

“十二五”农村领域国家科技计划子课题
江苏省“十二五”重点出版规划项目

污灌农田整理与 修复技术研究

王 辉 李 钢 仓 龙 著
渠俊峰 赵 华 丁忠义

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

5274.1
4

“十二五”农村领域国家科技计划子课题
江苏省“十二五”重点出版规划项目

污灌农田整理与修复技术研究

王 辉 李 钢 仓 龙 著
渠俊峰 赵 华 丁忠义

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书共 5 章内容,其中第 1 章是绪论,第 5 章是结论,第 2 至第 4 章是研究的主体部分。第 2 章研究污灌农田监测与评价技术。依据数据分析、样点异常查证、加密采样监测和定点动态监测等结果,构建农田质量监测采样点空间分布预测模型,识别农田污染风险区域,确定重金属污染物的污染负荷指数、富集因子和污染系数,建立示范区农田修复质量、效益与生态评价方法,开发污灌农田综合治理评价系统。第 3 章是相关土地整理技术在污灌农田修复中的应用。围绕灌溉水体再净化和污灌农田土壤污染修复两个方面,通过现场监测研究了水系梯级调控污染逐级削减技术、人工湿地景观设计、水体浮岛净化技术,通过实验研究了污灌农田土壤组合农艺措施的修复效果,通过数据统计分析和实验研究了积累作物筛选技术。第 4 章是整理修复集成技术。主要开展了两个集成技术研究,一是老污灌区的土壤污染物钝化和人工浮岛水体再净化组合技术,二是塌陷污水汇集区水系梯级调控结合人工湿地逐级削减污染组合技术集成技术研究。

图书在版编目(CIP)数据

污灌农田整理与修复技术研究/王辉等著. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2014. 12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2473 - 6

I. ①污… II. ①王… III. ①污水灌溉—农田—整理—研究②污水灌溉—农田—修复—研究 IV. ①S274.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 210512 号

书 名 污灌农田整理与修复技术研究
著 者 王 辉 李 钢 仓 龙 渠俊峰 赵 华 丁忠义
责任编辑 章 毅 夏 然
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×960 1/16 印张 8.5 字数 159 千字
版次印次 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷
定 价 34.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

当前,我国土壤环境质量问题十分突出,其中由污水灌溉造成的农田土壤污染与质量下降不容忽视。据统计,我国污灌农田面积达3 250 万亩,占总灌溉面积的1/10,其中造成污染的面积超过65%。污灌虽然缓解了灌溉缺水问题,但是导致农田土壤结构和卫生条件恶化,土壤功能下降。长此以往,国家的粮食生产和安全供给将受到严重威胁,农业的可持续发展和人民健康将受到严重影响。

我国污染土壤修复技术研究已有数十年的历史,尤其是20世纪八九十年代土壤污染问题逐渐暴露以来,针对土壤污染开发了诸多物理、化学、生物方面的修复方法。但是,大部分方法理论上可行,实验室效果良好,大面积应用却由于各种因素的影响而没有好的效果。“污灌农田整理与修复技术集成与示范”课题,围绕污灌农田污染修复和农产品安全问题,运用监测、评价、土地整理、农艺措施、景观设计、土壤修复等技术和知识,开发从灌溉污水再处理的污染物阻断到农田土壤污染修复再到低积累作物筛选的全过程控制与修复集成技术。

本研究参考和引用了相关研究者的有关成果,部分研究生和本科生参与了实验设计、分析和本书的撰写等工作,在此表示感谢。由于污灌产生的问题复杂,涉及面广,研究和治理难度大,以及研究人员水平所限,尚有很多问题未能涉及或有待进一步研究。由于时间仓促,本书肯定存在这样或那样的问题,恳请读者批评指正。

著 者

2014年6月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究的背景	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 具体研究内容和技术路线	5
2 污灌农田监测与评价技术研究	8
2.1 农田质量监测采样点空间分布预测	8
2.2 污灌农田质量、效益与生态评价方法	14
2.3 污灌农田综合治理评价系统	21
3 土地整理技术在污灌农田修复中的应用	27
3.1 水系梯级调控净化技术研究	27
3.2 人工湿地景观规划设计	31
3.3 污灌污水植物浮床再处理技术	37
3.4 污灌农田农艺措施修复技术研究	37
4 污灌农田修复技术集成与应用	93
4.1 研究示范区选取	94
4.2 污染水体的植物浮床修复技术应用	105
4.3 田间土壤修复技术应用	108
4.4 土地整理技术在污灌修复中的应用	113
5 结论	123
参考文献	125

1 绪 论

1.1 研究的背景

1.1.1 课题研究的目的及意义

城郊农田土壤介于城市与乡村的交错、过渡地带,具有农业生产程度高,土地利用结构复杂,受城市化、工业化发展和乡村生活多重影响等特点,尤其是受到人类高强度活动的干扰和利用,是区域响应最为敏感的环境介质。城郊农田土壤是城市蔬菜瓜果等农产品的重要生产基地,其环境质量的好坏直接关系到农产品质量安全、生态安全和人体健康,是土壤环境科学与技术研究领域关注的焦点和热点。

我国是一个水资源缺乏的国家,污水灌溉缓解了农业灌溉用水的紧张局面,同时也带来了土壤污染等问题。人为活动是造成土壤污染的重要原因,为缓解水资源紧张问题而使用污水灌溉已成为农业灌溉的重要组成部分,这可能导致农田土壤结构和功能恶化以及污染物在土壤中大量积累。据有关部门的统计,我国污灌农田面积已达 3 250 万亩[1 亩=(10 000/15) m²],占总灌溉面积的 1/10,其中造成污染的面积超过 65%。此外,污灌导致农田土壤结构和卫生条件恶化,功能下降。长此以往,中国的粮食生产和安全供给将受到严重的威胁,直接影响中国社会经济和农业的可持续发展。《国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》中首次公开提出,未来农业生产将禁止使用污水、污泥。由于我国水资源十分缺乏,污水灌溉能缓解农业灌溉用水的紧张局面,禁止耕地污灌实属当前无奈之举,根本出路还在于开发“取其利而避其害”的污灌技术。通过土地整理和污灌农田修复,可有效提高农田生产力,改善农田环境质量,既增加了粮食产量,同时又可以提高农产品卫生品质,既能保障我国粮食产量的总需求,又能满足人民对农产品质量改善的需求。因此,进行污灌区土地整理和农田修复是保障土地养活、养好人民的战略需求。

城郊的农田大多以种植蔬菜、稻麦为主,主要供应城市居民生活需要,长期

用污水进行灌溉,不仅影响粮食的产量及质量,而且直接影响居民健康。当前人们对于自己居住的环境及食品安全问题越来越重视,污灌引起的一系列问题也越来越受到关注。开展城郊污灌农田监测评价与整理修复技术集成与示范的目的在于:针对城市污水灌溉对农田造成土壤板结、土地废弃及污染等问题,构建农田质量监测采样点空间分布预测模型;识别农田污染风险区域,建立农田修复质量、效益与生态评价方法,开发污灌农田综合治理评价系统;针对密集污灌区,研究排放污水再处理与农田水利工程改造、农田地形处理、排灌系统优化设计等土地整理措施的农田修复效果,以及土地整理措施与农艺措施、植物修复等相结合的污灌农田综合治理技术。

1.1.2 研究对象的梳理及选择

污水灌溉所引起的土壤环境问题可以概括为两个方面:一是对土壤物理性质的影响,主要是对土壤结构的影响如土壤板结等,这可以通过土壤耕作、增施有机肥料等简单的农艺措施实现修复;二是对土壤化学性质的影响,主要是土壤污染物累积。城郊污灌农田的污灌用水主要有城市企业的工业废水排放和城市生活污水的排放两个来源,从污染物的种类来看,主要分为重金属、有机污染物和大量的氮、磷等营养物质。氮、磷等营养物质可以作为作物生长的养分,有机污染物在污水的处理过程中得到一部分降解,此后排放到水体和土壤中后随着时间的推移也会逐渐得到降解,但污水中的重金属只会在土壤中积累,很难在土壤中得到削减,因此污灌农田中的重金属污染治理显得尤为重要。因此,课题主要围绕污灌农田重金属的阻断和修复进行研究。具体根据徐州地区污灌用水的污染状况和城郊污灌区的污染特征,以土壤重金属污染物为主要研究对象,研究重金属在城郊污灌区的污染特征、在灌溉水体中的削减以及多种修复技术集成对城郊污染农田土壤的修复作用。

1.1.3 拟解决的主要技术问题

- ① 在快速检测的基础上,建立污染因子识别与评价方法,实现污灌农田质量动态监测和评价;
- ② 针对污灌水体的状况,开发污灌农田的污染阻断技术;
- ③ 针对污灌农田土壤环境质量,开展土壤修复技术集成。

1.2 国内外研究现状

本研究涉及污灌农田的监测、评价、污染修复技术研究等方面。目前,国内

外对于污灌农田的监测、评价和修复技术方面进行了大量的研究,在方法、标准等方面也取得大量成果。

1.2.1 监测方法

许妍、吴克宁认为欧盟土壤环境评价监测项目在指标选取、监测网络建立、数据更新技术等方面建立了较为成功的机制;未来我国土壤监测应关注土壤环境质量、分类土壤退化原因、针对性地选取指标、应用 DPSIR 模型、确定监测点的方法、充分利用原有监测网络和监测数据等方面。王宣等在对 6 种典型农业区域土壤污染状况进行调查监测的基础上,得出污水灌溉区和常规农业生产区的重金属综合污染指数明显高于其他典型区域,揭示了污水灌溉和农药、化肥的施用是土壤中重金属污染的主要来源。朱宇恩等运用高分辨电感耦合等离子体质谱仪(HR-ICP-MS)测定了土壤及小麦籽粒中重金属含量。陈翠华等为减少土壤空间分布不均一性的影响,在一个采样单元内不同方位上设多个采样点,进行多点采样,采得后等量均匀混合成具有代表性的土壤样品。张乃英按污灌区主要供水线路所灌溉的农田布设样点。孙亚坤验证了电阻率法用于土壤环境监测的可行性。龚海明介绍了基于激光诱导击穿光谱法和磁化率法两种现场快速监测技术的研究发展现状。金辉等设计了一种满足设计要求且可以快速获得高精度成像光谱信息的无人机载高光谱成像仪。韩春媚等重点讨论了检测管,手持式气体检测器,便携式气相色谱(配置光离子化检测器、氢火焰离子化检测器或串/并联检测器)及便携式气相色谱—质谱等技术在快速检测土壤中挥发性有机污染物方面的性能特点与应用情况。徐鸿志采用网格法及 GPS 双重定位方法对土壤分别采样,应用 ArcGIS 软件对六种重金属含量进行空间插值分析。吉训凤等通过监测点的设备、土壤类型、地块小区划分、监测内容、肥情调查、数据库的建立等方面,全面监测土壤。张启忠所设计的基于传感器网络的土壤环境监测系统,主要是对监测区域内土壤的温度、含水率和 pH 值进行在线监测和分析。

1.2.2 评价方法

国内外有关土壤重金属污染的评价方法已有很多,其中主要方法有:单因子指数评价法、内梅罗综合污染指数法、地累积指数评价模型法(Forstner, 1989; Forstner et al, 1993)、潜在生态危害指数法(Hakanson, 1980)和叠加污染综合指数法等。地累积指数评价模型法是由 Muller 提出的一种能够较好地表征土壤中重金属富集程度的定量指标,现已广泛应用于研究土壤或沉积物中重金属的污染程度。

姜芝萍等在衡阳市土壤环境质量评价中采用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法进行评价。陈翠华等以江西德兴大型矿区为例,采用单因子污染指数法和综合污染指数法,分别从原始含量、污染指数以及基于 GIS 的污染空间分析 3 个方面进行该矿区的土壤重金属污染评价。崔邢涛、闫红等按照单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法,根据土壤环境背景值标准进行了评价,并应用克里格插值方法对研究区内表层土壤污染的空间变异特征进行了分析。徐鸿志采用单因子污染指数法、内梅罗综合指数法及模糊数学综合评价方法对主要土壤重金属污染进行评价。李飞等将三角模糊数理论引入环境评价领域,并结合地累积指数评价模型,建立了土壤重金属污染综合评价模型。李名升等提出了一种模糊识别模型评价土壤综合环境质量,并对潜在生态风险指数法进行改进,用以计量重金属潜在生态风险。李朝奎等认为在土壤重金属污染评价方面,应用较为成熟的是模糊数学综合评价法和灰色聚类法;在引入 GIS 后,地统计模型、人工神经网络模型也有一定的使用。严加永等借助 GIS 软件 Arcview 的空间分析模块,编程实现了用空间分析方法对城市土壤污染的评价。

在评价标准与指标方面:夏家淇等提出以土壤环境背景值、土壤环境质量第二级标准值和土壤污染临界值作为区域和场地土壤污染评价的 3 类指标。李胜涛等认为我国需加强土壤污染健康风险评价和土壤污染生态风险评价。王松等建立了包括植物吸收毒理指标、生化水平毒理效应和土壤动物吸收毒理指标等 5 种指标在内的污染土壤修复效果评价指标体系。夏家淇、骆永明分别从耕地土壤污染调查的全面性、污染评价指标、污染超标率以及土壤环境质量等级划分等几个问题加以探讨,以期今后更好地开展我国耕地土壤污染调查与评价工作提供参考。

1.2.3 污灌农田修复研究方面

土壤污染修复技术的研究起步于 20 世纪 70 年代后期。在过去的几十年间,美国、日本、澳大利亚等国家纷纷制订了土壤修复计划,土壤修复技术得到了快速的发展。针对工业废水和生活污水排放等导致的农田灌溉污染,有关学者提出了包括物理修复、化学修复、生物修复在内的污灌农田土壤修复技术。其中较有前景的是钝化修复、生物修复和联合修复污染农田技术,主要是利用钝化剂降低土壤重金属有效性和筛选植物对重金属的富集作用从污染土壤中吸收去除重金属。我国污水灌溉开始于 1956 年,虽然 2005 年《农田灌溉水质标准》就已颁布,但实际上大量未经处理的污水直接用于农田灌溉,导致土壤板结和土壤结构与功能失调、重金属和有毒物质在土壤中积累、土壤环境恶化、作物生长发育不良、农产品品质变差等一系列的生态环境问题。我国目前污水灌溉的农田主

要集中在水资源严重短缺的海、辽、黄、淮四大流域及城市近郊和工矿区附近的农田。现有研究主要围绕污染风险评价和各种污染土壤修复技术,但以土地整理措施作为主要手段进行污灌农田的综合修复技术而开展的研究和实践较少,需要就此进行技术攻关和应用示范,以保障我国农田环境安全、农产品质量和农业生态环境安全。

另外,在农田修复和整理相关领域我国已经开展了大量工作,为农田修复和整理关键技术的研究奠定了一定基础。在农田修复和整理领域,经过科技部“十五”、“十一五”的科技攻关计划,863 计划,973 计划,国家自然科学基金,国土资源部、农业部等一系列项目的实施,在农田修复和整理相关领域逐步积累了一批具有知识产权的成果,为本课题的实施打下了坚实的基础。

目前,有一些与污灌农田修复技术相关的土地开发整理、土壤环境、灌溉水质、农产品质量方面的规程、规范、标准,但针对污灌农区土地综合整治与修复集成技术、土地退化防治集成技术、复合生态经济系统优化技术、生态安全维持关键技术、乡土景观规划设计技术等方面的规程、规范、标准等尚比较缺乏。在污染土壤修复领域虽然形成了众多专利,但是由于该领域目前尚未形成具有明显排他性的产业竞争格局,多数修复行为都是公益性或半公益性的,所以,并未形成具有限制性的专利和知识产权。

1.3 具体研究内容和技术路线

1.3.1 研究内容

针对城市污水灌溉对农田造成土壤板结、土地废弃及污染等问题,构建农田质量监测采样点空间分布预测模型;识别农田污染风险区域,建立农田修复质量、效益与生态评价方法,开发污灌农田综合治理评价系统;针对密集污灌区,研究排放污水再处理与农田水利工程改造、农田地形处理、排灌系统优化设计等土地整理措施的农田修复效果,以及土地整理措施与农艺措施、植物修复等相结合的污灌农田综合治理技术。选取城郊典型污灌区农田,开展联合修复与安全利用集成技术研究 with 示范。

(1) 污灌农田监测与评价技术研究

依据数据分析、样点异常查证、加密采样监测和定点动态监测等结果,构建农田质量监测采样点空间分布预测模型;识别农田污染风险区域,确定重金属污染物的污染负荷指数、富集因子和污染系数,建立示范区农田修复质量、效益与生态评价方法,开发污灌农田综合治理评价系统。

(2) 土地整理技术在污灌农田修复中的应用

针对密集污灌区,开展生态农业、人工景观规划设计,配合农田水利工程改造、灌排渠系优化等土地整理措施,降低污染土壤污染风险;集成中国科学院南京土壤研究所的灌溉污水再处理技术,提出土地整理、农艺措施与生态修复工程的综合治理与安全利用方案。

(3) 污灌农田综合修复技术示范

选取城市郊区典型污染地区,集成污灌农田监测评价技术、重金属污染物生态修复技术、农艺防控措施、耐受农作物品种等新技术、新品种,开展联合修复与安全利用示范;利用耐受型、弱吸收型、非食用型农作物,规避污灌农田对农产品质量安全的危害,实现生态修复与安全利用并进,最大限度减少农业损失;总结示范地成果和经验,提出“城郊污灌农田整理与综合修复集成技术”,建立 1 000 亩集污染修复、生态治理、土地整理和农业安全利用为一体的综合示范区。

1.3.2 技术路线

子课题主要围绕修复城郊污灌污染农田,提高农田质量展开研究,开发相应技术。技术主要包括三个方面,一是污灌农田和修复后农田的质量动态监测与评价技术,构建农田质量监测采样点空间分布预测模型,开发污灌农田综合治理评价系统;二是污染物输入阻断技术,通过输水工程改造、农田水利改造,利用生物浮岛等技术,在污水灌溉之前再次净化,阻止污染物的输入;三是植物综合修复技术,采用相应的耕作、种植、覆盖等土地整理和农艺措施,改善土壤结构,并与植物修复技术相结合,实现污灌农田的修复和利用。污染物阻断技术措施和植物综合修复技术措施进行整体景观规划设计,达到修复与景观兼顾的效果。

图 1-1 所示为技术路线图。

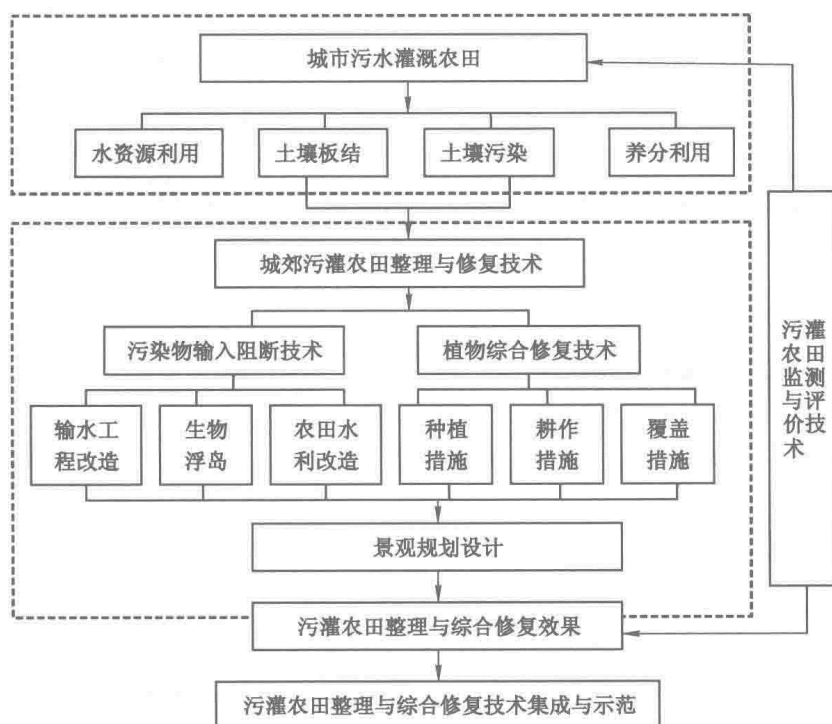


图 1-1 技术路线图

2 污灌农田监测与评价技术研究

2.1 农田质量监测采样点空间分布预测

2.1.1 分析方法

2.1.1.1 一般分析方法

采用网格式均匀布点,沿东西方向每隔 50 m 依次选取 7 条 500 m 长的纵向线,在每条纵向线上依次每隔 50 m 布置一个采样点。将采样数据对重金属含量的分布进行了正态分布 QQ 图的检验,标准正态分布的分位数为横坐标,样本值为纵坐标的散点图;QQ 图上的点近似地在一条直线附近,可鉴别样本数据是近似于正态分布的。污灌区重金属含量的趋势分布图表明,模拟污灌区土壤重金属东—西向呈一阶趋势效应不是很明显,含量从东向西逐渐增加,由南向北方向上的一阶趋势效应,含量从南向北逐渐增加。

图 2-1 所示为土壤重金属含量趋势分析。

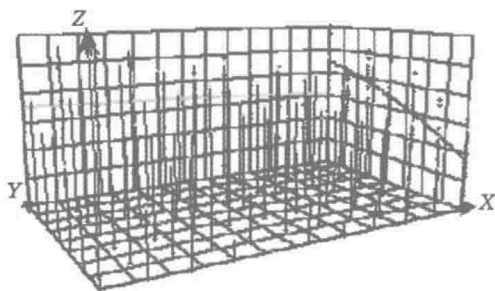


图 2-1 土壤重金属含量趋势分析

运用 Geostatistical Analyst 模块对重金属含量采用球状、指数和高斯模型进行变异函数的套合模型模拟,得到这三种模型的各种参数;土壤重金属的普通克里格指数模型的交叉校验误差较小。土壤重金属含量的地统计学结果表明,模拟的污灌区土壤重金属含量空间变异中,采用高斯模型块金值与基台值之比

为 0.37, 空间变异程度为中等, 反映重金属具有一定的空间自相关格局; 采用指数模型和球面模型时块金值与基台值之比分别为 0.04、0.17, 块金值/基台值 < 0.25 , 表现出强烈的空间自相关格局。

2.1.1.2 进一步分析

在上述认知基础上, 分别采用 3 种布点方式: 采样方式 1 为简单随机采样, 采样方式 2 为分层随机采样, 采样方式 3 为系统采样; 每种采样方式的采样点数为 60 个。通过统计可知, 采样方式 1 土壤重金属元素含量变化范围是 131.8~150.9 mg/kg, 高频率分布的范围为 136~145 mg/kg。采样方式 2 土壤重金属元素含量变化范围是 134.9~151.2 mg/kg, 高频率分布的范围为 140~148 mg/kg。采样方式 3 土壤重金属元素含量变化范围是 131.8~145.4 mg/kg, 高频率分布的范围为 143~148 mg/kg。

分析方法为: 点值(即 Predicted 值)与原始的样点值(即重金属的含量)相减的绝对值, 再除以原始的样点值, 可得到每个样点的预测值和实际值的偏差程度。据此可知, 简单随机采样的误差最小, 效果也是最好的, 其次是系统采样, 而分层随机采样误差大, 效果并不是很好。

从 3 种方式 Cu 含量趋势分布图可以得到(图 2-2): 格网布点法与分层随机布点法结果相似, 土壤重金属东—西向呈“U”形变化, 含量从东向西先增加后减少, 由南向北方向上的一阶趋势效应, 含量从南向北基本不变; 简单随机布点结果与其他两种大相径庭, 土壤重金属东—西向呈“U”形变化, 含量从东向西先减少后增加, 由南向北方向上呈“U”形变化效应, 含量从南向北先减少后增加。

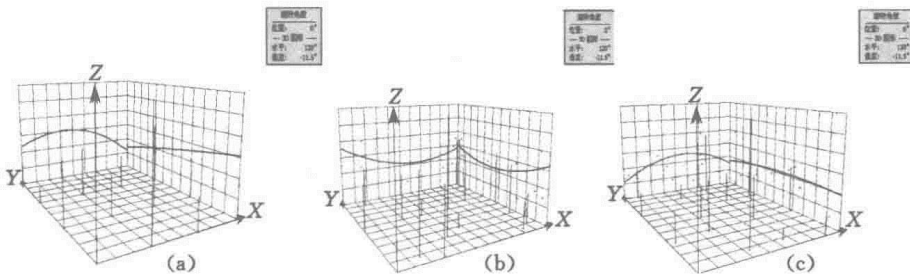


图 2-2 3 种方式土壤重金属 Cu 含量趋势分析
(a) 格网布点法; (b) 简单随机布点法; (c) 分层随机布点法

2.1.1.3 布点优化分析

(1) 监测数据存储与读取

建立监测评价数据的一体化管理, 特别是监测对象的唯一身份标识, 以便使用统一的存储、读取方式。考虑到区域监测数据量不是足够大, 可以采用 MDB

格式统一管理,C#与ACCESS之间衔接主要使用SQL语句。将要监测的各点数据构成原始数据矩阵。

(2) 评价指标标准化

标准化时一般采用最大值法、最小值法和中间值法三种。主要使用语句为SQL+GROUPBY求极值后进行标准化。考虑到监测元素的特征,全部按照极值法进行归一化处理。

(3) 评价指标熵权的确定

用到的C#方法为类方法与DATASET相结合,将要计算的所有数据分类别进行计算。

(4) 构建加权决策矩阵

主要用到C#的矩阵(Matrics)类以及最原始的FOR循环语句。

(5) 理想值确定和距离、贴近度计算

理想值的确定一般参考国家已经颁布的各类标准、技术指南等,也可根据监测与评价对象所在区域的本底值确定。高优指标为 $X_j = \max\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}\}$;低优指标为 $X_j = \min\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}\}, j = 1, 2, \dots, m$ 。

距离和贴近度计算则相对计算过程较为简单。计算各采样点指标值与最优水平的接近程度。采用 $D_i = \text{最低优值距离}_i / (\text{最高优值距离}_i + \text{最低优值距离}_i)$,并根据 D_i 排序,参照国家标准以最优水平为参照,确定不同水平下最优点位。

(6) 结果的输出

考虑到需要验证评价过程的合理性和正确性,一般可采用写入MDB与空间信息一起存储,也可根据监测与评价工作的附件——表格的形式输出。在上述计算结果的基础上,计算各监测单元各指标值与标准值之间的关联度,并根据关联度大小,选择产生污染的主要因素。

(7) 实例分析

选择《土壤环境质量标准(修订)》(GB 15618—2008)所列的土壤无机污染物的环境质量一级和二级标准值,作为评价的上下限进行计算。贴近度结果如下:

- ① 从图2-3可以发现研究区土壤环境质量介于国家标准一级和二级之间;
- ② 研究区域农田土壤污染状况基本类似,且相互之间差别较小,具有一定的均一性;
- ③ 在3018个分析单元中仅仅有27个单元存在一定的污染异常特征。

2.1.2 污灌农田土壤污染关键要素识别

污灌农田土壤污染关键要素识别过程主要利用某项指标上的值相差越大,

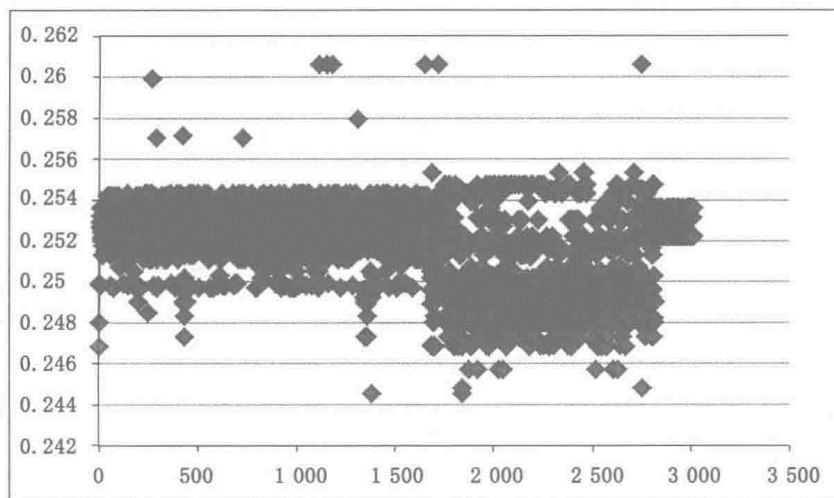


图 2-3 研究区土壤环境质量与国家标准的贴近度的分布

该指标权重越大;根据各项指标的变异程度,可以客观地计算出各项指标的权重,为污灌农田污染关键要素识别和后期评价提供依据。该过程主要是根据各分区对象的指标的相似程度开展的,所采用的指标均为数值型,而 C# 类作为 C# 语言的核心和基本构成模块,可以封装数据与提供处理和访问数据的方法,用于描述实际需要解决的问题,它能够恰当地满足识别与评价需要。

本书拟采用 C# 类方法与灰色关联分析相结合,从原始数据处理、标准化数据、建立加权决策矩阵、求取正负理想值、计算正负理想值距离、与标准值的贴近度等流程,分别编写相应的 C# 类予以详细阐述该识别过程和分析评价过程的实现,以保证该流程能够在不同空间尺度上顺利开展。

2.1.2.1 实现流程

流程见图 2-4。

2.1.2.2 数据处理流程

流程见图 2-5。

2.1.2.3 算法实现

(1) 根据现有资料所采用的原始实测数据格式主要为文本格式 txt、excel 表格和 ACCESS,需要添加引用“using System. IO”、“using Microsoft. Office. Interop. Excel”。主要是利用 IO 读取已经录入好的原始数据,转化为 double [,]型。

(2) 利用 C# 的 Array 方法中 max()、min()重载,对原始实验数据(myBasicDataNew)以列为单位进行标准化;该过程主要算法是得到二维数组(double

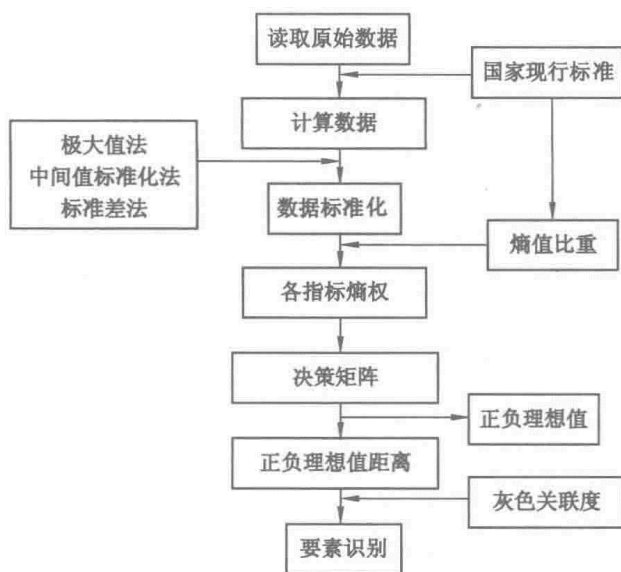


图 2-4 分析思路

[,])的各列循环存储到多维数组(double[][])中。

(3) 根据各实测单元和指标计算各个指标熵值和熵权,用到的 C# 类主要有:

- ① 乘积求和(DoubleRowsProduct());
- ② 平方求和(DoubleRowsQuadraticSum());
- ③ 最小值求和(MinValueSum());
- ④ 最大值求和(MaxValueSum());
- ⑤ 偏差乘积求和(DeMeanSum());
- ⑥ 内减差和乘积(DeMeanSumSqrt());
- ⑦ 平均偏差乘积(MultiplyTwoRowsValueAvgDiff());
- ⑧ 偏差平方求和(MultiplyRowAvgDiff())。

(4) 根据所得到的模糊相似矩阵,进行合成运算,同时求得分区阈值;用到的 C# 类有得到各分区对象指标(getMatrixRows())、两行间合成运算(DoubleRowsSyn())、得到相似等价矩阵(getFuzzyEquiMatrix())、得到阈值(getParameter())以及 Min()和 Max()重载。

(5) 在模糊相似等价矩阵的基础上,主要利用循环值与国家标准值相比较所得;主要用到的 C# 类是得到正理想值距离(getPositiveIdealValue())以及