

TU RANG SHUI YAN DONG TAI YU CE JI TIAO KONG

土壤水盐动态

预测及调控

张妙仙 著



科学出版社

土壤水盐动态预测及调控

张妙仙 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系作者多年从事土壤水盐动态研究的总结性成果。本书在总结多年水盐动态观测资料的基础上,分析研究了土壤水盐动态及其影响因素,阐述了物理模拟与计算机模拟、定位观测和调查研究、试验研究和理论分析相结合的研究方法;论述了土壤水盐动态的变化规律和形成机理;建立了土壤水盐动态中长期预测预报的理论和模型;初步建立了土壤水盐动态优化调控的理论体系和适应中长期预报特色并与多目标规划相结合的水盐动态优化调控管理模式。

本书可供农业水土工程、土壤、生态环境、水文水资源、农林科学等专业的科研、教学和工程技术人员及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

土壤水盐动态预测及调控 / 张妙仙著. —北京:科学出版社,2012.4
ISBN 978-7-03-033785-6

I. ①土… II. ①张… III. ①黄淮平原—土壤盐渍度—关系—土壤水—研究 IV. ①S156.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 040334 号

责任编辑:罗 吉 尚 雁 / 责任校对:张怡君

责任印制:赵 博 / 封面设计:许 瑞

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>

北京佳艺恒彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年3月第一次印刷 印张:8 1/2

字数:158 000

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

土壤盐碱化是指土壤含盐量太高,而使农作物低产或不能生长,是一个世界性的土壤问题。全世界盐碱地面积近 10 亿公顷。而我国盐碱地面积约 1 亿公顷,主要集中在华北、西北和东北的干旱和半干旱地区,以及滨海地区。土壤盐碱化是地形、气候和水文地质条件以及人为活动综合作用的结果。土壤水盐动态规律是防治土壤盐碱化的理论基础。

土壤水盐动态是指土壤水分和盐分随空间的分布和随时间的变化的过程。土壤水盐状态与旱涝盐碱密切联系,是蒸发积盐与淋溶脱盐过程交替发生的结果,是土壤与地下水的水盐运动相互作用的结果。土壤水盐动态预报,就是根据土壤水盐动态变化规律,结合有关要素预报计算出未来某时段、某计划层内的土壤含水量和含盐量,实为农作物需水耐盐状况预报。调控土壤水盐动态则是使根层土壤盐渍度在作物耐盐度以内,地下水埋深在临界动态。

本书以规律—模型—预报—调控—管理为主线,首先明确土壤水盐动态的概念和内涵,论述土壤水盐动态预测预报和优化调控在农业生态环境建设和土壤质量管理中的地位 and 作用;然后,对这一领域的研究方法、研究现状、研究成果、理论基础、数学思想、研究规模、研究工具和存在的不足进行了较系统的总结,针对土壤水盐运动特点和农业生态环境中存在的主要问题,明确了研究的主要内容和技術路线。

本书从因素分析入手,采用物理土柱模拟与计算机模拟、定位观测与调查研究、试验研究与理论分析相结合的方法,以多年的水盐动态观测资料为基础,通过对土壤水盐动态及其影响因素的监测,研究论述土壤水盐动态的变化规律和形成机制,建立土壤水盐动态模型;借鉴气候预测理论和方法,综合应用土壤溶质运移、水文地质、农田灌溉及盐渍土改良研究方法,初步建立土壤水盐动态中长期预测预报的理论和模型,并进行土壤水盐动态的长期、中长期预报;在此基础上,根据水盐生产函数和优化指标,应用优化调控理论,提出可持续利用的优化调控方案,建立适应中长期预报需求的水盐动态多目标优化调控管理模型。

本书是在作者博士后出站报告和博士论文基础上,对作者多年从事土壤水盐动态研究的总结性成果。本书的出版,得到了杨劲松研究员、康绍忠教授的指导和大力帮助,在此谨表谢忱。

本书所提出观点和结果可供同行参考,可为农业生态建设及水土资源的合理利用提供科学依据。由于作者水平有限,书中错误或不足之处在所难免,敬请各位专家同行学者提出宝贵意见,使之不断完善和充实。

张如仙

2011年9月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 土壤水盐动态预测预报的目的、任务和意义	1
1.2 土壤水盐动态预报及调控的研究现状	3
1.2.1 土壤水盐动态预测预报分类	3
1.2.2 土壤水盐动态预测预报的方法	3
1.2.3 土壤水盐动态预测预报研究现状	4
1.2.4 土壤水盐动态调控研究现状	6
1.3 研究内容和技术路线	9
1.3.1 研究内容	9
1.3.2 技术路线	10
第 2 章 土壤水盐动态与其影响因子关系研究	11
2.1 土壤水盐动态因素试验	11
2.1.1 土壤水盐动态模拟试验	11
2.1.2 微区咸水灌溉试验	17
2.2 土壤水盐动态影响因子	20
2.2.1 土壤水盐动态与气象因子	20
2.2.2 土壤水盐动态与植被条件	25
2.2.3 土壤水盐动态与灌溉制度	30
2.2.4 土壤水盐动态与土壤条件	32
2.2.5 土壤水盐动态与地下水埋深	38
2.3 土壤盐渍化多因子预报	46
2.3.1 土壤盐渍度多元统计预报模型	46
2.3.2 土壤次生盐渍化的多因子预警	47
2.4 小结	53

第 3 章 土壤水盐运动机理	55
3.1 土壤水盐运动的动力作用过程	55
3.1.1 GSPAC 系统土壤水盐运动的四大动力作用过程	55
3.1.2 基于四大过程的水盐动态分类	56
3.2 试用组合数学方法探讨多孔介质水动力弥散尺度效应及溶质 迁移机制	57
3.2.1 问题的提出	57
3.2.2 土壤渗透性和水动力弥散性物理机制探讨	59
3.2.3 多孔介质溶质迁移过程的推求	63
3.2.4 溶质迁移过程分析	66
3.3 小结	66
第 4 章 土壤水盐动态中长期预测预报理论和模型	68
4.1 中长期预测预报理论	68
4.1.1 预测预报的基本原则	69
4.1.2 中长期预测预报特点	71
4.1.3 预测步骤	71
4.2 土壤水盐动态中长期预测预报对象	73
4.2.1 土壤水盐动态表征变量	74
4.2.2 土壤水盐动态指标	77
4.3 土壤水盐动态预测预报体系	84
4.3.1 土壤水盐动态预测预报概念模型	84
4.3.2 土壤水盐动态预测预报要点	85
4.3.3 土壤水盐动态预测预报体系结构	86
4.4 GSPAC 系统水-盐-作物产量动态中长期预测预报模型	86
4.4.1 入渗条件下农田土壤水盐动态简化模型	88
4.4.2 腾发条件下农田土壤水盐动态简化模型	91
4.4.3 地下水位动态模型	95
4.4.4 水盐生产函数	97
4.4.5 模型功能和结构	101
4.4.6 土壤水盐动态中长期预测预报精度分析	103
4.5 小结	104

第 5 章 土壤水盐动态多目标优化调控管理模式	106
5.1 子过程水盐动态调控	106
5.1.1 入渗过程水盐动态调控	106
5.1.2 腾发过程水盐动态调控	110
5.2 土壤水盐动态优化调控管理模式	116
5.2.1 多目标动态规划数学模型	116
5.2.2 土壤水盐动态多目标优化调控模式	117
5.2.3 优化调控实例	120
5.3 小结	122
参考文献	123

第1章 绪 论

土壤水盐动态是指土壤水分和盐分随空间的分布和随时间的变化过程。土壤水盐动态是受各种因素影响的复杂的自然现象。这一现象由土体内发生的各种物理、化学和生物过程的综合作用所支配。其主要过程包括对流、扩散、吸附、溶解、结晶、蒸发和蒸腾等。从地球表层结构看,土壤水盐动态是发生在气候系统、生物系统、水文系统和陆地系统交叉部位的能量、水文和地质循环的一个重要过程。从物理意义上讲,土壤水盐动态是蒸发蒸腾和入渗淋洗交替作用下,多孔介质中非饱和的、部分带电的电解质的非等温运动,属土壤溶质运移范畴。这一现象的科学研究不仅涉及土壤内物质、能量运动和转化的基本机制,而且涉及土壤学、地质学、气象学、水文学等的地球物理规律。

1.1 土壤水盐动态预测预报的目的、任务和意义

对于土壤水盐动态这一现象的研究是随着人类农业生产水平的不断提高而发展的。从小农经济到大农业、到生态农业,再到正在兴起的精准农业,土壤水盐动态逐渐成为农业生态环境系统的重要研究内容,评价土壤质量和农业生态环境质量的重要动态指标之一。土壤水盐动态是四水转化、施肥、植被等因素综合作用的结果。土壤水盐动态与农业生态环境建设密切相关,它的优劣严重影响农业生产对象的发育和最终经济产量。

土壤水盐动态规律是土壤改良的基础。土壤改良是人类所从事的最古老活动。其最终目的是创造适于作物生长的农业耕作条件。长期以来,农业生产主要依靠扩大外延的粗放经营和资源投入来发展。对于旱涝盐碱威胁也只是用一般的技术和经验来对付。多少年来土壤改良一直采用经验试错方法,寻找特定地区和特定作物的最佳农业技术措施(Sokolenko,1984),而现代技术已提供了各种自动测试、监测和信息处理方法,特别是计算机的迅猛发展,定量化模拟仿真过程已成为可能。在土壤改良上继续应用经验试错方法,将造成时间和资源的浪费。为了使时间和资源利用最佳,满足农业生产可持续发展的要求,土壤改良必须从经验性科学转换到精确性科学,成为精准农业的重要内容之一。而正确合理的土壤改良必须建立在正确的土壤水盐动态预测基础之上。

预报是人类适应自然和利用自然的必要手段之一。若要对农田土壤水盐动态进行优化管理,趋其利而避其害、防患于未然,就需要在认识其发生、发展规律的基

基础上,对土壤水盐动态有较为精确的预测,这是土壤水盐管理和控制的先决条件。只有这样才能适应精准农业的要求,为作物生长创造最佳的水盐生存环境,为农业生态环境的良性演化、水土资源的永续利用、旱涝盐渍的综合治理提供科学依据。

空气运动性最强,从而表现出变幻莫测的气象;地表水运动其次,从而表现出复杂的地表水文现象;多孔介质中的水盐运动位居第三,从而表现出复杂的土壤水盐动态变化现象。土壤水盐动态和气象、水文一样,均有其自身发生、发展和演化规律。人们对气象预报、水文预报早已熟知,而对事关农业发展而近在足下的土壤水盐动态的预报却不甚了解。怎样才能给出科学的、满足生产实际要求精度的预报呢?一方面要有对研究对象运动规律和机理的认识研究和大量野外监测资料的积累,另一方面要有合理的逻辑推断,即预报方法和预报理论。

一个地区的土壤水盐动态是当地气候、地形、土壤、植被、水文地质和农业生产活动等因素综合作用的结果。气候因素使土壤水盐状况呈现明显的季节变化。地形、土壤和水文地质影响土壤水盐的空间分布。农业生产活动和植被则既影响土壤水盐的空间分布又影响土壤水盐的季节变化。所以,土壤水盐动态的预测预报必须建立在气候预测、地下水预测和农业发展规划的基础上。因此,土壤水盐动态的预测预报是在自然条件预报和未来人为活动预测基础之上的预测预报,是一指标性的预测预报。

施雅风(1995)预测:21世纪上半期,华北地区降水变化方向是增多而不是减少,气候向暖湿方向发展,降雨和温度都会增加。平常人类活动对水资源的干扰要大于气候变化的影响。但在气候快速变化阶段,会有旱涝灾害包括大旱大涝等突发事件的出现。如果这样,水资源短缺趋势难以逆转,水资源开发造成地下水位持续下降。气候变暖湿,则土壤盐渍化不会大面积发生,但水资源短缺,势必要大量引用客水(如南水北调)或者劣质水(咸水或污水)。客水引入造成局部地区和某一季节的地下水位上升和土壤积盐现象,劣质水灌溉造成土壤盐分或其他化学物质的累积。从战略趋势上看,土壤水盐动态取决于水资源状况。未来人为的水管理行为是土壤水盐动态变化的主要原因。由于地下水位上升引起土壤大面积盐化,可能不是主要的问题,主要问题是水质变劣而导致的土壤盐化。

因此,土壤水盐动态的预测预报实际上可以说是对未来水资源开发、气候变化、农业发展规划的预测,而这些预报涉及面广,随机性亦大,做出完全准确的预测是不可能的。也就是说,无论我们用什么方法去预报未来都只能预报其部分特征和趋势。

土壤水盐状态是农作物生长发育的重要条件之一。农田土壤水盐动态预报是根据农田土壤水盐动态变化规律:①结合有关要素预报和计算出未来某时段、某计划层内的土壤含水量和含盐量;②结合当前农作物正常生长和农田工作正常进行时对土壤含水量和含盐量的要求,说明所预测的土壤含水量和含盐量对农业生产

的影响。所以,农田土壤水盐动态预报实际上是由两部分组成,一是土壤水盐状况预报,一是对比农业上对水盐要求的农田水分盐分供应鉴定预报,或称为农作物需水耐盐状况预报。

1.2 土壤水盐动态预报及调控的研究现状

1.2.1 土壤水盐动态预测预报分类

从预报性质上,土壤水盐动态预测预报分为定性预报和定量预报;从预报目的上,分为预警式预报、发展趋势预报和精准农业所要求的数值预报;从预报时段上,分为短期、中期和长期预报。定性预测是对预测对象未来所表现的性质作出推断和估计,如调查研究和经验判断。定量预测是对未来预测对象的发展规模、水平、速度和比例等数量表现进行推算。短期预测是未来两年以内的预测,预报值较精确。中期预测是未来2~5年的预测,预报值不太精确。长期预测是未来5年以上的预测,只能是轮廓性的估计。

1.2.2 土壤水盐动态预测预报的方法

目前,文献中所记载的土壤水盐动态预报方法,还不能完全把各方面因素都加以考虑。因此,在这种比较复杂的条件下,当今的土壤水盐动态预报方法研究多是采用简化条件,以实际资料为基础,进行统计分析,找出经验关系,建立一些统计方程。土壤水盐动态预测预报模型的研究方法可归纳为如下八种方法:

(1) 土壤发生学方法(Sokolenko,1984):在这一方法中,分析研究土壤演化的性质和历史趋势,并且假定将来发生同样的趋势变化。

(2) 地理相似法(王遵亲等,1993):在这一方法中,分析研究某一地块的灌溉经验,而用于改进其他地区。实际上它隐含了自然条件和水盐动态相似性假设条件。该方法主要是根据已掌握的有关资料,作出定性预报,提出次生盐渍化的可能性。

(3) 专家识别估计法(王遵亲等,1993):由专家评估改良措施的后果,这主要取决于专家的经验 and 能力。

(4) 水盐收支均衡法(王遵亲等,1993):根据土壤水盐平衡原理,即对一定土体来说,土壤水盐收入和支出的差等于该土体中水盐总量的变化。这一方法最大的优点是能够在田间渗透仪上直接确定蒸发蒸腾和地下水补给速率,然而这一方法只能给出平均意义上的定量预报值,不能用来构造具有相互作用的水盐剖面,更不能确定水分动态和盐分动态的相互关系。

(5) 动力学方法(王馥棠等,1991):即数值模拟方法,是一种强调物理因果关系的推断方法。它是基于土壤过程动力学方程之上,用微分方程描述,并外推预

测,是一种确定性的方法,是一种“一一对应”的描述。这个方法通过土壤过程的数学模型模拟和计算机仿真来预报水盐动态及其改良措施。该方法可以应用于任何自然条件,能计算土壤盐分和水分随时间和空间的变化。为了定量研究土壤水盐动态变化过程,就必须建立数值模型。在水盐动态的研究中,数学模型将会起到主要作用,因为只有通过这一途径才有希望进一步了解土壤水盐动态的基本控制作用,为土壤水盐动态的各种调控方案措施进行定量评价,确定合理的人为活动。但是,这一方法还有许多缺陷和不足:其一,数学模拟还不能完全有效地表达所有土壤过程;其二,是边界和初始条件的随机多变性;其三,是参数系数多,且难以确定。目前,数学模型只能用于边界和初始条件比较简单,土壤比较均一的室内和野外试验,还不能广泛应用于田间实际。同时数值模拟方法也只能作短期预报。

(6) 概率统计学方法(王馥棠等,1991):这是一种应用概率统计的基本原理来进行土壤水盐动态预报的方法,是一种“概率对应”或“一多对应”的描述。预测值并不是预测个体的数值,而是群体的数学期望值。这个数是群体随机取值的综合值,不是个体的预测值。具体方法途径很多:回归分析、方差分析主要用于水盐状况与各影响因素之间关系分析;时间序列分析则是就土壤水盐动态的时间序列资料建立时间序列模型。该方法是目前应用最多的方法。动力学方法和概率统计学方法都是定量数值预报。

(7) 遥感技术方法(王馥棠等,1991):随着遥感技术的发展,利用现代化的空间遥感技术,获取大面积与土壤水盐动态相关的信息,通过建立遥感信息与地面观测资料相关对应关系的模型,来预报土壤水盐动态和旱涝灾情。主要用于大面积范围的监测预报。

(8) 动力统计预报方法(严华生,1999;丑纪范,1986):近几年来,该方法在气候模拟和预测中有很发展,它是动力学方法和统计学方法的结合,这种结合分为外结合和内结合。如集合预报、模糊分析等。

1.2.3 土壤水盐动态预测预报研究现状

土壤水盐动态是在自然和人为等各种因素的影响作用下,在土壤体内随时间的变化和随空间的分布,以及土壤固、液、气三相之间的形态转换的一系列动态变化过程。为了研究土壤水盐动态的变化规律和形成机理,从而采用合理的措施调控水盐动态,使其适应作物生长的要求,人类进行了长期、大量和广泛的研究和实践。

20世纪80年代以来,石元春等(1991a)进行了区域水盐运动监测预报技术的研究工作:在河北曲周试区应用系统分析的方法,对区域水盐运动这个十分复杂的开放系统进行科学分析,采用地下水-土壤两段式测报方法,建立了各子系统及综合系统的预报模型,通过示范和检验,适时地为农田提出了季节性或短期的旱、涝、

盐情预报,并初步实现了从信息输入、计算和管理到图幅、数据文件输出的计算机自动化,初步形成了较完整的区域水盐运动监测预报体系(PWS)。该预报体系包括资料监测系统、地下水位和水质的动态预报系统、土壤水分动态预报系统、土壤盐分动态预报系统、系统预报模型的实施和检验以及 PWS 体系的信息系统。PWS 预报体系的建立,基本上概括和汇总了目前水盐动态研究发展的成果,建立和奠定了土壤水盐动态预测预报理论的框架和基础。但是,不足的是还没有达到预报业务服务的程度和精度,不能进行中长期的土壤水盐动态预报。

为了进一步提高预报的精度和实用性,20 世纪 90 年代,杨金忠等(1993)进行了区域水盐预测预报理论和方法的研究,建立了地下水系统和土壤系统的两段式预报模型。模型计算中,首先,进行地下水位预报;其次,将地下水位和矿化度作为土壤水盐运动的下边界条件,以入渗蒸发为上边界条件,利用土壤水盐运动模型,预报土壤水盐动态。该研究将地下水系统视为时变系统和非时变系统,将时间序列分析方法用于地下水位动态预报,充分阐明了时间序列模型用于地下水动态预报的可行性,针对地下水位动态序列的特征,建立了多种时序组合模型。这一研究是对确定性方法和随机性方法结合的有益尝试。

除定量数值预报外,定性预报工作也很多。尤文瑞(1994)提出临界潜水蒸发量的概念,这一概念是临界地下水位概念的发展,提出了以临界潜水蒸发量为预报指标的次生盐渍化预报方法。该预报方法首先通过试验等途径,确定预报地区的临界潜水蒸发量;然后计算出预报地区的实际潜水蒸发量;如果实际潜水蒸发量大于临界潜水蒸发量则可能发生次生盐渍化,如果实际潜水蒸发量小于临界潜水蒸发量则不会发生次生盐渍化;并可根据潜水蒸发量与土壤含盐量的关系预报土壤的含盐量。

方生、陈秀玲(1990)提出了防止土壤次生盐渍化的地下水埋深的临界动态指标:旱季为 2~3m,雨季前为 4~6m,雨季为 0.5~1m。

魏由庆等(1989)根据土体构型、有机质含量、地下水埋深和水质四因子与土壤盐渍化的关系,通过标准化处理,建立了土壤潜在盐渍化预报公式,该公式可进行土壤潜在盐渍化等级的预报。

综上所述,土壤水盐动态研究现状可概括为:①动力学基础是达西定律和混合置换理论;②基本的数学思想是微积分思想和随机概率统计思想;③基本的化学理论是电化学、胶体化学和化学动力平衡理论;④基本的工具是电子计算机和水盐传感监测仪器。

从预测时段上,可分为季节和多年水盐动态;从水盐动态监测规模上,分为土柱、田块、剖面和区域;从研究方法上,可分为土壤调查统计法、定位监测研究法、示踪元素研究法、室内土柱及砂槽试验等方法;从数学分析手段上,可分为数学模型、经验公式曲线、随机统计分析、水盐均衡、灰色系统分析和时间序列分析方法;从监

测内容上,由过去的只监测总的含水量和含盐量,发展到测量各种离子组成、植物根际作用;从监测手段上,也由经典的重量法发展到使用负压计、中子仪、时域反射仪(TDR)、水分盐分传感器等各种仪器。

就运动机理描述而言,随着化学、地质、土壤等学科的发展,土壤水盐动态的机理也愈来愈细,愈来愈全面,微观上更微,宏观上更宏,考虑了化学动力平衡、离子代换,提出了可动水体-不可动水体、优先流等各种水分运动的术语来反映土壤水分运动的不均匀性,反映根系吸水的重要作用,并有机地将水、盐、热、汽的多相运移进行耦合研究。

土壤水盐动态研究的主导思想,就是尽可能地利用各种相关的知识表述水盐动态变化机理和规律,应用数学物理方法或统计分析方法建立各种数学模型,针对各种边界条件进行计算机模拟,从而建立精度较高、适用性较强的土壤水盐动态模型。目前,土壤水盐动态研究已进入以定位理论作指导、多种研究方法相结合的时期。规律—模型—预报—调控—设计准则已成为水盐动态及盐渍土改良研究的发展趋势,模型将逐渐取代定律,盐渍土改良将从经验的定性科学渐变为定量科学。水盐运动原理、预测预报理论和优化调控理论的系统综合和交叉将形成合理的、科学的水盐动态调控管理模型。

尽管这些科学研究工作作为土壤水盐动态的预测预报奠定了基础,但还没有形成系统的预报理论和方法。和气象预报相比,土壤水盐动态的预报尚不成熟,仍处在酝酿和起步阶段,其监测系统、预报模型、预报体系、预报机构等各个方面都不具备开展正规的业务预报服务的可能性。目前,适用于田间管理的水盐动态模型还不多,特别是符合我国国情、适应中长期预报特色并与多目标规划相结合的水盐动态优化调控管理模型几乎处于空白。

1.2.4 土壤水盐动态调控研究现状

为了防止土壤盐渍化,一般必须使土壤根系层盐分保持平衡。根层盐分平衡方程(Schilfgaard, 1974)为

$$\Delta S = D_r C_r + D_g C_g + D_i C_i + S_m + S_f - D_d C_d - S_p - S_c \quad (1-1)$$

式中, D 为水量(L); C 为盐分浓度(mg/L); S_m 为土壤矿物溶解的盐(mg); S_f 为肥料增添的盐(mg); S_p 为根系层沉淀的盐(mg); S_c 为作物吸收的盐(mg);下标 r, i, d, g 分别代表:降雨、灌溉、排水、地下水补给。

为了将土壤盐分控制在一定的范围内,许多国家和地区的学者做了大量的试验研究工作。实践证明,如果管理适当,而且环境条件适宜时,盐化土壤上也可以获得比较好的收成。目前,已形成了生物盐化概念(biosaline concept)。它的基本内容是在干旱半干旱地区普遍存在的矿化水和不良土壤,应该被视为有用的资源,可用于生产粮食、燃料和药品等。

改良控制盐渍危害,最基本的问题是有关作物对于盐分的反应。水盐生产函数(郭永辰,1992)是作物产量和所用水量及含盐量关系的数学表达形式。Hanks等建立了一个带有渗透势的根系吸水函数(Bresler和Hanks,1969;Nimah和Hanks,1973;Childs和Hanks,1975),Bresler(1981)又对此做了修正,这就是所谓的Hanks和Bresler模型。求解剖面水分运动方程式、溶质运移方程式和根系吸水函数,再结合相对产量与相对蒸腾量关系则可做产量预报。Bresler(1987)对此模型进行了模拟,但未将作物盐分敏感性应用于模型。van Genuchten(1987)建立了一个水盐运动模型,建议生产函数对基质势的关系可用S曲线表达。此后Cardon和Letey(1992a,b,c)比较了以上三个生产模型,在非盐化情况下模拟结果都相似,但Hanks模型对盐化反应不敏感,过高地预报了盐化时的产量。而Hanks模型对于渗透的模拟却优于van Genuchten模型。稍加修改后合并的模型被称作为修正的van Genuchten-Hanks(V-H)模型(Hoffman et al.,1990)。

张展羽和郭相平(1998)使用Jensen模型,建立了作物水盐动态响应模型,分析了模型中各参数的求解方法,并根据试验资料给出了冬小麦不同生育阶段盐分敏感指数 σ_i 和缺水敏感指数 λ_i ,为含盐劣质水灌溉管理及农作物高产提供了理论依据。该作物水盐动态响应模型描述了作物不同发育阶段的生长与该阶段土壤水、盐状况的定量关系。其研究为含盐劣质水合理利用提供了新的途径。根据初步试验资料,得出冬小麦需水敏感期为拔节-抽穗期,盐分敏感期为播种-分蘖期和拔节-抽穗期。水分作为溶剂、反应剂和转运剂,在土壤中起着决定性作用。为了估计盐渍化过程向脱盐化过程的转变,在土壤改良学中引入了一些所谓的临界“常数”(鲍罗夫斯基,1974),包括:地下水临界埋藏深度、地下水临界矿化度,其中以前者最为常用。

多年来随着理论和实践的不断深入,人们逐渐认识到临界深度的不确切性,对临界深度的定义和解释也愈加具体,先后提出绝对临界深度、相对临界深度、地下水适宜深度、有效临界深度、允许深度等概念。实际上,盐渍化过程的影响因素很多,而且每个因素是不断变化的。如果从中取出一个因素,就认为该因素是决定盐渍化向脱盐化方向转变的临界因素,这是完全不正确的。“盐渍化-脱盐化”过程究竟向哪个方向发展,其主要影响因素有三个:蒸发强度、入渗强度和潜水流能量。由于这个缘故,很多学者提议研究“临界盐分状况”,当处于临界盐分状态时,累积的盐分将开始超过毒害界限。

关于临界盐分动态问题,前苏联学者鲍罗夫斯基(1974)在《盐渍土改良的数量研究法》中进行了比较详细的论述。给出了关于土壤盐分积聚过程取决于系统中垂直水盐交换和水平交换之比值的明确概念。针对所研究的特定的系统和简化模型给出了其比值公式

$$\xi = \frac{q_0 \sqrt{X}}{\sqrt{DV}} \quad (1-2)$$

式中, q_0 为系统入口处的土壤蒸发强度或者入渗强度 (cm/h); X 为水平距离 (cm); D 为溶质扩散系数 (cm²/h); V 为潜水的水平对流速度 (cm/h)。

当 $\xi > 1$ 时, 即在盐分移动过程中垂直运动占优势, 其土壤盐渍化危险较大。当 $\xi < 1$ 时, 潜水流体的排水作用占优势, 土壤盐渍化危险较小。

但在确定临界深度时, 仍沿用水文地质上潜水蒸发经验公式

$$A_{\text{临界}} = \sqrt{a \ln \frac{q_0}{q_{\text{临界}}}} \quad (1-3)$$

式中, q_0 为系统入口处的土壤蒸发强度 (cm/h); $q_{\text{临界}}$ 为系统入口处的临界土壤蒸发强度 (cm/h); $A_{\text{临界}}$ 为地下水临界深度; a 为与土壤性质有关的参数。

美国比较注重灌溉水对土壤水盐的调控作用。美国盐碱土研究室 1954 年提出的淋洗系数 LR (Schilfgaard, 1974) 的有关理论及计算方法, 至今仍广泛应用, 其简化形式可写为

$$D_i C_i = D_d C_d \quad (1-4)$$

$$LF = \frac{D_d}{D_i} \approx LR = \frac{C_i}{C_d} \quad (1-5)$$

式中, LF 为排水率; LR 为淋洗系数; D_i 为灌溉水的深度 (cm); C_i 为灌溉水的盐浓度 (mg/L); D_d 为从根区排出的水的深度 (cm); C_d 为从根区排出的水的盐浓度 (mg/L)。

式(1-5)没有考虑降雨量、土壤的盐沉淀、作物吸收盐及肥料应用等因素影响。当将土壤含盐量控制在一定限度之内时, 式(1-5)可用于确定所需的灌溉水量; 这些因素影响较大时, 则需要作修正。

干旱和半干旱地区的灌溉排水实践表明, 为了合理地运用现有的灌溉系统, 防止土壤次生盐渍化, 必须采用合理的水盐控制措施, 只有对水盐动态过程有一个全面的了解, 并结合适当的预测和控制方法才有可能有效地利用水土资源, 使农业持续稳定发展, 而不致引起土壤的退化、土地的破坏和水质的恶化。扩大灌溉必须对潜在盐化和碱化过程给予足够的重视。

我国的土壤水盐动态调控是随着盐渍土改良的发展而发展的。20 世纪 60 年代初期, 为了治理因大面积发展引黄自流灌溉和平原蓄水而引起的土壤次生盐渍化, 开始重视土壤水盐动态调控的研究, 采用水利、生物、化学、耕作等各种方法改良利用盐渍土。如水平排水、井灌井排、河井双灌、耐盐作物的培育和增施有机质等改良措施。目前, 在盐碱地改良领域一致公认“因地制宜, 综合治理”的防治调控原则。水利措施和农业生物措施相结合的灌排措施取得了突破性的进展。但是我们改良利用盐碱地的技术体系和经验尚未臻于完善, 理论与实践脱节, 有待通过理论上的深入探讨, 在生产实践上的不断充实提高, 使之达到公认的科学理论高度 (王遵亲等, 1993)。

1.3 研究内容和技术路线

1.3.1 研究内容

通过对这一领域的研究方法、研究现状、研究成果、理论基础、数学思想、研究规模、研究工具的系统总结,从而明晰了土壤水盐动态研究的主导方向。

根据土壤水盐运动研究中存在的主要问题,以节水为原则,抓住地下水开采、农田灌溉排水和种植制度这三大主要人为干扰因素,也就是可调控因子,与自然气象、地质体相叠加,研究主要农作制度下的土壤水盐动态和地下水动态的变化规律,找出最佳的调控管理措施即人为干扰方案,使得土壤永续利用,满足可持续发展的要求是本书的主要任务。

本书主要研究内容分为四部分(图 1-1):土壤水盐动态与影响因素的关系、土壤水盐运动机理、土壤水盐动态中长期预报理论和模型、土壤水盐动态优化调控管理模式。首先从因素分析入手,然后进行土壤水盐运动机理和水盐动态过程演变规律研究。将这一规律用土壤水盐动态模型来描述。根据模型,结合预测预报理论,进行土壤水盐动态的长期、中长期预报。根据水盐生产函数和优化指标,应用优化调控理论提出可持续利用的优化调控方案。

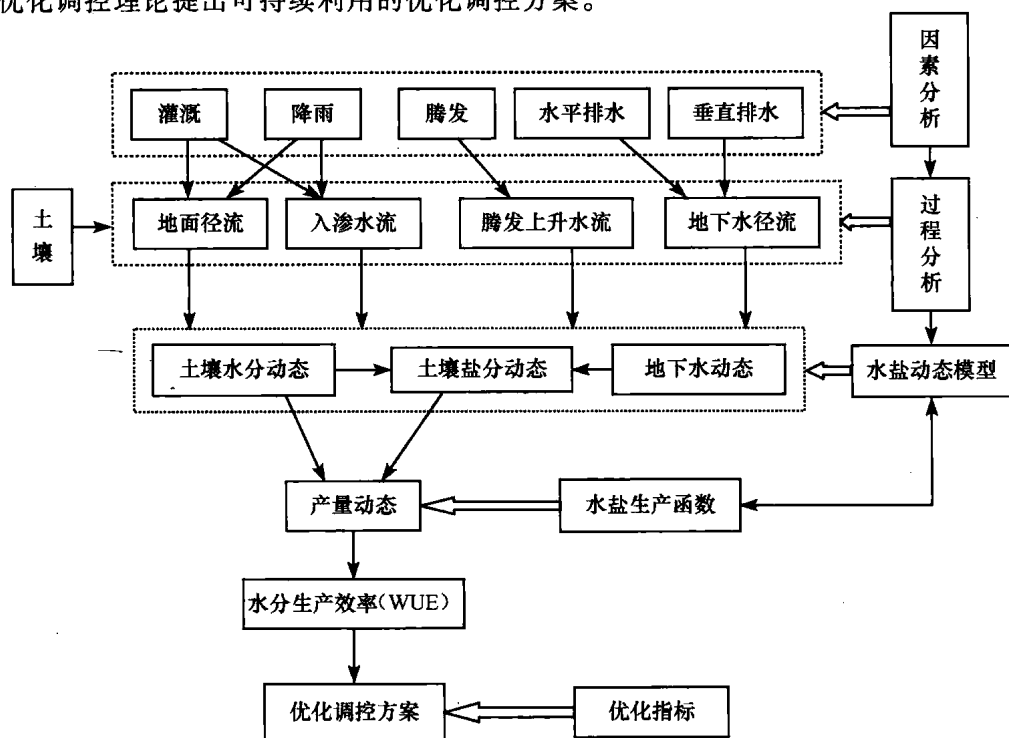


图 1-1 研究内容