, 338: 499-500.
- [7] Spedding T A, Hamel C, Mehuys G R *et al.* Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems [J]. Soil Biol. Biochem., 2004, 36: 499-512.
- [8] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410.  
Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S *et al.* Effects of long-term fertilization on soil its role in adjusting-controlling enzyme activities and soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(4): 406-410.
- [9] Fauci M E, Dick R P. Soil microbial dynamics short- and long-term effects of organic and inorganic nitrogen [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 801-808.
- [10] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes [J]. Soil Biol. Biochem., 1995, 27(7): 969-975.
- [11] 李东坡,陈利军,武志杰,等. 不同施肥黑土微生物量氮变化

- 特性及相关因素[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1891-1896.
- Li D P, Chen L J, Wu Z J *et al.* Dynamics of microbial biomass N in different fertilized black soil and its related factors[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(10): 1891-1896.
- [12] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 176-182.
- Liu E K, Zhao B Q, Li X Y *et al.* Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization systems[J]. J. Plant Ecol., 2008, 32(1): 176-182.
- [13] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.
- Li J, Zhao B Q, Li X Y *et al.* Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility[J]. Sci. Agric. Sin., 2008, 41(1): 144-152.
- [14] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D C. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biol. Biochem., 1987, 19: 703-707.
- [15] Jenkinson D S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil[A]. Wilson J R, Advance in nitrogen cycling in agricultural ecosystems[M]. Wallingford: CAB International, 1988. 368-386.
- [16] 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 biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biol. Biochem., 1985, 17: 837-842.
- [17] 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 study method[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [18] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006, 54-78.
- Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y *et al.* Soil microbial biomass-methods and application[M]. Beijing: Meteorology Press, 2006. 54-78.
- [19] 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., 1994, 22(2): 167-172.
- [20] 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[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1718-1725.
- Zhou J B, Chen Z J, Li S X. Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relationships with nitrogen supplying ability of soil[J]. Acta Ecol. Sin., 2001, 21(10): 1718-1725.
- [21] 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[J]. 农业现代化研究, 2003, 24(4): 276-283.
- 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 fertilizer in subtropical paddy soils[J]. Res. Agric. Modern., 2003, 24(4): 276-283.
- [22] Ross D J, Speir T W, Kettles H A *et al.* Soil microbial biomass, C and N mineralization, and enzyme activities in a hill pasture: influence of grazing management[J]. Aust. J. Soil Res., 1995, 33: 943-959.
- [23] Zantua M L, Bremner J M. Production and persistence of urease activity of soils[J]. Soil Biol. Biochem., 1976, 8: 369-374.
- [24] 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, Jing 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.
- [25] 陈华葵, 樊庆笙. 微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- Chen H K, Fan Q S. Microbiology[M]. Beijing: Agricultural Press, 1980.
- [26] 杨丽娟, 李天来, 付时丰, 等. 施用有机肥和化肥对菜田土壤酶动态特性的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(2): 223-226.
- Yang L J, Li T L, Fu S F *et al.* Effect of manure and chemical fertilizer on the dynamics of soil enzymic activities in vegetable soil[J]. Chin. J. Soil Sci., 2005, 36(2): 223-226.