

油菜直播机深浅旋组合式种床整备装置的设计与试验

张青松 肖文立 廖庆喜 丁幼春 廖宜涛 万国伟 周 洋

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 为降低油菜直播机作业功耗,设计一种深浅旋组合式种床整备装置。该装置旋耕弯刀采用多区段双头螺旋线对称排列安装方式,作业时将厢面分为交错排列的种床带和灭茬带,实现种床带深旋播种、灭茬带浅旋灭茬的功能。结合油菜种植农艺要求,确定种床带和灭茬带主要设计参数和刀片的整体排列方式。田间试验表明,在试验工况一致前提下,直播机作业幅宽全旋耕作业功耗占直播机耕整部件功耗的 72.53%~82.20%;与油菜直播机作业幅宽全旋耕相比,深浅旋组合式种床整备装置作业功耗减少 14.13%~18.04%,其作业质量指标中植被埋覆率、碎土率及耕后地表平整度仍满足旋耕作业标准要求;对安装有深浅旋组合式种床整备装置的直播机作业后的厢面进行地表轮廓分析,所得厢面平整,畦沟沟型稳定。研究结果表明,深浅旋组合式种床整备装置能有效降低直播机整机作业功耗,为直播机整机结构改进和作业功耗优化提供参考。

关键词 油菜直播机;旋耕作业;种床整备;深浅旋组合;作业功耗

中图分类号 S 222.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)04-0121-08

长江中下游油菜种植前茬作物一般为水稻,作业时地表通常进行全部旋耕作业。种床整备装置是 2BFQ-6 型油菜直播机的关键部件,其结构直接影响直播机作业功耗、作业效率、种床整备质量及油菜生长发育状况^[1]。种床整备装置设计主要包括旋耕弯刀结构设计、刀片安装排列方式及作业参数等方面^[2-5]。目前,为降低种床整备装置作业功耗、提高作业质量,国内外学者针对旋耕弯刀结构参数优化及旋耕弯刀安装排列方式,通过仿真试验^[6-9]、土槽试验^[10-11]及田间试验^[12-14]等进行了大量研究。2BFQ-6 型油菜直播机进行作业幅宽全旋耕,一次作业可以获得满足油菜种植农艺要求的厢面。厢面油菜种子发芽生长区域(以下简称种床带),需进行灭茬除草和应具有适宜的细碎土壤量及松碎土层深度,为油菜种子发芽生长提供良好条件;厢面非油菜种子发芽生长区域(以下简称灭茬带),相较于种床带,旋耕作业时,对细碎土壤量及松碎土层深度要求可相对降低,只需灭茬除草,防止杂草等生长对油菜种子发芽生长的影响。根据 2BFQ-6 型油菜直播机作业幅宽全旋耕设计要求,直播机旋耕刀辊刀轴上

都安装回转半径为 245 mm 的旋耕弯刀,进行全幅宽旋耕作业时灭茬带与种床带耕作深度一致,功耗较大。因此,优化直播机种床整备装置,有助于降低直播机整机作业功耗。针对全幅宽旋耕作业功耗较大的问题,研究设计一种油菜直播机深浅旋组合式种床整备装置,实现在种床带深旋播种,在灭茬带浅旋灭茬功能,并通过田间对比试验,考察该装置能否有效降低整机作业功耗以及能否满足油菜种植农艺要求,为直播机整机结构改进和作业功耗优化提供参考。

1 结构设计与分析

1.1 总体结构及工作原理

油菜直播机种床整备装置对称布置在油菜直播机中央齿轮箱两侧,作业幅宽为 2 m,转速为 386 r/min,通过高速旋转,种床整备装置切断稻茬、杂草茎秆及根系,切碎土壤,一次作业形成适合油菜播种的厢面。全幅宽旋耕作业全部安装回转半径为 245 mm 旋耕弯刀,左右刀辊各 22 把,其中左旋弯刀及右旋弯刀各 11 把,弯刀按双头螺旋线排列^[15]。

收稿日期: 2015-12-08

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503118-06); 华中农业大学博士研究生创新研究工程项目(2014bs34)

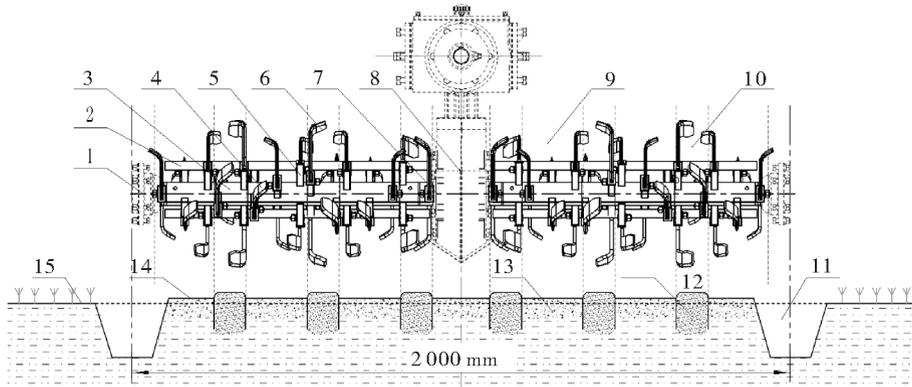
张青松, 博士研究生, 研究方向: 农业装备设计与测控. E-mail: gxzqs2011@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 廖庆喜, 教授, 研究方向: 油菜机械化生产技术与装备. E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

因此,需要对旋耕刀辊进行重新设计,按照作业要求,旋耕弯刀以多区段双螺旋线对称方式排列,均分布在刀轴周向上,使刀轴受力平稳及转动平衡。深浅旋组合式种床整备装置结构及作业示意图如图 1。该装置刀辊刀轴一头通过花键连接于齿轮箱底部动力输出轴,为种床整备装置提供动力。单侧装置由刀辊刀轴、刀座、旋耕弯刀及防缠草板组成。根据设计要求,旋耕刀辊刀轴上安装有 2 种类型旋耕弯刀,旋耕弯刀按照多区段双螺旋线对称排

列方式安装,形成交错排列的种床带与灭茬带各 3 个。

田间作业时,通过拖拉机后动力输出轴带动种床整备装置旋转,在种床带深旋播种,为幼苗生长提供适宜种床,在灭茬带浅旋灭茬,切断稻茬及杂草根系。同时,由安装在旋耕刀辊两侧的开畦沟系统作业出厢面两侧畦沟及由安装在旋耕刀辊后面的仿形拖板平整压实厢面,形成最终满足油菜种植农艺要求的整洁畦沟及平整厢面。



1.刀辊轴承座 Bearing house of blades axis; 2.防缠草板 Anti-twining weed bar; 3.刀辊刀轴 Blades axis; 4.灭茬带旋耕弯刀 Blades of stubble-chopping strip; 5.刀座 Blades house; 6.种床带旋耕弯刀 Blades of seed bed strip; 7.齿轮箱动力输出轴 PTO axis of gear box; 8.中央齿轮箱 Gear box; 9.灭茬带旋耕刀组 Installing area of stubble-chopping strip blades; 10.种床带旋耕刀组 Installing area of seed bed strip blades; 11.畦沟 Ditch furrow; 12.种床带 Seed bed strip; 13.灭茬带 Stubble-chopping strip; 14.耕后地表 Surface after tillage; 15.耕前地表 Surface before tillage.

图 1 深浅旋组合式种床整备装置及作业示意图

Fig.1 Deep-shallow rotary tillage device and operation effect

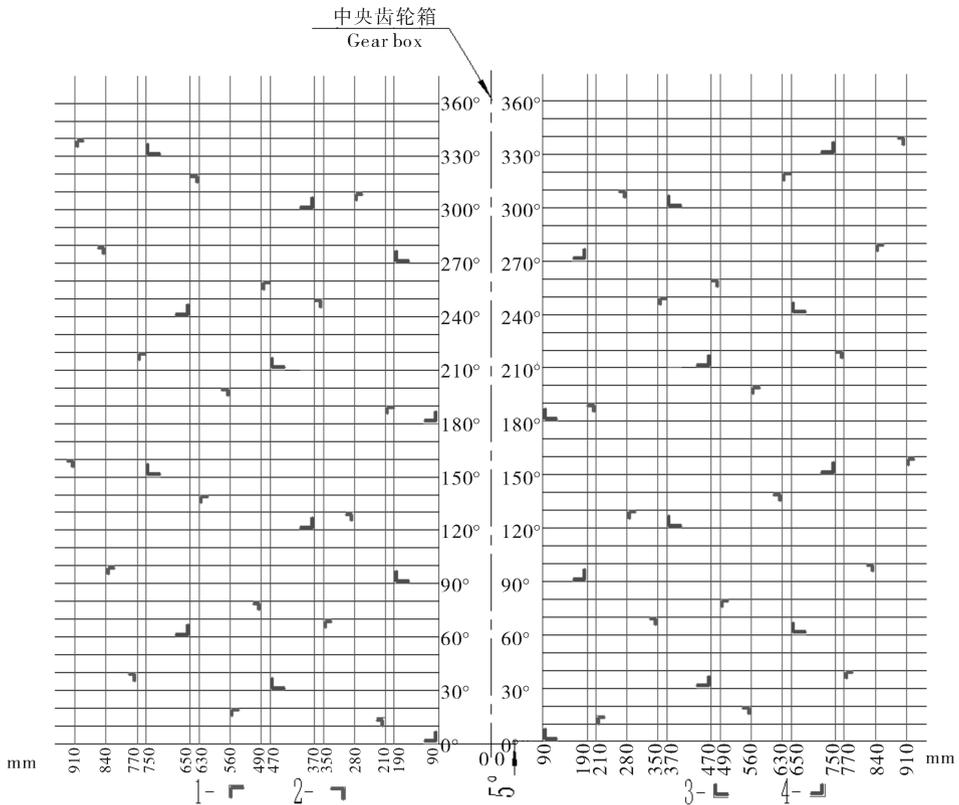
1.2 刀片排布

种床带主要提供适合油菜生长发育的良好着床环境,宽度为 100 mm,旋耕作业深度为 110 mm。作业时,为使种床带具有充足的细碎土壤及松碎土层深度和尽量消除旋耕弯刀轴向侧推土壤效应,结合油菜种植农艺要求,在种床带安装 4 把回转半径为 245 mm 的旋耕弯刀,均布在旋耕刀轴上,其中左旋弯刀及右旋弯刀各 2 把。每个种床带包含 2 个切土小区,每个切土小区旋耕弯刀同向且指向种床带,使旋耕作业时土壤尽量往种床带堆积,保证种床带细碎土壤量,从而尽量减少往灭茬带窜动的土量。旋耕弯刀均布在刀轴上,使刀轴周向质量分布均匀,转动平稳。

灭茬带主要旋耕作业除掉稻茬根茬及杂草,防止杂草等生长影响油菜幼苗生长发育,宽度为 180 mm,旋耕作业深度为 60 mm。作业时,为减少旋耕过程中漏切、重切现象,同时消除旋耕弯刀轴向侧推

土壤效应,结合农艺及装置设计要求,在灭茬带安装 6 把回转半径为 195 mm 的旋耕弯刀,均布在旋耕刀轴上,其中左旋弯刀及右旋弯刀各 3 把。每个灭茬带包含 3 个切土小区,每个切土小区安装 2 把旋向相异的旋耕弯刀,使作业时左旋及右旋弯刀依次入土,使刀轴载荷及转动平稳。

刀片整体按照多区段双螺旋线对称方式排列,为使种床整备装置作业时整体负荷变化均匀,冲击载荷及转动平稳性好,对种床带及灭茬带旋耕弯刀排列方式进行整体设计,旋耕弯刀安装周向展开图如图 2 所示,横坐标表示距厢面中轴线距离,纵坐标表示刀轴周向展开相位角。以耕幅中分面为基准,从耕幅中分面开始,从近到远,依次为种床带旋耕刀组、灭茬带旋耕刀组各 3 个。其中相邻种床带旋耕刀组间的轴向距离为 180 mm,相邻灭茬带旋耕刀组间轴向距离为 100 mm。左右两边种床整备装置关于耕幅中分面对称布置,周向夹角为 5° 。



1.灭茬带左旋耕弯刀 Left rotary blades of stubble-chopping strip; 2.灭茬带右旋耕弯刀 Right rotary blades of stubble-chopping strip; 3.种床带左旋耕弯刀 Left rotary blades of seed bed strip; 4.种床带右旋耕弯刀 Right rotary blades of seed bed strip.

图 2 深浅旋组合式种床整备装置整体刀片排列示意图

Fig.2 Blades arrangement of deep-shallow rotary tillage device

2 田间试验

种床整备装置是直播机种床整理的核心部件，不同结构的种床整备装置对直播机的作业功耗、种床整理作业质量都会产生影响。直播机耕整地作业主要由 2 个部件组成，开畦沟系统及种床整备装置，其作业功耗可以分别通过测量直播机牵引功耗及旋耕作业功耗获得。为研究旋耕作业功耗所占直播机耕整地功耗比例及深浅旋组合式种床整备装置的相关作业效果，在同一块试验田开展直播机深浅旋组合式种床整备装置及作业全幅宽旋耕田间对比试验。试验前通过预试验明确后悬挂液压手柄位置与直播机耕深关系，并测得在预定耕深时拖拉机各试验挡位的前进速度。试验地点为华中农业大学现代农业科技试验基地，选取地表平整、稻茬均匀分布的地块作为试验区域。试验动力为 62.5 kW 东方红-LX854 拖拉机。试验地块土壤坚实度平均值为 917.21 kPa，土壤干基含水率平均值为 18.67%，稻茬平均高 453.6 mm，秸秆量平均为 1.37 kg/m²，含

水率 64.3%。

2.1 作业功耗

1) 功耗测试系统。牵引功耗 P_1 (单位, kW), 常用测试方法是通过测得直播机牵引拉力 F (单位, kN) 及作业速度 v (单位, m/s) 获得, 即 $P_1 = Fv$ 。旋耕作业功耗 P_2 (单位, kW), 常用测试方式是通过测量扭矩 M_e (单位, N·m) 及转速 n (单位, r/min) 获得, 即 $P_2 = M_e n / 9549$ 。因此, 在直播机作业过程中, 测得其作业牵引拉力 F 、作业速度 v 、旋耕扭矩 M_e 及转速 n , 即可获得其作业牵引功耗 P_1 及旋耕功耗 P_2 。试验所用的测试系统包括: ZH07-2000T 农机专用扭矩转速传感器, 扭矩量程为 2 000 N·m, 转速量程为 2 500 r/min, 综合精度 0.5%; 拉压力传感器, 量程 5 t, 综合精度 0.3%; NI USB-6212 采集卡, 美国 NI 公司生产; 笔记本电脑, 安装有 C++ 自行设计开发的数据采集及处理程序。田间试验时, 在直播机每个与拖拉机连接的悬挂点间安装 1 个拉压力传感器, 共安装 3 个; 直播机中央齿轮箱动力输入轴与农用万向节间安装扭矩转速传

感器(图 3)。拖拉机自身所带 12 V 直流电源向传感器供电,传感器信号由 NI USB-6212 采集卡采集。PC 电脑所安装的程序读取采集卡数据,该程序可实时显示所采集的拉压力、扭矩及转速值并同步进行保存。



1.东方红-LX854 拖拉机 Tractor LX854 of Dongfanghong; 2.农用万向节 Agricultural universal joint; 3.转矩转速传感器 Torque-rotary speed sensor; 4.拉压力传感器 Force sensor; 5.种床整备装置 Device for seedbed prepared; 6.开畦沟犁型 Ditch plow.

图 3 田间试验

Fig.3 Field test

2) 功耗测试方法。田间试验前调试好测试系统,并分别对安装有深浅旋组合式种床整备装置和作业幅宽全旋耕的油菜直播机进行试验。其中,只在安装有作业幅宽全旋耕的油菜直播机进行牵引功耗测试;对深浅旋组合式种床整备装置和作业幅宽全旋耕油菜直播机进行旋耕功耗试验时,直播机中只有旋耕装置不同,其他部件均相同。试验时根据前期试验结果,通过控制拖拉机后悬挂液压手柄位置使每次试验耕深为 110 mm,且拖拉机手油门置于最大位置以保证在相同挡位时拖拉机作业速度及动力输出轴转速相等。功耗试验时,作业速度 v 设置 3 个水平,分别为 0.45、0.70、0.86 m/s,对应的档位分别为慢一、慢二、慢三,每个速度水平重复 3 次。每次试验选取试验长度为 25 m、两头各 2.5 m 作为试验准备区域,中间 20 m 作为试验数据采集区域。

2.2 作业质量

1) 试验方法及指标。在功耗测试作业厢面进行作业质量测量,选取厢面中间 20 m 作为有效测量区域,测量作业质量指标有植被埋覆率、碎土率、耕后地表平整度。

2) 植被埋覆率 S_1 。利用 5 点取样法在功耗测试作业厢面选出 5 处 1 m^2 测量区域,收集旋耕作业

前测量区域地表秸秆质量 m_0 (单位, g) 及作业后裸露在测量区域地表上的秸秆质量 m_1 (单位, g)。植被埋覆率 S_1 为埋入土层内的秸秆质量与总秸秆质量的百分比,计算公式为 $S_1 = (1 - m_1/m_0) \times 100\%$, 5 处测量区域取平均值。

3) 碎土率 S_2 。利用 5 点取样法在功耗测试作业后厢面选取 5 处 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 测量区域,测定全耕层土块质量。测量旋耕作业后 A_1 类土块(最长边大于或等于 40 mm 的土块,质量记为 m_2 , g) 和 A_2 类土块(最长边边长小于 40 mm 的土块,质量记为 m_3 , g) 质量。碎土率 S_2 为 A_2 类土块质量占总土块质量的百分比,计算公式为 $S_2 = m_3/(m_2 + m_3) \times 100\%$, 5 处测量区域取平均值。

4) 耕后地表平整度 S_3 。在功耗测试作业后厢面沿机组前进方向选取 5 处等于耕宽的断面,在每个断面,用断面仪作 1 条水平线为基准线,将基准线均分为 10 份,在各等分点上作厢面垂直线并与厢面相交,测量各厢面交点到各等分点距离 d_i , mm, 如图 4 所示。耕后地表平整度 S_3 (单位, mm) 为各距

离 d_i 的标准差,计算公式为 $S_3 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$,

其中 n 为等分点个数, \bar{d} (单位, mm) 为每个断面各等分点距离 d_i 平均值, 5 处测试区域取平均值。其中为研究深浅旋组合式种床整备装置旋耕作业后地表轮廓(厢面及畦沟)起伏状况,对安装有深浅旋组合式种床整备装置的直播机,以慢 1 档为作业速度连续作业 4 厢后,取地表 1 点作为高度基准点,在耕宽方向,厢面区域每隔 100 mm 作 1 等分点,畦沟区域每隔 20 mm 作 1 等分点,在作业前进方向每隔 2 000 mm 作 1 等分点,作业前进方向共取 18 个等分点,即在长 36 m、宽 8 m 作业后地表进行网格划分,测量各等分点到厢面或者畦沟垂直距离 D_i 。

3 结果与分析

3.1 功耗

田间试验结果如表 1 所示,对安装有作业幅宽全旋耕的直播机牵引功耗及旋耕功耗进行分析,与旋耕作业功耗相比,虽然随着作业速度的增加,开畦沟系统作业功耗增幅较旋耕作业功耗增幅大,但在直播机正常作业速度范围内,开畦沟系统作业功耗只为旋耕系统作业功耗的 17.80%~27.47%,即旋耕系统占直播机整个耕整作业功耗的 72.53%~82.20%,

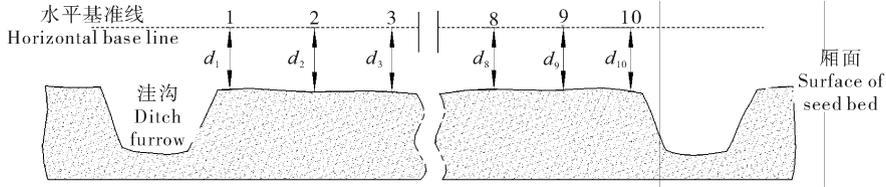


图 4 平整度测量示意图

Fig.4 Schematic diagram of flatness measurement

表明直播机耕整地作业过程中,作业幅宽全旋耕作业功耗所占比重较大。如降低旋耕作业功耗,可有效降低直播机整机作业功耗。

对分别安装有深浅旋组合式种床整备装置和作业幅宽全旋耕的油菜直播机旋耕功耗进行分析,深浅旋组合式种床整备装置和作业幅宽全旋耕的功耗随作业速度的增加而增大。拖拉机作业速度从 0.45 m/s 增加到 0.86 m/s 时,作业幅宽全旋耕作业功耗从 26.70 kW 增加到 39.10 kW;深浅旋组合式种床整备装置作业功耗从 21.88 kW 增加到 33.58 kW。根据文献[16]可知,2 种旋耕弯刀作业时切土节距相同和旋耕比阻相等。根据功耗计算公式估算作业幅宽全旋耕作业功耗 P_{21} 为:

$$P_{21} = 0.1K_{\lambda}v_m dB = 0.1K_{\lambda}v_m \times 11 \times 2 = 2.2K_{\lambda}v_m \quad (1)$$

深浅旋组合式种床整备装置作业功耗 P_{22} 为:

$$P_{22} = 0.1K_{\lambda}v_m dB = 0.1K_{\lambda}v_m \times 11 \times 0.1 \times 6 + 0.1K_{\lambda}v_m \times (11 - 5) \times (2 - 0.1 \times 6) = 1.5K_{\lambda}v_m \quad (2)$$

比值关系为:

$$k = P_{22}/P_{21} = 1.5K_{\lambda}v_m / 2.2K_{\lambda}v_m = 0.68 \quad (3)$$

其中, P_{21} 、 P_{22} 分别为作业幅宽全旋耕装置及深浅旋组合式种床整备装置作业功耗, kW; K_{λ} 为两旋耕装置旋耕比阻, N/cm²; v_m 为两装置作业前进速度, m/s; d 为两装置作业深度, cm; B 为两装置作业幅宽, m; k 为两装置作业功耗比值。

上述理论分析表明,深浅旋组合式种床整备装置作业功耗应为作业幅宽全旋耕作业功耗的 68%, 功耗减少 32%。田间试验表明,深浅旋组合式种床整备装置作业功耗为作业幅宽全旋耕的 81.96%~85.87%, 即在相同作业工况下,相较于作业幅宽全旋耕,深浅旋组合式种床整备装置功耗减少 14.13%~18.04%。由于旋耕系统作业功耗占整机作业功耗比例较大,表明减小深浅旋组合式种床整备装置灭茬带旋耕作业深度,有效地降低了整机作业功耗。

表 1 功耗分析

Table 1 Power consumption analysis

$v/(m/s)$	P_1/kW	P_{21}/kW	P_{22}/kW	$(P_1/P_2)/\%$	$k/\%$
0.45	4.75	26.70	21.88	17.80	81.96
0.70	7.92	31.83	26.76	24.80	84.05
0.86	10.74	39.10	33.58	27.47	85.87

3.2 作业质量

田间作业质量试验结果如表 2 所示,作业幅宽全旋耕和深浅旋组合式种床整备装置的植被埋覆率、碎土率及耕后地表平整度都随作业速度的提高而降低。当拖拉机速度从慢一档增加到慢三挡时,作业幅宽全旋耕及深浅旋组合式种床整备装置的植被埋覆率分别从 80.07%、72.32% 降到 72.86%、64.45%,碎土率分别从 73.46%、64.64% 降到 53.20%、50.94%,耕后地表平整度分别从 16.35、

22.12 mm 变为 21.23、29.37 mm。在同一作业速度下,深浅旋组合式种床整备装置的植被埋覆率、碎土率及耕后地表平整度都比作业幅宽全旋耕小,3 个作业指标分别平均下降 7.37、6.41、7.04 个百分点。由于试验地块土壤黏重板结,土壤团粒间粘结力较大,土块不易破碎,地表水稻秸秆成青绿色且秸秆量较大,稻茬较高,相较于田间杂草,水稻秸秆具有较强的韧性,不易切断,致使田间旋耕作业时,作业质量指标植被埋覆率、碎土率及耕后地表平整度值有

所降低。根据 GB/T 5668—2008 旋耕机作业标准, 地表平整度应小于 50 mm, 因此, 两装置各作业质量指标均满足标准要求, 作业效果如图 5 所示。

表 2 作业质量分析

Table 2 Operation quality analysis

$v / (\text{m/s})$	作业幅宽全旋耕 Full rotary tillage device			深浅旋组合式种床整备装置 Deep-shallow rotary tillage device			下降比例/% Descending ratio		
	$S_1 / \%$	$S_2 / \%$	S_3 / mm	$S_1 / \%$	$S_2 / \%$	S_3 / mm	S_1	S_2	S_3
0.45	80.07	73.46	16.35	72.32	64.64	22.12	9.68	12.01	35.29
0.70	76.84	66.41	18.73	70.88	58.25	25.93	7.76	12.29	38.44
0.86	72.86	53.20	21.23	64.45	50.94	29.37	11.54	4.25	38.34



A: 深浅旋组合式种床整备装置作业效果 Performance of deep-shallow rotary tillage device; B: 作业幅宽全旋耕装置作业效果 Performance of full rotary tillage device.

图 5 田间试验

Fig.5 Field test

深浅旋组合式种床整备装置和作业幅宽全旋耕刀辊转速、作业速度、种床带耕作深度及 2 种旋耕弯刀切土节距相等。由于深浅旋组合式种床整备装置作业时, 灭茬带安装的旋耕弯刀回转半径变小, 作业深度减小, 与作业幅宽全旋耕相比, 灭茬带区域旋耕深度减少, 扰动土壤量减少 32%, 整个作业后厢面松碎土壤明显减少。而所选试验地表稻茬较高, 平均高度为 453.6 mm, 秸秆量较大, 平均量为 1.37 kg/m², 同时水稻秸秆比较有韧性, 不易旋耕切断。当作业厢面松碎土壤量明显减少时, 没有足够的土壤量来覆盖大量秸秆, 从而使裸露在厢面表面的秸秆量增加, 植被埋覆率指标下降明显。对于碎土率指标, 就耕作前进方向土堡而言, 相较于回转半径较大的旋耕弯刀前方土堡, 在旋耕半径较小作业区域前方某土堡能够较晚地进入弯刀切削范围, 且切削

甩起后再次掉到弯刀回转打击区域的概率明显降低(回转打击区域面积较小), 从而使土堡与旋耕弯刀触时间较短, 被弯刀切削打击次数较少。同时由于种床带只占整个作业幅宽区域的 30%, 与作业幅宽全旋耕相比, 松碎土层整体大土堡增多, 使深浅旋组合式种床整备装置碎土率指标下降明显。由于碎土率指标的下降, 表明大土堡所占比例提高, 大土堡越多, 厢面横截面越高起伏不平, 从而导致地表平整度指标的下降。由于碎土率指标下降比较明显, 从而地表平整度指标下降也较明显。

对在由安装有深浅旋组合式种床整备装置的直播机连续 4 厢作业后的地表测量所获得的数据进行地表轮廓分析, 把数据坐标点值导入 Matlab 软件后, 进行去噪, 曲面拟合及平滑处理后, 获得作业厢面轮廓(图 6)。所得厢面平整, 畦沟沟型稳定。

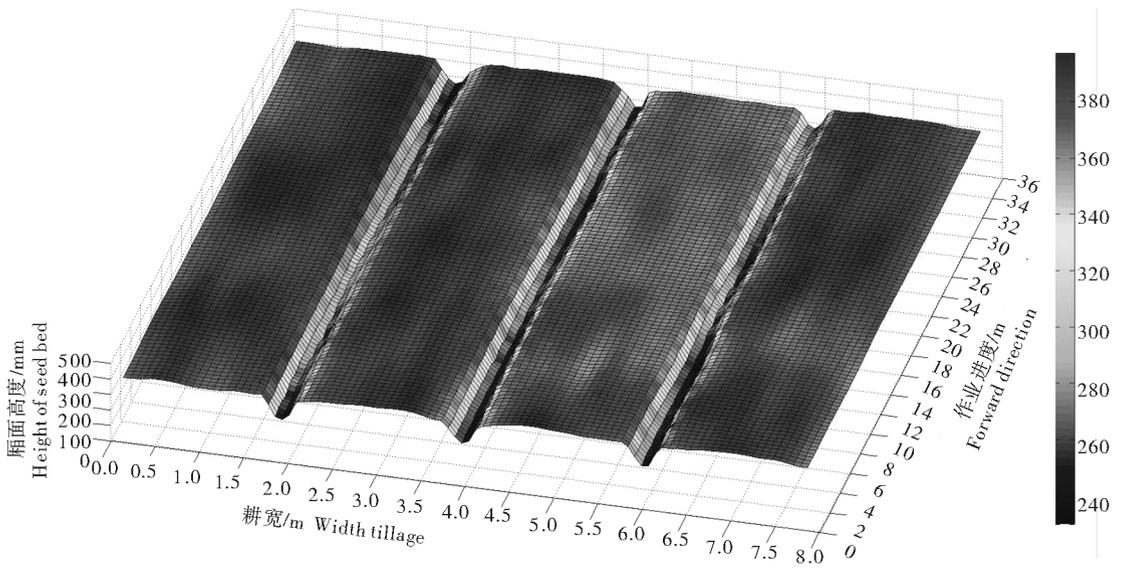


图6 深浅旋组合式种床整备装置田间作业厢面轮廓

Fig.6 Seed bed outline of field test result about deep-shallow rotary tillage device

4 讨论

研究设计了一种深浅旋组合式种床整备装置,该装置作业时把厢面分为交错排列的种床带及灭茬带,实现种床带深旋播种,灭茬带浅旋灭茬功能。对种床带及灭茬带主要设计参数进行分析并确定了刀片整体排列方式。田间试验表明,直播机作业时,作业幅宽全旋耕作业功耗占直播机整个耕整部件功耗的72.53%~82.20%,所占比例较大;在一定工况下,与作业幅宽全旋耕相比,当作业速度在0.45~0.86 m/s时,深浅旋组合式种床整备装置作业功耗减少14.13%~18.04%,可有效降低直播机整机作业功耗。通过理论分析,功耗应减少32%,这是由于实际作业时,直播机中央区域没有进行旋耕,开畦沟犁体作业区域与旋耕区域有一定重合,即这些区域在实际作业时没有改变作业深度,作业功耗未减少,即田间实际作业过程中,作业工况的复杂性导致实际测量与理论分析有一定误差。同时田间试验表明,与作业幅宽全旋耕相比,深浅旋组合式种床整备装置作业质量指标植被埋覆率、碎土率及耕后地表平整度仍满足旋耕作业标准要求;对由安装有深浅旋组合式种床整备装置的直播机作业后的厢面进行地表轮廓分析,所得厢面平整,畦沟沟型稳定。

参考文献

- [1] 田波平,廖庆喜,黄海东,等.2BFQ-6型油菜精量联合直播机的设计[J].农业机械学报,2008,39(10):211-213.
- [2] LEE K S, PARK S H, PARK W Y, et al. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dry land direct rice seeder[J]. Soil and tillage research, 2003, 71(1): 25-32.
- [3] MISZCZAK M. A torque evaluation for a rotary subsoiler[J]. Soil and tillage research, 2005, 84(1): 175-183.
- [4] JIA H, MA C, JIN T, et al. Study on universal blade rotor for rototilling and stubble-breaking machine[J]. Soil and tillage research, 2007, 94(1): 201-208.
- [5] KATAOKA T, SHIBUSAWA S. Soil-blade dynamics in reverse-rotational rotary tillage[J]. Journal of terramechanics, 2002, 39(2): 95-113.
- [6] ASL J H, SINGH S. Optimization and evaluation of rotary tiller blades: computer solution of mathematical relations[J]. Soil and tillage research, 2009, 106(1): 1-7.
- [7] KUSHWAHA R L, SHEN J. Finite element analysis of the dynamic interaction between soil and tillage tool[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(5): 1315-1319.
- [8] SHMULEVICH I, ASAF Z, RUBINSTEIN D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method[J]. Soil and tillage research, 2007, 97(1): 37-50.
- [9] 夏俊芳,贺小伟,余水生,等.基于ANSYS/LS-DYNA的螺旋装置土壤切削有限元模拟[J].农业工程学报,2013,29(10):34-41.
- [10] SALOKHE V M, RAMALINGAM N. Effect of rotation direction of a rotary tiller on draft and power requirements in a Bangkok clay soil[J]. Journal of terramechanics, 2002, 39(4):

- 195-205.
- [11] MATIN M A, FIELKE J M, DESBIOLLES J M A. Furrow parameters in rotary strip-tillage; effect of blade geometry and rotary speed[J]. *Biosystems engineering*, 2014, 118(3): 7-15.
- [12] 贾洪雷, 汲文峰, 韩伟峰, 等. 旋耕-碎茬通用旋耕弯刀结构参数优化试验[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(7): 45-50.
- [13] 汲文峰, 贾洪雷, 佟金, 等. 通用旋耕弯刀功率消耗影响因素分析与田间试验[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(2): 35-41.
- [14] 李永磊, 宋建农, 康小军, 等. 双辊秸秆还田旋耕机试验[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(6): 45-49.
- [15] 张朋玲. 2BF-6 型油菜联合直播机关键部件设计与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [16] 张孝安. *农业机械设计手册*[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.

Designing a deep-shallow rotary tillage device of direct rapeseed seeder

ZHANG Qingsong XIAO Wenli LIAO Qingxi DING Youchun
LIAO Yitao WAN Guowei ZHOU Yang

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A deep-shallow rotary tillage device was designed to reduce the operation power consumption of direct rapeseed seeder. Installed in a way of symmetric helix arrangement with multiple section, the device blades divided seed bed into seed bed strip rotating deeply and stubble-chopping strip rotating shallowly and chopping stubble by cross arrange. The main design parameters of seed bed strip, stubble-chopping strip and the blade arrangement were decided. The result of field test showed that the power consumption of rotary part was 72.53%-82.20% of whole power consumption of direct rapeseed seeder under certain condition of field test. Compared with the original rotary tillage device, the operation power consumption of deep-shallow rotary tillage device decreased 14.13%-18.04%. The value of working evaluation index-vegetation buried rate, soil breaking rate and smooth field surface decreased, meeting the standard requirement of rotary tillage device. The smooth seed bed and steady ditch width were obtained with analyzing the seed bed outline of field test operated by deep-shallow rotary tillage device. It is indicated that the deep-shallow rotary tillage device can reduce the operation power consumption of direct rapeseed seeder. It will provide reference for further optimization.

Keywords direct rape seeder; rotary tillage; seeder bed tillage; deep-shallow rotary device; working power

(责任编辑: 陆文昌)