

土霉素在鸡粪中的残留及降解规律研究

王志强¹, 韩 艳¹, 张 斌²

(1.扬州大学兽医学院, 江苏 扬州 225009; 2.扬州市畜牧兽医站, 江苏 扬州 225009)

摘 要:检测了健康肉鸡以不同剂量土霉素混饲给药后,在不同时间鸡粪中土霉素的含量变化,并比较避光及人工光照条件下灭菌鸡粪中土霉素的降解规律,以及在避光条件下灭菌、未灭菌及灭菌后加降解菌处理,鸡粪中土霉素的降解规律。结果表明,健康肉鸡混饲给予土霉素(100、200、400 mg·kg⁻¹)后,鸡粪中土霉素排泄量在给药后 6~8 h 达到高峰,峰浓度分别为 13.58、36.15 mg·kg⁻¹ 和 50.73 mg·kg⁻¹,并于 30、62 h 和 72 h 时检测不到土霉素;对鸡粪中土霉素的浓度随时间变化趋势进行曲线拟合,发现各处理组的这种变化趋势均符合一级动力学方程 $C_t=C_0e^{-kt}$ 。经灭菌鸡粪中土霉素的降解受光照条件和土霉素初始浓度的影响,初始浓度为 10、20、40 mg·kg⁻¹ 时,避光条件下,土霉素降解半衰期分别为 55.5、123.8 d 和 173.3 d;人工光照条件下,鸡粪中的土霉素降解较快,降解半衰期分别为 14.8、21.1 d 和 27.5 d。此外,无论是在避光还是人工光照条件下,较高初始浓度组的土霉素降解速率均比较低初始浓度组慢。去除光照因素后,鸡粪中所含土霉素的降解主要受微生物及土霉素初始浓度的影响,初始浓度为 10、20、40 mg·kg⁻¹ 时,灭菌组土霉素降解半衰期分别为 78.7、103.4 d 和 157.5 d,未灭菌组为 40.5、50.6 d 和 97.6 d,灭菌后加降解菌组为 14.5、33.6 d 和 51.3 d,说明鸡粪中微生物的存在可加快土霉素的降解。相同处理条件下,土霉素的降解速率随药物初始浓度的升高而降低。

关键词:鸡粪;土霉素;HPLC;降解

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)10-2124-06

Residue and Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces

WANG Zhi-qiang¹, HAN Yan¹, ZHANG Bin²

(1.College of Veterinary Medicine, Yangzhou University, Yangzhou 225009,China; 2.Yangzhou Animal Husbandry and Veterinary Station, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In the first part of the study, the concentration of oxytetracycline in broiler chicken feces was examined after administration of different oral dosages of oxytetracycline by HPLC (high performance liquid chromatography). In the second part of the study, the degradability of oxytetracycline in sterilized chicken feces was tested under photophobic or illumination condition. In the third part of the study, the degradability of oxytetracycline in chicken feces was tested under different microbial conditions without illumination. The results were as follows. After feed medication in healthy broiler chicken, oxytetracycline was excreted in feces as the parent compound. When the dosage of feed medication was 100 mg·kg⁻¹, 200 mg·kg⁻¹ and 400 mg·kg⁻¹ feed, the concentration of oxytetracycline in chicken feces reached the peak at the 6th~8th hour after administration, with a peak concentration of 13.58 mg·kg⁻¹, 36.15 mg·kg⁻¹ and 50.73 mg·kg⁻¹ respectively. Oxytetracycline was undetectable at the 30th, 62nd and 72nd hour after administration, respectively. The degradation process of oxytetracycline in chicken feces could be evaluated on the basis of the first order kinetics equation as $C_t=C_0e^{-kt}$. The degradation of oxytetracycline in sterilized chicken feces was affected by illumination and the initial concentration of oxytetracycline. When the initial concentration of oxytetracycline was 10 mg·kg⁻¹, 20 mg·kg⁻¹ and 40 mg·kg⁻¹, the half-life of oxytetracycline in sterilized chicken feces was 55.5 d, 123.8 d and 173.3 d respectively under photophobic condition and was 14.8 d, 21.1 d and 27.5 d under illumination condition. Under photophobic condition, the degradability of oxytetracycline in chicken feces was affected by microbes and the initial concentration of oxytetracycline. When the initial concentration of oxytetracycline was 10 mg·kg⁻¹, 20 mg·kg⁻¹ and 40 mg·kg⁻¹, the half-life of oxytetracycline in chicken feces was 78.7 d, 103.4 d and 157.5 d respectively with sterilized treatment, and was 40.5 d, 50.6 d and 97.6 d respectively with unsterilized treatment, and

收稿日期:2011-03-28

基金项目:江苏省高校自然科学基金基础研究项目(08KJB230003);江苏省“六大人才高峰”资助项目

作者简介:王志强(1972—),男,博士,副教授,硕士生导师。E-mail:zqwang@yzu.edu.cn

was 14.5 d, 33.6 d and 51.3 d respectively with added degrading bacteria treatment. Furthermore, in the second and third part of the study, the rate of oxytetracycline degradation increased when its initial concentration decreased under the same condition.

Keywords: chicken feces; oxytetracycline; HPLC; degradation

在畜禽养殖过程中,有大量抗生素作为治疗药物或饲料添加剂用于疫病防治和促进生长,这些药物进入动物体后,少部分残留于动物体内,另有 50%~80% 以原形或代谢物形式排入环境^[1],大量未经有效处理的含有抗生素残留的动物排泄物作为肥料施用而污染农田土壤、水体,影响环境微生物生态链并诱发耐药菌,对环境和人类健康产生极大威胁^[2]。

土霉素(Oxytetracycline, OTC)是在畜禽养殖生产中广泛应用的四环素类抗生素。动物食入土霉素后,绝大多数以原形随粪便排出体外^[3],未经有效处理便以有机肥形式进入土壤及水环境,对生态环境及人类健康造成潜在的威胁。已有的研究表明,鸡通过口服或静注四环素类抗生素后,代谢物较少,主要以原形排出体外,然后随粪便直接或以施肥方式进入环境^[4],四环素类抗生素在粪肥及动物粪便施肥后的土壤中的残留状况非常严峻。近年来我国也有相关研究显示,用动物排泄物施肥的土壤 0~40 cm 表层,检测到了土霉素和金霉素的残留,其浓度分别高达 $32.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $26.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[4]。目前对在动物上应用的土霉素有多少被排泄,排出的土霉素在排泄物中的存在形式、降解速率以及影响因素,尚缺乏准确的数据。因此,本研究在建立鸡粪便中土霉素 HPLC 检测方法基础上,研究肉鸡经饲料摄入不同剂量土霉素后,鸡粪中土霉素的含量变化,并在实验室模拟条件下了解鸡粪中土霉素的光稳定性以及微生物对鸡粪中土霉素降解的影响,为正确评估土霉素的环境风险及排泄物中土霉素去除技术研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验动物

选取 48 只 28 日龄左右白羽肉鸡,单笼饲养,试验前以不含土霉素的全价饲料饲喂 7 d,观察鸡的健康状况,临床无异常后用于试验。

1.1.2 鸡粪

采集健康白羽肉鸡的新鲜粪样,经检测不含土霉素,用于鸡粪中土霉素降解规律研究。

1.1.3 药品与试剂

土霉素对照品,含量 99.3%,批号 20070411,扬州

市联环制药厂;土霉素原料药,含量 94.6%,批号 20070411,扬州市联环制药厂。甲醇、乙腈、EDTA-二钠、柠檬酸、草酸、三氯乙酸等均为 HPLC 级或分析纯试剂。

1.1.4 仪器

高效液相色谱仪,配备紫外检测器、柱温箱,日本岛津公司;ODS-2HYPERSIL(250 mm×4.6 mm, 5 μm) 色谱柱,菲罗门科技;Waters Oasis[®] HLB 固相萃取小柱,500 mg·6 mL⁻¹,美国 Waters 公司;ZGX-300C 智能光照培养箱,杭州钱江仪器设备有限公司。

1.2 样品检测

1.2.1 样品提取与净化

空白鸡粪样品于室温避光自然解冻后,混合均匀,准确称取 1.0 g 于 50 mL 离心管,并添加已知浓度土霉素溶液 1.0 mL,混匀后加入 McIlvaine-EDTA 缓冲液 5 mL,混匀、超声萃取 10 min, 5 000 r·min⁻¹ 离心 10 min,取上清液置于 50 mL 离心管,沉淀中再加入 3 mL McIlvaine-EDTA 缓冲液,重复提取 1 次,合并上清液,上清液中加入 1 mL 20%三氯乙酸,混匀后 4 $^{\circ}\text{C}$ 静置 20 min, 5 000 r·min⁻¹ 离心 10 min,上清液移入 50 mL 容量瓶中,用 20%三氯乙酸定容。混匀后取 1 mL 固相萃取小柱净化,洗脱液在旋转蒸发仪上于 47 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩。浓缩样品用流动相定容为 1 mL, 0.45 μm 微孔滤膜过滤后供 HPLC 分析。

1.2.2 色谱条件和工作指标

流动相为 0.01 mol·L⁻¹ 草酸:乙腈:甲醇=76:16:8 (V/V/V),流速 1.0 mL·min⁻¹,柱温 25 $^{\circ}\text{C}$,进样量 20 μL ,紫外检测波长 355 nm。在上述检测条件下,能将土霉素与粪样中其他组分较好的分离,空白样品在土霉素出峰处没有干扰,保留时间约为 9.0 min。检测限(LOD)为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,定量限(LOQ)为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在空白粪样中添加土霉素标准液,经预处理后在已确定的色谱条件下进行 HPLC 分析,在 0.25~20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内,各浓度与色谱峰面积呈线性关系,相关系数均大于 0.999。

空白鸡粪样中土霉素的 5.0、20、100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 3 个添加浓度平均回收率为 78.89%、82.22%和 83.35%。批内变异系数分别为 4.81%、3.26%和 3.41%,批间变异系数分别为 3.98%、3.45%和 2.91%。

1.3 试验方法

1.3.1 土霉素在鸡粪中的残留

将白羽肉鸡按体重随机分为4组,每组12只,公母各半,各组鸡体重相近。各组给药情况如下:第1组为空白组,即不添加任何抗生素,第2~4组分别以含100、200、400 mg·kg⁻¹土霉素的全价饲料饲喂1 d。给药前采集1次空白鸡粪样品,给药后1、2、4、6、8、10、12、16、24、30、40、50、62、72 h分别收集新鲜粪样(粪尿混合),每次采样时间为0.5 h。所有粪样均密封、遮光贮存于-20℃。

1.3.2 光照对鸡粪中土霉素降解的影响

取9 cm玻璃平皿若干,分两批,第一批,分3组,称取5.0 g经通气灭菌的空白鸡粪置平皿中,分别加入土霉素标准液5 mL,使土霉素浓度为10、20、40 mg·kg⁻¹,25℃避光放置;第二批3组样品同样方法制备后,置于光照培养箱中,温度25℃,光照强度6500 lx,光暗比12 h:12 h。两批样品取样时间为0、1、2、4、6、8、10、12、15、20、25、30、35、40 d。样品置-20℃冰箱保存。每次处理测定的样品设3个平行样。按1.2方法处理后做HPLC分析并计算粪样中土霉素浓度。

1.3.3 微生物对鸡粪中土霉素降解的影响

取9 cm玻璃平皿若干,分3批,第一批,使用未灭菌空白鸡粪,分3组,称取5.0 g鸡粪置每只平皿中,分别加入土霉素标准液5 mL,使土霉素浓度为10、20、40 mg·kg⁻¹;第二批3组使用的空白鸡粪经通气灭菌,分别加入土霉素标准液5 mL,使土霉素浓度为10、20、40 mg·kg⁻¹;第三批3组使用的空白鸡粪经通气灭菌后,加入降解菌,再分别加入土霉素标准液,使土霉素浓度为10、20、40 mg·kg⁻¹。各批样品均置于避光、25℃条件下。取样时间为0、1、2、4、6、8、10、15、20、25、30、35、40 d。样品置-20℃冰箱保存。每次处理测定样品设3个平行样。按1.2方法处理后做HPLC分析并计算粪样中土霉素浓度。

所添加的土霉素降解菌来自本实验室筛选获得的对土霉素具有明显降解活性的细菌,此菌能以土霉素为唯一碳源生长,经鉴定,此菌株为蜡样芽孢杆菌。

2 结果与讨论

2.1 土霉素在鸡粪便中的残留

肉鸡饲喂含不同浓度土霉素的饲料后不同时间粪中土霉素浓度见表1。据表1,采食含土霉素的饲料后1.0 h,即能从鸡粪中检测到土霉素。添加量为100 mg·kg⁻¹和200 mg·kg⁻¹剂量组土霉素排泄量在采食

后6 h达峰,峰浓度分别为13.58 mg·kg⁻¹和36.15 mg·kg⁻¹;添加量为400 mg·kg⁻¹剂量组土霉素排泄量达峰时间为8 h,峰浓度为50.73 mg·kg⁻¹,之后排泄量逐渐下降,分别在30、62 h和72 h时各组鸡粪中均检测不到土霉素。此结果说明土霉素的摄入量排泄量也相应增加,这也进一步证明土霉素主要以原形排出体外。鸡的消化道较短,食物在消化道内停留的时间仅有4 h左右^[9],可见进入消化道的药物在鸡体内也没有充分时间吸收和代谢,这是鸡食入的兽药大部分以原形随粪便排出的原因之一。关于四环素类药物在畜禽体内的代谢和消除已有一些报道。王冉等^[5]报道,肉鸡摄入含金霉素204.23 mg·kg⁻¹和589.66 mg·kg⁻¹的饲料后,分别有62.37%和79.84%的金霉素进入排泄物,排泄物中金霉素的浓度分别在6 h和8 h达到峰值,50 h和72 h分别降到检测限以下。本试验中,不论是100、200 mg·kg⁻¹剂量组还是400 mg·kg⁻¹剂量组,土霉素在鸡粪中的残留峰浓度分别达到了13.58、36.15 mg·kg⁻¹和50.73 mg·kg⁻¹,远远超过土霉素对多种微生物的最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC),必须注意这部分鸡粪进入环境后的生物学效应^[6]。

表1 各试验组鸡粪中土霉素浓度(mg·kg⁻¹, n=12)

Table 1 Concentration of OTC in chicken feces in experimental trial(mg·kg⁻¹, n=12)

取样时间/h	对照组空白	饲料中土霉素含量		
		100 mg·kg ⁻¹	200 mg·kg ⁻¹	400 mg·kg ⁻¹
1	ND	ND	2.69±0.87	4.82±0.69
2	ND	2.65±1.14	5.51±0.94	9.87±2.32
4	ND	5.76±2.43	12.78±3.12	20.39±3.86
6	ND	13.58±3.37	36.15±4.46	41.27±5.28
8	ND	10.22±2.84	33.54±3.25	50.73±4.23
10	ND	7.48±2.49	30.27±3.34	47.52±2.81
12	ND	5.12±3.45	26.63±2.48	43.46±3.22
16	ND	3.87±2.26	22.73±1.87	38.72±1.79
24	ND	2.58±1.92	17.96±2.79	33.64±2.54
30	ND	ND	13.15±3.16	29.83±3.06
40	ND	ND	9.82±1.68	22.19±2.50
50	ND	ND	3.77±1.45	12.58±1.74
62	ND	ND	ND	4.95±0.73
72	ND	ND	ND	ND

注:N为未检出。

Note: ND.Not detectable.

2.2 光照对鸡粪中土霉素降解的影响

土霉素通过鸡粪进入环境后,受到环境中各种因

素的作用而产生一系列变化。有报道显示,四环素类药物的非生物降解主要取决于 pH 值、氧化还原状况和光照,而在土壤中光降解可能是最主要的降解途径^[7]。Andreozzi R 等也通过研究说明了自然水生环境中的抗生素在阳光照射下,光解作用是最主要的降解途径,除此之外,溶解于其中的有机质和硝酸盐类也会影响其光解行为^[8]。

本试验中,经过灭菌的鸡粪中土霉素初始浓度分别为 10、20、40 mg·kg⁻¹ 时,土霉素的 40 d 降解率,在避光条件下,分别为 42.03%、22.12%、16.36%,在人工光照条件下,鸡粪中的土霉素降解较快,降解率分别为 100%、74.13%、68.52%。对鸡粪中土霉素的浓度随时间的变化趋势进行曲线拟合,发现各处理组的这种变化趋势均符合一级动力学方程

$$C_t = C_0 e^{-kt}, t_{1/2} = \ln 2/k$$

式中: C_t 为时间 t 时土霉素的浓度; C_0 为初始浓度; k 为降解速率常数; t 为时间; $t_{1/2}$ 为降解半衰期。

鸡粪中添加不同浓度土霉素在光照和避光条件下降解的动力学参数见表 2。由表 2 可知,鸡粪中土霉素的降解受初始浓度和光照条件的影响:首先,无论是在光照还是避光条件下,较高初始浓度组的土霉素降解速率比低初始浓度组慢,说明浓度越高,其降解速率越慢,这与王冉等发现的金霉素在鸡排泄物中的降解速率随残留浓度增加而降低的结果相一致^[5],由此可见,控制药物在环境中的残留浓度对于减少药物残留也起到很重要的作用;其次,相同添加浓度时,避光条件下鸡粪中的土霉素降解速率慢于光照条件下,避光处理明显减缓了鸡粪中土霉素的降解速率。Doi 等研究发现在水中土霉素的降解速率会随温度和光照强度的增加而加快^[9],这与本试验的结果相一致,表明土霉素对光照较敏感,具有光解的特性。

在养鸡生产中,鸡舍内的鸡粪多处于避光条件,

因而不利于土霉素的降解。即使鸡粪被清除到鸡舍外后,在作为肥料使用前,如果不经堆晒,仍然会有较多的残留药物进入环境,可能会对环境造成不良影响。因此,在控制鸡群土霉素用量的同时,对含有土霉素的鸡粪在阳光下进行适当的翻晒,将有利于鸡粪中土霉素残留的降解,减少其可能对周围环境造成的不良影响。

2.3 微生物对鸡粪中土霉素降解的影响

在避光条件下,微生物条件不同(未灭菌、灭菌、灭菌后添加降解菌)的 3 组鸡粪样品,鸡粪中土霉素初始浓度为 10 mg·kg⁻¹ 时,土霉素的 40 d 降解率分别为未灭菌组 52.06%,灭菌组 33.57%,灭菌后加降解菌组 100%;土霉素初始浓度为 20 mg·kg⁻¹ 时,40 d 降解率分别为 44.62%、23.12%、60.10%;土霉素初始浓度为 40 mg·kg⁻¹ 时,40 d 降解率分别为 25.93%、17.94%、41.59%。对鸡粪中土霉素的浓度随时间的变化趋势进行曲线拟合,发现各处理组的这种变化趋势均符合一级动力学方程 $C_t = C_0 e^{-kt}, t_{1/2} = \ln 2/k$ 。鸡粪中添加不同浓度土霉素在光照和避光条件下降解的动力学参数见表 3。由表 3 可知,避光条件下,灭菌处理明显减缓了鸡粪中土霉素降解速率,土霉素初始浓度相同条件下,灭菌组降解半衰期均比未灭菌组长,这说明鸡粪中本身存在的微生物对于土霉素的降解起到推动作用;同时,在灭菌鸡粪中添加土霉素降解菌亦可加速土霉素的降解,土霉素初始浓度相同时,加降解菌组土霉素降解速率快于其他两个处理组,这说明土霉素的降解过程受到外源添加降解菌的影响,而且这种影响大于药物存在的介质中本身所带有的微生物的影响。此外,在灭菌组、未灭菌组、灭菌后加降解菌组,土霉素降解速率均受到初始浓度的影响,表现为低浓度的土霉素降解最快,呈现 10 mg·kg⁻¹ 处理 > 20 mg·kg⁻¹ 处理 > 40 mg·kg⁻¹ 处理,说明土霉素的降解受到自身浓度的影响。同样,Wang 等亦发现土壤中磺

表 2 光照和避光条件下鸡粪中土霉素降解动力学参数

Table 2 Kinetic parameters for degradation of OTC in chicken feces under illumination and photophobic conditions

光照条件 Treatment	初始浓度/ mg·kg ⁻¹	一级动力学方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient(r)	降解半衰期($t_{1/2}$)/d Half life($t_{1/2}$)/d
避光 Photophobic	10	$C=9.961\ 2e^{-0.012\ 5t}$	0.980\ 3	55.5
	20	$C=18.116e^{-0.005\ 6t}$	0.978\ 9	123.8
	40	$C=38.635e^{-0.004\ 1t}$	0.941\ 8	173.3
光照 Illumination	10	$C=8.836\ 5e^{-0.046\ 9t}$	0.984\ 8	14.8
	20	$C=19.315e^{-0.032\ 8t}$	0.986\ 6	21.1
	40	$C=39.461e^{-0.025\ 2t}$	0.976\ 3	27.5

表 3 不同微生物条件下鸡粪中土霉素的降解动力学参数

Table 3 Kinetic parameters for degradation of OTC in chicken feces under different microbial conditions

处理 Treatment	初始浓度/ mg·kg ⁻¹	一级动力学方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient(r)	降解半衰期(<i>t</i> _{1/2})/d Half life(<i>t</i> _{1/2})/d
灭菌 Sterilized	10	$C=10.040e^{-0.0088t}$	0.959 1	78.7
	20	$C=18.293e^{-0.0067t}$	0.968 8	103.4
	40	$C=38.718e^{-0.0044t}$	0.947 9	157.5
未灭菌 Unsterilized	10	$C=9.936e^{-0.0171t}$	0.961 1	40.5
	20	$C=18.757e^{-0.0137t}$	0.983 7	50.6
	40	$C=39.123e^{-0.0071t}$	0.985 4	97.6
加降解菌 Degrading bacteria	10	$C=10.252e^{-0.0478t}$	0.967 4	14.5
	20	$C=17.246e^{-0.0206t}$	0.979 7	33.6
	40	$C=38.3954e^{-0.0135t}$	0.969 9	51.3

胺二甲嘧啶的降解方式主要是微生物降解,且与药物在土壤中的残留浓度存在相关性^[10]。

药物在环境中的降解一般包括 3 种方式:微生物降解、化学水解和光解。本试验证明,灭菌和避光处理明显减缓了鸡粪中土霉素的降解率速,说明鸡粪中土霉素的降解主要以微生物降解和光解为主,这为今后更有效地处理粪便污染以及降低环境中特定药物残留量提供了有益的参考。目前,用堆肥法处理禽粪便是常见的处理方式,国内外相关研究很多如 Atkinson 等发现家禽粪便堆肥中微生物活性和生物降解的关系,微生物活性越强,堆肥中的物质的生物降解也越快、越充分^[11]。张树清等亦报道,高温堆肥对畜禽粪便中的四环素类抗生素具有不同程度的降解效果,堆肥中外源添加有益降解菌剂亦有助于抗生素药物残留的去除^[12]。因此,利用微生物降低和消除环境中有机物残留将是一种行之有效的方法,并且在消除农药、硝基苯类化合物及其他环境污染物方面显示出良好的前景^[13-16]。

3 结论

- (1)肉鸡采食含土霉素 100~400 mg·kg⁻¹ 的饲料后 72 h 内会有土霉素随粪便排出体外,鸡粪中残留的药物浓度随药物添加浓度的增加而增加,6~8 h 达到排泄量最大值。
- (2)去除微生物因素后,鸡粪中所含土霉素的降解主要受光照及土霉素初始浓度的影响,相同初始浓度水平下,鸡粪中土霉素的降解速率呈现光照组>避光组;相同处理条件下,土霉素的降解速率随药物初始浓度的升高而降低。
- (3)去除光照因素后,鸡粪中所含土霉素的降解主要受微生物及土霉素初始浓度的影响,相同初始浓

度水平下,鸡粪中土霉素的降解速率呈现灭菌后加降解菌组>未灭菌组>灭菌组;相同处理条件下,土霉素的降解速率随药物初始浓度的升高而降低。

综上所述,鸡粪中的土霉素降解速率受自身浓度水平、光照、微生物的影响。因此,为了更好地达到降低以至消除药物残留的目的,势必需要控制土霉素进入环境的速度和量,同时可以通过加强光照和添加降解菌来加速粪便中土霉素的降解,从而减少环境中药物残留,减弱其蓄积效应。

参考文献:

[1] Cam pagnolo E R, John son K R, Karpati A, et al. Antimicrobial residues in animal waste and water resources proximal to large scale swine and poultry feeding operations[J]. *Sci Total Environ*, 2002, 299(1-3): 89-95.

[2] Halling-Sorensen B, Sengelbv G, Tjornelund J. Toxicity of tetracyclines and tetracycline degradation products to environmentally relevant bacteria, including selected tetracycline-resistant bacteria[J]. *Arch of Environ Contam in Toxicol*, 2002, 42(3): 263-271.

[3] 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 in the environment[J]. *Chemosphere*, 2006, 65(5): 725-759.

[4] 张劲强,董元华,安 琼,等.兽药抗生素在土壤环境中的行为[J].土壤,2005,37(4):353-361.

ZHANG Jin-qiang, DONG Yuan-hua, AN Qiong, et al. Environmental fate of veterinary medicines in soil[J]. *Soils*, 2005, 37(4): 353-361.

[5] 王 冉,魏瑞成,刘铁铮,等.金霉素在鸡排泄物中的残留及降解动态[J].南京农业大学学报,2009,32(1):85-89.

WANG Ran, WEI Rui-cheng, LIU Tie-zheng, et al. Residue and degradation kinetics of chlortetracycline in chicken excreta[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2009, 32(1): 85-89.

[6] 麻万诺,章明奎.土霉素对猪粪污染土壤微生物数量和酶活性的影响研究[J].现代农业科技,2010,8:290-292.

MA Wan-zhu, ZHANG Ming-kui. Effect research of oxytetracycline on microorganisms number and enzyme activity in soil affected by pig ma-

- nure[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010, 8: 290–292.
- [7] Tue Soeborg, Flemming Ingerslev, Bent Halling-Sørensen. Chemical stability of chlortetracycline and chlortetracycline degradation products and epimers in soil interstitial water[J]. *Chemosphere*, 2004, 57(10): 1515–1524.
- [8] Andreozzi R, Raffaele M, Nicklas P. Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment[J]. *Chemosphere*, 2003, 50(10): 1319–1330.
- [9] Doi A M, Stoskopf M K. The kinetics of oxytetracycline degradation in deionized water under varying temperature, pH, light, substrate, and organic matter[J]. *Journal of Aquatic Animal Health*, 2000, 12(3): 246–253.
- [10] Wang Qiquan, Guo Mingxin, Yates S R. Degradation kinetics of manure derived sulfadimethoxine in amended soil [J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2006, 54(1): 157–163.
- [11] Atkinson C F, Jones D D, Gauthier J J. Biodegradability and microbial activities during composting of poultry litter[J]. *Poult Sci*, 1996, 75(5): 608–617.
- [12] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 高温堆肥对畜禽粪中抗生素降解和重金属钝化的作用[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(2): 337–343.
- ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Degradation of antibiotics and passivation of heavy metals during thermophilic composting process[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(2): 337–343.
- [13] 张 婵, 廖晓兰. 有机磷农药的微生物降解技术研究进展[J]. *广西农业科学*, 2010, 41(10): 1079–1082.
- ZHANG Chan, LIAO Xiao-lan. Research progress on technologies for microbial degradation of organophosphorus pesticide[J]. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2010, 41(10): 1079–1082.
- [14] 卢桂兰, 郭观林, 王世杰, 等. 水体中硝基苯厌氧降解微生物的筛选及其降解特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(3): 556–562.
- LU Gui-lan, GUO Guan-lin, WANG Shi-jie, et al. Screening and biodegradation of anaerobic microorganisms for nitrobenzene in water[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(3): 556–562.
- [15] 徐 莲, 张丽萍, 刘怡辰, 等. 功夫菊酯降解菌 GF-3 的筛选鉴定及其降解特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(7): 1545–1551.
- XU Lian, ZHANG Li-ping, LIU Yi-chen, et al. Isolation, Identification and characteristics of a cyhalothrin-degrading bacterium GF-3 [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(7): 1545–1551.
- [16] 王世杰, 王 翔, 卢桂兰, 等. 柴油降解菌的筛选鉴定及降解特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(1): 49–54.
- WANG Shi-jie, WANG Xiang, LU Gui-lan, et al. Screening and identification of diesel fuel degrading microorganism[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(1): 49–54.