

盐渍土改良 与节水农业

THE SOIL SALINIZATION IMPROVEMENT AND WATER
SAVING AGRICULTURE

贾大林论文选



中国农业科技出版社

盐渍土改良与节水农业

贾大林论文选

中国农业科技出版社

(京)新登字 061 号

内 容 提 要

本书是中国农业科学院贾大林研究员及其助手在黄淮海平原从事盐渍土改良和节水农业 40 余年的研究成果。全书分 4 部分,内容包括:水盐运动规律与监测预报,盐渍土改良,农田水利与节水农业和治理区划与农业发展战略研究。资料丰富,具有较强的科学性、综合性和生产性,对区域治理与节水农业的发展具有重要的参考价值。本书可供各地区农业与水利生产部门,科教部门的干部、科技人员和院校师生参考。

盐渍土改良与节水农业

贾大林论文选

*

中国农业科技出版社出版(北京海淀区白石桥路 30 号)

新华书店北京发行所发行各地新华书店经售

河南省浚县印刷厂印刷

16 开本 780×1092 毫米 印张 24 字数 528 千字

1994 年 4 月第 1 版 1994 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—500 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-80026-758-x/S·480

贾大林研究员是我国著名的水利土壤改良学家,祖籍北京市,1923年9月20日生于长春市。1946年7月毕业于北京大学农学院农业工学系。1946年9月~1947年9月在原东北水利委员会东辽河工程局任工程师,参加修建二龙山水库;1947年9月~1949年2月在原北平农事试验场农业工程研究室任技佐,从事暗管排水试验研究;1949年2月~1955年9月在华北农业科学研究所理化系任助理研究员,1952年后任农业建筑组组长;1955年9月~1956年11月,为北京俄语学院留苏预备部研究生,1956年11月~1961年1月在前苏联莫斯科几米里亚捷夫农学院水利土壤改良系攻读研究生,获前苏联技术科学副博士学位。1961年1月~1987年4月,在水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所任副研究员、研究员、水利土壤改良研究室主任、副所长、所长。在此期间,任国家科委土壤盐碱化防治组成员,河南省科学技术协会常务委员,农业部科学技术委员会委员土肥组副组长,国际土壤学会会员,中国大百科全书农业工程篇副主编,中国农业科学院学术委员会常务委员,中国水利学会理事、农田水利专业委员会副主任委员,华北农业项目技术委员会委员,国家科委发明奖评选委员会特邀审查员。1987年4月至今,为中国农科院黄淮海平原综合治理领导小组副组长,国家“六五”、“七五”、“八五”科技攻关黄淮海平原综合治理课题和专题主持人,水利部地下水专家组副组长。

贾大林同志从1949年以来,深入生产第一线,从事黄淮海平原盐渍土改良和节水农业研究40余年。他有强烈的事业心和责任感,坚持理论联系实际,注重调查研究,善于组织协调,胸襟宽大,博采众长,勤于思考,勇于实践,不断总结提高,富有执着追求的精神和脚踏实地的工作作风。正是这些,使他几十年的辛勤耕耘结出了丰硕的果实。在国内外发表论文70多篇,主编《黄淮海平原盐渍土改良》、《黄淮海平原治理与农业开发》、《黄淮海平原旱涝盐碱综合治理区划图集》和《节水农业与区域治理》四本专著;参加编写的著作有16本,如《当代世界农业》、《农业区域开发技术对策》、《建设有中国特色的社会主义农业》等。他主持的科研项目曾获国家科技进步特等奖一项、农业部科技进步特等奖一项、一等奖三项、省级二等奖一项、三等奖二项、国家三委一部表彰和奖励三次,他本人还获得国务院黄淮海平原农业开发一级奖励,1986年被授予河南省劳动模范称号。贾大林同志的主要成就包括:

一、在应用基础研究方面

1957~1960年,在导师C·Ф·阿维里扬诺夫和B·B·拉钦斯基教授指导下,利用水动力学原理和放射性同位素示踪方法研究土壤盐分运动规律,提出不同边界条件下固态和液态盐的冲洗定额和冲洗效率的理论公式,多次为苏联学者引用,为国内利用同位素示踪研究溶质运移谱写了新篇。1961~1963年,利用室内外结合的方法,取得大量田间和实验室数据,深入研究地下水埋深与土体盐分关系,提出地下水临界深度三条线,即安全深度、允许深度和警戒深度。允许深度是盐渍土改良综合措施的临界深度,为制定排水标准、防治土壤盐碱化和灌区水管理提供了理论依据。

1965~1985年,利用两种放射性同位素示踪法,研究土体盐分运动规律,提出在蒸发和地下水补给条件下,土体盐分随毛管水上升,各土层都有脱盐和积盐的过程,直至积聚地表,但取决于毛管水的活动范围,如地下水埋深较深,则在毛管上升高度处形成积盐层。研究有力地说明了土体盐分呈丁字型分布的原因和改良盐渍土采用综合措施的必要性。

1978~1985年,通过深、浅孔地下水观测,发现古黄河背河洼地地下水有半承压现象,受黄河滩地侧渗补给和半承压顶托补给是造成该地区 涝盐碱严重的重要原因,采取截渗、减压、调控地下水位,结合种植棉花,改良利用盐碱地,取得显著效果。

1983年~1990年,主持国家“六五”、“七五”攻关项目商丘试区水盐监测预报研究,取得三项创新成果。一是利用R-C混合机研究溶质运移,进行地下水位和水质(盐分)预报;二是提出求解田间土壤盐分弥散系数的计算方法;三是提出把饱和及非饱和土壤水盐运动作为一个整体,以物质流向和流量建立水盐运动综合模型,较好地解决了水盐运动边界条件的处理问题,发展了区域水盐运动监测技术。

二、在应用技术研究方面

1949~1952年,随徐叔华等进行渤海湾盐碱土调查研究和节水种稻改良滨海盐渍土试验研究,提出水旱轮作、提前拉荒(冲洗)和堵排水沟,调控排水量,使之既排盐改碱,又节水增产,亩节水近千方,水稻亩产近500公斤,至今当地还在延用。

1952年,在前苏联专家布可夫的帮助下,他研制成功我国第一台“喷灌机”。1953年1月16日《人民日报》发表了贾大林等的“我们有了先进的人工降雨机”署名文章。这项工作为我国建国初期喷灌事业的发展起了积极的先导作用。

1963~1967年,在河南省新乡县洪门乡蹲点,他运用土壤发生学理论,结合当地的生产实际,阐明了盐碱地改良需要采用综合措施的原理,提出“排、灌、平、肥”综合措施是改良盐碱地的重要途径。改良盐碱地3.8万亩,粮食亩产由1963年的77公斤达到1979年的503.4公斤,棉花由16公斤提高到50公斤以上,人均纯收入由18元提高到近千元。“排灌平肥综合措施改良盐碱地”曾获1980年农业部技术改进一等奖。

1965~1966年通过调查研究各地沟洫台田建设,在豫东提出“以排定台,以台促排,以土修台,以台改土,以农保台,以台促农”的24字诀,对指导台田建设、除涝治碱起了重要作用。

1965~1982年,为进一步探索盐碱地的改良利用途径,先后在虞城县利民乡、夏邑县李集乡、民权县人和乡、商丘县李庄乡蹲点,从生产实践中总结出“井灌稻改种旱”、“托盘田”掩田种大麦,起碱垫渠防渗结合改良牛皮碱和挖沟除涝、井灌井排、平地施肥、植树造林等综合措施,使盐碱地改良取得显著成效。

1983~1993年,主持国家“六五”、“七五”、“八五”攻关商丘试区综合治理研究,组织中国农科院9个所的科技人员协作攻关,提出“治水、改土、调整农业生产结构、良种良法”综合治理技术体系。在他的组织协调下,“七五”系统地研究节水农业、排水规格标准、农牧结合培肥改土、农业生产结构调整、生态农业原理、良种良法、农业生产大系统以及商丘地区农史等都取得新的进展。专家鉴定认为,这套技术体系对区域治理具有普遍的指导意义,达到国际先进水平。“八五”进行节水农业持续发展研究,提出节水农业技术体系图,建立了商丘节水农业综合技术样板,为我国农业发展走节水型农业道路提供依据。

贾大林同志对节水农业的认识与实践是逐步深化的。50年代初,他主要从事节水种稻改良盐

碱地的试验研究。1981年提出节水农业是节水灌溉农业和旱地农业的结合,旱地农业是充分利用降水的农业。之后的1988年,他把节水农业概括为:充分利用降水和可利用的水资源,采用农业和水利措施,提高水的利用率和水的利用效率的农业。根据这一概念,“七五”在商丘试区进行了系统研究。一是节水灌溉系统的研究。包括机井挖潜提高单井出水量——地下管道输水——地上配水——地面节水灌溉技术——节水灌溉制度和灌溉管理,提高水的利用率。二是节水农业措施研究。包括农牧结合培肥改土——选用耐旱高产品种——耕作保墒秸秆盖田——拌种和喷施抑蒸剂和保水剂,提高水的利用效率。三是节水农业生产分区的实施研究,根据当地水资源和生产条件,分为丰产灌溉区、有限灌溉区、抗旱灌溉区和旱地农业区。各分区因地制宜采用水利和农业措施,达到节水均衡增产的目的。这一综合技术体系已在商丘地区推广25万亩。节水30%,节电30%,少占地1%~2%,水的利用率可达90%,增产10%。

三、在宏观研究方面

1979~1981年受国家农委委托,与北京农业大学共同主持黄淮海平原旱涝盐碱综合治理区划和黄淮海平原农业发展战略研究。在区划工作中,组织有关科研院所、大专院校和五省二市的科技人员通力协作。根据黄淮海平原大地貌类型和大的流域,如海河平原、徒骇、马颊、卫河平原,豫北黄河平原,湖西平原,淮北花碱土平原及砂姜黑土平原,将治理区分成九个区,并根据土壤、水文地质条件以及治理措施分为59个亚区,为黄淮海平原分区治理和宏观决策提供了依据。

另外,对我国国民经济发展的一些重大问题,如南水北调、水利建设、黄淮海平原农业开发以及全国地下水开发利用和管理等,都提出了卓有见识的建议。1979年在天津召开的南水北调规划会议上作了“南水北调要稳步前进”的发言,提出工程规划要引水和配套并重、输水与蓄水并重;则需增加投资强度,否则非水利而是水害;还认为要有灌有排,加强农、水管理,控制地下水位可防止土壤次生盐渍化。这些建议受到农、水两部领导的重视。1982年在北京召开的“中国水利问题研讨会”上,作了“黄淮海平原水利问题”的发言。提出,黄淮海平原受季风气候的影响,旱涝无常,生产存在不稳定性;受历史上黄河等河流泛滥影响,区域地理条件复杂性;另外还有人口的密集性等特点。在人口众多,需要提高粮食生产力的黄淮海平原,面对水资源、能源和财源不足的现状,在农田水利的建设上,只能走农业和水利相结合的道路。

贾大林同志多年来的研究成果与学术活动,在生产中发挥了应有的作用。如洪门乡改良盐碱地3.8万亩,人和乡2.8万亩,李庄乡7.4万亩;帮助引进和规划的世界银行贷款华北农业项目区,改造盐碱地24.2万亩,开荒6.9万亩,五年粮食总产增长89%,人均纯收入增加2.7倍。他多年来主要从事盐渍土改良工作,对黄淮海平原盐碱土治理做出了突出的贡献。

四、在国内外学术交流与考察方面

贾大林同志留苏回国后,还曾先后到埃及、巴基斯坦、肯尼亚、泰国、菲律宾、美国、日本考察。考察的内容主要是盐碱地改良和节水灌溉技术。如埃及防治灌区土壤盐渍化采取暗管排水、修建提排站和电网、末级灌水渠改自流为提灌,控制大水漫灌;又如介绍巴基斯坦的SCARP计划,实行井灌井排和井渠结合控制地下水位;再如美国土壤盐渍化防治的特点,是以提高水的利用率为中心,重视田间排水和秸秆还田的综合措施。另外在节水灌溉技术上还重点介绍滴灌过滤设备及设施农业中的微灌和散水技术等。这些专题考察报告对借鉴国外先进技术和经验都起到了积极的作用。

贾大林同志多年来致力于黄淮海平原旱涝盐碱综合治理,是该课题的主持人之一。为使综合治理卓有成效,他还对内蒙后套灌区、新疆兵团垦区、雁北大同盆地、黄河三角洲等地考察,以期交流学习,达到共识。他经常宣传全国科协提出的“献身、求实、创新、协作”精神,并身体力行。正是这样,他与石元春同志一起,先后组织 204 个单位 1140 多名科技人员开展黄淮海平原攻关研究工作,取得 116 项成果,创经济效益 34.02 亿元,增产粮食 205.6 万吨,1992 年获农业部科技进步特等奖,为第二完成人。

贾大林同志取得的成就固然与他的辛勤劳动分不开,同时也凝聚着他的同事们、乃至他的学生的心血,还有他的导师的受益与教诲。党和国家给了他荣誉,他也自勉“要为我国的农业现代化建设贡献余热”。

本论文选共收集论文、考察报告 40 余篇,绝大部分是学术刊物上公开发表的。共分四部分,一、水盐运动规律与监测预报;二、盐渍土改良;三、农田水利与节水农业;四、治理区划与农业发展战略研究。在选编过程中,张志刚、吕谋超同志做了许多具体工作,谨此致谢。由于编者水平有限,书中缺点错误,恳请读者批评指正。

编者:司徒淞 刘世春 庞鸿宾 张效先

1994 年 4 月

目 录

水盐运动规律与监测预报

盐碱土冲洗理论的研究.....	3
地下水临界深度的初步探讨	12
利用放射性同位素 ¹³¹ I 研究砂土的释水性	30
利用放射性 ¹³¹ I 研究松沙土不同地下水埋深毛管水运行及土体积盐的规律	37
利用同位素示踪和数值模拟研究土壤水盐运动	43
多孔介质中弥散参数的“瞬时剖面”求法	55
一维非饱和条件下水动力弥散系数的计算方法	58
商丘古黄河背河洼地区域水盐动态与预测研究	65
R-C 网络混合计算机在商丘治理区地下水动态预测中的应用	79
商丘地区土壤盐分动态变化的预报模型	85
利用遥感资料监测预报商丘地区土壤水分状况	92

盐渍土改良

渤海湾北部盐碱地的利用与改良的研究.....	101
新乡地区改良盐碱地调查报告.....	120
排灌平肥综合措施是改良盐碱地的重要途径.....	128
黄淮海平原商丘李庄实验区旱涝盐碱综合治理研究.....	138
古黄河背河洼地井灌井排技术的研究.....	143
粉砂壤土的物理性质和改良途径.....	158
黄淮海平原盐碱地分区改良途径.....	160
黄淮海平原盐渍土改良.....	179
我国盐渍土的分区治理.....	185
新疆生产建设兵团节水灌溉和盐碱地改良考察报告.....	193
山西省大同盆地盐碱土改良调查报告.....	198

农田水利与节水农业

对农田水利学的几点认识.....	205
在防洪排涝的基础上发展节水灌溉和重视旱地农业.....	208
我国农田灌溉.....	212
世界农田灌溉排水.....	223
农田水利建设是减灾的根本措施.....	241

大力发展节水农业·····	244
节水灌溉农业技术体系研究·····	248
节水农业技术体系与途径研究·····	255
新的节水增产灌溉技术——麦棉套膜上灌·····	262
节水农业生产分区技术优化配套的研究·····	267
节水农业综合技术与研究设想·····	273
黄淮海平原节水农业持续发展研究·····	277
黄淮海平原旱地农业问题·····	284
间歇灌溉水技术及其节水机理研究·····	288

治理区划与农业发展战略研究

黄淮海平原旱涝盐碱综合治理区划·····	321
河南省黄淮海平原地区旱涝碱沙综合治理区划·····	337
黄淮海平原农业发展战略研究·····	342
黄淮海平原粮食生产发展中值得注意的两个问题·····	362
黄淮海平原本世纪末增产 250 亿公斤粮食的探讨·····	364
科学垦荒和防治土地退化提高耕地承载力·····	366

水盐运动规律与监测预报

盐碱土冲洗理论的研究

我国北方盐碱土地区很早以前就采用着冲洗改良盐碱土的办法,但大规模进行冲洗改良试验还是在解放以后。山东打渔张灌区、人民胜利渠灌区、银川灌区、河北柏各庄农场以及新疆等地,都进行了大规模生产性的冲洗排水试验。在前苏联、美国、印度也曾进行过不少的冲洗试验。一般公认冲洗是改良盐碱地有效措施,但是冲洗理论的研究工作做的不多,近年来有所发展。

冲洗理论问题的研究,是从以下几点认识出发的:

1. 冲洗理论的研究工作,是为了探索冲洗脱盐的所以然,深入认识冲洗时盐分运动的基本动力和因素。一般所说的“盐随水来,盐随水去”只能反映盐分运动的一个方面,而盐分本身的运动如扩散、溶解和对流等也很重要。摸清楚这些问题,便于我们更全面地认识客观实际。

2. 理论的研究是为了找规律,也就是为了了解运动的过程。过去的冲洗试验只能得到冲前、冲后的盐分状况,而不能了解冲洗过程的盐分变化。掌握了运动过程,就便于更精确地制定改良计划,例如用多少水可以把多厚的土层冲洗到多大的浓度等等。

3. 冲洗理论的研究,可以从定量上更精确地解释物质运动的性质,并帮助我们“知一返三”。

关于盐分在土壤中运动的理论,一般认为,一是盐分随水分而运动;二是盐分由于本身的扩散能力而运动。土壤水分运动有薄膜水、毛管水和重力水的运动,每种水分运动都借不同力量,如分子力、渗透力、重力、表面张力和动力水头等力的作用而运动。盐分随渗透水的移动是冲洗中最重要的过程。

土壤盐分的移动,自身扩散能力也有重大作用,列别捷夫试验证明:吸着水中的盐溶液向渗透来的淡水扩散而减少浓度,除盐效果最大的时刻是在土壤达到饱和至田间持水量,而且在土壤毛细管中水流平均流速等于或近于扩散速度之时发生;在多数情况下,渗透速度大于扩散速度,所以冲洗水通过土层,不能把盐洗净。另外由于扩散作用冲淡层的浓度还可以回升,扩散速度和土壤水分有关,水分越小扩散速度越慢。

罗左夫认为冲洗过程一是土壤中盐分的溶解过程;二是排除已溶解的盐分的过程。一般的冲洗定额计算公式都是由此种观点而产生的,如考斯加阔夫、罗左夫、列各斯塔叶夫等公式,这些公式都是实验公式,未能表明冲洗的物理化学过程,而这些过程则是形成盐分溶解和排除的基础,因此要进行冲洗理论研究,明确各基本过程间的关系,对于指导生产有很大的意义。

盐分在土壤中的状态,可呈固态、液态和吸附态。据柯夫达的研究,不同盐分在土壤中的状态不同, NaCl 在土壤多呈液态, CaSO_4 、 CaCO_3 等呈固态, Na_2SO_4 既有固态又有液态。本文是通过物理化学水动力学的方法,研究土壤中不同状态的盐分冲洗时的运动规律。

盐分的冲洗过程有如热导、电导、反吸附及渗流的过程,因为它们都是借分子力在介质中运动的,从数量上看都是一般的直线性定律,如热导的弗里叶公式、电导的欧姆公式、渗透的达西公式。这些公式都与菲克的扩散定律相似,它们都是物质的流率与浓度的梯度成正比。

弗里克——克明涅茨基认为研究热导过程所得到的理论和试验的结果,皆可应用于扩散的领域。从而可以认为对电导、吸附和渗流的研究结果也同样可以应用扩散。

从上述认识出发,根据物质平衡原理可以导出冲洗时盐分运动的基本微分方程式如下:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -u \frac{\partial n}{\partial x} + \varnothing \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \frac{\partial N}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\beta(n_0 - n) \quad (2)$$

式中: t —时间; x —离地表的距离; u —沿土壤中平均孔隙水流速度; u_0 —渗透速度; m —孔隙率; n —线型液体盐含量, 克/厘米; N —线型固体盐含量, 克/厘米; \varnothing —弥散系数 ($l^2 t^{-1}$); β —溶解系数 (t^{-1})。

方程式(1)的右边第一项表示因溶液的渗透而使盐分移动的对流部分, 第二项表示因溶液浓度不同而产生的扩散部分, 第三项表示固体盐分溶解部分, 方程式(1)中的 n 、 \varnothing 、 β 等值一般来说是表示某一种盐和土壤的性质, 虽然在土壤中含有多种盐分, 但是对某种类型盐渍土来说(例如我国滨海盐土全盐量中 NaCl 占 80%), 可以近似的认为该方程式表示总盐量变化的过程。

为了解方程式(1)采用以下起始条件和边界条件: 起始条件采取在冲洗前土壤盐分的原始分布 $N(0, X) = N_0(X)$, 溶液浓度为原始溶液浓度 $n(0, X) = n_0(X)$, 在地表水流入入口部分的边界条件采用冲洗水的浓度 $n(0, t) = n_0(t)$, 但在地表部分因固体盐含量 $N(0, t)$ 不能任意选定而由方程式(2)确定。

在地下水流出口部分的边界条件即 $x=l$ 时, 采用 $\frac{\partial n}{\partial x} = 0$, 即可认为深层溶液的浓度为常数, 出水口处土壤中固态盐等于原有含盐量, 即 $N(l, t) = N_0(l)$, 总之, 边界条件和起始条件可归纳如下:

1. $t=0 \quad 0 \leq x \leq l \quad n = n_0$
 $N = N_0$
2. $x=0 \quad t > 0 \quad n = n_1$
 $N = 0$
3. $x=l \quad \frac{\partial n}{\partial x} = 0$

此处 l 为土柱的深度或土壤表面至不透水层的距离。在以上的起始和边界条件下, 采用运算微积的方法可以得到冲洗方程式(1)的全解如

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \exp(Pe \bar{x}) \left\{ \frac{\text{sh}(1 - \bar{x}) Pe \sqrt{1 + \Pi} + \sqrt{1 + \Pi} \text{ch}(1 - \bar{x}) Pe \sqrt{1 + \Pi}}{\text{sh} Pe \sqrt{1 + \Pi} + \sqrt{1 + \Pi} \text{ch} Pe \sqrt{1 + \Pi}} + 2 \exp[(\Pi + 1) F_0 Pe] \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\text{Sin}^2 \mu_k \text{Sin} \mu_k \bar{x} \exp(-F_0 \mu_k^2)}{(\text{Sin} \mu_k \text{Cos} \mu_k - \mu_k) (1 + \Pi \text{Cos}^2 \mu_k)} \right\} \quad (3)$$

式中: $\exp(p) = e^p$; $\text{sh}(p)$, $\text{ch}(p)$ ——双曲线和正弦及余弦函数。 Pe 、 Pd 、 F_0 ——无因次准数; $Pe = \frac{lu}{2\varnothing}$ ——别克里系数; $Pd = \frac{\beta l^2}{\varnothing}$ ——普列得瓦杰里系数; $F_0 = \frac{\varnothing t}{l^2}$ ——弗里叶系数,

从方程式(3)分析研究的结果导出新的准数, 命名为冲洗系数。 $\Pi = \frac{Pd}{Pe^2} = \frac{4\beta\varnothing}{u^2}$, 它与直线长度 l 无关, 表示盐分溶解扩散和被排除程度的特征, μ_k 是 $\text{tg} \mu_k = \frac{-\mu_k}{Pe}$ 方程式的根(见 A·B·雷克夫著作[4], $\bar{x} = \frac{x}{l}$)。可以验证所得全解(3)式符合方程式(1)的起始和边界条件, 由(3)式可以看出括号内第一项表示稳定的过程($F_0 \rightarrow \infty$)。第二项表示过渡阶段的影响。(3)式描述在土壤盐分溶解和排

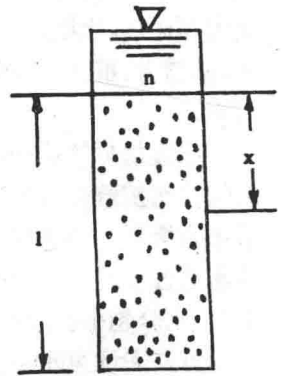


图1

除之前的过程,这是在冲洗实际中和自然界时常遇到的情况,因为全部脱盐的现象是很稀有的,同时也不是实际改良土壤的要求,因为这样作要浪费大量的冲洗水量,此现象在经验公式中也有表现如沃罗布叶夫公式 $m = k \lg \left(\frac{S_1}{S_0} \right)^2$ 当 $S_0 = 0$ 时, $m \rightarrow \infty$, 式中 m —冲洗水量, S_0 —冲洗后含盐量。

方程式(3)为最完全的解,由它可以导出若干部分的公式,如缺少溶解($\beta \rightarrow 0$),扩散($\varnothing \rightarrow 0$)或渗透速度极慢时($u \rightarrow 0$)等情况的冲洗公式。

当起始和边界条件同前,只是 $l \rightarrow \infty$ 时,即土壤水透水层距地表极深的情况时,方程式(1)仍可使用运算微积的方法得出以下的解:

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \frac{1}{2} \exp\left(\frac{ux}{2\varnothing}\right) \left\{ \exp\left(\frac{-ux}{2\varnothing} \sqrt{1+\Pi}\right) \operatorname{erfc}\left[-\frac{u}{2} \frac{\sqrt{e}}{\sqrt{\varnothing}} \left(\sqrt{1+\Pi} - \frac{x}{ut}\right)\right] \right. \\ \left. + \exp\left(\frac{ux}{2\varnothing} \sqrt{1+\Pi}\right) \operatorname{erfc}\left[\frac{u}{2} \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\varnothing}} \left(\sqrt{1+\Pi} + \frac{x}{ut}\right)\right] \right\} \quad (4)$$

式中: Π ——冲洗系数, $\Pi = \frac{4\varnothing\beta}{u^2}$, $\operatorname{erfc}(Z) = 1 - \varphi(Z)$

$\Phi(Z)$ ——克拉伯函数 $\Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{\Pi}} \int_0^Z e^{-x^2} dx$

因为在冲洗实践中参数 $\left[\frac{x+ut}{2} \frac{\sqrt{1+\Pi}}{\sqrt{\varnothing}t} \right]$ 经常大于 3, 则函数 $1 - \Phi(3)$ 几乎近于零, 于是方程式

(4)可近似的写如下式:

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \frac{1}{2} \left[\exp\left(\frac{xu}{2\varnothing} (\sqrt{1+\Pi} - 1)\right) \operatorname{erfc}\left[\frac{u}{2} \frac{\sqrt{e}}{\sqrt{\varnothing}} \left(\sqrt{1+\Pi} - \frac{x}{ut}\right)\right] \right] \quad (5)$$

式(4)的局部解如下: 当 $t \rightarrow \infty$ (长时期渗透)

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \exp\left[\frac{xu}{2\sqrt{\varnothing}} (\sqrt{1+\Pi} - 1)\right] \quad (6)$$

当 $D \rightarrow 0$ (冲洗系数 Π 小时 $\sqrt{1+\Pi} \sim 1 + \frac{\Pi}{2}$)

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \exp\left(\frac{x\beta}{u}\right) \quad (7)$$

此式常用于研究溶液动态, 当渗流速度甚小和冲洗系数 Π 值较大时, 则得:

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \exp\left(-x \sqrt{\frac{\beta}{\varnothing}}\right) \quad (8)$$

$$\text{由上式可得 } x = \sqrt{\frac{\varnothing}{\beta}} \ln \frac{n_0 - n_1}{n_0 - n} \quad (9)$$

从以上公式可以计算冲洗定额、冲洗时间、冲洗的深度和某种冲洗时间深度或定额时土壤中的含盐量的变化, 全解的方程式(3和4)。一般说对实际应用是复杂的, 局部解比较简单、而且式中各因子关系鲜明, 但是要考虑其精度是否符合实际条件的要求。

冲洗土壤中溶液的动态规律, 可以公式(4)的局部解当 $\beta = 0$ 时公式, 表示如下:

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc}\left[-\frac{u}{2} \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\varnothing}} \left(\sqrt{1+\Pi} - \frac{x}{ut}\right)\right] + \exp\left[\frac{ux}{\varnothing} \operatorname{erfc}\left[-\frac{u}{2\varnothing} \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\varnothing}} \left(1 + \frac{x}{ut}\right)\right]\right] \right\} \quad (10)$$

由公式(5)可简化(10)式如下:

$$\frac{n_0 - n}{n_0 - n_1} = \frac{1}{2} \operatorname{erpc}\left[-\frac{u}{2} \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\varnothing}} \left(\sqrt{1+\Pi} - \frac{x}{ue}\right)\right] \quad (11)$$

土壤中固体盐溶解动态的研究,为此将 n 值代入溶解公式(2),并积分(2)式,积分上限为 $t=0$ 时, $N=N_0$ 到 t 为 N 时利用 И、Я、波鲁巴林诺娃——克琴娜在渗流理论中类似问题的解法,求得下式:

$$N = N_0 - \beta(n_0 - n_1)e^{\frac{ux}{2\varphi}} \frac{t}{2\sqrt{1+\Pi}} \left\{ (\sqrt{1+\Pi} + \frac{x}{ut}) e^{\frac{ux}{2\varphi}} \sqrt{1+\Pi} [1 + \varphi \frac{\sqrt{t}}{2\sqrt{\varphi}} (\sqrt{1+\Pi} + \frac{x}{ut})] \right. \\ \left. + (\sqrt{1+\Pi} - \frac{x}{ut}) e^{\frac{-ux}{2\varphi}} \sqrt{1+\Pi} [1 - \varphi \frac{\sqrt{t}}{2\sqrt{\varphi}} (\sqrt{1+\Pi} - \frac{x}{ut})] \right\} \quad (12)$$

如果省略扩散因素: ($\varphi = 0$), 则方程式(11)变为

$$N = N_0 - \beta(n_0 - n_1)t(1 - \frac{x}{ut})e^{-\frac{x\beta}{u}} \quad (13)$$

当在土壤表面 $X=0$ 时, 方程式(13)可变为

$$N = N_0 - \beta(n_0 - n_1)t \quad (14)$$

当在土壤表面($X=0$) $N \rightarrow 0$ 时, $t=t_1$ 则

$$t_1 = \frac{N_0 - N_1}{\beta(n_0 - n_1)} \quad (15)$$

从 $t=0$ 到 $t=t_1$ 在土壤表面盐分充分溶解和排除以前称为第一期。

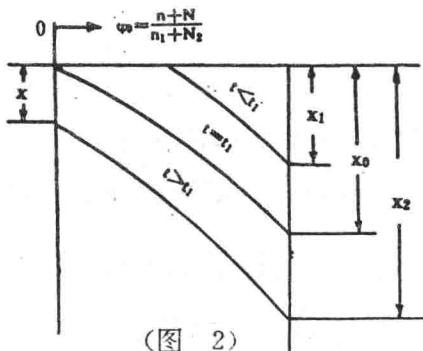
应该指出 $t > 0, n = n_1$ 即瞬时的土壤表面盐分为冲洗所淡化到 n_1 , 此条件只适合于不断的有新的淡水供应冲洗的流速较快, 和全无扩散现象, 但在冲洗实际工作中, 尤其是在渗透性较差的盐碱土地上。这些条件较难遇到, 由于扩散作用使停滞在土壤表面的冲洗水发生盐化, 同样下面的盐化浓度大的土层盐分向浓度小的土层扩散上升, 所以只有考虑扩散因素的全解(3)和(4)式才能更确切的反映冲洗实际情况, 但是这些公式的复杂性和直接应用的困难, 也要求我们得出一些虽然不够精确, 但简单适用的公式, 因此当冲洗过程中最主要的是盐分溶解和排除的过程, 盐分扩散作用较小, 当 $n_1=0, N_1=0$ 则(7)式和(13)式为

$$\frac{n}{n_0} = 1 - e^{-\frac{x\beta}{u}} \quad (16)$$

$$\frac{N}{N_0} = 1 - \beta h t (1 - \frac{x}{ut}) e^{-\frac{x\beta}{u}} \quad (17)$$

在研究冲洗第一期末($t=t_1, \frac{N_0}{n_0\beta} = \frac{1}{h\beta}$)时, 总盐量的变化即将(16)式和(17)式相加即得

$$1 - q_0 = e^{-\frac{x\beta}{u}} [1 - \frac{x}{x_0} \frac{1}{(1+h)}] \quad (18)$$



式中 $x_0 = ut_1$

$$q_0 = \frac{n + N}{n_2 + N_2}$$

将公式(2)中的 n 值

$$(n = n_0 + \frac{1}{\beta} \frac{\partial N}{\partial x}) \text{ 代入公式(1) } (\varphi = 0) \text{ 当 } t = t_0$$

时, 得下式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + u \frac{\partial N}{\partial x} = \beta(N_0 - N) \quad (19)$$

从(19)式中可以看出来, 在冲洗第一期末, $t=t_1$ 时, 固态盐的变化方程式或与液态的方程式形式类似。

如果将(19)式和(12)式(当 $\varphi = 0$)中的 n 和 N 值相加则得表示总盐量($N+n$)冲洗过程的新

的微分方程式

$$\frac{\partial q_0}{\partial t} + u \frac{\partial q_0}{\partial x} = \beta(1 - q_0) \quad (20)$$

$$\text{式中 } q_0 = \frac{n + N}{n_0 + N_0}$$

现在研究冲洗第二期即 $t > t_1$ 时冲洗总盐量变化的过程。显然第二期的起始条件即是第一期末总盐量在土壤中的分布,正如公式(18)所表示的形式。

应用以上的条件积分(20)式即得:

$$1 - q_0 = \frac{h}{1+h} \left[1 + t\beta - \frac{x\beta}{n} \right] e^{-\frac{ux}{u_0}} \quad (21)$$

如果将公式(16)和(1)相加,也可得(21)式也就是验证了(21)式是正确的。

假如冲洗是均匀的进行,则冲洗定额 $M = u_0 t = u m_0 t$, 冲洗时间 $t = \frac{M}{u_0}$, 则公式(21)可改为

$$M = x m_0 \left\{ 1 + \frac{u_0}{x \beta m_0} \left[\frac{1+h}{h} (1 - q_0) e^{\frac{x \beta m_0}{u_0}} - 1 \right] \right\} \quad (22)$$

式中: M —— 冲洗定额, x —— 含盐量为 q_0 的深度, m_0 —— 土壤孔隙率。从公式(22)清楚的看出, 冲洗定额 M 随 $1 - q_0$ 值增加、随 h 值减小, 也就是冲洗的越深, 冲洗的盐分越多; 土壤中含有固态盐越多, 需用的冲洗定额也越大, 但从(22)式中难对溶解系数和渗透速度 u_0 的影响进行分析。所以将(22)式改写成:

$$M = x m_0 \left\{ 1 + \frac{1}{P} (b e^P - 1) \right\} \quad (23)$$

$$\text{式中 } P = \frac{m_0 x \beta}{u_0}, b = \frac{1+h}{h} (1 - q_0)$$

参数 b 值的范围, 如上式中 $\frac{1+h}{h}$ 值可采取从 1 (全为固态盐) 到 ∞ (全为液态盐); $(1 - q_0)$ 值 $0 < 1 - q_0 < 1$, 可以认为 b 值的范围是 $0 < b < \infty$ 从(23)式看出:

$$\text{当 } M < x m_0 \quad b < e^{-P}$$

按照公式(23)的关系, 可以给出 $\bar{M} = \frac{M}{x m_0}$ 和 b 及 P 的关系曲线(如图 4), 从图 4 看出, 当 $b < 1$,

相对的冲洗定额 $\bar{M} = \frac{M}{x m_0}$ 值随 P 增长, 而 $P = \frac{x m_0 \beta}{u_0}$ 。从该图的关系曲线可以从理论上说明在冲洗实践中几个现象: x 值越大, P 值越大, \bar{M} 值越大, 即越到深层越难冲洗, $\frac{\beta}{u_0}$ 比值越大, P 越大, \bar{M} 亦越大, 冲洗额越小。

另一方面, 当 $b > 1$ 时, 则发现最适宜的冲洗值, 即

$$\frac{\partial \bar{M}}{\partial P} = \frac{x m_0 [b e^P (P - 1) + 1]}{P^2} = 0 \quad b e^P (1 - P) = 1 \quad (24)$$

(24)式代入(23)式即得最适宜的冲洗定额:

$$M_{MNH} = m_0 x \left(1 + \frac{1}{1 - P} \right) \quad (25)$$

当 $b > 1$ 时, 最适宜冲洗曲线如图(4)

$b \geq 1$, 它表示当 $q_0 < 1$ 或者在固态盐含量较多的情况(h 值小时), 发生最适宜的冲洗速度, 即比此数值高或低, 都会增加冲洗定额, 实际上多数场合是 $b \leq 1$, 所以一般渗流速度增加即提高冲洗效果, 因为渗透速度等于 $u_0 = K I$, 此点很好的证实在实际中常见的轻质土壤的冲洗定额小(渗透系数 K 大), 或在有排水条件的情况下, 冲洗效果好(提高水流的比降 I)的事实。上述公式中溶解系数 β 值可由田间试验资料确定。

举例：确定冲洗定额求解的条件为冲洗土层 $x=1.0$ 米，拟排除原有含盐量的 80%（在 1 米土层中），盐在土壤中基本上呈液态， $h=10$ ，孔隙率=0.4，已知条件：冲洗定额 $M=3000\text{m}^3/\text{公顷}$ ，可以脱除 $x=0.5$ 米土层中原有含盐量的 50%。

1. 确定计算条件：

$$b_1 = \frac{1+h}{h}(1-q_0) = 1.1 \times 0.5 = 0.55$$

$$\bar{M} = \frac{3000}{10000 \times 0.5 \times 0.4} = 1.5$$

从图 4 可得 $P_1 \cong 1.05$

2. 假设渗透速度和溶解系数 β 的条件未变。

$$P_2 = P_1 \frac{x_2}{x_1} = 1.05 \times \frac{1.0}{0.5} = 2.1$$

$$\text{新值 } b_2 = 1.1 \times 0.8 = 0.88$$

从图(4)得 $\bar{M} \cong 4$

$$M = 1 \times 0.4 \times 4 = 1.6 \text{ 米} = 16000 \text{ 立米/公顷}$$

3. 如果设计条件排水强度提高(例如增设临时排水沟)，渗透速度增加 n 倍，例如 $n=3$ 则可降低冲洗定额计算如下：

$$P_2 = P_1 \frac{x_2}{nx_1} = P_1 \frac{2.1}{3} = 0.7$$

从图(4)查得 $\bar{M} \cong 2.1$

$$M = 1 \times 0.4 \times 2.1 = 0.84 \text{ 米} = 8400 \text{ 立米/公顷}$$

4 如欲使 $x=1$ 米土层脱除全部盐分($q_0=0$)所需冲洗定额骤增计算如下：

$$\text{当 } b_3 = 1.1 \quad P_3 = 2.1 \quad \text{则 } \bar{M} = 4.8$$

$$M = 1 \times 0.4 \times 4.8 = 1.92 \text{ 米} = 19200 \text{ 立米/公顷}$$

在这种情况下最好加强排水，以减少冲洗定额，如果 $\bar{M} \cong 2.5$ ，相应的 $P_3 = 0.3$ 则渗透速度应该增加 7 倍，这样从一米土层中全部脱盐所需的冲洗定额。

$$M = 1 \times 0.4 \times 2.5 = 1.0 \text{ 米} = 10000 \text{ 立米/公顷}$$

由此可以得出，虽然由于提高渗透速度或其他措施，可使定额减少，但定额仍然很大，故全部脱盐似无必要。

今研究冲洗的相对效果，则不象如前所述的以一定土层和已知淡化程度来确定冲洗效果，而以总的排盐量来确定。

这样可以两个指标评价相对的冲洗效果，即以冲洗所能影响深度的脱盐率 \bar{S}_1 和以单位中洗水量所排除的盐量 \bar{S}_2 。

为了确定以上二值，可利用公式(21)，求在 t 时间内排盐的体积，在 t 时排盐的总量(如图 3)。

$$W = W_0 + W_1 \tag{26}$$

$$W = (N_0 + n_0)x_1 \cdot 1 + (N_0 + n_0) \int_1^{x_2} (1 - q_0) dx \tag{27}$$

研究(21)式，见(图 3)

$$\text{当 } q_0 = 1, x_2 = u(t + \frac{1}{\beta}) \tag{28}$$

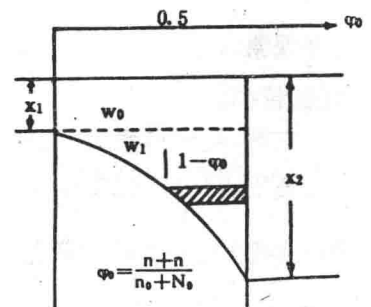


图3