

秸秆覆盖滴灌 水盐调控研究

—— 张金珠 虎胆·吐马尔白 王振华 著 ——



中国农业科学技术出版社

秸秆覆盖滴灌 水盐调控研究

—— 张金珠 虎胆·吐马尔白 王振华 著 ——



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

秸秆覆盖滴灌水盐调控研究 / 张金珠, 虎胆·吐马尔白, 王振华著.
—北京: 中国农业科学技术出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-5116-1985-3

I. ①秸… II. ①张… ②虎… ③王… III. ①秸秆-覆盖-滴灌-水分调节-研究 ②秸秆-覆盖-滴灌-水盐体系-调节-研究 IV. ①S275.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 014353 号

责任编辑 李冠桥

责任校对 李向荣

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109705 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106625

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 850mm × 1168mm 1/32

印 张 5.625

字 数 135 千字

版 次 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

— 版权所有 · 侵权必究 —

内容提要

本书围绕秸秆覆盖滴灌土壤水盐调控，对比研究了不同秸秆覆盖量、秸秆覆盖位置和秸秆长度对土柱一维垂直渗入和蒸发情况下土壤剖面水温盐分布的影响；研究了表层覆盖、地表下 30cm 覆盖和无覆盖在非盐碱土和盐碱土条件下对滴灌棉花生长、根系和产量的影响；并利用 HYDRUS 软件模拟了秸秆覆盖土壤水分和温度的变化过程，揭示了秸秆覆盖土壤水温盐分布特点及对滴灌棉花生长的调控效应，全书共分为八章。

本书可作为农业水土工程、土壤物理等专业的研究生和高年级本科生的参考教材，也可供相关专业科研、教学和工程技术人员参考。

前 言

水作为农业的命脉，是干旱区绿洲农业的重要资源。新疆维吾尔自治区（全书简称新疆）地处欧亚大陆腹地，气候干旱少雨，水资源短缺。降水稀少，全疆年均降水量 147mm，蒸发强烈，天山以北年平均蒸发能力 1500~2300mm。在新疆，没有灌溉就没有农业，而农业又全部集中在绿洲上，新疆农业作为用水超级大户，灌溉用水量占用水总量 95% 以上，严重影响了新疆区域社会经济的快速发展，因此，必须大力提倡节约农业用水。

膜下滴灌技术集成了覆膜技术和滴灌技术，具有很多优点，大大节约水资源，减少灌溉定额及灌水定额，可保墒、增温、抑制杂草生长，促进作物生长，提高作物产量和品质，提高经济效益和管理效益，在新疆最重要的经济作物棉花上，95% 以上采用膜下滴灌技术，膜下滴灌面积达 $2.00 \times 10^6 \text{hm}^2$ 。但由于膜下滴灌所采用的薄膜为高分子聚合物，很难分解，又由于非常薄，田间应用后易破碎，很难回收，致使田间土壤残膜大量积累，严重污染土壤并影响作物生长。据统计，从 20 世纪 80 年代初到现在，新疆大量使用地膜的总量约为 $6.50 \times 10^5 \text{t}$ ，由于残膜回收措施不得力，回收机械效率不高，残膜在部分土地的耕作层大量积累，严重影响土地生产率和农业的可持续发展。新疆节水的紧迫性必须应用先进节水技术，如果仅仅使用滴灌技术，取消薄膜覆盖，新疆干旱区强烈的蒸发将大大降低灌水利用效率，同时还易引起土壤盐分表聚，进而影响作物生长发育和产量的形成。

因此, 在应用滴灌的同时还需找到一种替换薄膜覆盖的材料, 很多专家学者也研究了不少解决办法, 如提出了光解膜、淀粉膜、草膜和液体膜等进行试验, 但这些研究成果或所开发的产品大部分成本较高, 或者应用效果不理想, 至今没有在新疆生产实践中推广应用。

新疆地处干旱区, $1.60 \times 10^6 \text{ km}^2$ 盐碱荒地占耕地总面积的 30%。改造和利用这些土地资源, 并防止次生盐渍化的发生是我国也是新疆农业可持续发展的重要内容, 秸秆覆盖是一种用人工方法在土壤表面设置一道物理阻隔层的技术, 把作物秸秆应用在农业上, 可实现秸秆变废为宝、节水保墒的作用, 具有较高的经济效益和生态效益。

秸秆覆盖具有改变农田下垫面性质和能量平衡, 减少土壤蒸发、蓄水保墒、调节地温、提高肥力等综合作用, 同时还可提高作物产量, 具有较好的生态效应和经济效益。秸秆覆盖的研究工作覆盖了我国北方、南方很多省份。

新疆塑料薄膜使用量越来越大, 越来越广泛, 只有从源头上遏制残膜污染, 才能促进新疆棉花种植业可持续发展, 探索有关秸秆覆盖替代薄膜与滴灌结合便是对策之一。研究秸秆覆盖对土壤水温盐运移的影响, 对提高生产潜力具有重要意义。

新疆拥有丰富的秸秆资源, 各种农作物秸秆产量每年约达 $3.03 \times 10^7 \text{ t}$, 其中, 小麦秸秆约 $6.86 \times 10^6 \text{ t}$, 而这些秸秆大部分作为畜牧饲料, 还有一部分直接粉碎或焚烧回田, 因此, 新疆农作物秸秆利用潜能巨大。本书在前人基础上, 结合新疆特点, 针对秸秆覆盖滴灌土柱试验及测坑棉花进行了 4 年试验研究, 提出将秸秆覆盖技术与滴灌技术相结合而形成一种集成创新技术——秸秆覆盖滴灌技术, 抑制土壤盐分上移, 解决残膜污染等诸多问

题,发挥滴灌优势,节水控盐。该研究成果为秸秆覆盖在新疆的探索应用提供理论依据。本书的主要研究结论如下。

(1) 无覆盖和秸秆表层覆盖积水入渗湿润土体含水率由上向下逐渐由饱和含水率减少至初始值;垂直一维入渗中累积入渗量、入渗锋均随时间延长而增大,入渗初期累积入渗量和入渗锋增加较快,随时间延续其增加趋势渐缓,构建了无覆盖一维垂直积水入渗模型。

(2) 深处秸秆覆盖即秸秆夹层厚度和密度对入渗水流起到阻滞作用,使下渗水流滞留于秸秆夹层以上土体,还具减渗性,使下渗水量及入渗锋面湿润速度减小,同时也影响盐分及离子运移,盐分从上到下逐渐升高, Cl^- 入渗后在剖面上变化规律与总盐变化规律相同, HCO_3^- 对秸秆夹层的敏感性强于 SO_4^{2-} 。

(3) 秸秆覆盖对土壤温度场具有显著影响。秸秆层无论在何位置均能阻挡或吸收一部分热能,表层覆盖量越大剖面温度变化越缓并与无覆盖温差越大。20cm处覆盖在0~40cm范围温度变化特征与无覆盖一致,秸秆夹层传热性能远大于表层覆盖。表层覆盖0~20cm范围内温度均低于20cm深处覆盖相应位置温度,在0~40h 20cm深处覆盖在20~40cm范围内温度均低于表层覆盖相应位置温度,但在40h以后20cm处覆盖吸热效应降低,在整个深度范围内温度升高速率高于表层覆盖;拟合得出了土层温度与深度和时间的通用函数关系。

(4) 秸秆覆盖对土壤水分分布影响显著,秸秆覆盖位置对一维土柱蒸发后土壤含水率分布具有显著影响。秸秆表层覆盖能有效抑制水分蒸发散失,表层秸秆覆盖量越大,对表层和上层土壤含水率蒸发抑制作用越强,长度5cm秸秆覆盖量 $12000\text{kg}/\text{hm}^2$ 时相对无覆盖处理可抑制水分蒸发散失52.21%。20cm深处秸

秆覆盖对抑制水分蒸发散失作用并不显著,在秸秆覆盖量达到 $12000\text{kg}/\text{hm}^2$ 以上时,5cm 长度秸秆覆盖相对具有较好的抑制土壤蒸发作用。表层覆盖 0~20cm 土层含水率均高于 20cm 深处秸秆覆盖,20cm 深处秸秆覆盖在 20~40cm 土层含水率均高于表层覆盖,且秸秆覆盖量越大,这种现象越明显。方差分析结果表明秸秆覆盖量在表层覆盖情况下对累积蒸发量、0~15cm 平均含水率、0~15cm 平均含盐量的贡献最大,效应最显著;在 20cm 处覆盖时秸秆覆盖量只对 0~15cm 平均含水率的影响最大。

(5) 垂直一维蒸发条件下,秸秆覆盖相应影响或减少盐分上移,秸秆覆盖位置主要影响覆盖层紧密连接的下层土壤中盐分运动,使盐分积聚在秸秆层以下一定范围土壤里。表层土壤盐分变化率随秸秆覆盖量增加而减小,秸秆覆盖量在 $12000\text{kg}/\text{hm}^2$ 以上时,对土壤盐分抑制作用显著,抑制深度 20cm 左右。20cm 深处秸秆覆盖减少了盐分向上迁移,呈现上层盐分变化率减少,秸秆层以下 10cm 范围内盐分变化率升高,长度 5cm 秸秆在覆盖量较大时对上层土壤盐分抑制效果较好。表层覆盖在 0~20cm 土层范围内土壤盐分变化率高于 20cm 深处秸秆覆盖,在 20~25cm 土层则是 20cm 深处秸秆覆盖土壤盐分变化率较高。

(6) 秸秆覆盖测坑滴灌棉花试验表明,秸秆覆盖通过对土壤水分的影响间接影响了土壤盐分的运移和分布。表层秸秆覆盖具有明显的抑制水分散失作用,能减少中壤土、盐碱土 0~20cm 土层水分蒸发,保水效果较好。30cm 深层秸秆覆盖在秸秆腐烂之前(有效期约 100d)具有明显的抑制深层水分和盐分向上迁移,0~20cm 土壤盐分含量较低,盐分主要在 30~40cm 深处聚集,有利于棉花根区形成脱盐区,抑盐效果高于表层覆盖,能够

起到隔层抑盐改良盐碱土作用，但在棉花生长后期对于蒸发和盐分抑制作用不明显。

(7) 秸秆覆盖显著影响根系根长密度分布，对深层根系分布影响更大，中壤土根系分布更深，秸秆覆盖减少 0~28cm 耕作层根重密度分布比重，增加根长密度比重，分别促使棉花细根在耕作层和主根向深层发育和分布。表层覆盖促进耕作层根系发育，30cm 覆盖限制上层根系发育，促进 30cm 以下土层根系发育。盐碱土棉花根系偏细长，单位体积土体细根较多，在盐碱逆境下秸秆覆盖更能促进根系向更细更长方面发育，提高根长分布密度。

(8) 秸秆覆盖对滴灌棉花生长及产量具有一定影响，尤其体现在盐碱土条件下。非盐碱土秸秆覆盖对滴灌棉花株高、叶面积指数和产量相对无覆盖促进作用不显著，但表层覆盖综合调控效应优于 30cm 深处覆盖尤其在棉花生长中后期（花铃期）。盐碱土秸秆覆盖对滴灌棉花株高、叶面积指数和产量促进作用相对显著，尤其在中后期秸秆覆盖可促进棉花生长，提高叶面积指数，提高产量，表层覆盖抑盐效应较 30cm 覆盖显著；30cm 深层秸秆覆盖效应在棉花生长前期（苗期、蕾期）明显，后期（花铃期）减弱；表层覆盖相对无覆盖和 30cm 深层覆盖可分别提高棉花产量 3.2%~17.9% 与 3.1%~16.3%。

(9) 利用 HYDRUS 软件对秸秆覆盖土壤水分、温度运动的模拟值与实测值对比结果比较理想，较好地反映土壤含水量在试验期内随蒸发、灌溉等因素的变化规律，可用作秸秆覆盖条件下土壤水热盐运移预测研究。

本书研究成果先后得到国家自然科学基金项目“内陆干旱区人工绿洲水盐动态研究与预测（51069015）”、国家自然科学基金

金项目“典型绿洲区长期膜下滴灌棉田盐碱土壤离子时空迁移机理研究(51369027)、自治区自然科学基金项目“内陆干旱区秸秆覆盖对调控灌区土壤水盐分布影响研究(200821172)”、石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室开放基金“干旱区秸秆覆盖对调控土壤水盐分布的影响(JSGG2011001)”的资助研究。本书的出版得到了兵团英才培养资金的支持,在此表示衷心感谢。

本书由张金珠、虎胆·吐马尔白、王振华统稿著作,本书还参考了其他单位和个人的研究成果,均在参考文献中标注,在此谨向所有参考文献的作者表示衷心的感谢!

在本书成稿之际,向所有为本书出版提供支持和帮助的同仁表示衷心感谢。由于试验条件、研究时间及经费所限,所取得的研究成果仅涵盖秸秆覆盖滴灌土壤水盐调控一部分内容,作为探索减缓新疆农田残膜污染、发展生态高效农业的一种尝试,秸秆覆盖与滴灌结合在盐碱地棉花等作物上具有应用的可能和前景,相关技术还需深入研究。同时,由于学识视野和水平所限,在撰写中难免有疏漏和不妥之处,恳请同行专家批评指正。

作者

2014年12月8日

目 录

第一章 绪 论.....	1
第一节 研究目的和意义.....	1
第二节 国内外研究现状.....	5
第三节 研究内容.....	13
第二章 土壤水热相关参数的测定.....	15
第一节 土壤水分特征曲线的测定.....	15
第二节 水平土柱吸渗法测定非饱和.....	17
土壤的水平扩散率.....	17
第三节 非饱和土壤导水率的测定.....	19
第四节 土壤的热特性.....	20
第五节 土壤饱和导水率的测定.....	27
第六节 小结.....	28
第三章 秸秆覆盖对垂直一维入渗土壤水盐分布的影响	30
第一节 无覆盖土柱一维积水入渗水盐分布及运移特征 ...	30
第二节 具有秸秆夹层的层状土壤一维垂直入渗水盐分布特征	41

第三节 小结	47
第四章 秸秆覆盖对垂直一维蒸发土壤水热盐运移的影响	50
第一节 秸秆覆盖对垂直一维土壤蒸发的影响	50
第二节 秸秆覆盖对土柱蒸发条件下水盐分布的影响	73
第三节 秸秆覆盖蒸发条件下累积蒸发量及水盐含量方差分析	84
第四节 小结	89
第五章 秸秆覆盖对滴灌棉花水盐分布的调控效应	95
第一节 材料与方法	95
第二节 秸秆覆盖对滴灌棉花水盐分布的影响	97
第三节 秸秆覆盖对滴灌盐碱土土壤垂直方向水盐运移的影响	100
第四节 秸秆覆盖对盐碱土土壤水盐水平运移的影响	102
第五节 深层秸秆覆盖对深层土壤水分的影响	109
第六节 小结	111
第六章 秸秆覆盖对滴灌棉花生长的调控效应	113
第一节 试验材料与方法	113
第二节 秸秆覆盖对滴灌棉花株高的影响	116
第三节 秸秆覆盖对滴灌棉花叶面积指数的影响	118
第四节 秸秆覆盖对滴灌棉花根系分布的影响	121

第五节 秸秆覆盖对滴灌棉花产量的影响..... 130

第六节 关于秸秆覆盖对滴灌棉花生长影响的讨论..... 132

第七节 小结..... 133

第七章 基于 HYDRUS-2D 软件秸秆覆盖土壤水热
模拟 136

第一节 水热运动方程..... 137

第二节 单元划分离散及边界条件..... 138

第三节 模型参数..... 139

第四节 土壤水分、温度运动数值模拟结果..... 140

第五节 模型参数调整和模型识别..... 142

第六节 小结..... 146

第八章 结论与展望..... 148

第一节 主要研究结论..... 148

第二节 研究展望..... 151

参考文献..... 153

第一章 绪 论

第一节 研究目的和意义

水是一切生命过程中不可替代的基本要素，水资源作为重要的战略性资源在国民经济和社会发展中举足轻重^[1]。水作为农业的命脉，是干旱区绿洲农业的重要资源^[2]。随着社会的发展，全球用水总量在快速增长。我国作为缺水的国家，水资源越来越短缺，国家农业以及整个国民经济可持续发展已受到严重影响。

“节水农业”概念的提出，有别于传统的农业用水观念，国家的水资源中农业用水比重最大，而农业用水组成中又主要体现在灌溉用水上，因此，提出的节水农业，也主要指的是节约灌溉用水，指从源头到田间甚至作物根系区域的全程节水措施的统称。充分灌溉深刻影响着传统的灌溉理念，节水灌溉则注重根据作物需水规律进行灌水，关注水资源高效利用，直接将灌溉水供给作物，减少非作物区的浪费，逐渐出现了管灌、喷灌、滴灌、地下滴灌、微喷灌等先进灌水技术，随之出现了精准灌溉的理念。节水灌溉在追求经济效益和作物优质高产的同时，又注重生态效益的发挥，节约的水资源用于生态建设，充分体现重视农业水资源利用的可持续性 & 农业效益的整体性^[1]。

新疆地处欧亚大陆腹地，气候干旱少雨，水资源短缺。降水

稀少, 全疆年均降水量 147mm, 蒸发强烈, 天山以北年平均蒸发能力 1500~2300mm^[1~3]。在新疆, 没有灌溉就没有农业, 而农业又全部集中在绿洲上, 因此, 新疆的农业又称为绿洲灌溉农业, 农业作为用水超级大户, 灌溉用水量占用水总量 95% 以上, 因此, 有效的水资源绝大部分用在经济效益相对较低的农业上, 严重影响了新疆区域社会经济的快速发展, 因此, 必须大力提倡节水型社会建设, 而最重要的就是节约农业用水, 在新疆农业生产中发展并推广节水灌溉技术势在必行, 事实上, 新疆的农业节水灌溉一直走在全国前列, 尤其是新疆生产建设兵团的农业节水技术, 更是举世瞩目, 目前, 生产中应用最为普遍的是膜下滴灌技术。

膜下滴灌技术集成了覆膜技术和滴灌技术, 具有很多优点, 大大节约水资源, 减少灌溉定额, 减少灌水定额, 还可保墒、增温、抑制杂草生长, 促进作物生长, 提高作物产量和品质, 提高经济效益和管理效益, 在新疆最重要的经济作物棉花上, 95% 以上采用膜下滴灌技术, 膜下滴灌面积达 $2.00 \times 10^6 \text{hm}^2$ 。但由于膜下滴灌所采用的薄膜为高分子聚合物, 很难分解, 又由于非常薄, 田间应用后易破碎, 很难回收, 致使田间土壤残膜大量积累, 已严重污染土壤并影响作物生长。据统计, 从 20 世纪 80 年代初到现在, 新疆大量使用地膜, 总量约为 $6.50 \times 10^5 \text{t}^{[1,4]}$, 由于残膜回收措施不得力, 回收机械效率不高, 残膜在部分土地的耕作层大量积累, 严重影响土地生产率和农业的可持续发展。新疆节约的紧迫性必须应用先进节水技术, 如果仅仅使用滴灌技术, 取消薄膜覆盖, 新疆干旱区强烈的蒸发将大大降低灌水利用效率, 同时还易引起土壤盐分表聚, 进而影响作物生长发育和产量的形成。因此, 在应用滴灌的同时还需找到一种替换薄膜覆盖

的材料，很多专家学者也研究了不少解决办法，如进行了光解膜、淀粉膜、草膜和液体膜等试验，但由于这些研究成果或所开发的产品大部分成本较高，或者应用效果不理想，至今没有在新疆生产实践中推广应用^[5]。

滴灌作为一种新型灌溉技术，从诞生至今已发展了近一个半世纪，尤其在缺水比较严重的干旱区，节水效果典型，在美国、以色列等国家广泛应用。滴灌利用低压管道，使水以点状缓慢而均匀又易于定量控制的湿润作物根区，根区土壤含水量适宜作物生长发育，属于一种局部灌水技术。从1860年德国进行首次滴灌试验到第二次世界大战后滴灌技术的长足发展。我国1974年开始引进滴灌技术，20世纪80年代以前主要用于试验研究，之后研究成果逐渐丰富，开始在一些地方进行生产应用。1996年新疆生产建设兵团将滴灌技术发展成膜下滴灌技术，并显著降低滴灌材料的成本，并开始规模化推广应用，相关专家学者们在滴灌系统设计、土壤水分动态、水盐和水肥运移规律、增产效果、劣质水滴灌等领域进行了许多研究，取得了诸多成果^[6]。

干旱和半干旱地区土壤盐渍化普遍，并影响作物生境^[7]，我国有广袤的盐渍土面积尤其在西北干旱区^[8]。如此之多的盐渍土，也是一种具有潜力的土地资源，只要设法改变土壤水分蒸发中所携带的溶质，或者说控制盐分向上迁移，减少土壤上层尤其是耕作层的盐分含量，能使作物生长具有较好的生境，使盐碱土资源得到改良利用。过去，盐渍土改良常用的方法，有大水漫灌，压盐洗盐，降低地下水，竖井排水，从外地运来非盐碱土进行客土改良，或者种植水稻、油菜等耐盐碱作物^[7~13]。或采用秸秆覆盖、地膜覆盖等，抑制土壤水分散失，减少

表层盐分聚集^[10~13]。有学者研究了在土层下部大约 30cm 附近, 铺设一层与土壤不同的物质如沙或者秸秆等, 破坏土壤毛管的连续性, 阻断水分和盐分上移的通道, 进而达到抑制盐分对表层影响的目的^[14]。

新疆地处干旱区, 在 $1.60 \times 10^6 \text{ km}^2$ 总面积上盐碱荒地占耕地面积的 30%。改造和利用这些土地资源, 并防止次生盐渍化的发生是我国也是新疆农业可持续发展的重要内容, 新疆属于温带大陆性气候, 全疆平均年降水量仅为 147.4mm, 而平均蒸发量高达 1512.1mm, 蒸降比 10 以上, 南疆部分地区 30~40^[15]。如灌溉不当, 易致土壤次生盐碱化, 覆膜种植抑制了土壤积盐, 如果应用秸秆覆盖滴灌技术, 土壤盐分分布及运移特点将发生改变, 值得研究。

秸秆覆盖是一种用人工方法在土壤表面设置一道物理阻隔层的技术, 把作物秸秆应用在农业上, 可实现秸秆变废为宝、节水保墒的作用, 具有较高的经济效益和生态效益^[16]。全国 2001 年秸秆覆盖面积达到约 $6.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 近年来秸秆覆盖技术在我国得到了更大面积的推广和应用, 取得了令人满意的综合效益^[17]。

秸秆覆盖具有改变农田下垫面性质和能量平衡, 减少土壤蒸发、蓄水保墒、调节地温、提高肥力等综合作用^[18~26], 同时还可提高作物产量, 具有较好的生态效应和经济效益^[27~31]。关于秸秆覆盖的研究工作覆盖了我国北方、南方很多省份。

新疆是典型的大陆性干旱地区, 膜下滴灌面积从最初的 1.67 hm^2 扩大到 2012 年 $2.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 以上, 并且每年还正以 $1.50 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上的速度递增, 每年使用地膜 $2.00 \times 10^5 \text{ t}$ 左右, 其中种植棉花的土地全部使用地膜。塑料薄膜使用量越来越大,