



联合国  
粮食及  
农业组织

# 中国保护性耕作

## 创新、投资挑战和机遇



粮农组织投资中心

国别投资要闻



# 中国保护性耕作

创新、投资挑战和机遇

**何进**

中国农业大学

**姜上川**

联合国粮食及农业组织（粮农组织）

### 引用格式要求:

何进和姜上川。2023。《中国保护性耕作: 创新、投资挑战和机遇》。粮农组织投资中心国别投资要闻第19号。罗马, 粮农组织。

<https://doi.org/10.4060/cc2091zh>

本信息产品中使用的名称和介绍的材料, 并不意味着联合国粮食及农业组织(粮农组织)对任何国家、领地、城市、地区或其当局的法律或发展状况, 或对其国界或边界的划分表示任何意见。提及具体的公司或厂商产品, 无论是否含有专利, 并不意味着这些公司或产品得到粮农组织的认可或推荐, 优于未提及的其它类似公司或产品。

本信息产品中陈述的观点是作者的观点, 不一定反映粮农组织的观点或政策。

ISBN 978-92-5-137118-3

©粮农组织, 2023年



保留部分权利。本作品根据署名-非商业性使用-相同方式共享3.0政府间组织许可(CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode>)公开。

根据该许可条款, 本作品可被复制、再次传播和改编, 以用于非商业目的, 但必须恰当引用。使用本作品时不应暗示粮农组织认可任何具体的组织、产品或服务。不允许使用粮农组织标识。如对本作品进行改编, 则必须获得相同或等效的知识共享许可。如翻译本作品, 必须包含所要求的引用和下述免责声明: “该译文并非由联合国粮食及农业组织(粮农组织)生成。粮农组织不对本翻译的内容或准确性负责。原英文版本应为权威版本。”

除非另有规定, 本许可下产生的争议, 如通过调解无法友好解决, 则按本许可第8条之规定, 通过仲裁解决。适用的调解规则为世界知识产权组织调解规则 (<https://www.wipo.int/amc/zh/mediation/rules>), 任何仲裁将遵循联合国国际贸易法委员会(贸法委)的仲裁规则进行仲裁。

**第三方材料。**欲再利用本作品中属于第三方的材料(如表格、图形或图片)的用户, 需自行判断再利用是否需要许可, 并自行向版权持有者申请许可。对任何第三方所有的材料侵权而导致的索赔风险完全由用户承担。

**销售、权利和授权。**粮农组织信息产品可在粮农组织网站 (<http://www.fao.org/publications/zh/>)获得, 也可通过[publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org)购买。商业性使用的申请应递交至[www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request)。关于权利和授权的征询应递交至[copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org)。

封面图片:

©中国农业大学/李洪文

©中国农业大学/何进

# 目录

序言	VII
致谢	IX
缩略语	X
内容提要	XV
<b>引言</b>	<b>1</b>
<b>第一章</b>	
<b>保护性耕作技术的发展历程、挑战与机遇</b>	<b>5</b>
1.1 发展历程	6
1.2 主要挑战	9
1.3 主要机遇	12
<b>第二章</b>	
<b>保护性耕作技术发展建议</b>	<b>17</b>
2.1 政策支持	17
2.2 保护性耕作相关技术协同配套系统	18
2.3 保护性耕作机具与部件的研发及提升	18
2.4 培训与示范	19
2.5 国际交流与合作	20
<b>第三章</b>	
<b>保护性耕作技术装备</b>	<b>23</b>
3.1 秸秆残茬管理及检测技术与机具	23
3.2 免少耕播种技术与机具	26
3.3 深松技术与机具	33
3.4 保护性耕作机具作业面积监测系统	34
<b>第四章</b>	
<b>保护性耕作技术对绿色农业发展的贡献</b>	<b>37</b>
4.1 助力“碳达峰、碳中和”	38
4.2 控制风水蚀，减少水土流失	42
4.3 改良土壤结构，提高土壤地力	45
4.4 蓄水保墒，提高土壤抗旱能力	47
<b>第五章</b>	
<b>推广保护性耕作技术的经验</b>	<b>51</b>
5.1 扶持推广政策	51
5.2 保护性耕作核心技术装备	52

5.3	保护性耕作机具购机补贴	52
5.4	因地制宜的技术模式	54
5.5	示范项目带动	55
5.6	利益驱动机制	55
5.7	保护性耕作效果监测	55
5.8	保护性耕作技术相关培训	56
<b>第六章</b>		
	<b>保护性耕作推广应用典型案例</b>	<b>61</b>
6.1	县域推广保护性耕作	61
6.2	合作社应用推广保护性耕作	63
<b>第七章</b>		
	<b>国内外保护性农业相关政策对比分析</b>	<b>67</b>
7.1	美国	67
7.2	南美洲	68
7.3	欧洲	68
7.4	国际组织在中国的保护性耕作项目	69
7.5	对于中国政策的启示	72
<b>第八章</b>		
	<b>中国保护性耕作发展的未来展望</b>	<b>75</b>
<b>参考文献</b>		<b>79</b>
<b>附录：中文参考文献</b>		<b>87</b>

# 表 - 图

## 表

表1	中国推广保护性耕作技术的部分政策	13
表2	几种常用刀片作业原理、特点及适用范围	24
表3	部分秸秆残茬管理机具	25
表4	2020年全国主要地区免少耕播种机相关信息统计	26
表5	部分重力切茬防堵免耕播种机	27
表6	部分动力驱动防堵免少耕播种机	28
表7	部分秸秆流动防堵免耕播种机	30
表8	不同类型的免少耕播种自动导向系统性能对比	31
表9	部分深松机具	32
表10	不同耕作模式下的能量投入 ( GJ/公顷 )	39
表11	免耕覆盖精量播种与常规机械条播成本与收益比较 ( 元/公顷 )	40
表12	不同种植模式下经济效益比较	41
表13	不同耕作模式下冬小麦-夏玉米农田投入的碳释放量 ( 千克 C/公顷/年 )	41
表14	不同耕作措施对冬小麦-夏玉米系统土壤相对净碳释放量的影响 ( 千克 C/公顷/年 )	42
表15	不同风速下各措施的风蚀强度	42
表16	不同耕作处理田间0-100、0-50和0-30cm高度输沙量 ( 克 )	43
表17	不同处理方式下坡面的径流量和侵蚀量	45
表18	传统耕作 ( CT ) 与免耕 ( NT ) 对不同土壤结构稳定性指标的影响	45
表19	保护性耕作和传统耕作0-20cm深度农田土壤有机质、全氮和速效磷情况	46
表20	免耕措施前后不同坡位土壤理化性状	47
表21	2018-2020年保护性耕作机具中央财政资金最高补贴额	53
表22	2002-2018保护性耕作装备数量 ( 万台 )	54



图1	圆盘重力切茬防堵原理图	27
图2	动力驱动防堵原理图	27
图3	全方位“V”形深松铲原理示意图	33
图4	全方位侧弯式深松铲原理示意图	33
图5	凿式深松铲原理示意图	33
图6	振动深松机原理示意图	33
图7	华北一年两熟区（冬小麦-夏玉米）全程机械化作业油耗对比	39
图8	不同耕作方式对水侵蚀的影响	44
图9	保护性耕作技术推广视频	57
图10	保护性耕作技术培训教材	57
图11	保护性耕作技术科普书	57



# 序言

中国在满足世界五分之一人口的粮食需求方面一直面临重大挑战。尽管近四十多年来，中国已经消除绝对贫困，实现了粮食安全，并成为当今世界最大的农业经济体，但中国的农业和农村未来发展仍面临诸多挑战。

为实现联合国可持续发展目标，中国政府采取一系列关于“绿色增长”的农业政策、战略、制度框架及技术。世界银行和联合国粮食及农业组织（粮农组织）支持改善政策和投资，参与中国农业粮食体系的绿色发展转型。

世界银行在2020年至2022年期间承担了“中国农村转型：绿色农业现代化”的规划咨询服务和分析（PASA）项目。该项目符合世界银行的国家伙伴关系框架和联合国粮农组织在中国的国家规划框架。该项目旨在展示如何调整现有的农村发展路径、农业政策和战略，以加快中国农业的绿色发展。

在这方面，保护性农业就是其中一种重要方式。保护性农业是一种既能防止土壤流失，又能使退化土地恢复的农业生产系统。采用包括保护性农业在内的农业粮食体系转型可以带来显著的农艺、环境和经济效益。

基于此，中国政府出台了《中华人民共和国黑土地保护法》、《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020-2025年)》等一系列法律法规，为保护性农业（在中国常用“保护性耕作”）技术的推广应用提供良好的政策环境。

中国已经研发和生产了相关农业机械和装备用以支持保护性耕作技术，并实行综合补贴促进现代作物生产体系的应用。同时，中国因地制宜完善保护性耕作发展与推广体系，并为保护性耕作技术试点和支撑能力发展提供了宝贵的机会。事实证明，这些措施有效地促进了农民对保护性耕作技术的应用。

与此同时，联合国粮农组织、世界银行和其他国际组织（如联合国亚洲及太平洋经济社会委员会可持续农业机械化中心等）联合在中国推广保护性耕作技术，包括《广东农业面源污染治理政策研究（环境友好型种植业项目）》等。

基于现有开展的研究和吸取的经验，世界银行驻华代表处、联合国粮农组织植物生产及保护司和粮农组织投资中心联合出版了这本出版物，总结中国在采用和推广保护性耕作技术方面的丰富经验。本出版物是粮农组织投资中心“知识促进投资”（K4I）计划下关于中国的三部“国别投资要闻”出版物丛书中的一部。

本出版物通过综述保护性耕作技术在中国的机遇、挑战和发展建议，对这一技术进行了及时的总结。其目的是促进创新、技术、资源、能力和装备的发展，进一步推动保护性耕作技术在中国和全球的应用。

我们相信，本出版物将促进政府、国际与国家金融机构的决策者以及其他捐助者和发展伙伴重新审视如何通过支持保护性农业（保护性耕作）加快可持续农业发展和促进农村转型。

**夏敬源**

**司长**

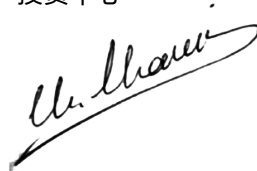
联合国粮食及农业组织  
植物生产及保护司



**穆罕默德·曼苏里**

**主任**

联合国粮食及农业组织  
投资中心



# 致谢

本出版物是世界银行与联合国粮食及农业组织（粮农组织）合作的成果，是世界银行“中国农村转型：绿色农业现代化”项目咨询服务和分析(PASA)项目的一个专题（编号：P171518）。PASA项目由Ladisy Komba Chengula（世界银行驻华代表处首席农业经济学家）领导。在2021年期间，PASA项目制作了16份政策和技术工作文件，这些文件由来自中国领先大学和科研中心的专家以及来自粮农组织、国际粮食政策研究所和国外大学的专家编写。

作为技术工作文件之一，本出版物由何进（中国农业大学教授，国家保护性耕作研究院副院长）和姜上川（联合国粮农组织植物生产及保护司准专业官员/农业专家）编写。

作者感谢Ladisy Komba Chengula对本研究的全面领导；感谢Ladisy Komba Chengula和Josef Kienzle（粮农组织植物生产及保护司农业工程师）对本出版物的指导、协调和宝贵建议，以及他们对粮农组织与世界银行长期合作的贡献。作者感谢粮农组织投资中心Luigi Baldassari、Clare O'Farrell、Davide Garavoglia和Sonia Malpeso等对本出版物的支持。

作者感谢Theodor Friedrich（前粮农组织多民族玻利维亚国和古巴共和国代表，前粮农组织植物生产及保护司高级农业工程师）、Hafiz Muminjanov（粮农组织植物生产及保护司农业官员）、Gottlieb Basch（埃武拉大学教授；欧洲保护性农业协会主席）、李宇彤（联合国亚太经社会可持续农业机械化中心主任）、Anshuman Varma（联合国亚太经社会可持续农业机械化中心副主任/项目官员）、冯月娥（联合国亚太经社会可持续农业机械化中心项目协调员）、李檣（联合国亚太经社会可持续农业机械化中心国家项目官员）、William R. Sutton（世界银行气候智慧型农业全球负责人，首席农业经济学家）、李洪文（中国农业大学教授、国家保护性耕作研究院院长）等提供的宝贵审稿意见。

作者感谢中国农业大学研究生刘鹏、杨文超、林涵、彭明、林鑫和王泉玉等在信息收集和翻译方面的支持。作者感谢中国农业大学李洪文教授、曹鑫鹏、袁盼盼和林涵等提供照片。

作者感谢夏敬源博士（粮农组织植物生产及保护司司长）、穆罕默德·曼苏里（Mohamed Manssouri，粮农组织投资中心主任）、John Preissing（粮农组织投资中心副主任）、Benoit Bosquet（世界银行东亚及太平洋地区可持续发展局局长）、Dina Umali-Deininger（农业和粮食全球发展实践局副局长，负责世界银行东亚和太平洋地区业务）、Fenton Beed（粮农组织植物生产及保护司高级农业官员）、Hafiz Muminjanov（粮农组织植物生产及保护司技术顾问）、Mirko Montuori（粮农组织植物生产及保护司沟通官员）、Haekoo Kim（粮农组织植物生产及保护司技术顾问）、Takayuki Hagiwara（粮农组织亚太区域办事处区域计划负责人）、刘学明（粮农组织投资中心高级投资支持官员）、田云清和白晓楠（世界银行项目助理）等。此外，我们还要感谢粮农组织驻华代表处、世界银行驻华代表处和中国农业农村部等相关机构对本出版物的反馈和支持。

本出版物由粮农组织投资中心制作。本出版物中文版技术审核由姜上川支持，编辑审稿由Liliana Liao支持，布局设计由杨潇萌、Adriana Brunetti与Karen Mata Luna完成。

# 缩略语

CAAAP	亚太保护性农业联盟
CA-CoP	全球保护性农业实践社区
CAP	共同农业政策
CSAM	可持续农业机械化中心
CTRC	保护性耕作研究中心
ECAF	欧洲保护性农业联盟
ESCAP	联合国经济社会委员会
FAO	联合国粮食及农业组织（粮农组织）
MARA	中华人民共和国农业农村部
MOF	中华人民共和国财政部











# 内容提要

中国农业生产在取得辉煌成就的同时，影响农业可持续发展的挑战依然存在。保护性农业（在中国常用“保护性耕作”）对农田实行最低程度的土壤扰动（即免耕），用作物秸秆覆盖地表，结合必要的作物多样化（轮作等），是一种可减少风水蚀、提高土壤肥力和抗旱能力的农业系统，具有保水保墒、节本增效、培肥地力等优点。实行保护性耕作能在农艺、环境和经济上带来收益，对中国绿色农业发展具有重要的意义。

本报告着重介绍保护性耕作在中国的发展历程、机遇与挑战、发展建议、技术装备、经验、案例研究和未来展望，旨在支持保护性耕作在中国乃至全球的推广和应用。

## 保护性耕作的发展历程、挑战与机遇

**发展历程：**中国保护性耕作的发展历程主要包括四个阶段，即初步探索阶段（1950年-1990年）、系统研究阶段（1991年-2001年）、示范推广与重点研究阶段（2002年-2008年）和快速发展阶段（2009年-至今）。

**主要挑战：**中国保护性耕作技术面临的挑战主要包括多技术协同、机械装备、机具关键部件的加工工艺与材料、保护性耕作适宜的技术模式和长期效应、推广和示范等。

**主要机遇：**中国高度重视与政策支持。国务院、各部委和各省（市区）政府制定颁布了相关发展推广保护性耕作的政策法规。中华人民共和国农业农村部（MARA）和财政部（MOF）联合制定了《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》，计划到2025年，保护性耕作实施面积达到1.4亿亩（即933万公顷），占东北地区适宜区域耕地总面积的70%左右。成功研发一批具有自主知识产权并适合国情的保护性耕作机具。初步形成了适合东北黑土区、西北黄土高原区、西北绿洲农业区、黄淮海一年两熟区、华北长城沿线区等的区域性保护性耕作技术模式。具备了较好的经济社会环境。制定了较为完善的保护性耕作装备国家及地方标准。积累了较为成熟的建设管理经验。

## 保护性耕作发展建议

**进一步加强政策支持，完善政策体系：**建议制定适合不同区域特性的国家级保护性耕作推广政策；探索保护性耕作技术生态效益

补贴政策，以充分调动农民的积极性 and 主动性；探索保护性耕作装备生产企业税收补贴，进一步降低生产成本，充分调动农民换机和更新装备的意愿。

**加强保护性耕作协同配套技术攻关：**探索深松、秸秆还田、免少耕播种、植保、施肥、灌溉等多环节技术协同配套系统；研究在高速作业下的播种深度控制、精密播种、变量播种、均匀覆土等关键技术；研究保护性耕作年限、肥料及水分管理技术对作物产量、土壤、气候的影响；研究秸秆覆盖下病虫草害控制技术及其装备。

**研发、提升保护性耕作机具与部件：**研究保护性耕作机具关键部件加工工艺与材料，提高机具作业性能；提升保护性耕作机具智能化测控与信息化管理水平；提升免少耕播种机作业性能，研发适用于杂粮与经济作物的免少耕播种机；开发/提升秸秆覆盖条件下的植保/除草装备。

**加强培训与示范：**加强技术培训，形成具有扎实基础的保护性耕作技术人才队伍；科学规划、合理布局，将示范区建设成示范、宣传的窗口；在技术模式成熟、农民接受和基础较好的地区扩大实施规模；注重保护性耕作实施效果的宣传，引导群众采用，提高社会认知度。

**加强国际交流与合作：**设立保护性耕作国际交流资金，借鉴世界各国优秀案例与经验。

## **保护性耕作技术装备**

目前，中国已经开发出系列保护性耕作机具，并大面积应用。

**秸秆残茬管理/检测技术与机具。**秸秆残茬管理机具通常使用高速运动的秸秆粉碎刀或根茬粉碎刀。秸秆覆盖快速检测系统则应用图像处理技术。

**免少耕播种技术与机具。**防堵技术是实施免少耕播种的技术核心。按照防堵形式分为重力切茬防堵、动力驱动防堵和秸秆流动防堵等形式。此外，随着机器视觉、全球卫星导航系统等新型技术的应用，提高了播种精度。经过多年技术攻关，中国已成功开发系列高性能免少耕播种机。

**深松技术及机具。**深松作业利用深松铲疏松种床土壤，打破犁底层，有利于改良土壤结构。根据机具结构可分为全方位、凿式和振动深松。

## 保护性耕作对绿色农业发展的贡献

### 助力“碳达峰、碳中和”

**节能：**保护性耕作通过减少农机作业次数和提高肥料利用效率，可有效降低燃油、肥料等农业物质投入，间接减少温室气体排放。

**节本：**保护性耕作技术通过减少田间作业次数，可有效降低作业成本（如农机作业和劳动力费用、燃油消耗等）。

**固碳减排：**保护性耕作可减少土壤扰动，提高氮肥利用率，缓解土壤有机质分解速率，培肥地力，促进土壤固碳量的增加；作物秸秆覆盖可减少露天焚烧，降低温室气体排放。

### 控制风水蚀，减少水土流失

**降低风蚀：**秸秆根茬覆盖降低了地表风速和增强固（挡）土能力；有效蓄水增加了土壤水分，增强了土壤之间的吸附力；改善了团粒结构，使可风蚀的小颗粒含量减少，从而有效地减少农田扬尘。

**减少水蚀：**免少耕和秸秆覆盖可有效改良土壤结构，提高降雨、灌溉时土壤水分的入渗能力。

### 改良土壤结构，提高土壤地力

保护性耕作采用免少耕，减少了耕作对土壤结构的破坏，有助于农田土壤固碳和地力的提升。同时，秸秆、残茬腐烂还田后，也可改善土壤的理化性状，增加土壤有机质，培肥地力。

### 蓄水保墒，提高土壤抗旱能力

保护性耕作可有效改良土壤孔隙分布，提高土壤通气和蓄水孔隙，提高土壤导水率，增加农田土壤水分入渗和土壤蓄水能力。保护性耕作增加天然降水入渗，大幅度减少地表径流和土壤水分的无效蒸发，增强土壤蓄水保墒能力，提高农田抗旱节水能力。

## 推广保护性耕作技术的经验

**扶持推广政策：**2005-2012年及2020-2022年将保护性耕作技术写入中央一号文件，2020年实施东北黑土地保护性耕作行动计划。国务院、各部委及各级政府均颁布相关政策推动保护性耕作技术的发展。

**保护性耕作核心技术装备**：经过多年科技攻关，形成了以免少耕播种机、深松机、表土耕作机、秸秆还田机为核心适合中国国情的系列保护性耕作技术装备。

**保护性耕作机具购机补贴**：保护性耕作机具被纳入购机补贴目录。

**因地制宜的技术模式**：根据多年试验示范，形成了适合东北、华北和西北地区的节本增效、保水保肥的技术模式。

**示范项目带动**：科学使用示范项目资金，根据农民认识变化，确定不同阶段的支持重点，依靠农民实现技术普及与应用。

**利益驱动机制**：利用环境效益、资金补贴、经费支持等形式，充分调动推广机构、农民、企业、技术人员等推广应用保护性耕作的积极性。

**保护性耕作效果监测**：巩固优化监测点布局，完善监测规程，明确监测内容，确定责任单位和人员，强化对监测结果的汇总、分析和研究，注重监测数据的交流和共享，指导推广作业。

**保护性耕作技术相关培训**：采用集中培训、农机装备田间地头展、文字视听材料等方式加强技术培训。

## 典型案例

保护性耕作技术已在中国得到重视并大面积推广应用，实施范围由旱作农业区到灌溉农业区、由农田到退化草场、由北方到南方不断扩展。在推广应用过程中，涌现了大量的典型案例，如黑龙江泰来县及青冈县、新疆博乐市、辽宁新宾惠斌农机专业合作社、辽宁沈北长春农机合作社、吉林梨树卢伟农机农民专业合作社、山东青岛志涛农机专业合作社等。

## 国内外政策对比分析

北美、南美、欧洲各国颁布的相关政策法律较好地促进了各自保护性耕作（保护性农业）和绿色农业的发展；世界银行、联合国粮农组织、联合国可持续农机化中心等在中国实施的项目促进了保护性耕作（保护性农业）的发展。通过国内外相关政策对比分析，为中国保护性耕作政策的制定提供了参考，如增强保护性耕作技术补贴；保护中小农户的利益；建立全国性质的保护性耕作技术长期推广政策；强化生态保护的作用。

## 未来展望

**完备的保护性耕作技术装备：**形成具有高性能、高作业质量、智能化的保护性耕作装备，处于国际领先水平。

**细化的保护性耕作技术模式：**根据不同土壤、气候、种植制度等条件形成适合不同区域的高产高效节本保护性耕作技术模式。

**完善的保护性耕作支持政策：**中国建立适合在东北、西北、华北等地区完善的保护性耕作支持及推广政策，保护性耕作技术快速发展。

**保护性耕作技术大面积应用：**在装备、技术模式及政策的支持下，保护性耕作技术被农民接受并得到大面积应用。

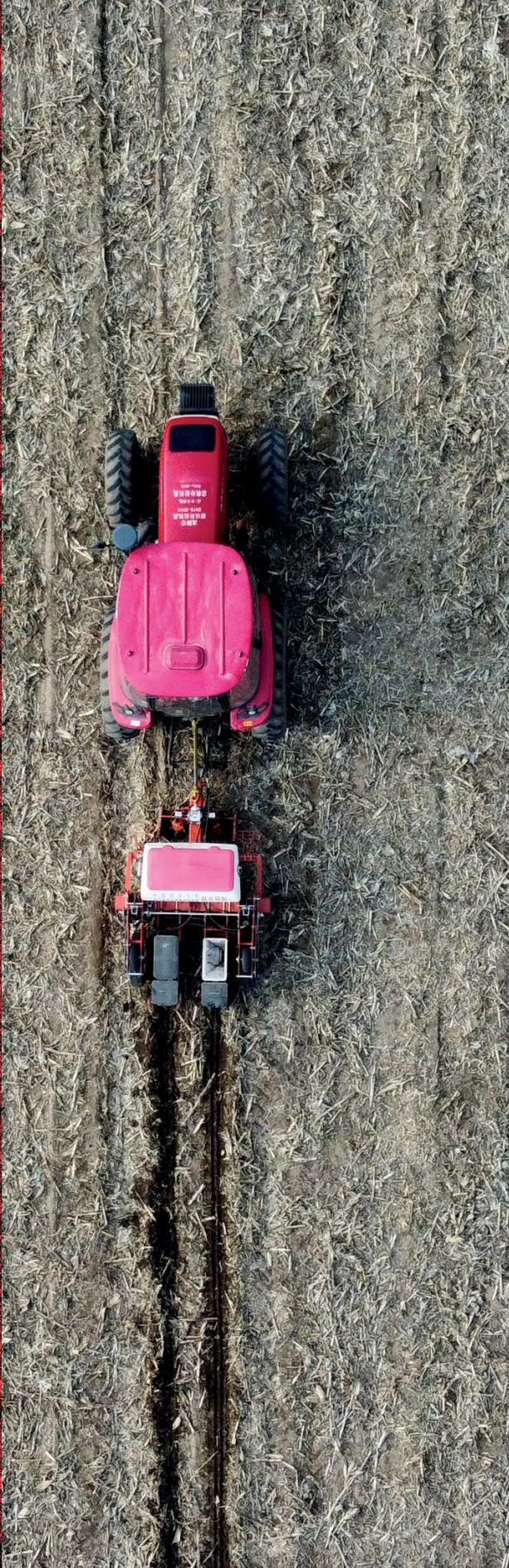
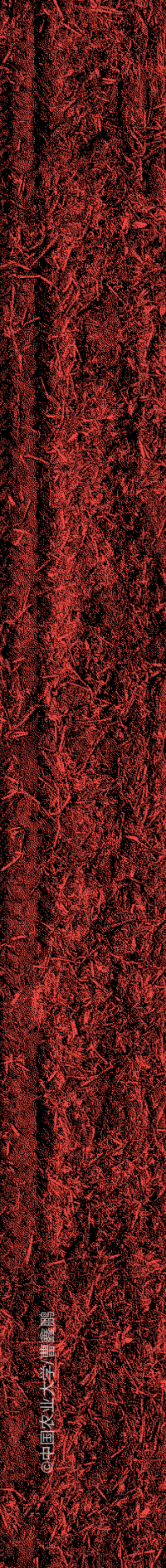


# 引言

中国农业生产在取得辉煌成就的同时，也面临着土壤退化、水资源短缺、农业环境污染等挑战，影响了农业可持续发展。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中提出“推进农业绿色转型，加强产地环境保护治理，发展节水农业和旱作农业，深入实施农药化肥减量行动，推进秸秆综合利用和畜禽粪污资源化利用”。

保护性农业是一种促进最低程度的土壤扰动（即免耕）、保持永久性土壤有机物覆盖和植物物种多样化的农业系统（粮农组织，2017，2022）。保护性农业（在中国常用“保护性耕作”）对农田实行免耕、少耕，用作物秸秆覆盖地表，结合必要的轮作，是一项可减少风蚀、水蚀，提高土壤肥力和抗旱能力的农业耕作技术，具有保水保墒、节本增效、培肥地力等优点（中华人民共和国农业部农业机械化推广司，2008）。中华人民共和国农业农村部印发了《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》。推广保护性耕作技术可带来农艺、环境和经济效益，对于中国发展绿色农业及农业可持续发展具有重要意义。

本报告重点阐述了中国保护性耕作的发展历程、机遇与挑战、发展建议、技术装备、经验教训、典型案例及未来展望等方面的内容，以期为保护性耕作（保护性农业）在中国及全球的推广应用提供支持。









# 第一章

## 保护性耕作技术的发展历程、挑战与机遇

中国地理气候条件多样，不同地区的种植制度和农业发展水平存在差异。中国北方地区主要为温带大陆性气候和温带季风气候，全年降雨量少，且季节分布不均，多为干旱半干旱区。传统农业生产在保证粮食产量的同时，也带来了土壤退化、肥力下降等问题，不利于农业可持续发展。上世纪中叶（1950年代），保护性耕作技术被引入中国。

本章重点阐述了保护性耕作技术在中国的发展历程、机遇与挑战。中国保护性耕作技术的发展分为初步探索、系统研究、示范推广与重点研究和快速发展等四个阶段；在配套技术、实施装备、关键部件加工工艺与材料、技术模式及其效应、培训与示范等方面仍面临挑战。在此基础上，分析了现阶段中国保护性耕作技术发展的主要机遇，包括国家的高度重视和政策支持、政府实施的《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》、保护性耕作装备和区域性技术模式的逐渐完善、良好的经济社会环境以及较为成熟的建设管理经验。

## 1.1 发展历程

中国自1950年代开始试验示范免少耕、深松、秸秆覆盖等单项技术。自1991年以来，以农机与农艺相结合，在西北、华北、东北、南方稻麦区等开展了系统的保护性耕作技术试验与示范。进入21世纪，保护性耕作技术研究与示范推广得到国家和各级政府的高度重视。整体上来说，中国保护性耕作技术发展可分为以下4个阶段。

### **(1) 第一阶段（1950 -1990年）— 初步探索阶段**

1950年代开始，黑龙江、江苏、山东开展了免耕播种小麦试验 (Kassam et al., 2014)。1980年代，北方地区开展了旱地小麦高留茬少耕、旱地玉米秸秆覆盖免耕、一年两熟地区免少耕栽培等技术研究；东北地区进行了秸秆覆盖与垄作结合的玉米免少耕播种等技术研究 (Benites, Derpsch and McGarry, 2003)。这些试验研究，多以人畜力作业为主，同时，研究主要以抗旱增产为目标，从不同的方面推动了保护性耕作的发展，特别是华北夏玉米免耕播种技术得到快速发展。但受技术、机具及社会经济发展水平等因素的限制，这些技术在这一阶段推广应用面积不大。

### **(2) 第二阶段（1991-2001年）— 系统研究阶段**

1990年代以来，农机农艺结合的保护性耕作系统试验逐步展开，根据地块和拖拉机动力小、经济购买力弱等国情，开展了适合旱作区的免耕播种机、深松机、浅松机和适合一年两熟区的驱动型免少耕播种机研究，保护性耕作面积得到快速增长 (Derpsch et al., 2010; Kassam et al., 2009)。这一阶段，适合中国国情的保护性耕作机具和技术取得较大进展，证明保护性耕作不但适合中国国情，而且在小地块，同样可以实现机械化作业。

1991年，中国农业大学开始了农机农艺结合的保护性耕作系统试验研究，建立了长期试验点。1992年，中国农业大学联合澳大利亚昆士兰大学及山西省农机局，开展保护性耕作中-澳合作项目，建立了保护性耕作试验区，以黄土高原一年一熟区的小麦、玉米为对象，研究适合小地块、小动力的免耕播种机，研制了以窄形开沟器、高地隙、双排梁为结构特征的中小型免耕播种机，采用被动方式防止秸秆堵塞，解决了免耕播种时化肥深施的难题。

在免耕播种机方面的研究成果为北方一年一熟区保护性耕作机具的发展奠定了基础；初步建立了以培育保护性耕作农机专业户、种粮专业户、农机服务组织为主体的推广机制；建成了一批较规范的保护性耕作长期定位试验基地。1999年，农业部保护性耕作研究中心（CTRC）正式成立。

这一阶段的研究成果，证明了保护性耕作在中国的适应性，形成了一系列实用的中小型保护性耕作机具。

### **（3）第三阶段（2002-2008年）— 示范推广与重点研究阶段**

#### **i) 示范推广—中国北方15省市区**

2002年，农业部在山西召开第一次全国保护性耕作现场会，展示第一阶段保护性耕作的研究成果，标志着中国保护性耕作已由局部地区的技术研究转为更大范围的示范。当年启动实施保护性耕作示范工程，在中国北方8省市区38个项目县示范推广保护性耕作，中国保护性耕作进入第三阶段的示范推广与重点研究阶段。

先后组织制定了《保护性耕作技术实施要点》、《保护性耕作项目实施规范》、《保护性耕作实施效果监测规程》、《保护性耕作项目实施规范》和《保护性耕作关键技术要点》等技术文件和管理规范（中华人民共和国农业农村部，2011）。编写了《保护性耕作技术培训教材》、《保护性耕作宣传画册》、《保护性耕作机具参考目录》和《保护性耕作宣传片》等资料；多个省市区先后印发了发展保护性耕作的意见，加大了推广实施力度；开展保护性耕作机具试验选型，向农民公布保护性耕作推荐机具；各级政府农机部门充分利用电视、广播和报刊杂志，进行广泛的宣传报道；利用现场会、展览会等形式，对农民和基层技术骨干进行培训；2005年中央一号文件要求：“改革传统耕作方法，发展保护性耕作”（中华人民共和国中央人民政府，2006）。同年，成立了农业农村部保护性耕作专家组，各地也纷纷成立省级、县级保护性耕作专家队伍；在主要类型区设立效果监测点，跟踪监测保护性耕作应用效果。2007年，发布《关于大力发展保护性耕作的意见》（中华人民共和国农业农村部，2007）。保护性耕作技术应用面积从2002年的100多万亩（约6.7万公顷）发展到2008年底的4000多万亩（约267万公顷）。

## ii) 重点研究——两熟区与垄作区

在这一阶段，除了继续研究、熟化黄土高原区的保护性耕作技术体系与机具，重点研究了具有中国特色的华北一年两熟区周年保护性耕作技术，以及东北垄作区保护性耕作技术 (Liang等, 2012)。

**华北一年两熟区周年保护性耕作。**二十世纪末，夏玉米免耕播种已在华北大部分地区推广应用，在防止秸秆焚烧、节本增效、促进农业可持续发展方面发挥了巨大作用。但是，由于秋季玉米收获后的小麦播种仍然采用传统耕作，无法实现周年保护性耕作。国际上保护性耕作基本上都在一年一熟区应用，在一年两熟区保护性耕作技术方面没有成熟经验。

在国家十五科技攻关项目、农业农村部项目和有关省项目支持下，开始研究华北两熟区秋季玉米收获后小麦免少耕播种技术与机具。重点解决大量玉米秸秆覆盖条件下小麦免少耕播种的难题。

经过近10年的攻关研究，先后形成适合多种秸秆覆盖条件的带状浅旋少耕播种、条带粉碎免耕播种、驱动圆盘免耕播种等动力驱动小麦免少耕播种技术与机具，有近20个企业生产动力驱动防堵小麦免少耕播种机。中国在一年两熟区周年保护性耕作技术方面处于国际领先水平，来自联合国粮食及农业组织（粮农组织）、国际土壤耕作组织等保护性农业专家对这项技术给予了高度评价，多次邀请有关技术人员在国际会议上介绍相关技术。

**东北垄作区保护性耕作。**东北垄作区最初基本上沿用平作区保护性耕作技术与机具，虽然取得了较好的效果，但是没有在这一类型区充分发挥保护性耕作技术优势。为此，从“十一五”开始，在国家和农业农村部项目支持下，开始垄作区保护性耕作技术与机具研究。

在研究垄作保护性耕作作业工艺与技术模式的同时，研究解决垄作条件下免耕播种机的秸秆堵塞、修垄等问题，形成了一套适合垄作条件的玉米免少耕播种技术与机具。

在本阶段基本上形成了第一代一年一熟区、一年两熟区以及垄作区的保护性耕作机具与技术模式。在长江流域、西北绿洲农业区也开展了保护性耕作技术的探索性研究，初步研究成果表明，在长江流域水田区实施保护性耕作同样可以实现机械化作业，节本增效，培肥地力；在西北绿洲农业区实施保护性耕作，可以提高土壤保水抗旱能力，有效减少灌溉用水，减轻土壤风蚀水蚀，增加产量。

#### **(4) 第四阶段(2009年-至今)——快速发展阶段**

在第二、第三阶段,中国已经基本形成了适合不同类型区的保护性耕作机具与技术模式,但机具种类少,好用机具少,部分技术模式区域适应性较差。

2009年,发布《保护性耕作工程建设规划(2009-2015年)》(中华人民共和国农业农村部和国家发展改革委,2009),加强保护性耕作科研及推广条件建设。从2014年起,中央财政对深松作业给予补助,将深松整地机械列为重点补贴机型。

2020年,农业农村部及财政部印发《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020-2025年)》(中华人民共和国农业农村部 and 财政部,2020),该行动计划提出,力争到2025年,保护性耕作实施面积达到1.4亿亩(即933万公顷),占东北地区适宜区域耕地总面积的70%左右,形成较为完善的保护性耕作政策支持体系、技术装备体系和推广应用体系。中国将东北地区推行保护性耕作上升为国家行动,有利于遏制黑土地退化、提升耕地质量、夯实国家粮食安全基础,体现了国家和各级政府对保护性耕作的高度重视。

中国保护性耕作推广应用的技术支撑逐步加强,因地制宜形成适合不同区域、不同耕地、不同秸秆生物量的保护性耕作技术体系,免少耕播种机更加完善。截至2018年底,保护性耕作面积达1.236亿亩(即824万公顷)(中华人民共和国农业农村部,2019)。

### **1.2 主要挑战**

经过数十年的试验研究与示范应用,已经证明了保护性耕作技术在中国应用的可行性,并初步形成了区域性的技术模式和机具系统,但是保护性耕作技术的发展仍面临着以下的挑战。

#### **(1) 保护性耕作的配套技术有待进一步突破**

现基本上形成了以免少耕播种、深松和秸秆覆盖还田为核心的技术及装备。然而,现有技术研究多集中在单一技术的创新,缺乏对于多技术协同的相关研究,如生产到收获全程管理、播种质量控制技术、多样化种植系统、免少耕播种与深松协同、肥料管理及灌溉技术、秸秆还田与病虫草害防控技术协同等仍需进一步研究。

**播种质量控制技术:**现有的免少耕播种机基本可以在大量秸秆覆盖条件下完成播种作业,但在秸秆覆盖条件下,如何确保高速免少耕播种质量亟需解决。

**保护性耕作系统中的作物多样化**：在免耕和秸秆覆盖的条件下，采用植物物种多样化（即至少三种不同作物的轮作和/或间作等）发展相对缓慢。

**肥料管理及灌溉技术**：应用保护性耕作技术后，表层土壤比较肥沃，但深层土壤肥力改善较为缓慢。现有土壤肥力与土层深度的变化规律以及土壤肥力在不同土层间的传递规律不明确，如何高效精准施肥有待进一步明确；在不影响作物产量的情况下，如何进行节水灌溉需要进一步研究。

**病虫草害控制技术**：由于地表秸秆覆盖，传统植保技术无法在地表形成封闭层（尤其是封闭除草等），因此秸秆覆盖条件下如何高效植保需要进一步攻关。

## **（2）保护性耕作装备有待进一步提升**

中国保护性耕作装备研究主要集中在免少耕播种机、深松机和秸秆还田机等方面，基本可以满足秸秆覆盖条件下的作业需求，但作业质量有待提高。同时，免少耕播种机多用于小麦、玉米等作物和北方旱地，对于适用于杂粮、油菜等作物和南方水田的免少耕播种机有待进一步研究；对表土作业机、除草机、适用于秸秆覆盖下的植保机等研究较少。另外，现有保护性耕作装备智能化和信息化水平相对较低，无法满足农民对高性能保护性耕作装备的需求。

## **（3）关键部件加工工艺与材料有待突破**

在秸秆覆盖条件下，免少耕、秸秆处理、深松、表土耕作工况复杂多变，作业过程中，现有的防堵部件、秸秆粉碎部件（如粉碎机、圆盘等）、深松铲等与秸秆/根茬、土壤相互作用易磨损；刀轴、弹齿等部件则承受较大的动态激励和冲击载荷易变形。因此，在装备制造方面，需通过以下途径改进机具关键部件的加工技术和材料：（i）在加工工艺方面，借鉴装备制造领域先进工艺技术，如气体保护焊、耐磨材料堆焊、表面涂层以及热处理等，充分保证关键部件的作业性能。（ii）在材料方面，应充分发挥多学科交叉研究优势，研制适用于保护性耕作机具的耐蚀、耐磨、耐冲击和耐疲劳新型材料。突出加工工艺改进和新材料应用，是提升保护性耕作机具核心部件作业性能的关键。



#### **(4) 技术模式有待进一步细化**

现在中国已经基本形成了适于不同区域的保护性耕作技术模式，但是由于同一区域的气候环境条件、土壤类型、种植模式、机具水平和经济发展水平等存在差异，导致一种保护性耕作技术模式无法满足本区域需求，因此需要进一步进行定点试验研究与示范，对区域性的技术模式进一步细化和完善，并形成作业规范和标准，以指导保护性耕作技术推广应用。

#### **(5) 模式效应有待进一步明确**

现有在保护性耕作技术减少水土流失、改善土壤结构和肥力、改善土壤微生物种群结构、增加作物产量等方面进行了较多研究，但多数基于短期试验，对于在不同区域、环境和种植模式下，长期保护性耕作对作物产量、土壤有机质、土壤固碳、土壤生物种群结构等方面的影响机理还不明确；保护性耕作下，秸秆还田方式及还田量、深松深度及频率、作物种类及轮作模式等综合因素对作物产量、土壤性质、农田温室气体排放等的影响机理仍需进一步研究。

#### **(6) 培训与示范有待进一步加强**

目前保护性耕作技术培训与示范已经取得大量的成果，促进了政府人员、科研人员、农民、企业职工等主体对保护性耕作的了解与认知，但依然存在人才队伍建设不完善、农民认知不足、示范作用不够等问题。

**人才队伍不完善：**保护性耕作技术专业人才在机具装备、技术模式以及相关理论等方面的知识有待进一步加强；科研院所、各级推广机构、农机企业等的保护性耕作专业队伍规模有待进一步完善。农村青年和妇女通过新型农业经营主体等推广保护性耕作仍有待加强。

**农民认知不足：**保护性耕作虽然示范推广多年，但传统耕作观念的转变仍需时间。保护性耕作在改良土壤、增产等方面的效益需要多年显现；由于区域性保护性耕作技术模式不够完善、配套机具不全或者作业质量不佳等，保护性耕作的效益不能充分发挥；保护性耕作的推广还应进一步考虑农村妇女、青年和弱势群体。这些都影响了农户对这一技术的接受。

**示范作用不足**：迫切需要加强技术示范作用，以村带乡，以乡带县，促进保护性耕作技术发展。

**长效促进机制不足**：建立保护性耕作长效促进机制，保障农民和企业的利益。提高保护性耕作机具质量，加强农机社会化服务组织和新型农业经营主体（如合作社）在保护性耕作推广应用中的主导作用。

## 1.3 主要机遇

### （1）国家高度重视与政策支持

随着保护性耕作技术的推广应用，其效益得到了国家和各级政府的充分认可，并制定了系列法律与政策（表1），加快这一技术的发展。2022年，全国人民代表大会通过了《中华人民共和国黑土地保护法》（中华人民共和国全国人民代表大会，2022），为保障国家粮食安全、保护生态系统作出了努力。该法要求县级以上人民政府通过采用和推广保护性耕作（免耕/少耕、深松等）和农业机械，保护黑土地。中央一号文件（2005-2012年，2020-2022年）多次提出发展推广保护性耕作技术。同时，各部委和各省区市政府也制定了相关的政策法规。国家和各级政府的高度重视，极大地促进了保护性耕作技术在中国的试验、示范和推广。

### （2）东北黑土地保护性耕作国家行动计划（2020-2025年）

经过多年努力，中国东北地区保护性耕作取得明显进展，技术模式总体定型，关键机具基本成熟，已经具备在适宜区域全面推广应用的基础。为加快保护性耕作在东北地区的推广应用，农业农村部 and 财政部联合制定了《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》。计划到2025年，保护性耕作实施面积达到1.4亿亩（即933万公顷），占东北地区适宜区域耕地总面积的70%左右，使保护性耕作成为东北地区适宜区域的主流耕作技术。优先选择具有较好基础的县（市、区）开展整县推进，用3年左右时间，在县域内形成技术能到位、运行可持续的长效机制，保护性耕作面积占比原则上超过县域内适宜区域的50%以上，在其他县（市、区）扎实开展保护性耕作试点示范，逐步扩大实施面积，条件成熟的可组织整乡整村推进。组建保护性耕作技术专家指导组，研究制定主推技术模式和技术标准，开展技术培训与交流，指导基地建设，为实施行动计划提供决策服务和技术支撑。

表1

中国推广保护性耕作技术的部分政策

类型/机构	内容/名称
全国人民代表大会	《中华人民共和国黑土地保护法》(2022年6月24日第十三届全国人民代表大会常务委员第三十五次会议通过)
中央一号文件	保护性耕作多次被写入中央一号文件(2005-2012年, 2020-2022年), 其中2020年启动实施东北黑土地保护性耕作行动计划(2020-2025年), 2021年实施国家黑土地保护工程实施方案(2021-2025年)等
国务院	《关于进一步加强防沙治沙工作的决定》(2005年) 《关于加强土地调控有关问题的通知》(2004年) 《关于印发中国21世纪初可持续发展行动纲要的通知》(2003年) 《关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》(2010年) 《中国应对气候变化的政策与行动》(2021年) 《国家农业节水纲要(2012-2020年)》 《全国农业现代化规划(2016-2020年)》 《国家应对气候变化规划2014-2020》等
农业农村部、国家发展和改革委员会、科技部、财政部、国土资源部等	《全国防沙治沙规划(2011-2020年)》 《保护性耕作工程建设规划(2009-2015年)》 《全国农业可持续发展规划(2015-2030)》 《关于加快发展农业循环经济的指导意见》(2016)等
山西、河北、四川、辽宁、山东、河南等	《农业行业扶贫开发规划(2011-2020年)》 《河北省人民政府关于加强粮食生产能力建设的实施意见》 《山东省农业节能减排实施方案的通知》等

资料来源: 作者为本报告编制。

### (3) 研发了适用的保护性耕作机具

先进适用的专用机具是保护性耕作得以有效实施的必要保证。中国保护性耕作机具研制取得了突破性进展, 已经开发成功一批具有自主知识产权并适合国情的保护性耕作机具, 主要包括小麦、玉米免少耕播种机、秸秆粉碎还田机、深松机等, 并实现批量生产。农业农村部每年组织开展保护性耕作专用机具试验选型, 选择一批性能较好的机型向社会公布, 为农民购置机具提供指导。这些机具为保护性耕作技术在中国的大面积推广提供了装备支撑。

#### **(4) 初步形成了科学的区域性技术模式**

通过数十年的研究、集成与创新，根据不同区域的气候类型、土壤条件、种植模式等特点，初步形成了适合东北平原区、东北垄作区、东北西部干旱风沙区、西北黄土高原区、西北绿洲农业区、黄淮海两茬平作区、华北长城沿线区等的保护性耕作技术模式，并推广应用。

#### **(5) 具备了较好的经济社会环境**

中央关于资源节约、环境友好、转变农业发展方式等政策导向要求，为加快推广普及保护性耕作提供了有利契机。同时，中国工业制造生产水平稳步提升，这也为保护性耕作机具提供了良好的生产条件。

中国农机装备总量持续增长，农机作业水平不断提高。2019年全国农作物耕种收综合机械化率超过70%，小麦、水稻、玉米三大粮食作物生产基本实现机械化。近年来，中央强农惠农政策的实施力度不断加大，农民购买农业机械和采用先进农业生产技术的积极性高涨，为积极推进保护性耕作创造了良好机遇。

#### **(6) 制定了较为完善的保护性耕作技术农机装备国家及地方标准**

先后制定了《GB/T 24675.1-2009 保护性耕作机械浅松机》、《GB/T 24675.2-2009 保护性耕作机械深松机》、《GB/T 24675.3-2009 保护性耕作机械弹齿耙》、《GB/T 24675.4-2009 保护性耕作机械圆盘耙》、《GB/T 24675.6-2009 保护性耕作机械秸秆粉碎还田机》、《NY/T 2085-2011 小麦机械化保护性耕作技术规范》、《NY/T 2190-2012 机械化保护性耕作名词术语》等系列国家及地方标准，有效指导了保护性耕作技术的推广以及装备的研制。

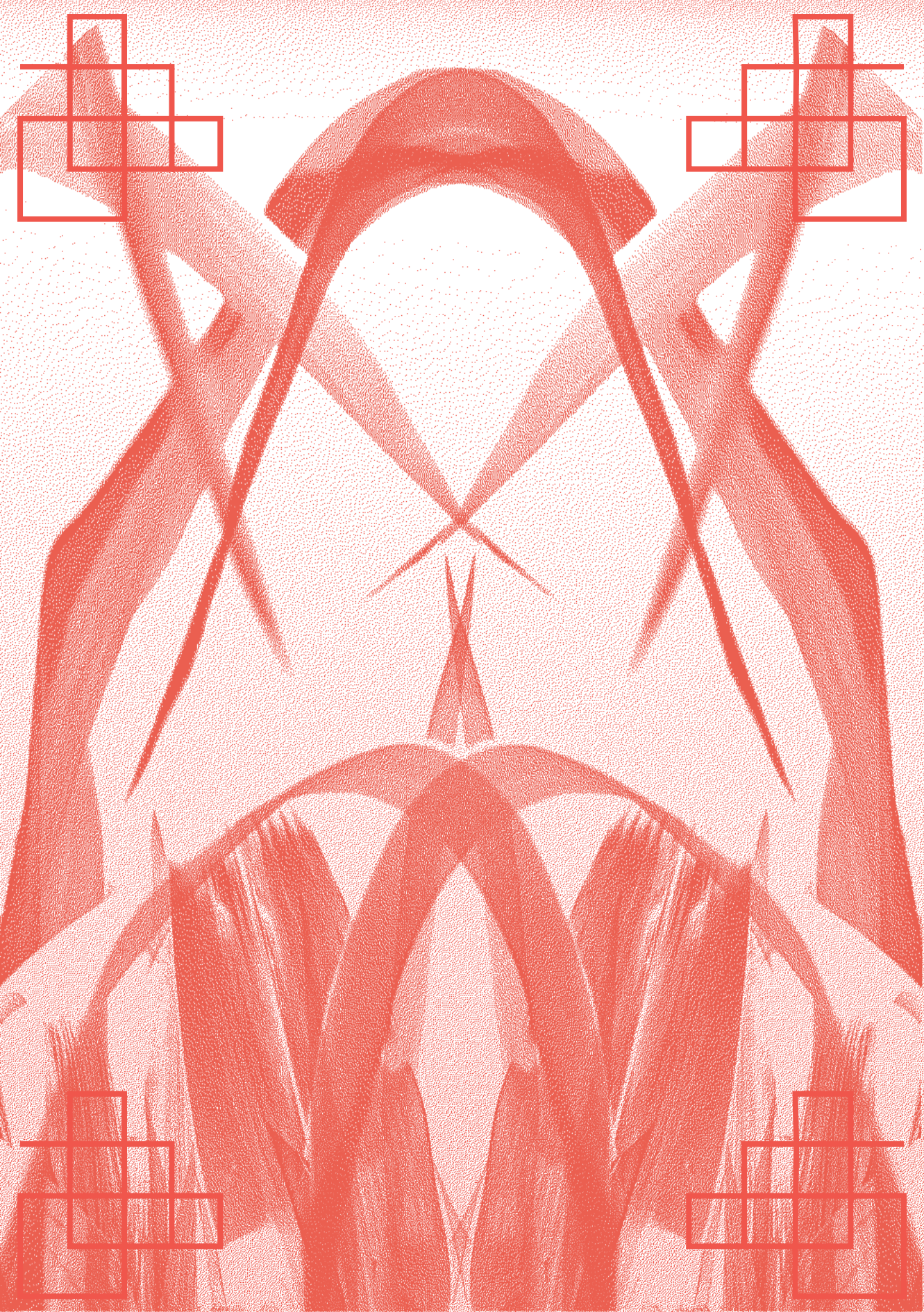
#### **(7) 积累了较为成熟的建设管理经验**

通过长期实践，制定了一系列保护性耕作项目管理的科学化、规范化和制度化建设措施：

**i) 建立较为完善的规章制度。**先后组织制定了《保护性耕作技术实施要点》、《保护性耕作项目实施规范》、《保护性耕作实施效果监测规程》、《保护性耕作项目检查考评办法》等技术文件和管理规范，加强项目的监督检查，建立专家顾问组，进行巡回技术指导。

**ii) 重视宣传培训。**组织编发了《保护性耕作技术培训教材》、《保护性耕作知识问答》、《保护性耕作机具参考目录》、《保护性耕作宣传片》、《保护性耕作宣传画册》等材料，采用现场会及各种媒体形式，广泛宣传保护性耕作。

**iii) 探索运行机制。**初步建立了政府推动、农民参与，以农机专业组织和农机大户为主体，基层农机推广机构及维修、信息咨询等服务组织为支撑的保护性耕作综合服务体系，不断完善市场化服务机制。这些管理经验，为保护性耕作技术的推广奠定了良好的基础。



## 第二章

# 保护性耕作技术发展建议

经过多年探索，在东北、华北、西北等地区基本形成了适合当地的保护性耕作技术模式，研发了相应的机具，建立了试验示范基地，形成了一批生产研发保护性耕作机具的企业，这为保护性耕作技术在中国的快速发展奠定了良好基础。本章从政策支持、技术攻关、机具与部件研发、培训与示范、国际合作与交流等方面提出了中国保护性耕作技术的发展建议。

### 2.1 政策支持

#### **(1) 形成适合不同区域特性的保护性耕作推广政策**

目前，为保护黑土地，农业农村部 and 财政部联合印发了《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》，极大地促进了保护性耕作技术在东北的推广应用。但在华北、西北等地区，保护性耕作技术的推广缺乏国家层面的政策支持，因此，建议出台针对不同地区的保护性耕作技术推广国家政策，完善政策体系。

#### **(2) 探索保护性耕作技术生态效益补贴政策**

现有政策多集中在保护性耕作机具购机补贴，较好地调动了农民购机意愿。当前，《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》的实施，在东北黑土区应用保护性耕作给予相关补贴，建议在其他地区也进行生态效益补贴，即补贴保护性耕作对土壤、水和环境的积极影响，充分调动农民的积极性 and 主动性。

### **(3) 探索保护性耕作装备生产企业税收补贴**

由于保护性耕作装备有别于传统农机装备，建议探索保护性耕作装备生产企业税收补贴政策，如减免税，进一步降低机具成本，充分调动农民更新装备的意愿。

## **2.2 保护性耕作相关技术协同配套系统**

### **(1) 多技术协同配套系统**

如在不同区域及种植模式下，研究土壤类型、秸秆还田量及还田方式对农田环境中“光热水气肥”传递及作物产量的影响；研究免少耕年限对土壤理化特性、土壤微生物群落结构、作物产量等的影响；研究不同耕作次序对土壤结构、成本收益、温室气体排放的影响等。根据当地实际情况与价值链，加强保护性耕作模式下生物多样性（如轮作和间作）的应用。

### **(2) 播种质量控制技术**

在不同区域及种植模式下，研究速度、振动对播种质量的影响，研发播种深度控制系统；研究播种作业参数实时监控系统，根据土壤肥力、产量、气候等信息，实时调节播种量。

### **(3) 肥料管理及灌溉技术**

在不同区域及种植模式下，研究保护性耕作年限对土壤肥力、氮磷钾等元素分布的影响；研究不同肥料施肥量及灌溉量、肥料与灌溉时间、频率与方式对作物生长、产量及土壤肥力的影响；研究秸秆覆盖条件下的肥料管理及灌溉装备。

### **(4) 病虫草害控制技术**

研究秸秆覆盖条件下，植保用药量、种类、时间等对病虫草生长的影响，研发适合秸秆覆盖条件的植保装备。

## **2.3 保护性耕作机具与部件的研发及提升**

### **(1) 提升机具关键部件加工工艺与材料**

保护性耕作的实施涉及多个作业环节，作业工况复杂，触土、排种等关键部件易损坏，因此需研制适用于保护性耕作机具的耐蚀、耐磨、耐冲击和耐疲劳新材料，改善加工工艺，提高机具作业性能。

### **(2) 优化机具智能化测控与信息化管理装备**

利用机电液控制、机器视觉等技术，对播种、秸秆粉碎、植保等关键作业进行实时监控；利用卫星导航、图像处理等技术实现高效避茬免耕播种；利用深度自动控制技术实现深松深度的实时控制；形成保护性耕作机具智能化测控与信息管理系统。



### **(3) 优化免少耕播种机具性能**

提升现有免少耕播种机性能，保证小麦、玉米的高质量播种；需研发适合杂粮、油菜、大豆等的免少耕播种机，扩展技术应用范围。

### **(4) 研发与优化适用于秸秆覆盖条件的植保与表土耕作装备**

研究秸秆覆盖条件下，利用卫星定位、图像处理等技术精准识别病虫草害，开发、提升植保装备；研究表土耕作触土部件防堵减阻方法，研发、提升表土耕作装备。

## **2.4 培训与示范**

### **(1) 加强人才队伍建设**

人才队伍是推广保护性耕作技术的根本保障。通过印发教材、线上线下培训、实地教学参观、小组探讨等方式讲解保护性耕作技术要点、装备与技术模式等，对政府人员、企业人员、推广人员、种植大户等进行培训，形成具有扎实基础的保护性耕作技术人才队伍。

### **(2) 加强示范区建设**

科学规划，把示范区建设成示范、宣传的窗口。通过示范区，确立主推技术路线，确定成熟机型。

### **(3) 扩大实施规模**

在技术模式成熟、农民接受和基础较好的地区扩大实施规模。选择积极性高的农机大户、种粮专业户等作为带头人，在政策和技术上给予支持，通过他们成功实践带动周边农户，扩大应用面积。

### **(4) 强化培训指导**

通过培训，使基层农机技术推广人员掌握保护性耕作技术要点，学会技术推广方法，农民会操作机具，掌握技术要领。发挥专家作用，深入一线，及时解决推广中的问题。

### **(5) 强化宣传工作**

结合报纸、电视、广播、网络媒体的特点，加强保护性耕作实施效果宣传，引导群众采用。结合科技入户、科技下乡等活动，利用各种渠道强化宣传效果。

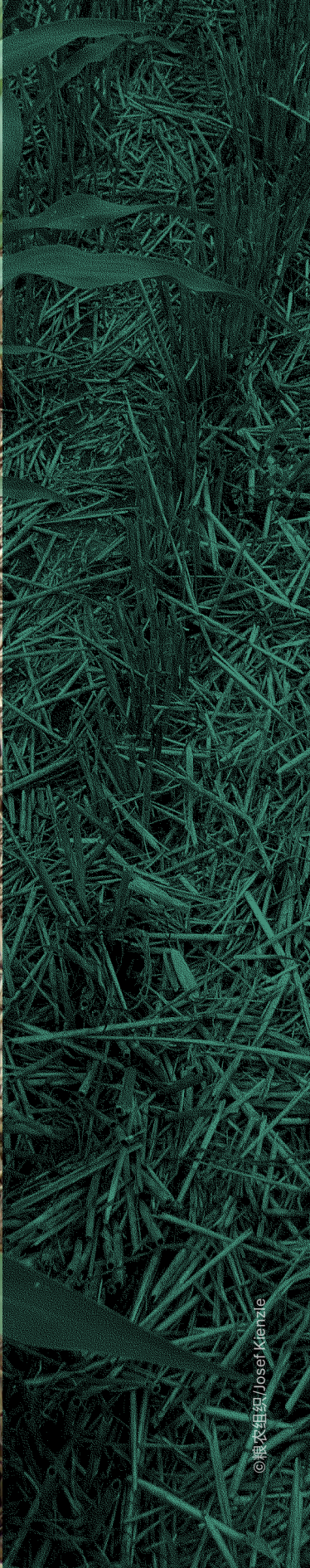
### **(6) 建立长效促进机制**

建立保护性耕作长效促进机制，支持企业（包括减免税、补贴和项目资助）、农机社会化服务组织、合作社和农民等推广应用保护性耕作技术并确保其收益。鼓励企业采用先进技术和生产工艺提高保护性耕作机具性能。农机社会化服务组织和新型农业经营主体（如合作

社)要发挥好示范和培训农民方面的主导作用。此外,加强研究与推广的联系、公私主体合作、多方协作和共同投资等,促进中国保护性耕作的长期应用推广。

## **2.5 国际交流与合作**

保护性耕作(保护性农业)技术现已推广应用到100多个国家,成为世界上应用最广、效果最好的一项旱作农业技术。据统计,全世界保护性耕作面积已达2亿公顷(即30亿亩),占世界总耕地面积的15%(Kassam, Friedrich and Derpsch, 2019)。为加快保护性耕作技术发展,根据区域特点和推广需要,设立保护性耕作国际交流资金,借鉴世界各国优秀案例与经验。同时,邀请国际专家实地考察交流,探索保护性耕作技术推广理论、发展模式和长效机制。





# 第三章

## 保护性耕作技术装备

保护性耕作机具主要包括秸秆残茬管理、免少耕播种和深松机具等(何进等, 2018)。秸秆残茬管理是保护性耕作的基础, 秸秆覆盖的好坏, 直接关系到保护性耕作实施的成败; 免少耕播种机在有秸秆覆盖的地表播种, 有效防堵是其顺利实施的前提; 深松是蓄纳降雨、打破犁底层等所采取的土壤疏松措施。

本章重点介绍了保护性耕作应用所涉及的技术与机具, 如秸秆残茬管理与检测、免少耕播种和深松, 并根据监测方法概述了保护性耕作机具作业面积监测系统。

### 3.1 秸秆残茬管理及检测技术与机具

#### (1) 秸秆残茬管理

保护性耕作需要对秸秆残茬进行高效管理, 以保证秸秆还田和免少耕播种作业质量。秸秆残茬管理机具通常利用高速运动的粉碎刀, 对秸秆或根茬进行多次高速打击、砍切、揉搓、撕裂, 将其粉碎成碎段和纤维状, 并抛撒于地表, 具有作业质量好、生产率高等特点。

秸秆粉碎还田机具中, 根据刀片粉碎秸秆方式的不同, 可以分为旋转和砍切两种类型。旋转粉碎方式的工作原理是通过高速旋转的锤爪或甩刀, 对秸秆进行多次高速锤击、切割和揉搓, 将秸秆粉碎成丝瓢状。砍切类型的工作原理是通过压辊将秸秆沿机具前进方向压倒, 切刀往复运动, 将秸秆切成段状。

机具作业时，轴上的旋转刀片高速旋转，切割秸秆，并在进料口负压作用下，将秸秆带入机壳内。秸秆经切割、撕裂、反复揉搓后被粉碎成片状或纤维状。最后，碎秆在气流和离心力作用下抛撒于地表。

秸秆粉碎还田机与根茬粉碎还田机的核心部件是切碎刀片。刀片及其设计对秸秆与根茬的切碎质量、机具作业的功耗和使用寿命都有显著影响（付雪高等，2011）。目前应用较多的刀型有弯刀（Y形和L形）、直刀、锤爪（Liu et al, 2008）等（表2）。机械化秸秆残茬管理方式可在高效完成秸秆和根茬粉碎还田作业的同时节约成本。部分秸秆残茬管理机具如（表3）所示。

**表2**  
几种常用刀片作业原理、特点及适用范围

刀片类型	结构	原理	特点	适用范围
直刀		与定刀配套使用。对秸秆进行高速剪切和冲击，打击次数多，转动惯量小	优点：粉碎效果好，消耗功率少，作业效率高；缺点：对秸秆残茬的捡拾、抛撒效果较差	稻、麦类软质秸秆作物
Y刀		一般由两片刀片成组安装使用，刀片弯曲切割部分开有刃角，高速旋转击碎、切断秸秆和残茬	优点：对秸秆残茬的捡拾、抛撒效果较好，消耗功率少；缺点：使用寿命较短	硬茬作物（玉米、高粱等）
锤爪		质量大，粉碎方式以冲击为主，伴随剪切撕裂	优点：切碎质量高，刀片强度较高；缺点：消耗功率大	硬茬作物（玉米、棉花等）
L刀		刀刀分为单面、双面两种形式。刃口能有效切碎根茬，带动根茬混埋入土	优点：对根茬的捡拾效果好，碎秆混土效果好；缺点：结构强度较低	玉米、高粱、棉花等作物根茬
T刀		通过横向与纵向双重切割，以切割为主，击打为辅	优点：切碎效果好，瞬时转动惯量大；缺点：结构复杂，拆卸更换不便	硬质秸秆、残茬及小灌木等
V-L刀		在L形刀片上增加V形弯曲部分	优点：延长刀片的使用寿命、提高秸秆粉碎效果；缺点：加工要求高	玉米等

资料来源：CelliSpA. undated. 多功能固定式秸秆粉碎机。引用于2021年4月30日。www.cellit.it/en

Rasspe. undated. 直刀。引用于2021年4月30日。www.rasspe.de

贾洪雷, 姜鑫铭, 郭明卓, 刘晓亮, 王立春. V-L型秸秆粉碎还田刀片设计与试验. 农业工程学报, 2015, 31(1): 28-33.

徐春华, 介战. T型板刀式秸秆还田机刀辊设计. 拖拉机与农用运输车, 2014(5): 50-51.

表3

部分秸秆残茬管理机具

型号	类型	总体结构	技术特点
4YZ系列玉米联合收获机	秸秆粉碎还田装置+收获机		整机安装粉碎装置。工作幅宽1.85-2.1m，生产率为0.3-0.9公顷/h
1JH系列秸秆还田机	卧式秸秆粉碎还田机		可对玉米、高粱等硬质秸秆和小麦、水稻等软质秸秆直接粉碎还田。作业速度2-5km/h，工作效率0.23-0.8公顷/h
4JH-140型秸秆粉碎还田机	立式秸秆粉碎还田机		工作幅宽1400mm，切碎长度合格率≥85%，秸秆抛撒不均匀度≤20%，配套动力25-36kW，结构质量480千克

资料来源：农机通。2022。4JH-140型秸秆粉碎还田机。引用于2022年4月30日。www.nongjitong.com/product/shzxc\_s\_4jh-140\_straw\_returning\_machine.html

潍柴雷沃重工。2020。4YZ系列玉米联合收获机。引用于2021年4月30日。www.lovol.com/agricultural/yu-mi-ji.htm

中国一拖集团有限公司。2017。1JH系列秸秆还田机。引用于2021年4月30日。www.yituo.com.cn/cpxx/jjcp/jgj/201706/t20170620\_156686.html

## (2) 地表秸秆覆盖率快速检测

秸秆覆盖是保护性耕作的一项核心技术，可减少土壤风蚀、水蚀，提高土壤含水率及作物产量(章志强等, 2017)。机具作业前后的秸秆覆盖率对于保护性耕作技术的判定及机具作业性能的评价具有重要意义。

针对地表作物秸秆识别率低、效率不高的问题，李世卫(2009)等通过分析秸秆与地表纹理差异，提出一种通过阈值分割作物秸秆获取地表秸秆覆盖率的方法，检测误差率低于10%。苏艳波等(2012)通过采用最大类间方差法自动选取阈值以提高作物秸秆识别的准确性，误差控制在4%以内。魏延富等(2005)则采用人工神经网络与纹理特征的熵值相结合的方法识别作物秸秆，其识别误差不超过5%。姚宗路等(2005)研发了一种车载地表秸秆覆盖率识别系统，秸秆覆盖率识别误差为4.55%。刘媛媛等(2020)提出了基于图像多阈值的自动分割方法用于地表秸秆覆盖率检测，其检测误差不超过8%。

当前，保护性耕作地表秸秆覆盖率快速检测系统仍存在以下问题：(i) 采集的保护性耕作地表图像多为特定场合，样本比较单一，且实际作业时光照、田间环境复杂多变，检测方法的准确性、普适性等仍需进一步提高；(ii) 现有检测多为田间采集样本，实验室处理分析，车载高精度实时检测系统是亟待解决的难题。

表4

2020年全国主要地区免少耕播种机相关信息统计

地区	补贴			销售		
	类型总数量/ (台套)	驱动防堵型数 量/(台套)	驱动防堵 比例/%	销售总量 (台套)	驱动防堵销售 量(台套)	驱动防堵销售 量比例/%
甘肃	302	108	35.76	389	58	14.91
新疆	317	99	31.23	210	210	100.00
西藏	164	47	28.66	26	26	100.00
四川	83	42	50.60	131	48	36.64
陕西	96	48	50.00	1696	99	5.84
山西	304	100	32.89	937	319	34.04
山东	296	102	34.46	477	311	65.20
青海	213	67	31.46	40	27	67.50
内蒙古	514	85	16.54	3187	55	1.73
辽宁	243	56	23.05	2222	13	0.59
湖北	222	83	37.39	1672	738	44.14
河南	207	108	52.17	8639	1605	18.58
河北	337	98	29.08	2240	39	1.74
安徽	276	130	47.10	4103	860	20.96
全国	5288	1516	28.67	43330	4489	10.36

资料来源:王晴晴,郑侃,陈黎卿。我国免耕播种机发展现状与趋势。农业机械,2021(03):57-60。

### 3.2 免少耕播种技术与机具

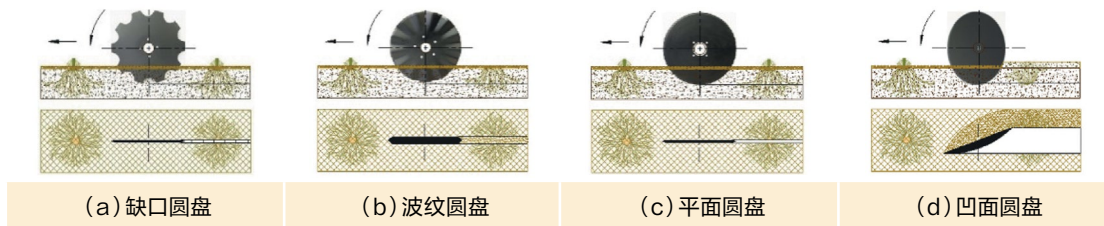
免少耕播种机在有秸秆残茬覆盖的地表进行免耕或者少耕作业,秸秆残茬覆盖量影响着机具作业质量。有效防堵是实施免少耕播种的技术核心,按照防堵形式分为重力切茬防堵、动力驱动防堵和秸秆流动防堵等形式。目前中国已基本形成可满足需求的系列免少耕播种机。2020年全国销售免少耕播种机数量达4339台套(表4)。截止2020年初,中国免少耕播种机保有量103.41万台(王晴晴等,2021)。

#### (1) 重力切茬防堵

免耕播种机重力切茬防堵技术主要以圆盘开沟器为核心部件,其防堵原理是开沟圆盘在机具自身重力作用下高速转动,滚动切割秸秆、根茬和土壤,实现顺畅播种、施肥。该技术的优点是工作部件沿地面滚动,具有良好的防堵性能,但由于圆盘开沟器需要较大的正压力,因而播种单体相对较重。

根据圆盘形状结构可分为缺口圆盘、波纹圆盘、平面圆盘、凹面圆盘、涡轮圆盘等(图1)。缺口圆盘由于外缘具有一定的冲击作用,因此具有较强的切土、碎土和切断残茬的能力(图1a),适用于黏重土壤。波纹圆盘依靠重力和弹簧附加力产生的切、挤作用在





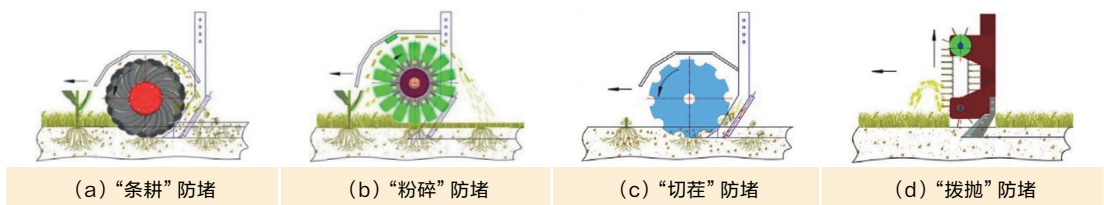
**图1**  
圆盘重力切茬防堵原理图

资料来源：何进，李洪文，陈海涛，卢彩云，王庆杰。保护性耕作技术与机具研究进展。农业机械学报，2018，49(4)：1-19。

**表5**  
部分重力切茬防堵免耕播种机

型号	圆盘类型	总体结构	技术特点
2BMYFZQ牵引式免耕指夹精量施肥播种机			可一次完成侧深施肥、种床清茬与整备、单粒播种、覆土镇压等工序。播种行数6行，整机质量1830千克，工作速度6-10km/h，工作幅宽4.2m，工作效率2.0-3.6km <sup>2</sup> /h
2BMQE免耕精量播种机			播种行数7行，作业宽度4.9m，行距45-70cm，450mm大直径施肥开沟圆盘，质量可靠，秸秆切断能力强
2BFM精量免耕播种机			播种行数6行，深施肥10-15cm，肥量可在每公顷300-1000千克无极调整
2BMZ型免耕精密播种机			总重1620千克，播种行4行，作业幅宽2.6m，作业速度范围5-8km/h，通过调节四杆弹簧拉力调节播种单体的入土能力
2BMZ系列免耕播种机			双圆盘开沟，缺口圆盘破茬，正压力为400-900N；后部采用带拔茬装置的圆盘开沟器。作业行数2-6行等

资料来源：农机360网。undated。免耕播种机。引用于2021年4月30日。www.nongji360.com



**图2**  
动力驱动防堵原理图

资料来源：何进，李洪文，陈海涛，卢彩云，王庆杰。保护性耕作技术与机具研究进展。农业机械学报，2018，49(4)：1-19。

表6

部分动力驱动防堵免少耕播种机

型号	驱动防堵类型	总体结构	技术特点
2BXS-16免耕施肥播种机	条耕式		条带旋耕种床，可适应地表不平状况。小麦播种行数16行。作业幅宽3.25m，机具质量1030千克，配套动力66.2-88.3kW，作业效率0.9-1.6公顷/h
2BFM-18免耕施肥播种机	条耕式		采用旋耕直刀式，动土量相对较小。采用窄形箭铲式开沟器，入土性能好。机具小麦播种行数18行、行距25cm。机具质量790千克，配套动力62.5-73.5kW，作业效率0.2-0.6公顷/h
2BMYF-18免耕施肥播种机	条耕式		每个开沟器对应一组旋耕刀，旋耕刀对播种行上的根茬、秸秆进行破茬粉碎。机具小麦播种行数18行、行距20cm；玉米播种行数6行、行距45-75cm。作业幅宽3.6m，配套动力73.5kW以上
2BDPM-12型免耕播种机	切茬式		斜置圆盘刀安装在机具前部，圆盘刀直径403mm，机具作业时对土壤扰动小。小麦播种行数12行、行距18cm；玉米播种行数6、行距54.5cm，作业效率0.43-0.86公顷/h
2BMQF-6/12免耕施肥播种机	切茬式		采用带状锯齿式防堵装置，可播种小麦、玉米和大豆，行距可调。整机质量860千克，作业幅宽1.94m，配套动力58.8-73.5kW，作业效率0.4-0.67公顷/h
2BMFJ系列免耕精量播种机	粉碎式+ 拨抛式		采用对辊侧旋式的清秸装置，对种行两侧秸秆和根茬循环打击，将其抛撒至清秸装置侧向实现防堵。玉米行数4行、6行等，配套动力51.5-81kW

资料来源：陈海涛，查韶辉，顿国强，从光波，李昂，冯爽宁。2BMFJ系列免耕精量播种机清秸装置优化与试验。农业机械学报，2016，47(7)：96-102。  
 洛阳市鑫乐机械科技股份有限公司。2020。2BMFJ系列免耕精量播种机。引用于2021年4月30日。www.lyxinle.cn  
 农机360网。undated。2BMQF-6/12系列免耕施肥播种机。引用于2021年4月30日。www.nongji360.com  
 农机通。2020。2BXS-16系列免耕施肥播种机。引用于2021年4月30日。www.nongjitong.com/product/haofeng\_2bxs-16\_seeder.html  
 山东大华机械有限公司。undated。2BMYF-18系列免耕施肥播种机。引用于2021年4月30日。www.dhbl.net  
 山西河东雄风农机有限公司。2020。2BFM-18免耕施肥播种机。引用于2021年4月30日。www.hedongxiongfeng.cn

作业区形成较宽的松土带（图1b），但所需的入土力增大，不适宜在黏重土壤条件下工作。波纹圆盘刀的槽数越多、波纹越小，开沟宽度越窄。平面圆盘与播种机前进方向平行时，圆盘的作用只是切开根茬、切断杂草和秸秆、在土壤表面切出一道缝，后续安装开沟器开沟（图1c）。平面圆盘与播种机前进方向有一定夹角时，则可直接进行播种、施肥。凹面圆盘与前进方向有一定夹角，工作时，可利用圆盘的滚动作业，将秸秆、根茬和表土抛离原位（图1d），实现破茬开沟。

部分重力切茬防堵免耕播种机如（表5）所示。

## (2) 动力驱动防堵

免少耕播种机动力驱动防堵技术主要适用于秸秆覆盖量大的一年两熟区，其工作原理是利用拖拉机的动力输出轴提供动力，驱动防堵装置对秸秆残茬进行粉碎、抛撒等作业实现防堵。

目前对驱动防堵部件的研究从原理上主要分为“条耕”、“粉碎”、“切茬”和“拨抛”等形式（图2）。“条耕”防堵的工作原理是在播种机开沟器前方安装旋耕刀，对播种行进行条带浅耕，粉碎、破除秸秆和根茬，整备种床，保证播种质量（图2a），目前应用比较广泛的是条带旋耕模式。“粉碎”防堵的工作原理是利用安装在开沟器前方（或两侧）高速旋转的粉碎刀将播种行的秸秆粉碎，并将碎秆抛向开沟器后方（图2b），从而实现防堵。在“粉碎”防堵过程中，粉碎刀不接触土壤，不会对土壤产生扰动，且高速旋转的粉碎刀对播种行的秸秆有很强的粉碎作用和后抛能力，防堵性能好。“切茬”防堵的工作原理是切茬圆盘在动力驱动下主动旋转，只需较小正压力就可将覆盖于地表的秸秆和根茬切断，疏松地表土壤，开出种沟；同时，圆盘可将切断的秸秆推向种行两侧，形成清洁播种带防止秸秆堵塞（图2c）。“拨抛”防堵的工作原理是拖拉机动力输出轴驱动秸秆粉碎、抛撒装置或者拨指将残茬和秸秆抛向开沟器后方，并形成清洁播种带（图2d）。

部分动力驱动防堵免耕播种机如（表6）所示。

## (3) 秸秆流动防堵

秸秆流动防堵技术主要适用于秸秆覆盖量较小的地区。免耕播种机作业时，地表秸秆的流动性加强，一定程度上能够减少秸秆堵塞现象。常见的增强秸秆流动性的方式有：播种机多排开沟器布置以及开沟器前（侧）部增设防堵装置等。

多排开沟器布置：加大开沟器间距使秸秆有足够的通过空间，是防止堵塞的有效措施。当开沟器间距足够大时，即使开沟器铲柄上有部分秸秆缠绕，也会在机具前进过程中脱落。

开沟器前（侧）部增设防堵装置：在开沟器前通过安装分草圆盘、导草辊、拨草轮等防堵装置，开沟器前秸秆在防堵装置作用下侧滑到两边，从而实现防堵。

部分秸秆流动防堵免耕播种机如（表7）所示。

表7

部分秸秆流动防堵免耕播种机

型号	类型	总体结构	技术特点
2BMS-9A免耕播种机	多排梁		采用尖角开沟器，沿前后梁分别布置；小麦播种行数9行，幅宽2.1m，配套动力45kW以上
2BYSF-3勺轮玉米播种机	导草辊+多排开沟器		开沟器前部均有与地面垂直安装的导草辊；玉米播种行数3行、行距53-68.3cm，施肥深度6-8cm，播种深度3-5cm，配套动力11-18.4kW
2605气吸式免耕精密播种机	拨草轮齿		双圆盘开沟器前部安装有拨草轮，可将秸秆拨向开沟器两侧。幅宽2m，玉米播种行数6行、行距55-70cm，配套动力73.5-88.3kW

资料来源：河北农哈哈机械集团有限公司。undated。免耕播种机。引用于2021年4月30日。www.nonghaha.com  
农机通。undated。免耕播种机。引用于2021年4月30日。www.nongjitong.com

#### (4) 导航技术在免少耕播种中的应用

免少耕播种时，秸秆残茬覆盖地表，机具通过性差，若碰上粗大根茬（如玉米）则易引发机具堵塞；同时，地表不平整易导致作业直线度差，影响作业质量。为此，将农机导航技术应用到免少耕播种机上，即保护性耕作机具自动导向系统，引导机具进行避茬作业，同时保证作业直线度。

本节以小麦-玉米种植系统为例进行阐述。在该种植系统中，小麦播种行距20cm，玉米种植行距60cm，玉米根系辐射半径3-5cm，玉米植株分布的平均直线度误差0-2cm，因此播种机最外侧开沟器与玉米根茬行中心线的横向偏差仅为 $\pm 5\text{cm}$ 。如若超出这个偏差，则开沟器容易碰上粗大根茬，造成堵塞停机。

玉米茬地免少耕播种自动导向系统，根据自动导航技术类型的不同，主要分为接触式、机器视觉式、卫星导航式三种(王春雷等,2020)。三种不同类型的免少耕播种自动导向系统性能对比如(表8)所示。

**(i) 接触式免少耕播种自动导向系统**。利用设计的玉米根茬探测装置检测根茬位置信息，当探测装置接触到根茬时就会产生电信号并发送给信号处理器，信号处理器对该电信号进行分析处理生成转向指令发送给转向执行器，转向执行器收到转向指令后驱动拖拉机转向轮运动实现避茬对行播种作业。

表8

不同类型的免少耕播种自动导向系统性能对比

导航系统	优点	缺点
接触式免少耕播种自动导向系统	结构简单，精度较高；生产成本低；安装方便，易维护	接触式测量，探测信号容易丢失；容易受行间秸秆等障碍物影响
机器视觉式免少耕播种自动导向系统	无需对外发射信号，灵活性强；采集图像包含信息更为全面；作业过程中可实时进行导航路径规划	受环境中光照、秸秆等影响较大；数据处理算法耗时长，实时性无法保证
卫星导航式免少耕播种自动导向系统	实时动态定位，精度高；全天候，覆盖范围广，易于集成	根据预先规划好的路径行驶；信号易受环境因素影响

资料来源：何勇，蒋浩，方慧，王宇，刘羽飞。车辆智能障碍物检测方法及其农业应用研究进展。农业工程学报，2018，34(9)：21-32。

胡静涛，高雷，白晓平，李逃昌，刘晓光。农业机械自动导航技术研究进展。农业工程学报，2015，31(10)：1-10。

姬长英，周俊。农业机械导航技术发展分析。农业机械学报，2014，45(9)：44-54。

**(ii) 机器视觉式免少耕播种自动导向系统。**作业时，视觉传感器实时拍摄玉米根茬行图像，计算机通过图像处理检测出目标根茬行与开沟器间的横向偏差，然后根据横向偏差和当前机具前进速度计算出开沟器的期望横向位移并发送至对行控制器；对行控制器将期望横向位移转换成可执行的偏移信号发送给对行执行器；对行执行器接收到偏移指令后驱动开沟器运动完成避茬对行播种。

**(iii) 卫星导航式免少耕播种自动导向系统。**在前茬玉米播种的时候获取玉米行位置信息，生成处方图。下茬作物免少耕播种时，在卫星自动导航系统作用下，按预先规划好的路径行驶，实现避茬对行免少耕播种。

## (5) 播种深度控制

播种深度一致时有利于作物出苗(Håkansson et al., 2011; Nielsen et al., 2018)，免少耕播种机多通过安装仿形机构并加装机械弹簧保持播深一致，但这种方式都是作业之前将仿形机构、弹簧预紧力等调整好，无法根据作业环境的变化实时调节播种深度。

现有播种深度控制系统根据调节装置的不同可分为液压调节和气压调节两大类。其中，液压调节因具有响应速度快、推力大、便于安装等优点在保护性耕作机具作业深度智能化调控上应用广泛。除通过安装液压或气压装置实现播深调节外，李玉环等(2016)设计了覆土-镇压联动控制装置，采用电推杆实时调节覆土装置的覆土量实现播深一致性控制。在播种深度检测方面，研发了多种基于传感器检测的方法，如剖面传感器检测法(Cortes, Kataoka and Okamoto, 2013)、

表9

部分深松机具

分类	型号	总体结构	技术特点
全方位深松机	1SQ-340 V型全方位深松机		整机有三个V形铲刀，深松深度40-50cm，配套动力73.6-88.3kW
	1S-310型侧弯式全方位深松机		整机共有6个深松铲，对称安装在深松铲前方、中间、后方，深松铲间距52cm；深松深度≥30cm，需配套动力≥99.2kW
耧式深松机	1S-350翼铲式深松机		深松铲采用“前三后四”布置，配套动力135kW以上，工作幅宽3.5m，生产效率0.84-1.68公顷/h
	1S-300A翼铲式深松机		深松铲数量为7，铲间距42.8cm，作业速度2-4km/h，配套动力96kW以上，作业效率0.6-1.2公顷/h
振动深松机	1SZL-770被动式振动深松整地机		共7个深松铲，整机工作幅宽4.9m，作业深度24-40cm，作业行距60-70cm，作业效率2-3.4公顷/h，配套动力210kW以上
	ZS-180型强迫振动深松机		采用振动机构带动深松铲振动，深松深度25-40cm，配套动力50-75kW，作业幅宽1.8m

资料来源：农机360网。undated。深松机。引用于2021年4月30日。www.nongji360.com

农机通。undated。深松机。引用于2021年4月30日。www.nongjitong.com

山东奥龙农业机械制造有限公司。undated。深松机。引用于2021年4月30日。www.sdaljx.com

超声波传感器检测法 (蔡国华等, 2011; Kiani, 2012), 角度传感器检测法 (Nielsen et al., 2018)、压力传感器检测法 (姜鑫铭等, 2017; 付卫强等, 2018; 贾洪雷等, 2019)、位移传感器检测法 (赵金辉等, 2015)等, 均取得了较好的检测效果。

## (6) 免少耕播种机漏播补偿控制

免少耕播种机漏播补偿控制系统的研发对减少漏播率、提高播种质量、减少生产成本等具有重要意义。加装补种装置是实现漏播补偿的有效途径之一, 如金衡模等 (2002) 设计了一种U型管补种装置, 补种时打开空气控制阀, 利用气压实现补种; 丁幼春等 (2015) 研发了一套螺旋式补种系统, 油菜籽漏播补种率接近100%; 吴南等 (2017) 通过加装补播器和补种导种管设计了一种漏播补偿系统, 玉米补种成功率达96.5%。朱瑞祥等 (2014) 根据超越离合器单向锁合

原理设计了一种漏播补偿系统，补种率为92.98%。当前，虽对漏播补偿控制系统有一定研究，但大多通过在正常播种装置外加装一套补种装置，两套排种装置相互独立，且由于正常排种与补种时种子运动路径不同，补种位置存在一定的滞后性。

### 3.3 深松技术与机具

保护性耕作技术采用免少耕可以减少土壤耕作，但种、管、收等环节的拖拉机和农机具会对农田土壤产生压实，影响作物产量 (Evans et al., 1996)。深松作业利用深松铲疏松种床土壤，打破犁底层，有利于改良土壤结构。根据结构不同，可将深松技术分为全方位、凿式和振动深松技术。

部分深松机具如 (表9) 所示。

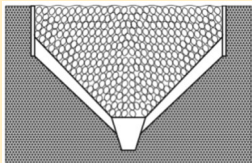


图3 全方位“V”形深松铲原理示意图

资料来源: 作者编制。

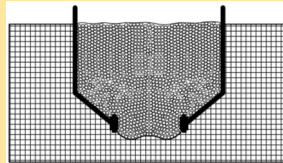


图4 全方位侧弯式深松铲原理示意图

资料来源: 作者编制。

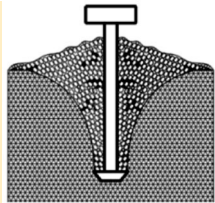


图5 凿式深松铲原理示意图

资料来源: 作者编制。

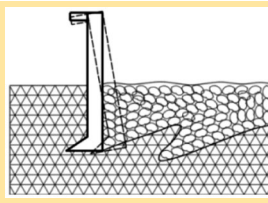


图6 振动深松机原理示意图

资料来源: 作者编制。

#### (1) 全方位深松

全方位深松是利用深松铲从土壤中切出梯形截面土堡并铺放回田中，创造出适于作物生长的土壤构造，可实现全面深松。全方位深松机主要分为“V”形铲式 (图3) 和侧弯式 (图4) 全方位深松机。“V”形铲式全方位深松机的深松铲主要包括底刀和2个左右对称布置的侧刀；侧弯式全方位深松机的主要工作部件是“L”形侧弯铲。全方位深松的松土范围广，但动力消耗大。

## (2) 凿式深松

凿式深松是通过深松铲铲尖对土壤的挤压、上抬作用以及铲柄刃部对土壤的切割作用实现松土，松土深度30–50cm，深松铲间距40–80cm（图5）。凿式深松机的关键部件为凿式铲，其运动方向上的投影总是垂直于地表。按照凿式深松铲的结构形式可将凿式深松机分为普通凿式和翼铲式深松机。

## (3) 振动深松

全方位深松机和凿式深松机均可对深松铲施加激振源达到振动深松的效果（图6）。相比于非振动式深松机，振动深松作业阻力能减少6.9%–17.0%（郑侃和陈婉芝，2016）。根据激振源是否需要动力驱动，可分为自激振动深松机和强迫振动深松机。

自激振动深松机的工作原理是当深松铲受土壤阻力大于弹性元件预作用力时，深松铲将绕连接点转动，铲尖向上抬起，同时压缩弹性元件存储弹性能量；当土壤阻力减少时，弹性元件会释放存储的弹性能量，带动深松铲反向转动剪切土壤；深松铲因不断变化的土壤阻力产生振动，从而减少牵引阻力。

强迫振动深松机工作原理是拖拉机输出轴将动力传递给深松机振动机构，振动机构把转动变为深松铲既定频率和振幅，同时深松铲带动土壤振动，土壤经周期性振动后破碎达到疏松土壤的目的。

## (4) 耕作深度控制

耕深一致性是评价深松及表土耕作机具作业质量的一项重要指标。目前，耕作深度控制主要利用角度或超声波传感器实时检测耕深，同时在耕作部件上安装液压系统，通过调节液压缸的伸缩实现耕作深度的一致性控制（刘亮亮等，2019）。

耕深控制研究多集中在悬挂式耕作机具方面，如杜巧连等（2008）以电液比例阀为主控制阀，设计了一种耕作机具整机耕深控制系统，该系统可按照设定牵引力自动调节机具的耕深。王云霞等（2019）设计了一种深松机耕深控制系统，该系统可实现对每个深松铲作业深度的独立控制。

### 3.4 保护性耕作机具作业面积监测系统

保护性耕作机具作业面积监测系统是解决机具作业面积统计困难、现场核查工作量大、效率低等问题的有效途径之一。原理是根据机具作业速度、作业时间及作业幅宽三者的乘积计算面积，其中

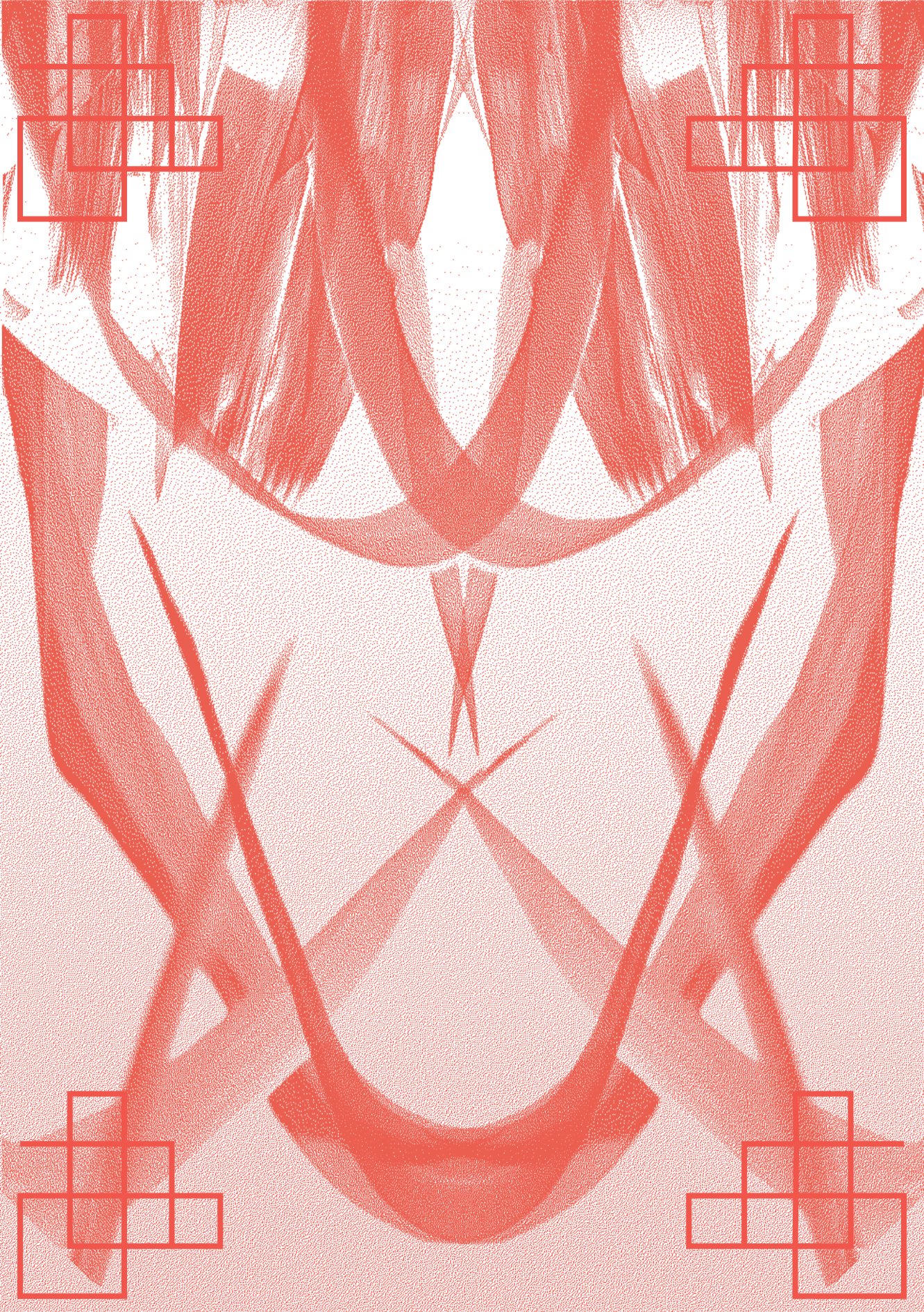


机具作业速度的准确监测是保证作业面积准确性的关键。常用的机具作业速度监测系统有两种：即基于传感器和基于卫星导航的作业速度监测系统(陆荣超, 2020)。

**(1) 基于传感器的作业速度监测系统：**该系统通过安装在机具地轮上的传感器对地轮的转速进行监测，之后便可计算出机具的作业速度。目前应用较多的是霍尔式转速传感器和增量式编码器。其中，霍尔式转速传感器一般在地轮上粘贴小磁钢，小磁钢转过霍尔开关时，便产生一个脉冲，根据单位时间内的脉冲数便可计算出机具的作业速度(鲁植雄和赵兰英, 2007)。增量式编码器一般安装在地轮转轴上，记录转轴单位时间内的脉冲数，从而计算出机具的前进速度(温殿忠和赵晓锋, 2013)。

**(2) 基于卫星导航的作业速度监测系统：**该系统通过导航获取机具的作业位置信息，通过机具前后两位置的距离计算其作业速度，然后根据作业幅宽计算出机具的作业面积，不仅避免重播或漏播，而且可提高作业精度和效率。

综上，由于传感器测量机具作业速度时，需要将传感器安装在地轮上，地轮出现打滑时，会降低监测精度；基于卫星导航测量机具作业速度时，通过机具单位时间内的空间位置变化来获取作业速度，具有更高的监测精度。



## 第四章

# 保护性耕作技术对绿色农业发展的贡献

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中指出要加快发展方式绿色转型，全面提高资源利用效率，大力发展绿色经济，推进农业绿色转型，加强产地环境保护治理，为中国农业可持续发展指明了方向。为实现农业绿色转型，需要将农业生产和环境保护协调起来，在促进农业发展、增加农户收入的同时保护环境、保证农产品的绿色无污染。

保护性耕作技术以免少耕和秸秆还田技术为核心，较传统耕作可减少作业环节和进地次数，进而减少机械动力消耗，从而减少了温室气体（二氧化碳 $\text{CO}_2$ 、甲烷 $\text{CH}_4$ 、氧化亚氮 $\text{N}_2\text{O}$ 等）排放。机械的合理投入节省出大量劳动力从事其它产业，使农民外出务工创收。秸秆还田既增加了土壤有机质，改善了土壤环境，又可避免因焚烧秸秆对环境造成污染，降低化肥施用量。发展保护性耕作技术可助力“碳达峰、碳中和”，有利于蓄水保墒、培肥地力和节本增效（李传弟等，2008）。

本章总结了保护性耕作技术对绿色农业发展的主要贡献，包括助力“碳达峰、碳中和”；控制风水蚀，减少水土流失；改良土壤结构，提高土壤地力；蓄水保墒，提高土壤抗旱能力等。

## 4.1 助力“碳达峰、碳中和”

2021年中国两会的政府工作报告明确提出，在2030年前实现碳达峰，努力争取在2060年前实现碳中和。碳达峰是指二氧化碳排放总量在某一个时间点达到历史峰值，之后碳排放总量会逐渐稳步回落。碳中和则是指企业、团体或个人在一定时间内直接或间接产生的二氧化碳排放总量，通过二氧化碳去除手段，如植树造林、节能减排、产业调整等，抵消掉这部分碳排放，达到“净零排放”。

现有研究表明，保护性耕作技术可减少作业环节，减少农业物质（燃油、肥料等）投入，降低农业生产中的温室气体排放，有效增加农田土壤固碳潜力，可实现粮食生产与生态保护的双赢，并实现气候智能型农业。其助力“碳达峰、碳中和”的作用主要体现在：

### （1）节能减肥

保护性耕作通过减少农机作业次数和提高肥料利用效率，可有效降低燃油、肥料等农业物质投入，间接减少温室气体排放。

**燃油：**根据农业农村部保护性耕作研究中心在华北一年两熟区（冬小麦-夏玉米）全程机械化作业油耗的测定结果显示，相对传统耕作，免耕在夏玉米季和冬小麦季都具有显著的节能优势，夏玉米季能降低油耗42.5%，冬小麦季能降低油耗69.6%，整体全年可减少约20千克/公顷（即18.8千克C当量/公顷）的油耗（图7）。

**肥料：**据农业农村部农机化司测算，相对传统耕作，保护性耕作可减少化肥投入量10%左右。以中国各地区粮食作物平均施肥量（N：155千克/公顷、 $P_2O_5$ ：70千克/公顷、 $K_2O$ ：33千克/公顷）为基准，对保护性耕作相对传统耕作减少肥料的投入量进行折算，约为23.7千克/公顷碳。孔德杰（2020）发现秸秆还田可以增加小麦-大豆种植系统中的土壤氮含量和养分分布；秸秆还田处理组的土壤全氮平均含量（1.06克/千克）显著高于其他处理（36.59毫克/千克）。

另外，根据禄兴丽（2017）研究表明，在西北旱区冬小麦夏玉米轮作模式下，传统耕作和旋耕秸秆还田模式的能量投入为63.52GJ/公顷和52.69GJ/公顷，分别比免耕秸秆覆盖模式下的能量投入高出28.98%和14.39%（表10）。

### （2）节约成本

保护性耕作在经济上的效益得益于其减少了田间作业，降低了劳动力成本，节省了机械使用费用和燃油成本。如赵云等（2018）研究发现与常规机械条播方式相比，免耕秸秆覆盖精量播种简化大豆生产

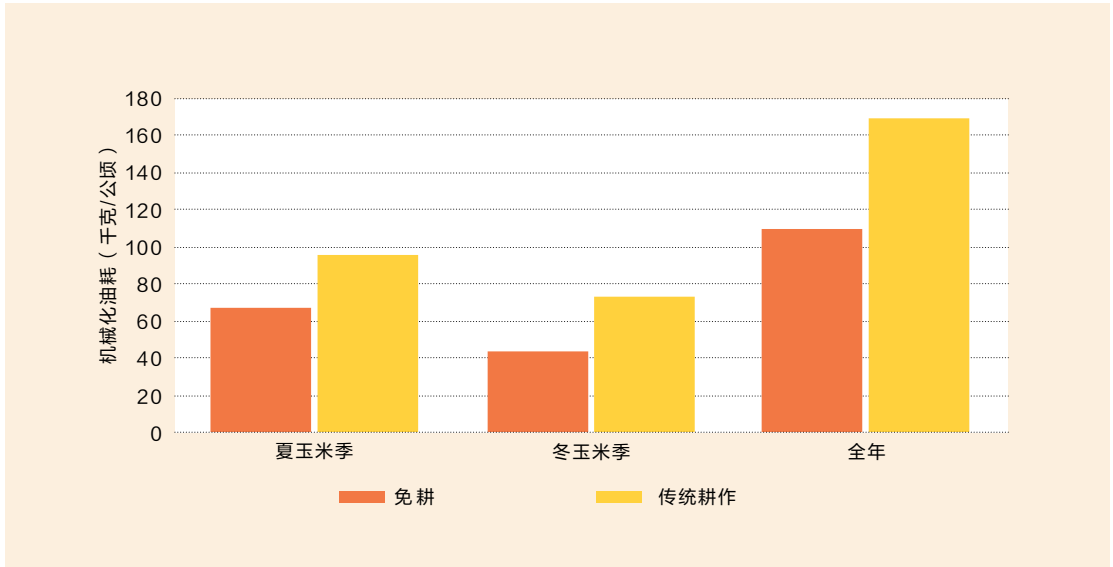


图7 华北一年两熟区（冬小麦-夏玉米）全程机械化作业油耗对比

资料来源: 作者编制。

表10 不同耕作模式下的能量投入（GJ/公顷）

项目		免耕秸秆覆盖		旋耕秸秆还田		传统耕作	
		冬小麦	夏玉米	冬小麦	夏玉米	冬小麦	夏玉米
机械投入	旋耕	0.00	0.00	3.38	3.49	3.38	3.49
	翻耕	0.00	0.00	0.00	0.00	4.33	4.17
	播种	0.51	0.56	0.51	0.56	0.51	0.56
	收获	2.53	2.82	2.53	2.82	2.53	2.82
	机械耗能	0.71	1.04	1.08	1.43	2.01	2.31
	总计	3.75	4.42	7.50	8.30	11.76	13.35
其他投入	农药	0.05	0.42	0.04	0.38	0.04	0.38
	N（肥料）	13.82	14.54	13.82	14.54	13.82	14.54
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> （肥料）	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14
	种子	3.27	0.47	3.27	0.47	3.27	0.47
	人力	0.04	0.04	0.04	0.05	0.29	0.31
	总计	19.32	17.61	19.31	17.58	19.56	17.84
总计		23.07	22.03	26.81	25.88	31.32	31.19

资料来源: 禄兴丽。保护性耕作措施下西北旱作麦玉两熟体系碳平衡及经济效益分析。西北农林科技大学, 2017。

表11

免耕覆盖精量播种与常规机械条播成本与收益比较（元/公顷）

项目		免耕秸秆覆盖精量播种	常规机械条播
农资	种子	356.3	682.5
	化肥	750	750
	除草剂	225	225
	杀虫剂	225	225
人工成本	播种	270	750
	施肥	0	150
	间苗	0	900
	植保	0	300
其他管理		1275	1275
总投入		3101.3	5257.5
产值		14977.5	14523
利润		11876.2	9265.5

资料来源：赵云，徐彩龙，杨旭，李素真，周静，李继存，韩天富，吴存祥。不同播种方式对麦茬夏大豆保苗和生产效益的影响。作物杂志，2018，(04)：114-120。

环节、降低农耗，使得生产投入显著降低了41.0%，大豆生产效益显著提高28.20%（表11）。

李薇等（2019）研究发现油-稻免耕直播的油菜产量较油-稻旋耕直播仅减少3.8%，但水稻产量增加5.6%，且较冬闲-稻免耕直播增加13.7%；油-稻免耕直播的总成本比油-稻旋耕直播减少12.0%，净收益增加18.3%；油-稻免耕直播、油-稻旋耕直播的净收益较冬闲-稻免耕直播分别增加58.1%和33.6%（表12）。

### （3）固碳减排

保护性耕作可减少土壤扰动，提高氮肥利用率，缓解土壤有机质分解速率，培肥地力，促进土壤固碳量的增加；作物秸秆覆盖可减少露天焚烧，降低温室气体排放。通过减少秸秆焚烧，提升土壤固碳能力直接降低温室气体排放。

如禄兴丽（2017）研究发现，与传统耕作与旋耕秸秆还田相比，免耕秸秆覆盖模式下的碳释放量分别减少22.11%和11.21%（表13）；与传统耕作相比，免耕秸秆覆盖与旋耕秸秆还田处理的相对净碳释放量分别为-1068.9和-779.6千克C/公顷/年，免耕秸秆覆盖还田模式对减少大气CO<sub>2</sub>的贡献大于传统耕作模式和旋耕秸秆还田模式（表14）。

表12

## 不同种植模式下经济效益比较

项目		油-稻免耕直播	油-稻旋耕直播	冬闲-稻免耕直播
物料投入 (元/公顷)	种子	432	294	312
	肥料	4718	4718	3240
	农药	2100	1875	1650
	整田	0	3000	0
	开沟	675	675	0
	机收	2400	2400	1200
播种、施肥等人工投入 (元/公顷)		4050	3375	2250
总成本 (元/公顷)		14735	16337	8652
稻谷单价 (元/千克)		2.5	2.5	2.5
折合水稻产量 (千克/公顷)		12989	12655	8042
总收益 (元/公顷)		32472.5	31638.0	20105.0
净收益 (元/公顷)		18098	15301	11453

资料来源: 李薇, 何海, 崔婷, 李超, 肖小平, 唐海明, 汤文光, 聂泽明。油-稻免耕直播栽培技术及其经济效益分析。湖南农业科学, 2019, (7): 23-25。

表13

## 不同耕作模式下冬小麦-夏玉米农田投入的碳释放量 (千克C/公顷/年)

项目		免耕秸秆覆盖	旋耕秸秆还田	传统耕作
机械投入	翻耕	-	-	93.78
	旋耕	-	75.76	73.76
	播种	11.80	11.80	11.80
	收获	58.99	58.99	58.99
	总计	70.79	146.55	238.33
其他投入	农药	8.61	1.65	1.65
	N (肥料)	402.58	402.58	402.58
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (肥料)	58.48	58.48	58.48
	种子	54.38	54.38	54.38
	总计	524.05	517.09	517.09
总碳		594.84	663.64	755.42

资料来源: 禄兴丽。保护性耕作措施下西北旱作麦玉两熟体系碳平衡及经济效益分析。西北农林科技大学, 2017。

表14

不同耕作措施对冬小麦-夏玉米系统土壤相对净碳释放量的影响（千克C/公顷/年）

项目	免耕秸秆覆盖	旋耕秸秆还田	传统耕作
土壤碳累积量	-1090.7	-887.0	-191.4
机械碳释放量	+70.8	+146.6	+240.3
其他农资投入碳释放量	+524.0	+523.2	+523.2
净碳释放量	-496.7	-207.4	+572.2
相对净碳释放量	-1068.9	-779.6	0

资料来源：禄兴丽。保护性耕作措施下西北旱作麦玉两熟体系碳平衡及经济效益分析。西北农林科技大学，2017。

根据石祖梁等(2019)的研究结果，2015年中国秸秆露天焚烧量约为8110万吨，总碳排放量约为3450万吨。2018年底中国保护性耕作实施面积（824万公顷）占全国耕地面积（13492.10万公顷）的6.10%（中华人民共和国农业农村部，2019）。按此比例估算，在中国粮食作物生产中，相对传统耕作，保护性耕作采用秸秆还田，每年可减少秸秆焚烧造成的总碳排放量为494.71万吨。

## 4.2 控制风水蚀，减少水土流失

中国因风蚀、水蚀造成的水土流失较为严重（李智广，2009；中华人民共和国水利部，2020）。风蚀是指在风力作用下地表土壤及细小颗粒被剥离、搬运和沉积的过程。风蚀过程中，直径100 μm或更小的颗粒被刮起来，悬浮到风中被远距离搬运，是沙尘暴主要构成部分。中国沙尘天气与北方地区草原退化、水资源短缺、农田耕作方式不合理等因素直接相关。

保护性耕作通过秸秆残茬覆盖，（i）不仅降低了地表风速，而且作物根茬可以固土、秸秆可以挡土；（ii）增加了土壤水分含量，增强了表

表15

不同风速下各措施的风蚀强度

措施	距地表30cm高度不同风速下各类措施的风蚀模数 ( $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )				
	8 m/s	12 m/s	16 m/s	20 m/s	24 m/s
玉米留茬+覆盖	5.6	12.5	70.0	187.5	262.5
玉米留茬	16.7	58.3	110.4	345.8	906.7
玉米秸秆覆盖	10.6	40.3	87.5	295.5	552.5
传统翻耕	18.8	100.0	234.1	467.5	1125.0

资料来源：吴姗姗，牛健植，简星娜。京郊延庆农田保护性耕作措施对土壤风蚀的影响。中国水土保持科学，2020，(1)：57-67。



表16

不同耕作处理田间0-100、0-50和0-30cm高度输沙量（克）

高度 (cm)	处理	2015年		2016年		2017年	
		春季	冬季	春季	冬季	春季	冬季
0-100	传统耕作	6.89	7.26	25.87	58.75	54.51	1.59
	免耕不覆盖	5.72	6.34	17.57	53.42	38.77	1.05
	免耕覆盖	5.95	6.31	17.89	50.75	40.05	1.25
0-50	传统耕作	3.02	3.10	11.16	26.44	26.65	0.91
	免耕不覆盖	2.30	2.70	7.17	21.47	15.83	0.57
	免耕覆盖	2.37	2.47	7.14	20.22	15.96	0.72
0-30	传统耕作	1.72	1.78	6.03	14.70	15.63	0.69
	免耕不覆盖	1.25	1.47	3.73	11.22	8.34	0.38
	免耕覆盖	1.27	1.34	3.85	10.89	8.57	0.54

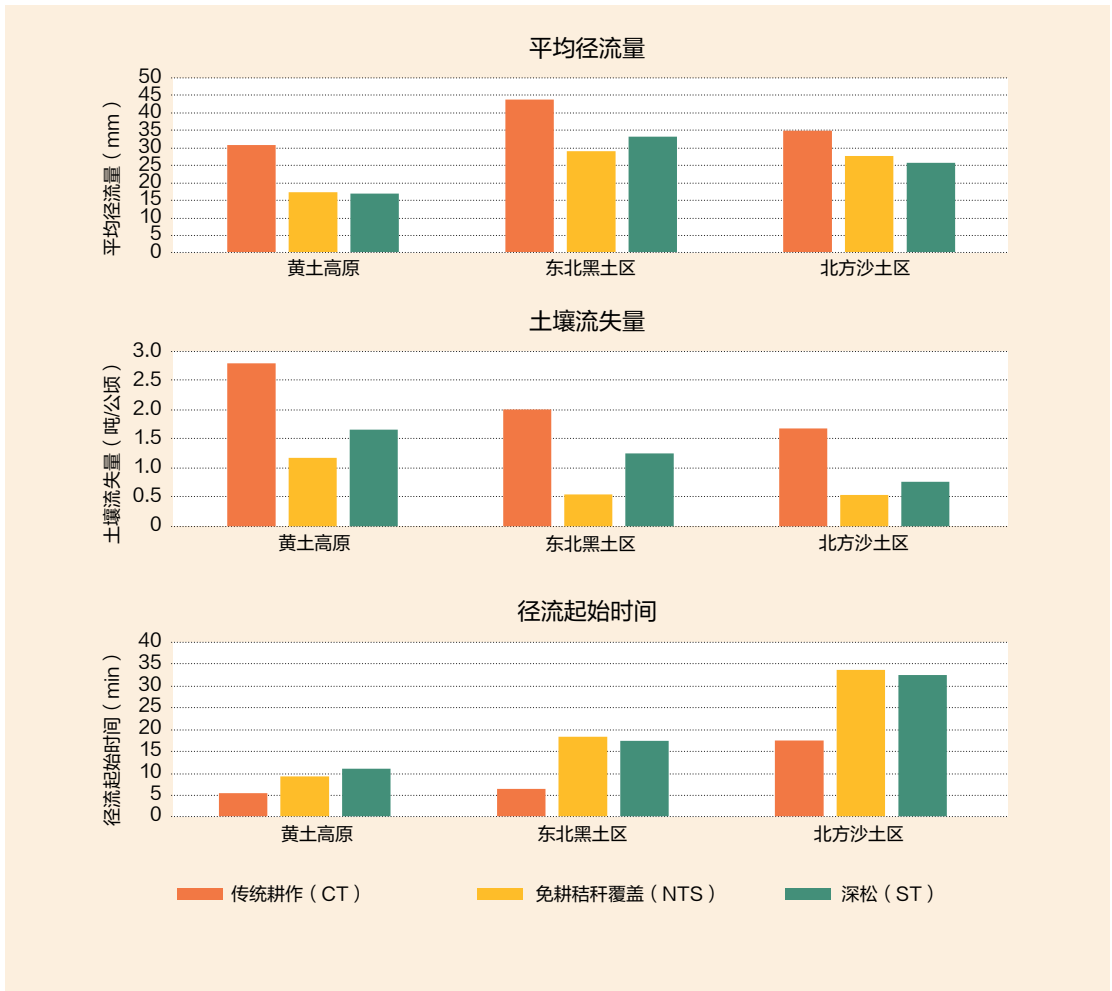
资料来源：李银科，李青青，周兰萍，刘光武，张进虎，张芝萍，郑庆钟。河西绿洲灌区保护性耕作对土壤风蚀特征的影响。中国生态农业学报，2019，27(09)：1421-1429。

层土壤之间的吸附力；（iii）改善了团粒结构，使可风蚀的小颗粒含量减少，从而可以有效地减少农田扬尘。根据农业农村部保护性耕作研究中心在河北丰宁县、内蒙古武川县、赤峰市、辽宁凌源市的监测结果，保护性耕作可分别减少农田扬尘70%、62%、34%和37% (He et al., 2010)。吴珊珊等 (2020) 对京郊农田风洞模拟试验发现，土壤风蚀强度规律为传统翻耕>玉米留茬>玉米秸秆覆盖>玉米留茬+覆盖 (表15)。

李银科等 (2019) 发现与传统耕作相比，免耕不覆盖和免耕秸秆覆盖处理0-30cm高度输沙量分别减少17.4%-46.7%和21.7%-45.2% (表16)。

**水蚀**是水力对土壤的搬运和迁移，土壤本身特性对水蚀的发生起着关键的作用。保护性耕作减少土壤水蚀的作用主要体现在：（i）保护性耕作采用免少耕和秸秆覆盖，可有效改良土壤结构，提高降雨、灌溉时土壤水分的入渗能力；（ii）降雨时雨滴的动能被秸秆吸收，防止激溅；阻碍土壤表层水流，延缓径流发生时间，从而有效抑制水蚀。

白鑫等 (2020) 研究发现，与传统耕作 (CT) 相比，在黄土高原地区免耕秸秆覆盖 (NTS) 和深松 (ST) 的平均径流量减少了43.9%和44.4%，土壤流失量减少了58.4%和44.8%，径流起始时间增加了71.2%和102.6%；在东北黑土区NTS和ST的平均径流量分别减少32.8%和23.5%，NTS和ST土壤流失量分别减少72.7%和



**图8**  
不同耕作方式对水侵蚀的影响

资料来源: 白鑫, 廖劲杨, 胡红, 刘祥, 许艺山, 鄂祺祺, 黄砾. 保护性耕作对水土保持的影响. 农业工程, 2020, 82(08): 86-92。

37.9%, NTS和ST的径流起始时间分别延迟了11.7和10.9min; 在北方沙土区NTS的平均径流量和土壤流失量分别减少了20.8%和67.9%, ST的平均径流量和土壤流失量分别减少了36.8%和55.3%, NTS和ST的径流起始时间分别延迟了16.3和15.3min (图8)。

贺云峰等(2020)在东北黑土区研究发现对于径流量, 50mm/h降雨强度下传统耕作处理的径流量分别是秸秆深还、秸秆碎混和免耕+残茬覆盖处理的1.6、2.3、3.0倍; 100mm/h降雨强度下分别为1.6、2.0、2.9倍; 对于侵蚀量, 50mm/h降雨强度下传统耕作处理的侵蚀量分别是秸秆深还、秸秆碎混和免耕+残茬覆盖处理的7.8、11.4、31.5倍; 100mm/h降雨强度下分别为5.8、9.4、31.0倍 (表17)。

表17

不同处理方式下坡面的径流量和侵蚀量

措施	降雨强度 (mm/h)	总径流量 (mm)	总侵蚀量 (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	减流效益 (%)	减沙效益 (%)
传统耕作	50	42.2	884.4	0	0
	100	44.5	1850.0	0	0
秸秆深还	50	26.6	113.6	37.0	87.2
	100	28.2	321.7	36.6	82.6
秸秆碎混	50	18.1	77.8	57.1	81.2
	100	22.0	197.4	50.6	89.3
免耕+残茬覆盖	50	14.1	28.1	66.6	96.8
	100	15.6	59.7	64.9	96.8

资料来源: 贺云锋, 沈海鸣, 张月, 赵占军, 牟廷森. 黑土区坡耕地不同秸秆还田方式的水土保持效果分析. 水土保持学报, 2020, 34(06): 91-96.

表18

传统耕作 (CT) 与免耕 (NT) 对不同土壤结构稳定性指标的影响

土层深度 (cm)	大于0.25mm水稳性 团聚体含量 (%)		平均质量直径 (mm)		几何平均直径 (mm)		分形维数	
	CT	NT	CT	NT	CT	NT	CT	NT
10	54.91	68.31	0.63	0.80	0.37	0.48	2.35	2.25
20	48.02	68.33	0.65	0.86	0.33	0.52	2.56	2.39
30	45.52	69.84	0.57	0.66	0.28	0.41	2.61	2.39
40	44.61	46.22	0.49	0.49	0.27	0.27	2.46	2.51
50	36.82	67.41	0.28	0.71	0.19	0.42	2.49	2.50
60	42.13	49.74	0.31	0.35	0.20	0.22	2.55	2.54
70	42.73	46.93	0.40	0.38	0.24	0.23	2.50	2.49
80	21.74	43.72	0.31	0.34	0.18	0.21	2.58	2.42
90	41.71	40.03	0.29	0.29	0.17	0.19	2.71	2.57
100	21.73	40.74	0.22	0.38	0.15	0.22	2.60	2.58

资料来源: 杨永辉, 武继承, 丁晋利, 张洁梅, 潘晓莹, 何方. 长期免耕对不同土层土壤结构与有机碳分布的影响. 农业机械学报, 2017, 48(9): 173-182.

### 4.3 改良土壤结构, 提高土壤地力

土壤地力是决定农田生产能力的基础。根据第二次全国土壤调查的耕地质量等级成果显示, 中等地和低等地面积为7149.32万公顷和2386.47万公顷, 分别占全国耕地评定总面积的52.9%和17.7% (中华人民共和国自然资源部, 2018)。中国农田土壤地力下降, 已成为制约粮食综合生产能力提升的最大障碍。保护性耕作采用免少耕, 减少了耕作

对土壤结构的破坏，有助于农田土壤固碳和地力的提升。同时，秸秆、残茬腐烂还田后，也可改善土壤的理化性状，增加土壤有机质，培肥地力(朱良和兰心敏, 2010)。

**土壤物理特性：**根据农业农村部保护性耕作研究中心在黄土高原（山西临汾，16年）(Wang et al., 2008a)、华北（北京，8年）(Zhang et al., 2009)和农牧交错区（内蒙古武川，10年）(He et al., 2009a)长期定位试验结果，保护性耕作能分别降低0-30cm土壤容重2.2%，1.2%和2.8%；提高大粒径（>2mm）水稳团粒数，降低小粒径（<0.25mm）水稳团粒数。以武川为例，相对传统耕作土壤，保护性耕作可增加13%-37%的大粒径团粒数，降低25%-59%的小粒径团粒数。

杨永辉等(2017)研究发现与传统耕作相比，免耕更利于提高大粒级团聚体(>0.5mm)的含量，且土壤结构的稳定性显著提高，其作用深度在50cm以上(表18)。

**土壤化学特性：**在临汾、北京和武川，相对传统耕作，长期保护性耕作分别提高农田土壤表层（0-10cm）21.7%、10.5%和23.1%的有机质含量，51.5%、24.3%和23.8%的全氮含量，以及56.3%、48.5%和10.5%的速效磷含量(表19)。

表19

保护性耕作和传统耕作0-20cm深度农田土壤有机质、全氮和速效磷情况

地点：临汾（16年）、北京（8年）、武川（10年）

试验点	处理	有机质(克/千克)		全氮(克/千克)		速效磷(毫克/千克)	
		土层深度(cm)					
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
临汾, 黄土高原	保护性耕作	18.2	11.1	1.03	0.67	35.0	10.5
	传统耕作	15.0	13.8	0.68	0.66	22.4	22.9
北京, 华北平原	保护性耕作	16.5	15.9	1.38	1.02	20.2	16.9
	传统耕作	14.9	14.0	1.11	0.86	13.6	13.9
武川, 农牧交错区	保护性耕作	16.5	9.6	0.52	0.30	17.9	8.3
	传统耕作	13.4	7.4	0.42	0.24	16.2	10.1

资料来源: Q. Wang, Y. Bai, H. Gao, J. He, H. Chen, R.C. Chesney, N. Kuhn和H. Li. 2008a. 《中国黄土高原十六年免耕耕作后的土壤化学性质和微生物量》。Geoderma, 144(3-4): 502-508。

J. He, N. Kuhn, X. Zhang, X. Zhang和H. Li. 2009a. 《十年保护性耕作对内蒙古农牧交错带土壤性质和生产力的影响》。土壤利用和管理, 25: 201-209。

J. He, Q. Wang, H. Li, J.N. Tullberg, A.D. McHugh, Y. Bai, X. Zhang, N. McLaughlin和H. Gao. 2009b. 《中国黄土高原长期免耕与翻耕后土壤物理性质及入渗》。新西兰作物和园艺科学杂志, 37(3): 157-166。

X. Zhang, H. Li, J. He, Q. Wang和M. Golabi. 2009. 《保护性耕作对中国北京玉米和小麦种植土壤特性和作物产量的影响》。澳大利亚土壤研究杂志, 47(4): 362-371。

表20

免耕措施前后不同坡位土壤理化性状

土壤性状	土壤深度 (cm)	免耕前			免耕第2年		
		坡上位	坡中位	坡下位	坡上位	坡中位	坡下位
全氮 (克/千克)	0-10	0.79	1.03	1.59	1.67	2.10	1.42
	10-20	0.68	1.13	1.38	1.54	2.25	1.73
有机质 (克/千克)	0-10	14.16	18.37	28.34	29.68	37.47	25.30
	10-20	12.12	20.27	24.67	27.55	40.21	30.87
有效磷 (毫克/千克)	0-10	50.02	28.04	46.84	22.85	19.58	30.72
	10-20	53.85	7.19	45.09	27.84	29.38	32.64
速效钾 (毫克/千克)	0-10	137.10	71.51	101.54	174.01	110.02	150.03
	10-20	99.77	68.48	97.42	139.02	98.00	136.00

资料来源: 闫雷, 纪晓楠, 孟庆峰, 姜雪馨, 周丽婷, 李思莹, 陈辰. 免耕措施下黑土区坡耕地土壤肥力质量评价. 东北农业大学学报, 2019, 50(5): 43-54.

闫雷等 (2019) 研究发现免耕后土壤容重减小, 土壤孔隙度扩大, 全氮、有机质和速效钾含量增加 (表20)。

综合长期田间定位试验可知, 保护性耕作在实施三到五年后, 土壤结构和肥力明显改善, 土壤由“黄”变“黑”, 蚯蚓数量和土壤生物多样性增加。

#### 4.4 蓄水保墒, 提高土壤抗旱能力

中国是农业用水大国, 2019年农业用水量达3682.3亿立方米, 占中国用水总量的61.2%。同时, 中国水资源紧缺, 农田灌溉水有效利用系数不高, 极大地影响了农业可持续发展(杨骞等, 2017)。保护性耕作通过田间地表秸秆覆盖和深松, 与传统耕作相比, 其在蓄水抗旱方面的优势是“蓄得多, 保得住”, 主要体现在:

**(1) 保护性耕作可有效改良土壤孔隙分布, 提高土壤通气孔隙 (>60 μm)、蓄水孔隙 (2-60 μm) 及其连续的孔隙路径, 提高土壤导水率, 增加农田土壤水分入渗和土壤蓄水能力。**

保护性耕作对土壤水分入渗的影响: 内蒙古武川多年保护性耕作试验结果(徐春华和介战, 2014)表明, 相对传统翻耕, 采用保护性耕作能提高0-30 cm深度土层40%左右的土壤通气孔隙和9%左右的土壤蓄水孔隙。山西临汾多年保护性耕作试验 (He et al., 2009b; Li et al., 2007; Wang et al., 2009) 表明, 保护性耕作相对传统耕作可以提高0-30cm深度土层约30%的饱和导水率, 尤其是在深层的15-30 cm土层, 保护性耕作相对传统翻耕可以显著地提高近两倍的土壤饱和导水率。因此, 在降雨或灌溉时, 保护性耕作相对传统耕作可增加约26%的土壤稳定水分入渗率。

保护性耕作对土壤持水能力的影响：山西临汾试验结果(He et al., 2009b)表明，相对传统耕作，保护性耕作可有效提高土壤持水能力，特别是深层土壤（15–30cm）效果明显。

## **（2）保护性耕作减少农田土壤径流和水分蒸发。**

保护性耕作可有效减少农田土壤径流 (Wang et al., 2008b, 温磊磊等, 2014; 朱高立等, 2015; 张翼夫等, 2015)。同时，大量研究表明，覆盖使地面温度降低、风速减小，无效蒸发减少。农业农村部保护性耕作研究中在山西临汾试区测定，冬小麦休闲期内传统耕作地蒸发量为217.6 mm，保护性耕作地蒸发量为197.9 mm，减少蒸发损失19.7 mm。河北灌溉中心试验站测定，夏玉米生育期间，覆盖麦秸田比不覆盖田平均减少蒸发56 mm。彭正凯等 (2018) 研究发现保护性耕作显著降低了作物生育期裸间蒸发量，免耕覆膜、免耕秸秆覆盖比传统耕作处理降低了14.4%–50.8%，并减弱了雨后土壤蒸发。

因此，保护性耕作增加天然降水入渗，大幅度减少地表径流和土壤水分的无效蒸发，增强土壤蓄水保墒能力，提高农田抗旱节水能力。与一般的旱作节水技术相比，保护性耕作具有综合性、稳定性、经济性的特点，特别是在干旱的西北、黄土高原等地区，可增加土壤蓄水量超过9%，提高水分利用效率超过12% (He et al., 2012; Li et al., 2007; Wang et al., 2009)，蓄水抗旱效果十分明显。另外，在灌溉地采用保护性耕作，还可减少灌溉用水，节水效果明显。根据农业农村部保护性耕作研究中心在北方严重旱灾时的监测，保护性耕作土壤平均含水量比传统耕作高10%，各地保护性耕作小麦苗青、苗壮，长势明显好于传统耕作小麦，具有较强的抗旱能力。







# 第五章

## 推广保护性耕作技术的经验

保护性耕作技术的推广与应用得到了中国中央政府及各级政府的高度重视。自2009年以来，保护性耕作技术在中国进入了快速发展阶段。政府、企业、农民、科研单位等通力合作，推动了保护性耕作技术在中国的发展与应用，并积累了大量的经验。本章总结了保护性耕作技术在中国推广过程中积累的经验，为这一技术在世界的推广应用提供参考。

### 5.1 扶持推广政策

保护性耕作技术作为一项生态工程和增产工程，从中央到地方政策的支持对其发展和推广至关重要。这一技术得到了国家的高度重视和社会的普遍关注。自2005-2012年，中央一号文件连续8年将保护性耕作纳入重要工作内容，2020年中央一号文件提出启动实施《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》，2021年中央一号文件提出实施国家黑土地保护工程，推广保护性耕作模式，为保护性耕作技术在中国的发展提供了根本方向和指导。2009年，国务院批准了《保护性耕作技术工程建设规划（2009-2015年）》，至此保护性耕作技术在中国进入了快速发展阶段。从2009年到现在，数十个国家级政策将保护性耕作技术列入其中，如《国家农业节水纲要

（2012-2020年）》、《国家应对气候变化规划（2014-2020年）》等。2020年，农业农村部与财政部联合印发《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》，并提到力争到2025年，保护性耕作实施面积达到1.4亿亩（即933万公顷），占东北地区适宜区域耕地总面积的70%左右。北京、山西、吉林、黑龙江等19个省区市均颁布相关政策与发展规划支持保护性耕作的推广应用。在政策的大力支持下，极大促进了保护性耕作在中国的发展。

## 5.2 保护性耕作核心技术装备

推广和采用保护性耕作需要适宜的技术和装备。为促进保护性耕作高质高效发展，经过多年科技攻关，形成了以免少耕播种机、深松机、秸秆还田机为核心的系列保护性耕作技术装备。

针对华北冬小麦夏玉米一年两熟区，大量玉米秸秆堵塞播种机的难题，创新了驱动防堵技术，研发了条带旋耕、条带粉碎等系列免少耕播种机。针对宽行距作物播种时，开沟器易拖挂秸秆的问题，创新了非驱动防堵技术，创制了分草圆盘、拨草轮齿等防堵装备。针对东北垄作区垄沟秸秆漏粉严重、机具易堵塞等问题，创新了垄台垄沟秸秆同位粉碎技术，形成了适合东北垄作区的系列免少耕播种机。核心技术的攻关、机具的研发促进了保护性耕作技术的快速发展。

研发了凿型铲式深松机、侧弯式全方位等系列深松机型，并开发了深松免少耕播种联合作业机；此外，还研发了针对不同作物（如小麦、玉米、棉花、香蕉等）的秸秆还田装备，可将地表秸秆充分粉碎至作业要求，以提高免少耕播种质量。

随着保护性耕作机具研发不断深入，水平逐渐提升，保护性耕作机具逐步向大型联合作业、数字和精准作业技术集成的方向发展。小麦/玉米深松分层施肥免耕精播机、深松免耕施肥播种联合作业机等新机具性能不断完善提高，为保护性耕作技术应用提供了坚实的装备保障。

## 5.3 保护性耕作机具购机补贴

由传统耕作模式向保护性耕作模式转变过程中，相应的农机装备需要更新换代。为提高农民购机意愿，促进保护性耕作技术快速发展，农业农村部将保护性耕作技术相关机具纳入农机购机补贴目录（中华人民共和国农业农村部，2018）（表21），其中《2021-2023年农机购置补贴实施指导意见》指出将重型免耕播种机及智能、复式、高端产品的补贴额测算比例从30%提高到50%，大型免耕播种机单机最高可补贴15万元。

表21

2018-2020年保护性耕作机具中央财政资金最高补贴额

品目	档次名称	基本配置和参数	最高补贴额 (元)
深松机	3铲及以下深松机	深松部件3个及以下	1400
	4-5铲深松机	深松部件4、5个	2300
	6铲及以上深松机	深松部件6个及以上	3400
	3铲及以下振动式深松机	振动式；深松部件3个及以下	2800
	4-5铲振动式深松机	振动式；深松部件4、5个	3100
	6铲及以上振动式深松机	振动式；深松部件6个及以上	4900
免耕播种机	6行及以下免耕条播机	播种行数 $\leq$ 6行；作业幅宽 $\geq$ 1m	1100
	7-11行免耕条播机	7行 $\leq$ 播种行数 $\leq$ 11行	2700
	12-18行免耕条播机	12行 $\leq$ 播种行数 $\leq$ 18行	4100
	19-24行免耕条播机	19行 $\leq$ 播种行数 $\leq$ 24行	5800
	25行及以上免耕条播机	播种行数 $\geq$ 25行	5800
	2-3行免耕穴播机	普通排种器；播种行数2、3行	900
	4-5行免耕穴播机	普通排种器；播种行数4、5行	1600
	6行及以上免耕穴播机	普通排种器；播种行数 $\geq$ 6行	3000
	2-3行免耕精量穴播机	精量排种器；播种行数2、3行	1000
	4-5行免耕精量穴播机	精量排种器；播种行数4、5行	1800
	6行及以上免耕精量穴播机	精量排种器；播种行数 $\geq$ 6行	6200
	2-3行牵引式免耕穴播机	精量排种器；播种行数2、3行；牵引式	12300
	4-5行牵引式免耕穴播机	精量排种器；播种行数4、5行；牵引式	23300
	6行及以上牵引式免耕穴播机	精量排种器；播种行数 $\geq$ 6行；牵引式	36500
秸秆粉碎还田机	1m以下秸秆粉碎还田机	作业幅宽 $<$ 1m	200
	1-1.5m秸秆粉碎还田机	1m $\leq$ 作业幅宽 $<$ 1.5m	900
	1.5-2m秸秆粉碎还田机	1.5m $\leq$ 作业幅宽 $<$ 2m	1900
	2-2.5m秸秆粉碎还田机	2m $\leq$ 作业幅宽 $<$ 2.5m	2200
	2.5m及以上秸秆粉碎还田机	作业幅宽 $\geq$ 2.5m	2700

资料来源：中华人民共和国农业农村部。2018。农业部办公厅关于印发《2018-2020年全国通用类农业机械中央财政资金最高补贴额一览表》的通知。引用于2021年4月15日。www.moa.gov.cn/nybgb/2018/201804/201805/t20180529\_6143285.htm

保护性耕作机具装备进入购机补贴目录，促进了农民对保护性耕作机具的需求（中华人民共和国农业农村部，2018）。从2002年至2018年，免耕播种机数量由22万台增长到100.3万台，增幅达355.9%，年均增幅20.9%；秸秆粉碎还田机33.5万台增长到92.6万台，增幅达176.4%，年均增幅达10.4%。深松机从2008年的8.6万台增加到2018年的28.9万台，增幅达236%，年均增幅达21.5%（表22）。

表22

2002-2018保护性耕作装备数量（万台）

年份	免耕播种机/万台	秸秆粉碎还田机/万台	深松机/万台
2002	220	335	-
2003	234	360	-
2004	276	440	-
2005	303	473	-
2006	334	546	-
2007	377	584	-
2008	560	398	86
2009	651	485	125
2010	732	559	141
2011	718	617	185
2012	776	655	205
2013	825	698	234
2014	868	758	225
2015	930	811	240
2016	967	856	268
2017	965	891	281
2018	1003	926	289

资料来源：中华人民共和国农业农村部。2018。农业部办公厅关于印发《2018-2020年全国通用类农业机械中央财政资金最高补贴额一览表》的通知。引用于2021年4月15日。www.moa.gov.cn/nybgb/2018/201804/201805/t20180529\_6143285.htm

## 5.4 因地制宜的技术模式

中国地域广袤，各个区域的土壤、气候、种植模式、机械化水平等均存在差异。同时，农艺要求、生产条件、种植习惯等的差别，决定了保护性耕作技术模式的复杂性和多样性。因此，通过试验、示范，根据地区自身条件确定最适合本地区的保护性耕作技术模式。

根据多年的试验示范，中国初步形成了适合不同区域的技术模式。

**东北黑土区**干旱，存在土壤肥力退化问题。针对以上问题，形成了秸秆覆盖免少耕播种、留茬原垄免耕播种等技术模式。

**西北黄土高原区**干旱，坡耕地比重大，水土流失严重。针对以上问题，形成了坡耕地留茬免耕、农田覆盖抑蒸抗蚀耕作等技术模式。

**西北绿洲农业区**灌溉水消耗大，水资源短缺，易造成荒漠化。针对以上问题，形成了留茬覆盖免少耕和沟垄覆盖免耕种植技术模式。

**华北长城沿线区**冬春连旱，土壤沙化严重。针对以上问题，形成了留茬秸秆覆盖免耕和带状种植+带状留茬覆盖技术模式。

**黄淮海两茬平作区**秸秆焚烧，复种指数高，水资源短缺。针对以上问题，形成了小麦/玉米秸秆还田免耕和小麦/玉米秸秆还田少耕技术模式。

## 5.5 示范项目带动

示范项目对于推广保护性耕作技术是必不可少的。通过建设项目示范区，确立当地的主推技术模式，确定适合当地的成熟机型，培养实施推广技术的技术人员和农民队伍，为大面积的推广应用积累经验。

选择农机化基础好、对保护性耕作技术有需求、地方重视、技术人员有保证的地区实施示范项目，以保证项目实施的成功。

科学使用示范项目资金，重点用在宣传农民、培训农民、对比试验上；培养农机大户，扶持他们购买或改进机具；根据农民的认识变化，在不同阶段确定不同的支持重点；调动地方的积极性，带动地方的投入，鼓励各地开展试验示范，从地方项目区中择优选择安排国家示范项目。

## 5.6 利益驱动机制

保护性耕作技术的受益者最有积极性推动该技术的应用。保护性耕作技术推广实施的参与者包括推广机构、企业、农民、农机手、技术人员等。通过宣传保护性耕作技术可改善环境、促进农业可持续发展，取得推广机构的支持；通过宣传保护性耕作培肥地力、节本增效、增产增收，调动农民的积极性；通过推广应用新型机具，让生产企业看到潜在的市场，发挥企业的推动力量；通过提高机具作业量、提高机具利用率增加机手的效益，吸引机手的参与和认同；通过经费支持和适当的表彰，激励技术人员的热情，从而发挥相关方的积极性，形成合力推动保护性耕作技术发展的良好局面。

## 5.7 保护性耕作效果监测

巩固优化监测点布局，完善监测规程，明确监测内容，确定责任单位和人员，提高监测的时效性和准确性，可以掌握第一手资料；结合示范推广工作，持续跟踪，长期监测，可以了解保护性耕作技术的长久效益；注重对土壤中水、肥及其它物理、化学和生物性状变化情

况，生产成本，作物产量变化情况，病虫草害变化以及对环境影响等情况的监测，强化对监测结果的汇总、分析和研究，可以科学评价实施效果；注重监测数据的交流和共享，提高监测数据的利用率，可以为深入开展保护性耕作技术研究提供科学依据。

## 5.8 保护性耕作技术相关培训

保护性耕作技术一经进入示范阶段，就要开始着手做大面积推广的准备，利用各种方法使农民逐渐了解、掌握保护性耕作技术。

### （1）集中培训

集中一段时间，把与推广项目有关的人员组织起来，通过现场和网络手段进行集中培训。根据参加人员的不同，其培训的内容深浅应有所不同。

### （2）农机装备田间地头展

田间农机展（现场、网络直播等多种形式）是农民、研究人员、农机企业和政府官员进行交流的好机会。农民可以了解到最新的保护性耕作技术装备，以提高作业效率。研究人员可以向农民、企业和政府官员介绍他们的科学成果，以促进成果的应用和转化。农业机械企业可以引进和展示其农业机械，以提高农民在购买意愿。政府官员可以更好地了解农民、研究人员和农机企业的需求。

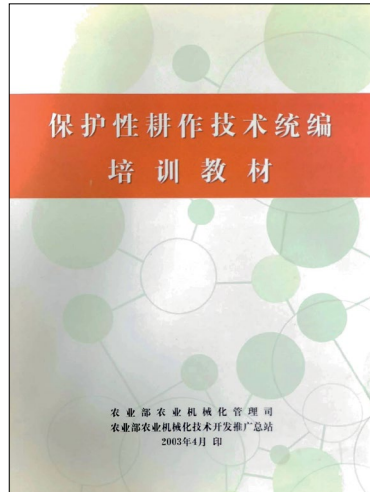
### （3）文字视听材料

保护性耕作技术的培训材料包括录音、视频、培训手册等（图9，10），可通过现场、网络等形式进行发放。技术推广人员可以记录专家关于保护性耕作技术的演讲和报告；推广视频可以直观地展示出什么是保护性耕作技术以及保护性耕作技术的操作步骤；培训手册可以提供大量关于保护性耕作技术的信息，例如研究成果、应用经验、技术法规、农机信息等（图11）。



**图9**  
保护性耕作技术推广视频

资料来源：作者汇编。



**图10**  
保护性耕作技术培训教材

资料来源：作者汇编。



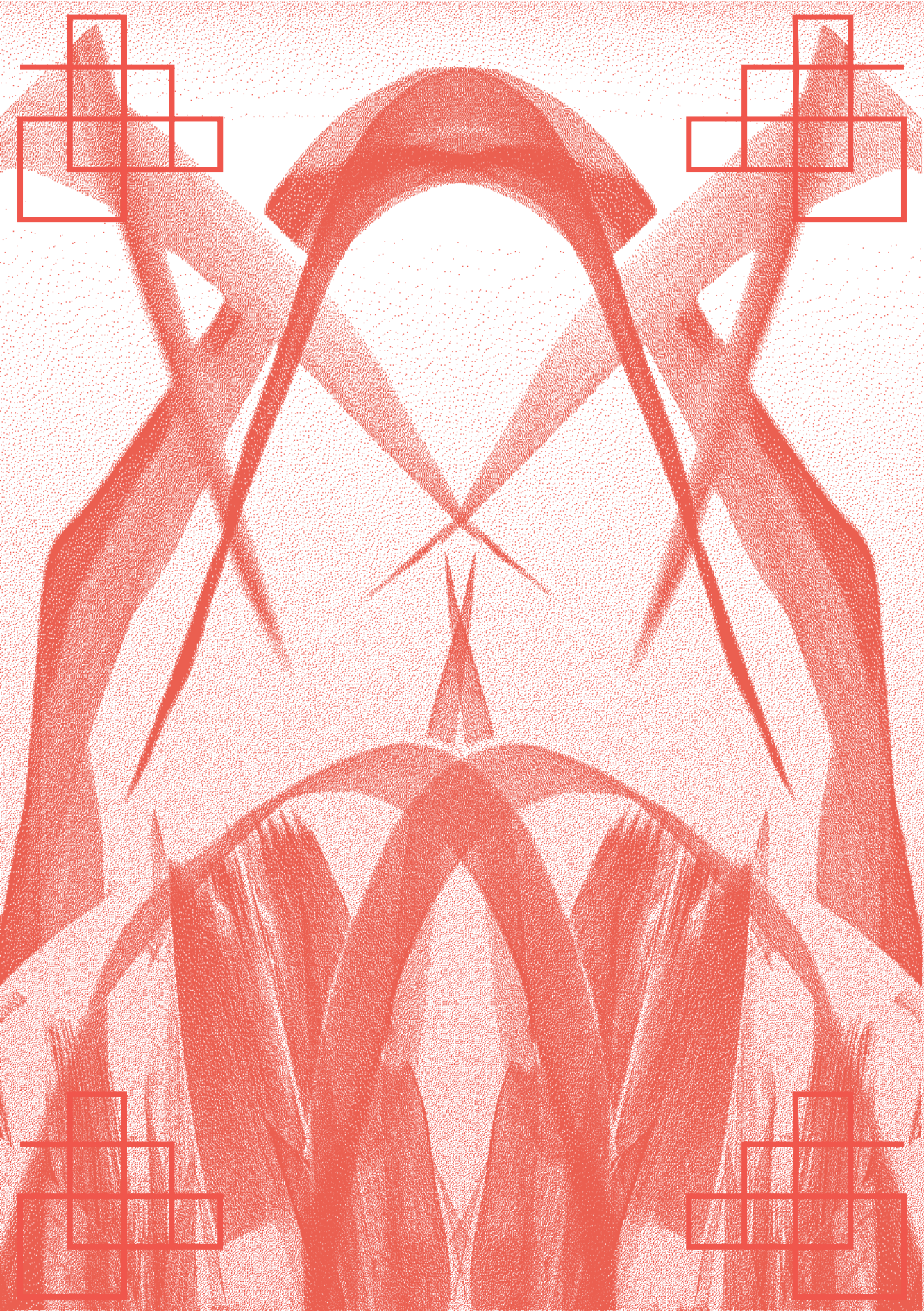
**图11**  
保护性耕作技术科普书

资料来源：作者汇编。









# 第六章

## 保护性耕作推广应用典型案例

保护性耕作技术已在中国得到重视并大面积推广应用，实施范围由旱作农业区到灌溉农业区、由农田到退化草场、由北方到南方不断扩展。在推广应用过程中，涌现了大量的典型案例，展现了保护性耕作技术的效益。本章主要从县域推广和合作社应用情况两个层面介绍了中国保护性耕作技术推广应用的典型案例，展现了保护性耕作技术的效益。

### 6.1 县域推广保护性耕作

#### (1) 黑龙江省泰来县

泰来县位于黑龙江省西南部，属中温带大陆性季风气候，年平均降雨量仅392.6毫米，80%降雨集中在夏季；年均蒸发量1765.7毫米，气候条件十年九旱。

2007年，泰来县政府成立保护性耕作领导小组，并派出大批干部赴相关单位学习培训。此外，自2007年以来，通过电视讲座、播放专题片等形式宣传保护性耕作技术，并多次召开技术推进会、培训班及现场会。

为推广保护性耕作技术，形成三种推广模式：1) 确定目标产量，超产归农户，减产据实补，试验风险由村承担；2) 确定目标产量，超产归农户，减产据实补，试验风险由科研单位承担；3) 农户自愿试验，县农机局免费提供农具服务，充分调动了全县农民参与试验的积极性。

泰来县十多年保护性耕作实践取得了较好的效益：全县向二、三产业转移劳动力5000多人；土壤水、风蚀分别减少60%和80%，土壤含水量增加14%以上，有机质年均增加约0.021%，天然降水利用率提高20%—28%；相比传统耕作，保护性耕作投入成本节省145元/亩（即2175元/公顷），产量增加111.9千克/亩（即1678.5千克/公顷），总收益增加301元/亩（即4515/公顷），节本增产效果明显，具有良好的经济效益。

## **（2）黑龙江省青冈县**

青冈县位于黑龙江省中南部，属温带大陆性季风气候，年降水量489.3mm，年平均气温2.4°C—2.6°C，耕地面积256.3万亩（即17万公顷），农业人口37.7万。

2015年，青冈县作为黑龙江省秸秆还田试点县，保护性耕作技术试验示范面积550亩（即36.7公顷）。2015—2019年间青冈县分别实现秸秆覆盖免耕播种面积5万、9万、13万、20万和74万亩（即3333、6000、8667、13333和49333公顷）。2016年、2017年和2019年青冈县分别对深松作业追加补贴50、20和30元/亩（即750、300和450元/公顷）。在机具补贴方面，青冈县给予累加补贴，使补贴总额达到购机金额的60%，并为农户无偿安装免耕播种机智能监测设备。为促进秸秆还田发展，累计投资2480万元，购置还田秸秆机具1157台。为支持保护性耕作技术的应用推广，近年来泰来县累计投入资金1600万元。

近年来青冈县积极推进技术培训和试验示范，共举办技术培训班10余次、田间博览会8次，发放秸秆还田宣传单28000余份，技术手册2000余本，打造高标准县级试验示范基地3个，高标准乡级试验示范园区15个。示范区内土壤含水率提高12%，土壤有机质增加0.47克/千克，增产增收效果明显。

## **（3）新疆维吾尔自治区博乐市**

新疆维吾尔自治区博乐市位于新疆西北部，属大陆性干旱半荒漠和荒漠气候，年均气温5.6°C，年均降水181mm（百度百科，2021）。

2009年开始探索玉米免耕精量播种与水肥一体化保护性耕作无膜种植技术。2019年，博乐市推广了3392亩（即336公顷）玉米免耕种植技术，平均产量为1097.3千克/亩（即16459.5千克/公顷），比常规铺膜种植增产121.3千克/亩（即1819.5千克/公顷），节本增效达432元/亩（即6480元/公顷）。2019年10月25日，在中国农业大学

保护性耕作研究院专家见证下，实产取得了产量1314.69千克/亩（即19 720千克/公顷）的成绩。2020年，博乐市推广种植保护性耕作玉米面积达3万亩，平均产量1080.5千克/亩（即16 208千克/公顷），较全市玉米平均产量高出100.3千克/亩（即1 505千克/公顷）。2021年博乐市计划全市播种6万亩（即4000公顷）免耕玉米（陶拴科，2021）。

## 6.2 合作社应用推广保护性耕作

农机合作社在保护性耕作技术的应用推广中发挥着重要的作用。在政府的扶持下，农机合作社与科研机构和农机企业合作，在资金、技术和示范项目等方面得到了较好的支持。

### （1）辽宁省新宾县惠斌农机专业合作社

惠斌合作社位于辽宁省新宾满族自治县，承包农户耕地500亩（即33.3公顷），主要种植作物为玉米、水稻，共有农业机械50余台套。合作社在保护性耕作技术的推广中发挥了较好的作用，促进了新宾保护性耕作技术的应用。采用玉米秸秆集行全量覆盖还田宽窄行免耕播种技术模式、玉米秸秆覆盖高留茬还田免耕播种技术模式、玉米秸秆全覆盖还田原垄播种技术模式。应用结果表明，机械化免耕播种作业成本只需要60元/亩（即900元/公顷），较传统作业的130元/亩（即1950元/公顷），节省70元/亩（即1050元/公顷）；2021年春由于气温低降雨量偏大，常规育苗普遍缺苗，而保护性耕作地块出苗率达98%以上；采用保护性耕作技术不但提高了作物产量，而且增加了土壤有机质含量，改善了土壤结构，从而增强了农田对极端天气的抵御能力。

### （2）辽宁省沈北新区长春农机合作社

长春农机合作社位于辽宁省沈阳市沈北新区，承包农户耕地2975亩（即198公顷），现有各型拖拉机与农机具50余台，机具库1000多平。合作社从2014年开始应用保护性耕作技术。经过多年对比发现，保护性耕作地块苗齐、苗壮、株行距整齐，高矮一致。与传统耕作相比，增产约200斤/亩（约1500千克/公顷），平均增产10%以上，增收约150元/亩（约2250元/公顷）。

### （3）辽宁省昌图县宝力镇信德农机合作社

信德合作社采用玉米秸秆粉碎全量还田保护性耕作技术模式达600多亩（约40公顷）。示范田玉米平均亩保苗率94%。2019年玉米抽雄前出现持续1个多月的严重干旱，示范田玉米生长要好于传统耕作地块；在降雨量非常大时，保护性耕作地块未出现径流、玉米倒伏现象。与传统耕作地块相比，保护性耕作地块平均亩节本28元，平均增产59千克/亩（即

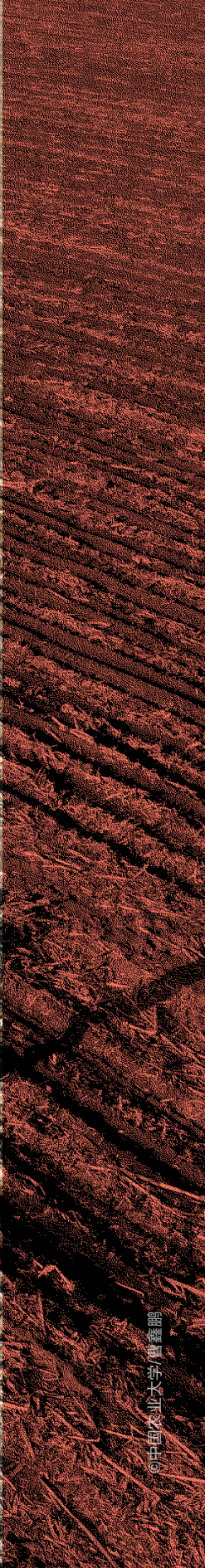
885千克/公顷)，增收100.3元/亩（即1500/公顷）。实施600亩（即40公顷），实现增收节支76980元。特别是示范田蚯蚓数量明显增加，凸显了玉米秸秆粉碎全量还田保护性耕作增加土壤有机质的培肥地力效果。

#### **（4）吉林省梨树县卢伟农机农民专业合作社**

卢伟农机农民专业合作社（王冬雪，2021）位于吉林省梨树县，面积1万多亩（约667公顷），占全村耕地面积的86%。卢伟农机合作社从2013年开始采用玉米秸秆覆盖还田免耕播种技术。推广应用了测土配方施肥、深松整地、保护性耕作、绿色防控等一系列先进的重大粮食增产增收技术。在保护“黑土地”的同时，玉米平均产量达到10000千克/公顷以上，比常规种植方式增产1000千克，增加收入近2000元/公顷。

#### **（5）山东省青岛志涛农机专业合作社**

志涛农机专业合作社位于青岛莱西市，共流转土地1200余亩（即80公顷），各类农业机械14台套，固定资产1300多万元。该合作社从2012年开始实施保护性耕作技术，2014年结合自身实际开始探索秸秆肥料化技术应用，通过连续7年的秸秆还田，合作社的耕地土壤结构得到明显改善，土壤团粒结构优化，有机质含量增加，蚯蚓数量增多，蓄水保墒作用显著。2015年开始，在中国农业大学和市农机部门的联合指导下，结合保护性耕作技术和规模化养殖、融合秸秆肥料化及饲料化技术，该合作社开始农牧结合保护性耕作模式试验，成效明显。自2019年，合作社还参与了由联合国可持续农业机械化中心发起的为期三年的“中国秸秆综合利用示范”项目（CSAM, 2019），并与中国农业大学、青岛市农业农村局、莱西市农业农村局合作（见第7.4节）。







# 第七章

## 国内外保护性农业相关政策对比分析

近些年，保护性耕作（联合国粮农组织常用“保护性农业”，术语英文即Conservation Agriculture）在世界范围内迅速发展。据估算，2008年世界保护性农业应用面积 $1.06 \times 10^8$ 公顷，占全球耕地面积的7.5%。2015年，保护性农业面积扩大到 $1.8 \times 10^8$ 公顷，占全球耕地面积的12.5%。7年内全球保护性农业面积增长了 $7.4 \times 10^7$ 公顷，增幅达69%。目前，保护性农业技术已推广到100多个国家，各国出台的有关保护性农业政策更是推进了其在全球范围内的发展。

本章分析了不同国家和地区在发展保护性农业过程中的相关政策，总结了美国、南美洲、欧洲地区的具体措施，分析了欧盟共同农业政策、欧洲绿色新政等对发展保护性农业的影响，详细介绍了国际组织在中国进行的保护性耕作项目，并讨论了对中国相关政策的启示。

### 7.1 美国

美国是研究保护性农业最早的国家，起因于20世纪30年代的“黑风暴”事件。1935年，美国总统罗斯福签署土壤保护法（Soil Conservation Act），并建立美国农业部水土保持局（Soil Conservation Service），旨在防治土壤侵蚀和保护自然资源。1994年，美国农业部水土保持局更名为自然资源保护局（Natural Resources Conservation Service）。1995年，粮食安全法案（Food Security Act）正式颁布，禁止美国农业部向任何

未采用保护性农业措施而易受侵蚀土地进行农业开发，从而进一步加强农业生产用地的环境保护。根据美国农业部2012年和2017年的农业普查，应用作物覆盖的面积从2012年的大约1000万英亩增加到了超过1500万英亩，农场数量从133500个增加到了153400个。在2015-2016年，美国的保护性农业面积排世界首位 (Kassam, Friedrich and Derpsch, 2019)。

## 7.2 南美洲

南美洲保护性农业技术发展迅速。现已成为世界上采用保护性农业比例最高的地区之一。其中，巴西和阿根廷是该区两个典型代表国家。

巴西保护性农业相关政策为：1973年，巴西银行向购买或改造免耕播种机的农民提供补贴贷款；1980年，在世界银行的支持下，巴西南部实施了若干关于土壤综合管理与保护的项目；1993年，巴西银行将免耕纳入补贴贷款范畴；1995年，政府开展农业融资，降低免耕作业的利率和保险费用。

阿根廷保护性农业相关政策为：1986年，实施农业资源保护项目 (the Conservationist Agriculture Project)，农民购买免耕播种机或其他机具，可在5年内享受无息偿还贷款；1993年，为促进保护性农业的推广及应用，政府批准转基因作物的种植；自2000年起，圣菲省 (Santa Fe) 对其一年两季作物区的免耕生产者们在租地费用方面实行减税60%的激励措施。

## 7.3 欧洲

在欧洲，保护性农业带来了重要的经济及生态效益。根据欧洲保护性农业联盟 (European Conservation Agriculture Federation, ECAF) 网站数据，在欧洲保护性农业面积最大的几个国家包括西班牙 (746830公顷)，罗马尼亚 (583800公顷)，英国 (562000公顷)，芬兰 (480000公顷)，波兰 (403200公顷)，法国 (300000公顷)，意大利 (283900公顷)，德国 (146000公顷)，希腊 (91000公顷) 和摩尔多瓦 (60000公顷) 等 (ECAF members, 2020)。

影响欧洲保护性农业推广和采用的因素包括：自上而下（通过大学或中级职业技术学校）和自下而上（农民保护性农业组织）的活动或政策推动了保护性农业的发展；科研对于保护性农业的推广和采用非常关键，但农业推广服务仍有待加强，以帮助农民组织或私营部门更好地采用可持续农业知识和技能；此外，在欧洲专门从事保护性农业的机械化服务和机械供应商较少 (Goddard et al., 2020)。

## **(1) 共同农业政策**

欧洲农业面临许多挑战，例如环境污染和气候变暖，生物多样性减少和土壤退化。共同农业政策（CAP）是解决这些挑战的中心政策之一。共同农业政策于1962年发起，构建了农业与社会之间以及欧洲政府与农民之间的合作关系。共同农业政策是应用于所有欧盟国家，由欧盟预算进行管理和资助（European Commission, 2021a）。旨在支持农民并确保欧洲的粮食安全，提高农业生产率和竞争力，保障欧盟农民过上较好的生活；帮助应对气候变化和自然资源的可持续管理；维护整个欧盟的农村地区 and 地貌；通过促进农业、农产品行业和相关产业的就业来保持农村经济的活力。共同农业政策建议推广保护性农业等措施，增加土壤微生物多样性，防止土壤侵蚀，避免土壤污染和板结。

2021年，保护性农业被列入了共同农业政策中支持的农业实践清单（European Commission, 2021b）。

欧洲遵守共同农业政策，其中涉及农田土壤的保护。为提高土壤微生物多样性，防止水土流失，避免土壤污染和土壤板结，该政策提出采用保护性农业等措施。此外，欧盟1999年颁布了《欧盟土地法》，以确保政策的实施。

## **(2) 欧洲绿色新政**

2019年，欧盟委员会首次提出《欧洲绿色新政》。新政涵盖了经济、能源、气候、污染和自然等所有领域，为欧盟现代、节约资源、可持续和竞争性的经济发展提供了指南。新政的目标是到2050年实现温室气体零排放。来自下一代欧盟复苏计划和欧盟七年预算的6000亿欧元用于资助欧洲绿色新政，以解决气候变化和环境退化问题（European Commission, 2021c）。

2030年生物多样性战略（European Commission, 2020a）以及从农场到餐桌战略（European Commission, 2020b）是欧洲绿色新政的核心部分，还将支持新冠病毒大流行之后的绿色复苏和更具弹性的粮食系统。

## **(3) 欧洲保护性农业联盟**

在欧洲建立的区域性保护性农业团体是保护性农业重要的推动力之一。欧洲保护性农业联盟于1999年在布鲁塞尔成立，是一个非营利性的国际协会，旨在鼓励在可持续农业背景下，通过推广保护性农业维护农业土壤及其生物多样性等。2001年，欧洲保护性农业联盟和联合国粮农组织在西班牙马德里组织了第1届世界保护性农业大会（World Congress of Conservation Agriculture）；在2021年，在粮农组织等支持下，欧洲保

护性农业联盟和瑞士保护农业协会组织第8届世界保护性农业大会(8WCCA, 2021), 大会主题为“农业的未来: 通过保护性农业实现盈利的可持续农业”, 为农民、科学家、决策者、企业家、世界各地农业部门以及国际组织等提供了在线交流的平台。

## 7.4 国际组织在中国的保护性耕作项目

近年来, 联合国粮食及农业组织, 联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(UNESCAP) 可持续农业机械化中心(CSAM), 以及世界银行等国际组织积极与中国合作推广保护性农业(即“保护性耕作”)。

### (1) 联合国可持续农业机械化中心“秸秆综合利用示范”项目

可持续农业机械化中心在中国启动了一项为期三年的秸秆综合利用示范项目(CSAM, 2019)。该项目由联合国可持续农业机械化中心组织, 中国农业大学、青岛市农机局、莱西市农机局以及志涛农机专业合作社联合承担实施。该中心计划利用三年时间试验示范推广秸秆肥料化、饲料化以及基料化等技术模式, 以减少秸秆燃烧及其对人类健康和农业生态系统的负面影响。经过两年(2019年7月至2021年8月)的试验和示范, 莱西试点取得了积极成果: (i) 截至2021年8月, 在150亩(10公顷)的试点场地, 72吨小麦秸秆和99吨玉米秸秆被用作肥料利用, 减少了秸秆焚烧, 相当于每年减少了约220吨二氧化碳排放。(ii) 与项目实施前的2018年相比, 玉米和小麦单产分别增加509和1300千克/公顷, 合作社的纯收入增加超过602美元/公顷。(iii) 土壤有机质从2018年的2.1%增加到2021年的2.24%。基于在中国和越南开展试点项目取得的可喜成果, 联合国可持续农业机械化中心在中国-亚太经社会合作计划的资金支持下, 目前正在将该倡议扩展到其他国家, 例如柬埔寨、印度尼西亚和尼泊尔等国家。

### (2) 世界银行贷款广东农业面源污染治理项目

《广东农业面源污染治理政策研究(环境友好型种植业项目)》(广东省农业面源污染治理项目管理办公室, 2021)主要目标形成适合广东可推广的模式与完善的政策机制, 为广东乃至全国治理农业面源污染提供有益的政策依据。其《广东农业面源污染治理政策研究(环境友好型种植业项目)》专题中保护性耕作研究方面主要为水稻直播技术和甜玉米保护性耕作技术, 以及相关农业机械示范。结果表明, 与常规耕作相比, 保护性耕作可在不降低产量下显著增加利润, 每作物季肥料用量最多减少50千克/亩(750千克/公顷), 有助于减少氮和磷损失的潜在风险(Ou, 2020)。

### （3）联合国粮食及农业组织相关保护性农业项目

联合国粮食及农业组织（粮农组织）通过农业发展和投资项目在全球范围内推广保护性农业做出了重要贡献。粮农组织保护农业网站(www.fao.org/conservation-agriculture)提供了与保护性农业相关的全面信息和知识、全球案例研究等。粮农组织全球保护性农业实践社区（CA-CoP）提供了全球交流分享保护性农业经验的在线平台和技术网络。在亚洲，粮农组织已在中国、印度、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦等国家实施了保护性农业项目。在2020年的粮农组织农业委员会第27届会议正式批准了推进《全球可持续旱地农业计划》(FAO, 2020)。其中，保护性农业是全球可持续旱地农业计划的关键技术之一。此外，FAO于2021年启动了“特色农产品绿色发展全球行动：一国一品”(FAO, 2021a)。这一全球行动旨在为特色农产品打造绿色和可持续的价值链，支持小农和家庭农民充分分享全球市场回报，最终推动农业粮食体系转型，实现可持续发展目标。保护性农业被认为是“一国一品”全球行动中实现农业生产绿色发展的一项绿色实践和技术。

粮农组织在中国有关推广保护性农业的部分项目包括：

- 2021-2023，吉林省黑土保护与可持续管理项目(FAO, 2021b)。该项目与《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》相辅相成，旨在通过测试潜在的技术和管理方案，并从国际黑土网络（INBS）等经验和知识中学习，为中国东北黑土可持续管理和制定适当的技术准则以及政策建议做出贡献。
- 2021-2023，糖业作物残渣的可持续利用和管理(FAO, 2021c)。将制糖业生产的废料和残渣作为有机物还田，不仅将解决直接废物处理对环境的负面影响，而且在减少化学肥料使用的同时增加土地肥力。
- 2016-2022，吉林省西部地区盐碱湿地农业牧区景观的生物多样性保护和土地可持续管理(FAO, 2016)，包括在查干湖周围保护性农业实践。
- 2015-2017，通过改善安徽省淮北平原的秸秆利用和土壤肥力管理促进气候智能型农业(FAO, 2015)。
- 2004-2005，在江苏省推广先进的秸秆利用技术(FAO, 2004)，推广保护性耕作以及其他秸秆综合利用技术，减少空气污染和水体污染，改善总体生态环境，增强土壤肥力，并提高作物生产力和农民收入。

此外，在北京召开的2013年亚洲保护性农业专家磋商会中，来自16个亚太成员国农业部、高校院所、农机企业、农业领域等的30多位专家及国际组织人员参加了会议。FAO亚太区域办公室发布了会议报告《亚太地区保护性农业的政策和机构支持》(FAO, 2013)。会议还建议建立亚太保护性农业联盟(CAAAP)(CAAAP, 2021a)。2021年5月，亚太区域保护性农业促进战略在线会议成功召开(CAAAP, 2021b)。专家们报告了CA在全球、欧亚大陆、拉丁美洲、欧洲、非洲、亚太和中国的现状、采用和推广。FAO农业官员表示，CAAAP在促进亚太地区保护性农业共同发展方面发挥着重要作用，今后CAAAP应更加积极加强合作交流和经验分享，多方合作共同推动保护性农业在亚太地区的推广应用。

## 7.5 对于中国政策的启示

世界各国颁布的相关政策法律较好地促进了保护性农业技术和绿色农业的发展，为中国保护性耕作相关政策的制定提供了参考。

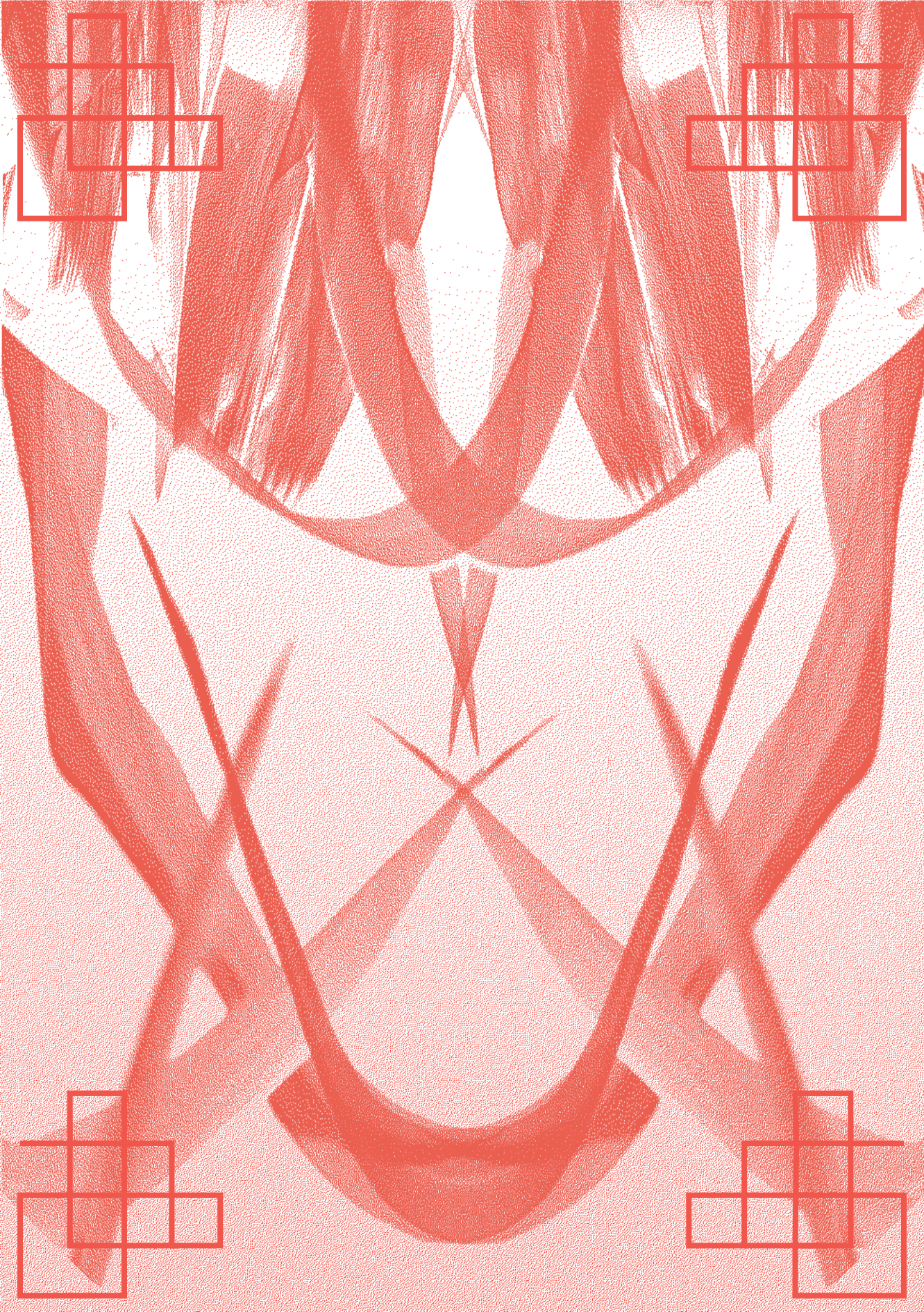
**(1) 增强保护性耕作技术补贴。**中国已经制定了保护性耕作机具补贴政策。但在保护性耕作技术的推广过程中，农民担心应用这一技术可能存在的风险，在一定程度上限制了农民应用保护性耕作技术的热情。因此，可在全国适宜推广保护性耕作技术的地区制定相关的技术补贴政策。

**(2) 保护中小农户的利益。**在制定保障粮食安全和推广保护性耕作技术的政策时，充分保护中小农户的利益。

**(3) 建立全国性质保护性耕作技术的长期推广政策。**在推广保护性耕作技术时建立全国性的长期推广政策，制定清晰的远景目标，如借鉴欧盟的共同农业政策等。

**(4) 强化生态保护的作用。**在制定保护性耕作技术相关政策和标准时，建议合理使用化肥、农药等，强化生态保护的作用。







# 第八章

## 中国保护性耕作发展的未来展望

本章基于中国保护性耕作技术发展现状，从技术装备、模式、政策、应用等方面展望了中国保护性耕作技术的未来发展。

**（1）完备的保护性耕作技术装备。**在免少耕精量播种、节能减阻深松、秸秆均匀粉碎还田、精准变量施肥（药）技术等方面取得突破，形成高性能的农机装备。机具智能化、信息化水平提高，播种机、深松机、秸秆还田机等可根据作物种类、土壤条件及类型、气候条件等田间作业环境实时提供最佳作业参数，保证作业质量。在植保方面，机械和化学除草互相补充，可以精准预警农田的病虫草害，最大限度的保障作物健康生长。在灌溉、施肥方面，可以根据作物需求、土壤水肥条件、天气情况等，实时精准灌溉和施肥。

**（2）细化的保护性耕作技术模式。**通过各地区长期试验，根据当地气候条件和种植模式，明确了免少耕、秸秆还田、作物多样性（轮作/间作）、植保灌溉施肥等技术对土壤结构及肥力、土壤微生物、产量、温室气体排放、生产成本的影响。在此基础上，结合各地气候土壤条件、种植模式、农机化水平等，适合县域级的保护性耕作技术模式将更细化，更好地发挥保护性耕作技术在生态保护、节本增效等方面的潜力。

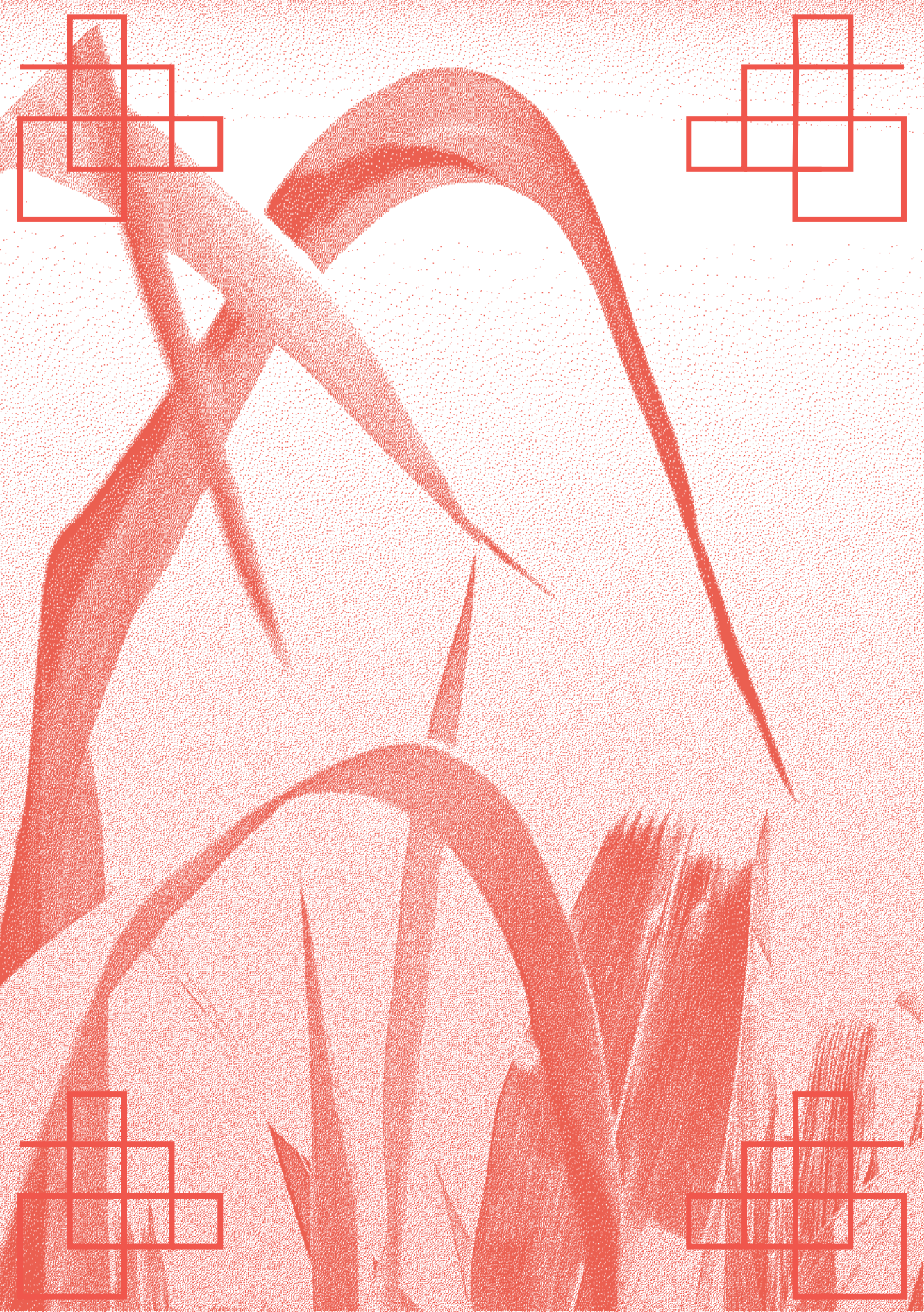
**（3）完善的保护性耕作支持政策。**形成适合在东北、西北、华北等地区更完善的保护性耕作技术推广应用支持政策，包括保护性耕作应用生态补贴政策、保护性耕作购机补贴政策、保护性耕作装备生产企业税收减免政策、科研机构科研支持政策等。同时，保护性耕作技术国家及地方标准将更加完善。

**（4）保护性耕作技术大面积应用。**在多年宣传、培训与示范后，形成了一支技术完备的保护性耕作技术人才队伍，农民采用保护性耕作技术的意愿加强。在高质量保护性耕作装备和适合的县域保护性耕作技术模式的基础上，通过中央及各级政府完善的政策支持，保护性耕作技术得到更大面积的推广应用。



中国农业大学联合研制

河南豪丰



# 参考文献

- 8WCCA.** 2021. *8th World Congress on Conservation Agriculture (8WCCA)*. Cited 30 April 2021. <https://8wcca.org>
- Bai, X., Liao, J., Hu, H., Liu, X., Xu, Y., Yan, Q. & Huang, S.** 2020. Effects of conservation tillage on soil and water conservation (in Chinese). *Agricultural Engineering*, 82(08): 86-92.
- Baidu.** 2021. *Bole City*. Cited 15 April 2021. [https://baike.baidu.com/item/博乐/946720?Fromtitle=博乐市&fromid=10701547&fr=aladdin#reference-\[11\]-51994-wrap](https://baike.baidu.com/item/博乐/946720?Fromtitle=博乐市&fromid=10701547&fr=aladdin#reference-[11]-51994-wrap)
- Benites, J.R., Derpsch, R. & McGarry, D.** 2003. The current status and future growth potential of conservation agriculture in the world context. Conference presentation at *Proceedings of the 256 International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial conference, 13–18 July 2003, the University of Queensland, Brisbane, Australia*. pp. 120–129. Paper presented at 2003, Brisbane, Australia.
- CAAAP.** 2021a. *Conservation Agriculture Alliance for Asia-Pacific*. Cited 30 April 2021. [www.caa-ap.org](http://www.caa-ap.org)
- CAAAP.** 2021b. *The Strategies for the Promotion of Conservation Agriculture in Asia and Pacific Regional Online Meeting was successfully held*. In: CAAAP. Cited 30 April 2021. [www.caa-ap.org/news/456.html](http://www.caa-ap.org/news/456.html)
- Cai, G., Li, H., Li, H., Wang, Q., He, J. & Ni, J.** 2011. Design of test-bed for trenching depth automatic control system based on ATmega128 single microcontroller (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27: 11–16. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.10.002>
- Central People's Government of People's Republic of China.** 2006. *No. 1 Central Document of 2005: Opinions of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on Several Policies for Further Strengthening Rural Work and Improving Comprehensive Agricultural Production Capacity (31 December 2004)*. Cited 11 May 2022. [www.gov.cn/test/2006-02/22/content\\_207406.htm](http://www.gov.cn/test/2006-02/22/content_207406.htm)
- Chen, H., Zha, S., Dun, G., Cong, G., Li, A. & Feng, Y.** 2016. Optimization and experiment of cleaning device of 2BMFJ type no-till precision planter (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 47(7): 96–102.
- Cortes, M.E., Kataoka, T. & Okamoto, H.** 2013. Seeding Depth Regulation Controlled by Independent Furrow Openers for Zero Tillage Systems. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 6(1): 13–19. [https://doi.org/10.1016/S1881-8366\(13\)80010-9](https://doi.org/10.1016/S1881-8366(13)80010-9)
- CSAM.** 2019. *Partner Engagement for Pilot Project on Integrated Straw Management in China*. Cited 30 April 2021. [www.un-csam.org/news/partner-engagement-pilot-project-integrated-straw-management-china](http://www.un-csam.org/news/partner-engagement-pilot-project-integrated-straw-management-china)

- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A. & Hongwen, L.** 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1): 1–26. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>
- Ding, Y., Wang, X., Liao, Q., Zhang, W., Zhang, X. & Cai, X.** 2015. Design and experiment on spiral-tube reseeding device for loss sowing of rapeseed (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(22): 16–24.
- Du, Q., Xiong, X. & Wei, J.** 2008. Design and experiment on the control system of electro-hydraulic plow depth of tractor hydraulic hitch mechanism (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 39(8): 62–65.
- ECAF members.** 2020. Adoption of Conservation Agriculture in Europe. In: *European Conservation Agriculture Federation (ECAF)*. Cited 15 April 2021. <https://ecaf.org/adoption-of-conservation-agriculture-in-europe>
- European Commission.** 2020a. *Biodiversity strategy for 2030*. Cited 30 April 2021. [https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030\\_en](https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en)
- European Commission.** 2020b. *Farm to Fork strategy*. Cited 30 April 2021. [https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en)
- European Commission.** 2021a. *The common agricultural policy at a glance*. Cited 30 April 2021. [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance\\_en#:~:text=Launched in 1962%2C the EU's,It aims to%3A&text=maintain rural areas and landscapes,foods industries and associated sectors](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_en#:~:text=Launched in 1962%2C the EU's,It aims to%3A&text=maintain rural areas and landscapes,foods industries and associated sectors)
- European Commission.** 2021b. *Commission publishes list of potential eco-schemes*. Cited 30 April 2021. [https://ec.europa.eu/info/news/commission-publishes-list-potential-eco-schemes-2021-jan-14\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/commission-publishes-list-potential-eco-schemes-2021-jan-14_en)
- European Commission.** 2021c. *A European Green Deal*. Cited 30 April 2021. <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal>
- Evans, S.D., Lindstrom, M.J., Voorhees, W.B., Moncrief, J.F. & Nelson, G.A.** 1996. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield. *Soil and Tillage Research*, 38(1–2): 35–46. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01020-3](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01020-3)
- FAO.** 2004. TCP/CPR/2905 (2004–2005). Promotion of advanced straw utilization technologies in Jiangsu Province, China.
- FAO.** 2013. Policy and institutional support for Conservation Agriculture in the Asia-Pacific Region. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok, Thailand.
- FAO.** 2015. TCP/CPR/3504 (2015–2017). Promotion of climate-smart agriculture through improving crop residue utilisation and soil fertility management on the Huaibei Plains, Anhui Province, China.
- FAO.** 2016. GCP /CPR/048/GFF (2016–2022). Biodiversity conservation and sustainable land management in the soda saline-alkaline wetlands agro pastoral landscapes in the western area of the Jilin Province, China.
- FAO.** 2017. *Fact sheet on Conservation Agriculture*. Rome, FAO. [www.fao.org/3/i7480e/i7480e.pdf](http://www.fao.org/3/i7480e/i7480e.pdf)
- FAO.** 2020. Towards a Global Programme on Sustainable Dryland Agriculture in collaboration with the Global Framework on Water Scarcity in Agriculture (WASAG) in a Changing Climate. *Twenty-seventh session of FAO Committee on Agriculture, 28 September–2 October 2020*. Paper presented at, 2020, Rome, Italy. [www.fao.org/3/nd412EN/nd412EN.pdf](http://www.fao.org/3/nd412EN/nd412EN.pdf)
- FAO.** 2021a. *FAO launches Global Action on One Country One Priority Product*. Cited 28 February 2022. In: [www.fao.org/news/story/en/item/1438036/icode](http://www.fao.org/news/story/en/item/1438036/icode)
- FAO.** 2021b. TCP/CPR/3806 (2021–2023). Conservation and sustainable management of black soil in Jilin Province, China.

- FAO.** 2021c. TCP/CPR/3804 (2021–2023). Support to sustainable use and management of sugar crop residues for sustainable production and natural resources conservation.
- Fu, W., Dong, J., Mei, H., Gao, N., Lu, C. & Zhang, J.** 2018. Design and Test of Maize Seeding Unit Downforce Control System (in Chinese). *Nongye Jixie Xuebao/ Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 49(6): 68–77. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.008>
- Fu, X., Li, M., Lu, J., Wang, J., Deng, Y. & Zhang, J.** 2011. Research on the cutter of straw crushing machine to field (in Chinese). *Chinese Agricultural Mechanization*, 1: 83–87.
- Goddard, T., Basch, G., Derpsch, R., Li, H., He, J. & Karabayev, M.** 2020. Institutional and policy support for Conservation Agriculture uptake. Chap 12 In: A. Kassam, ed. *Advances in Conservation Agriculture Volume 1: Systems and Science*, p. 38–39. Cambridge, UK, Burleigh Dodds Science Publishing.
- Guangdong Provincial Agricultural Non-point Source Pollution Control Project Management Office.** 2021. *Comprehensive information network of Guangdong agricultural non-point source pollution control project loaned by World Bank*. In: [www.gdmy.org](http://www.gdmy.org)
- Håkansson, I., Arvidsson, J., Keller, T. & Rydberg, T.** 2011. Effects of seedbed properties on crop emergence: 1. Temporal effects of temperature and sowing depth in seedbeds with favourable properties. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 61(5): 458–468. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.506446>
- He, J., Kuhn, N.J., Zhang, X.M., Zhang, X.R. & Li, H.W.** 2009a. Effects of 10 years of conservation tillage on soil properties and productivity in the farming–pastoral ecotone of Inner Mongolia, China. *Soil Use and Management*, 25(2): 201–209. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00210.x>
- He, J., Li, H.W., Wang, Q.-J., Gao, H.W., Li, W.-Y., Zhang, X.-M. & McGiffen, M.** 2010. The adoption of conservation tillage in China. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195 Suppl: E96–106. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05402.x>
- He, J., Li, H., Chen, H., Lu, C. & Wang, Q.** 2018a. Research Progress of Conservation Tillage Technology and Machine (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 49: 1–19. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.001>
- He, J., McHugh, A.D., Li, H.W., Wang, Q.J., Li, W.Y., Rasaily, R.G. & Li, H.** 2012. Permanent raised beds improved soil structure and yield of spring wheat in arid north-western China. *Soil Use and Management*, 28(4): 536–543. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00445.x>
- He, J., Wang, Q., Li, H., Tullberg, J.N., McHugh, A.D., Bai, Y., Zhang, X., McLaughlin, N. & Gao, H.** 2009b. Soil physical properties and infiltration after long-term no-tillage and ploughing on the Chinese Loess Plateau. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37(3): 157–166. <https://doi.org/10.1080/01140670909510261>
- He, Y., Jiang, H., Fang, H., Wang, Y. & Liu, Y.** 2018b. Research progress of intelligent obstacle detection methods of vehicles and their application on agriculture (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(9): 21–32.
- He, Y.F., Shen, H.O., Zhang, Y., Zhao, Z. & Mou, T.** 2020. Analysis of soil and water conservation effects of different straw returning patterns in sloping farmland in the Chinese black soil region (in Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 34(06): 91–96.
- Hu, J., Gao, L., Bai, X., Li, T. & Liu, X.** 2015. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31: 1–10. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2015.10.001>

- Ji, C.Y. & Zhou, J.** 2014. Current situation of navigation technologies for agricultural machinery (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 45(9): 44-54.
- Jia, H., Jiang, X., Guo, M., Liu, X. & Wang, L.** 2015. Design and experiment of V-L shaped smashed straw blade (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(1): 28-33.
- Jia, H.L., Zhu, L.T., Huang, D.Y., Wang, Q., Li, M.W. & Zhao, J.L.** 2019. Automatic control system of sowing depth for no-tillage planter based on Flex sensor (in Chinese). *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 49(1): 166-175. <https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb20170988>
- Jiang, X.M.** 2017. *Study on key technologies of precision seeding for maize no-tillage planter (in Chinese)*. Jilin University.
- Kassam, A., Friedrich, T. & Derpsch, R.** 2019. Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1): 29-51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. & Pretty, J.** 2009. The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(4): 292-320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>
- Kassam, A., Li, H.W., Niino, Y., Friedrich, T., He, J. & Wang, X.L.** 2014. Current status, prospect and policy and institutional support for Conservation Agriculture in the Asia-Pacific region. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(5): 1-13. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20140705.001>
- Kiani, S.** 2012. Automatic on-line depth control of seeding units using a non-contacting ultrasonic sensor. *International Journal of Natural & Engineering Sciences*, 6(2): 39-42.
- Kim, H. & Gao, H.W.** 2002. Design of a microcomputer-controlled loss sowing compensation system for a maize precision drill (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 33(5): 44-47.
- Kong, D.J.** 2020. *Effect on nitrogen and carbon content and microbial community structure of wheat-soybean rotation soil under straw return and fertilizer application treatment*. Northwest A & F University, Yangling, China.
- Li, B. & Li, H.W.** 2006. Design and study of 2BMD-12 no-till planter for wheat (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 37(3): 41-44.
- Li, C.D., Chen, L.D. & Chen, Y.Q.** 2008. Developing conservation tillage to promote the development of green agriculture (in Chinese). *Jilin Agriculture*, (11): 16-17.
- Li, H., Gao, H., Wu, H., Li, W., Wang, X. & He, J.** 2007. Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China. *Australian Journal of Soil Research*, 45(5): 344-350. <https://doi.org/10.1071/SR07003>
- Li, S. & Li, H.** 2009. A counting method for residue cover rate in field based on computer vision. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 31(1): 20-25.
- Li, W., He, H., Cui, T., Li, C., Xiao, X., Tang, H., Tang, W. & Nie, Z.** 2019a. No-tillage and Direct Seeding Cultivation Technology of Rape-Rice and its Economic Benefit Analysis (in Chinese). *Hunan Agricultural Sciences* (7): 23-25.
- Li, Y., Li, J., Zhou, L., Liu, G., Zhang, J., Zhang, Z. & Zheng, Q.** 2019b. Effects of conservation tillage on soil wind erosion characteristics in the Hexi oasis irrigational area (in Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 27(9): 1421-1429.
- Li, Y., Meng, P., Geng, D., He, K., Meng, F. & Jiang, M.** 2016. Intelligent system for adjusting and controlling corn seeding depth (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 47(S1): 62-68. <http://www.njxxb.net/index.php/journal/article/view/184>



- Li, Z.G.** 2009. Current condition and dynamic changes of soil erosion in China (in Chinese). *China Water Resources* (7): 8–11.
- Liang, W.L., Gao, W.S., Xu, Q. & Huang, G.B.** 2012. Historical and present usage of Shatian gravel mulch for crop production in arid and semiarid regions of Northwestern China. In: R. Lai & B.A. Stewart, eds. *Soil Water and Agronomic Productivity*, pp. 477–496. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Liu, H., Jiang, G.M., Zhuang, H.Y. & Wang, K.J.** 2008. Distribution, utilization structure and potential of biomass resources in rural China: With special references of crop residues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5): 1402–1418.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.011>
- Liu, L.L.** 2019. Research on tillage control system of rotary tiller depth based on AMESim and Simulink (in Chinese). *North China University of Water Resources and Electric Power*.
- Liu, Y., Sun, J., Zhang, S., Yu, H. & Wang, Y.** 2020. Automatic segmentation method based on multithreshold image for the detection of surface residue coverage. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 36(20):134-143.
- Lu, R.C.** 2020. *Design and experiment of large-width fertilizer and pesticide application vehicle for rows* (in Chinese). Yangzhou University, China.
- Lu, X.L.** 2017. *Carbon balance and economic benefit of winter wheat-summer maize in the dryland of Northwest China under conservation tillage* (in Chinese). Northwest A&F University, Yangling, China.
- Lu, Z.X. & Zhao, L.Y.** 2007. *Illustration of automobile sensor detection* (in Chinese). Nanjing, China, Jiangsu Science & Technology Press.
- MARA (Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China).** 2007. Proposal on Vigorously Developing Conservation Agriculture. Cited 11 May 2022. [www.moa.gov.cn/nybg/b/2007/dwuq/201806/t20180613\\_6151894.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2007/dwuq/201806/t20180613_6151894.htm)
- MARA.** 2008. *Conservation Agriculture in China* (In Chinese). Beijing, China Agriculture Press.
- MARA.** 2011. Notice of the General Office of the Ministry of Agriculture on Printing and Distributing “Code for Implementation of Conservation Agriculture Project” and “Key Technologies of Conservation Agriculture”. Cited 11 May 2022. [www.moa.gov.cn/nybg/b/2011/dqq/201805/t20180522\\_6142772.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2011/dqq/201805/t20180522_6142772.htm)
- MARA.** 2018. Notice of the General Office of the Ministry of Agriculture on Printing and Distributing the “2018–2020 List of the Maximum Subsidy Amount of National General Agricultural Machinery Central Financial Funds.” Cited 15 April 2021. [www.moa.gov.cn/nybg/b/2018/201804/201805/t20180529\\_6143285.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2018/201804/201805/t20180529_6143285.htm)
- MARA.** 2019. *2018 National Statistical Annual Report on Agricultural Mechanization* (in Chinese). Beijing, China.
- MARA & MOF.** 2020. *Action Plan for Conservation Agriculture of Black Soil in Northeast China (2020–2025)*. [www.moa.gov.cn/govpublic/NYJXHGLS/202003/t20200318\\_6339304.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/NYJXHGLS/202003/t20200318_6339304.htm)
- MARA & National Development and Reform Commission.** 2009. Notice of the National Development and Reform Commission and the Ministry of Agriculture on Printing and Distributing the “National Construction Program of Conservation Agriculture (2009–2015)”. Cited 11 May 2022. [www.moa.gov.cn/nybg/b/2009/djiuq/201806/t20180608\\_6151425.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2009/djiuq/201806/t20180608_6151425.htm)
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China.** 2018. Statistical Bulletin of China's Land, Mineral and Marine Resources in 2017 (in Chinese). Beijing, China.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China.** 2020. China soil and water conservation communique in 2019 (in Chinese). Beijing, China.

- National People's Congress of the People's Republic of China.** 2022. *Law on the Conservation of Black Soil of the People's Republic of China (Adopted at the 35th meeting of the Standing Committee of the 13th National People's Congress on June 24, 2022).*  
[www.npc.gov.cn/npc/c30834/202206/7f3fe789d6694b0294145714bfe91043.shtml](http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202206/7f3fe789d6694b0294145714bfe91043.shtml)
- Nielsen, S., Munkholm, L., Lamandé, M., Nørremark, M., Edwards, G. & Green, O.** 2018. Seed drill depth control system for precision seeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144: 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.008>
- Ou, Y.** 2020. Conservation Agriculture (CA) Report for 12th Supervision. Guangdong, China.
- Peng, Z.K., Li, L.L., Xie, J.H., Kang, C., Essel, E., Wang, J. B., Xie, J.H. & Shen, J.C.** 2018. Effects of conservation tillage on water characteristics in dryland farm of central Gansu, Northwest China (in Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 29(12): 134–140.
- Shi, Z., Wang, F., Wang, J., Li, X., Sun, R. & Song, C.** 2019. Utilization characteristics, technical model and development suggestion on crop straw in China (in Chinese). *Journal of Agricultural Science and Technology (Beijing)*, 21(5): 8–16.
- Su, Y., Zhang, D., Li, H., He, J., Wang, Q. & Li, H.** 2012. Measuring System for Residue Cover Rate Based on Automation Threshold (in Chinese). *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 34(8): 138–142.
- Tao, S.** 2021. *No-tillage maize was planted successfully in Bole City, Xinjiang, China: 60,000 mu will be promoted in 2021.* Cited 30 April 2021.  
[www.chinanews.com.cn/sh/2021/04-13/9453692.shtml](http://www.chinanews.com.cn/sh/2021/04-13/9453692.shtml)
- Wang, C., Li, H., He, J., Wang, Q., Lu, C. & Chen, L.** 2020. State-of-the-art and prospect of automatic navigation and measurement techniques application in Conservation Tillage (in Chinese). *Smart Agriculture*, 2(4): 41–55.  
<https://doi.org/10.12133/j.smartag.2020.2.4.202002-SA002>
- Wang, D.** 2021. *The development road of Luwei Agricultural Machinery and Farmers Professional Cooperative in Lishu County, Jilin Province.* Cited 30 April 2021.  
[http://agri.jl.gov.cn/xwfb/sxyw/202102/t20210210\\_7940246.html](http://agri.jl.gov.cn/xwfb/sxyw/202102/t20210210_7940246.html)
- Wang, Q., Bai, Y., Gao, H., He, J., Chen, H., Chesney, R.C., Kuhn, N. & Li, H.** 2008a. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 144(3–4): 502–508.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.003>
- Wang, Q., Hao, C., Li, H., Li, W., Wang, X., Allen, M., He, J. & Gao, H.** 2009. Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau. *Soil and Tillage Research*, 104(1): 192–197.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.012>
- Wang, Q.Q., Zheng, K. & Chen, L.Q.** 2021. Development status and trend of no-tillage planter in China (in Chinese). *Agricultural Machinery*, 3: 57–60.
- Wang, X., Gao, H., Tullberg, J., Li, H., Kuhn, N., McHugh, A. & Li, Y.** 2008b. Traffic and tillage effects on runoff and soil loss on the Loess Plateau of northern China. *Australian Journal of Soil Research*, 46(8): 667–675.  
<https://doi.org/10.1071/SR08063>
- Wang, Y.X.** 2019. *Research and experiment on a tillage depth control system for hydraulically self-excited subsoiler (in Chinese).* China Agricultural University.
- Wei, Y.F., Gao, H.W. & Li, H.W.** 2005. Experiment and analyses of the adaptabilities of three wheat no-tillage drills on corn stubble in the areas with two ripe crops a year (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 21(1): 97–101.
- Wen, D.Z. & Zhao, X.F.** 2013. *Principle and application of sensor (in Chinese).* Beijing, China, Science Press.

- Wen, L., Zheng, F., Shen, H. & Gao, Y.** 2014. Effects of corn straw mulch buffer in the gully head on gully erosion of sloping cropland in the black soil region of Northeast China (in Chinese). *Journal of Sediment Research* (6): 73–80.
- Wu, N., Lin, J., Li, B., Zhang, B. & Gu, S.** 2017. Design and test on no-tillage planter reseeded system for miss-seeding (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 48(7): 69–77.
- Wu, S.S., Niu, J.Z. & Lin, X.N.** 2020. Effects of conservation tillage measures on soil wind erosion in Yanqing, the suburb of Beijing (in Chinese). *Science of Soil and Water Conservation* (1): 57-67.
- Xu, C.H. & Jie, Z.** 2014. Design of T-type plate knife roller of straw returning machine (in Chinese). *Tractor & Farm Transporter*, 5: 50–51.
- Yan, L., Ji, X.N., Meng, Q.F., Jiang, X., Zhou, L., Li, S. & Chen, C.** 2019. Soil fertility quality evaluation of slope farmland under no-tillage in black soil area (in Chinese). *Journal of Northeast Agricultural University*, 50(5): 43–54.
- Yang, Q., Qin, W.J. & Wang, H.R.** 2017. Regional difference and influencing factors of ecological footprint for agricultural water use in China (in Chinese). *Review of Economy and Management* (4): 135–144.
- Yang, Y., Wu, J., Ding, J., Zhang, J., Pan, X. & He, F.** 2017. Effects of long-term no-tillage on soil structure and organic carbon distribution in different soil layers (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 48(9): 173–182.
- Yao, Z., Wang, X.Y., Li, H.W. & Di, Y.** 2005. Modification and experiment on 2BMD-12 row-controlled no-till wheat drill (in Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 23(5): 46–51.
- Zhang, X., Li, H., He, J., Wang, Q. & Golabi, M.** 2009. Influence of conservation tillage practices on soil properties and crop yields for maize and wheat cultivation in Beijing, China. *Australian Journal of Soil Research*, 47(4): 362-371.  
<https://doi.org/10.1071/SR08110>
- Zhang, Y.F., Li, H.W., He, J., Wang, Q.J., Li, W.Y., Chen, W.Z. & Zhang, X.Y.** 2015. Effects of maize straw mulching on runoff and sediment process of slope (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(7): 118–124.
- Zhang, Z., He, J., Li, H., Wang, Q., Ju, J. & Yan, X.** 2017. Design and experiment on straw chopper cum spreader with adjustable spreading device (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 48(9): 76–87.  
<https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.09.010>
- Zhao, J., Liu, L., Yang, X., Liu, Z. & Tang, J.** 2015. Design and laboratory test of control system for depth of furrow opening (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(6): 35–41.
- Zhao, Y., Xu, C., Yang, X., Li, S., Zhou, J., Li, J., Han, T. & Wu, C.** 2018. Effects of sowing methods on seedling stand and production profit of summer soybean under wheat-soybean system (in Chinese). *Crops* (4): 114-120.
- Zheng, K. & Chen, W.Z.** 2016. Research status and prospect of subsoiler (in Chinese). *Jiangsu Agricultural Sciences*, 449(8): 16-20.
- Zhu, G.L., Huang, Y.H., Lin, J.S., Jiang, F. S., Shi, Y.Z., Chen, P.J., Zhuang, H.M. & Hou, Z.W.** 2015. Effect of straw mulch on colluvial soil erosion and yield of runoff and sediment under simulated rainfall (in Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 29(3): 27–31, 37.
- Zhu, L. & Lan, X.** 2010. *Guide to use, maintenance and purchase of straw (stubble) crushing and returning machine* (in Chinese). Beijing, China, China Agriculture Press.
- Zhu, R., Ge, S., Zhai, C., Yan, X., Shi, Y., Li, C. & Huang, S.** 2014. Design and experiment of self-seeding device for missed sowing of crops with large grain (in Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30: 1–8.



# 附录： 中文参考文献

**白鑫, 廖劲杨, 胡红, 刘祥, 许艺山, 鄢祺讯, 黄铄.** 保护性耕作对水土保持的影响。  
农业工程, 2020, 82(08): 86—92。

**百度百科.** 2021。引用于2021年4月15日。

[https://baike.baidu.com/item/博乐/946720?Fromtitle=博乐市&fromid=10701547&fr=aladdin#reference-\[11\]-51994-wrap](https://baike.baidu.com/item/博乐/946720?Fromtitle=博乐市&fromid=10701547&fr=aladdin#reference-[11]-51994-wrap)

**蔡国华, 李慧, 李洪文, 王庆杰, 何进, 倪际梁.** 基于ATmega128单片机的开沟深度  
自控系统试验台的设计。农业工程学报, 2011, 27(10): 11—16。

<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.10.002>

**陈海涛, 查韶辉, 顿国强, 从光波, 李昂, 冯夷宁.** 2BMFJ系列免耕精量播种机清秸  
装置优化与试验。农业机械学报, 2016, 47(7): 96—102。

**丁幼春, 王雪玲, 廖庆喜, 张闻宇, 张幸, 蔡翔.** 油菜籽漏播螺管式补种器设计与试验。  
农业工程学报, 2015, 31(22): 16—24。

**杜巧连, 熊熙程, 魏建华.** 拖拉机液压悬挂耕深电液控制系统设计与试验。  
农业机械学报, 2008, 39(8): 62—65。

**付卫强, 董建军, 梅鹤波, 高娜娜, 卢彩云, 张俊雄.** 玉米播种单体下压力控制系统  
设计与试验。农业机械学报, 2018, 49(6): 68—77。

**付雪高, 李明, 卢敬铭, 王金丽, 邓怡国, 张劲.** 秸秆粉碎还田机甩刀的研究进展。  
中国农机化学报, 2011, (1): 83—87。

**广东省农业面源污染治理项目管理办公室.** 2021。世界银行贷款广东农业面源污染治理  
项目综合信息网。引用于2021年4月30日。[www.gdmy.org](http://www.gdmy.org)

**何进, 李洪文, 陈海涛, 卢彩云, 王庆杰等.** 保护性耕作技术与机具研究进展。  
农业机械学报, 2018, 49(4): 1—19。

<https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.001>

**何勇, 蒋浩, 方慧, 王宇, 刘羽飞.** 车辆智能障碍物检测方法及其农业应用研究进展。  
农业工程学报, 2018, 34(9): 21—32。

- 贺云锋, 沈海鸣, 张月, 赵占军, 牟廷森. 黑土区坡耕地不同秸秆还田方式的水土保持效果分析. 水土保持学报, 2020, 34(06): 91—96。
- 胡静涛, 高雷, 白晓平, 李逃昌, 刘晓光. 农业机械自动驾驶技术研究进展. 农业工程学报, 2015, 31(10): 1—10。
- 姬长英, 周俊. 农业机械导航技术发展分析. 农业机械学报, 2014, 45(9): 44—54。
- 贾洪雷, 朱龙图, 黄东岩, 王奇, 李名伟, 赵佳乐. 基于Flex传感器的免耕播种机播深自动控制系统. 吉林大学学报(工学版), 2019, 49(01): 166—175。  
<https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb20170988>
- 贾洪雷, 姜鑫铭, 郭明卓, 刘晓亮, 王立春. V-L型秸秆粉碎还田刀片设计与试验. 农业工程学报, 2015, 31(1): 28—33。
- 姜鑫铭. 玉米免耕播种机精确播种关键技术研究. 吉林: 吉林大学, 2017。
- 金衡模, 高焕文. 玉米精播机漏播补偿系统设计. 农业机械学报, 2002, 33(5): 44—47。
- 孔德杰. 秸秆还田和施肥对麦豆轮作土壤碳氮及微生物群落的影响. 西北农林科技大学, 2020。
- 粮农组织. 2022. 保护性农业. 罗马, 粮农组织。  
<https://www.fao.org/3/cb8350zh/cb8350zh.pdf>
- 李兵, 李洪文. 2BMD-12型小麦对行免耕播种机的设计. 农业机械学报, 2006, 37(3): 41—44。
- 李传弟, 陈林东, 陈艳秋. 发展保护性耕作促进绿色农业发展. 吉林农业, 2008, (11): 16—17。
- 李世卫, 李洪文. 基于计算机视觉的田间秸秆覆盖率计算. 农机化研究, 2009, 31(1): 20—25。
- 李薇, 何海, 崔婷, 李超, 肖小平, 唐海明, 汤文光, 聂泽明. 油-稻免耕直播栽培技术及其经济效益分析. 湖南农业科学, 2019, (7): 23—25。
- 李银科, 李菁菁, 周兰萍, 刘光武, 张进虎, 张芝萍, 郑庆钟. 河西绿洲灌区保护性耕作对土壤风蚀特征的影响. 中国生态农业学报, 2019, 27(09): 1421—1429。
- 李玉环, 孟鹏祥, 耿端阳, 何珂, 孟凡虎, 姜萌. 玉米播种深度智能调控系统研究. 农业机械学报, 2016, 47(S1): 62—68。  
[www.njxxb.net/index.php/journal/article/view/184](http://www.njxxb.net/index.php/journal/article/view/184)
- 李智广. 中国水土流失现状与动态变化. 中国水利, 2009, 7: 8—11。
- 刘亮亮. 基于AMESim-Simulink旋耕机深控制系统研究. 华北水利水电大学, 2019。
- 刘媛媛, 孙嘉慧, 张书杰, 于海业, 王跃勇. 用多阈值多目标无人机图像分割优化算法检测秸秆覆盖率. 农业工程学报, 2020, 36(20): 134—143。
- 陆荣超. 大宽幅对行施肥施药车的设计与试验. 扬州大学, 2020。

- 禄兴丽. 保护性耕作措施下西北旱作麦玉两熟体系碳平衡及经济效益分析. 西北农林科技大学, 2017。
- 鲁植雄, 赵兰英. 2007. 《汽车传感器检测图解》。南京: 江苏科学技术出版社。
- 彭正凯, 李玲玲, 谢军红, 康彩睿, ESSEL Eunice, 王进斌, 颀健辉, 沈吉成. 保护性耕作对陇中旱作农田水分特征的影响. 应用生态学报, 2018, 29(12): 134—140。
- 石祖梁, 王飞, 王久臣, 李想, 孙仁华, 宋成军. 我国农作物秸秆资源利用特征、技术模式及发展建议. 中国农业科技导报, 2019, 21(5): 8—16。
- 苏艳波, 张东远, 李洪文, 何进, 王庆杰, 李慧. 基于自动取阀分割算法的秸秆覆盖率检测系统. 农机化研究, 2012, 34(08):138—142。
- 陶拴科. 2021. 新疆博乐市“免耕”玉米播种成功 今年将推广6万亩. 引用于2021年4月30日. <https://www.chinanews.com.cn/sh/2021/04-13/9453692.shtml>
- 王春雷, 李洪文, 何进, 王庆杰, 卢彩云, 陈立平. 自动驾驶与测控技术在保护性耕作中的应用现状和展望. 智慧农业, 2020, 2(04): 41—55。
- 王冬雪. 2021. 梨树县卢伟农机农民专业合作社发展之路. 吉林省农业农村厅. 引用于2021年4月30日. [http://agri.jl.gov.cn/xwfb/sxyw/202102/t20210210\\_7940246.html](http://agri.jl.gov.cn/xwfb/sxyw/202102/t20210210_7940246.html)
- 王晴晴, 郑侃, 陈黎卿. 我国免耕播种机发展现状与趋势. 农业机械, 2021(03): 57—60。
- 王云霞. 液压激振源自激振动深松机耕深测控系统研究与试验. 北京: 中国农业大学, 2019。
- 魏延富, 高焕文, 李洪文. 三种一年两熟地区小麦免耕播种机适应性试验与分析. 农业工程学报, 2005, 21(1): 97—101。
- 温殿忠, 赵晓锋. 《传感器原理及其应用》。北京: 科学出版社, 2013。
- 温磊磊, 郑粉莉, 沈海鸥, 高燕. 沟头秸秆覆盖对东北黑土区坡耕地沟蚀发育影响的试验研究. 泥沙研究, 2014, 6: 73—80。
- 吴南, 林静, 李宝筏, 张本华, 谷士艳. 免耕播种机漏播补偿系统设计与试验. 农业机械学报, 2017, 48(7): 69—77。
- 吴姗姗, 牛健植, 蔺星娜. 京郊延庆农田保护性耕作措施对土壤风蚀的影响. 中国水土保持科学, 2020, (1): 57—67。
- 徐春华, 介战. T型板刀式秸秆还田机刀辊设计. 拖拉机与农用运输车, 2014(5): 50—51。
- 闫雷, 纪晓楠, 孟庆峰, 姜雪馨, 周丽婷, 李思莹, 陈辰. 免耕措施下黑土区坡耕地土壤肥力质量评价. 东北农业大学学报, 2019, 50(5): 43—54。
- 杨骞, 秦文晋, 王弘儒. 中国农业用水生态足迹的地区差异及影响因素: 2000—2014. 经济与管理评论, 2017(4): 135—144。
- 杨永辉, 武继承, 丁晋利, 张洁梅, 潘晓莹, 何方. 长期免耕对不同土层土壤结构与有机碳分布的影响. 农业机械学报, 2017, 48(9): 173—182。

- 姚宗路, 王晓燕, 李洪文, 邱英良。2BMD-12型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究。干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 46—51。
- 张翼夫, 李洪文, 何进, 王庆杰, 李问盈, 陈婉芝, 张欣悦。玉米秸秆覆盖对坡面产流产沙过程的影响。农业工程学报, 2015, 31(7): 118—124。
- 章志强, 何进, 李洪文, 王庆杰, 琚佳伟, 鄢雄磊。可调节式秸秆粉碎抛撒还田机设计与试验。农业机械学报, 2017, 48(9): 76—87。  
<https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.09.010>
- 赵金辉, 刘立晶, 杨学军, 刘忠军, 唐敬轩。播种机开沟深度控制系统的设计与室内试验。农业工程学报, 2015, 31(6): 35—41。
- 赵云, 徐彩龙, 杨旭, 李素真, 周静, 李继存, 韩天富, 吴存祥。不同播种方式对麦茬夏大豆保苗和生产效益的影响。作物杂志, 2018, (04): 114—120。
- 郑侃, 陈婉芝。深松机具研究现状与展望。江苏农业科学, 2016, 449(8): 16—20。
- 中华人民共和国农业农村部。2007。《关于大力发展保护性耕作的意见》。引用于2022年5月11日。[www.moa.gov.cn/nybgb/2007/dwuq/201806/t20180613\\_6151894.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgb/2007/dwuq/201806/t20180613_6151894.htm)
- 中华人民共和国农业农村部农业机械化管理司。2008。《中国保护性耕作》。北京: 中国农业出版社。
- 中华人民共和国农业农村部。2011。农业部办公厅关于印发《保护性耕作项目实施规范》《保护性耕作关键技术要点》的通知。引用于2022年5月11日。  
[www.moa.gov.cn/nybgb/2011/dqq/201805/t20180522\\_6142772.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgb/2011/dqq/201805/t20180522_6142772.htm)
- 中华人民共和国农业农村部, 国家发展改革委。2009。农业部 国家发展改革委关于印发《保护性耕作工程建设规划(2009—2015年)》的通知。引用于2022年5月11日。  
[www.moa.gov.cn/nybgb/2009/djiuq/201806/t20180608\\_6151425.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgb/2009/djiuq/201806/t20180608_6151425.htm)
- 中华人民共和国农业农村部。2018。农业农村部办公厅关于印发《2018—2020年全国通用类农业机械中央财政资金最高补贴额一览表》的通知。引用于2021年4月15日。  
[www.moa.gov.cn/nybgb/2018/201804/201805/t20180529\\_6143285.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgb/2018/201804/201805/t20180529_6143285.htm)
- 中华人民共和国农业农村部。2019。2018年全国农业机械化统计年报。中国, 北京。
- 中华人民共和国农业农村部, 财政部。2020。农业农村部 财政部关于印发《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》的通知。  
[www.moa.gov.cn/nybgb/2020/202004/202005/t20200507\\_6343266.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgb/2020/202004/202005/t20200507_6343266.htm)
- 中华人民共和国全国人民代表大会。2022。中华人民共和国黑土地保护法(2022年6月24日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十五次会议通过)。[www.npc.gov.cn/npc/c30834/202206/7f3fe789d6694b0294145714bfe91043.shtml](http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202206/7f3fe789d6694b0294145714bfe91043.shtml)
- 中华人民共和国水利部。2020。《2019年中国水土保持公报》。中国, 北京。
- 中华人民共和国自然资源部。2018。《2017中国土地矿产海洋资源统计公报》。中国, 北京。



**中华人民共和国中央人民政府**。2006。2005年中央一号文件。中共中央 国务院关于进一步加强农村工作提高农业综合生产能力若干政策的意见（2004年12月 31日）。引用于2022年5月11日。[www.gov.cn/test/2006-02/22/content\\_207406.htm](http://www.gov.cn/test/2006-02/22/content_207406.htm)

**朱高立, 黄炎和, 林金石, 蒋芳市, 施悦忠, 陈培济, 庄慧梅, 侯兆伟**。模拟降雨条件下秸秆覆盖对崩积体侵蚀产流产沙的影响。水土保持学报, 2015, 29(3): 27—31, 37。

**朱良, 兰心敏**。2010。秸秆（根茬）粉碎还田机使用、维护与选购指南。  
北京: 中国农业出版社。

**朱瑞祥, 葛世强, 翟长远, 闫小丽, 史岩鹏, 李成鑫, 黄闪闪**。大籽粒作物漏播自补种装置设计与试验。农业工程学报, 2014, 30(21): 1—8。





中国农业生产在取得辉煌成就的同时，影响农业可持续发展的挑战依然存在。保护性农业（在中国常用“保护性耕作”）对农田实行最低程度的土壤扰动（即免耕直接播种），维持永久土壤覆盖（秸秆残茬或覆盖作物），结合必要的作物多样化（与豆科植物轮作等）。保护性农业现已被全球100多个国家采用，成为旱地农业应用最广、效果最好的农业系统和技术之一。实行保护性农业能在农艺、环境和经济上带来收益，对中国绿色农业发展具有重要的意义。本出版物着重介绍保护性耕作在中国的发展历程、机遇与挑战、发展建议、技术装备、经验、案例研究和未来展望，旨在支持保护性农业（保护性耕作）在中国乃至全球的推广和应用。

本出版物是粮农组织投资中心“知识促进投资”（K4I）计划下的“国别投资要闻”出版物丛书的一部。

ISBN 978-92-5-137118-3



9 789251 371183

CC2091ZH/1/03.23