

# 有机肥无机肥配施对玉米生长期 土壤水解酶活性的影响

夏雪<sup>1</sup>, 谷洁<sup>1</sup>, 高华<sup>1</sup>, 秦清军<sup>1</sup>, 刘磊<sup>2</sup>, 解媛媛<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为了探讨有机无机肥配施对土壤水解酶活性动态变化的影响以及土壤水解酶活性之间的相关性, 在陕西省眉县进行田间试验, 研究和分析土壤水解酶活性变化。结果表明, 玉米生育期内, 土壤蔗糖酶、碱性磷酸酶在拔节期出现活性高峰, 土壤脲酶活性在大喇叭口期达到玉米生育期最高峰。单施低量有机肥处理( $M_1N_0$ )、单施中量氮肥处理( $M_0N_2$ )和有机无机肥配施处理( $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$ 、 $M_3N_2$ ), 土壤蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶活性比不施肥处理( $M_0N_0$ )高, 其中  $M_2N_2$  处理蔗糖酶活性最高  $26.56 \text{ mg glucose}/(\text{g} \cdot 24\text{h})$ , 比  $M_0N_0$  处理高出  $48.63\%$ ,  $M_3N_2$  处理脲酶活性最高  $0.80 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{g} \cdot 24\text{h})$ , 比  $M_0N_0$  处理高出  $25.00\%$ , 碱性磷酸酶活性以  $M_2N_2$  处理最高  $2.21 \text{ mg 酚}/(\text{g} \cdot 24\text{h})$ , 比  $M_0N_0$  处理高出  $0.16 \text{ mg 酚}/(\text{g} \cdot 24\text{h})$ 。蔗糖酶与碱性磷酸酶活性、脲酶与碱性磷酸酶活性之间的相关性均达显著水平( $P < 0.05$ ), 而蔗糖酶与脲酶活性之间的相关性未达显著水平( $P > 0.05$ )。

**关键词:** 土壤水解酶活性; 玉米生育期; 有机无机肥

**中图分类号:** X71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0038-05

近年来, 随着养殖业规模化集约化发展, 一方面养殖业为市场提供了丰富的肉奶蛋产品, 产生了巨大的经济效益和社会效益。另一方面, 养殖业也产生了大量的畜禽粪便废弃物<sup>[1]</sup>。在我国, 养殖业与种植业的分离导致大量畜禽粪便得不到及时、有效的处理, 绝大多数被随意丢弃或者排放到环境中。资料显示, 我国畜禽粪便的 COD(化学需氧量)排放量已达 7 118 万 t, 远远超过工业和生活废弃物排放量总和<sup>[2]</sup>。目前, 我国畜禽粪便的总体土地负荷警戒值已达到 0.49(小于 0.4 为宜), 体现出一定的环境压力<sup>[3]</sup>, 造成了严重的环境污染, 加大了周围生态系统负荷。畜禽粪便中含有丰富的有机质和作物所需的氮、磷、钾等营养元素, 能够作为有机肥料增加土壤有机质含量, 改善土壤理化性质, 提高土壤肥力及作物产量和品质。

土壤酶是由微生物、动植物活体分泌及由动植物残体分解释放于土壤中的一类具有催化能力的生物活性物质, 是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标<sup>[4-6]</sup>。土壤酶活性能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度, 是评价土壤肥力的重要指标<sup>[7]</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<sup>[8]</sup>。随着人们对微生物在整个生态系统中的重要性认识的增

强, 对土壤微生物生物量、各种酶活性以及微生物的多样性等的研究也愈来愈多<sup>[9]</sup>。

本研究是在夏玉米-冬小麦种植制度下, 通过有机无机肥配施试验, 分析测定土壤水解酶活性, 探讨有机无机肥配施对土壤水解酶活性动态变化的影响, 以及不同土壤水解酶活性之间的相关性, 为培肥土壤提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况与试验设计

试验地位于陕西省眉县, 东经  $107^{\circ}46'$ , 北纬  $34^{\circ}17'$ , 海拔 518.5 m, 属暖温带半湿润半干旱气候, 年平均气温  $12.9^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $4\ 169.2^{\circ}\text{C}$ , 年平均降水量  $609.5 \text{ mm}$ , 年平均日照  $2\ 015.2 \text{ h}$ , 无霜期  $110 \sim 220 \text{ d}$ 。

试验于 2008 年 6 月至 10 月进行, 土壤为塿土, 试验前  $0 \sim 20 \text{ cm}$  耕层土壤理化性质为: 有机碳  $16.66 \text{ g}/\text{kg}$ , 全氮  $0.90 \text{ g}/\text{kg}$ , 全磷  $0.51 \text{ g}/\text{kg}$ , 全钾  $20.74 \text{ g}/\text{kg}$ ,  $\text{pH}$  7.69。试验采用裂区设计: 主处理为有机肥(堆腐后的养牛场废弃物), 设零、低、中、高 4 个水平。副处理为氮肥(尿素), 设零、低、中、高 4 个水平。试验共 48 个小区, 小区面积  $264 \text{ m}^2$ , 3 次重复。本研究分析选用其中的 6 个处理: 不施肥处理

收稿日期: 2009-06-04

基金项目: 国家自然科学基金(40771109, 40871119); 科技部农转基金(2007GB200394); 国家科技支撑计划(2007BAD89B16)

作者简介: 夏雪(1985—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要研究方向为废弃物资源化利用。E-mail: cheshg@163.com。

通讯作者: 高华(1957—), 男, 陕西咸阳人, 高级农艺师, 主要从事农业废弃物的无害化处理和资源化利用研究。

( $M_0N_0$ ), 单施低量有机肥处理 ( $M_1N_0$ ), 单施中量氮肥处理 ( $M_0N_2$ ), 有机无机肥配施处理 ( $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$ 、 $M_3N_2$ )。试验设计见表1。有机无机肥配施处理中,  $M_1N_2$  处理为低量有机肥中量氮肥配施,  $M_2N_2$  处理为中量有机肥中量氮肥配施,  $M_3N_2$  处理为高量有机肥中量氮肥配施。

表1 有机无机肥配施试验设计 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

Table 1 Experimental design of inorganic fertilizer combined with organic manure

处理 Treatment	$M_0N_0$	$M_1N_0$	$M_0N_2$	$M_1N_2$	$M_2N_2$	$M_3N_2$
有机肥 M	0	7500	0	7500	22500	37500
氮肥 N	0	0	120	120	120	120

### 1.3 测定项目与方法

土壤水解酶活性的测定参照关松荫<sup>[10]</sup>的方法。土壤蔗糖酶活性、脲酶活性和碱性磷酸酶活性依次分别用3,5-二硝基水杨酸比色法、次氯酸钠-苯酚钠比色法和氯代二溴对苯醌亚胺比色法测定。蔗糖酶活性以24 h后1 g土葡萄糖的毫克数表示,单位为  $\text{mg glucose}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$ 。脲酶活性以24 h后1 g土中  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的毫克数表示,单位为  $\text{mg NH}_3 - \text{N}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$ 。碱性磷酸酶活性以24 h后1 g土中释出的酚的毫克数表示,单位为  $\text{mg 酚}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$ 。其中,  $\text{mg glucose}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$  用 U 表示,  $\text{mg NH}_3 - \text{N}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$  用 N 表示,  $\text{mg 酚}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$  用 H 表示。

### 1.4 数据处理

测定数据利用 Microsoft Excel 2003 进行数据初步处理,采用 SAS 6.12 软件包<sup>[11]</sup>进行统计方差分析,当  $F$  检验显著时,进行均值间  $\text{LSD}_{0.05}$  显著性检验。

### 1.2 土样采集及样品处理

于播种前(施肥前)、玉米拔节期、大喇叭口期、灌浆期和成熟期采集0~20 cm 耕层土壤,剔除石砾和植物残根等杂物,混匀过2 mm 筛,放入4℃冰柜中保存,用于测定蔗糖酶活性、脲酶活性和碱性磷酸酶活性。

数据之间相关性分析用 Pearson 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机无机肥配施对土壤蔗糖酶活性的影响

蔗糖酶是一种可以酶促蔗糖分解生成葡萄糖和果糖的水解酶<sup>[12]</sup>。蔗糖酶对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用。从表2可以看出,玉米生育期内,各处理的蔗糖酶活性先升高后下降,只是  $M_0N_0$ 、 $M_1N_0$  和  $M_0N_2$  处理在灌浆期后又有所回升。除  $M_0N_0$  处理的蔗糖酶活性在大喇叭口期达到玉米生育期的最高峰外,其余处理都提前在拔节期达到最高峰,  $M_0N_0$ 、 $M_1N_0$ 、 $M_0N_2$ 、 $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$  和  $M_3N_2$  处理的峰值分别为 24.86 U、31.38 U、32.27 U、31.48 U、31.06 U 和 31.74 U,比播种前高出 17.11~24.52 U。成熟期各处理的蔗糖酶活性均高于播种前,比播种前高出 4.76~16.83 U。

表2 不同施肥处理土壤蔗糖酶活性的变化特征(U)

Table 2 Changes of soil invertase activity under different treatments

处理 Treatment	播种前 Before sowing	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Large bell stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage	各生育期平均 Mean
$M_0N_0$	7.75 a	10.15 b	24.86 c	15.16 c	21.32 b	17.87 d
$M_1N_0$	7.75 a	31.38 a	20.91 d	11.52 d	18.90 c	20.68 c
$M_0N_2$	7.75 a	32.27 a	19.67 d	15.42 c	19.63 c	21.75 bc
$M_1N_2$	7.75 a	31.48 a	26.30 bc	17.47 b	12.60 d	21.96 bc
$M_2N_2$	7.75 a	31.06 a	27.49 b	23.09 a	24.58 a	26.56 a
$M_3N_2$	7.75 a	31.74 a	31.04 a	16.96 b	12.51 d	23.06 b
$\text{LSD}_{0.05}$	0.68	2.59	2.25	1.51	1.67	1.97

注:同列中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different letters in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ ), and they are the same as the following.

玉米各生育期平均蔗糖酶活性在 17.87~26.56 U 之间(表2),  $M_1N_0$ 、 $M_0N_2$ 、 $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$  和  $M_3N_2$  处理分别比  $M_0N_0$  处理高出 15.72%、21.71%、22.89%、48.63% 和 29.04%, 差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

$M_1N_2$ 、 $M_2N_2$  和  $M_3N_2$  处理比  $M_1N_0$  处理高出 6.19%~28.43%, 比  $M_0N_2$  处理高出 0.97%~22.11%, 其中  $M_2N_2$  处理与  $M_1N_0$ 、 $M_0N_2$  处理差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。各生育期平均蔗糖酶活性强度大小是  $M_2N_2$

$> M_3N_2 > M_1N_2 > M_0N_2 > M_1N_0 > M_0N_0$ 。结果表明,单施低量有机肥、单施中量氮肥和有机无机肥配施均明显提高蔗糖酶活性。有机无机肥配施提高蔗糖酶活性强度优于单施低量有机肥和单施中量氮肥,这是由于有机肥与氮肥配合施用,有机肥中含有丰富的有机碳、微生物和酶,而且氮肥中的氮素调节了土壤中的碳氮比,为微生物的活性的提高创造了良好的条件。孙瑞莲等<sup>[13]</sup>研究表明 NPK 配施猪厩肥对蔗糖酶活性增加效果优于单施 NPK。王伯仁等<sup>[14]</sup>对红壤旱地的研究发现春季 NPK 配施有机肥增加蔗糖酶活性效果优于单施 NPK 和单施有机肥,而秋季单施化肥和单施有机肥效果更佳。这在一定程度上表明了有机肥对土壤微生物酶活性的调节作用。

## 2.2 有机无机肥配施对土壤脲酶活性的影响

脲酶是一种专性较强的酶,它能酶促酰胺态有机氮化物水解转化为植物可以直接吸收利用的无机氮化物。脲酶的活性在一定程度上可以反映土壤供氮能力<sup>[15]</sup>。从表 3 可以看出,玉米生育期内,各处理的脲酶活性呈先升高后下降趋势,可不同处理的脲酶活性峰值出现的时期不同。 $M_0N_0$ 、 $M_0N_2$ 、 $M_1N_2$  和  $M_3N_2$  处理的脲酶活性在大喇叭口期达到玉米生育期的最高峰,峰值分别为 0.75 N、0.88 N、0.98 N 和 1.01 N,比播种前高出 0.50~0.76 N,只是大喇叭口期后  $M_0N_0$  处理的脲酶活性略有下降,而  $M_0N_2$ 、

$M_1N_2$  和  $M_3N_2$  处理则明显下降。 $M_1N_0$  和  $M_2N_2$  处理的脲酶活性提前在拔节期达到玉米生育期的最高峰,峰值分别为 0.85 N 和 0.84 N,分别比播种前高出 0.60 N 和 0.59 N。成熟期各处理的脲酶活性均高于播种前,比播种前高出 0.21~0.44 N。

从玉米各生育期平均脲酶活性看(表 3), $M_1N_0$ 、 $M_0N_2$ 、 $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$  和  $M_3N_2$  处理分别比  $M_0N_0$  处理高出 9.37%、1.56%、10.94%、14.06% 和 25.00%,其中  $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$ 、 $M_3N_2$  处理与  $M_0N_0$  处理差异达显著水平( $P < 0.05$ )。 $M_3N_2$  处理的平均脲酶活性最高,为 0.80 N,比  $M_1N_0$ 、 $M_0N_2$ 、 $M_1N_2$  和  $M_2N_2$  处理高出 9.59%~23.08%,差异达显著水平( $P < 0.05$ )。各生育期平均脲酶活性强度大小是  $M_3N_2 > M_2N_2 > M_1N_2 > M_1N_0 > M_0N_2 > M_0N_0$ 。结果表明,单施低量有机肥、单施中量氮肥和有机无机肥配施均可提高脲酶活性。有机无机肥配施和单施低量有机肥提高脲酶活性强度优于单施中量氮肥。劳秀荣等<sup>[16]</sup>研究显示秸秆与化肥配施和单施秸秆增加脲酶活性效果均优于单施化肥。任祖淦等<sup>[17]</sup>研究表明有机肥与尿素配施增加脲酶活性幅度大于单施尿素。随着有机肥施用量的增加脲酶活性有增加趋势,这可能是由于有机肥能够为土壤微生物提供营养源和能源,在一定范围内有机肥施用量越大,土壤中微生物活动越强,释放到土壤中的酶越多,酶活性越强。

表 3 不同施肥处理土壤脲酶活性的变化特征(N)

Table 3 Changes of soil urease activity under different treatments

处理 Treatment	播种前 Before sowing	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Large bell stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage	各生育期平均 Mean
$M_0N_0$	0.25 a	0.50 d	0.75 c	0.69 cd	0.64 a	0.64 d
$M_1N_0$	0.25 a	0.85 a	0.70 c	0.71 bc	0.53 bc	0.70 bed
$M_0N_2$	0.25 a	0.39 e	0.88 b	0.64 d	0.69 a	0.65 cd
$M_1N_2$	0.25 a	0.77 b	0.98 a	0.57 e	0.51 cd	0.71 bc
$M_2N_2$	0.25 a	0.84 a	0.75 c	0.76 b	0.58 b	0.73 b
$M_3N_2$	0.25 a	0.70 c	1.01 a	1.01 a	0.46 d	0.80 a
LSD <sub>0.05</sub>	0.02	0.06	0.08	0.07	0.05	0.06

## 2.3 有机无机肥配施对土壤碱性磷酸酶活性的影响

碱性磷酸酶促使土壤有机磷的矿化,有助于植物对磷的吸收,碱性磷酸酶活性的高低直接影响着土壤有机磷的分解转化及其生物有效性<sup>[18]</sup>。从表 4 可以看出,玉米生育期内,各处理的碱性磷酸酶活性有一定的变化特征,即先升高后下降,并在大喇叭口期后趋于稳定。各处理的碱性磷酸酶活性在拔节期达到玉米生育期的最高峰,峰值在 2.42~2.77 H 之

间,比播种前高出 39.08%~59.20%,可能是因为拔节期玉米根系生长加快,根系及土壤生物呼吸作用增强,加上肥料的施入及土壤温度的升高,酶活性随之增强。成熟期各处理的碱性磷酸酶活性均高于播种前,比播种前高出 4.60%~20.11%。

玉米各生育期平均碱性磷酸酶活性在 2.05~2.21 H 之间(表 4), $M_1N_0$ 、 $M_0N_2$ 、 $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$  和  $M_3N_2$  处理分别比  $M_0N_0$  处理高出 1.95%、0.98%、5.85%、7.80% 和 7.31%,但差异未达显著水平( $P > 0.05$ )。

$M_1N_0$  处理比  $M_0N_2$  处理高出 0.97%, 但较  $M_1N_2$ 、 $M_2N_2$ 、 $M_3N_2$  处理下降了 3.83% ~ 5.74%。各生育期平均碱性磷酸酶活性强度大小是  $M_2N_2 > M_3N_2 > M_1N_2 > M_1N_0 > M_0N_2 > M_0N_0$ 。结果表明, 单施低量有机肥、单施中量氮肥和有机无机肥配施均可提高碱性磷酸酶活性。单施低量有机肥增加碱性磷酸酶活

性效果优于单施中量氮肥, 但不如有机无机肥配施效果好。樊军等<sup>[19]</sup> 研究显示小麦连作种植制下单施有机肥提高碱性磷酸酶活性强度低于有机肥与尿素配施。贾伟等<sup>[20]</sup> 研究表明单施高量有机肥提高碱性磷酸酶活性强度优于有机无机配施, 这可能是由于土壤类型、施肥方式和施肥用量不同的缘故。

表4 不同施肥处理土壤碱性磷酸酶活性的变化特征(H)

Table 4 Changes of soil Alkaline Phosphatase activity under different treatments

处理 Treatments	播种前 Before sowing	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Large bell stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage	各生育期平均 Mean
$M_0N_0$	1.74 a	2.55 ab	1.82 d	1.90 b	1.92 ab	2.05 a
$M_1N_0$	1.74 a	2.61 ab	2.15 b	1.63 c	1.97 ab	2.09 a
$M_0N_2$	1.74 a	2.42 b	2.01 bc	1.90 b	1.96 ab	2.07 a
$M_1N_2$	1.74 a	2.77 a	2.18 b	1.86 b	1.86 b	2.17 a
$M_2N_2$	1.74 a	2.61 ab	1.96 cd	2.18 a	2.09 a	2.21 a
$M_3N_2$	1.74 a	2.71 a	2.44 a	1.83 b	1.82 b	2.20 a
LSD <sub>0.05</sub>	0.15	0.23	0.19	0.17	0.17	0.19

#### 2.4 土壤水解酶活性之间的相关性

相关性分析(表5)显示, 土壤酶活性之间存在着一定的内在关系, 蔗糖酶与碱性磷酸酶、脲酶与碱性磷酸酶之间的相关性均达显著水平( $P < 0.05$ ), 这说明土壤中多糖、N素的转化均与P素的转化密切相关并相互影响<sup>[21]</sup>。而蔗糖酶与脲酶之间的相关性未达显著水平( $P > 0.05$ ), 这与邱丽萍等<sup>[22]</sup> 的研究一致, 与孙瑞莲等<sup>[23]</sup> 的研究结果不同。土壤酶活性之间的相关性表明, 不同土壤酶之间关系密切, 不是孤立存在的, 它们共同影响土壤肥力的发展。

表5 土壤水解酶活性之间的相关性

Table 5 Correlations among soil Hydrolase activities

	蔗糖酶 Invertase	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
蔗糖酶 Invertase	1	0.6054	0.8365*
脲酶 Urease		1	0.8615*
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase			1

注: \* 显著( $P < 0.05$ )。Note: \* significant( $P < 0.05$ )。

### 3 结论

玉米生育期内, 土壤蔗糖酶在拔节期出现活性高峰; 在成熟期, 土壤蔗糖酶活性高于播种前。施肥处理蔗糖酶活性比不施肥处理增加 15.72% ~ 48.63%, 差异达显著水平( $P < 0.05$ ); 有机无机肥配施处理蔗糖酶活性高于单施低量有机肥处理和单施中量氮肥处理; 单施低量有机肥处理蔗糖酶活性低

于单施中量氮肥处理, 但差异未达显著水平( $P > 0.05$ )。

土壤脲酶活性基本在玉米大喇叭口期达到生育期最高峰; 成熟期土壤脲酶活性高于播种前。施肥处理脲酶活性比不施肥处理增加 1.56% ~ 25.00%, 其中有机无机肥配施处理与不施肥处理差异达显著水平( $P < 0.05$ ); 单施低量有机肥处理脲酶活性高于单施中量氮肥处理; 随着有机肥施用量的增加脲酶活性有增加趋势。

玉米生育期内, 土壤碱性磷酸酶在拔节期出现活性高峰; 土壤碱性磷酸酶活性在成熟期高于播种前。施肥处理碱性磷酸酶活性比不施肥处理增加 0.98% ~ 7.80%, 但差异未达显著水平( $P > 0.05$ ); 单施低量有机肥处理碱性磷酸酶活性高于单施中量氮肥处理, 但比有机无机肥配施处理低。

土壤水解酶活性之间的相关性分析得出, 蔗糖酶与碱性磷酸酶、脲酶与碱性磷酸酶之间的相关性均达显著水平( $P < 0.05$ ), 而蔗糖酶与脲酶之间的相关性未达显著水平( $P > 0.05$ )。

#### 参考文献:

- [1] 谷洁, 高华, 李鸣雷, 等. 养殖业废弃物对环境的污染及肥料化资源利用[J]. 西北农业学报, 2004, 13(1): 132-135.
- [2] 黄冠庆, 安立龙. 运用营养调控措施降低动物养殖业环境污染[J]. 家畜生态, 2002, 23(4): 29-33.
- [3] 董克虞. 畜禽粪便对环境的污染及资源化途径[J]. 农业环境保护, 1998, 17(6): 281-283.
- [4] Garcia - Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa M B, et al. Suitability of en-

- zyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40: 2137—2145.
- [5] 张咏梅, 周国逸, 吴宁. 土壤酶学研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(1): 83—90.
- [6] 董艳, 董坤, 郑毅, 等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 527—532.
- [7] Paz Jimenez M D, Horra A M, Peuzzo L, et al. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 302—306.
- [8] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1471—1479.
- [9] Warkentin B P. The changing concept of soil quality[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50: 226—228.
- [10] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [11] SAS Release (6.12). SAS Institute Inc, Cary, USA. 1998.
- [12] 张士祥, 张文佳, 李艳丽, 等. 崇明东滩湿地土壤生物活性差异性及环境效应[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 112—118.
- [13] 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.
- [14] 王伯仁, 徐明岗, 文石林. 有机肥和化学肥料配合施用对红壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(2): 160—163.
- [15] 王灿, 王德建, 孙瑞娟, 等. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 688—692.
- [16] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618—623.
- [17] 任祖俭, 陈玉水, 唐福钦, 等. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(3): 279.
- [18] 耿玉清, 白翠霞, 赵广亮, 等. 土壤磷酸酶活性及其与有机磷组分的相关性[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 140—142.
- [19] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 9—13.
- [20] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 700—705.
- [21] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 146—150.
- [22] 邱莉萍, 刘军, 和文祥, 等. 长期培肥对土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 44—47.
- [23] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 2059—2063.

## Effect of inorganic fertilizer combined with organic manure on soil hydrolase activities during the growth of corn

XIA Xue<sup>1</sup>, GU Jie<sup>1</sup>, GAO Hua<sup>1</sup>, QIN Qing-jun<sup>1</sup>, LIU Lei<sup>2</sup>, XIE Yuan-yuan<sup>2</sup>

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

2. College of Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To explore the effects of inorganic fertilizer combined with organic manure on the changes of soil hydrolase activities and the correlations among soil hydrolase activities, the soil hydrolase activities of experimental field were mensurated and analyzed in Meixian County, Shaanxi Province. The results showed that during the growth of corn, the activities of soil invertase and alkaline phosphatase peaked at jointing stage, the soil urease activity had a peak at large bell stage. The activities of soil invertase, urease and alkaline phosphatase were higher in the low organic manure treatment ( $M_1N_0$ ), middle N fertilizer treatment ( $M_0N_2$ ) and inorganic fertilizer combined with organic manure treatment ( $M_1N_2$ ,  $M_2N_2$ ,  $M_3N_2$ ) compared to the unfertilized treatment ( $M_0N_0$ ), invertase activity in the  $M_2N_2$  treatment was the highest 26.56 U, which was 48.63% higher than that in the  $M_0N_0$  treatment, urease activity in the  $M_3N_2$  treatment was highest at 0.80 N, which was 25.00% higher compared to the  $M_0N_0$  treatment, alkaline phosphatase activity in the  $M_2N_2$  treatment was the highest at 2.21 H, which was higher than that in the  $M_0N_0$  treatment by 0.16 H. Significant correlation was found between the invertase and alkaline phosphatase activity ( $P < 0.05$ ), the urease and alkaline phosphatase activity, but the correlation between the invertase and urease activity was not significant ( $P > 0.05$ ).

**Keywords:** soil hydrolase activities; growth of corn; organic manure and inorganic fertilizer