

孙文成, 廖庆喜, 张青松, 等. 驱动犁翻与反转旋耕组合式油菜直播种床整理机设计与试验[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(2): 67-76.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.02.007

驱动犁翻与反转旋耕组合式油菜直播 种床整理机设计与试验

孙文成¹, 廖庆喜^{1,2}, 张青松^{1,2}, 卜祥利¹, 魏国梁¹, 何坤¹

1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070

摘要 针对稻-油轮作区秸秆茬高量大、土壤黏重板结且含水量波动大的作业工况, 考虑单一功能耕作机械多次进地压实土壤且作业功耗大的生产实际问题, 提出“犁组左翻埋茬、刀辊反转碎土、犁铧两侧开沟”的油菜种植种床整理工艺方案, 并研制了一种驱动犁翻与反转旋耕组合式油菜直播种床整理机。该机主要由驱动圆盘犁组、反转旋耕刀辊、开畦沟前犁、开畦沟后犁、平土托板等部件组成, 可实现厢面平整、种床细碎、秸秆还田、开沟作畦等功能, 分析了各耕作部件的空间布局设计原则, 确定了驱动圆盘犁组与反转旋耕刀辊的结构参数与工作参数。田间试验结果表明: 该机作业后的种床耕深、畦沟沟深、畦沟沟宽、厢面平整度、种床碎土率以及秸秆埋覆盖率的均值分别为 173.2 mm、190.2 mm、401.4 mm、11.6 mm、95.9% 和 90.2%, 种床耕深稳定性系数、畦沟的沟深稳定性系数和沟宽稳定性系数的均值分别为 85.6%、86.7% 和 84.6%, 满足油菜机械化直播种床整理农艺要求。

关键词 油菜直播; 种床整理; 组合式耕整机; 驱动犁翻; 圆盘犁; 反转旋耕; 稻-油轮作; 联合作业

中图分类号 S 222.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)02-0067-10

油菜是我国重要的油料作物, 其种植面积及总产量均居世界首位, 且兼有饲用、菜用、肥用、花用、蜜用等多功能开发利用价值^[1-2]。在长江中下游冬油菜区, 油菜种植以稻-油轮作为主^[3], 该地区土壤板结、秸秆量大、湿润多雨, 冬油菜直播对种床碎土率、厢面平整度要求高, 且需秸秆还田、排水防渍^[4]。针对该地区油菜机械化直播的实际生产需求, 相关学者已在耕整地和开畦沟方面开展了大量研究^[5-9], 但考虑到现有耕作机械功能相对单一, 难以通过一次进地作业加工出适宜直播油菜生长的合理耕层结构, 迫切需要设计合理有效的种床整理工艺方案, 并开展配套种床整理机具^[10-12]的研制。

驱动犁翻可实现地表秸秆残茬与病虫害的翻埋处理, 具有牵引阻力小、覆盖能力强的优点, 但由于其作业后土壤与秸秆细碎不充分、分布不均匀, 难以满足油菜播种所需细碎平整的种床厢面。反转旋耕可实现土壤与残茬的细碎混合, 具有碎土能力强、平整效果好的优点^[13-14], 但由于其作业耕深浅、刀辊易缠草, 不适于直接应用在水稻留茬耕层。在稻-油轮

作区油菜直播种床整理时, 以联合作业的方式实现驱动犁翻与反转旋耕等耕作技术的优势互补, 并辅以相适应的开畦沟部件, 能通过一次进地作业整备出适宜于油菜直播的合理耕层结构。

针对稻-油轮作区土壤板结、秸秆量大、湿润多雨的作业工况, 结合冬油菜直播对种床碎土率、厢面平整度要求高, 且需秸秆还田、排水防渍的农艺要求, 本研究提出一种以驱动犁翻与反转旋耕为核心的种床整理工艺方案, 并研制一种适用于稻-油轮作区油菜直播种床整理的组合式耕整机, 通过集成犁翻、旋耕、开畦沟等传统耕作技术, 一次作业实现厢面平整、种床细碎、秸秆还田、开沟作畦等功能, 形成适宜直播油菜生长的合理耕层结构, 旨在减少油菜直播种床整理机械的进地作业次数、缩短耕种作业周期, 进一步提高油菜直播机械的作业效率。

1 材料与方法

1.1 整理机结构组成及传动方案

驱动犁翻与反转旋耕组合式油菜直播种床

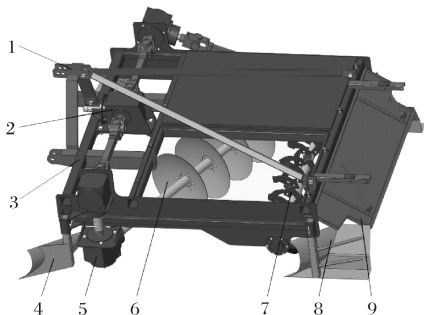
收稿日期: 2020-05-25

基金项目: 国家油菜产业技术体系专项(CARS-12); 湖北省自然科学基金项目(2019CFB153); 湖北省农业科技创新行动专项

孙文成, E-mail: 1322784984@qq.com

通信作者: 廖庆喜, E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

整理机(以下简称“整理机”)主要由驱动圆盘犁组、反转旋耕刀辊、开畦沟前犁、开畦沟后犁、平土托板等耕作部件组成,可实现厢面平整、种床细碎、秸秆还田、开沟作畦等作业功能,其结构组成如图 1 所示。

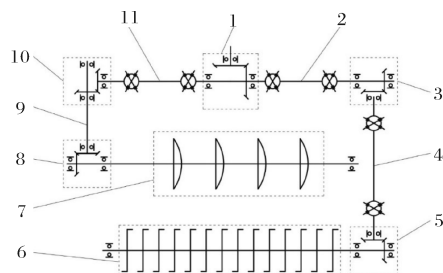


1.悬挂 Suspension frame; 2.T 型齿轮箱 T gear box; 3.机架 Frame; 4.开畦沟前犁 Front trench plow; 5.L 型齿轮箱 L gear box; 6.驱动圆盘犁组 Drive disc plough group; 7.反转旋耕刀辊 Reverse rotary tiller roller; 8.开畦沟后犁 Back trench plow; 9.平土托板 Flat soil pallet.

图 1 油菜直播种床整理机结构组成

Fig.1 Structural composition of preparation machine

该机核心耕作部件为驱动圆盘犁组与反转旋耕刀辊,两者均由动力驱动,拖拉机动力首先经 T 型齿轮箱分流至机具两侧,其左侧动力依次通过万向节Ⅲ、L 型齿轮箱Ⅳ、套筒连接轴以及 L 型齿轮箱Ⅲ,输送至驱动圆盘犁组;其右侧动力依次通过万向节Ⅰ、L 型齿轮箱Ⅰ、万向节Ⅱ以及 L 型齿轮箱Ⅱ,输送至反转旋耕刀辊;通过锥齿轮间的稳定啮合与花键轴间的对中连接,可在满足犁旋间的结构布局与转速转向要求的基础上保证传动的可靠性与稳定性,其传动方案如图 2 所示。



1.T 型齿轮箱 T gear box; 2.万向节Ⅰ Universal jointⅠ; 3.L 型齿轮箱Ⅰ L gear boxⅠ; 4.万向节Ⅱ Universal jointⅡ; 5.L 型齿轮箱Ⅱ L gear boxⅡ; 6.反转旋耕刀辊 Reverse rotary tiller roller; 7.驱动圆盘犁组 Drive disc plough group; 8.L 型齿轮箱Ⅲ L gear boxⅢ; 9.套筒连接轴 Sleeve connecting shaft; 10.L 型齿轮箱Ⅳ L gear boxⅣ; 11.万向节Ⅲ Universal jointⅢ.

图 2 油菜直播种床整理机传动方案

Fig.2 Transmission scheme of preparation machine

1.2 整理机工艺方案及技术参数

整理机作业时,采用“犁组左翻埋茬、刀辊反转碎土、犁铧两侧开沟”的种床整理工艺方案(图 3)。左翻式驱动圆盘犁组直接作用于水稻留茬耕层,与对称安装于其前方两侧的开畦沟前犁同步作业,通过低速滑切、抬升撕扯、扭转铺放,完成上、下土层交换的同时可配合开畦沟前犁对厢面内的秸秆残茬进行初步翻埋,形成由犁翻埋茬耕层与初步畦沟沟型组成的初步耕层结构,以利于后续旋耕作业的进行。反转旋耕刀辊作用于犁翻埋茬耕层上部,与对称安装于其后方两侧的开畦沟后犁同步作业,通过高速旋切、冲击破碎、滑移抛撒,进一步破碎混合土壤与残茬的同时可对开畦沟后犁犁体曲面上黏附的土壤与秸秆进行主动清理,旋耕后的膨松土壤经平土托板托压平整后形成油菜种床厢面,与畦沟沟型共同构成适宜直播油菜生长的合理耕层结构。

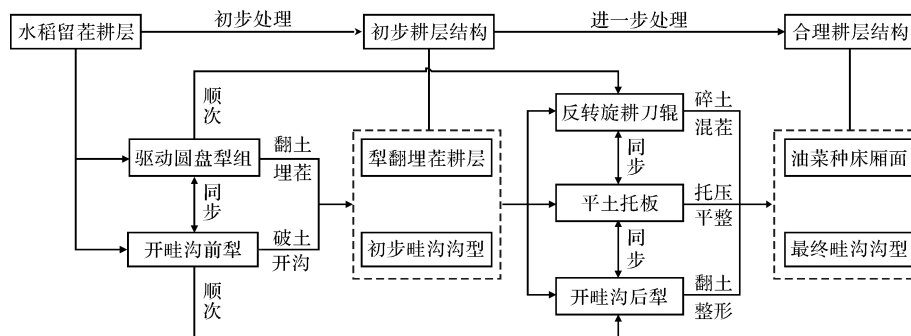


图 3 油菜直播种床整理机工艺方案

Fig.3 Technology scheme for preparation machine

为实现驱动犁翻与反转旋耕等耕作技术的优势互补,设计反转旋耕刀辊在结构布局与工作参数上与驱动圆盘犁组相匹配,其主要技术参数如表 1 所示。

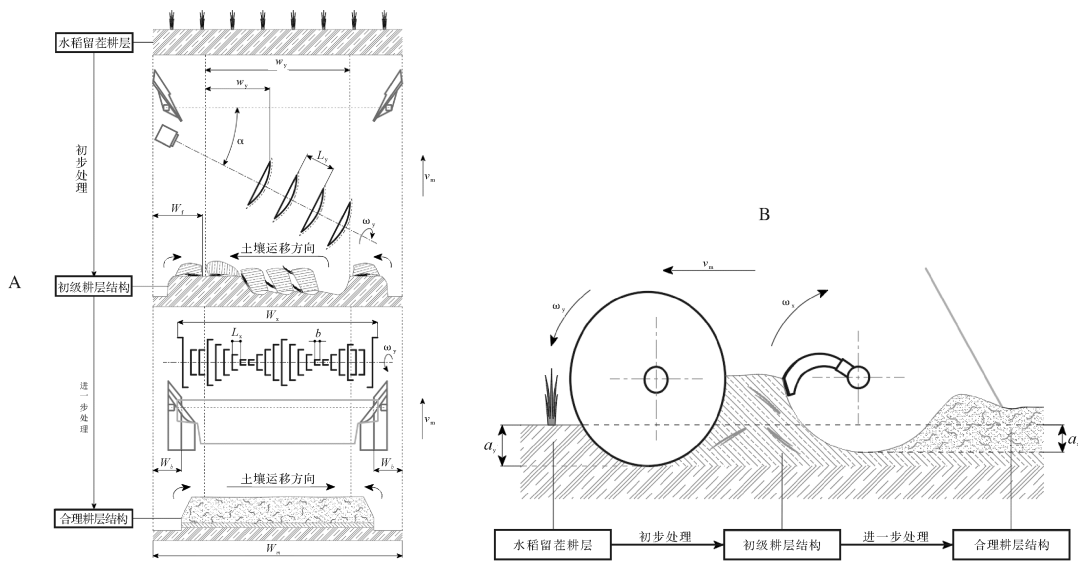
表 1 油菜直播种床整理机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of preparation machine

参数 Parameters	数值 Value
机组额定功率/kW Unit rated power	≥58.8
机组转速挡位/(r/min) Unit speed gear	540/750
机组前进速度/(km/h) Unit forward speed	1.72~4.40
整机外形尺寸/(mm×mm×mm) Overall dimensions	2 600×2 450× 1 180
整机工作幅宽/mm Working width of the whole machine	2 450
驱动圆盘犁工作偏角/(°) Deflection angle of driving disc plough	27
驱动圆盘犁安装间距/mm Drive disc plough installation spacing	280
驱动圆盘犁耕深/mm Drive disc plough depth	150~180
驱动圆盘犁转速/(r/min) Drive disc plough speed	131
犁旋垂直耕深差/mm Plow rotation vertical tillage depth difference	30
犁旋回转速度比 Plow rotation speed ratio	3
畦沟宽度/mm Width of furrow	300~400
畦沟深度/mm Depth of furrow	170~200

1.3 耕作部件空间布局设计原则

如图 4 所示,在种床整理工艺方案所提出的耕层构建过程中,土壤与秸秆随着机组前进而在作业空间内不断被运移、破碎、混合,为保证整理机作业质量,结合各耕作部件的作业目的与工作机制,提出以下空间布局设计原则:①驱动圆盘犁组与开畦沟前犁在动土幅宽上应具有一定的距离差,且开畦沟前犁所作初步畦沟应可容纳侧边齿轮箱通过,以避免土垡间因相向推挤而导致回垡和侧边齿轮箱触土拖行而导致壅土。②反转旋耕刀辊与开畦沟后犁在工作幅宽上应具有一定的重叠量,且旋耕刀在刀辊上的排列方式需结合驱动圆盘犁组与开畦沟前犁的动土幅宽范围进行设计,以减少沟侧土壤在后犁犁面上的黏结附着和种床土壤在横向方向上的分布不均。③驱动圆盘犁组与反转旋耕刀辊应具有一定的垂直耕深差和回转速度比,且需结合犁翻作业后的耕层结构特点加以确定,以形成“上虚下实、虚实并存”的种床耕层并保证机具作业后的碎土质量与埋茬效果。



A:水平空间布局 Horizontal space layout;B:垂直空间布局 Vertical space layout.

图 4 油菜直播种床整理机耕作部件空间布局

Fig.4 Space layout between of tillage parts

1.4 驱动圆盘犁组结构参数确定

驱动圆盘犁组结构参数主要包括:圆盘半径、曲率半径、犁组工作偏角以及犁片安装间距。其中,犁组工作偏角与犁片安装间距作为犁组的主要排布参数,直接影响着犁组的耕作阻力、作业质量以及通过性能。如图 5 所示,在犁组由地表前端刃口点 B 处

滑切入土时,为适应不同土壤条件,其工作偏角在 OXY 坐标平面内宜相对于临界工作偏角偏转一定角度^[15];在沟底土壤随犁片旋转而撕裂抬升的过程中,犁体对沟底土壤的破坏形式在 OYZ 坐标平面内可简化为由沟底刃口点 F 处沿一定角度方向的剪切滑移^[16-17]。由图 5 中几何与坐标关系知:

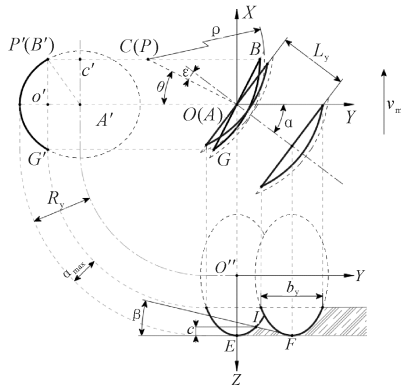


图5 驱动圆盘犁组结构参数

Fig.5 Structural parameters of driving disc plough group

$$\begin{cases} \alpha = \theta + \epsilon \\ \theta = \arctan \frac{A'B'}{A'P'} \\ A'B' = \sqrt{R_y^2 - (R_y - a_{\max})^2} \\ A'P' = OC = \sqrt{\rho^2 - R_y^2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} c = \tan\beta \cdot (L_y \cdot \cos\alpha - Y) = R_y - Z \\ \frac{Y^2}{(R_y \cdot \sin\alpha)^2} + \frac{Z^2}{R_y^2} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)~(2)中, α 为犁组工作偏角, $(^\circ)$; θ 为犁片临界偏角, $(^\circ)$; ϵ 为最小偏角, $(^\circ)$; R_y 为圆盘半径,mm; ρ 为曲率半径,mm; $a_{\max}$ 为驱动圆盘犁最大设计耕深,mm; L_y 为犁组安装间距,mm; Y 为土埂顶点I沿Y轴正向的坐标,mm; Z 为土埂顶点I沿Z轴正向的坐标,mm;为犁组耕后沟底残留土埂高度,mm; β 为土壤剪切滑移角, $(^\circ)$ 。

参考稻-油轮作模式下的油菜直播耕深要求^[16],设计驱动圆盘犁耕深 a_y 为150~180 mm,选用圆盘半径 R_y 为280 mm,曲率半径 ρ 为560 mm的标准犁片^[17]。将之代入式(1)可得:犁片临界工作偏角 θ 为28.3 $^\circ$ 。根据偏角与机具特性的试验研究^[18],取最小偏角 ϵ 为负将有利于犁组侧向力的平衡,进而提高作业质量,为便于加工,设计犁组工作偏角 α 为27 $^\circ$ 。同时,为保证垡块有序铺放,考虑到土壤的流动特性与根茬的支撑作用,犁片安装间距沿机组前进方向的投影长度应满足:

$$L_y \cdot \cos\alpha \geq b_y = 2A'B' \cdot \sin\alpha \quad (3)$$

式(3)中, b_y 为单个犁片耕幅,mm。参考文献^[17]中实测数据,取土壤剪切滑移角 β 为8 $^\circ$,综合考虑式(2)、(3),取犁片安装间距 L_y 为280 mm,此时残留土埂高度 c 约为27.5 mm,满足耕后沟底土埂高度不超过其耕深20%的农艺要求。根据本文

“1.3 耕作部件空间布局设计原则”确定的驱动圆盘犁组与开畦沟前犁间的空间布局设计原则有:

$$\begin{cases} W_m > 2W_f + W_y \\ W_y = w_y + (m-1) \cdot L_y \cdot \cos\alpha \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, W_m 为整理机工作幅宽,mm; W_y 为驱动圆盘犁组动土幅宽,mm; W_f 为开畦沟前犁动土幅宽,mm; w_y 为单个犁片动土幅宽,mm; L_y 为犁片安装数量,片。参考相关机型前期试验效果,单个犁片动土幅宽 w_y 约为550 mm,设计犁片安装数量 m 为4,代入式(4)计算得:驱动圆盘犁组动土幅宽 W_y 为1300 mm。在此基础上,选用犁体曲面为半螺旋型的开畦沟前犁配合驱动圆盘犁组完成翻垡埋茬作业,其动土幅宽 W_f 实测约为520 mm,满足设计要求。

1.5 旋耕刀排列方式设计

如图6所示,对旋耕刀在刀辊上的排列进行多区段复合设计,将其沿轴向分作区段I和区段II,区段I位于刀辊中部,对应驱动圆盘犁组动土幅宽 W_y ,用于厢面架空土壤的侧向输送并抵消部分犁组侧向力;区段II位于刀辊两侧,对应开畦沟前犁动土幅宽 W_f ,用于沟侧堆积土壤的对中输送和开畦沟后犁犁面黏积土壤的主动刮切。基于上述排列方式,设计区段I上所有旋耕刀弯向朝右,区段II上除最外侧切土小区装配一把弯向朝外的旋耕刀外,其余旋耕刀弯向均朝内。与此同时,为减少旋耕刀入土时的冲击振动和切土时的夹带堵塞,参考多头螺旋线对称排列法,设计两区段上任一切土小区内装配旋耕刀数量为2,且均分360 $^\circ$;两区段上各自刀座排列螺旋线升角相同,分别为 β_1 和 β_2 ;两区段上各自相继入土旋耕刀转角间隔相等,分别为 θ_1 和 θ_2 。

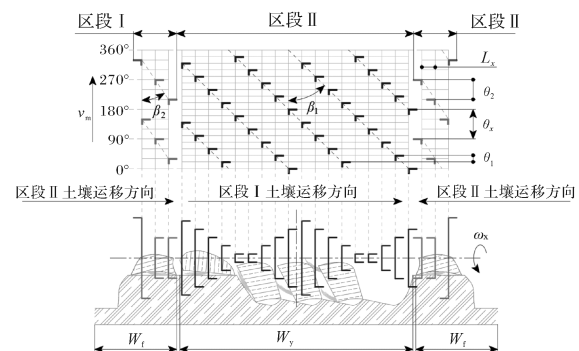


图6 旋耕刀排列参数

Fig.6 Permutation parameter of rotary blade

考虑到两区段复合时旋耕刀外型尺寸以及相对

定位关系对刀辊整体性能存在影响,为适应稻茬田旋耕作业要求,参考标准 GB/T 5669 — 2008《旋耕机械 刀与刀座》^[19],选用 IIT245 型旋耕刀,其工作幅宽为 50 mm;为便于刀座焊接时的轴向定位,取两区段任一刀座安装间距 L_x 相等;为减小两区段相向输送土壤时的互动干扰,在周向上将区段 II 相对于区段 I 错开一定角度 θ_x 并使区段 II 上任一耕刀均分区段 I 上相继入土的两把旋耕刀的入土转角。基于以上设计思路,结合两区段大致的长度及比例关系与“ $4n+2$ ”的最佳数列排列法,取刀辊切土小区总数 n 为 24;设计区段 I 上切土小区总数为 18,对应旋耕刀总数为 36 把,旋耕刀转角间隔 θ_1 为 20° ;设计区段 II 上切土小区总数为 6,对应旋耕刀总数为 12 把,旋耕刀转角间隔 θ_2 为 60° ;此时区段复合交错角 θ_x 达到最大值 90° ,最大程度地避免两区段间土壤相向抛撒时的夹带堵塞。由图 6 中旋耕刀排列关系得出:

$$\begin{cases} \beta_1 = \arctan \frac{360 L_x}{2 \theta_1 \cdot \pi \cdot d_x} \\ \beta_2 = \arctan \frac{360 L_x}{\theta_2 \cdot \pi \cdot d_x} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, d_x 为刀辊直径,为 70 mm。根据本文“1.3 耕作部件空间布局设计原则”确定的反转旋耕刀辊与开畦沟后犁间的空间布局设计原则有:

$$\begin{cases} W_m < W_x + 2 W_b \\ W_x = (n-1) \cdot L_x + 2b \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中, W_x 为刀辊工作幅宽,mm; W_b 为畦沟的沟底宽度,为 300 mm。在满足式(6)的基础上,考虑到旋耕刀切土时对垡片侧壁土壤的撕裂作用,取刀座安装间距 L_x 为 81 mm,可在保证碎土质量的基础上进一步减少刀座间的夹带堵塞。代入式(5)计算得:区段 I 长度为 1 439 mm,刀座排列螺旋线升角 β_1 为 73° ;区段 II 长度为 262 mm,刀座排列螺旋线升角 β_2 为 66° ,基本对应驱动圆盘犁组与开畦沟前犁的动土幅宽范围,满足设计要求。

1.6 犁旋工作参数匹配

1)速度参数匹配。整理机作业时,驱动圆盘犁组与反转旋耕刀辊的绝对运动都是由机组的前进运动与其自身的回转运动复合而成,机组前进速度一方面需与犁组转速相适应,以保证翻土埋茬效果,另一方面需要与旋耕转速相匹配,以保证碎土混茬质量。参考文献[20],其匹配关系定义为速比系数,满足:

$$\begin{cases} \frac{1}{\cos \alpha} \leq \lambda_y \leq \frac{R_y}{(R_y - a_y)} \\ \lambda_x = \frac{2\pi \cdot R_x}{z \cdot S} \end{cases} \quad (7)$$

其中:

$$\begin{cases} \lambda_y = \frac{2\pi n_y \cdot R_y}{60 v_m} \\ \lambda_x = \frac{2\pi n_x \cdot R_x}{60 v_m} \end{cases} \quad (8)$$

式(7)~(8)中, λ_y 为犁组速比系数; λ_x 为旋耕速比系数; n_y 为犁组转速,r/min; n_x 为旋耕转速,r/min; z 为任一切土小区内旋耕刀安装数量,为 2; R_x 为旋耕刀回转半径,为 245 mm; S 为旋耕切土节距,mm。

为便于齿轮箱的传动比选配,定义犁旋回转速度比为旋耕转速与犁组转速之比,即:

$$\lambda_\theta = \frac{n_x}{n_y} \quad (9)$$

联立式(7)~(9),则有:

$$R_y - a_y \leq \frac{\lambda_\theta}{\pi \cdot \cos \alpha} \leq R_y \quad (10)$$

由式(10)可知,当驱动圆盘犁组结构参数一定时,犁旋回转速度比 λ_θ 与旋耕切土节距 S 成反比关系,两者共同决定着机组前进速度 v_m 能否满足整理机作业要求。考虑到犁翻作业主要基于对土壤的滑切与撕扯,为满足稻茬田直播油菜对碎土质量的要求,设计驱动犁旋回转速度比 λ_θ 为 3,对应旋耕切土节距的理论最大值为 94 mm;以 540、750 r/min 为配套机组转速挡位,驱动圆盘犁速度参数参考文献[21],分析确定驱动圆盘转速 n_y 为 94~131 r/min,对应旋耕转速 n_x 为 282~393 r/min,机组前进速度 v_m 为 1.72~4.40 km/h。

2)耕深参数匹配。整理机作业时,驱动圆盘犁组与反转旋耕刀辊顺次加工种床,为提高秸秆混埋效果,需结合犁翻作业后起土高度对旋耕耕深进行匹配设计(图 7)。

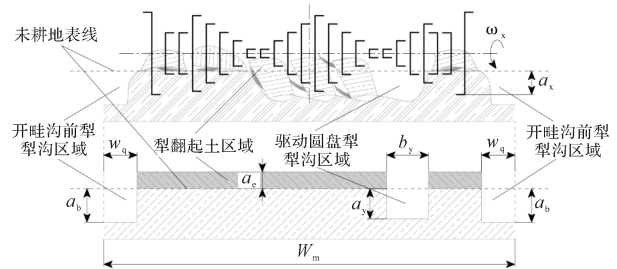


图 7 犁翻作业后的旋耕实际耕深

Fig.7 Rotary tillage depth in field after ploughing operation

如图7所示,旋耕实际耕深由旋耕设计耕深 a_x 与犁翻起土高度 a_e 共同组成,考虑到犁翻作业后厢面内土壤起伏不平,为近似求解犁翻作业起土高度,假设犁沟内的土壤被均匀分配至厢面内,由于沟内土壤在作业前后总量不变,理论上犁沟区域截断面面积与犁翻起土区域截断面面积相等,即有:

$$a_e \cdot (W_m - 2w_f - b_y) = \kappa \cdot (a_y \cdot b_y + 2w_f \cdot a_f) \quad (11)$$

式(11)中, w_f 为开畦沟前犁犁沟宽度,230 mm; a_f 为开畦沟前犁犁沟深度,200 mm; a_f 为考虑残茬堆积的耕深修正系数,取1.2。

根据潜土作业条件,犁旋垂直耕深差 a_θ 需满足:

$$a_y - a_\theta + a_e \geq R_x \quad (12)$$

联立式(11)、(12)得:犁旋垂直耕深差 a_θ 的理论最大值为27 mm,为便于装配定位,取 a_θ 为30 mm,满足耕后沟底土埂高度不超过其耕深20%的农艺要求,此时对应旋耕耕深范围为120~150 mm。

表2 试验工况划分

Table 2 Test conditions division

田块编号 Field number	土壤含水率/% Soil moisture	秸秆留茬高度/mm Straw stubble height	浮草处理方式 Floating grass treatment method	试验工况编号 Test condition number
I	26.3	218	A	1
	26.3	218	B	2
II	26.3	385	A	3
	26.3	385	B	4
III	34.8	281	A	5
	34.8	281	B	6
	34.8	377	A	7
	34.8	377	B	8

注:Note A:浮草离田 Remove floating grass; B:浮草成条状 The floating grass is in strip shape.

1.8 试验方法与指标

田间试验时,调节拖拉机液压提升臂与悬挂上拉杆长度,控制驱动圆盘犁耕深为180 mm,对应旋耕耕深为150 mm,开畦沟深度为200 mm;调节拖拉机前进挡位与转速挡位,控制机组前进速度为2.09 km/h,驱动圆盘犁转速为131 r/min,对应旋耕转速为393 r/min。考虑到国内暂无针对犁旋联合作业机具的试验方法与作业标准,参考JB/T 10287—2015《驱动圆盘犁》^[22]、NY/T 499—2013《旋耕机 作业质量》^[23]以及NY/T 740—2003《田间开沟机械 作业质量》^[24]中规定的试验方法,以40 m为每行程机组直线作业距离,取中间20 m作为稳定测量区,对整理机作业质量进行测试。试验指标包括:种床的耕深及其稳定性系数、畦沟的沟深及

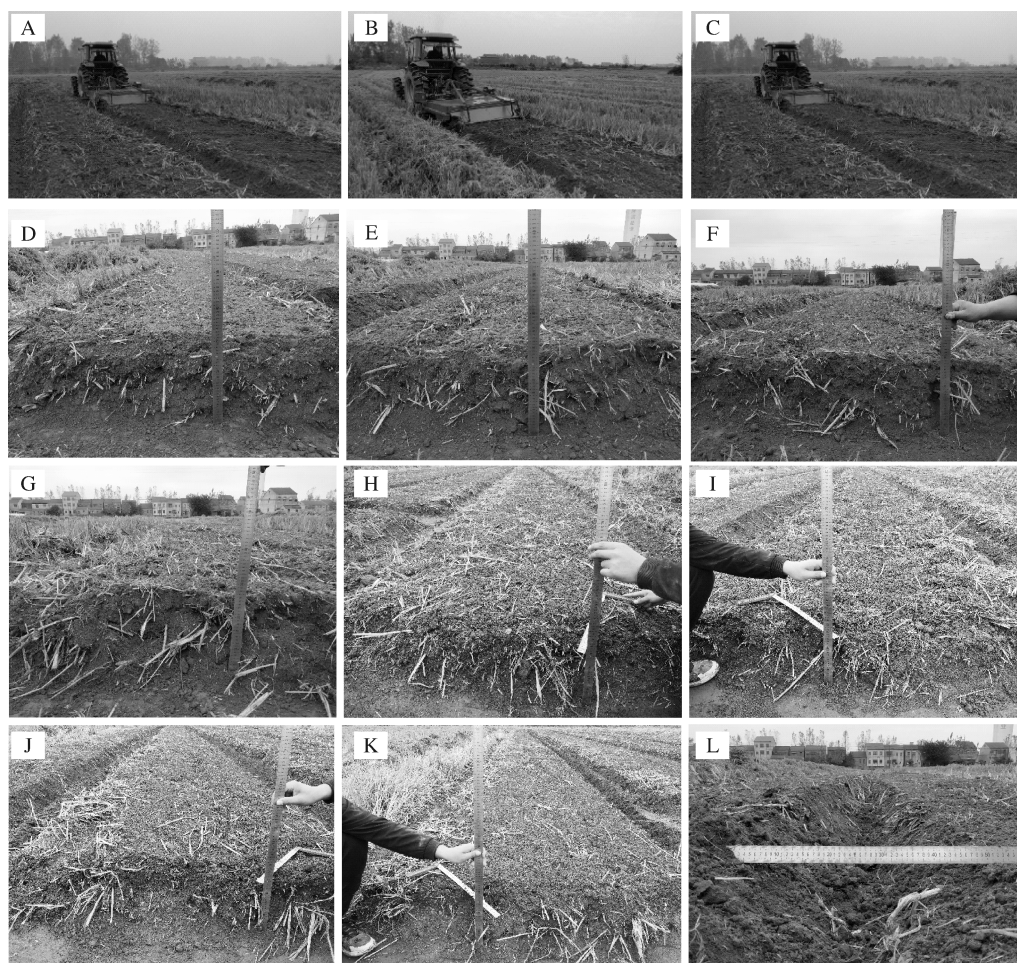
1.7 田间试验工况与仪器

田间试验于2019年11月16日至2019年11月17日在荆州市监利县五岭村进行,共选用3块农用水稻田作为试验用地,其土壤类型为粉质黏壤土,试验前地表平均秸秆留存量为1.43 kg/m²,0~20 cm耕层内平均土壤坚实度为807.2 kPa、平均土壤容重为1.21 g/cm³。为检验所设计整理机在多变工况下的作业性能及作业适应性,在原有地表留茬分布与试验期间雨水影响的基础上,对部分田块地表浮草作离田处理,将3块试验田按秸秆留茬高度、土壤含水率以及浮草处理方式划分为如表2所示的8种试验工况。试验设备包括:东风井关T954型拖拉机、驱动犁翻与反转旋耕组合式油菜直播种床整理机、TJSD-750型数显土壤坚实度测定仪(浙江托普云农科技股份有限公司,精度±0.005% FS)、TZS-2X型土壤水分记录仪(浙江托普云农科技股份有限公司,精度±2%)、电子天平、磁性水平尺、0.5 m×0.5 m自制方框、卷尺、钢尺等。

其稳定性系数、畦沟的沟宽及其稳定性系数、厢面平整度、种床碎土率以及秸秆埋覆率。

2 结果与分析

整理机田间试验效果如图8所示,结果如表3所示。通过对比测试结果与评价标准可知:整理机作业质量良好,各项指标均值基本达到标准要求。其中,种床耕深、畦沟沟深、畦沟沟宽、厢面平整度、种床碎土率以及秸秆埋覆率的均值分别为173.2 mm、190.2 mm、401.4 mm、11.6 mm、95.9%和90.2%;种床的耕深稳定性系数、畦沟的沟深稳定性系数以及畦沟的沟宽稳定性系数的均值分别为85.6%、86.7%和84.6%,满足油菜机械化直播种床整理农艺要求。



A:田块 I Field I ; B:田块 II Field II ; C:田块 III Field III ; D:工况 1 耕层断面图 Cultivated layer of section 1; E:工况 2 耕层断面图 Cultivated layer of section 2; F:工况 3 耕层断面图 Cultivated layer of section 3; G:工况 4 耕层断面图 Cultivated layer of section 4; H:工况 5 耕层断面图 Cultivated layer of section 5; I:工况 6 耕层断面图 Cultivated layer of section 6; J:工况 7 耕层断面图 Cultivated layer of section 7; K:工况 8 耕层断面图 Cultivated layer of section 8; L:畦沟沟型断面图 Cultivated layer of ditch.

图 8 整理机田间试验效果

Fig.8 Effects of field experiment for preparation machine

表 3 油菜直播种床整理机田间试验结果

Table 3 Results of field experiment for preparation machine

试验工况编号 Test condition number	种床平均 耕深/mm Average tillage depth of seedbed	种床耕深稳 定性系数/% Stability coefficient of seedbed tillage depth	畦沟平均 沟深/mm Average ditch depth	畦沟沟深 稳定性 系数/% Stability coefficient of ditch depth	畦沟平均 沟宽/mm Average ditch width	畦沟沟宽 稳定性 系数/% Stability coefficient of ditch width	厢面平 整度/% Flatness	种床碎 土率/% Seedbed broken soil rate	秸秆埋 覆率/% Straw burial rate
1	182.4	90.5	201.4	91.8	397.2	88.5	8.4	98.2	93.2
2	173.4	85.1	190.2	86.6	389.4	84.9	9.8	96.9	91.8
3	173.6	87.7	186.7	86.3	390.3	87.4	10.4	96.7	92.4
4	155.2	82.9	170.8	82.9	384.4	82.3	11.9	94.8	87.5
5	184.2	88.5	209.2	90.8	428.9	86.5	11.3	96.9	92.1
6	176.8	81.8	193.6	84.3	416.7	81.7	13.2	95.7	89.2
7	179.0	86.6	191.0	87.2	408.1	84.9	12.6	94.1	89.4
8	161.2	81.7	178.4	83.4	396.8	80.6	14.2	93.8	86.2
均值 Mean	173.2	85.6	190.2	86.7	401.4	84.6	11.6	95.9	90.2
标准 Standard	150~200	≥80	150~300	≥80	200~400	≥80	≤40	≥60	≥75

3 讨 论

本研究提出了适应于油菜种植的“犁组左翻埋茬、刀辊反转碎土、犁铧两侧开沟”的高质种床整理工艺方案,并研制了一种驱动犁翻与反转旋耕组合式油菜直播种床整理机,该机集成犁翻、旋耕、开畦沟等传统耕作技术,实现了厢面平整、种床细碎、秸秆还田、开沟作畦等功能,构建了适宜直播油菜生长的合理耕层结构。本研究分析确定了驱动圆盘犁组与反转旋耕刀辊的结构参数与工作参数,主要包括:犁组工作偏角为 27° ,犁片安装间距为280 mm,驱动圆盘犁耕深为150~180 mm,驱动圆盘犁转速为94~131 r/min,犁旋垂直耕深差为30 mm,犁旋回转速度比为3,满足油菜直播种床的碎土质量与埋茬效果的要求。田间试验表明,该机作业后的种床耕深、畦沟沟深、畦沟沟宽、厢面平整度、种床碎土率以及秸秆埋覆率的均值分别为173.2 mm、190.2 mm、401.4 mm、11.6 mm、95.9%和90.2%,种床耕深稳定性系数、畦沟的沟深稳定性系数和沟宽稳定性系数的均值分别为85.6%、86.7%和84.6%,满足油菜机械化直播种床整理农艺要求。本研究仅开展了整理机在同一工作参数条件下的作业质量试验,整理机的作业功耗及不同地区土壤条件下的作业适应性还有待进一步研究。为进一步提高机组的作业适应性,后续可从机组平衡角度出发开展结构改进并结合秸秆还田的要求优化种床整理工艺方案。

参考文献 References

- [1] 王汉中.以新需求为导向的油菜产业发展战略[J].中国油料作物学报,2018,40(5):613-617.WANG H Z.New-demand oriented oilseed rape industry developing strategy[J].Chinese journal of oil crop sciences,2018,40(5):613-617(in Chinese with English abstract).
- [2] 廖庆喜,雷小龙,廖宜涛,等.油菜精量播种技术研究进展[J].农业机械学报,2017,48(9):1-16.LIAO Q X,LEI X L,LIAO Y T,et al.Research progress of precision seeding for rapeseed [J].Transactions of the Chinese society of agricultural machinery,2017,48(9):1-16(in Chinese with English abstract).
- [3] 吴崇友.稻-油(麦)轮作机械化技术[M].北京:中国农业出版社,2013.WU C Y.Mechanization technology of rice-oil (wheat) rotation[M].Beijing:China Agriculture Press,2013(in Chinese).
- [4] 张青松,廖庆喜,肖文立,等.油菜种植耕整地技术装备研究与发展[J].中国油料作物学报,2018,40(5):702-711.ZHANG Q S,LIAO Q X,XIAO W L,et al.Research process of tillage technology and equipment for rapeseed growing [J].Chinese journal of oil crop sciences,2018,40(5):702-711(in Chinese with English abstract).
- [5] 张青松,汲文峰,廖宜涛,等.油菜直播机铧式开畦沟前犁曲面分析与阻力特性试验[J].农业机械学报,2014,45(2):130-135.ZHANG Q S,JI W F,LIAO Y T,et al.Surface analysis and resistance characteristics experiment on ditch plow ahead of direct rapeseed seeder [J].Transactions of the Chinese society for agricultural machinery,2014,45(2):130-135(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘晓鹏,肖文立,马磊,等.油菜联合直播机组式船型开沟器设计与开沟质量试验[J].农业机械学报,2017,48(11):79-87.LIU X P,XIAO W L,MA L,et al.Design and ditching quality experiment on combined ship type opener of direct rapeseed seeder[J].Transactions of the Chinese society for agricultural machinery,2017,48(11):79-87(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘晓鹏,张青松,肖文立,等.稻油轮作区驱动圆盘犁对置组合式耕整机设计与试验[J].农业机械学报,2017,48(12):33-41.LIU X P,ZHANG Q S,XIAO W L,et al.Design and experiment on symmetrical driven disc plows combined tillage machine for rice-rapeseed rotation area[J].Transactions of the Chinese society for agricultural machinery,2017,48(12):33-41(in Chinese with English abstract).
- [8] 祝英豪,张居敏,曾荣,等.人字型水旱两用旋埋刀辊设计与试验[J].农业机械学报,2019,50(4):49-57.ZHU Y H,ZHANG J M,ZENG R,et al.Design and experiment of herringbone type rotary blade roller for burying stubble in paddy field and dry land[J].Transactions of the Chinese society for agricultural machinery,2019,50(4):49-57(in Chinese with English abstract).
- [9] 马磊,廖庆喜,魏国梁,等.油菜联合直播机种床松旋装置设计与试验[J].华中农业大学学报,2019,38(6):132-138.MA L,LIAO Q X,WEI G L,et al.Design and test of seedbed subsoiling and rotating device for rapeseed combined planter [J].Journal of Huazhong Agricultural University,2019,38(6):132-138(in Chinese with English abstract).
- [10] 秦宽,丁为民,方志超,等.犁翻旋耕复式作业耕整机的设计与试验[J].农业工程学报,2016,32(16):7-16.QIN K,DING W M,FANG Z C,et al.Design and experiment of plowing and rotary tillage combined machine[J].Transactions of the Chinese society of agricultural engineering,2016,32(16):7-16(in Chinese with English abstract).

- [11] 郑侃,何进,李洪文,等.反旋深松联合作业耕整机设计与试验[J].农业机械学报,2017,48(8):61-71.ZHENG K, HE J, LI H W, et al. Design and experiment of combined tillage implement of reverse-rotary and subsoiling[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural machinery, 2017, 48(8): 61-71 (in Chinese with English abstract).
- [12] 肖文芳,舒彩霞,廖庆喜,等.犁旋组合式稻茬全量还田油菜直播种床整理机设计与试验[J].华中农业大学学报,2019,38(6):139-146.XIAO W F, SHU C X, LIAO Q X, et al. Design and test of tillage machine combined with plough and rotary for managing seedbed before planting rapeseed by burying of rice straw incorporated into soil[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(6): 139-146 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陈青春,石勇,丁启朔,等.正反转旋耕作业的秸秆混埋效果比较[J].农业工程学报,2015,31(9):13-18.CHEN Q C, SHI Y, DING Q S, et al. Comparison of straw incorporation effect with down-cut and up-cut rotary tillage[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2015, 31(9): 13-18 (in Chinese with English abstract).
- [14] 郭俊,姬长英,方会敏,等.正反转旋耕后土壤和秸秆位移试验分析[J].农业机械学报,2016,47(5):21-26.GUO J, JI C Y, FANG H M, et al. Experimental analysis of soil and straw displacement after up-cut and down-cut rotary tillage[J]. Transactions of the Chinese society for agricultural machinery, 2016, 47(5): 21-26 (in Chinese with English abstract).
- [15] 方文熙,朱亨银.驱动式圆盘犁的现状与发展[J].福建农业大学学报,1998(3):105-109.FANG W X, ZHU H Y. The present situation and development of driving disk-plow[J]. Journal of Fujian Agricultural University, 1998(3): 105-109 (in Chinese with English abstract).
- [16] 廖庆喜.油菜生产机械化技术[M].北京:科学出版社,2018.LIAO Q X. Rapeseed mechanized production technology [M]. Beijing: Science Press, 2018 (in Chinese).
- [17] 张性雄,方文熙.驱动式圆盘犁的耕作深度[J].福建农业大学学报,1995(4):470-474.ZHANG X X, FANG W X. Tilth depth of driving disk-plow[J]. Journal of Fujian Agricultural University, 1995(4): 470-474 (in Chinese with English abstract).
- [18] 方文熙,张性雄.驱动式圆盘犁的工作参数分析[J].福建农学院学报,1991(4):468-474.FANG W X, ZHANG X X. Analysis on the operation parameters of power disk-plow[J]. Journal of Fujian Agricultural College, 1991(04): 468-474 (in Chinese with English abstract).
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.旋耕机械 刀与刀座:GB/T 5669—2008[S].北京:中国标准出版社,2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, State Administration of Standardization of China. Rotary tillage machine knife and knife holder: GB/T 5669-2008 [S]. Beijing: China Standard Press, 2008 (in Chinese).
- [20] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册:上册[M].北京:中国农业机械出版社,2007. China Academy of Agricultural Mechanization Sciences. Handbook of agricultural machinery design: Volume I [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007 (in Chinese).
- [21] 张性雄,方文熙.速度参数对驱动式圆盘犁动力特性的影响[J].农业工程学报,1992,8(2):88-94.ZHANG X X, FANG W X. The effect of speed coefficient on the power characteristics of driving disk plow[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 1992, 8(2): 88-94 (in Chinese with English abstract).
- [22] 中华人民共和国工业和信息化部.圆盘犁:JB/T 10287—2015[S].北京:机械工业出版社,2016. Ministry of Industry and Information of the People's Republic of China. Disc plough: JB/T 10287—2015 [S]. Beijing: China Machine Press, 2016 (in Chinese).
- [23] 中华人民共和国农业部.旋耕机作业质量:NY/T 499—2002[S].北京:中国标准出版社,2002. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Operating quality for rotary tillers: NY/T 499—2002 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002 (in Chinese).
- [24] 中华人民共和国农业部.田间开沟机械作业质量:NY/T 740—2003[S].北京:中国标准出版社,2004. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Field operation quality of ditches: NY/T 740—2003 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004 (in Chinese).

Design and field test of rapeseed direct-seeding seedbed preparation machine combined driving type disc ploughing with reverse rotary tilling

SUN Wencheng¹, LIAO Qingxi^{1,2}, ZHANG Qingsong^{1,2}, BU Xiangli¹, WEI Guoliang¹, HE Kun¹

1.College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2.Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-Lower Yangtze River, Wuhan 430070, China

Abstract A kind of seedbed preparation technology scheme consisted of “left-turn disc plough group burying stubble, reverse rotary knife roll crushing soil, side mounted plough ditching furrow” was put forward to resolve the working conditions of high rice stubble, heavy soil adhesion and large fluctuation of water content in the rice-rapeseed rotation area and the production practice that the single function tillage machine is not conducive to scramble for farming time and compacts soil as it repeatedly works in the fields. A kind of rapeseed direct-seeding seedbed preparation machine combined driving type disc ploughing with reverse rotary tilling was designed. The machine is mainly composed of driving disc plough group, reverse rotary blade roller, front ditch plough and rear ditch plough and soil-flated plate, which can realize the functions of surface flatting, seedbed crushing, straw burying and furrow ditching. The spatial layout design principle of each tillage part was analyzed. The structure and working parameters of the driving type disc plough group and the counter-rotating cutter roller were determined. The result of field test showed that the average value of tillage depth, furrow depth, furrow width, compartment flatness, the rate of soil pulverizing and straw burying in seedbed after preparation machine operation was 173.2 mm, 190.2 mm, 401.4 mm, 11.6 mm, 95.9% and 90.2%, respectively. The average value of stability coefficient of tillage depth, furrow depth and furrow width was 85.6%, 86.7% and 84.6%, respectively. It can meet the agronomic requirements of seedbed preparation for rapeseed mechanized direct-seeding.

Keywords rapeseed direct-seeding; seedbed preparation; combined tillage machine; driving type disc ploughing; disc plough; reverse rotary tilling; rice-rapeseed rotation; combined operation

(责任编辑:陆文昌)