

张家口葡萄产区土壤抗生素含量及其潜在生态环境风险评价

张笑归¹, 宁国辉¹, 刘树庆¹, 张铁铮¹, 王艳群¹, 莫测辉²

(1. 河北农业大学 资源与环境学院 河北 保定 071001; 2. 暨南大学 环境工程系 广东 广州 510632)

摘要: 抗生素是畜禽养殖业常用的一类化学药品, 用量大、代谢低, 通过畜禽粪便的农业施用而造成土壤污染, 对人类健康和生态系统产生潜在危害。在了解常量元素(N、P、K₂O)、有机质、土壤微量元素、土壤污染性重金属含量的基础上, 测定了土壤中喹诺酮类和四环素类两类常用抗生素的含量; 分析了pH值、土壤类型对抗生素的影响; 并对土壤环境质量、潜在生态风险进行评价。结果表明: 该区五种土壤重金属含量总体上低于国家土壤环境质量一级标准; 土壤中抗生素含量除个别点位外均不高, 在草甸土中以喹诺酮类和四环素类最大, 分别以诺氟沙星和土霉素为主; 土壤生态风险性评价属低度危害水平, 但在涿鹿、怀来Cd是主要潜在风险性元素, 而在宣化县则是Hg元素。这为预防产区土壤环境污染和名特优果品规划及环境安全评价提供科学依据, 为实现我国葡萄产区持续健康发展也具有重要指导意义。

关键词: 抗生素; 土壤环境质量; 潜在风险性评价

中图分类号: S144.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)增刊-0146-06

Study on Eco-environment Risk Assessment of Antibiotics Concentrations in Soil and Environment in the Grapes Region of Zhangjiakou

ZHANG Xiao-gui¹, NING Guo-hui¹, LIU Shu-qing¹, ZHANG Tie-zheng¹, WANG Yan-qun¹, MO Ce-hui²

(1. College of Resources and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

2. Department of Environment Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Antibiotics is a kind of chemical which is commonly used in breeding of poultry with a large amount. The intake dosage of antibiotics is higher than the metabolism. The remnant of antibiotics causes the soil pollution through the applying of poultry excrement in agriculture and it is a potential hazard to human health and the Ecological Environment. In this article, based on the content of the major elements(N, P, K₂O), soil organic, trace elements and heavy metals leading to pollution of soil, the amount of antibiotics including quinolone and tetracycline was measured and the effects on the antibiotics of the pH and style of soil were analyzed; the quality of soil environment and the potential ecological risk were assessed. The result showed that: On the whole, the content of five kinds of soil heavy metal in this region was lower than the level of the national Primary standard of soil environmental quality. The content of the antibiotics in soil is not high except some individual sites. for example, the amount of quinolone and tetracycline was the largest in the meadow soil, respectively, mainly with norfloxacin and oxytetracycline. The ecological risk assessment of soil was a low hazard level, but in Zhuolu and Huailai county Cd was the main potential risk element, and in the Xuanhua county was the Hg. It provided science basis for the program of high quality grape regions and excellent fruit layout and environment safety assessment. It has also importance meaning for the sustained and healthy development of grapes region in our country.

Key words: Antibiotics; Soil environmental quality; Potential ecological risk assessment

收稿日期: 2011-11-01

基金项目: 河北省人民政府、国土资源部中国地质调查局共同开展的合作项目河北省农业地质调查子项目(200040007-3-3)

作者简介: 张笑归(1963-), 女, 河北辛集人, 高级实验师, 硕士, 主要从事实验教学工作。

通讯作者: 刘树庆(1956-), 男, 河北青县人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土壤与环境教学与科研工作。

抗生素是一种以低微浓度即能抑制或影响其他生物机能的化学物质^[1],大量用于人和动物的疾病治疗,并以一定剂量添加于动物饲料中预防疾病和促进动物的生长。人类医疗大量使用抗生素,而且动物养殖也大量使用抗生素以防病治病、提高饲料利用率和促进动物生长。污水灌溉和动物粪肥施用均可能将抗生素输入土壤。抗生素作为新兴污染物目前在国内外特别是在国内还研究较少^[1-2],更没有标准。但随着集约化畜牧业和配方饲料工业的发展,抗生素的用量也越来越大。在动物体中,抗生素的60%~90%随粪便排出体外。抗生素进入土壤环境以后,可以使土壤生物区系发生变化,从而影响土壤生态系统^[3-6]。据2006-2007年度卫生部全国细菌耐药监测结果显示,全国医院抗菌药物年使用率高达74%,超过美英(22%~25%)等发达国家;每年因滥用抗生素导致8万人死亡,这些数字使中国成为世界上滥用抗生素问题最严重的国家之一。加之目前我国尚无抗生素标准(<http://finance.591hx.com> 2010),为确切评估抗生素在土壤环境中的危害影响,本研究对张家口市葡萄产区的土壤中抗生素的含量进行了调查监测和分析,并对其环境质量及潜在生态安全进行评价,旨在为防治土壤环境污染和名特优果品规划及环境安全评价研究提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

采样的研究区主要位于河北省涿鹿、怀来两县,宣化县有部分采样点作为对照。采集土壤样品时,在葡萄架下周围分别布设了8~10个采样点,每点取0~20、20~40、40~60、60~100 cm 四层土壤,并

同层多点分别混合为一个采样点土样,每个土样重1 kg左右。供试土壤共有102个采样点,以供土壤常规项目分析用。选取表层土壤重金属及抗生素分析,如超标再做以下基层土壤分析。野外采样方式,采用GPS定位,确定采样点经纬度坐标,通过ARC-GIS矢量化研究区地图,作出研究区图件,并输入经纬度坐标,确定各个准确采样点在图中位置。

1.2 测定方法

①土壤全量元素: N、P、K₂O、Fe₂O₃、Mn、Cu、Zn、B、Cd、Cr、Pb、Hg 分析采用等离子体质谱仪法(ICP-MS)测定,均送具有国家资质的国土部及河北省地矿中心实验室进行测定。

②土壤抗生素含量: 诺氟沙星、环丙沙星、洛美沙星、恩诺沙星; 土霉素、四环素、金霉素、多西环素的测定。为了数据可靠,虽然分析费很贵,但还是采用了高效液相色谱-串联质谱仪(HPLC-MS/MS)进行分析,均由暨南大学资源与环境科学学院实验中心测定。试验数据来源可靠,试验结果精确。

③土壤有机质(K₂Cr₂O₇氧化容量法)、pH(土液比1:2.5电位法)等常规项目分析均按国家标准分析测定。

2 结果与分析

2.1 张宣葡萄产区土壤环境质量监测及其分析

2.1.1 土壤氮磷钾大量元素及有机质含量及其变化特征分析 通过表1可以看出,四种养分元素N、P、K₂O、有机质的含量范围,总体上除K₂O外在该区内含量均为3~4级的中高土壤肥力水平,特别是P有的样点略高,而有效钾则偏低^[7],故在施肥过程中尽量减少磷酸氢二铵、适当增加有机肥及钾肥的使用量。

表1 土壤常量元素、有机质特征值统计

Tab.1 Characteristic values of total contents of macroelements, organic in soil

名称 Name	最大值 Max	最小值 Min	均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
N/(g/kg)	1.542 8	0.576 6	0.956 0	0.180 8	18.90
P/(g/kg)	3.101 5	0.572 0	1.288 4	0.499 7	38.80
K ₂ O/(mg/kg)	31.60	21.70	25.36	2.00	7.94
有机质 OM/(g/kg)	31.20	3.10	12.85	5.20	40.46

N、P、OM的变异系数均大于10%而小于100%,说明这四种元素均属于中等变异性,其中有机质的变异系数最大为40.5%,说明其受外界施肥、灌溉等管理因素影响比较大,造成区域性差异大于其他元素。K₂O元素的变异系数小于10%,属于低变异性。本研究区内K₂O在土壤中的含量受成土母质影响有关^[4,8,9],因采样区内土壤胶体、土壤

粘质性矿物对钾的固定能力较强,造成K₂O在土壤中偏低且流动性较差。

2.1.2 土壤微量元素含量及其变化特征分析 由表2可知: Fe₂O₃、B、Cu、Mn、Zn五种元素的平均含量除Cu外均低于其在土壤背景值含量(GB15618-1995)^[10];按国标只有Cu(均值37.39 mg/kg)略超自然背景值(35 mg/kg),但仍在二级水平。从变异

系数看,Zn 和 Cu 的含量变化幅度较大,分别为 39.8% 和 39.2%。产区内土壤微量元素含量较低且分布不均匀,变异系数多在 17.4%~26.3% 之

间,故可通过施用微肥或有机肥对土壤中微量元素进行补充,从而提高产区内葡萄生长繁殖速度和提高葡萄品质。

表 2 土壤微量营养元素特征值统计

Tab. 2 Characteristic values of total contents of trace-elements in soil						mg/kg
名称 Name	最大值 Max	最小值 Min	均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	
Fe ₂ O ₃	54.00	25.40	39.77	6.91	17.40	
Cu	94.20	13.90	37.39	14.67	39.20	
Mn	941.00	341.00	560.49	97.49	17.40	
B	67.10	16.20	39.69	10.42	26.30	
Zn	277.80	36.70	70.70	28.14	39.80	

总体上看,Fe₂O₃、B、Cu、Mn、Zn 的变异系数均大于 10%,说明五种微量元素都具有中等的变异性,变异系数范围在 17.4%~39.8%,土壤微量元素的供应受成土母质、土壤类型、土壤理化性质、气候环境等因素的共同影响^[2,5,11,12]。此外,Cu 产生中等变异性的另外一个原因可能是施用不同浓度的波尔多液造成 Cu 累积的差异性有关。

2.1.3 土壤重金属含量与环境质量特征分析 由表 3 可以看出,土壤中五种重金属 Cd(0.15)、Pb(20.58)、As(8.26)、Hg(0.05)、Cr(56.72)的含量平均值总体上均低于国家土壤环境质量一级标准,葡萄产区内土壤重金属含量较低,说明土壤环境未受污染,土壤环境质量较好,果品品质能够得到保证。

表 3 土壤污染性重金属特征值统计

Tab. 3 Characteristic values of total contents of contamination heavy metals in soil							mg/kg
名称 Name	最大值 Max	最小值 Min	均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	土壤环境质量标准 GB	
Cd	0.46	0.068	0.15	0.06	39.70	0.20	
Pb	27.70	15.30	20.58	2.42	11.80	35.00	
As	13.45	3.30	8.26	2.29	27.70	15.00	
Hg	0.67	0.01	0.05	0.09	180.00	0.15	
Cr	87.20	27.70	56.72	9.94	17.50	90.00	

从该区变异系数看,Cd、As、Cr、Pb 的变异系数均大于 10% 且小于 100%,属于中等的变异性;在五种土壤重金属中特别是 Hg 的变异系数大于 100%,具有强的变异系数,说明它易受到外界因素的影响。

影响本区土壤重金属变异性除自然因素外,人为因素主要是有机肥的施用,以及葡萄园周边工矿企业的存在等,都会影响污染性重金属含量的变异性。

表 4 葡萄产区土壤抗生素含量统计

Tab. 4 The content statistics of soil antibiotic in Grape-producing areas								μg/kg
抗生素 Antibiotic	中文名称 Chinese name	英文缩写 Abbreviation	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% C.V	
喹诺酮类抗生素	诺氟沙星	NOR	ND	570.56	33.15	99.98	33.00	
	环丙沙星	CIP	1.20	114.07	12.81	24.63	52.00	
	洛美沙星	LOM	ND	3.47	0.49	0.62	79.00	
	恩诺沙星	ENR	ND	46.29	4.66	12.54	37.00	
四环素类抗生素	土霉素	OTC	1.45	92.16	13.32	18.86	71.00	
	四环素	TC	ND	135.94	6.54	21.89	30.00	
	金霉素	CTC	ND	52.53	7.96	16.41	48.00	
	多西环素	DC	ND	3.88	0.68	0.69	98.00	

注:ND.表示低于检出限。表 6 同。

Note: ND. Indicated below the detection. The same as Tab. 6.

2.2 张宣葡萄产区土壤抗生素含量及其影响及潜在生态风险评价

2.2.1 葡萄产区土壤抗生素含量及其变化 抗生

素来源主要分为医用和农用兽药,主要分为两类,即喹诺酮类抗生素和四环素类抗生素。

由表 4 可知,怀来、涿鹿、宣化三县葡萄产区土

壤喹诺酮类抗生素和四环素类物质在土壤中含量除个别点位外均不算高,又因目前我国尚无抗生素国家标准(<http://finance.591hx.com> 2010) ,这里只能分析变化状况。从表 4 看出,喹诺酮类抗生素中的诺氟沙星、洛美沙星、恩诺沙星和四环素类抗生素中的四环素、金霉素、多西环素均存在低于检出限的现象,其中诺氟沙星的平均含量在所有抗生素中含量最高,为 33.15 μg/kg,而洛美沙星的含量最低,为 0.49 μg/kg。同时研究区抗生素均存在中等的变异性,其中多西环素的变异系数最大,为 98%,接近强的变异程度。说明外界因素对于土壤抗生素类含量的累积起着重要的作用,除了土壤类型母质等自然因素外,人为因素是造成抗生素积累的主要原因,即农用抗生素类物质、禽畜粪便在果树中的施用都会引起土壤中抗生素含量的增加。

2.2.2 有机质、pH 与抗生素相关性分析 抗生素

表 5 pH、有机质与抗生素相关性分析

Tab.5 The correlation between antibiotic and pH organic

	诺氟沙星 Norfloxacin	环丙沙星 Ciprofloxacin	洛美沙星 Lomefloxacin	恩诺沙星 Enrofloxacin	土霉素 Oxytetracycline	四环素 Tetracycline	金霉素 Chlortetracycline	多西环素 Doxycycline
pH	-0.558 **	-0.436 **	-0.274	-0.481	-0.537 **	-0.541 **	0.10	-0.104
有机质 Organic	0.666 **	0.504 **	0.269	0.337	0.706 **	0.599 **	-0.112	-0.143

注: n = 44; **, 极显著相关($P < 0.01$)。
Note: n = 44; **, Indicated very significantly correlated.

表 6 不同土壤类型抗生素平均含量

Tab.6 Average content of antibiotics in different soil types

类别 Category	抗生素 Antibiotic	草甸土 Meadow soil	灌淤土 Silt soil	风沙土 Sandy soil	褐土 Cinnamonon		
					碳酸盐褐土 Carbonate cinnamonon	褐土性土 Cinnamonon soil	潮褐土 Tide cinnamonon
					μg/kg	μg/kg	μg/kg
喹诺酮类抗生素	诺氟沙星	265.59	9.43	5.31	10.14	0.94	4.25
	环丙沙星	56.97	5.78	4.95	12.98	4.32	2.75
	洛美沙星	1.12	0.29	0.36	0.56	0.22	0.35
	恩诺沙星	1.64	0.62	2.96	8.44	1.27	ND
	总计	324.50	14.13	11.61	25.79	6.12	4.06
四环素类抗生素	土霉素	56.55	8.71	20.73	8.49	5.85	7.30
	四环素	50.70	4.54	2.47	1.37	0.93	0.44
	金霉素	1.75	3.56	0.54	13.34	5.34	1.55
	多西环素	0.53	0.82	0.90	0.93	0.45	0.32
	合计	109.53	14.85	23.98	19.38	8.32	8.66

2.2.3 不同土壤类型抗生素平均含量 研究区内的土壤类型主要有褐土、灌淤土、草甸土、风沙土等,但主要以褐土为主。从表 6 可以看出:喹诺酮类、四环素类抗生素总含量在不同土壤类型中由大到小的顺序为:在草甸土中两类抗生素含量最大,其中仅诺氟沙星含量就达到 265.59 μg/kg,四环素类 109.53 μg/kg;在潮褐土中喹诺酮类抗生素含量最小,其中恩诺沙星含量低于检出限;在褐土性土中四环素类抗生素含量最低。碳酸盐褐土、褐土性土、潮褐土属于褐土的亚类,使得研究区内褐土占得比重较大,因

在土壤中的转移吸附可能受土壤 pH 值和土壤有机质的影响,通过改变抗生素和吸附介质的电荷状态对吸附产生影响^[6,8,13]。从表 5 看出,pH 与喹诺酮类抗生素中的诺氟沙星和环丙沙星呈极显著的负相关性,与四环素类抗生素中的土霉素、四环素也呈极显著的负相关性;与洛美沙星、恩诺沙星、多西环素呈负相关性;与金霉素呈正相关性,但都不显著。可能是由于抗生素结构中含较多的 -OH 官能团,随着 pH 的增大,土壤中 OH⁻ 增加,造成同种电荷的相互排斥而降低土壤对抗生素的吸附,故造成了土壤抗生素含量随着 pH 的增大而降低。有机质与土霉素、四环素、诺氟沙星、环丙沙星都呈极显著的正相关性,可能是由于土壤有机质的存在屏蔽粘土矿物表面的吸附位点,减弱抗生素在土壤中的吸附能力或腐殖质络合有关。

此其抗生素累积量较大,褐土中又以碳酸盐褐土中含量较多。

在抗生素之间,喹诺酮类主要以诺氟沙星、环丙沙星为主;四环素类主要以土霉素、四环素为主。

2.3 土壤环境质量评价及潜在生态风险

2.3.1 土壤重金属环境质量评价 以怀涿盆地葡萄产区和宣化葡萄产区为研究对象,通过单因子污染指数法和综合污染指数法相结合的方法对土壤中污染性重金属 Pb、Cd、As、Hg、Cr 在土壤中进行评价,重金属限量标准采用中华人民共和国土壤环境质量

标准(GB15618-1995)(表7)。土壤单项和综合污染程度分级标准分别采用表8和表9评价标准。

表 7 土壤环境质量标准(GB15618-1995)

Tab.7 Environmental quality standard of soil

项目 Item	一级 First	二级 Second			三级 Third
pH	自然背景	<6.5	6.5-7.5	>7.5	>6.5
镉 ≤	0.20	0.30	0.30	0.60	1.00
汞 ≤	0.15	0.30	0.50	1.00	1.50
砷 ≤	15	40	30	25	40
铅 ≤	35	250	300	350	500
铬 ≤	90	250	300	350	400
锌 ≤	100	200	250	300	500
铜 ≤(农田)	35	50	100	100	400
铜 ≤(果园)	-	150	200	200	400

(1) 单项污染指数法

表 8 土壤单项污染程度分级标准

Tab.8 Single standard of Heavy Metals Pollution in Soils

Pi 值	Pi ≤1	1 < Pi ≤2	2 < Pi ≤3	Pi >3
污染水平 Pollution level	非污染	轻污染	中污染	重污染

(2) 综合污染指数法

表 9 土壤环境质量综合污染指数分级标准

Tab.9 Standard for grading of heavy metals pollution in soils

等级 Grade	综合污染指数 Integrated pollution index	污染程度 Pollution degree	污染水平 Pollution level
1	$P_{综} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 \leq P_{综} \leq 1$	警戒线	尚清洁
3	$1 \leq P_{综} \leq 2.0$	轻污染	土壤污染超过背景值,视为轻度污染,作物开始污染
4	$2 \leq P_{综} \leq 3.0$	中污染	土壤,作物均受到中度污染
5	$P_{综} > 3.0$	重污染	土壤,作物污染已相当严重

2.3.2 土壤生态风险性评价研究 由表 10 可知:总体上五种元素的 E_i 均小于 40,属于低度的危害程度。三县的潜在综合风险指数大小顺序为宣化县 > 涿鹿县 > 怀来县,RI 值均小于 150,属于低度的危害水平。表 11 对涿鹿、怀来、宣化三个研究区的单因子生态风险系数 E_i 可以看出,涿鹿和怀来两县 Cd 是主要的潜在风险性危害性元素 E_i 为 8.33; RI 值为 15.84;而在宣化县 Hg 是主要的潜在风险性元素,在三个县五种污染元素中最高 E_i 为 30.97; RI 值为 44.53,故应引起重视。

表 10 重金属污染潜在生态危害指标

Tab.10 Potential ecological risk index of heavy metals pollution in soil

潜在生态风险参数 E_{ir} 范围	单因子污染生态风险程度	潜在生态风险指数 RI 范围	总的潜在生态风险程度
$E_{ir} < 40$	低	$RI < 150$	低度
$40 \leq E_{ir} < 80$	中	$150 \leq RI < 300$	中度
$80 \leq E_{ir} < 160$	较重	$300 \leq RI < 600$	重度
$160 \leq E_{ir} < 320$	重	$RI \geq 600$	严重
$E_{ir} \geq 320$	严重		

表 11 三县环境生态风险性评价

Tab.11 The assessment of environmental and ecological risk in three counties

采样区	单项因子生态风险 E_i					潜在综合生态风险 RI
	Cd	Pb	As	Hg	Cr	
涿鹿	8.33	0.28	3.90	2.84	0.50	15.84
怀来	6.28	0.31	2.77	1.47	0.41	11.24
宣化	0.42	8.65	3.93	30.97	0.57	44.53
危害程度	低度危害	低度危害	低度危害	低度危害	低度危害	A 级/低度危害

3 结论

通过张家口市葡萄产区的土壤监测与分析, N、P 常量元素和有机质含量为中高水平但 K_2O 偏低; 微量元素含量较低且分布不均匀; 五种土壤重金属的含量总体上均低于国家土壤环境质量一级标准。

不同土壤抗生素含量变化: 怀来、涿鹿、宣化三县葡萄产区土壤喹诺酮类抗生素和四环素类物质在土壤中含量除个别点位外均不算高。抗生素在不同土壤类顺序: 在草甸土中喹诺酮类、四环素两类抗生素含量最大, 其中诺氟沙星含量达到 $265.59 \mu\text{g}/\text{kg}$, 四环素类 $109.53 \mu\text{g}/\text{kg}$; 其次碳酸盐褐土其抗生素累积量较多, 且碳酸盐褐土又是该区褐土中主要亚类; 在潮褐土中喹诺酮类抗生素含量最小, 其中恩诺沙星含量低于检出限。在抗生素之间, 喹诺酮类主要以诺氟沙星、环丙沙星为主; 四环素类主要以土霉素、四环素为主土壤生态风险性评价研究: 总体上五种元素的 E_i 均小于 40, 属于低度的危害程度。三县的潜在综合风险指数大小顺序为宣化县 > 涿鹿县 > 怀来县, RI 值均小于 150, 属于低度的危害水平。但涿鹿和怀来两县 Cd 是主要的潜在风险性危害性元素 E_i 为 8.33; RI 值为 15.84; 而在宣化县 Hg 是主要的潜在风险性元素, 在三个县五种污染元素中最高 E_i 为 30.97; RI 值为 44.53, 故也应引起重视。

参考文献

- [1] 刘新程, 董元华. 金霉素在不同耕作土壤中的吸附-解吸行为[J]. 土壤学报, 2009, 47(5): 111-118.
- [2] 姚建华, 牛德奎, 李兆君, 等. 抗生素土霉素对小麦根际土壤酶活性和微生物量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 66-73.
- [3] 王 兰. 抗生素污染现状及对环境微生态的影响[J]. 药物生物技术, 2006, 13(2): 144-148.
- [4] 徐淑伟. 张家口葡萄产区生态地球化学环境评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [5] 汪 勇, 林先贵, 王一鸣, 等. 长期使用粪肥对农田土壤中细菌四环素抗性水平的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(14): 5944-5945, 5947.
- [6] Thiele-Bruhn S. Pharmaceutical antibiotic compounds in soils areview [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2003(166): 145-167.
- [7] 张振栓, 秦双月, 刘克桐. 河北省耕地主要肥力状况变化及对策[M]//秦双月, 刘宗衡. 河北省土壤肥料研究与应用进展. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [8] 王 冉, 刘铁铮, 王 恬. 抗生素在环境中的转轨及其生态毒性[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 265-269.
- [9] 王 瑾, 韩剑众. 饲料中重金属和抗生素对土壤和蔬菜的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 90-93.
- [10] 刘树庆. 农村环境保护[M]. 北京: 金盾出版社, 2010, 3: 285-287.
- [11] Bruce J R, Paul K S L, Michael M. Emerging chemicals of concern: Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Asia, with particular reference to Southern China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50: 913-920.
- [12] Abdelah Z, Jose M S. Review on the toxicity, occurrence, Metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin [J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(1): 1-18.
- [13] Diaz-cruz Ms, Lopez De Alda MJ, Barcelo D. Environmental behavior and analysis of veterinary and human drugs in soils, Sediments and sludge [J]. Trends in Analytical Chemistry, 2003, 22(6): 340-350.