

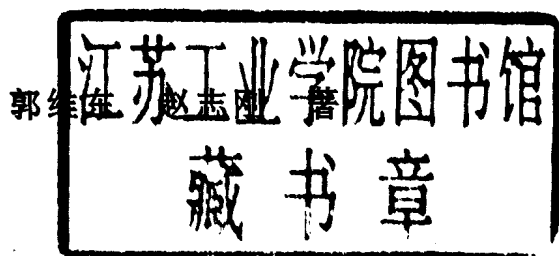
抗旱灌水播种及节点渗灌 土壤水分运动规律的研究

郭维东 赵志刚 著



NEUPRESS
东北大学出版社

抗旱灌水播种及节点渗灌 土壤水分运动规律的研究



东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 郭维东 赵志刚 2004

图书在版编目 (CIP) 数据

抗旱灌水播种及节点渗灌土壤水分运动规律的研究 / 郭维东, 赵志刚著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2004.6

ISBN 7-81102-046-7

I. 抗… II. ①郭… ②赵… III. ①抗旱—播种—灌溉 ②灌溉—土壤水—运动规律—研究 IV. ①S275 ②S152.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 050711 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 东北大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 7

字 数: 200 千字

出版时间: 2004 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2004 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元

责任校对: 高 田

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

定 价: 39.00 元

前 言

人口、粮食、资源、环境等问题已经成为 21 世纪困扰人类的全球性问题。中国的人口预计 2030 年将达到 16 亿，这将对中国经济和社会发展造成严重的压力；人口增长的第一需要就是粮食生产；对农业是一项十分艰巨的任务，其主要原因在于我国水土资源严重匮乏。

许多科学家认为，在条件好的湿润地区，农业土地高度集约利用、精耕细作、多熟种植等，要想大幅度增产，除非在生物系统方面有重大突破，否则继续增产潜力很有限，就目前来说潜力主要在干旱和半干旱地区。以建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业为基本战略，在农业用水方面，要从传统的粗放型灌溉农业和旱地雨养农业转变为建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业。包括抗旱灌水播种技术和节点渗灌技术在内的局部灌水技术已经在干旱和半干旱地区的大田农业和设施农业中广泛采用或正逐步推广开来。

在作物生长的整个生育期内，适量水分都是必须得到保证的因子，灌溉和耕作方式对土壤质地、耕层构造以及环境因素都会造成重大影响，

而这些因素与耕层土壤的水分保持及温度状况密切相关。随着全球粮食问题的突出, 农业越来越得到重视, 实现农业的可持续发展已迫在眉睫; 20 世纪以来, 随着农业的发展, 水资源的日益匮乏, 节水已经成为主旋律。为了了解土壤墒情, 预测灌水后的土壤水分状况, 制定正确的灌溉制度和耕作制度, 以及正确实施灌水技术和耕作技术, 各种灌溉方式和耕作方式下的土壤水分运动规律正日益成为目前土壤水动力学领域的热点研究问题。

本书内容共分上下两篇。上篇介绍抗旱灌水播种土壤水分运动的问题, 包括抗旱灌水播种技术的发展及现状、土壤水分入渗和土壤水分再分布的机理与数值模拟、抗旱灌水播种技术田间试验; 下篇介绍节点渗灌土壤水分运动的问题, 包括节点渗灌条件下三维土壤水分运动的数值模拟、节点渗灌条件下土壤水分运动的室内试验和温室大棚内试验。

本书反映了作者十多年来, 在土壤水分运动、节水灌溉技术和抗旱灌水播种技术等方面的研究成果和技术总结。这些成果或论文的部分曾分别以不同形式公开发表过。在这里只是有选择地进行了取舍, 尽量按原有特色和基础加应用性格局进行编辑。

我们在学习和研究节点渗灌土壤水分运动和抗旱灌水播种的过程中, 一直得到张玉龙教授和李宝筏教授的指导和帮助, 在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平所限, 不可避免地带给本书

一些缺欠，因此缺点和错误在所难免，诚挚期盼得到各方面读者的批评指正。

本书是一本关于土壤水分运动专门问题的论著，可作为水利、土壤及相关专业人员的参考书。

作 者

2004 年 3 月

目 录

上篇 抗旱灌水播种土壤水分运动规律研究

1 抗旱灌水播种土壤水分运动规律研究的意义及现状	6
1.1 抗旱灌水播种土壤水分运动规律研究的意义	6
1.1.1 中国面临的全球性问题	6
1.1.2 干旱是影响农业生产的最主要灾害之一	7
1.1.3 国外解决春旱的措施	9
1.1.4 抗旱灌水播种是解决春旱的有效措施	10
1.1.5 抗旱灌水播种技术的发展及现状	11
1.1.6 抗旱灌水播种土壤水分运动规律课题的提出 及研究的意义	13
1.2 抗旱灌水播种土壤水分运动规律研究的现状	14
1.2.1 土壤水动力学基本理论的发展	14
1.2.2 非饱和土壤水分运动规律的研究及应用近况	17
2 抗旱灌水播种时耕层土壤水分入渗的机理与数值模拟	19
2.1 物理过程的描述	19
2.2 数学模型	21
2.2.1 基本假定	21
2.2.2 二维数学模型	22
2.2.3 线性化方法与土壤水分运动参数的取值	28

2.2.4 差分方程的解法	29
2.3 数值模拟结果及分析	31
2.3.1 累积入渗量的变化规律	31
2.3.2 数值模拟所需基本参数测定	32
2.3.3 结果及分析	38
2.4 本章小结	43
3 抗旱灌水播种时耕层土壤水分再分布的机理与数值模拟	45
3.1 物理过程描述	45
3.2 数学模型	46
3.2.1 基本假定	46
3.2.2 二维数值模拟	47
3.3 数值模拟结果及分析	48
3.3.1 模拟结果与试验结果比较	48
3.3.2 土壤湿润区变化规律	51
3.3.3 土壤含水率变化规律	53
3.3.4 种沟深度对土壤水分再分布过程的影响	57
3.3.5 覆土厚度对土壤水分再分布过程的影响	59
3.3.6 灌水量对土壤水分再分布的影响	59
3.3.7 土壤初始含水率对土壤水分再分布过程的影响	60
3.3.8 回土量对土壤水分再分布的影响	63
3.3.9 土壤密度对土壤水分再分布的影响	64
3.3.10 土壤临界含水率(需进行抗旱灌水播种的播前 土壤含水率)	66
3.3.11 种沟宽度对土壤水分再分布的影响	67
3.4 讨论与结论	67
3.5 本章小结	75

4 抗旱播种技术田间试验.....	78
4.1 概 述.....	78
4.2 抗旱剂及其田间小区试验.....	79
4.2.1 抗旱剂.....	79
4.2.2 抗旱剂田间小区试验.....	80
4.3 抗旱播种技术实施方案.....	86
4.4 本章小结.....	87
上篇参考文献	88

下篇 节点渗灌土壤水分运动规律的研究

5 节点渗灌土壤水分运动规律研究概述	106
5.1 节点渗灌技术	106
5.2 节点渗灌技术中需要研究的问题	107
5.3 本研究的目的、内容和意义	107
5.3.1 本研究的目的和主要研究内容	107
5.3.2 本研究的意义	108
6 节点渗灌条件下三维土壤水分运动的数值模拟	110
6.1 数学模型	110
6.1.1 土壤水分运动的三维柱坐标微分方程	110
6.1.2 土壤水分运动的三维柱坐标差分方程	112
6.1.3 边界条件	115
6.2 数值模拟的功能	119
7 数值模拟结果及其分析和讨论	120
7.1 渗灌管横断面上的湿润体特征	120

7.1.1	同一断面($y=0$)处不同历时土壤水分湿润锋的运动规律	120
7.1.2	同一断面($y=0$)处不同历时土壤含水率分布规律	122
7.1.3	沿管长不同位置处剖面上湿润锋运移	127
7.2	渗灌管纵断面的湿润区特征	131
7.2.1	同一断面处不同历时土壤水分湿润锋运动的数值模拟结果	131
7.2.2	同一断面处不同历时土壤含水率分布的数值模拟结果	133
7.2.3	分析与评价	136
7.3	不同初始含水率对土壤水分运动湿润锋的影响	137
7.3.1	数值模拟结果	137
7.3.2	分析与讨论	141
7.4	不同管路埋深对土壤水分运动湿润锋的影响	147
7.4.1	数值模拟结果	147
7.4.2	分析与讨论	148
7.5	不同灌水强度对土壤水分运动湿润锋的影响	149
7.5.1	数值模拟结果	149
7.5.2	分析与讨论	154
7.6	不同蒸发强度对土壤水分运动湿润锋的影响	155
7.6.1	数值模拟结果	155
7.6.2	分析与讨论	156
7.7	不同灌水时间对土壤水分运动湿润锋的影响	156
7.7.1	数值模拟结果	156
7.7.2	分析与讨论	159
7.8	关于近饱和区的扩展问题	159
7.8.1	不同停止灌水时间对近饱和区扩展的影响	159
7.8.2	不同灌水强度对近饱和区扩展的影响	160

7.8.3 灌水期间不同历时对饱和区扩展的影响	161
8 实验室及温室内的节点渗灌试验研究	163
8.1 土壤水分参数的测定	163
8.1.1 扩散率试验	163
8.1.2 土壤水分特征曲线测试结果	164
8.1.3 土壤饱和导水率的推求	166
8.2 渗灌管的水力特性试验	166
8.2.1 本项试验的主要内容、研究目的与意义	166
8.2.2 试验材料与方法	166
8.2.3 试验数据分析及讨论	168
8.2.4 结论及建议	178
8.3 试验室内渗灌试验研究	179
8.3.1 试验土槽的制作	179
8.3.2 试验用土的准备	180
8.3.3 试 验	180
8.3.4 数据分析	181
8.3.5 结 论	185
8.4 温室渗灌试验	185
8.4.1 试验材料与方法	185
8.4.2 分析与讨论	188
8.4.3 结 论	189
8.4.4 试验过程照片	190
9 节点渗灌土壤水分运动规律研究结论	193
9.1 数学模型建立过程中边界条件的处理	193
9.2 程序编制过程	193
9.3 数值模拟结果数据分析	194
9.4 渗灌管水力特性试验	195

9.5 实验室内渗灌试验	196
9.6 温室内渗灌试验	196
9.7 模型的实用性问题	197
9.8 建 议	197
下篇参考文献.....	199

• 上 篇 •

抗旱灌水播种土壤水分运动规律研究

抗旱灌水播种技术一直受世界干旱半干旱地区各国的重视, 各国普遍采取旱地农业生物技术、旱地农业耕作技术、旱地农业工程技术及物理化学方法等措施, 这些措施在我国均有不同程度的应用。抗旱灌水播种是农业工程技术中节水灌溉进行抗旱灌水播种的一种有效形式, 早在 1996 年, 在时任副总理的李岚清同志的倡导和支持下, 全国 12 个省(区)开展了试验示范工作。在抗旱灌水播种技术实施过程中, 存在着很多与灌水及土壤水分运动有关的问题, 急需进行研究。鉴于此, 作者从 1997 年以来, 连续三年结合农业部“行走式节水灌溉播种铺膜技术”示范县——朝阳县——的生产实际, 开展了研究。本文首次应用土壤水动力学的基本理论, 针对抗旱灌水播种时耕层土壤水分运动及抗旱灌水播种技术的实施进行了理论分析和试验研究。主要研究工作概括如下:

(1) 通过田间和室内试验, 测定了供试土壤的物理性质、土壤水分常数和土壤水分运动参数, 得到了该土样的密度、机械组成、田间持水率、饱和含水率、玉米种子发芽出苗土壤含水率、玉米凋萎系数, 给出了土壤水分特征曲线方程、土壤水分扩散系数方程及土壤密

度与土壤压紧力的关系，提供了数值模拟过程中所需的参数。

(2) 首次在国内系统地进行了抗旱灌水播种时土壤水分入渗及其再分布规律的理论研究，建立了与抗旱灌水播种机械化工艺相适应的理论和方法，属于创造性成果。提出了抗旱灌水播种入渗和入渗后土壤水分再分布的定义，并对其物理过程进行了描述，阐明了灌水入渗和入渗后土壤水分再分布的机理；通过一些基本的假定，建立了灌水入渗和入渗后土壤水分再分布的数学模型，并利用试验得到的基本参数进行了数值模拟，对模拟结果用室内及田间试验进行了验证，并进行了详细分析。结果表明灌水量、种沟宽度、回土量和土壤初始含水率对入渗过程和入渗结果存在不同影响；揭示了抗旱灌水播种土壤含水率在种沟断面上的变化及其随时间的变化规律。模拟结果还表明了灌水量、种沟深度、土壤密度、覆土厚度、土壤初始含水率、种沟宽度、回土量对土壤湿润状况的影响及确定适宜回土量的三个条件。

(3) 通过理论分析与试验研究，首次提出了抗旱灌水播种的临界含水率界限、灌水质量的评价指标体系及确定灌水量的公式和方法，为本项技术的应用和发展提供了可靠的理论依据。

(4) 通过在朝阳区进行的抗旱拌种和坐水剂田间小区试验, 发现了影响抗旱灌水播种效果的主要因素, 以及在不同土壤含水率条件下采取不同措施的效果, 指明了抗旱灌水播种技术的发展方向及其实施方案。

(5) 对西北农业大学、中国农业大学和吉林省农业机械研究所的三种抗旱灌水播种机进行了比较, 提供了对于朝阳区当地情况下应用抗旱灌水播种机时的几个播种工艺参数, 并提出了抗旱灌水播种机运用和设计时的几点建议。