

ZHUYAO LIANGSHI ZUOWU DIGUAN ZAIPEI CHUANGXIN YU SHIJIAN

现代节水高产高效农业

主要粮食作物滴灌栽培 创新与实践

银永安 主编



 中国农业出版社

现代节水高产高效农业

主要粮食作物滴灌 栽培创新与实践

银永安 主编

中国农业出版社

本书编委会

□□□□□□□□

主 任 宋晓玲

副 主 任 夏月星 陈 林 曾胜和 马富裕 谢宗明

主 编 银永安

副 主 编 王永强 梅国平 陈伊锋 王 进 王 亮

编写人员 (按姓氏笔画排序)

王 进	王 亮	王 静	王永强	王圣毅
王志军	王肖娟	王国栋	王祥军	叶春秀
田又升	包芳俊	成华伟	朱江艳	刘 冲
刘 彦	刘 瑜	刘小芳	刘小武	苏天潮
李 丽	李玉祥	李向春	李高华	杨佳康
杨金霞	何江勇	张 磊	张晓锋	张婷婷
陈 云	陈 东	陈 林	陈伊锋	范小勇
岳绚丽	周 鑫	赵双玲	胡成成	姜 涛
钱 鑫	钱冠云	高志建	梅国平	崔凤娟
银永安	梁 飞	彭文沛	董永梅	蒋 莉
韩 品	程 莲			

前言

□□□□□□□□□□□□□□□□

我国的水资源严重短缺且分布不均衡，尤其在粮食主产区的西北干旱半干旱地区和南方季节性干旱地区，水资源供需矛盾日益尖锐是制约国家粮食稳定与战略安全的主要瓶颈。水稻、小麦和玉米作为我国种植最多的粮食作物，研创高效节水灌溉、优良品种选育、精准施肥制度、生态环保栽培方法等关键技术的潜力巨大，具有重大的战略意义。

据“三农”问题专家李昌平分析，我国现有的水稻、玉米、小麦等主粮作物在国内自主技术下，至少 10~20 年内生产的粮食完全够用。只要进一步完善生产关系，拿出 1/10 的农业科研经费用于改善多年废置的水利设施、推广高效生态节水灌溉技术，中国的粮食产量完全可以再增长一大截，成为粮食的净出口国。以新疆地区农作物种植为例，目前新疆 90% 以上的耕地采用滴灌高效节水技术，粮食作物节水技术有膜下滴灌水稻栽培技术 [新疆天业（集团）有限公司世界首创]、滴灌小麦栽培技术 [新疆天业（集团）有限公司与石河子大学合作成果] 和膜下滴灌玉米栽培技术 [新疆天业（集团）有限公司与新疆农垦科学院合作成果]。以新疆天业（集团）有限公司为核心研创的高效节水技术的推广应用，大幅度减少了水资源、人力、农资等投入成本，提升了粮食作

物产量、抗性和品质，为新疆粮食自给提供了有力保障。

当前，膜下滴灌水稻栽培技术已在疆内外建立示范合作点 12 个。推广区域包括疆内的伊犁、昌吉、奎屯、阿勒泰、库尔勒、石河子、乌苏及疆外的江苏南通、黑龙江农垦、辽宁铁岭、安徽蚌埠、内蒙古赤峰、河南漯河等地，经示范种植普遍产量在 $7\,500\text{ kg/hm}^2$ 以上，比当地水田种植水稻效益增加 $2\,250\sim 3\,000\text{ 元/hm}^2$ 。滴灌小麦和膜下滴灌玉米栽培技术已在新疆全面推广应用，在疆外的河南漯河、山东东营、陕西渭南、辽宁铁岭、甘肃张掖、内蒙古赤峰等地建立 9 个示范合作点，比当地常规灌溉增加效益，小麦为 $1\,800\sim 2\,250\text{ 元/hm}^2$ ，玉米为 $3\,000\sim 3\,750\text{ 元/hm}^2$ ，推广面积超过 300 万 hm^2 。

本书以新疆天业（集团）有限公司为核心的新疆农业科研团队在主要粮食作物高效节水、优良品种选育、精准施肥制度、生态环保栽培方法等关键技术研发过程产生的科研论文为素材，汇集了新疆天业（集团）有限公司、新疆农垦科学院、石河子大学以及新疆生产建设兵团各师农业科学研究所主要粮食作物最新科研成果。全书以学术论文形式呈现，重点介绍主要粮食作物品种选育特性、抗旱节水原理、增产增效机制、创新的栽培模式、作物品质持续提升机理、降低污染和能耗原理，力求科学性、先进性、实用性和可操作性。

本书的出版得到国家“863”课题、中国博士后创新基金、国家中小企业创新基金、新疆兵团博士资金专项、新疆兵团科技领军人才项目、新疆兵团科技特派员项目、新疆兵团第八师科技基础条件平台建设等科研项目的资助。新疆生产建设兵团各师农业科技机构，新疆维吾尔自治区一些地区

农业技术推广站、疆内外高校和农业科研院所、中国农业出版社等单位对本书撰写提供了宝贵资料和修改建议，在此一并表示感谢。

本书通用性很强，可作为高等院校农业类专业师生教学参考用书，也可用于适宜滴灌粮食作物种植的指导用书。希望本书的出版能为广大读者带来粮食作物种植的新思路、新方法和新理念，也希望农业生产部门结合本地种植习惯，在其他作物种植技术方面有所创新和提升。

由于时间仓促和作者水平有限，书中难免存在一些问题和不足，恳请广大读者提出宝贵意见，以便修订时改进。

编 者

2017年4月

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

第一部分：膜下滴灌水稻..... 1

膜下滴灌水稻栽培技术对降低甲烷气体排放以及化肥、 农药施用污染的探讨	3
不同促根剂对膜下滴灌水稻生理性状及产量的影响	10
不同灌溉方式对水稻叶片生理特性的影响	18
膜下滴灌水稻 SPAD 与农艺性状、LAI 与产量的 相关性分析	28
不同播期对膜下滴灌水稻品种生长特性、产量和 品质的影响	35
硅肥对膜下滴灌水稻生长发育及产量的影响	47
不同灌溉方式和施氮量对膜下滴灌水稻生长及 氮素利用效率的影响	57
膜下滴灌水稻磷肥施用方法试验研究	67
磷肥施用方法对滴灌水稻产量、养分吸收及运移的影响	75
灌水量对膜下滴灌水稻土壤水盐分布及产量的影响	83
灌水频率对膜下滴灌水稻土壤水盐分布及产量的影响	94
不同栽培模式下水稻各生育期光合生理指标的比较研究	106

滴灌和淹灌栽培模式下水稻光合生理、荧光参数及 产量构成因素分析	130
膜下滴灌和淹灌两种栽培模式下水稻光合生理特性的研究 ...	157
水稻种子芽期抗旱性与产量抗旱系数关系分析	176
第二部分：滴灌小麦	189
北疆滴灌冬小麦平衡施用氮磷效应研究	191
氮磷配比对滴灌小麦产量及养分利用效率的影响	201
小麦胚乳 A 型、B 型淀粉粒分离纯化方法研究	211
小麦胚乳 A 型、B 型淀粉粒理化特性研究	221
小麦胚乳 A 型、B 型淀粉粒发育特征及黏度特性	236
小麦胚乳 A 型、B 型淀粉粒粒度分布与晶体特性 相关性研究	252
NO 和水孔蛋白在小麦种子萌发中的互作效应	267
杂交小麦垦冬杂 1 号在新疆天业示范与应用	279
第三部分：膜下滴灌玉米	285
北疆膜下滴灌玉米氮磷配施效应研究	287
新疆膜下滴灌玉米技术推广与应用	295
新疆地区膜下滴灌玉米矮、密关键栽培技术研究	302
高纬度高海拔新疆阿吾斯奇地区极早熟玉米引种试验	308
振农高粱玉米在新疆奎屯地区的生理性状研究	313
青枯病对不同玉米品种产量的影响	318

第一部分：

膜下滴灌水稻

膜下滴灌水稻栽培技术对降低甲烷气体排放以及化肥、农药施用污染的探讨

摘 要：通过对当前传统水稻栽培技术对甲烷气体排放以及化肥、农药施用后造成环境污染的现状分析，发现采用膜下滴灌水稻栽培技术能够有效降低甲烷气体排放，减少施用化肥、农药对环境的污染，其污染显著小于传统水稻栽培技术造成的污染；同时发现，膜下滴灌水稻比传统水稻在节水、增产方面有明显优势。

关键词：水稻；栽培；膜下滴灌；甲烷排放；化肥；农药；环境污染

引言

中国是世界最大的水稻生产国和消费国，占世界水稻种植面积的 23%，产量占全球水稻总产量的 38%。国际水稻研究所（IRRI）Latin 报道，甲烷在大气中的浓度远小于二氧化碳，但是其致暖效应比二氧化碳大 30 倍，每年它向大气的释放量为 5 亿 t，其中 20% 来自稻田^[1]。20 世纪 80 年代末，国外学者以极其有限的实验室数据推断中国水稻田甲烷年排放量为 0.30 亿 t，占世界稻田年排放总量的 27%，这一缺乏科学根据的数值给我国环境外交带来不可估量的负面影响。据联合国粮农组织统计，2010 年我国化肥和农药的消费已占世界总量的 31%，远高于谷物生产量占世界谷物总产量的份额（19.1%），是世界上化肥、农药第一大消费国，同时也是化肥、农药第一污染大国^[2]，目前，我国水稻生产中肥料用量大、施肥方法不合理、施肥技术落后，农药

施用量大、高残留比例大,大量化肥及农药在稻田施用造成了肥料径流污染、地下水源污染和甲烷等温室气体排放^[3,4]。世界各国在水稻种植上减少化肥、农药污染方面做了大量工作,通过研究认为水稻旱作能有效地减少肥料径流污染和地下水源污染,但产量较低是限制其推广的一个瓶颈^[5]。新疆天业(集团)有限公司经过8年试验,研究出膜下滴灌水稻栽培的新方法,已获国家发明专利,改变了“水稻水作”的传统种植方式,实现了水稻全生育期田间无水层。2009年,膜下滴灌水稻栽培开始大田示范,2011年,示范面积60 hm²,膜下滴灌水稻种植比新疆传统水稻种植节水60.7%、节肥10.4%,有利于减少甲烷温室气体的排放,减少化肥和农药对环境的污染,是一种高产兼生态环境友好型的栽培方法。

1 传统水稻甲烷气体排放以及化肥、农药污染状况

1.1 稻田甲烷气体排放研究状况

稻田甲烷的传输主要有3个途径,即植物体的通气组织、水层冒泡和水体液体的扩散,它主要受植株生长状态、气温和水田的持水时间等因子的影响^[6],通过根系吸收由植株释放到大气中的甲烷占稻田总释放量的80%左右^[7]。而曹云英等研究表明,水稻根系长期在水层厌氧条件下会主动吸收甲烷,然后通过地上部分的茎、叶和穗等器官的气孔排放到空气中,这种方式排放的甲烷总量占3个途径的55%左右^[8]。

稻田土壤的质地是影响甲烷排放的一个基本因素。Sass等认为土壤质地越黏,向大气中排放的甲烷量越高,建立水层的淤泥种水稻是导致甲烷大量排放重要因素^[9]。国际水稻研究所认为,当稻田土壤淹水后,理化性状发生重大变化,氧化还原电位(E_h 值)急剧下降,当 E_h 值低于-150 mV时,稻田将会产生大量甲烷气体^[10]。

水稻田的水肥管理同样也影响着甲烷的释放。曾有研究指出,

在水稻生长季甲烷释放量有 3 个高峰期。①分蘖期。有机物的分解产生是主导因素。②幼穗分化至孕穗期。可能与气体输送的效率、根部系统的迅速发展以及根部的渗出物及根部的落叶有关。③灌浆成熟期。可能与根部有机物的腐烂有关^[11,12]。

Schatz 研究结果表明, 如果将 200 kg/hm^2 尿素深施到 20 cm 的土层, 甲烷释放量甚至会减少; 如果在空白区的表层施 200 kg/hm^2 尿素, 可以观测到甲烷释放量的大幅度增加^[13]。

此外, 王增远等指出, 单位产量稻谷所排放甲烷总量, 水田是旱田的 2.6 倍^[14]。水稻分蘖末期的搁田以及灌浆成熟期的干湿交替乃至脱水, 是我国传统水稻普遍采用的一种高产栽培措施, 它可以抑制稻田甲烷的产生和释放, 降低其释放速率。

1.2 稻田化肥污染研究状况

长期以来, 人们习惯于大量施用氮、磷、钾等化学肥料以获取作物高产, 在水稻上的施用尤为显著。由于淹灌水田化肥利用率较低, 未被水稻吸收利用的大量化肥沉积在土壤中, 给环境造成很大污染^[15]。研究表明, 过量施入稻田的氮、磷、钾等化学元素造成的污染主要有 2 个方面。①在稻田水层的长期压力下, 污染源会被压入地下水层, 进而污染地下水源。②氮、磷、钾等化学元素通过降水造成地表径流和排水降渍的地下暗管流途径流入江河水体, 从而造成水体的富营养化污染^[16]。据不完全统计, 我国水稻种植氮、磷流失几乎占到了整个水稻生育期施肥的 $50\% \sim 60\%$, 给环境造成了巨大的危害^[17]。

1.3 稻田农药污染研究状况

为了防治稻瘟病、纹枯病等水稻常发病害, 人们常通过叶片喷施和向水层撒施粉剂的方法控制病害。然而长期的农药施用会造成稻田水层的污染, 排放后会通过地表径流污染到江河水源, 而被水层压下去则会污染地下水源, 还会被植株富集到水稻籽粒中^[18]。此外, 叶片喷施农药过程中会向大气释放大量的气溶胶, 造成近

地面空气的重度污染^[19]。据报道,我国每年大约有 50% 的稻田被农药重度污染,约 30% 的被中度污染,20% 的属于轻度污染^[20]。

2 膜下滴灌水稻栽培技术降低甲烷气体排放和化肥、农药污染的分析

2.1 膜下滴灌水稻减少甲烷气体排放量分析

膜下滴灌水稻栽培技术全生育期无水层,通过滴灌这种方式对水、肥等进行精确调控,使水稻处于最适宜的土壤环境和生长环境。膜下滴灌水稻栽培减少甲烷气体排放主要在 3 个方面。①膜下滴灌水稻栽培无水层存在将不会形成厌氧环境,使甲烷细菌没有滋生的环境,减少了水稻植株从土壤中吸收甲烷,同时也减少了水层冒泡和水体液体排放甲烷气体。通过新疆天业农业研究所长期测定,膜下滴灌水稻与常规水稻栽培相比可减少甲烷气体排放 70.6%。②膜下滴灌水稻栽培改变了土壤的质地,通气性好,其氧化还原电位(E_h 值)长期处于高位水平,很难产生甲烷气体。③膜下滴灌水稻栽培生育期需水、需肥量可控可调,能有效地在甲烷排放高峰期进行水肥调控,减少水肥投入 20.5% 左右,进而有效减少甲烷排放量。

2.2 膜下滴灌水稻降低化肥污染分析

膜下滴灌水稻栽培彻底改变了稻田土壤长期淹水状态,土壤的氧化还原电位和通透性显著提高,不仅有利于水稻根系生长发育,还有利于提高好氧微生物的活性,促进土壤有机质和氮、磷、钾等化学肥料的分解和养分吸收的有效性。膜下滴灌水稻栽培降低化肥污染主要表现在 3 个方面。①通过滴灌随水施肥,水肥耦合机理提高了肥料利用率 10.4%,又可根据水稻不同生育期的需肥规律调整施肥量,从而降低了化肥施用量,这将有利于从源头上降低化肥污染。②膜下滴灌水稻全生育期不建立水层,化肥施入土壤耕作层

后被水稻根系吸收，因水层不存在，将不易造成地下水污染。③地膜覆盖使土壤温湿度适宜，通透性好，土壤微生物增加，活性增强，可加速对有机质分解和转化，从而提高肥料利用率，降低化肥对土壤的污染。

2.3 膜下滴灌水稻降低农药污染分析

膜下滴灌水稻栽培技术，不仅能较强地抑制杂草和水稻病害的发生，还有降低农药污染的作用，因为地膜覆盖后，水稻地上部分失去了高湿这种利于细菌和真菌生长和传播的环境；再加上新疆气候干燥少雨，抑制了病害的发生与传播，农药用量降低。膜下滴灌水稻栽培技术主要在 2 个方面减少了农药对环境的危害。①膜下滴灌施药可以通过滴灌随水滴施到膜下，多余的农药可被耕作层大量的微生物降解，既减少了农药挥发污染，也减少了下渗污染地下水源的概率。通过新疆天业农业研究所常年调查研究，该栽培方法可降低农药残留 55.8% 左右。②在农药进行植株喷施过程中，多余的农药会被吸附到地膜上（土地 80% 被地膜覆盖），减少农药挥发所造成的空气污染。

3 膜下滴灌水稻栽培技术增产原因及经济效益分析

通过试验、示范，初步认为膜下滴灌水稻增产原因主要有以下几个方面，增产机理则有待进一步深入研究。①膜下滴灌水稻真正实现了浇苗不浇地，加上覆膜技术，能防止淹灌造成土壤板结与硬化，创造了有利于水稻生长发育的土壤环境。②膜下滴灌水稻栽培不起垄，比传统水稻田增加了土地利用效率 10%~15%，可提高产量 10% 左右。③膜下滴灌技术在水分、养分上可以精确控制用量，可根据水稻不同生育期的水分、养分需求规律进行随时供给，使水稻生长在养分、水分需求上达到最适宜的状态，进而提高水稻单产。2011 年 10 月，由新疆生产建设兵团科技局组织的专家进行了产量鉴定，1.3 hm² 田块的平均产量为 10 933.5 kg/hm²，高产点为 12 045 kg/hm²。

通过膜下滴灌水稻技术的应用将产生一定的经济效益。①提高土地利用率 10%~15%。②提高肥料利用率。肥料利用率较常规灌溉施肥平均提高 10%以上,节肥 10%以上。③提高机械化程度和人均管理定额。膜下滴灌水稻技术实现了水稻旱作铺管、铺膜、精量播种一体机械作业有机结合,有效地减少育秧、插秧、撒肥、药物防治等多个重要的栽培管理环节,田间人均管理能力提高两倍。④节水增效。节水 60%以上,该技术每公顷仅成本就可节约 2 400 元。

4 结论

膜下滴灌水稻栽培技术是全新尝试,经过新疆天业(集团)有限公司近年的试验和示范,逐渐得到专家的认可。膜下滴灌水稻栽培技术可以大幅度地提高水肥利用率,改变传统水稻田的施肥、施药方式,显著减少甲烷气体排放量、降低肥料和农药对环境造成的危害。在产量上,膜下滴灌水稻栽培也比传统水稻栽培具有增产优势,应进一步示范推广。

膜下滴灌水稻栽培技术有利于减少灾害性天气对水稻生产的影响,同时降低水稻生产对水资源的需求,缓解用水的供求矛盾,保障粮食生产安全,有利于调整农业产业结构,提高农民收入。

参 考 文 献

- [1] 王明星,戴爱国,黄俊. 中国甲烷排放量的估算 [J]. 大气科学, 1993, 17 (1): 52-64.
- [2] 吴敬民,许学前,姚月明. 基肥不同施用方法对水稻生长及稻田周围水体污染的影响 [J]. 土壤通报, 1999, 30 (5): 232-234.
- [3] 焦少俊,胡夏民,潘根兴,等. 施肥对太湖地区青紫泥水稻土稻季农田氮磷流失的影响 [J]. 生态学杂志, 2007, 26 (4): 495-500.
- [4] International Rice Research Institute. IRRI Toward 2000 and Beyond [R]. Manila: IRRI, 1989.
- [5] 程旺大,赵国平,张国平,等. 水稻节水栽培的生态和环境效应 [J]. 农

业工程学报, 2002, 18 (1): 191 - 194.

- [6] 王明星. 大气化学 [M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [7] Holzapfel-Pschorn A, Conrad R, Seiler W. Effect of vegetation the emission of methane from submerged paddy soil [J]. Plant and Soil, 1993, 92: 223 - 233.
- [8] 曹云英, 许锦彪, 朱庆森. 水稻根系对甲烷传输速率的影响 [J]. 安徽农业科学, 2003, 31 (1): 90 - 92.
- [9] Sass R L. Methane emission from rice field as influenced by solar radiation, temperature, and straw incorporation [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1991 (4): 335 - 350.
- [10] Minami K. Effect of agricultural management on methane emission from rice paddies [A]. SCOPE/IGBP Workshop on trace gas exchange in a global Prospective [C]. Sweden: Internet Biosphere-Ceosphere Prog, 1990.
- [11] 彭少兵, 黄建良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, 35 (9): 1095 - 1103.
- [12] International Rice Research Institute. IRRI studies of rice field methane in global climate change [R]. Manila: IRRI, 1991.
- [13] 张自常, 孙小淋, 陈婷婷, 等. 覆盖旱种对水稻产量与品质的影响 [J]. 作物学报, 2010, 36 (2): 285 - 295.
- [14] 王增远, Wassmann R. 稻田 CH_4 排放及控制技术的研究 [J]. 作物学报, 2001, 27 (6): 757 - 768.
- [15] 高超, 张桃林, 吴蔚东. 不同利用方式下水田土壤对磷吸持与解吸特征 [J]. 环境科学, 2001, 22 (4): 67 - 72.
- [16] 张大弟, 陈佩音, 支月娥. 上海市郊 4 种地表径流及稻田水中的污染物浓度 [J]. 上海环境科学, 1997, 16 (9): 4 - 6.
- [17] Hector M, Carlos E, Noemi R. Agricultural wastes [J]. Water Environment Research, 1998, 70 (4): 601 - 620.
- [18] 盖颜欣, 高立起, 崔立红, 等. 节水无公害水稻栽培技术要点 [J]. 北方水稻, 2010, 40 (3): 52 - 57.
- [19] 姜勇, 梁文举, 闻大中. 免耕对农田土壤生物学特性的影响 [J]. 土壤通报, 2004, 35 (3): 347 - 351.
- [20] 宋淑然, 王卫星, 洪添胜, 等. 水稻田农药喷雾上层植株雾滴截留影响的实验研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19 (6): 114 - 117.