

适应丘陵地区作业的烟草起垄机结构改进

张银志¹, 周林¹, 刘剑君², 周培林¹, 刘晓潺¹, 张秀丽¹, 陈永¹

(1. 河南农业大学机电工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 中国烟草总公司河南省公司, 河南 郑州 450046)

摘要:【目的】针对丘陵烟区起垄环节机械化作业效果不理想、垄体质量不达标的问题, 结合丘陵地区烟草种植的农艺要求, 改进了原有的烟草起垄机, 可以一次性完成旋耕、起垄、施肥、覆膜的工作。【方法】在三门峡渑池县开展田间烟草起垄及覆膜作业试验, 在原有起垄机的基础上, 对机具进行适应性研究与结构改进, 确定了施肥管排布方式, 新增垄体整形装置以及分土板, 开展田间试验, 验证改进后机具的作业性能。【结果】当机具前进速度为 $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 施肥过程中减少了肥料堵塞情况, 起垄后垄高合格率为 100%, 覆膜后垄体沉降高度合格率为 100%, 覆膜破损率为 0%, 漏覆率为 0.75%, 覆膜后地膜与垄体贴合紧密, 膜边覆土宽度符合农艺要求。【结论】改进后的烟草起垄机在丘陵地区具有良好的作业性能和适应性, 垄体坚实度符合农艺要求, 满足田间作业要求。

关键词: 烟草起垄机; 农艺适应性; 结构改进

中图分类号: S223.1; S223.5 **文献标志码:** A

Structural improvements of tobacco ridging machines for hilly area applications

ZHANG Yinzhi¹, ZHOU Lin¹, LIU Jianjun², ZHOU Peilin¹, LIU Xiaochan¹, ZHANG Xiuli¹, CHEN Yong¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Provincial Tobacco Company of CNTC, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: 【Objective】 To address the issues of unsatisfactory mechanized operations and substandard ridge quality during the ridging process in hilly tobacco-growing regions, this study improved the original tobacco ridging machine by integrating the agronomic requirements of tobacco planting in hilly areas. The upgraded machine can complete rotary tilling, ridging, fertilization, and film mulching in a single operation. 【Method】 Field trials for tobacco ridging and film-mulching were conducted in Mianchi County, Sanmenxia. Based on the original ridging machine, adaptive research and structural modifications were carried out. The layout of fertilization tubes was optimized, a ridge shaping device was added, and soil-dividing plates were incorporated. Field trials were conducted to validate the operational performance of the improved machine. 【Result】 When the machine's forward speed was set at $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,

收稿日期: 2024-05-01 **接受日期:** 2024-10-01

基金项目: 河南省科技攻关项目 (242102110349); 中国烟草总公司河南省公司重大科技专项 (2024410000240026)

作者简介: 张银志 (1999—), 男, 河南许昌人, 硕士研究生, 主要从事智能农业装备方面的研究, E-mail: zhangyinzhi@stu.henau.edu.cn.

通信作者: 张秀丽 (1973—), 女, 河南嵩县人, 教授, 博士, E-mail: zhangxiuli619@126.com; 陈永 (1987—), 男, 河南信阳人, 副教授, 博士, E-mail: chen Yong@henau.edu.cn.

fertilization clogging during application was reduced. The qualification rate of ridge height after ridging reached 100%, the qualification rate of ridge settlement height after film mulching was 100%, the film mulching damage rate was 0%, and the leakage coverage rate was 0.75%. After film mulching, the plastic film closely adhered to the ridge surface, and the width of soil covering at the film edges met agronomic requirements. **【Conclusion】** The improved tobacco ridging machine demonstrated excellent operational performance and adaptability in hilly regions. Its ridge compactness met agronomic requirements, fully satisfying field operation needs.

Key words: tobacco ridging machine; agronomic adaptability; structural improvement

烟草作为中国的经济作物之一，在中国国民经济中占有重要地位^[1-3]，自 20 世纪 80 年代中国烟草种植逐步走向机械化，在作物生产全程机械化方面，许多学者进行了大量的研究工作^[4-9]。烟叶机械化生产方面取得了一定的进展，但起垄覆膜环节机械功能集成度不高。推广烟田机械化起垄覆膜是目前解决烟草产业规模不断扩大、机械化移栽效果不理想的有效途径^[10-12]。

烟草生产的全程机械化是一个系统工程，受机具适应性、育苗方式、土壤质地与墒情、耕整地质量、农机农艺融合等诸多因素的影响。国内学者对不同作物的起垄机进行了大量的研究，张还等^[13]、姜彦武等^[14]设计了可以同时完成覆土、起垄和整形作业的马铃薯播种机。陈凯阳等^[15]、李英春等^[16]设计了花生起垄播种机，有效解决了起垄高度不够、起垄质量不佳的问题，有利于花生的增产增收。陈彬等^[17]、郭小锋等^[18]研制了履带自走式草莓旋耕起垄施肥复式作业机，能实现旋耕、起垄、垄体对位精准分层施肥等作业，满足草莓起垄施肥的农艺要求。吴亚文^[19]、陈雪婷等^[20]、宋强龙^[21]设计了仿生凸包结构镇压辊，相较于传统镇压辊，可以显著减黏降阻。林硕等^[22]设计了一种逆向转运排肥式烟草起垄机，实现了施肥起垄机械化和一体化；郑俊等^[23]对自走式小型起垄机进行田间试验，并对各指标进行测量及分析，为起垄机田间作业性能适应性探索提供参考。可见，在围绕增加垄体高度、提高起垄作业质量、一次性完成复式作业等方面的研究较多，研究发现起垄机镇压部件、排肥器、覆土圆盘倾角、垄沟平整度等因素对起垄覆膜作业质量有影响，为优化起垄覆膜机结构、提高起垄覆膜作业质量及效率提供了依据。但前人对于起垄、施肥和覆膜的复式作业等方面研究较少，尤其是起垄机在丘陵地区的适应性研究及改进鲜见报道。为此，选取具有代表性的丘陵烟田，在河南省三门峡市渑池县天池镇烟粮轮作及土地流转示范区开展适应性研究，结合三门峡地区烟草种植的农艺要求，以 1FM-2 型烟草起垄机为试验机，开展起垄覆膜环节的作业试验，并结合田间作业性能测试结果进行分析，旨在为烟草起垄机在丘陵地区的田间作业性能适应性探索提供参考。

1 现有烟草起垄机农艺适应性问题

丘陵地区烟田应优先选择集中连片的稻烟水旱轮作区，烟田排水良好、土壤肥力均匀、土层较厚，生产基础设施配套完善、种植相对集中连片、单块烟田面积较大、农机入田作业便利。起垄环节农艺要求垄体直线度偏差 ≤ 10 cm、垄面平、垄底平实、垄体饱满一致^[24]。目的分别是为了便于后续环节机械化生产作业、覆膜环节提供平整的作业面、为覆膜机田间作业提供道路，为烟苗根部提供充足的生长空间，保证根系均匀下扎，增强吸水吸肥能力。现有起垄机田间作业时存在农机农艺融合不到位，农机与地形不匹配，作业质量不能满足要求的问题。覆膜环节农艺要求结合土壤墒情适时覆膜，覆膜前土壤相对含水率 60%~70%为宜。地膜幅宽 100~120 cm，地膜与垄体紧密贴合，覆膜后垄体完好，垄沟平整，保障后续环节农机作业。现有烟草起垄机在田间作业时，地膜与垄体表面贴合不紧密，易被大风刮烂，作业时垄沟清理不到位，不能为后续移栽环节提供田间作业通道。针对丘陵

烟区烟叶种植农艺要求，结合生产作业过程中发现的农机农艺不匹配的问题，开展起垄环节农艺适应性研究。

1.1 垄体坚实度不达标问题

起垄作业时，垄体的土主要来源是被旋耕后的土壤堆积压实而汇集成的，旋耕作业时，如果旋耕机的耕作深度浅，会导致碎土量少，起垄效果差，垄体不饱满，如图 1-a 所示；风吹雨淋后垄体易塌陷，同时垄体坚实度差，在后续井窖移栽过程中存在回土严重的问题，如图 1-b 所示，不利于烟苗机械化移栽。



(a) 垄体坚实度
(a) Ridge firmness

(b) 井窖回土情况
(b) Backfill soil condition of the well cellar

图 1 机具作业后垄体坚实度现状

Fig. 1 Current status of ridge firmness after machinery operation

1.2 有机肥排施堵塞问题

由于有机肥具有较高的湿度，相比于颗粒状肥料，有机肥的排施较为困难。现有的排肥器在作业过程中不能均匀地将有机肥与无机肥进行搅拌，同时在排施有机肥时存在堵塞的问题。

1.3 垄体直线度不达标问题

起垄时，垄沟底部不平整，土壤堆积，如图 2-a 所示；部分作业机具没有使用北斗导航进行起垄，垄体直线度较差，不能达到两条作业通道的农艺要求（起垄为移栽提供通道、培土为采收提供通道），如图 2-b 所示；对后续覆膜、机械化移栽、机械化采收存在挑战。



(a) 垄沟不平整
(a) Uneven ridges and furrows

(b) 垄体直线度差
(b) Poor ridge straightness

图 2 机具作业后垄体直线度现状

Fig. 2 Current status of ridge straightness after machinery operation

1.4 覆膜环节问题

起垄后，垄顶存在土层不平整的问题。导致覆膜后地膜出现褶皱、凹凸不平的现象，影响了后续机械化移栽的精准性与效率。移栽机在作业时难以实现烟苗的均匀布植与深度

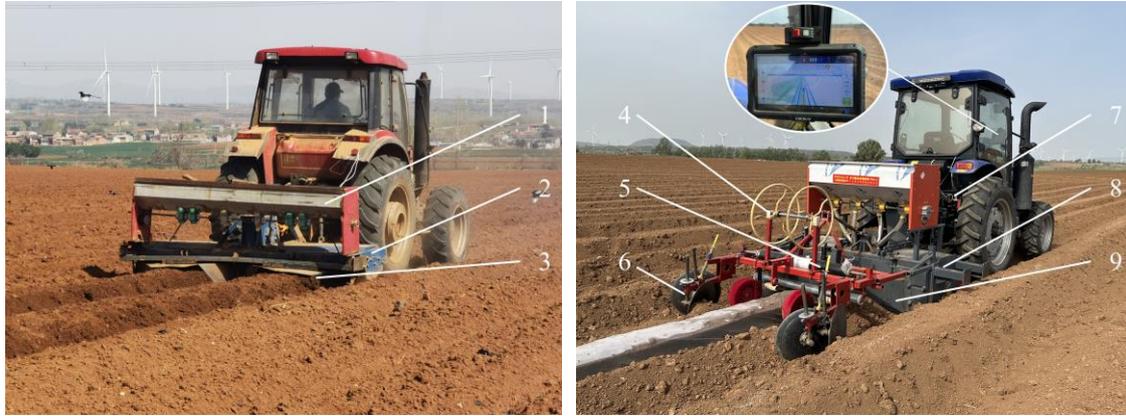
控制，进而影响烟苗的早期生长发育与成活率。

综上所述，结合丘陵地区烟草种植的农艺要求，根据土壤墒情等条件开展施肥旋耕起垄一体作业。将覆膜环节与起垄环节合并作业，提出了集旋耕、起垄、施肥、覆土于一体的烟草起垄机。

2. 烟草起垄机的改进

2.1 改进前后的烟草起垄机整机介绍

改进前的烟草起垄机为三门峡市渑池县杨村烟叶专业合作社烟农研制，根据丘陵地区的起垄覆膜农艺要求，对起垄机的关键部件进行改进设计，使其能适应丘陵地区烟草起垄覆膜的农艺要求。增加北斗农机自动驾驶系统，同时对施肥装置、覆膜装置进行了改进，结构如图 3-b 所示。改进后的 1FM-2 烟草起垄机由河南农业大学和三门峡烟草公司渑池分公司联合研发，主要由旋耕装置、施肥装置、垄体整形装置、滴灌带铺设装置、地膜铺设装置、覆土装置等组成。



(a) 改进前的烟草起垄机

(b) 改进后的烟草起垄机

(a) Tobacco ridging machine before improvement

(b) Improved tobacco ridging machine

1. 改进前的施肥装置；2. 改进前的旋耕装置；3. 改进前的垄体整形装置；4. 滴灌带铺设装置；5. 地膜铺设装置；6. 覆土装置；7.改进后的施肥装置；8. 改进后的旋耕装置；9. 改进后的垄体整形装置。

1. Fertilizer application device before improvement; 2. Rotary tillage device before improvement; 3. Ridge shaping device before improvement; 4. Drip irrigation tape laying device; 5. Plastic film mulching and laying device; 6. Soil covering device; 7. Fertilizer application device after improvement; 8. Rotary tillage device after improvement; 9. Ridge shaping device after improvement.

图 3 改进前后的烟草起垄机对比

Fig. 3 Comparison of tobacco ridging machine before and after improvement

2.2 工作原理

起垄覆膜作业时，通过 PTO (power take off) 轴带动旋耕部件对表层土壤进行旋耕，施肥装置在地轮驱动下，通过导肥管将肥料施在旋耕后的土壤中。垄体整形装置对旋耕后的土壤进行镇压，形成外紧内松的垄体，保证垄体内部适宜烟草生长的同时使土壤表面具有一定坚实度。覆土圆盘将旋耕后垄沟的土壤进行聚拢收集，收集后的土壤被引导到地膜的两侧，形成覆土带，将地膜边缘压住，分土板将垄沟的土壤引导到相邻垄侧，实现垄沟清理功能，为机械化移栽提供作业通道，完成覆膜作业。

2.3 关键部件的改进

针对前期调研及田间试验发现的问题进行总结分析，对施肥装置、起垄覆膜复式作业及覆土装置等进行优化改进。

施肥装置初始设计为利用 4 个排肥器分别进行条施，但在实际应用与试验观察中发现，该排布方式易受土壤颗粒及杂草根系影响，导致排肥管出口处堵塞、缠草现象频发，显著影响施肥效率与均匀性，进而降低起垄机在丘陵复杂地形中的整体作业性能与适用性。为解决这一关键问题，经反复试验与论证，最终将施肥装置改进为四合一的布置形式。改进

后的施肥装置，每个排肥器独立排肥，然后汇总到一个施肥管道中，施肥管分布如图 4 所示，在保持施肥精准性的同时，减少了土壤及杂草对排肥过程的干扰，有效提升了起垄机在丘陵地区的作业可靠性与稳定性。



图 4 改进后的烟草起垄机施肥管分布示意图

Fig. 4 Schematic diagram of fertilizer pipe distribution in the improved tobacco ridging machine

原有机型为单一起垄施肥机，其作业模式存在明显局限性。一方面，起垄后的垄体质量难以达到烟草种植的农艺标准，存在土壤坚实度不达标、垄体形状不规则等问题，影响烟草根系发育与养分吸收；另一方面，后续覆膜作业需要覆膜机进地作业，这不仅增加了作业环节与成本，且覆膜机进地作业时对垄体及周边土壤造成二次碾压，导致土壤结构进一步破坏，孔隙度降低。因此，将机具改进为起垄覆膜一体机，采用复式作业模式，同时在起垄机与覆膜机之间增加垄体整形装置，对起垄后的垄体进行整形，为覆膜及移栽作业提供必要的环境，在覆膜装置的覆土轮前面加装分土板，分土板安装位置如图 5 所示，为机械化移栽提供作业通道。

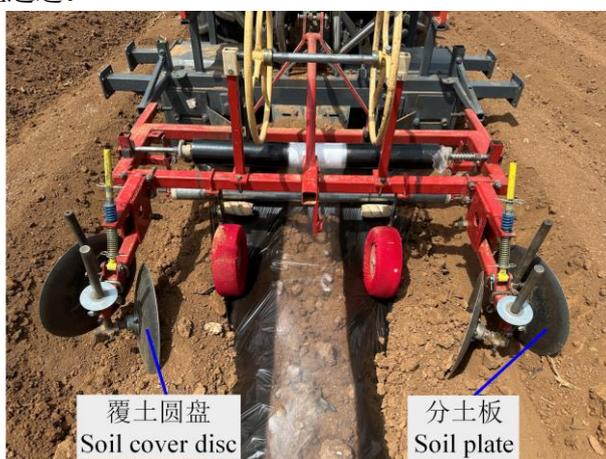


图 5 改进后的烟草起垄机分土板安装位置

Fig. 5 Position for soil plate installation in the improved tobacco ridging machine

分土板在机具牵引前进的过程中，不仅可以实现翻土，分土板的外缘还可以对土壤进行破碎，提升覆膜效果。加装分土板前后的作业效果如图 6 所示，分土板可以实现对相邻未覆膜垄体进行培土、对相邻覆膜垄体实现二次覆土，保证膜边覆土宽度、对垄沟实现平整清理的功能。

- 未覆膜垄体培土 Soil Mounding on Non-Mulched Ridge
- 覆膜垄体覆土 Soil Covering on Mulched Ridge
- 已覆膜垄体再培土 Re-Soiling on Pre-Mulched Ridge

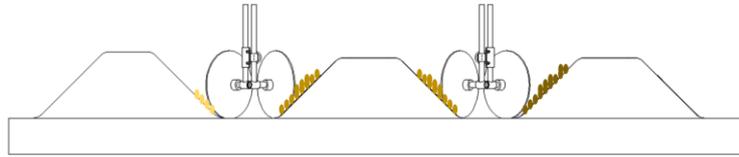


图 6 改进后的烟草起垄机覆土圆盘和分土板联合作业效果

Fig. 6 Performance of combined operation of soil cover disc and soil plate in the improved tobacco ridging machine

改进后可一次性完成旋耕、起垄、施肥、覆膜工序，避免后续机械进地对土壤的破坏，提升了垄体质量，为后续移栽环节的机械化移栽提供保障。

3 田间试验

3.1 试验条件

材料：试验所用地膜为河南省三门峡市金叶地膜有限公司所生产的聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜，规格为 580 000 mm×900 mm×0.01 mm（长×宽×厚），净质量为（5±0.2）kg，生产时间为 2024 年 11 月。

试验田：试验田位于河南省三门峡市渑池县天池镇烟粮轮作及土地流转示范区。2024-12-19，在试验田进行了冬季起垄作业，2025-03-20—2025-04-01，在试验田进行春季起垄、覆膜作业。三门峡渑池县属丘陵地区，34°66′ N，111°93′ E。试验田土壤类型为褐土，pH 值为 5.8，测试当天对土壤取样后带回实验室采用烘干法进行土壤含水率测定，试验所用仪器为琢锐匠仪科学仪器上海有限公司生产的 DZF-6020 真空干燥箱，土壤质量含水率为 28%，符合机具作业要求。

作业质量要求：起垄时垄型体饱满一致。地头整齐，型体饱满，施肥应落实全测全配，增施有机肥，达到烟株营养平衡。丘陵地区垄顶宽以农艺要求的垄顶宽±3 cm 合格；垄距以农艺要求的垄距±3 cm 合格；垄间距合格率>90%；垄到地边、地头误差≤30 cm；同一片区统一配肥、统一施肥，确保肥力一致。覆膜时地膜与垄面紧紧相贴，地膜两侧、垄顶中间分别用土压实，防止春季大风刮裂地膜，造成跑墒，覆膜作业时技术要求如表 1 所示。

测量仪器：得力 DL98100B 皮卷尺，量程 10 000 mm，精度 1 mm；德力西 DHGDW150S 游标卡尺，量程 150 mm，精度 0.01 mm；得力 DL8600 钢尺，量程 600 mm，精度 1 mm。

表 1 覆膜作业主要技术要求

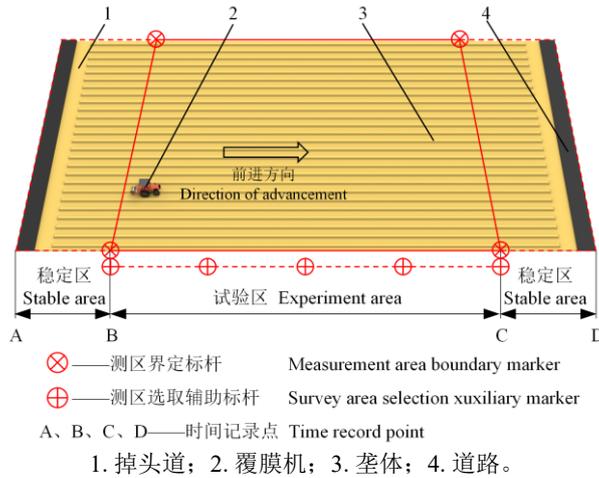
Table 1 Main technical requirements for mulching operation

序号 Number	参数名称 Parameter name	参数值 Parameter value
1	覆膜后垄顶宽度/cm	30±5
2	覆膜后垄体沉降高度/cm	≤2
3	膜边覆土宽度/cm	≤5
4	膜边覆土厚度/cm	≤5
5	采光面机械破碎程度/cm·m ⁻²	≤5
6	地膜采光面/%	≥85

3.2 测试项目及方法

按照 YC/T 569—2018《烟草田间作业机械选型测试规程》，参考相关国家标准和国家农业行业标准^[24-26]，对烟草起垄机进行测试。起垄覆膜试验作业人员均从熟练机手及熟练

烟农中进行选取，选取测区的长度为 100 m，稳定区为 10 m。在 100 m 测区内均匀选择 5 点作为检测指标的测点，测试机组进行 3 个往返行程，对试验数据取平均值，烟草起垄覆膜试验测区划分和测点选择如图 7 所示。试验测试田间作业性能，包括起垄后垄体参数、覆膜后垄体参数及作业质量（采光面机械破碎程度、覆土断条率、膜边覆土宽度）。



1. Turnaround; 2. Film Mulching Machine; 3. Ridge body; 4. Road.

图 7 改进后的烟草起垄机覆膜试验测区划分和测点选择示意图

Fig. 7 Schematic diagram of plot division and measurement point selection for film-mulching experiment in the improved tobacco ridging machine

3.2.1 起垄及覆膜后垄体参数测试

垄体参数主要包含：垄高、垄顶宽、垄基宽、垄距等。测量方法如表 2 所示。

表 2 垄体参数测量方法

Table 2 Measurement methods of ridge parameters

序号 Number	垄体参数 Ridge parameters	测量方法 Measuring method
1	起垄后垄高 H_3	起垄后，沟底至垄顶表面的高度
2	起垄后垄顶宽 B_3	起垄后，垄体顶部适种区域的宽度
3	起垄后垄基宽 B_4	起垄后，垄体底部的宽度
4	覆膜后垄高 H_1	覆膜后，沟底至垄顶表面的高度
5	覆膜后垄顶宽 B_1	覆膜后，垄体顶部适种区域的宽度
6	覆膜后垄基宽 B_2	覆膜后，垄体底部的宽度
7	垄距 S	两垄中心线的垂直距离

3.2.2 覆膜后作业质量测试

采光面机械破碎程度：在作业区内，丘陵区距离地头 10 m 以上、山地区距离地头 3 m 以上，随机选取 100 m 长覆膜垄为测区，测其采光面宽度平均值，并测量测区内机械破损部位的破损口长度。计算单位采光面内机械破损部位的破损口长度。采光面内机械破碎程度如式 (1) ~ (2) 所示：

$$L = \sum_{i=1}^m a_i \quad (1)$$

$$E = \frac{L}{B \times C} \quad (2)$$

式中： L 为测区内机械破损口长度之和； a_i 为第 i 个机械破损口长度； m 为测区内出现的膜边未覆土个数； E 为采光面机械破碎程度； B 为测区内地膜宽度平均值； C 为测区长度。

覆土断条率：完成机械覆膜作业后，测区长度内膜边覆土未达到规定覆土宽度的长度所占的百分比，如式 (3) ~ (4) 所示：

$$G = \sum_{i=1}^n b_i \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{G}{L_f} \times 100\% \quad (4)$$

式中： G 为膜边未覆土总长度； b_i 为第*i*个膜边未覆土长度； n 为测区内出现的膜边未覆土个数； λ 为覆土断条率； L_f 为有效测区总长。

膜边覆土宽度：在作业区内，丘陵区距离地头 10 m 以上、山地区距离地头 3 m 以上，随机选取 20 m 长覆膜垄为测区，随机抽取 5 个点进行测量，完成机械覆膜作业后，测量土壤覆盖地膜边缘的宽度，膜边覆土宽度 ≥ 5 cm、厚度 ≥ 5 cm，丘陵区合格率 $\geq 95\%$ ，如式（5）所示：

$$S_d = \frac{N_d}{N_D} \times 100\% \quad (5)$$

式中： S_d 为膜边覆土宽度合格率； N_d 为膜边覆土宽度合格点数； N_D 为总测试点数。

3.3 试验结果及分析

改进后的烟草起垄机作业效果测量数据如表 3 所示。

表 3 垄体参数测量结果

序号 Number	覆膜后垄高 Ridge height (H_1)	起垄后垄高 Ridge height after ridging (H_3)	覆膜后 垄顶宽 Ridge top width after film mulching (B_1)	覆膜后 垄基宽 Ridge base width after film mulching (B_2)	起垄后 垄顶宽 Ridge top width after ridging (B_3)	起垄后 垄基宽 Ridge base width after ridging (B_4)	垄距 Ridge distance (S)
1	28.3	29.3	31.4	89.7	32.0	90.4	124.4
2	28.5	28.5	31.6	89.8	32.3	90.5	125.1
3	29.2	29.3	33.5	88.7	34.1	89.5	124.7
4	29.3	29.7	29.4	88.4	30.1	89.1	124.3
5	29.7	30.5	32.6	88.7	33.4	89.6	125.3
6	29.5	30.7	30.4	89.3	31.0	90.1	124.9
7	28.8	30.0	29.7	88.7	30.4	89.7	125.1
8	29.7	30.2	31.1	89.6	31.7	90.4	124.8
9	27.3	29.8	30.6	88.7	31.5	89.5	125.4
10	29.2	30.4	29.8	87.3	30.2	88.6	124.8
11	28.95±0.75	29.84±0.67	31.01±1.31	88.89±0.75	31.67±1.34	89.74±0.62	124.88±0.36

注：序号 11 为 $m \pm s_d$ ，表示平均值±标准差。

Note: Number 11 $m \pm s_d$ represents the mean \pm standard deviation.

根据作业质量测试标准得到改进后烟草起垄机的覆膜破损率和漏覆率，覆膜破损率为 0%，漏覆率为 0.75%，膜边覆土宽度合格。

4. 结论与讨论

针对丘陵地区烟草起垄过程中农机农艺融合度低，机器适应性差的问题，本研究对烟草起垄机关键部件进行适应性研究与结构改进，实现多个环节一机复式作业，避免后续机械进地对垄体的破坏，提升垄体质量，为机械化移栽提供作业通道。

目前田间作业机械的适应性研究较少，特别是针对丘陵地区的烟草机械适应性研究与改进。姜彦武等^[4]研发的马铃薯起垄铺膜联合作业机依据马铃薯种植农艺要求，针对小地

块起垄过程中存在的问题,设计了能够完成起垄、压实、铺膜、覆土作业的联合作业机,结果表明联合作业机满足起垄覆膜农艺作业要求,提高了生产效率,降低了劳动强度,但是马铃薯与烟草存在垄体尺寸、种植密度等农艺差异,测试指标不同,因此针对烟叶种植农艺要求,本研究对垄高、覆膜破损率、漏覆率等指标进行测量;陈雪婷等^[20]研制的烟草起垄施肥机以地鳖虫为原型进行镇压辊改进优化,解决了土壤镇压过程中土壤黏附和牵引阻力大的问题,同时所成垄体坚实度能够满足烟草根系生长要求,但是并未涉及不同地形的适应性以及多个环节的复式作业;吴睿等^[27]对不同型号的烟草覆膜机进行田间试验,为覆膜环节的农机具选型和配置优化提供参考,但是并未对机型进行适应性改进,仅停留在对比试验阶段。因此,本研究结合丘陵地区烟草种植的农艺要求,以 1FM-2 型烟草起垄机为试验机开展试验,并结合田间作业性能测试进行分析,为同类机型设计与优化提供参考。

本研究通过优化改进施肥装置、垄体整形装置和分土板,改进后的烟草起垄机可以实现旋耕、起垄、施肥、覆膜、滴灌带铺设等工序的复式作业,田间试验结果表明,改进后的机具在前进速度为 $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,起垄后垄高合格率达 100%,覆膜后垄体沉降高度合格率 100%,覆膜破损率 0%,漏覆率 0.75%,解决了垄体坚实度差、地膜与垄面贴合不紧密、覆膜后垄沟清理不彻底等问题,排肥管道优化后降低了作业过程中的杂草、土块等在排肥管道处的堵塞情况;分土板与覆土圆盘组合使用对地膜进行多次覆土,降低了丘陵地区大风对地膜的影响,同时清理后的垄沟为接下来的机械化移栽作业提供了平整的作业通道;复式作业减少了农机具的进地次数,避免土壤被过度压实,各项性能指标均满足丘陵地区烟草种植的农艺要求。下一步将扩大试验范围,并优化分土板偏角设计以适应不同土壤湿度条件。建议在丘陵烟区推广集起垄、施肥、覆膜、滴灌带铺设于一体的复式烟草起垄机,并与动力拖拉机配套使用;同时推荐采用膜上覆土装置,以更好地适应大风天气和复杂地形条件。

参考文献 References:

- [1] 郑煜,陈颀,逯晋松,等.烟草不同轮作模式碳足迹及经济效益评价[J].中国农业科学,2025,58(4): 733-747.
ZHENG Y, CHEN Y, TI J S, et al. Evaluation of carbon footprint and economic benefit of different tobacco rotation patterns[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2025, 58(4): 733-747.
- [2] 秦冠宇.河南省烟叶生产机械化水平及发展路径:基于许昌的多案例研究[D].郑州:河南农业大学,2023.
QIN G Y. The level of mechanization and development path of tobacco production in Henan Province: a multi-case study based on Xuchang[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2023.
- [3] 朱晨辉,王淼森,陈博,等.丘陵区履带式烟叶采收机液压行驶系统的创新设计与试验[J].河南农业大学学报,2022,56(4): 532-542.
ZHU C H, WANG M S, CHEN B, et al. Creative design and experiment of hydraulic travel system for hilly region crawler tobacco harvester[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022, 56(4): 532-542.
- [4] 潘纪凤,杨敏丽,李星,等.江西省水稻全程机械化生产模式与装备配置研究[J].农业机械学报,2024,55(增刊 2): 231-239.
PAN J F, YANG M L, LI X, et al. Full-process rice mechanization production models and equipment configuration in Jiangxi Province[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(Suppl 2): 231-239.
- [5] 张妮,张国忠,王姣,等.旱地作物机械化移栽关键技术研究现状与发展趋势[J].中国农机化学报,2022,43(8): 22-31.
ZHANG N, ZHANG G Z, WANG J, et al. Research status and development trend of upland crops mechanized transplanting key technologies[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(8): 22-31.

[6] 高新, 谭杰, 随顺涛, 等. 四川苦荞生产全程机械化关键环节现状与发展[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(11): 283-289.

GAO X, TAN J, SUI S T, et al. Present situation and development of key aspects in the whole process mechanization of Sichuan Tartary buckwheat production[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(11): 283-289.

[7] 吕成龙, 喻丽华, 郑乐, 等. 贵州太子参生产全程机械化技术现状及对策[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(8): 84-92.

LYU C L, YU L H, ZHENG L, et al. Current situation of mechanization technology and countermeasures for whole production of *Radix pseudostellariae* in Guizhou[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2024, 26(8): 84-92.

[8] 徐立友, 张俊江, 闫祥海, 等. 农业装备电动化技术研究综述[J]. 农业机械学报, 2023, 54(9): 1-12.

XU L Y, ZHANG J J, YAN X H, et al. Review of research for agricultural equipment electrification technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(9): 1-12.

[9] 喻丽华, 徐志波, 韩忠禄, 等. 丘陵山区辣椒机械化移栽适应性分析[J]. 农机化研究, 2020, 42(10): 184-188, 194.

YU L H, XU Z B, HAN Z L, et al. Adaptability analysis of mechanized transplanting of pepper in hilly mountainous area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(10): 184-188, 194.

[10] 裴宜坤, 宋强龙, 陈雪婷, 等. 烟草垄体分层施肥土壤镇压试验与肥料颗粒偏移分析[J]. 河南农业大学学报, 2024, 58(4): 654-662.

PEI Y K, SONG Q L, CHEN X T, et al. Tobacco ridge layered fertilization soil compaction test and analysis of fertilizer particle migration[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2024, 58(4): 654-662.

[11] 张传斌, 张士领. 1YSG-1 型烟田施肥起垄机的改进与试验[J]. 农机化研究, 2011, 33(6): 119-121, 158.

ZHANG C B, ZHANG T L. The improvement and experiment of the 1YSG-1-type tobacco field fertilization ridging machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(6): 119-121, 158.

[12] 董奥辉, 刘志彤, 周梦雪, 等. 全自动移栽机送苗装置的优化设计与试验[J]. 河南农业大学学报, 2025, 59(1): 112-121.

DONG A H, LIU Z T, ZHOU M X, et al. Optimization design and experiment of seedling conveying device of automatic transplanter[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2025, 59(1): 112-121.

[13] 张还, 郭鑫雨, 张健, 等. 马铃薯播种机两段式组合起垄装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(增刊 1): 76-83, 92.

ZHANG H, GUO X Y, ZHANG J, et al. [Design and experiment of two-stage combined ridging device for potato seeder](#)[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(Suppl 1): 76-83, 92.

[14] 姜彦武, 艾力·哈斯木, 郭俊先, 等. 马铃薯起垄铺膜联合作业机结构设计及机架仿真分析[J]. 农机化研究, 2022, 44(9): 68-73.

JIANG Y W, ELLYHASIM, GUO J X, et al. Structural design and frame simulation analysis of potato ridging and film joint operation machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2022, 44(9): 68-73.

[15] 陈凯阳, 刘龙, 刘道奇, 等. 花生精少耕起垄播种机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2025, 47(7): 100-106.

CHEN K Y, LIU L, LIU D Q, et al. Design and test of peanut fine tillage ridge seeder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2025, 47(7): 100-106.

[16] 李英春, 王东伟, 何晓宁, 等. 基于高垄种植的花生播种施肥机设计与试验[J]. 农机化研究, 2022, 44(1): 107-111.

LI Y C, WANG D W, HE X N, et al. Design and test of peanut seeding and fertilizer applicator based on high ridge planting[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2022, 44(1): 107-111.

[17] 陈彬, 陈新华, 陈小兵, 等. 履带自走式草莓旋耕起垄施肥复式作业机设计与试验[J]. 中国农机化学报,

2022, 43(1): 55-60.

CHEN B, CHEN X H, CHEN X B, et al. Design and experiment of crawler self-propelled ridging and fertilization combined machine for strawberry[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(1): 55-60.

[18] 郭小锋, 师鹏辉, 乔书杰, 等. 草莓大棚开沟起垄刀具数值模拟与工作参数响应面优化[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(3): 334-342.

GUO X F, SHI P H, QIAO S J, et al. Simulation of furrowing and ridging blade in strawberry greenhouses and optimization of the working parameters with the response surface method[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(3): 334-342.

[19] 吴亚文. 烟草起垄施肥整形一体机的设计与试验[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021.

WU Y W. Design and experiment of an integrated machine for tobacco ridging, fertilizing and shaping[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2021.

[20] 陈雪婷, 李慧琴, 薛超群, 等. 烟草起垄施肥机镇压辊仿生设计与试验[J]. 农机化研究, 2023, 45(8): 161-165, 171.

CHEN X T, LI H Q, XUE C Q, et al. Bionic design and experiment on press roller of tobacco ridge and fertilizing machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2023, 45(8): 161-165, 171.

[21] 宋强龙. 单行起垄施肥作业机镇压装置设计与试验[D]. 郑州: 河南农业大学, 2024.

SONG Q L. Design and experiment of compaction device for single-row ridging fertilizer machine[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2024.

[22] 林硕, 李世金, 朱启法, 等. 逆向转运排肥式烟草施肥起垄机的设计与应用[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(2): 101-106.

LIN S, LI S J, ZHU Q F, et al. Design and assessment of a tobacco fertilizing and ridging machine with reverse transfer fertilizer discharge[J]. Chinese Tobacco Science, 2022, 43(2): 101-106.

[23] 郑俊, 吴睿, 徐阳, 等. 烟草田间起垄机作业适应性研究[J]. 农机化研究, 2015, 37(6): 151-153, 158.

ZHENG J, WU R, XU Y, et al. The adaptability research on the operation quality of the tobacco ridging machines[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(6): 151-153, 158.

[24] 国家烟草专卖局. 烟草田间作业机械选型测试规程: YC/T 569—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019. State Tobacco Monopoly Bureau of the People's Republic of China. Test procedures for the selection of field machinery in tobacco farming: YC/T 569—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.

[25] 中华人民共和国农业部. 铺膜机作业质量: NY/T 986—2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Operating quality for film player: NY/T 986—2006[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.

[26] 中华人民共和国农业部. 铺膜机质量评价技术规范: NY/T 1552—2007[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification of quality evaluation for film mulching machines: NY/T 1552—2007[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.

[27] 吴睿, 席云廷, 郑俊, 等. 烟草覆膜机作业质量的试验研究与分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(8): 148-152.

WU R, XI Y T, ZHENG J, et al. Experimental research and analysis on the working quality of tobacco mulching machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(8): 148-152.