

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.007

秸秆后覆盖小麦播种机设计与试验

牛 琪^{1,2} 王庆杰^{1,2} 陈黎卿³ 李洪文^{1,2} 何 进^{1,2} 李问盈^{1,2}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 江苏省现代农业装备与技术协同创新中心, 镇江 212013;
3. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

摘要: 针对华北平原麦-玉两熟区, 小麦在玉米秸秆覆盖地撒播易出现秸秆堵塞、麦种架空、晾籽等问题, 利用正转旋耕抛土模型以形成土壤、秸秆顺序覆盖, 设计了一种秸秆后覆盖小麦播种机, 可一次完成旋耕、均匀撒播、覆土、覆盖秸秆、镇压等作业。旋耕刀采用对称螺旋线排列; 通过抛土运动分析确定了被抛物料运动的最大高度为 0.52 m, 水平方向最大位移为 0.79 m, 并确定了导土板的位置参数; 通过性能试验优选分种装置与水平方向夹角为 35°, 分种板间的距离为 50 mm。在河北涿州试验站进行了整机田间试验, 结果表明: 正转旋耕装置能有效抛土、抛秸秆, 避免秸秆、根茬堵塞分种装置, 耕深稳定在 148 ~ 152 mm 内, 耕深稳定性系数为 95.5%, 多功能行走轮滑移率约为 5.3%, 机具通过性能符合国家标准 (GB/T 20865—2007) 要求; 机具作业后秸秆覆盖量平均为 1.07 kg/m², 达到作业前秸秆覆盖量的 80%; 播深稳定在 30 ~ 35 mm 内, 播深合格率为 91.1%, 不同位置幅宽内 10 cm × 25 cm 矩形框内麦种数量稳定在 29 ~ 30 粒, 符合农艺要求。

关键词: 秸秆覆盖; 均匀撒播; 小麦; 顺序覆盖; 旋耕

中图分类号: S222.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)11-0052-08

Design and Experiment on Straw Post-covering Wheat Planter

NIU Qi^{1,2} WANG Qingjie^{1,2} CHEN Liqing³ LI Hongwen^{1,2} HE Jin^{1,2} LI Wenying^{1,2}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Jiangsu Province Synergistic Innovation Center of Modern Agricultural Equipment and Technology, Zhenjiang 212013, China
3. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: In the wheat-maize rotation area of North China Plain, it is widely recognized that there are some problems in the wheat broadcast sowing under the condition of the maize straw mulching, such as straw blockage and wheat seeds planted on the maize straw. In order to solve these problems, taking advantage of the soil-thrown model of down-cut rotation tillage to form soil and straw sequential cover, a straw post-covering wheat planter was designed, which could implement the following function at one time: rotary tillage, uniform-broadcast sowing, anti-blocking, covering soil and straw and compacting. The planter included the following nine parts: suspension frame, gearbox, rotary tillage device, soil-oriented plate, seed-dividing device, soil-straw separation device, multifunctional ground wheel, frame, seeding device, and so on. The layout of rotary blades was symmetrical helix arrangement, and the maximum height of the thrown granule was calculated as 0.52 m, the maximum displace in the horizontal direction was 0.79 m, and the position parameters of the soil-oriented plate were determined. By means of the performance test, it was preferable that the distance between the seeding-dividing device and the horizontal direction was 35° and the distance between the seed-dividing plates was 50 mm. The planter field experiment was conducted in Zhuozhou Experimental Station of Hebei Province, China. And the results indicated that the down-cut rotary tiller could effectively throw the soil and straw and avoid maize straw blockage. The depth of tillage was around 148 ~ 152 mm, the stability coefficient of tillage depth was 95.5%, slip rate of multi-function walking wheel was about 5.3%, the passing ability of the planter was good and the performance can meet national standards; the weights of maize straw was 1.07 kg/m²

收稿日期: 2017-03-28 修回日期: 2017-09-04

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201503136) 和江苏省现代农业装备与技术协同创新中心项目 (NZXT02201601)

作者简介: 牛琪 (1992—), 女, 博士生, 主要从事播种机械设计及理论研究, E-mail: causeven@163.com

通信作者: 王庆杰 (1979—), 男, 副教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作技术研究, E-mail: wangqingjie@cau.edu.cn

after sowing, which can reach 80% of straw amount before sowing; the depth of sowing was around 30 ~ 35 mm, sowing pass rate was 91.1%, the mean number of wheat seeds in the rectangular frame of 10 cm × 25 cm in different positions was around 29 ~ 30, which met the agronomic requirements.

Key words: straw mulching; uniform-broadcast sowing; wheat; ordinal overage; rotary tillage

引言

小麦主要有沟(条)播和撒播两种种植方式,研究人员在沟播与撒播增产效果方面做了大量研究。翟云龙等^[1]对华北地区冬小麦群体质量机产量研究表明机械撒播栽培的干物质积累多、叶面积指数大,利于优化小麦群体质量,实现增产;董琦等^[2]认为撒播和窄行条播的水分利用效率较高;MATTHEWS 等^[3]采用不同行距的条播与撒播方式种植小麦,得出在澳大利亚南部采用撒播小麦不但节省时间、成本低,产量也明显高于开沟条播。采用人工撒播小麦效率低、种子分布不均匀、覆土困难,落在秸秆上的麦种难以出苗^[4],因此,设计适宜保护性耕作模式下高效、可靠的撒播机械十分必要。

国内外学者对撒播机械的研究较少,以气力式撒播机和机械式撒播机为主^[5-7]。但是目前研制的撒播机普遍存在种子垂直分布不均匀,尤其在秸秆覆盖地表作业易出现种子落在秸秆上出现架空的现象,严重影响了麦种的出苗率。

本文针对华北麦-玉两熟区玉米收获后撒播小麦种子架空、分布不均匀等问题,为达到麦种在水平、垂直方向的均匀分布并实现先覆土后覆盖秸秆的要求,设计一种秸秆后覆盖小麦播种机,为秸秆覆盖地小麦机械化撒播栽培提供装备支撑。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

秸秆后覆盖小麦播种机主要适用于华北平原一年两熟玉米秸秆覆盖地的小麦撒播,整机结构如图 1 所示。主要由机架、动力传送系统、旋耕装置、导土板、分种装置、土秸分离装置、多功能行走轮和排种装置组成。其中旋耕装置采用中间链传动;导土板与土秸分离装置通过螺栓连接安装在机架侧板上,位于旋耕装置后下方;排种装置包括种箱、双轴槽轮排种机构、输种管,由多功能行走轮通过侧面链传动实现排种;分种装置位于导土板与土秸分离装置中间,通过 U 型螺栓安装在机架横梁上,实现麦种的横向均匀分散。该机可一次完成旋耕、均匀撒播、覆土、覆盖秸秆、镇压等作业,其主要技术参数如表 1 所示。

1.2 工作原理

秸秆后覆盖小麦播种机适用于麦-玉两熟区小

麦播种,采用三点悬挂方式。作业时,拖拉机的后动力输出轴将动力经变速箱传递至旋耕刀轴,旋耕装置完成碎土、切茬、整地等作业,并将旋切细碎后的土壤、秸秆混合物抛送至导土板与土秸分离装置上;同时,多功能行走轮带动种箱中的槽轮机构将麦种排至分种装置中,分种装置将种子均匀撒播至旋耕后的地表上;落至土秸分离装置的碎土先于秸秆均匀覆盖在麦种上,形成秸秆-土壤顺序覆盖模式,最后进行镇压作业。

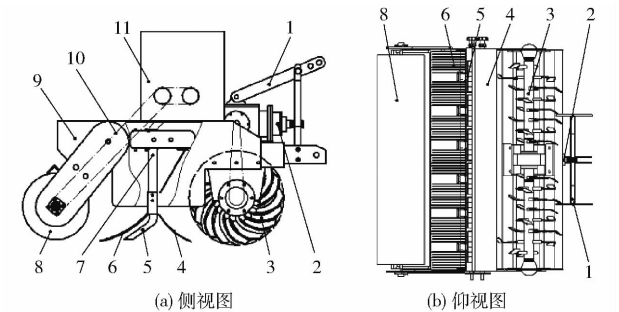


图 1 秸秆后覆盖小麦播种机结构示意图
Fig.1 Structural diagram of straw post-covering wheat planter

1. 悬挂架 2. 变速箱 3. 旋耕装置 4. 导土板 5. 分种装置
6. 土秸分离装置 7. 输种管 8. 多功能行走轮 9. 机架 10. 链传动 11. 排种装置

表 1 秸秆后覆盖小麦播种机主要技术参数
Tab.1 Main structural parameters of straw post-covering wheat planter

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	1 600×2 250×1 200
整机质量/kg	450
配套动力/kW	50 ~ 55
作业幅宽/mm	2 000
旋耕深度/mm	145 ~ 155
覆土厚度/mm	25 ~ 40
种箱容积/L	160
播种量/(kg·hm ⁻²)	260 ~ 320
多功能行走轮直径/mm	480
作业行进速度/(km·h ⁻¹)	2 ~ 5

2 关键部件设计

2.1 旋耕装置

2.1.1 旋耕装置旋向的确定

在华北一年两熟区玉米收获后播种小麦,地表秸秆覆盖量大,播种机在尽可能减少土壤扰动的同

时保证良好的种床条件。正转旋耕作业是先将地表秸秆挤压入土,后翻耕抛起旋碎的秸秆与土壤,因而正旋切土节距较小,形成的土块较为细碎,作业后的秸秆纵向空间分布效果及地表覆盖率比反转旋耕略高^[8-10]。结合机具结构与功能,旋耕装置需配合导土板导土作业,故本设计采用正转旋耕方式,选用国标 T195 旋耕刀,理论耕作深度为 145 ~ 155 mm。

2.1.2 旋耕刀排列

当旋耕刀辊以角速度 ω 转动,以速度 v_m 前进,前进方向与 x 轴正向相同,则旋耕刀在时间 t 内刀端点的运动方程为

$$\begin{cases} x = v_m t + R \cos(\omega t) \\ y = R \sin(\omega t) \end{cases} \quad (1)$$

式中 R ——刀辊回转半径,mm

为保证正转旋耕作业轨迹为余摆线,旋耕刀具有良好的破茬碎土效果,则刀辊圆周速度与机具前进速度之比 λ 应不小于 1,当机具前进速度 $v_m =$

1.2 m/s 时,参照文献[10-11]选取刀轴的设计转速为 250 r/min。由于旋耕后直接播种,并利用旋耕抛起的土壤进行覆土,因而对碎土质量要求高,切土节距确定为 70 mm^[18]。同一小区内旋耕刀数量计算式为

$$S = \frac{6\,000 v_m}{nz} \quad (2)$$

式中 S ——切土节距,mm

n ——旋耕刀轴转速,r/min

z ——刀轴上同一小区内旋耕刀数量

代入数据计算得 $z = 2$ 。考虑到播种形式为均匀撒播且播幅较宽,采用全幅旋耕、中间传动的形式。刀轴选用直径为 80 mm 的空心钢管,刀辊分左右两段安装在齿轮箱两侧,各有 28 把旋耕刀,采用对称螺旋线排列^[12-13],并以齿箱为中心对称,保证机具作业的稳定性和,如图 2 所示。为避免旋耕作业时秸秆缠绕刀座与刀轴,在刀座两侧增加弧形滑刀。

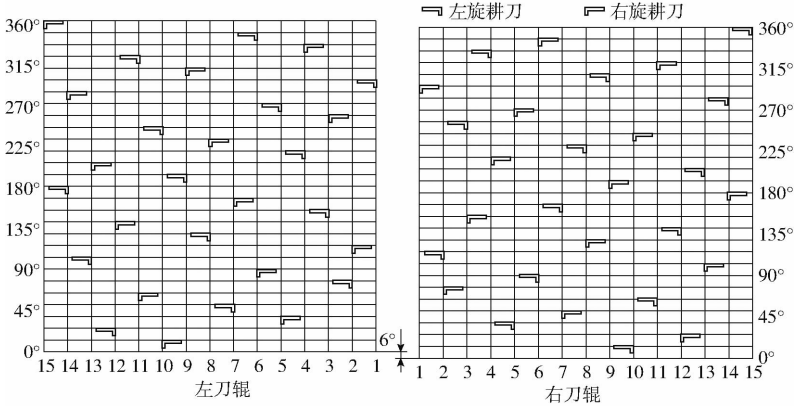


图 2 旋耕刀排列

Fig. 2 Inversion of rotary blades

2.2 导土板及土秸分离装置

2.2.1 旋耕抛土、抛秸秆运动分析

旋耕刀作业时,被切下的土堡受到旋切挤压力后向斜上方运动,落下的土壤、秸秆经导土板及土秸分离装置完成播种后的覆土、覆秸秆作业,因此通过对旋耕抛起的物料(土粒或秸秆)进行运动分析,可确定导土板、土秸分离装置及分种装置的安装位置。文献[14]认为高速切削条件下确定被抛物料速度时,应考虑旋耕刀正切面与秸秆、土壤的撞击作用。因此当旋耕刀以切削角为 α 、切削速度为 v_a 切削颗粒 M 时,建立被抛物料速度坐标系 NMT ,如图 3 所示,则被抛物料相对速度的法向分量与切向分量在碰撞后和碰撞前的比例关系分别为

$$\frac{v_{2n}}{v_{1n}} = \frac{v_{2n}}{v_a \sin \alpha} = k \quad (3)$$

$$\frac{v_{2r}}{v_{1r}} = \frac{v_{2r}}{v_a \cos \alpha} = 1 - f \quad (4)$$

式中 v_{2n} ——碰撞后物料法向分速度,m/s

v_{1n} ——碰撞前物料法向分速度,m/s

k ——物料还原系数,土壤取 0.4

v_{2r} ——碰撞后物料切向分速度,m/s

v_{1r} ——碰撞前物料切向分速度,m/s

f ——瞬时摩擦因数,为 0.5

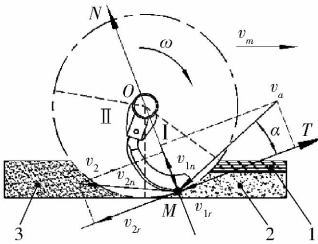


图 3 被抛物料速度分析

Fig. 3 Velocity analysis of thrown granule

I. 切土区 II. 抛土区 1. 秸秆 2. 未旋耕作业土壤 3. 已耕地

而切削速度 v_a 的分量分别为 x 、 y 方向路程对时间的导数,对式(1)微分得

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = v_m - \omega R \sin(\omega t) \\ v_y = \frac{dy}{dt} = \omega R \cos(\omega t) \end{cases} \quad (5)$$

从而得切削速度

$$v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_m^2 - 2v_m \omega R \sin(\omega t) + \omega^2 R^2} = \omega R \sqrt{1 + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{2}{\lambda} \cos(\omega t)} \quad (6)$$

物料 M 被旋耕刀切下向斜后上方的运动受多个因素影响^[15],为近似确定物料 M 脱离旋耕刀后的运动轨迹,做如下假设:①物料 M 被抛起时,水平方向以碰撞后物料 M 相对速度的切向分量和旋耕机前进的牵连速度的绝对速度运动,竖直方向以碰撞后物料 M 相对速度的法向分量运动。②物料 M 运动轨迹是一个连续曲线,且速度的增加是连续的。③所研究的物料 M 运动与相邻物料的运动无关。④不计空气阻力。则被抛物料 M 的运动方程为

$$\begin{cases} x_0 = x_1 + (v_{2r} - v_m) t_0 \\ y_0 = y_1 + v_{2n} t_0 - \frac{1}{2} g t_0^2 \end{cases} \quad (7)$$

式中 (x_1, y_1) ——物料 M 初始位置 Q_1 的坐标

g ——重力加速度,取 9.8 m/s^2

t_0 ——被抛物料 M 运动的时间, s

对式(7)关于时间求一阶导数可得被抛物料 M 的速度方程为

$$\begin{cases} v_{0x} = \dot{x}_0 = v_{2r} - v_m \\ v_{0y} = \dot{y}_0 = v_{2n} - g t_0 \end{cases} \quad (8)$$

消除式(7)中的 t_0 ,则被抛物料 M 的轨迹方程为

$$y_0 = y_1 + v_{2n} \frac{x_0 - x_1}{v_{2r} - v_m} - \frac{1}{2} g \left(\frac{x_0 - x_1}{v_{2r} - v_m} \right)^2 \quad (9)$$

由式(9)可看出被抛土壤微粒的轨迹为抛物线,代入数值可得抛土最大高度为 0.52 m ,水平方向最大位移为 0.79 m 。

2.2.2 导土板位置参数确定

由文献[16-17]知旋耕刀作业过程中,浅层物料运动位移明显大于中层及深层物料位移,即地表覆盖的秸秆相对土粒被旋切抛起的运动位移要大。同时旋耕刀抛起的土粒、秸秆由于空气阻力、机具振动等因素,导致部分抛出的物料走向不确定^[18],为避免土粒、秸秆影响分种装置落种以及保证合适的覆土量,须安装一个弧形导土板置于分种装置前侧。以旋耕刀辊回转中心 O 为坐标系原点, X 轴正向和机组前进方向一致, Y 轴正方向垂直向上,建立旋耕装置及导土板运动的静坐标系 OXY ,如图 4 所示。设导土板平面长度为 l ,与水平方向的夹角为 β ,导土板最低点 P 相对刀轴回转中心 O 的位置参数分

别为 l_x, l_y 。图中 a 为浅层被抛物料运动轨迹, b 为中层被抛物料运动轨迹, c 为深层被抛物料运动轨迹, Q_1 为浅层被抛颗粒的初始位置,坐标为 (x_1, y_1) , Q_2 为中层被抛颗粒的初始位置,坐标为 (x_2, y_2) , Q_3 为深层被抛颗粒的初始位置,坐标为 (x_3, y_3) 。

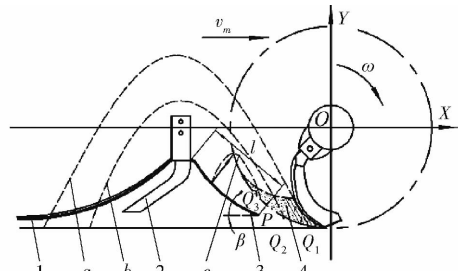


图 4 被抛颗粒轨迹与导土板位置示意图

Fig.4 Schematic diagram of thrown granule track and installation site of soil-oriented plate

1. 土粒分离装置 2. 分种装置 3. 导土板 4. 被抛土堡

根据设计要求覆土厚度为 $25 \sim 40 \text{ mm}$,则应保证有 $25\% \sim 30\%$ 的被抛土壤微粒能够顺利通过导土板,其余土粒因飞行高度不够与导土板碰撞,在重力作用下落回地表。取覆土厚度为 30 mm 时,设被抛土壤微粒 $S(x_s, y_s)$ 恰好可通过导土板,即被抛土粒 S 沿 Y 轴的飞行高度大于等于导土板的最高点,且土粒到达最高点的水平位移大于等于导土板最高点对应的横坐标,则有

$$\begin{cases} \left| y_s + \frac{v_{2y}^2}{2g} \right| \geq |l_y + l \sin \beta| \\ \left| x_s + v_{2x} \frac{t_s}{2} \right| \geq |l_x + l \cos \beta| \\ t_s = \frac{2v_{2y}}{g} \end{cases} \quad (10)$$

式中 (x_s, y_s) ——被抛土粒 S 初始位置的坐标,为 $(-131.5 \text{ mm}, -181.5 \text{ mm})$

v_{2x}, v_{2y} ——被抛土粒 S 初始速度在 X, Y 方向的分量,分别为 $2.68, 1.26 \text{ m/s}$

t_s ——被抛土粒 S 在空中运动的时间, s

(l_x, l_y) ——导土板最低点 P 的坐标

代入数值计算得被抛土粒 S 在空中运动时间为 0.26 s ,覆土厚度为 30 mm 时,导土板最低点 P 的坐标为 $(-301.15 \text{ mm}, -81.42 \text{ mm})$,平面长度 l 为 200 mm ,与水平方向的夹角为 32° 。由于被抛颗粒运动轨迹为抛物线,故导土板板面为下凹弧形。顺利通过导土板的被抛颗粒落至条形栅栏结构的土粒分离装置上,土壤微粒则先于秸秆从栅栏间隙中落在麦种上,形成秸秆-土壤顺序覆盖的模式。

2.3 排种装置

2.3.1 排种装置的选型

从种箱输送至分种装置的种子流是否均匀、连

续直接影响到小麦撒播后的横向、纵向均匀性,其中横向指幅宽方向,纵向指播种深度方向。外槽轮式排种器主要由排种盒、排种轴、槽轮、阻塞套等组成,凹槽内的种子随槽轮转动被动排出,具有排种均匀、排量一致、不受种子大小及外形影响等特点^[19]。为实现宽幅均匀撒播,在常规外槽轮排种器的基础上设计了双轴驱动的槽轮排种机构,每个槽轮下对应一个分种装置,播种幅宽相当于单槽轮播种的两倍。同时,排种槽轮由直槽轮和螺旋槽轮组成,通过调节螺旋槽轮与直槽轮有效工作长度的比例,可保证不同转速下麦种的连续下落。槽轮凹槽断面形状为圆弧形,凹槽半径为 6 mm,直槽轮与螺旋槽轮的槽数均为 12,螺旋角为 12°。

2.3.2 排种装置参数确定

撒播小麦要求播种量 Q_b 为 300 ~ 420 kg/hm²,理论排种量 Q_l 应与农业技术要求的排种量相同^[12],则槽轮直径 d 为

$$\pi d L \gamma (\alpha_0 + \kappa) = \frac{\pi D b Q_b (1 + \delta)}{10 i}$$

(11)

式中 L ——槽轮有效工作长度,cm
 γ ——麦种密度,为 0.82 g/cm³
 α_0 ——麦种填充系数,取 0.048
 κ ——带动层特性系数,取 0.3
 D ——多功能行走轮直径,为 0.48 m
 b ——每组槽轮机构对应的播宽,为 0.32 m
 δ ——行走轮滑移系数,取 0.03 ~ 0.07
 i ——排种槽轮与多功能行走轮的传动比,为 1.2

将数值代入式(11)可得

$$12.48 \text{ m}^2 \leq dL \leq 15.36 \text{ m}^2$$

(12)

播量一定时,槽轮直径过大影响排种均匀性,直径过小会增加麦种损伤率,取 36 mm;而槽轮有效工作长度过小会阻碍种子流动,取 36 ~ 42 mm,从而得理论排种量 Q_l 为 11.33 ~ 13.22 g/r。并根据 JB/T 9783—1999《播种机外槽轮排种器》中的试验方法对排种量一致性和种子破损率进行测试,试验得各组双轴槽轮排种机构排种量均在理论排种量的范围内,总排种量一致性变异系数为 1.22%,平均破碎率为 0.20%,均满足技术要求。

2.4 分种装置

基于籽粒自流打散原理,设计了斜置三角式的分种装置,从播种装置经输种管落下的种子经分种板可被横向均匀分流,落种口与旋耕后的土壤表面有 10 ~ 15 mm 的间距,以防土壤堵塞落种口,如图 5 所示。分种装置采用普通碳素钢钢板,内表面粗糙度小于 12.5 μm,分种板厚度为 1 mm。

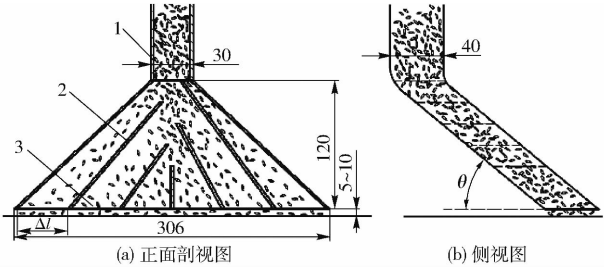


图 5 分种装置结构参数示意图

Fig. 5 Structure parameter diagrams of seed-dividing device

1. 输种管 2. 分种板 3. 落种口

根据前文计算的理论排种量 Q_l 可得进入分种装置的麦种流量 Q_m 为 9.06 ~ 10.58 g/s。而在麦种流量一定的条件下,各分种板间的距离 Δl 和分种装置与水平方向的夹角 θ 是影响分种性能的关键因素。 Δl 与 θ 过大,种子分散效果差; Δl 与 θ 过小,种子下落不顺畅,易出现堵塞造成播种断条的现象。因此需对分种装置进行分种性能台架试验,从而确定最佳的板间间距 Δl 和夹角 θ 。

由文献[20]知,含水率在 12% ~ 13% 的麦种,休止角为 27° ~ 38°,与钢板间的滑动摩擦角为 22° ~ 24°,而分种装置与水平方向夹角大于麦种自然休止角时,才可保证种子落下的顺畅性,故夹角 θ 分别设置为 30°、35°、40°;而分种装置总长度一定,板间间距 Δl 可换算为分种格数,分别设置为 5、6、7 格,并取麦种流量 Q_m 为 10 g/s,进行重复试验。具体是比较多功能行走轮转满 5 圈后各分种装置堵塞情况及分种均匀性变异系数(分种装置排出麦种质量的标准差与平均数的比)与其参数的关系。

试验后发现分种装置格数为 5、6 格时均未出现堵塞,而在 7 格,30°、35°夹角条件下分别出现了中度和轻度堵塞现象。从图 6 中可看出分种均匀性变异系数随分种板格数、夹角的变化出现显著下凹点(蓝色示意),即当格数为 6 格、夹角为 35°时,分种均匀性最好。主要原因是格数过少、夹角过大,落种

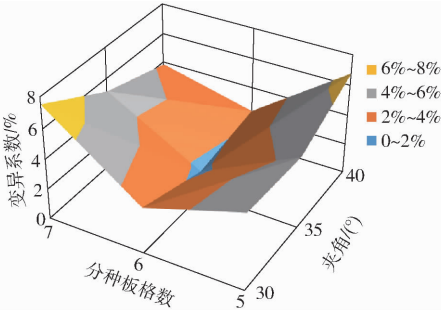


图 6 分种均匀性变异系数与分种板格数、夹角关系曲面

Fig. 6 Relationship surfaces among variable coefficient of seed-dividing homogeneity and number of seed-dividing plate as well as angle

通畅,分种板在短时间内难以将麦种均匀散开,多集中在分种装置中间两格排出;而格数增多,夹角较小时,麦种下落不流畅,出现堵塞、断条的现象。因此,优选分种装置与水平方向夹角 θ 为 35° ,格数为 6 格,即各分种板间的距离 Δl 为 50 mm。

3 田间试验

3.1 试验条件

秸秆后覆盖小麦播种机田间试验分别于 2015

年 10 月底、2016 年 11 月初在河北省涿州市东城坊镇($115^\circ56'E$ 、 $39^\circ28'N$) 中国农业大学试验站进行。试验地前茬作物为玉米,机收后采用秸秆粉碎还田机作业一遍,要求秸秆均匀抛撒,切断长度小于(等于)150 mm。秸秆、土壤条件如表 2 所示。试验用拖拉机为雷沃 754 轮式拖拉机,作业速度为 1.2 m/s。供试品种为鲁垦麦 9 号,平均穗粒数为 40 粒,千粒质量 41 g,容重 826 g/L。图 7 为播种机田间播种试验及作业前地表秸秆覆盖情况。

表 2 试验地条件
Tab.2 Experiment conditions

年度	秸秆含水率/%	秸秆覆盖量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	土壤含水率/%			土壤紧实度/MPa		
			0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm
2015	17.2	1.36	11.2	10.7	9.8	0.97	3.62	4.11
2016	16.8	1.27	12.3	11.9	10.2	0.92	2.98	3.56

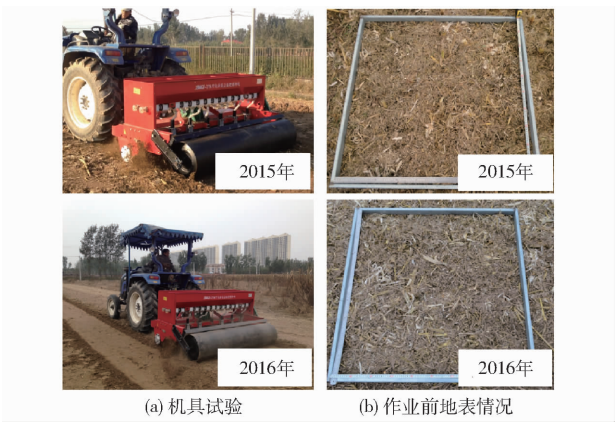


图 7 田间播种试验

Fig.7 Field experiments of seeding

3.2 试验方法

根据 GB/T 20865—2007《免耕施肥播种机》、JB/T 8401.1—96《旋耕联合作业机械旋耕施肥播种机》和 NY/T 1143—2006《播种机质量评价技术规范》对秸秆后覆盖小麦播种机进行测试。试验测试内容^[21-22]主要包括旋耕质量、播种质量、秸秆覆盖量、滑移率和机具通过性等,试验用的主要仪器有电子秤、SC-900 型土壤紧实度仪、SM-3 型水分测定仪、环刀组件(容积 100 cm³)、耕深尺、卷尺等。

3.2.1 旋耕质量

耕深与耕深稳定性系数用来表征旋耕质量。利用耕深尺沿机具前进方向每隔 2 m 左、右各测定一个点,单次行程共测 25 点,重复 3 次。耕深计算式为

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^j a_{ji}}{n_j}$$

(13)

式中 a_j ——第 j 个行程的耕深平均值,cm

a_{ji} ——第 j 个行程中第 i 个点的耕深,cm
 n_j ——第 j 个行程中的测定点数,为 25
耕深稳定性系数 U_j 为

$$U_j = \left(1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (a_{ji} - a_j)^2}{n_j - 1}} \right) \times 100\%$$

(14)

3.2.2 麦种分布情况

试验内容为麦种横向、纵向分布情况。播种机作业后,利用 10 cm×25 cm 的矩形框沿机具前进方向每隔 2 m 测定幅宽内不同位置麦种坐标及数量,单次行程测 25 点,测试 3 个行程,绘制麦种横向、纵向分布频率直方图,并计算麦种深度合格率。麦种深度合格率计算式为

$$C = \frac{N_s}{N_t} \times 100\%$$

(15)

式中 C ——播种深度合格率,%
 N_s ——播种深度满足要求测试点数
 N_t ——总测试点数

3.2.3 秸秆覆盖量

播种作业后,利用 1 m×1 m 的方框沿机具前进方向每隔 5 m 测定幅宽内不同位置的秸秆质量,单次行程测 5 点,测试 3 个行程。

3.2.4 滑移率

在多功能行走轮上做黄色标记,测量播种机作业过程中行走轮转动 20 圈的实际前进距离,测量 5 个行程取平均值,同时根据行走轮半径计算理论前进距离,则滑移率为

$$\eta = \frac{\bar{S} - 20\pi D}{20\pi D} \times 100\%$$

(16)

式中 $\bar{S}$ ——实际前进距离的均值,m

3.2.5 机具通过性

测试机具在全量玉米秸秆还田下连续作业80 m,试验3次,往返行程内均不发生堵塞或者仅有一次轻度堵塞,视为合格。

3.3 试验结果与分析

机具每年试验面积约800 m²,在两年3次连续作业80 m的测试中,均未出现秸秆堵塞、壅土停机等现象,未见明显缺种、无覆土区域,机具通过性及作业稳定性良好。依据所述试验方法测得秸秆后覆盖小麦播种机性能参数如表3所示,其中耕深稳定在148~152 mm内,播深稳定在30~35 mm内。麦种横、纵向分布情况如图8、9所示。

表3 主要性能指标测试结果

Tab.3 Experiment results of main performance indicators

年度	耕深 平均值/ mm	耕深稳定 性系数/ %	播深 平均值/ mm	播种 深度合格 率/%	秸秆 覆盖量/ (kg·m ⁻²)	滑移 率/%
2015	151.4	95.2	33.4	91.2	1.13	5.4
2016	148.7	95.7	31.9	90.9	1.02	5.2
平均值	150.0	95.5	32.7	91.1	1.07	5.3

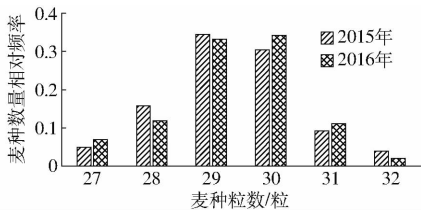


图8 麦种数量横向分布相对频率

Fig.8 Relative frequency of transverse wheat seed distribution

由表3可看出,秸秆后覆盖小麦播种机各项性能参数均满足小麦播种机作业性能要求。同时机具播种后形成了秸秆-土壤顺序覆盖模式,秸秆覆盖量

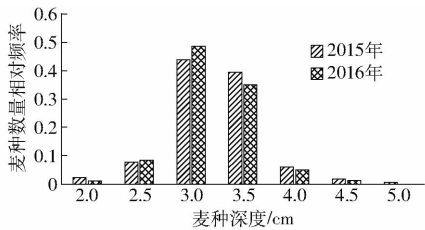


图9 麦种数量纵向分布相对频率

Fig.9 Relative frequency of lengthways wheat seed distribution

可达作业前的80%以上,极大地降低了常规小麦播种机在秸秆覆盖地表播种时,麦种播至秸秆、根茬上的现象,为麦种提供了良好的出苗、越冬条件。

从图8、9中可知,在75个测点内麦种数量集中在29~30粒,麦种深度集中在3.0~3.5 cm,即麦种的横、纵向分布均匀性较好,出苗后采光良好。但2016年麦种纵向分布比2015年麦种分布的浅,主要是2016年因降雨土壤含水率升高,土壤易粘结在旋耕刀上,致使旋耕抛起的土垡质量变小,土壤覆盖在麦种上的厚度减小。

4 结论

(1)针对玉米秸秆覆盖地播种小麦易出现堵塞、晾籽现象,设计了一种秸秆后覆盖小麦播种机,进地一次可完成旋耕、均匀撒播、覆土、覆秸秆、镇压等工序。基于旋耕抛土、抛秸秆运动分析,确定了导土板的结构参数与位置参数,实现了秸秆-土壤的顺序覆盖。

(2)对设计的秸秆后覆盖小麦播种机进行了田间试验,在玉米机收粉碎后秸秆覆盖地通过性良好。并测得2015年与2016年的耕深稳定性系数分别为95.2%、95.7%,播深合格率分别为91.2%、90.9%,耕深稳定在148~152 mm内,播深稳定在30~35 mm内,与理论设计差异不显著,满足农艺要求。

参 考 文 献

1 翟云龙,魏燕华,张海林,等. 耕种方式对华北地区冬小麦群体质量及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2016,36(9):1174-1182.
ZHAI Yunlong, WEI Yanhua, ZHANG Hailin, et al. Effect of seeding and tillage methods on population quality and yield of winter wheat in North China[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016,36(9): 1174-1182. (in Chinese)
2 董琦,冯爱娥,乔俊芳,等. 不同种植方式对丘陵地小麦田土壤水分、产量及水分利用效率的影响[J]. 激光生物学报,2015,24(6):573-579.
DONG Qi, FENG Biane, QIAO Junfang, et al. Effects of winter wheat planting manners on soil water, yield and water use efficiency in hilly land[J]. Acta Laser Biology Sinica,2015,24(6):573-579. (in Chinese)
3 MATTHEWS J. Broadcast sowing, crop row spacing and crop density for the suppression of ryegrass in wheat rotations[C]. Perth: Sheraton Perth Hotel, 2002.
4 李朝苏,汤永禄,吴春,等. 播种方式对稻茬小麦生长发育及产量建成的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(18):36-43.
LI Chaosu, TANG Yonglu, WU Chun, et al. Effect of sowing patterns on growth, development and yield formation of wheat in rice stubble land[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012,28(18): 36-43. (in Chinese)
5 孙妮娜,许令峰,王金星,等. 风送式水稻撒播机关键部件设计及试验[J]. 农机化研究,2017,39(1):137-141.

- SUN Nina, XU Lingfeng, WANG Jinxing, et al. Design and test of key parts on air-assisted rice broadcast sower[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017,39(1):137-141. (in Chinese)
- 6 EL-SHARABASY M M A, MUSTAFA M, AFIFI M K. Manufacturing and evaluation of a self-propelled machine for broadcasting seeds and granular fertilizer[J]. Farm Machinery and Power,2007,24(4):752-774.
- 7 吴海岩, 高清海, 刘焕新, 等. 小麦等深撒播机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2012,34(10):83-88.
WU Haiyan, GAO Qinghai, LIU Huanxin, et al. Design and experiment of the wheat even depth broadcast sower[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012,34(10):83-88. (in Chinese)
- 8 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 Qingchun, SHI Yong, DING Qishuo, 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)
- 9 丁为民, 王耀华, 彭嵩植. 正、反转旋耕不同耕作性能的比较[J]. 南京农业大学学报, 2003,26(3):106-109.
DING Weimin, WANG Yaohua, PENG Songzhi. Comparison on performances of up-cut and down-cut rotary tillage[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2003,26(3):106-109. (in Chinese)
- 10 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/OL]. 农业机械学报, 2016,47(5):21-26. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160504&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.004.
GUO Jun, JI Changying, FANG Huimin, et al. Experimental analysis of soil and straw displacement after up-cut and down-cut rotary tillage[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(5):21-26. (in Chinese)
- 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(1):7-15.
- 12 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007:235-237.
- 13 贾洪雷, 黄东岩, 刘晓亮, 等. 耕作刀片在刀辊上的多头螺旋线对称排列法[J]. 农业工程学报, 2011,27(4):111-116.
JIA Honglei, HUANG Dongyan, LIU Xiaoliang, et al. Symmetrical multi-spiral arrangement of tillage blades on rotor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011,27(4):111-116. (in Chinese)
- 14 孔令德, 王国林. 旋耕抛土模型研究综述[J]. 江苏理工大学学报, 1997,18(5):32-36.
KONG Lingde, WANG Guolin. A survey of research on rotary soil-throwing model[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology, 1997,18(5):32-36. (in Chinese)
- 15 李守仁, 林金天. 驱动型土壤耕作机械的理论 with 计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997:20-28.
- 16 方会敏, 姬长英, FARMAN Ali Chandio, 等. 基于离散元法的旋耕过程土壤运动行为分析[J/OL]. 农业机械学报, 2016,47(3):22-28. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160304&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.004.
FANG Huimin, JI Changying, FARMAN Ali Chandio, et al. Analysis of soil dynamic behavior during rotary tillage based on distinct element method[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(3):22-28. (in Chinese)
- 17 方会敏, 姬长英, 张庆怡, 等. 基于离散元法的旋耕刀受力分析[J]. 农业工程学报, 2016,32(21):54-59.
FANG Huimin, JI Changying, ZHANG Qingyi, et al. Force analysis of rotary blade based on distinct element method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016,32(21):54-59. (in Chinese)
- 18 罗海峰, 官春云, 汤楚宙, 等. 稻茬田油菜免耕播种机开沟部件的研究[J]. 农业工程学报, 2007,23(11):153-157.
LUO Haifeng, GUAN Chunyun, TANG Chuzhou, et al. Ditching parts of no-tillage sower in paddy stubble field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(11):153-157. (in Chinese)
- 19 翟改霞, 包德胜, 王志军, 等. 牧草播种机排种装置关键部件设计[J/OL]. 农业机械学报, 2014,45(增刊):47-51. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2014s108&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.008.
ZHAI Gaixia, BAO Desheng, WANG Zhijun, et al. Design for metering device key parts of pneumatic grass seeder[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(Supp.):47-51. (in Chinese)
- 20 张民, 姚珏, 李明. 种子休止角与静滑动摩擦系数测量仪[J]. 农业装备与车辆工程, 2012,50(11):42-45.
ZHANG Min, YAO Jun, LI Ming. An angle of repose and static coefficient of friction measurement device for seeds[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2012,50(11):42-45. (in Chinese)
- 21 胡红, 李洪文, 李传友, 等. 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.
HU Hong, LI Hongwen, LI Chuanyou, et al. 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, 2016,32(4):24-32. (in Chinese)
- 22 张银平, 杜瑞成, 刁培松, 等. 正反转组合式水稻宽苗带灭茬播种机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017,33(3):7-13.
ZHANG Yinping, DU Ruicheng, DIAO Peisong, et al. Design and experiment of wide band seeding riceseeder with reversed stubble cleaning and anti-blocking[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017,33(3):7-13. (in Chinese)