

稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机的设计与试验

胡红¹, 李洪文¹, 李传友², 王庆杰^{1*}, 何进¹, 李问盈¹, 张祥彩¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 北京市农业机械试验鉴定推广站, 北京 100079)

摘要:为解决长江中下游稻麦轮作区稻茬田免耕播种小麦机具堵塞及土壤黏附严重等问题, 结合当地稻茬田播种小麦需要开排水沟的农艺要求, 提出了“种-肥-种”宽幅精量播种和带状旋耕相结合的防堵思路, 设计了双翼铧式开沟器、宽幅精量排种机构、种沟双圆盘开沟器和浮动覆土板等关键部件, 研究设计了一种稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机。试验结果表明, 宽幅播种方式与带状旋耕相结合较好解决了稻茬田播种小麦堵塞的问题, 小麦播幅平均为 74.6 mm, 平均播深为 39 mm, 播深合格率为 86.7%, 施肥方式为侧下方深施肥, 平均施肥深度为 81 mm, 施肥深度合格率为 93.3%, 均满足国家标准。厢沟平均深度为 175 mm, 沟面宽度为 238 mm, 满足排水要求。该研究为应用于稻麦轮作区稻茬田小麦少免耕播种机的设计提供了参考。

关键词: 农业机械; 设计; 农作物; 稻茬田; 条带旋耕; 防堵

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.04.004

中图分类号: S223.2⁺6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-04-0024-09

胡红, 李洪文, 李传友, 王庆杰, 何进, 李问盈, 张祥彩. 稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 24—32. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.04.004 <http://www.tcsae.org>

Hu Hong, Li Hongwen, Li Chuanyou, Wang Qingjie, He Jin, Li Wenying, Zhang Xiangcai. Design and experiment of broad width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(4): 24—32. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.04.004 <http://www.tcsae.org>

0 引言

长江中下游地区是中国主要的粮食生产和商品粮基地, 在保障中国粮食安全方面占有重要地位^[1-3]。稻麦轮作是该地区的主要种植模式, 与北方相比有着显著的农业生态差异, 一是稻茬量大、稻根盘结, 秸秆处理难度更大; 二是小麦播种季节土壤含水量大并且黏重, 机械行走易下陷, 行走阻力增大。与此同时, 该地区田块小而零散不规则, 传统翻耕旋耕机械化作业水平低下, 稻茬田少免耕播种机具缺乏, 相关技术不完善, 劳动力投入大, 经济效益低^[4-7]。基于以上原因, 许多农民不愿意种植冬小麦, 土地闲置严重。

为了解决稻茬田少免耕播种小麦关键问题, 国外学者做了大量研究, 研制出了多种秸秆处理装置和适应稻茬田播种小麦的免耕播种机^[8-13]。Sidhu H S 等^[14]研制的 Happy Seeder 将直立和倒卧的秸秆粉碎, 然后收集起来作为覆盖物覆盖播种后的地表, 能够在留茬很高的稻茬田播种小麦, 减少秸秆焚烧和环境污染。Pannu 等^[15]针对水稻联合收获机收获后抛洒在田间的水稻秸秆缠绕小麦免耕播种机开沟器的问题, 设计了一种横向传送秸秆抛洒

器, 该秸秆抛洒器置于拖拉机头部, 主要由秸秆捡拾绞龙、横向传送带和秸秆抛撒装置组成, 能顺利地在稻茬田进行小麦播种作业。近年来, 随着保护性耕作技术在中国南方稻麦轮作区的推广应用以及可持续农业发展需要, 稻茬田免耕播种小麦的技术越来越受到重视, 专家学者也加强了对稻茬田免耕播种小麦的研究^[16-19]。李兵等^[20]研制的 GBSL-180 型双轴式旋耕灭茬播种机采用双轴驱动, 前轴驱动灭茬刀高速旋转粉碎茎秆, 后轴驱动旋耕刀低速旋耕, 适应高留茬稻田小麦播种, 能有效避免播种机挂草壅土的问题。稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机采用双轴驱动防堵, 结合带状旋耕和二次粉碎技术, 较好的解决了在稻茬地的高效播种^[21]。但是, 目前国内外的研究成果普遍采用增加稻秸秆处理装置或二次粉碎方法减少缠绕堵塞, 加大了整机质量, 黏土严重, 且缺少开厢沟的装置开排水沟, 后期人工开沟工作量大, 耗时耗力^[22]。

本文针对稻麦轮作区小麦免耕播种技术难点, 结合区域农艺要求, 从降低土壤黏附和减少机具堵塞出发, 设计开发一种满足稻茬田免耕播种小麦的宽幅精量少耕播种机, 为长江流域保护性耕作技术推广提供参考。

1 总体方案确定

1.1 设计思路

针对该地区出现的问题, 结合稻茬田免耕播种小麦农艺要求, 从以下几个方向提出设计思路: 1) 增加开厢沟装置, 满足田间开沟排水要求; 2) 采用带状旋耕技术,

收稿日期: 2015-07-10 修订日期: 2016-01-17

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201503136)

作者简介: 胡红, 男, 四川巴中人, 博士生, 主要从事保护性耕作研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。Email: huhong@cau.edu.cn。

*通信作者: 王庆杰, 男, 山东烟台人, 副教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作与农业装备研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

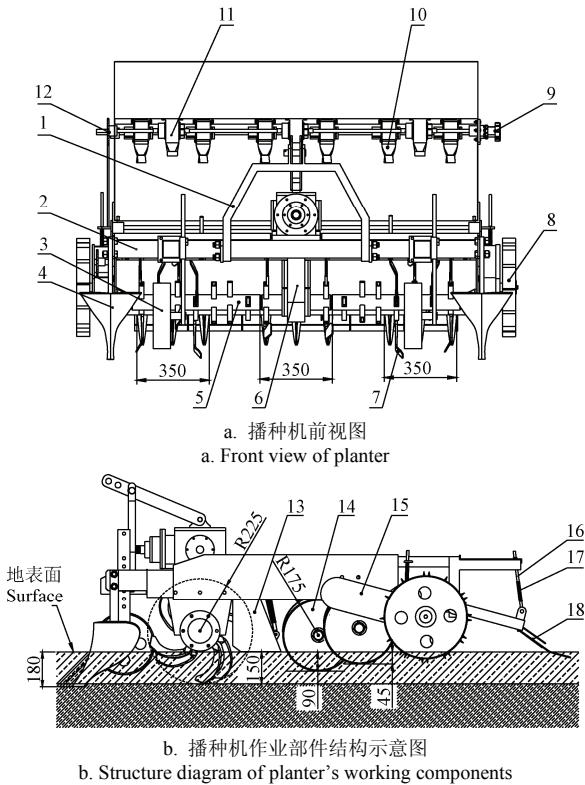
Email: wangqingjie@cau.edu.cn。

开出清洁良好的种肥带，降低动土量；3）种肥开沟器均选用双圆盘开沟器，增强抗黏附性能，增强通过性能；4）减半施肥开沟器数量，加大秸秆流动空间，增强通过性；5）去除常规镇压轮装置，采用浮动覆土板覆土镇压，解决镇压轮土壤黏附严重的问题。根据此思路，提出了“种-肥-种”宽幅宽窄行精量播种和带状旋耕相结合的防堵方式。该方式是利用动力驱动带状旋耕刀开出种肥带，种肥带宽 250 mm，未进行旋耕的部分宽为 350 mm，种肥带上分布 2 行种子和 1 行肥料，肥料施加在 2 行种子中间。为防止烧种，采用侧下方深施肥，肥料与种子的垂直距离为 40~50 mm。宽幅精量播种是指用双圆盘开沟器开出宽种沟，播种后播幅达到 60~100 mm，播量相对精确，种子分布更均匀^[23-24]。

田间布局为厢、沟交错，单个厢面上分布 3 条种肥带，本机设计的工作厢面宽为 1 600 mm，排水沟宽为 240 mm，播种幅宽为 80 mm。

1.2 总体结构及工作原理

稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机主要由开厢沟装置、动力传输系统、带状旋耕系统、施肥播种系统、覆土镇压装置和附属装置等组成。整机的结构示意图如图 1 所示。



1.三点悬挂装置 2.机架 3.限深轮 4.双翼犁式开沟器 5.旋耕刀轴 6.变速箱总成 7.旋耕刀 8.地轮 9.种肥调节手轮 10.排种器 11.排肥器 12.侧传动装置 13.挡土板 14.双圆盘开沟器 15.链传动护罩 16.支杆 17.支杆弹簧 18.浮动覆土板

1.Three point linkage 2.Frame 3.Depth roller 4.Double wings ditch opener 5.Rotary blade axis 6.Transmission assembly 7.Rotary blade 8.Road wheel 9.Seed and fertilizer adjusting handwheel 10.Seed-metering device 11.Fertilizer apparatus 12.Side drive device 13.Soil retaining plate 14.Double-disk opener 15.Chain cover 16.Strut 17.Strut spring 18.Elastic covering scraper

图 1 稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机结构简图

Fig.1 Structure figure of width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field

机具采用三点悬挂方式，配套动力为 51 kW 轮式拖拉机。播种前，根据当地农艺要求，调整排种排肥量。工作时，拖拉机带动播种机前进，双翼犁式开沟器 4 随播种机同步前进，于播种机两侧开出 2 条排水沟；动力传输系统将拖拉机输出动力传递给带状旋耕系统，驱动带状旋耕刀作业，对厢面进行带状旋耕，形成带状种肥带；双圆盘开沟器 14 安装于带状旋耕刀正后方，施肥双圆盘开沟器和播种双圆盘开沟器分别处于前后两根横梁上，地轮驱动排种排肥轴转动，种肥经排种排肥导管进入种肥带；完成播种后，浮动覆土板挤压种肥沟，使种肥与土壤紧密接触，保证种子发芽。整机的主要结构参数如表 1 所示。

表 1 稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机的主要结构参数
Table 1 Main structural parameters of width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field

名称 Name	数值 Value
外形尺寸（长×宽×高） Overall dimension/mm×mm×mm	2 100×1 900×1 300
整机质量 Total weight/Kg	750
配套动力 Matched power/kW	51
播种幅宽 Seeding belt width/mm	80
作业宽度 Working width/mm	1 600
种子箱容积 Seed box volume/L	80
肥料箱容积 Fertilizer box volume/L	80
地轮直径 Road wheel diameter/mm	440
地轮轮缘宽度 Width of road wheel flange/mm	110
沟壁角 Trend wall angle/(°)	60
起土角 Plow blade angle/(°)	30
初始元线角 Starting angle of straight line/(°)	60
最小元线角 Minimum angle of straight line/(°)	40
最大元线角 Maximal angle of straight line/(°)	70
入土隙角 Buried clearance angle/(°)	15

2 主要工作部件的设计

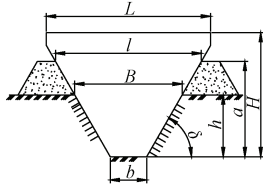
2.1 双翼犁式开沟器的设计

南方稻茬田含水量大，土壤黏重，开厢沟有助于加速排除田间渍水，降低表层土壤含水量，改善土壤的通透性^[25]。根据传统农艺要求，结合犁式犁犁体曲面设计方法，设计了一种双翼犁式开沟器，主要由犁胸、立柱和连接部件等组成，犁胸由 2 个对称的犁体曲面组成，以开出形状规则对称的排水沟。在机组往返行程中，双翼犁式开沟器进行 2 次开沟，第 1 次作业形成初沟，第 2 次作业回程清沟，减少回填土，沟底更加整洁。双翼犁式开沟器挖起的土堆堆放在排水沟的两侧，由外侧条带旋耕刀切碎抛撒在地表，并经挡土板刮平。根据稻茬田种植小麦农艺要求和《农机设计手册》^[26]，选取厢沟沟面宽度为 240 mm，厢沟深度为 180 mm，选取沟壁角、起土角和入土隙角等基础参数（见表 1），由这些基本参数确定厢沟沟形和开沟器曲面。

2.1.1 双翼犁式开沟器曲面正视图参数的确定

开沟犁体曲面设计方法与耕地用犁式犁体相同。双

翼犁式开沟器曲面正视图下部轮廓与所要求的沟形一致,但考虑到土块回填等因素,理想的沟形截面轮廓如图 2 所示。



注: B 为沟面宽度, 取 240 mm; b 为沟底宽度, mm; h 为开沟深度, 取 180 mm; l 为土埂边线距离, mm; a 为土埂顶端离沟底距离, mm; H 为顶边线高度, mm; L 为曲面宽度, mm; δ 为厢沟的沟壁角, $\delta=60^\circ$ 。
Note: B represents width of groove surface, 240 mm; b represents width of ditch, mm; h represents depth of ditch, 180 mm; l represents distance of ridge line, mm; a represents distance between ridge top and ditch bottom, mm; H represents depth of top line, mm; L represents width of plough body surface, mm; δ represents trend wall angle of ditch, $\delta=60^\circ$.

图 2 双翼犁式开沟器曲面正视图轮廓
Fig.2 Front view of ditch opener surface

根据土块运动不超过顶边线高度原则, 假设曲面下部起土部分与上部翻土部分的正面轮廓面积相等, 则可建立公式

$$\begin{cases} (B+b)h = (l+B)(a-h), \\ L = (b+2a \cdot \cot \delta) \eta, \\ B = b+2h \cdot \cot \delta, \\ l = b+2a \cdot \cot \delta, \\ H = 1.3a. \end{cases} \quad (1)$$

式中 B 为沟面宽度, 取 240 mm; b 为沟底宽度, mm; h 为开沟深度, 取 180 mm; l 为土埂边线距离, mm; a 为土埂顶端离沟底距离, mm; H 为顶边线高度, mm; δ 为厢沟的沟壁角, $\delta=60^\circ$; L 为曲面宽度, mm; η 为系数, 取 $\eta=1.2$ 。

代入数据得到: $H=345$ mm, $a=265$ mm, $L=403$ mm, $l=336$ mm, $b=32$ mm。

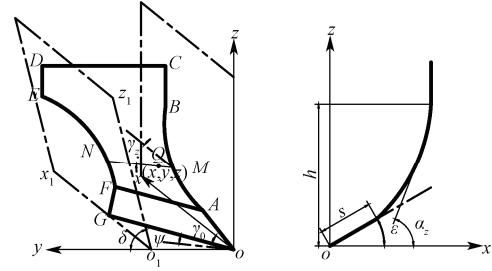
2.1.2 双翼犁式开沟器各曲线方程

由于双翼犁式开沟器采用双翼式犁体曲面, 以铧刃线对称, 所以仅对曲面的一翼进行分析。图 3a 为犁式开沟器曲面空间坐标图, 以犁刃线与厢沟中心面的交点为坐标原点, 垂直地面向上方向为 z 轴方向, 机具前进的反方向为 x 轴方向, 根据右手定则, y 轴垂直于厢沟中心面, 与犁体曲面方向一致。图 3b 为犁式开沟器犁体曲面导曲线坐标图, 与图 3a 中 x 轴和 z 轴的设定方向一致。

双翼式犁体的导曲线位于犁体曲面的对称中线处, 由 3 条线段组成, 即始端直线段, 挖深 h 以下曲线段和挖深以上线段。根据文献[26]选取始端直线段长度 $S=100$ mm, 挖深以下线段选取抛物线形式, 挖深以上继续采用抛物线形式直至土埂平面, 其上为直线段, 则导曲线公式可确定为

$$\begin{cases} x_i = \sqrt{3}z_i, & z_i \in [0, 50] \\ x_i = z_i \cdot \cot \frac{\varepsilon + \alpha_z}{2}, & z_i \in (50, 270] \\ x_i = 270 \cot 60^\circ. & z_i \in (270, 350] \end{cases} \quad (2)$$

式中 z_i 为导曲线上某点离沟底的垂直高度, mm; x_i 为导曲线上离沟底为 z_i 的点在 x 轴上的投影值; ε 为犁式开沟器的起土角, $(^\circ)$; α_z 为垂直高度为 z_i 时的起土角, $(^\circ)$ 。



a. 犁式开沟器曲面空间坐标
a. Spatial coordinates of ditch opener
b. 导曲线坐标图
b. Coordinates of guide curve

注: 面 xzo 为厢沟中心面; 面 $x_1o_1z_1$ 为沟墙面; S 为始端直线段长度, mm; γ_z 为深度为 z 时的元线角, $(^\circ)$; α_z 为挖深为 z 处的起土角, $(^\circ)$; ψ 为犁式开沟器的入土隙角, $\psi=15^\circ$; ε 为犁式开沟器的起土角, $\varepsilon=30^\circ$; γ_0 为犁体曲面的初始元线角, $\gamma_0=60^\circ$ 。

Note: Surface xzo represents middle surface of ditch; Surface $x_1o_1z_1$ represents trench wall surface; S represents length of head straight line of guide curve, mm; γ_z represents angle of straight line when depth is z , $(^\circ)$; α_z represents plow blade angle when depth is z , $(^\circ)$; ψ represents buried clearance angle of ditch opener, $\psi=15^\circ$; ε represents plow blade angle of ditch opener, $\varepsilon=30^\circ$; γ_0 represents starting angle of straight line of plow surface, $\gamma_0=40^\circ$.

图 3 犁体曲面及导曲线坐标图

Fig.3 Diagram of coordinates of plough body surface and guide curve

元线角在导曲线始端直线段不变, $\gamma=\gamma_0$; 然后以直线规律变小, 直到开沟深度为 h 处, 元线角最小, $\gamma=\gamma_{\min}$; 随后又线性增加到最大元线角处及土埂平面处, $\gamma=\gamma_{\max}$ 。由此得到元线角变化规律

$$\begin{cases} \gamma = \gamma_0 = 60^\circ, & z_i \in [0, 50] \\ \gamma = -\frac{2}{13}z_i + 68, & z_i \in [50, 185] \\ \gamma = \frac{6}{17}z_i - 24, & z_i \in [185, 270] \\ \gamma = \gamma_{\max} = 70^\circ. & z_i \in [270, 350] \end{cases} \quad (3)$$

式中 γ_0 为犁体曲面的初始元线角, $\gamma_0=60^\circ$; γ 导曲线上离沟底垂直高度为 z_i 处的元线角, $(^\circ)$ 。

为保证犁式开沟器开出如图 2 所示的沟形, 则开沟器上曲线 EF 和 FG 均处于沟墙面内。根据已有数据, 可得到曲面上各点的坐标分别为: $A(87, 0, 50)$; $B(153, 0, 270)$; $C(153, 0, 350)$; $D(226, 216, 350)$; $E(226, 216, 326)$; $F(104, 48, 55)$; $G(9, 16, 5)$ 。

线段部分直接连接坐标点就行, 只要求出曲线 EF 的曲线方程, 则唯一确定了双翼犁式开沟器的曲面。曲线 EF 为曲面 $ABEF$ 和平面 $x_1o_1z_1$ 的交线, 设 MN 是挖深为 z 时的一条元线, 元线角为 γ_z , 在 MN 上任取一点 Q , Q 点坐标为 (x, y, z) , 则曲面 $ABEF$ 的曲面方程为

$$\begin{cases} x = MQ \cdot \cot \gamma_z + z \cdot \cot[(\varepsilon + \alpha_z)/2], \\ y = MQ \cdot \sin \gamma_z. \end{cases} \quad (4)$$

平面 $x_1o_1z_1$ 的平面方程为

$$z - \sqrt{3}y + 16\sqrt{3} = 0. \quad (5)$$

则曲线 EF 的曲线方程为

$$\begin{cases} x - y \cdot \cot \gamma_z - z \cdot \cot[(\varepsilon + \alpha_z)/2], \\ z - \sqrt{3}y + 16\sqrt{3} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

式中 x, y, z 为 Q 点坐标; γ_z 为深度为 z 时的元线角, ($^\circ$)。

2.2 带状旋耕装置主要参数设计

2.2.1 带状旋耕防堵原理

带状旋耕是指仅在开沟器正前方安装旋耕刀, 利用动力驱动旋耕刀切断种肥床上的秸秆和破开根茬, 非种肥带上不进行旋耕和粉碎作业^[27]。为解决稻茬田表层土壤沉积, 播种小麦时需要疏松土壤和蒸散水分等问题, 设计了带状旋耕刀组。采用带状旋耕刀组破除旋耕带上的稻茬和稻根, 使开沟器行走在整洁的旋耕带上, 减少堵塞。播种机一个行程内开出 3 条种肥带, 每条宽约 350 mm, 土壤耕作程度达到 65.6%, 加快了土壤水分的蒸发, 解决了土壤板结问题, 同时也达到了少耕的要求。

2.2.2 刀轴转速、切土节距及旋耕刀辊设计

稻茬田稻茬量大, 为保证播种质量, 必须确保旋耕刀对稻茬灭茬效果好, 刀轴转速尽量较大, 根据旋耕机刀轴转速不大于 300 r/min 的要求, 本机选取刀轴的设计转速为 300 r/min。

播种机旋耕作业后直接播种, 对碎土质量要求高, 切土节距为 60~90 mm 比较合适^[28]。根据切土节距公式, 可求出单位刀轴圆周内安装刀片数量

$$S_1 = \frac{60\,000v_m}{n \cdot Z} \quad (7)$$

式中 S_1 为切土节距, 取 $S_1=80$ mm; v_m 为机组前进速度, 取 $v_m=1.2$ m/s; n 为刀轴转速, r/min; Z 为单位刀轴圆周内刀片数量。代入数据, 得到 $Z=3$ 。

旋耕刀在刀轴上安装位置依据种肥带位置确定, 刀座间距也根据宽窄行的变化而不同, 如图 4 所示。采用中间传动方式, 所以有左右 2 个刀轴, 左右刀轴上分别分布 4 圈旋耕刀, 按对称螺旋线排列, 为保证机具作业的稳定性和, 左右刀轴上旋耕刀数量一致, 且以机具中心面对称。

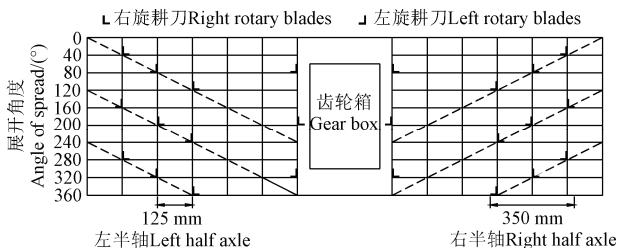


图4 旋耕刀轴上刀片布置示意图

Fig.4 Diagram of arrangement of rotary blades

2.3 宽幅精量排种机构设计

2.3.1 排种机构设计

螺旋窝眼轮式排种器为单粒精密排种器, 结构简单, 播种质量效果稳定^[29-30]。窝眼轮是实现精量播种的核心部件, 窝眼的形状和尺寸与小麦种子的形状尺寸相适应,

设计原则是保证一个窝眼仅有一颗种子。普通小麦种子形状为长圆形, 直径约为 4 mm, 长度约为 7 mm, 因此, 窝眼形状设计为凹槽型, 槽口宽度为 5 mm, 长度为 8 mm, 窝眼深度 5 mm。窝眼轮直径选择 55 mm, 圆周上一圈平均分布 14 个窝眼。窝眼圈数根据播种量确定, 改变工作窝眼圈数则改变排种量。小麦播种量一般为 187.5~450 kg/hm²。

工作窝眼圈数推导公式为

$$M = \frac{1680 \cdot z_c \cdot d \cdot c}{\pi \cdot D \cdot k} \quad (8)$$

式中 M 为排种量, kg/hm²; z_c 为传动比, 取 $z_c=2$; d 为小麦千粒质量, 取 $d=37.2$ g; c 为工作窝眼圈数; D 为地轮直径, $D=440$ mm; k 为工作幅宽, $k=1.6$ m。

代入播种量到式 (8), 可得到理论工作窝眼圈数为 3.32~7.96, 因此设计窝眼轮的窝眼圈数为 8 圈, 螺旋角采用常规窝眼轮的螺旋角 14 $^\circ$ 。

为实现宽幅精量播种的要求, 在常规排种器基础上设计了双轴驱动的螺旋窝眼轮式排种器。双轴窝眼轮式排种器由 2 根平行的排种轴驱动, 在同一个排种器中装有 2 个窝眼轮, 并分别安装在平行的排种轴上, 每个窝眼轮下对应一个排种管。因此, 当排种轴转动时, 分别驱动每根轴上的窝眼轮转动, 排出的种子进入不同的排种管并排播到宽种沟内。播种幅宽相当于常规单窝眼轮播种的两倍, 实现宽幅播种。

2.3.2 排种器性能静态试验

根据文献[21], 螺旋窝眼轮式排种器的排种一致性和种子破损率均满足标准要求。在此基础上, 进行了排种器均匀性和播种幅宽稳定性静态试验。

排种均匀性是指种子在行内纵向分布的均匀程度^[31], 播幅是指播种后每行种子在纵向一段区域内分布在最外两侧种子之间的宽度。试验前, 在平整地面上铺好粘胶带, 保证每个排种器正下方都有粘胶带, 且粘胶带宽度大于播种幅宽, 然后播种机以实际作业速度前进。当播种机前进有效距离达到试验要求长度后, 停止播种机; 在粘胶带中间位置取样, 取样长度 2 m, 平均分为 10 个计数段。任取 3 行粘胶带计量在计数段内的种子数, 并测量每个计数段最外侧种子间的纵向距离, 测得的数据记录入表 2。

由表 2 可知, 每段计数段内播种粒数出现频率最多的为 8 粒, 共出现 17 次, 占总样本的 57%, 也就是说播种机前进 20 cm 排种器的理论排种粒数为 8 粒。计数段内小麦种子粒数最多为 8 粒, 与理论排种粒数一致, 最少的为 6 粒, 少于理论排种粒数, 表明排种器每个窝眼内最多填充 1 粒小麦种子, 同时也出现未填充种子的窝眼, 但比例较小, 所有计数段内共有 15 个未进行排种的窝眼, 占总体的 6.25%。播种幅宽最大为 80 mm, 最小为 68 mm, 数据集中在 72~78 mm, 占总体的 70%, 平均播种幅宽为 74.6 mm, 满足宽幅播种的要求。由表 2 可知, 排种器排种均匀性变异系数为 8.4%, 播种幅宽稳定性变异系数为 4.3%。

表 2 排种器排种均匀性和播种幅宽稳定性
Table 2 Seeding uniformity and width stability of metering device

名称 Name	行 Row	计数段 Count segment										平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient/%
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
种子粒数 Seed numbers	1	8	8	7	8	8	7	6	7	8	8	7.5	0.63	8.4
	2	8	7	8	8	7	7	8	8	7	8			
	3	8	7	7	8	8	6	7	8	8	7			
播种幅宽 Width of seeds belt/mm	1	71	74	78	80	75	78	74	77	70	76	74.6	3.23	4.3
	2	76	72	74	75	78	78	70	68	70	78			
	3	77	74	79	76	71	73	78	73	75	70			

2.4 种沟双圆盘开沟器设计

由于常规双圆盘开沟器不满足开宽沟的要求，有必要设计一种种沟双圆盘开沟器，能开出满足宽幅播种的 80 mm 种沟。根据双圆盘开沟器开沟宽度公式^[32]可得，开沟宽度与圆盘直径、圆盘聚点与水平直径夹角和圆盘间夹角有关

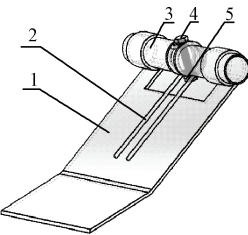
$$e = D_k(1 - \sin \alpha)\sin(\varphi/2)。$$
 (9)

式中 e 为开沟器开沟宽度，mm； D_k 为圆盘直径，mm； α 为圆盘聚点与水平直径的夹角，(°)； φ 为圆盘间夹角，(°)。

根据标准《谷物播种机双圆盘开沟器》选择直径为 350 mm 的圆盘，圆盘聚点与水平直径为 25°，代入式 (9) 可得 $\varphi=46.6^{\circ}$ ，为保证开沟宽度，取 $\varphi=47^{\circ}$ 。

2.5 浮动覆土板的设计

在含水量大的稻茬田播种小麦时，不需要压实，种子同样可以发芽，且对产量影响甚小^[33]。常规镇压轮装置在稻茬田作业时粘土严重，影响播种质量。因此，设计了一种浮动覆土板，由覆土板、覆土弹簧、绕轴、定位螺栓和锁紧螺母构成，如图 5 所示。覆土板的作用主要是合拢种沟，所受到的作用力不大，所以取板厚为 3 mm，宽度为 250 mm。为进一步减少粘土，覆土板内壁分布有长圆形凸台。根据 1 条种肥带配置 1 个浮动覆土板的原则，绕轴上共安装 3 个覆土板。



1.覆土板 2.覆土弹簧 3.绕轴 4.定位螺栓 5.锁紧螺母
1.Covering scraper 2.Spring 3.Shaft 4.Positioning bolt 5.Locknut

图 5 浮动覆土板示意图
Fig.5 Diagram of elastic covering scraper

3 田间播种试验及结果分析

3.1 试验条件与方法

3.1.1 试验条件

2014 年 11 月在湖北省团风县方高坪镇宋墙村进行了稻茬田播种小麦的试验。试验田呈长方形，长 100 m，宽 30 m，水稻播种行距为 15 cm，于 8 月中旬收获水稻，放水晒田。播前测得稻茬田间覆盖率为 53%，留茬高度为

21.2 cm，在 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 深度处土壤含水率分别为 30.48%、26.23%和 21.64%，容重分别为 1.08、1.32 和 1.57 g/cm³，土壤紧实度分别为 0.59、1.68 和 2.48 MPa。试验用拖拉机为久保田 M704 轮式拖拉机，作业速度为 1.2 m/s。图 6 为播种机田间播种试验图。

根据 GB/T 20865-2007 的试验方法，测试内容主要包括厢沟质量、种肥覆土情况、种肥间距、地轮滑移率和机具通过性等。试验前，准备好各项用到的试验器材：北京澳作生态仪器有限公司生产的 SM-3 土壤水分测定仪、美国 Spectrum Technologies, Inc 生产的 SC-900 土壤紧实度仪、秒表、铁锹和卷尺。



图 6 田间播种试验
Fig.6 Field experiment of sowing

3.1.2 试验指标与方法

1) 厢沟质量

机具完成播种开厢沟作业后，在不同作业行程内，选取 3 条不同的厢沟，并在每条厢沟等间距选取 5 个点作为测量点，共测点 15 处。测试前先清除沟底及抛落到沟壁上的土块，并用铁锹挖取沟形截面，用卷尺分别测出厢沟截面的沟面宽度、沟底宽度和开沟深度，并记录数据。根据测得的数据，分别计算各指标的平均值、标准差及变异系数，与标准对照，检验开厢沟作业是否满足标准要求。

2) 种肥带宽度和种肥覆土深度

田间试验完成后，间隔选取 3 个作业行程作为数据采集区，在选取的每个作业行程区内随机选取 10 个点，分别测量该点处的种肥带宽度和种肥上部覆盖土层的厚度，然后记录数据。计算平均种肥带宽度，种子和肥料覆土深度的平均值、合格率和总的变异系数。合格率计算式为

$$\eta_1 = \frac{x_m}{n_c} \times 100\%。$$
 (10)

式中 η_1 为播种(施肥)合格率, %; x_m 为播种(施肥)深度满足要求点数; n_c 为总测试点数。

3) 地轮滑移率

在播种机作业过程中, 在地轮上做上标记, 测量地轮在田间行走 20 圈的实际前进距离, 并根据地轮半径计算得到地轮行走 20 圈的理论距离。测量 4 个行程的前进距离, 取平均值, 然后计算地轮的滑移率。滑移率计算公式为

$$\eta_h = \frac{s_1 - s_2}{s_1} \times 100\% \quad (11)$$

式中 η_h 为滑移率, %; s_1 为机具实际前进距离, m; s_2 为机具理论前进距离, m。

4) 浮动覆土板防粘土性能

试验进行 2 种镇压处理: 一是采用带浮动覆土板的小麦少耕播种机播种, 然后用浮动覆土板镇压; 二是采用工作宽度同为 1 600 mm 的小麦条播机播种, 然后用镇压轮镇压。分别在不同行程内测量机具前进 50 m 后覆土板和镇压轮的粘附土壤量, 重复 3 次取平均值, 以粘附土壤量作为评价 2 种覆土装置的粘土性能。

5) 机具通过性

机具按规定的作业速度前进, 观察机具在作业过程中能否连续正常作业, 记录机具停下清茬的次数, 观察作业后地表的平整度, 是否有明显凸包, 是否影响播种施肥质量。

3.2 试验结果与分析

3.2.1 厢沟质量

试验完成后, 按照所述试验方法分别测量厢沟的沟面宽度、沟底宽度和厢沟深度, 测得的数据如表 3 所示。

表 3 厢沟截面测试结果
Table 3 Testing results for cross-sectional of ditch

名称 Name	平均值 Mean/mm	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient/%
沟面宽度 Width of groove face	238	8.5	3.6
沟底宽度 Width of ditch bottom	35	3.6	10.9
厢沟深度 Depth of ditch	175	7.1	4.1

由表 3 可看出, 沟面宽度平均值为 238 mm, 与设计值 240 mm 极为相近; 沟底宽度 35 mm, 大于设计值 32 mm; 厢沟深度为 175 mm, 小于设计值 180 mm, 说明有部分土壤回落, 造成沟深减小, 沟底宽度增大。试验结果显示, 开沟深度标准差为 7.1 mm, 开沟深度变异系数为 4.1%, 开沟深度稳定性系数为 95.9%。NY/T 740—2003 标准要求开沟深度稳定性 $\geq 80\%$, 沟面宽度和沟底宽度在农艺要求值上下浮动 15 mm。由此可得, 厢沟深度、沟面宽度和沟底宽度均满足标准要求。

虽然经过开沟和清沟 2 个程序, 但开出的厢沟中仍存在较大土块或大块根茬, 不能形成整洁的沟形, 其原因是在需要开厢沟的地方未进行任何的土壤耕作处理, 稻茬和土壤紧密结合在一起, 开沟过程中稻茬容易带起大堆土块。因此, 要得到更好质量的厢沟, 需要对开沟部分土壤进行细碎处理。

3.2.2 种肥带宽度和种肥覆土深度

根据所述试验方法, 对数据采集区的种肥带宽度和种肥覆土深度进行了测量。经计算, 平均种肥带幅宽为 338 mm, 满足在种肥带上实现“种-肥-种”宽幅播种的要求。平均种子覆土深度为 39 mm, 种子覆土深度合格率为 86.7%, 变异系数为 11.4%; 平均肥料覆土深度为 81 mm, 肥料覆土深度合格率为 93.3%, 变异系数为 8.6%, 满足 GB/T 20865-2007《免耕施肥播种机》的要求。

3.2.3 地轮滑移率

试验中, 采用定圈测距离的方式测得播种机在地轮转动 20 圈的实际前进距离平均为 29.99 m, 理论前进距离为 27.65 m, 计算得出地轮的滑移率为 7.8%。

3.2.4 浮动覆土板防粘土性能

根据所述试验方法, 分别测得两种覆土装置每次的黏附土壤量, 计算平均值得到采用常规镇压轮的黏土量为 956.24 g, 采用浮动覆土板的黏土量为 493.95 g, 采用浮动覆土板的黏土量较常规镇压轮黏土量减小了 462.29 g, 相对常规镇压轮降低了 48.34%。采用浮动覆土板镇压能够降低土壤黏附, 主要有以下 2 点原因: 一是浮动覆土板内壁分布的长圆形凸起, 使土壤与覆土板接触界面形成不连续的弯月面, 降低粘附; 二是弹性覆土板的弹性降低了对土壤的正压力, 粘附减小。

3.2.5 机具通过性

试验结果显示, 机具田间试验过程中, 通过性能好, 没有发生堵塞现象。这是因为播种机采用条带旋耕装置制备种床, 形成整洁的种带, 有利于开沟部件顺利通过; 用双圆盘开沟器开沟, 利用双圆盘的切茬功能和绕转性, 增加了机具通过性能; 通过减少开沟部件数量, 增大开沟部件间横向距离, 从而增加通过性, 减少堵塞。

4 结论与讨论

本文基于稻麦轮作区农艺特点, 设计了一种稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机, 进地一次可完成开厢沟、带状旋耕、宽幅精量播种、侧深施肥及覆土镇压等工序。

1) 室内试验表明, 双轴驱动的螺旋窝眼轮式排种器平均播种幅宽为 74.6 mm, 种子漏充率为 6.25%。田间试验表明, 开出的厢沟平均深度 175 mm, 平均沟面宽度 238 mm, 满足排水要求, 平均种子覆土深度合格率 88%, 平均肥料覆土深度合格率 93.3%, 均达到国家标准。设计的浮动覆土板镇压装置平均黏土量较常规镇压轮装置平均黏土量降低了 48.34%, 减少了壅土现象。

2) 提出的“种-肥-种”宽幅精量播种和带状旋耕技术相结合的防堵方式, 破碎种肥带上的稻茬和稻根, 开出清洁的种肥带, 减少了对入土部件的缠绕堵塞, 加强了机具的通过性能; 平均种肥带宽度为 338 mm, 有助于田间土壤水分蒸发。

由于未对开厢沟部分的土壤进行耕作处理, 采用双翼铧式开沟器开沟后不能形成整齐的沟形, 建议细碎土壤后再开沟效果更好; 设计的播种机在水分含量较小的稻茬田播种后种子覆盖不实, 有待进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 郭淑敏, 马帅, 陈印军. 中国粮食主产区主要粮食作物比较优势与发展对策研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 391—396.
Guo Shumin, Ma Shuai, Chen Yinjun. The study of comparative advantage and countermeasures of main grain production in the main grain production area in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(1): 391—396. (in Chinese with English abstract)
- [2] 马力, 杨林章, 沈明星, 等. 基于长期定位试验的典型稻麦轮作区作物产量稳定性研究[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 117—124.
Ma Li, Yang Linzhang, Shen Mingxing, et al. Study on crop yield stability in a typical region of rice-wheat rotation based on long-term fertilization experiment[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2011, 27(4): 117—124. (in Chinese with English abstract)
- [3] 石春林, 金之庆, 葛道阔, 等. 气候变化对长江中下游平原粮食生产的阶段性影响和适应性对策[J]. 江苏农业学报, 2001, 17(1): 1—6.
Shi Chunlin, Jin Zhiqing, Ge Daokuo, et al. Gradual effects of climate change on food production and adaption strategies in the middle and lower valley of Yangtze River[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2001, 17(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨利, 张建峰, 张富林, 等. 长江中下游地区氮肥减施对稻麦轮作体系作物氮吸收、利用与氮素平衡的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 195—202.
Yang Li, Zhang Jianfeng, Zhang Fulin, et al. Effects of reducing N application on crop N uptake, utilization and soil N balance under Rice-Wheat rotation system on middle and lower reaches of Yangtze river region[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(1): 195—202. (in Chinese with English abstract)
- [5] 夏晓东, 吴崇友, 张敏. 长江中下游稻田机械化保护性耕作研究展望[C]//农业部南京农业机械化研究所. 中国农机化发展论坛: 水稻生产机械化技术交流会论文集. 南京: [出版者不详], 2006.
- [6] 张礼钢, 夏晓东, 缪冬平. 长三角地区稻麦轮作田机械化保护性耕作技术进展[J]. 农业工程, 2012, 2(9): 4—8.
Zhang Ligang, Xia Xiaodong, Miao Dongping. Mechanization conservational tillage technology process in rice-wheat rotation field in the Yangtze River delta area[J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(9): 4—8. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张秀梅, 张居敏, 夏俊芳, 等. 水旱两用秸秆还田耕整机关键部件设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 10—16.
Zhang Xiumei, Zhang Jumin, Xia Junfang, et al. Design and experiment on critical component of cultivator for straw returning in paddy field and dry land[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2015, 31(11): 10—16. (in Chinese with English abstract)
- [8] Singh A. Evaluation of wheat sowing technologies under paddy residue conditions[J]. International Journal of Forestry and Crop Improvement, 2015, 6(1): 43—48
- [9] Singh R P, Dhaliwal H S, Humphreys E, et al. Economic assessment of the Happy Seeder for rice-wheat systems in Punjab, India[C]//AARES 52nd Annual conference, Canberra, ACT, Australia, 2008: 2—23.
- [10] Olaf E. Cropping systems and crop residue management in the Trans-Gangetic Plains: Issues and challenges for conservation agriculture from village surveys[J]. Agricultural Systems, 2011, 104(1): 54—62.
- [11] Olaf E, Umar F, Malik R K, et al. On-farm impacts of zero tillage wheat in South Asia's rice-wheat systems[J]. Field Crops Research, 2008, 105(3): 240—252.
- [12] Botta G, Tolón-becerra A, Lastra-bravo X, et al. Alternatives for handling rice (*Oryza sativa* L.) straw to favor its decomposition in direct sowing systems and their incidence on soil compaction[J]. Geoderma, 2015(239/240): 213—222.
- [13] Singh Y, Bhardwaj A K, Singh G, et al. Rice (*oryza sativa*) stubble height for zero-till wheat (*triticum aestivum*) sowing under a rice-wheat cropping system[J]. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 2002, 72(12): 726—727.
- [14] Sidhu H S, Singh M, Humphreys E, et al. The happy seeder enables direct drilling of wheat into rice stubble[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2007, 47(7): 844—854.
- [15] Pannu C J S, Shukla L N. Tractor front-mounted cross-conveyor paddy straw thrower[J]. AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America, 2010, 41(2): 35—42.
- [16] 程少兰. 保护性耕作技术在南方水田地区应用的初步探索[C]//农业部南京农业机械化研究所. 中国农机化发展论坛: 水稻生产机械化技术交流会论文集. 南京, 2006.
- [17] 金梅, 梁苏宁, 张文毅, 等. 多功能施肥播种机的研发[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(1): 4—6, 17.
Jin Mei, Liang Suning, Zhang Wenyi, et al. Development of multi-function fertilizing seeder[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(1): 4—6, 17. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李朝苏, 汤永禄, 解立胜, 等. 2BMFDC-6 型稻茬麦半旋播种机设计与性能试验[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 789—793.
Li Chaosu, Tang Yonglu, Xie Lisheng, et al. Design and experiment of 2BMFDC-6 Half-tillage seeder of wheat after rice[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(2): 789—793. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王刚. 稻茬覆盖地小麦保护性耕作技术及机具研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.

- Wang Gang. Study on Conservation Tillage Technology and Seeder about Wheat in Paddy Stubble-straw Field[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李兵, 王继先, 张健美, 等. GBSL-180 型双轴式旋耕灭茬播种机设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 180—182.
Li Bing, Wang Jixian, Zhang Jianmei, et al. Design and study of GBSL-180 type two-axle rotary tiller-seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 180—182. (in Chinese with English abstract)
- [21] 朱惠斌, 李洪文, 何进, 等. 稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机[J]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 39—44.
Zhu Huibin, Li Hongwen, He Jin, et al. No-till wheat seeder with two-axel drive anti-blocking in rice stubble field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 39—44. (in Chinese with English abstract)
- [22] 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 Qingsong, Ji Wenfeng, Liao Yitao, et al. Surface analysis and resistance characteristic 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)
- [23] 李拴良, 任长宏, 格桑曲珍, 等. 宽幅硬茬播种对冬小麦生长、产量及品质的效应[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(1): 80—85.
Li Shuanliang, Ren Changhong, Gesangquzhen, et al. Effect of no-tilled wide planting pattern on growth, yield and quality of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(1): 80—85. (in Chinese with English abstract)
- [24] 韩惠芳, 赵丹丹, 沈加印, 等. 灌水量和时期对宽幅精播冬小麦产量及品质特性的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 109—114.
Han Huifang, Zhao Dandan, Shen Jiayin, et al. Effect of irrigation amount and stage on yield and quality of winter wheat under wide-precision planting pattern[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2013, 29(14): 109—114. (in Chinese with English abstract)
- [25] 古汉虎, 向万胜, 李玲. 湿地农田“三沟”配套排水整体功能研究[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(增刊): 130—134.
Gu Hanhu, Xiang Wansheng, Li Ling. Study on the integral function of ditching to drain off excessive water in farming soil in wetland[J]. Journal of China Agricultural University, 1997, 2(Supp.): 130—134. (in Chinese with English abstract)
- [26] 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: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [27] 高焕文, 李洪文, 姚宗路. 轻型高防堵性能免耕播种机研究[J]. 中国工程科学, 2007, 9(9): 35—39.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Yao Zonglu. Study on the light no-till seeders with high anti-blockage performance[J]. Engineering Sciences, 2007, 9(9): 35—39. (in Chinese with English abstract)
- [28] 贾洪雷, 陈忠亮, 郭红, 等. 旋耕碎茬工作机理研究和通用刀辊的设计[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 29—32.
Jia Honglei, Chen Zhongliang, Guo Hong, et al. Study on working principle of rotary tillage and stubble cutting and design of universal knife roller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(4): 29—32. (in Chinese with English abstract)
- [29] 张宇文. 机械式多功能精密排种器的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 51—53, 50.
Zhang Yuwen. Research and design for making a new type of mechanized and multiple functions of precision seed-drilled appliance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 51—53, 50. (in Chinese with English abstract)
- [30] 袁文胜, 吴崇友, 金诚谦. 异形孔窝眼轮式油菜排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 72—75.
Yuan Wensheng, Wu Chongyou, Jin Chengqian. Design and experiment on seed-metering device with special cells for cole seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 72—75. (in Chinese with English abstract)
- [31] 廖庆喜, 张猛, 余佳佳, 等. 气力集排式油菜精量排种器[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 30—34.
Liao Qingxi, Zhang Meng, Yu Jiajia, et al. Pneumatic centralized metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 30—34. (in Chinese with English abstract)
- [32] 于慧春, 刘俊峰, 冯晓静, 等. 双圆盘开沟器开沟沟形的计算机模拟分析[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(1): 108—110.
Yu Huichun, Liu Junfeng, Feng Xiaojing, et al. Simulation study on the property and motion of the double-disk digger[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2004, 27(1): 108—110. (in Chinese with English abstract)
- [33] 吴明亮, 官春云, 汤楚宙, 等. 2BF-6 型稻茬田油菜免耕联合播种机的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 103—106.
Wu Mingliang, Guan Chunyun, Tang Chuzhou, et al. 2BF-6 type no-tillage combine seeder for rape in stubbly field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2005, 21(3): 103—106. (in Chinese with English abstract)

Design and experiment of broad width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field

Hu Hong¹, Li Hongwen¹, Li Chuanyou², Wang Qingjie^{1*}, He Jin¹, Li Wenying¹, Zhang Xiangcai¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Agricultural Machinery Testing and Extension Station, Beijing 100079, China)

Abstract: Lacking of suitable machinery and heavy blocking are the major constraints for directly drilling wheat seed in rice stubble field due to the heavy straw load and heavy soil in rice-wheat cropping system in the middle and lower reaches of the Yangtze River region. Therefore, most farmers are reluctant to plant wheat in winter and a large number of croplands are idled. In order to solve the blocking problem in rice-wheat cropping system in the middle and lower reaches of the Yangtze River region, in view of meeting the agronomic requirements of opening ditch and reducing soil adhesion when sowing wheat in rice stubble field, a new anti-blocking method was proposed, which combined “seed-fertilizer-seed” broad width and precision planting mode with strip rotary tillage, and a broad width and precision minimal-tillage wheat planter was developed, which integrated the strip rotary tillage and broad width and precision seeding functions, and could finish ditch opening, strip rotary tillage, side deep fertilizing, broad width and precision seeding, and covering and compacting soil in the same run. Besides, the design and optimization for the key components were done, including double-wing ditch opener, double-shaft spiral indent roller seed-metering device and floating covering scraper. The stubbles among seed-fertilizer belts were cut and mixed with soil, and double-wing ditch openers dug the drainage ditch at the same time. The mean width of seed-fertilizer belts was 338 mm, in which 2 rows of seed and one row of fertilizer were set. The floating covering scraper was little wider than the seed-fertilizer belt, and when covering seeds and compacting soil in seed-fertilizer belts, it made ensure that there was good contact between seeds and soil. To evaluate the technology and the planter, laboratory experiments were conducted in Engineering College of China Agricultural University and field trials were conducted in Tuanfeng, Hubei Province. The laboratory experiments demonstrated that each indent of double-shaft spiral indent roller seed-metering device could only be filled with one grain of wheat seed at most, and the leakage rate of seed filling was 6.25%. The mean width of seeding rows was 74.6 mm, which reached the requirement of wide seeding. The field trials showed that the mean depth and width of ditch that was dug by double-wing ditch opener, were 175 and 238 mm respectively, which met the requirement of drainage. The mean sowing depth was 39 mm, and the qualified rate of sowing depth was 86.7%; the mean fertilizing depth was 81 mm, and the qualified rate of fertilizing depth reached 93.3%. Both of them met the requirements of national standard. When using the floating covering scraper to cover and compact soil, the soil adhesion was reduced by 48.34% compared with general press wheel. The slipping ratio of land wheel was 7.8%, and the blocking problem did not happen while the planter was working. The broad width and precision minimal-tillage wheat planter offers a new method of drilling wheat seed in rice stubble field, which can reduce blockage caused by the heavy rice stubble and decrease soil adhesion, and meets the requirements of opening ditch and broad width and precision seeding at the same time.

Keywords: agricultural machinery; design; crops; rice stubble field; anti-blocking; strip tillage