

金彩霞, 陈秋颖, 刘军军, 等. 2009 两种常用兽药对作物发芽的生态毒性效应[J]. 环境科学学报, 29(3): 619-625

Jin C X, Chen Q Y, Liu J J *et al.* 2009 The Eco-toxicological effect of two common veterinary drugs on crop germination[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 29(3): 619-625

# 两种常用兽药对作物发芽的生态毒性效应

金彩霞<sup>1,2\*</sup>, 陈秋颖<sup>1</sup>, 刘军军<sup>1</sup>, 周庆祥<sup>1</sup>

1 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, 新乡 453007

2 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016

收稿日期: 2008-04-09 修回日期: 2008-08-10 录用日期: 2009-02-03

**摘要:** 采用室内生长箱培养的试验方法, 研究了 2 种常用兽药磺胺嘧啶钠、环丙沙星对小麦、白菜和番茄种子发芽、根伸长、芽伸长的影响, 分析了兽药和作物生长之间的剂量-效应关系, 比较分析了小麦、白菜和番茄对 2 种兽药胁迫的敏感性. 结果表明, 根长抑制率和芽长抑制率与兽药浓度显著相关 ( $p < 0.05$ ); 种子发芽抑制率与 2 种兽药浓度不相关 ( $p > 0.05$ ). 2 种兽药对根伸长和芽伸长的抑制明显强于对种子发芽的抑制. 3 种作物对磺胺嘧啶钠胁迫的敏感性依次为小麦 > 白菜 > 番茄; 对环丙沙星胁迫的敏感性依次为白菜 > 番茄 > 小麦; 磺胺嘧啶钠对 3 种作物的毒性效应明显强于环丙沙星.

**关键词:** 土壤污染; 兽药抗生素; 生态毒性; 抑制效应; 根伸长

文章编号: 0253-2468(2009)03-619-07 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

## The Eco-toxicological effect of two common veterinary drugs on crop germination

JIN Cai xia<sup>1,2\*</sup>, CHEN Q iuying<sup>1</sup>, LIU Jun jun<sup>1</sup>, ZHOU Q ingxiang<sup>1</sup>

1 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

2 Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016

Received 9 April 2008 received in revised form 10 August 2008 accepted 3 February 2009

**Abstract** Differential tolerances of wheat, Chinese cabbage and tomatoes exposed to two veterinary antibiotics (sulfadiazine sodium, ciprofloxacin) were assessed. The dose-response relationships between the two drugs and their inhibition of seed germination, root elongation and shoot elongation of wheat, Chinese cabbage and tomatoes were investigated. A significant positive correlation was found between the concentration of veterinary drugs and the rates of inhibition of crop root elongation and shoot elongation ( $p < 0.05$ ), and no correlation was found between the concentration of veterinary drugs and seed germination ( $p > 0.05$ ). The inhibition rates of these veterinary drugs on root elongation and shoot elongation of crops were significantly stronger than that on seed germination. Among the three crops, wheat was the most sensitive to sulfadiazine sodium followed by Chinese cabbage, then tomatoes. But the sensitivity of the three crops to ciprofloxacin was in the sequence: Chinese cabbage > tomatoes > wheat. The toxic effect of sulfadiazine sodium on crops is much higher than that of ciprofloxacin.

**Keywords** soil contamination; veterinary antibiotics; Eco-toxicology; inhibition effect; root elongation

### 1 引言 (Introduction)

随着我国大中城市和乡镇集约化畜禽养殖业的迅速发展, 含有各种兽药抗生素的畜禽粪便的年产出量在不断增加. 据估算, 到 2010 年, 全国畜禽粪

便的排放量将达  $4.5 \times 10^9$  t (陈志宇等, 2004). 如此大量的畜禽粪便排放是构成我国抗生素面源污染的主要原因之一. 然而, 研究表明, 抗生素类药物只有 15% 可被吸收利用, 大约 85% 未被代谢而被直接排放到环境中, 导致生态环境中被检测出的兽药种

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 20337010); 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

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 20337010) and Henan Key Laboratory of Environmental Pollution Control

作者简介: 金彩霞 (1976-), 女, 副教授 (博士), E-mail: heartjin0509@yahoo.com.cn \* 通讯作者 (责任作者)

Biography: JIN Cai xia (1976-), female, associate professor (Ph.D.), E-mail: heartjin0509@yahoo.com.cn \* Corresponding author

类和浓度逐年增加.以丹麦为例,1996年,在自然环境样本中检测到 25种药物,1999年,这个数字上升到 68种.由于新药的不断推出,这个数目仍然有增加的趋势 (Ingerslev *et al.*, 1999). 残留于环境中的兽药大部分仍是具有生物活性的,会给土壤环境、表层水体等带来不良影响,并通过食物链对生态环境产生毒害作用,影响动植物和微生物的生命活动以及生态系统平衡 (Montforts, 1999; Samuelsen, 1989). 因此,目前有关兽药抗生素污染的研究已经成为环境学界研究的一个新热点.

高等植物是生态系统的基本组成部分,平衡、稳定的生态系统就会生产健康、优良的高等植物.因此,利用高等植物的生长状况监测土壤污染,是从生态学角度诊断土壤质量的重要方法之一 (宋玉芳等, 2001a; 宋玉芳等, 2001b; 刘婉等, 2001; Ince, *et al.*, 1999; Knokek *et al.*, 1999). 目前已建立的高等植物毒理试验方法主要有根伸长试验、种子发芽试验和植物幼苗早期生长试验 (ISO, 1993a; ISO, 1993b; Greene *et al.*, 1998). 有关用这些方法进行土壤污染现场修复以及土壤生物修复过程的污染诊断研究已有较多报道 (Mishra *et al.*, 1999; Gong *et al.*, 2001). 而针对土壤中兽药抗生素残留对植物的生态毒性效应的研究目前见于报道的还较少,因此,有必要加强相关方面的研究.

磺胺嘧啶类和喹诺酮类药物是兽药中最常用的 2种药物.磺胺类药物 (Sulfonamides, SAs)是具有对氨基苯磺酰胺结构的一类药物的总称,由于其抗菌谱广、价格低廉,因此这类药物是兽医临床和畜牧养殖业中最常用的药物添加剂之一.喹诺酮类药物 (Quinolones, QNs)是继磺胺药之后迅速发展起来的一类十分重要的人工合成抗菌药物; QNs抗菌谱广,组织穿透力强,高效低毒,抗菌作用力是磺胺药的近千倍,并且价格低廉,在医学和兽医学中应用广泛.据统计,2000年磺胺类药及增效剂原料药国内产量为  $1.1656 \times 10^4$  t, 2001年国内产量为  $1.2472 \times 10^4$  t; 喹诺酮药物的使用量也已经位于抗感染药物前列,在 2002年已经超过大环内酯类.本研究中

以磺胺嘧啶钠 (SAs类)和环丙沙星 (QNs类) 2种常用兽药作为供试药物,研究这 2种兽药对小麦、白菜和番茄种子发芽与根伸长影响的研究.通过考察作物种子发芽和根伸长受抑制程度,确定磺胺嘧啶钠和环丙沙星对农作物的生态毒性,比较二者毒性的相对大小;同时评价出 3种作物中对兽药相对敏感的作物,旨在为不同类作物选择不同的厩肥量提供理论支持,亦为评价兽药抗生素污染的潜在生态影响提供科学依据.

## 2 材料与方法 (Material and methods)

### 2.1 供试材料和仪器

1) 磺胺嘧啶钠 (Sulfadiazine Sodium): 分子式为  $C_{10}H_9N_4NaO_2S$ , 化学名为 N-2嘧啶基-4氨基苯磺酰胺钠盐 (图 1a). 本品主要成分是磺胺嘧啶,规格为 1mL: 100mg (洛阳奔鹿药业有限公司). 环丙沙星 (Ciprofloxacin): 分子式为  $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ , 化学名为 1-环丙基-6-氟-1,4-二氢-4-氧代-7-(1-哌嗪基)-3-喹啉羧酸 (图 1b), 规格为 1mL: 20mg (中国桐城科尔药业有限公司). 2种药物均为针剂.

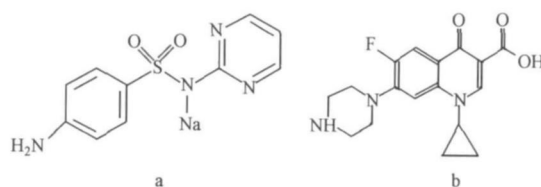


图 1 磺胺嘧啶钠 (a)和环丙沙星 (b)分子的结构图

Fig. 1 Structures of sulfadiazine sodium (a) and ciprofloxacin (b)

2) 供试土壤和种子: 供试土壤采自校内生物系 0~20 cm 表土 (此地为休耕地,未施用任何农业化学品近 30年,属于清洁土壤),其理化性质见表 1; 小麦 (*Triticum aestivum* L.), 泛麦 5号, 发芽率为 98%, 白菜 (*Brassica pekinensis*) 甜嫩黄金, 发芽率为 98%, 番茄 (*Cyphandra betacea*) 合作 908, 发芽率为 75%, 均购自新乡市种子公司.

3) 仪器包括受控环境生长箱、温度计、定性滤纸、培养皿.

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 The physicochemical properties of the test soil

干容重 ( $g\ cm^{-3}$ )	pH	有机质	CEC <sup>1)</sup> / ( $cmol\ kg^{-1}$ )	T-P <sup>2)</sup> / ( $mg\ kg^{-1}$ )	T-K <sup>3)</sup> / ( $mg\ kg^{-1}$ )	K-N <sup>4)</sup> / ( $mg\ kg^{-1}$ )
1.41	8.31	2.0%	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.

## 2.2 实验方法

2.2.1 预备试验 称取 50g 风干土壤于 90mm 直径的玻璃培养皿中, 将以几何级数配制的磺胺嘧啶钠、环丙沙星水溶液分别均匀的加入培养皿中, 用去离子水调节土壤含水量至最大持水量的 60%, 并将其置于恒温培养箱中 25℃ 下平衡 48h, 然后用医用镊子将植物种子均匀播种于土壤中 (放置种子时, 保持种子胚根末端和生长方向呈直线), 盖好玻璃培养皿, 置于恒温培养箱中 25℃ 暗处培养。对照种子发芽率 > 90%, 根长度 20mm 时, 实验结束。确定种子发芽和根伸长抑制浓度 (Inhibition Concentration IC) 达到 10% ~ 50% 抑制率的区间后, 开始正式试验 (Gong *et al.*, 2001)。抑制率由公式 (1) 计算:

$$R = \frac{A - B}{B} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $A$  为处理浓度下根生长 (cm),  $B$  为对照根伸长 (cm)。

2.2.2 正式试验 根据预备实验结果, 在种子发芽和根伸长抑制含量 IC 达到抑制率 10% ~ 50% 范围内, 设置 7 个不同处理含量。每个处理 20 粒种子。实验设 3 个重复。在与预备试验相同的温度和水分条件下, 进行作物种子发芽与生长培养试验。实验结束时, 测定各处理含量土壤的种子发芽和植株根、地上部长度 (根长的测定以胚轴与根之间的过度点开始), 计算发芽率和根长度、芽长度的平均值及标准偏差 (OECD, 1984), 并以含量-抑制率绘制曲线, 进行回归分析, 计算 IC (10%) 和 IC (50%) 的含量。

表 2 不同作物的最终设计含量

Table 2 The final design concentration of drugs for the different crops

作物种类	兽药含量 (mg kg <sup>-1</sup> )													
	磺胺嘧啶钠 sulfadiazine sodium						环丙沙星 ciprofloxacin							
小麦 (wheat)	1	5	10	20	50	80	100	20	50	100	300	500	800	1000
白菜 (Chinese cabbage)	1	5	10	20	30	40	60	5	10	20	50	100	150	200
番茄 (tomatoes)	1	5	10	20	50	80	120	5	10	20	50	100	150	200

## 2.3 数据分析

采用 SPSS12.0 和 Origin7.5 数据处理软件 (美国 Microcal Software 公司) 对实验数据进行单因素方差分析和回归分析, 对剂量-效应曲线进行拟合并作图。实验数据结果采用平均值 ± 标准差 (SD) ( $\bar{X} \pm SD$ ) 表示, 差异显著性水平为  $p < 0.05$

## 3 结果 (Results)

### 3.1 磺胺嘧啶钠对 3 种作物的种子发芽、根伸长、芽伸长的抑制情况

以小麦、白菜、番茄种子发芽、根伸长、芽伸长

抑制率对磺胺嘧啶钠浓度作图。由图 2 可见, 同一含量的磺胺嘧啶钠对 3 种作物的种子发芽抑制率明显小于对根伸长和芽伸长的抑制率 ( $p < 0.01$ )。当小麦根伸长抑制率达 48% 时, 发芽抑制率仅为 3%; 当白菜根伸长抑制率达 68.3% 时, 而发芽抑制率为 8.3%; 同样有番茄根伸长抑制率达 59.9% 时, 而发芽抑制率为 13.3%。磺胺嘧啶钠浓度与种子发芽抑制率不相关 ( $p > 0.05$ )。由图 2 及表 3 可见, 3 种作物根伸长和芽伸长抑制率随磺胺嘧啶钠含量增加而增大, 磺胺嘧啶钠含量与 3 种作物根伸长和芽伸长抑制率呈正相关 (相关系数见表 3) ( $p < 0.05$ )。

表 3 磺胺嘧啶钠浓度与 3 种作物生长抑制的回归方程和 IC<sub>50</sub>

Table 3 Regression equation and IC<sub>50</sub> for growth of three crops with sulfadiazine sodium

作物种类 Crop Species	回归方程 Regression Equation	R	p	n	IC <sub>50</sub> / (mg kg <sup>-1</sup> )
小麦根伸长 (Wheat root elongation)	$y = -0.01176x^2 + 1.6904x + 11.8234$	0.8405	< 0.05	7	28.09
小麦芽伸长 (Wheat shoot elongation)	$y = -0.018x^2 + 2.4262x + 7.2741$	0.7552	< 0.05	7	20.82
白菜根伸长 (Chinese cabbage root elongation)	$y = 1.5862x + 0.4184$	0.9395	< 0.01	7	31.26
白菜芽伸长 (Chinese cabbage shoot elongation)	$y = 1.7359x + 6.536$	0.9217	< 0.01	7	25.04
番茄根伸长 (Tomatoes root elongation)	$y = 0.4465x + 8.5113$	0.9886	< 0.01	7	92.92
番茄芽伸长 (Tomatoes shoot elongation)	$y = 0.4670x + 10.817$	0.9724	< 0.01	7	83.90

注:  $y$  为抑制率;  $x$  为磺胺嘧啶钠含量 (mg kg<sup>-1</sup>)。

磺胺嘧啶钠含量 > 10 mg kg<sup>-1</sup> 时, 均显著抑制

3 种作物的芽伸长和根伸长 ( $p < 0.01$ ), 且对芽伸长

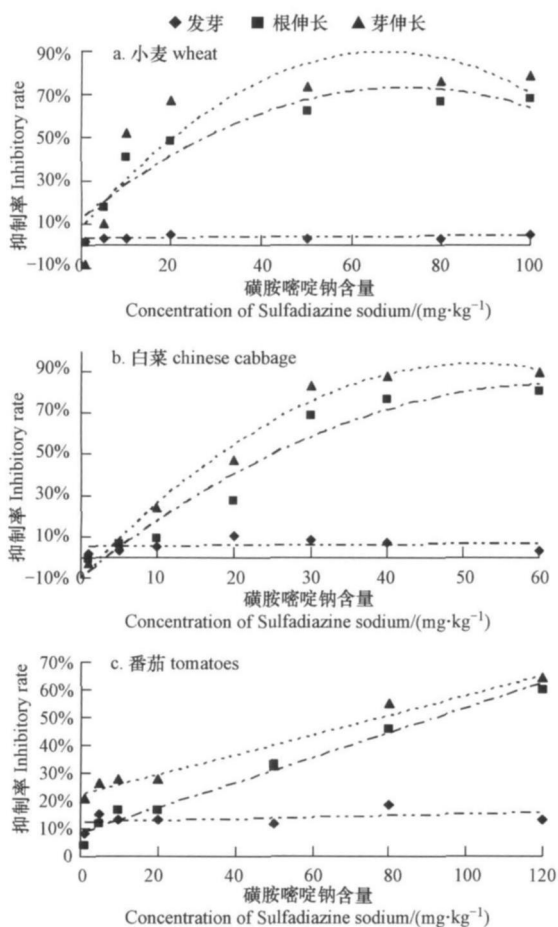


图 2 磺胺嘧啶钠对 3 种作物种子发芽、根伸长、芽伸长的影响 (a 小麦, b 白菜, c 番茄)  
 Fig 2 Influence of sulfadiazine sodium on seed germination, root elongation, and shoot elongation of the three crops (a wheat, b Chinese cabbage, c tomatoes)

的胁迫效应均大于对根伸长. 由表 3 和图 1 可见, 当磺胺嘧啶钠含量为  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对小麦和白菜芽伸长抑制率均产生负值 (分别为  $-8.9\%$  和  $-2.8\%$ ), 对根伸长的抑制率为  $1.3\%$  和  $-0.9\%$ , 而抑制率不能为负值, 由此可见, 在磺胺嘧啶钠含量较低时, 对小麦和白菜的芽伸长没有抑制作用, 反而有一定的促进作用. 当含量达到  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 便表现出明显的抑制作用 ( $p < 0.01$ ). 磺胺嘧啶钠含量  $> 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对 3 种作物芽伸长的胁迫效应均大于对根伸长的胁迫效应 ( $p < 0.05$ ), 当含量为  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对白菜芽伸长的抑制率便达到了  $51.8\%$ ; 当含量达到  $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 芽的生长几乎停止.

在试验浓度下, 磺胺嘧啶钠始终对番茄的芽伸长表现出明显的抑制作用 ( $p < 0.05$ ). 磺胺嘧啶钠含量为  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对番茄芽伸长的抑制率为

$18.9\%$ ; 磺胺嘧啶钠含量达到  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对番茄芽伸长的抑制率达到  $58.0\%$ .

### 3.2 环丙沙星对 3 种作物的种子发芽、根伸长、芽伸长的抑制情况

同一含量的环丙沙星对 3 种作物的种子发芽抑制率也明显小于对根伸长和芽伸长的抑制率, 这与磺胺嘧啶钠的结果一致. 小麦根伸长抑制率达  $24.5\%$  时, 出芽抑制率仅为  $1.7\%$ ; 白菜根伸长抑制率达  $25.7\%$  时, 出芽抑制率为  $5.0\%$ ; 番茄根伸长抑制率达  $45.3\%$  时, 出芽抑制率为  $10.0\%$ . 3 种作物根伸长和芽伸长抑制率与环丙沙星含量呈正相关 (相关系数见表 4) ( $p < 0.05$ ), 回归方程见表 4. 环丙沙星含量与种子发芽抑制率不相关 ( $p > 0.05$ ).

由图 3 可见, 在环丙沙星含量较低时, 对白菜的

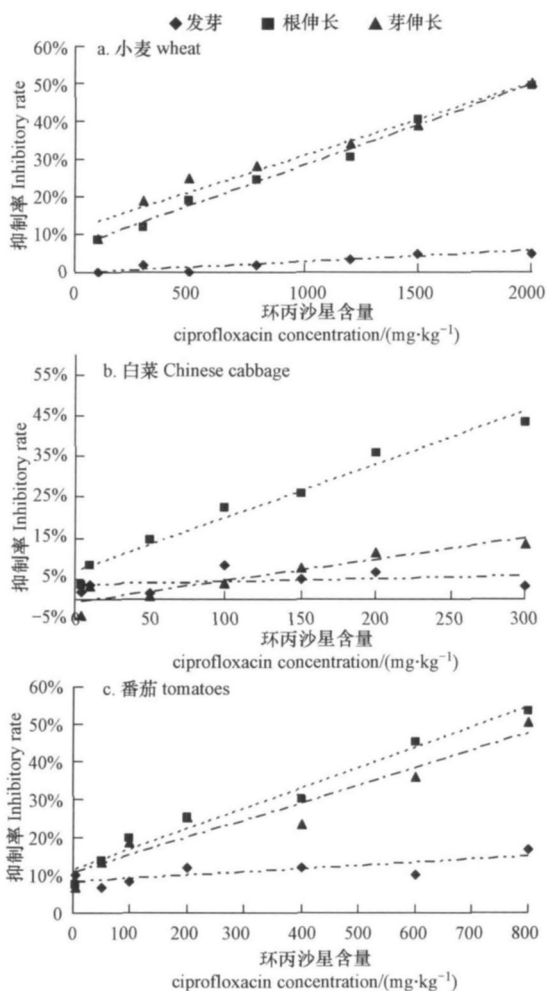


图 3 环丙沙星对 3 种作物种子发芽、根伸长、芽伸长的影响 (a 小麦, b 白菜, c 番茄)

Fig 3 Influence of Ciprofloxacin on the seed germination, root elongation, shoot elongation of the three crops (a wheat, b Chinese cabbage, c tomatoes)

芽伸长有一定的刺激作用. 当环丙沙星含量为  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对白菜芽长抑制率为  $-4.1\%$ . 而对小麦和番茄的芽伸长却没表现出类似的毒物应激效

应, 当环丙沙星含量分别为  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对小麦和番茄的抑制率分别为  $9.0\%$  和  $6.5\%$ .

表 4 环丙沙星含量与 3 种作物生长抑制的回归方程和  $\text{IC}_{50}$   
Table 4 Regression equation and  $\text{IC}_{50}$  for growth of three crops with ciprofloxacin

作物种类 Crop Species	回归方程 Regression Equation	R	p	n	$\text{IC}_{50}$ / ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
小麦根伸长 Wheat root elongation	$y = 0.0214x + 6.6686$	0.9958	< 0.01	7	2024.83 <sup>1)</sup>
小麦芽伸长 Wheat shoot elongation	$y = 0.0192x + 11.527$	0.9813	< 0.01	7	2003.80 <sup>1)</sup>
白菜根伸长 Chinese cabbage root elongation	$y = 0.1308x + 6.6970$	0.9845	< 0.01	7	331.06 <sup>1)</sup>
白菜芽伸长 Chinese cabbage shoot elongation	$y = 0.0525x - 0.9203$	0.9277	< 0.01	7	969.91 <sup>1)</sup>
番茄根伸长 Tomatoes root elongation	$y = 0.0542x + 11.112$	0.9857	< 0.01	7	717.49
番茄芽伸长 Tomatoes shoot elongation	$y = 0.0463x + 10.441$	0.9592	< 0.01	7	854.41 <sup>1)</sup>

注: <sup>1)</sup>不在实际试验浓度范围内; y 为抑制率, x 为环丙沙星含量 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

## 4 讨论 (Discussion)

### 4.1 磺胺嘧啶钠对 3 种作物的生态毒性效应

磺胺嘧啶钠含量与 3 种作物根伸长和芽伸长抑制率呈正相关 (相关系数见表 3) ( $p < 0.05$ ), 而与种子发芽抑制率相关性不显著 ( $p > 0.05$ ). 这可能是由于植物在较低含量的污染物胁迫下, 当根已经受到毒害作用而表现出抑制时, 芽的伸长还能够从种子自身吸取养分而不被抑制. 但是, 随着污染物含量的增大, 污染物被根部吸收、运输到种胚内, 进而影响了芽的伸长和植株生长. 从表 3 中 3 种作物根伸长和芽伸长的  $\text{IC}_{50}$  值可以看出, 3 种作物对于土壤磺胺嘧啶钠胁迫的敏感性依次是小麦 > 白菜 > 番茄, 番茄相对于其它 2 种作物, 对磺胺嘧啶钠的耐性更强一些, 这可能与其自身的抗性机制有关系, 但具体的作用机制目前还不是很清楚, 需作进一步实验进行深入研究. 磺胺嘧啶钠含量  $> 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对 3 种作物芽伸长的胁迫效应均大于对根伸长的胁迫效应, 这与重金属污染不同; 相关研究表明, 重金属对白菜根伸长抑制效应大于芽伸长 (宋玉芳等, 2003). 目前国内外关于兽药使用方面的信息都是很有限的, 得不到关于兽药在家畜的使用及使用模式的公开信息. 根据我国磺胺类药物使用情况, 有专家估计土壤中含量为  $1.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 且研究表明磺胺类药物降解缓慢 (Hektoen *et al.*, 1995), 长期滞留于土壤中会产生假持续现象, 因而会对农作物的生长产生一定影响.

### 4.2 环丙沙星对 3 种作物的生态毒性效应

同一含量的环丙沙星对 3 种作物的种子发芽抑制率也明显小于对根伸长和芽伸长的抑制率. 这可

能与种子发芽和生长过程有关, 种子发芽可以从胚内吸收养分, 在这种情况下, 土壤污染物在一定含量范围内对种子发芽的毒害作用被掩蔽或部分抑制, 只有在土壤污染严重时, 种子发芽才能完全被抑制. 而根从一开始就完全暴露在土壤环境中, 其生长发育全过程受土壤条件的影响较大, 因此, 根对土壤污染的反应更直接、敏感. 这与宋玉芳等的研究结果相似 (宋玉芳等, 2001; 2002), 其在进行重金属对作物种子发芽根伸长抑制的实验中, 当土壤中 Pb 含量达  $1400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 小麦的根伸长抑制率为  $45\%$ , 而发芽抑制率仅为  $5\%$ . 在环丙沙星含量较低时, 对白菜的芽伸长有一定的刺激作用, 这可能是不同作物对药物产生的抗性机制不同所致. 从 2 种药物对 3 种作物的剂量-效应关系和对根伸长、芽伸长抑制的  $\text{IC}_{50}$  值也可以看出, 环丙沙星对作物的毒害效应明显小于磺胺嘧啶钠. 从根伸长抑制的阈值含量和剂量-效应关系可见, 3 种作物中白菜对环丙沙星最敏感, 其次是番茄, 再次是小麦.

### 4.3 磺胺嘧啶钠和环丙沙星生态毒性的比较

从磺胺嘧啶钠和环丙沙星对 3 种作物根伸长的半数抑制含量  $\text{IC}_{50}$  (抑制率达  $50\%$  时的药物含量) 来看, 磺胺嘧啶钠对 3 种作物的毒性强于环丙沙星. 磺胺嘧啶钠对小麦、白菜、番茄的  $\text{IC}_{50}$  分别为  $28.1$ 、 $31.3$ 、 $92.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 而环丙沙星对 3 种作物的  $\text{IC}_{50}$  分别为  $2024.8$ 、 $331.1$ 、 $717.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 也就是说在对 3 种作物受害程度相同 ( $\text{IC}_{50}$ ) 的情况下, 需要环丙沙星的含量远远高于磺胺嘧啶钠的含量. 由此可见, 磺胺嘧啶钠对 3 种作物的毒性远远强于环丙沙星. 这说明, 环丙沙星对植物的毒害效应相对弱一些, 相对于磺胺嘧啶钠是一种生态安全性较高的

兽药。

不同作物对磺胺嘧啶钠和环丙沙星胁迫效应表现出敏感性有很大的差别。对于磺胺嘧啶钠来说, 3种作物敏感性大小顺序为: 小麦 > 白菜 > 番茄, 小麦相对于其他 2种作物来说是最敏感的, 当磺胺嘧啶钠含量为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 小麦、白菜和番茄 3种作物的根长抑制率分别是 48.0%、27.0% 和 16.5%, 小麦根长抑制率分别是番茄的 2.9倍和白菜的 1.8倍, 由此可见, 3种作物对磺胺嘧啶钠的敏感程度差别是很大的。磺胺嘧啶钠的作用机制主要是其在结构上类似对氨基苯甲酸 (PABA), 可与 PABA 竞争性作用于细菌体内的二氢叶酸合成酶, 从而阻止 PABA 作为原料合成细菌所需的叶酸, 减少了具有代谢活性的四氢叶酸的量, 而后者则是细菌合成嘌呤、胸腺嘧啶核苷和脱氧核糖核酸 (DNA) 的必需物质, 因此, 抑制了细菌的生长繁殖。小麦体内可能含有类似结构的作用靶分子, 从而对其根伸长产生了较强的胁迫效应, 但其具体的作用机制还有待于作进一步的实验加以验证研究。对于环丙沙星, 3种作物表现出的敏感性依次为: 白菜 > 番茄 > 小麦, 环丙沙星含量为  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 白菜、番茄和小麦的根长抑制率依次为 22.4%、19.7% 和 8.7%, 小麦表现出与磺胺嘧啶钠完全相反的趋势。环丙沙星的作用机理是通过与细菌的脱氧核糖核酸 (DNA) 的回旋酶亚基 A 结合, 抑制酶的切割与连接功能, 进而阻止细菌 DNA 复制, 从而对大部分 G-菌有较强的杀灭作用; 小麦对环丙沙星的胁迫效应表现出很强的抗性, 这可能与药物作用的靶分子和作物本身的抗性机制有关。由此可见, 针对不同的作物对兽药的敏感性, 在施用厩肥的过程中应考虑作物类型不同而选择合适的施肥量。

## 5 结论 (Conclusions)

1) 磺胺嘧啶钠和环丙沙星 2种兽药抗生素对 3种作物根伸长和芽伸长的抑制率随着土壤中药物含量的增高而增大, 两者呈正相关 (相关系数分别见表 3 表 4) ( $p < 0.05$ )。与根伸长和芽伸长抑制相比, 植物种子发芽对兽药抗生素胁迫的敏感性较弱。

2) 从药物对作物生长抑制的强弱和  $IC_{50}$  可见, 磺胺嘧啶钠对作物的毒性远强于环丙沙星。环丙沙星对植物的毒害效应相对弱一些, 相对于磺胺嘧啶钠是一种生态安全性较高的兽药。

3) 在土壤被磺胺嘧啶钠污染时, 3种作物的敏

感性顺序依次为小麦 > 白菜 > 番茄; 在土壤被环丙沙星污染时, 3种作物的敏感性顺序为白菜 > 番茄 > 小麦。小麦在这里表现出完全相反的趋势, 这可能与药物作用的靶分子和作物本身的抗性机制有关。

## 参考文献 (References):

- 陈志宇, 苏继影, 栾冬梅. 2004 畜禽粪便堆肥技术研究进展 [J]. 当代畜牧, 10: 41-43
- Chen Z Y, Su J Y, Luan D M. 2004 Research progress of domestic animal compost technology [J]. Contemporary Animal Husbandry, 10: 41-43 (in Chinese)
- Gong P, Wilke B M, Strozzi E, *et al*. 2001 Evaluation and refinement of a continuous seed germination and early seedling growth test for the use in the eco-toxicological assessment of soils [J]. Chemosphere 44: 491-500
- Greene J C, Bartels G L, Warren H, Ickes W J. 1998 Protocols for short-term toxicity screening of hazardous waste sites [S]. US Environmental Protection Agency. EPA/600/3-88/029
- Hektoen H, Berge J A, Hornazabal V, *et al*. 1995. Persistence of antibacterial agents in marine sediments [J]. Aquaculture 133: 175-184
- Ince N H, Dirilgen I G, Tezcanli A G, *et al*. 1999. A assessment of toxic interactions of heavy metals in binary mixtures: A statistical approach [J]. Arch Environ Contam Toxicol 36: 365-372
- Ingerslev F, Holten Lutzhoft H C, Halling-Sorensen B. 1999. Human anvendtelegem idlers vejtil miljoeter gennem rensningsanlaegge [J]. Dansk Kem 80 (6-7): 222-225 (in Danish)
- International Organization for Standardization (ISO). 1993a. Soil quality-determination of the effects of pollutants on soil flora [S]. Part 1: method for the measurement of inhibition of root growth Beijing China ISO, 11269-1
- International Organization for Standardization (ISO). 1993b. Soil quality-determination of the effects of pollutants on soil flora [S]. Part 2: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants Beijing China ISO, 11269-2
- Knoke K, Mawood T M, Cassidy M B, *et al*. 1999. A comparison of five bioassays to monitor toxicity during bioremediation of pentachlorophenol-contaminated soil [J]. Water, Air and Soil Pollution 110: 157-169
- 刘婉, 宋玉芳, 周启星, 等. 2001. 氯苯胁迫对小麦发芽与幼苗生长的影响 [J]. 农业环境保护, 20(2): 65-68
- Liu W, Song Y F, Zhou Q X, *et al*. 2001. Effect of chlorobenzene stress on seed germination and seedling growth of wheat [J]. Agro-environmental Protection 20(2): 65-68 (in Chinese)
- Mishra A, Choudhury M A. 1999. Monitoring of phytotoxicity of lead and mercury from germination and early seedling growth indices in two rice cultivators [J]. Water Air Soil Poll 110: 340-345
- Montforts M H M M. 1999. Environmental Risk Assessment for Veterinary Medicinal Products. Part 1: Other than GMO-Containing and

- Immunological Products [R]. RIVM report 601300 001, N 120. National Institute of Public Health and the Environment Bihoven, the Netherlands
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1984. OECD guidelines for testing of chemicals [M]. Paris France Europe Committee 208—209
- Samuelsen O B. 1989 Degradation of oxytetracycline in seawater at two different temperatures and light intensities and persistence of oxytetracycline in the sediment from a fish farm [J]. *Aquaculture*, 83: 7—16
- 宋玉芳, 许华夏, 任丽萍, 等. 2001a 重金属对土壤中萝卜种子发芽与根伸长抑制的生态毒性 [J]. *生态学杂志*, 4(2): 4—8
- Song Y F, Xu H X, Ren L P, *et al* 2001a Eco-toxicology of heavy metals on the inhibition of seed germination and root elongation of radish in soils [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 4(2): 4—8 (in Chinese)
- 宋玉芳, 许华夏, 任丽萍, 等. 2001b 重金属对西红柿种子发芽与根伸长的抑制效应 [J]. *中国环境科学*, 21(5): 390—394
- Song Y F, Xu H X, Ren L P, *et al* 2001b Inhibition effect of heavy metals in soil on the inhibition of seed germination and root elongation of tomatoes [J]. *China Environmental Science* 21 (5): 390—394 (in Chinese)
- 宋玉芳, 许华夏, 任丽萍, 等. 2003 土壤重金属污染对蔬菜生长的抑制作用及其生态毒性 [J]. *农业环境科学学报*, 22(1): 13—15
- Song Y F, Xu H X, Ren L P, *et al* 2003 Inhibition and Eco-toxicity of heavy metals pollution on vegetable growth in soil [J]. *Journal Agro-environmental Science* 22(1): 13—15 (in Chinese)
- 宋玉芳, 周启星, 许华夏, 等. 2002 重金属对土壤中小麦种子发芽与根伸长抑制的生态毒性效应 [J]. *应用生态学报*, 13(4): 459—462
- Song Y F, Zhou Q X, Xu H X, *et al* 2002 Eco-toxicology of heavy metals on the inhibition of seed germination and root elongation of wheat in soils [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(4): 459—462 (in Chinese)