

引用本文格式 周兴华, 卫韦, 潘锋华, 等. 垄上破膜覆土一体机设计与仿真[J]. 农业工程, 2024, 14(8): 101-105. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.08.017. ZHOU Xinghua, WEI Wei, PAN Fenghua, et al. Design and simulation of integrated machine for breaking film and covering soil on ridge[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(8): 101-105.

垄上破膜覆土一体机设计与仿真

周兴华¹, 卫韦², 潘锋华¹, 史金钟¹, 陈勇华¹, 卢俊¹, 赵坤³

(1. 贵州省烟草公司铜仁市公司, 贵州 铜仁 554300; 2. 贵州大学工程训练中心, 贵州 贵阳 550025;
3. 贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 针对贵州省铜仁市植烟区膜后打孔投苗移栽方式存在的烟苗根部覆土不足、苗株周围易长草问题, 设计了一款适合于铜仁市植烟区烟叶生产的乘坐式垄上破膜覆土一体机。该机由增程式发电机、铅酸电池组、行走装置、取土运土装置、破膜覆土装置、控制面板、机架及驾驶位等组成。利用Solidworks软件建立了双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构虚拟样机模型, 经模型简化导入ADAMS中进行仿真分析, 得到其运动轨迹和X、Y方向位移与时间变化曲线。结果表明, 设计的双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构满足55 cm定株距破膜和作业效率0.067 hm²/h的要求, 验证了其结构选择和参数设计的合理性。该机能够代替人工膜上覆土作业、降低作业成本、提高覆土效率, 具有推广使用价值。

关键词: 烟草移栽; 破膜覆土一体机; 鸭嘴破膜覆土机构; 仿真分析; 铜仁市

中图分类号: S223.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-1795(2024)08-0101-05

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.08.017

Design and simulation of integrated machine for breaking film and covering soil on ridge

ZHOU Xinghua¹, WEI Wei², PAN Fenghua¹, SHI Jinzhong¹, CHEN Yonghua¹, LU Jun¹, ZHAO Kun³

(1. Tongren Branch of Guizhou Provincial Tobacco Corporation, Tongren Guizhou 554300, China; 2. Engineering Training Center, Guizhou University, Guiyang Guizhou 550025, China; 3. College of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou 550025, China)

Abstract: In order to solve problems of insufficient soil cover on root of tobacco seedlings and grasses grow easily around seedlings in Tongren tobacco-producing area by punching holes and transplanting seedlings after film, an integrated machine for breaking film and soil covering on ridging was designed for tobacco production in Tongren tobacco-producing area. The machine consisted of extended range generator, lead-acid battery, walking device, taking and moving soil device, breaking film and covering soil device, control panel, frame and driver's seat. The virtual prototype model of double-crank multi-link duck-bill breaking film and covering soil mechanism was established by Solidworks software. The model was simplified and imported into ADAMS for simulation analysis, and motion trajectory, displacement and time change curves in X and Y directions were obtained. Results showed that designed double-crank multi-link duck-bill breaking film and covering soil mechanism could meet requirements of 55 cm fixed plant distance breaking film and 0.067 hm²/h operation efficiency, which verified rationality of structure selection and parameter design. The machine could replace operation of artificial film covering soil, reduce labor and cost, improve efficiency of soil covering, and had value of popularization and use.

Keywords: tobacco transplantation, integrated machine for breaking film and soil covering, duck-bill breaking film and covering soil mechanism, simulation analysis, Tongren City

0 引言

铜仁市是贵州省重要产烟区, 也是全国烟叶种植最适宜地区之一^[1-2]。目前, 在铜仁市植烟区烟叶生产中, 移栽环节烟农普遍采用膜下移栽方式, 烟苗根部

覆土不足, 导致苗株周围易长草, 影响烟叶产量和品质。实际生产中, 需额外增加人工膜上覆土作业环节, 用工成本高、覆土效率低。针对以上问题解决方法还未见报道。为解决铜仁市植烟区膜后打孔投苗移栽方式存在的烟苗根部覆土不足、苗株周围易长草的问题,

收稿日期: 2023-11-08 修回日期: 2024-04-03

基金项目: 贵州省烟草公司铜仁市公司科技项目(202202); 贵州省科技计划项目(黔科合中引地[2023]010)

作者简介: 周兴华, 农艺师, 主要从事烟叶生产管理工 作 E-mail: 467976111@qq.com

卫韦, 通信作者, 硕士, 实验师, 主要从事农业机械化工程研究 E-mail: 742431739@qq.com

在线投稿
www.d1ae.com

设计了一款适合于铜仁市植烟区烟叶生产的乘坐式垄上破膜覆土一体机。

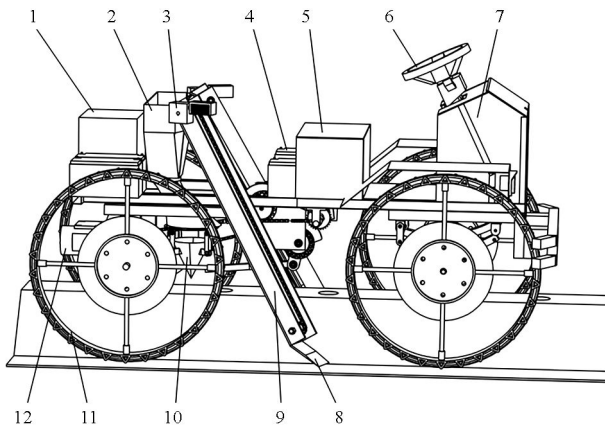
1 整机结构及工作原理

1.1 设计要求

破膜覆土一体机采用铲土刀取土、传输带运土的方式,取土运土装置在两边垄沟进行取土运土,破膜覆土装置在烟株移栽位置处进行破膜(破膜直径约20 cm)完成定点覆土作业。动力平台为电力驱动、轮式行走、乘坐式;同时安装汽油发电机,实现油电混合方式作为整机动力来源。要求:100 cm≤整机宽度≤120 cm、整机质量≤300 kg、作业效率0.067 hm²/h。

1.2 整机结构

为满足铜仁市植烟区烟苗机械移栽作业要求,对国内相关移栽机进行分析研究并结合课题设计要求,确定了破膜覆土一体机设计方案,使用Solidworks软件完成了样机初步的虚拟零件设计及装配建模,作为结构优化和关键零部件设计的基础条件^[3]。破膜覆土一体机主要由增程式发电机、铅酸电池组、行走装置、取土运土装置、破膜覆土装置、控制面板、机架和驾驶位等组成,整体结构如图1所示。其中,增程式发电机用汽油发电储存于铅酸电池组中,作业过程中电池自带电量不足时可以通过增程式发电机供电达到持续作业的目的。行走装置由直径90 cm的橡胶铁轮及前轮转向(带制动)总成组成。取土运土装置由链式刮板传输带、铲土刀、电机、导轨、土箱及导管组成,工作时铲土刀将垄沟中土壤铲到传输带上运输到土箱中,经导管输送到破膜覆土鸭嘴中待垄上覆土使用。破膜覆土装置由曲柄滑块机构及其末端的鸭嘴组成。控制面板有控制机具前进、倒退和空挡的挂挡器,控



1. 增程式发电机 2. 土箱 3. 传输带电机 4. 铅酸电池组 5. 驾驶位
6. 驾驶方向盘 7. 控制面板 8. 铲土刀 9. 链式刮板传输带 10. 破膜覆土鸭嘴 11. 行走轮 12. 主电机

图1 破膜覆土机整机结构

Fig. 1 Structure of integrated machine for breaking film and soil covering

制取土、运土动作的启停按钮,控制破膜、覆土动作的启停按钮,以及机械调速器。

1.3 工作原理

破膜覆土一体机动力输出由3台电机提供。主电机功率较大,负责整机行走及破膜覆土作业,另外2台小功率电机负责取土运土作业。铅酸蓄电池组为3台电机提供电源。增程式发电机可以为蓄电池持续供电达到持续作业的目的。操作者启动总电源开关,启动机具,将控制面板上调速器调整至合适的行走速度,挂挡器由空挡推至前进挡位,机器开始行走。进行破膜覆土作业时控制面板上的控制取土运土动作的启停按钮、控制破膜覆土动作的启停按钮处于打开状态即可。如果机具需要中途短暂停止行走,只需操作者踩下刹车踏板,拉起手制动即可。如需继续行走,放开手制动重复上述操作即可。整机的转向通过操作者操作方向盘即可实现。如果机具长时间停止行走,需要制动后将挂挡器推至空挡,用钥匙关闭机具,将电源总开关关闭。

1.4 工作参数

针对铜仁市烟草种植模式与农艺要求,确定样机设计所需主要参数指标如表1所示。

表1 机具技术参数
Tab. 1 Technical parameters for the machine

参数	数值
整机尺寸(长×宽×高)/mm	2 400×1 200×1 000
株距/mm	550
行距/mm	1 200
破膜直径/mm	200
作业效率/(m ² ·h ⁻¹)	667
增程式发电机	48 V、7 kW 电启动变频智能增程器
蓄电池	48 V、52 Ah 铅酸蓄电池(充电器1个)
行走及破膜电机	48 V、1.2 kW
取土运土电机	48 V、500 W(2个)

2 主要工作部件设计

2.1 传动系统

破膜覆土一体机整机共有3条传动路线,为了确保工作状态下机具行走速度与破膜速度正确匹配,48 V、1.2 kW 主电机同时为驱动轮和破膜覆土装置提供动力输出,主要采用链传动实现远距离恒定传动比的动力传输,传动系统如图2所示。另外2条传动系统相同,48 V、500 W 电机为取土运土装置提供动力输出,电机经减速器降速后直接连接运土传输带进行运输土壤工作^[4]。

2.2 控制系统

破膜覆土一体机整机采用纯电驱动,包括主电机、

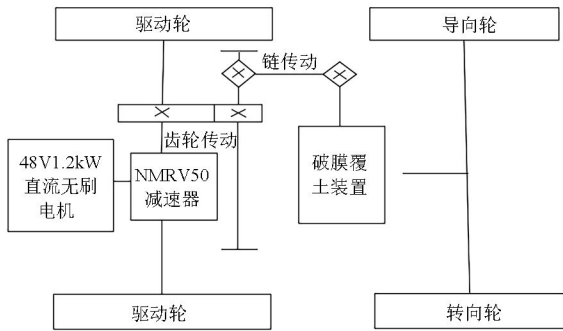


图2 48 V、1.2 kW 主电机传动系统

Fig. 2 Transmission system of 48 V and 1.2 kW main motor

左取土运土装置电机、右取土运土装置电机。蓄电池为电机提供动力，增程式发电机发电存储于蓄电池。主电机负责驱动轮及破膜覆土装置的动力输出，控制主电机的控制器 I 连接有制动断电开关、挂挡器、调速旋钮 I 和加速脚踏，分别用于实现控制整机行走制动、挡位互换、行走速度调节及整机加速功能。左、右取土运土装置电机分别由控制器 II、III 控制，其上连接有调速旋钮 II 和启停按钮，用于实现控制左、右取土运土装置的速度调节和启停。整机控制结构原理如图 3 所示^[5]。

2.3 双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构

破膜覆土一体机要求在烟株移栽位置处对直径约 20 cm 的地膜进行破膜并覆土。针对此功能，采用双曲柄多连杆鸭嘴机构完成间歇破膜覆土动作，结构如图 4 所示。同时设计了一款 4 开口的破膜覆土鸭嘴，4 开口鸭嘴设计可以更好地使破开的地膜呈现近乎圆形，结构如图 5 所示^[6-7]。

2.4 鸭嘴开合机构

鸭嘴开合控制采用多连杆式鸭嘴栽植装置常用的凸轮摆杆拉线机构，工作时使用凸轮驱动滚子摆动进而拉动拉线控制鸭嘴的开合^[8-9]。由于主动件曲柄 OA 是绕轴匀速旋转运动，破膜覆土鸭嘴的破膜位置和烟苗栽植位置相对曲柄 OA 位置不变，结合以上特点并简

化鸭嘴开合机构结构设计，将曲柄 OA 设计为凸轮结构。具体结构如图 6 所示。

2.5 取土运土装置

取土运土装置由链式刮板传输带、电机、导轨、铲土刀、土箱和具有伸缩功能的导管构成，导管与破膜覆土鸭嘴连接在一起。取土运土装置包含两套链式刮板传输装置，分布于土箱的左右两侧。取土运土作业时，首先由铲土刀在机器两侧垄沟进行铲土，土壤经过链式刮板传输带运送到土箱，进入土箱的土壤通过导管进入破膜覆土鸭嘴等待破膜后立即覆土。取土装置下面都安装有导轨，导轨上有固定孔，作用是用于调节取土装置离地面的距离。具体结构如图 7（图中仅安装一侧链式刮板传输带）所示。

将链式刮板传输带使用 Solidworks 进行三维建模，进行传动运动仿真。检查其是否可以正常旋转运动，以及链结是否有缺少的情況，从而确保其可以顺利完成输送任务。具体仿真模型如图 8 所示。

经过使用软件中机械配合中齿条小齿条，对链轮和链条施加约束，运动仿真发现链条可以随链轮正常传动。结果表明，链轮和链条可以正常啮合，无缺少链节的情况，确保了输送带可以正常输送土壤。

2.6 破膜覆土机构仿真分析

2.6.1 设计要求

双曲柄多连杆鸭嘴破膜机构是破膜覆土一体机的核心部件之一，作业时，在垄上每行走 55 cm 需要鸭嘴破膜覆土机构对垄上地膜进行破膜覆土动作。而且要满足作业效率 $\geq 0.067 \text{ hm}^2/\text{h}$ 。由于两垄中心距是 1.1 m，故机具 1 h 至少需要行走 606 m 才能满足 $0.067 \text{ hm}^2/\text{h}$ 的作业效率，即至少要破膜覆土 1 102 个/h。

2.6.2 运动学仿真分析

根据鸭嘴破膜覆土机构的设计要求，结合鸭嘴破膜覆土机构结构和参数，采用 Solidworks 三维建模软件对多连杆破膜覆土鸭嘴机构进行三维建模，并对模型进行干涉检查确保各零件之间没有干涉问题。首先，

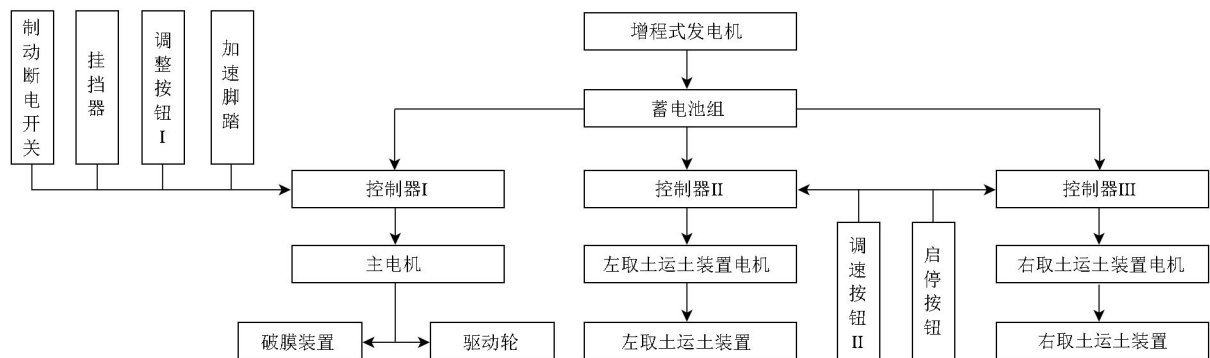
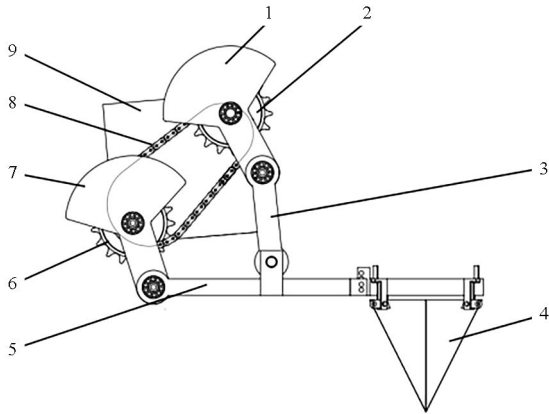


图3 破膜覆土一体机控制结构原理

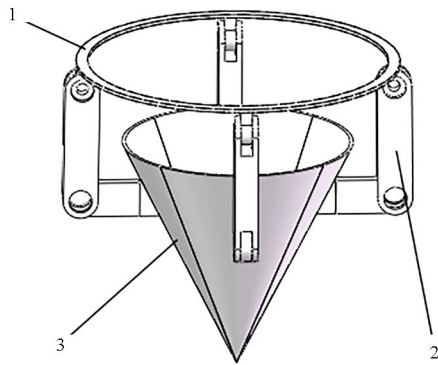
Fig. 3 Principle of control structure of integrated machine for breaking film and soil covering



1. 曲柄 2. 从动链轮 3. 连杆 4. 破膜鸭嘴 5. 打孔连杆 6. 主动链轮
7. 曲柄 8. 链条 9. 机架

图4 双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构

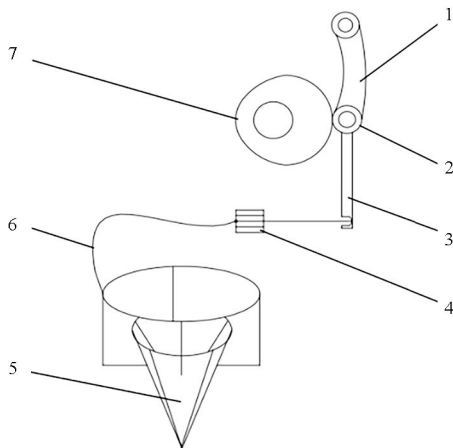
Fig. 4 Double-crank multi-link duck-bill breaking film and covering soil mechanism



1. 鸭嘴固定架 2. 鸭嘴连接杆 3. 鸭嘴片

图5 破膜覆土鸭嘴结构

Fig. 5 Structure of breaking film and covering soil duck-bill

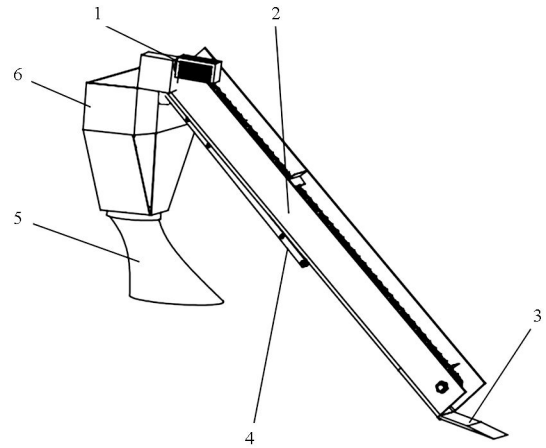


1. 摆杆 2. 滚子 3. 滚子连接杆 4. 销轴 5. 破膜鸭嘴 6. 拉线 7. 凸轮

图6 破膜覆土鸭嘴开合机构

Fig. 6 Opening and closing mechanism of breaking film and covering soil duck-bill

对多连杆鸭嘴破膜覆土机构模型进行简化处理,以适应运动学仿真的经济性要求^[10]。其次,将简化后模型另存为.xt格式文件。最后,将其导入机械系统动力学分析软件 ADAMS 中,对模型施加约束与驱动。为此,



1. 传输带电机 2. 链式刮板传输带 3. 铲土刀 4. 导轨 5. 导管 6. 土箱

图7 取土运土装置

Fig. 7 Taking and moving soil device

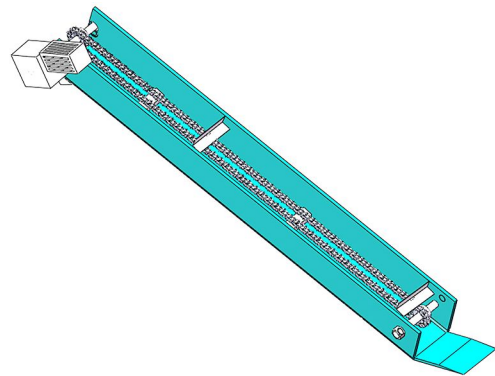


图8 链式刮板传输带仿真

Fig. 8 Simulation of chain scraper conveyor belt

构建了双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构多目标设计模型,如图9所示。

设置机具行走速度 0.235 5 m/s、驱动副旋转速度 0.428 3 m/s,并对模型进行仿真,得到鸭嘴破膜覆土机构鸭嘴末端的运动轨迹,以及 X(前进方向)、Y(竖直方向)方向位移随机器行走时间 T 的变化曲线,如图10和图11所示。

由图10可知,双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构运动轨迹为满足设计要求的摆线。由图11可知,破膜覆土鸭嘴在运动到两相邻最低点时,即破膜覆土机构运动1个周期破膜1次所用的时间 2.32 s,破膜覆土个数 1 551 个/h,满足 0.067 hm^2/h 的作业效率。对两相邻 Y 方向最低点所对应的 X 方向进行相减得出破膜覆土株距是 55 cm,也满足破膜覆土株距的设计要求。

3 结束语

根据要求,研究设计了一款乘坐式垄上破膜覆土一体机。为实现双曲柄多连杆破膜机构定株距破膜要求,通过 Solidworks 软件建立了双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构虚拟样机模型。经模型简化导入 ADAMS

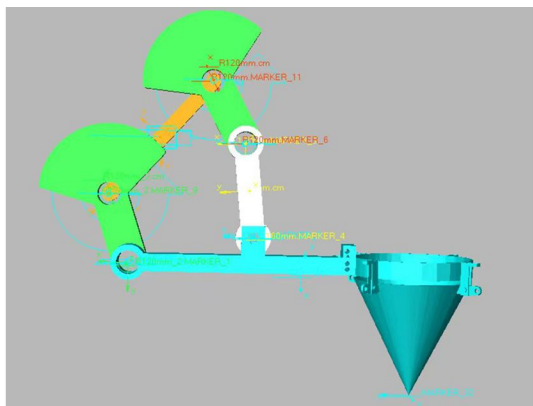


图9 鸭嘴破膜覆土机构运动学仿真模型

Fig. 9 Kinematic simulation model of duck-bill breaking film and covering soil mechanism

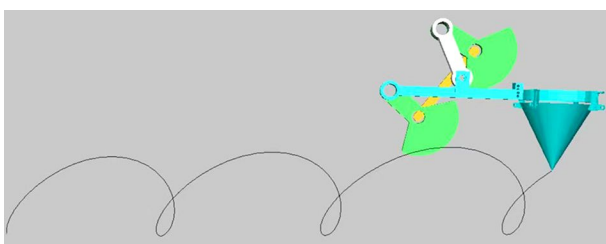


图10 鸭嘴破膜覆土机构运动轨迹

Fig. 10 Motion track diagram of duck-bill breaking and covering soil mechanism

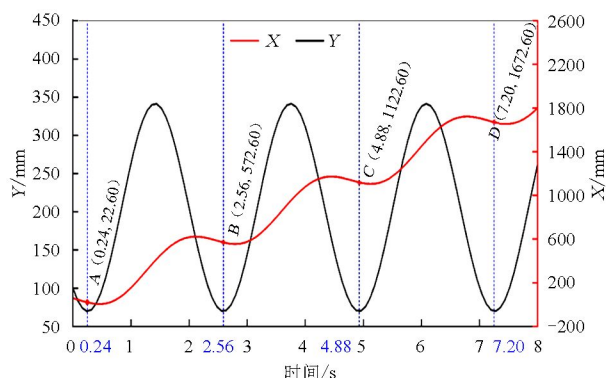


图11 鸭嘴破膜覆土机构 X、Y 方向位移与时间 T 曲线

Fig. 11 X and Y displacement and time T curve of duck-bill breaking film and covering soil mechanism

中进行仿真分析，得到其运动轨迹和 X、Y 方向位移与时间 T 的变化曲线。结果表明，双曲柄多连杆鸭嘴破膜覆土机构满足 55 cm 定株距破膜覆土及 0.067 hm²/h 作业效率的要求，并验证了其结构选择和参数设计的合理性。

参考文献

- [1] 王建波, 谢友, 史训瑶, 等. 贵州铜仁烤烟钾和氯质量分数特征及空间分布[J]. 昆明学院学报, 2017, 39(6): 33-36.
WANG Jianbo, XIE You, SHI Xun Yao, et al. Characteristics and spatial distribution of potassium chloride mass fraction in flue-cured tobacco in Guizhou Tongren[J]. Journal of Kunming University, 2017, 39(6): 33-36.
- [2] 王建波, 李明海, 史训瑶, 等. 铜仁烤烟糖含量特征及空间分布[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2018, 30(1): 30-32, 36.
WANG Jianbo, LI Minghai, SHI Xun Yao, et al. Characteristics and spacial distribution of sugar content in flue-cured tobacco in Tongren[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science(Science and Technology), 2018, 30(1): 30-32, 36.
- [3] 孙伟, 刘小龙, 张华, 等. 马铃薯施肥播种起垄全膜覆盖种行覆土一体机设计[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 14-22.
SUN Wei, LIU Xiaolong, ZHANG Hua, et al. Design of potato casingsoil planter in all-in-one machine combined with fertilizing, sowing, ridging, complete film mulching and planting line covering[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(20): 14-22.
- [4] 代祥, 宋海潮, 于林惠, 等. 自走式大蒜播种施肥一体机优化设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(7): 16-25.
DAI Xiang, SONG Haichao, YU Linhui, et al. Optimized design and experiment of the self-propelled garlic drilling and fertilizing integrated machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2023, 44(7): 16-25.
- [5] 卓晓冬, 张华军, 徐玉峰. 基于 PLC 的联合收割机液压转向控制方法研究[J]. 农机化研究, 2024, 46(3): 238-241.
ZHUO Xiaodong, ZHANG Huajun, XU Yufeng. Reserch on hydraulic steering control method of combine harvester based on PLC[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2024, 46(3): 238-241.
- [6] 孙伟, 刘小龙, 王虎存, 等. 双曲柄多杆式马铃薯膜上打孔种植机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(8): 34-42.
SUN Wei, LIU Xiaolong, WANG Hucun, et al. Design and test of double crank multi-rod hill-drop potato planter on plastic film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(8): 34-42.
- [7] 郑邵秋, 张彩虹, 王国强. 巨菌草扦插机构优化设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(6): 32-41.
ZHENG Shaoqiu, ZHANG Caihong, WANG Guoqiang. Optimization design and test of cuttings mechanism of *Pennisetum giganteum* transplanter[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2023, 44(6): 32-41.
- [8] 颜华, 刘冲, 李鹏斌, 等. 蔬菜移栽机栽植静迹可调节鸭嘴栽植装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(5): 71-81.
YAN Hua, LIU Chong, LI Pengbin, et al. Design and experiment of duckbill planting device with adjustable static trajectory for planting vegetable transplanters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(5): 71-81.
- [9] 尹文庆, 刘海马, 胡飞, 等. 旱地栽植机八连杆栽植机构优化设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 51-60.
YIN Wenqing, LIU Haima, HU Fei, et al. Optmization design and experiment on eight-linkage planting mechanism of dryland transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 51-60.
- [10] 王洪波, 张开兴, 刘贤喜, 等. 蔬菜移栽机五杆栽植机构的仿真与试验[J]. 农机化研究, 2019, 41(8): 112-116.
WANG Hongbo, ZHANG Kaixing, LIU Xianxi, et al. Design and experiment of five bar planting mechanism for vegetable transplanter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(8): 112-116.