

垄作免耕播种机研制及 虚拟制造技术应用研究

罗红旗 著

中国农业科学技术出版社

垄作免耕播种机研制及 虚拟制造技术应用研究

罗红旗 著

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

垄作免耕播种机研制及虚拟制造技术应用研究 / 罗红旗著.
北京: 中国农业科学技术出版社, 2010. 8
ISBN 978 - 7 - 5116 - 0044 - 8

I. 垄… II. 罗… III. 玉米 - 播种机 - 研究 IV. S223. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 167809 号

责任编辑 徐 毅

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109704 (发行部) (010) 82106631 (编辑室)
(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106636

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京华正印刷有限公司

开 本 850 mm × 1 168 mm 1/32

印 张 6.375

字 数 200 千字

版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

—— 版权所有 · 翻印必究 ——

前 言

垄作与保护性耕作相结合是一项重要技术，垄作地区发展保护性耕作的主要作用是抵御春旱、控制风蚀、逐步培肥地力，同时在播种时可以利用机械清除垄上杂草，而垄沟则可利用秸秆覆盖抑制杂草的生长，减轻对除草剂的依赖。当前垄作与保护性耕作相结合的技术在我国还未能很好地应用，其主要原因是作业机具不过关。国内运用垄作技术的区域条件也不同，各地区的土壤条件、气候条件、种植制度以及实施保护性耕作的作业模式差异较大，从而导致机具适应性较差。而且，在我国推广保护性耕作技术中，一年两熟地区收获玉米后种植小麦和一年一熟地区收获玉米后种植玉米，都需要在有玉米根茬的未耕地上实施免耕播种，处理玉米根茬是实施保护性耕作面临的难题之一。

国外的垄作免耕播种机主要集中在高速、宽幅、联合作业上，适合于大地块，需要配备大动力拖拉机，不符合我国小地块、配套动力偏小的国情。目前，国内适合垄作免耕的作业机具不成熟，特别是缺少能够在原垄上进行免耕播种并能保持一定垄形的免耕播种机。因而急需研制针对玉米根茬地的垄作免耕播种机，要求其在原垄上作业，尽量保持垄形，播种质量好，具有良好的田间通过性。

本研究通过分析垄作与保护性耕作技术相结合时存在的玉米

根茬问题，针对小垄单行作物种植技术，根据玉米根茬主根深度及单行玉米根茬的幅宽等条件，确定播种机根茬处理装置的旋耕深度及幅宽，研制一种新型的玉米垄作免耕播种机。根据大垄多行作物技术特点，提出避开玉米根茬播种的思路，并对其可行性进行研究，研制一种小麦垄作免耕播种机，依靠垄沟对拖拉机进行导向。通过田间试验证实，两种播种模式可以发挥保护性耕作的优点，能在一定程度上解决玉米根茬地免耕播种难的问题。并根据田间试验检测结果，分析免耕播种机存在的问题，进行样机改进。运用虚拟样机技术对改进后的小麦垄作免耕播种机进行模型创建，通过修改参数更改部件尺寸，满足差异需求，缩短开发周期，为以后进行深入研究建立基础。

本研究得到了中国农业大学工学院高焕文教授、李洪文教授等的大力支持和帮助，北京工商大学机械工程学院张力院长、沈晓红教授等对本书出版也给予了极大关心和支持，在此表示衷心感谢！本书的出版获得北京市优秀人才培养资助，并获得了北京工商大学学术专著出版资助项目资助。

限于作者能力与水平，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2009. 8

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 垄作保护性耕作技术概况	(1)
1.1.1 垄作技术	(1)
1.1.2 保护性耕作技术	(7)
1.1.3 垄作技术与保护性耕作技术相结合	(14)
1.2 国内外垄作免耕播种机现状分析	(18)
1.2.1 国外免耕播种机的研究现状	(20)
1.2.2 国外垄作播种机的研究现状	(25)
1.2.3 国内免耕播种机的研究现状	(31)
1.2.4 国内垄作播种机的研究现状	(36)
第二章 玉米根茬机械化处理模式	(41)
2.1 玉米根茬处理技术	(41)
2.1.1 传统的根茬处理技术	(41)
2.1.2 机械化根茬还田技术	(42)
2.1.3 保护性耕作玉米根茬处理技术	(48)
2.1.4 存在的问题	(51)
2.2 苗带浅旋处理玉米根茬技术	(52)
2.2.1 小垄耕作区保护性耕作模式	(53)
2.2.2 苗带浅旋灭茬可行性研究	(56)

2.3 避茬免耕播种模式	(59)
2.3.1 大垄保护性耕作模式	(60)
2.3.2 大垄避茬播种可行性研究	(62)
2.3.3 与苗带浅旋播种模式相比较的优缺点	(65)
第三章 苗带浅旋式玉米垄作免耕播种机	(68)
3.1 设计思路	(68)
3.1.1 垄作与保护性耕作相结合存在的主要问题 ...	(68)
3.1.2 根据农艺情况研究设计思路	(69)
3.2 设计方案	(72)
3.3 根茬处理装置	(73)
3.3.1 根茬处理装置的运动速度	(73)
3.3.2 切土节距与刀片数	(77)
3.3.3 刀滚的研究与设计	(80)
3.4 主要部件	(87)
3.4.1 开沟器	(87)
3.4.2 覆土圆盘	(91)
3.4.3 镇压装置	(91)
3.4.4 地轮	(92)
3.5 技术参数	(93)
第四章 玉米垄作免耕播种机检测	(94)
4.1 检测目的与内容	(94)
4.1.1 检测目的	(94)
4.1.2 检测内容	(94)
4.2 性能检测	(95)
4.2.1 试验前的测定	(96)

4.2.2	室内性能试验	(96)
4.2.3	田间性能检测	(98)
4.3	生产检测	(101)
4.3.1	田间生产试验核心试验区结果分析	(103)
4.3.2	样机改进	(111)
第五章	避茬型小麦垄作免耕播种机	(112)
5.1	农艺情况	(112)
5.2	设计思路与方案	(113)
5.2.1	设计思路	(113)
5.2.2	整机配置方案	(115)
5.3	主要部件	(115)
5.3.1	机架设计与地轮	(115)
5.3.2	修垄装置	(118)
5.3.3	开沟施肥播种装置	(127)
5.3.4	组合镇压器	(135)
5.4	整机结构与技术参数	(141)
5.4.1	整机装配	(141)
5.4.2	主要技术参数	(141)
第六章	避茬型小麦垄作免耕播种机检测	(144)
6.1	检测目的与内容	(144)
6.1.1	检测目的	(144)
6.1.2	检测内容	(144)
6.2	性能检测	(145)
6.2.1	样机试制过程中的田间检测	(145)
6.2.2	播种机的田间性能测试	(146)

6.2.3 田间性能检测结果与分析	(147)
6.3 大田生产试验	(156)
第七章 虚拟制造技术应用	(159)
7.1 概述	(159)
7.1.1 虚拟制造技术	(160)
7.1.2 虚拟制造技术在农机领域中的应用	(162)
7.2 免耕播种机主要部件建模	(165)
7.2.1 修垄装置建模	(165)
7.2.2 机架建模	(167)
7.2.3 开沟器建模	(168)
7.2.4 种肥箱建模	(171)
7.2.5 地轮建模	(172)
7.2.6 组合镇压器建模	(173)
7.3 免耕播种机虚拟装配模型	(175)
7.3.1 部件装配	(175)
7.3.2 整机装配	(177)
参考文献	(181)

第一章 绪 论

1.1 垄作保护性耕作技术概况

1.1.1 垄作技术

中国旱作农业主要分布在北方 16 个省市自治区，总土地面积占国土面积的 52.5%，其中，旱区无灌溉条件的雨养农业耕地面积约 3 300 万 hm^2 。东北旱作农业区近几年平均年降雨量日趋减少，黑龙江、吉林两省中部 400mm 左右，西部 300mm 或更少，内蒙古自治区在 200 ~ 400mm 之间，辽宁省在 400 ~ 500mm 之间。而且降水量均集中在夏季（70% 以上），春季降水量仅占 11% ~ 15%，加之春季风大，十年九春旱。除黑龙江、内蒙古等省区北部外，其余均属温带气候，是我国典型的一年一熟耕作区。东北高寒易旱区在农业生产上存在的主要问题是：气候寒冷地温低，春天解冻晚，地温回升慢，不能早播种或播种后出苗慢，苗不全；秋天落霜早，常发生冻害；多风少雨，土壤干旱严重，土壤保蓄水肥性能差。黑龙江、吉林、辽宁及内蒙古等省区的东部地区，在长期的农业生产中形成了适合干旱低温特点的东

北垄作耕种体系。垄作具有提高地温、抗旱防涝的作用，正因为如此，垄作成为当地解决上述问题的主要选择。

1. 垄作技术发展现状

作物起垄栽培技术是在克服了传统栽培（平作）许多不利因素的基础上发展起来的一种传统的耕作方式，通过人为的改变地表形状，改善作物的生长环境，对于作物的生长发育具有良好的促进作用，因其具有增产、节水和管理方便等优点，目前，在多个国家和多种作物上被广泛采用。国外在作物垄作栽培技术上的研究起步较早，20 世纪 40 年代已有作物垄作技术的研究。美国在 1951 年使用垄作法来减轻土壤侵蚀，改善排水，可以减少 33% 的土壤损失和 50% 的水分散失，现在垄作在美国占 15% 的耕地面积；墨西哥 50% 的小麦产区实行了垄作栽培；中国很早就有垄作甘薯等作物的习惯，如今在玉米、花生、小麦等多种作物中被广泛应用。

实行垄作的地区最初的耕作方法有两种：一种是先将垄上的根茬连土翻起扣到原来的垄沟里（破茬），将种子播到垄沟新土上，而后将原垄台处湿土翻起再盖在种子上形成新垄，原垄台处形成了垄沟；另一种是将原垄上的根茬先刨掉，而后在原垄台上播种。第一种因为动土次数多且湿土翻到地表成新垄，失墒严重，已逐渐消失。随着机械化的普及，传统耕法已有较大变化。主要有：一是用铧式犁、圆盘耙等将原来的垄翻掉耙平，春播时先平播，中耕后再逐渐起新垄，这种耕法现在许多地方仍在使用；二是秋季灭茬，同时起垄，第二年春天垄上播种、施肥和镇压，现在采用这种耕法的越来越多。

2. 垄作的优势

垄作与平作相比，主要具有如下优势。

(1) 有利于提高土壤温度、提高分蘖成穗率

垄作栽培开沟起垄，改变了田间的微地形，可加大大表面积，扩大了田间受光面积，增加对太阳能的吸收效率，从而提高土壤温度，有益微生物活动旺盛。平地起垄后，接受太阳光照射以及与空气进行热交换的面积增加 30% 以上，这对处于高寒地区的东北各省至关重要。漫长冬季过后，到了回暖期，垄体开化早、升温快，有利于早播种早出苗，加长了作物生育期，增加了有效积温。郭仁卿等研究认为垄作栽培增温的原因除调节热容量、导热率等外，主要是通过调节接受太阳辐射能的面积、部位、角度与方位，达到最充分地接受并合理分配使用太阳能，以达到增温效果。这种温度效应在不同垄向（东西垄或南北垄）之间有差异，由于太阳辐射能的合理分配，南北垄向上述温度效应优于东西垄向。研究结果表明：春季垄作栽培比传统平作栽培土壤耕层温度升温快，有利于提高分蘖成穗率，具有增穗数、促穗大的双重作用。

小麦垄作由于有效改善麦田生态环境，尤其是改变根系生长发育的环境，为小麦根系生长提供了良好的环境，可以显著增加小麦次生根数目，提高小麦根系干物质积累，增强根系吸收养分能力，为小麦高产打下坚实基础。小麦根系功能的充分发挥是小麦高产突破的一个关键因素，研究表明，垄作比平作耕层温度提高 1~3℃，有效改善了小麦根系发育的环境。在根密集、吸收水分作用较大的 5~20cm 耕层，春季垄作比平作耕层温度提高

0.4~5.0℃, 5cm 土层增温显著, 整个生育期内, 垄作地表土壤温差高于平作 2.0~6.7℃, 有利于干物质积累, 同时, 垄作栽培可以有效改善小麦根际土壤的物理性状, 降低土壤容重, 增加土壤总孔隙度, 增强土壤透气性, 有利于小麦根系生长发育和土壤微生物的活动。与平作相比, 垄作培土是改变土壤孔隙度最直接、最简单的机械方法。通过起垄培土, 土温升高, 温差变大, 上层土壤容重减少, 孔隙度增大, 这种“上虚下实”的分布, 有利于土壤通气透水和保水稳扎根的功能。

作物超高产栽培一般是在保证一定密度的基础上进行的, 密度增加会造成许多负面效应, 例如, 根系发育不良, 植株易倒伏, 授粉受精不良, 空秆率增加等, 实施培土垄作可以有效地降低这些负作用。

(2) 有利于调节土壤水分

由于地表凹凸不平, 作物处于高台处, 一方面可有效减轻雨季涝灾的危害, 使多余的降水通过垄沟渗入地下贮存或顺垄排出地外, 另一方面垄的存在又可防止水土的横向流动, 减轻了水蚀与风蚀危害。王志敏研究表明: 灌足底墒水基础上生育期间浇 2 次水, 总灌水量为 $2\,250\text{m}^3/\text{hm}^2$, 水分利用效率可达 $1.62\text{kg}/\text{m}^3$ 。研究表明垄作栽培和传统平作栽培两种种植方式采用相同低定额水分管理方式, 全生育期灌 3 次水 (总灌水量为 $1\,950\text{m}^3/\text{hm}^2$), 相同灌水量垄作栽培深层土壤水分入渗量显著高于传统平作栽培, 而垄作栽培土壤有效蒸发面积减少和无效耗水比例下降是垄作栽培水分利用效率提高的主要原因之一。传统平作栽培因大水漫灌, 增加了水分蒸发面积, 早春气候条件干燥, 而且此时地表裸露面积大, 水分丧失远超过垄作栽培; 而垄作栽培由于灌水是

沿垄沟进行，灌溉水一部分直接入渗地下。另一部分则沿两侧垄体入渗至垄顶根际部位及垄体底部，垄作栽培的土壤表面积虽大于传统平作栽培，但有效蒸发面积则比传统平作栽培小，这是垄作栽培水分利用效率显著提高的主要原因之一。

(3) 沟、台交替可实现种地、养地的结合

作物以吸收垄台营养为主，垄沟休闲。作物收获后，残枝落叶集中于垄沟。通过起垄耕作，不仅便于集中施用肥料，充足供应养分，而且能够把种植带的耕层加倍。使土壤肥力集中，有利当年作物生长与高产。同时，还能够使犁底层及生土层暴露，经日晒雨淋以及秸秆还田，使土壤肥力不断提高。垄作法由于将沟中泥土覆于垄面，加厚了适宜作物生长的熟土层，有效养分增加，不仅增强了耕层的保肥性，又增加了根系的扩展范围，提高了根的吸水、吸肥能力，促进植株的健壮和结实。垄作土壤容重较小，氧化还原电位较高，土壤质地疏松，通气性好，孔隙率、气相率相应增加，土壤的物理性状得到改善。氧化还原电位高，氧气含量充足，一方面根际微生物活跃，有助于矿物质的解吸和利用，减少了还原性物质对秧苗的毒害作用；另一方面也协调了根系生长环境中水、肥、气、热的关系，促进了微生物的活动，改善了根系生长的土壤环境，有利于作物个体生长发育与高效群体的建成。垄作栽培的根系下扎较深，且吸收面积与吸收能力优于平作，下层根分布量多，中后期植株的矿质营养供应充足，有利于产量形成。小麦垄作栽培土壤表面呈波浪形，改变了耕层纵向分布状态，相对加深了耕作层，增加了地表面积，受光和热传导性能提高。与传统平作相比，冬前 0~25cm 土层通气性好，0~20cm 土层地温偏低，昼夜温差大，有利于小麦冬前根系下扎

和植株有机营养物质积累。越冬期次生根粗壮，根毛区长，根毛发达。地上地下生长协调，冬前个体发育健壮，叶龄较低，叶片较短，叶鞘较矮；群体发展适中，群体质量高，3 叶以上大蘖多，冬前控旺育壮效果显著。

另外实行垄作有利于田间管理，因为作物集中于垄台，给机械作业留出了空间，便于机械中耕除草、施肥等项作业，还可以利用苗带洒施除草剂作业，减少化学制品的使用。

3. 垄作模式比较

目前国内外采用的垄作模式按垄台上种植作物行数主要可分成两类：小垄单行作物、大垄多行作物，见图 1-1、图 1-2。一般情况下后者的垄台要比前者宽，因而前者对微地形的改变大于后者，在增温方面优于后者，但后者易于实现宽窄行种植。



图 1-1 小垄单行作业模式

小垄单行一般应用于宽行作物，便于实现中耕培土、除草；而大垄在窄行作物中应用得比较多。小麦大垄栽培技术与平作相比节水 30% ~ 40%，透光率增加 10% ~ 15%，田间湿度降低 10% ~ 20%，小麦叶病发生率下降 40% 左右，可显著提高小麦



图 1-2 大垄多行作业模式

抗倒能力，充分发挥边行优势。有试验表明：玉米采用大垄技术时，株高比小垄单行高 3.4cm，茎粗增加 0.15cm，倒伏率下降 5.2%，穗粗、穗长、穗粒数和百粒重分别增加 0.2cm、1.4cm、62 粒、0.4g。由于大垄栽培技术增加了玉米的垄间距离，改变了玉米植株的田间分布方式，使两行玉米植株之间距离有宽有窄，增加了田间通风透光，风速比小垄单行高出 5.0% ~ 200%，有利于植株进行光合作用和生长发育，更好发挥边际效应，能减少玉米秃尖及提高玉米质量，有效解决“玉米海”问题；同时，比小垄单行模式减少了土壤水分蒸发面积，有利于保护土壤墒情，土壤含水量比小垄单行高 2.5%，起到了抗旱保墒的作用。而且实行大垄多行模式更适合机械作业，因为其垄距更容易符合拖拉机及其配套农机具的轮距作业条件，所以，从整地、施肥、播种、坐水、中耕、除草、追肥以及根茬还田，不必专门设置机耕道，有利于机械作业。

1.1.2 保护性耕作技术

保护性耕作是人类由不耕作到刀耕火种，由畜力耕作到传统

机械耕作后的又一次革命。前3次革命，人类都是通过耕作干预自然，带来农业生产的一次次飞跃。特别是机械化的发展，提高劳动生产率和土地生产率。但是人类和自然的矛盾也越来越突出。例如，耕翻作业除掉残茬杂草固然有利于播种，但同时也破坏了对地面的保护，导致土壤风吹水蚀加剧。旋耕切碎土壤，创造了松软细碎的种床，但同时又消灭了土壤中的蚯蚓与生物，使土壤慢慢失去活性。耕作强度越大，土壤偏离自然状态越远，自然本身的保护和营养恢复功能就丧失越多，要维持这种状态的代价就越大。近几十年来，一方面，我国机械耕作活动增强，农产品产量大幅度上升，但河流泛滥、沙尘暴猖獗、土壤退化、作业成本上升也是不争的事实。保护性耕作取消铧式犁翻耕，在保留地表覆盖的前提下免耕播种，以保留土壤自我保护和营造机能，是机械耕作由单纯改造自然到利用自然，与自然协调发展农业生产的革命性变化；另一方面，以往农业机械化就是提高劳动生产率和土地生产率，只要农业生产任务完成了，增产增收了，农业机械化就完成任务了。没有认识到农业机械化和资源与环境保护密切相关，机械化可以破坏环境、也可以保护环境。深耕深翻、开荒种地，发展了生产，也带来水土流失、环境恶化的问题，引起人们对机械化的质疑。但是，机械化也是治理环境的最重要手段之一，例如，机械化秸秆还田减少烧秸秆导致的大气污染；覆盖减耕节约农业用水；保护性耕作治理沙尘暴等。因此，发展保护性耕作，可以认为是机械化由单纯承担生产任务向承担生产和环保任务的转折点，是一场机械化耕作技术的革命。