

HEAVY METAL POLLUTION ECOLOGY  
AND ECOLOGICAL REMEDIATION

# 重金属污染生态 与生态修复

李元 祖艳群 主编



科学出版社

# 重金属污染生态与生态修复

## Heavy Metal Pollution Ecology and Ecological Remediation

李元 祖艳群 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本著作把作者近年的科研成果与国内外研究进展有机地结合在一起,在系统分析了土壤重金属环境行为的基础上,全面阐述了植物对重金属的吸收累积、重金属对植物的影响、重金属对植物的毒害作用、植物对重金属的解毒作用,深入探讨了植物与重金属之间的相互作用及机理,创新提出了重金属轻度污染土壤的农业利用、重金属中度污染土壤的植物修复及植物-微生物联合修复、重金属重度污染土壤的生态恢复,指出了土壤重金属污染的生态风险,提出了土壤重金属污染的管理对策。

本书适合生态学、环境科学、环境工程、生物学、土壤学、农业科学、林业科学等专业的科研、教学、技术工作者和研究生、本专科学子参考阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

重金属污染生态与生态修复/李元,祖艳群主编. —北京:科学出版社, 2016.6

ISBN 978-7-03-048487-1

I. ①重… II. ①李… ②祖… III. ①植物-应用-土壤污染-重金属污染-生态恢复 IV. ①X53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第121642号

---

责任编辑:王海光 夏 梁 / 责任校对:刘亚琦  
责任印制:张 伟 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:26

字数:596 000

定价:158.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《重金属污染生态与生态修复》

## 作者名单

主 编：李 元 祖艳群

副主编：陈建军 湛方栋

编 者（按姓氏笔画排序）：

王吉秀 方其仙 李 元 李明锐

何永美 陈建军 陈海燕 祖艳群

秦 丽 郭先华 湛方栋

## 主 编 简 介

**李元** 兰州大学生态学博士、兰州大学化学博士后、澳大利亚悉尼大学访问学者。二级教授、博士生导师。国家百千万人才、国务院政府特殊津贴专家、教育部高等学校自然保护与环境生态教学指导委员会委员、云南省学术带头人。云南农业大学资源与环境学院院长、云南省农业环境污染控制与生态修复工程实验室主任。主要从事重金属污染生态与生态修复、生物多样性控制农业环境污染等方面的研究工作。主持完成国家水体污染防治重大科技专项子课题、国家科技支撑计划课题、国家自然科学基金-云南联合基金项目、国家自然科学基金项目、中法先进研究计划项目等。获省部级科技奖励 8 项。

**祖艳群** 比利时 Gembloux 农业大学农业与生物工程学博士，法国卡赛里克大学高级农学院访问学者。教授，博士生导师。云南省学术带头人、云南省农业环境保护教学团队负责人、云南省教学名师。主要从事土壤重金属污染植物修复、农业面源污染控制等方面的研究工作。主持完成多项国家自然科学基金项目，参与承担国家水体污染防治重大科技专项子课题、国家科技支撑计划课题、国家自然科学基金-云南联合基金项目、中法先进研究计划项目等。获省科技奖励 6 项。

# 前 言

重金属是重要的环境因素，是目前对人类危害最大的污染物之一。重金属污染治理已成为国家重大需求。加强重金属污染生态与生态修复研究，推动土壤重金属污染生态修复迫在眉睫。

重金属污染对生物的影响、生物对重金属污染的适应，以及生物对重金属污染的修复，都充分体现了重金属与生物之间的生态关系。一方面，需要进一步深入研究重金属污染对生物的影响及机理，即重金属污染生态；另一方面，也需要高度关注生物对重金属污染的适应，以及生物对重金属污染的修复，即重金属污染的生态修复。因此，高度关注重金属污染生态与生态恢复的研究，全面系统地分析重金属污染生态与生态修复的研究进展就显得特别重要。

近十多年来，在国家自然科学基金等科研计划的支持下，作者一直进行着重金属污染生态与生态修复方面的研究工作。这些研究工作包括国家自然科学基金-云南联合基金项目“本土植物与作物间作修复铅锌矿周边 Cd、Pb 污染农田的根际特征与机理”(U1202236, 2013-2016)、国家自然科学基金项目“四种野生植物对 Pb、Cd 和 Zn 的累积特征、机理及净化效率”(30560034, 2006-2008)、“DSE-植物联合体硫素营养代谢特征及其促进镉累积的机理”(41101486, 2012-2014)、“云南道地药材三七皂苷和黄酮产量对土壤 As 的响应及其机理研究”(41261096, 2013-2015)、“轮作作物与丛枝菌根真菌互作及其影响土壤镉形态的根际过程与机理”(41461093, 2015-2018)、“石灰介导下三七对镉胁迫的根部响应特征及机理研究”(31560163, 2016-2019)、中法先进研究计划项目“土壤重金属污染的农业利用和植物修复”(PRAE 01 02, 2002-2003)。在重金属污染生态与生态修复方面取得了新的进展和突破，建立了重金属污染生态的理论与重金属污染土壤的植物修复的技术。这些成果的取得，为作者编写本著作奠定了扎实的基础。

本著作把作者近年来的科研成果与国内外研究进展有机地结合在一起，并进行了系统深入的分析。书中构建了金属污染生态与生态修复的系统的知识结构、创新的理论体系和新颖的技术框架，在系统分析了土壤重金属环境行为的基础上，全面阐述了植物对重金属的吸收累积、重金属对植物的影响、重金属对植物的毒害作用、植物对重金属的解毒作用，深入探讨了植物与重金属之间的相互作用及机理，创新提出了重金属轻度污染土壤的农业利用、重金属中度污染土壤的植物修复及植物-微生物联合修复、重金属重度污染土壤的生态恢复，指出了土壤重金属污染的生态风险，提出了土壤重金属污染的管理对策。

本著作具有 5 个显著特点：①学术思想明确。充分贯穿和体现了生态学思想，深入分析了重金属与生物之间的相互关系、相互作用。以生态学理论为指导，构建了重金属污染生态与生态修复的理论与技术。②内容全面。突出近期国内外研究成果，既反映作者的研究成果，又包括国内外相关研究进展；既突出重金属污染生态，又体现重金属污

染的生态修复,既突出重金属与植物、微生物相互作用的理论及机理,又体现重金属污染生态修复的应用及实践。③体系完善。包括了土壤重金属环境行为、重金属污染生态、重金属污染土壤的生态修复、土壤重金属污染的生态风险及管理等内容。④重点突出。在全面概括了重金属污染生态的理论及机理,系统分析不同程度重金属污染土壤的植物、微生物修复的理论及技术,针对性地提出不同程度重金属污染土壤生态修复的管理措施的基础上,特别突出了重金属污染生态、重金属污染土壤的生态修复等方面的最新研究成果。⑤观点新颖。提出了针对不同的重金属污染程度进行生态修复与治理的观点,主要为重金属轻度污染土壤的农业利用、重金属中度污染土壤的植物-微生物联合修复、重金属重度污染土壤的生态恢复。

多年来,关于土壤重金属与生物关系的专著主要针对重金属对生物的影响,近年来,已有专著探讨土壤重金属污染的植物修复,而系统阐述重金属污染生态与生态修复的专著仍然较少,本著作将填补此项空白。本著作既能丰富我国重金属污染生态与生态修复的理论,进一步阐明生态系统中重金属与植物微生物相互作用机理,又能指导重金属污染生态修复的应用与实践,具有重要的科学意义和学术价值。

《重金属污染生态与生态修复》由李元、祖艳群提出编写提纲,李元、祖艳群、湛方栋、陈建军等共同确定提纲,并组织召开编写会,经全体编写人员讨论通过了编写提纲,然后,由多位学者共同执笔编写。全书共包括10章。第一章土壤重金属的环境行为由方其仙编写,第二章植物对重金属的吸收累积由李明锐编写,第三章重金属对植物的影响由陈海燕编写,第四章重金属对植物的毒害作用及机理由何永美编写,第五章植物对重金属的解毒作用及机理由祖艳群编写,第六章重金属轻度污染土壤的农业利用由秦丽编写,第七章重金属中度污染土壤的植物修复由王吉秀编写,第八章重金属中度污染土壤的植物-微生物联合修复由湛方栋编写,第九章重金属重度污染土壤的生态恢复由陈建军编写,第十章土壤重金属污染评价及生态风险管理由郭先华编写。初稿完成后,由李元、祖艳群、湛方栋、陈建军审稿,并对各章提出修改意见和建议,各位编者进行了认真的修改和完善,完成定稿。

本著作从生态学的角度全面分析了重金属与生物的生态关系,深入阐明了土壤重金属污染修复的生态过程,探讨了生物多样性在土壤重金属污染生态修复中的运用,构建了土壤重金属污染生态修复的技术体系,体现了土壤资源合理利用、持续发展的思想。

由于作者水平有限,加之本著作涉及的学科领域较多,书中难免存在疏漏之处,望同行专家和读者批评指正。

编 者

2015年6月

# 目 录

第一章 土壤重金属的环境行为	1
第一节 土壤重金属背景值	1
一、重金属的概念	1
二、土壤重金属背景值	1
三、土壤重金属的来源	5
四、土壤重金属的特点	7
五、土壤重金属的形态	8
六、土壤中重金属形态的影响因素	9
第二节 土壤重金属的空间分布	13
一、土壤重金属的水平分布	13
二、土壤重金属的垂直分布	15
第三节 土壤重金属的化学行为	16
一、重金属在土壤中的迁移转化	16
二、土壤重金属转化	18
第四节 土壤重金属污染影响因素	18
一、土壤重金属污染的现状	19
二、土壤重金属污染的特点	19
展望	21
第二章 植物对重金属的吸收累积	22
第一节 植物对重金属的吸收	22
一、土壤中重金属的生物可利用性	22
二、植物根部吸收重金属的主要过程	23
三、植物叶片吸附与吸收重金属	27
第二节 重金属在植物体内的迁移	28
一、从根向地上部的移动	28
二、向叶片的移动	32
第三节 植物体内重金属的分布和化学形态	33
一、重金属在植物各器官中的含量和分布	33
二、重金属在植物细胞器中的含量和分布	37
三、重金属在植物体内的超微结构分析	39
四、重金属在植物体内的化学形态	39
第四节 植物对重金属的累积特征	43
一、植物累积重金属的指标	43



二、植物对重金属的积累特征·····	45
第五节 植物对重金属的耐性特征与种间差异·····	49
一、植物对重金属的超富集·····	49
二、植物对重金属的适应性和耐性·····	54
第六节 影响植物吸收、累积重金属的因素·····	57
一、植物种特性·····	57
二、污染物的种类和形态·····	59
三、土壤性质·····	60
四、环境因素对重金属在植物体内积累的影响·····	64
展望·····	65
第三章 重金属对植物的影响·····	66
第一节 重金属对植物细胞分裂与植物生长发育的影响·····	66
一、重金属对植物细胞分裂的影响·····	66
二、重金属对植物营养生长及形态的影响·····	67
三、重金属对植物生殖生长的影响·····	70
四、重金属对种子萌发的影响·····	71
第二节 重金属对植物解剖结构和超微结构的影响·····	72
一、重金属对植物茎叶解剖结构的影响·····	73
二、重金属对植物细胞超微结构的影响·····	76
第三节 重金属对植物生理生化的影响·····	81
一、重金属对植物光合色素的影响·····	81
二、重金属对植物丙二醛的影响·····	83
三、重金属对植物脯氨酸的影响·····	84
四、重金属对植物细胞膜透性的影响·····	85
五、重金属对植物保护酶系统的影响·····	86
六、重金属对植物物质吸收与代谢的影响·····	88
第四节 重金属对植物生物量和产量的影响·····	92
一、重金属对植物生物量的影响·····	92
二、重金属对作物产量的影响·····	93
第五节 重金属对作物品质的影响·····	95
一、重金属对植物蛋白质和氨基酸含量的影响·····	95
二、重金属对植物脂肪含量的影响·····	98
三、重金属对植物碳水化合物含量的影响·····	100
四、重金属对植物维生素 C 含量的影响·····	101
五、重金属对中草药品质的影响·····	102
展望·····	105
第四章 重金属对植物的毒害作用及机理·····	106
第一节 重金属对植物的毒害作用·····	106
一、重金属毒害作用的定义·····	106

二、重金属毒害作用的评价标准	107
三、重金属毒害作用的评价方法	108
四、重金属毒害作用的临界值	113
第二节 植物受重金属毒害的条件	117
一、重金属离子的性质	117
二、环境条件	120
三、化学元素间的相互作用	124
第三节 植物受重金属毒害的机理	140
一、重金属毒害植物的细胞机理	140
二、重金属毒害植物的生理生化机理	144
三、重金属毒害植物的分子机理	145
展望	148
第五章 植物对重金属的解毒作用及机理	149
第一节 植物对重金属的拒绝吸收	149
一、根际效应、菌根化作用对植物重金属拒绝吸收的影响	149
二、根系分泌物对植物重金属拒绝吸收的影响	150
三、根表铁膜对植物拒绝吸收重金属的影响	155
四、先锋植物对重金属的拒绝吸收作用	156
第二节 植物细胞对重金属的结合钝化作用	157
一、细胞壁的结合钝化	157
二、细胞膜的结合钝化	160
第三节 植物对体内重金属的隔离作用	167
一、液泡的隔离作用	167
二、植物组织水平上对重金属的隔离作用	168
第四节 植物对重金属的代谢解毒作用	168
一、金属硫蛋白	169
二、植物络合素	169
三、热激蛋白	170
四、多胺	171
五、非酶类抗氧化剂	171
六、抗氧化酶系统	172
七、脱落酸	173
八、其他重金属络合的配位体	174
第五节 植物对重金属的遗传解毒作用	174
一、不同生态型植物对重金属的响应差异	174
二、蛋白质组学水平上植物对重金属的解毒	176
三、基因工程在植物重金属解毒中的作用	181
第六节 植物对重金属的排出作用	183
一、细胞间的排出作用	183

二、组织器官的脱落排出作用 .....	183
三、根系的分泌作用 .....	183
四、吐水作用 .....	183
展望 .....	183
<b>第六章 重金属轻度污染土壤的农业利用 .....</b>	<b>185</b>
第一节 低富集重金属的作物品种筛选及利用 .....	185
一、植物对重金属耐性及吸收积累的差异 .....	186
二、低富集重金属作物品种的筛选 .....	188
第二节 土壤改良剂调控降低重金属活性 .....	196
一、石灰 .....	196
二、黏土矿物 .....	200
三、赤泥 .....	201
第三节 施肥降低重金属活性 .....	202
一、N、P 肥 .....	203
二、有机肥 .....	207
三、磷酸盐肥料 .....	209
四、N 肥和有机肥混合施用 .....	211
第四节 土壤水分调控降低重金属活性 .....	213
一、水分调控对土壤 Eh 的影响 .....	213
二、水分调控对土壤 pH 的影响 .....	217
三、水分调控影响土壤重金属的形态转化 .....	217
四、水分调控降低作物吸收重金属 .....	219
第五节 非食用植物种植 .....	220
一、园林植物 .....	220
二、花卉植物 .....	222
三、纤维植物 .....	222
展望 .....	225
<b>第七章 重金属中度污染土壤的植物修复 .....</b>	<b>226</b>
第一节 土壤重金属污染的修复 .....	226
一、重金属污染土壤的物理修复 .....	226
二、重金属污染土壤的化学修复 .....	229
三、生物修复 .....	233
第二节 农田土壤重金属污染的植物修复 .....	236
一、超富集植物的定义及标准 .....	236
二、超富集植物机理 .....	238
三、超富集植物对土壤重金属污染的净化效率 .....	245
第三节 作物-超富集植物间作修复 .....	247
一、作物-超富集植物间作的概念 .....	247
二、作物-超富集植物间作体系对植物重金属累积的影响 .....	248

三、作物-超富集植物间作体系促进重金属累积的机理 .....	256
第四节 提高植物修复效率的土壤性质调控途径 .....	259
一、土壤 pH 调控增强重金属生物有效性 .....	260
二、土壤氧化还原电位调控增强重金属生物有效性 .....	260
三、土壤有机质调控增加重金属生物有效性 .....	261
四、土壤水分状况调控重金属生物有效性 .....	262
五、土壤微生物调控重金属生物有效性 .....	264
展望 .....	264
第八章 重金属中度污染土壤的植物-微生物联合修复 .....	266
第一节 土壤微生物对重金属的耐性及其机理 .....	266
一、土壤微生物对重金属的耐性 .....	266
二、土壤微生物对重金属耐性的机制 .....	269
第二节 微生物对土壤重金属赋存形态的影响 .....	280
一、微生物对土壤重金属形态的影响 .....	280
二、微生物对土壤重金属价位的影响 .....	283
第三节 土壤微生物对植物吸收累积重金属的影响 .....	284
一、土壤微生物在植物吸收累积重金属中的作用 .....	285
二、土壤微生物影响植物吸收累积重金属的机理 .....	286
第四节 植物-根部共生菌对重金属的吸收累积特征 .....	287
一、植物-AMF 共生体对重金属的吸收累积特征 .....	287
二、豆科植物-根瘤菌共生体对重金属的吸收累积特征 .....	290
三、植物-DSE 共生体对重金属的吸收累积特征 .....	291
第五节 土壤重金属污染的植物-微生物联合修复 .....	294
一、植物-微生物联合修复的类型 .....	294
二、土壤重金属污染的植物-共生菌联合修复的特征 .....	294
三、土壤重金属污染的植物-非共生菌联合修复的特征 .....	295
第六节 土壤重金属污染的植物-微生物联合修复的机理 .....	297
一、提高植物累积重金属 .....	297
二、促进植物生长 .....	298
三、提高土壤重金属生物有效性 .....	299
四、影响植物对重金属的吸收与分配 .....	301
展望 .....	302
第九章 重金属重度污染土壤的生态恢复 .....	304
第一节 重金属矿区的植物群落及生态系统特征 .....	304
一、重金属矿区的生态环境问题 .....	304
二、重金属矿区植物组成和群落特征 .....	305
三、重金属矿区植物多样性特征 .....	311
四、重金属矿区植被生态系统特征 .....	312
第二节 重金属矿区废弃地植被恢复中的地表整形和土壤改良 .....	314

一、地表整形措施.....	314
二、土壤改良措施.....	316
第三节 重金属矿区废弃地的植被恢复.....	322
一、金属矿区先锋植物.....	323
二、植物群落构建与植被恢复.....	325
第四节 重金属矿区废弃地植被恢复的生态效应.....	333
一、重金属矿区土壤植被恢复对土壤理化性质的影响.....	333
二、重金属污染土壤植被恢复对微生物区系的影响.....	334
三、重金属矿区植被恢复过程中的植物群落特征变化.....	336
四、重金属矿区废弃地植被恢复的水土保持效果.....	338
展望.....	342
第十章 土壤重金属污染评价及生态风险管理.....	343
第一节 土壤重金属污染评价.....	343
一、土壤重金属污染评价标准.....	343
二、土壤重金属污染评价方法.....	346
第二节 土壤重金属污染生态风险评价.....	351
一、土壤重金属污染的生态风险.....	351
二、土壤重金属生态风险评价的技术方法.....	351
三、土壤重金属污染的生态风险评价程序.....	352
第三节 土壤重金属污染管理.....	356
一、土壤重金属污染管理的法律体系.....	356
二、重金属污染管理的规划.....	357
三、重金属污染的分类分级管理.....	358
展望.....	360
本章附录.....	361
参考文献.....	362

# 第一章 土壤重金属的环境行为

土壤重金属污染是由于人类活动，导致重金属在土壤中累积，含量超过背景值。重金属在土壤中以水溶态、交换态、有机物结合态、铁锰氧化物结合态和残渣态等形态存在，发生吸附、迁移、转化等环境行为，并随着土壤条件的变化，发生相互转化。

本章介绍了土壤重金属及其背景值，土壤重金属的来源、特点、形态特征及影响因素；土壤重金属的空间分布，包括水平分布和垂直分布情况；土壤重金属的化学行为，即土壤重金属的迁移和转化；土壤重金属污染的影响因素等。

## 第一节 土壤重金属背景值

由于人类活动，土壤中重金属含量明显高于原生背景值，将造成生态环境质量的退化。本节主要介绍土壤重金属的概念、背景值、来源、特点、形态及其影响因素。

### 一、重金属的概念

重金属是指密度等于或大于  $5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  的金属。这类元素的生理功能取决于它们的浓度，低浓度时可能刺激植物生长；高浓度时，对生物产生毒害作用。生物毒性显著的重金属有 Hg、Pb、Cr、Cd 及类金属 As（As 是非金属，因其毒性及某些性质与重金属相似，将其列入重金属污染范围内）。

重金属是农产品中四大化学污染因素之一，毒性随形态而异，不能通过生物降解而消除，容易通过食物链对生物体产生显著影响。有些金属元素（如 Cu、Zn）是人体和其他生物体所必需的微量元素，小于最低阈值生物就会出现缺素症，影响机体的某些生理功能；但如果大于最高阈值，就会对生物体产生某些毒性。重金属元素在环境和生物体中迁移转化的最大特点，是不能或不易被生物体分解转化后排出体外，只能沿食物链逐级传递，在生物体内浓缩放大，当累积到较高含量时，就会对生物体产生毒性效应。要有效地减轻重金属对人体健康的危害，就必须避免或尽量地减少有毒重金属进入食物链（曹心德等，2011）。

### 二、土壤重金属背景值

#### （一）土壤重金属背景值概念

土壤重金属背景值是指未受或受人类活动影响较小的土壤中重金属含量。20 世纪 80 年代，我国开展了土壤重金属背景值研究，在全国范围内开展了系统的背景值调查研究，

并出版了《中国土壤元素背景值》专著（中国环境监测总站，1990），为我国土壤背景值研究奠定了良好的工作基础。总体来看自然土壤中各重金属元素含量相对比较稳定（表 1-1）。

表 1-1 世界土壤中重金属含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
Table 1-1 Heavy metal contents in soils of the world ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

元素	范围值 <sup>a</sup>	中值 <sup>a</sup>	范围值 <sup>b</sup>	中值 <sup>b</sup>
As	0.1~40	6	1~50	5
Cd	0.01~2	0.35	0.01~0.7	0.06
Cr	5~1 500	70	1~1 000	100
Cu	2~250	30	2~100	30
Hg	0.01~0.5	0.06	0.01~0.3	0.03
Mn	20~10 000	1 000	20~3 000	600
Ni	2~750	50	5~500	40
Pb	2~300	35	2~200	10
Zn	1~900	90	10~300	50

注：a 表示数据来自 1979 年 Brown 的资料；b 表示数据来自 1979 年 Lindsay 的资料

（许嘉琳等，1996）

不同国家及地区土壤中的重金属含量背景值不尽相同。根据魏复盛等（1991）的研究，我国土壤中 Hg、Cd 的背景值，与日本、英国相比明显偏低，其他重金属背景值和美、日、英等国家土壤的含量基本相当（表 1-2）。另外，不同土壤类型的重金属背景值也不完全相同。王云和贺建群（1986）对长江三峡库区主要土壤类型重金属环境背景值的研究表明，重金属背景值总的水平由低到高的顺序为：黄壤<潮土<紫色土<水稻土<石灰土。

表 1-2 中国土壤中重金属含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
Table 1-2 Heavy metal contents in soils of China ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

元素	范围	算术平均值	几何平均值	95%置信度范围
As	0.01~62.6	11.2	9.2	2.5~33.5
Cd	0.001~13.4	0.097	0.074	0.017~0.33
Cr	2.2~1209	61.0	53.9	19.3~150
Cu	0.33~272	22.6	20.0	7.3~55.1
Hg	0.001~45.9	0.065	0.04	0.006~0.272
Mn	1~5888	583	482	130~1786
Ni	0.06~627	26.9	23.4	7.7~71.0
Pb	0.68~1143	26.0	23.6	10.0~56.1
Zn	2.6~593	74.2	67.7	28.4~161

（魏复盛等，1991）

## （二）土壤重金属背景值的意义

土壤背景值的研究具有重要的理论和实践意义，一直以来都是国内外环境科学领域

关注的对象，许多国家先后进行了背景值的研究工作（夏增禄等，1987；Ma and Rao，1997；Holmgren et al.，1993）。土壤重金属背景值的确定，可以为合理制定土壤环境质量标准提供科学依据，为评价城市固体废弃物土地利用、农业化学物质投入等人类活动对土壤环境质量的影 响提供参考依据，有助于研究和评价不同环境、地质、地理条件下土壤重金属污染程度（Chen et al.，2001b）。因此，土壤背景值是指导土壤重金属污染监测、评价及治理工作的基础。

土壤重金属背景值是制定土壤环境质量标准的重要依据，是判定人为原因导致的土壤中重金属积累的基础，有助于确定土壤重金属的来源，进而制定相应的管理对策。研究重金属在土壤中的化学变化、形态分布及其生物有效性时，在制定土壤利用规划、提高生产水平等方面，土壤重金属背景值作为衡量区域是否污染的参比标准，是重要的参考数据。同时，土壤重金属背景值与岩石、生物相应成分的相关性，也是生态环境状况的一种评价依据。另外，根据土壤重金属背景值水平，可以判断重金属污染水平，追踪污染源。土壤重金属背景值在认识土壤成分、特征，评价施用微量元素肥料的效益及土壤化学地理学等方面都是基础的资料（戴树桂，2010）。土壤重金属背景值的意义主要如下。

### 1. 土壤重金属背景值是土壤污染评价的基础

土壤容量是土壤污染研究的前提，而土壤背景值则是确定土壤容量的基本依据。在没有土壤重金属背景含量参比情况下，强调某些或某一重金属元素绝对含量的多少没有任何实际意义。以土壤重金属背景值作为参比基础，按一定的统计原则，将高于背景值范围的土壤判定为污染。

### 2. 土壤重金属背景值是分析多环境介质相互作用的重要依据

土壤来自岩石母质，其发育受气候、水文、植被等条件的影响。在未污染的生态系统中，岩石、土壤与植物的背景值之间存在天然的紧密联系。研究表明，三者之间相关性良好的地方基本上是良性的生态环境，相关性不好的地方其生态平衡往往失调。土壤与大气、水、植物物质组分之间不断地进行着循环交换，土壤重金属背景值对水体及大气中的元素含量有重要影响，若它们中的某一要素或其介质的组分特征发生改变，自然会导致其他介质中的组分发生变化。因此，在研究不同环境介质中重金属元素的存在形态、组成与变化规律时，与之相关的其他要素的组分、特征也需要一并考虑，土壤中的含量（特别是背景含量）是不可缺少的因素和重要依据。

### 3. 土壤重金属背景值是土壤成因的重要体现

土壤重金属背景值受地质、地理、气候条件等因素制约，是在环境因素长期综合作用下形成的。不同地质单元（如不同岩石类型、构造类型及风化类型）、不同地理单元（如地貌类型）发育的土壤，在成土母质、风化作用类型与程度、组成成分、元素含量等方面都存在显著的差别。具有不同土壤背景值特征（元素含量、元素组成及相关性）的土壤类型，反映着其在上述因素方面存在的差异。因此，依据土壤重金属背景值特征，可以大致推断该土壤的母质、地理条件、气候特征、风化壳类型及风化作用程度等信息。



## 4. 土壤重金属背景值是环境地球化学研究的基础

土壤重金属背景值是环境生态系统的重要组成部分，由于土壤既继承了成土母质的性质，又受到风化和成土过程中各种环境要素的影响，因此，土壤成为多种多样的极为复杂的自然体，而它的多样性也成为土壤分类的根据。土壤中常量元素如硅、铁、铝、钙等元素的含量，以及其理化性质如酸度、次生矿物组成、腐殖酸组成等的变化规律，都遵从土壤的高级分类系统或地带性分布规律。对微量元素特别是重金属元素的研究，为揭示土壤的成土母质起着重大作用。

开展某一地区土壤环境地球化学研究的一个先决条件，就是必须了解化学元素在该区域内的分布状况。有关化学元素区域分布的研究，是环境地球化学研究的基础工作之一。在地方性疾病研究中，要求尽可能全面分析测试土壤中元素的含量，调查的区域较大，要尽量避免受污染的地区。通过研究土壤化学元素的含量，为研究这些地区人和动物可能的健康异常情况提供了基础资料。

### （三）土壤重金属背景值的影响因素

土壤重金属背景值的影响因素有成土母岩、母质、气候、地形等。

#### 1. 成土母岩和成土过程的影响

各种岩石的元素组成和含量不同，是造成土壤重金属背景值差异的根本原因之一。不同的岩石由于其成岩条件及矿物组成和抗风化能力的不同，岩石及风化物中的常量、微量及稀有元素的种类和数量均有很大的差异，这种差异是形成土壤元素背景值空间差异的基础。岩石化学成分在成土过程中重新分配与组合，即使同一矿物组成的母岩，由于风化程度的差别，也会导致同一母质形成的土壤化学元素最初含量不同。而且，母质在成土过程中发生复杂的物理、化学和生物地球化学作用，化学元素在土壤剖面上的迁移、扩散和集中，使土壤剖面中化学元素的形态、数量与分布产生了差异，从而导致土壤重金属背景值不同。

#### 2. 地理、气候条件的影响

地形条件对成土物质、水分、热能等的重新分配有着重要影响，影响土壤中元素的聚集和流失，从而引起土壤重金属元素背景值的空间分异。不同气候条件下发生的各种成土过程中，土壤中矿物及化学元素的组成不断地受风化、组合、淋溶作用的影响，从而导致在不同条件下，土壤重金属背景值也存在差异。

### （四）土壤重金属背景值的空间差异特征

由于全球土壤类型繁多、分布地域广阔、成土过程中受各因素的影响程度不同，因此土壤重金属背景值在空间上具有明显的差异性，这种分布差异有以下几个特征。