

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.02.006

木薯种茎整理排序装置设计与优化

张俊¹, 何辉波¹, 邓干然², 李华英¹,
崔振德², 郑爽², 谭梁¹, 苟于江¹

1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400715; 2. 中国热带农业科学院 农业机械研究所, 广东 湛江 524091

摘要: 为推动木薯种植机械化, 提高木薯种植的效率 and 减轻劳动者的工作强度, 设计了一种木薯种茎整理排序装置。该装置包括出种机构、整理排列机构以及取种机构, 出种机构每次拨出少量种茎, 整理排列机构将种茎整理后排序, 取种机构逐个取出种茎。文中对各机构的组成结构和工作原理进行了详细介绍, 通过 Abaqus 软件对种箱底板进行有限元分析, 使用 Isight 中的多岛遗传算法对种箱底板的 6 个主要参数进行优化, 优化后种箱底板的最大位移值比优化前减小了 74.9%。通过试制物理样机, 以华南 9 号木薯茎秆为试验对象, 进行了自动取种试验。试验结果表明: 能够实现从大量种茎中自动取种, 取种率为 83.11%, 验证了木薯种茎整理排序装置的可行性, 同时也为研究预切种式木薯种植机械化提供了参考。

关键词: 木薯种茎; 整理排序装置; 结构设计; 有限元法; 优化

中图分类号: S223.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)02-0040-07

我国木薯种植主要分布在广西、广东、海南、福建、云南等省区, 全国年种植面积 46.67 万公顷左右, 年产鲜薯约 900 万吨。2018 年 8 月, 国务院常务会议确定了生物燃料乙醇产业总体布局, 要求加快建设木薯燃料乙醇项目。木薯作为重要的生物质原料和稻谷、玉米等陈化粮的调节替代品, 其重要性和战略地位将更加突出, 我国对木薯及木薯加工品的需求将进一步扩大。但是我国种植的木薯仍难以满足国内市场需求, 每年还需要从国外进口大量的木薯干片和木薯淀粉^[1-4], 主要原因在于国内的木薯种植机械化技术发展缓慢, 绝大多数地区仍采用传统的人工种植, 成本高、效率低^[5-7]。目前国内在推广的木薯种植机械技术仅有崔振德等^[8]设计的一种木薯种植机种茎切断装置, 采用实时切种、种植的方式实现机械化种植, 提高了种植效率, 但是需要两个工人在机器上工作, 工人的劳动强度大。而相比实时种植, 预切种式种植方式能够极大地降低工人劳动量, 进一步提高种植效率^[9]。

针对木薯预切种式种植机械的空缺, 结合木薯种植农艺要求, 本文设计一种木薯种茎整理排序装置^[10], 运用 SolidWorks 建立三维模型, 通过 Abaqus 有限元分析软件对种箱底板进行静力学分析, 基于仿真结果, 提出优化目标, 使用 Isight 对种箱底板的各参数进行优化求解, 并试制物理样机, 以华南 9 号木薯茎秆进行自动取种试验, 通过试验对该装置的可行性进行验证。

收稿日期: 2019-11-26

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展项目(cstc2020jsex-msxmX0192)。

作者简介: 张俊, 硕士研究生, 主要从事机械设计研究。

通信作者: 何辉波, 博士, 副教授。

1 结构设计

1.1 整体结构设计

木薯种茎整理排序装置主要由出种机构、整理排列机构、取种机构和机架组成,整体结构如图1所示。出种机构主要由拨料电机、拨料链条、升降电机、出种板、种箱底板和种箱组成。整理排列机构主要是滚筒、电机Ⅰ、电机Ⅱ、排种板和槽型输送带组成。取种机构主要由取种槽和取种链条组成。出种机构、整理排列机构和取种机构安装在机架上,整理排列机构位于出种机构后,取种机构位于整理排列机构后,通过三者的配合作用,即可实现对大量木薯种茎整理排序,并且自动取出。

1.2 出种机构设计

由于木薯种茎表面具有不规则的节子^[11],容易发生相互勾连,在数量较多时整理排序难度大。出种机构的作用是每次从种箱中取出少量种茎,使其进入整理排列机构,从而降低整理的难度。出种机构由升降机构和拨料机构组成,升降机构选用丝杆螺母,运动平稳,有自锁性;拨料机构选用链传动,能在恶劣环境条件下工作;通过两者配合作用可实现少量取种。图2所示为出种原理图。

升降机构由升降电机、丝杆、导轨、种箱底板和升降螺母组成,为使升降螺母受力均匀以减小升降阻力,丝杆位于种箱底板的中心,导轨的作用是加强种箱底板的稳定性。种箱底板和种箱壁形成的空间用于存放木薯种茎,升降电机可通过丝杆螺母带动种箱底板和箱内的木薯种茎升降,通过控制升降电机即可改变箱内木薯种茎的堆放高度。拨料机构主要由拨杆和拨料链条组成,拨杆安装在拨料链条上,拨料链条向种箱的出口方向转动,从而带动拨杆将箱内最上层的木薯种茎拨出。

1.3 整理排列机构设计

整理排列机构的主要功能是将杂乱无章的木薯种茎整理排列。牟向伟等^[12]设计的一种相对转动式木薯种块主动调姿的自动均匀排种器,李尚平等^[13]设计的一种预切种开式横向甘蔗播种器,都是采用带有凹槽的皮带(链)用于整理排种。但是木薯种茎形状并不规则,与甘蔗差距较大,仅靠槽型输送带整理效果不佳,因此增加滚筒机构将木薯种茎整理成朝向一致。

滚筒机构位于出种板后方,位于输送带上,主要由两组传动链条和4个滚筒组成,如图3所示。4个滚筒以相同间隙排列,木薯种茎的最大直径约为40 mm,加上节子长度,相邻滚筒的间距取为65 mm,以便于整理后的种茎掉入输送带。由图3可知,电机Ⅰ连接第二链条组,电机Ⅱ连接第一链条组,并且每个链条组连接的两个滚筒不相邻。

进行整理工作时,电机Ⅰ逆时针低速转动,电机Ⅱ顺时针快速转动,使相邻滚筒转向和转速都不同。

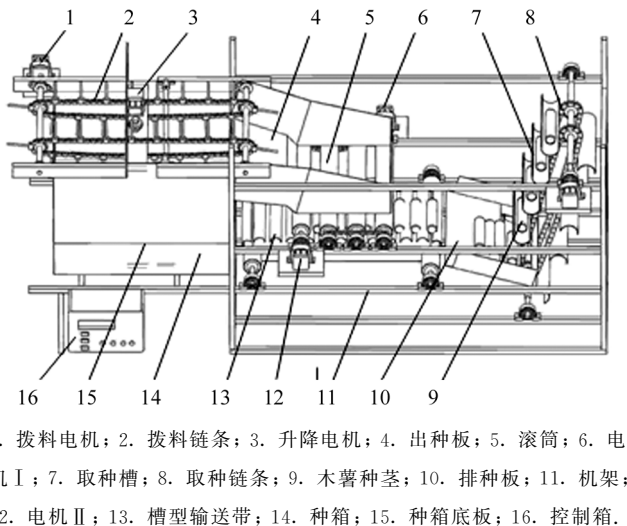


图1 整体结构

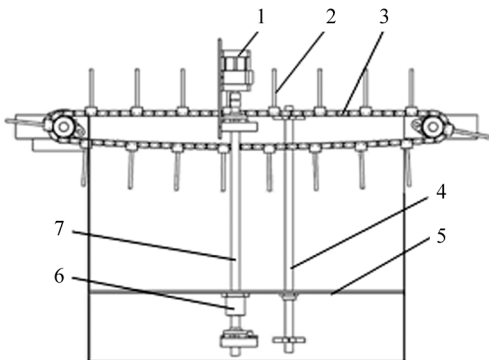
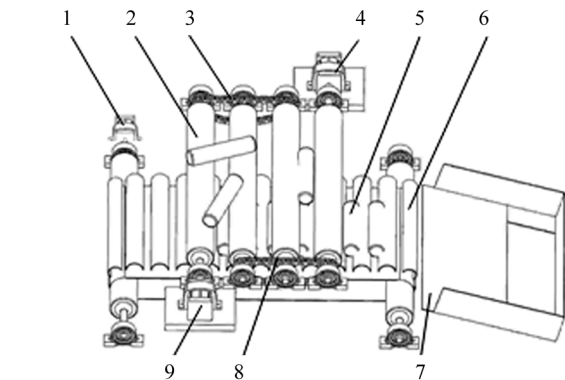


图2 出种原理图

在此种情况下,木薯种茎自动调整成与滚筒平行的姿态从间隙中落至输送带,随后被输送带送至排种板排列,排种板呈一定斜度安装,使木薯种茎能在重力作用下向取种槽滑动。

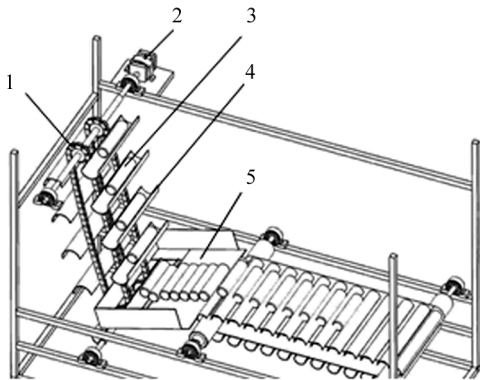
1.4 取种机构设计

取种机构主要由取种电机、取种槽和取种链条构成,结构如图 4 所示。取种链条由两根链条并行布置,取种电机用于驱动取种链条向上运动;取种槽安装在两根取种链条上,呈水平布置,随着取种链条向上运动,取种槽的空间只能容纳一根木薯种茎,在经过排种板时取走一根木薯种茎,从而实现逐个取种。调节取种电机的转速可以改变取种的速度,进而调整取种效率。



1. 输送电机; 2. 滚筒; 3. 第一链条组; 4. 电机 I; 5. 木薯种茎;
6. 输送带; 7. 排种板; 8. 第二链条组; 9. 电机 II.

图 3 整理排列机构



1. 取种链条; 2. 取种电机; 3. 种茎; 4. 取种槽; 5. 排种板.

图 4 取种机构

2 种箱底板的参数优化

2.1 优化分析

种箱底板承受着所有木薯种茎的重力,还要能够升降,因此使用直线光轴作为导轨增加底板的稳定性,而导轨会影响种茎出箱,所以导轨的数量不宜过多,设计两根即可避免底板转动和侧翻。为减小升降电机的功率,对种箱底板进行轻量化设计,同时也要避免种箱底板出现局部变形过大,因此需要对种箱底板的主要参数进行优化。种箱底板的主要参数如图 5 所示。图中 H 为种箱底板的宽度, L 为长度, a 、 b 为两根导轨到左侧的距离, f 为底板的厚度, D_a 、 D_b 为导轨的安装直径, D 为丝杆的安装直径, c 为两根导轨安装孔的距离,导轨由导轨座安装在种箱壁上,因此 c 与 H 相关。

种箱底板的宽度 H 、长度 L 与底板的升降高度形成了种箱的容纳空间,根据播种工作要求,设定一箱容纳 1 000 根,容积约为 0.288 m^3 满足要求,结合丝杆的升降范围和种茎的长度,选定宽度 H 为 600 mm,长度 L 为 700 mm,根据光轴固定支撑座的规格确定 c 为 540 mm。根据直线光轴和丝杆螺母相关标准,初步取定 D_a 、 D_b 为 16 mm, D 为 26 mm, a 为 350 mm, b 为 350 mm, f 为 6 mm。

2.2 种箱底板的有限元仿真

使用有限元法对种箱底板进行仿真分析。根据种箱底板的工作条件和要求,定义材料属性为 Q235,弹性模量为 $2.12 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$,泊松比 0.288,质量密度 $7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,屈服强度 σ_s 为 235 MPa。许用应力计算公式为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} \quad (1)$$

式中: $[\sigma]$ 为材料许用应力(MPa), σ_s 为材料屈服强度(MPa), n 为安全系数。

取安全系数为 1.5,代入公式(1)计算出 Q235 碳钢的许用应力 $[\sigma]$ 为 156 MPa。代入种箱底板的初始参数,使用 Abaqus 进行建模仿真。种箱底板承受载荷为箱内木薯种茎总质量,1 000 根木薯种茎的总质量最

大值为 200 kg, 故对种箱底板表面添加 2 000 N 的均布载荷, 在两个导轨孔处设置限制 x 、 y 方向的移动和转动约束, 丝杆孔处约束绕 z 轴转动之外的 5 个自由度, 如图 6 所示。

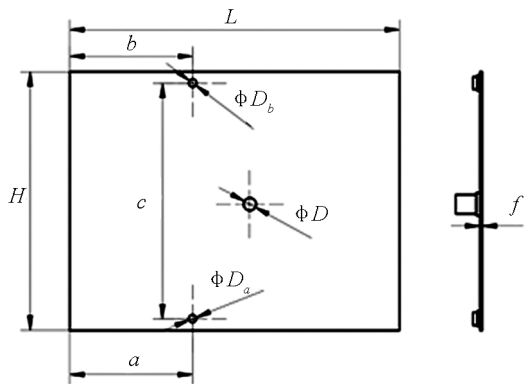


图 5 种箱底板主要参数

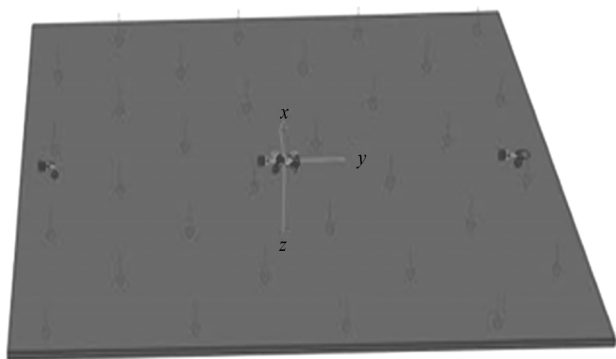


图 6 载荷与边界条件

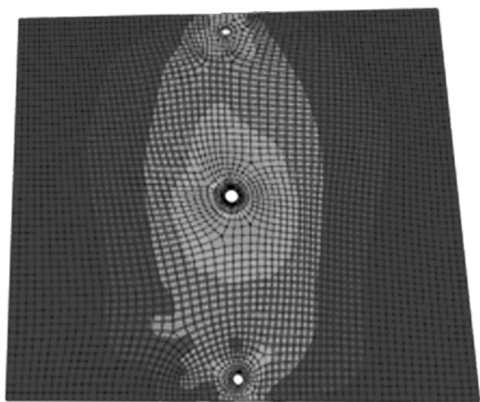


图 7 应力云图

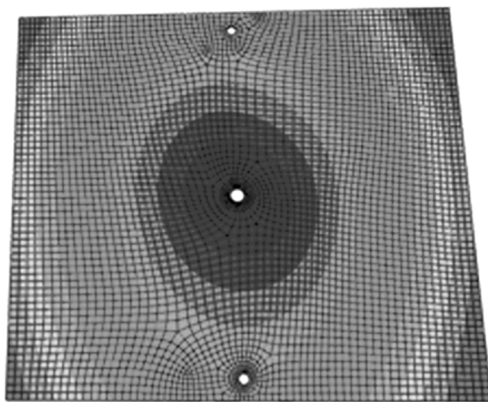


图 8 位移云图

种箱底板整体采用尺寸为 10 mm 的网格种子, 3 个孔位置布置尺寸为 2 mm 网格种子, 网格单元类型为 C3D8H, 控制属性为六面体, 采用中性轴算法^[14]。计算得应力云图如图 7, 位移云图如图 8 所示。从图可看出, 整体的最大应力值 $S_{\max}$ 为 123.9 MPa, 小于许用应力, 但是四角存在较大变形, 最大位移值为 1.886 mm。

2.3 优化目标

种箱底板存在较大位移时会影响升降过程中的稳定性, 因此需要降低最大位移值。增加板厚可降低板的位移, 同时板厚也影响着升降电机的功率, 种箱底板的厚度越小, 升降电机的功率越小。所以需对种箱底板各参数进行优化, 在将位移 $U_{\max}$ 降低到合格范围的同时, 板厚 f 越小越好。结合两者的重要性和量纲统一, 取 f 比例因子为 10, 权重为 0.7; $U_{\max}$ 比例因子为 1, 权重为 0.3, 得目标函数为

$$\min f(X) = \frac{f}{10} \times 0.7 + 0.3 \times U_{\max} \quad (2)$$

式中: $U_{\max}$ 为种箱底板最大位移值(mm), f 为种箱底板厚度(mm)。

2.4 优化变量及约束条件

选择影响种箱底板最大位移的参数作为优化变量, 得 6 个设计变量

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (D_a, D_b, D, a, b, f) \quad (3)$$

式中: D_a 为导轨孔 I 的半径(mm), D_b 为导轨孔 II 的半径(mm), D 为丝杆孔的半径(mm), a 为孔 I 至左侧的距离(mm), b 为孔 II 至左侧的距离(mm), f 为种箱底板厚度(mm)。

结合丝杆、直线光轴、钢板的设计标准和种箱底板的负载,确定 D_a, D_b, D, f 的取值范围,根据 L 和 D_a, D_b 可确定 a, b 的取值范围. 通过钢板承重升降试验,得 $U_{\max}$ 应小于等于 0.5 mm,得约束条件为 $U_{\max} \leq 0.5$, x_1 和 x_2 取值范围为 12~70 mm, x_3 取值范围为 18~52 mm, x_4 和 x_5 取值范围为 60~600 mm, x_6 取值范围为 4~30 mm.

2.5 优化方法和结果分析

采用 Isight 中的多岛遗传算法(Multi-Island GA)进行优化计算,多岛遗传算法是把总体分成几个岛屿,在每个岛屿上分别执行传统的遗传操作,然后从每个岛屿中随机选择一些个体,迁移到不同的岛屿. 与传统遗传算法相比,多岛遗传算法具有更优良的全局求解能力和更高的计算效率^[15-18],求解部分数据如表 1 所示.

表 1 优化结果

序号	a/mm	D_a/mm	b/mm	D_b/mm	D/mm	f/mm	$S_{\max}/\text{MPa}$	$U_{\max}/\text{mm}$	$f(X)$
1	125	22	315	18	18	14	22.76	0.5	1.13
2	155	28	230	18	18	16	13.57	0.18	1.174
3	155	26	250	30	18	18	10.13	0.13	1.299
4	100	18	370	16	18	19	11.34	0.11	1.363
5	505	32	470	24	30	17	14.92	0.15	1.235
6	80	38	380	30	22	14	23.48	0.47	1.121
7	110	30	265	20	18	17	12.92	0.151	1.235
8	395	14	510	20	26	20	12.11	0.1	1.43

得到最优目标 $f(X) = 1.121$, $U_{\max}$ 为 0.473 mm, 比优化前减小了 74.9%, f 为 14 mm, 最大应力值也远小于优化前. 得最优解对应的各变量值为

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (38, 30, 22, 80, 380, 14)$$

将优化得到的最优变量组合代入 Abaqus 重新进行仿真,得到优化后的位移云图如图 9 所示. 对比图 8 可看出,最大位移值大幅度降低,并且大部分位置无明显位移.

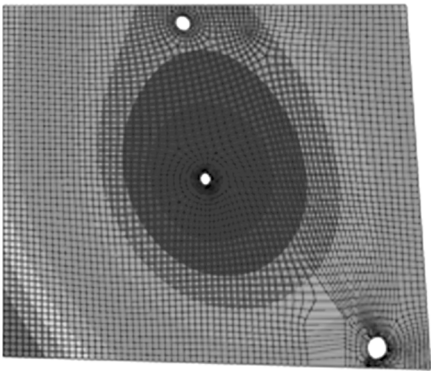


图 9 优化后位移云图

3 试 验

3.1 试验材料和方法

为验证所设计的木薯种茎整理排序装置功能是否可靠,基于上节得到的优化参数,试制了木薯种茎整理排序装置(图 10),进行室内自动取种试验.

试验材料选用华南 9 号木薯茎秆,种茎直径为 2~4 cm,种茎长度 180 ± 1 cm. 试验内容:在种箱内放入大量木薯种茎,之后启动出种机构、整理排列机构、取种机构,统计试验



图 10 木薯种茎整理排序装置

过程中成功取走的种茎数。本设计最终目的是实现将大量种茎逐个取出,以取种率为指标考察装置的可行性^[19],取种率越高,说明装置的可行性越大。定义取种率为

$$p=\frac{S_t}{S}\times 100\%$$

(4)

式中: S 为经过排种板的取种槽数(根), S_t 为成功取走的种茎数(根)。

3.2 试验结果和分析

对华南 9 号进行多组试验,每次试验 5 min,得试验结果如表 2 所示。结果表明:对华南 9 号能实现取种功能,且取种效果理想,平均取种率为 83.11%。

表 2 试验结果

序号	S/根	S _t /根	p/%	平均值/%
1	300	252	84	83.11
2	300	247	82.3	
3	300	253	84.3	
4	300	239	79.67	
5	300	256	85.3	

4 结 论

1) 根据预切种式木薯机械化种植的流程,设计了一种木薯种茎整理排序装置,具备少量取种、整理排序和逐个取种三大功能,整体装置能够实现从大量木薯种茎中自动取种。

2) 通过 Abaqus 对重要受力部件种箱底板进行了有限元分析,使用 Isight 中的多岛遗传算法(Multi-Island GA)对种箱底板的 6 个主要参数进行优化计算,得到底板最大位移值为 0.473 mm,比优化前减小了 74.9%,最小板厚为 14 mm。根据优化结果再次仿真,发现优化后种箱底板大部分位置无明显位移,提高了种箱底板的工作稳定性。

3) 通过室内自动取种试验表明:对华南 9 号能够实现取种功能,取种率为 83.11%,验证了木薯种茎整理排序装置的可行性。

参考文献:

[1] 谭砚文,李丛希,曾华盛. 中国木薯生产和贸易发展分析 [J]. 世界农业, 2018(10): 163-168.

[2] 黄武,胡新文,毛帅,等. 基于文献计量:木薯近年研究热点和趋势分析 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(12): 2521-2531.

[3] 何皓,胡徐腾,齐泮仑,等. 中国第 1.5 代生物燃料乙醇产业发展现状及展望 [J]. 化工进展, 2012(S1): 1-6.

[4] 严良政,张琳,王士强,等. 中国能源作物生产生物乙醇的潜力及分布特点 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 213-216.

[5] 李开绵,林雄,黄洁. 国内外木薯科研发展概况 [J]. 热带农业科学, 2001(1): 56-60.

[6] 杨怡,廖宇兰,郑侃,等. 木薯田间机械化作业研究现状分析 [J]. 广东农业科学, 2015, 42(8): 137-140.

[7] 梁海波,黄洁,郁昌的,等. 广东省木薯主产区产量差及限制因素分析 [J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(1): 18-27.

[8] 崔振德,邓干然,李国杰,等. 木薯种植机种茎切断装置的设计 [J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 144-148.

[9] 韩杰,文晟,刘庆庭,等. 预切种式甘蔗种植机的设计与试验 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(4): 109-118.

[10] 何辉波. 预切种式播种装置: 中国, 201910303079.8 [P]. 2019-07-12.

[11] 杨望,杨坚,郑晓婷,等. 木薯力学特性测试 [J]. 农业工程学报, 2011(S2): 50-54.

[12] 牟向伟. 一种相对转动式木薯种块主动调姿的自动均匀排种器: 中国, 201510580058.2 [P]. 2015-11-25.

[13] 李尚平. 一种预切种开式横向甘蔗播种器: 中国, 201810798290.7 [P]. 2018-11-16.

[14] 赵腾伦. ABAQUS 6.6 在机械工程中的应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 25-66.

[15] 范 玉, 吴雪峰, 王 耿, 等. 基于遗传算法的复摆式破碎机动颚运动特性优化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(2): 174-178.

[16] ZHANG M, ZHANG Y Z, XIE G, et al. An Approach to Domain Generic IC with Acceleration of Multi-island GA [J]. Wireless Personal Com-munications, 2018, 103(1): 339-357.

[17] 叶 舟, 宋建业, 刘天亮, 等. 基于多岛遗传算法的襟翼优化 [J]. 热能动力工程, 2017, 32(S1): 80-85+131.

[18] 陈 波. 基于免疫遗传算法的炼钢最优炉次计划研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(9): 30-37.

[19] 姬江涛, 李明勇, 金 鑫, 等. 基于 Android 系统的蔬菜智能耕作装置设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 33-41, 118.

Design and Optimization of
Sorting Device for Cassava Seed Stem

ZHANG Jun¹, HE Hui-bo¹, DENG Gan-ran², LI Hua-ying¹,
CUI Zhen-de², ZHENG Shuang², TAN Liang¹, GOU Yu-jiang¹

1. School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China ;
2. Agricultural Machinery Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences,
Zhanjiang Guangdong 524091, China

Abstract: In order to promote the mechanization and improve the efficiency of cassava planting, and reduce the work intensity of workers, a sorting device for cassava stalk seedsis designed. The device comprises a seeding mechanism, a sorting arrangement mechanism and a seed picking mechanism. Each time the see-
ding mechanism allocates a small number of seedstems, the sorting mechanism sortsthem, and the seeding
mechanism takes out the stems one by one. The present paper gives a detailed description of the structure
and working principle of the mechanisms. Through Abaqus finite element analysis of the seed box bottom
plate, the multi-island genetic algorithm in Isight is used to optimize and calculate the six main parameters
of the seed box bottom plate. The optimized maximum displacement is reduced by 74.9%. The results of
an automatic seed picking experiment in which a trial-produced physical machine and cassava stalks of
South China No. 9 were taken as test objects, showed that it was possible to select one by one from a large
number of stems, with an average rate of 83.11%, thus confirming the feasibility of the sorting device for
cassava stalk seeds.

Key words: cassava seed stem; sorting device; structural design; finite element method; optimization

责任编辑 汤振金