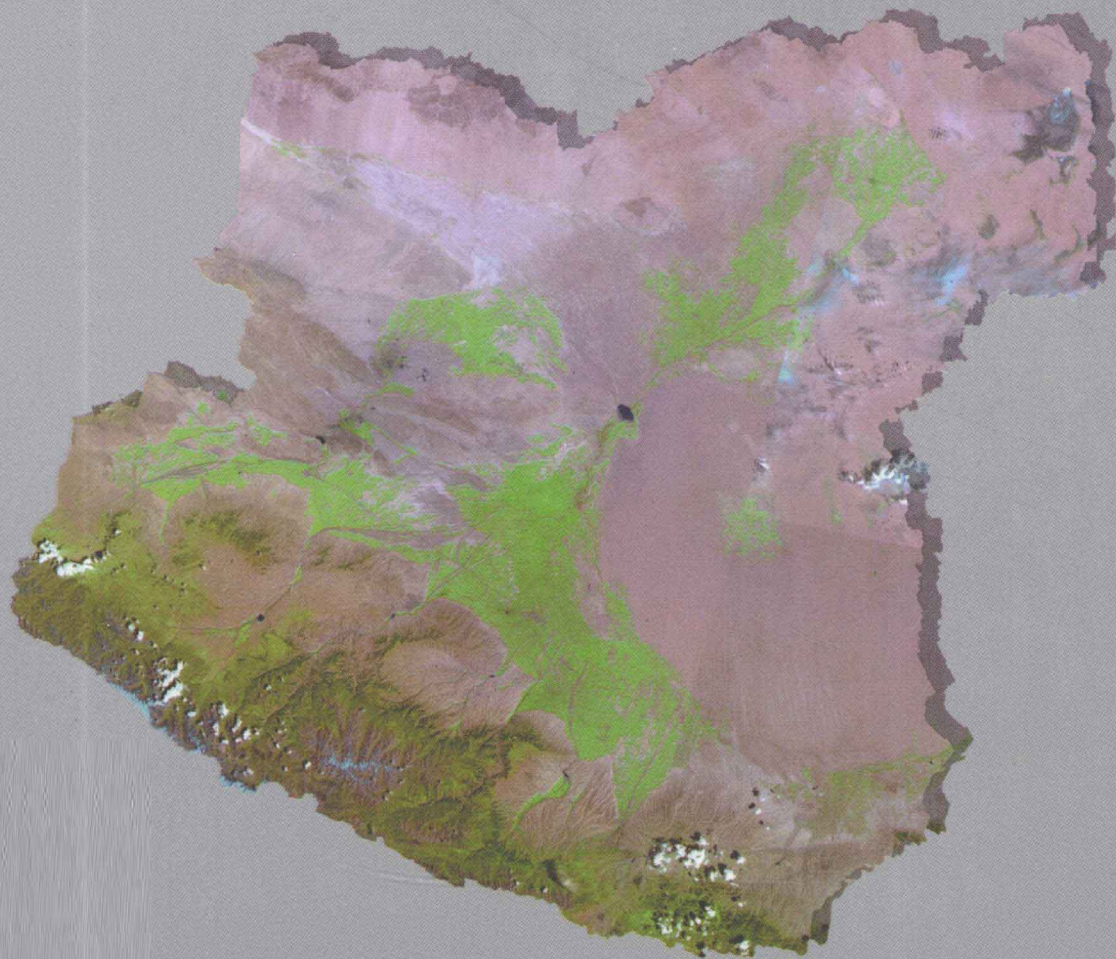


干旱区
绿洲土壤
作物系统

重金属化学行为与 生态风险评估研究

GANHANQU LÜZHOU TURANG ZUOWU XITONG
ZHONGJINSHU HUAXUE XINGWEI YU
SHENGTAI FENGXIAN PINGGU YANJIU

南忠仁 等著



中国环境科学出版社

干旱区绿洲土壤作物系统 重金属化学行为与生态风险评估研究

南忠仁 等著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

干旱区绿洲土壤作物系统重金属化学行为与生态风险评估研究/南忠仁等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.12

ISBN 978-7-5111-0816-6

I. ①干… II. ①南… III. ①干旱区—绿洲—土壤污染: 重金属污染—环境生态评价—研究 IV. ①X826.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 258771 号

责任编辑 贾卫列
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2011 年 12 月第 1 版
印 次 2011 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 16
字 数 295 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编委会

顾 问 吴晓青

组 长 赵英民

副组长 刘志全

成 员 禹 军 王泽林 刘海波 陈 胜

**《干旱区绿洲土壤作物系统重金属化学行为
与生态风险评估研究》**

著者名单

- 南忠仁 兰州大学
刘晓文 环境保护部华南环境科学研究所
赵转军 兰州大学
王胜利 兰州大学
杨一鸣 西北民族大学
王兆炜 兰州大学

前 言

土壤安全是国家生态安全的基础，是人类社会健康可持续发展的保证。随着我国工农业生产和城市化建设的快速发展，目前无论在“点”还是“面”上，土壤污染问题已越来越凸显。这不仅危及水、土环境质量安全，还会进一步通过食物链威胁人类的健康生存与发展。因此，土壤污染控制与管理已经成为我国环境管理中亟待解决的新问题。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中明确把“环境与安全”划为重点研究领域；《国家环境保护“十一五”科技发展规划》也把“土壤污染防治与农村环境综合整治”、“环境综合管理关键科学技术支撑”确定为重点发展领域。进入“十二五”时期，我国政府第一个批准实施的专项规划是《重金属污染综合防治规划（2010—2015）》。这些重大举措充分说明土壤环境污染控制与修复已成为国家亟待解决的关系着国计民生的重大问题之一，而重金属污染控制与修复成为重中之重。

干旱区是指干燥指数大于 2.0 的自然区域。在自然地带包括半荒漠（温带干旱地区）和荒漠（温带及暖温带干旱地区）两大自然地带。我国干旱区地处贺兰山以西和昆仑山以北，约占全国土地总面积的 21.4%。行政区划上包括新疆、甘肃的河西走廊、青海的柴达木盆地，以及内蒙古西部和宁夏等地区，土地总面积 127.45 万 km²。绿洲是该区农业生产的主要基地，是干旱地区农牧业发达的地区，它多呈带状或斑块状分布。虽然绿洲面积占干旱区总面积不足 1/10，但它具有极大的社会经济和生态安全价值；它不仅是绿洲区近亿居民脱贫致富、推动地

区经济发展、建设环境友好型社会的主要载体，更是预防沙尘暴、阻止沙漠前进、保护西北地区和全国乃至东南亚一带大气环境的无法替代的天然“桥头堡”。一旦绿洲土壤环境因重金属污染而发生灾难性影响，将致使绿洲土壤被迫弃耕，绿洲社区居民为寻求安全生存环境而外迁，必然会造成“人退沙进”的景观演替态势。

目前，西北地区矿产资源的开发主要停留在粗加工阶段，尽管如此，干旱绿洲区工矿业的发展仍然极大地推动了绿洲区经济社会的发展，同时也使得绿洲土壤特别是工矿型城市绿洲区土壤受到了重金属（如 Cd、Pb、Zn、Ni、Cu 等）的严重污染。关于土壤重金属污染，我国科技工作者已做了大量的研究工作，在绿洲区也开展了一定的研究，但基于环境生物地球化学地域分异规律影响下的绿洲区土壤重金属污染物的环境化学行为、绿洲区土壤重金属污染生态风险评估技术及土壤环境污染控制管理保护技术等研究仍然滞后。开展绿洲区土壤重金属污染环境化学行为机理和生态风险评估技术与管理规范研究，既适合国家科技发展规划纲要和环境保护部科技发展计划的要求，又能极大地促进绿洲区土壤重金属污染机理和土壤污染生态风险评估技术理论的发展，丰富环境保护科学理论体系；一方面为国家开展土壤环境重金属污染控制与修复提供理论和技术储备，另一方面为绿洲区土壤环境管理提供技术支撑。

为此，我们开展了“干旱区绿洲土壤重金属污染生态风险评估和管理技术规范”研究，该项目得到环境保护部环保公益性行业科研专项（200809098）的资助，团队成员刘晓文博士、赵转军博士、王胜利博士、杨一鸣博士、王兆炜博士等，先后针对不同情景下绿洲土壤环境重金属污染空间变异规律及其成因、绿洲区土壤作物系统中重金属物质环境化学行为及其生态效应、绿洲土壤重金属污染风险评估指标体系与评估方法、绿洲区土壤重金属污染管理对策和保护技术体系等科技问题进行了探索，朱琨教授、张政民教授、赵传燕教授、韦春高级工程师、连兵高级工程师、曾正中副教授、张国珍教授、刘文君高级工程师及研究生秦松、

李易麟、丁海霞、李媛、黄璜、胡小娜、晋王强、赵翠翠、武文飞、廖琴、周婷、臧振峰、颜斌、贾艳红、姜云超、王兵、汪霞、胡亚虎等人参与了部分研究工作。他们在绿洲区土壤重金属污染环境化学行为和生态风险评估与管理方面作出了突出的成就，本书就是在他们工作的基础上综合而成的。

本书是“干旱区环境污染化学行为与风险评估技术研究”团队集体智慧的结晶。书中主要章节由南忠仁、刘晓文、赵转军、王胜利、杨一鸣、王兆炜撰写完成；王胜利、杨一鸣、王兆炜在本书统一编排、文字校对、图表设计、内容增删等方面做了大量工作；全书最后由南忠仁定稿。

本书属于环境保护部科技标准司组织出版的“环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书”之一，在本书的编写与出版过程中得到了环境保护部科技标准司领导的指导、支持和帮助，在此表示衷心的感谢！本项目研究工作得到了中国科学院临泽内陆河流域综合研究站工作人员的大力支持，本项目的部分研究内容由国家自然科学基金项目“灌溉水 pH 与共存元素变化下干旱区绿洲土壤重金属纵向分异机理研究”（40671167）和教育部重点项目“干旱区城郊土壤—蔬菜系统重金属转移过程及其污染土壤植物修复试验研究”（105171）资助，在此一并表示诚挚的谢意！

由于时间短，尽管我们勉力而为，但受水平所限，书中难免出现不足之处，敬请读者批评指正。

南忠仁

2011 年 10 月

目 录

第 1 章 绿洲与绿洲土壤重金属污染	1
1.1 绿洲与绿洲土壤	1
1.1.1 绿洲	1
1.1.2 绿洲土壤	4
1.2 绿洲土壤重金属污染特征及空间变异规律	7
1.2.1 甘肃省干旱区土壤重金属含量空间变化	7
1.2.2 甘肃省干旱区土壤重金属环境质量评价	11
1.2.3 工矿型绿洲土壤重金属污染特征及空间变异规律	16
1.2.4 非工矿型绿洲土壤重金属污染特征及空间变异规律	27
第 2 章 大田条件下土壤作物系统主要重金属污染物的行为研究	34
2.1 白银绿洲区域郊农田土壤作物系统主要重金属污染物的行为研究	34
2.1.1 土壤作物系统中重金属行为模型研究	34
2.1.2 土壤作物系统中重金属的分布特征和迁移规律	36
2.1.3 土壤作物根系界面迁移的影响因素分析	36
2.2 金昌绿洲区农田土壤小麦系统主要重金属污染物的行为研究	37
2.2.1 土壤小麦系统中重金属 (Cu 和 Ni) 行为模型研究	38
2.2.2 土壤作物系统中重金属的分布特征和迁移规律	38
2.2.3 土壤重金属生物有效性分析	39
第 3 章 绿洲土壤重金属物质纵向迁移与淋滤研究	43
3.1 大田条件下重金属元素在绿洲土壤中的纵向迁移	43
3.1.1 金昌市城郊绿洲土壤剖面重金属纵向分析	43
3.1.2 白银市城郊绿洲土壤剖面重金属变异规律研究	52
3.2 实验条件下土体重金属物质淋滤风险评估研究	64
3.3 白银绿洲区土壤水浸提态重金属的变异特征	66

3.3.1 城郊农田土壤重金属水浸提态含量评价	66
3.3.2 农田土壤重金属含量与水浸提态含量的关系及其环境学意义	66
第4章 绿洲土壤重金属的吸附解吸机理研究	68
4.1 绿洲土壤铜的吸附解吸	68
4.1.1 吸附等温线	68
4.1.2 解吸特征	71
4.1.3 形态分布特征	73
4.2 绿洲土壤镍的吸附解吸	75
4.2.1 吸附等温线	75
4.2.2 解吸特征	79
4.2.3 形态分布特征	80
4.3 绿洲土壤复合重金属的吸附—解吸机理研究	82
4.3.1 吸附等温线	82
4.3.2 解吸	92
4.3.3 绿洲土壤重金属的选择性	99
4.3.4 土壤吸附重金属的形态分析	100
4.4 结论	106
第5章 绿洲土壤中重金属的赋存形态及其变化研究	108
5.1 单金属元素在绿洲土壤中的赋存形态	109
5.1.1 Cd单独胁迫下绿洲土壤中重金属的赋存形态	109
5.1.2 Pb单独胁迫下绿洲土壤中重金属的赋存形态	111
5.1.3 Zn单独胁迫下绿洲土壤中重金属的赋存形态	115
5.1.4 Ni单独胁迫下绿洲土壤中重金属的赋存形态	118
5.2 多元素共存时绿洲土壤中重金属的赋存形态	121
5.2.1 Cd+Pb复合胁迫下绿洲土壤中重金属Cd、Pb的赋存形态	121
5.2.2 Cd+Zn复合胁迫下绿洲土壤中重金属Cd、Zn的赋存形态	124
5.2.3 Cd+Ni复合胁迫下绿洲土壤中重金属Cd、Ni的赋存形态	127
5.3 绿洲土壤中Cd与Pb、Zn、Ni的交互作用	130
5.3.1 绿洲土壤中Cd、Pb的交互作用	130
5.3.2 绿洲土壤中Cd、Zn的交互作用	133
5.3.3 绿洲土壤中Cd、Ni的交互作用	137

5.4 结果分析	141
第 6 章 绿洲土壤蔬菜系统中重金属物质的积累与迁移	143
6.1 绿洲土壤中重金属元素在蔬菜中的积累	143
6.1.1 单独胁迫下重金属在蔬菜中的积累	143
6.1.2 复合胁迫下重金属在蔬菜中的积累	146
6.2 重金属元素在绿洲土壤蔬菜系统中的迁移	158
6.2.1 单独胁迫下重金属在土壤蔬菜系统中的迁移	158
6.2.2 复合胁迫下重金属在土壤蔬菜系统中的迁移	167
6.3 重金属在绿洲土壤蔬菜系统中的迁移模型	182
6.3.1 单独胁迫下蔬菜吸收重金属之模型	183
6.3.2 复合胁迫下蔬菜吸收重金属之模型	185
第 7 章 绿洲土壤重金属污染生态风险评估技术研究	189
7.1 绿洲土壤重金属污染生态风险评估	189
7.1.1 绿洲土壤重金属污染生态风险评估方法	189
7.1.2 绿洲土壤重金属污染生态风险评估程序	190
7.1.3 几种土壤重金属污染生态风险评估模型的比较	191
7.2 绿洲土壤重金属污染生态风险评估模型的构建	195
7.2.1 模型的初步选择	195
7.2.2 潜在生态危害指数法模型	196
7.2.3 风险评估编码法模型	208
7.3 绿洲土壤重金属污染生态风险评估模型的筛选与验证	209
7.3.1 白银市城郊绿洲土壤小麦系统重金属污染生态风险评估模型的选验	211
7.3.2 金昌市城郊绿洲土壤小麦系统重金属污染生态风险评估模型的选验	218
7.4 绿洲土壤作物系统重金属污染生态风险评估体系的构建	224
7.4.1 绿洲土壤作物系统重金属污染生态风险评估指标	224
7.4.2 绿洲土壤作物系统重金属污染生态风险评估技术的应用	227
7.5 绿洲土壤重金属污染生态风险评估实例	228
7.5.1 白银市城郊绿洲土壤小麦系统重金属污染生态风险评估	228
7.5.2 金昌市城郊绿洲土壤小麦系统重金属污染生态风险评估	230
参考文献	232

第 1 章 绿洲与绿洲土壤重金属污染

1.1 绿洲与绿洲土壤

1.1.1 绿洲

(1) 绿洲的概念与分类

绿洲是干旱荒漠地区的一种地理景观类型。在我国，古代将绿洲称为“沙中水草堆或水草田”；近代不少学者又将其称为“沃洲”或“沃野”，即荒野中肥沃的土地。英文的绿洲（Oasis）源自于希腊语或晚期的拉丁语，意为荒漠中能“住”（Oweh）和能“喝”（Saa，科普特语）的地方（张强、胡隐樵，2002）。《辞海》中定义绿洲为“荒漠中通过人工灌溉农牧业发达的地方”和“荒漠中水草丰美、树木滋生，宜于人居住的地方”。《中文大辞典》中绿洲则被定义为“草木繁茂，色呈绿色之洲”或“沙漠中有水的地方”；《地理学辞典》中解释绿洲为“荒漠中泉水常流、土壤肥沃的地方”（张强、胡隐樵，2002）；《简明不列颠百科全书》中定义绿洲为“沙漠中的沃土，终年水源不断，从小泉水周围 1hm^2 左右到大面积有天然水或人工灌溉的土地”；《MaGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology》中定义绿洲是“一块孤立的肥沃地，通常被荒漠环绕并有有限的范围”（傅小锋，2008）。

学术界对绿洲的概念有着不尽相同的看法和解释。有不少学者曾分别从不同学科角度给绿洲做过一些定义（傅小锋，2008）。陈正祥（1944）认为绿洲是沃野，为沙漠中的可耕地；高华君（1987）则将工矿业基地引入绿洲范畴，提出绿洲是荒漠中有水源，适于植物生长和人类居住或暂驻，可供人类进行农牧业和工业生产等社会经济活动的地区；周立三（1990）提出，凡是世界上极端干燥区域内，孤立散开，经常有水草并能生产的地点，特别是那些可以集约灌溉农耕，足供人类永久居住的地方，都称作沃洲（绿洲）；韩德林等（1992）则将绿洲定义为荒漠中有稳定水源供给、植物生长良好或人类聚集繁衍的生态地理区域；毛德华（1994）提出绿洲指在干旱荒漠区或平原荒漠区中有水和绿色生命（含人类、动植物及微

生物)存在和活动的地方(傅小锋,2008);申元村等(2001)认为,绿洲是干旱区具有稳定水源对土地进行滋润或灌溉,适合于植物(或作物)良好生长,单位面积生物产量高,土壤肥力具有增强的趋势,适合于人类从事各种生产及社会活动的明显区别于周围荒漠环境的独特地域;傅小锋(2008)认为绿洲是天然降水稀少的荒漠区内局部地域,因外来补给具有一定水资源而形成的绿色植被密集、动物繁多、人类活动集中的区域。

对绿洲的理解与定义,尽管表述措辞各异,但有以下几点共识:①绿洲位于干旱地区(或荒漠、半荒漠地区);②天然降水不足,但有稳定的水源补给;③适合于植物(或作物)良好生长,绿色植被富集;④有人类从事农业、工业或社会活动的条件(申元村等,2001;傅小锋,2008)。

综上所述,绿洲可以定义为:在天然降水不足的干旱区荒漠环境地域,因有稳定水源对土地进行滋润或灌溉而形成并不断发展的适合于植物(或作物)良好生长以及人类从事生产及生活等各种社会活动的区域。

绿洲的类型多种多样,从绿洲开发利用的历史时间尺度、形成方式、功能、土地利用类型和效益及区域工农业产值比重等不同分类标准,可将绿洲分为多种类型(张强、胡隐樵,2002)。按开发利用的历史时间尺度将绿洲划分为古绿洲、老绿洲、新绿洲等类型。古绿洲主要指历史上曾存在,但后来由于种种原因消失的绿洲。老绿洲是指形成已有百年甚至千年以上,目前仍然保留的绿洲,这种绿洲比较普遍。新绿洲指近几十年内开发建设的绿洲。按形成方式可将绿洲分为天然绿洲、半人工绿洲、人工绿洲三类。几乎完全在自然条件下形成和发育的绿洲为天然绿洲,这类绿洲一般不适宜开发或没有开发价值,其作用主要体现在生态方面。半人工绿洲指虽自然发育,但经过人工改造的绿洲,自然界的大多数绿洲属于半人工绿洲。半人工绿洲一方面其自身自然结构比较优良,另一方面通过人类的改造和加工,其结构变得更加合理。人工绿洲基本上都是新绿洲,指在荒漠上人工建设的绿洲或原来生态环境已彻底改变的绿洲。依据绿洲的功能,可以将绿洲划分为生态绿洲、牧业绿洲、农业绿洲、城市绿洲等类型。生态绿洲指尚未开发或不适宜开发的绿洲,我国境内塔克拉玛干沙漠中有一些这样的绿洲。牧业绿洲主要分布在缺乏光热资源或过于盐渍,不适宜农作物生长,只适合维持草地或野生植被生态环境的地区。甘肃的肃南绿洲就是此类绿洲。农业绿洲指具有良好的光热资源和丰富的水资源,一般分布在河流中游的冲积平原,甘肃的临泽和新疆的吐鲁番等绿洲都是典型的农业绿洲。城市绿洲是近几十年出现的绿洲类型,主要是以石油和矿产资源开发为目的,大多是在荒漠上靠开采地下水和引水绿化灌溉发展起来的,新疆的克拉玛依和甘肃的金川基本属于城市型绿洲。

根据土地利用类型和效益及区域工业、农牧业产值比重,可将绿洲分为工矿型绿洲和非工矿型绿洲。我国西北地区矿产资源丰富。以甘肃省为例,甘肃是矿产资源比较丰富的省份之一,省内地质环境复杂,成矿条件优越,矿产资源丰富。截至2008年年底,甘肃省已发现各类矿产178种(含亚矿种)。已查明矿产资源储量110种,其中能源矿产7种、金属矿产36种、非金属矿产65种、水气矿产2种(甘肃统计局,2010)。列入《甘肃省矿产资源储量表》的固体矿产92种、矿区868处、矿产地1123处(含共伴生矿产)。其中大型矿床97个、中型207个、小型819个。据《2008年全国主要矿产资源储量通报》统计,在已查明的矿产中,甘肃省资源储量名列全国第1位的矿产有10种,居前5位的有32种,居前10位的有60种(甘肃统计局,2010)。西北地区突出的资源优势使其经济社会发展具有巨大潜力。西北干旱区的金属等矿产资源的开发和利用推动着区域经济社会的发展。工矿型绿洲,即在西北干旱区依托区域矿产资源开发而兴建起来的工矿型城市,其周围具备光、热、水、土等农业生产基本条件并且农业活动也有一定规模,这样的区域适合于人类从事各种矿业冶炼加工以及农业生产等社会活动。工矿型绿洲属城市绿洲,也属于人工绿洲。工矿型绿洲的工业产值占区域工农业总产值比重较大,甘肃金昌市、白银市和嘉峪关市就属于典型的工矿型绿洲。非工矿型绿洲包括农牧绿洲和综合绿洲,其中农牧绿洲主要指农牧业为区域传统主导经济,其产值在区域工农业总产值中占有较大比重的绿洲,如甘肃张掖、武威绿洲等。综合绿洲指农牧业与工矿业都有一定规模,各自在区域工农业总产值中都占有较高比例的绿洲,如酒泉绿洲等(陈仲全、詹启仁,1995)。

(2) 绿洲的形成

绿洲的形成受自然条件和社会因素两方面的影响。其中,自然条件是绿洲形成的基础和绿洲存在的前提;社会因素对绿洲形成起促进或滞后作用,是绿洲发展的动因(樊自立,1996)。

绿洲的形成必须依赖于荒漠区背景、稳定的水源、合适的地理条件、土壤、光热资源五大自然条件。第一,绿洲以干旱荒漠为背景,只有在干旱气候条件下才能形成绿洲。尽管形成绿洲的干旱气候的空间尺度不尽相同,但至少要有能形成可以衬托出绿洲作为地理异斑的干旱环境基质的气候条件(张强、胡隐樵,2002)。第二,水是形成绿洲的最根本条件(张强、胡隐樵,2002)。绿洲处于干旱气候条件下,天然降水不足,年降水量一般在200mm以下,单纯依靠降水无法满足自然植被充分生长发育的需要,更难以维持绿洲的生存和发展。绿洲形成的关键是有足够的水源以满足自然植被生长发育的需要,而这些水源依赖于由绿洲地域外输入的地表水及地下水资源(傅小锋,2008)。第三,合适的地理条件也是绿洲形成所必需

的。绿洲往往形成于坡度较小的、平坦且宽阔的地带。在相对平坦的地带，水比较容易在该区停留，并且容易扩展其所滋润的土地面积，地下水含量也会比较丰富（张强、胡隐樵，2002）。第四，土壤条件对绿洲的形成也很重要。绿洲是以植被为主体的生态系统，适合植被生长的土壤条件是形成绿洲的前提。能形成绿洲的区域其表面必须有一定厚度的泥土层，而且土壤比较肥沃并富有活力。第五，光热资源条件对绿洲的形成也有影响。绿洲一般形成在太阳辐射较强的地区。光热资源丰富有利于绿洲植被的光合作用和有机物的转化，可以形成比较旺盛的植被生态系统；同时，强烈的地表加热使地表蒸发力极强，这在同样的降水条件下更容易形成绿洲所必须依托的大尺度荒漠地理背景（张强、胡隐樵，2002）。

另外，一定的人口规模及不断增长、劳动者的习惯与素质、生产活动方式、生产发展水平等社会因素与绿洲的形成与发展也有很大关系（樊自立，1996；黄盛璋，2003）。

（3）我国绿洲的分布

我国西北干旱区绿洲是广阔的欧亚大陆草原—荒漠区的一部分，主要分布于贺兰山以西、乌鞘岭、祁连山、阿尔金山、昆仑山以北的广大地区（吕新等，2005）。根据地貌结构特点、水系分布格局及开发历史等，可将我国绿洲分为5个分区，即南疆绿洲区、北疆绿洲区、河西走廊绿洲区、河套平原绿洲区和柴达木盆地绿洲区（张林源、王乃昂，1994）。其中，河西走廊、南疆塔里木盆地是中国典型脆弱生态区（刘燕华、李秀彬，2007）。主要分布在天山南北麓（新疆绿洲）、昆仑山和祁连山北麓（河西走廊绿洲）以及黄河流经的河套平原地区（宁夏平原绿洲和内蒙古绿洲）的我国绿洲，形成几条绵延数百公里甚至上千公里的巨型绿洲带（张林源、王乃昂，1994）。我国绿洲整体上沿水源地呈条带状、斑块状分布。

我国干旱地区的总面积为200多万 km^2 ，约占全国总面积的1/4，而其中绿洲面积仅8.64万 km^2 （黄盛璋，2003）。绿洲面积仅占干旱区总面积的3%~5%（马彦琳，2003）。各绿洲由于受水分条件的制约，面积较小（黄盛璋，2003）。在各省（区）中绿洲面积最大的是新疆绿洲，面积达5.87万 km^2 ，约占我国绿洲总面积的68%。其次是甘肃河西走廊绿洲，面积约占我国绿洲总面积的13%。青海柴达木绿洲、内蒙古绿洲和宁夏绿洲所占比重很小，宁夏绿洲仅占我国绿洲总面积的3%左右（马彦琳，2003；黄盛璋，2003）。

1.1.2 绿洲土壤

（1）绿洲土壤的形成

绿洲土壤是成土母质在干旱区特定的水、热、气等条件和生物作用下，经过

一系列物理、化学和生物化学的作用而形成的。在干旱区绿洲土壤，特别在绿洲灌耕土壤的形成过程中，人类活动比如灌溉等对绿洲土壤的性质和发展方向产生着深刻影响，甚至起着特殊的主导作用。灌溉产生的淋溶作用使次生黄土内的碳酸钙淀积溶蚀迁移并引起盐化潮土中的盐碱离子分解渗透，自然土壤开始向耕作土壤演变。同时，灌溉产生淤积作用使河水携带的泥沙、畜粪等在农田中沉积，加厚了耕层土壤，提高了土壤肥力，使土壤更适宜农作物生长（甘庭德，1992）。

（2）绿洲土壤的特征

由于地质、地貌不同，土壤的成土母质也各异，绿洲土壤在空间上有明显的区域分异性（甘庭德，1992）。就土壤剖面而言，绿洲土壤沿垂直方向可粗分为上下两层。其中，下层是荒漠土壤，以沙石为主，活性差、有机物贫乏。上层为淤泥层，一般厚度在1m左右，主要取决于冲积和灌溉条件，同时与其历史长短、耕作特点、风蚀强弱、沙尘暴情况、上风向地理环境等也有一定关系（张强、胡隐樵，2002）。不同绿洲土壤受区域气候与水盐运移规律的影响，其氮与有机质含量、土壤盐化表现、土壤机械组成等也随之出现空间分异现象（王根绪、程国栋，1999）。在气候干燥、蒸发强烈的干旱区环境条件下，绿洲土壤水盐运移主要表现出显著的垂直方向的运动特征（郝玉光等，2009）。由于干旱区绿洲土壤水分及土壤母质含盐，土壤表面自然蒸发强烈，盐分聚集使土壤表层含盐量高，常常造成危害（王玉刚等，2009）。同时，人为活动也影响着绿洲土壤的水盐运移规律。绿洲土壤的易溶盐分随着灌溉水的入渗而发生下移，又随着土壤水及潜水的蒸发而上移至土壤表层，具有强烈的垂直分异分布规律与再分配规律（郝玉光等，2009）。

受成土母质、气候、水盐运移规律以及人类活动等的共同影响，干旱区绿洲土壤一般具有pH高、土壤碳酸盐含量高、土壤有机质含量低等特征。白银、金昌为典型工矿型绿洲区。由白银市城郊农田土壤的基本理化性质统计特征（表1-1）可以看出，白银绿洲农田土壤pH平均值为7.95，具有较强碱性，土壤有机质含量低，个别样点有机质含量低于1%。对金昌绿洲土壤理化性质的分析显示，金昌市城郊农田土壤pH为8.52~9.06，有机质含量的变化范围为1.01%~3.04%，碳酸钙含量为8.1%~10.9%，阳离子交换量（CEC）为2.47~8.21 cmol（+）/kg，电导率的变化范围是163~420 μ S/cm。丁海霞（2009）研究表明，甘肃张掖甘州区和临泽县非工矿型绿洲农田土壤呈较强碱性，pH平均值为8.23；土壤碳酸盐的含量比较高，平均值为8.81%；土壤有机质平均含量为1.72%，部分样点有机质含量低于1%；阳离子交换量的平均含量为9.89 cmol（+）/kg，土壤保肥能力相对较弱。

表 1-1 白银市城郊农田土壤基本理化性质统计特征

	pH/（水土 1：2.5）	电导率/（ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）	有机质/%	CEC/[$\text{cmol}（+）/\text{kg}$]
最小值	7.02	27	0.88	3.16
最大值	8.91	2 254	4.27	10.01
平均值	7.95	604	1.97	7.02
标准偏差	0.68	700	0.93	1.83
变异系数/%	8.6	116	47	26

（3）绿洲土壤的分布

干旱区绿洲土壤在空间分布上，极具分散性。一般沿水源地呈分散状零星分布。在我国西北地区，除大片绿洲外，其他荒漠地区的绿洲不仅面积小，而且大多呈斑点状零星分布（张林源、王乃昂，1994；傅小锋，2008）。小片绿洲土地面积仅几公顷或十几公顷，仅仅分布在一个乡或一个自然村甚至一个生产点或一家农户；大片绿洲土地面积可达上千公顷、上万公顷甚至几十万公顷，往往成为地（州）或县（市）的经济中心。绿洲在地域上具有较强的分散性，绿洲间的距离近则数千米，远则可达上百千米（申元村等，2001）。图 1-1 所示为甘肃河西绿洲分布概图，图 1-2 所示为白银市东大沟流域农田土壤分布概图。由图可以看出，在甘肃绿洲区农田土壤整体上沿水源地，呈条带分散状零星分布。

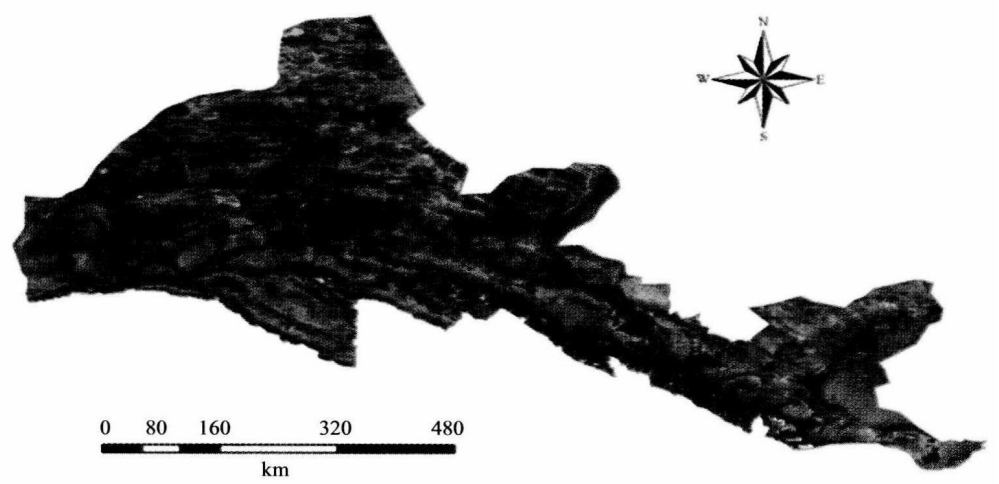


图 1-1 甘肃河西绿洲分布概图