

柑橘生产机械化研究*

洪添胜 杨洲 宋淑然 朱余清 岳学军 苏建

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

【摘要】 从灌溉、施肥、施药、修剪、采摘和运输等主要田间作业环节,对国外柑橘生产机械化技术进行了分析。针对中国柑橘生产机械化水平较低和柑橘生产机械化发展中存在的问题,借鉴国外发展经验和先进技术,提出了中国柑橘生产机械化的发展方向、主要机械化技术与装备发展要点。

关键词: 柑橘 生产机械化 灌溉 喷雾 运输

中图分类号: S233.74 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0105-06

Mechanization of Citrus Production

Hong Tiansheng Yang Zhou Song Shuran Zhu Yuqing Yue Xuejun Su Jian

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education,
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract

China is one of the main producers of citrus in the world. The machinery and technologies for citrus production in some developed countries were studied from some key points, such as irrigation, fertilization, spraying, pruning, harvesting and conveying. Based on the analysis of domestic citrus production status and overseas developing experiences, the basic ideas and main technologies of mechanization for citrus production in China were discussed.

Key words Citrus, Production mechanization, Irrigation, Spraying, Transportation

引言

针对中国柑橘生产机械化水平较低的问题,对世界柑橘生产机械化技术发展现状进行研究,借鉴国外柑橘生产机械化发展的先进技术和经验,提出中国柑橘生产机械化的发展方向、主要机械化技术与装备发展要点。

1 世界柑橘生产机械化技术水平

柑橘是世界第一大水果,很多发达国家的柑橘生产区域相对集中,橘园连成一片,规模效益明显,机械化程度高,单位生产成本相对较低。而且在橘园规划与建设时,已经考虑了机械与装备的使用问题,特别是在人工成本较高的发达国家和地区,采用

宽窄行或宽行密植栽培技术,以保留机具通行和工作的空间,同时利用砧木或整枝与修剪方法控制树形,提高管理效率,降低采收与管理的人工需求。但各个国家和地区因种植习惯、地形差异和经济发展等因素不同,柑橘生产的机械化水平也不相同。本文以美国、巴西、以色列、日本等柑橘生产机械化程度较高的国家为例,从田间作业主要环节,对柑橘生产的机械化技术进行分析。

1.1 机械化灌溉与施肥

大多数橘园都建设了相应的灌溉系统,有地面沟灌、冠顶喷灌、树下微喷灌和滴灌等多种形式,以树下微喷灌和滴灌为主。以色列全部使用滴灌;澳大利亚50%以上为树下微喷灌、20%左右为滴灌、10%左右为沟灌;美国以树下微喷灌为主。节水灌

收稿日期:2009-11-30 修回日期:2010-08-01

* 国家现代农业产业技术体系建设专项基金项目(农科教发[2007]14号,财教[2007]431号)和国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903023)和广东省现代农业产业技术体系建设专项(粤财教[2009]356号)资助项目

作者简介:洪添胜,教授,博士生导师,主要从事机电一体化技术与信息技术在农业中的应用研究,E-mail: tshong@scau.edu.cn

溉系统可以实现供水时间和供水量的自动控制,有的可以根据监测到的柑橘树需水状态,定时、定量进行精确灌溉。目前研究重点主要是节约用水、降低损失、提高水的利用效率和实现智能化灌溉。基于土壤、树干、叶片、果实等信息变化的传感器已经用于柑橘树的智能化灌溉^[1]。高频滴灌、脉冲灌溉、部分根区灌溉、将无土栽培原理与加肥滴灌相结合的灌溉技术也是应用研究热点^[2]。橘园灌溉设施还用于施用液态化肥和营养液等。

通常使用专门的施肥机将固体肥料均匀播撒在柑橘树行的表面。先进的变量施肥机,可以通过激光扫描等方式检测树形、树高等特征参数^[3],根据树体大小调节施肥量。有的利用高光谱图像技术等对叶片的营养状态进行评判,优化营养配施。美国佛罗里达州利用带 DGPS 的自动超声传感系统获得 17 hm²橘园树型大小的处方图,用于变量施肥播撒机的作业,结果显示,应用变量施肥播撒机比均匀施肥节省 38%~40% 的肥料,既节省了费用,又减少了对环境的影响^[4-5]。

1.2 机械化施药

施药机械主要有液压式、风送式和静电式喷雾机。液压式喷雾机发展较早,应用较广。风送式喷雾,可以使雾滴进一步破碎、细化,可增加雾滴的穿透能力,使作物得到全方位的喷雾,用药量大大降低。静电式喷雾机是近几年发展的机型,如图 1 所示,静电式喷雾是应用电晕充电、接触充电或感应充电原理使喷出的雾滴带电,同时,作物产生相反电位,使雾滴直接引向作物,以提高雾滴的命中率和附着性能,且分布均匀,减少漂失和环境污染,可提高



图1 静电式喷雾机
Fig.1 Electrostatic sprayer

药液利用率 30%~40%。施药机械发展趋势是低量、低污染、高效、精确施药,广泛采用机电液一体化技术,实现施药过程的自动化与智能化,提高使用安全性、方便性和精确性。如图 2 所示,在喷雾机上增加防护罩,可以减少雾滴的漂移损失,在提高施药效果的同时,减少了药液对环境的污染。仿形喷雾技术能根据柑橘树树体大小、树叶密度等自动调节喷雾量和药液分布^[6-8]。利用图像处理技术,可以根据柑橘的果皮颜色和特征进行病情辨识^[9]。

利用高光谱反射成像和光谱信息发散技术等可检测柑橘溃疡病^[10]。自动混药和药液定量注入系统也被不少国家广泛采用并不断完善,以减少操作者与药液的接触。



图2 新型果园喷雾机
Fig.2 Sprayer for citrus orchard

1.3 机械化修剪

柑橘树修剪机分为整株几何修剪机和单枝修剪机两类。整株几何修剪机是在拖拉机上安装可以上下升降、左右转动的外伸作业臂,臂端装有切割器,如图 3 所示。单枝修剪机包括各种手动修枝剪、修剪柑橘树上部枝条的高枝剪、切割较粗枝干的折叠刀式锯、动力圆盘锯和动力链锯等。目前国外使用的单枝修剪机的动力多为汽油机或气泵。剪下的树枝放在柑橘树行间,使用专门的粉碎机切断后直接铺在行间地面或抛撒到柑橘树行覆盖在地表,起到保持水分、减少杂草和提高土壤生物活性等作用。



图3 整株几何修剪机
Fig.3 Pruning machine

1.4 机械化采摘和运送

尽管不少发达国家和地区在柑橘的灌溉、施肥、施药、修剪和运送等环节上基本实现了机械化作业,但水果采摘大多还是借助移动式采摘平台或采摘梯使用果剪和采收袋进行人工采果,只有少部分用于加工果汁的柑橘使用机械收获。采摘是柑橘生产中费用较大的一个环节,如澳大利亚柑橘采摘费用一般占生产成本的 35%~45%^[11],所以,尽管机械化采收难度较大,但这方面的研究还是比较活跃,尤其是近几年随着人工成本的增加和果汁消费量的不断上升,柑橘收获机械的研究再次受到关注。

机械采收一般使用强风^[12]或强力振摇机械,迫使果实脱落,果实直接落在树下由人工捡拾,或落在树下的传送带承接果实并送至与收获机械同步前进的运输车斗内。强力振摇机械又有树干振摇^[13]、枝干振摇^[14]和树冠振摇^[15]3种形式。目前使用的收获机械主要有两种类型:基于树冠振摇的连续式收获机(如图4所示);基于树干振摇的收获机(如图5所示)。主要机型由美国Coe-Collier、OXBO和Korvan公司制造。一般人工采摘柑橘的效率是0.5 t/h,而树干振摇式收获机的采收效率为10 t/h,树冠振摇式收获机的采收效率为25 t/h,但收获机械的应用可能导致10%左右的柑橘损失^[11]。澳大利亚和西班牙等国家也在进行柑橘收获机械的研究与应用^[16-17]。发展机械化收获,除了研究收获机械,还对适合机械收获的农艺技术进行了研究,美国为了便于机械采摘柑橘,采摘前给柑橘树喷施专用果实脱落剂^[18],如萘乙酸等,使柑橘果实在振摇下容易脱落。



图4 树冠振摇式收获机械

Fig. 4 Canopy shake mechanical harvester



图5 树干振摇式收获机械

Fig. 5 Trunk shake mechanical harvester

随着精细农业思想和机器视觉技术的发展,与柑橘收获机械相匹配的产量测定系统得到研究和应用^[19-20],收获机器人或机械手的研究也受到关注^[21-22],其研究主要集中在机械本体的优化设计、果实的智能化识别和定位以及不确定场景下的避障路径规划等。

在美国和澳大利亚,采收后的柑橘一般是倒入木制或塑料周转箱后,用叉车装到拖车或卡车上运送到包装间。在日本,由于柑橘种植区多为山地、坡度较大,专门研制出适合山地作业的单轨运输车运送采摘的柑橘或肥料等物品,另外还研制了与轨道

相配的喷雾机、施肥机、树枝粉碎机等小型作业机具^[23-24],如图6所示。

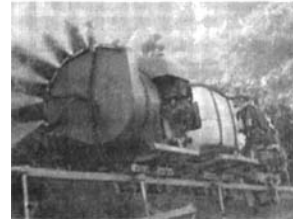


图6 在单轨上作业的风送式喷雾机

Fig. 6 Air blast sprayer on monorail in Japan

近年来国外柑橘生产机械化技术研究的重点在水、肥、药液等资源的高效利用及柑橘品质的提高技术与装备,侧重于灌溉、施药技术与机具的优化研究。在信息技术应用方面,按照“精确农业”的技术思想,将GPS、GIS、RS、无线传感、视觉导航、多光谱分析、激光雷达等新技术应用于柑橘的精确种植与生产,包括果园管理、机器视觉导航、产量图绘制、灌溉施肥、喷药控制、植物检疫、病情诊断及质量安全监控与评价,等等^[25-29]。

2 中国柑橘生产机械化现状

中国柑橘种植规模虽然较大,但产业整体素质和竞争力要弱于美国、巴西等国^[30]。2007年中国柑橘平均单产只有11.1 t/hm²,比世界平均单产14.2 t/hm²还低,只有巴西、美国柑橘单产的50%,这除了与中国90%的柑橘种植在山坡地上,土地条件较差有关,还与单家独户分散经营使标准化生产技术和先进工具难以普遍推广应用有很大的关系。

在产业化经营、机械化生产方面,中国与巴西、美国等柑橘主产国也存在较大差距。由于中国的橘园大部分建在丘陵山地,实现机械化的难度较大。很多橘园没有灌溉设施。施肥以手工施用鸡粪、化肥等为主,缺少适用的施肥机械。施药机械应用率相对高一些,主要是手动式、背负式、担架式液压喷雾机,用于橘园的风送式喷雾机很少。修剪机具主要是手动剪,以汽油机为动力的剪具主要用于修剪较粗的枝条,应用也很少。柑橘采摘和田间运送基本上用人工,劳动强度很大,成本很高。中国柑橘生产机械化存在的主要问题有:适用机型少,技术水平低;机械使用比例低;很多机械以人工为动力,劳动强度仍然较大。目前从事橘园作业的青年人很少,柑橘生产机械化的必要性越来越迫切。因此,有必要借鉴国外柑橘生产机械化发展的先进技术和经验,选择适合中国柑橘生产特点的技术路线,提高中国柑橘生产机械化水平。

3 中国柑橘生产机械化发展方向

3.1 柑橘生产机械化发展思路

中国柑橘生产机械化的发展不能完全照搬国外发展模式,甚至有些机械与装备也不是直接引进就可以使用。特别像美国和澳大利亚等国,人口密度小,橘园规模大,地势比较平坦,橘园的坡度小,如澳大利亚橘园的坡度一般都小于 15° ,柑橘树行距设置较大,可以使用大型机械作业,效率较高。中国的柑橘大部分在山坡地种植,有的坡度高达 40° 以上,行株距也不统一,机械作业环境复杂,所以,中国柑橘生产机械化的发展一定要适合当地柑橘品种、生产规模、地形地貌特点与生产状况,还要考虑社会经济发展及果农的经济承受能力等多方面的因素。

中国柑橘生产机械化应从灌溉、施肥、施药、修剪和橘园运输等几个主要环节重点发展。灌溉、施肥和施药机械应以水、肥、药液等资源的高效利用和减小环境影响为主要目标,同时考虑减轻劳动强度。修剪和橘园运输机械,则应以轻简化、省力化为主要目标,以减轻果农的劳动强度,提高劳动生产率。

3.2 主要机械化技术与装备发展要点

灌溉与施肥机械:重点发展水肥一体化灌溉技术与设施,树下微喷灌和滴灌为主要模式,尤其是滴灌,它除了节水外,投资并不比喷灌高,而且对地形、土壤、环境的适应性强,不受风力和气候影响。智能化灌溉技术及相关配件是研究重点,如低功耗滴灌自动控制器,基于土壤、树干、叶片特性变化的传感器、信号无线网络传输技术等。为了生产高品质的柑橘,有机肥料的施用尤为重要,需要研发实用的开沟机和挖穴施肥机等。

施药机械:一方面要提高目前使用的喷雾机技术水平,另一方面研究开发精确施药技术和新的喷雾机型。利用自动控制系统和风送系统可以有效提高喷雾机的作业性能,可将其作为施药机械的重点研究内容。利用机电一体化自动控制技术,可以提高施药机械操作的方便性,减轻劳动强度,如作业速度、喷雾量、喷雾压力、作业面积、药箱内药液余量等参数的控制与显示等。也可开发应用无线遥控装置,提高施药的安全性。发展精确施药技术,如自动对靶施药,该技术是在喷雾机上安装芯片、红外线光谱探测器、光学传感器或超声波传感器,自动辨别目标,针对目标施药,自动对靶施药技术可节约用药 $60\% \sim 80\%$ 。静电式喷雾机也是一个发展方向。风送式喷雾机的一些关键技术参数仍需进行深入研究。要针对不同的病虫害,研究合适的农药用量,喷雾雾滴直径大小、喷雾方式和周期,制定施药技术规

范。另外,结合山地橘园的实际,研究轻简实用的喷雾系统,如国家柑橘产业技术体系机械研究室研发的山地橘园电动喷雾机遥控装置(图7)和山地橘园管道恒压喷雾系统等。

修剪机械:应重点开发应用以汽油机或气泵为动力的修剪机具。配合修剪机械,研制小型树枝粉碎机,以处理剪下来的柑橘树残枝。修剪环节的技术性强且费工,其发展趋势是简化修剪。

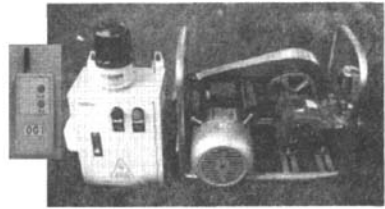


图7 电动喷雾机遥控装置

Fig.7 Remote control device for electric sprayer

采收及运送设施:中国目前还不适用完全机械化收获柑橘,除了受橘园条件限制外,还有人工、品种、规模、效率和成本等多方面的因素。但是,可以根据橘园条件和实际情况,研究发展柑橘采收辅助机械与装备。在橘园运输方面,借鉴日本等国的经验,研制开发适合山地橘园作业的运输系统,除了运送采摘的柑橘,还可以运送肥料和农药等农用物资,同时研究与运输系统相匹配的喷雾机和修剪机等作业机具,提高多个环节的机械化程度。国家柑橘产业技术体系机械研究室已经研发出单轨、双轨和索道运送系统,图8为柑橘收获时链式循环索道运送系统工作时的情景。该系统依山而建,使用链索进行传输,运行速度为 0.3 m/s ,每小时可输送 6 t 左右的柑橘和肥料等物品,索道的驱动装置可选用电动机、汽油机或柴油机等为动力。如果针对电力驱动的运输系统,研发远程遥控操作系统,则可降低劳动强度和减少用工量。还可根据橘园的地形地貌条件研发不同形式的轻简化和实用安全的运输系统。



图8 索道运送系统

Fig.8 Cable transportation in citrus orchard

加强高新技术在柑橘机械化生产上的研究和应用。国外已经按照“精细农业”的技术思想,在柑橘生产机械化方面做了大量研究,有些已经进入生产

应用。中国也应结合国情,将 GPS、GIS、RS、视觉导航、光谱分析和图像处理等新技术应用于柑橘生产。比如,研制能实施变量施药的机械技术与装备,实现在对柑橘树病虫害定位、数据采集及处理的基础上,控制施药机械的喷量、速度及位置,达到对柑橘树进行变量喷雾的目的,最大限度减少农药的使用量,提高农药利用率。

3.3 提高柑橘生产机械化水平的相关措施

(1) 探讨柑橘生产规模经营模式

在国家柑橘优势区域发展规划的基础上,结合良种选育和结构调整,使柑橘生产基地的区域布局和品种结构更加合理与优化,逐步形成优质化、规模化、区域化、专业化的商品柑橘生产基地,以优势产品引导果农提高连片经营规模。同时,出台相应政策,发挥包括政府、行业协会、企业、农机专业户和大型种植户在内的各种组织与机构的作用。以“企业+基地+果农”、“公司+果农”、“合作经济组织+果农”等模式组建多样化的服务组织,提高生产的组织化程度和专业化水平。

(2) 建设柑橘质量标准体系

柑橘质量标准既包括种植生产与管理规程,也包括产后商品化处理标准。质量标准体系是实现生产标准化、处理规模化、销售规范化的重要保证。中国生产的柑橘质量差异很大,商品化处理率不到鲜销量的 5%。中国应加快制订与国际接轨的质量标准体系,规范柑橘生产,增强柑橘产业发展后劲。

(3) 将橘园建设与机械化生产有机结合

机械化作业及装备应用要作为橘园规划建设的重要内容之一。建园时就要注意农艺与农机的有机结合,比如,修建橘园道路,安装灌溉设施与装备,保持柑橘品种结构、行株距和树形规格的一致,形成标准化生产,为机械化作业和现代化管理创造条件。

(4) 研究机械化作业模式

研制出的机械与装备能否在生产上大面积推广和应用,除了达到功能设计要求,机械化作业模式也非常重要。比如,农机专业户、机械化专业服务公司等服务形式都是提高柑橘生产机械利用率、降低生产成本、推进柑橘生产机械化快速发展的有效手段。

参 考 文 献

- Ortuño M F, Brito J J, Conejero W. Using continuously recorded trunk diameter fluctuations for estimating water requirements of lemon trees[J]. *Irrigation Science*, 2009, 27(4): 271 ~ 276.
- Brakke M P, Allen L H, Jr Jones J W. Modelling effects of partial root-zone irrigation on stomatal conductance and transpiration of young citrus[J]. *Transactions of the ASAE*, 2003, 46(2): 345 ~ 357.
- Lee K, Ehsani R. A laser-scanning system for quantification of tree-geometric characteristics[C] // 2008 ASABE Annual International Meeting, 083980, Rhode Island, 2008.
- Zaman Q U, Schumann A W, Miller W M. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2005, 21(3): 331 ~ 335.
- Miller W M, Schumann A, Whitney J D, et al. Variable rate applications of granular fertilizer for citrus test plots[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2005, 21(5): 795 ~ 801.
- Ortí-García E, Val L. Adjustment of the dose distributed to the size of the tree in different citrus varieties[C] // 2006 ASABE Annual International Meeting, 061121, Oregon, 2006.
- Pai N, Salyani M, Sweeb R D. Adjusting air-blast sprayer airflow based on tree foliage density[C] // 2008 ASABE Annual International Meeting, 083653, Rhode Island, 2008.
- Salyani M, Farooq M, Sweeb R D. Spray deposition and mass balance in citrus orchard applications[J]. *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(6): 1 963 ~ 1 969.
- Pydipati R, Burks T F, Lee W S. Identification of citrus disease using colour texture features and discriminant analysis[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 52(1 ~ 2): 49 ~ 59.
- Okamoto H, Lee W S. Green citrus detection using hyper-spectral imaging[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 66(2): 201 ~ 208.
- Sanders K F. Orange harvesting systems review[J]. *Biosystems Engineering*, 2005, 90(2): 115 ~ 125.
- Whitney J D. Design and performance of an air shaker for citrus fruit removal[J]. *Transactions of the ASAE*, 1977, 20(1): 52 ~ 56.
- Whitney J D, BenSalem E, Salyani M. The effect of trunk shaker patterns on Florida orange removal [J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2001, 17(4): 461 ~ 464.
- Coppock G E, Churchill D B, Hedden S L. Shaker stroke affects selective removal of 'Valencia' oranges[J]. *Transactions of the ASAE*, 1985, 28(4): 1 094 ~ 1 096.

- 15 Peterson D L. Mechanical harvester for process oranges[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 1998, 14(5): 455 ~ 458.
- 16 Sanders K F. Selective picking head for citrus harvester[J]. *Biosystems Engineering*, 2005, 90(3): 279 ~ 287.
- 17 Torregrosa A, Ortí E, Martín B, et al. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain [J]. *Biosystems Engineering*, 2009, 104(1): 18 ~ 24.
- 18 Burns J K, Roka F M, Li K T, et al. Late season Valencia orange mechanical harvesting with an abscission agent and low-frequency harvesting[J]. *Hort. Science*, 2006, 41(3): 660 ~ 663.
- 19 Chinchuluun R, Lee W S, Ehsani R. Machine vision system for determining citrus count and size on a canopy shake and catch harvester[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2009, 25(4): 451 ~ 458.
- 20 Ehsani M R, Grift T E, Maja J M, et al. Two fruit counting techniques for citrus mechanical harvesting machinery[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 65(2): 186 ~ 191.
- 21 Hannan M W, Burks T F. Current developments in automated citrus harvesting [C] // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, 043087, Ontario, 2004.
- 22 Bulanon D M, Burks T F, Alchanatis V. Fruit visibility analysis for robotic citrus harvesting[J]. *Transactions of the ASABE*, 2009, 52(1): 277 ~ 283.
- 23 Morinaga K, Sumikawa O, Kawamoto O, et al. New technologies and systems for high quality citrus fruit production, labor-saving and orchard construction in mountain areas of Japan[J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 2(1): 59 ~ 67.
- 24 Yamamoto S, Kanamitsu M, Ajiki K, et al. S-shaped multipurpose monorail for hillside orchards [J]. *JARQ*, 2007, 41(2): 147 ~ 152.
- 25 Aleixos N, Blasco J, Navarro F, et al. Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2002, 33: 121 ~ 137.
- 26 Whitney J D, Miller W M, Wheaton T A, et al. Precision farming application in Florida citrus [J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 1999, 15(5): 399 ~ 403.
- 27 Subramanian V, Burks T F, Arroyo A A. Development of machine vision and laser radar based autonomous vehicle guidance systems for citrus grove navigation[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 53(2): 130 ~ 143.
- 28 Du Q, Chang N, Yang C, et al. Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modelling for citrus pest management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86(1): 14 ~ 26.
- 29 Lins E C, Belasque J, Marcassa L G. Detection of citrus canker in citrus plants using laser induced fluorescence spectroscopy[J]. *Precision Agriculture*, 2009, 10(4): 319 ~ 330.
- 30 宋自奋, 张玉, 祁春节. 中国柑橘市场竞争力比较分析[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(26): 11 602 ~ 11 603, 11 610.
Song Zifen, Zhang Yu, Qi Chunjie. Comparative analysis of market competitiveness of Chinese citrus[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2008, 36(26): 11 602 ~ 11 603, 11 610. (in Chinese)

(上接第 83 页)

- 5 王新彦. 割草机连续翻滚中翻滚保护装置的有限元分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 85 ~ 88.
Wang Xinyan. Finite element analysis of mower rops in continuous roll[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(1): 85 ~ 88. (in Chinese)
- 6 Hyder M J, Asif M. Optimization of location and size of opening in a pressure vessel cylinder using ANSYS[J]. *Engineering Failure Analysis*, 2008, 15(1 ~ 2): 1 ~ 19.
- 7 Sergio Baragetti, Stefano Cavalleri, Angelo Terranova. A numerical and experimental investigation on the fatigue behavior of a steel nitrided crankshaft for high power IC engines[J]. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 2010, 132(1): 1 ~ 11.
- 8 李朝峰, 刘杰, 毛居全, 等. 大型复杂机械节点导入建模及有限元分析[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(8): 124 ~ 127.
Li Chaofeng, Liu Jie, Mao Juquan, et al. Finite element modeling and analysis of large complex-structure equipment based on imported joints[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(8): 124 ~ 127. (in Chinese)
- 9 李玉宝, 翟华, 柯尊忠. 薄壁圆筒零件变形的有限元法研究[J]. *合肥工业大学学报:自然科学版*, 2005, 28(2): 121 ~ 124.
Li Yubao, Zhai Hua, Ke Zunzhong. Research on thin-walled column parts with finite element analysis method[J]. *Journal of Hefei University of Technology: Natural Science*, 2005, 28(2): 121 ~ 124. (in Chinese)
- 10 贾晶霞, 刘汉武, 郝新明, 等. 马铃薯收获机挖掘铲有限元静力学分析[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(9): 86 ~ 88.
Jia Jingxia, Liu Hanwu, Hao Xinming, et al. Finite element analysis for blade of potato harvester[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(9): 86 ~ 88. (in Chinese)

作者: 洪添胜, 杨洲, 宋淑然, 朱余清, 岳学军, 苏建, Hong Tiansheng, Yang Zhou, Song Shuran, Zhu Yuqing, Yue Xuejun, Su Jian
作者单位: 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州, 510642
刊名: 农业机械学报 ISTIC EI PKU
英文刊名: TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY FOR AGRICULTURAL MACHINERY
年, 卷(期): 2010, 41(12)

参考文献(30条)

1. Harman M W;Burks T F [Current developments in automated citrus harvesting](#) 2004
2. Ehsani M R;Grift T E;Maja J M [Two fruit counting techniques for citrus mechanical harvesting machinery](#)[外文期刊] 2009(02)
3. Chinchuluun R;Lee W S;Ehsani R [Machine vision system for determining citrus count and size on a canopy shake and catch harvester](#)[外文期刊] 2009(04)
4. Burns J K;Roka F M;Li K T [Late season Valencia orange mechanical harvesting with an abscission agent and lowfrequency harvesting\[J\].Hort](#) 2006(03)
5. Torregrosa A;Ortí E;Martín B [Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain](#)[外文期刊] 2009(01)
6. Sanders K F [Selective picking head for citrus harvester](#) 2005(03)
7. Peterson D L [Mechanical harvester for process oranges](#)[外文期刊] 1998(05)
8. Coppock G E;Churchill D B;Hedden S L [Shaker stroke affects selective removal of ' Valencia' oranges](#) 1985(04)
9. Whitney J D;BenSalem E;Salyani M [The effect of trunk shaker patterns on Florida orange removal](#)[外文期刊] 2001(04)
10. Whitney J D [Design and performance of an air shaker for citrus fruit removal](#) 1977(01)
11. Sanders K F [Orange harvesting systems review](#)[外文期刊] 2005(02)
12. Okamoto H;Lee W S [Green citrus detection using hyper-spectral imaging](#)[外文期刊] 2009(02)
13. Pydipati R;Burks T F;Lee W S [Identification of citrus disease using colour texture features and discriminant analysis](#)[外文期刊] 2006(1-2)
14. Salyani M;Farooq M;Sweeb R D [Spray deposition and mass balance in citrus orchard applications](#)[外文期刊] 2007(06)
15. Pai N;Salyani M;Sweeb R D [Adjusting air-blast sprayer airflow based on tree foliage density](#) 2008
16. Ortí-García E;Val L [Adjustment of the dose distributed to the size of the tree in different citrus varieties](#) 2006
17. Miller W M;Schumann A;Whitney J D [Variable rate applications of granular fertilizer for citrus test plots](#)[外文期刊] 2005(05)
18. Zaman Q U;Schumann A W;Miller W M [Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size](#)[外文期刊] 2005(03)
19. Lee K;Ehsani R [A laser-scanning system for quantification of tree-geometric characteristics](#) 2008
20. Brakke M P;Allen L H;Jr Jones J W [Modelling effects of partial root-zone irrigation on stomatal](#)

conductance and transpiration of young citrus[外文期刊] 2003(02)

21. Ortu(n)o M F; Brito J J; Conejero W Using continuously recorded trunk diameter fluctuations for estimating water requirements of lemon trees[外文期刊] 2009(04)

22. 宋自奋; 张玉; 祁春节 中国柑橘市场竞争力比较分析[期刊论文]-安徽农业科学 2008(26)

23. Lins E C; Belasque J; Marcassa L G Detection of citrus canker in citrus plants using laser induced fluorescence spectroscopy[外文期刊] 2009(04)

24. Du Q; Chang N; Yang C Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modelling for citrus pest management[外文期刊] 2008(01)

25. Subramanian V; Burks T F; Arroyo A A Development of machine vision and laser radar based autonomous vehicle guidance systems for citrus grove navigation[外文期刊] 2006(02)

26. Whitney J D; Miller W M; Wheaton T A Precision farming application in Florida citrus[外文期刊] 1999(05)

27. Aleixos N; Blasco J; Navarron F Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors[外文期刊] 2002(2)

28. Yamamoto S; Kanamitsu M; Ajiki K S-shaped multipurpose monorail for hillside orchards 2007(02)

29. Morinaga K; Sumikawa O; Kawamoto O New technologies and systems for high quality citrus fruit production, laborsaving and orchard construction in mountain areas of Japan[外文期刊] 2005(01)

30. Bulanon D M; Burks T F; Alchanatis V Fruit visibility analysis for robotic citrus harvesting[外文期刊] 2009(01)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nyjxxb201012022.aspx