

施用含四环素类抗生素鸡粪对玉米生长的影响及其残留特征

秦俊梅¹, 熊华烨¹, 李兆君^{2*}

(1. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801;

2. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所 农业部植物营养与养分循环重点实验室, 北京 100081)

摘要:【目的】了解鸡粪中四环素类抗生素(四环素、土霉素和金霉素)对玉米生长发育的影响以及玉米不同部位对抗生素吸收的累积效应。【方法】以2种鸡粪为研究对象进行了玉米盆栽试验,鸡粪Ⅰ为饲料中不添加兽药四环素、土霉素和金霉素排出的鸡粪,鸡粪Ⅱ为鸡饲料中人为混合加入兽用四环素、土霉素和金霉素排出的鸡粪,设置3种鸡粪添加量,共计7个处理,其中,CK为对照即不施鸡粪,T1处理为添加鸡粪Ⅰ6.4 g/kg,T2处理为添加鸡粪Ⅱ6.4 g/kg,T3处理为添加鸡粪Ⅰ12.8 g/kg,T4处理为添加鸡粪Ⅱ12.8 g/kg,T5处理为添加鸡粪Ⅰ25.6 g/kg,T6处理为添加鸡粪Ⅱ25.6 g/kg。【结果】①T2、T4、T6处理的玉米株高、根长、生物量和CCI分别比T1、T3、T5处理低,且T4与T3处理、T6与T5处理差异显著($P<0.05$);②玉米根、茎、叶和籽粒各部位残留了四环素,玉米根、茎和叶残留了土霉素,未迁移至籽粒中;玉米茎、叶和籽粒残留了金霉素,未在根部残留;玉米植株不同部位对四环素、金霉素的残留量的大小顺序均为:籽粒<茎<叶,而玉米对土霉素吸收在添加鸡粪Ⅰ处理中表现为:叶>茎>根,在添加鸡粪Ⅱ的处理中则为:叶>根>茎;③玉米吸收抗生素的总量表现为:四环素>金霉素>土霉素;④玉米植株对金霉素的转运系数大于相同条件下土霉素和四环素;⑤土壤抗生素的残留特征总趋势为四环素>土霉素>金霉素。【结论】同一鸡粪添加量,抗生素质量分数不同时,抗生素对玉米生长具有抑制作用,而随着鸡粪量的增加,不仅能减少抗生素对玉米生长的抑制作用,而且还会使玉米器官中四环素、金霉素的残留率减弱。

关键词: 抗生素; 鸡粪; 玉米; 残留特征

中图分类号:S144.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0524

秦俊梅,熊华烨,李兆君. 施用含四环素类抗生素鸡粪对玉米生长的影响及其残留特征[J]. 灌溉排水学报,2018,37(9):22-28.

0 引言

抗生素作为具有生物活性的新型污染物受到了广泛关注^[1],其产生的环境污染及其生态毒理效应已成为我国乃至全球所面临的重大环境问题之一。兽用抗生素经动物摄入后难以被动物全部吸收,约30%~90%以母体化合物的形式排出^[2]。抗生素还会以代谢产物的形式排出体外,排出的代谢产物仍然具有活性,并且在环境中,某种抗生素的代谢产物还可以转化为原药状态^[3]。有些抗生素的代谢产物在环境中的危害甚至大于母体化合物^[4]。国内外关于环境中抗生素的残留已有一些报道,主要集中在地表水、地下水、海水底泥、粪肥和农田土壤中^[5-6]。四环素类抗生素(Tetracyclines, TCs),其中包括土霉素(Oxytetracycline, OTC)、四环素(Tetracycline, TC)、金霉素(chlortetracycline, CTC),在我国不同地区的农田中经常监测到^[7]。张慧敏等^[8]在浙北地区不同农田表层土壤检测出了土霉素、四环素和金霉素,平均残留量分别为0.350、0.107、0.119 mg/kg^[9-10]。Liguoro等^[11]以60 mg/(kg·d)土霉素的量对50头农场喂养的西门塔尔牛进行5 d口服试验,此后对其粪肥中土霉素质量分数进行测定,土霉素在粪肥中的半衰期为30 d,在粪肥熟化5个月后仍然检测到残留的土霉素,质量分数达820 μg/kg。张树清等^[12]发现在32个猪粪和23个鸡粪样品中土霉素的平均质量分数分别为9.109 mg/kg和1.197 mg/kg,且在猪粪中检测到最高量可达134.2 mg/kg。抗生素可引起人类慢性或急性毒性反应或过敏反应,如过敏、荨麻疹、过敏性休克、支气管哮喘^[13]。抗生素可通过抑制光合作用影响植物生

收稿日期:2017-08-31

基金项目:山西省科技攻关项目(20140311008-4)

作者简介:秦俊梅(1974-),女,副教授,主要从事土壤环境研究。E-mail: sxaushr@163.com

通信作者:李兆君(1974-),男,研究员,主要从事农业环境污染的机理及修复。E-mail: zjli@caas.ac.cn

长,使叶片长度减少、根数减少和活性氧(ROS)水平增加^[14]。四环素类抗生素结构中含有多个可离解性官能团,表现为酸碱两性化合物^[15]。

土壤是抗生素在环境中的最终归宿之一,施肥是耕地土壤中抗生素的主要来源之一^[16]。而四环素类抗生素在畜禽养殖业中大量生产和使用,使其在土壤中残留量高,出现频率大,因其相对稳定的化学性质,故能够在土壤中长期存在。目前,国内外学者主要对土壤中抗生素的残留量及其环境行为等开展了大量研究,然而,关于抗生素在作物体内迁移、转化、分布特征鲜见报道,特别是在农作物可食部分的富集及其影响机制方面的报道较少。为此,以含四环素类抗生素鸡粪为研究对象,选用玉米为试验作物,分析四环素类抗生素在玉米植株各部位的迁移、分布特点,研究施用含四环素类抗生素鸡粪对玉米生长及其对品质的影响,以为鸡粪的合理施用提供理论支持,同时也为抗生素污染土壤中的农作物的风险评价提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在山西省太谷县山西农业大学资源环境学院大棚中进行,地理位置为37°42'40"N,112°57'68"E。该地区多年平均气温为9.8℃,7月最热,月平均气温23.6℃,1月最冷,月平均气温为-6~2℃,年平均降雨量458 mm,无霜期175 d,全年日照时间约2 500 h。

1.2 试验设计

盆栽试验于2016年4月12日进行,供试土壤为石灰性褐土,采自山西省太谷县农田耕层土壤(0~20 cm),土壤的基本理化性状为:pH值为8.61,阳离子交换量为11.23 cmol/kg,有机质量为36.4 g/kg,碱解氮量为32.62 mg/kg,有效磷量为28.88 mg/kg,有效钾量为150.80 mg/kg,土壤机械组成为黏粒(<0.001 mm)占47.8%、粉粒(0.001~0.01 mm)占34.6%、砂粒(>0.01 mm)占17.6%。盆栽试验设计为二因素三水平,鸡粪添加种类为I、II(鸡粪I为鸡饲料中未加入四环素、土霉素和金霉素排出的鸡粪,鸡粪中抗生素来自加工饲料的原材料中;鸡粪II为在鸡饲料中人为加入兽药四环素、土霉素和金霉素排出的鸡粪,鸡饲料中四环素、土霉素和金霉素的添加量参考兽药手册^[17]),鸡粪添加量为6.4、12.8、25.6 g/kg,共计7个处理,分别为T1处理为添加鸡粪I 6.4 g/kg,T2处理为添加鸡粪II 6.4 g/kg,T3处理为添加鸡粪I 12.8 g/kg,T4处理为添加鸡粪II 12.8 g/kg,T5处理为添加鸡粪I 25.6 g/kg,T6处理为添加鸡粪II 25.6 g/kg,每个处理3个重复,以不添加鸡粪的处理作为对照(CK)。盆栽采用底部内径14 cm、上部内径19 cm、高25 cm的塑料盆,每盆装土12.5 kg,随机排列。将一定量的鸡粪添加到过1 mm筛的石灰性褐土中混匀,平衡24 h后,再与过2 mm滤筛的褐土以及化肥混合均匀后装盆。盆栽所用化肥为CO(NH₂)₂、Ca(H₂PO₄)₂和K₂SO₄(均为分析纯),其施用量分别为0.15 g/kg的CO(NH₂)₂、0.05 g/kg的Ca(H₂PO₄)₂和0.1 g/kg的K₂SO₄。玉米采用直播方式,3叶期间苗,每盆保留1株。8月18日盆栽收割,玉米茎、叶、籽粒同时放入烘箱,烘干后称质量。供试前土壤及鸡粪中四环素、土霉素及金霉素的质量分数见表1。

表1 供试土壤和鸡粪抗生素的质量分数 mg/kg

供试材料	四环素	土霉素	金霉素
土壤	0.08	0.06	0.09
鸡粪I	9.48	3.05	3.87
鸡粪II	192.57	58.99	36.46

1.3 测定项目与方法

土壤、鸡粪和玉米根、茎、叶、籽粒均采用高效液相色谱仪分析。玉米样品中的抗生素采用超声提取-固相萃取预处理和高效液相色谱-串联质谱(HPLC-MS/MS)分析法测定,用乙腈-硫酸钠-乙酸钠-Na₂EDTA溶液/超声波进行提取,用正己烷液-液萃取,用旋转蒸发法浓缩,并用乙腈-0.086 mol/L磷酸(体积比为15:85)定容至5 mL,隔夜沉渣,吸取1 mL过0.2 μm滤膜后用HPLC-MS/MS法测定^[18]。土壤和鸡粪中的抗生素均用pH值为4的EDTA-McIlvaine缓冲液提取。缓冲液成分为0.05 mol/L的EDTA、0.06 mol/L的Na₂HPO₄和0.08 mol/L的柠檬酸^[18]。7月12日上午,天气晴朗,利用CCM-200 Chlorophyll II (Content Meter Opti-Sciences, Inc.)测定玉米叶片(主茎叶从上向上数第3片叶子)的叶绿素量指数CCI(Chlorophyll content index)。

1.4 数据处理

数据均采用DPS软件进行处理,方差分析采用LSD多重比较,差异性水平为P<0.05,转运系数=地上部分(茎+叶+籽粒)/地下部分(根)。

2 结果与分析

2.1 四环素类抗生素对玉米株高和根长的影响

由图1可知,玉米各处理的株高和根长均显著高于CK($P<0.05$),且株高和根长均呈现出一致趋势:T5处理>T3处理>T1处理,T6处理>T4处理>T2处理,鸡粪施用量越高对玉米生长的促进作用越大。这可能是由于鸡粪作为有机肥料能够促进玉米的生长。株高和根长在添加相同施用量鸡粪的处理中均出现一致规律,添加鸡粪 I 处理>添加鸡粪 II 处理,说明抗生素在一定程度上抑制玉米的生长,T2处理的株高、根长分别比T1处理降低了8.7%、13.0%,T4处理的株高、根长分别比T3处理降低了12.2%、15.1%,T6处理的株高、根长分别比T5处理降低了15.5%、21.3%,可见抗生素对玉米生长的抑制作用随着鸡粪中抗生素质量分数的增加而增加。主要是由于添加鸡粪 I 处理对土壤微生物的抑制作用小于添加鸡粪 II 处理,尤其是低质量分数抗生素对真菌有促进作用^[19],高质量分数抗生素则产生抑制作用。而且抗生素对根生长的抑制作用大于对株高的抑制,这与前人的研究结果^[11,20]一致。

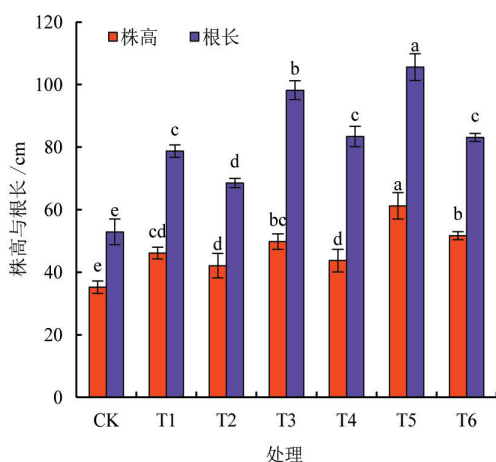


图1 四环素类抗生素对玉米株高和根长的影响

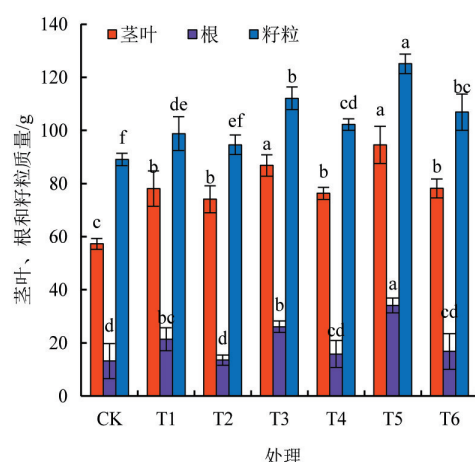


图2 四环素类抗生素对玉米茎叶、根和籽粒质量的影响

2.2 四环素类抗生素对玉米茎叶、根、籽粒质量的影响

由图2可知,添加鸡粪的处理中茎叶、根和籽粒的干质量均高于CK,这说明鸡粪促进了玉米的生长。在添加相同量的鸡粪处理中,根、茎叶和籽粒的干质量都是添加鸡粪 I > 添加鸡粪 II, T2处理的根、茎叶和籽粒干质量分别比T1处理降低了36.92%、5.12%、4.25%, T4处理的根、茎叶和籽粒干质量分别比T3处理降低了39.46%、12.10%、8.83%, T6处理的根、茎叶和籽粒干质量分别比T5处理降低了50.73%、17.34%、14.55%。表明抗生素对玉米的生长会产生抑制作用,抗生素的质量分数越高抑制作用越明显,并且抗生素对玉米根的抑制大于茎叶和籽粒。在添加相同类型的鸡粪处理中,根、茎叶和籽粒干质量都是随着鸡粪加入量的升高而增加,表明鸡粪对玉米生长的促进作用大于抗生素对玉米生长的抑制作用。

2.3 四环素类抗生素对玉米CCI的影响

叶绿素是捕获光能,进行光能转换的基本色素,叶绿素的增加有利于植物捕获较多的光能。由图3可知,各处理间玉米CCI均显著高于CK($P<0.05$),这表明鸡粪能够促进玉米的光合作用。在加入相同施用量的鸡粪处理中CCI与玉米株高、根长以及生物量都表现出相同的趋势,即添加鸡粪 I > 添加鸡粪 II, 这表明抗生素抑制光合作用^[21],与前人研究结果^[22]相似。添加相同类型鸡粪处理中,随着施肥量的增加,玉米CCI也随之增加,说明鸡粪的增加可减少抗生素对玉米CCI的抑制作用。

2.4 不同处理玉米器官中四环素类抗生素的残留特征

2.4.1 不同处理玉米器官中四环素残留特征

由图4可知,各处理玉米不同部位均残留了四环素,其中,T6处理的根、茎、叶和籽粒均高于其他处理,在同一处理中,玉米植株不同部位残留的四环素质量分数由大到小为:叶>茎>籽粒>根,这可能是由于叶是光合作用的场所,其新陈代谢较为旺盛,有利于四环素的积累,而根部吸收四环素的能力低于其他部位。当鸡粪添加量相同时,添加鸡粪 II 处理的玉米茎、叶和籽粒中四环素的质量分数明显高于添加鸡粪 I 的质量分数($P<0.05$),其中四环素残留率在玉米叶最高,T2处理的玉米叶比T1处理高276.5%,T4处理比T3处

理高552.6%, T6处理比T5处理高861.4%, 其次为茎、籽粒和根, 可能随着抗生素量的增加, 四环素更易集中在叶部。当添加鸡粪种类相同, 鸡粪添加量不同时, T3处理的根、茎、叶、籽粒分别比T1处理高26.1%、18.8%、34.3%、19.6%, T5处理的根、茎、叶、籽粒分别比T3处理高5.2%、11.8%、5.8%、10.4%, T4处理的根、茎、叶、籽粒分别比T2处理高45.1%、192.5%、132.8%、53.8%, T6处理的根、茎、叶、籽粒分别比T4处理高25.7%、51.0%、55.9%、92.8%, 可见, 总体上, 在相同类型的鸡粪处理中, 鸡粪施用量越高, 根、茎、叶和籽粒中四环素的增长幅度越小, 说明玉米各部位对四环素的吸收有一定的限制性。

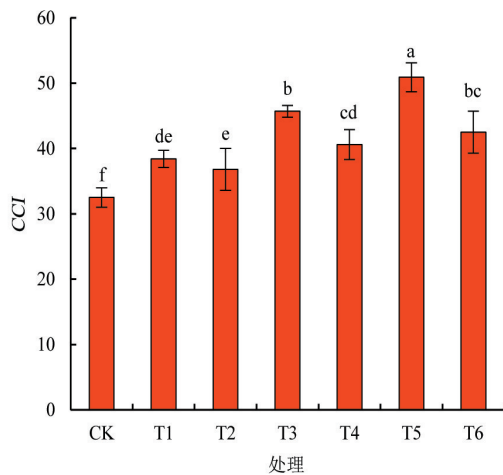


图3 四环素类抗生素对玉米CCI的影响

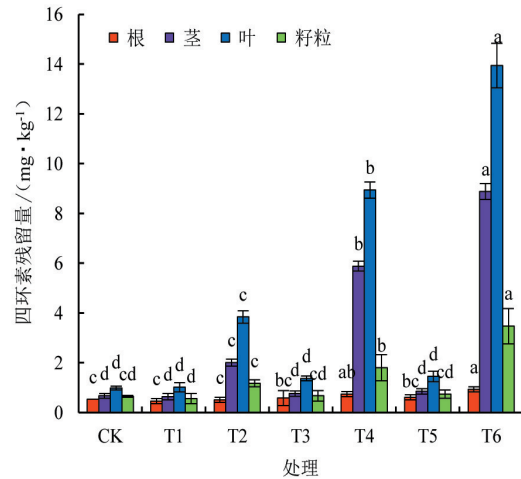


图4 玉米器官中四环素的残留特征

2.4.2 不同处理玉米器官中土霉素质量分数残留特征

由图5可知, 各处理玉米籽粒中均未残留土霉素, 而残留于玉米根、茎、叶中, 添加鸡粪I处理中玉米根、茎、叶的土霉素积累量均为叶>茎>根, 这与四环素的残留趋势相同, 而添加鸡粪II的处理中则为: 叶>根>茎, 鸡粪添加量相同时, 玉米根、茎和叶中土霉素的质量分数在施加鸡粪II的处理中明显高于鸡粪I ($P < 0.05$)。T2处理的玉米根、茎、叶的土霉素残留量分别比T1处理高134.8%、32.4%、31.1%, T4处理的玉米根、茎、叶的土霉素残留量分别比T3处理高139.3%、88.2%、67.8%, T6处理的玉米根、茎、叶的土霉素残留量分别比T5处理高212.9%、164.9%、176.3%, 可看出, 随着抗生素量的增加, 土霉素在玉米体内残留量越高, 这可能是与土霉素的性质有关。可见, 玉米各部位土霉素质量分数的增加幅度随着鸡粪施用量的增加而增加, 这与四环素的处理呈现完全相反的趋势。

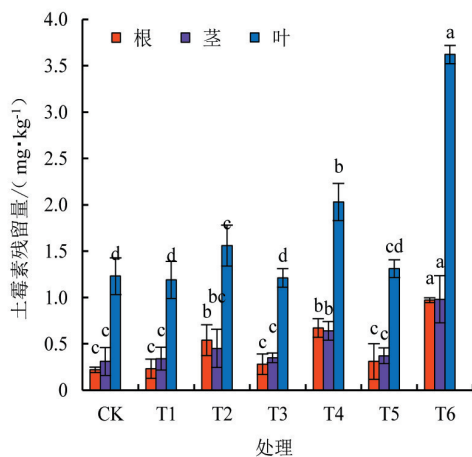


图5 玉米器官中土霉素的残留特征

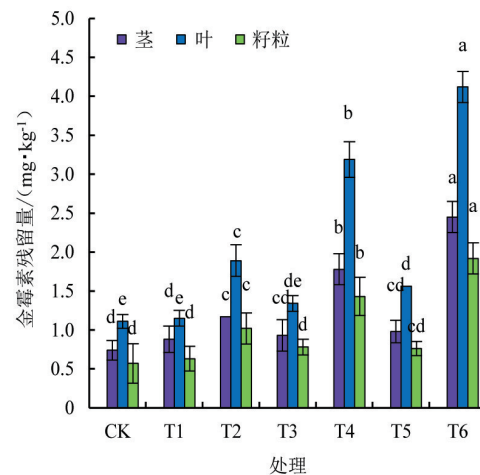


图6 玉米器官中金霉素的残留特征

2.4.3 不同处理玉米器官中金霉素质量分数的残留特征

图6表明, 各处理玉米根部均未残留金霉素, 而迁移至玉米茎、叶和籽粒中, 相同处理中, 玉米茎、叶、籽粒的金霉素积累量均为叶>茎>籽粒, 这与四环素以及鸡粪II处理的土霉素表现出相同的趋势。当鸡粪添加量相同时, 玉米各部位金霉素的质量分数趋势与四环素和土霉素相同均为鸡粪II>鸡粪I, 说明金霉素越多的处理, 其残留量也最多, 且玉米茎、叶、籽粒的T1处理与T2处理, T3处理与T4处理, T5处理与T6处

理均达到显著水平($P<0.05$),T2处理的玉米茎、叶、籽粒的金霉素残留量分别比T1处理高33.0%、64.3%、61.9%,T4处理的玉米茎、叶、籽粒的金霉素残留量分别比T3处理高91.4%、138.1%、83.3%,T6处理的玉米茎、叶、籽粒的金霉素残留量分别比T5处理高150.0%、164.1%、152.6%,说明随着鸡粪量的增加金霉素在玉米体内残留量越高,其中金霉素残留率在玉米叶部最高,其次为茎和籽粒,这与四环素和土霉素的趋势不同。在相同类型的鸡粪处理中,施用量越大,其玉米茎、叶和籽粒中金霉素的增幅越小,与四环素在玉米中的残留趋势一致,说明玉米各部位对金霉素的吸收同样有一定的限制性。

2.4.4 玉米植株中四环素类抗生素质量分数的分布特征

从表2可看出,无论是哪种抗生素,玉米植株对其的吸收都表现出相同的趋势:鸡粪Ⅰ<鸡粪Ⅱ,这说明四环素类抗生素的质量分数越高则玉米对其吸收越强。鸡粪Ⅰ处理,玉米对3种四环素的吸收相差不大,这可能是因为初始土壤中3种抗生素

抗生素	T1处理	T2处理	T3处理	T4处理	T5处理	T6处理
四环素	2.68	7.53	3.38	17.36	3.65	27.22
土霉素	1.76	2.55	1.84	3.34	1.99	5.58
金霉素	2.66	4.08	3.05	6.40	3.30	8.49

的质量分数差距较小。对于鸡粪Ⅱ处理,玉米对四环素的吸收大于金霉素和土霉素,这可能与土壤中四环素的质量分数最高有关。而玉米对金霉素和土霉素的吸收则是:金霉素>土霉素,这与土壤中金霉素和土霉素的质量分数恰好相反,这可能与土霉素的性质有关,因为土壤的pH值为8.61,呈现碱性,而土霉素在碱性水溶液中易遭破坏而失效。

2.4.5 玉米植株对四环素类抗生素的累积效率评价

转运系数(Translocation factor, *TF*)是植物地上部污染物质量分数与地下部污染物质量分数之比,用来评价植物将污染物从地下部向地上部的转移和富集能力。由于玉米根部未吸收金霉素,所以金霉素的转运系数最大。由表3可以看出,在鸡粪Ⅰ的处理中(T1、T3、T5处理),土霉素的转运系数大于四环素,而在鸡粪Ⅱ的处理中表现出相反趋势。就四环素而言,其量越高,转运系数越大,说明量越大,四环素越易向地上部迁移。而土霉素量越高,玉米对其的转运系数反而越小。

2.4.6 玉米成熟后土壤中四环素类抗生素的残留特征

从图7可看出,CK土壤中未残留抗生素,抗生素的残留特征总趋势为四环素>土霉素>金霉素,此外,添加鸡粪Ⅱ处理的抗生素残留量明显高于添加鸡粪Ⅰ的处理($P<0.05$),T5处理与T3处理其四环素、土霉素和金霉素的残留量无明显差异,T3处理与T1处理、T4处理与T2处理、T5处理与T3处理中四环素和土霉素的残留量无明显差异,而金霉素的残留量有明显差异,T4处理的四环素、土霉素、金霉素的残留量分别比T2处理高4.6%、9.6%、27.6%,T6处理的四环素、土霉素、金霉素的残留量分别比T4处理高15.3%、3.1%、47.0%,这与在玉米体内的残留量特征相反,玉米体内四环素和土霉素在鸡粪Ⅱ处理中随施用量的增加其残留量有明显下降趋势,而金霉素随施肥量的增加其残留量有明显增加趋势,因此,玉米体内抗生素残留的量越多,土壤中抗生素残留的量即越少,反之亦然。

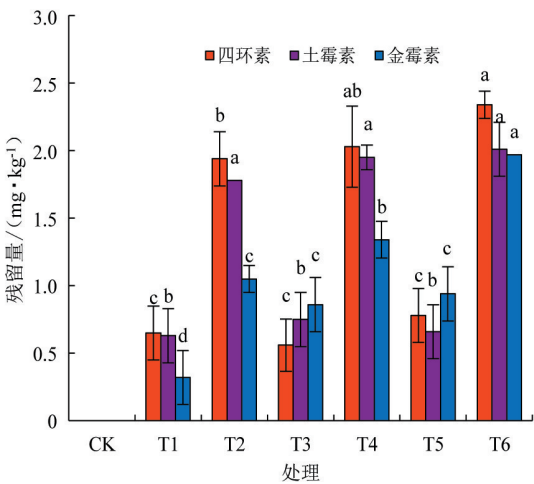


图7 土壤中四环素类抗生素的残留特征

3 讨论

关于兽用抗生素对植物生长的影响机理较为复杂,至今未开展系统的研究,但也有一些初步的研究发现,抗生素可降低作物生长所需的叶酸合成、原生质的形成,影响谷胱甘肽转移酶、过氧化物酶及降低叶绿素合成而影响植物的光合作用^[23-24]。研究表明,四环素类抗生素通过与细胞核蛋白体的30S亚单位结合,从而阻止TRNA同核糖核蛋白结合,抑制蛋白质合成^[25],由于根系长出后最先接触的是土壤界面,所以不排除玉米根系上有类似的蛋白质分子。本文研究也表明,鸡粪Ⅱ可降低玉米株高、根长以及茎叶、根和籽粒的干

质量,植物叶绿素的降低能代表抗生素对植物幼苗生长发育的危害,有研究^[26]表明,在污染物的胁迫下,由于捕光化合物LHC蛋白合成的转录过程受到抑制,从而影响叶绿素的积累,与本研究结果一致,也是抗生素量多时抑制了CCI的累积,且随着鸡粪量增加,又可减少抗生素对CCI及玉米株高、根长、生物量的抑制作用。

同时,相同类型鸡粪处理中,鸡粪施用量越大,玉米器官中四环素和金霉素的残留量增长幅度越小。可能是由于土壤微生物生物量是随着土壤有机质质量分数的增加而增加,二者极显著正相关。鸡粪可以持久稳定地向微生物提供能源,促进土壤微生物的活性,从而减少抗生素对玉米生长的影响,徐秋桐等^[27]研究表明,施用有机肥可增加土壤微生物生物量,促进土壤抗生素的降解,这一效应随有机肥用量的提高而增加。

此研究只关注短期时间效应,未考虑其他相关化学和生物机制,如化学物质的水解、降解和生物的代谢过程。土壤中的抗生素经过植株根部吸收进入植株体内,进而迁移到植株其他部位,在根、茎、叶以及籽粒中均有残留。虽然作物植株通过其根部吸收抗生素,但根部残留的抗生素量却很少,主要残留在植株地上部。作物叶部为光合作用的主要场所,新陈代谢最为旺盛,茎部和籽粒虽有抗生素残留,但残留量远小于叶部,所以玉米植株的叶部为四环素类抗生素主要的残留场所。关于土壤中抗生素是如何进入根系以及在植株体内的转运和代谢途径与机制则有待进一步研究。

4 结 论

1)添加鸡粪Ⅱ处理对玉米的株高、根长以及茎叶、根和籽粒的干质量、CCI的抑制作用大于添加鸡粪Ⅰ处理。并且鸡粪质量分数的增加可减少抗生素对其的抑制作用。

2)不同种类的四环素类抗生素污染的土壤中,玉米不同部位对四环素、土霉素和金霉素的残留程度不同,玉米根、茎、叶和籽粒各部位全部残留了四环素,玉米根、茎和叶残留了土霉素,未迁移至籽粒中,玉米茎、叶和籽粒残留了金霉素,未在根部残留,其玉米各部位四环素、金霉素残留量的大小顺序均为:籽粒<茎<叶。玉米不同部位对土霉素吸收在添加鸡粪Ⅰ处理中表现为:叶>茎>根,而在添加鸡粪Ⅱ的处理中则为:叶>根>茎。

3)就玉米不同部位吸收抗生素的总量表现为:四环素>金霉素>土霉素。玉米植株对金霉素的转运系数大于相同条件下土霉素和四环素,而对于土霉素和四环素,鸡粪Ⅰ处理中的土霉素>四环素,而在鸡粪Ⅱ的处理中四环素>土霉素。

4)土壤抗生素的残留特征总趋势为四环素>土霉素>金霉素,其3种抗生素在土壤中的残留率出现了与玉米植株相反的趋势。

致谢:本试验的室内分析由中国农业科学院农业资源环境与农业区划研究所协助完成,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 崔二苹,高峰,陈红,等.再生水利用对环境中抗生素抗性基因影响的研究进展[J].灌溉排水学报,2017,36(2):32-38.
- [2] CHEESANFORD J C, MACKIE R I, KOIKE S, et al. Fate and transport of antibiotic residues and antibiotic resistance genes following land application of manure waste[J]. Journal of Environmental Quality, 2009, 38(3):1 086-1 108.
- [3] 陈育枝,张元元,袁希平,等.动物四环素类抗生素现状及前景[J].兽药与饲料添加剂,2006,11(3):16-17.
- [4] 李伟明,鲍艳宇,周启星.四环素类抗生素降解途径及其主要降解产物研究进展[J].应用生态学报,2012,23(8):2 300-2 308.
- [5] 李兆君,姚志鹏,张杰,等.兽用抗生素在土壤环境中的行为及其生态毒理效应研究进展[J].生态毒理学报,2008,3(1):15-20.
- [6] CASTELLARI M, GRATACÓSCUBARSÍM, GARCÍAREGUEIRO J A. Detection of tetracycline and oxytetracycline residues in pig and calf hair by ultra-high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2009, 1216(46):8 096-8 100.
- [7] 尹春艳,骆永明,滕应,等.典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究[J].环境科学,2012,33(8):2 810-2 816.
- [8] 张慧敏,章明奎,顾国平.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,2008,24(3):69-73.
- [9] 刘新程,董元华,王辉.江苏省集约化养殖畜禽排泄物中四环素类抗生素残留调查[J].农业环境科学学报,2008,27(3):1 177-1 182.
- [10] 国彬,姚丽贤,刘忠珍,等.广州市兽用抗生素的环境残留研究[J].农业环境科学学报,2011,30(5):938-945.
- [11] LIGUORO M D, CIBIN V, CAPOLONGO F, et al. Use of oxytetracycline and tylosin in intensive calf farming:evaluation of transfer to manure and soil[J].Chemosphere, 2003, 52(1):203-212.
- [12] 张树清,张夫道,刘秀梅,等.规模化养殖畜禽粪主要有毒成分测定分析研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):822-829.
- [13] KIM S, AGA D S. Potential Ecological and Human Health Impacts of Antibiotics and Antibiotic-Resistant Bacteria from Wastewater Treatment Plants[J]. Journal of Toxicology & Environmental Health Part B,2007,10(8):559-573.
- [14] DI M G, GISMONDI A, CANUTI L, et al. Tetracycline accumulates in Iberis sempervirens L. through apoplastic transport inducing oxidative stress and growth inhibition[J].Plant Biology, 2014, 16(4):792-800.
- [15] 王瑞,魏源送.畜禽粪便中残留四环素类抗生素和重金属的污染特征及其控制[J].农业环境科学学报,2013,32(9):1 705-1 719.

- [16] HALLINGSØRENSEN B, NORS N S, LANZKY P F, et al. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment: a review[J]. *Chemosphere*, 1998,36(2):357-393.
- [17] 朱模忠. 兽药手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [18] 孙刚, 袁守军, 彭书传, 等. 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*, 2010, 29(4): 739-742.
- [19] 汤玮婧, 杨清香. 土霉素对土壤微生物活性及群落的影响[J]. *湖北农业科学*, 2009, 48(1): 70-73.
- [20] 刘新程, 董元华, 王辉. 江苏省集约化养殖畜禽排泄物中四环素类抗生素残留调查[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 1 177-1 182.
- [21] AHMED M B, RAJAPAKSHA A U, LIM J E, et al. Distribution and accumulative pattern of tetracyclines and sulfonamides in edible vegetables of cucumber, tomato and lettuce[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2015, 63(2): 398-405.
- [22] DI M G, GISMONDI A, CANUTI L, et al. Tetracycline accumulates in *Iberis sempervirens* L. through apoplastic transport inducing oxidative stress and growth inhibition[J]. *Plant Biology*, 2014, 16(4): 792-800.
- [23] 金彩霞, 陈秋颖, 刘军军, 等. 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*, 2009, 29(3): 619-625.
- [24] BRADEL B G, PREIL W, JESKE H. Remission of the free-branching pattern of *Euphorbia pulcherrima* by tetracycline treatment[J]. *Journal of Phytology*, 2000, 148(11/12): 587-590.
- [25] KOHANSKIMA, DWYERDJ, COLLINSJ J. How antibiotics kill bacteria: from targets to networks[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8(6): 423-435.
- [26] HORVÁTH G, DROPPA M, ÁGNES OravecZ, et al. Formation of the photosynthetic apparatus during greening of cadmium-poisoned barley leaves[J]. *Planta*, 1996, 199(2): 238-243.
- [27] 徐秋桐, 顾国平, 章明奎, 等. 有机肥对土壤中抗生素降解的促进作用[J]. *浙江农业学报*, 2015, 27(3): 417-422.

Decay of Tetracycline Antibiotics and the Growth of Maize in Soil Amended with Chicken Manure

QIN Junmei¹, XIONG Huaye¹, LI Zhaojun^{2*}

(1. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

2. Ministry of Agriculture Key Laboratory of Plant Nutrition and Nutrient Cycling,

Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: **【Objective】** Livestock manure contains antibiotics and its application to soil could affect plant growth and proliferation of antibiotic resistance genes. The purpose of this paper is to experimentally study how soil amended with chicken manure containing tetracyclines (tetracycline, oxytetracycline and chlortetracycline) antibiotics impacts growth of maize and the decomposition of the antibiotics in soil. **【Method】** Pot experiments grown with maize were carried out with the soil amended with two types of chicken manure: one was manure excrement of chicken without being fed tetracycline (I), oxytetracycline and chlortetracycline, and the other one is manure of chicken fed with these antibiotics (II). The experiment consisted of seven treatments: ①control (CK); ②adding 6.4 g/kg of chicken manures I; ③adding 6.4 g/kg of chicken manures II; ④adding 12.8 g/kg of chicken manures I; ⑤adding 12.8 g/kg of chicken manures II; ⑥adding 25.6 g/kg of chicken manures I; ⑦adding 25.6 g/kg of chicken manures II. **【Result】** The plant height, root length, biomass and *CCI* under Treatments 2, 4 and 6 were higher than those under Treatments 1, 3 and 5. The differences between the Treatments 4 and 3, the Treatments 6 and 5 were significant ($p < 0.05$). The residuals of tetracycline and doxycycline were found in root, stem, leaf; and tetracycline was also found in the grain. We also detected aureomycin in stem, leaves and seeds. The concentration of tetracycline and aureomycin found in different tissues of the plant was ranked in grain < stem < leaves. The concentration of doxycycline found in different tissues of the plant was ranked in leaf > stem > root. The antibiotics taken up by plants was ranked in tetracycline > aureomycin > oxytetracycline based on their mass found in the plant. The transfer coefficient of aureomycin in the canopy was higher than that of doxycycline and tetracycline. The residual of the antibiotics remained in soil after the experiment was tetracycline > oxytetracycline > aureomycin. **【Conclusion】** The antibiotics in chicken manure could impeded the growth of the maize compared with the manure that did not contain antibiotics under the same conditions. However, increasing the chicken manure application not only reduced the inhibition of the maize growth, but also decreased the residuals of tetracycline and aureomycin in different organs of the maize.

Key words: tetracycline antibiotics; chicken manure; maize; residuals of antibiotics in soil

责任编辑: 白芳芳