

广东省典型区域农业土壤中重金属污染空间差异及原因分析

杨国义, 张天彬, 万洪富, 罗 薇, 高原雪

(广东省生态环境与土壤研究所 广东省农业环境综合治理重点实验室, 广州 510650)

摘 要: 分析了广东东翼(汕头)、西翼(湛江)和珠江三角洲(东莞、惠州、中山和顺德)等典型区域农业土壤中 8 种重金属(Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd、As 和 Hg)元素的含量。结果表明, 578 个农业土壤表层样中, 有 230 个样品的重金属含量超过国家土壤环境质量二级标准值, 超标率 39.79%, Pb 没有超标, Ni 超标最严重; 果园土比水稻土、菜园土污染严重; 不同区域的土壤污染程度是珠江三角洲>东翼(汕头)>西翼(湛江), 珠江三角洲的西、北江流域(中山、顺德)土壤重金属污染程度要比东江流域(东莞、惠州)严重。人为因素、成土母质和不同流域水质差异是造成广东典型区域农业土壤重金属污染的原因。

关键词: 广东典型区域; 农业土壤; 重金属; 污染

中图分类号: X53

农业土壤中重金属污染主要有 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd、As 和 Hg 等元素。土壤中重金属含量受其成土母质的影响外, 主要受人类活动的影响, 如污灌、固体废弃物(污泥和垃圾等)、矿山开采与冶炼、农药和肥料施用以及大气沉降等^[1-2]。大量研究已经证实, 土壤重金属污染不但影响土壤自身的理化性质, 还影响作物的产量与品质, 而且还涉及对大气和水环境质量的影响, 并可通过食物链进入动物和人体产生危害^[3-11]。发生在日本的“骨痛病”和“水俣病”事件就是典型例证。此外, 土壤重金属污染具有隐蔽性、滞后性和累积性, 土壤一旦遭受严重污染, 则需要较长的治理周期和较高的投资成本, 其危害比大气和水体污染更难消除。广东省是我国重要的蔬菜、水果和粮食生产基地, 其农产品不但满足当地人民的需要, 还销往全国及境外。因此, 这些土壤环境质量与人民健

康有密切联系。为了查清该区域农业土壤重金属污染状况, 对重金属污染土壤提出切实可行的治理措施, 使农产品质量和人民健康得到保障, 从 2002 年 10 月起, 我们对珠江三角洲的东莞市、惠州市、中山市、佛山市顺德区、广东东翼的汕头市和西翼的湛江市的农业土壤重金属污染状况进行了系统的调查研究。

1 样品的采集与处理

1.1 样品的采集

采样点(图 1)选择主要考虑 4 个因素: 土壤类型、农业生产布局、污染因素和作物种类。土壤采样采取多点采样混合法, 即在一定面积的土壤采集 10 ~ 15 个点土壤形成 1 个土壤混合样, 四分法留取 1 kg 装入布袋中, 土壤样品采集耕作层(0~20 cm)。



图 1 采样点位置

Fig. 1 Location of sampling sites

①基金项目: 国家环保总局科技项目(2001-1-2)和广东省自然科学基金项目(06025915)资助。

作者简介: 杨国义(1969—), 男, 云南威信人, 副研究员, 主要从事农业环境与污染生态研究。E-mail:gyyang@soil.gd.cn

1.2 样品的处理

土壤样品带回实验室用牛皮纸自然风干,磨碎过 100 目筛,贮于聚乙烯薄膜袋中,以备分析用。分别测定土壤中 pH 值、重金属 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd、As 和 Hg 等 8 种元素的全量,分析方法见参考文献[7]。

1.3 数据处理

分析数据采用 EXCEL 软件进行处理。有些土壤样品数据的异常值虽然比较显著,但因为采自特殊污染区,所以未对其进行剔除。根据分析结果,共有有效数据土壤表层样 578 个,其中珠江三角洲东江流域的东莞市 118 个,惠州市 104 个;珠江三角洲西、北江流域的中山市 106 个,佛山市顺德区 22 个;广东东翼的汕头市 122 个;广东西翼的湛江市 106 个。

2 结果与分析

2.1 农业土壤重金属污染状况分析

对广东省典型区域 578 个农业表层土壤 pH 和

8 种重金属元素的调查表明(表 1),调查区土壤普遍呈酸性(pH 平均值为 5.65,范围在 3.64 ~ 8.21 之间),土壤 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd、As、Hg 的含量范围分别为 1.31 ~ 286.00、8.43 ~ 248.00、2.29 ~ 246.00、nd ~ 448.00、2.23 ~ 140.20、0.003 ~ 1.230、nd ~ 137.80、0.003 ~ 3.394 mg/kg,其中 Cr、Cu、Ni、Cd、Hg 含量的变异较大,Pb、Zn 和 As 的变异较小。自然条件下,土壤各元素由于其特有的性质,在含量上表现出各自的含量范围。但由元素背景值的规律性可知,当土壤中特定区域某元素含量变异较大,出现异常远离背景值的情况时,该区域土壤必定受到了污染^[12-13]。

从表 1 可以看出,本次调查值与全国土壤背景值和广东土壤背景值相比,Cr 元素的平均含量没有超过背景值;As 元素的平均含量没有超过全国土壤背景值,而其余元素的平均含量都已超过背景值。说明这些土壤均已受到人为因素污染的影响。

表 1 广东典型区域农业土壤中重金属含量状况 (mg/kg)

Table 1 Heavy metal contents in agricultural soils in typical areas of Guangdong

项 目	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Cd	As	Hg
平均值	31.66	76.01	32.24	50.27	46.46	0.167	10.17	0.194
标准差	31.83	44.92	35.50	57.11	24.42	0.174	9.48	0.218
最小值	1.31	8.43	2.29	nd	2.23	0.003	nd	0.003
最大值	286.00	248.80	246.00	448.00	140.20	1.230	137.80	3.394
背景值 1	22.60	74.20	26.90	61.00	26.00	0.097	11.20	0.065
背景值 2	17.00	47.30	14.40	50.50	36.00	0.056	8.90	0.078
污染指数 1	1.40	1.02	1.20	0.82	1.79	1.72	0.91	2.98
污染指数 2	1.86	1.61	2.24	1.00	1.29	2.98	1.14	2.49
超二级标准 (%)	10.03	0.69	22.32	3.81	0.00	11.07	1.73	13.49

注:背景值 1:全国土壤背景值;背景值 2:广东省土壤背景值;污染指数 1:平均值/背景值 1;污染指数 2:平均值/背景值 2;超二级标准(%):超过国家土壤环境质量标准(GB15618-1995)二级标准值;nd:未检出。

根据国家土壤环境质量标准(GB15618-1995)二级标准,该典型区域农业土壤受到了不同程度的重金属污染,所采集的 578 个土壤样品中有 230 个样品的重金属含量超过该二级标准值,超标率 39.79%,其中以 Ni 超标最严重,超标率达 22.32%,其次为 Hg、Cd 和 Cu 的污染,超标率分别为 13.49%、11.07% 和 10.03%,Cr、As 和 Zn 的超标率相对较低,Pb 未有超标现象。

2.2 不同类型土壤重金属含量和污染状况的差异

典型区域农业用地主要有菜园土、水稻土和果园土 3 种利用类型,调查表明(图 2),除了 Pb 和 Hg 在水稻土中的平均含量最高以外,其余 6 种重金属元素

均以果园土中的平均含量最高,具体为:Pb 和 Hg 的平均含量水稻土>菜园土>果园土;Cd 和 Cu 的平均含量果园土>菜园土>水稻土;Zn、Ni、As 和 Cr 的平均含量果园土>水稻土>菜园土。

污染评价表明,116 个果园土样品中有 56 个样品的重金属含量超过国家土壤环境质量二级标准,超标率为 48.28%,其中 Ni 超标率为 33.62%、Cd 为 18.10%、Hg 为 13.79%、Cr 为 13.79%;148 个水稻土样品中有 65 个样品的重金属含量超过该二级标准,超标率为 43.92%,其中 Ni 超标率为 19.59%、Hg 为 16.22%、Cu 为 12.16%、Cd 为 7.43%;314 个菜园土样品中有 109 个样品的重金属含量超过该二级标准,超标率为

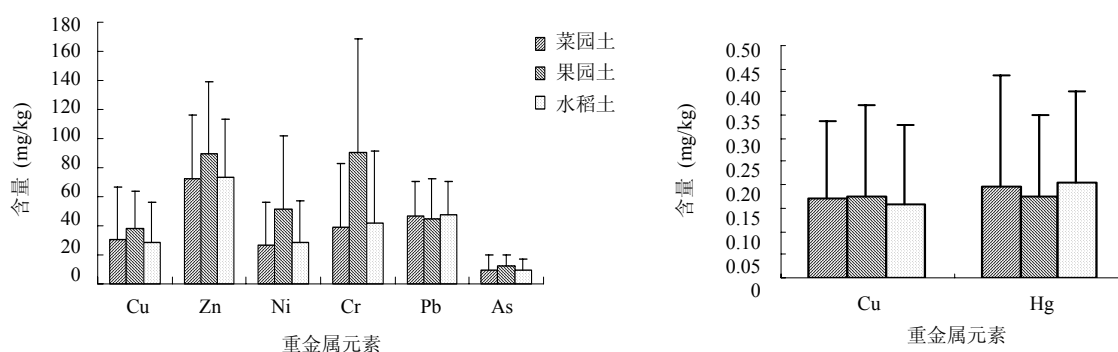


图2 不同农业土壤类型中重金属含量状况

Fig. 2 Heavy metal contents in agricultural soils of different types

34.71%，其中Ni超标率为18.79%、Hg为12.74%、Cu为12.42%、Cd为10.19%。3种类型土壤超标的重金属种类都一样，且都是Ni超标最严重而Pb未超标。果园土壤重金属超标率最高，污染最为严重，其次是水稻土，菜园土污染相对较轻，这种差异的主要原因可能与广东种植果树经常施用垃圾肥和城市污泥有关。

2.3 不同区域农业土壤重金属含量和污染状况分析

选取珠江三角洲（东莞、惠州、中山、佛山市顺德区）、东翼（汕头）和西翼（湛江）作为不同典型区域，分别对其农业土壤的重金属含量进行了调查和评价（图3），结果显示，土壤中Cu的平均含量以东翼最高，Ni和Cr的平均含量以西翼最高，其余5种重金属元素平均含量都以珠三角土壤中最高。具体为：Cu的平均含量东翼>珠三角>西翼；Ni西翼>东翼>珠三角；Cr西翼>珠三角>东翼；Cd、Pb、Zn、As和Hg的平均含量珠三角>东翼>西翼。

污染评价表明，珠江三角洲的350个土壤样品中，有152个样品的重金属含量超过国家土壤环境质量二级标准，超标率43.43%，8个重金属元素中除Pb和Cr未超标之外，其余6种重金属元素含量均有不同程度的超标，其中Ni、Hg和Cd3种元素超标最严重，超标率分别为20.86%、18.57%和18.28%。东翼（汕头）的122个土壤样品中，超过该二级标准的样品有49个，超标率40.16%，超标的重金属元素是Ni、Cu、Hg和As，其中Ni、Cu超标最严重，超标率分别为22.03%和21.19%；西翼（湛江）的106个土壤样品中，超过该二级标准的样点数有30个，超标率28.30%，超标元素分别为Ni、Cr、Cu和Hg，其中Ni和Cr超标最严重，超标率分别为25.47%和20.75%。无论是超标的重金属种类和超标率来看，珠江三角洲区域农业土壤污染最为严重，其次是东翼（汕头），西翼（湛江）的污染相对较轻，这与经济发展的程度相符合。

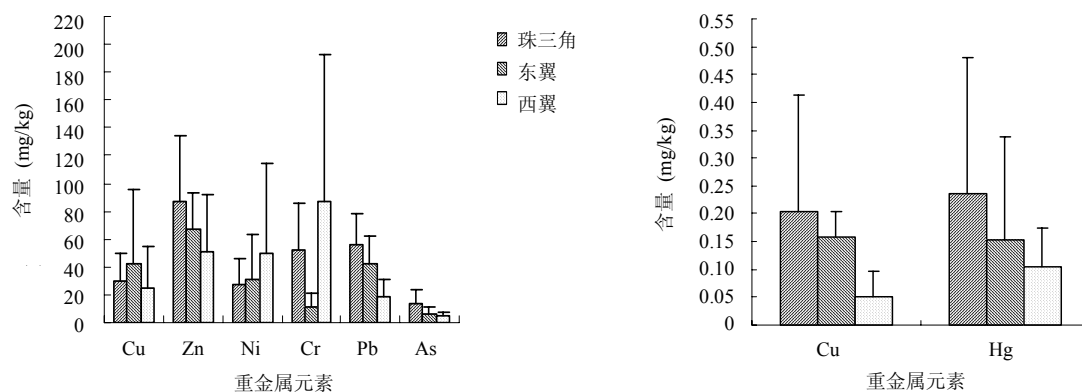


图3 不同区域农业土壤中重金属含量状况

Fig. 3 Heavy metals contents in agricultural soils of different regions

珠江三角洲是复合型三角洲,主要由西江、北江、东江等下游冲积平原及河口三角洲复合而成。惠州市和东莞市主要受东江流域的影响,而中山市和佛山市顺德区则主要受西、北江流域的影响。对东江流域(东莞、惠州)和西、北江流域(中山、顺德)土壤中重

金属平均含量进行比较(图4),不难看出,所分析的8种重金属元素中除Pb的含量相近之外,其余7种元素平均含量都是西、北江流域高于东江流域,其中Cd、Ni、Cu、Cr、Zn等5种元素平均含量高出1倍以上。

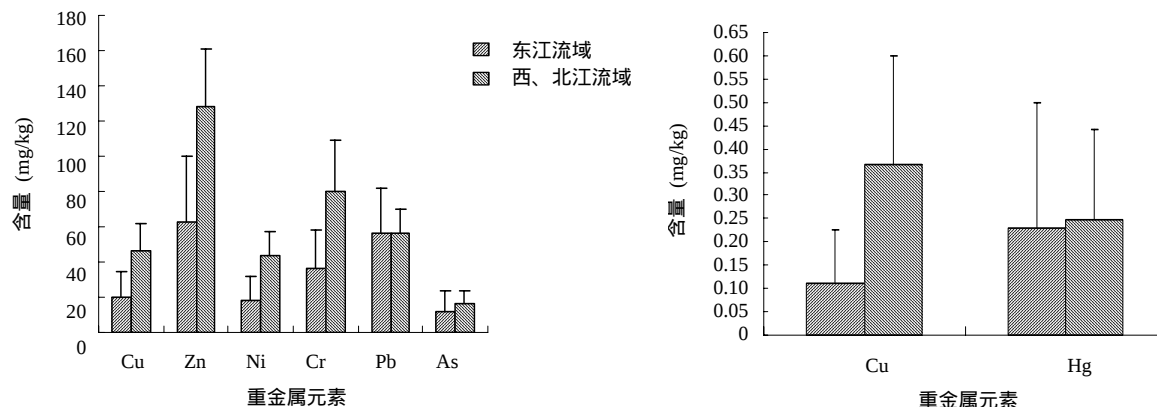


图4 珠江三角洲东江流域和西、北江流域农业土壤中重金属含量状况

Fig. 4 Heavy metal contents in agricultural soils in the Dongjiang and Xijiang and beijiang river valleys of the Zhujiang River Delta

2.4 农业土壤重金属污染原因分析

2.4.1 经济快速发展和高强度人类活动是引起土壤污染的主要原因 改革开放以来,广东省以经济建设为中心,充分发挥地理人文优势,大力发展外向型经济,国民经济得到快速发展。20多年来,广东的经济平均每年以高于10%的增长率蓬勃发展,成为中国经济发展最快的地区之一,2004年全省生产总值(GDP)16039.46亿元,人均GDP近2万元,特别是珠江三角洲区域发展更为迅速。珠江三角洲地区土地面积和人口只占全省的23%和35%左右,但其经济总量却占到全省的80%,人口和产业高度聚集。因此,经济高速增长背景下出现了严重的生态环境问题。

2.4.2 局部区域土壤重金属背景值偏高也是原因之一 广东西翼(湛江市)农业土壤超标的重金属元素主要是Ni和Cr,超标区域主要分布在湛江市南部的徐闻和雷州两地,其原因除了受人为因素影响外,主要是该区域土壤Ni和Cr的背景值含量较高(表2),该区域南部为玄武岩发育的砖红壤,同其他成土母质相比,玄武岩母岩中不但重金属元素含量较高,其风化的土壤中重金属元素含量也较高^[14-15],致使徐闻和雷州两地土壤中Ni、Cr、Cu、Zn和Hg5种元素的含量均高于湛江市的其他地方,也造成了湛江市部分土壤中Ni和Cr含量超过国家土壤环境质量二级标准值。

2.4.3 水质是影响珠江三角洲东江流域和西、北流域

表2 湛江土壤重金属背景值与此次调查结果比较(mg/kg)

Table 2 Findings of the survey and background values of soil heavy metals in Zhanjiang

重金属元素	土壤背景值	调查值
Hg	0.045	0.104
Cd	0.048	0.057
Pb	25.38	18.89
As	7.5	4.4
Cr	82.82	87.13
Cu	21.21	24.8
Zn	37.68	50.4
Ni	38.81	49.81

土壤中重金属含量差异的主要因素 珠江三角洲东江流域(东莞、惠州)和西、北流域(中山、顺德)的经济发展程度相当,成土母质主要都是河流冲积物、花岗岩、砂页岩等,但两地土壤中重金属含量差异较大,后者土壤重金属污染比前者严重得多,其主要原因可能有两方面:

(1) 受不同流域水质的影响。东江上游地区(广东河源市)生态环境良好,东江上游和干流水质优良,大部分为Ⅰ、Ⅱ类水质,为广东境内各主要水系中水质最好的河流^[16],据我们对该流域的水质监测,重金属污染物超标较少。西江和北江在广东三水汇合,形成下游的西、北江流域。西江是珠江流域内最大的河

流, 流经云南东部、贵州西南部、广西大部 and 广东西部, 流经的工业城市较多, 加之其上游地区生态环境恶化, 石漠化严重^[17]; 北江的上游韶关市是广东的工矿基地, 由于开采不善, 管理不严, 使矿区周围的土壤受到严重污染, 如韶关的大宝山矿区^[18-19]。重金属等污染物随着水流迁移, 使下游珠江三角洲河网地区受到影响。我们在该流域采集了 15 个水样, 其中就有 8 个水样的重金属含量超标。

(2) 经济发展的时间不一样。主要受西、北江流域影响的广州和佛山(中山以前属佛山管辖)是广东省的老工业基地, 经济发展的时间较长, 对生态环境影响较大, 致使该区域土壤污染严重; 东莞和惠州等地的经济也较为发达, 但其主要是在上世纪 80 年代末经济才开始快速发展, 经济发展的时间相对较短, 土壤污染还没有明显表现出来, 但其土壤中 Hg 污染也需要引起高度重视。

3 小结

(1) 在广东典型区域农业土壤中, 除 Cr 元素的平均含量没有超过全国土壤背景值和广东土壤背景值, As 元素的平均含量没有超过全国土壤背景值外, Cu、Zn、Ni、Pb、Cd 和 Hg 元素的平均含量都已分别超过了背景值; 与国家土壤环境质量的二级标准值相比, 有 39.79% 的样品重金属含量超标, 其中以 Ni 超标最严重, 而 Pb 没有超标, 这说明该区域土壤均已受到人为因素污染的影响。

(2) 不同土壤利用类型中果园土的重金属污染程度比水稻土和菜园土严重。

(3) 珠江三角洲区域农业土壤中重金属污染程度高于东翼(汕头)和西翼(湛江), 在珠江三角洲区域中, 西、北江流域(中山、顺德)土壤重金属污染程度要比东江流域(东莞、惠州)严重。

(4) 人为因素、成土母质和不同流域水质差异是造成广东典型区域农业土壤重金属污染的主要原因。

参考文献:

- [1] 陈怀满, 郑春荣, 周东美, 沈振国. 土壤中化学物质的行为与环境质量. 北京: 科学出版社, 2002
- [2] Liu YG, Zhang HZ, Zeng GM, Huang BR, Li X. Heavy metal accumulate in plants on Mn mine TaiLing. *Pedosphere*, 2006, 16 (1): 131-136
- [3] Mueller M. Distribution of cadmium in the food chain (soil-plant-human) of a cadmium exposed area and the health risks of the general population. *Sci. Total Environ.*, 1994, 156: 515-158
- [4] Younas M, Shahzad F, Afzal S. Assessment of Cd, Ni, Cu and Pb pollution in Lahore Pakistan. *Environ. Int.*, 1998, 24 (7): 761-766
- [5] McLaughlin MJ, Parker DR, Clarke JM. Metals and micronutrients-food safety issues. *Field Crop Res.*, 1999, 60: 143-163
- [6] Türkdogan MK, Kilicel F, Kara K. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environ. Toxicol. Pharmacology*, 2002, 13: 175-179
- [7] 夏运生, 万洪富, 杨国义, 马瑾, 罗薇. 东莞市不同区域菜地土壤重金属污染状况研究. *生态环境*, 2004, 13 (2): 170-172
- [8] 万洪富. 我国区域农业环境问题及其综合治理. 北京: 中国环境科学出版社, 2005
- [9] 王辉, 董元华, 安琼. 南京市郊区蔬菜地土壤环境质量评价. *土壤*, 2005, 37 (3): 295-298
- [10] 李其林, 黄昀, 赵中金, 骆东厅. 重庆市蔬菜基地土壤重金属含量情况. *土壤*, 2001, 33 (3): 159-162
- [11] 陈晶中, 陈杰, 谢学俭, 毛久庚, 张学雷. 北京城市边缘土壤重金属污染物颁布特征. *土壤学报*, 2005, 42 (1): 149-152
- [12] Tyler G, Balsberg Pahlsson AM, Bengtsson G. Heavy-metal ecology of terrestrial plant, microorganisms and invertebrates. A review. *Water Air Soil Pollut.*, 1989, 47: 189-216
- [13] Sauerbeck DR. Plant, element and soil properties governing uptake and availabilities of heavy metals derived from sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.*, 1991, 57/58: 227-237
- [14] 陈静生, 洪松, 邓宝山, 潘懋. 中国东部花岗岩、玄武岩及石灰岩上土壤微量元素含量的纬度分异. *土壤与环境*, 1999, 8 (3): 161-167
- [15] 廖金凤. 海南省土壤中的镍. *中山大学学报 (自然科学版)*, 1998, 37: 16-18
- [16] 张立. 东江流域上下游经济协调发展研究. *人民珠江*, 2004 (4): 5-7
- [17] 王肇鸿. 西江流域生态与环境保护刍议. *人民珠江*, 2004 (4): 73-75
- [18] 林初夏, 黄少伟, 童晓立, 卢文洲, 谭志远, 吴永贵, 聂呈详, 许颂军. 大宝山矿水外排的环境影响: III. 综合治理对策. *生态环境*, 2005, 14 (2): 173-177
- [19] 周健民, 党志, 司徒粤, 刘丛强. 大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究. *农业环境科学学报*, 2004, 23 (6): 1172-1176

Spatial Distribution and Sources of Heavy Metal Pollution of Agricultural Soils in the Typical Areas of Guangdong Province, China

YANG Guo-yi, ZHANG Tian-bin, WAN Hong-fu, LUO Wei, GAO Yuan-xue

(Guangdong Institute of Eco-Environmental and Soil Sciences, Guangdong Key Laboratory of Agro-Environment Integrated Control, Guangzhou 510650, China)

Abstract: A soil survey was carried out, covering six regions, one in the east part, one in the west part and four in the Pearl River Delta (PRD) for contents of heavy metals (Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd, As and Hg) in agricultural soils. Results showed that 39.79% of the 578 soil samples collected from the top layers of the agricultural land in these regions were found to exceed the criteria for respective heavy metals of Grade II of the national standard for environment quality. Ni was the most serious one while Pb the least or still below the criterion. Orchard soils were more polluted than paddy soils and vegetable soils, and the PRD than the east and west of parts of Guangdong, and the Xijiang and Beijiang River valleys (Zhongshan and Shunde) than the Dongjiang River valley (Dongguan and Huizhou) in the PRD. Human activities, soil parent materials and water quality were major causes of the heavy metal pollution of the agricultural lands in these regions.

Key words: Typical areas of Guangdong Province, Agricultural soil, Heavy metals, Pollution