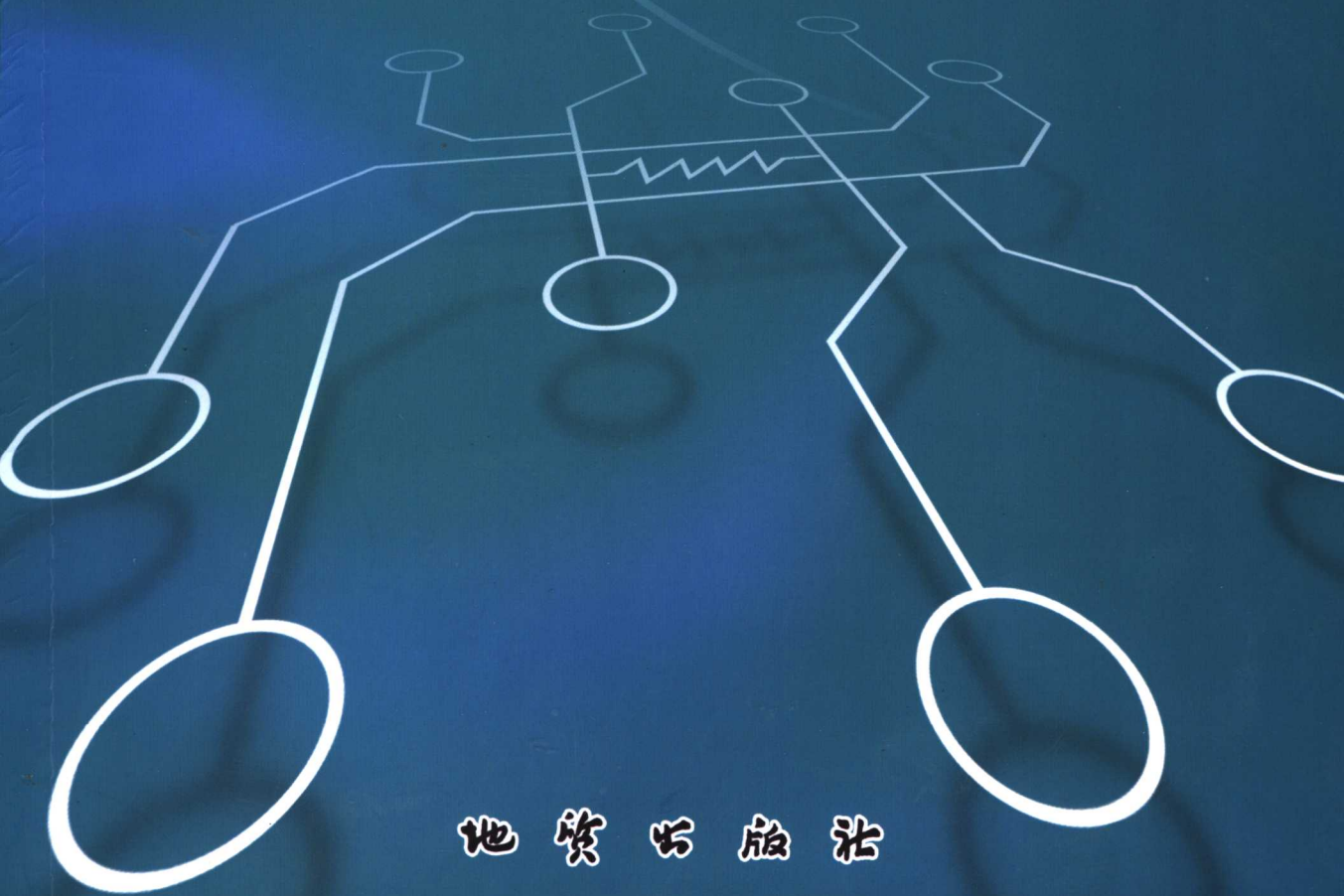


河北省教育厅学术著作出版基金 资助
石家庄经济学院学术著作出版基金

土壤水盐运移数值模拟

TURANG SHUIYAN YUNYI SHUZH I MONI

邵爱军 彭建平 著



地质出版社

河北省教育厅学术著作出版基金 资助
石家庄经济学院学术著作出版基金

土壤水盐运移数值模拟

邵爱军 彭建平 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以作者在武汉水利电力大学攻读硕士期间完成的硕士学位论文和在中国科学院做博士后期间完成的博士后研究报告为基础撰写而成,主要介绍了与土壤水盐运移数值模拟有关的内容。全书分为两部分,第一篇覆盖条件下田间土壤水分运动的数值模拟,以麦秸覆盖条件下的田间试验数据为基础,阐述了土壤水分运动数值模拟及其有关内容;第二篇长江河口地区土壤水盐运移数值模拟及动态预测,结合三峡工程对下游河口地区土壤水盐动态的影响,论述了土壤水盐运移数值模拟及其有关内容。

本书系统地介绍了土壤水盐运移数值模拟理论和应用,以及与其有关的新理论和新方法,可供土壤物理学、环境学、水文学与水资源等专业的研究生、有关专业的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤水盐运移数值模拟/邵爱军等著. —北京:地质出版社,
2007.3

ISBN 978-7-116-05180-5

I. 土... II. 邵... III. 土壤-水盐体系-数值模拟
IV. S156.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 006194 号

责任编辑:陈 磊

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

咨询电话:(010)82324508 (邮购部);(010)82324565 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张:10

字 数:245 千字

印 数:1—800 册

版 次:2007 年 3 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:26.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05180-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)



邵爱军

男，汉族，1960年出生，河北省武安县人，博士，教授。

1982年毕业于河北地质学院水文地质工程地质系，获学士学位，1994、1998年分别于武汉水利电力大学水利工程系获硕士、博士学位。1998~2000年在中国科学院南京土壤研究所作博士后研究。现为石家庄经济学院水文地质学教授、硕士研究生导师。代表性专著有《煤矿地下水》、《煤矿地下水与底板突水》，发表论文数十篇。

研究方向：

水资源与水环境。

通讯地址：

河北石家庄市槐安东路136号

邮编：050031

电话：0311-87207109

E-mail: shaoaijun@sohu.com

前 言

水盐运移是自然界常见的一种物理化学现象。地下水中化学元素的迁移、石油的开采、土壤盐渍化的防治、地下水和土壤的污染治理、海水入侵、污水灌溉、农田化肥和农药的施用等一系列环境问题都会遇到这一现象。当前，在一系列环境问题中，人们愈来愈需要了解 and 掌握水盐随时间和空间在水土环境中的分布和运移规律，以便更有效地防治环境污染、合理地保护生态环境，促进人与环境的和谐以及经济社会的可持续发展。因此，对水盐运移问题的研究无论在理论上，还是在实践上都具有重要的科学意义。

随着近 30 年来地下水渗流问题数值模拟方法的发展和日臻成熟，以及当前环境问题的日益突出，人们愈来愈多地关注污染物或溶质运移问题的研究，重视对包气带水的研究，特别是非饱和土壤水盐运移问题的研究更是该领域研究的一个热点和难点问题。

本书以作者在武汉水利电力大学攻读硕士期间完成的硕士学位论文和在中国科学院做博士后期间完成的博士后研究报告为基础撰写而成，主要介绍了与土壤水盐运移数值模拟有关的内容。全书分为两部分，第一篇覆盖条件下田间土壤水分运动的数值模拟，以麦秸覆盖条件下的田间试验数据为基础，阐述了土壤水分运动数值模拟及其有关内容。内容主要包括：①覆盖保墒技术的应用及研究现状；②夏玉米覆盖保墒技术措施田间试验；③土壤水分运动基本参数测定；④覆盖条件下土壤水分运动的数值模拟；⑤秸秆覆盖保墒效果初步评价。

第二篇长江河口地区土壤水盐运移数值模拟及动态预测，结合三峡工程对下游河口地区土壤水盐动态的影响，论述了土壤水盐运移数值模拟及其有关内容。内容主要包括：①三峡工程对长江河口地区土壤水盐动态的影响；②土壤水盐运移参数测定，包括水分运动参数和盐分运移的水动力弥散系数；③土壤水盐运移方程中源汇项的确定，包括根系吸水项的确定和吸附解吸参数的实验研究；④土壤水盐运移数值模拟的有限差分法；⑤三峡工程影响条件下，河口地区土壤盐分动态预测及对策措施。

本书稿承蒙武汉大学中国工程院张蔚臻院士、张瑜芳教授、沈荣开教授，中国科学院杨劲松研究员审阅，并提出宝贵修改意见，在此表示衷心感谢。

在本书撰写过程中，参阅了大量国内外有关文献资料，相关部门和作者的研究成果，彭建平副教授对书中数学公式进行了推导和审定，研究生左丽琼、张永强对部分书稿进行文字录入和图件绘制，对他们在本书中的贡献一并表示感谢。

作 者

2006 年 8 月于石家庄

目 次

第一篇 覆盖条件下田间土壤水分运动的数值模拟

绪 论	(2)
第一章 夏玉米覆盖保墒技术措施田间试验	(4)
一、试验安排	(4)
二、观测项目及仪器设备的布置	(5)
三、观测数据的整理与计算	(7)
四、野外试验	(9)
第二章 土壤水分运动基本参数测定	(10)
一、土壤水分特征曲线	(10)
二、土壤水扩散度	(12)
三、非饱和土壤水力传导度	(13)
第三章 作物根系吸水率及表土蒸发强度确定	(22)
一、作物根系吸水率的确定	(22)
二、表土蒸发强度的确定	(26)
第四章 覆盖条件下土壤水分运动的数值模拟	(34)
一、数学模型	(34)
二、数值方程与数值模拟	(37)
第五章 秸秆覆盖保墒效果初步评价	(47)
一、不同覆盖量的保墒效果	(47)
二、不同覆盖处理对土壤温度的影响	(48)
三、不同覆盖处理对产量的影响	(49)
结 语	(50)
参考文献	(52)

第二篇 长江河口地区土壤水盐运移数值模拟及动态预测

第一章 概况	(56)
一、长江河口自然地理概况	(56)
二、长江三峡工程概况	(58)
三、长江河口地区土壤水盐动态特征	(59)
四、长江三峡工程对河口地区土壤水盐动态影响	(64)
五、河口地区土壤水盐动态监测概况	(70)

第二章 各监测断面土壤水盐动态特征	(73)
一、寅阳监测断面	(73)
二、大兴监测断面	(77)
三、兴隆沙监测断面	(80)
四、沿江纵向上水盐动态特点	(82)
第三章 土壤水盐运移参数测定	(84)
一、土壤水分特征曲线的测定	(84)
二、扩散度的测定	(93)
三、水动力弥散系数的测定	(94)
第四章 上边界条件及源汇项的确定	(103)
一、蒸发强度的确定	(103)
二、根系吸水模型的确定	(105)
三、吸附与解吸参数的确定	(108)
第五章 土壤水盐运移数学模型与数值模拟	(114)
一、数学模型	(117)
二、数值方程	(120)
三、模型验证及结果分析	(128)
第六章 长江河口地区土壤盐分动态预测	(130)
一、地下水水位预测统计模型	(130)
二、地下水矿化度预测统计模型	(131)
三、土壤盐分动态预测	(133)
四、结果分析	(135)
五、对策与建议	(136)
结 语	(140)
参考文献	(143)
英文摘要	(148)

Contents

Part 1 Numerical Simulation of the Field Soil Water Movement under the Conditions of Mulching

Introduction	(2)
Chapter 1 Field experiment of mulching and preserving soil moisture for summer corn ...	(4)
1 Experiment arrangement	(4)
2 Observation items and layout of apparatuses	(5)
3 Computation of observation data	(7)
4 The field tests	(9)
Chapter 2 Determination of basic parameters of soil water movement	(10)
1 Soil water characteristic curve	(10)
2 Soil water diffusivity	(12)
3 Hydraulic conductivity of unsaturated soil	(13)
Chapter 3 Determination of crop root water extraction and topsoil evaporation	(22)
1 Determination of crop root water extraction rate	(22)
2 Determination of topsoil evaporativity	(26)
Chapter 4 Numerical simulation of soil water movement under mulching	(34)
1 Mathematical model	(34)
2 Numerical equation and numerical simulation	(37)
Chapter 5 Evaluation of effect on preserving soil moisture of straw mulching	(47)
1 Effect of preserving soil moisture with different mulching quantity	(47)
2 Impact of different mulching on soil temperature	(48)
3 Impact of different mulching on yield	(49)
Conclusions	(50)
References	(52)

Part 2 Numerical Simulation of Soil Water and Salt Transport and Dynamic Forecast in the Yangtze River Estuarine Region

Chapter 1 General situation	(56)
1 Physical geography survey of the Yangtze River estuary	(56)
2 General situation of of Three Gorges Project of the Yangtze River	(58)
3 Dynamic characteristics of soil water and salt on the estuary	(59)
4 Impact of Three Gorges Project on soil water and salt dynamics of the estuary	(64)

5	Monitor of soil water and salt on the estuary	(70)
Chapter 2	Dynamic characteristics of soil water and salt	(73)
1	Yinyang monitoring profile	(73)
2	Daxing monitoring profile	(77)
3	Xinglongsha monitoring profile	(80)
4	Dynamic characteristics of soil water and salt up the Yangtze River	(82)
Chapter 3	Determination of parameters of soil water and salt transport	(84)
1	Determination of soil water characteristic curve	(84)
2	Determination of diffusivity	(93)
3	Determination of coefficient of hydrodynamic dispersion	(94)
Chapter 4	Determination of upper boundary condition and sources and sinks	(103)
1	Determination of evaporation rate	(103)
2	Determination of root uptake model	(105)
3	Determination of parameters of absorption and desorption	(108)
Chapter 5	Mathematic model and numerical simulation of soil water and salt transport	(114)
1	Mathematic model	(117)
2	Numerical equation	(120)
3	Model verification and result analysis	(128)
Chapter 6	Dynamic forecast of soil salt in the Yangtze River esturay	(130)
1	Statistical model of groundwater level prediction	(130)
2	Statistical model of prediction of groundwater mineralization degree	(131)
3	Dynamic forecast of soil salt	(133)
4	Result analysis	(135)
5	Countermeasure and advice	(136)
Conclusions	(140)
References	(143)
Abstract	(148)

第一篇

覆盖条件下田间土壤水分运动的数值模拟

华北地区属于干旱半干旱气候区，地表水与地下水资源量不足，是我国水资源供需矛盾最突出的地区之一。因此，该区农业必须走“节水型”农业的道路，采取各种节水措施提高土壤水的有效利用率。特别是采取各种覆盖耕作措施，对发展华北地区“节水型”农业具有重要的现实意义。通过各种覆盖条件下田间实验，以及对各种覆盖条件下的土壤水分运动进行数值模拟，为选择覆盖措施、提高水的有效利用率提供科学依据。

土壤水分运动参数是研究土壤水分运动的基础，本篇按“一次法”求参原理，通过迭代法修正土壤水分特征曲线，根据瞬时剖面法推求非饱和土壤水力传导度。通过对野外实测资料的分析，用多元非线性回归方法，拟合了作物根系吸水的数学模型，根据不同的覆盖量（盖 200kg/亩、400kg/亩、600kg/亩）、不同的生育阶段（苗期、拔节、灌浆 - 成熟期），建立了秸秆覆盖、有作物生长条件下表土相对蒸发强度与埋深 10cm 土壤含水率的经验公式。经过对条件的概化，将覆盖层简化为对水汽具有一定阻力的阻挡层，把水汽通过覆盖层的阻力考虑到蒸发强度的计算中，建立了考虑覆盖、有作物根系吸水项的垂向一维土壤水分运动数学模型，并推导了该模型的数值离散方程，编制了用于该模型的土壤水分运动数值模拟的计算程序。通过实验数据对模型的检验，计算值与实测值拟合较好，这表明模型是可靠的，数值方法是可行的，可以用来模拟麦秸覆盖条件下田间土壤水分的运动，以及进行有关的预报。

最后对覆盖保墒效果作了初步分析。由于麦秸覆盖层阻挡了土壤水分向上的蒸发，从而增加了土壤水分含量，表土蒸发明显地随覆盖量的增加而减少。就其覆盖数量来说，600kg/亩覆盖处理的保墒效果显著，200kg/亩覆盖处理的保墒作用较小；从覆盖时间上来看，覆盖阶段前期比后期保墒效果明显。从不同麦秸覆盖处理的作物产量来看，以条带状覆盖产量最高，其次为覆盖 600kg/亩的处理。尽管试验结果是初步的，但覆盖的节水增产效果是明显的。

绪 论

华北地区属于干旱半干旱气候区，大气降水量偏少，地表水与地下水资源量不足，是我国水资源供需矛盾最突出的地区之一，缺水问题已成为这一地区国民经济发展的重要制约因素。从农业用水的实际情况看，缺水状况十分突出，现状 50% 水平年，华北地区缺水 $32.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；现状 75% 水平年，缺水 103.92 m^3 （水利部·中国农业科学院，1990）。据统计，华北地区地表水和地下水开发程度已分别达 53% 和 83%，水资源开发率居全国之首，挖掘潜力有限，而外流域调水，困难更多，水价太高也是农业用水难以承受的。因此，该区农业必须走“节水型”农业的道路，采取各种节水措施提高土壤水的有效利用率。通过各种保墒耕作技术，如松土、秸秆覆盖、薄膜覆盖等技术，抑制作物棵间水分蒸发，充分调节利用由降水、灌溉和地下水补给进入作物根系层的土壤水，减少灌溉定额，达到节水保墒之目的。采取各种覆盖保墒耕作措施具有投资少、效益好、易推广等特点，对发展华北地区农业具有重要的现实意义。开展田间覆盖保墒技术措施的研究与应用，通过田间实验和保墒机理的研究，以及对各种覆盖保墒条件下的土壤水分运动进行数值模拟，分析其保墒效果，为选择覆盖措施、提高水的有效利用率提供理论依据。

1. 覆盖保墒技术措施的应用及研究现状

地面覆盖保墒技术措施的应用在我国已有很长的历史。早在清朝康熙年间就创造了沙田栽培法。在西北地区得到了广泛应用，陇西地区沙田已达 120 万亩^①（隋红建等，1990）。

第二次世界大战以后，美国开始采用秸秆覆盖等技术，不同程度上减少了蒸发，起到了保墒的作用。我国 1988 年秸秆覆盖面积超过 100 万亩（隋红建等，1992）。秸秆覆盖不但能有效地抑制土壤水分蒸发、蓄水保墒、提高土壤肥力，而且取材方便、极易于推广应用。

20 世纪中期，日本（1955）首次开始使用塑料薄膜（以下简称塑膜）用于农田地面覆盖。之后，法国、美国、意大利、前苏联等国也都相继采用该技术，迄今在世界上已成为应用面积广、行之有效的节水保墒技术方法。1988 年我国推广面积达 3000 多万亩（刘寄陵，1989），计 40 多个作物品种。

除秸秆、塑膜覆盖外，20 世纪 60 年代以后，各国都先后采用了农田化学覆盖物。我国研制的化学覆盖物有：土面增温剂、水温上升剂、叶面保墒剂等。

随着时代的前进，地面覆盖技术也在不断地改进。从覆盖材料上看，由沙土、秸秆到塑膜、农田化学覆盖物等；覆盖方法不断创新，如在覆盖形式上由全覆盖到条状覆盖；覆盖时间上由全生育期覆盖到不同生育阶段的覆盖等。

近 20 年来，世界各国对各种覆盖材料的效应进行了大量的研究。其中绝大多数是关于土壤温度效应的实验研究（Waggoner P. E., Miller P. M., De Roo. H. C., 1960; Davies J. W., 1975; Liakatas A., Clark J. A., Monteith J. L., 1986）。我国自 20 世纪 70 年代末引入地膜覆盖技术后，一些学者先后对地膜覆盖的温度效应进行了讨论（冯万忠，1980；张定琪

^① 1 亩 = 666.67 m²

等, 1982; 张克映等, 1987; 王树森、邓根云, 1991)。1979年 Maherer 等人 (Ytazhaq M. et al., 1984) 首先对透明塑膜下土壤温度的分布进行了一维数值模拟研究, 而后又对二维热运动进行了模拟研究。中国科学院地理研究所陈发祖 (1980), 模拟了土壤增温剂对土壤温度的影响。另外, Bristow 和 Campbell (1986), 对土壤-残茬-大气系统的水热耦合传输进行了一维模拟研究。国内学者隋红建等人 (1992) 采用多孔介质的基本理论和方法, 建立了不同覆盖条件下土壤二维水热运动的数学模型, 并进行了数值模拟计算。

综上所述, 就现有文献资料而言, 对覆盖效应的研究大多限于土壤温度效应方面, 研究土壤水分运移的较少。研究覆盖条件下的水热耦合传输问题只是近一二十年的事情。而考虑作物生长条件对水、热运移的影响方面的文献资料则更少见。

作物生长条件下, 秸秆覆盖保墒技术的研究以定性分析为主。定性分析秸秆覆盖条件下的节水、保墒以及增产效果。Moody 等人 (1963) 经过三年玉米实验的研究, 得出如下结论: 在覆盖条件下, 于 4 英寸^①深度, 土壤温度在整个生长季节都较低, 与不覆盖相比, 玉米早期生长受到抑制, 但后期生长加快, 这是由于覆盖条件下, 在作物高需水量期土壤能保持较高的含水率, 以满足作物的需水要求。中国农业科学院土肥所 (徐新宇等, 1988), 1975~1985 年在北京和山东滕州市进行了秸秆盖田与减耕下土壤培肥增产效应的研究。据 160 次实验结果表明, 该措施调控了土壤微生物特性, 促进了土壤有机质的积累, 提高了土壤蓄水保墒能力, 改善了养分供给状况。水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所完成的“七五”国家重点攻关项目“农业节水的研究”子专题二“节水灌溉制度研究报告” (水利部, 中国农业科学院, 1990), 研究了不同覆盖量对水的生产效益的影响, 对增加土壤有机质的作用, 对抑制田间杂草的作用, 以及对调节地温的作用。北京农业大学土地资源系完成的“农业节水的研究”子专题“土壤水调节和利用潜力的研究” (水利部, 中国农业科学院, 1990), 通过 1989 年 6 月到 10 月的试验, 在玉米田内采用耕翻、耕翻覆盖、免耕、免耕覆盖措施, 观测其提高土壤水利用率的效果及潜力。试验结果表明, 免耕和覆盖的效果是显著的, 免耕加覆盖的效果尤为明显。河北省灌溉中心试验站 (王拴庄等, 1990) 1987~1988 年度的试验表明, 夏玉米盖秸比不盖秸每亩少耗水 30.8m^3 , 节水 14%, 每生产 1kg 玉米少耗水 0.084m^3 。

不同覆盖材料, 尤其是多孔材料 (如秸秆) 的光学特性参数 (除塑膜的部分光学特性外)、水热特性参数的研究和测定基本上还处于空白状态 (隋红建等, 1990), 这样就很难用数学手段来定量描述覆盖层对土壤水热传输过程的影响。

2. 研究内容

根据国家自然科学基金“八五”重大项目: “华北平原节水农业应用基础研究”, 第四专题: “节水农业综合技术应用基础研究” (编号: 49391604) 的要求, 1993 年 6 月到 9 月在北京水利科学研究所永乐店试验站进行了夏玉米覆盖保墒田间试验。本篇是在该项目的资助下进行的, 并且完成了专题研究的部分内容。

本篇利用野外的实测资料 (土壤剖面负压 h , 土壤剖面含水率 θ 的分布), 建立不同覆盖条件下蒸发率和表土含水率的关系, 将由于覆盖层造成的土面与大气复杂的水汽交换状况用简单的经验公式形式进行描述, 并据此建立起相应的上边界条件, 用数值模拟法计算不同覆盖条件下的土壤水分运动, 并对覆盖保墒的效果进行了初步评价。

① 1 英寸 in = 25.4mm

第一章 夏玉米覆盖保墒技术措施田间试验

研究专题的试验点选在北京市水利科学研究所永乐店试验站，该试验站位于北京市通州永乐店镇，为北京市水利科学研究所管辖。试验目的在于研究不同覆盖保墒技术措施（松土、麦秸覆盖、薄膜覆盖）下，土壤水、汽、热运动规律，保墒机理及保墒效果，为覆盖保墒技术的理论研究提供实验数据。

试验分两个小区进行，分别为测筒试验区和大田试验区，平面布置见图 1.1.1。

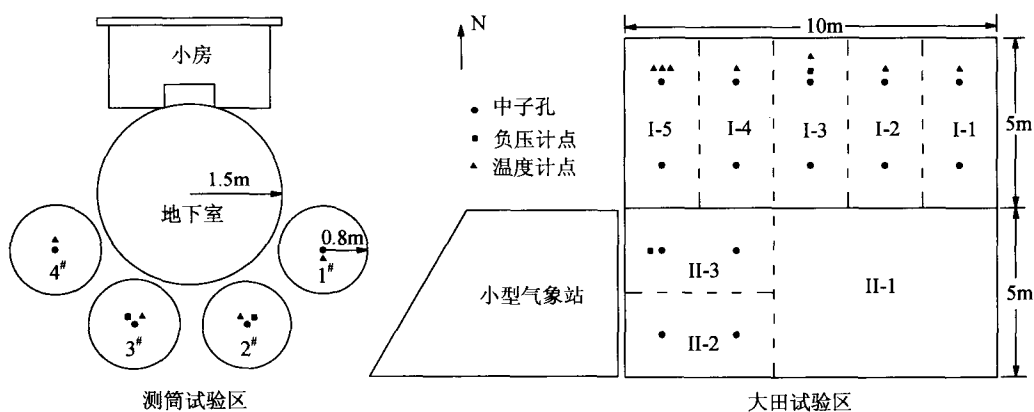


图 1.1.1 永乐店试验场平面布置示意图

一、试验安排

1. 测筒试验区

永乐店试验站现有可供试验的测筒四个，分别进行四种试验（表 1.1.1）。

表 1.1.1 测筒试验

测筒编号	1#	2#	3#	4#
保墒措施	常规耕作	松土 10cm	麦秸覆盖/ (400kg·亩 ⁻¹)	塑料薄膜覆盖

2. 大田试验区

选出两个试验田块进行试验，编号为 I、II、（每块面积为 10m × 5m = 50m²），每个田块作为一个试验小区，进行一种保墒试验。I 区又分为五个子区，II 区又分为三个子区，每个试验子区分别做不同的试验处理（表 1.1.2）。

表 1.1.2 大田试验

小区编区	I					II		
保墒措施	麦秸覆盖/ (kg·亩 ⁻¹)					松土		
子区编号	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	II-1	II-2	II-3
试验处理	常规	200	400	600	条带状(400)	免耕	松土5cm	松土10cm

注：I-5 为条带状局部覆盖，覆盖位置为株间 30cm 宽度，覆盖量 400 kg/亩

二、观测项目及仪器设备的布置

测筒试验区和大田试验区分别进行了土壤含水率 θ 、土壤负压 h 和剖面温度 t 的观测。测筒试验区仪器平面布置图见图 1.1.2，各处理剖面测点仪器埋深见表 1.1.3。

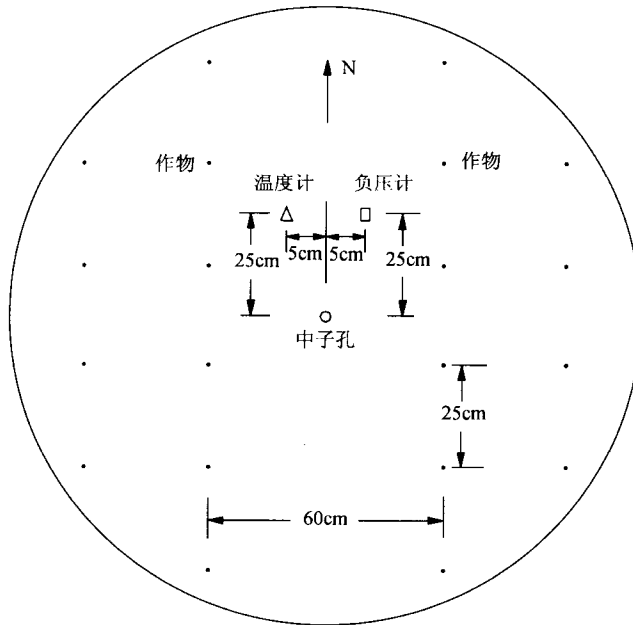


图 1.1.2 测筒 (2[#]) 仪器布置平面图

表 1.1.3 测筒试验区各测点埋深 (埋深/cm)

测筒号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
含水率测点	10、30、50、70、90、110	10、30、50、70、90、110	10、30、50、70、90、110	10、30、50、70、90、110
负压计	地面上	5、10、30、50、70	5、10、30、50、70	
	地面下	40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、240、260	40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、240	40、60、80、100、120、140、160、180
温度计	覆盖层		0、2、4	
	土壤	0、2.5、5、10、15、20、30、45、60	0、2.5、5、10、15、20、30、45、60	0、2.5、5、10、15、20、30、45、60

注：地面上、地面下是指负压计系统测压排位于地面上、地面下 (测筒地下室)

大田试验区仪器设备平面布置见图 1.1.3，各处理剖面测点埋深见表 1.1.4。

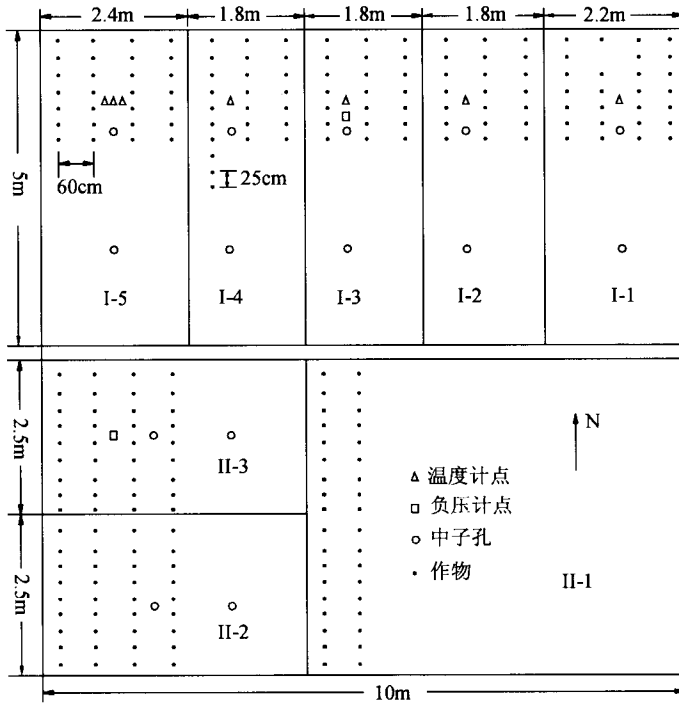


图 1.1.3 大田试验区仪器布置平面图

表 1.1.4 大田试验区各测点埋深 (埋深/cm)

子区号	含水率测点	负压计	温度计	
			覆盖层	土壤
I-1	10、30、50、70、90、 110、130			0、5、10、20、30、50
I-2	10、30、50、70、90、 110、130		0、2	0、5、10、20、30、50
I-3	10、30、50、70、90、 110、130	5、10、20、30、50、 70、90、120	0、2、6	0、5、10、20、30、50
I-4	10、30、50、70、90、 110、130		0、2、6	0、30、50
I-5	10、30、50、70、90、 110、130		0、2、6	中：0、5、10、20、 30、50 边：0、5、10、20、 30、50 裸：0、5、10、20、 30、50
II-1	对照区	对照区	对照区	对照区
II-2	10、30、50、70、90、 110、130			
II-3	10、30、50、70、90、 110、130	5、10、20、30、50、 70、90、120		

注：“中”是指覆盖层中间位置，“边”是指覆盖层边缘位置，“裸”是指条带状覆盖中间的裸地

三、观测数据的整理与计算

土壤含水率为单位体积土壤中所含水的体积，常用符号为 θ ，一般用小数或百分数表示，单位 cm^3/cm^3 。土壤含水率采用中子法测定。中子仪为美国产 TROXLER4301 型中子仪 (DEPTH MOISTURE GAUGE)，中子仪的标定在玉米播种前进行，边安装中子仪探头护导管边取土标定，取土所用工具为洛阳铲。为造成较大的含水率差异，对有些处理进行了不同程度的灌水，有些处理没有灌水。标定时采用烘干称重法测定含水率，共取土样 50 个，根据土壤剖面上土质分层情况，分两层进行标定，第一层为沙壤土，第二层为粉沙土，两条标定曲线的相关系数 R 分别为 0.9396636 和 0.9545517，标定曲线见图 1.1.4。

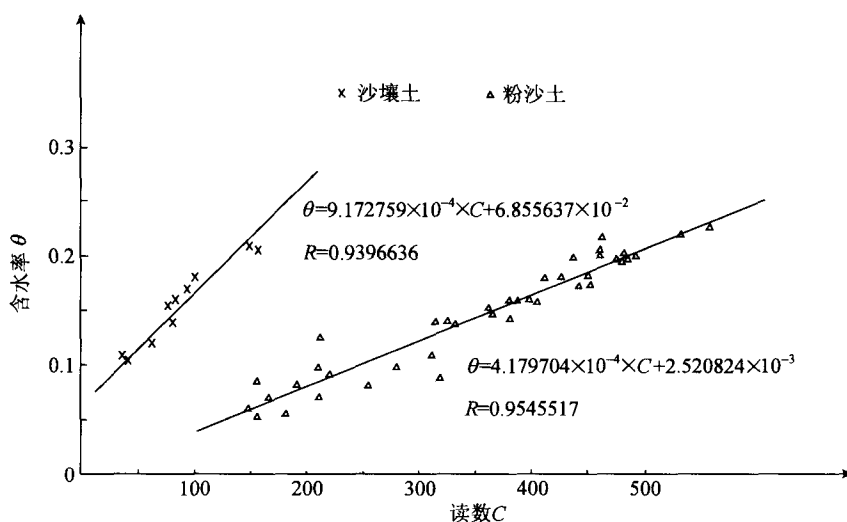


图 1.1.4 中子仪标定曲线

试验期间，含水率的观测在作物生长前期 1 天一次，后期 3 天至 5 天一次，获取中子仪读数后，数据由计算机进行处理，然后计算出含水率。

土壤水势的测定采用张力计（负压计）法，每天读数一次，读数为水银柱读数，当测压排位于地表时（图 1.1.5a），如大田试验区，基质势的计算公式（王富庆等，1991）如下：

$$h = 12.6h_{Hg} + h_x - (h_0 + h_z) \quad (1.1.1)$$

式中： $h(h_{H_2O})$ 为基质势 (cm)； h_{Hg} 为水银柱读数高度 (cm)； h_x 为毛细玻璃管的毛细高度修正值 (cm)，取 $h_x = 7.4\text{cm}$ ； h_0 为地面到水银面的高度 (cm)； h_z 为陶瓷头埋深（地面至陶瓷头的深度）(cm)。

当测压排位于地下时（图 1.1.5b），如测筒试验区，基质势的计算公式如下：

$$h = 12.6h_{Hg} + h_x + (h_0 - h_z) \quad (1.1.2)$$

土壤剖面温度的观测：裸地表面和麦秸表面采用直管式水银温度计，麦秸和地面交接面用曲管温度计（图 1.1.6），麦秸中间温度的测定用数字温度计，地表以下用温度传感

器（铂热电阻）来测量温度，铂热电阻的布置见图 1.1.7，对于子区 I-5 条状局部覆盖小区，剖面温度计的布置见图 1.1.8。温度的观测 1 天一次，其中进行了 2 天 4 小时一次的温度观测。铂热电阻值与温度的相关关系式为：

$$t = 2.59735 \times (R_t - 1.8) - 259.9814 \quad (1.1.3)$$

式中： t 为温度 ($^{\circ}\text{C}$)； R_t 为电阻 (Ω)。上式的相关系数为 0.9999。

对于每天所测数据：土壤含水率、土壤水势、温度都通过微机进行计算整理。

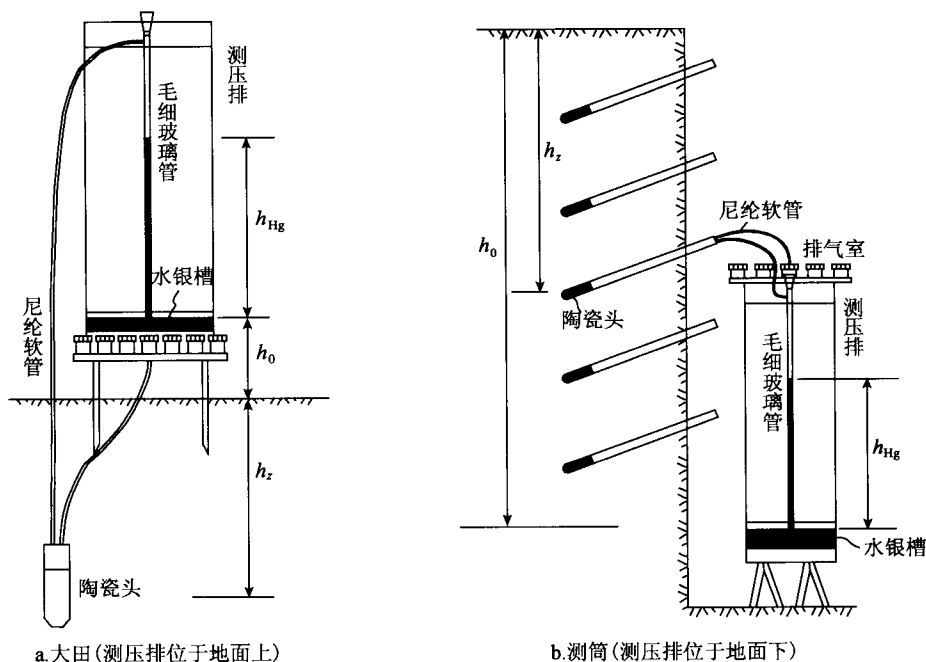


图 1.1.5 负压计布置示意图

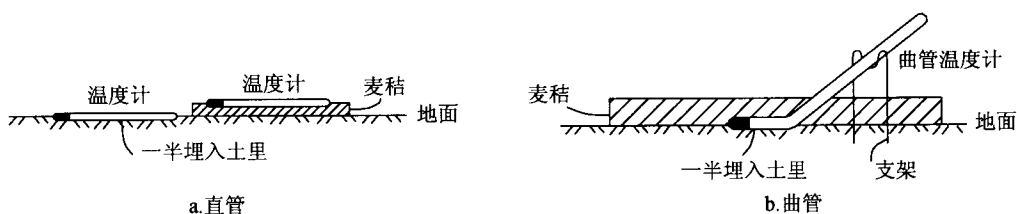


图 1.1.6 温度计布置示意图

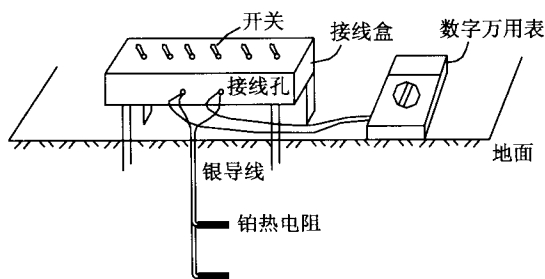


图 1.1.7 温度传感器（铂热电阻）布置示意图

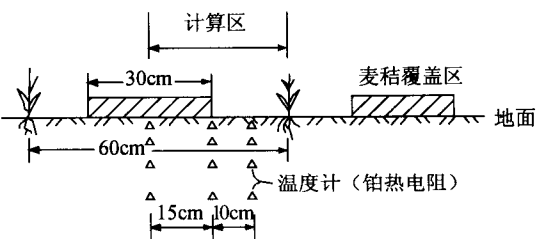


图 1.1.8 条带状覆盖示意图