

内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机的研制与试验

李复辉, 刁培松^{*}, 杜瑞成, 崔 强, 张银平, 李 腾

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

摘 要: 在播种过程中, 由于种子与排种管、开沟器的碰撞和机组前进的共同作用, 使得种子落地的位置是随机的, 造成播种均匀性差, 为解决此问题, 该文研制了内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机, 主要由旋刀式苗带清整装置、内嵌勺盘式舵轮穴播器等组成。内嵌勺盘式舵轮穴播器由舵轮式穴播器和勺盘式排种器集成在一起, 发挥勺盘式排种器精量取种和舵轮式穴播器定点投种的优势, 实现玉米等株距精量播种。田间试验表明: 种、肥深度变异系数分别为 23.2%和 20.2%, 株距合格率达 96%, 出苗率达 95%, 机具通过性满足农艺要求。

关键词: 农业机械, 肥料, 机构, 玉米, 精量播种

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.002

中图分类号: S223.2⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-19-0016-08

李复辉, 刁培松, 杜瑞成, 等. 内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 16-23.

Li Fuhui, Diao Peisong, Du Ruicheng, et al. Development and test of no-tillage fertilization planter with embedded spoon disc helm wheel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 16-23. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

排种器^[1]是播种机的重要组成部分, 是决定播种机^[2-9]特性和工作性能的核心部件。目前, 国内外常用的排种器按播种方式可分为条播和穴播两大类。条播排种器有外槽轮式、内槽轮式、拨轮式、勺式、磨盘式、花盘式、离心式及气力式等; 穴播排种器有型孔盘式、型孔轮式、型孔带式、指夹式以及各种气力式(气吸式、气吹式及气送式等)。西方发达国家生产的播种机多采用气吹式排种器, 该排种器对种子形状和尺寸要求不严格, 充种性能好, 但结构复杂、易磨损。部分发达国家在精密播种机^[10-12]上已开始应用由卫星定位系统、地理信息系统、专家智能系统和遥感技术相融合的农业高新技术, 使得精密播种机朝着精准、变量、高效和高度智能化方向发展, 但鉴于中国国情, 智能播种机在中国还无法得到大面积推广。中国玉米播种机大多采用圆盘式排种器, 该排种器结构简单, 工作可靠, 在机器前进速度较低时工作质量良好, 但由于

从排种口到种沟沟底距离(投种高度)较大, 种子在投种过程中与导种管和开沟器发生碰撞, 使得落地位置是随机的, 会降低株距合格率。

为解决上述问题, 提高播种质量、实现玉米等株距精量穴播, 本文研制了一种内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机, 该播种机在工作过程中由前面的旋刀式苗带清整装置清理出播种苗带, 接着由内嵌勺盘式舵轮穴播器完成播种, 该穴播器集成创新将勺盘式排种器内置于舵轮盘穴播器的内部, 发挥勺盘式排种器精量取种和舵轮式穴播器定点投种的优势, 缩短了种子下落行程, 提高株距合格率, 解决了传统排种器排种均匀性差、株距不稳定的问题。

1 内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机结构与工作原理

1.1 结 构

内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机的结构如图 1 所示, 主要由悬挂装置、机架、旋刀式苗带清整装置、种肥箱、开沟器、内嵌勺盘式舵轮穴播器、限深轮、镇压轮等组成, 主要技术参数如表 1 所示。旋刀式苗带清整装置由旋耕直刀和旋耕刀轴组成; 施肥采用外槽轮排肥器和开沟器; 排种采用内嵌勺盘式舵轮穴播器, 将勺盘式排种器内置于舵轮盘穴播器的内部; 限深轮位于穴播器之间, 镇压轮采用可调式结构, 便于控制播种深度。

收稿日期: 2013-06-06 修订日期: 2013-08-19

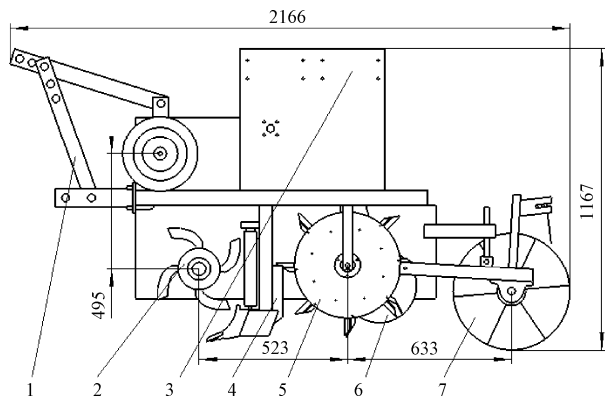
基金项目: 山东省现代农业产业技术体系玉米创新团队建设项目。

作者简介: 李复辉(1989—), 男, 山东聊城人, 主要从事农业机械研究。淄博 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 255049。

Email: lifuhui163@163.com

※通信作者: 刁培松(1962—), 山东烟台人, 教授, 主要从事农业机械研究。淄博 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 255049。

Email: dps2003@163.com



1. 悬挂臂 2. 旋刀式苗带清整装置 3. 种肥箱 4. 开沟器 5. 内嵌勺盘式舵轮穴播器 6. 限深轮 7. 镇压轮
1. Suspension arm 2. Rotary blade type seedling with trimming device 3. Seeds and fertilizer box 4. Opener 5. Embedded spoon disc helm wheel dibbler 6. Depth wheel 7. Press wheel

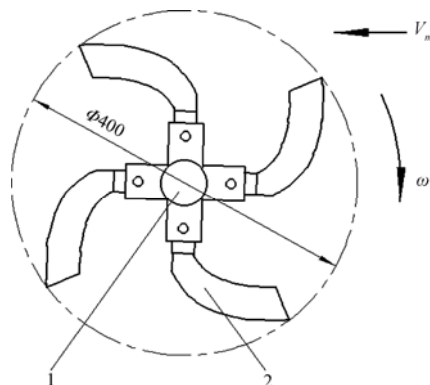
图 1 内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机结构简图

Fig.1 Structure diagram of embedded spoon disc helm wheel no-tillage fertilization planter

表 1 内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机的主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of no-tillage fertilization planter with embedded spoon disc helm wheel

外形尺寸 (长×宽×高) Installation dimensions (length×width×height)/mm	结构质量 Structure of quality/kg	配套动力 Power/kW	播种深度 Sowing depth/mm	施肥深度 Fertilize depth/mm	株距 plant spacing /mm	滑移率 Slip ratio/%	出苗率 Emergence rate/%
2166×2388×1167	500	73.5	40~60	60~80	200	≤10	≥85



1. 旋耕刀轴 2. 旋耕直刀
1. Rator 2. Rotary tillage straight cutter

注: V_m 为旋刀式苗带清整装置的速度, m/s; ω 为旋刀式苗带清整装置的角速度, rad/s.

Note: V_m is the velocity of rotary blade type seedling with trimming device, m/s; ω is the angular velocity of rotary blade type seedling with trimming device, rad/s.

图 2 旋刀式苗带清整装置结构简图

Fig.2 Structure diagram of rotary blade type seedling with trimming device

响, 针对这种情况, 在播种机最前端设计了旋刀式苗带清整装置^[13-15], 其结构简图如图 2 所示, 主要由旋耕直刀和旋耕刀轴组成, 旋耕刀布置在播种施肥行的正前方, 每行对应 2 把旋耕刀, 刀型为直刀片, 转速为 380 r/min, 2 把刀在刀轴上呈 180°对称安装, 相邻 2 行的旋耕刀组呈 90°交错排列。该装置

1.2 工作原理

玉米免耕播种机在拖拉机的牵引下前进, 拖拉机的动力通过变速箱传给动力分配轴, 经带传动传给最前面的旋刀式苗带清整装置, 该装置在高速旋转的同时将播种行的杂草和作物残茬切断、抛撒, 同时将地表切开, 清理出播种苗带; 机具继续前进的过程中, 开沟器开出施肥沟, 镇压轮转动并通过链传动来驱动上部的外槽轮排肥器排肥, 肥料通过落肥管落入下面的肥沟中, 完成施肥; 舵轮盘穴播器与内嵌勺盘式排种器同步转动, 随着成穴器转动并逐个插入土壤中排出种子, 完成播种; 最后, 经镇压轮压实后完成整个免耕播种过程。

2 旋刀式苗带清整装置结构

玉米免耕播种机工作的田间有大量杂草和小麦秸秆覆盖在地表, 对后续的施肥和播种有很大影

清理出的苗带宽度为 110 mm, 深度为 80 mm。工作时, 依靠拖拉机输出的动力通过变速箱带动刀轴旋转, 旋耕刀将秸秆切断, 同时划破地表, 对播种苗带进行清整, 为后续穴播器的播种作业奠定基础。

3 内嵌勺盘式舵轮穴播器

3.1 总体结构

内嵌勺盘式舵轮穴播器^[16-19]结构如图 3 所示, 主要由 1 定瓣 (入土成穴器)、2 挡块、3 舵轮盘、4 导种盘、5 复位弹簧、6 动瓣 (鸭嘴)、7 定盘、8 种勺盘、9 种箱组成, 勺盘式排种器内置于舵轮盘中, 整体结构更加紧凑, 可缩短种子行程, 提高工作可靠性。安装时导种盘固定在舵轮盘上, 种勺盘通过螺钉和导种盘固定在一起, 三者同步转动, 挡块固定在定盘上, 定盘和种箱连接, 种箱通过法兰盘和平键固定在轴上, 并由轴套定位, 在机组进行播种作业时, 保证定盘、种箱、挡块不随机组的前进而转动。定瓣焊合在舵轮盘上, 动瓣用销轴铰接在舵轮盘上, 另一端与复位弹簧相连, 在弹簧预紧力的作用下与定瓣紧扣, 形成密闭的种腔, 防止入土成穴器入土时堵塞。当定瓣入土最深时, 动瓣受到挡块的作用力, 在杠杆原理的作用下打开一定角度, 当定瓣离开土壤时, 动瓣在复位弹簧的作用下重新关闭。

3.2 工作原理

播种机未工作时,上方种箱中的种子经输种管输送到下方内嵌勺盘式舵轮穴播器的种箱中,保证下方种箱时刻充满种子。机组工作时,在拖拉机牵引力的作用下,插入土壤中的入土成穴器受到土壤的反作用力,这2个力形成牵引力矩,使穴播器沿地面滚动,同时带动舵轮盘转动,因为种勺盘与舵轮盘固定在一起,种勺盘和舵轮盘同步转动,每个种勺会从种箱中舀上数粒种子,勺内的种子在种刷摩擦力以及自身重力作用下,转到一定角度时,多余的种子会下滑掉落,排种勺中只剩下1粒种子,随着种勺盘的不断转动,转到投种区时将种子投到定盘的另一侧,种子进入导种盘,每个导种盘槽对应着1个入土成穴器,随着舵轮盘的继续转动,种子通过鸭嘴进入入土成穴器。穴播器采用杠杆原理,正常状态下入土成穴器与动瓣形成封闭的种腔用来存放种子,使种子不会提前漏出,随着舵轮盘的继续转动,成穴器插入到最深处时,动瓣在挡块的作用下被打开,当打开角度大于种子长度时,成穴器中的种子落入土壤完成播种,为了使打开的入土成穴器不夹土,要求入土成穴器在离开土壤前一直处于打开状态,成穴器打开后动瓣的顶端在出土前一直沿着挡块运动直到成穴器完全出土,出土后的动瓣在复位弹簧的拉力作用下关闭,完成1次播种,穴播器在拖拉机牵引下连续滚动,实现连续穴播。

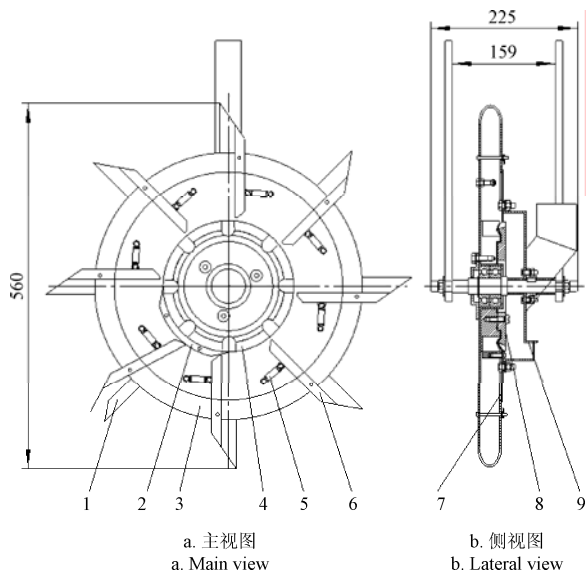


图3 内嵌勺盘式舵轮穴播器结构简图
Fig.3 Structure diagram of embedded spoon disc helm wheel dibbler

3.3 舵轮盘参数的确定

3.3.1 播种株距

本研究设计的播种机为4行,行间距为600 mm,由于在实际作业中,穴播器与地面之间有一定的滑移率,结合实际工作情况确定舵轮的滑移率为5%,依据文献[16],每亩地播种的株数 K 取5500。依据文献[8],计算得出播种株距 $L=200$ mm。

3.3.2 舵轮盘半径及入土成穴器个数

舵轮盘半径 R 通常与播种的株距、播种的深度、入土成穴器的个数等有关。一般情况下,入土成穴器个数越多,舵轮盘的半径就越大,轮盘的滚动性能就越好。如果要求播种的株距较大,入土成穴器个数一定的情况下,舵轮盘的半径就大,反之则要求舵轮盘半径较小。依据文献[16],舵轮盘的半径以180~240 mm比较合适。

设入土成穴器的个数为 n , L 为播种株距,依据文献[16]有

$$n = \frac{2\pi R_s}{L} \quad (1)$$

式中, R_s 为穴播器的实际滚动半径,mm。

穴播器依靠牵引力在地面滚动时肯定带有适当滑移,所以舵轮盘的实际滚动半径 R_s 与土壤的松软程度关系很大,土壤松软程度不同, R_s 也不相同,因此,播种深度也会受到不同程度的影响。依据文献[16]有

$$R_s = R + h_0 - kh_1 \quad (2)$$

式中, R 为舵轮盘半径,mm, k 由土壤松软度决定的常数,根据试验确定 $k=0.5$,即土壤深层和表层都很松软时,计算得到的舵轮盘的实际滚动半径较为可靠。 h_0 为动瓣在舵轮盘外的高度,mm; h_1 为播种深度,依据文献[8]取 $h_1=50$ mm。

将式(5)带入式(4)得:

$$n = \frac{2\pi(R + h_0 - kh_1)}{L} \quad (3)$$

考虑到土壤表面杂物及作物的不同播深,依据文献[16]有

$$h_0 = h_1 + 20 \quad (4)$$

由此有

$$R = \frac{nL}{2\pi} - \frac{h_1 + 40}{2} = 205 \quad (5)$$

一般情况下,首先根据要求的播种株距,初步确定穴播轮盘的半径 R (180~240 mm),最后根据式(6)计算出土成穴器的个数。考虑到加工

的方便，一般 n 选偶数，本文选用穴播轮盘的半径为 205 mm，入土成穴器的个数为 8。

3.3.3 舵轮盘厚度

舵轮盘的厚度 P 与种子颗粒大小有关，种子颗粒大，入土成穴器内径就大，轮盘就越厚。依据文献[15]有：

$$P = P_1 + P_2 + d + \lambda \quad (6)$$

式中， P 为舵轮盘厚度，mm； P_1 为舵轮盘端面厚度，mm； P_2 为定瓣端面厚度，mm； d 为定瓣内腔直径，mm； λ 为入土成穴器与定盘端盖的安装间隙，mm。

依据文献[16]和[19]，确定舵轮盘厚度 $P=36$ mm，定瓣内腔直径 $d=30$ mm， $P_1=P_2=3$ mm。

3.3.4 动瓣（鸭嘴）的设计

定瓣与动盘焊合为一体，其内径 d 取决于种子颗粒大小，本文设计 $d=30$ mm，其外径 $d_w=36$ mm，动瓣外径 d'_w 与定瓣内径 d 有装配间隙，取 $d'_w=30_{-0.5}^{-0.2}$ ，依据文献[16]，动瓣内径为

$$d_1 = d - 2a - \lambda_3 \quad (7)$$

动瓣高度

$$H = h_0 + h'_0 \quad (8)$$

式中， a 为动瓣壁厚，依据文献[16] $a=3$ mm； λ_3 为动定瓣之间的装配间隙，mm； h_0 为动瓣在舵轮盘外的高度，mm； h'_0 为动瓣在轮盘内的高度，mm。

由以上分析计算确定 $d_1=26$ mm， $H=172$ mm。

3.4 舵轮盘的模态分析

模态分析^[20-22]是用来确定结构振动特性的一种技术，可以确定自然频率、振型和振型参与数。进行模态分析，可以使结构设计避免共振或者以特定频率振动，可以从振态的形状观察在某个自然频率下结构的变形趋势，从而对结构进行优化设计。舵轮盘是内嵌勺盘式舵轮穴播器的核心部件之一，舵轮盘的结构设计和转速对玉米播种的精确度影响很大，为了研究舵轮盘的动态特性，对其进行模态分析，获得舵轮盘的固有频率和振型，对舵轮盘的机构设计进行改进。

3.4.1 舵轮盘网格划分

由于舵轮盘在 ANSYS 中建模比较复杂，因此采用在 UG 中建立三维模型后导入 ANSYS 的方法。本文中舵轮盘的材料为 45 号钢，故在 ANSYS 中进行如下参数设置：弹性模量 EX:2.07E11，主泊松比 PRXY:0.29，密度 DENS:7.8E3，单元类型为 Solid 20node 186。网格划分采用智能网格划分，划分后的舵轮盘模型如图 4 所示。

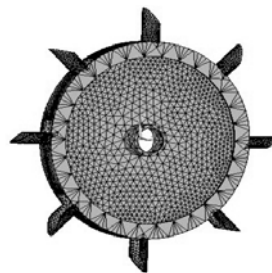


图 4 划分网格后的模型
Fig.4 Model after meshing

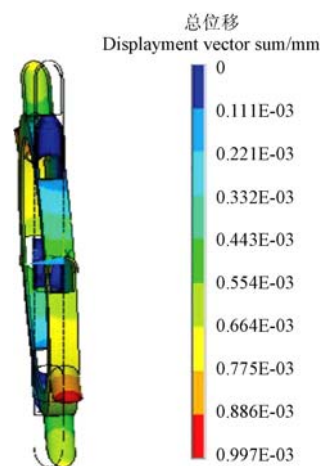
3.4.2 模态分析结果

由于低阶次的自然频率对系统的破坏最大，因此本文在进行 ANSYS 求解和模态扩展时设置求解模态阶数为 10，舵轮盘前 6 阶模态的自然频率如表 2 所示。限于篇幅有限，这里只给出前 4 阶的模态振型，如图 5 所示。

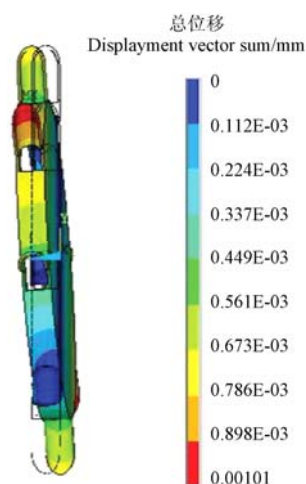
表 2 前 6 阶模态固有频率
Table 2 First six modes natural frequency

模态阶数 Mode order	频率 Frequency/Hz
1	0.49917
2	0.51403
3	0.79844
4	2.4933
5	2.6289
6	5.9951

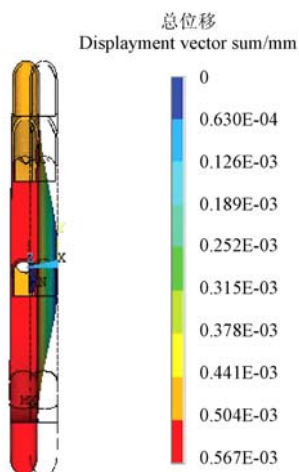
根据该播种机的工作效率和舵轮盘的半径计算得，舵轮盘的工作频率在 0.18~0.3 Hz 之间，低于舵轮盘的自然频率，理论上不会发生共振，但由于舵轮盘的工作频率和最小自然频率很接近，鉴于舵轮盘的工作环境比较复杂，为避免发生共振，可以适当增加舵轮盘的直径，降低自然频率，使得结构更加合理。



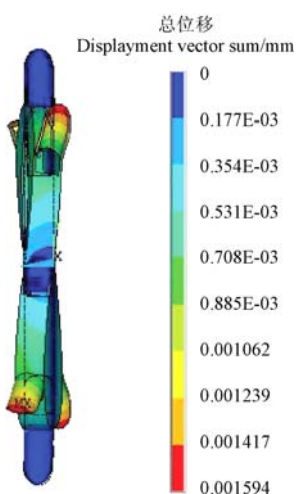
a. 第一阶模态振型图
a. First mode shape



b. 第二阶模态振型图
b. Second mode shape



c. 第三阶模态振型图
c. Third mode shape



d. 第四阶模态振型图
d. Fourth mode shape

注: 图 a 频率为 0.499173 Hz; 图 b 频率为 0.514027 Hz; 图 c 频率为 0.798444 Hz; 图 d 频率为 2.493 Hz.

图 5 舵轮盘前四阶模态振型图

Fig.5 First four mode shape of helm wheel disc

4 田间试验

4.1 试验条件

2012 年 6 月 14 日在山东巨明机械有限公司试验田进行了内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机性能试验, 如图 9 所示。试验地为小麦收获机收获后的麦茬地, 小麦行距 300 mm, 小麦畦宽 1800 mm, 麦茬平均高度 200 mm, 秸秆覆盖量 2.92 kg/m^2 , 拖拉机配套动力 73.5 kW。试验地共划分 6 个试验小区, 每个小区长 100 m, 宽 50 m。



图 6 样机田间试验

Fig.6 Field tests for wheat harvester

4.2 试验方法

按国家标准 GB/T 20865-2007《免耕施肥播种机》和 GB/T 6973-2005《单粒(精密)播种机试验方法》的测试要求, 对玉米免耕播种机进行了性能检测, 检测内容主要包括播种平均深度、施肥平均深度、种肥间距、机具通过性、穴播器转移率、株距、出苗率等。

4.2.1 种肥覆土深度

依据国家标准 GB/T 20865—2007《免耕施肥播种机》的测试方法, 拖拉机以正常作业速度播种后, 随机取 6 行, 每行在 50 m 内随机取 20 个点, 人工扒开土层进行播种深度和施肥深度的测量。国标要求播种深度合格率 $\geq 70\%$, 施肥深度合格率 $\geq 80\%$, 种肥间距合格率 $\geq 90\%$ 。

4.2.2 机具通过性

根据国家标准 GB/T 20865—2007《免耕施肥播种机》的测试要求, 机具通过性合格标准为: 在刚收获小麦的茬地, 秸秆覆盖量为 $2.0 \sim 4.0 \text{ kg/m}^2$, 测区长度为 60 m, 往返 1 个行程不发生堵塞或者有 1 次轻度堵塞。试验在地表覆盖状况下各测试 6 次, 取平均值。

4.2.3 穴播器转移率

根据 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机

试验方法》的测试方法，拖拉机在田间作业时，随机选取 1 个穴播器作为测试对象，测试距离不少于 50 m，测试 6 次，取平均值。

$$\delta_1 = \frac{S - 2\pi Rn}{2\pi Rn} \times 100\% \quad (9)$$

式中， δ_1 为滑移率，%； S 为穴播器走过的实际距离，mm； R 为穴播器的半径，mm； n 为穴播器在路程 S 内的转数，r。

4.2.4 株距合格率

根据 GB/T 6973—2005《单粒（精密）播种机试验方法》的测试方法，拖拉机在田间作业时，随机选取 6 行，每行测区长度为 5 m，测量相邻两粒种子间的几何中心距离，并记录测试数据。

4.3 结果与分析

4.3.1 种肥覆土深度

通过对播种和施肥深度测定，试验结果如表 3 所示，种肥平均深度变异系数分别为 22.9% 和 20.1%，种深的变异系数大于肥深的变异系数，这是由于肥料直接施入沟底，这与秸秆粉碎还田与苗带清整装置有关，但播种深度同时受入土成穴器和落种前回土量的影响。本文采用舵轮勺盘式穴播器进行播种，因此种肥深度变异系数相差不大。

表 3 种、肥覆土深度

Table 3 Depth of seed and fertilizer under stubble-field

测定项目 Testing items	平均值 Average value/mm	合格率 Qualified rate/%	方差 Variance /mm	变异系数 Variation coefficient /%
播种平均深度 Sowing average depth/mm	51.8	92.3	5.21	23.2
施肥平均深度 Fertilize average depth/mm	71.7	90.8	15.4	20.2
种肥间距 Distance of seeds and fertilizer/mm	51.1	90.5	8.67	16.8

4.3.2 机具通过性

在 6 次机具通过性测试中，没有出现堵塞现象，通过性良好。试验结果表明：该机在秸秆覆盖量大的情况下，采用秸秆粉碎还田与苗带清整装置将秸秆粉碎还田，同时对播种苗带进行清整，防堵效果明显。

4.3.3 穴播器滑移率

在 6 次穴播器滑移率测试中，出现轻微滑移现象，平均滑移率为 5%。

4.3.4 株距合格率

通过对株距的测定，按照 GB/T 6973—2005《单粒（精密）播种机试验方法》的计算方法计算得知，平均株距为 196.8 mm，合格率为 96%，试验结果表明：内嵌勺盘式舵轮穴播器可以有效提高播种质量和株距精确性。

4.3.5 出苗率

2012 年 7 月 14 号在试验田进行出苗率测定，出苗率达到 95%，基本无缺苗断垄现象。

5 结 论

1) 提出了在玉米免耕播种机前增加旋刀式苗带清整装置，将地表秸秆和杂草切断、抛撒，划破地表，清理播种苗带，为后续穴播器的精量穴播奠定基础，该机在试验过程中没有发生堵塞现象，说明该装置可以有效提高机具的通过性；

2) 播种采用内嵌勺盘式舵轮穴播器，将勺盘式排种器内置于舵轮盘穴播器内部，缩短种子行程，降低滑移率，实现了等株距精量免耕播种，提高了播种质量；

3) 内嵌勺盘式舵轮免耕施肥播种机田间试验表明：该机工作可靠，能显著提高播种质量，其中播种深度合格率 92.3%，施肥深度合格率 90.8%，种肥间距合格率 90.5%，滑移率 5%，株距合格率 96%，出苗率 95%，各项指标均达到设计要求。

[参 考 文 献]

- [1] 李国林，宋炜，毛俐，等. 国内外几种主要排种器的特点[J]. 农业科技与装备，2011，206(8)：70—73.
Li Guolin, Song Wei, Mao Li, et al. Features of some main seed-metering devices at home and abroad[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2011, 206(8): 70—73. (in Chinese with English abstract)
- [2] 姚宗路，高焕文，王晓燕，等. 2BMX-5 型小麦-玉米免耕播种机设计[J]. 农业机械学报，2008，39(12)：64—68.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 64—68. (in Chinese with English abstract)
- [3] 徐迪娟，李问盈，王庆杰. 2BML-2(Z)型玉米垄作免耕播种机的研制[J]. 中国农业大学学报，2006，11(3)：75—78.
Xu Dijuan, Li Wenying, Wang Qingjie. Development of 2BML-2(Z) type no-till maize seeder in ridge-field[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(3): 75—78. (in Chinese with English abstract)
- [4] 罗红旗，高焕文，刘安东，等. 玉米垄作免耕播种机研究[J]. 农业机械学报，2006，37(4)：45—47，63.
Luo Hongqi, Gao Huanwen, Liu Andong, et al. Study on ridge-till and no-till corn planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2006, 37(4): 45—47, 63. (in Chinese with English abstract)

- [5] 赵丽萍, 刘庆福. 垄上镇压玉米精密播种机保墒抗旱机理的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(6): 698—700, 710.
Zhao Liping, Liu Qingfu. Study on drought resisting and humidity keeping mechanism of precise maize seeder rolling on the ridge[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2005, 27(6): 698—700, 710. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张喜瑞, 何进, 李洪文, 等. 水平拨草轮式玉米免耕播种机设计和试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 39—43.
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on no-till planter in horizontal residue-throwing finger-wheel type for maize. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 39—43. (in Chinese with English abstract)
- [7] 陈浩, 黄虎, 杨亚莉, 等. 固定道对行小麦/玉米通用免耕播种机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 72—76.
Chen Hao, Huang Hu, Yang Yali, et al. Design of row-followed no-till wheat and maize planter under controlled traffic farming system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 72—76. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张军昌, 闫小丽, 薛少平, 等. 秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 51—55.
Zhang Junchang, Yan Xiaoli, Xue Shaoping, et al. Design of no-tillage maize planter with straw smashing and fertilizing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 51—55. (in Chinese with English abstract)
- [9] 刘立晶, 高焕文, 李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 70—73.
Liu Lijing, Gao Huanwen, Li Hongwen. Conservation tillage for corn-wheat two crops a year region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(3): 70—73. (in Chinese with English abstract)
- [10] Petersen P, Tardin J M, Marochi F. Participatory development of no-tillage systems without herbicides for family farming: The experience of the center-south region of Parana[J]. Environment, Development and Sustainability, 1999, 1(3/4): 235—252.
- [11] Gwathmey C O, Bradley J F, Chambers A Y, et al. Physiological responses to tillage systems, cover crops, and residue management[J]. Physiology of Cotton, 2010, 164(1): 246—254.
- [12] Blanco-Canqui H, Lal R. No-Till farming[J]. Principles of Soil Conservation and Management, 2010, 12(2): 195—221.
- [13] 孙茸茸, 李问盈, 李洪文. 垄作玉米免耕播种机破茬装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 48—53.
Sun Rongrong, Li Wenying, Li Hongwen. Design and experiment on power driven rootstalk cutting mechanism of ridge-till and no-till corn planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 48—53. (in Chinese with English abstract)
- [14] 蒋金琳, 高焕文. 免耕播种机播种带玉米根茬处理装置研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 129—131.
Jiang Jinlin, Gao Huanwen. Corn rootstalk and residue cutting mechanism of no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(2): 129—131. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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.
- [16] 刁培松, 杜瑞成. 集成式舵轮槽轮穴播器的研制[J]. 农机化研究, 2009, 31(10): 82—84, 88.
Diao Peisong, Du Ruicheng. Development of the Integrated Dribbler with Fluted Seed Roller and Steering Wheel[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(10): 82—84, 88. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘芳, 杜瑞成. 舵轮式杠杆开启穴播器与凸轮—连杆穴播器的对比分析[J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2007(14): 14—17.
Liu Fang, Du Ruicheng. Comparative analysis of the helm-shaped hill-drop planter with lever opening mechanism and the hill-drop planter with cam-connecting rod opening mechanism[J]. Journal of Shandong University of Technology: Natural Science Edition, 2007, 14: 14—17. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杜瑞成, 郭志东, 蔡善儒, 等. 舵轮式成穴播种器: 中国, 02135209.7[P]. 2003-12-31.
- [19] 杜瑞成, 杨善东, 郭志东, 等. 三种覆膜穴播成穴器方案设计与理论分析[J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2003, 17(2): 15—18.
Du Ruicheng, Yang Shandong, Guo Zhidong, et al. Design and theoretical analysis of three kinds of punch planting indenting tools[J]. Journal of Shandong University of Technology: Natural Science Edition, 2003, 17(2): 15—18. (in Chinese with English abstract)
- [20] 陈树人, 韩红阳, 卢强. 4LZ-2.0 型联合收获机割台模式分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊 1): 90—94.

- Chen Shuren, Han Hongyang, Lu Qiang. Modal Analysis of Header for Type 4LZ-2.0 Combine Harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Suppl.1): 90—94. (in Chinese with English abstract)
- [21] 崔涛, 刘佳, 张东兴, 等. 基于 ANSYS 和 ADAMS 的玉米茎秆柔性体仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊 1): 112—115.
- Cui Tao, Liu Jia, Zhang Dongxing, et al. Flexible body simulation for corn stem based on ANSYS and ADAMS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Suppl.1): 112—115. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王东伟, 尚书旗, 韩坤. 4HJL-2 型花生联合收获机摘果机构的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 15—25.
- Wang Dongwei, Shang Shuqi, Han Kun. Design and test of picking mechanism in 4HJL-2 peanut combines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 15—25. (in Chinese with English abstract)

Development and test of no-tillage fertilization planter with embedded spoon disc helm wheel

Li Fuhui, Diao Peisong^{*}, Du Ruicheng, Cui Qiang, Zhang Yinping, Li Teng

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: Conservation tillage technology, which originated in Western developed countries, is an advanced agricultural production technology. Development of the precision no-till maize planter was the key to extend conservation tillage technology. The seed-metering device was an important part of the planter and was a core determinant of seeder characteristics and working performance. At present in China, precision seed-metering devices can be divided into mechanical devices and pneumatic devices. With the development of technology, China also gave birth to a number of new seed-metering devices. But the Western developed countries augmented the precision seeder with new agricultural high technologies including satellite positioning systems, geographic information systems, expert intelligence systems, and remote-sensing technology. Those advances moved seeding technology toward higher precision, variable-rate capabilities, high efficiency, and intelligent controls. But in view of China's national conditions, intelligent planters have not been widely popularized or adopted.

During the process of seeding, the seeds collided with the seeds tube and opener. Due to the combined effect of the collision and the machine moving forward, seed deposition was random, reducing seeding uniformity. To solve this problem, a no-tillage fertilization planter with embedded spoon disc helm wheel was developed. It was mainly composed of a rotary blade type seeding mechanism with a trimming device and an embedded spoon disc helm wheel dibbler. The rotary blade type seeding mechanism with trimming device was composed of a rotor and a rotary tillage straight cutter. The rotary cutter was arranged in front of the seeding and fertilizing rows, each row corresponding to two rotary cutters, and the rotation speed was 380 r/min. The embedded spoon disc helm wheel dibbler was integrated by the steering wheel of the dibble and the dipper disk seeding device, which has the advantage of throwing seeds at designated points with the steering wheel of the dibble accurately taking the seeds. Sowing corn seeds at uniform intervals was realized. The device reduces the seed falling distance and positions the seeds more accurately. During the work process, the rotary blade type seeding mechanism with a trimming device cleans up the seeding belt and at the same time cuts the surface. Then the opener and fertilizer feeder complete the fertilization, and the embedded spoon disc helm wheel dibbler completes the precision seeding. Finally, compaction by the press wheel completes the no-tillage seeding process. This paper introduced the method of determining the parameters of the helm wheel disc. A modal analysis of the helm wheel disc was carried out with ANSYS and gave the first 4 modal shapes in order to improve its structure. The result of field tests showed that the coefficients of variation of sowing fertilizer cover depth were 23.2% and 20.2%. The qualified rate of plant spacing was 96%, and the germination rate was 95%. The slip ratio was 5%. The passing ability of the seeder satisfied the agronomic requirements. Through field tests in full compliance with national standards, it fully met the actual production requirement, laying a foundation for the development of maize no-tillage planter research.

Key words: agricultural machinery, fertilizers, mechanism, corn, precision sowing

(责任编辑: 鲍洪杰)