张健,关连珠,颜丽. 2011. 鸡粪中 3 种四环素类抗生素在棕壤中的动态变化及原因分析[J]. 环境科学学报,31(5):1039-1044
Zhang J, Guan L Z, Yan L. 2011. Dynamics and mechanism of degradation of three tetracycline antibiotics from chicken feces in brown soil [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 31(5): 1039-1044

鸡粪中 3 种四环素类抗生素在棕壤中的动态变化及原因分析

张健,关连珠*,颜丽

沈阳农业大学农业土地与环境学院,沈阳 110866

收稿日期: 2010-12-14　　修回日期: 2011-01-10　　录用日期: 2011-01-12

摘要: 采用室内模拟培养试验,研究了鸡粪中 3 种四环素类抗生素在棕壤中含量的动态变化规律及消解途径. 结果表明鸡粪中所含的 3 种四环素类抗生素在棕壤中的含量均表现为前期迅速下降,中后期逐渐平稳的规律,但不同种类和用量处理的变化速率和降解率有显著差异($p < 0.05$);180 d 时,3 种抗生素在棕壤中的降解率为金霉素 > 土霉素 > 四环素,相应的最大降解率分别为 85.37%、84.06% 和 58.54%;平均半衰期分别为 20.23 d、26.8 d 和 63.24 d. 降解率与鸡粪用量呈负相关,与时间呈正相关且可用 $v = A + B \ln t$ 回归方程拟合. 鸡粪中 3 种抗生素在棕壤中的降解增加主要是外源微生物降解,占降解增加总量的 75% ~84%,光降解和化学降解只占很小比例. 在 3 种降解模式中,微生物对四环素降解作用最大,而光降解则对金霉素降解效果最强,且随着培养时间的延长,微生物和化学降解作用逐渐增强,而光解作用逐渐减弱.

关键词: 四环素; 土霉素; 金霉素; 鸡粪; 棕壤

文章编号: 0253-2468(2011)05-1039-06　　**中图分类号**: X53　　**文献标识码**: A

Dynamics and mechanism of degradation of three tetracycline antibiotics from chicken feces in brown soil

ZHANG Jian, GUAN Lianzhu*, YAN Li

College of Nartural Resources and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866

Received 14 December 2010; **received** in revised form 10 January 2011; **accepted** 12 January 2011

Abstract: An indoor incubation simulation was carried out to explore the concentration dynamics of three tetracycline antibiotics from chicken feces, and the mechanisms of degradation were investigated as well. The three tested antibiotics were tetracycline(TTC), oxytetracyline(OTC) and chlorotetracycline(CTC). According to the results, the concentration of all treatments rapidly declined initially, then slowed down and became steady. Both the degradation rate and degradation percentage were significantly different for different antibiotics with different concentrations($p < 0.05$). At day 180 the degradation percentage was in the order CTC > OTC > TTC, and the highest degradation percentages reached 85.37%、84.06% and 58.54% respectively. The half-lives of CTC、OTC and TTC were 17.43 d、31.32 d and 49.48 d. The degradation percentage was negatively correlated with the amount of chicken feces used and positively correlated with incubation time ($v = A + B \ln t$). Microbiological from feces decomposition played an important role and accounted for 75% ~84% of the degradation, while photo-degradation and chemo-degradation only accounted for a small portion. Among the three degradation modes, microbial degradation was the strongest for OTC and photodegradation was strongest for CTC. With the extension of incubation time, microbial and chemical degradation increased and photodegradation decreased.

Keywords: tetracycline; oxytetracycline; chlortetracycline; chicken feces; brown soil

1　引言(Introduction)

为了预防动物疾病和促进动物机体生长,很多饲养者盲目地大量使用抗生素作为畜禽饲料添加剂. 近年来,抗生素类药物的土壤环境污染问题在国际上引起了普遍关注(Glen,2003; 陈昇,2008; 武庭瑄,2009). 在兽用抗生素中,四环素类抗生素是使用最广泛和用量最大的一类抗生素(万莹等,2010). 四环素(Tetracycline, TTC)、土霉素(Oxytetracyline, OTC)、金霉素(Chlorotetracycline,

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40901259)
Supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 40901259)
作者简介: 张健(1982—),女,博士; * 通讯作者(责任作者),E-mail: glz1960@163.com
Biography: ZHANG Jian(1982——),female, Ph. D.; * **Corresponding author**, E-mail: glz1960@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

CTC)同属于四环素类抗生素药物(Tetracyclines,TCs),是由链霉菌产生的一类具有质优价廉、广谱性特点的抗生素(匡光伟等,2007; 鲍艳宇等,2010),动物饲喂四环素后,有 25% ~ 75%(Gavalchin *et al*,1994; Feinman *et al*,1978; Addison *et al*,1984)甚至 70% ~90%(Jemba,2002; Halling,2000)被排放到粪便废弃物中. 我国约 80% 的规模化养殖场缺乏必要的污染治理设施,大量畜禽粪便难以及时消纳,畜禽粪便就会不经处理直接施用,造成土壤和水体的严重污染(国家环境保护总局自然生态司,2002). 随畜禽粪便进入土壤的四环素类抗生素在土壤中的留存与分解状况不但可以预示这类抗生素的环境风险,而且可能影响作物的生长状况. 目前研究主要集中在四环素类抗生素在某种畜禽粪便中的降解情况(匡光伟等,2007; 沈颖等,2009; 张慧敏等,2008; 张树清等,2006; 王冉等,2009)或在土壤中的吸附解吸情况(刘新程等,2009; 齐会勉等,2009; 孙刚等,2010),但关于畜禽粪便中所含的四环素类抗生素进入土壤后的动态变化情况还鲜见报道. 因此本试验通过室内模拟培养试验研究不同用量鸡粪中所含 TTC、OTC、CTC 进入棕壤后含量的动态变化规律,并探讨其含量变化的机制,为畜禽粪便的合理利用提供依据.

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 供试材料

供试土壤采自辽宁沈阳天柱山,为发育于黄土母质上的典型棕壤,其基本理化性状为: 有机质 19.92 $g\cdot kg^{-1}$、全氮 0.93 $g\cdot kg^{-1}$、全磷 0.52 $g\cdot kg^{-1}$、碱解氮 88.21 $mg\cdot kg^{-1}$、速效磷 28.29 $mg\cdot kg^{-1}$、速效钾 67.5 $mg\cdot kg^{-1}$、pH = 6.3.

供试鸡粪采自沈阳市附近大型集约化畜禽养殖场,经风干后,粉碎使用. 基本理化性状为: pH = 7.03、有机质 325.3 $g\cdot kg^{-1}$、全氮 34.21 $g\cdot kg^{-1}$、C/N 比 9.51、全磷 7.88 $g\cdot kg^{-1}$、四环素 102.68 $mg\cdot kg^{-1}$、土霉素 69.49 $mg\cdot kg^{-1}$、金霉素 87.23 $mg\cdot kg^{-1}$.

2.2 试验设计

2.2.1 不同用量鸡粪中所含四环素类抗生素在棕壤中的动态变化 试验共设置 5 个处理,除空白对照外,其余为每 kg 土中分别施入鸡粪 10 g、30 g、50 g、70 g,分别用 A1,A3,A5,A7 表示.

试验采用室内模拟培养,根据试验设计分别将鸡粪与供试土壤(4 kg)混拌均匀,放入直径 28 cm、高 20 cm 的塑料盆中,置于室内,保持室温培养,在培养期内保持土壤含水量在 65% 左右,在培养的第 0、5、10、20、30、40、50、60、90、120、150、180 d 采样,分别测定 CTC、TTC、OTC 含量. 试验采用完全随机排列设计,每个处理重复 3 次.

2.2.2 四环素类抗生素在棕壤中消解途径及原因分析 CTC 在土壤中消解途径的研究试验分 3 个处理,分别为灭菌避光处理、未灭菌避光处理、未灭菌光照处理. 称取 3 份等量的土样,加入等量鸡粪进行培养,处理需经过高温高压灭菌,避光处理置于恒温培养箱 22.5 ℃培养; 光照处理置于恒温光照培养箱 22.5 ℃培养,土层厚 10 cm,昼/夜光照时间为 14 h/10 h. 在培养期内每 5 d 取样(灭菌处理采样在无菌操作台上进行,尽量保持其无菌状态),测定其 CTC 含量,每个处理重复 3 次.

TTC、OTC 与等浓度纯品抗生素土壤中消解途径研究的试验设计同 CTC.

2.3 研究方法

CTC、TTC、OTC 含量测定采用 SPE-HPLC 法分析(孙刚等,2010).

CTC 对照品(纯度 99.9%),OTC 对照品(纯度 88.2%),TTC 对照品(纯度 97.5%),购于中国药品生物检定所. 高效液相色谱(LC-2010-A HT),配 2487 紫外检测器,AgilentEclipseXDB-C8(4.6 mm × 150 mm,5 μm)色谱柱,进样量为 20μL,流动相为 0.01 $mol\cdot L^{-1}$,草酸: 乙腈: 甲醇(79:10.5:10.5,体积比),流速 1.0 $mL\cdot min^{-1}$,紫外检测波长 268 nm,每个处理重复 3 次.

2.4 数据处理

所有试验数据采用 Excel、SPSS13.0 进行计算和统计分析.

3 结果(Results)

3.1 不同用量鸡粪处理棕壤中四环素类抗生素含量的变化情况

不同用量鸡粪处理棕壤培养 180 d 的动态变化情况如图 1 所示,试验结果表明 4 个用量鸡粪处理棕壤中 TTC、OTC、CTC 在不同培养期内的降解效果不同,但总体动态变化趋势基本一致,均表现为培养前期迅速下降,中后期逐渐平稳的规律. 在培养 180 d 时,鸡粪中抗生素在棕壤中的降解顺序为 CTC > OTC > TTC,低用量处理在培养前期,含量变化已不明显,高用量处理的含量则持续减少,但降幅有

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

所减缓,且用量越高,变化规律越明显. 不同培养时期各处理的含量差异达显著水平($p < 0.05$). 可见鸡粪中所含 TTC、OTC、CTC 在棕壤中分解达到平稳时所需的时间与鸡粪用量呈正相关.

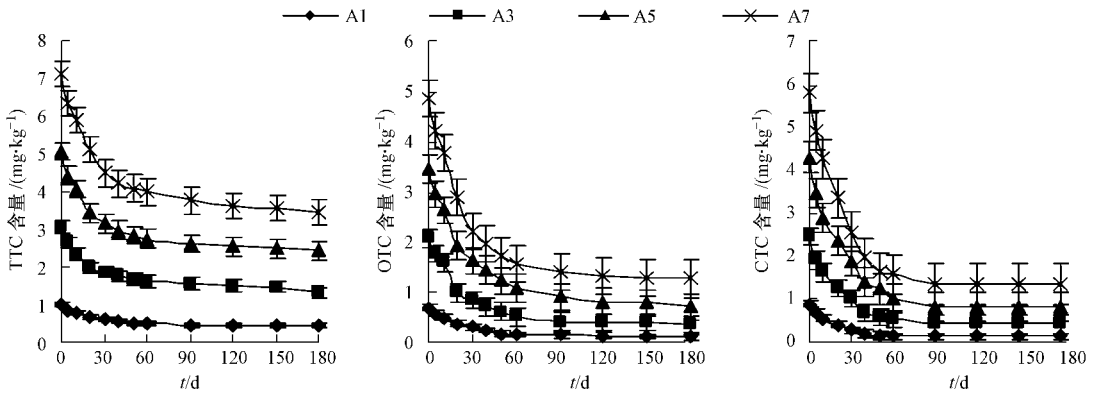

图 1　不同用量鸡粪处理棕壤中四环素类抗生素
(注: 所有图表数据均为该处理减去空白对照的值)

Fig. 1　Dynamics of TCs concentrations for different amounts of chicken feces in brown soil

由于鸡粪中所含四环素的种类和数量有所差异,所以鸡粪处理棕壤中 TCs 的初始降解的变化速率差异不明显. 培养 5d 时,鸡粪处理棕壤中 TTC、OTC、CTC 变化速率最大,从 A1 ~ A7 分别为 0.03 ~ 0.15 mg·kg^{-1}·d^{-1}、0.03 ~ 0.18 mg·kg^{-1}·d^{-1}、0.04 ~ 0.17 mg·kg^{-1}·d^{-1}. 随着培养时间的延长,TTC、OTC、CTC 变化速率均呈下降趋势. 各处理不同培养时期的变化速率呈明显的规律,变化速率同鸡粪用量呈正比,且差异达显著水平($p < 0.05$),同种抗生素不同处理间均表现为: A7 > A5 > A3 > A1.

从图 2 可以看出,培养 180 d 时,所有处理棕壤中 CTC、OTC、TTC 的降解率均与鸡粪用量大小呈负相关,与培养时间呈正相关,可较好的用 $v = A + B\ln t$ 回归方程拟合. 其中 A1 降解率最大,分别为 85.37%、84.06% 和 58.54%; A7 降解率最小,分别为 76.82%、73.92%、51.45%. 180 d 时 CTC 的降解率略高于 OTC,而 TTC 的降解率却远小于其他,且鸡粪用量越高,同一处理棕壤中三者减少率相差越大. 鸡粪中 3 种抗生素在棕壤中降解大小顺序 CTC > OTC > TTC,平均半衰期分别为 20.23 d、26.80 d 和 63.24 d. 且鸡粪用量越大,TTC、OTC、CTC 在土壤中半衰期越长. 可见,土壤中 TCs 的降解率和半衰期与抗生素种类和鸡粪施入量有关.

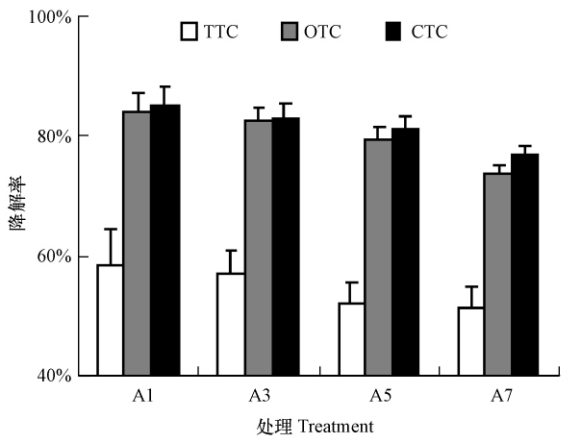

图 2　不同用量鸡粪处理棕壤中四环素类抗生素的降解率

Fig. 2　Percentage of TCs degradation by different amounts of chicken feces in brown soil

3.2　3 种四环素类抗生素在棕壤中消解途径的研究

由图 3 看出,鸡粪中 3 种四环素类抗生素进入棕壤后不能被完全降解. 灭菌和避光处理显著减缓了 CTC、OTC、TTC 在土壤中的降解率. 本试验条件下,在 50 d 培养期内,3 种 TCs 的降解顺序为 CTC > OTC > TTC,说明进入土壤的 3 种 TCs 中 CTC 最易被降解. 可以看出 CTC、OTC、TTC 在棕壤中的变化趋势基本一致,但随时间的变化幅度有所差别.

灭菌避光处理 CTC、OTC、TTC 的降解率只有 6.80%、6.80%、6.22%; 而未灭菌避光处理 CTC、OTC、TTC 在棕壤中降解了 80.02%、84.02%、79.02%,相比灭菌避光处理,3 种 TCs 在土壤中的降解率有很大程度的提高,说明外源微生物对抗生素的降解有显著的作用. 未灭菌光照处理 CTC、OTC、TTC 分别被降解了 96.67%、92.67%、86.67%. 说明光照对减少棕壤中 TCs 含量有一定的作用. 但 TCs 种类不同,不同处理的降解作用有较明显的差异.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

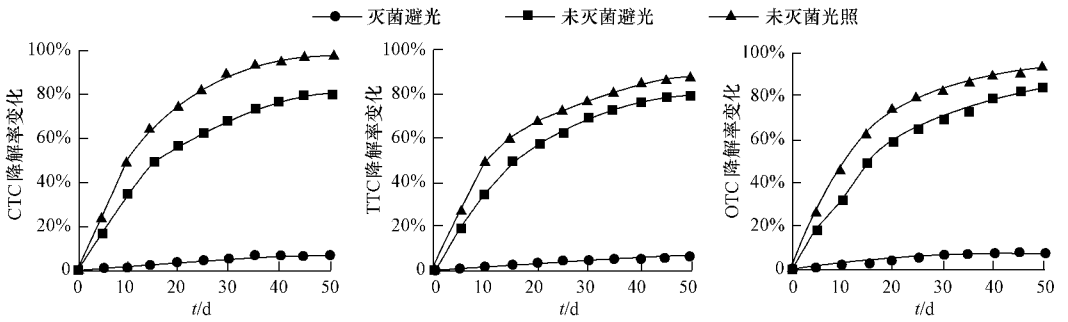

图 3 不同条件对鸡粪中 CTC、TTC、OTC 在棕壤中的降解率变化的影响

(注: 降解率变化为各条件下鸡粪与纯品对照处理的差值变化率)

Fig. 3 Dynamics of degradation of CTC, TTC and OTC in soil with various treatments

未灭菌光照处理的降解率称为降解总量,可以算出培养 50 d 时,CTC、OTC、TTC 在棕壤中的降解过程中,外源微生物降解分别占到降解总量的 75.74%、83.32%、84.02%;光降解作用所占的比例为 17.22%、9.33%、8.82%;而其它作用(主要是化学降解)所占的比例相当,均只有 7%. 说明引起 TCs 进入棕壤后降解增加是以处源微生物为主,光降解作用为辅,且随着培养的进行,外源微生物的降解作用逐渐增强,CTC、OTC、TTC 分别提高了 11.12%、20.81%、17.89%,光降解作用逐渐减弱,对应分别降低了 14.54%、25.06%、21.97%,而其它作用(主要是化学降解)作用也略有提高,分别为 3.43%、4.25%、4.08%. 3 种四环素类抗生素中,外源微生物对 TTC 的降解作用最大,光照对 CTC 的降解作用最强. 但抗生素种类不同,外源微生物与光降解作用效果不同,降解率变化也有一定的差别.

4 讨论(Discussion)

本试验着重研究了不同用量鸡粪中所含 3 种四环素类抗生素进入棕壤后含量的动态变化及其在棕壤中消解途径有何差异. 在本试验条件下鸡粪中所含 TCs 在棕壤中的降解顺序为 CTC > OTC > TTC,可能由于弱酸性的鸡粪有利于 CTC 的 C6 位的羟基和反式位 C5 上的氢结合,导致消除反应,而 TTC 降解慢于 TTC 存在的 C5 羟基与 C4 二甲氨基之间形成氢键,4 位的差向异构难于其它抗生素. 张树清(2006)在添加了菌剂与纯品抗生素的畜禽粪便高温堆肥过程中得到 TCs 的降解率是四环素 TTC > CTC > OTC,TCs 的降解性能的强弱主要取决于其本身的结构和理化性质. 沈颖(2009)指出外源 TCs 在猪粪中降解率为 OTC > TTC > CTC,匡光伟(2007)得出外源 OTC 在鸡粪中的降解率大于 CTC,这些与本试验结论有所差别. 说明四环素类抗生素的来源、处理方式及所处介质不同,其降解能力也不同.

鸡粪进入棕壤后 3 种 TCs 含量随时间的变化前期较明显,90d 后含量基本稳定且含量趋于稳定所需时间与鸡粪用量呈负相关,说明虽然鸡粪进入棕壤后在短时期内抗生素会有较大幅度的降解,但还有一部分会残留到土壤中,且施入量越大,残留量就越大,对土壤环境的危害就越重. 可能是由于进入土壤的抗生素量大,抑制了微生物的繁殖和活力,产生了毒害作用,从而导致对 TCs 降解能力的下降. 畜禽粪便中所含的四环素类抗生素也已经远远地超过了安全标准,未经处理的畜禽粪便年复一年地施于农田,将会增加四环素类抗生素在土壤中的累积,并且长期持留(王春红等,2010; Donoho, 1984). 因此,要尽量减少进入土壤的四环素类抗生素的量.

抗生素在环境中的降解一般包括 3 种降解方式: 微生物降解、表面光降解和化学水解. 本试验证明,灭菌和避光处理明显减缓了 3 种 TCs 的降解速率,说明鸡粪中 TCs 的降解主要以外源微生物降解和光解为主,化学水解为辅. 前人也指出 OTC、TTC、CTC 均对阳光敏感,有光解特性,但对光照敏感度的强弱还待进一步研究(鲍艳宇等,2009a; 王冉等,2009). 本试验得出抗生素在土壤中的外源微生物降解顺序为 CTC > OTC > TTC,光解速率为 TTC > CTC > OTC,且随着时间的延长,外源微生物的降解作用越强,光解作用越弱. 这可能由于光照只能作用于土壤表面,作用效果有限,且与抗生素的理化性质有关(鲍艳宇等,2009b). 四环素类抗生素在化学结构上都属于氢化并四苯环衍生物,由放线菌

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

属产生. TCs 母核由 A、B、C、D 4 个环组成,主要官能团包括 C4 位的二甲氨基、C2 位的酰胺基、C10 位的酚羟基等. 在避光条件下由于这些基团破坏很少. 以往的兽药机理研究也证明,TCs 不稳定的 A 环手性原子 C4 和 C 环 C6 的羟基易发生差向异构和降解反应(李俊锁等,2002) . 所以光照对 TCs 的降解有一定促进的作用,且试验得出 TTC 的光敏性最强,OTC 则最弱. 因此,增加微生物数量是减少土壤中抗生素含量的有效手段,外源添加有益降解菌剂有助于抗生素药物残留的去除.

5　结论(Conclusions)

1) 鸡粪所含 3 种四环素类抗生素进入棕壤后含量均呈现“L”的变化规律,但变化速度和幅度因粪肥种类和用量而异,在培养 180 d 时,鸡粪中四环素类抗生素在棕壤中的降解顺序为 CTC > OTC > TTC. 抗生素种类、来源及存在介质影响其降解率.

2) 在一定范围内,鸡粪中所含 CTC、OTC、TTC 在棕壤中的降解率与施入量呈一定的负相关,与时间呈正相关. 低用量处理的降解效果明显好于高用量处理,因此,要科学合理的施用鸡粪,尽量减少进入土壤中抗生素的数量.

3) 四环素类抗生素随畜禽粪便进入土壤中,外源微生物降解和光降解均对其产生显著作用,在棕壤中的外源微生物降解顺序为 CTC > OTC > TTC,光降解作用为 TTC > CTC > OTC,且随着时间的延长,外源微生物的降解作用逐渐增强,光解作用逐渐减弱. 外源微生物对四环素类抗生素的降解作用远大于其它作用.

责任作者简介: 关连珠(1960—) ,男,博士,教授,博士生导师,主要从事土壤肥力、土壤化学和土壤环境与生态等方面的研究. E-mail: glz1960@ 163. com.

参考文献(References) :

Addison J B. 1984. Antibiotics in sediments and run-off water from feedlots [J] . Residu Reviews, 92: 1-28

鲍艳宇,周启星,万莹,等. 2010. 3 种四环素类抗生素在褐土上的吸附和解吸 [J] . 中国环境科学,30(10) : 1383-1388

Bao Y Y, Zhou Q X, Wan Y, *et al*. 2010. Adsorption and desorption of three tetracycline antibiotics in cinnamon soils of China [J] . China Environmental Science, 30(10) : 1383-1388 (in Chinese)

鲍艳宇,周启星,张浩. 2009a. 阳离子类型对土霉素在 2 种土壤中吸附-解吸影响 [J] . 环境科学,30(2) : 551-556

Bao Y Y, Zhou Q X, Zhang H. 2009a. Influences of cation species on adsorption and desorption of oxytetracycline in two typical soils of China [J] . Environmental Science, 30(2) : 551-556 (in Chinese)

鲍艳宇,周启星,万莹,等. 2009b. 土壤有机质对土霉素在土壤中吸附-解吸的影响 [J] . 中国环境科学,29(6) : 651-655

Bao Y Y, Zhou Q X, Wan Y. *et al*. 2009b. Effect of soil organic matter on adsorption and desorption of oxytetracycline in soils [J] . China Environmental Science, 29(6) : 651-655 (in Chinese)

Boyd G R, Reemtsma H, Grimm D A, *et al*. 2003. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in surface and treated waters of Louisiana, USA and Ontario, Canada [J] . Science of the Total Environment, 311: 135-149

陈昇,张劲强,钟明,等. 2008. 磺胺类药物在太湖地区典型水稻土上的吸附特征 [J] . 中国环境科学,28(4) : 309-312

Chen H, Zhang J Q, Zhong M, *et al*. 2008. Adsorption of sulfonamides on paddy soil of Taihu Lake regeion [J] . China Environmental Science, 28(4) : 309-312 (in Chinese)

Donoho A L. 1984. Biochemical studies on the fate of monensin in animals and in the environment [J] . J Anim Sci, 58(6) : 1528-1539

Feinman S E, Matheson J C. 1978. Draft environmental impact statement: Subtherapeutic antibacterial agents in animalfeeds [R] . Washington, D. C.: Food and Drug Administration Department of Health, Education and Welfare Report, Food and Drug Administration. 372

Gavalchin J, Katz S E. 1994. The persistence of faecal-borne antibiotics in soil [J] . Journal of AOAC International, 77 (2) : 481-485

Halling-Sørensen B. 2000. Algal toxicity of antibacterial agents used in intensive farming [J] . Chemosphere, 40: 731-739

Jemba P K. 2002. The potential impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review [J] . Ecosyst Environ, 93: 267-278

匡光伟,孙志良,陈小军,等. 2007. 四环素类抗菌药物在鸡粪中的降解研究 [J] . 农业环境科学学报,26(5) : 1784-1788

Kuang G W, Sun Z L, Chen X J, *et al*. 2007. Degradation of tetracyclines in chicken feces [J] . Journal of Agro-Environment Science, 26(5) : 1784-1788 (in Chinese)

李俊锁,邱月明,王超. 2002. 兽药残留分析 [M] . 上海: 上海科学技术出版社

Li J S, Qiu Y M, Wang C. 2002. Analysis of Animal Drug Residue [M] . Shanghai: Shanghai Science and Technology Press (in Chinese)

刘新程,董元华. 2009. 金霉素在不同耕作土壤中的吸附-解吸行为 [J] . 土壤学报,46(5) : 861-868

Liu X C, Dong Y H. 2009. Adaorption-desorption of chlortetracycline in various cultivated soils in China [J] . Acta Pedologica Sinica, 46(5) : 861-868 (in Chinese)

齐会勉,吕亮,乔显亮. 2009. 抗生素在土壤中的吸附行为研究进展 [J] . 土壤,41(5) : 703-708

Qi H M, Lü L, Qiao X L. 2009. Progress in sorption of antibiotics to soils [J] . Soils, 41(5) : 703-708 (in Chinese)

沈颖,魏源送,郑嘉熹,等. 2009. 猪粪中四环素类抗生素残留物的生物降解 [J] . 过程工程学,9(5) : 963-968

Shen Y, Wei Y S, Zheng J X, *et al*. 2009. Biodegradation of tetracycline antibiotics residues in swine manure [J] . The Chinese Journal of Process Engineering, 9(5) : 963-968 (in Chinese)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

国家环境保护总局自然生态司. 2002. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策 [M]. 北京: 中国环境科学出版社

State Environmental Protection Administration Department of Nature and Ecology Conservation. 2002. On Agricultural Non-point Source Pollution Caused by the Development of Animal Husbandry in China District and Controlling Countermeasures [M]. Beijing: China Environmental Science Press(in Chinese)

孙刚,袁守军,彭书传. 2010. 固相萃取-高效液相色谱法测定畜禽粪便中的土霉素、金霉素和四环素 [J]. 环境化学,29(4):739-742

Sun G, Yuan S J, Peng S C. 2010. Determination of oxytetracycline, tetracycline, and chlortetracycline in manure by SPE-HPLC method [J]. Environmental Chemistry, 29(4): 739-742 (in Chinese)

万莹,鲍艳宇,周启星. 2010. 四环素在土壤中的吸附与解吸以及镉在其中的影响 [J]. 农业环境科学学报,29(1):85-90

Wan Y, Bao Y Y, Zhou Q X. 2010. Adsorption and desorption of tetracycline and effect of cadmium on these in two typical soils of China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 29(1): 85-90 (in Chinese)

王春红,梁巍,薛爱芳. 2010. 兽药抗生素在土壤环境中的行为 [J]. 华中农业大学学报, 29(2): 245-250

Wang C H, Liang W, Xue A F. 2010. Advances on the performance of veterinary antibiotics in soil [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 29(2): 245-250 (in Chinese)

王冉,魏瑞成,刘铁铮,等. 2009. 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,32 (1): 85-89

Wang R, Wei R C, Liu T Z, *et al*. 2009. Residue and degradation kinetics of chlortetracycline in chicken excreta [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 32 (1): 85-89 (in Chinese)

武庭瑄,周敏,万建新,等. 2009. 膨润土和高岭土对四环素吸附的影响 [J]. 农业环境科学学报,28(5):914-918

Wu T X, Zhou M, Wang J X, *et al*. 2009. Influence of montmorillonite and kaolinite on tetracycline adsorption [J]. Journal of Agro-Environment Science, 28(5): 914-918(in Chinese)

张慧敏,章明奎,顾国平. 2008. 浙北地区畜禽粪便和农田土壤中四环素类抗生素残留 [J]. 生态与农村环境学报, 24 (3): 69-73

Zhang H M, Zhang M K, Gu G P. 2008. Residues of tetracyclines in livestock and poultry manures and agricultural soils from North Zhejiang Province [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 24 (3): 69-73 (in Chinese)

张树清,张夫道,刘秀梅,等. 2006. 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,39(2):337-343

Zhang S Q, Zhang F D, Liu X M, *et al*. 2006. Degradation of antibiotics and passivation of heavy metals during thermophilic composting process [J]. Scientia Agricultura Sinica, 39 (2): 337-343 (in Chinese)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net