

磺胺间甲氧嘧啶在玉米根-土界面毒性研究

李文静, 金彩霞, 张庚, 郭焱, 龙晓静, 孙玉标

(河南师范大学化学与环境科学学院 河南省环境污染控制重点实验室, 黄淮水环境与污染防治省部共建教育部重点实验室, 河南新乡 453007)

摘要:通过根际袋土培试验,研究了磺胺间甲氧嘧啶(SMM)对玉米根际与非根际土壤酶活性和土壤呼吸强度的影响。结果表明,无论是否有根系作用,过氧化氢酶对磺胺间甲氧嘧啶胁迫的反应均不敏感。但在高浓度磺胺间甲氧嘧啶($50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)作用下,试验初期对脲酶有明显的抑制作用,而在试验后期则表现出一定的促进作用,且在 SMM 胁迫下根际效应表现得更为明显。SMM 胁迫下对根际与非根际土壤呼吸均有抑制作用,随浓度的增大,抑制作用越明显。且由于玉米根际作用,一定程度上缓解了 SMM 污染对根际微生物的毒害。一般情况下,根际土壤脲酶和过氧化氢酶活性及土壤呼吸强度均要大于非根际土壤,根际效应明显。

关键词:磺胺间甲氧嘧啶;脲酶;过氧化氢酶;土壤呼吸;玉米;根际效应

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)07-1268-07

The Eco-toxicological Effect of Sulfamonomethoxine on Corn Rhizospheric and Non-rhizospheric Soil

LI Wen-jing, JIN Cai-xia, ZHANG Geng, GUO Yan, LONG Xiao-jing, SUN Yu-biao

(School of Chemistry and Environmental Sciences, Henan Normal University, Henan Key Laboratory of Environmental Pollution Control, Key Laboratory for Yellow River and Huaihe River Water Environmental and Pollution Control Ministry of Education, Xinxiang 453007, China)

Abstract: The effects of sulfamonomethoxine (SMM) on soil respiration and activities of urease and catalase in corn rhizosphere and non-rhizosphere were investigated by using a rhizobox simulating rhizosphere environment. The study showed that SMM had not significantly effect on the catalase activity during the most incubation period whether it effected by corn root or not. The activity of soil urease was inhibited at the beginning but stimulated afterwards in high dosage concentration of SMM ($50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). The urease activities of rhizosphere soil polluted by SMM were higher than the control, and had a significant rhizosphere effects. Soil respiration was inhibited by SMM both in corn rhizospheric and non-rhizospheric soil, the higher of treated concentration of SMM, the stronger inhibition of soil respiration suffered. SMM was less poisonous to soil respiration with the effect of corn rhizospheric. Meantime, the enzyme activities and soil respiration in rhizospheric soil were higher than that of non-rhizosphere all along, the rhizosphere effect was significant.

Keywords: sulfamonomethoxine; urease; catalase; soil respiration; corn; rhizosphere effect

抗生素被大量用到畜牧业生产中,而其在畜禽生产中的使用则令人担忧。目前大量抗生素常以高剂量使用治疗各种疾病,以低剂量使用促进畜禽生长和增产。据调查,在美国每年 70% 抗生素用作畜禽生长促进剂^[1],而在丹麦 1997 年也有一半以上的抗生素用作畜禽的生长促进剂^[2]。然而抗生素通过口服或肌肉注

射进入动物体内并不能被完全吸收,大部分随尿粪等排出体外。研究表明,以母体或代谢物的形式随尿或粪便排出体外的量约占抗生素用药量的 40%~90%^[3-6]。这些药物随动物粪便作为肥料施用于农田,对农田生态系统造成污染,影响土壤微生物和农田良性循环,并在环境中产生大量耐药致病菌,最终将影响人类的健康^[7-8]。近年来,抗生素对生态环境的影响日益引起人们的关注。

磺胺类药物是一类传统的人工合成抗菌药,是以磺酰胺(磺胺)为代表的各种衍生物的总称,具有对氨基苯磺酰胺结构。由于抗菌谱广,价格低廉,这类药物是兽药临床和畜牧业养殖最常用的药物添加剂之一。有研究表明,磺胺类药物在土壤中的吸附性比较

收稿日期:2010-02-06

基金项目:河南省基础与前沿技术研究计划项目(092300410090);河南师范大学大学生创新性实验计划项目(2008168);河南省环境污染控制重点实验室、黄淮水环境与污染防治省部共建教育部重点实验室资助

作者简介:李文静(1989-),女,河南周口人,在读本科,主要从事土壤污染生态学方面的研究。E-mail:li198811281128@yahoo.cn

通讯作者:金彩霞 E-mail:heartjin0509@yahoo.com.cn

弱^[9-12],即具有较强的移动性,容易迁移至地表和地下水对水体产生污染。此外,磺胺类药物在土壤中不易降解^[13],所以能够在土壤中长期累积,从而对土壤生态系统健康造成威胁。

土壤酶主要来源于土壤微生物的生命活动,且易受环境中物理、化学和生物等条件的影响。环境污染条件下土壤酶活性变化很大,因此土壤酶一定程度上可以反映出土壤的环境状况。土壤微生物的呼吸强度可以反映土壤微生物的总活性,是评价化学物质对生态环境安全性的重要指标^[14-15]。植物根际是根与土壤环境相互耦合的生态与环境界面,是微生物代谢活动特别旺盛的场所,能加快土壤中有机化合物的分解及其他矿质元素的活化^[16],由于经常不断地接受根系脱落物和分泌物,其理化性质和生物学特性与非根际土壤有很大的差异。因此,有关污染物在根-土界面的形态及毒性变化的研究一直是环境科学研究的热点,但目前相关的研究主要集中于重金属及有机污染物方面^[17-20],而有关兽药在根-土界面和非根-土界面毒性效应的研究开展的较少,因此急需开展相关方面的研究。本文研究了磺胺间甲氧嘧啶作用下,玉米根-土界面与非根-土界面土壤脲酶和过氧化氢酶活性及土壤呼吸强度变化,掌握在土壤中磺胺间甲氧嘧啶作用下,作物是否产生明显的根际效应及根际效应对土壤特定生化指标的影响,从而掌握磺胺类药物在根-土界面微域环境中的生态环境行为,以期为制定降低磺胺类兽药对环境危害措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

磺胺间甲氧嘧啶 (Sulfamonomethoxine, SMM):分子式为 $C_{11}H_{12}N_4O_3S$, 化学名为 N-(6-甲氧基-4-嘧啶基)-4-氨基苯磺酰胺。规格为 1 mL:100 mg (江西新世纪民星动物保健品有限公司)。

供试土壤采自河南师范大学生物园,属于未受任何化学品污染的洁净土壤,取自 0~20 cm 耕作层,其理化性质见表 1。试验时将土风干,过 2 mm 筛。玉米,

品种为天塔 5 号,F1 代,发芽率98%,购自新乡市种子子公司。

1.2 试验设计

盆栽试验,通过根际袋区分根际土壤与非根际土壤(试验装置见图 1)。取新鲜土壤自然风干,过 2 mm 筛。磺胺间甲氧嘧啶溶解于水后,均匀加入到上述土样中,充分搅拌、混匀,待用。磺胺间甲氧嘧啶浓度设为 0、5、20、50 $mg \cdot kg^{-1}$ 4 个处理,3 次重复。分别称取上述土样 1 kg 于花盆中,其中 250 g 装在 300 目的尼龙网袋中,作为根际土壤。种子播于根际袋中,待发芽后每盆定植 5 株幼苗(图 1)。培养期间保持土壤含水量在田间最大持水量的 60%。分别于种子发芽的第 5、10、15、20、25、30 d,取玉米根-土界面与非根-土界面不同处理的土样,测定土壤脲酶和过氧化氢酶活性及土壤呼吸的强度。

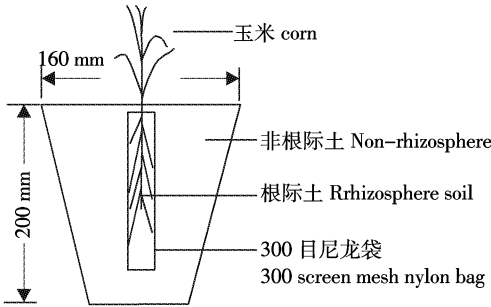


图 1 根际袋
Figure 1 Rhizobag

1.3 土壤呼吸强度的测定

采用直接吸收法(密闭法)滴定测定土壤呼吸强度。试验处理:称取相当于干重为 50 g 土样于 100 mL 高型烧杯中,加入少量水湿润土壤,使土壤含水量达田间最大持水量的 50%。将小烧杯放入容积为 1 000 mL 的可密闭标本瓶中,同时放入盛有 20 mL 0.2 mol·L⁻¹ 标准 NaOH 的小烧杯,封闭瓶口后置于(25±1)℃的生化培养箱中黑暗培养 1 d,取出小烧杯测定土壤呼吸作用,重复 3 次,同时做空白对照。土壤 CO₂ 的释放量呼吸强度以 100 g 干土 24 h CO₂ 释放量^[21-22]表示,单

表 1 供试土壤理化性质
Table 1 The physical-chemical properties of test soil

干容重 Dry density/ $g \cdot cm^{-3}$	pH (H ₂ O)	有机质 (Organic matter)	CEC ¹⁾ / $cmol \cdot kg^{-1}$	T-P ²⁾ / $mg \cdot kg^{-1}$	T-K ³⁾ / $mg \cdot kg^{-1}$	K-N ⁴⁾ / $mg \cdot kg^{-1}$
1.41	8.31	2.01%	12.26	0.04	0.18	0.09

注: ¹⁾阳离子交换量; ²⁾总磷; ³⁾总钾; ⁴⁾凯氏氮。

位为 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ 。

1.4 土壤酶活性的测定

参照关松荫的方法^[23], 靛酚蓝比色法测定脲酶活性, 单位以 $100 \text{ g} \pm 1 \text{ h}$ 催化尿素降解产生 NH_4^+-N 的 mg 数表示 (37°C); 高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性, 单位以 $1 \text{ g} \pm 1 \text{ h}$ 消耗的 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$ 的 mL 数来表示 (室温, 20°C)。

1.5 数据分析与统计

本文中数据的平均值、所作的方差分析、 t 检验均采用 SPSS 统计软件分析获得。

2 结果与分析

2.1 磺胺间甲氧嘧啶对玉米根际与非根际土壤脲酶活性的影响

脲酶是一种重要的土壤酶, 与土壤生物地球化学循环中的氮循环密切相关。土壤脲酶能促进土壤尿素分子中酰胺碳氮键的水解, 生成的氨是植物氮素营养来源之一, 在氮肥利用和土壤氮素代谢方面有重要的意义^[24-25]。不同处理土壤中脲酶活性的动态变化见图 2 和图 3。研究表明, 在整个试验周期内, 玉米根际与非根际脲酶活性变化较大, 其抑制率在 $-36.2\% \sim -45.1\%$ 之间, 且均在试验第 25 d 脲酶活性达到最大。在试验第 5 d, 低浓度 SMM ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 作用下玉米根际与非根际脲酶活性与对照相比, 表现出激活效应, 这与大多数的研究结果相一致。当土壤中 SMM 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, SMM 对玉米根际与非根际脲酶活性有明显的抑制作用, 且随着土壤中 SMM 浓度的增加, 对脲酶活性的抑制作用增强, 即 $w_{(\text{SMM})}=20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 玉米根际与非根际脲酶活性的抑制率分别为 13.0% 、 24.9% , $w_{(\text{SMM})}=50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的抑制率分别为 42.2% 、 42.9% 。在试验的

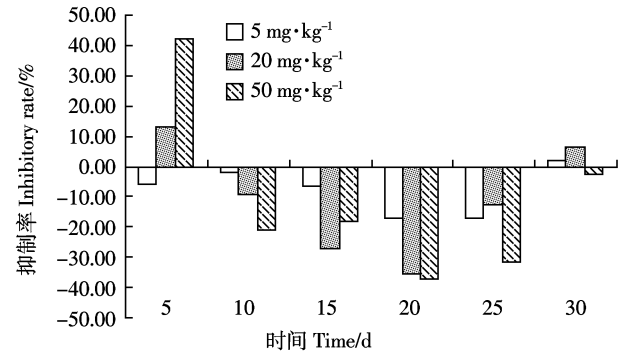


图 2 磺胺间甲氧嘧啶对玉米根际脲酶活性的影响

Figure 2 Influence of SMM on the activities of urease in corn rhizosphere soil

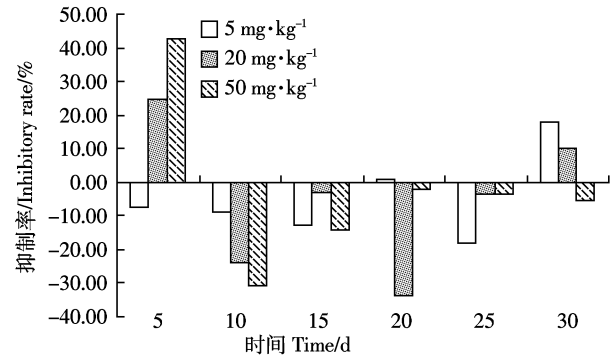


图 3 磺胺间甲氧嘧啶对玉米非根际脲酶活性的影响

Figure 3 Influence of SMM on the activities of urease in corn non-rhizosphere soil

第 10~25 d, 当 SMM 的浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 玉米根际与非根际脲酶的活性与对照相比均处于激活状态; 而当 SMM 的浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 脲酶活性的激活效应则能持续到整个试验周期。本试验的研究结果与国外相关报道一致^[26]。

不同试验时期玉米根际与非根际脲酶活性的动态变化见表 2、图 2 和图 3。研究表明, 在 SMM 浓度为

表 2 磺胺间甲氧嘧啶胁迫下的玉米土壤根际与非根际脲酶活性变化 ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

Table 2 Effects of sulfamonomethoxine on the activities of urease in corn rhizosphere and non-rhizosphere soil ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

处理		5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
对照土壤	根际	135.82±2.93a	118.95±1.55c	157.64±2.58b	120.77±4.42b	179.94±0.90d	157.69±0.40a
	非根际	131.84±1.59ab	97.41±2.21b	147.36±0.64b	120.11±1.95b	176.73±0.44c	144.65±2.58b
$5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根际	143.53±3.66a	121.37±4.29c	168.45±2.73b	141.49±2.30b	210.92±2.93b	154.95±1.57a
	非根际	141.54±0.18a	106.26±3.27b	165.85±1.00a	118.78±1.14b	208.57±1.92a	118.68±2.27c
$20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根际	118.22±2.41b	130.22±0.78b	184.59±2.64a	163.54±4.17a	203.01±0.30c	147.21±0.73a
	非根际	98.94±2.08bc	120.51±4.75a	152.04±0.40ab	160.45±1.03a	182.71±2.17b	129.93±3.46d
$50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根际	78.48±3.87c	143.69±0.52a	186.29±0.83a	165.96±1.41a	236.77±1.42a	161.5±0.93a
	非根际	75.33±0.71c	127.17±4.33a	168.58±2.94a	122.53±2.75b	183.14±0.91b	152.23±0.41a

注: 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Different letters meant significant differences at 0.05 level among treatments.

$5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的作用下,玉米根际与非根际脲酶活性与对照呈现相同的变化趋势,且差异并不显著 ($P > 0.05$)。对于玉米根际土壤,SMM 污染胁迫下的脲酶活性表现出更为明显的根际效应,根际内脲酶活性较没有污染和非根际脲酶活性都大大增加,尤其在试验 10~25 d, $w_{\text{(SMM)}} = 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,分别为同时期对照根际土壤的 1.2~1.4 倍。高浓度 SMM ($50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 胁迫下,在试验前 15 d,根际土壤中脲酶活性提高了 137.4%,而同等处理水平下的非根际土壤中其活性提高了 123.8%;在对照根际和非根际土中则仅上升了 16.3% 和 11.8%。以上结果表明,根际土壤中脲酶活性的激活效应强于非根际土壤,根际效应明显。

2.2 磺胺间甲氧嘧啶对玉米根际与非根际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,能有效地防止土壤及生物体在新陈代谢过程中产生的过氧化氢对生物体的毒害,其活性与土壤的呼吸强度和微生物的活性有关。因而,一直是人们衡量外来物质对土壤微生物活性影响的一个重要研究指标^[27-29]。由图 4 和图 5 可见,在试验的第 5 d,玉米根际与非根际内过氧化氢酶水平变化不明显,表现出微弱的激活效应。由表 3 可见,在试验的第 10~30 d,在浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 SMM 作用下,玉米根际与非根际过氧化氢酶的活性与对照相比变化较小,差异不显著,SMM 对土壤过氧化氢酶活性无显著影响。

SMM 胁迫下,玉米根际与非根际土壤中过氧化氢酶活性分别在第 10、15 d 时达到最大,随后均逐渐减小。在试验的第 25~30 d,根际与非根际内过氧化氢酶活性差异已达到显著水平 ($P < 0.05$),且从数据的对比可知,根际土壤过氧化氢酶活性要比同期的非根际土壤过氧化氢酶活性高,根际效应明显。

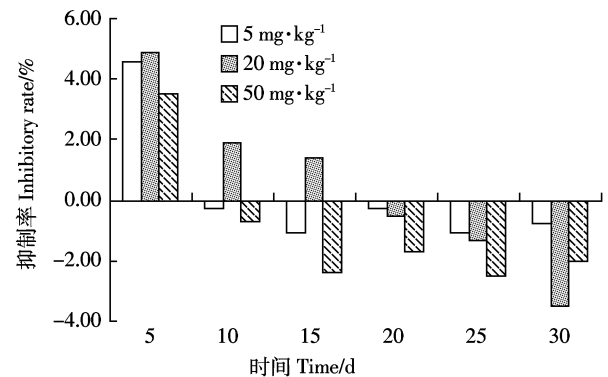


图 4 磺胺间甲氧嘧啶对玉米根际过氧化氢酶活性的影响

Figure 4 Influence of SMM on the activities of CAT in corn rhizosphere soil

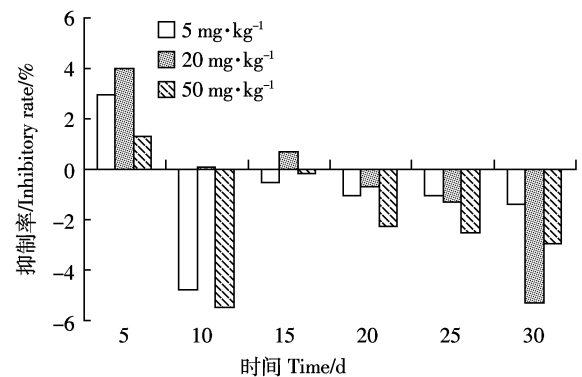


图 5 磺胺间甲氧嘧啶对玉米非根际过氧化氢酶活性的影响

Figure 5 Influence of SMM on the activities of CAT in corn non-rhizosphere soil

2.3 磺胺间甲氧嘧啶对玉米根际与非根际土壤呼吸作用的影响

SMM 污染下玉米根际与非根际土壤呼吸强度的动态变化见图 6 和图 7。研究表明,在玉米非根际,5 d 后,土壤呼吸强度差异不大。15 d 后,中浓度 ($20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和高浓度 ($50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) SMM 作用下,土壤呼吸强

表 3 磺胺间甲氧嘧啶胁迫下的玉米根际与非根际过氧化氢酶活性 ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

Table 3 Effects of sulfamonomethoxine on the activities of CAT in corn rhizosphere and non-rhizosphere soil ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

处理		5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
对照土壤	根际	$0.77 \pm 0.01a$	$0.98 \pm 0.01a$	$0.9 \pm 0.01ab$	$0.84 \pm 0.01a$	$0.82 \pm 0.01b$	$0.89 \pm 0.01b$
	非根际	$0.74 \pm 0.01a$	$0.83 \pm 0.01b$	$0.88 \pm 0.01a$	$0.82 \pm 0.02a$	$0.80 \pm 0.01a$	$0.85 \pm 0.02b$
$5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根际	$0.74 \pm 0.02b$	$0.98 \pm 0.01a$	$0.91 \pm 0.02a$	$0.84 \pm 0.01a$	$0.83 \pm 0.02ab$	$0.89 \pm 0.01b$
	非根际	$0.72 \pm 0.01ab$	$0.87 \pm 0.02a$	$0.89 \pm 0.01a$	$0.83 \pm 0.01a$	$0.81 \pm 0.01a$	$0.86 \pm 0.01b$
$20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根际	$0.74 \pm 0.01b$	$0.96 \pm 0.01a$	$0.88 \pm 0.01b$	$0.85 \pm 0.01a$	$0.84 \pm 0.01ab$	$0.92 \pm 0.02a$
	非根际	$0.71 \pm 0.02b$	$0.83 \pm 0.01b$	$0.87 \pm 0.02a$	$0.82 \pm 0.01a$	$0.81 \pm 0.01a$	$0.89 \pm 0.01a$
$50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根际	$0.75 \pm 0.01ab$	$0.98 \pm 0.02a$	$0.92 \pm 0.01a$	$0.86 \pm 0.02a$	$0.85 \pm 0.01a$	$0.90 \pm 0.01ab$
	非根际	$0.73 \pm 0.01ab$	$0.87 \pm 0.01a$	$0.88 \pm 0.01a$	$0.84 \pm 0.01a$	$0.82 \pm 0.02a$	$0.87 \pm 0.01ab$

注:不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Different letters meant significant differences at 0.05 level among treatments.

度表现出明显的抑制作用,且抑制率与浓度正相关,抑制率分别为62.3%、84.7%。20 d后抑制效应依然很显著,抑制率分别为45%、47.5%。中浓度($20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理下,土壤呼吸强度恢复较快,25 d基本恢复到对照水平,但高浓度处理($50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)下,土壤呼吸强度恢复较慢,30 d时其活性水平仍低于对照。

由图6和图7可见,不同浓度SMM作用下,玉米根际与非根际土壤呼吸强度随时间的变化为先降低后逐渐恢复。其中在玉米非根际,在浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的SMM作用下,10 d时抑制率为71.6%,15 d时抑制率为11.8%,25 d后基本恢复到对照水平。在试验第15~20 d,低浓度SMM($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)作用下,玉米根际土壤呼吸强度高于对照,土壤呼吸强度分别为对照根际土壤呼吸强度的1.1、1.3倍,而在非根际则无此现象。但在中浓度($20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和高浓度($50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)作用下,根际土壤呼吸强度明显要低于对照组的根际土壤呼吸强度,分别为同期对照组根际土壤呼吸强度的47.5%和85.3%,19.1%和73.5%。

通过本试验可以看出,无论是否存在根际效应,

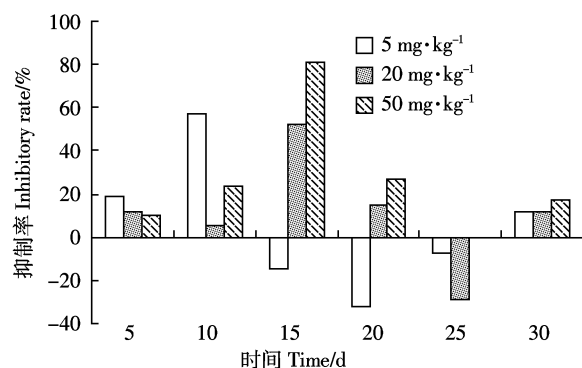


图6 磺胺间甲氧嘧啶对玉米根际土壤呼吸强度的影响

Figure 6 Influence of SMM on the activities of respiration in corn non-rhizosphere soil

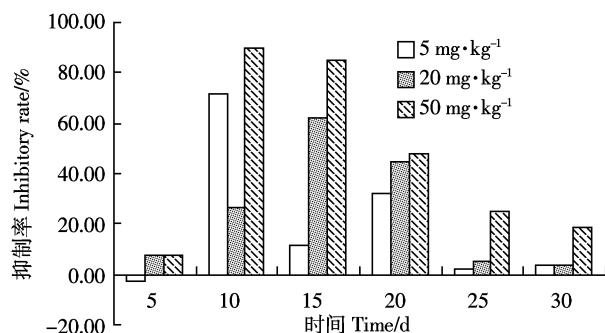


图7 磺胺间甲氧嘧啶对玉米非根际土壤呼吸强度的影响

Figure 7 Influence of SMM on the activities of respiration in corn rhizosphere soil

当 $w_{\text{(SMM)}} > 20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, SMM对土壤呼吸强度有明显抑制作用。当土壤中SMM浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,根际土壤呼吸强度不像非根际土壤呼吸强度有较大幅度的下降,其中在第10 d时,根际内土壤呼吸强度的抑制率为5%、23.4%,非根际内则分别为26.1%、89.5%。

3 讨论

3.1 磺胺间甲氧嘧啶对脲酶、过氧化氢酶及土壤呼吸强度的影响

SMM对脲酶活性多表现为激活效应,且在高浓度作用下,激活效应时间较长。脲酶被激活的机理,一方面可能是由于添加的SMM能够改变土壤微生物的活性,从而影响到土壤微生物的代谢,其代谢产物能够促进酶的活性;另一方面可能是污染物直接作用于酶分子本身,改变了酶的构象,使酶的活性中心受到激活所致^[20]。在低浓度SMM($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)作用下,与对照脲酶活性呈现出相同的变化趋势,且二者之间差异并不显著($P > 0.05$),其原因可能是与低浓度SMM的降解速率有关。研究表明,土壤中SMM浓度越低,其降解速率越快,半衰期越短^[30],可能由于SMM是抗菌药物,对微生物活性有抑制作用,在一定量的土壤中其微生物数量基本恒定,在药物浓度较低时,土壤微生物比较活跃,药物会被快速降解,而随药物浓度增加,同样数量的微生物对药物的降解能力会被削弱,SMM的毒性效应则能够持续更长的时间。

另外,本研究表明SMM对土壤过氧化氢酶的作用都不显著,抑制率一般在-6%~4%,说明在试验浓度范围内,过氧化氢酶对SMM不是很敏感。通过比较SMM对脲酶和过氧化氢酶活性产生的影响可以看出:脲酶对SMM表现出较好的适应性,在较短的时间内,即可从很强的抑制作用转变为激活作用,而过氧化氢酶对SMM不敏感,受到影响较小。两种酶抑制率或激活率均呈现一定的波动性,主要是因为SMM本身可以作为一种碳源或氮源被微生物利用分解,所以经过一段适应期后酶通常会被激活,但由于新的抑制产物的生成又会使酶再次受到抑制。

SMM对土壤呼吸强度有抑制作用,且随着浓度的增大,抑制作用越明显。高浓度处理下,土壤呼吸强度恢复较慢,这可能与SMM在不同浓度下降解速率不同有关。土壤呼吸强度随时间的延长逐渐恢复,可能是因为,在试验前期由于SMM的胁迫及其有害代谢产物的不断积累,使得土壤微生物呼吸强度降低,

而随着 SMM 的不断降解、吸附、土壤微生物耐受性的增加,呼吸强度逐渐恢复。

3.2 磺胺间甲氧嘧啶胁迫下的根际效应

根际环境有别与非根际,根际内脲酶和过氧化氢酶活性及土壤呼吸强度均强于非根际。一方面可能是因为根系本身分泌酶类和各种营养物质,且土壤酶活性与微生物是分不开的,根系直接影响的土壤范围是微生物特殊的生境,根系内微生物的数量比根系外要高,环境受到刺激时,也使微生物分泌酶量增加。而这些游离酶又会很快被固定在土壤有机无机颗粒上,并稳定地表现出酶活性。无论是否有根系作用,过氧化氢酶对磺胺间甲氧嘧啶胁迫的反应均不敏感,但在 SMM 污染胁迫下,脲酶活性表现出更为明显的根际效应。可能是因为 SMM 进入根际环境中能促进某些植物根际微生物的活性,从而分泌脲酶的能力得到提高。SMM 胁迫下的根际土壤呼吸强度明显要低于对照组的根际土壤呼吸强度,但根际内土壤呼吸强度受抑制程度弱于非根际土壤,说明在玉米根际,由于根际作用,降低了 SMM 的毒性,在一定程度上缓解了 SMM 污染对根际微生物的毒害。

4 结论

(1)一般情况下,玉米根际内脲酶和过氧化氢酶活性及土壤呼吸强度均大于非根际,说明玉米根系对其起刺激作用。

(2)高浓度 SMM 在试验初期对脲酶有强的抑制作用,试验后期一直处于激活状态,且在 SMM 胁迫下的脲酶活性表现更为明显的根际效应。

(3)当 $w_{\text{(SMM)}} < 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,无论是否有根系的存在,过氧化氢酶对 SMM 胁迫的反应不敏感。

(4)SMM 胁迫下对根际与非根际内土壤呼吸强度有抑制作用,且浓度越大,抑制作用越明显。

参考文献:

- [1] Sarmah A K, Meyer M T, Boxall A B. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment[J]. *Chemosphere*, 2006, 65: 725–759.
- [2] Jensen L B, Baloda S, Boye M, et al. Antimicrobial resistance among *Pseudomonas* spp. and the *Bacillus cereus* group isolated from Danish agricultural soil[J]. *Environment International*, 2001, 26: 581–587.
- [3] Halling-Sørensen B, Nors Nielsen S, Lanzky P F, et al. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment – A review[J]. *Chemosphere*, 1998, 36: 357–393.
- [4] Jjemba P K. The potential impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: A review[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 93: 267–278.
- [5] Phillips I, Casewell M, Cox T, et al. Does the use of antibiotics in food animals pose a risk to human health? A critical review of published data[J]. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2004, 53: 28–52.
- [6] Kumar K, Gupta S C, Baidoo S K, et al. Antibiotic uptake by plants from soil fertilized with animal manure[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34(6): 2082–2085.
- [7] Koplin D W. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U. S. streams, 1999–2000. A National Reconnaissance[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(6): 1202–1211.
- [8] Davidson J. Genetic exchange between bacteria in the environment[J]. *Plasmid*, 1999, 42: 73–91.
- [9] Boxall A B A, Blackwell P, Cavallo R, et al. The sorption and transport of a sulphonamide antibiotic in soil systems[J]. *Toxicology Letters*, 2002, 131: 19–28.
- [10] Boxall A B A, Johnson P, Smith E J, et al. Uptake of veterinary medicines from soils into plants[J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2006, 54(6): 2288–2297.
- [11] Thiele S. Adsorption of the antibiotic pharmaceutical compound sulfa pyridine by a long-term differently fertilized loess chernozem[J]. *Journal of Plant Science*, 2000, 16(3): 589–594.
- [12] Thiele S, Seibicke T, Schulten H R, et al. Sorption of sulfonamide pharmaceutical antibiotics on whole soils and particle-size fractions[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(4): 91–108.
- [13] Ingerslev F, Halling-Sørensen B. Biodegradability properties of environmental chemistry–biodegradability properties of sulfonamides in activated sludge[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2000, 19: 2467–2473.
- [14] Wardle D A, Parkinson D. Effect of three herbicides on soil microbial biomass and activity[J]. *Plant and Soil*, 1990, 122: 21–28.
- [15] 王静, 乔雄梧, 朱鲁生, 等. 四种农药对土壤微生物的影响 I: 土壤呼吸的变化[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(suppl): 155–157. WANG Jing, QIAO Xiong-wu, ZHU Lu-sheng, et al. Effects of 4 pesticides on soil microorganisms I: Soil respiration[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1999, 5(suppl): 155–157.
- [16] Chaineau C H, Model J L, Oudot J, et al. Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29: 569–578.
- [17] 魏树和, 周启星, 张凯松, 等. 根际圈在污染土壤修复中的作用与机理分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 143–147. WEI Shu-he, ZHOU Qi-xing, ZHANG Kai-song, et al. Roles of rhizosphere in remediation of contaminated soils and its mechanisms[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 143–147.
- [18] 谢晓梅, 翁棣. 有机酸对镉在土壤矿物上吸附特征的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(2): 210–214. XIE Xiao-mei, WENG Li. Effects of organic acids on adsorption characteristics of cadmium on soil minerals[J]. *Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences)*, 2003, 29(2): 210–214.
- [19] Gleba D, Borisjuk V B, Borisjuk L G, et al. Use of plant roots for phytoremediation and molecular farming[J]. *Proceedings of the National A-*

- cademy of Sciences, 1999, 96(11):5973-5977.
- [20] Schnoor J L, Licht L A, Mcutcheon S C, et al. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants[J]. *Environmental Science and Technology*, 1995, 29(7):318-323.
- [21] Jhonen B G, Drew E A. Ecological effect of pesticides of soil microorganisms[J]. *Soil Science*, 1977, 123(5):355-324.
- [22] William J J, Nadezhda D A. Correlations between pesticide transformation rate and microbial respiration activity in soil of different ecosystems[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 33(6):477-483.
- [23] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1987:294-297.
GUAN Song-yin. Soil urease and its study method[M]. Beijing: Agricultural Press, 1987:294-297.
- [24] Megharaj M, Singleton I, Kookana R, et al. Persistence and effects of fenamiphos on native algal populations and enzymatic activities in soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31:1549-1553.
- [25] Marcote I, Hernandez T, Garcia C, et al. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation[J]. *Bioresource Technology*, 2001, 79:147-154.
- [26] Haifeng Qian, Baolan Hu, Zhiye Wang, et al. Effects of validamycin on some enzymatic activities in soil[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 125:1-8.
- [27] 龙 健, 黄昌勇, 滕 应, 等. 我国南方红壤矿区复垦土壤的微生物生态特征研究 I. 对土壤微生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11):1925-1928.
LONG Jian, HUANG Chang-yong, TENG Ying, et al. Microbial eco-characteristics of reclaimed mining wasteland in red soil area of southern China I. Effects on soil microbial activity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11):1925-1928.
- [28] 王友保, 刘登义, 张 莉, 等. 铜官山铜尾矿库植被及土壤酶活性研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5):757-760.
WANG You-bao, LIU Deng-yi, ZHANG Li, et al. Vegetation state and soil enzyme activities of copper tailing yard on Tongguan Mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5):757-760.
- [29] 郑 巍, 刘惠君, 刘维屏, 等. 吡虫啉及代谢产物对土壤过氧化氢酶活性的影响[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6):524-527.
ZHENG Wei, LIU Hui-jun, LIU Wei-ping, et al. Influence of pesticide imidacloprid and its metabolites on catalase activity in soil [J]. *China Environment Science*, 2000, 20(6):524-527.
- [30] 张从良, 王 岩, 王福安. 磺胺类药物在土壤中的微生物降解[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5):1658-1662.
ZHANG Cong-liang, WANG Yan, WANG Fu-an. Microbial degradation of sulfonamides in soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(5):1658-1662.