

四川根茎类中药材生产全程机械化现状与展望

杨涛¹, 凌宁¹, 李晓晓², 李佳航¹, 张梅^{1*}, 马伟³

(1. 成都农业科技职业学院 机电信息学院, 成都 611130;

2. 成都大学 机械工程学院, 成都 610106;

3. 中国农业科学院 都市农业研究所, 成都 610213)

[摘要] 四川省中药材资源极为丰富, 中药材产业是现代农业“10+3”产业体系中的重要组成部分, 但长期受到丘陵地形、分散种植模式等因素的制约, 妨碍了中药材种植产业机械化发展进程。课题组致力于促进中药材生产全程机械化应用与发展, 调研了四川省中药材种植产业现状、机械化应用情况, 阐明了四川省中药材产业的核心优势与机械化生产的迫切需要; 对四川省推广应用的中草药生产机械装备进行归类整理, 分析了根茎类中药材栽种、施肥、病虫害防治、收获、产地初加工等关键环节的机械化应用现状及最新的研究成果; 指出了制约中药材生产全程机械化发展的关键因素与存在的问题及未来的重点研究方向, 且进一步展望了成都平原中药材种植区麦冬、川芎等药材机械化发展趋势。该文聚焦四川中药材生产环节机械化应用的瓶颈问题, 介绍了根茎类中药材生产全过程的机械化关键技术及装备, 为中药材生产产业转型升级, 加快高新信息技术的应用, 推动种植产业机械化、智能化发展有积极意义。

[关键词] 根茎类; 中药材; 全程机械化; 移栽; 干燥

[中图分类号] R284.2; S223; R289; R22; R2-031; R33 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2022)09-0248-10

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20220518

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20220224.1813.001.html>

[网络出版日期] 2022-02-26 12:26

Current Situation and Outlook of Mechanization in Production of Rhizome-type Chinese Herbal Medicines in Sichuan Province

YANG Tao¹, LING Ning¹, LI Xiao-xiao², LI Jia-hang¹, ZHANG Mei^{1*}, MA Wei³

(1. School of Mechanical and Electrical Information, Chengdu Agriculture College, Chengdu 611130, China;

2. School of Mechanical Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China;

3. Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610213, China)

[Abstract] Sichuan province is extremely rich in Chinese herbal medicine resources, and the Chinese herbal medicine industry is an integral part of the "10+3" industrial system of modern agriculture. However, it has been long constrained by factors such as hilly terrain and scattered planting patterns, which hinders the mechanization development of the Chinese herbal medicine planting industry. Committed to promoting the application and development of the whole-process mechanization of Chinese herbal medicine production, the research group investigated the current situation and mechanization application of the Chinese herbal medicine planting industry in Sichuan province, and clarified the core advantages of the industry in Sichuan province and

[收稿日期] 2021-11-17

[基金项目] 四川省大学生创新创业训练计划平台资助项目(S202012965048); 成都市科学技术局资助项目(2021-YF05-00619-SN); 成都农业科技职业学院重点资助项目(22ZR112)

[第一作者] 杨涛, 硕士, 助教, 从事农业工程与信息技术研究, E-mail: egstao@163.com

[通信作者] * 张梅, 硕士, 助教, 从事中药材智能装备研究, E-mail: patti4500@163.com

the urgent need for mechanization production. The current situation of mechanization of key links in producing rhizome-type Chinese herbal medicines such as planting, fertilization, pest and weed controlling, harvesting, and primary processing in production areas were analyzed. The key factors and existing problems in the whole-process mechanization development as well as the key future research directions were discussed, and the mechanization development trend of *Ophiopogonis Radix*, *Chuanxiong Rhizoma* and other herbal medicines in the Chinese herbal medicine planting areas of Chengdu Plain were forecasted. This paper focused on the bottleneck of the mechanization application in producing Chinese herbal medicines in Sichuan province, and introduced key technologies and equipment for the whole-process mechanization of rhizome-type Chinese herbal medicine production, which is conducive to transforming and upgrading the Chinese herbal medicine production industry, accelerating the application of high-tech information technology, and promoting the mechanization and intelligentization of the planting industry.

[Keywords] rhizome-type; Chinese herbal medicines; whole-process mechanization; transplanting; drying

四川省位于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,由山地、丘陵、平原、盆地和高原构成,地势呈西高东低的特点。独特的地貌条件孕育了四川省极其丰富的中药资源,素有“无蜀不成医、无川不成方”之说,也享有“中医之乡、中药之库”等美誉,是我国最大的中药产地之一,且在中药资源蕴藏量、道地药材品种数、常用中药材品种数、国家药材生产质量管理规范(GAP)认证数量方面均位列全国第一^[1]。随着全民健康意识不断增强,中药材在中医药事业和大健康产业发展中的基础地位更加突出^[2]。然而,中药材种植过度依赖人工,单位生产成本中人工成本就占到70%~80%^[2]。随着中药材市场需求越来越大,随之也带来了种植产业劳动力短缺的问题。据第7次全国人口普查数据显示,随着我国新型城镇化进程稳步推进与青壮年就业观念的转变,农业从业人员数量较第6次人口普查减少1.6亿以上,且家庭种植户中年龄超过50岁的占比约90%。从这一数据可以看出未来或将面临无人种地的严峻形势。高昂的人工成本及复杂多样的丘陵地形不仅会导致中药材价格居高不下,还阻碍了中药材规模化、标准化种植的步伐,或将进一步成为影响中药产业长期健康稳定发展的不利因素。

与粮食作物相比,中药材生产全程机械化水平较低,国内外诸多科研院所、高校、企业不断在该领域开展技术攻关,推进中药材生产机械化发展,并取得了一些研究成果。遗憾的是还未有学者涉及中药材全程机械化方面的研究,难以为行业快速、精准地提供参考依据。课题组致力于四川省中药材生产全程机械化关键技术的研究,通过实地走访

调查、咨询行业相关专家、文献调研及总结多年来实际参与企业产品研发经验等方法,归纳总结针对中药材生产全过程机械技术研究进展与装备应用情况,分析制约产业发展的主要因素。这对推动中药材种植产业机械化、智能化发展有重要意义。

1 四川省药材产业概况

1.1 种植优势明显 四川省中药材产业发展态势良好,药材种植质量和规模发展平稳,中药材产业发展基础优势表现在以下4个方面^[3]:①种植面积大,据第4次全国中药资源普查数据显示,四川省人工种植中药材面积约42.5万公顷(1公顷=1万m²),拥有川西高原及峡谷、攀西地区、四川盆地、盆地边缘山地药材生产区4大药材主产区,并主要形成了广元-凉山州、巴中-宜宾2条南北走向中药材产业带和甘孜-宜宾1条东西走向的中药材产业带,途经16个市州的种植面积、产量和产值占据全省80%以上,正逐步呈现产业区域聚集效应,掌握了相关中药材的市场定价权^[1];②规模大,53种单品种植面积达到上万亩(1亩≈667m²),川麦冬、川芎、川贝母、川白芷等道地药材人工种植面积居全国第一;③产量多,中药材年产量达102万吨(1吨=1000kg),年总产值达173亿元,其中31个品种产值超过千万元;④品质优,四川有川芎、川麦冬等86种道地药材,31个地理标志保护的中药材产品,已有16个品种、24个中药材基地通过国家GAP认证,且包括灵芝、附子、天麻、川芎、红花等45个新品种审定的中药材新品种数量居全国前列,出口日本、韩国、中国香港等21个国家和地区。

1.2 机械需求旺盛 中药材为我国文化瑰宝,通常可将其分为植物类、动物类和矿物类,其中植物类

药材又可进一步细分为根茎类、全草类、果实籽仁类、树皮类等。根茎类中药材生产通常需要经历育苗、栽种、水肥管理、病虫害防治、收获、产地干燥等环节。据成都某企业药材种植基地负责人介绍,四川省乃至全国根茎类中药材各环节生产机械化水平滞后主要粮食作物(小麦、水稻、玉米等)机械化水平约20年,仅施肥、施药环节有少量通用型植保无人飞机参与,其他环节的作业机械相当短缺或处于空白。此外,仅仅四川盆地药材生产区属于平原地区基本符合机械化作业要求,其余的3大药材生产区均处于山地或高原地区,无疑为实现规模化、机械化作业增加了较大的难度。随着人口老龄化的持续加剧及人力成本的逐年升高,药材种植单位生产成本中人工成本占到70%~80%,不仅造成中药材成品价格居高不下,还可能成为影响中药材产业长期健康稳定发展的不利因素。因此,药材种植企业或个体户对中药材生产全程机械化的需求越来越迫切,机械化也将是中药产业发展的重要保障。

赵祖松颖等^[4]从机械化作业程度、技术装备状况、用户需求3个角度,结合熵权法和层次聚类分析法构建了中药材生产机械化的技术装备发展需求量化评价模型,并根据机械化需求的迫切程度将中药材生产环节机械化发展需求分为A、B、C3类,指出了移栽、中耕、收获环节机械化需求属于A类需求水平,呈现出“无机可用”和“有机难用”的现象。并且,四川省单品种种植面积上万亩的达到53种,已经形成一定的规模,初步具备机械化生产条件。为进一步推进中药材产业机械化的应用,四川省委、省政府将中药材产业确定为7个优先发展千亿级产业之一,并印发了《四川省乡村振兴战略规划(2018—2022年)》《关于促进中医药传承创新发展的实施意见》《川药产业振兴工作推进方案(2019—2022年)》等一系列文件,指出四川省将加快由中药材资源大省向中医药产业强省转变,立足现代农业“10+3”产业体系,建设彭州市、三台县、中江县等32个中药材产业重点县,打造川芎、川丹参等24个中药材品种,打通制约中药材生产全程机械化应用的关键瓶颈,促进道地“川药”的发展。在这些利好政策带动下,企业、种植户对机械化生产热情高涨,掀起机器换人热潮,机械需求缺口较大。

2 四川省中药材栽培机械化应用进展

课题组致力于中药材生产全程机械化关键技术的研究,调研了四川省内根茎类中药材种植基地

机械化应用情况,对其总结分析如下。

2.1 栽种机械 中药材栽种一般分为直播、扦插、移栽、嫁接等形式,像川麦冬、川芎等无性繁殖中药材需要留种并对其进行修剪以制作种苗或苓种而后进行栽种或扦插;茯苓、地黄、黄芪等适宜于育苗后进行移栽以提高成活率与产量。当前,中药材育苗产业化发展还处于起步阶段,高昂的育苗设备及以家庭为主的分散种植模式在很大程度上阻碍了工厂化育苗产业的发展。即使是种植面积位居全国第一、已经初步形成一定种植规模的川芎、川麦冬、川贝母、川白芷等道地药材均还未有企业涉及工厂化育苗,也未见有报道适宜机械化移栽的中药材钵苗。当前,中药材栽种仍然是以人工为主。而且,中药材栽种与收获是人工成本最高、效率最低的环节,企业对机械化的需求较为迫切,以至于不少类似蔬菜栽种机械被应用到中药材生产领域。目前,中药材移栽机械根据栽种方式的不同已经呈现出钳夹式、吊杯式(也称鸭嘴式、吊篮式)、导苗管式、挠性圆盘式等类型。吊篮式半自动移栽机因移栽效果较好,适应平地、垄上、铺膜移栽或膜上打孔移栽等场景,迅速成为目前应用最为广泛的移栽机^[5]。课题组调研彭州地区川芎种植生产机械化应用现状后着手研制了国内首款鸭嘴式川芎扦插机,见图1,能够一次完成扦插、覆土作业,漏插率、倒插率均能控制在5%以下,得到用户一致好评;成都龙泉驿某机械设备生产企业早在2015年就布局麦冬生产全程机械化,并着手研制麦冬种苗修剪装备,将其应用于自家麦冬种植基地,大幅提升了效率、降低了人工修剪成本;全伟等^[6]总结了国内外打穴式移栽机的研究现状,指出我国打穴式移栽技术与装备正处于起步阶段,通常要求人工投喂钵苗,存在移栽效率低,直立度、埋苗率不符合农艺要求等问题且还未见有在中药材移栽领域的应用;徐高伟等^[7]结合丹参膜上双行种植模式,设计了自走式丹参膜上双行栽植平台,各项性能指标均符合旱地栽植作业标准;山东某农业科技司不仅研制了白芨、党参、丹参等移栽机,还针对丘陵山地研制出了自走式微型移栽机,正好适宜于四川省地形地貌与中药产业发展的需要,四川已有企业对其采购应用于生产。然而,中药材移栽机械多以半自动为主,普遍存在未考虑作业精度、效率、舒适性等设计因素,加之企业一味强调低成本的愿望,造成人工操作时出现坐姿不舒服、设备简陋等问题,在提升用户操作体验、降低其劳动强度等方面均还存在一

定的不足。此外,在丘陵地区小地块作业降低的人工成本并不明显,进而造成四川丘陵地区中药材栽种出现“无机可用”“有机难用”的尴尬景象。



图1 川芎扦插机试验现场

Fig. 1 Ligusticum Chuanxiong Rhizoma cutting machine test site

2.2 中期管理机械

2.2.1 水肥一体管理 随着土地宜机化改造进程的加快与土地流转速度的稳步提升,规模化、集约化正逐步形成。在相关政府部门的支持下,四川省农业农村厅印发了《四川省丘陵山区农田宜机化改造技术规范(试行)》(川农发[2021]100号)、《四川省高标准农田建设总体规划(2011—2020年)》(川发改[2014]]267号)等文件的支持下,各地区大力开展“路网”“田网”“渠网”建设,建成早涝保收、集中连片的高标准农田4 400余万亩。尤其是成都平原地区,因靠近都江堰水系,几乎全部建成了灌溉系统,药农能够就地取水灌溉,为水肥精准管理创造了条件。此外,我国水肥一体化系统正以每年2 000万亩的建设速度迅速扩张,解决了农田灌溉的问题^[8]。川西高原及峡谷、攀西地区、盆地边缘山地药材生产区高标准农田建设进程稍缓,但也建设了大量提灌站,同时也有不少太阳能提灌设备在丘陵地区得以应用,保障了丘陵地区农业灌溉用水^[9]。水肥一体化也在此基础上快步发展起来,中药种植区施肥普及率逐年提升。并且,随着植保无人机的应用,使得丘陵地区、山区甚至高原地区药材施肥施药困难问题得以解决。课题组从四川省无人飞机职业技能大赛了解到全省各市均有专门的农业植保无人飞机作业团队或专业合作社服务于当地农业生产,能够满足当地的植保作业需求。

2.2.2 病虫害联防联控 为保证药材品质,《中华人民共和国药典》(2020年版)对农药用量、类别、残留量有严格规定,因此中药材病虫害的防治将直接影响到中药材成品的品质。然而,当前中药材病虫

害防治过度依赖农民种植经验,缺乏理论依据和科学指导,往往因错过最佳病害防治时期或处理不当带来巨大经济损失。药材种植过程中病虫害、农药不合理使用等因素已经成为危害药材质量安全的重要隐患^[10]。随着机器视觉技术在农作物病虫害防治方面的逐步应用,利用信息技术手段来实现病虫害识别与监测迅速成为国内外学者研究热点^[11]。但是针对中药材病虫害识别与防治的信息系统研究甚少。课题组刘翠翠等^[12]、杨涛等^[13]已利用图像处理技术分割麦冬叶部病斑图像再提取颜色、形状、纹理等特征并运用主成分分析(PCA)完成特征选择与数据处理,再基于支持向量机(SVM)设计了病斑图像分类器,能够识别麦冬叶部黑斑病、炭疽病、叶枯病3种病害并做数据统计,以便于预测受灾情况,为农户病害防治提供理论指导;蔡苗^[14]基于深度可分离卷积神经网络(CNN)设计了中药材叶部病害识别模型及基于深度支持向量数据描述的适生区分布预测模型,并开发了中药材种植过程服务平台,实现基于注意力机制的CNN Long Short-Term Memory(CNN-LSTM)模型的药材产量预测任务,由此从适生区分布预测、叶部病害识别、产量预测3个方面为中药材种植提供辅助决策;张净等^[15]基于窄带物联网(NB-IoT)设计了中药材种植智能测控系统,能够对麦冬的种植环境进行评价和预测估计,使中药材种植过程可测控,且可根据收集到的数据创建相关中药材生长数据库,为研究及生产指导提供依据。虫害防治方面,主要使用传统背负式喷药机械。课题组从四川省安岳县双盐村了解到,当地种植的枳壳、佛手、黄精等中药材病虫害防治时均使用的是传统背负式喷药机。据了解,虽然人工喷洒效率低,约3.6亩/人/d,但是背负式喷药机因价格低廉、适宜丘陵山区农业植保需要,在四川省内广泛应用。

随着近年农机专业合作社的兴起,出现了一批专门从事植保作业的无人飞机植保队伍。无人飞机喷洒作业要达到低空、低量、均匀、高效,就必须选择合适的雾化部件。发达国家农用航空飞机作业,主要使用液力雾化喷嘴和旋转离心式雾化喷嘴。其目的在于实现雾滴可控、喷洒流量大、不易堵塞、喷头数少,且实现低量喷雾,能够在提高航空作业效果的同时,最大化降低环境污染^[16]。虽然,我国在航空施药基础理论、低空喷洒沉降规律、超低容量喷雾技术、航空变量施药技术等方面还存在不足,但也基本能够满足中药材植保作业需要^[17-18]。

单台无人机1次飞行20 min,可喷洒10亩地,1 d作业面积可达200亩,相较于人工使用背负式喷药机械效率提高了50倍以上。此外,自走式旱地喷药机在中药材病虫害防治方面也有一定的应用,见图2。



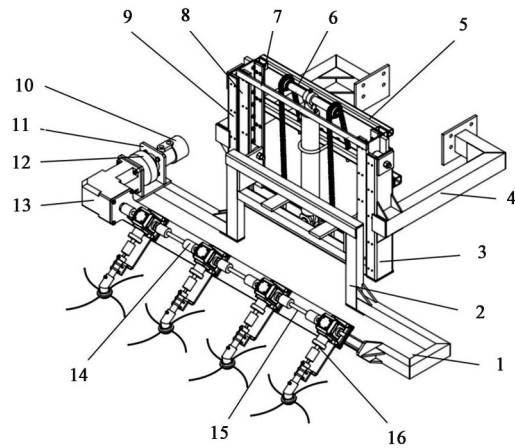
图2 自走式旱地喷药机
Fig. 2 Self-propelled dryland spraying machine

显然,我国在中药材病虫害防治与信息化建设方面已经有了初步探索,但在除草环节仍然是以人工除草和化学除草为主。不仅带来了高昂的人力成本,还为企业造成了不少的困扰。据统计,使用机械除草能够降低70%除草剂用量。国外在田间除草机器人方面的研究较为成熟,美国、丹麦、瑞士、日本、澳大利亚等国家运用机器视觉技术开发出了成熟的除草机器人,不仅能够复杂自然光照环境下精准识别杂草,还能够驱动机械装置铲除杂草,已经在生菜、西兰花、花椰菜等蔬菜田间或稻田有一定应用^[19]。此外,精准喷洒、激光脉冲、电击等新型除草技术正在兴起,为除草机器人的发展奠定了理论基础。国内研究院所也引进或研发了不少除草机器人,但基本还停留在实验室研究或试验阶段,未见商品化的产品出现^[20]。从全球范围来看,均未见有除草机器人在中药材种植领域实际应用的报道,中药材中耕除草机器人的研究还几乎处于空白。

2.3 杀秧收获机械

2.3.1 杀秧除苗 根块类中药材收获前通常需要进行杀秧或除苗。当前通常使用通用背负式打草机或小型旋耕机进行杀秧,虽然基本上能满足部分中药材杀秧、除苗的需要,但作业后还需要捡拾、清理,以免影响后续收获机械作业,同时也存在劳动强度大、效率低等问题。机械化无疑是提高工作效率、降低农户劳动强度的最佳选择。国内外针对马铃薯等薯类作物已经有成熟的杀秧技术,德国、荷兰、美国等国家不但配套设施完整,形成了完备的作业体系,还开发出多种类型、多种型号的杀秧机。

与国外先进机械化杀秧作业技术相比,我国马铃薯、洋葱等农作物杀秧机虽然在性能方面还有一定的差距,但也形成了不同的类型和系列^[21]。然而,关于中药材杀秧、除苗机械的相关研究甚少。廖敏等^[22]设计了一款川芎杀秧机,见图3。使用打草绳切断茎秆后进一步粉碎后还田处理,不但提升了工作效率,还能够将茎秆直接粉碎,省去了后续清理的作业环节。但可惜的是该设备还在理论探索阶段,还未进行样机试制与开发,相信不久的将来就能够看到高效率的中药材杀秧、除苗机械。

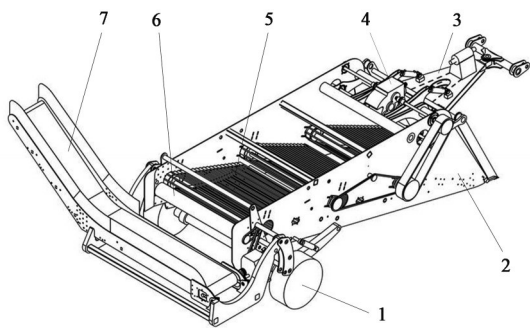


注:1. 茎秆粉碎部件;2. 茎秆粉碎部件安装架;3. 升降外框架;4. 粉碎部件机架;5. 内框连接管;6. 升降机构;7. 内框连接杆;8. 升降内框架;9. 升降外框架;10. 液压马达;11. 马达安装架;12. 扭力限制器;13. 增速器;14. 联轴器;15. 连接轴;16. 茎秆粉碎器

图3 川芎杀秧机
Fig. 3 Chuanxiong Rhizoma seedling killing machine

2.3.2 捡拾除土分级 中药材收获也是机械化需求最为迫切的环节之一,得益于薯类作物(马铃薯、红薯等)全程机械化的发展,不少研究人员针对根茎类中药材使用了类似马铃薯收获机械关键技术研制了适宜中药材收获的机械。许渊等^[23]针对常见根茎类中药材收获机存在挖掘深度不足、入土阻力大、功率损耗严重、碎土效果差等问题,改进了现有挖掘装置结构并对其进行了仿真分析,找出了最小挖掘阻力的情况下适宜的行驶速度、入土角、转速等关键参数,有效地降低了功率损耗;陈学深等^[24]设计了一种根茎类药材收获机械,能够一次性完成药材挖掘、根土分离、铺放、茎秆分离作业任务,并以甘草脱土率为试验指标,通过3因素3水平正交试验,获得了样机最优工作性能,能够满足甘草收获技术要求;崔振猛等^[25]针对丘陵山区小地块地形研制了三七收获装备,可一次性完成挖掘、输送、根土分离等工作,弥补了丘陵地带三七收获机

械匮乏的短板;宋江等^[26]改进了平贝母药材收获机灵活性差等问题,使得改进后的机型在清理表层覆盖土、贝土分离、分级装袋等环节工作更加协调,进而保证收获的药材质量,药材损失率、损伤率分别低于3.8%和2.9%,符合行业相关标准;崔永建^[27]运用三级卷帘式链梯技术设计一种中药材自动收获机械,能够一次性完成挖掘、除土、卸料等作业并可联合运输车实现药材全自动装车,自动化程度较高,见图4;申世龙等^[28]设计了一种丹参侧铺收获机,可一次性完成丹参挖掘、清土运送和侧向归集输送铺放便于后续收集运输;四川省农业机械研究设计院与三台县麦冬农机合作社历时8年联合研发的第九代麦冬收获机械,见图5,可一次性完成深度挖掘、碎土输送、循环筛分、收集等作业,生产率能够达到2亩/h,与传统人工采收20个人工/亩相比,不仅效率提高了近100倍,且每亩地至少能够节约1600元的人工成本,已投放20余台设备于当地使用,用户反映良好,预计每年能够为全县种植户节省8000万元的人工采收费用,结束了“一亩十分地、一挖就半月”的历史场景^[29]。此外,也有相关科研院所将注意力集中在联合收获机的研发上,针对川麦冬、丹参、川芎、天麻、地黄等根块类中药材正研制集挖掘、碎土、捡拾、分级等功能于一体的联合收获机械,但遗憾的是,至今还处于试验阶段,未见有得到用户认可的产品。



注:1. 滚轮;2. 机架;3. 连接座;4. 变速箱;5. 卷帘式输送链梯;6. 辅助滚筒;7. 输送带

图4 多级卷帘式链梯中药材收获机

Fig. 4 Multi-stage roller shutter type chain ladder Chinese medicinal material harvester

2.4 产地初加工机械 中药材产地加工通常是指除杂(除垢、拣选)、修整(修剪、切分、除毛须、除皮壳、抽芯等)、干燥(晒干、烘干、阴干、炕干等)、分级包装、贮藏等环节。此外,部分药材在干燥前还需经过蒸煮、烫漂、发汗、腌制等特定的处理方法。

2.4.1 清洗机械 由于根块类中药材采挖后附有



图5 川麦冬采挖机

Fig. 5 Sichuan Ophiopogonis Radix excavator

一些泥沙,那么清洗就成为了中药材加工的首个环节并影响着后续收购加工产品的品质。也有不少种植户在药材采收后并不清洗,直接一边晾晒一边打磨,该方法无法消除农药残留、重金属超标等问题。常见的中药材清洗主要有人力刷洗、机械滚筒清洗、高压水射流冲洗及由多种清洗技术组合形成的组合式药材清洗技术。盆地药材生产区大多数中药材几乎均是就近河道清洗,就地晾晒。如三台县的涪城麦冬,因种植基地靠近涪江流域,取水方便;同样的还有彭州、什邡、都江堰等地的川芎、天麻、附子等中药材均能够就近河道清洗,但人工清洗劳动强度太大,药农苦不堪言。得益于果蔬清洗机械的发展,已经研制出双速清洗机、喷刷式、毛刷辊式、滚筒式清洗机等多种类型的清洗装备。像马铃薯、胡萝卜、生姜等地下蔬菜清洗机械尤其适合根茎类中药材的清洗。诸城市某食品机械公司研制了根茎类中药材通用毛刷清洗机,在雅安、川西高原及高山峡谷等地川贝母清洗中有一定的应用。另外,随着超声波清洗技术的发展与应用,根茎类中药材通用超声波清洗机得到进一步应用,见图6。李芙蓉等^[30]指出了超声波清洗技术在当归、党参、黄芪、人参、蕲麻等根茎类中药材清洗中有一定的应用并阐明超声波清洗中药材不仅能够降低清洗过程中的劳动强度,还能够抑制细菌生长、杀死虫卵,为中药材快速、节水、无污染清洗开辟了一条有效途径。

2.4.2 干燥揉搓去须 中药材的干燥以晒干、摊晾为主,也有基于烘炕、热风、微波、远红外、太阳能等干燥技术研制的干燥设备。阙祖亮等^[31]详细介绍了三七常见的集中干燥方式(晾晒、太阳能大棚干燥、热风干燥、微波干燥、冷冻干燥、冷冻真空干燥、超微粉碎技术)及对不同干燥方式对三七品质的影响;彭芳等^[32]对四川省川芎栽培现状调查与评价发现,什邡、彭州、都江堰地区川芎大多以晒干为主,仅有少量川芎使用炕干,而眉山、邛崃等地则以炕



图6 根茎类中药材通用超声波清洗机
Fig. 6 Universal ultrasonic cleaning machine for root and stem Chinese medicinal materials

干为主,尤其是邛崃地区的川芎几乎全是炕干。课题组对三台县川麦冬产地加工情况调查发现:传统日晒堆闷干燥法,需要反复暴晒、堆闷,再去须根,整个过程需要20~25 d。农户为了缩短干燥时间,简化干燥工艺流程,降低干燥成本,普遍使用空气能热泵技术自建烘房来干燥麦冬,见图7。该方法能够在14~16 h完成新鲜麦冬(当地称为“水果”)的干燥,但仍需要模仿人工揉搓、去须等工艺,否则会影响到麦冬成品的品质。为此,课题组李晓明等^[33]、袁影等^[34]于2015年就建立了一套川麦冬变温干燥工艺,并联合成都某机械设备企业成功研制出麦冬热风循环干燥、揉搓、去须一体机,见图8。该设备一次能够完成1吨新鲜麦冬的干燥,服务于有干燥需求的企业与周边种植大户。此外,在《中医药发展战略规划纲要(2016-2030年)》(国发[2021]15号)等文件的相关政策的支持下,四川省大力推进中药材产地初加工标准化、规模化、集约化发展。川芎、川麦冬、川贝母、川白芷、附子、天麻等中药材种植已经初具规模,当地专业合作社及稍有规模的药材深加工企业也具备药材机械化干燥的能力。由此可见,中药材干燥领域的机械化水平较其他种植环节较高,但相对全省乃至全国中药材干燥产业来说还远远不足。



图7 麦冬烘房
Fig. 7 Ophiopogonis Radix drying room



图8 麦冬热风循环箱式干燥、揉搓、去须一体机
Fig. 8 Ophiopogon hot air circulation box type drying, kneading and shaving machine of Ophiopogonis Radix

2.4.3 筛选去残 根块类中药材干燥后一般还需要进行筛选分级以获取最高售价或最大利润,人工筛选不仅效率极低,还需要极强的耐心。课题组孙付春等^[35]改进了一款振动筛选机械,对其振动筛选机构进行了优化设计,见图9。在对麦冬、丹参的测试中残次品筛分正确率可达95%,基本满足药农的使用需求。该机构虽然能够根据药材的大小或长短进行筛分,挑选出药材中个头较小、根块残缺的残次品,但还不能满足依据色泽、长短、胖瘦、表面缺陷等外观品质进行区分的要求。相信,随着机器视觉、高光谱等信息技术的进一步应用,多指标检测、适应多检测对象的智能筛选装备将成为未来研究的重点方向。



图9 中药材振动筛分装备
Fig. 9 Chinese medicinal materials vibrating screening equipment

3 产业发展

3.1 制约药材机械化生产的关键因素

3.1.1 中药材机械具有较强的季节性、专一性、经济体量小,缺乏专门的研究机构 根茎类中药材生长周期较长,通常需要一年甚至几年才能成熟采挖,导致了中药材机械与大多数农业机械一样,也具有较强烈的季节性。此外,中药材种类繁多,每一类中药材种植规范、种植工艺(行距、株距及栽种方式、深度等)均有较大的差异,增大了研制通用机

械的难度与成本。其次,为保证中药材的品质,中药材机械都要求较强的专一性。然而,中药材种植讲究道地,某一地区内单品种种植面积通常较小,对机械数量的需求不高,直接造成机械产品经济体量较小、利润低。也因此导致了专门从事中药材机械装备研发、生产、推广的企业较少。虽然从事药材深加工药业企业数量较多,但普遍规模较小,缺乏辐射面广、带动能力强的龙头企业及能够引领行业发展的引领性项目。小规模企业也无力承担起中药材种植生产全程机械化项目的研发成本,中药材产业化经营还处于初级阶段。而且,四川省丘陵耕地面积占比超过70%，“宜机化”建设进程较缓,田块零星分散,规模化程度不高,地块农机作业通达率不足50%^[36]。更重要的是中药材大多生长在不利于机械化作业的丘陵、山区、高原、峡谷等地区,为中药材作业机械研制增加了较大的难度。另外,通过中国知网、SooPAT专利数据搜索引擎对中药材种植、生产相关机械装备检索发现,无论是专利数量还是发表论文章数都说明中药材机械装备的研究成果较少,且专利主要集中在精深加工方面,涉及中药材移栽、收获的成果较少,详细数据见图10(2021年统计数据截止到6月30日)。并且,四川省暂无专门从事中药材种植机械研究的科研机构,仅有少量的涉农科研院所和高校有一定的涉猎,研发力量较为分散,缺乏类似产业技术研究院这类研发平台对其共性技术与关键技术的研究,难以攻克制约丘陵地区中药材生产机械化应用关键瓶颈,进一步导致中药材生产全程机械化进程发展缓慢。

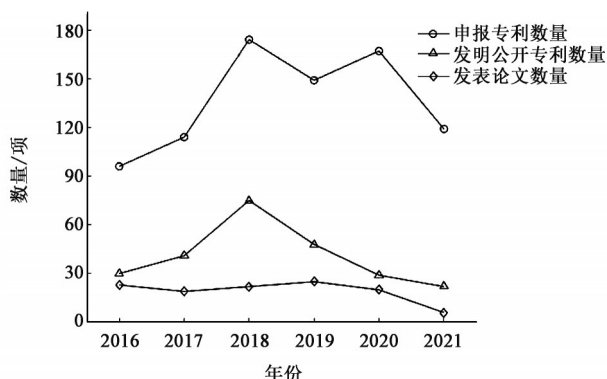


图10 近年来中药材机械专利与论文数量

Fig. 10 Number of patents and papers on Chinese herbal medicine machinery in recent years

3.1.2 中药材种植以小规模农户为主,生产不规范问题依然存在 机械化种植的前提是标准化。中

药材产业受到政府部门的高度重视,中药材种植规模得以迅速扩张,但部分地区也出现了盲目引种、种植不规范、药材品质参差不齐等问题^[37]。当前,除四川盆地药材生产区形成了小规模的企业种植以外,其余的川西高原及峡谷、攀西地区、盆地边缘山地药材生产区几乎仍是以家庭种植为主,自身投入与地方财政投入不足,种植各环节还未形成严格的标准或规范,不利于机械化作业,现有农机难以适应药材种植环境。同时,还缺乏能够对中药材“种植、采摘、加工、包装、运输、销售、售后”全过程的追溯和监测的中药材溯源系统,影响着药材品质与食品药品安全,更进一步地导致了中药材种植环节不规范等问题更加突出。李相熠^[38]调研彭州市中药产业发展的问题指出:目前中药材种、收环节未完全实现科学化、标准化,农户各自分散留种、分散种植,所产的药材品质不一,且以敖平镇为核心的川芎主产区逐步面临着农药、化肥施入超量,土壤酸化、微生物群落减少,根腐病、有效成分含量禅意较大等问题。此外,陆天天^[39]、陈梨^[40]、况勇^[41]分别对中江县、内江市、雅安市中药材产业发展调研几乎得出了相同的结论。由此可见,中药材种植生产不规范问题不仅导致药材品质、安全等问题,还是阻碍机械化应用最大的障碍之一。

3.2 中药材机械重点研究方向 中药材生产全程机械化是必然的发展趋势,农机相关研究机构下一步的研究势必会集中在育种、移栽、收获机械共性技术与关键技术攻关方面,以打破制约全程机械化应用与发展的瓶颈。

3.2.1 围绕优势品种布局全程机械化 四川省推进中医药强省建设工作领导小组发布了《四川省中药材产业发展规划(2018—2025年)》,立足中药材规模化发展,以中药材产业扶贫和特色产业可持续发展为契机,结合药材道地产区和大宗药材传统产区分布特点,明确了中药材种植发展重点县的主要适宜发展品种与发展规模。由此,围绕各地区优势品种布局全程机械化势必会成为下一步的工作重点。

3.2.2 麦冬、川芎或率先突破生产全程机械化关键瓶颈 四川盆地药材主产区地势平坦,相对适宜机械化作业。并且,川芎、川麦冬、川丹参、泽泻等药材常年种植面积超过10万亩,具备发展全程机械化作业的基本条件,尤其是成都平原地区的川芎产量占到全国的90%以上及涪江流域的“涪城麦冬”也占到全国麦冬市场的70%以上。据调查,彭州市某

药材种植企业具有强烈的机械化生产愿望,已经与成都市一些高校、科研院所展开了合作,在川芎育苗、扦插、杀秧、收获等方面取得了一定的进展,相信不久的将来就会取得突破,推动川芎生产全程机械化应用与发展。绵阳三台县川麦冬机械化生产发展约有10余年时间,时至今日已经有相当一部分企业和农机专业合作社联合省内某设计院成功开发出了麦冬收获机械,解决了麦冬机械化收获的问题。成都某机械设备企业联合某高校开展了川麦冬切苗、摘果、干燥机械的研究。从整体上来看,无论是川芎苓种制作、扦插、施水施肥、病虫害防治、杀秧、收获、产地初加工等环节,还是川麦冬种植过程中切苗、栽种、施水施肥、病虫害防治、采挖、摘果、干燥等环节几乎都涉及了机械化的研究,只是在使用效果方面还有一定的欠缺,但随着研究的深入势必会改善这一局面。也就是说,麦冬、川芎或率先实现生产全场机械化并建立应用示范,进一步促进中药材机械化的发展。

3.2.3 国内顶尖团队牵头创新产品研发模式 “研究院+合作社”运营模式或是加快推进中药材全程机械化进程的关键。当前,多所高校、科研院所与药材种植区农机合作社开展了技术攻关项目,利用科研院所、高校的人才优势与当地专业合作社深度合作不仅补齐了当地药企机械相关专业人才匮乏的短板,还有效促进了高校、科研院所科技成果转化,形成了双赢的局面,或是未来中药材生产全程机械化研究与运营的主要合作模式。

4 结论

中药材种植各环节几乎都面临着人工成本高与劳动力短缺的问题,尤其是栽种与收获环节占据着超过60%的人工成本。只有日本、韩国和美国,欧盟地区有少量种植,中药材种植产业全程机械化发展没有先进应用的有效参考。中药材生产未形成规模化、标准化种植,不统一的种植模式制约了中药材机械化发展和农户效益的最大化。虽然,有不少科研院所、高校、企业参与到中药材生产全程机械化研究中来,研制出了不少装备,但也表现出以下几个缺点:①无论是在作业效果,还是在降低人工劳动强度、提高工作效率方面都还未完全得到用户认可。②四川省也仅仅是四川盆地药材生产区有一定的机械化应用,其余三大主产区机械化应用均存在较大的困难,总体上表现在缺乏实力较强的科研机构与相关专业技术骨干组成的攻关队伍等方面。③缺乏龙头企业引领与当地财政投入,四

川省中药材生产机械化应用与推广之路任重道远。

四川中药材资源丰富,麦冬、川芎、附子、丹参等道地药材已成为当地的支柱产业。省委省政府也高度重视中药材产业的发展,制定了一系列文件促进中药材生产全程机械化的发展。四川省推进中医药强省建设工作领导小组办公室发布的《四川省中药材产业发展规划(2018—2025年)》明确指出了中药材产业布局与发展规划,为实现全程机械化做好了铺垫。未来,在高校、科研院所与企业、合作社的联合攻关下,势必会突破制约中药材产业机械发展的关键瓶颈,为中药材产业的可持续发展提供有力的技术支撑。进而,建立起机械化生产应用示范基地,促进中药材生产全程机械化应用与发展。

[参考文献]

- [1] 王燕,刘菡菁,杨军,等.四川省中药材产业高质量发展新特征、新问题和新路径[J].中草药,2020,51(19):5077-5082.
- [2] 金娟.中药材产业需插上机械化翅膀[N].中国农机化导报,2018-12-10.
- [3] 四川省推进中医药强省建设工作领导小组办公室.重磅!《四川省中药材产业发展规划(2018-2025年)》发布[EB/OL].(2019-07-20)[2021-11-17].<https://sctcm.sc.gov.cn/sctcm/zcfg/2019/7/20/ad8f3472eb0340c29b9566cbaa87aeeef.shtml>.
- [4] 赵祖松颖,郑志安,黄璐琦.中药材生产机械化的技术装备需求量化模型构建[J].农业工程学报,2020,36(10):307-317.
- [5] 刘洋,毛罕平,李亚雄,等.吊篮式移栽机构工作参数优化与试验[J].江苏大学学报:自然科学版,2018,39(3):296-302.
- [6] 全伟,唐叶,段益平.打穴式移栽机械发展现状与展望[J].农业工程与装备,2020,47(3):18-22.
- [7] 徐高伟,邱绪云,高琦,等.自走式丹参栽植作业平台设计与试验[J].农机化研究,2022,44(1):85-89,96.
- [8] 李红,汤攀,陈超,等.中国水肥一体化施肥设备研究现状与发展趋势[J].排灌机械工程学报,2021,39(2):200-209.
- [9] 卢珍,曾文明,李光辉,等.提灌站水泵设计选型研究及典型案例[J].中国农村水利水电,2020(11):107-111,117.
- [10] 戴德江,沈颖,沈瑶,等.浙产特色中药材病虫害化学防治的研究进展[J].农药学学报,2019,21(Z1):759-771.
- [11] 杨涛,李晓晓.机器视觉技术在现代农业生产中的研究进展[J].中国农机化学报,2021,42(3):171-181.
- [12] 刘翠翠,杨涛,马京晶,等.基于PCA-SVM的麦冬叶

- 部病害识别系统[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(8): 132-136.
- [13] 杨涛, 雷进, 朱皓睿, 等. 基于图像特征融合的麦冬叶部病害识别[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(7): 135-138, 144.
- [14] 蔡茁. 面向中药材种植过程的深度学习模型研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [15] 张净, 张涛, 郭洪波. 基于窄带物联网的中药材种植智能测控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(13): 256-264.
- [16] 唐青, 张瑞瑞, 陈立平, 等. 植保无人机施药数值建模关键技术与验证方法研究进展[J]. 智慧农业: 中英文, 2021, 3(3): 1-21.
- [17] 陈梅香, 张瑞瑞, 陈立平, 等. 无人机农林业应用全球研究态势分析[J]. 智慧农业: 中英文, 2021, 3(3): 22-37.
- [18] 张瑞瑞, 李龙龙, 陈立平, 等. 植保无人机施药沉积飘移监测系统设计与应用[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 537-545.
- [19] 孙君亮, 闫银发, 李法德, 等. 智能除草机器人的研究进展与分析[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(11): 73-80.
- [20] 傅雷扬, 李绍稳, 张乐, 等. 田间除草机器人研究进展综述[J]. 机器人, 2021, doi: 0.13973/j.cnki.robot.200281.
- [21] 杨明金, 杨仕, 李守太, 等. 西南丘陵山区马铃薯机械化杀秧研究进展[J]. 南方农机, 2021, 52(10): 1-3, 10.
- [22] 廖敏, 张强, 杨亚军, 等. 一种川芎杀秧机: 中国, CN113079797A[P]. 2021-07-09.
- [23] 许渊, 张锋伟, 李保良, 等. 根茎类中药材收获机挖掘装置设计与仿真试验[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(10): 42-49.
- [24] 陈学深, 方贵进, 黄旭楠, 等. 根茎类药材收获机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2020, 42(8): 61-67, 73.
- [25] 崔振猛, 张兆国, 王法安, 等. 4SD-1700型悬挂式三七收获机设计与试验[J]. 农机化研究, 2019, 41(2): 134-139.
- [26] 宋江, 刘丽华, 王密, 等. 4B-1200型平贝母药材收获机的改进设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 45-51.
- [27] 崔永建. 一种用于中药材的自动收获机: 中国, CN112243670A[P]. 2021-01-22.
- [28] 申世龙, 王东伟, 连政国, 等. 丹参侧铺收获机的设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2021, 43(5): 135-139.
- [29] 罗敏. 四川道地药材特色农机的研发之路——八年“磨一剑”麦冬收获机服务万亩田[N]. 四川农村日报, 2020-04-28.
- [30] 李芙蓉, 刘淑梅, 刘凤霞, 等. 超声波清洗技术及其在中药材清洗中的应用研究[J]. 中兽医医药杂志, 2019, 38(1): 32-35.
- [31] 阙祖亮, 庞丹清, 陈勇, 等. 三七的种植及采收加工现状[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(4): 41-45.
- [32] 彭芳, 陈媛媛, 陶珊, 等. 四川省川芎栽培现状调查与评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(2): 181-189.
- [33] 李晓晓, 何云勇, 彭亮, 等. 麦冬全自动烘干机的设计[J]. 农业与技术, 2020, 40(19): 46-50.
- [34] 袁影, 孙付春, 杨涛. 麦冬干燥工艺及设备的研究[J]. 农产品加工, 2018(18): 69-72.
- [35] 孙付春, 张建, 杨涛, 等. 麦冬振动筛选机的多目标优化设计与试验[J]. 农机化研究, 2019, 41(6): 145-149.
- [36] 廖敏, 杨建国, 胡红, 等. 新形势下四川省农业机械化发展对策研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(12): 183-188.
- [37] 李鹏英, 尚兴朴, 曾燕, 等. 中药材产业扶贫现状经验探讨及可持续发展建议[J]. 中国现代中药, 2021, 23(3): 409-416.
- [38] 李相熠. 彭州市中药产业发展的问题及对策研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [39] 陆天天. 中江县中药材产业发展研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [40] 陈梨. 内江市白及种植生产技术效率研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2021.
- [41] 况勇. 雅安市中药材产业发展对策研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.

[责任编辑 顾雪竹]