

固定道保护性耕作技术 原理与实践

王晓燕 李洪文 编著



中国农业科学技术出版社

固定道保护性耕作技术 原理与实践

王晓燕 李洪文 编著

图书在版编目(CIP)数据

固定道保护性耕作技术原理与实践 / 王晓燕, 李洪文编著. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2009. 8
ISBN 978 - 7 - 5116 - 0015 - 8

I. 固… II. ①王…②李… III. 资源保护 - 土壤耕作 IV. S341

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 154709 号

责任编辑 冯凌云
责任校对 贾晓红

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) 82106630 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)
(010) 82109703 (读者服务部)
传 真 (010) 82106636
网 址 <http://www.castp.cn>
经销者 新华书店北京发行所
印刷者 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 11. 625
字 数 200 千字
版 次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷
定 价 25. 00 元

版权所有 · 翻印必究

《固定道保护性耕作技术原理与实践》

编 委 会

主 编：王晓燕 李洪文

副主编：张 进 古润生

主 任：高焕文 李洪文

副主任：王晓燕 李问盈

编 委：（以姓氏笔画为序）

王庆杰 邓 健 古润生 石振平

何 进 张 进 张学敏 张喜瑞

陈 浩 贾邵辉 黄 虎 曹连生

韩战省 景希森 廖植樨

前 言

保护性耕作技术是对农田实行少耕、免耕，并用作物秸秆覆盖地表，以减少风蚀、水蚀，提高土壤肥力和抗旱能力的先进农业耕作技术。通过少耕、免耕和地表生物覆盖，能有效增加土壤水分，改善土壤团粒结构，减轻土壤侵蚀和减缓土地退化。保护性耕作技术在我国北方地区大面积的推广，有效地缓解了农业发展存在的问题。

随着机械化水平的提高，农机具重量不断增加，土壤压实逐渐成为一个世界性的问题。土壤压实破坏土壤结构，降低作物产量，加剧土壤退化。为此，澳大利亚、美国、英国和德国等发达国家开始了固定道耕作技术的尝试，其主要思想是将拖拉机行驶带和作物生长带分离开来，在田间建立永久的拖拉机行走道。这种耕作系统能够消除农机具作业对作物生长带土壤的压实作用。

随着保护性耕作和固定道技术的发展，研究人员逐渐将固定道系统和保护性耕作系统结合起来，形成固定道保护性耕作技术，从而充分发挥两种技术的优势，促进农业的可持续发展。国外研究表明，固定道保护性耕作能够改善作物生长、土壤结构，减少能量投入、物质投入和对环境的影响，提高农田机具作业的适时性，因而是一种可持续的农业生产体系。

由于作物种植行距不同、以中小马力机具为主要特点，使我国固定道保护性耕作的研究有别于发达国家以大型机具为主、高度机械化的农业生产体系。中国农业大学农业部保护性耕作研究中心自 1995 年开始，在保护性耕作试验研究的基础上，在国内开始了固定道保护性耕作的探索性研究。试验了中小机具条件下不同农业类型区的固定道保护性耕作体系，研究已经从北方一年一熟旱作区拓展到华北一年两熟区、西北绿洲灌溉区和东北垄作区等，初步证明了固定道保护性耕作在中国中小机具条件下的适用性，并对固定道保护性耕作的几项子技术进行了研究。

本书主要介绍了固定道保护性耕作的基本原理、国外发展现状，并总结了农业部保护性耕作研究中心在我国北方不同类型区开展的固定道保护性耕作体系的研究实践及取得的经验与成果。

全书共分六章。第一章系统地介绍了固定道保护性耕作的概念、作业原理、主要技术模式和国内外研究现状；第二章至第四章分别总结了在北方一年一熟区、一年两熟区和西北干旱灌溉区已经开展固定道保护性耕作体系试验的成果，分析了不同类型区的生产特点，研究设计了固定道保护性耕作的技术模式与配套装置，从土壤保护、节水、作物生长及产量等方面总结了试验效果；第五章介绍了固定道保护性耕作节能减排效果试验取得的初步成果；第六章对固定道保护性耕作的应用前景及研究重点进行了展望。

本书可以作为广大农业、环保及保护性耕作技术研究人员、推广人员等的学习与参考书籍，也可以作为各级领导、科学技术工作者了解固定道保护性耕作技术的参考。

本书第一章、第二章、第五章由王晓燕编写，第三章由陈浩编写，第四章由何进编写，第六章由李洪文编写。王晓燕、李洪文统稿。廖植樾教授对书稿进行了认真的审定，在此表示衷心感谢！

全书实例分析内容主要基于农业部保护性耕作研究中心多年的研究资料，是中心全体成员多年实践研究成果的总结，书中部分内容还参考了澳大利亚、美国及欧洲相关专家的技术成果。中心的教师和研究生及各试验基地的同仁均为相关研究做出了贡献，本书在编写过程中得到了大家的大力帮助与支持。

固定道保护性耕作技术的研究与应用在我国起步较晚，目前的试验研究时间有限，有些观点仍处于学术争论中。由于水平所限，书中偏颇疏漏之处在所难免，诚望读者和专家给予谅解，并不吝批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第一章 固定道保护性耕作的作业原理与发展	(1)
第一节 固定道保护性耕作的概念	(1)
第二节 固定道保护性耕作的主要技术模式	(4)
一、固定道喷药系统	(4)
二、固定道保护性耕作	(5)
三、固定道垄作技术	(6)
第三节 国外固定道保护性耕作技术研究现状	(9)
一、澳大利亚	(10)
二、欧洲	(11)
三、美国	(12)
四、其他国家	(12)
第四节 国内固定道保护性耕作的研究基础	(13)
一、北方一年一熟区固定道保护性耕作试验	(13)
二、北方一年两熟区固定道保护性耕作试验	(14)
三、西北绿洲灌溉区固定垄保护性耕作试验	(14)
四、东北垄作区固定垄保护性耕作试验	(15)
主要参考文献	(15)
第二章 北方一年一熟区固定道保护性耕作研究	(19)
第一节 一年一熟区固定道保护性耕作技术模式设计	(19)
一、试区自然条件	(19)
二、技术模式设计	(20)
第二节 冬小麦固定道保护性耕作试验效果	(26)
一、土壤水分和容重	(26)
二、作物生长及产量	(33)
三、水分利用效率	(37)
四、经济效益	(38)

第三节 春玉米固定道保护性耕作试验效果	(38)
一、土壤水分	(39)
二、土壤容重	(45)
三、作物产量	(47)
四、水分利用效率	(49)
第四节 固定道保护性耕作的水土保持效果	(50)
一、自然降水试验	(51)
二、降雨模拟试验	(54)
第五节 一年一熟区固定道保护性耕作试验效果总结	(60)
主要参考文献	(61)
第三章 北方一年两熟区固定道保护性耕作研究	(62)
第一节 北方一年两熟区固定道保护性耕作技术体系	(62)
一、北方一年两熟区农业生产存在的问题	(62)
二、北方一年两熟区固定道保护性耕作技术体系设计	(63)
第二节 北方一年两熟区固定道保护性耕作技术关键机具	(68)
一、北方一年两熟区固定道保护性耕作机器系统研究现状	(68)
二、小麦—玉米通用固定道免耕播种机的设计	(69)
三、小麦—玉米通用固定道免耕播种机的性能试验	(75)
第三节 北方一年两熟区固定道保护性耕作试验效果	(78)
一、土壤特性	(78)
二、水分特性	(81)
三、作物特性	(86)
第四节 北方一年两熟区固定道保护性耕作的经济效益	(92)
一、成本分析	(92)
二、经济效益分析	(94)
三、能量投入与产出分析	(96)
主要参考文献	(100)
第四章 西北干旱灌溉区固定道保护性耕作研究	(101)
第一节 西北干旱灌溉区存在的问题	(101)
第二节 西北干旱灌溉区固定道保护性耕作体系试验设计	(105)
一、试验点条件	(105)
二、技术模式及试验设计	(105)

目 录

三、配套机具	(107)
四、试验测试内容	(114)
第三节 西北干旱灌溉区固定道保护性耕作试验效果	(115)
一、节水效应	(115)
二、土壤特性	(123)
三、作物生长及产量	(129)
第四节 固定道保护性耕作的经济效益	(136)
一、生产成本分析	(136)
二、经济效益分析	(138)
第五章 固定道保护性耕作节能减排效果研究	(140)
第一节 田间作业能耗组成	(140)
第二节 固定道保护性耕作能耗分析及试验方案设计	(143)
一、试验设计	(143)
二、试验仪器与方法	(144)
第三节 固定道保护性耕作田间阻力分析	(149)
一、滚动阻力	(149)
二、机具工作阻力	(151)
三、机组总牵引阻力	(155)
第四节 固定道保护性耕作机具作业油耗分析	(156)
一、夏玉米机器作业油耗	(156)
二、冬小麦机器作业油耗	(159)
三、年作业周期总油耗	(162)
第五节 固定道保护性耕作拖拉机尾气排放试验	(164)
第六节 固定道保护性耕作节能减排效果总结	(166)
主要参考文献	(167)
第六章 固定道保护性耕作应用及研究展望	(169)
第一节 应用前景及限制因素	(169)
第二节 研究重点展望	(171)
一、国际上固定道保护性耕作的研究重点	(171)
二、固定道保护性耕作在中国的研究重点	(173)
主要参考文献	(174)

第一章 固定道保护性耕作的作业原理与发展

第一节 固定道保护性耕作的概念

整地、播种、植保、收获等机械化作业都会影响水分利用效率和作物产量。机械化作业的明显优势，如可以提高作业的适时性等，已经得到普遍认可；在过去的 30 年当中，人们逐渐认识到机械化技术对秸秆处理的作用。但是，在机械化作业中，机器对土壤的压实危害却被忽视或是未能得到广泛认识。

随着机械化水平的提高，农机具重量不断增加，土壤压实已逐渐成为一个世界性的问题^[1]。土壤压实破坏土壤结构，降低作物产量，加剧土壤退化。例如，土壤压实导致澳大利亚昆士兰和新南威尔士州棉花和西部小麦产区 30% 的面积减产^[2,3]，导致欧洲 3 300 万 hm^2 土地退化。欧盟将土壤压实定义为一种严重的土壤退化形式^[4]。

保护性耕作技术是对农田实行少耕、免耕，并用作物秸秆覆盖地表，以减少风蚀、水蚀，提高土壤肥力和抗旱能力的先进农业耕作技术。通过少耕、免耕和地表生物覆盖，能有效增加土壤水分，改善土壤团粒结构，减轻土壤侵蚀和减缓土地退化，保护性耕作在我国北方地区大面积的推广，有效地缓解了农业发展存在的问题。

在平作、免耕的保护性耕作系统中，拖拉机和农机具在田间任意行走，如果将播种、植保收获、运输等所有作业工序累加，土壤压实面积累计可达到 100%。因此，多年免耕后也会造成土壤的严重压实^[5,6]（图 1-1，图 1-2）。Hilfiker^[7] 和 Lamers^[8] 的试验表明，因拖拉机和作业机具任意行驶造成土壤的压实，减少了土壤孔隙度，使得压实区域作物根系密度比非压实区域减少 52%，根系长度缩短 40%~50%，从而造成作物减产。

试验表明，土壤压实的危害主要为：①压实降低土壤孔隙率、降低土壤持水能力，水分渗透率显著下降，增加径流，土壤侵蚀加剧^[9,10]；②压实破

坏土壤结构，降低土壤微生物的生物量和活性，减少土壤动物数量^[11]；
③压实增加了土壤强度和渗透阻力，阻碍根系的正常生长，降低了作物对水分和养分的吸收，限制了作物地上部分的生长发育，导致产量下降^[12]；
④土壤机械阻力增加，作业能耗增加，经济效益降低。



图 1-1 拖拉机压实



图 1-2 土壤随机压实

由于保护性耕作普遍采用的深松技术不足以完全消除土壤压实所带来的负面影响，因此，澳大利亚、美国、英国和德国等发达国家开始了固定道作业技术的研究^[13]。固定道作业系统的主要思想是将拖拉机行驶带和作物生长带分离开来，在田间建立永久性的拖拉机行走道（图 1-3）。这种耕作系统能够消除机具作业时机器行走系统对作物生长带土壤的压实作用，改良土壤的结构，同传统耕作相比，能节省 50% 的能源消耗，减少作业成本，提高 10% 左右作物产量^[14,15]。随着保护性耕作和固定道技术的发展，研究人员逐渐将固定道系统和保护性耕作系统结合起来，形成固定道保护性耕作技术，从而充分发挥两种技术的优势，促进农业的可持续发展。



图 1-3 固定道保护性耕作系统

固定道保护性耕作技术的特点是：①机器行走系统在固定的车道上行驶，车道上不种植作物；②作物生长带不被车轮压实；③作物收获后，用作

物残茬覆盖地表，不进行翻耕作业，土地在覆盖状况下度过休闲期；④采用多种方法控制杂草^[16,17]。

固定道耕作技术采用了适当的农艺和管理方法，使生长作物和车轮轨道区域土壤的潜能达到最大。在实际作业时，这意味着每一次作业都重复使用相同的车轮轨道，所有机具都有相同的车轮轨道距离（左右车轮中心线的距离），以及所有的作业都具有特殊的作业幅宽（即，基本幅宽）或者是基本幅宽的整数倍。

图 1-4 表明了一个典型的具有播种、收获和喷药作业的固定道作业系统^[18]，其基本幅宽（Base Module）为 9m，化学喷药作业幅宽为基本幅宽 3 倍（27m），车轮轨道（3m track width）的距离是 3m。

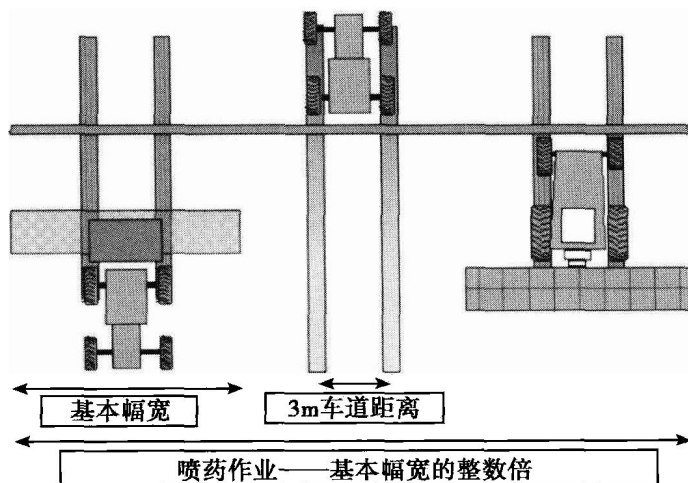


图 1-4 固定道保护性耕作机具幅宽和轮距匹配

研究表明，固定道保护性耕作的主要优点是：①减少土壤压实，防止土壤侵蚀，改善作物生长区土壤结构，增加水分入渗，从而提高产量；②减小农具耕作阻力和改善车轮附着性能，提高作业效率，减少机器作业能耗；③进一步完善保护性耕作方式，实现真正意义上的少耕、免耕，形成新的可持续耕作体系；④有利于农田作业的精密化、自动化和发展设施农业^[19~21]。固定道保护性耕作技术是一项高效节能、保土、增产的技术，有利于农业的可持续发展。

第二节 固定道保护性耕作的主要技术模式

固定道是一种作物生产体系，作物区与车辆行驶道路明显分开、永久分离。如果固定道作业时机具幅宽匹配困难，也会在车道内种上作物，称之为多幅宽固定道系统，这表明固定道作业系统仍处于初级阶段，仍然存在许多的挑战，如机器幅宽与固定道间距匹配、测量和整合等。

一、固定道喷药系统 (Tramlines)

20 世纪中期，欧洲出现了“Tramlines”系统（意为“有轨作业”），并设计出了配套的 Dowler (1977) 产品及其他门架式作业机 (Gantry)。该系统发明的最初目的主要为沿车道 (Tramlines) 作业的高效宽幅喷药机提供导向，而不是出于保护土壤的目的，也不将车道与作物永久分离，Tramline 位置有可能在每年重新播种后有所变化，所以只能被看做是“相对固定”的车道。车辆行驶道一般不播种 (图 1-5)，但如果裸露车道上的土壤流失严重，有时也种植作物，称之为“模糊的”、“播种的”或“长草的”固定道 (Fuzzy Tramlines) (图 1-6)^[22]。

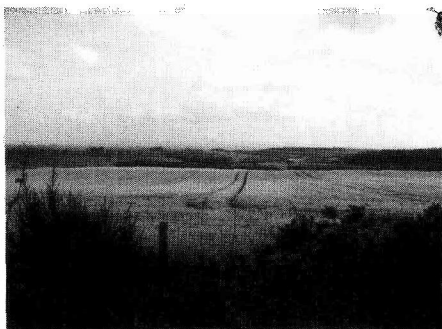


图 1-5 固定道喷药 (Tramlines)



图 1-6 模糊固定道 (Fuzzy Tramlines)

Paul Blackwell 等在澳大利亚西澳农业部试验了模糊固定道作业技术，表明该技术具有增加产量，控制杂草和侵蚀的优点。

模糊固定道作业技术的出现是源于一个意外的科学发现，它的概念来自于 1999 年的一次试验，在喷药作业时意外地将种子播在了行驶道上。随后将此项技术在更大范围内试验，种子通过一根位于框架或车轮前的种管从 800mm 高的地方通过气流吹到行驶道上，然后通过车轮将种子辗进表土。

Paul Blackwell 报道说,“行驶道上小麦的产量大约是其车轮未压区域产量的一半”。虽然一半可能听起来不是很多,但这比没有产量要好。在西澳大利亚的砂质土壤能够正常实现这一技术,试验结果表明采用模糊固定道系统的整个农场具有更高的总产量利润,与行驶道不播种的作业系统相比,每公顷能增加 15 美元的收入。通过模糊固定道可以减少土壤侵蚀,并且模糊固定道的作业方式可以不需要进行车道的杂草控制。试验表明,模糊固定道耕作系统也存在问题,即与行驶道不播种相比,在进行气吹或撒播播种时,模糊固定道作业时相对较难。

二、固定道保护性耕作 (Controlled Traffic Conservation Tillage)

机械化保护性耕作具有增加土壤蓄水、提高水分利用率、减缓土壤退化、降低成本投入等多种优点。机具压实破坏土壤结构,降低水分入渗性能,对保护性耕作的推广应用产生很大的负面影响。压实问题在国外高度机械化的大型农场尤其突出,严重地影响了播种、出苗及作物生长,我国普遍使用的中小型拖拉机及联合收获机等造成的压实也对作物生产有很大危害。为解决这一问题,需要探索新的保护性耕作体系,固定道耕作法有望成为解决这一问题的有效方法。

采用固定道作业法,车轮行走在固定的车道上,可以减少甚至避免对作物生长带土壤的压实,改善作物生长带的土壤物理性状;而且拖拉机只压实固定的车道,既可以增加附着力,也可以免去用于疏松被压实土壤的耕作作业,从而节省能量。固定道保护性耕作是保护性耕作的新发展,是以保护土壤、保证农业可持续发展为主要目标的,有别于前文所述的用于引导喷药作业的固定道喷药系统。

固定道保护性耕作法尤其在澳大利亚应用较广。10 多年前,澳大利亚保护性耕作发展遇到下述问题,发展速度明显下降,有些农民甚至又回到传统耕作。这些问题是:①土壤压实板结。保护性耕作实行免耕、少耕,但机器作业仍不断压实土壤、影响作物生长,不得不又进行耕作来消除压实,除一些砂质土壤外,真正意义上的免耕很难实行。②杂草难以控制。虽然有除草剂和喷雾机,但长满作物的大面积农田里、驾驶员不知机器如何行走。只能凭估计开车的结果是喷雾不重即漏,不仅浪费农药,而且除草灭虫效果不好。现在将保护性耕作和固定作业结合起来(图 1-7),按机器作业幅宽形成固定道作业体系,拖拉机沿固定道行驶即可,土壤压实问题、准确喷药问

题都迎刃而解，实现真正意义上的免耕体系更有基础。



图 1-7 澳大利亚固定道保护性耕作

在澳大利亚，目前有 6m、8m 和 9m 等不同幅宽固定道保护性耕作体系。如 8m 体系，即每 8m 幅宽内留 2 条宽 0.5m 车行道，车行道不种作物，如种小麦（20cm 行距），40 行中少种 4 行小麦，车道占地 10% 耕地，如种玉米、大豆（76cm 行距）基本不占耕地。主要机具有播种机、表土作业机、联合收割机，幅宽均为 8m，喷雾机幅宽为其倍数（如 24m）。在固定道系统内运用保护性耕作法，不仅克服保护性耕作

带来的问题，而且把地块按固定道精密的规划，地块宽是幅宽的倍数，机手按道行驶，不存在接垄不好或播到最后只剩半个幅宽的问题，实现了一定程度上的精密作业。节约油耗 1/3 ~ 1/4，节省农药、除草剂及种子和肥料 10%，提高作业效率。

三、固定道垄作技术（Permanent Raised Beds Farming）

在降雨充足的地区，固定道作业法也称为“固定种床（Permanent Beds）”或“固定道垄作种床（Permanent Raised Beds）”，这种情况下固定道及机具幅宽比较小，利于种床水分快速入渗，是以节约灌溉用水、提高水分利用效率、有利排水、防治土壤盐碱化为主要目标的，也称为“固定道垄作沟灌节水技术”。

固定道垄作沟灌节水技术是相对传统平作、漫灌的一种新型耕作技术，其基本特征是采用沟灌和垄作，它要求并永久保持垄形，在下茬作物播种前，只对垄床进行少量修整，并可通过机械或化学除草、免耕和秸秆覆盖，达到节水、防涝、减少耕作和管理垄床表面残茬的目的。

固定道垄作沟灌节水技术的研究与应用最早开始于墨西哥西北部的雅基河峡谷（Yaqui Valley），在过去的 20 多年内，当地农民为了减少灌溉用水，提高水分利用率，逐渐改变了传统的作业方式，开始将作物种植在垄床上，并通过垄床之间的垄沟进行灌溉，取得了较好的效果。

其种植方式如图 1-8 所示：将作物种植在垄上，灌溉水通过垄沟分布

于田间。垄间距为 70 ~ 100cm，视拖拉机轮距而定，垄上种植 2 ~ 3 行作物，垄高为 12 ~ 20cm。

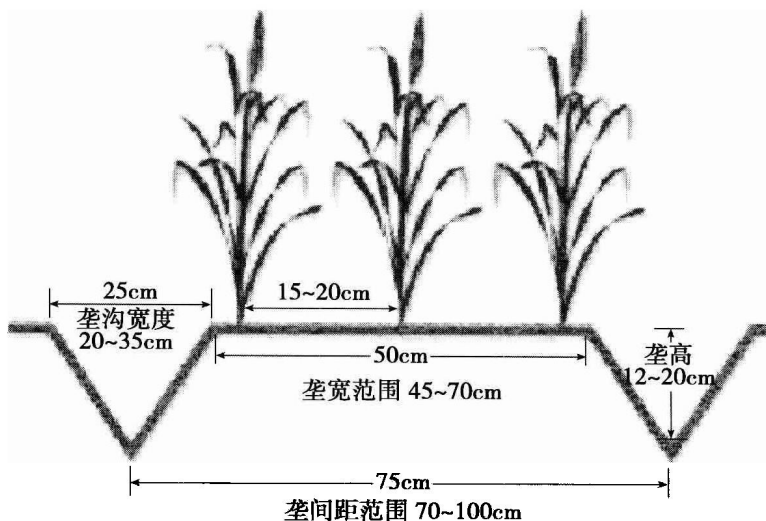


图 1-8 固定道垄作沟灌节水技术种植方式示意图

固定道垄作沟灌节水技术与传统平作漫灌相比，其优点主要表现在以下几个方面：

①节约灌溉用水，提高水分利用率。固定道垄作沟灌节水技术由传统的大水漫灌改为小水沟灌，减少灌溉用水量约 30% ~ 40%，同时采用免耕和秸秆覆盖，减少了径流和蒸发，提高了水分利用率。

②提高了肥料利用率。固定道垄作沟灌节水技术为沟内集中施肥，使施肥深度相对增加 10 ~ 15cm，肥料利用率提高 10% ~ 15%。

③提高了光能利用率，降低了田间湿度。固定道垄作沟灌节水技术将土壤表面由传统平作的平面型改为波浪型，扩大土壤表面积 40% 左右，增加了光的截获量，光能利用率提高 10% ~ 15%。同时也提高了田间的通风透光性能，从而降低了田间湿度，减少了作物各种疾病的发生。

④减少水涝灾害。由于采用沟灌排水，提高了排灌效率，减少了雨季水涝灾害的发生。

⑤通过机械除草，减少对化学除草剂的依赖，减轻农业化学污染。

⑥降低作业成本。由于固定道垄作沟灌节水技术能降低灌溉用水，提高水分和肥料利用率，同时减少了涝灾次数，可降低作业成本。

⑦采用免耕和残茬覆盖,可以改善土壤的结构,增加有机质的含量,同时能减少对水和大气污染,保护生态环境。

该项技术的缺点包括:

①垄形不稳定。降雨和灌溉对垄床表层及边坡有较大的冲击作用,易出现垄边水蚀现象,造成垄形的不稳定性。

②作物人工移植时相对传统平作需要更多时间。

③起垄和修垄时不易保证垄床表面的平整,使得播种不均匀,不利于管理和作物生长。

④垄沟中的杂草控制不易。

这项技术由于在节约灌溉用水,提高水分、肥料利用率和防涝等方面相对传统平作漫灌的作业方式表现出了巨大的优势,因而世界各国尤其是干旱和涝灾比较严重的发展中国家先后开展了固定道垄作沟灌节水技术的研究。到目前,固定道垄作沟灌节水技术的发展主要经历了以下两个阶段:

第一阶段:这一阶段固定道垄作沟灌节水技术的特点可概括为垄作、沟灌和传统耕作方式。作物种植在垄床上,通过垄沟进行沟灌作业。在每季作物收获后,秸秆通常被焚烧,只有一部分玉米和小麦的秸秆被打捆作为草料;同时,在下茬作物播种前,通过几项耕作作业去除原有垄床,并构建新垄。尽管采用了大量耕作,并且焚烧秸秆,但相对于传统平作漫灌作业,该技术可增产,节约灌溉水,减少作业成本。

第二阶段:这一阶段固定道垄作沟灌节水技术的特点可概括为固定垄作、沟灌和保护性耕作(少耕、免耕和秸秆覆盖等)。相对于第一阶段,该技术在继续采用垄作和沟灌的基础上,改变了传统的作业方式,开始将保护性耕作技术引入进来,采用免耕和秸秆覆盖作业,进一步降低了作业成本,提高了投入的利用率,保持了农业生产的可持续性。鉴于固定道垄作沟灌节水技术的以上特点,从1992年开始,国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)的小麦专家和墨西哥的研究人员开始与农民合作,在雅基河峡谷开始了长期的试验研究。目前,此项技术已经在墨西哥、澳大利亚、印度恒河平原(印度、巴基斯坦、孟加拉国、尼泊尔)、中国、伊朗、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、南非、摩洛哥和苏丹等国逐渐推广。

通过国内外研究现状可以看出,固定道垄作沟灌节水技术作为一项高效的节水、保土、增产技术,在世界各国得到了广泛的重视。但由于目前固定道垄作沟灌节水技术在世界各国的发展仍面临着诸多挑战:

①由于自然和历史的原因,固定道垄作沟灌节水技术的研究主要集中在