

基于 PLC 的苔麸播种机设计与试验

赵金辉^{1,2} 刘立晶^{2,3} 杨学军^{2,3} 赵郑斌^{2,4} 郝朝会^{2,4} 钟德新⁵

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 现代农装科技股份有限公司, 北京 100083;
3. 南方粮油作物协同创新中心, 长沙 410128; 4. 农业生产机械装备国家工程实验室, 北京 100083;
5. 浦北县农机局, 钦州 535000)

摘要: 设计了一种基于 PLC 的苔麸施肥播种机。该播种机主要由排种器、开沟器和 PLC 控制器等关键部件组成, 通过转速传感器测量播种速度, 建立播种速度和伺服电动机转速之间的对应关系, 通过控制伺服电动机转速实现不同播种速度下单位面积播种量一致。在播种量 4、5、6 kg/hm², 播种速度 3、4、5 km/h 条件下, 进行了排种器性能测试, 播种量 5 kg/hm² 条件下, 得到各行排种量一致性变异系数 5.02%, 总排种量稳定性变系数 0.89%, 种子破损率 0.1%, 试验零水平时排种均匀性变异系数 18.9%, 满足标准要求; 田间试验结果表明播种均匀性变异系数 20.4%, 满足苔麸农艺要求。

关键词: 苔麸播种机; PLC 控制; 设计; 试验

中图分类号: S223.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0084-06

Design and Experiment of Tef Seeder Based on PLC

Zhao Jinhui^{1,2} Liu Lijing^{2,3} Yang Xuejun^{2,3} Zhao Zhengbin^{2,4} Hao Zhaohui^{2,4} Zhong Dexin⁵

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

2. Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China

3. Collaborative Innovation Center for Southern Grain and Oil Crop, Changsha 410128, China

4. National Engineering Laboratory for Agricultural Production Machinery and Equipment, Beijing 100083, China

5. Pubei Agricultural Machinery Bureau, Qinzhou 535000, China)

Abstract: In order to solve the problem of Ethiopia tef mechanized seeding, a fertilization seeder for tef based on PLC was designed. The tef seeder mainly included seed-metering device, furrow opener, PLC control system and so on. Sowing speed was measured by speed sensor, and corresponding relationship between sowing speed and servo motor speed was established, which can be used to control servo motor speed to achieve the same seeding rate per unit area at different sowing speeds. A small seed-metering device and single-disc opener were designed to solve the problem of poor uniformity and low stability. The PLC control system was designed for sowing, which can assure the tef seeder worked well in clay soil. It would be easy to adjust seeding rate and fertilizer rate through human-computer interaction interface. Seed-metering device performance experiment was carried out at different seeding rates of 4 kg/hm², 5 kg/hm² and 6 kg/hm² and sowing speeds of 3 km/h, 4 km/h and 5 km/h. The results showed that the consistency variability coefficient of row seeding quantity was decreased with the increase of seeding rate and sowing speed, and the stability variability coefficient of full seeding quantity was decreased with the increase of seeding rate, which was firstly increased and then decreased with the increase of sowing speed. When the seeding rate was 5 kg/hm², the consistency variability coefficient of row was 5.02%, stability variability coefficient of full row seeding quantity was 0.89%, seed damaged rate was 0.1% and seed uniformity coefficient of variation was 18.9% under zero level testing condition, which can meet the

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-20

基金项目: 国家星火计划项目(2014GA600006)

作者简介: 赵金辉(1987—),男,助理工程师,主要从事农业机械装备与关键技术研究,E-mail: zhaojh281@163.com

通信作者: 刘立晶(1976—),女,研究员,博士生导师,主要从事保护性耕作技术及装备研究,E-mail: xylilj@sina.com

standard requirements. The sowing uniformity coefficient of variation was 20.4% in field experiment, which can meet tef agronomic requirements.

Key words: tef seeder; PLC control; design; experiment

引言

苔麸是埃塞俄比亚最主要的传统作物,其籽实也是当地传统食物“英吉拉”的主要原料,年种植面积 190 ~ 220 万 hm^2 , 占其全部作物总种植面积 30% 以上,生产过程以人工和畜力作业为主^[1-2]。传统的苔麸种植方式为人工撒播,存在产量低且收获时倒伏严重的现象。近些年,为了增加苔麸产量、减少倒伏现象,埃塞俄比亚农业部门及其他机构经过不断研究,提出了苔麸条播种植方式^[3-4]。目前埃塞俄比亚国内研制了几种不同类型的播种机,动力多为人力或畜力,存在地轮黏土、无排种器或排种器精度较低的问题,导致排种量均匀性差、缺苗断垄现象严重,影响苔麸产量;一些国外机构也为埃塞俄比亚设计了一些播种机,但存在地轮黏土、排种器性能不稳定、机型较大的问题,在黏性土壤条件下无法推广使用。

中国没有苔麸作物,可以借鉴的有油菜、谷子、苜蓿等小粒作物,分析小粒作物播种机存在问题^[5-8],针对现有问题并结合研究现状,本文设计一种基于 PLC 的苔麸播种机,以期实现在黏性土壤条件下的精少量播种。

1 苔麸播种机及工作原理

1.1 苔麸播种技术条件

埃塞俄比亚季节差异明显,分为雨季和旱季,苔麸 7 月中旬播种(雨季),降水量约为 750 ~ 850 mm,降雨较为频繁,11 月底开始收获(旱季);土壤类型主要分为黑黏土、壤土和砂壤土^[9]。

苔麸籽粒较小,形状为长球体,长为 1.01 ~ 1.27 mm,宽 0.59 ~ 0.87 mm,千粒质量 0.26 ~ 0.42 g,容积密度约 0.86 kg/L ;小农户以人工撒播为主,播种量 30 kg/hm^2 ;机械化播种为条播,播种量 5 kg/hm^2 ,行距 15 ~ 20 cm。

1.2 播种机结构及技术参数

根据苔麸的农艺要求和播种时田间土壤状况,设计了一种基于 PLC 的苔麸播种机,结构如图 1 所示,主要包括排种器、开沟器、种肥箱、机架和 PLC 控制器等。

播种机主要技术参数:悬挂式,工作行数 12 行,工作幅宽 2.4 m,播种量 4 ~ 10 kg/hm^2 ,施肥量 75 ~ 200 kg/hm^2 ,生产效率 0.72 ~ 1.44 hm^2/h 。

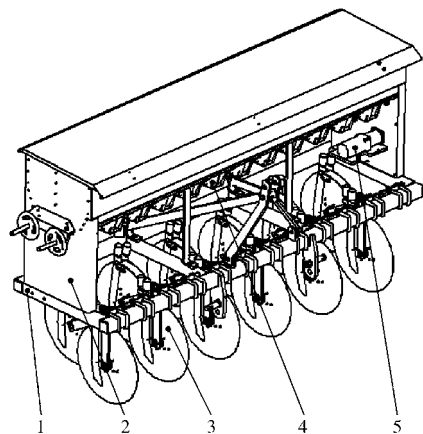


图 1 基于 PLC 的苔麸施肥播种机结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of seeder for tef based on PLC

1. 机架 2. 种肥箱 3. 开沟器 4. 排种器 5. 伺服电动机

1.3 工作原理

播种机工作时,首先通过悬挂架与拖拉机悬挂装置连接,在人机交互界面中设定公顷播种量、拖拉机地轮直径和转速传感器检测点数;PLC 控制器根据安装转速传感器的拖拉机地轮直径和转速传感器检测点数处理得到拖拉机前进速度,并通过速度信号和人机界面中设定的公顷播种量分析得到排种轴转速,将转速信号传输到驱动器控制伺服电动机转动,通过排种轴带动排种轮将种子精少量排出;采用单圆盘开沟器完成开沟破土,种子和肥料分别落在种沟内,实现苔麸精少量施肥播种。

2 关键部件设计

2.1 排种器设计

排种器是播种机的关键部件之一,其性能关系到播种机作业质量和实用性^[10-13]。目前谷物条播机使用的排种器多为外槽轮排种器,其结构简单、性能稳定。本文采用外槽轮排种器,通过减小齿槽深度 b ,缩小凹槽半径 r ,使单个齿槽的容积变小,通过增加齿槽数量 Z ,使每个齿槽排种的频率加大,以减小排种脉冲,提高均匀性,排种轮结构如图 2 所示。

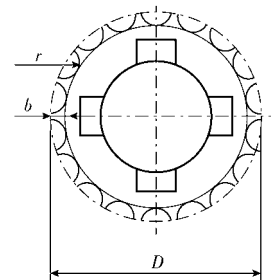


图 2 排种轮

Fig. 2 Seed-metering wheel

外槽轮排种器每转一圈的排种量与公顷播种量之间的数学关系为

$$\begin{cases} q = \pi D L \gamma \left(\frac{a_0 f_q}{t} + \lambda \right) \\ f_q = f(r, b) \\ Q = \frac{10 i q}{\pi D_1 m (1 - \delta_z)} \\ t = \frac{\pi D}{Z} \end{cases} \quad (1)$$

式中 D ——外槽轮直径, cm
 D_1 ——驱动轮直径, cm
 Q ——公顷播种量, kg/hm²
 δ_z ——滑转率, % i ——传动比
 L ——槽轮的有效工作长度, cm
 γ ——种子密度, g/cm³ m ——行距, cm
 a_0 ——槽内种子充满系数, 取 $a_0 = 0.68$
 f_q ——单个凹槽的截面积, cm²
 t ——槽轮凹槽节距, cm
 λ ——带动层特性系数, 取 $\lambda = 0.25$

选取外槽轮直径 $D = 30$ mm, 播种量 Q 取 4 ~ 10 kg/hm², 根据式(1)得到排种轮不同的结构参数, 对不同参数组合进行排种均匀性试验, 选取 $Z = 18$, $b = 2$ mm, $r = 2$ mm, 该组合下排种均匀性变异系数为 19.2%, 满足排种均匀性要求。

2.2 开沟器设计

苕豨播种施肥量较少, 考虑到田间土壤多为黑黏土, 黏性较大, 设计了单圆盘开沟器, 如图 3 所示, 开出的种肥沟能够满足种肥量要求, 且单圆盘开沟器工作时沿地面滚动, 滚动摩擦阻力较小, 能够减少黏土现象, 具有较强的通过能力^[14-16]。

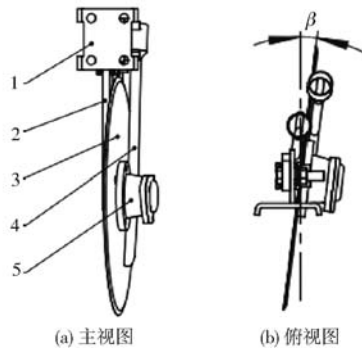


图 3 开沟器组合
Fig. 3 Single-disc opener

设计的开沟器圆盘直径 350 mm, 与前进方向夹角 $\beta = 7^\circ$, 圆盘厚度 3 mm, 开沟深度为 20 ~ 30 mm 时开沟宽度 20 ~ 30 mm, 为了平衡侧向力, 开沟器分左、右, 左半幅使用左开沟器, 右半幅使用右开沟器。

2.3 控制系统设计

2.3.1 系统组成及工作原理

设计了 PLC 播种量控制系统^[17], 包括硬件和软件, 系统如图 4 所示, 主要包括: 电源、升压器、逆变器、PLC 控制器、转速传感器、触摸屏、驱动器和伺服电动机等。

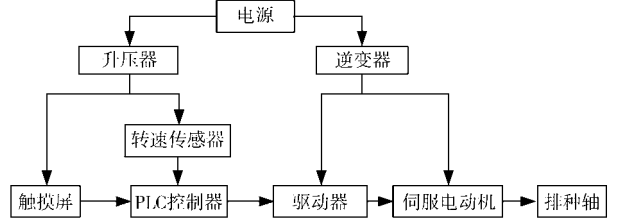


图 4 控制系统框图
Fig. 4 Flow chart of control system

控制系统的主机为 PLC 控制器, 该系统具有 1 个输入信号, 1 个输出信号。输入信号由转速传感器提供, 输出信号通过驱动器控制伺服电动机转速; 升压器将拖拉机电源 12 V DC 转换成 24 V DC, 为转速传感器、触摸屏和 PLC 控制器供电; 逆变器将拖拉机电源 12 V DC 转换成 220 V AC, 为驱动器和伺服电动机供电。

2.3.2 硬件选型

(1) PLC 控制器

PLC 控制器在系统中完成传感器信号的采集、分析和处理, 并输出信号通过驱动器控制伺服电动机执行动作。根据系统输入/输出点数及输出高速脉冲数, 选用台达 DVP-SS2 系列 DVP14SS211T 型号控制器, 该 PLC 控制器具有 8 个数字量输入点和 6 个数字量输出点, 供电电压 24 V DC; 配置 1 个台达模拟量输出模块 DVP02DA-S, 模拟量输出模块具有 2 通道输出(电流或电压均可), 在 25℃ 常温模式下, 精度为满量程的 $\pm 0.5\%$ 。

(2) 触摸屏

触摸屏是实现人机交互的载体, 本系统选用台达 DOP-B 系列 DOP-B07S410 型触摸屏, 其采用 7 英寸 64 K 色面板, 分辨率 800 像素 $\times$ 480 像素, 背光灯具备常温 25℃ 下 2×10^4 h 的寿命, RS232/RS485 自适应切换集成串口, 供电电源 24 V DC。

(3) 伺服电动机

根据排种轴转矩和转速, 得到所需适配电动机功率, 选用森创 60CB 系列 60CB020C-500000 型交流伺服电动机, 其额定功率 200 W, 额定转矩 0.64 N·m, 额定转速 3 000 r/min; 配 PNF60-032 型减速器, 减速后的额定转矩 20.48 N·m, 瞬间最大转矩 60.8 N·m, 额定转速 93.75 r/min, 满足播种机工作需求。

(4) 驱动器

驱动器选用森创 MS0040E 型交流伺服驱动器,额定功率 400 W,额定工作电压 220 V AC,3 种控制模式:位置模式、速度模式和转矩模式,速度模式下模拟量输入信号 - 10 V ~ 10 V,信号输出为编码器输出。

2.3.3 软件设计

本系统采用台达公司研发的 ISPSoft 作为开发软件,完成系统软件程序设计,在 Windows 7 操作系统环境下运行,适用于台达全系列可编程控制器。ISPSoft 采用 IEC 61131-3 的编程框架,除了具备基本的程序编辑功能之外,ISPSoft 还包含许多的辅助工具。

ISPSoft 软件提供 5 种模式的程序语言,分别为梯形图(LD)、顺序功能图(SFC)、功能块图(FBD)、指令列表(IL)及结构化语言(ST)。其中,梯形图是最直观也最常用的编程语言,梯形图程序与指令程序可通过编译来互相转换。本系统根据控制系统工作运行要求,采用模块化设计思想,提高系统反应速度,并且有利于程序升级与维护。软件设计流程图如图 5 所示。

人机界面设计了开机界面、主界面、参数设置界面和状态监控界面 4 个界面。如图 6 所示,参数设置界面中设计公顷播种量、拖拉机地轮直径、转速传感器测量点数 3 个数字输入框,通过输入框将相应命令、数据输送给 PLC 控制器,设置了信号采集和返回 2 个按钮,分别实现进入状态监控界面进行信号采集和返回上级界面;状态监控界面能够从 PLC 控制器中读出相应参数或状态信息,实现人机交互,其主要用于监控播种机工作过程中的状态参数,包

括转速传感器测量周期脉冲数、伺服电动机转速等信息,可以直观地观测到传感器测量数值,右下角设置了返回按钮,点击该按钮返回上一级菜单。

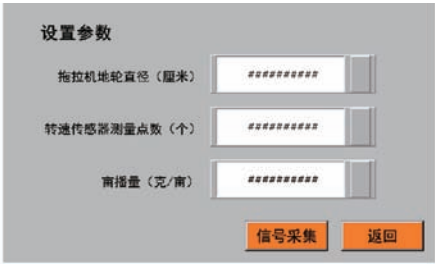


图 6 参数设置界面
Fig. 6 Interface of parameters setting

3 试验

3.1 排种性能试验

3.1.1 试验条件及方法

根据 GB/T 9478—2005《谷物条播机 试验方法》及 GB/T 25421—2010《牧草免耕播种机》标准中测试内容和测试方法,对排种性能进行检测。检测设备包括电子天平、游标卡尺、秒表及卷尺等。

分别进行了排种均匀性、各行排种量一致性、总排种量稳定性和种子破损率测定。

各行排种量一致性:测定 6 行,重复 5 次,计算各行排种量一致性变异系数;总排种量稳定性:测试方法与各行排种量一致性相同,重复 5 次,计算总排种量稳定性变异系数。

进行各行排种量一致性和总排种量稳定性试验时,选定播种量 Q 和播种速度 v 为试验因素,由于田间实际工作受到土壤条件和拖拉机性能限制,播种速度较低,选定播种速度分别为 3、4、5 km/h,播种量分别为 4、5、6 kg/hm²,试验选用二因素三水平正交表^[18],因素水平如表 1 所示。

表 1 正交试验因素水平
Tab.1 Orthogonal factors and levels

水平	播种量/(kg·hm ⁻²)	播种速度/(km·h ⁻¹)
1	4	3
2	5	4
3	6	5

排种均匀性:测定收集容器中的种子质量,每次试验测定 5 次,计算排种均匀性变异系数;试验在零水平条件下进行,播种量 5 kg/hm²,播种速度 4 km/h。

种子破损率:与各行排量一致性同时测定,从各个排种器排出种子中取出 5 份,每份质量约 100 g,选出破碎损伤的种子称其质量,计算破碎种子质量占样本总质量的百分数。

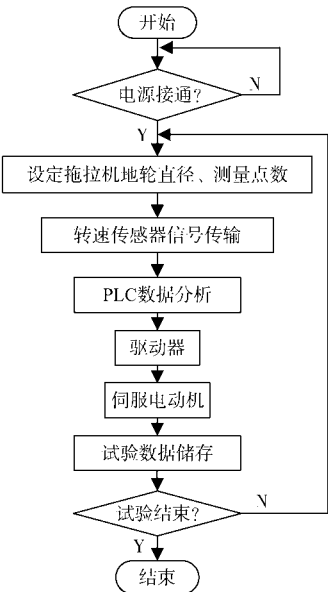


图 5 软件设计流程图
Fig. 5 Flow chart of software design

3.1.2 试验结果及分析

不同因素和水平条件下测量得到的试验结果如表 2 所示,图 7、图 8 直观表现了各行排种量一致性变异系数、总排种量稳定性变异系数与播种量和播种速度之间的关系。

表 2 试验结果分析
Tab.2 Analysis of test result

试验次数	Q	v	各行排种量一致性变异系数/%	总排种量稳定性变异系数/%
1	1	1	6.06	1.60
2	1	2	6.03	0.76
3	1	3	5.98	1.44
4	2	1	5.01	1.00
5	2	2	5.06	1.13
6	2	3	4.98	0.55
7	3	1	4.28	0.29
8	3	2	4.11	0.59
9	3	3	3.71	0.62
各行排种量一致性变异系数	k_1	6.02	7.68	
	k_2	5.02	5.07	
	k_3	4.03	4.89	
	极差 R	1.99	2.79	
因素主次		$v > Q$		
总排种量稳定性变异系数	k_1	1.27	0.96	
	k_2	0.89	0.82	
	k_3	0.5	0.87	
	极差 R	0.77	0.14	
主次因素		$Q > v$		

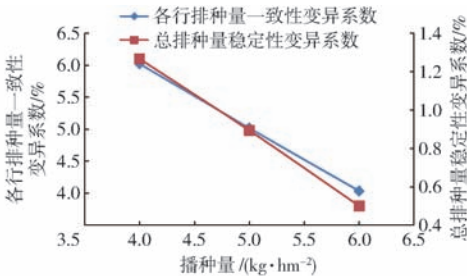


图 7 各行排种量一致性变异系数及总排种量稳定性变异系数与播种量之间的关系
Fig.7 Relationship between consistency variability coefficient of row, stability variability coefficient of full seeding quantity and seeding rate

由表 2 可知,影响各行排种量一致性变异系数的因素水平主次顺序为播种速度、播种量,影响总排种量稳定性变异系数的因素水平主次顺序为播种量、播种速度。

由图 7、8 可知,各行排种量一致性变异系数随着播种量和播种速度增大而减小,播种量 5 kg/hm²时变异系数 5.02%;在播种量 4 ~ 6 kg/hm²、播种速度

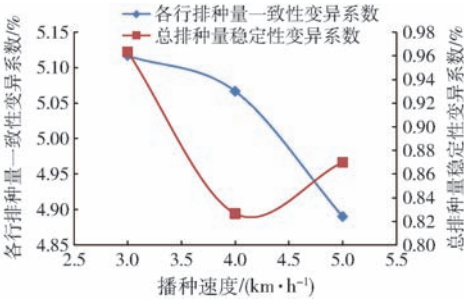


图 8 各行排种量一致性变异系数及总排种量稳定性变异系数与播种速度之间的关系
Fig.8 Relationship between consistency variability coefficient of row, stability variability coefficient of full seeding quantity and sowing speed

3 ~ 5 km/h 范围内,各行排种量一致性变异系数小于 GB/T 25421—2010《牧草免耕播种机》标准要求 13%。总排种量稳定性变异系数随着播种量的增大而减小,播种量 5 kg/hm²时变异系数为 0.89%,随着播种速度增大先增大后减小;在播种量 4 ~ 6 kg/hm²、播种速度 3 ~ 5 km/h 范围内,总排种量稳定性变异系数小于 GB/T 25421—2010《牧草免耕播种机》标准要求 6%。

经测定,排种均匀性变异系数 18.9%,小于 GB/T 25421—2010《牧草免耕播种机》标准要求 50%,种子破损率 0.1%,小于 GB/T 25421—2010《牧草免耕播种机》标准要求 0.5%。

3.2 田间试验

2015 年 7 月在埃塞俄比亚中埃农业技术示范中心播种苔麸,并进行了田间试验。示范中心土壤为黑黏土,土壤含水率较高,种植制度为一年一熟。试验地前茬玉米,旋耕机进行土壤整备,苔麸施肥播种机播种,如图 9 所示,右下图为转速传感器安装在拖拉机地轮上。配套动力:道依茨 SILVER 系列拖拉机,动力 77.2 kW;作业速度:3 ~ 5 km/h。



图 9 田间试验
Fig.9 Picture of field experiment

播种后 21 d 观察出苗情况,苗株数约为 1 700 万株/hm²,播种量比传统播种方式节约 20 ~ 25 kg/hm²,对田间株距进行统计分析,得到播种均匀性变异系数 20.4%,满足苔麸种植农艺要求。

4 结论

(1)设计了一种基于 PLC 的苔麸施肥播种机,实现了苔麸在黏性土壤条件下的机械化播种,开发了针对苔麸的小粒排种器,实现苔麸精少量排种。

(2)设计了播种量 PLC 控制系统,建立播种速度与排种轴转速之间的关系,通过伺服电动机控制排种轴转速实现无地轮驱动时精少量排种,解决了黏性土壤条件下驱动轮黏土造成的行走困难和滑移率过高的问题,通过人机界面交互作用,调节播种施

肥量简单方便。

(3)排种性能试验表明,零水平试验条件下排种均匀性变异系数 18.9%,种子破损率 0.1%,满足标准要求;播种量 5 kg/hm^2 条件下,各行排种量一致性变异系数 5.02%,总排种量稳定性变系数 0.89%,满足标准要求。

(4)田间试验株距分布统计结果表明,苗株数约 1 700 万株/ hm^2 ,田间播种均匀性变异系数 20.4%,满足苔麸种植农艺要求。

参 考 文 献

- 1 ZEWDU A D, SOLOMON W K. Moisture-dependent physical properties of tef seed[J]. Biosystems Engineering, 2007, 96(1): 57–63.
- 2 ZEWDU A. Simulation of tef seed broadcasting[J]. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2008, 10: 1–14.
- 3 JURAIMI A S, BEGUM M, SHERIF A M, et al. Competition effects of date of sowing and nut sedge removal time on yield and contributing characters of tef [*eragrostis tef* (zucc.) trotter][J]. American Journal of Applied Sciences, 2009, 6(10): 1820–1825.
- 4 TADESSE D. Study on genetic variation of landraces of teff (*eragrostis tef* (zucc.) trotter) in Ethiopia[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 1993, 40(2): 101–104.
- 5 张东光, 郭玉明, 郑德聪. 谷子机械化精少量种植工艺的研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2011, 31(6): 563–567.
ZHANG Dongguang, GUO Yuming, ZHENG Decong. Research on mechanized hill-drop planting processes for millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2011, 31(6): 563–567. (in Chinese)
- 6 廖庆喜, 张宁, 张朋玲, 等. 一器多行离心式油菜排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 48–51.
LIAO Qingxi, ZHANG Ning, ZHANG Pengling, et al. Centrifugal metering device for rape seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 48–51. (in Chinese)
- 7 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]. 农业机械学报, 2014, 45(增刊): 47–51.
ZHAI Gaixia, BAO Desheng, WANG Zhijun, et al. Design for metering device key parts of pneumatic grass seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.): 47–51. (in Chinese)
- 8 龚丽农, 员玉良, 尚书旗, 等. 小区播种机电控系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 122–126.
GONG Linong, YUAN Yuliang, SHANG Shuqi, et al. Design and experiment on electronic control system for plot seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 122–126. (in Chinese)
- 9 赵荣华. 埃塞俄比亚的稀特粮食作物——苔麸[J]. 世界农业, 2012(12): 104–106.
- 10 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- 11 刘立晶, 杨学军, 李长荣, 等. 2BMG-24 型小麦免耕播种机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 39–43.
LIU Lijing, YANG Xuejun, LI Changrong, et al. Design of 2BMG-24 no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 39–43. (in Chinese)
- 12 楚杰, 路海东, 薛吉全, 等. 玉米宽窄行深旋免耕精量播种机田间试验及效果[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 34–41.
CHU Jie, LU Haidong, XUE Jiquan, et al. Field experiment and effect of precise mechanical sowing of maize based on wide-narrow row deep rotation and no-tillage technology[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 34–41. (in Chinese)
- 13 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.
FU Qiankun, JIAN Shichun, JIA Honglei, et al. Design and experiment on maize stubble cleaning fertilization ridging seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(4): 9–16. (in Chinese)
- 14 姚宗路, 高焕文, 王晓燕, 等. 小麦免耕播种机开沟器对作物生长的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 117–121.
YAO Zonglu, GAO Huanwen, WANG Xiaoyan, et al. Effect of three furrow openers for no-till wheat seeder on crop growth performance[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 117–121. (in Chinese)
- 15 姚宗路, 高焕文, 李洪文, 等. 不同结构免耕开沟器对土壤阻力的影响[J]. 农机化研究, 2009, 31(7): 30–34.
YAO Zonglu, GAO Huanwen, LI Hongwen, et al. Effect of different structural no-till openers on soil resistant force[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 30–34. (in Chinese)
- 16 赵金辉, 杨学军, 周军平, 等. 播种机开沟器及其性能测试装置的现状分析[J]. 农机化研究, 2014, 36(1): 238–241.
ZHAO Jinhui, YANG Xuejun, ZHOU Junping, et al. Analysis the current situation about furrow opener and its performance test device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(1): 238–241. (in Chinese)
- 17 余山山, 张文毅, 吴崇友, 等. 盘育秧精密播种流水线 PLC 控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 202–207.
YU Shanshan, ZHANG Wenyi, WU Chongyou, et al. Design of PLC control system of precise seeding assembly line for rice seedling nursing[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 202–207. (in Chinese)
- 18 陈魁. 实验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.