

区域水盐运动

监测预报

石元春 李保国 等著
李韵珠 陆锦文

河北科学技术出版社

区域水盐运动监测预报

石元春 李保国 等著
李韵珠 陆锦文

河北科学技术出版社

冀新登字 004 号

各 章 执 笔 人

- 第 一 章 石元春
第 二 章 石元春 等
第 三 章 李保国
第 四 章 李保国 陈 研
第 五 章 陆锦文 张和平 吴海洋 龚元石 等
第 六 章 李韵珠 陈文林 王少英 李保国
第 七 章 李保国
第 八 章 汪 强 李保国

区域水盐运动监测预报

石元春 李保国 等著
李韵珠、陆锦文

河北科学技术出版社出版 (石家庄市北马路45号)
河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092 毫米 1/16 14印张 4插页 300,000 字 1991年12月第1版
1991年12月第1次印刷 印数: 1—650 定价: (精)19.50 元

ISBN 7-5375-0731-7/S·121

前 言

随着社会经济、科学技术的发展及人类物质文明生活不断增长的需要，人们对赖以生存的资源和环境，不仅要充分开发利用，更需要科学地管理和保护，以保障持续和更佳地服务于人类。为此，人们在不断加深认识的基础上，对其动态变化和发展趋势的预测，更加日益关注。

为适时农作和舟楫之便，我们的祖先积累了丰富的观天经验。本世纪以来，建筑在现代科学技术基础上的气象预报有了长足地发展，如从天气预报到中长期气象预报，以及各国各界十分关注的全球变暖的预测等。相形之下，对近在足下身旁的水土资源的预测却不甚了了，较之气象科学，落后远矣！是不重要吗？不是，水土是人类获得食物，赖以生存的第一资源要素。在生产技术和工具落后，土地生产率和劳动生产率很低，以及资源相对充足的情况下，无论在量上和质上，水土资源与人类生活需求之间的矛盾尚不突出。但本世纪中叶以来，面临人口急剧增长，人均占有资源量锐减，现代科技大量投入，资源开发强度大增，以及人类对生活水平和质量的要求越来越高等，导致生态和环境问题日益突出。面对严重的挑战，人们严肃地提出了如何对有限的资源，加以科学地利用、管理和保护问题。水土不仅是食物生产的资源，也最易受到自然力和人为的污染、破坏，导致人类生存环境质量的恶化。当今，人们已开始重视对水土资源的清查及开发，但还应当进一步唤起人们对水土资源的科学使用、管理和保护意识，增强危机感和紧迫感。为水土资源科学管理服务的预报科学，正是在这种背景下应运而生的。

我国的区域水盐运动及其预报技术的研究，是70年代初在黄淮海平原开始的。在这个地区，旱涝盐碱和地下咸水共存，对农业生产交相危害。大量实践和研究结果证明，综合治理旱涝盐碱的实质，是在认识区域水盐运动规律的基础上，对其进行科学地调节和管理。科学地调节和管理又需以预报为依据。因此，在70年代进行水盐运动规律研究的基础上，国家在“六五”科技攻关项目中，又进一步提出了区域水盐运动监测预报技术的研究课题。“六五”期间，着重进行了区域水盐运动监测预报试验区的建设和准备性研究。“七五”则进入了实质性的研究阶段。通过“七五”期间的研究，我们在曲周试区利用系统分析的方法，对区域水盐运动这个十分复杂的开放系统进行了科学分析，建立了各子系统及综合系统的预报模型，还通过实施和检验，适时地为农田提出了季节性或短期的旱情、涝情和盐情预报，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。

1983年河北人民出版社出版的《黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理》，报

道了70年代我们在区域水盐运动规律方面的研究;1986年北京农业大学出版社出版的《盐渍土的水盐运动》,报道的是“六五”期间我们在区域水盐运动监测预报的前期性的研究;本书记述的则是区域水盐运动监测预报的主体研究成果。所以,它是前两部书的姊妹篇和续篇。

如上所述,作为一个十分复杂和庞大的系统,区域水盐运动及其监测预报的研究,只是迈出了一小步,无论在理论、方法、技术以及资料和经验的累积上,还有待进一步完善和成熟,还有很多工作要做。要使它真正成为一项能够服务于生产实践的应用技术,还有很长的路要走。

区域水盐运动监测预报,是为适应黄淮海平原的需要而设的,它只是整个水土资源预报工作中的一个侧面。但是,我们在预报理论、方法和技术上的这些探索,希望能对水土资源的预报工作起到参考和促进作用。

本书定有许多不完善和欠妥之处,望同行和各方面的专家批评指正。

石元春

1991年6月 于北京农业大学

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 区域水盐运动及其预报体系	(8)
2.1 半湿润季风气候区水盐运动理论	(8)
2.2 黄淮海平原的水盐运动	(12)
2.3 区域水盐运动的系统分析和预报体系	(19)
第三章 背景资料系统与监测系统	(27)
3.1 背景资料系统	(27)
3.2 监测系统	(30)
3.3 曲周测报区的背景资料系统与监测系统	(32)
第四章 区域地下水动态预报	(35)
4.1 概述	(35)
4.2 区域地下水水位(埋深)预报	(36)
4.3 区域地下水水质预报	(53)
第五章 土壤水分动态预报	(61)
5.1 概述	(61)
5.2 农田土壤水分动态预报	(62)
5.3 区域土壤水分动态预报	(84)
5.4 区域农田旱涝预报	(91)
第六章 土壤盐分动态预报	(100)
6.1 概述	(100)
6.2 区域土壤盐渍化状况分析	(102)
6.3 土壤盐分一维动态模型	(113)
6.4 区域土壤盐分多点动态预报模型	(132)
6.5 区域土壤盐分分布动态预报模型	(136)
第七章 区域水盐动态的系统预报	(142)
7.1 概述	(142)
7.2 系统预报模型的生成与实施	(143)
7.3 系统预报模型实施中图幅的计算机处理	(146)

7.4	系统预报模型中地下水动态预报模型的实施	(152)
7.5	系统预报模型中区域土壤水分分布动态模型的实施	(152)
7.6	系统预报模型中区域土壤盐分分布动态模型的实施	(156)
第八章	区域水盐监测预报的信息系统	(161)
8.1	概述	(161)
8.2	PWSIS 数据库管理子系统	(163)
8.3	PWSIS 矢量数据管理子系统	(169)
8.4	PWSIS 信息应用子系统与输出子系统	(171)
8.5	PWSIS 的应用	(174)
主要参考文献		(197)
附表 (表1-表9)		(207)

第一章 绪 论

人们在从事农业生产活动中,为了和干旱、渍涝及土壤盐渍化作斗争,就不可避免地要与水分和盐分打交道。自本世纪初,科学家们从不同的角度和方面去认识水盐运动的规律,并相应地采取措施,加以调节和管理。本书则是在这个大的背景下,专就其中的区域水盐运动的监测和预报问题,以我们的研究成果为基础加以阐述和探讨。这是一个重要的和新的领域。

一、一个“永恒”的主题

地球陆地表面约 1/3 是干旱地区。干旱、渍涝和土壤盐渍化是这个地区发展农业生产的三个克星。在干旱地区,没有灌溉就没有农业;半干旱地区,没有灌溉就没有稳产高产,水是农业的命脉。但是,水也有导致严重涝灾和土壤盐渍化危害的一面。这个地区的农业发展史中的重要一页,就是“兴水利而除水害”。

大禹治水、西门豹引漳和秦渠兴修等均有两千年以上的历史。50年代开始的我国西北和东北等地的大规模垦殖,揭开了发展灌溉和与土壤盐渍化作斗争的新的一页。在新疆维吾尔自治区垦殖盐碱荒地87万公顷,通过建立排灌系统,采取人工冲洗、种稻改良、牧草轮作等措施,变大片荒原为万顷良田,成为我国北方的一个重要粮棉生产基地;宁夏的银川平原,引黄河水种稻改良盐渍土,使5万公顷盐碱荒地成为“塞外江南”;内蒙古的河套平原、东北的松嫩平原和辽河三角洲等地盐渍土的开发也是成果累累。但是,在一些灌溉工程不配套,排水系统不健全,土地不平整,灌水和农业管理技术粗放的地区,导致地下水位抬升,土壤次生盐渍化广为发展。例如,黄河中下游17个灌区的土壤次生盐渍化面积为灌区总面积的36%;内蒙古河套灌区,因无渠首建筑和缺少必要条件,致使1/3的土地次生盐渍化。还有银北灌区、东北郭前灌区等亦深受水盐之害。黄淮海平原自50年代初至今,农田灌溉面积由近70万公顷发展到900万公顷,大大推动了这个地区农业生产的发展。但是,这里的渍涝和土壤盐渍化时起时伏,严重威胁着农业生产。

旱涝和土壤盐渍化是个全球性的问题。19世纪以来,一些古老灌区,如底格里斯——幼发拉底斯河、尼罗河、印度河以及其他许多国家和地区,因灌溉不善而引起的次生盐渍化急剧发展,使大量的土地荒弃,使昔日的粮仓转为粮食不能自给。事实引起人们极大地关注。据美国农业部调查统计(1985),全美408万公顷灌溉土地中,有117万公顷显示出被盐碱破坏的迹象。目前,盐渍化可能已影响到全美国灌溉土地的25%。美国西部

河流水质恶化,矿化度高和土壤含盐量高已构成了严重威胁。马兰托(1985)报道,“到2000年,加利福尼亚洲1/3的农田将被破坏”。据估计,科罗拉多河流域年增900—1000万吨易溶盐量的负荷,使所有用户一年需支付113亿美元以上,如不进行控制,到2010年预计损失费用将翻一番还多。中、远东国家的土地多受水盐因素的困扰,伊朗约50%,巴基斯坦也有30%以上的土地盐渍化(FAO,1983)。据澳大利亚的资料(1982),估计盐渍化造成澳的经济损失为1.5亿美元,年损失额为2114万美元(其中次生盐渍化损失为1514万美元),到2000年年损失额将超过2600万美元,总损失额将超过2.8亿美元,需要投入2.6亿美元进行治理。

灌溉无疑是获得高产稳产的重要条件和措施,全世界17%的灌溉土地提供了56%以上的农产品(Zoh等,1981)。但是,在干旱、半干旱和半湿润地区,哪里就有不良灌溉和缺乏必要的排水条件,哪里就会发生次生盐渍化。自1800—1980年的180年间,由于不良灌溉和次生盐渍化而废弃的土地每年达100—150万公顷(Kovča,1985)。根据Zoh预测(1981),灌溉面积将由现在的2.65亿公顷增加到2000年的4.2亿公顷,比现在的灌溉面积增加60%左右。令人不安的是,现在和可以预测到的将来,多数的灌溉区仍将存在不同程度的灌溉不善和缺乏排水设施。这就是我们要提出的,在地球陆地表面1/3以上的地区,人类在几千年的农业生产过程中,深受水盐的困扰。即使在人类社会和科学技术相当发达的现代以至相当久远的未来,人们仍将无法摆脱和不得不继续与水盐打交道。当然,我们应当相信,未来的科学技术和社会经济的高度发展,人类最终定能摆脱农业生产中的水盐之害。

二、问题的症结

人们兴水利而除其弊,与旱涝和土壤盐渍化作斗争的历史过程,就是对水盐运动规律的认识和从事水盐管理不断深化、发展的过程。我国农民积千百年的经验,如抗旱保墒、沟畦台田、围埝平种、冲沟垄作、“锄头底下有水有火”、“盐碱地种花,晒垡养坷拉”、“盐随水来,盐随水去”等,乃至近代的灌排系统、盐碱地冲洗和改良工程,都是在生产斗争实践中,通过对水盐运动规律认识的不断深化,而采取的加强对水盐管理得措施,以改善农田水盐状况。

随着农业生产规模的扩大和科学技术的进步,人们在合理利用水资源和对付水盐干扰上,日益向着大型综合和流域性整体治理方向发展。巴基斯坦在世界银行的援助下,在印度河平原灌区执行了一项规模宏大的,以管井工程为主的盐渍土改良计划(SCAP计划,1960—1996),治理面积700万公顷;埃及在FAO资助下,在尼罗河三角洲200万公顷土地上,实施了以暗管排水为主要内容的盐碱土改良工程。这两项具有世界影响的巨大工程,以及美国西部盐河河谷、加州中央河谷等大型灌区和匈牙利的蒂萨河灌区等,均取得了良好的效果。印度政府也通过以分期付款的方式与农民建立盐渍土改良的合作项目,使30万公顷的碱化土壤得到了不同程度的改良。

自50年代以来,我国的黄淮海平原,一方面治理了黄河、淮河和海河三大河系,开迄

了行洪排涝工程,在周围山区修建了4000多座、总库容量为250亿立方米的水库,打了数十万眼机井,使灌溉面积由70万公顷发展到900万公顷,从整体上改善了这个地区的水盐状况。另一方面,在不同自然条件的各种类型区,设置了旱涝盐碱综合治理和农业发展的试验区,提出了不同条件下进行综合治理的模式。

新疆乌鲁木齐河的全流域性的统一治理也取得了良好的效果,如山区修水库,对水量作多年性调节;建平原水库以调蓄冬季的泉水和井水;加强渠道防渗灌溉管理,使渠系有效利用系数由0.3提高到0.6,在潜水溢出带及下游冲积平原渠灌的同时,配合竖井(1817眼)灌排,年提水量达2.5亿立方米等措施,使灌溉面积由1.93万公顷增至7.93万公顷,灌区盐渍土由2万公顷减至0.1万公顷。无论是在一个小的田块,还是在一个大的流域,无论是采取农业技术措施,还是搞大型水利工程,人们在与旱涝和土壤盐渍化作斗争中,自觉或不自觉地在逐步加深对水盐运动规律的认识,并不断增强对水盐运动的控制能力,以改善水盐状况和生产条件,促进农业生产。

长期以来,人们的生产实践和科学研究活动表明,与旱涝盐碱的斗争并取得进展,其实质在于对本地区水盐运动规律的认识不断深化,和加以科学地调节和管理。这是整个问题的症结所在。

三、水盐运动的研究

近代的水盐运动研究是在三个层次上展开的,即土体中水盐运动过程及其机理的微观性研究,田间的及区域性的水盐运动过程及其机理的研究。

土壤中水的运动主要是基于达西定律,对多孔介质中饱和流和非饱和流的水动力学的研究,建立了水流运动的基本方程。而含有易溶盐和其它溶质的溶液在多孔介质中的运动则要复杂得多。早在1905年Slichter就曾报道过,在土壤中溶质并不是以相同速率移动的。40年代,色层分离理论进一步说明了不同溶质通过多孔介质时运动速率的差别(Martin和Synge, 1941)。Lapidus、Amundson (1952)和Nielsen、Biggar (1961, 1962)以及Biggar、Nielsen (1962, 1963)根据一系列实验,提出了易混合置换的理论,认为溶质的通量(J_s)是由对流、扩散和弥散的综合作用引起的。

60—70年代对于溶质运动方程的运用和完善,说明了对溶质运移机理理解得逐步深化。Bresler (1982)所著《盐化与苏打化土壤》一书中,总结了有关盐分运动的原理和模型,可以代表当前国际上在盐分运移方面的主要观点和动向。

我国在这方面的研究是从80年代开始的。张蔚榛 (1982)提出了土壤水盐运移模拟的初步研究结果。李韵珠 (1985)运用水动力学模型,研究了非稳态蒸发条件下夹粘土层的土壤水盐运动,Chen (1980)在盐分运移方面的多离子耦合传输和综合传输模型的研究,取得了较好成果。刘亚平 (1985)在稳定蒸发条件下,应用土壤水盐运动模型进行了多方案计算,提出了潜水蒸发与埋深关系公式和用潜水蒸发量近似估算土壤盐分状况的方法。杨金忠 (1987)、陈研 (1991)在饱和——非饱和土壤水盐运动的计算方法上取得了进展。陆锦文等 (1986)对非饱和土壤水运动的水分特征曲线、导水率和扩

散率, 杨金忠 (1987)、贾大林 (1987)、张效先 (1990)、黄康乐 (1988) 对土壤盐分扩散——弥散系数等方面的研究, 提供了有价值的参考。

和实验室有控条件下的研究相比, 田间水盐运动的研究难度更大, 一是土壤的空间变异性极大, 二是气候和人为活动的非稳态条件十分复杂。主要的研究工作有:

——土壤空间变异性研究。这方面研究的目的是定量说明土壤组成、性质和水盐运动参数在空间上的分布规律, 以便使在一定情形下所建立的模型能推广应用到田间。在这方面, Nielsen 等 (1973), Biggar 等 (1976)、Bresler (1981)、Jury (1984)、Russo (1984)、Rhoades 等 (1988) 和我国的雷志栋、杨诗秀 (1988)、胡毓琪 (1985) 等做了有意义的工作。目前空间变异的研究应用, 仅限于取样点的选择与土壤某些性质在空间上的插值运算方面。

——田间某一特定条件下的水盐运动的研究。如不同的作物发育阶段、灌溉制度、土体构型条件下的土壤水分运动 (Hillel 等 1979; Feddes 等 1985, 1986, 1988; 雷志栋, 1985; 陆锦文等 1985, 1988)。在盐分运移方面 (Bresler, 1975, 1982; 杨金忠, 1986; 贾大林等, 1985; 李韵珠等, 1986; 黄康乐, 1988; Jury, 1984; Nour el-Din, King, K.K.Tanji, 1988) 取得的成果已应用于盐碱地改良等方面。近年来盐分运移中的物理化学过程变化研究是一大研究热点。Grove 与 Stollenwer (1987) 对地下水盐分运移化学过程变化, 做了系统总结。

——水盐平衡方法是研究田间水盐运动的重要和常用方法 (Kovda, 1946, 1959; Woods, 1967; Szabolcs, 1976; Kaddah 与 Rhoades, 1976; 石元春, 1983)。田间水盐均衡方程的建立, 可以从整体上定量地确定田间各种情况下水盐的来龙去脉及田间的水盐动态变化 (陈焕伟、石元春, 1988)。石元春等 (1977, 1983, 1986) 还研究了不同自然和人为活动条件下的水盐平衡类型和分区。

——随着电子计算机技术的发展, 对复杂田间条件下水盐运动的定量化的研究和建立模型的研究有了发展。Jury (1984) 将田间水盐运动模型分为确定性模型和随机模型。Feddes (1988) 对土壤水分运动模型及其应用作了系统阐述。从总体上看, 这项工作还处在初期阶段, 尚难应用于复杂的田间条件。

大规模的区域性旱涝和土壤盐渍化综合治理, 促进了区域水盐运动的研究。即在一个流域的大范围内, 对水盐运动的过程及其规律进行宏观性的研究, 以作为区域综合治理和水盐调节管理的科学依据。研究工作主要是用系统分析方法, 对影响区域水盐运动诸要素进行分解、综合, 建立模型和探讨系统中各状态变量的动态。Tanji (1981) 阐述的 10 个代表性区域盐渍水文模型, 是美国西部 60 年代和 70 年代工作的总结。在欧洲, 70 年代末和 80 年代初, 英、丹、法合作开发欧洲水文系统, 包括对径流、土壤水、蒸散、积雪融化模型的研究与耦合, 应用于欧洲水资源的合理开发与利用。索柯洛夫等 (1980) 系统总结了苏联水资源区域再分配的研究成果。

我国区域水盐运动的研究, 从 70 年代末至今取得了一系列研究成果。黑龙江省水利勘测设计院 (1978) 为审议“引嫩”工程 (北引嫩江水), 进行得面积为 2.4 万平方公里

的水盐均衡分析,提出了工程实施后将有26%的灌溉水进入地下,并会使地下水位抬升0.32米,以及应采取的预防措施。石元春(1983)提出了黄淮海平原的水均衡方程和模型,从宏观和战略上探讨了该地区旱涝盐碱综合治理中的水盐调节问题 并提出了小流域或县级为单位划分区域水盐运动类型的原则、方法和不同条件下的水盐调节管理模式。魏由庆(1985)对鲁西马颊河流域的陵西背河洼地、刘世春对商丘古黄河背河洼地的研究也都取得了成果。

从世界范围来看,对区域水盐动态研究多采取分区方法进行(索柯洛夫等,1980; Tanji, 1982; 石元春, 1985),研究方法多是水盐均衡法。石元春(1977, 1983, 1988)在提出地学综合体概念的基础上,划分区域水盐运动类型,李韵珠等(1988)进行了分区(不同地学条件)水盐均衡计算。另外一种方法是 Huggins (1968)利用分布参数模型作区域水均衡与产流的模拟; Gupta 等人(1977)按此法建立了区域水均衡方程, Williamson 与 Turner (1980)把这种方法用于对区域土壤水分含量的计算上。区域地下水水盐动态的研究,近年来多应用分布参数模型(Bear, 1979; 张蔚榛, 1983; 朱学愚, 1986; 孙訥正, 1989),研究方法以水动力学法为主。区域水盐运动系统的研究涉及面广,系统中土壤水、地表水、地下水各子系统相互作用。因此在研究区域水盐运动规律时,不可能采取单一的方法,而是众多研究方法的综合(Tanji, 1982; 石元春, 1988)。这也决定了对区域水盐运动研究要从系统论的观点出发,采取系统分析的方法进行,即先给出研究区水盐运动系统概念模型(如 Hornsby, 1972),然后对区域水盐运动进行剖析分层(如 Walker, 1978; DHI, 1985; 石元春, 1988),最终利用已有的研究成果与方法,如水均衡法、水动力学法或两者的结合,有时还辅加数理统计方法与运筹学方法一同完成既定的目标。近年来,运用系统工程的方法对区域水盐运动系统进行研究,黄运祥等(1985)在新疆进行了有益尝试。

以上所述,可说明对区域水盐运动规律的研究,已进入以系统理论作指导,多种研究方法相结合的时期,进而研究对区域水盐运动的科学管理与调控。这就必然导致一个新的重要课题的提出,即区域水盐运动监测预报的研究(石元春等, 1983)。

四、区域水盐运动监测预报

区域水盐运动是一种客观存在的自然现象,和气象、洋流、地震等一样,均有其自身的发生、发展和演化的规律。人们为了趋其利而避其害,需要在认识其发生、发展规律的基础上,做到预测和防患于未然。预报是人类适应自然和利用自然的必须。人们对气象预报和地震预报早已熟知,而对事关农业发展和近在足下的区域水盐运动的预报却不甚了了。

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,旱涝盐碱的威胁也只是用一般技术和经验来对付。第二次世界大战以来,世界人口急剧增长,人们越来越意识到,必须充分应用科学技术,合理利用、治理和保护地球上越来越珍贵的水土资源,这已是大的趋势。当农业活动社会化程度日益增加,特别是大型水利工程建设,

人们深刻地认识到对付旱涝和土壤盐渍化,绝不只是某几个田块或乡村土地孤立性的问题,而是和整个流域和区域联系在一起,是和整个区域的水盐运动状况及演变密切相关的。石元春(1983)提出,黄淮海平原的旱涝盐碱综合治理的实质,是对区域水盐运动的调节和管理。要做到对区域水盐运动科学的调节管理,重要的条件是能及时掌握区域水盐运动的状况以及对发展趋势的预测。社会和科学技术的发展,提出了对区域水盐运动监测预报的需要。

科学的预报只能建立在对预报对象运动规律的认识,科学资料的积累以及及时有效地监测的基础上。预报的准确程度,决定于这个领域科学工作的研究程度和监测手段的有效性和先进性。近年来,气象预报技术的大幅度提高,不仅得益于气象科学的进步,而地球资源卫星、气象卫星的监测,和计算机的数据处理等现代监测手段及技术,发挥了极大的作用。当然,对运动规律的认识和有效的监测不能代替预报,预报还有着自身的理论和技术,正如气象预报乃是整个气象科学中的一个重要和独立的分支。

和气象预报相比,区域水盐运动的预报尚处在酝酿和起步阶段,其中地下水水位和水质预报工作做得较多,基础也较好。张蔚榛(1983)和陈葆仁(1983)对地下水水位预报,作了系统和总结性地阐述。区域地下水水质的预报方面, Konikow 与 Bredehoeft (1978), Rashid Al-Layla (1988), 王秉忱 (1985), 孙讷正 (1989) 等做了初步报道。而区域性土壤水盐运动预报的研究报道则很少。偶有实验室有控条件下的预报模型的研究报道,也和实际的预报工作有很大距离。50年代末,匈牙利土壤学家 Darab 和 Varallyay (1969) 等,就蒂萨河流域的大型水利灌溉工程,提出了为土壤盐渍化测报服务的专门性土壤调查,建立了以地下水临界深度为中心的制图系统(比例尺为 1:100000),来预测不同条件下灌溉后盐渍化的发展。联合国粮农组织(FAO)发行的《盐化与碱化的预报》(1976)一书中, Szabolcs 提出了盐化和碱化监测预报的土壤和水文调查方法。黑龙江省水利勘测设计院(1978)为审议和设计“引嫩”工程而进行的水量均衡计算,预测了引嫩后区域水盐变化趋势和应采取的预防措施。1981年 Tanji 总结的在美国西部所建立的 10 个水文盐渍化模型,虽在应用上存在着很大局限性,但都可对区域水盐动态某些因子进行预报。石元春(1977)曾就微咸水灌溉条件下的水盐状况预报,及相应的灌溉管理作了系统的报道。随着黄淮海平原旱涝盐碱综合治理研究的深入发展,又提出了为实行区域水盐运动的科学调节和管理,而需要作监测预报技术的研究,并于 1983 年列入国家“六五”科技攻关课题,从此便开始了对区域水盐运动监测预报系统性的研究工作。经过数年研究,取得的主要成果是:

——应用地理分析法,在对测报区复杂的地理和人为因素进行综合分析的基础上,提出了区域水盐运动类型的划分原则、方法和制图技术;

——应用区域水均衡法和数理统计法进行了地下水水位预报的探讨,并取得初步成果;

——土壤水盐运动预报的有关参数研究,如不同质地土壤的持水性和导水率的特点,盐分扩散——弥散系数,并编制了一维非饱和流的 h 方程的计算机程序;

——春季蒸发条件下,层状土柱及田间土壤的基质势和含水量预测研究,以及不同区域水盐运动类型的土体季节性水盐运动的监测和预测;

——监测方法和手段的研究,如压力传感张力计、遥感技术在水盐监测上的应用等。

在此研究的基础上,提出了测报体系采取的技术线路是:在认识黄淮海平原水盐运动的特点和进行水盐运动类型划分的基础上,采用地下水——土壤两段式测报方法(石元春,1985)。以上研究成果编写出版了《盐渍土的水盐运动》一书(1986)。

1986—1990年国家“七五”科技攻关中,使这个课题第二阶段的研究进入了一个新的阶段,提出了比较完整的区域水盐运动监测预报体系(PWS)。本书正是为了系统报道此项成果而作。

五、本书内容简介

本书是一部报道北京农业大学“七五”科技攻关研究成果的专著,但也简要介绍了国内外近期有关研究的进展情况。全书结构是按预报体系(PWS)本身的系统性编写的。在简单介绍了黄淮海平原的水盐运动特征后,对区域水盐运动进行了系统分析,并建立了区域地下水水位、水质和土壤水分、盐分的基本方程和概念模型。在此基础上,提出了PWS体系的技术目标和内容、结构及工作流程。

PWS体系的主要内容包括资料与监测系统、地下水水位和水质的动态预报、土壤水分动态预报、土壤盐分动态预报,以及在各子系统预报的基础上,提出了系统预报的模型及对其实施和检验。最后是PWS体系的信息系统。

在区域水盐运动监测预报这个领域中,本书所介绍的PWS体系具有以下特点和重要进展。

一是运用系统分析、数学式,表达和建立概念模型,使对区域水盐运动这个复杂系统的认识,由传统的和经验性阐述发展为概念清晰、科学和规范化的表达,并为系统预报打下了基础。

二是在不同类型与条件的水盐监测预报区内,应用多种方法,如水盐均衡、专家识别、数理统计、水动力学等方法,发展建立了针对不同目的的4个子系统预报模型。各子模型的应用灵活,可根据预报要求,有针对性地选用建立的子模型,做出某一子系统在一定时段内的趋势性或定量化预报。

三是按4个子系统的自然关系,以其物质的流向和流量构成有序的系统预报模型。从实验室模拟到建立田间预报模型,又从单点到多点,特别是通过建立分布式动态模型和栅格化数据图幅叠加等方法,使多点预报扩展为完整的面的预报,并以直观和实用的图幅形式表达,以菜单选择的方法提供服务。既可做中长期预报,也可做季节的最小时段预报。

四是比较充分地应用了地理信息系统和计算机技术,初步建立了从信息(数据)输入、计算、管理到图幅和数据文件输出的计算机自动化运行系统。

第二章 区域水盐运动及其预报体系

区域水盐运动及其预报有其共性的一面，而具体特征则又有着明显的区域性质。本书是以黄淮海平原为背景和典型区，系统研究提出了区域水盐运动预报的技术体系，并从个性的研究中探求区域水盐预报共同性的问题。因此，本章将对黄淮海平原的区域水盐运动的特征及其诸影响因素作一梗概叙述，并在此基础上提出监测预报体系的总体结构和工作流程。

区域水盐运动监测预报，是应旱涝盐碱综合治理和水盐调节管理发展得需要而提出的，是水盐运动研究的发展和一个分支。

2.1 半湿润季风气候区水盐运动理论

一、背景

黄淮海平原地处暖温带，光热资源丰富，年降水量500—1000毫米，地势平坦，土层深厚，是我国最大的平原和农业区。但是，在这片富饶的土地上，却深受旱涝灾害和土壤盐渍化的为害。据近500年河北、山东两省统计，旱灾成灾率为25—39%，涝灾成灾为32—60%，即3—4年一次大旱，1.5—3年一次大涝。

解放后虽经大规模治理，旱涝灾情逐年减轻，但标准不高，对农业生产仍然威胁很大。河北省1949—1977年的旱涝成灾率分别在10%和20%以上。据河南省1951—1978年的统计，平均6—8年一次大旱，4年左右一次中旱，9—10年一次大涝，3—5年一次重涝。1949—1978年间，皖北累计涝灾成灾面积达1700万公顷，占累计播种面积的11.8%；累计旱灾成灾面积为720万公顷，占累计播种面积的6.2%。

与旱涝相应发生的是土壤盐渍化。《尚书·禹贡》、《史记》、《吕氏春秋》等古籍均有本地区盐碱土和“终古斥卤，生之稻粱”的治理记载。

50年代初，为抗旱曾先后在河北省建立金门渠灌区和水月寺灌区，但因忽视排水而发生土壤次生盐渍化，不得已被迫停灌。可惜未以此为教训，1957和1958年大规模“引黄”，修平原水库，大引大蓄，终于招致一场严重的“盐灾”，冀鲁豫三省平原区盐渍土面积由190万公顷剧增到320万公顷，一时人们淡水色变，废渠兴沟。加之1963年大范围的严重洪涝灾害，人们重视了排水，提出了以排为基础的治理思想。经10余年的努力，

行洪除涝能力增强,一些地区地下水位回落,涝和土壤盐渍化的威胁有所缓解。土壤水分状况改变了,干旱问题又突出出来,需要加快灌溉事业的发展。但是在发展灌溉中,哪里有无不良灌溉,哪里就有土壤次生盐渍化的发展。为抗旱扩大水源,曾大打深机井,开采深层承压水,虽成效显著,但带来了大面积的地下水漏斗,生态后果严重。直到70年代中后期,人们在与这个复杂多变的自然界打交道中,总是顾此失彼,十分被动,一个不大的成功常常遭到自然的更大报复。问题的症结是人们对这种复杂的自然现象和客观规律缺乏科学的认识。

二、水分运动的不均匀性和积盐性

石元春、辛德惠等于1973年在河北省曲周县北部建立了旱涝盐碱综合治理试验区。这里春旱夏涝,十年十旱九涝、土壤严重盐化,地下水是矿化度达4—10克/升的咸水,可谓“四害”俱全,粮食亩产仅百公斤,农民靠政府救济度日。这是黄淮海平原旱涝盐碱严重危害地区的一个缩影。经过系统调查和观测,对曲周作了典型剖析,并结合黄淮海平原面上情况,认识到“旱是水少,涝是水多,土壤盐渍化和地下咸水与高潜水位直接相关,问题的焦点在水上”(石元春,1977)。水多与水少不是绝对的,而是有时多有时少,有的地方多,有的地方少,主要是在时空上分配不均。土壤盐渍化也是有时积盐,有时脱盐;有的地方盐多,有的地方盐少,是与不同地学条件下的不同水分状况相联系的。

水分运动的不均而导致春旱与夏涝,春旱时节水费如油,雨季汛期水如猛兽。河北平原春旱严重,普遍缺水,可是在年均可用水量(131亿立方米)中,45%(59亿立方米)主要是雨季径流入海和在低地造成渍涝,来春又受抗旱乏水的熬煎。因而,在相当大的程度上,旱与涝是与缺乏在时空上的水调节能力和方法有关。为此,在曲周旱涝盐碱综合治理试验区面积为290公顷的现场进行了为时3年(1974—1976)的区域水盐调节试验。三年累计抽出浅层地下咸水235万立方米,降低了地下水位,腾出了空间,增加了雨季防涝蓄水能力。据计算,仅土体中即可容纳降水量300—360毫米(汛期允许潜水埋深0.5米)。1976年七八月降雨量456毫米,7月中旬一次连续降雨284毫米,试区外严重受涝,而试区内潜水埋深仍在1米左右,秋粮丰收。在防涝的同时,可以接纳雨水,补充到浅层地下水,为来年抗旱灌溉之用。所以,建立浅井群,开采浅层水,可以做到灌中有排,排中有蓄,蓄而为灌,在地下建立了一个灌排蓄相结合的地下贮水库。以潜水埋深变动在1—4米计,旱季可以供水3000立方米/公顷,雨季可接纳300毫米的降水(曲周23年气象资料计,七八月降雨305毫米),如有需要,枯水年尚可引渗秋冬季河流弃水。在此3年中,试区为抗旱和改良盐渍土,引河水180万立方米,开采深层淡水32万立方米。这样,相当于在试验区的下面建立了一座吞吐量约为160万立方米的“地下水库”,将大气降水、地面水、地下水联通起来,余缺相补,统一调度,就地调节了水量,使自然状态下水分运动的不均匀性得到改善。试区有效灌溉面积(一年保证灌溉3水以上)由30%提高到85%,连续百日无雨不减产,除涝防托能力由5日连续降水100毫米受涝,提高到5日连续降水300毫米不减产。多年的水调蓄能力也有很大增强,抗旱防涝能力从整体上

得到显著提高。

自然状态下,水分运动的积盐性主要表现于土壤的盐渍化和地下水的矿质化。它是在同时具备水分在土体中,强烈上行和下行的动力因素及保持较高地下水位的地质条件下,易溶性盐分在土壤和潜水中交换转移和积聚的结果。即一方面是有较多的降水量和季节性分配严重不均,而干湿季分明,产生较强的土体积盐和脱盐过程,以及盐分在土体和潜水中的季节性交换;另一方面是有可以维持较高的潜水位的地学条件,以提供盐分在土壤中呈季节性土体积盐、脱盐和潜水表层矿化度变化的水动力学条件,导致了区域性水盐运动的积盐过程和地下咸水的广泛分布。

1974—1976年,曲周旱涝盐碱综合治理试验区,在进行区域性水调节的同时,进行了盐调节。主要措施是在通过抽排抽用地下咸水,降低地下水位的前提下,一方面抑制旱季积盐过程和增强雨季防涝及土体脱盐能力;另一方面,在利用地上和深层淡水以及微咸水(<4 克/升)灌溉的同时,通过超定额灌溉和非生产季节的人工冲洗,加速土体脱盐和咸水淡化过程。经过3年的盐调节试验,旱季土壤上层(0—40厘米)的积盐率由 $>70\%$,下降到 20% 以下。雨季两米土体脱盐率由 5% 提高到 $25\text{—}40\%$ 。再配合其它改良措施,试验区盐渍土的面积由 87% 下降到 20% 左右(1974—1976年),自两米土体排走盐分1.1万多吨。

降低旱季潜水位,抑制土壤积盐的同时,也制止了潜水的矿化。更重要的是抽出咸水,补入雨水或引渗地面淡水,使浅层咸水在不断的抽咸换淡过程中渐趋淡化。试验区 60% 的咸水井的水质由原来的矿化度 7 克/升左右,下降到 5 克/升左右。在部分排咸、土壤脱盐和补淡水条件较好的地段,矿化度已下降到 4 克/升以下。

曲周试验区4年来的试验说明,开采利用浅层咸水和建立“地下水库”,不仅把灌排蓄有机地结合起来,调节了水量,改变了水分运动的不均性,同时也调节了潜水位,抑制了土壤的积盐过程,加速了自然脱盐过程和促进了咸水的淡化,打破了水分运动的积盐性。区域水盐运动由旱涝盐咸的水盐平衡类型转化为抗旱防涝治盐改咸的水盐平衡类型。

需要着重说明的是,开采地下水具有特殊意义。因为它占据的地层空间为我们提供了一个充裕的回旋余地,可以把大气降水、地面水、土壤水和地下水勾通起来,统一调度;把排灌蓄结合起来,全面安排;能调节水量,又能调节地下水位,是综合治理旱涝盐咸,建立新的水盐平衡的关键所在。此外浅层水还有易开采、投资少、好补给的特点。

上述区域水盐运动的特征及其调节研究的系统成果,已撰著《黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理》一书(石元春等,1983)。

三、半湿润季风气候区水盐运动理论

以上系统阐述了旱涝盐碱为害的背景和发生原因,以及通过对区域水分运动不均匀性和积盐性的调节,改善水盐运动的方向和强度,使春旱夏涝,土壤积盐和地下水矿化的区域水盐运动类型,向着能抗旱防涝,土体脱盐,地下咸水淡化的方向发展。据此,石