

◎ 程红艳 / 著

临汾市农业土壤中 重金属元素分析与评价

中国农业科学技术出版社

◎ 程红艳 / 著

临汾市农业土壤中 重金属元素分析与评价

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

临汾市农业土壤中重金属元素分析与评价/程红艳著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2007. 11

ISBN 978 - 7 - 80233 - 357 - 4

I. 临… II. 程… III. 耕作土壤—土壤污染: 重金属污染—研究—临汾市 IV. X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113132 号

责任编辑 张孝安

责任校对 贾晓红

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 68919708 (编辑室) (010) 68919704 (发行部)

(010) 68919703 (读者服务部)

传 真 (010) 68919709

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 新华书店北京发行所

印刷者 北京雅艺彩印有限公司

开 本 880 mm × 1 230 mm 1/32

印 张 7.5

字 数 180 千字

版 次 2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

定 价 23.00 元

———— 版权所有 · 翻印必究 ————

前 言

土壤中重金属污染是土壤圈物质循环和环境科学研究领域中的重要内容,由于它的研究在理论上涉及地球科学、环境科学和生命科学等重要领域,在实践上与有关环境标准的制定、食物链污染的控制、土壤植物系统净化功能的开发,例如,绿色食品的生产,废弃物的土地处理等关系密切,因而长期以来,一直是人们关注的热点研究课题。

20 世纪 60 年代以来,日本查明“骨痛病”、“水俣病”的成因,引起了世界各国的注意。环境与人类健康的关系逐渐被人们所认识,土壤是食物链中的一个重要环节,人和动植物地方病流行区与土壤气候带有密切的关系。从 20 世纪 90 年代开始,我国对砷中毒(地砷病)与环境的关系进行了研究。在云南省、贵州省、湖南省、新疆维吾尔自治区、台湾省和山西省已有这方面的报道。

本书对山西省临汾市农业土壤中 6 种重金属元素砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、汞(Hg)、铅(Pb)的含量及分布特征进行了研究,采用 SAS 统计学方法,编制出这 6 种重金属元素的频率分布图和聚类分析图,从理论和实际应用两个层面剖析了区域农业土壤中重金属元素含量分布的规律。

本书研究的内容是根据笔者在山西农业大学环境监测中心工作期间,并结合硕士论文所研究工作的部分内容整理成册的。在该课题的研究工作中,笔者得到了导师谢英荷教授的悉心指导,山西农业大学环境监测中心各位老师给予了大力支持和帮助。资源环境学院博士生导师洪坚平教授审阅了本书的初稿,

并提出了很好的修改意见。

本书在编写过程中参阅了国内外相关领域许多专家的研究成果和发表的文献资料，中国农业科学技术出版社为本书的出版给予大力支持与帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于著作者水平有限，书中错误和不妥之处，诚请广大读者批评指正。

作者

2007 年 7 月于山西农业大学

内容简介

本书对临汾市农业土壤中 6 种重金属元素砷 (As)、镉 (Cd)、铬 (Cr)、铜 (Cu)、汞 (Hg)、铅 (Pb) 的含量及分布特征进行了研究, 采用 SAS 统计学方法, 编制出这 6 种重金属元素的频率分布图和聚类分析图, 并对其进行了综合性评价。

本书兼具理论性、资料性和实践性, 可供土壤、环境、生态等专业的科学工作者及大专院校相关专业的师生参考。

目 录

第一章 临汾市概况	(1)
第一节 地理位置和行政区划	(1)
一、地理位置	(1)
二、行政区划	(2)
第二节 自然资源与环境条件	(3)
一、地质地貌	(3)
二、水资源	(7)
三、气候条件	(9)
四、植被	(10)
五、社会经济环境及农业概况	(16)
第二章 临汾市成土母质与主要土壤类型	(17)
第一节 成土母质	(17)
一、残积母质	(17)
二、黄土母质	(18)
三、黄土状母质	(18)
四、红黄土状母质	(18)
五、坡积母质	(18)
六、洪积母质	(19)
七、冲积母质	(19)
八、湖积母质	(19)
九、红土母质	(19)
第二节 主要土壤类型及分布	(20)
一、山地草甸土	(20)

二、棕壤	(21)
三、褐土	(22)
四、栗褐土	(33)
五、潮土	(35)
六、沼泽土	(41)
七、水稻土	(43)
八、盐土	(45)
九、石质土	(47)
十、粗骨土	(48)
十一、黄绵土	(49)
十二、红黏土	(52)
十三、新积土	(53)
第三章 土壤重金属元素的研究概况及统计学方法	(56)
第一节 土壤中重金属元素的研究概况	(56)
一、土壤重金属污染研究	(56)
二、重金属污染的植物效应研究	(58)
第二节 土壤中重金属元素的统计学方法	(64)
一、SAS 系统简介	(64)
二、聚类分析	(66)
三、假设检验分析	(75)
第四章 临汾市农业土壤中重金属元素砷的研究	(76)
第一节 土壤中砷的研究概况	(76)
一、概述	(76)
二、自然界中的砷	(76)
三、环境中的砷污染	(81)
四、砷在土壤中的分布及其迁移	(83)
第二节 土壤中砷的测定方法	(86)
一、样品的采集与制备	(86)

二、土壤中总砷的测定——二乙基二硫代氨基甲酸银 分光光度法 (GB/T17134—1997)	(86)
第三节 临汾市农业土壤中砷的含量与统计学特征	(90)
一、临汾市农业土壤中砷的含量	(90)
二、土壤中砷含量的区域分布	(94)
三、土壤中砷含量的聚类分析	(95)
第五章 临汾市农业土壤中重金属元素镉的研究	(96)
第一节 土壤中镉的研究概况	(96)
一、概述	(96)
二、自然土壤和农业土壤中镉的含量	(98)
三、土壤中镉化学平衡的研究	(103)
四、不同化学形态镉的研究	(104)
第二节 土壤中镉的测定方法	(106)
一、样品的采集与制备	(106)
二、土壤中镉的测定——石墨炉原子吸收分光光度法 (GB/T17141—1997)	(106)
第三节 临汾市农业土壤中镉的含量与统计学 特征	(110)
一、临汾市农业土壤中镉的含量	(110)
二、土壤中镉含量的区域分布	(114)
三、土壤中镉含量的聚类分析	(114)
第六章 临汾市农业土壤中重金属元素铬的研究	(116)
第一节 土壤中铬的研究概况	(116)
第二节 土壤中铬的测定方法	(127)
一、样品的采集与制备	(127)
二、土壤中总铬的测定——火焰原子吸收分光光度法 (GB/T17137—1997)	(128)
第三节 临汾市农业土壤中铬的含量与统计学	

特征	(132)
一、临汾市农业土壤中铬的含量	(132)
二、土壤中铬含量的区域分布	(135)
三、土壤中铬含量的聚类分析	(135)
第七章 临汾市农业土壤中重金属元素铜的研究	(137)
第一节 土壤中铜的研究概况	(137)
一、概述	(137)
二、土壤中铜的污染及其植物效应	(144)
第二节 土壤中铜的测定方法	(150)
一、样品的采集与制备	(150)
二、土壤中铜的测定——火焰原子吸收分光光度法 (GB/T17138—1997)	(150)
第三节 临汾市农业土壤中铜的含量与统计学 特征	(154)
一、临汾市农业土壤中铜的含量	(154)
二、土壤中铜含量的区域分布	(158)
三、土壤中铜含量的聚类分析	(158)
第八章 临汾市农业土壤中重金属元素汞的研究	(160)
第一节 土壤中汞的研究概况	(160)
一、概述	(160)
二、汞污染土壤的评价问题	(170)
第二节 土壤中汞的测定方法	(174)
一、样品的采集与制备	(174)
二、土壤中总汞的测定——冷原子吸收分光光度法 (GB/T17136—1997)	(174)
第三节 临汾市农业土壤中汞的含量与统计学 特征	(179)
一、临汾市农业土壤中汞的含量	(179)

二、土壤中汞含量的区域分布	(183)
三、土壤中汞含量的聚类分析	(184)
第九章 临汾市农业土壤中重金属元素铅的研究	(185)
第一节 土壤中铅的研究概况	(185)
一、铅对人体健康的影响	(185)
二、土壤铅的含量及污染来源	(187)
三、土壤铅污染对植物的影响	(189)
第二节 土壤中铅的测定方法	(191)
一、样品的采集与制备	(191)
二、土壤中铅的测定——KI - MIBK 萃取火焰原子 吸收分光光度法 (GB/T17134—1997)	(191)
第三节 临汾市农业土壤中铅的含量与统计学 特征	(196)
一、临汾市农业土壤中铅的含量	(196)
二、土壤中铅含量的区域分布	(199)
三、土壤中铅含量的聚类分析	(199)
第十章 临汾市农业土壤中主要重金属元素评价	(201)
第一节 土壤重金属元素背景值	(201)
一、土壤重金属元素背景值的研究概况	(201)
二、临汾市农业土壤中主要重金属元素分析与 评价	(204)
第二节 绿色食品产地土壤环境质量评价	(211)
一、评价参数	(211)
二、评价标准	(211)
三、评价方法	(212)
四、临汾市农业土壤中重金属元素评价分级结果	(215)
第三节 研究结论	(221)
参考文献	(224)

第一章 临汾市概况

第一节 地理位置和行政区划

一、地理位置

临汾市地理坐标为东经 $111^{\circ}23' \sim 112^{\circ}33'$ ，北纬 $35^{\circ}32' \sim 35^{\circ}57'$ 之间。南北长 138km，东西宽 145km，总面积 $20\,510\text{ km}^2$ 。山地占 29.2%，丘陵占 51.4%，大中平原占 19.4%，是一个丘陵为主的地区（图 1-1）。北以韩信岭为界与晋中地区相隔，东倚太岳山与长治市、晋城市为邻，西隔黄河与陕西省相望，西沿吕梁山与吕梁地区毗连，南与运城



图 1-1 临汾市地理位置图

地区接壤。临汾市居临汾盆地之中，地委行署设在这里，是临汾市政治、经济、文化和交通中心。

临汾市地形轮廓为四周环山，中部平川。地势是东北高、西南低，林木覆盖率 13%。境内有黄河、汾河、昕水河、沁河、浍河、鄂河、清水河七条较大河流，有霍州郭庄、临汾龙祠、洪洞广胜寺三个大泉。境内最高点是太岳山主峰，海拔 2 504m，最低点是乡宁县师家滩，海拔 381.5m。

临汾市属大陆性季风气候，无霜期 160 ~ 200d，年平均气温 10.7℃。从整个地区来看，气候温和，适宜种植小麦、棉花，素称麦棉之乡。临汾市矿藏资源丰富，主要有煤、铁、铜、石膏，还有金、银、铝矾土等。

二、行政区划

临汾行署现辖临汾市、侯马市和襄汾、曲沃、翼城、洪洞、



图 1-2 临汾市行政图

霍州、浮山、安泽、古县、汾西、蒲县、隰县、永和、大宁、吉县、乡宁共 17 个县市（图 1-2）。

临汾市总人口 311.6 万人，其中农村人口 269.43 万人，占 85.5%，平均人口密度每平方千米 152 人；总耕地面积 60.67 万 hm^2 ，占总面积的 29.5%；其中水浇地 13.47 万 hm^2 。

第二节 自然资源与环境条件

一、地质地貌

临汾地跨两大地质构造单元，以离石断层为界，西部是鄂尔多斯台地东延部分，东部是山西台背斜。新生界山西台背斜中部发生断陷，吕梁山、霍山相对抬升。北东方向展布，东西排列岭洼相间的地势格局基本形成。在这样格局明显、高差悬殊的地表出露的地层主要有：

第一，太古界为一套灰变质岩系，以片麻岩为主，分布在吕梁山下庄，范家庄一带，紫荆山中部，霍山轴部。风化后钠、钾离子含量较高。

第二，元古界为一套紫红色砂岩，页岩、灰岩夹火山岩，只在霍山、吕梁山有零星分布。

第三，古生界的寒武、奥陶系，除下部有少量的砂页岩外，基本上以灰岩为主，广泛分布在吕梁山的西坡，霍山的东坡及紫荆山部分地区构成山地主体。在现代条件下，风化物以碎屑为主，通体含钙甚多。石炭系地层为一套砂岩，砂质页岩，薄层灰岩夹煤层，局部地区有黄铁矿，使土体含硫较高，广泛分布在吕梁山、汾西丘陵、塔儿山及霍山顶部；二叠系地层为一套黄绿、紫红、灰紫色砂页岩，广泛分布在吕梁山上部，汾西丘陵东南，安泽、古县低山丘陵，塔儿山及浮山东部地区。

第四,中生界三叠系地层为一套土黄、肉红、灰白、紫红色砂岩,砂页岩,由于当时气候炎热、氧化作用较强、铁铝较富集,广泛分布于吕梁山以西的河东地区,安泽、浮山一带。

第五,新生界地层除老第三系外,其余广泛分布,主要集中在盆地及丘陵地区。新第三系以三趾马红土为主,更新统以黄土为主,全新统是黄土状物质及砂砾石。

另外,在卧虎山、十村山等处,还有燕山期的侵入岩,中性、碱性、偏碱性岩类出露地表。

按照地貌的基本成因及其地貌的景观轮廓,临汾市地貌可划分为以下几个区:

1. 东部山地丘陵区

北起太岳山,南到舜王坪,以山地为主,其间夹杂着黄土丘陵。

霍山山地为一紧密褶皱的不对称背斜断块土地,西翼较东翼陡,西翼有断层穿过,山体为灰岩覆盖,山高坡陡,海拔超过 2 400m,最高的五龙壑海拔 2 504m。

中条山也是一个断块山地,山地西侧与盆地以断层接触,山体呈阶梯状,山中发育着一系列冲沟,纵坡而跌水多,形成高山溶谷悬崖绝壁。

在中条山与霍山之间,广泛发育着黄山地貌。安泽和古县以山地丘陵为主,黄土覆盖较薄,常为浑圆的山地与宽广的河沟地貌相间;中条山北保存着一条较好的黄土梁垣地区,如隆化垣。

在南北黄土丘陵之间是浮山黄土盆地,受构造控制呈南宽北窄的楔头状。西为西左岭丘陵地带,东部为佛岭山丘陵低山,中间是黄土盆地。

东部山地地势高峻,气候、植被垂直分布明显,土壤垂直带随之变化,但山高石厚、土壤发育较差,宜于发展林草,中

间黄土丘陵地区，土厚水深，水土流失严重，是发展旱作农业的重要地区。

2. 中部盆地

中部盆地，习惯上称临汾盆地，是山西新生代断陷盆地之一。北起韩侯岭，南达紫荆山，长约 200km，东界太岳——中条山，西界吕梁山，宽约 20 ~ 25km，海拔 600m 左右，新生代地层厚 800m，第四纪沉积层厚 465m。山前洪积扇发育。以塔儿山——汾阳岭为界，北部称临汾盆地，南部称侯马盆地。

临汾盆地北窄南宽，由北而南高度逐渐降低。韩侯岭为新生代东西向隆起带，顶部平坦，多呈梁状地形，南坡受构造控制呈阶梯状下降，成为黄土梁或黄土坪。塔儿山——汾阳岭隆起带分为两段：西段是汾阳岭，为一弧形低丘，东段塔儿山为一断块起伏中等的低山，再向东经过浮山盆地南缘到达二峰山。在四周山地与平原交界处，广泛发育着丘、台和洪积扇。丘、台地形以汾西最为著名，其次是塔儿山北麓。洪积扇以吕梁山与霍山山前最为发育，盆地的中心为冲积平原，汾河从中纵贯，上新世早期，盆地下陷较深地区积水成湖，其他地区为洪积环境。上新世晚期大部分堆积了静乐红土。早中更新世，盆地内有几次暂短湖。中更新世中期，柴庄隆起脱离湖泊环境。湖泊向临汾、洪洞之间收缩，中更新世晚期湖泊消亡，形成平原。中、晚更新世之间，有过一次规模不大的侵蚀期，后来冲积了黄土，成为今日面貌。

侯马盆地是汾河下游盆地的东段，以侯马凹陷为中心。西北部是吕梁山前洪积扇，北部是塔儿山山前台地和倾斜平原，南边是紫荆山山前倾斜平原，西部是新绛基岩隆起带，东部是中条山及山前黄土梁。洪积扇、黄土梁因受流水切割，表面都比较破碎，或切割成台坪。

侯马盆地主体是广阔的冲积平原，松散沉积物深厚、钻孔

800m 见基岩，下部为河湖泊堆积物，上部覆盖着 10m 左右的冲积黄土，给土壤发育提供了很好的母质，由于受构造影响，盆地总是向南倾斜，但内部差异也很显著，如丰盈洼地，翼城、南唐、南常隆起带等。这种微小的起伏差异，在土壤发育上也反映出来。

紫荆山是紫荆山——秸王山隆起带的东段，山体像一个枣核。东西狭窄，中间宽广，北坡陡，南坡缓，顶部平坦，基岩裸露，南坡黄土覆盖较厚。山体不高，属于小起伏的中山。

3. 西部基岩山地

西部基岩山地是吕梁山的南段，呈穹形，平均海拔 1 200m，与山前平原区相对高差 600 ~ 700m，与黄土丘陵区相差 400 余米。最高峰紫荆山，海拔 2 012m，大部分地区基岩裸露，局部地区黄土覆盖，在低洼处形成山涧盆地。东部以罗云山——龙门山断层与盆地为界，山势高耸，西部虽有断层通过，但呈阶梯状，又有黄土覆盖，显得和缓。吕梁山次级构造也很发育，如由蒲县的化乐到临汾的晋掌，有一条狭窄的山垒，不仅影响地下水的流向，而且使这一带山体宽广。因为吕梁山山体相对来说较为宽大，顶部有多级夷平面。所以，除一些残山和海拔较高部位外，大部分地区残积物、风积物覆盖较厚，为土壤发育创造了一定条件。

4. 河东黄土丘陵区

河东黄土丘陵区基本上是鄂尔多斯台地的东延部分，整个地势由东向西倾斜，大部分为黄土覆盖，只有一些基岩残山散布在黄土的海洋中。由于新生代以来，几次大的侵蚀不断由山地向黄河移动，所以，在这一倾斜面上又看出一定的台阶来，区内差异也较大。可分为四个类型区。

(1) 山前薄层黄土区：分布在吕梁山及一些残山周围，一般厚度不超过 20m，多呈鳞片状，只在一些老冲沟中松散堆积