

人参田间作业全程机械化关键设备的研究

刘文亮, 罗 罡*, 刘 枫, 姜彩宇, 付家庆, 张 亮

(吉林省农业机械研究院, 长春 130022)

摘要: 人参是吉林省最具特色、最重要的地方经济作物。人参田间作业全程机械化关键设备的研究对发展吉林省人参标准化、规范化模式至关重要。本文概述了吉林省人参田间作业机械化设备的研究现状, 指出了人参田间作业过程中旋耕作床、催芽播种、移栽、收获等关键环节存在的问题。在此基础上, 借鉴韩国在人参田间作业设备研究与应用方面的经验, 提出了吉林省人参田间作业从耕整地、播种、移栽到收获的全程机械化关键技术及设备方案。

关键词: 人参种植; 全程机械化; 关键设备; 标准化; 规范化

中图分类号: S567.5^{*1}

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)02-0099-04

Study on Key Equipment for the Whole Mechanization of Ginseng Field Operation

LIU Wenliang, LUO Gang*, LIU Feng, JIANG Caiyu, FU Jiaqing, ZHANG Liang

(Jilin Academy of Agricultural Machinery, Changchun 130022, China)

Abstract: Ginseng is the most characteristic and important local economic crop industry in Jilin Province. The research on the key equipment of ginseng field operation mechanization is very important for the development of ginseng standardization mode in Jilin Province. This paper summarizes the research status of ginseng field operation mechanization equipment in Jilin Province, and points out the problems existing in the key links of ginseng field operation, such as rotary tillage bed, germination and sowing, transplanting, harvesting. Based on the experience of South Korea in the research and application of ginseng field operation equipment, the key technology and equipment scheme of ginseng field operation in Jilin Province from tillage, sowing, transplanting to harvesting were put forward.

Key words: Ginseng cultivation; Whole mechanization; Key equipment; Standardization; Normalization

吉林省是我国乃至世界最大的人参种植区, 占全国总量的85%, 全球总量的70%左右。在人参田间作业过程中, 受缺少适用设备的影响, 机械化水平很低, 作业模式以手工为主, 不仅浪费了大量人力, 而且劳动效率低, 难以保证人参田间作业的时效性, 这已成为人参田间作业规模化发展的主要障碍^[1]。近年来, 通过粮食种植机械化技术及设备的延伸, 人参种植的耕整地过程和收获有了少量替代机具和半自动化机具, 但在播种、移栽这种面广量大的关键环节仍以手工作业方式为主, 种植过程需要用到大量劳动力, 每公顷耗工90~125个, 效率低, 劳动力成本高, 占到总成本的50%~55%。到目前为止, 吉林

省人参种植机械化技术水平总体较低^[2-3]。

世界上其他主要种参国家都已经普遍采用了机械化作业。韩国的人参田间作业每公顷用工量不到20个。美国、加拿大的西洋参田间作业机械化程度更高, 所以实现吉林省人参田间作业全程机械化是当务之急。近年来, 国家和吉林省相继出台了《吉林省政府关于加快人参产业发展的意见》《人参产业条例》等多项推进人参标准化、规范化种植的利好政策法规, 将人参产业作为区域经济发展的重中之重优先推进, 规划提出到2020年将人参产业打造成“千亿工程”^[4]。这些政策的颁布实施促进了吉林省人参田间作业全程机械化关键设备的研究。

1 关键设备研究内容

人参田间作业全程机械化是指人参田间作业过程中的筑床、播种、移栽、收获都采用机械化作业, 机械化水平达到90%以上^[5]。由于人参需要

收稿日期: 2019-05-27

基金项目: 吉林省重大科技专项(20200504003YY); 吉林省重点科技攻关项目(20170204022YY)

作者简介: 刘文亮(1983-), 男, 副研究员, 主要从事农业机械自动化技术研究。

通讯作者: 罗 罡, 男, 研究员, E-mail: 48850546@qq.com

在宽大的畦床上种植,催芽播种、移栽、无损收获,这对机械化设备要求较高。到目前为止,吉林省人参田间作业过程中筑床还没有专用的设备,主要以旋耕机替代耕翻土壤,然后再用犁铧起垄开出步道沟。播种以扎孔点播和“大刀、舀勺”手工作业方式为主,少部分使用靖宇县大华机械厂制造的半自动播种机和张增林发明的铁嘴吐参播种机。移栽以人工用刮板翻土开沟-摆苗-覆土作业方式为主,部分使用吉林省通化市人参种植机械生产企业研制的“2ZR型人参移栽机”“2ZB-2型移栽机”半机械化设备。收获没有专用设备,以薯类挖掘机替代使用。少量人参机械化种植示范区靠购买韩国种植人参的设备来解决无机具可用的难题。这些国内现有的半机械化和替代作业设备提高效率、减轻劳动强度的作用有限。国外直接引进的机具虽然性能先进,但价格昂贵,并且作业幅宽、株距、行距、落种深度等作业指标也与我国采用的人参种植农艺有很大差异^[6]。因此这些机具都没有得到大面积推广使用。

为实现人参田间作业全程机械化这一目标,吉林省农业机械研究院在广泛调研吉林省人参田间作业农艺和种植特点的基础上,结合韩国在人参田间作业技术和设备开发上的成熟经验,研究出了一整套人参田间作业全程机械化的关键设备方案(表1),包括机械筑床、机械精量播种、机械移栽和机械收获设备。

表1 人参田间作业全程机械化关键设备

类别	设备名称
机械筑床设备	人参畦床步道机、旋耕筑床一体机
机械精量播种设备	针吸式人参精密播种机
机械移栽设备	半自动栽参机、自动栽参机
机械收获设备	人参收获机

2 参地机械化筑床设备

2.1 人参畦床步道机

该机采用4.5 kW汽油发动机作配套动力,通过非直线与垂直型传动方案的设计,实现步道挖掘、畦床成型和畦床覆土等多种功能。性能特点:(1)设计的弯犁刀具有较好的滑切性能,入土、碎土能力强,可以较容易地将土壤表面板结层切开破碎并翻起,同时,弯犁刀的头部和背部呈弯折状态,有利于将土壤抛向垄顶进行步道作业。(2)棱角式机罩的设计,增加了旋耕过程中土

壤颗粒的碰撞机率,增强了碎土效果。(3)机型小,适宜在零散小地块和坡度较大的山区作业。主要技术参数:作业幅宽200~300 mm,挖掘深度300 mm,作业速度0.5 m/s。

2.2 旋耕筑床一体机

该机与58.8 kW以上拖拉机配套使用,一次性完成开沟步道、土壤旋耕、畦床成型,即由开沟犁开出步道沟,并将土壤翻到床面上,然后通过旋耕刀耕耙土坡,粉碎土块,最后用整形器压实并使畦床成形。性能特点:(1)可调式曲线形步道犁铧,具有同时调节种床和步道沟的宽度、深度等特点,还可以压实床体。(2)折叠式犁刀,避免了筑床时产生的余土破坏成型床体,造成床帮坍塌。(3)通过液压摊平装置使筑床表面坚固、平整光滑。(4)整机效率高、体积大,适用于地块集中、规模大的平原参地筑床作业。主要技术参数:作业幅宽1 800 mm,挖掘深度246 mm,作业速度0.42 m/s。

3 针吸式人参精密播种机

人参种子粒径小、重量轻、形状不规则,很难标准化,并且人参种植采用催芽播种、小株距、窄行距,对机械化设备的要求高^[7]。针吸式人参精密播种机采用气吸原理,利用抽气产生的负压将种子吸附在播种针管的顶端,针管与种子之间为点对点接触,不伤害种子;凸轮导轨实现吸排种机构的往复运动,到达吸种、排种位置精确,性能可靠;震动式种箱克服了催芽后湿度较高的人参种子之间的黏附力,实现了种子的单一化处理;气力装置设置为可调式,根据人参种子的重量大小调整吸力。主要技术参数:作业幅宽1 300 mm,行距30/60 mm,株距30~200 mm(多种可调),漏播率≤1%,作业效率450 m³/h。

为了更好地研究人参种子的运动规律,课题组对吸种气流的风速进行了分析:种子被抛起后,在空中受到两个力的作用,即作用在种子上的气流吸附力F和种子本身的重力G^[8-10]。其大小分别为:

$$F = 0.5\rho C_d S_s V_t^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$G = \rho_s U_s g \dots\dots\dots(2)$$

式中ρ为空气密度(kg/m³);C_d为阻力系数;S_s为迎风面积(m²);V_t为平衡时的气流速度(m/s);ρ_s为种子密度(kg/m³);U_s为种子体积(m³);g为重力加速度(m/s²)。

由此可得种子在悬浮静止时的受力平衡方程为F=G,即0.5ρC_dS_sV_t² = ρ_sU_sg ……(3)

对于圆形种子,设其籽粒直径为 d_s (m),那么 $S_s = \pi d_s^2/4, U_s = \pi d_s^3/6 \dots\dots\dots(4)$

把 S_s 和 U_s 代入(3)式,平衡方程可变为:

$$3\rho C_d V_t^2 = 4\rho_s d_s g \dots\dots\dots(5)$$

并可由此得到平衡时的气流速度 V_t 的计算公式:

$$V_t = \sqrt{\frac{4\rho_s d_s g}{3\rho C_d}} \dots\dots\dots(6)$$

根据平衡方程可以看出,只要气流速度大于平衡时的悬浮速度 V_t ,那么种子就受到一个向上的加速度,从而被吸嘴所吸附。

4 参苗移栽设备

4.1 半自动栽参机

该机与汽油发动机配套,通过自动控制系统和机械驱动机构实现机具沿参床的间歇式自动行走、挖沟覆埋,在人工辅助作用下完成人参等根茎类幼苗的机械化移栽作业,克服现有人参移栽人工作业过程中存在的劳动强度大、效率低,药苗间栽深、株距、倾斜角度不一致等不足^[11-12]。产品特点:(1)采用电磁离合控制技术,实现机具沿畦床的间歇式自主行走,同时完成挖沟、覆埋工作,保证了苗穴的深度与角度、参苗株距的精准和一致性。(2)结构方面,采用链式挖掘机构、履带式行走机构的设计。链式挖掘机构具有结构简单、效率高的特点。履带式行走机构不破坏耕作土面的松散和平整,具有承载力大、行走平稳的特点。主要技术参数:作业幅宽 1 300 mm,株距 200 mm,作业效率 20 m²/h。

4.2 自动栽参机

该机采用机械式凸轮控制技术,在漏斗上放入待移栽的参苗,依据距离传感器检测参苗的位置,随凸轮进行半周期旋转,按照 45° 在规定的深度植入参苗。链夹式夹持机构,链夹式的苗夹安装在链条上,链条由镇压轮驱动。机器可沿参床自主行走,按规定的深度和株、行距移植作业。整个机具结构紧凑,体积小,精度高,自动化程度高。主要技术指标:作业幅宽 1 300 mm,株距 200 mm,作业效率 330 m²/h。

5 人参收获机

该机与 58.8 kW 以上的拖拉机配套,实现人参等根茎类作物的起获,并在其向后输送的过程中经链条震动,将收获物与土壤分离,通过收集挡板使人参根茎落入到收集箱中。产品特点:(1)挖掘铲上间隔布置多个刃尖,通过刃尖、挖掘铲

的分步入土,减小了铲面触土面积,降低了挖掘阻力,使人参根土混合物更平滑地进入升运输送链。(2)通过凸轮机构与输送链配合,实现振动碎土和参土分离功能,通过改变凸轮轴转速来控制振动频率。(3)弹性钢轴上套装可以独立转动的不锈钢管,极大地保护了收获物的完整。主要技术指标:作业幅宽 1 600 mm;重量 815 kg,收净率 ≥ 95%,工作效率 ≥ 0.38 hm²/h。

为了检验人参收获机工作的可靠性和合理性,测试收获效果,我们在珲春人参种植基地,以挖掘深度、损失率、伤根率、明根率和生产效率为指标进行了测试作业。人参收获机作业一个基本行程后,统计并收集测定小区内的明根,用人工方法将埋根和漏挖根挖出并分别称重;再从中挑出所有的伤根并分别称重。田间试验测定 3 个行程,每个行程测定 1 个小区,共测定 3 个小区,最后将试验计算结果取平均值^[13]。

(1)分别计算损失率 W_l 、伤根率 W_s 、明根率 W_0 ,具体如下:

$$W_l = \frac{M_n + M_m}{M} \times 100\%$$

$$W_s = \frac{M_s}{M} \times 100\%$$

$$W_0 = \frac{M_0}{M} \times 100\%$$

$$M = M_n + M_m + M_0$$

式中: W_l 为损失率(%), M_n 为埋根质量(kg), M_m 为漏挖根块质量(kg), W_s 为伤根率(%), M_s 为伤根质量(kg), M 为总根质量(kg), W_0 为明根率(%), M_0 为明根质量(kg)。

(2)人参收获机纯工作小时生产率参数的测定。

人参收获机在试验区内不改变其工作状况及各种参数。每个行程都按照公式 $d = \frac{0.0001sf}{t}$ 计算,然后计算其平均值。

式中: d 为纯工作小时生产率(hm²/h), t 为样机通过测定区所用的时间(h), s 为测定区长度(m), f 为作业幅宽(m)。

(3)试验结果及分析

通过人工方式测定了人参根的损失率、伤根率和明根率,同时又将人参收获机以四轮拖拉机快慢速度进行了对比试验,测得结果见表 2、表 3。

当人参收获机低速工作时,平均挖掘深度 459.3 mm,平均损失率 4.1%,平均伤根率 2.2%,平均明根率 98.1%,纯工作小时生产率 0.379 2 hm²/h。当

表2 低速(2.37 km/h)作业试验结果

测试次数	挖掘深度 (mm)	损失率 (%)	伤根率 (%)	明根率 (%)
1	461	3.9	2.5	98.6
2	460	4.0	1.8	97.8
3	457	4.4	2.3	97.9
平均值	459.3	4.1	2.2	98.1

表3 高速(5.00 km/h)作业试验结果

测试次数	挖掘深度 (mm)	损失率 (%)	伤根率 (%)	明根率 (%)
1	456	9.9	5.1	95.2
2	459	7.8	3.8	96.0
3	455	10.2	4.9	94.7
平均值	456.7	9.3	4.6	95.3

人参收获机高速工作时,平均挖掘深度456.7 mm,平均损失率9.3%,平均伤根率4.6%,平均明根率95.3%,纯工作小时生产率0.8 hm²/h。主要性能指标达到了机具设计和人参收获作业的要求。

上述几种设备是在广泛调研的基础上,充分借鉴韩国的成熟产品并结合我国人参农艺进行的创新研究。人参田间作业全程机械化关键设备的研究,对解放劳动力,实现人参田间作业的高产高效、节本增收有着积极作用,提高了我国人参田间作业的整体机械化水平,缓解了人参规模化种植与缺少适用设备的紧张局面,具有一定的推广应用价值。

参考文献:

[1] 王士杰,姜晓莉,张国锋,等.人参叶面积预测模型建立[J].东北农业科学,2016,41(6):109-112.

[2] 郑乾生.油菜生产机械化装备和配套技术研究[J].农机化研究,2010,32(9):231-234.

[3] 薛纬奇.玉米生产全程机械化技术与装备研究[D].太原:山西农业大学,2016.

[4] 李健,李晓阳,李俊杰,等.一种改进的基于回归分析的人参智能烘干算法[J].吉林农业科学,2015,40(1):100-103.

[5] 陈巧敏,李斯华,王利民,等.主要农作物生产全程机械化水平评价研究[J].农机化研究,2017,39(1):1-5,31.

[6] 刘文亮,刘枫,付家庆,等.人参机械化种植设备的设计研究[J].山西农业科学,2016(10):1537-1540,1545.

[7] 盛江源,马英春.人参栽培和人参的机械播种[J].北京农业工程大学学报,1987,7(2):34-41.

[8] 赵湛.气吸振动式精密排种器理论及试验研究[D].镇江:江苏大学,2009.

[9] 陈立东,何堤,马淑英,等.气吸式排种器排种性能影响因素的试验研究[J].沈阳农业大学学报,2005,36(5):634-636.

[10] F S Sial, S P E Persson. Vacuum nozzle design for seed metering[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(3): 688-696.

[11] 姜彩宇,肖戟,杨光,等.人参移栽机关键部件设计及试验[J].农业与技术,2015,35(9):44-45.

[12] 尚书旗,隋爱娜,张子华.国外钵苗栽植机的几种类型及性能分析[J].粮油加工与食品机械,1998(1):28-30.

[13] 王新阳,张亮,李健,等.人参机械化收获设备的研究[J].南方农机,2016,47(12):27-28.

(责任编辑:王丝语)



2019,44(4):19-24,88.

[6] LI Chun-xi, MA Shou-chen, SHAO Yun et al.Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat[J].Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(1): 210-219.

(下转第102页)

(上接第42页)

[7] 张毅博,韩燕来,吴名宇.生物炭与有机肥施用对黄褐土土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J].中国农学通报,2018,34(13):113-118.

[8] 鲁如坤.土壤农业化分析[M].北京:中国农业科技出版社,1999:12-195.

[9] GU L M, LIU T N, ZHAO J, et al. Nitrate leaching of winter wheat grown in lysimeters as affected by fertilizers and irrigation on the North China Plain[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(2): 374-388.

[10] CAI Z C, QIN S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Geoderma, 2006, 136: 708-715.

[11] HUANG S, RUI W Y, PENG X X, et al. Organic carbon fraction

affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(1): 153-160.

[12] Singh A, Agrawal M, Marshall F M. The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(12): 1733-1740.

[13] 张永春,汪吉东,沈明星,等.长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J].土壤学报,2010,47(3):465-471.

[14] Lazcano C. Gómez-Brandón M, Revilla P, et al. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013, 49(6): 723-733.

[15] 吴长昊.化肥有机替代比例对皖北夏玉米生长、养分吸收及土壤肥力的影响[D].滁州:安徽科技学院,2017.

[16] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2013:198.

[17] 温延臣,张曰东,袁亮,等.商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2136-2142.

[18] 马蓓.有机肥替代部分氮肥对亚热带稻田土壤肥力与产