

# 2BYML-4型玉米垄作免耕播种机的设计与试验

位国建 方会敏 崔荣江 荐世春

山东省农业机械科学研究院, 济南 250100

**摘要** 研制一种可一次性完成玉米根茬粉碎还田、起垄、施肥、精密播种联合作业的2BYML-4型玉米垄作免耕播种机,对其整机结构和工作原理进行了分析,通过理论计算确定了仿形机构、灭茬刀转速和控制系统的参数。田间试验结果显示:垄高、垄顶宽、垄间距合格率分别达到94.73%、90.64%和90.13%;粒距合格指数92.0%,标准差11.99,变异系数5.24%;漏播指数4%,重播指数4%;种子覆土深度合格率为88.3%,种下施肥合格率为89.7%,变异系数分别为9.71%和10.32%。该机田间作业垄形规则,种、肥田间分布均匀合理,其结构参数和工作参数组合,更好地满足了旱地农业保护性耕作要求并有效改善生态环境。

**关键词** 播种机; 耕播联合作业机; 免耕防堵; 玉米; 垄作; 保护性耕作; 免耕播种机

**中图分类号** S 223.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)05-0152-07

东北平原旱作地区地势平坦、土壤肥沃,是我国重要的农业基地和玉米主产区<sup>[1-2]</sup>。同时,由于该地区风蚀现象和灌溉条件的不足,导致土壤水分散失严重,干旱较为突出<sup>[3-4]</sup>。该地区传统的种植方式主要是不同环节机具分次作业,此种耕作方式引起的后果是严重破坏了土壤生态<sup>[5]</sup>。保护性耕作是一种有效的农田生产保护方法,它打破了传统耕作模式的限制,通过减少机具对土壤的扰动以达到蓄水保墒的目的,促进农业可持续发展<sup>[6-7]</sup>。

保护性耕作技术在农业发达国家已经基本普及<sup>[8-9]</sup>。随着我国农业可持续发展不断进步,国内保护性耕作技术应用不断加快<sup>[10]</sup>。保护性耕作技术在国外旱地农业耕作技术中已占据主导地位,使得免耕播种机具应用更加广泛<sup>[7]</sup>。国外播种机综合化、精准化、高度智能化的发展方向日益明显,并且新材料、新工艺也在机具上得到广泛应用。目前,我国耕整地机具正从单一功能型向复合式作业型发展,大部分作业方式采用灭茬与旋耕或灭茬与深松组合的模式<sup>[11-13]</sup>,如垄作免耕播种机<sup>[14-16]</sup>、分置式耕播联合作业机<sup>[17-18]</sup>、深松联合作业耕整机<sup>[19]</sup>、固定垄起垄机<sup>[20]</sup>等。针对玉米垄作播种的问题,王庆杰等<sup>[21]</sup>、余冬立等<sup>[22]</sup>、罗红旗等<sup>[23]</sup>对玉米垄作播种机进行了研究,该系列机具种植方式为先起垄然后

在垄上种植。尽管国内外保护性耕作技术发展速度较快,配套农机具也不断更新,但是依然存在一些问题,如国外免耕播种机不适应我国农业生产条件、机具质量大、能耗较高、价格高、需要配套的动力大等。国内现有机具存在整地与播种环节分离、稳定性差等问题;还有部分联合作业机具由于结构不合理,造成对土壤扰动范围大,导致土壤水分流失,蓄水保墒能力严重下降,不能满足现阶段在保护性耕作条件下作业的要求。

针对以上问题,本研究设计了2BYML-4玉米垄作免耕播种机,并对关键工作部件进行了优化设计。通过田间试验对相关结构参数和工作参数组合的效果进行验证,旨在为垄上播种的耕播联合作业机具的设计提供参考,以期更好地满足旱地农业可持续发展要求。

## 1 材料与方法

### 1.1 结构与工作原理

1) 整机结构。2BYML-4玉米垄作免耕播种机由控制系统、耕整机、中间连接件、起垄机构、播种单体、施肥装置及镇压轮等组成。灭茬刀按苗带间隔布置在刀辊上;播种单体主要由仿形机构、排种器、开沟器及镇压轮等组成;起垄机构采用铧式起垄铲,

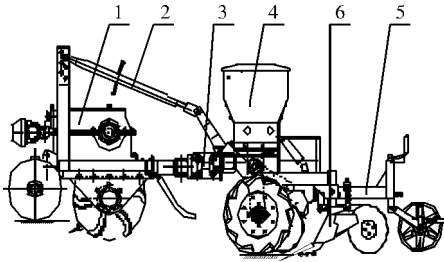
收稿日期: 2018-11-26

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0300800; 2017YFD0301005)

位国建, 工程师. 研究方向: 田间作业机械. E-mail: woshitxwh@126.com

通信作者: 荐世春, 研究员. 研究方向: 耕整地机械装备. E-mail: jscsh2002@163.com

起垄铲通过 U 型螺栓固定在机架上,犁铧柄可在仿形机构铧柄裤内上下调节耕深,分土板开度可调,可根据要求调所需垄型;施肥采用外槽轮排肥器和箭铲式开沟器;控制系统由触摸屏、PLC 控制器和传感器组成。玉米垄作免耕播种机结构整机结构如图 1 所示。



1.耕整机 Tillage machine; 2.拉杆 Pull rod; 3.中间连接件 Intermediate connector; 4.肥料箱 Fertilizer box; 5.播种单体 Seeding monomer; 6.起垄机构 Ridging institutions.

图 1 2BYML-4 玉米垄作免耕播种机结构图

Fig.1 Structure diagrams of 2BYML-4 corn ridge planting no-tillage planter

2)工作原理。2BYML-4 玉米垄作免耕播种机

由拖拉机后输出轴提供动力输入,通过一次作业完成根茬粉碎、精量播种、起垄、覆土镇压等农艺过程,其主要技术参数如表 1 所示。工作时,灭茬机先将苗带上秸秆打碎,完成播种前对苗床的整理,肥料由施肥开沟器深施入土壤,双圆盘开沟器在土壤反力的作用下将土壤向两侧推挤形成种沟,导种管在双圆盘的内侧将种子导入种沟,铧式培土器安装在机架上,覆土后起垄,镇压辊置于播种单体的后端,可以上下调节以限定播种深度。该机由地轮驱动,通过传动系统实现排种、排肥作业。

表 1 玉米免耕播种机主要技术指标

Table 1 Main technical parameters of corn precise planter with chain

项目 Item	数值 Value
外形尺寸/mm Overall dimension	2 400×3 000×1 120
整机质量/kg Weight	950
配套动力/kW Power	60~88
行数 Working rows	4
作业速度/(km/h) Working speed	4~6
垄高/mm Ridging height	100~160
垄顶宽/mm Ridging top-width	230~290

1.2 关键工作部件设计

1)灭茬刀速度。在灭茬作业时,灭茬刀辊旋转方向与拖拉机前进方向一致,灭茬刀辊运动由直线运动和回转运动组成<sup>[24-26]</sup>。直线运动为牵连运动

(机器的前进速度  $V_m$ ),回转运动是灭茬刀绕轴心旋转所形成的圆周运动(灭茬刀端点的圆周线速度  $V_0$ )。灭茬刀的绝对速度  $V$  的运动矢量方程为:

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{V}_m \tag{1}$$

设刀辊轴心在某一时刻的位置  $O$  为固定坐标系原点, $x$  轴正向为机器前进方向,垂直向下为  $y$  轴正向,设刀刃点  $M$  的坐标为  $M(x, y)$ ,则刀片端点的运动方程为:

$$\begin{cases} x = V_m t + R \cos(\omega t) \\ y = R \sin(\omega t) \end{cases} \tag{2}$$

式(2)中: $t$  为时间,s; $R$  为刀齿半径,m; $\omega$  为刀辊旋转角速度,rad/s; $V_m$  为机器的前进速度,m/s。将式(2)对  $t$  求导得到:

$$\begin{cases} V_x = V_m - R\omega \sin(\omega t) \\ V_y = R\omega \cos(\omega t) \end{cases} \tag{3}$$

则灭茬刀刃端点的绝对速度即刀刃点切削速度为:

$$V = \sqrt{V_m^2 + (R\omega)^2 - 2V_m R\omega \sin(\omega t)} \tag{4}$$

根据机具灭茬的要求和前人设计经验,本机刀辊回转半径  $R$  为 250 mm,设计灭茬转速  $n$  为 415 r/min,灭茬深度为 100 mm,机组前进速度为 4~6 km/h,计算可得  $V_x$  为 7.02~7.58 m/s。查阅资料,根茬切断临界值为 5 m/s<sup>[27-28]</sup>,能满足设计需求。

2)仿形机构设计。平行四杆仿形机构作为播种机的重要工作部件,其优点在于播种单体可随地面平动上下仿形,因此,仿形过程中可保持开沟部件入土角度一定,且在高低不平的地面上作业时,播深能基本保持一致<sup>[29]</sup>。因此,为使播种机达到较高的仿形技术要求,平行四边形仿形机构被广泛应用。

①平行四杆机构仿形量的确定。仿形量大小一般根据试验地形和整地情况而定,查阅资料,上下仿形量通常确定为 8~12 cm。为实现横向地表不平条件下的高质量播种,仿形量大小为最小播深时的上仿形量与最大播深时的下仿形量之和<sup>[29]</sup>,由于该播种机设计最大播深为 8 cm,则该机仿形量为 24 cm。

②平行四杆长度的确定。考虑到开沟器入土性能,则上仿形角度不超过 15°,下仿形角度不超过 35°,此时可利用下式计算出上、下杆的长度,即

$$l_1 = (h_s - H_{\min}) / \sin\alpha_1 \tag{5}$$

$$l_2 = (h_x - H_{\max}) / \sin\alpha_2 \tag{6}$$

式(5)、(6)中  $l_1$  为上杆长度,cm; $l_2$  为下杆长度,cm; $h_s$  为上仿形量,cm; $h_x$  为下仿形量,cm; $\alpha_1$  为

上仿形角, ( $^{\circ}$ );  $\alpha_2$  为下仿形角, ( $^{\circ}$ );  $H_{\min}$  为最小播深, cm;  $H_{\max}$  为最大播深, cm。计算出前后杆长, 以不干涉传动为宜, 取上、下杆长均为 30 cm。

3) 控制系统设计。控制系统由触摸屏、PLC 控制器、排肥感应传感器、排种感应传感器和地轮转速传感器组成。排种感应传感器可计排种数量, 排肥感应传感器可感应肥料是否断条, 地轮转速传感器可测量地轮旋转圈数。PLC 控制器采集传感器信号、处理数据和控制系统稳定运行, 触摸屏用于显示各种数据。系统电气原理如图 2 所示。

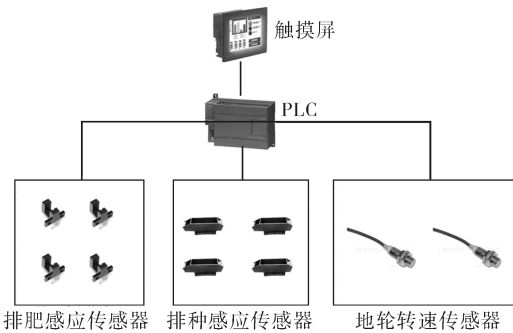


图 2 系统电气原理图

Fig.2 System electrical schematic diagram

为了方便机手随时了解机具的作业情况和故障情况, 本研究设计的控制系统配置了人机交互触摸屏, 该触摸屏主界面显示作业过程中的面积、幅宽、速度、行播种量、亩播种量、施肥量等参数。机手可以随时通过触摸屏显示对机具做出相应调整, 还可以对相关数据进行保存与查询, 以方便后续作业情况统计。监控系统对机具播种状况分成 4 行显示, 并对每行进行统计, 当出现缺种、缺肥或堵塞等故障时会显示红色的故障提示框, 同时由蜂鸣器进行提醒。控制系统程序流程如图 3 所示。

4) 勺轮式排种器。本机选用勺轮式排种器, 主要由排种器体、导种轮、勺轮、护罩等组成, 如图 4 所示。工作时, 种子由进种口进入排种器充种区, 使勺轮充种, 随着导种轮与勺轮顺时针方向转动, 种勺进入清种区, 在重力和离心力作用下, 多余的种子脱离种勺型孔, 勺轮只保持 1 粒种子进入导种轮凹槽, 掉落的种子回到充种区, 当导种轮凹槽带动种子继续转动到壳体开口时, 种子掉落至沟槽中, 排种过程结束。排种器排种量的调整是根据玉米的面积、保苗株数和株距要求, 更换不同的变速链轮组合。因地轮滑移率与土质、土壤湿度有关, 调好株距后在田间校验, 如株距与要求不符, 可重新选择链轮再试, 直

至达到要求。

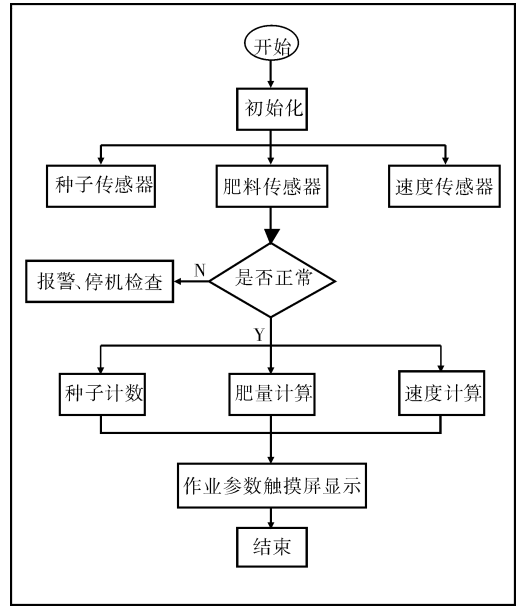


图 3 控制终端流程图

Fig.3 Flow chart of control terminal

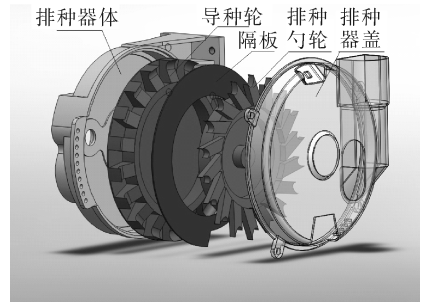


图 4 排种器结构图

Fig.4 Structural of seed-metering device

5) 开沟器。灭茬起垄后地表松软, 所以采用双圆盘式开沟器, 其主要工作部件为 2 个相互倾斜的平面圆盘, 开沟宽度在 110~160 mm 范围内调节。工作时, 在土壤反作用力的作用下, 圆盘及圆盘毂在形成一定角度的轴上转动。双圆盘开沟器靠重量入土, 改变开沟器柄在柄裤中的位置可调整开沟深度。开沟器用 2 个旋转的平面圆盘切开土壤, 并将土壤向两侧推挤而形成种沟。2 条导种管在双圆盘的内侧将种子导入种沟, 然后靠沟壁塌下的土壤覆土, 开沟时不搅乱土层, 且能用湿土覆盖种子。圆盘旋转能切断植物根茎, 防止挂草拖土, 工作阻力小。因此, 双圆盘开沟器的适应性较好, 工作可靠, 在整地不精细、有作物根茎和杂草以及土壤比较潮湿时均能使用。该机施肥开沟器选择凿式施肥铲, 为保证施肥开沟器入土性及强度, 用顶丝将其固定在前连

杆座上,深度可调。

### 1.3 田间试验

1) 试验条件。2017年,对设计的2BYML-4型玉米垄作免耕播种机样机进行了田间试验,主要测试作业性能是否达标。根据当地保护性耕作种植模式的农艺种植习惯,选择长春市南关区新立城镇先锋村试验基地为试验地点,该地块墒情比较具有代表性,符合农业机械试验条件。

试验地土壤质地为黑土,全耕层土壤含水率为14.7%,土壤平均坚实度529.2 kPa,地面倾斜度为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ,试验种子类型为吉东14号。试验基地试验区长度为50 m,前后两端各保留20 m准备区。所选试验地的前茬作物为春玉米,实测玉米根茬密度平均为3.5个/m,实测留茬高度平均为36.02 mm,试验前垄高、垄顶宽、垄间距平均值分别为56、240和653 mm。2BYML-4型玉米垄作免耕播种机样机田间试验如图5所示。



图5 样机田间试验

Fig.5 Field experiment for prototype

2) 试验方法。按照 GB/T 5667—2008《农业机械生产试验方法》、GB/T 9478—2005《谷物条播机试验方法》和 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》等标准文件,对玉米垄作免耕播种机样机的相关技术指标进行了现场试验和数据测量,检测内容主要包括垄型合格率、田间播种均匀性、种肥间距和机具通过性等<sup>[30]</sup>,测试设备有土壤坚实度仪、皮尺、钢板尺和铲子等。

① 垄型合格率。垄高合格率,每个试验区单行程内取5点,每点分别测量4行的成垄高度,按当地农艺种植习惯要求的垄高( $a\pm 3$ ) cm 范围内为合格。垄顶宽合格率,每个试验区单行程取5点,每点分别测量4行的成垄宽度,按当地农艺种植习惯的垄宽( $b\pm 3$ ) cm 范围内为合格。垄间距合格率,每个试验区单行程取5点,每点分别测量相邻2行的成垄间距,按当地农艺种植习惯的间距( $c\pm 3$ ) cm 范围内为合格。

② 播种均匀性。按 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》的规定进行测量。播种均

匀性的田间试验应在每个试验区单行程内测4行,每行连续测250个粒距,并记录重播数、漏播数、合格数。根据试验测量结果计算平均粒数、区间数、平均合格粒距;计算合格指数、重播指数、漏播指数作为排种性能指标;计算标准差、变异系数作为播种精确性指标,对试验结果进行评价。规定每个区段的变量为:

$$X_i = \frac{x_i}{X_{\text{ref}}} \quad (7)$$

式(7)中: $x_i$ 为区段中值; $X_{\text{ref}}$ 为播种理论粒距。如果: $n'_1 = \sum n_i (x_i \in \{0\sim 0.5\})$ ;  $n'_2 = \sum n_i (x_i \in \{>0.5\sim \leq 1.5\})$ ;  $n'_3 = \sum n_i (x_i \in \{>1.5\sim \leq 2.5\})$ ;  $n'_4 = \sum n_i (x_i \in \{>2.5\sim \leq 3.5\})$ ;  $n'_5 = \sum n_i (x_i \in \{>3.5\sim +\infty\})$ ; 则  $N = n'_1 + n'_2 + n'_3 + n'_4 + n'_5$ 。重播数: $n_2 = n'_1$ ; 合格数: $n_1 = N - 2n_2$ ; 漏播数: $n_0 = n'_3 + 2n'_4 + 3n'_5$ ; 区间数: $N' = n'_2 + 2n'_3 + 2n'_4 + 4n'_5$ ; 平均合格粒距: $\bar{X} = \frac{\sum n_i X_i}{n_2}$ , 其中: $x_i \in \{>0.5\sim \leq 1.5\}$ ; 合格指

数: $A = \frac{n_1}{N} \times 100$ ; 重播指数: $D = \frac{n_2}{N} \times 100$ ; 漏播指数: $M = \frac{n_0}{N} \times 100$ ; 标准差: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum n_i X_i^2}{n'_2} - \bar{X}^2}$ , 其中: $x_i \in \{>0.5\sim \leq 1.5\}$ ; 变异系数: $CV = \sigma \times 100$ 。

③ 种肥间距、深度一致性。在每个试验区单行程内,测4行,每行随机各选5点,将土层横断面切开,测定种子和肥料基于垄面的深度,计算平均值、合格率、标准差和变异系数。同时测相邻种子重心与肥料重心之间的水平距离和垂直距离。

## 2 结果与分析

### 2.1 机具通过性

试验时,根据农业农村部农机试验鉴定总站要求,机具通过性合格标准为“在刚收获的玉米地,植被覆盖量为 $2.0\sim 4.0 \text{ kg/m}^2$ ,测区长度为60 m,往返一个行程,不发生堵塞或者有一次轻度堵塞”<sup>[31]</sup>。经现场实际测量,试验区秸秆覆盖量为 $3.4 \text{ kg/m}^2$ ,符合地表覆盖情况。按要求测试3次,每次测试长度为120 m,通过性良好,未发生严重堵塞现象。试验表明,在机具作业速度为 $4\sim 6 \text{ km/h}$ 时,能够有效地清理播种带,清洁率可达到85%以上,防堵效果显著,通过性好。

### 2.2 垄高、垄顶宽和垄间距合格率

根据当地农艺要求取垄高、垄顶宽、垄间距分别



为  $a=130\text{ mm}$ 、 $b=260\text{ mm}$ 、 $c=650\text{ mm}$ 。依据规范性引用文件试验方法,田间试验结果如表2所示。由表2可知,与当地农艺相比,垄高、垄顶宽、垄间距合格率分别达到94.73%、90.64%和90.13%,表明该机具起垄效果良好,能较好满足当地农艺要求。

表2 垄高、垄顶宽和垄间距测试结果

Table 2 Test results of height, top-width and rows-width of ridges

项目 Items	垄高 Ridges height	垄顶宽 Ridge top- width	垄间距 Ridges rows- width
均值/mm Average	131.6	264.7	659.2
农艺/mm Agronomy	130.0	260.0	650.0
合格率/% Acceptance rate	94.73	90.64	90.13
标准差 Standard deviation	7.80	18.58	38.43
变异系数/% Stability coefficient	5.93	7.02	5.83

### 2.3 种肥间距、深度一致性

试验测定种子和肥料基于垄面深度、种肥间的

水平和垂直间距(表3)。种子覆土深度合格率为88.3%,种下施肥合格率为89.7%,变异系数分别为9.71%和10.32%,相邻种子与肥料肥的平均水平间距为70.18 mm,垂直间距为59.05 mm,变异系数分别为3.49%和3.03%。机具田间试验表明,2BYML-4型玉米垄作免耕播种机能够满足当地农艺要求,且能够满足生产中播种、施肥质量的要求。

### 2.4 田间播种均匀性

田间播种均匀性试验时,机具试验工作速度在6 km/h,各可调节工作部件均调整至最佳参数,试验结果如表4所示。由表4可知,粒距合格指数92.0%,标准差11.99,变异系数5.24%,漏播指数4%,重播指数4%。根据试验测试情况,在机器作业速度 $\leq 6\text{ km/h}$ 范围内具有良好的作业效果,该机工作速度灵活,排种均匀性良好,种子在田间分布均匀合理,满足设计要求。但随着工作速度的增加,该玉米垄作免耕播种机的播种、施肥合格指数均呈下降趋势。

表3 播种、施肥深度和种肥间距测试结果

Table 3 Test results of seed, fertilizer depth and distance between them

项目 Items	平均/mm Average	合格率/% Percentage of pass	标准差 Standard deviation	变异系数/% Variation coefficient
种子覆土深度 Seed depth	57.31	88.3	5.57	9.71
种下施肥深度 Fertilizer depth underseed	59.05	89.7	6.09	10.32
种肥水平间距 Horizon spacing of seed manure	70.18		2.45	3.49
种肥垂直间距 Vertical spacing of seed manure	59.05		1.79	3.03

表4 田间播种均匀性结果分析

Table 4 Analysis results of field seeding uniformity

项目 Items	行 Row				总计 Total	
	1	2	3	4		
平均粒距/mm Average grain spacing	212.95	224.07	247.44	234.60	228.90	
重播数 Reseeding number	1	10	2	3	16	
漏播数 Miss seeding number	3	1	4	8	16	
合格数 Qualified number	96	89	94	89	368	
区间数 Interval number	97	99	96	92	384	
平均合格粒距/mm Average qualified grain spacing	212.95	222.33	241.88	221.55	224.68	
排种性能指标 Seed metering performance index	合格指数/% Qualified rate	96	89	94	89	92
重播指数/% Reseeding rate	1	10	2	3	4	
漏播指数/% Miss seeding rate	3	1	4	8	4	
播种精确性指标 Seeding precision index	标准差 Standard deviation	10.14	13.37	15.68	10.32	11.99
变异系数/% Coefficient of variation	4.760	5.97	6.34	4.40	5.24	

## 2.5 经济指标分析

该机具采用耕播联合作业技术,大大提高了劳动生产率。由表5可知,每公顷作业量采用耕播联

合作业较传统作业工作时间、人工工时、燃油消耗分别减少了57.28%、39.31%、22.94%,且由于进地次数减少,降低了土壤压实程度。

表5 作业经济效益对比分析

Table 5 Contrastive analysis of economic benefits

项目 Items	传统作业 Traditional work	耕播联合作业 Combined tillage-sowing operation	评价 Evaluation
作业时间/h Working time	2.06	0.88	减少 57.28% Reduce 57.28%
工时/(人·h) Man-hour consumption	2.90	1.76	降低 39.31% Reduce 39.31%
人工费/元 Labor fee	39.00	19.56	降低 49.85% Reduce 49.85%
耗油量(柴油)/L Fuel consumption	17.00	13.10	降低 22.94% Reduce 22.94%

注:表中数据均以完成1 hm<sup>2</sup>作业量计算。传统作业是指分时间段进行农艺作业,即先用1GFZ-240(4)耕整联合作业机进行灭茬、起垄作业,然后用2BJ-4播种机进行施肥、精密播种、镇压等作业;耕播联合作业是用2BYML-4玉米灭茬整地起垄施肥播种机一次完成灭茬、起垄、播种、施肥、镇压等作业。Note: All the data in the table are calculated with 1 hm<sup>2</sup> workload. Traditional work refer to agronomic operations in different time periods, complete stubble cleaner and ridging with 1GFZ-240(4) combined tillage and tillage machine, and then fertilization firstly, and conduct fertilization, precision seeding, repression and other operations with 2BJ-4 seeder. Combined tillage-sowing operation is stubble removal, ridging, seeding, fertilize, suppress, etc accomplished once use 2BYML-4 corn ridge planting no-tillage planter.

## 3 讨论

本研究研制的2BYML-4型玉米垄作免耕播种机具采用免耕防堵装置,可一次性完成玉米根茬粉碎还田、起垄、施肥、精密播种联合作业。该机具动土次数少,提高了作业效率,极大地减少了生产成本,增加农民收入。2BYML-4型玉米垄作免耕播种机主要用于春播期,旋耕整地,蓄水保墒;肥料深施,提高肥效;排种器一体化播种单元、单体仿形,有效解决了大量秸秆覆盖下的玉米精播难题,适用于垄作或平作留茬地块,符合节水保墒的保护性耕作农艺要求,作业质量满足当地农艺要求,性能指标优于同类机型。2BYML-4型玉米垄作免耕播种机的结构设计满足灭茬、起垄和精播的农艺技术要求,该机具通过复式起垄,达到蓄水保墒的作用;只对播种苗带秸秆进行灭茬还田,降低了功耗,减少了对土壤的扰动范围,增加了土壤肥力;由仿生柔性镇压辊对起垄后土壤表层压平、压实,提高了土壤表层紧实度、平整度,优化了后期种子生长环境,玉米播种作业的播深一致性明显提高,同时,可有效防止风蚀和水蚀等环境灾害的发生。灭茬装置的作业能将作物根茬和杂草破碎,有效改善土壤表层结构,提高播种质量,促进种子发芽。灭茬机构采用苗带灭茬,只需要对所需播种的苗带上的秸秆进行灭茬,减少了动力消耗。田间试验结果表明:该2BYML-4型玉米垄作免耕播种机可原垄破茬播种,发挥了保护性耕作的优点;起垄、镇压的效果达到预期,垄高、垄顶宽、

垄间距合格率分别为94.73%、90.64%和90.13%;播种效果较好,粒距合格指数92.0%,种子覆土深度合格率为88.3%,种下施肥合格率为89.7%,变异系数分别为9.71%和10.32%。该机各参数完全满足免耕播种的农艺要求,为垄上播种的耕播联合作业提供参考。

## 参 考 文 献

- [1] LIN J, SONG Y Q, LI B F. Mechanical no-tillage sowing technology in ridge area of Northeast China[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(9): 50-57.
- [2] 岳玉兰, 张世忠, 张磊. 东北春玉米生产历史、现状及前景探讨[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(4): 56-58.
- [3] 宋振伟, 郭金瑞, 邓艾兴, 等. 耕作方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 108-114.
- [4] 林静, 宋玉秋, 李宝筏. 东北垄作区机械免耕播种工艺的研究[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 50-57.
- [5] 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.
- [6] 何进, 李洪文, 陈海涛, 等. 保护性耕作技术与机具研究进展[J]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 1-19.
- [7] 包文育. 东北垄作免耕播种机关键部件研究与整机设计[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
- [8] 刘林. 免耕播种机地轮设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [9] 王庆杰, 李洪文, 何进, 等. 垄作免耕技术对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊2): 146-150.
- [10] 刘文政, 李向盈, 郑侃, 等. 我国保护性耕作技术研究现状及展望[J]. 农机化研究, 2017, 39(7): 256-261; 268.

- [11] 张欣悦,李连豪,汪春,等.1GSZ-350型灭茬旋耕联合整地机的设计与试验[J].农业工程学报,2009,25(5):73-77.
- [12] 张欣悦,赵大勇,许春林,等.1GMMZ-280/4型垄作组合式灭茬旋耕整地机[J].农机化研究,2012,34(6):104-107.
- [13] 肖文立,肖文芳,廖宜涛,等.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.
- [14] 林静,刘安东,李宝筏,等.2BG-2型玉米垄作免耕播种机[J].农业机械学报,2011,42(6):43-46.
- [15] 林静,钱巍,牛金亮.玉米垄作免耕播种机新型切拨防堵装置的设计与试验[J].沈阳农业大学学报,2015,46(6):691-698.
- [16] 刘艳芬,林静,李宝筏.轻量化玉米垄作免耕播种机设计与试验[J].农业机械学报,2017,48(11):60-69.
- [17] 贾洪雷,赵佳乐,姜鑫铭,等.行间免耕播种机防堵装置设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(18):16-25.
- [18] 贾洪雷,李广宇,马成林.分置式耕播联合作业机连接机构的研究[J].农业机械学报,2006,37(12):54-57.
- [19] 郑侃,何进,李洪文,等.反旋深松联合作业耕整机设计与试验[J].农业机械学报,2017,48(8):38-41.
- [20] 何进,李洪文,张学敏,等.1QL-70型固定垄起垄机设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(7):55-60.
- [21] 王庆杰,李洪文,何进,等.凹形圆盘式玉米垄作免耕播种机的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(7):117-122.
- [22] 余冬立,张勇,邵明安.成垄压实耕作施肥机械的改进设计[J].农业工程学报,2008,24(4):151-154.
- [23] 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.
- [24] 付乾坤,荐世春,贾洪雷,等.玉米灭茬起垄施肥播种机的设计与试验[J].农业工程学报,2016,32(4):9-16.
- [25] 李宝筏.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [26] 文立阁.灭茬刀辊仿生减阻研究[D].长春:吉林大学,2009.
- [27] 林静,赵德芳,胡艳清,等.基于免耕播种的玉米根茬物理机械特性分析[J].农机化研究,2012,34(3):162-166.
- [28] 吴子岳,高焕文,张晋国.玉米秸秆切断速度与切断功耗的试验研究[J].农业机械学报,2001,32(2):38-41.
- [29] 马永财,张伟,李玉清,等.播种机单体两种仿形机构的研究[J].农机化研究,2011,33(8):101-103,106.
- [30] 荐世春,张宁宁,王小瑜,等.玉米苗带秸秆还田旋耕施肥播种机设计与试验[J].农机化研究,2015,37(8):177-180.
- [31] 鹿瑶,吕钊钦,郑文秀,等.玉米免耕深松播种机的设计与试验[J].农机化研究,2019,41(1):100-104.

## Design and test of 2BYML-4 maize ridge planting no-tillage planter

WEI Guojian FANG Huimin CUI Rongjiang JIAN Shichun

*Shandong Academy of Agricultural Machinery Sciences, Jinan 250100, China*

**Abstract** A 2BYML-4 ridge no-tillage maize planter was developed, which can complete the maize stubble smashing and returning to the field, ridging, fertilizing and precision seeding at one time. The structure and working principles of the machine were analyzed. The results of the prototype in field test showed that the qualified rate of ridge height, ridge top width, ridge spacing, the qualified index of grain spacing, the standard deviation, the coefficient of variation, the missing sowing index, the replaying index, the qualified rate of seed covering depth, the qualified rate of fertilization under sowing, and the coefficient of variation was 94.73%, 90.64%, 90.13%, 92%, 11.99, 5.24%, 4%, 4%, 88.3%, 89.7%, 9.71% and 10.32%, respectively. The machine has regular ridge shape, with uniform and reasonable distribution of seeds and fertilizers in the field. Its combination of structural parameters and working parameters can better meet the requirements of conservation tillage in dryland agriculture and effectively improve the ecological environment.

**Keywords** seeding machine; combined tillage-sowing machine; no-tillage and anti blocking; corn; ridge cultivation; conservation tillage; no-tillage planter

(责任编辑:陆文昌)