

# 土壤水解类酶活性在玉米秸秆与肥料配合施用下的变化

甄丽莎<sup>1</sup>, 谷洁<sup>1,2</sup>, 高华<sup>1,2</sup>, 秦清军<sup>1,2</sup>, 陈强龙<sup>1</sup>, 陈胜男<sup>1</sup>, 孙利宁<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 陕西省循环农业工程研究中心, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**通过田间试验,进行了玉米秸秆与厩肥、N 肥和 P 肥配合施入农田后土壤中水解类酶活性变化的研究。结果表明:在小麦生长期,秸秆配合氮磷肥处理的蔗糖酶活性最高  $60.09 \pm 2.74 \text{ mg GLU}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ ,比对照处理高出  $28.09 \pm 1.79\%$ ,脲酶也以秸秆配合氮磷肥处理最高  $2.86 \pm 0.10 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ ,是对照处理的  $1.04 \pm 0.03$  倍,秸秆配合氮肥处理的碱性磷酸酶活性最高  $4.01 \pm 0.05 \text{ mg 酚}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ ,比对照高出  $0.28 \pm 0.05 \text{ mg 酚}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ ,秸秆还田处理的 3 种酶活性都高于对照,配合施用的有机肥和氮磷肥则在小麦的不同生长期、不同酶活性间表现出不同的作用。脲酶活性与蔗糖酶活性、土壤温度都呈极显著相关,蔗糖酶活性、碱性磷酸酶和土壤温度之间相关性不显著。

**关键词:**玉米秸秆; 有机肥; 化肥; 水解类酶活性

中图分类号: S154.2; S141.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0257-05

## Changes of Soil Hydrolase Activities Under Corn Straws and Fertilizer

ZHEN Li-sha<sup>1</sup>, GU Jie<sup>1,2</sup>, GAO Hua<sup>1,2</sup>, QIN Qing-jun<sup>1,2</sup>,  
CHEN Qiang-long<sup>1</sup>, CHEH Sheng-nan<sup>1</sup>, SUN Li-ning<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. The Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To investigate the changes of soil hydrolase activities under application of corn straws with manure, N and P fertilizer, a field experiment was conducted. The results showed that in corn growing stage, invertase activity in the SNP treatment was  $60.09 \pm 2.74 \text{ mg GLU}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ , which was  $28.09 \pm 1.79\%$  higher than the control treatment, urease activity in the SNP treatment was  $2.86 \pm 0.10 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ , which was  $1.04 \pm 0.03$  times higher compared to the control treatment, alkaline phosphatase activity in the SN treatment was  $4.01 \pm 0.05 \text{ mg phenol}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ , which was higher than the control treatment by  $0.28 \pm 0.05 \text{ mg phenol}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$ , there kinds of soil hydrolase activities in the straws returning treatments were higher than the control treatment, the manure fertilizer and N, P fertilizer combined application play different roles in different growing stages and different soil hydrolases. Significant correlation was found between the urease activity and the invertase activity, soil temperature, but not among the invertase activity, alkaline phosphatase activity and soil temperature.

**Key words:** corn straws; manure fertilizer; chemical fertilizer; hydrolase activities

玉米是我国北方的主要作物,其籽实和秸秆比约为 1 : 1<sup>[1]</sup>,我国每年产生的玉米秸秆达 2.2 亿吨<sup>[2]</sup>。玉米秸秆含有大量的有机质和作物生长所需的氮磷钾及中微量元素。但是随着集约化农业的发展和农民生活水平的提高,对秸秆的利用率越来越

低,大部分被弃置于田间地头或露天焚烧,不仅严重污染了周围的环境,同时还造成了资源的浪费。如何将农业生产过程中产生的秸秆资源化利用,是改善农村环境、节约资源的关键所在。

秸秆还田作为一种常见的农田培肥措施,在我

\* 收稿日期: 2008-11-28

基金项目: 国家自然科学基金(40771109); 科技部农转资金(2007GB2G000394); 国家科技支撑计划(2007BAD89B16, 2006BAD17B01 - 01)

作者简介: 甄丽莎(1983 - ), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要研究方向废弃物资源化利用。E-mail: zhenlisha2002@163.com

通信作者: 高华(1957 - ), 陕西咸阳人, 高级农艺师, 主要从事农业废弃物的肥料化应用。E-mail: gujoyer@sina.com

国有悠久的历史,同时也被认为是维持土壤持久生产力的必要措施<sup>[3]</sup>。大量的研究表明,秸秆还田可以改善土壤理化性质<sup>[1,4]</sup>,增加有机质和 N、P、K 等营养元素的含量<sup>[5-6]</sup>。秸秆还田不仅可以改良土壤、培肥地力,还可以增加作物产量、提高作物品质<sup>[7-8]</sup>。经过人们的长期研究表明,土壤酶活性是评价土壤肥力水平的重要指标<sup>[9]</sup>,土壤酶学特征可以作为一种潜在的指标体系指示有关土壤质量及其相关指标<sup>[10]</sup>。因为土壤酶参与了土壤体系中一切生物化学反映过程<sup>[11]</sup>,在土壤物质循环和能量转换中起着极为重要的作用。玉米秸秆还田后的转化速率受到土壤酶活性大小的影响,同时秸秆还田初期易分解有机物质的增加使土壤微生物活动旺盛<sup>[12]</sup>,产生的水解酶活性显著增强<sup>[13]</sup>。

研究不同施肥条件下土壤酶活性的变化可以从本质上揭示秸秆腐解、土壤性质变化的生物过程。试验采用田间试验,在陕西杨陵小麦-玉米一年二熟制度下,以秸秆与不同肥料配合施用为试验处理,不同水解类酶活性为测定指标,以期为秸秆还田、培

肥土壤提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2007 年 10 月至 2008 年 6 月在陕西杨凌兴桥村农田进行,土壤为塿土,pH 为 7.69。供试小麦为西农 889 号。有机肥为腐熟的农家土粪,秸秆为该农田上季产生的全部玉米秸秆,其养分含量见表 1。

表 1 试验材料的养分含量(风干) g/kg				
试验材料	有机碳	全氮	全磷	全钾
土壤	8.729	0.5	0.949	12.8
有机肥	11.04	1.4	0.66	17.0
玉米秸秆	-	9.27	0.84	8.3

### 1.2 试验设计

田间试验设 5 个处理,4 次重复。顺序排列,小区面积为 40 m<sup>2</sup> (8 m ×5 m)。玉米秸秆切碎后按秸秆产量完全还田,长度为 3~5 cm。播种前均匀散施于土壤表面翻耕,然后按各处理设置将不同肥料撒在地表、条播机播种,方案见表 2。

表 2 玉米秸秆还田试验方案 kg/hm <sup>2</sup>					
代码	处理	玉米秸秆	有机肥	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	对照	-	-	-	-
2	秸秆 (S)	7500	-	-	-
3	秸秆 + 腐熟的有机肥 (SM)	7500	62500	-	-
4	秸秆 + 尿素 (SN)	7500	-	210	-
5	秸秆 + 尿素 + 过磷酸钙 (SNP)	7500	-	210	150

### 1.3 分析方法

于小麦生长期定期采集各处理表层(0-20 cm)的土壤样品,剔除样品中的石块、作物残根和杂质,混匀,过 2 mm 筛,放入 4℃冰柜中保存供测定土壤水解类酶活性使用,测定方法参照关松荫的方法<sup>[14]</sup>。蔗糖酶活性的测定是在样品中加入 8%的蔗糖溶液后于 37℃培养 24 h,蔗糖在酶促作用下水解为葡萄糖,测定葡萄糖生成量以表征蔗糖酶的活性,单位用 mg GLU/(g·24 h)表示。脲酶的测定是在样品中加入 10%的尿素溶液后于 37℃培 24 h,使尿素在脲酶的作用下水解为氨,测定氨量以表示其活性,单位用 mg NH<sub>3</sub>-N/(g·24 h)表示。碱性磷酸酶活性的测定是在样品中加入 0.5%磷酸苯二钠溶液和适当的缓冲液,在酶促作用下水解,用 mg 酚/(g·24 h)表示其活性。土壤温度直接由插入地表 15 cm 深的地温计读数。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 小麦生长期土壤水解类酶活性的变化

土壤中进行的生物化学反应属于酶促反应,它

是在土壤微环境中发生的<sup>[14]</sup>,环境中的因子可以影响土壤酶活性的大小。Zantua<sup>[15]</sup>等人研究表明,在一定范围内,底物浓度增加,酶促反应增强。秸秆还田使土壤中的有机物质含量增加,作为酶促反应底物的有机质必定会影响土壤酶活性的大小。

2.1.1 土壤蔗糖酶活性的变化 土壤蔗糖酶可以将土壤中的蔗糖分解为有利于微生物吸收利用的单糖。Hoffman 等人曾提出用蔗糖酶活性作为评价土壤肥力的指标<sup>[16]</sup>。从图 1 可以看出,从还田开始土壤温度随季节变化而下降,5 个处理的蔗糖酶活性则呈微降后快速上升,并从 25 d 开始在 60 mg GLU/(g·24 h)上下持续了 40 d。土壤温度在第 76 d 最低仅为 0.78℃,而酶活性则于第 125 d 降至最低,此时 CK 处理的蔗糖酶活性为 8.77 mg GLU/(g·24 h),S、SM、SN 和 SNP 处理的蔗糖酶活性较 CK 处理分别高出 9.08%、16.37%、15.22%和 1.43%。随着土壤温度回升,各处理的酶活性均迅速上升,CK 和 S 处理于第 145 d 达到小麦生长期的最高峰,峰值分别为 85.16 mg GLU/(g·24 h)和 118.87 mg GLU/(g·24 h),

SM 和 SN 处理于第 158 d 达到小麦生长期的最高峰,峰值分别为 117.51 mg GLU/(g · 24 h) 和 145.04 mg GLU/(g · 24 h),SNP 处理于第 168 d 达到小麦生长期的最高峰,峰值为 139.75 mg GLU/(g · 24 h)。小麦整个生长期内 CK、S、SM、SN 和 SNP 5 个处理的蔗糖酶活性平均值依次为  $46.89 \pm 1.51$  mg GLU/(g · 24 h)、 $57.47 \pm 2.28$  mg GLU/(g · 24 h)、 $69.81 \pm 6.12$  mg GLU/(g · 24 h)、 $67.34 \pm 1.17$  mg GLU/(g · 24 h) 和  $60.09 \pm 2.74$  mg GLU/(g · 24 h),变异系数依次为 3.21 %、3.96 %、8.77 %、1.73 % 和 4.57 %。

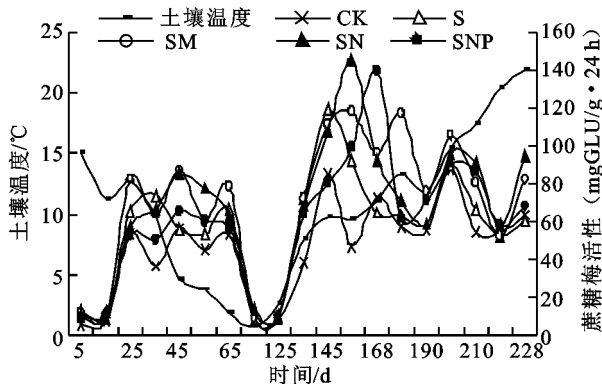


图 1 小麦生长期土壤蔗糖酶的变化

2.1.2 土壤脲酶活性的变化 脲酶能催化酰胺化合物水解为氨<sup>[17]</sup>。尿素是简单的酰胺化合物,施入土壤后的尿素在脲酶的催化作用下可以分解为 CO<sub>2</sub> 和氨气,因此脲酶与土壤中氮的代谢密切相关。从图 2 可以看出,秸秆还田 5~125 d 土壤温度下降,5 个处理的脲酶活性均呈略微下降的趋势,除 SNP 处理在 125 d 最低外其余都在 76 d 降至最低,CK、S、SM、SN 和 SNP 处理的最低值依次为 0.63 mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h)、0.59 mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h)、0.70 mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h)、0.63 mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h) 和 0.60 mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h)。随气温回升,土壤温度逐渐升高,5 个处理的脲酶活性迅速上升至第 136 d 达到第一个高峰,与还田初期相比增加了 1.87~3.21 倍。稍有回落后至第 190 d 达到第二个高峰值,此时 S 处理的脲酶活性最小为 5.61 mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h),CK、SM、SN 和 SNP 处理的酶活性分别比 S 处理高出 12.92 %、9.16 %、14.84 % 和 6.87 %。在小麦整个生长期,CK、S、SM、SN 和 SNP 处理的脲酶活性平均值从大到小为 SNP  $2.86 \pm 0.10$  mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h) > SN  $2.85 \pm 0.03$  mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h) > SM  $2.78 \pm 0.07$  mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h) > CK  $2.74 \pm 0.06$  mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h) > S  $2.60 \pm 0.05$  mg NH<sub>3</sub>-N/(g · 24 h),变异系数依次为 3.34 %、1.11 %、2.40 %、2.30 % 和 2.03 %。

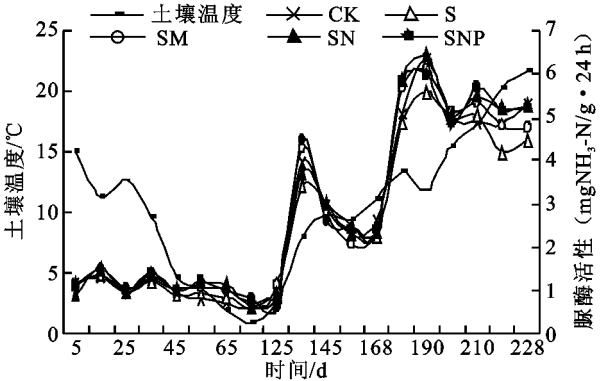


图 2 小麦生长期土壤脲酶的动态变化

2.1.3 土壤碱性磷酸酶活性的变化 磷酸酶可以加速有机磷的水解,使固定的磷得到释放,提高土壤有效磷的含量。通常按磷酸酶的最适土壤酸碱度将其分为酸性磷酸酶(pH 4-5)、中性磷酸酶(pH 6-7)和碱性磷酸酶(pH 8-10)。由于供试土壤为中性偏碱(pH = 7.69),故选择碱性磷酸酶作为本试验土壤磷循环的主要指标<sup>[18]</sup>。试验结果表明(图 3):秸秆还田初期虽然土壤温度受季节影响逐渐降低,但各处理磷酸酶活性都有所升高后迅速下降,CK 和 S 处理在此期间(第 15 d)达到了其生长期的最高峰,峰值分别为 4.79 mg 酚/(g · 24 h) 和 4.54 mg 酚/(g · 24 h)。CK、S、SM 和 SN 处理的磷酸酶活性于第 35 d 降至最低点,低谷值依次为 2.57 mg 酚/(g · 24 h)、2.59 mg 酚/(g · 24 h)、2.57 mg 酚/(g · 24 h) 和 2.74 mg 酚/(g · 24 h),SNP 处理在第 45 d 降至最低,最低值为 2.47 mg 酚/(g · 24 h)。从 55 d~190 d 土壤温度降至最低又逐渐回升,但 5 个处理的酶活性没有受其影响,均在 4~4.5 mg 酚/(g · 24 h) 之间浮动,此间 SM、SN 和 SNP 处理的磷酸酶活性分别于第 55 d、190 d 和 136 d 达到小麦生长期的最高峰,峰值分别为 4.52 mg 酚/(g · 24 h)、5.08 mg 酚/(g · 24 h) 和 4.52 mg 酚/(g · 24 h)。第 210 d 各处理均急速降至 2.80 mg 酚/(g · 24 h) 附近,后又快速回升。小麦生长期,CK、S、SM、SN 和 SNP 5 个处理的磷酸酶活性平均值依次为  $3.72 \pm 0.01$  mg 酚/(g · 24 h)、 $3.81 \pm 0.03$  mg 酚/(g · 24 h)、 $3.92 \pm 0.01$  mg 酚/(g · 24 h)、 $4.01 \pm 0.05$  mg 酚/(g · 24 h) 和  $3.76 \pm 0.01$  mg 酚/(g · 24 h),变异系数依次为 0.26 %、0.90 %、0.34 %、1.14 % 和 0.39 %。

2.2 相关性分析

2.2.1 土壤水解酶活性与土壤温度间的相关性分析 土壤温度可以直接影响微生物种群及数量,是影响酶活性的重要因素之一<sup>[14]</sup>。在一定温度范围之

内,温度每升高 10 ,有机体的生化反应速率就提高一倍<sup>[19]</sup>。试验测定的 3 种水解类酶活性与土壤温度的相关性分析表明(表 3),5 个处理的脲酶活性与土壤温度均呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),而蔗糖酶和碱性磷酸酶与土壤温度的相关性并不显著。这也许是因为酶是高分子蛋白质,分子结构决定了酶与各种影响因素的关系,可能蔗糖酶和碱性磷酸酶对其他影响因素更为敏感,这有待于进一步的研究。

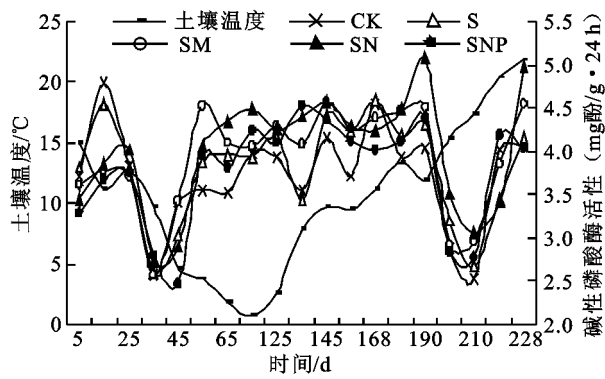


图 3 小麦生长期土壤碱性磷酸酶的动态变化  
表 3 土壤酶活性与土壤温度间的相关性分析

	CK	S	SM	SN	SNP
蔗糖酶	0.358	0.215	0.246	0.239	0.278
脲酶	0.699 **	0.689 **	0.659 **	0.682 **	0.692 **
碱性磷酸酶	- 0.027	- 0.120	- 0.179	- 0.111	- 0.119

\* \* 0.01 水平显著

2.2.2 土壤水解酶活性间的相关性分析 土壤酶是一个非常复杂的体系,不仅与土壤环境的各种因子有着密不可分的关系,不同种类的酶系之间也存在着复杂的关系。试验结果见表 4,蔗糖酶和脲酶之间达到极显著相关( $r = 0.425^{**}$ ),蔗糖酶和碱性磷酸酶、脲酶和碱性磷酸酶之间的相关性较差。酶是一类具有催化作用的高分子蛋白质,来源于土壤微生物和土壤动植物。因此不同酶系之间的相互关系可能和酶反应与底物之间的关系有关,也可能和分泌酶的微生物、动植物有关,这还有待于系统、深入的研究。

表 4 土壤酶活性的相关矩阵

	蔗糖酶	脲酶	碱性磷酸酶
蔗糖酶	1		
脲酶	0.425 **	1	
碱性磷酸酶	0.017	0.074	1

\* \* 0.01 水平显著。

3 讨论

土壤酶来源于土壤微生物、动物和植物根系,具有特殊的催化能力<sup>[14]</sup>。在酶参与土壤生物化学反

应的过程中,酶活性变化要受底物浓度的影响,还要受环境条件,如温度、湿度等因素的影响<sup>[20]</sup>。秸秆还田带入大量新鲜碳源和其他营养元素,在还田初期,3 种水解酶活性都有所增加,其中蔗糖酶增加地最快,幅度也最大。进入冬季(76 ~ 125 d)土壤温度降低,微生物和根系活动微弱,进而影响到酶的活性,但是从图 3 可以看出,碱性磷酸酶的活性并没有受土壤温度的影响仍然保持在较高水平,Aslam 等在研究土壤微生物生物量磷的季节变化规律时也发现冬季显著高于其他季节,他们认为此现象与播种前化学磷肥的施用有关<sup>[21]</sup>,本试验的原因有可能与秸秆中磷素的释放和大田土壤中残留的磷有关。返青(125 ~ 136 d)土壤温度回升,微生物和根系活动增强,3 种水解酶活性增大,小麦生长旺盛期(136 ~ 200 d)酶活性达到了生长期内的峰值。这可能与土壤酶活性和作物生长的协调关系有关<sup>[14]</sup>,这个时期小麦需要较多的养分,根系活动增强,分泌的有机酸和酶增多,加速了养分释放并在土壤中出现一定的积累,保证了小麦生长的需要。小麦生长后期(200 ~ 228 d),尽管温度逐渐升高,但是 3 种水解类酶活性均有所下降,这个时期小麦成熟,根系活动减弱,分泌的酶量减少,酶活性降低。

从酶活性与土壤温度的相关性分析说明温度对脲酶活性的影响最大,碱性磷酸酶则有温度升高酶活性下降的趋势。3 种酶活性的相关分析得出脲酶和蔗糖酶显著相关,因此可以用蔗糖酶和脲酶活性来综合评价土壤肥力的重要指标。

总体来看,5 个处理的蔗糖酶活性的大小依次为  $SNP > SN > SM > S > CK$ ,这说明秸秆中丰富的有机质为蔗糖酶提供了大量底物,增强了酶活性。5 个处理的脲酶活性差别不大,其中单施秸秆处理的酶活性最小,这可能与秸秆还田 C/N 增大有关。碱性磷酸酶则表现为  $SN > SM > S > SNP > CK$ ,施用的磷肥没有起到增加磷酸酶活性的作用,其中的具体原因还有待于进一步研究。本试验测定的与土壤碳、氮、磷转化密切相关的 3 种水解类酶活性的变化特征可以看出,不同处理间均表现为秸秆还田处理的酶活性明显高于对照处理。在秸秆还田处理中,则表现为秸秆配施不同肥料的 3 个处理高于单施秸秆处理的趋势,配施的氮、磷肥和有机肥在不同生长阶段的不同种类水解酶间表现出不同的作用。这表明,造成影响的是玉米秸秆的施用,其中丰富的营养物质增强了土壤生物和微生物的活性,进而影响到酶的变化,配施的不同肥料对秸秆的分解和养分的释放可能起到一定的辅助作用。

## 4 结论

(1) 土壤蔗糖酶活性变化在整个小麦生长期均表现为,以冬季为界形成两个高峰,且后者高于前者。5种处理的蔗糖酶活性比较可以看出,秸秆还田处理明显高于对照处理,其中秸秆配施氮磷肥处理的蔗糖酶活性最高,比对照处理高出28.15%。从酶活性与土壤温度的相关性分析看出,蔗糖酶活性和土壤温度相关性不显著。从酶活性之间的相关性分析看出,蔗糖酶与脲酶达到了极显著相关。

(2) 土壤脲酶活性在冬前一直处于较低水平,随春季温度回升而迅速增大,小麦生长旺盛期稍有回落后又快速上升,随着小麦成熟,脲酶活性缓慢下降。5个处理中秸秆配施氮磷肥处理的脲酶活性最大,秸秆配施氮肥、厩肥处理次之,约为单是秸秆处理的1.1倍。从酶活性和土壤温度的相关性分析看出,5种处理的脲酶活性和土壤温度都呈极显著相关。酶活性之间的相关性分析得出,脲酶活性和蔗糖酶活性达到极显著相关。

(3) 在整个小麦生长期,5个处理的土壤碱性磷酸酶活性从秸秆还田开始到小麦收获都大致表现出缓慢上升的趋势,在前期和后期出现了两次低谷。5种处理的碱性磷酸酶活性相比较可以看出,秸秆配施氮肥处理的酶活性明显高于其他处理,大约为是对照处理的1.08倍。从酶活性和土壤温度以及酶活性之间的相关性分析看出,土壤碱性磷酸酶活性和蔗糖酶活性、脲酶活性、土壤温度都没有显著的相关关系。

### 参考文献:

- [1] 潘贺珍,张忠源,杨伟奇,等.玉米秸秆直接还田培肥效果的研究[J].土壤通报,1996,27(5):213-215.
- [2] 卞有生,生态农业中废弃物的处理与再生利用[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [3] 李腊梅,陆琴,严蔚东,等.太湖地区稻麦二熟制下长期秸秆还田对土壤酶活性的影响[J].土壤,2006,38(4):422-428.
- [4] 耿玉辉,吴景贵,李万辉,等.作物残体培肥土壤的研究进展[J].吉林农业大学学报,2000,22(2):76-79,85.
- [5] 温明霞,林德枝,易时来,等.秸秆在土壤中的养分释放动态研究[J].西南农业学报,2004,17(S):276-278.
- [6] 黄琴,作物秸秆还田对土壤养分含量的影响[J].石河子大学学报:自然科学版,2006,24(3):277-279.
- [7] 宿庆瑞,玉米秸秆肥对土壤肥力及作物产量的影响[J].黑龙江农业科学,1998(3):30-33.
- [8] 劳秀荣,吴子一,高燕春,长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J].农业工程学报,2002,18(2):49-52.
- [9] 周礼恺,土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987.
- [10] Bandick A K, Dick P R. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biol Biochem, 1999, 31: 1471-1479.
- [11] 张成娥,陈小丽,植物破坏前后土壤微生物分布与肥力的关系[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(4):77-83.
- [12] Tarafdar J C, Meena S C, Kathju S. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition[J]. Eur. J. Soil Biol, 2001(37): 157-160.
- [13] Castaldi P, Garau G, Melis P. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions[J]. Waste Management, 2008, 28: 534-540.
- [14] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [15] Zantua M I, L. C. D., Bremner J M. Relationships between soil urease activity and other soil properties[J]. Soil Sci Soc Am J, 1977, 41: 350-352.
- [16] 杜伟文,欧阳中万.土壤酶研究进展[J].湖南林业科技,2005,32(5):76-80.
- [17] 谷洁,李生秀,秦清军,等.水解类酶活性在农业废弃物静态高温堆腐过程中的变化[J].中国农学通报,2005,21(5):32-35.
- [18] 赵兰坡,姜言,土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J].土壤通报,1986(3):138-141.
- [19] 谷洁,李生秀,秦清军,等.农业废弃物静态高温堆腐过程中的生物化学变化[J].中国农业科学,2005,38(8):1699-1705.
- [20] 邱莉萍,刘军,王益权,等.长期施肥土壤中酶活性的剖面分布及其动力学特征研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):737-741.
- [21] Aslam T, C. M. A., Saggar S. Tillage impacts on soil microbial biomass C, N, and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand[J]. Soil & Tillage Research, 1999, 51: 103-111.