

# 油菜联合直播机种床松旋装置设计与试验

马磊 廖庆喜 魏国梁 刘晓鹏 张青松 刘立超

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

**摘要** 针对冬油菜机械化播种时种床带土壤板结严重导致油菜产量下降的问题,开展油菜联合直播机种床松旋装置的设计与试验。研制一种实现种床带浅松作业的类深松铲,通过分析类深松铲触土刃口力学特性,确定其主要结构参数。基于提高种床带作业质量目的,以工作幅宽为2 000 mm的2BYM-6/8型油麦兼用精量联合直播机为试验平台,确定种床带为IT245旋耕刀片、非种床带为IT225旋耕刀片,以类深松铲为主要工作部件,类深松铲的布局以“前四后二”的排布方式开展田间试验。田间试验结果显示:浅松旋耕联合作业后,种床带浅松深度为229.4~239.4 mm,旋耕深度为124.8~139.2 mm,耕深稳定性达90%以上,厢面平整度为25.71~27.14 mm。田间试验作业效果达到设计要求,满足油菜播种农艺要求。

**关键词** 种床松旋装置; 种床带; 类深松; 旋耕; 油菜; 联合直播机

**中图分类号** S 222.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)06-0132-07

长江中下游地区是我国冬油菜的主要种植区域,该种植区土壤板结,严重影响油菜生长,导致油菜产量减少<sup>[1-3]</sup>。油菜播种作业对油菜种植的种床带进行深松旋耕联合作业,有助于主根系防倒伏以及油菜产量增加。土地耕整作业为创造良好的种床厢面和种床带做准备,是整个油菜种植过程中一个重要环节<sup>[4]</sup>。传统的土壤耕整主要采取旋耕方式,近年来,随着油菜种植机械化程度的不断提高,深松和旋耕联合作业逐渐成为趋势<sup>[5-9]</sup>,深松旋耕联合作业改良了土壤层粒结构和渗水、透气性能,改善作物根系生长环境,有利于农作物根系的生长发育,达到增产增收的效果<sup>[10-13]</sup>。

目前,国内外众多学者对农田深松技术进行了研究,但研究对象主要为大型农田的深松机具。国内在2000年曾推出与大功率拖拉机配套的深松旋耕联合作业机,采用深松机和旋耕机组合配置,既可联合作业,又可单独作业,效果良好<sup>[14]</sup>。但目前国内缺乏与中等功率拖拉机配套的深松旋耕组合作业机具,已有的深松整地联合作业机具基本属于整体式结构,难以满足用户不同的使用要求<sup>[15-18]</sup>,其深松深度较高,作业方式单一,或者机具不太适合在长江

中下游稻油轮作区域进行作业。传统的旋耕深度通常在80~120 mm,不利于给油菜根系提供生长空间,而传统深松深度通常在250 mm以上,其作业深度远大于油菜根系长度。本研究基于深松旋耕作业的研究现状,针对种床带土壤板结的问题,为探寻种床带的合理耕层,提出了种床带浅松和旋耕组合作业技术方案,以华中农业大学自行研制的2BYM-6/8型油麦兼用精量联合直播机为平台,设计一套种床松旋装置,配合油菜联合直播机使用,以期实现对油菜种床带的浅松以及旋耕作业。

## 1 材料与方法

### 1.1 总体结构与工作原理

1) 总体结构及参数。油菜联合直播机种床松旋装置主要包括三点悬挂架、主机架、动力输入轴、类深松铲、旋耕装置以及限深地轮,总体结构如图1所示。该装置能一次性完成种床带浅松以及厢面旋耕作业。6个类深松铲分两排对称排布于直播机前部,使整机具有良好稳定性。作业过程中保证铲柄的竖直状态和稳定的入土角。限深地轮对称安装于机具前侧,保证耕深的稳定性。主要参数见表1。

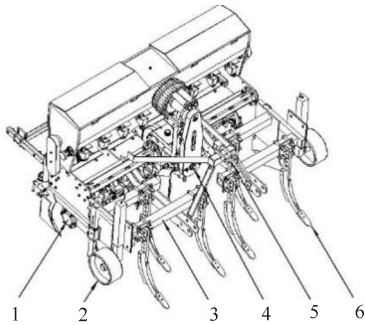
收稿日期: 2019-03-11

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503118-06); 国家油菜产业体系专项(CARS-12)

马磊, 硕士研究生, 研究方向: 现代农业装备设计与测控. E-mail: 15623503963@163.com

通信作者: 廖庆喜, 博士, 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

设计旋耕耕深  $L_1$  为 100~150 mm, 为保证种床带油菜生长主根系防倒伏, 有利于作物产量增加, 设计种床带的耕深  $L_2$  为 200~250 mm, 旋耕刀片最底端与类深松铲最底端高度差  $\Delta L$  应该在 100 mm 左右。



1. 旋耕刀辊 Blades axis; 2. 限深地轮 Depth wheel; 3. 机架 Frame; 4. 动力输入轴 Power take-off shaft; 5. 三点悬挂架 Three point suspension; 6. 类深松铲 Subsoiling shovel.

图 1 整机结构简图

Fig.1 Sketch diagram of whole machine

表 1 油菜松旋联合直播机主要参数

Table 1 Structure parameter of rapeseed combined planter

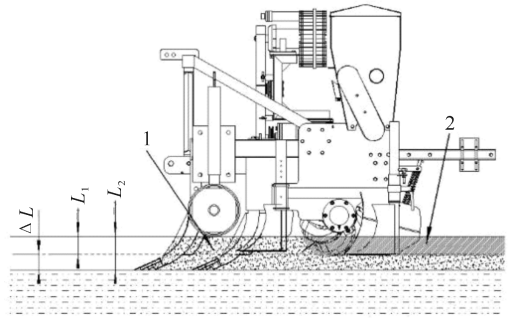
项目 Item	参数 Parameter
外形尺寸/(mm×mm×mm) Boundary dimension	2 057×1 974×1 472
作业深度/mm Working depth	200~250
作业幅宽/mm Working width	2 000
挂接方式 Mounting method	三点悬挂
左右刀辊耕幅/mm Left and right rotary width	800
配套动力/kW Matched power	≥60
类深松铲安装形式 Installation method of subsoiling shovel	“前四后二”安装
类深松铲数 Numbers of subsoiling shovel	6
作业速度/(km/h) Working speed	2.17~3.36

2) 工作原理。机具通过三点悬挂与拖拉机进行挂接, 拖拉机带动机具前进, 机组作业时, 置于机具前部的类深松铲对种床带进行浅松作业, 置于机具后部的旋耕机对种床厢面进行旋耕作业并进行开畦沟作业, 旋耕拖板对作业过后的厢面进行平整, 形成适宜油菜播种的种床带和厢面, 其作业过程如图 2 所示。

### 1.2 关键部件设计与分析

类深松铲的破土刃和铲尖为主要触土面, 其结构主要包括类深松铲柄、铲尖以及抛物线破土刃, 如图 3 所示。类深松铲与土壤间相互作用主

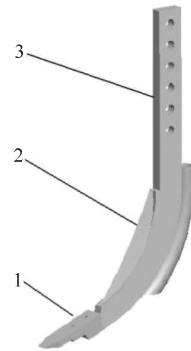
要是撕扯、挤压和滑切, 破土刃的关键参数主要是其刃口曲线和刃口角, 其结构决定了类深松铲的作业性能。



1. 种床带浅松作业 Subsoiling on the seedbed strip; 2. 厢面旋耕作业 Rotating on the seedbed.

图 2 机组作业示意图

Fig.2 Working diagram of whole machine



1. 铲尖 Subsoiler tip; 2. 破土刃 Blade curve; 3. 铲柄 Shovel handle.

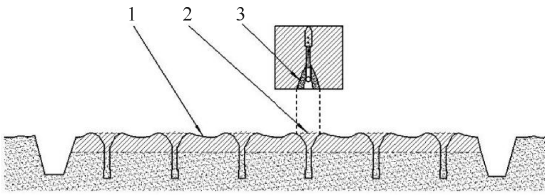
图 3 类深松铲结构示意图

Fig.3 Structural of the subsoiling shovel

类深松铲作业时对地表附近土壤产生撕扯和挤压作用如图 4。种床带土壤被抬高, 堆积的土壤在挤压作用下流向非种床带, 形成上宽下窄的“V”字形断面, 能够保证种子顺利地落入作业后的种床带, 也有利于种子根系的生长, 因此, 选择合理的刃口曲线、刃口角以及铲尖有利于形成良好的“V”字形断面。本研究基于类深松铲挤压、切削种床带土壤的原理以及受力分析, 研究类深松铲刃口曲线和刃口角。根据油菜播种的要求, 设计的类深松铲拟开出耕深 200~250 mm 的种床带。

1) 类深松铲设计与分析。①刃口曲线。根据滑切原理可知, 滑切角大于摩擦角时才会产生滑切作用, 为了保证滑切角大于摩擦角, 方便控制刃口曲线形状以及加工制造, 本研究设计选用抛物线函数曲线上其中一段 AB 作为刃口曲线。建立抛物线曲线

坐标系,圆心为  $O$ ,如图 5 所示,选取抛物线曲线上两点  $A(x_a, y_a)$ 、 $B(x_b, y_b)$ ,  $A$ 、 $B$  两点的滑切角分别为  $\theta_a$ 、 $\theta_b$ ,  $A$ 、 $B$  两点的切线与水平方向的夹角分别为  $\alpha_a$ 、 $\alpha_b$ 。  $A$ 、 $B$  两点的位置决定了刃口曲线  $AB$  的形状,刃口曲线  $AB$  的形状影响类深松铲对土壤的滑切破土效果,当刃口曲线  $AB$  形状更合理时,类深松铲在保证种床带作业质量的同时具有良好的切削性能,为满足设计要求需要探索抛物线上刃口曲线起始点  $B$  和终止点  $A$  的位置。



1.作业后非种床带扇面 Seedbed after tillage; 2.作业后种床带 Seedbed strip after tillage; 3.受挤压土壤 Soil after extrusion.

图 4 类深松铲作业断面工艺方案

Fig.4 Working section of the subsoiling shovel

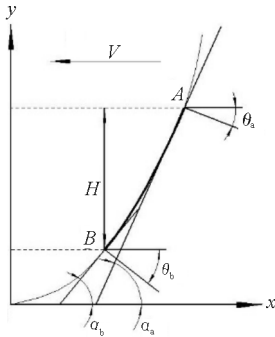


图 5 刃口曲线设计示意图

Fig.5 Sketch map of blade curve

由图 5 几何关系可知,刃口曲线  $AB$  的方程为:

$$y = \frac{[\tan(90^\circ - \theta_a)]^2 - [\tan(90^\circ - \theta_b)]^2}{4H} x^2 \quad (1)$$

式(1)中,  $H$  为刃口曲线高度,  $\text{mm}$ ;  $\theta_a$  为  $A$  点滑切角,  $(^\circ)$ ;  $\theta_b$  为  $B$  点滑切角,  $(^\circ)$ 。根据式(1)可知,下滑切角  $\theta_b$ 、上滑切角  $\theta_a$ 、刃口曲线高度  $H$  决定刃口曲线  $AB$  的形状。设计类深松铲理论作业深度为  $200 \sim 250 \text{ mm}$ ,取  $H = 250 \text{ mm}$ 。  $B$  点到  $A$  点滑切角逐渐减小,即  $\theta_a < \theta_b$ 。

类深松铲作业时,周围颗粒土壤流动复杂,为保证其作业原理的合理性,选择与刃口接触的土壤颗粒单位为研究对象,对其进行动力学分析。土壤颗粒在垂直于前进方向的力大小相等,方向相反相互

抵消,故不作分析。因此,只对刃口前进方向所在平面进行动力学分析,如图 6 所示。刃口曲线为与质点接触的破土曲线,土壤颗粒单位沿着曲面切线方向及曲面法线方向的质点动力学微分方程如下:

$$\begin{cases} F_N - F_x \cdot \cos\theta - F_y \cdot \sin\theta = m \cdot a_e \cdot \cos\theta \\ F_T - F_x \sin\theta + F_y \cdot \cos\theta = m \cdot (a_e \cdot \sin\theta - a_r) \\ F_T = F_N \tan\phi \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中,  $m$  为土壤颗粒单位的质量,  $\text{kg}$ ;  $\theta$  为刃口曲线的滑切角,  $(^\circ)$ ;  $a_r$  为土壤颗粒单位的相对加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $a_e$  为质点的牵连加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $F_x$  为土壤颗粒单位受到  $xoy$  平面的周围土壤所给的阻力沿  $x$  轴的分力,  $\text{N}$ ;  $F_y$  为土壤颗粒单位受到前进方向平面的周围土壤所给的阻力沿  $y$  轴的分力,  $\text{N}$ ;  $F_N$  为土壤颗粒单位受到刃口曲线所给的正压力,  $\text{N}$ ;  $F_T$  为土壤颗粒单位受到刃口曲线所给的切向力,  $\text{N}$ ;  $\phi$  为土壤与刃口曲线的摩擦角,  $(^\circ)$ 。由式(2)可知:

$$F_N \cdot (\tan\theta - \tan\phi) - \frac{F_y}{\cos^2\theta} = m \cdot a_r \quad (3)$$

由式(3)可知,  $F_N$ 、 $\rho$ 、 $F_y$ 、 $\theta$  决定  $a_r$  的大小。根据设计目的可知,如果类深松铲对土壤产生滑切破土作用,则需要满足土壤颗粒单位的加速度  $a_r > 0$ 。当  $F_N > 0$ ,  $F_y > 0$  时,  $\theta > \rho$  则土壤颗粒单位向上运动,  $\theta$  越大,  $a_r$  越大,查阅文献 [19-20] 可知,取摩擦角  $\rho$  为  $23^\circ$ ,若使刃口曲线上每个土壤颗粒单位都存在滑切破土作用,则  $(\theta + \rho) < 90^\circ$ ,则  $23^\circ < \theta < 67^\circ$ 。取土壤摩擦角  $\phi$  为  $23^\circ$ ,当上滑切角大于  $23^\circ$ 、下滑切角在  $35^\circ \sim 55^\circ$  时,与土壤产生滑切阻力较小。取  $\theta_a = 23^\circ$ 、 $\theta_b = 40^\circ$ ,即  $A$  点的滑切角为  $23^\circ$ ,  $B$  点的滑切角为  $40^\circ$ 。

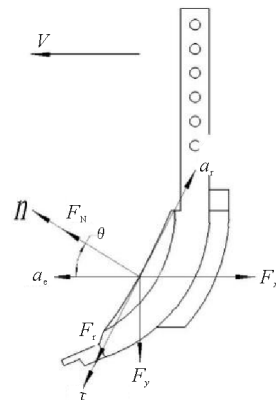


图 6 土壤颗粒单位力学分析

Fig.6 Mechanical analysis on soil particle

②刃口角。类深松铲的刃口角  $\eta$  会影响种床带作业质量,如果刃口角  $\eta$  过大,则对土壤挤压程度严重,加大对周围土壤撕扯以及增加土壤压实,同时增大了类深松作业后断面的间距,影响种床带整体的质量;若刃口角  $\eta$  过小,则破土刃口强度削弱,容易发生形变,影响其使用寿命。对破土刃口上一点进行受力分析如图 7 所示,刃口受到的切削阻力  $F_f$  为:

$$F_f = \frac{2KHd}{\cos\alpha \sin \frac{\eta}{2}} (\sin \frac{\beta}{2} + \mu_k \cos \frac{\beta}{2}) \quad (4)$$

式(4)中,  $\frac{\beta}{2} = \arctan(\tan \frac{\eta}{2} \cos\alpha)$ ;  $F_N$  为刃口曲面上法向力;  $\beta$  为刃口角投影角;  $\eta$  为刃口角,取值范围  $0^\circ \sim 180^\circ$ ;  $\alpha$  为刃口角与水平方向夹角;  $K$  为土壤变形比阻;  $\mu_k$  为土壤与破土刃口滑动摩擦因子。

式(4)中,刃口切削阻力  $F_f$  与  $K$ 、 $H$ 、 $\mu_k$ 、 $\eta$ 、 $\alpha$  有关。在类深松铲行进速度  $V$  以及  $K$ 、 $\mu_k$ 、 $d$  等条件一定时,刃口受到的切削阻力  $F_f$  与刃口角  $\eta$  在水平方向的投影角  $\beta$  有关,  $\beta$  越小,受到的切削阻力越小。  $\beta$  又与  $\alpha$ 、 $\eta$  有关,  $\alpha$  越大,  $\eta$  越小,  $\beta$  越小。深松铲柄的刃口角一般取值为  $30^\circ \sim 60^\circ$ ,其中壤土的最小刃口角范围为  $40^\circ \sim 45^\circ$ ,因此,为了提高其使用寿命,同时保证对种床带整体的作业质量,取刃口角为  $40^\circ$ 。

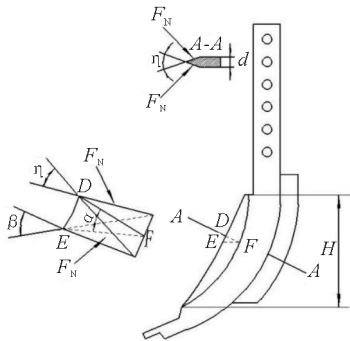


图 7 刃口受力图

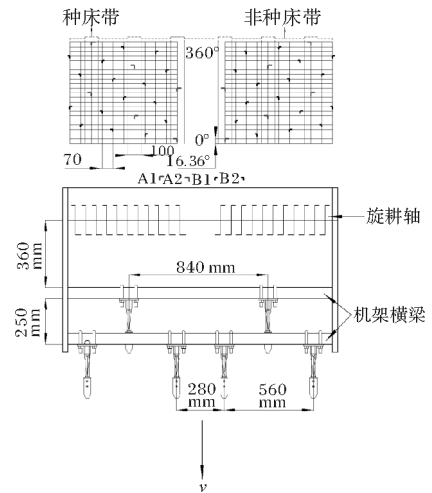
Fig.7 Sketch map of blade curve

③入土角。入土角即类深松铲铲尖上表面与水平面的夹角。入土角过小,类深松铲不易入土,降低对种床带浅松作业质量;入土角过大,则会增加牵引阻力。参考农业设计手册及相关文献[18-20],确定了入土角的范围为  $18^\circ \sim 24^\circ$ ,结合类深松铲的铲柄设计,便于铲尖和铲柄的安装,类深松铲的入土角为  $23^\circ$ 。

④铲柄的设计。铲柄不仅起到固定支撑的作用,而且要连接铲尖和肥管,为了保证能够与旋耕机

机架以及横梁相配合,铲柄与旋耕机机架连接段长度为 380 mm,类深松铲的总长为 700 mm。

⑤类深松铲排布设计。类深松铲置于整机的前部,为了防止整机作业过程中受力不均匀而影响整体的稳定性,以及保证种床松旋装置在作业过程中良好的整体通过性,将类深松铲分为两排对称排布,如图 8 所示。位于相邻种床带上的类深松铲间距均为 280 mm,类深松装置位于旋耕装置前部,为避免中间相邻 2 个类深松铲与旋耕装置中间齿轮箱形成三角形死区导致拥堵现象发生,类深松铲排布采用“前四后二”的排布方式,即将 4 个类深松铲置于前排横梁,2 个类深松铲置于后排横梁,前后横梁间距为 250 mm,旋耕轴与后排横梁的纵向距离为 360 mm。



A1:IT245 右旋弯刀 IT245 right-handed blades; A2:IT245 左旋弯刀 IT245 left-handed blades; B1: IT225 右旋弯刀 IT225 right-handed blades; B2: IT225 左旋弯刀 IT225 left-handed blades.

图 8 旋耕刀片排列展开图及类深松铲排布图

Fig.8 Arrangement of the rotary blades on the roll and the subsoiling shovel

2)旋耕刀片排布设计。类深松铲破土、松土作业过后形成“V”形断面的种床带,在类深松铲的挤压和撕扯作用下将种床带土壤抬起一定的高度。种床带以及种床厢面主要由旋耕刀辊和拖板完成碎土、平土作业,不同的旋耕刀片排布对旋耕作业效果有不同的影响,合理的刀片排布有利于提高浅松旋耕联合作业质量、延长机具使用寿命。通过查阅农业机械设计手册,旋耕刀辊安装刀片总数计算公式为:

$$Z' = \frac{1000 \cdot B \cdot Z}{b'} \quad (5)$$

式(5)中, $Z'$ 为刀片总数,取偶数; $Z$ 为每切土小区刀片数量; $B$ 为旋耕刀辊耕幅,mm; $b'$ 为旋耕机刀座间距,mm。

为增加种床带土壤松碎效果以及保证种床带断面形状,种床带选择回转半径为 245 mm 的旋耕刀片 IT245,工作幅宽为 50 mm,非种床带选择回转半径为 225 mm 的旋耕刀片 IT225,工作幅宽为  $b=50$  mm,旋耕刀旋转时刀片会撕裂附近的土壤,因此,刀座的间距  $b'$  通常大于旋耕刀工作幅宽  $b$ 。 $b'=b+\Delta b$ ,其中, $\Delta b$  通常取 15~20 mm,这里取  $\Delta b$  数值为 20 mm。可求得旋耕刀片总数  $Z'$  为 22.85, $Z'$  为偶数,取整为 22 把。因此,左右刀辊刀片排布按照双螺旋线对称排列方式安装,刀片数量各为 22 把,其中,每个种床带包含 1 个切土区,每个切土区安装 2 把 IT245 旋耕刀,其余部分均为 IT225 旋耕刀,左右两边旋耕刀对称安装使整体受力均衡,保证其作业的稳定性。以旋耕刀轴轴向中心为原点,每个刀盘距原点的距离为横坐标,刀轴周向展开角度为纵坐标,刀片排布示意如图 8 所示,种床带与非种床带相间排列,刀辊左右两端刀片相对于中心线对称分布。

## 2 结果与分析

试验在华中农业大学现代农业科技试验基地进

行。试验工况:前茬作物为水稻,土壤含水率为 22.19%。实验设备及仪器包括:东方红 LX-954 拖拉机,直尺(500 mm)、卷尺(3 m)、磁性水平尺(三箭工具有限公司,精度 0.002 9°)、土壤坚实度仪(浙江托普仪器有限公司,TJSD-750 II 型, $\pm 0.5\%$ FS),电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司,太仓精宏仪器设备有限公司,DHG-9076A 型,温度波动: $\pm 1^\circ\text{C}$ ,温度范围: $+10\sim 300^\circ\text{C}$ )。

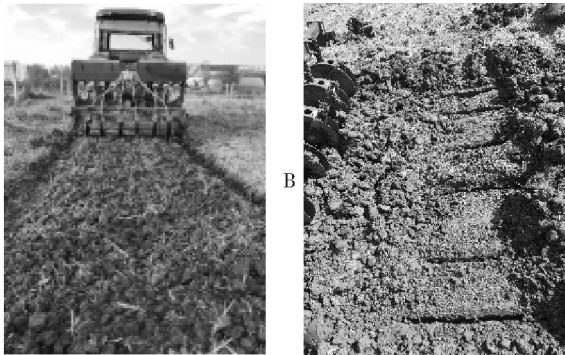
通过调节限深地轮,调节类深松铲和旋耕刀片最底端与限深地轮最底端高度差分别为 220、120 mm,拖拉机以正常田间作业速度 2.17 km/h 进行浅松旋耕联合作业,类深松装置和旋耕装置对地表进行破土、松土、碎土、平整作业。为探索种床松旋装置作业后形成的种床带及种床厢面质量,选取旋耕深度、旋耕深度的稳定性系数、种床带浅松深度、种床带浅松深度的稳定性系数、厢面平整度为评价指标。试验后取试验机组直线方向为试验区域,每隔 1.0 m 测定 1 个点,在测量区域等距取 8 个点,测量每个测量点处的厢面平整度、耕深等,相关测量方法参照文献[21]。

整机作业后田间测量结果如表 2 所示,作业效果如图 9 所示。浅松旋耕联合作业后的厢面平整度、旋耕深度、旋耕深度的稳定性、种床带浅松深度、

表 2 田间试验结果

Table 2 Experiment results of field test

试验号 Test number	种床带平均浅松深度/mm Average depth of the seedbed strip	种床带耕深稳定性系数/% Depth stability coefficient of the seedbed strip	旋耕深度/mm Rotary depth	旋耕深度稳定性系数/% Stability coefficient of rotary depth	厢面平整度/mm Seedbed roughness
1	239.4	94.20	139.2	94.74	26.35
2	233.2	96.50	131.6	93.32	25.71
3	229.4	94.12	124.8	92.84	27.14



A: 种床厢面作业效果 Performance on the seedbed; B: 种床带作业效果 Performance on the seedbed strip.

图 9 田间试验效果

Fig.9 Performance of field experiment

浅松深度的稳定性系数等试验结果均满足试验标准。由试验结果可知,油菜直播机种床松旋装置在前茬作物为水稻、土壤含水率为 22.19% 的地况下,整机通过性较好,能够开出稳定的种床带和种床厢面,作业过后,种床带浅松深度为 229.4~239.4 mm,旋耕深度为 124.8~139.2 mm,耕深的稳定性均在 90% 以上,厢面平整度为 25.71~27.14 mm,作业过后种床带及种床厢面质量达到油菜播种要求。

## 3 讨论

本研究结合油菜种植农艺要求,应用深松旋耕联合作业技术,对类深松装置进行设计。设计了油

菜直播机种床松旋装置,主要包括类深松装置和旋耕刀片,整机联合作业能一次完成破土、松土、碎土、平整作业。开展了类深松铲的动力学与运动学特性分析,根据类深松铲对撕扯、挤压和滑切的作用原理,确定了类深松铲刃口曲线的两端滑切角分别为 $23^\circ$ 和 $40^\circ$ 、刃口角为 $40^\circ$ 、入土角为 $23^\circ$ ,并确定了类深松铲的布局为“前四后二”的排布方式。基于浅松旋耕联合作业,为保证种床厢面的耕深以及碎土效果,对旋耕刀片的排布进行设计。设计种床带选择回转半径为245 mm的旋耕刀片IT245,工作幅宽为50 mm,非种床带选择回转半径为225 mm的旋耕刀片IT225,工作幅宽为50 mm。每个旋耕刀辊长刀6把,短刀16把,左右刀辊按照双头螺旋线对称排布。田间试验结果表明:浅松旋耕联合作业后,种床带浅松深度为229.4~239.4 mm,旋耕深度为124.8~139.2 mm,耕深稳定性达90%以上,厢面平整度为25.71~27.14 mm,作业过后能够开出稳定的种床带和种床厢面,作业质量达到油菜播种要求。

本研究设计了油菜联合直播机种床带浅松和旋耕组合作业技术方案,基本实现对种床带的浅松作业及对种床厢面的旋耕作业,基于油菜联合直播机种床松旋装置目前研究进展,后期可以进一步围绕降低功耗,对整机进行优化,运用运动学、动力学理论,优化其主要工作部件结构,寻求最优作业参数;基于油菜种植农艺要求,油菜种植过程中需要进行施肥作业,机具在此基础上可进一步完善类深松铲的施肥功能。

## 参 考 文 献

- [1] 章秀福,王丹英,符冠富,等.南方稻田保护性耕作的研究进展与研究对策[J].土壤通报,2006(2):2346-2351.
- [2] PARISH P N,PEEYUSH S,VILAS M S,等.动力圆盘耙高效清理作物残茬的应用综述(摘选)[J].农业工程,2011(4):106-108.
- [3] 贾洪雷,陈忠亮,刘昭辰,等.耕整联合作业工艺及配套机具的研究[J].农业机械学报,2001,32(5):40-43.
- [4] 李宝筏.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [5] 周建来,李源知,焦巧凤.国内外旋耕机的技术状况[J].农机化研究,2000(2):49-51.
- [6] 岳丽雅,郭英才,李文明.机械深松联合整地技术的应用[J].农机化研究,2001(1):91-92.
- [7] 邵长发,郑志安,林启瑞.全方位深松在农业可持续发展中的作用研究[J].农业机械学报,1999,30(5):81-85.
- [8] 肖文立,肖文芳,廖宜涛.油菜直播机犁式正位深施肥装置设计与性能试验[J].华中农业大学学报,2018,37(4):131-137.
- [9] 韩树明,冯文华,崔国立,等.SGTN-210型联合整地机的研究设计[J].农机化研究,2002(1):79-80.
- [10] MANIAN R,KATHIRVEL K.Development and evaluation of an active-passive tillage machine[J].AMA,2001,33(1):9-18.
- [11] TAO Z Q,SUI P,CHEN Y Q,et al.Subsoiling and ridge tillage alleviate the high temperature stress in spring maize in the North China Plain[J].Journal of integrative agriculture,2013,12(12):2179-2188.
- [12] HU H Y,NING T Y,LI Z J,et al.Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen water use and yield of different varieties of maize in Northern China[J].Field crops research,2013,142(3):85-94.
- [13] RAPER R L,REEVES D W,SHAW J N,et al.Benefits of site specific subsoiling for cotton production in coastal plain soils[J].Soil and tillage research,2007,96(1):174-181.
- [14] 赵伟,张文春,周志立,等.深松旋耕组合作业机的研制与试验研究[J].农业工程学报,2007,23(1):125-128.
- [15] 鲁力群,李其昀,赵静.深松旋耕沟播联合作业机深松技术[J].山东理工大学学报(自然科学版),2003,17(6):72-75.
- [16] 夏晓东,吴崇友,张瑞林,等.加大耕深型正旋旋耕机研究设计初探[J].农业工程学报,1999,15(1):69-72.
- [17] 桑正中.农业机械学[M].2版.北京:机械工业出版社,1986:120-142.
- [18] 中国农业机械化科学研究院.农业机械手册(上)[M].北京:中国农业机械出版社,2007.
- [19] 李长宝,太史怀远.土壤物理学[M].北京:中国林业出版社,2013.
- [20] 刘俊安,王晓燕,李洪文,等.基于土壤扰动与牵引阻力的深松铲结构参数优化[J].农业机械学报,2017,48(2):61-62.
- [21] 秦宽,丁为民,方志超,等.复试耕整机耕深与耕宽稳定性分析与试验[J].农业工程学报,2016,32(9):1-8.

## Design and test of seedbed subsoiling and rotating device for rapeseed combined planter

MA Lei LIAO Qingxi WEI Guoliang LIU Xiaopeng ZHANG Qingsong LIU Lichao

*College of Engineering, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-Lower Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China*

**Abstract** In response to the mechanized sowing of winter rapeseed, the seedbed was soiled with soil, and the design and test of seedbed subsoiling and rotating device for rapeseed combined planter was carried out. The technical scheme of combined seedbed with shallow pine and rotary tillage was put forward. In order to solve problems mentioned above, the rational cultivation of the seedbed based on vertical tillage was explored. A seed-spinning device for rapeseed was designed with subsoiling-rotating tillage combined operation technology and used in the combination with direct seeding machine. A subsoiling shovel for deepening the seedbed strip with deep loosening was developed according to the principle of soil sliding and seed-spinning device for rapeseed. The main structural and technical parameters of the device were analyzed and determined. 2BYM-6/8 direct rapeseed seeder with a working width of 2 000 mm and the subsoiling shovel was used as the main working part. To improve the quality of the seedbed strip, IT245 rotary blade was used for cutting the area of seedbed strip or the area used to grow the crop while IT225 for cutting the area of non-seedbed strip. The layout of the subsoiling shovel arranged in the form of "Four in the front and two in the back". The performance of seedbed strip was tested in the field. The results showed that the depth of the seedbed strip ranged from 229.4 mm to 239.4 mm, while the depth of the seedbed ranged from 124.8 mm to 139.2 mm. Its depth stability coefficient was more than 90%, with seedbed roughness ranging from 25.71 mm to 27.14 mm. The working effect meets the requirements of design and the sowing agronomy of rapeseed.

**Keywords** seedbed subsoiling and rotating device; seedbed strip; subsoiling; rotary tillage; rapeseed; rapeseed combined planter

(责任编辑:陆文昌)