

# 昆明地区土壤重金属与农药残留分析

陈建军,张乃明,秦丽,陈海燕 (云南农业大学 资源与环境学院,云南 昆明 650201)

**摘要:** 对昆明地区土壤中 Cd、Cu、Pb、As、Cr、Hg 6 种重金属和六六六、DDT、甲胺磷、乐果 4 种农药含量进行了调查监测,并就其来源及污染状况进行了评价,结果表明: Cd、Cu、As、Hg 等重金属对土壤均存在不同程度的污染,其中 Cd 污染最为严重,其后依次为 Cu、Hg、As、Pb、Cr,土壤重金属综合评价为中度污染,土壤有机氯农药仍有部分残留,有机磷农药残留量很低。

**关键词:** 土壤; 重金属; 农药; 评价; 环境质量

**中图分类号:** X825; X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5906(2004)04-0037-04

**Heavy metal pollution and pesticide residues in soils of Kunming area.** CHEN Jianjun, ZHANG Nai2ming, QIN Li, CHEN Hai2yan (College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China). *Rural Eco2Environment*, 2004, 20(4): 37-40

**Abstract:** Investigations and survey were carried out to determine heavy metal pollution (Cd, Cu, Pb, As, Cr and Hg) and pesticide residues (666, DDT, methamidophos, omethoate) in soils of Kunming area. Their sources were probed into and severities assessed. The results indicate that the soils are polluted with Cd, Cu, As and Hg to a varying extent. The pollution by Cd is the most serious and then followed in the order of Cu > Hg > As > Pb > Cr. The comprehensive assessment shows that the heavy metal pollution of the soil is medium in level. Residues of organic chlorin pesticides were found in the soil, and so were organic phosphor pesticides, though quite low in content.

**Key words:** soil; heavy metal; pesticide; evaluation; environment quality

土壤既是自然环境的构成要素,又是农业生产最重要的自然资源。随着经济的迅速发展,重金属、化学农药等污染物通过污水灌溉、农药化肥的大量施用、大气沉降等各种途径进入土壤。重金属因不被微生物降解、不易移动,故进入土壤环境后不断累积,造成土壤严重污染,并导致农作物产量和质量下降;化学农药特别是有机氯农药由于其高残留、高富集等特性,易于通过食物链危害人类健康,且导致水环境质量恶化,土壤重金属和农药残留污染,已引起世界各国的广泛重视。昆明作为云南省最大的中心城市,种植业生产结构发生了深刻变化,已成为云南主要的蔬菜、花卉生产基地,大棚栽培等设施农业迅速普及,化肥和农药的施用种类与数量不断增加,土壤中重金属的累积问题开始受到关注,虽然已有一些相关报道,但调查采样范围较小,且所测重金属种类有限。为此,2002年10月至2003年3月对昆明地区土壤中6种重金属与4种农药残留进行了监测,范围涉及昆明地区4个区县15个乡镇,约753 km<sup>2</sup>。目的是为该区域土壤环境保护与农业可持续发展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查区自然、社会、经济概况

以昆明为中心的滇池流域位于云贵高原中部,地处长江、红河、珠江3大水系分水岭地带,为北高南低、南北长、东西窄的狭长盆地形态,属中亚热带湿润季风气候,冬暖夏凉,四季不分明,干湿季变化显著,年平均降雨量为1035 mm。地带性土壤为山原红壤(湿润富铁土),偏酸性,肥力稍差;坝区为河湖堆积而成的水稻土(水耕人为土),土壤肥沃。主要种植蔬菜、花卉以及水稻、玉米、蚕豆、小麦、烤烟等。滇池流域磷矿资源非常丰富,可称“中国磷矿之最”,主要磷矿位于滇池之边。昆明地区是云南省人口最密集、经济最发达的地区,也是云南省政治、文化中心。

基金项目:云南省应用基础研究基金项目(1999C0011G)

收稿日期:2003-12-08

通讯联系人

## 1.2 样品采集与制备

根据行政区划、地形、土地利用现状兼顾的原则,在调查的15个区共布设45个采样点,主要分布在滇池流域,采样点位图见图1。

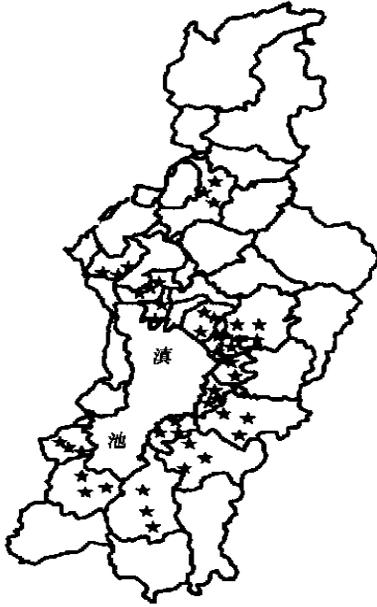


图1 采样点位图(分区为乡级行政区划)

Fig.1 Distribution of sampling sites

根据布置的采样点,选择有代表性的地块,用竹签取表土层(0—20 cm)土壤3~5个分样组成混合样1 kg左右,经自然风干,木棒压磨,过2 mm尼龙筛,去掉砂砾及动植物残体。然后取其中均匀的100 g土样,磨细,全部通过0.149 mm(100目)尼龙筛,混合均匀,装磨口瓶备用。

## 1.3 分析方法

对土壤样品中Pb、Cd、Cu、As、Cr、Hg 6种重金属元素和六六六、DDT、甲胺磷、乐果4种农药进行

分析。分析方法:采用原子吸收分光光度法测定Pb、Cd、Cu,冷原子吸收分光光度法测定Hg,氨基甲酸银分光光度法测定As,二苯碳酰二肼分光光度法测定Cr<sup>[1]</sup>,气相色谱法测定六六六、DDT、甲胺磷、乐果。NaHCO<sub>3</sub>浸提,钼蓝比色法测定土壤有效磷,玻璃电极法测定pH值<sup>[2]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤重金属与农药污染的现状

#### 2.1.1 土壤Cd、Cu、Pb、As、Cr和Hg的含量

采样点所在区中11个区为平地,4个区为山地,平地与山地土壤类型不同,各重金属元素含量现状(表1)与土壤背景值<sup>[3]</sup>相比,平地超标率分别为Cd 100%,Hg 100%,As 81182%,Cu 81182%,Pb 63164%,Cr 27127%;山地超标率分别为Cd 100%,Hg 100%,As 50100%,Cu 50100%,Pb 50100%,Cr 0%,说明昆明地区重金属污染程度已比较严重,平地污染重于山地。与GB 15617—1995《土壤环境质量标准》<sup>[4]</sup>二级标准相比,平地超标率分别为Cd 100%,Hg 911%,As、Cu、Pb和Cr为0%;山地超标率均为0%。结合采样点的地形和土地利用方式分析,滇池湖滨平地土地复种指数高,化肥、农药施用量大,重金属含量相对较高,超标率也较高。坡地土地复种指数低,化肥、农药施用量较小,重金属含量相对较低。6种重金属元素中,Cd的变异系数最大,达到超强变异强度水平,超标率也最高,说明土壤中Cd受人类生产活动的影响较其他元素显著,污染也比较重。

#### 2.1.2 土壤农药残留状况

昆明地区土壤中有机氯(六六六、DDT)和有机磷(甲胺磷、乐果)的残留状况见表2。

表1 昆明地区土壤重金属含量

Table 1 Heavy metal contents in soil of Kunming

| 元素 | 平均值/<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | 标准差/<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | 变异系数/<br>% | 最大值/<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | 最小值/<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | 样本数 <i>n</i> | 背景值/<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | 土壤环境<br>质量标准值/<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |
|----|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--|
| Cu | 62.630                         | 30.277                         | 48.3       | 171.447                        | 14.142                         | 45           | 44.56                          | 100                                      |
| Pb | 56.984                         | 39.615                         | 69.5       | 264.794                        | 23.666                         | 45           | 43.28                          | 300                                      |
| Cd | 0.548                          | 1.392                          | 254.0      | 0.968                          | 0.285                          | 45           | 0.177                          | 0.3                                      |
| Hg | 0.231                          | 0.176                          | 76.1       | 0.751                          | 0.032                          | 45           | 0.041                          | 0.5                                      |
| As | 14.549                         | 6.926                          | 47.6       | 41.011                         | 3.098                          | 45           | 11.19                          | 30                                       |
| Cr | 62.294                         | 25.698                         | 41.3       | 121.166                        | 8.362                          | 45           | 73.25                          | 200                                      |

表 2 昆明地区土壤农药残留量

Table 2 Pesticide contents in soil of Kunming

| 农药品种 | 平均值/<br>( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 标准差/<br>( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 变异系数/<br>% | 最大值/<br>$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 最小值/<br>$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 样本数 $n$ |
|------|--|--|------------|--|--|---------|
| 六六六  | 1.05   | 0.000 50                                       | 0.048      | 2.33                                       | 0.08                                       | 45      |
| DDT  | 20.89  | 0.034 74                                       | 0.170      | 153.00                                     | —  | 45      |
| 甲胺磷  | —  | —  | —          | —  | —  | 45      |
| 乐果   | —  | —  | —          | —  | —  | 45      |

对六六六检测了 2666、2666、2666、2666 4 种异构体残留总和,对 DDT 检测了 2 种异构体( $o, p$  DDT、 $p, p$  DDT)及其代谢产物( $o, p$  2DDE、 $p, p$  2DDD)残留总和。共检测土样 45 个,测定结果显示:有机氯中六六六在所有样品中均有检出,最大值为  $2.326 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,DDT 在 39 个样品中有检出,检出率为 86.67%,最大值为  $153100 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。甲胺磷和乐果均未检出。说明昆明地区部分区域仍有有机氯农药残留,而有机磷农药土壤残留量很低,这与 2 类农药在土壤中的降解速率有关。

## 2.2 土壤重金属污染与农药残留的来源

土壤是一个开放系统,土壤中重金属的来源是多方面的,首先是成土母质本身含有重金属,不同母质形成的土壤重金属含量差异很大<sup>[5]</sup>。此外,影响土壤系统重金属累积的外源因子很多,包括化肥和农药的使用、污水灌溉、污泥和城市垃圾农用、工业与畜禽废弃物排放、大气沉降等<sup>[6]</sup>。昆明地区大气环境质量较好,农田灌溉用水主要是滇池水、山泉水和井水,几乎不存在纯污水灌溉,工业及城市垃圾向农村倾倒的现象较少。土壤 Cd 背景值<sup>[3]</sup>为  $0.177 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,且昆明地区磷矿资源丰富,土壤磷肥施用量大,根据对该地区 45 个采样点农户的调查,磷肥平均施用量为  $502.1 \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,各土样有效磷平均含量高达  $189.49 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,是一般农田土壤含磷量的 10 多倍,因此该地区 Cd 污染严重,主要原因与土壤母质和大量施用磷肥有关。已有研究报道<sup>[5]</sup>施用含有 Pb、Hg、Cu、As 等的农药和不合理施用化肥,都可以导致土壤重金属污染。一般过磷酸盐中含有较多的重金属 Hg、Cd、As、Zn、Pb 等,新西兰某地 50 a 前和同一地点 50 a 后 58 个土样分析比较表明,施用磷肥后,土壤 Cd 从  $0.39 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  升至  $0.85 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[7]</sup>,国外的研究证实连续施用磷肥可引起表土 Cd 含量显著增加<sup>[6]</sup>。

农药施用是农业土壤中农药残留的主要来源<sup>[8]</sup>,虽然我国于 20 世纪 80 年代初禁止生产及在

农业中使用有机氯农药<sup>[8]</sup>,但昆明地区仍有部分区域有机氯农药残留较为严重,这与有机氯农药在土壤中的高残留、高富集特性有关。与此相反,有机磷农药在土壤中的残留量很低,是因为有机磷农药在土壤中的降解速率较快。

## 2.3 土壤重金属与农药污染评价

科学评价土壤环境质量状况,对采取相应的防治措施,确保农产品质量和人体健康具有重要意义。为了同时兼顾单因子污染指数平均值和最高值,突出污染较重的污染物,对土壤重金属污染采取了单因子指数和内梅罗综合指数法<sup>[9]</sup>相结合进行评价(以土壤环境质量标准为依据),评价模式如下:

$$P_i = C_i / S_i, P = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{i\max})^2}{2}}$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  种污染物单因子指数;  $P$  为土壤环境质量综合指数;  $C_i$  为第  $i$  种污染物的测定值;  $S_i$  为第  $i$  种污染物的评价标准值;  $(\bar{P}_i)^2$  为单因子指数平均值的平方;  $(P_{i\max})^2$  为单因子指数最大值的平方。根据单因子指数  $P_i$  和综合指数  $P$  值划分等极标准<sup>[9]</sup>( $P_i$  或  $P \leq 0.17$  为安全级,  $0.17 < P_i$  或  $P \leq 1$  为警戒级,  $1 < P_i$  或  $P \leq 2$  为轻度污染,  $2 < P_i$  或  $P \leq 3$  为中度污染,  $P_i$  或  $P > 3$  为重度污染,  $P_i$  或  $P$  值越大污染越严重。

通过单因子指数和内梅罗综合指数法进行计算,其评价结果见表 3。从表 3 可以看出,昆明地区土壤中从单因子污染评价,污染程度依次为:  $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Hg} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Cr}$ ,其中 Cd 污染指数最大,为 2.622,达中度污染;Cu、Hg、As 为轻度污染;Pb、Cr 尚未污染。土壤综合污染指数为 2.038,达中度污染水平。因此,该地区应注意土壤重金属污染防治,特别应控制磷肥施用,以防止污染程度进一步加重。

以土壤环境质量标准(六六六  $0.50 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、DDT  $0.50 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )为依据,对农药残留作评价。甲胺磷和乐果均未检出,可能与有机磷在土壤中较易降解转化、半衰期较短有关。六六六、DDT 均未超

标,与我国在 20 世纪 80 年代初开始禁止使用有机氯农药及调查区域土地利用强度较大有关。

表 3 昆明地区土壤重金属污染的评价

Table 3 Evaluation of heavy metal pollution in soil of Kunming

| 重金属 | 样本数 $n$ | $P_i$ | $P$   | 标准值/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) |
|-----|---------|-------|-------|--|
| Cu  | 45      | 1.296 | 2.038 | 100                                      |
| Pb  | 45      | 0.638 | 2.038 | 300                                      |
| Cd  | 45      | 2.622 | 2.038 | 0.3                                      |
| Hg  | 45      | 1.111 | 2.038 | 0.5                                      |
| As  | 45      | 1.026 | 2.038 | 30                                       |
| Cr  | 45      | 0.482 | 2.038 | 200                                      |

### 3 结论

(1) 昆明地区土壤已受到重金属不同程度的污染,且平地污染重于山地,污染最重的是 Cd,其后依次为 Cu、Hg、As、Pb、Cr,属中度污染。有机氯农药虽已禁用约 20 a,土壤中仍有部分残留。有机磷农药残留量很低。

(2) 昆明地区土壤重金属污染的来源主要是化肥的大量施用,其他来源所占比例相对较小。

(3) 从目前昆明地区土壤环境质量状况看,该地区不宜作为绿色食品、有机食品的生产基地,必须控

制化肥、农药的施用,采取相应措施进行土壤改良,否则将影响农产品质量、面源污染控制及滇池水环境质量。

#### 参考文献:

- [1] 奚旦立,孙裕生,刘秀英,等. 环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,1996
- [2] 鲁如坤,鲍士旦,秦怀英,等. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业技术出版社,1999
- [3] 祖艳群,李元,陈海燕,等. 昆明市蔬菜及其土壤中铅、镉、铜和锌含量水平及污染评价[J]. 云南环境科学,2003,22(增刊):55-57
- [4] GB 15618—1995,土壤环境质量标准[S]
- [5] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境,2002,11(1):79-84
- [6] 张乃明,常晓滨,邢承玉,等. 太原灌区土壤重金属污染研究[J]. 农业环境保护,1996,15(1):21-23
- [7] Taylor MD. Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soil[J]. J Sci Total Environ,1999,208(1/2):123-126
- [8] 龚钟明,陶澍,王学军,等. 天津地区土壤中 DDT 的残留分布研究[J]. 环境科学学报,2003,23(4):447-451
- [9] 刘元生,何腾兵,罗海波,等. 贵阳市乌当区耕地土壤重金属污染现状及其评价[J]. 重庆环境科学,2003,25(10):42-45

作者简介:陈建军(1970—),男,重庆合川人,讲师,主要从事环境生态、环境微生物及环境监测与评价方面的教学和科研工作。

## 《生态工程技术丛书——生态系统管理与技术》

该书详细介绍了生态系统管理理论与工程技术。具体涉及:生态系统管理理论与内容体系;生态系统管理中的空间技术、模拟技术、环境管理技术、生物管理技术;生态系统结构与服务的调控管理技术;几种生态系统的可持续利用与管理对策。(化学工业出版社 2004 年 3 月出版,28100 元)

## 《蚯蚓反应器与废弃物肥料化技术》

该书从我国城乡有机废弃物的来源、结构特点和污染危害入手,分析了采用物理、化学、生物处理处置方法的利弊,蚯蚓和微生物相互作用转化有机废弃物的生物学特性和生态学功能,介绍了国内外蚯蚓生物反应器处理有机废弃物的新思路、新技术,反应器生产纯蚯蚓生物有机肥、有机-无机复混肥和多功能生物有机肥的操作技术,蚯蚓与微生物相互作用的技术机理等。(化学工业出版社 2004 年 3 月出版,36100 元)

## 《经济动物生态养殖工程技术》(生态·环境与生态工程丛书)

全书共分 4 个部分:生态养殖水产经济动物、池塘混养水产经济动物、生态驯养野生经济禽兽、生态放养药用动物。阐述了特种经济动物形态特征与生活习性,经济动物生态养殖工程技术和生产经验等。实用性和针对性强,各地可根据当地具体条件灵活应用。“生态·环境与生态工程丛书”详细书目如下:

|                         |                     |                   |
|-------------------------|---------------------|-------------------|
| 经济动物生态养殖工程技术(36100 元)   | 干旱农业生态工程学(20100 元)  | 农村庭院生态工程(26100 元) |
| 经济植物生态种植工程技术(32100 元)   | 生态安全的系统分析(25100 元)  | 有机农业生态工程(18100 元) |
| 自然保护区建设与管理(32100 元)     | 海滨盐土农业生态工程(20100 元) | 生态恢复工程技术(26100 元) |
| 工业生态学理论与应用(30100 元)     | 生态经济系统能值分析(36100 元) | 农业生态工程(28100 元)   |
| 湿地资源利用与保护的优化模式(40100 元) |                     |                   |

以上图书全国各大书店均有售,如需获取更多信息,请登录 [www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn) 查询。邮购需加收 10% 邮资。  
地址:(100029)北京市朝阳区惠新里 3 号;收款人:化学工业出版社发行部;邮购电话:010-64918013