

固定垄保护性耕作技术

何 进 李洪文 * 编著



中国农业科学技术出版社

本书得到农业部项目“保护性耕作系列机具与关键技

固定垄保护性耕作技术

何 进 李洪文 编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

固定垄保护性耕作技术/何进,李洪文编著. —北京:中国农业科学技术出版社,2009.6

ISBN 978-7-80233-795-4

I. 固… II. ①何…②李… III. 垄作-资源保护-土壤耕作
IV. S341.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第019207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×1092mm 1/16

印 张 12.25

字 数 260千字

版 次 2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

定 价 25.00元

版权所有·翻印必究

《固定垄保护性耕作技术》

编委会

主 任：高焕文

副 主 任：李洪文

编 著：何 进 李洪文

参加编写人员：王庆杰 王晓燕 白玉华

吴红丹 李问盈 张学敏

张喜瑞

统 稿：何 进

主 审：张晋国

前 言

我国干旱、半干旱地区农业生产面临着水资源短缺、耕地资源退化、产量低而不稳、农业经济效益差等问题。只有变革多年来传统耕作的铧式犁翻耕、秸秆移除或焚烧等加剧上述问题的生产模式，才能促进这些地区农业的可持续发展。保护性耕作技术通过采用少、免耕和地表生物覆盖，能改良土壤结构，增强土壤贮水能力，减轻土壤侵蚀和减缓土地退化，有效促进干旱、半干旱地区农业的可持续发展。我国自 20 世纪 90 年代以来，以保护性耕作机具研发为突破口，开展农机农艺结合的保护性耕作技术田间试验研究和机具开发，取得成功，目前这一技术已在我国北方 15 个省市区得到了大面积的应用和推广。

我国北方有 2 亿多亩的灌溉农田，分布在华北、西北等地，高额的设备 and 灌溉成本限制了喷灌、滴灌等节水灌溉方式的发展与应用，传统高耗水的漫灌仍旧是主要的灌溉模式。保护性耕作技术应用的难点是在改良土壤结构、提高作物产量的同时，能降低灌溉成本，提高水分利用效率。我国的农业科研人员在长期田间试验的基础上，通过将免耕、秸秆覆盖、沟灌、固定道和垄作等相结合，丰富和发展了保护性耕作技术，形成了适合我国灌溉区农业生产的固定垄保护性耕作技术。这一新型技术的基本特征是采用固定垄沟灌和垄作，将作物生长带和车轮行驶带永久分离，作物种植在垄床上，机具车轮只在垄沟内行驶，灌水也只在垄沟中进行，通过侧渗满足作业需水要求。该技术要求永久保持垄床，只在下茬作物播种前，对垄进行少量修整，并通过免耕、秸秆覆盖等技术达到节水、减少耕作和管理垄面作物残茬的目的。到目前为止，墨西哥、澳大利亚、印度恒河平原等国家和地区已经大面积应用固定垄保护性耕作技术，成为灌溉农业区的主体耕作体系。

我国固定垄保护性耕作技术的研究整体来说还处于起步阶段，但在西北一年一熟和华北一年两熟灌溉农业区的技术模式研究和机具开发已经取得了一系列成果。田间试验研究表明，固定垄保护性耕作是一项高效节水、保土、增产的新型保护性耕作技术，具有良好的经济、生态和社会效益，可有效促进我国灌溉农业区的可持续发展。为系统地介绍固定垄保护性耕作技

术，特编撰此书。

全书共分六章，第一、二章系统地介绍了固定垄保护性耕作技术的概念和国外发展经验；第三、四章分别评价了我国西北一年一熟和华北一年两熟灌溉农业区应用固定垄保护性耕作技术的综合效益；第五、六章详细地介绍了固定垄免耕播种机、起修垄机、松垄机及其他固定垄保护性耕作配套机具。全书田间试验和配套机具实例内容主要来源于农业部保护性耕作研究中心多年研究资料，并参考部分专家固定垄保护性耕作技术研究成果。本书的特点：结合我国实际提出的固定垄保护性耕作技术模式和机具，能适合我国灌溉区农业规模小、经济欠发达的特点，可有效改良土壤结构、提高水分利用效率和农业生产效益，促进农业可持续发展。本书适宜读者为农业院校师生、农业领域科研人员和农业生产管理人员。

本书第一章由李洪文编写，第二、三、四、五、六章由何进编写，其他编委在材料整理、章节编排等方面做了大量工作。何进、李洪文统稿。

本书由河北农业大学张晋国教授主审，从全书章节的设计到字、词、句的表达都体现了张晋国教授严谨的治学态度，在此表示衷心感谢！书稿写作过程中得到了农业部保护性耕作研究中心的教师及研究生的大力帮助，在此一并表示感谢！

固定垄保护性耕作在我国试验的时间不长，许多问题还处于研究阶段，有些观点也还在争论之中。由于编者水平所限，书中偏颇疏漏之处在所难免，诚望读者给予谅解和指正。

编 者

2009 年 6 月

目 录

第1章 固定垄保护性耕作概述	(1)
1.1 我国北方干旱、半干旱地区农业发展存在的问题	(1)
1.2 固定垄保护性耕作概述	(4)
1.2.1 固定垄保护性耕作的概念	(6)
1.2.2 固定垄保护性耕作的基本内容	(8)
1.2.3 固定垄保护性耕作系统的建立和维护	(18)
1.2.4 固定垄保护性耕作系统的灌溉管理	(21)
1.2.5 固定垄保护性耕作系统的施肥管理	(22)
1.2.6 固定垄保护性耕作系统的作物管理	(23)
1.2.7 固定垄保护性耕作系统的杂草控制	(24)
1.3 固定垄保护性耕作的效益	(24)
第2章 国外固定垄保护性耕作的发展经验	(27)
2.1 墨西哥的固定垄保护性耕作	(27)
2.1.1 墨西哥农业概况	(27)
2.1.2 墨西哥固定垄保护性耕作研究现状	(28)
2.2 澳大利亚的固定垄保护性耕作	(35)
2.2.1 澳大利亚早期固定垄保护性耕作研究	(36)
2.2.2 澳大利亚固定垄保护性耕作研究现状	(38)
2.3 南亚恒河平原的固定垄保护性耕作	(45)
2.3.1 印度	(45)
2.3.2 巴基斯坦	(52)
2.3.3 孟加拉国	(56)
2.4 其他国家的固定垄保护性耕作	(58)
第3章 我国西北一年一熟区固定垄保护性耕作	(60)
3.1 西北一年一熟区固定垄保护性耕作研究背景	(60)

3.2 西北一年一熟区固定垄保护性耕作的试验研究	(64)
3.2.1 试验区基本情况和试验设计	(64)
3.2.2 固定垄保护性耕作的节水效应	(69)
3.2.3 农业水资源节约对生态环境的影响	(75)
3.2.4 固定垄保护性耕作的土壤特性	(76)
3.2.5 固定垄保护性耕作的作物生长及产量	(82)
3.2.6 固定垄保护性耕作的经济效益	(88)
第4章 我国华北一年两熟区固定垄保护性耕作	(93)
4.1 华北一年两熟区固定垄保护性耕作研究背景	(93)
4.2 华北一年两熟区固定垄保护性耕作的试验研究	(94)
4.2.1 试验区基本情况和试验设计	(94)
4.2.2 固定垄保护性耕作的沟灌水分入渗趋势	(98)
4.2.3 固定垄保护性耕作的节水效应	(108)
4.2.4 固定垄保护性耕作的土壤特性	(114)
4.2.5 固定垄保护性耕作的作物生长及产量	(117)
4.2.6 固定垄保护性耕作的经济效益	(121)
第5章 固定垄免耕播种机	(125)
5.1 国外固定垄免耕播种机	(125)
5.1.1 单垄垄作播种机	(126)
5.1.2 双垄垄作播种机	(127)
5.1.3 多垄垄作播种机	(127)
5.2 国内几种典型固定垄免耕播种机的设计与试验	(130)
5.2.1 避茬垄作免耕播种机	(130)
5.2.2 2BFML-5型固定垄免耕播种机	(139)
5.2.3 驱动圆盘式固定垄免耕播种机	(145)
5.2.4 动力切刀式固定垄免耕播种机	(154)
第6章 其他固定垄保护性耕作配套机具	(161)
6.1 起修垄机具	(161)
6.1.1 国外几种典型的起修垄机具	(161)
6.1.2 国内起修垄机具	(162)
6.2 松垄机具	(173)

目 录

6.2.1 问题的提出	(173)
6.2.2 宽垄沟灌水分增渗技术和松垄机设计	(174)
6.3 固定垄浅松机具	(180)
6.4 固定垄收获机具	(181)
参考文献	(183)

第 1 章 固定垄保护性耕作概述

1.1 我国北方干旱、半干旱地区农业发展存在的问题

世界的干旱、半干旱地区遍及 50 多个国家和地区,总面积约为 $4.6 \times 10^7 \text{ km}^2$,占陆地总面积的 $1/3$,居住着世界 $1/10$ 以上的人口。面对 21 世纪 30 年代世界人口将达 80 亿,人口的剧增使农产品供需矛盾日益尖锐,全球性食物安全问题已经成为世界关注的焦点。干旱作为一个世界性的问题,其所造成的产量损失超过了其他所有自然灾害的总和,成为保障世界粮食安全问题的最大挑战。因此,在世界各国建立高效持续的干旱、半干旱地区农业系统对全球的食物安全、生态安全和资源安全都具有重要的战略意义^[1]。

我国北方干旱、半干旱地区主要是指沿昆仑山—秦岭—淮河一线以北的广大地区,包括 16 个省(市)的 965 个县,面积占国土总面积的 56%,耕地占全国总耕地面积的 51%,地表水资源量为 4 125.8 亿 m^3 ,总量不足全国的 20%,耕地平均水量为 $5\,580 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,属于典型的地多水少区域。其中,西北地区占全国国土总面积的 43.8%,水资源拥有量仅占全国水资源总量的 9.7%。北方干旱、半干旱地区可利用的土地资源丰富,气候资源多样,农业增产潜力大,生产了全国 46% 的粮食、61% 的棉花、72% 的大豆和 46% 的油料,是我国主要的农业产区之一^[2]。

我国人均水资源量只有 $2\,200 \text{ m}^3$,不足世界平均水平的 $1/4$,是世界上人均水资源短缺的国家之一。农业是我国的用水大户,占总用水量的 70% 以上,且主要消耗于灌溉,其中灌溉用水占农业用水总量的 90% 左右。据专家预测,到 2030 年我国农业缺水将达到 500 亿 ~ 700 亿 m^3 。因此,解决好农业水资源问题可以说是 21 世纪发展我国农业的一项长期战略任务。

我国北方干旱、半干旱地区农业生产大多依赖灌溉,灌溉区农业生产所占比重大,因而农业用水问题显得尤为严重。近年来,水资源短缺,地下水超采严重,农业水资源利用效率低等问题日趋严重,已经成为制约我国北方灌溉区农业发展的主要限制因素。

北方灌溉区年降雨量都普遍偏少,属于单向缺水区。其中,新疆、内蒙

古、宁夏、甘肃、青海等灌溉农业区年降雨量为 300 ~ 400mm，部分地区年降雨量不足 250mm；河北、山东、北京等灌溉农业区平均年降雨量也只有 400 ~ 600mm。降雨年际年内分配不均匀，年内多集中在夏季 7 ~ 8 月份，降水集中、时间短、强度大，难以充分拦截利用，冬、春、秋三季雨量稀少，年际间连旱频发。在西北和黄土高原等干旱地区，由于受土质组成单一、地下水位较低的影响，雨水在降雨初期下渗损失严重，降雨中后期又易出现地表径流，降雨在形成径流流失的同时对土壤表面造成冲刷侵蚀，带走大量表层土壤和养料，降雨后无效蒸腾剧烈，造成我国西北和黄土高原干旱地区有限的雨水资源难以得到适时有效的利用。

同时，我国北方灌溉农业区地表及地下水资源也严重不足，目前北方地区黄河、淮河、海滦河流域水资源开发利用已经分别达到 52.6%、58.8% 和 99.7%，整个北方主要河流的水资源利用率已达 73%，绝大部分河流已成为季节河。地表水资源的不足，迫使人们开采地下水。地表水和地下水资源的开发利用，弥补了我国北方灌溉区农业生产水资源的不足，有力地克服了干旱缺水对农业生产的威胁，但由此也带来了河流干涸、地下水严重超采等问题。以西北地区河西走廊和华北地区的河北、山东省为例：河西走廊水资源主要由地表水和地下水组成。地表水主要来源于南部祁连山高海拔地区的冰、雪融水和降水产生的地表径流汇集而成的内陆河；地下水补给主要靠河流潜流及渠系、田间和雨水渗漏。整个地区主要有疏勒河（年平均地表径流总量为 $36.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）、石羊河（ $15.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）、黑河（ $36.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）三大水系，共有大小不等河流 60 多条。多年来由于地表水资源的过度利用，疏勒河流域进入双塔河水库的水相对 20 世纪 60 年代减少了 24%，石羊河流域流入民勤的入境流量已由 20 世纪 50 年代的 $5 \times 10^8 \sim 6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 $2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，黑河也由于大量水库的拦河蓄水和大规模的开荒垦地，导致了下游水量急剧减少，沙漠植被大面积枯死，土地荒漠化加剧。

河北东部平原地区由于长期大量超采地下水，这些地区的地下水位普遍下降了 40 ~ 60m，形成了沧州、青县、黄骅、任丘、廊坊、霸州、冀（县）枣（强）衡（水）等 7 个地下水位降落漏斗区，漏斗总面积达 43 915km²。由于深层地下水位下降造成大面积地面沉降，致使河北东部平原地面沉降大于 200mm 的面积达到 48 550km²，大于 500mm 的面积达到 6 430km²，大于 1 000mm 的面积达到 755km²，沉降量大于 2 000mm 的范围已经覆盖了整个沧州市区。山东目前实际利用水资源量已远远大于国际上公认的 30% 水资源合理

利用程度和40%最大利用上限。全省平均每年超采地下水量30多亿 m^3 ,地下水位普遍下降,漏斗区总面积达 $1.65 \times 10^4 \text{km}^2$,地下水位的大幅度下降已造成局部地区塌陷、海水内侵、机井报废等。据分析预测,2015年山东全省灌溉一般干旱年份缺水将达128.3亿 m^3 。

北方灌溉区不仅水资源严重缺乏,而且农业灌溉用水利用率低,浪费严重。以西北地区河西走廊和华北平原为例:在河西走廊地区,大水漫灌、串灌、冬季储水灌等传统灌溉方式目前仍被普遍采用。据研究资料表明,传统的灌溉方式从渠系水到田间水的净利用率为48%,从渠系水到被作物吸收的有效利用率仅为23%左右,约70%的水以渠系渗漏、蒸发、田间渗漏等形式而被浪费,其中有52%~55%的田间灌溉水量损耗于作物棵间的无效蒸发。而目前世界发达国家灌溉水利用率是70%~80%,以色列达到了90%。喷灌、滴灌等节水技术虽然在北京地区得到较大范围的应用,但根据国际灌溉排水委员会的统计,华北平原的农田用水利用系数仍比较低,为0.3~0.5,灌溉水50%以上在输水途中就被损耗掉;同时,传统的大水漫灌、过量淹灌等灌溉方式在华北其他经济欠发达地区仍旧较为普遍,使灌水有30%~50%被无效地渗漏、蒸发掉,农作物利用的水仅占灌溉总水量的1/4。

土壤侵蚀和耕地资源退化,环境污染严重,是制约我国北方灌溉区农业发展的另一重要限制因素。一直沿用的传统耕作模式长期在同一深度下进行机械翻耕土地,使农田土壤垂直剖面上形成明显的耕作层、犁底层和心底层,造成了土壤结构的破坏,再加上由于土壤风、水蚀严重,地表和地下水资源的过度利用,使得沙漠化日益严重,造成了耕地面积的迅速减少。据统计,目前全国土壤退化面积已经高达350多万 km^2 ,超过国土面积的37%。同时,我国北方灌溉区,尤其是华北平原,秸秆问题日趋严重。在农业丰收之后,随着农民收入增加,由于少用秸秆作肥料和燃料,出现秸秆过剩,再加上华北地区作物复种指数提高,小麦机收面积扩大,麦秸留茬过高,灭茬机械和免耕技术推广没跟上,造成农时紧张,农民通常将前茬收获后的秸秆就地焚烧,大量焚烧作物秸秆产生的大气污染,严重影响生物的生存环境和人类的生活空间,不利于生态平衡的发展。

农业生产成本高,经济效益差是制约我国北方灌溉区农业发展的又一限制因素。我国北方灌溉农业区长期采用传统平作和大水漫灌的农业生产模式,大量的机械翻耕作业不仅不利于作物的生长,减少产量,而且增加机具生产成本;传统的大水漫灌模式,不仅造成水资源的浪费,加剧水资源短缺

矛盾，而且增加灌溉成本。

为解决我国北方灌溉区农业发展所面临的问题，保证农业的可持续发展，如果我国北方灌溉区农业生产继续沿用传统的高耗水种植模式，和无限扩大灌溉面积的外延型增长方式是不可持续的，必须改变现有的传统耕作体系，走依靠科技进步大幅度提高水资源利用效率、发展节水型高效农业的内涵式增长道路，发展可持续的农业生产模式。固定垄保护性耕作技术作为一项新型的可持续农业生产技术，在南美洲、澳大利亚和南亚恒河平原等国家和地区都得到了较大面积的应用，各国的试验研究都表明固定垄保护性耕作技术具有高效节水、保土和增产等效应。根据世界各国的成功经验，在我国干旱、半干旱地区采用固定垄保护性耕作，有利于解决农业发展存在的问题，促进农业可持续发展。在我国开展固定垄保护性耕作技术的研究，大面积采用这一技术，可有效节约灌溉用水，改良土壤结构，保护生态环境，对于我国农业的可持续发展具有重要的意义。

1.2 固定垄保护性耕作概述

保护性农业是一种以对土壤、水等农业资源的综合管理为基础的农业生产系统。它采用对土壤结构、成分和天然的生物多样性最小的破坏，实现土壤的最小侵蚀与退化和最小的水污染，保护、改善并有效利用自然资源，从而达到实现经济、生态、社会意义上的可持续农业生产的目的^[3]。其基本特点是采用免耕直接播种、地表完全被作物残茬覆盖，采用合理的、经济可行的、多样化的作物轮作体系。在过去的几十年中，保护性农业在促进农业可持续发展方面发挥了巨大作用，并在世界各国得到了广泛的推广。据有关资料，目前保护性农业在拉丁美洲（主要包括巴西、阿根廷和巴拉圭）的推广面积已经超过 2 800 万 hm^2 ，在北美洲（美国、加拿大）超过 2 600 万 hm^2 ，在澳大利亚超过 900 万 hm^2 ，并且发展保护性农业在世界上许多国家和地区已经成为正式的官方政策，由专门的政府部门进行推广。

保护性耕作作为保护性农业的一项重要技术体系，通过采用少耕、免耕和地表生物覆盖，能有效改善土壤结构，增强土壤贮水能力，减轻土壤侵蚀和减缓土地退化。这种耕作在干旱、半干旱地区大面积的推广，有效地缓解了当今世界农业发展存在的问题，促进了农业的可持续发展^[4~5]。我国从 1992 年开始，由中国农业大学与澳大利亚昆士兰大学、山西省合作，以机具研发为突破口，在黄土高原系统地研究了保护性耕作技术。经过连续 10 年的试验研究，开发出一套适合我国国情的保护性耕作机具，提出了与我国

国情相适应的技术模式。国内外多年研究表明,保护性耕作可以改良土壤物理、化学和微生物属性^[6~7],增强土壤水分入渗性能,减少农田扬尘和土壤水蚀;减少作业工序,降低生产成本^[8],增加作物产量^[9]。

但在平作、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,对于一季作物生产,如果考虑各种作业方式,土壤压实面积累计可达到100%,因此,多年免耕后会造成土壤的严重压实^[10],这种农机具作业压实对土壤造成的负面效果在美国、加拿大、澳大利亚等以大型农机具为主的国家尤其严重。Hilfiker^[11]和 Lamers^[12]的试验表明,由于拖拉机和农机具作业任意行驶造成土壤的压实,增加了土壤容重,减少了土壤的孔隙度和大孔隙含量,不利于作物根系生长,从而使得压实区域作物根系密度相对非压实区域减少52%,根系长度缩短40%~50%,造成作物减产。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耕作技术的研究。固定道耕作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,在田间建立永久的拖拉机行走道。这种耕作系统能够消除农机具作业对土壤的压实作用,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%作物产量^[13~14]。

同时,在现有的平作、免耕保护性耕作条件下,高额的设备 and 灌溉成本也限制了喷灌、滴灌等灌溉方式在世界各国,尤其是在发展中国家的应用和普及。因此,在世界各国具有灌溉条件的干旱和半干旱地区,采用的多为大水漫灌,农业水分利用率低,造成农业生产水资源的巨大浪费。而垄作沟灌技术通过改变地表形状,改善作物的生长环境,不仅对作物的生长发育具有良好的促进作用,而且相对传统大水漫灌能降低灌溉成本,节省灌溉用水,提高水分利用率^[13]。因此,随着保护性耕作、固定道和垄作沟灌技术的发展,将这几项技术相结合,充分发挥多项技术的综合优势,已经成为现代农业发展的主要方向之一。

固定垄保护性耕作就是将保护性耕作技术、固定道技术和垄作沟灌技术等相结合的一种新型农业生产方式,是这些技术在世界范围内的进一步发展。固定垄保护性耕作技术的思想最早来源于灌溉农业区的农业生产。一直以来,墨西哥雅基河峡谷(Yaqui Valley)的农民都采用传统的平作、大水漫灌的农业生产制度来种植当地的小麦。雅基河峡谷位于墨西哥的西北部,属于典型的灌溉农业区,小麦为主要的粮食作物。由于长期采用传统平作、漫灌种植小麦,并且大量焚烧秸秆残茬,造成了当地水资源的严重浪费和

水、空气的污染。到 20 世纪 70 年代，当地的农业生产面临着严重的灌溉水（地表水和地下水）缺乏，土壤退化和污染严重等问题，并且小麦产量出现逐年减少的趋势。为了解决上述问题，保证农业的可持续生产，雅基河峡谷当地的农民和墨西哥的一些科学家开始改变传统的生产方式，将小麦种植在位于两垄沟之间的凸起垄床上，并且采用沟灌系统取代传统大水漫灌系统，灌溉水分从中间的垄沟向两侧的垄床侧渗。墨西哥的这种新型农业生产方式不仅减少了灌溉用水，提高了农业用水利用效率，在维持原有产量的情况下小麦产量开始出现增加的趋势，而且形成了固定垄保护性耕作农业的雏形。随着固定垄保护性耕作在世界各国的发展和推广，免、少耕播种、作物秸秆覆盖和杂草、病虫害控制等许多新技术被不断地引入到固定垄保护性耕作农业生产系统，并使得该系统不断成熟和完善，如今固定垄保护性耕作农业生产系统已发展成为一项完整的农业生产系统。

1.2.1 固定垄保护性耕作的概念

(1) 固定垄保护性耕作的定义

固定垄保护性耕作是相对传统平作、漫灌的一种新型农业生产技术。其基本特征是采用固定垄沟灌和垄作，并且将作物生长带和车轮行驶带永久分离，作物只种植在垄沟之间凸起的垄床上，作业机具车轮则只在垄沟内行驶（图 1-1）。他要求永久保持垄床形状，在下茬作物播种前，只对垄进行少量修整，并通过免耕、秸秆覆盖和机械、化学除草等技术达到节水、防涝、减少耕作和管理垄床表面作物残茬的目的。

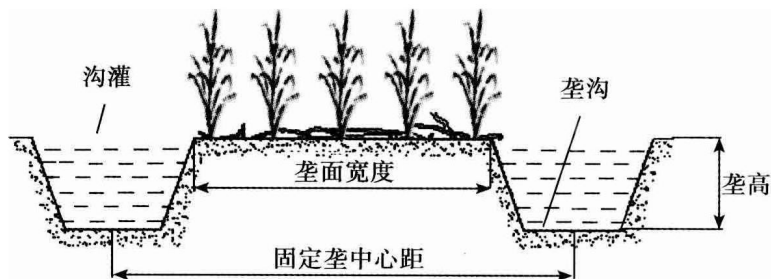


图 1-1 固定垄保护性耕作系统示意图

(2) 固定垄保护性耕作的发展过程

现代固定垄保护性耕作技术最早开始于墨西哥，在过去的 20 多年中，为了减少农业灌溉用水量，提高水分利用效率，墨西哥农民逐渐改变了传统的平作、大水漫灌的农业生产方式，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，并在世界各国得到了广泛的推广。到21世纪初，固定垄保护性耕作技术的发展主要经历了以下两个阶段：

第一阶段：固定垄保护性耕作在这一阶段的特点可以概括为每季新垄垄作、固定垄沟灌和传统耕作方式（铧式犁翻耕，秸秆焚烧等）（图1-2，a）。作物种植在垄床上，通过固定垄垄沟进行沟灌作业。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，并重新形成新的垄床。尽管采用了大量耕作，并且焚烧秸秆，但相对于传统平作、大水漫灌作业，这种新型农业生产方式能提高大约8%的作物产量，减少约25%的灌溉用水和至少25%的作业成本^[16]。



图1-2 固定垄保护性耕作

- a. 新垄垄作、沟灌和传统耕作（第一阶段）；
b. 永久垄床垄作、沟灌和保护性耕作（第二阶段）

第二阶段：固定垄保护性耕作在这一阶段的特点可以概括为永久垄床垄作、固定垄沟灌和保护性耕作（少耕、免耕和秸秆覆盖等）（图1-2，b）。相对于第一阶段，该技术在继续采用垄作和固定垄沟灌的基础上，永久保持垄床，在每季作物播种前，只通过专用的修垄机具对垄床进行修垄作业。同时，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、少耕和秸秆覆盖作业，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。鉴于固定垄保护性耕作的以上优点，通过与国际玉米小麦改良中心（CIMMYT）和澳大利亚国际农业研究中心（ACIAR）合作，这一新型技术被引入到世界许多国家。目前，固定垄保护性耕作技术已经在墨西哥、澳大利亚、印度恒河平原（印度、巴基斯坦、孟加拉国、尼泊尔

尔)、中国、伊朗、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、南非、摩洛哥和苏丹等国得到大面积的应用和推广^[17]。

1.2.2 固定垄保护性耕作的基本内容

固定垄保护性耕作的基本技术包括免耕播种、秸秆残茬管理、固定道、垄作栽培等4项内容。

(1) 免耕播种技术

传统农业长期采用的铧式犁翻耕过度消耗地力,使得土壤有效养分得不到及时补充,有机质含量逐年下降,从而导致延误农时、浪费劳动力和加大能源损耗,农业生产始终处于种大于养、产大于投的掠夺式经营状态。同时,频繁的耕作和淋溶会破坏土壤的结构。如东北黑钙土开垦40多年来,土壤水稳性团聚体减少了50%以上,土壤保墒供水性能大大降低。同时,普遍耕层变浅,犁底层增厚,通气性变差,还原性增强,由于物理性状的恶化,影响土壤肥力的正常发挥。

免耕播种是20世纪农业技术领域最大进步之一。其概念是相对传统翻耕而言,是将种子和肥料播种到有秸秆覆盖的地里。除播种或施入肥料外,不再搅动土壤。施肥可与播种同时进行,也可以在播前或出苗后进行,可施入土壤中,也可以撒施于地表。国内外多年研究表明,长期免耕播种能有效提高土壤物理、化学和微生物性状,为作物生长创造良好的土壤条件,提高作物产量和农民收入^[18-19]。

①免耕播种的特点

a. 免耕地土壤容重大,开沟入土困难。一般免耕地表耕层容重可达到 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 以上,有时甚至能达到 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。研究表明,虽然土壤容重在 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以下时不会影响小麦、玉米等耐紧实作物的正常生长,但由于土质坚硬,开沟阻力大,传统的播种机械无论从开沟器的入土性能,还是结构强度等方面均不能满足免耕地的播种需要。

b. 免耕地土壤流动性差,播种覆土厚度控制困难。免耕播种缺少前序的碎土作业,故开沟器入土后,豁开的土壤经常有较大的土块,流动性较差,导致回土不好,从而影响种子覆土。

c. 免耕地表有秸秆残茬覆盖,播种机通过困难。免耕播种没有前期耕作处理,直接在有秸秆残茬覆盖的地表上播种。因此,播种机通过困难,要求有防止秸秆残茬堵塞的技术,否则无法正常顺利播种。

d. 免耕地表平整度差,播种深度控制困难。免耕地表由于有前序的联合收割机、拖拉机等进地作业时产生的沟辙,或者是前茬作物中耕追肥培土