

# 蔬菜机械化收获技术及其发展\*

王 俊 杜冬冬 胡金冰 朱建锡

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

**摘要:** 随着现代农业技术的发展,蔬菜机械化收获技术在我国越来越受到重视。从我国蔬菜生产的实际情况出发,分析了蔬菜收获机械的特点,分别从叶菜类蔬菜、根菜类蔬菜、果菜类蔬菜的角度,综述了甘蓝收获机、胡萝卜收获机、番茄收获机等我国亟须重点解决的蔬菜收获机国内外研究进展及其发展。结合蔬菜收获机械的发展与推广,分析了其存在的问题,指出了该领域的研究方向:蔬菜物理特性的研究,农艺结合农机的研究,机械结构的优化设计,收获机械通用性的提高,智能化的收获系统。

**关键词:** 蔬菜 甘蓝 胡萝卜 番茄 收获机械

**中图分类号:** S225.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0081-07

## 引言

最新统计资料显示,2011年我国蔬菜产量、产值均超粮食,首次成为我国第一大农产品,今后或将延续这一态势。在蔬菜生产作业中,收获作业约占整个作业量的40%。由于蔬菜收获的复杂性,目前我国的蔬菜收获作业基本依靠人工完成。随着我国城市化进程的推进,农村劳动力的减少,对于蔬菜这种劳动密集型产业,发展蔬菜收获机械,实现蔬菜生产的机械化有助于提高我国农业的生产效率<sup>[1]</sup>。

蔬菜收获机械根据收获蔬菜部位的不同,可以分为叶菜类收获机、根菜类收获机和果菜类收获机等。叶菜类收获机包括甘蓝、大白菜、菠菜、鸡毛菜等收获机,根菜类收获机包括胡萝卜、萝卜、牛蒡、山药等收获机,果菜类收获机包括番茄、黄瓜、毛豆等收获机。

本文分别从叶菜类、根菜类和果菜类的角度,重点综述了甘蓝收获机、胡萝卜收获机和番茄收获机等我国亟须解决的蔬菜收获机国内外研究进展及其发展。

## 1 蔬菜收获机械的特点

### (1) 收获对象的复杂性

与工业产品的标准化特点不同,蔬菜的生长具有随机性,受土壤、天气、肥料等的影响很大。同品种的蔬菜长成之后形态不一,生长发育程度不齐,且蔬菜的果实、枝叶等相对脆弱。这就要求在研发前必须研究蔬菜的几何与物理特性等,并且依此设计

具有一定柔性、智能化的蔬菜收获机械。

### (2) 收获作业的一次性

与果蔬采摘机器人不同,一般蔬菜收获机械不具有机器视觉系统,因此多采用一次性收获的方式收获蔬菜,虽然有一定的损失率和损伤率,但该方式大大提高了蔬菜收获的效率,特别适用于采收成熟期一致或者用于食品加工的蔬菜。

### (3) 收获机械的专用性

蔬菜种类繁多,供食用的器官不同,几何形态和物理特性也各不相同,因此设计的收获机械大多专用性很强,而通用性不高。在考虑成本因素时,就要求提高蔬菜收获机械的通用性,开发针对某大类蔬菜收获的机型,通过更换部分零部件或调整工作参数实现多种蔬菜收获。

### (4) 收获机械的经济性

随着我国人口的老齡化,农村劳动力的减少,相比于采摘机器人的低效率、低可靠性,发展蔬菜收获机械则更加经济现实,蔬菜收获机械化势在必行。Cembali等对芦笋的选择性与非选择性收获机进行经济性比较时发现,当收获用于加工的芦笋或控制芦笋损伤率低于5%时,非选择性收获机更具有经济性,而选择性收获机成本高,其利润跟人工收获差不多<sup>[2]</sup>。

## 2 国内外研究发展

国外对蔬菜收获机械的研究起步较早,技术也相对成熟,例如叶菜类的甘蓝收获机、圆白菜收获机、鸡毛菜收获机等,根菜类的胡萝卜收获机、马铃

收稿日期: 2013-11-10 修回日期: 2013-12-28

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA10A504)

作者简介: 王俊,教授,博士生导师,主要从事经济作物收获机械研究,E-mail: jwang@zju.edu.cn

薯收获机等,果菜类的番茄收获机等,都有商业推广的机型。其中欧美国家多采用大型侧牵引式联合收获机,适用于大农场作业<sup>[3-7]</sup>。日本、韩国、台湾等地区多采用小型自走式收获机,适用于垄作和小田作业<sup>[8]</sup>。部分蔬菜,如番茄、黄瓜、辣椒等,由于成熟期不一致,虽然有收获机械的研制,但是该类机型仅限于收获供食品厂加工灌装的蔬菜。而主要满足鲜食需求,生长状况又复杂的蔬菜,如花菜、刀豆、豇豆等,收获机械未有研究报道。国内对于蔬菜收获机械的研究处于刚起步阶段,除少数根类蔬菜有成熟收获机型外,如马铃薯、山药等收获机,多数蔬菜收获机械的研究处于理论阶段,如甘蓝、胡萝卜、番茄等收获机,还未有成熟机型以供商业推广。本文着眼于国外已有商业推广、我国正在研究中的蔬菜收获机械。

## 2.1 叶菜类蔬菜收获机械

甘蓝收获机为叶菜类蔬菜收获机械的典型代表。1931年,前苏联率先研制出世界上第一台甘蓝收获机,该收获机为左、右双行收获结构,主要工作部件包括左、右拔取装置、圆盘式割刀、横向刮板式输送带等,奠定了甘蓝收获机的基本结构。

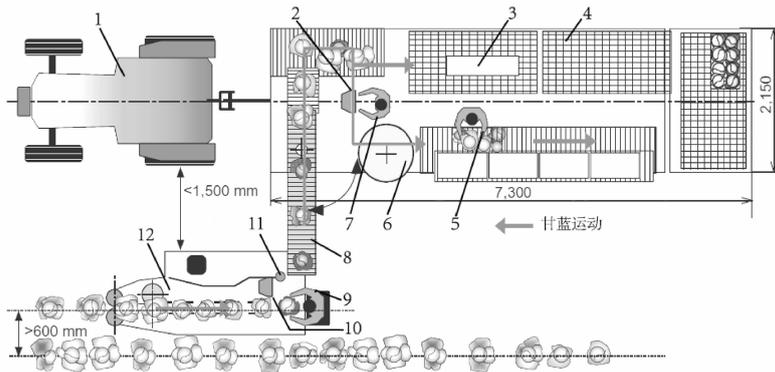


图1 甘蓝收获机

Fig.1 Cabbage harvester

1. 拖拉机 2. 加工装置 3. 托盘 4. 拖车 5. 工人 C 6. 转盘 7. 工人 B 8. 液压传送带 9. 工人 A 10. 加工装置 11. 拖拉机控制器  
12. 收获机械

国内,甘肃农业大学在分析甘蓝根茎切割力影响因素的基础上,对4YB-I型甘蓝收获机进行了三维建模,并确定了切割器的具体参数,但还未完成样机的制造和田间性能测试<sup>[13-15]</sup>。浙江大学设计了一种甘蓝收获机械,能完成甘蓝的拔取导正、夹根输送、切割和外包叶去除等作业<sup>[16-20]</sup>。

甘蓝收获机在实际收获过程中还存在着蔬菜损伤、堵塞等问题,但在多次选择性甘蓝收获机无法满足生产要求的前提下,上述问题的解决将促进甘蓝收获机的推广。

与甘蓝收获机原理相类似,大白菜<sup>[21]</sup>、结球莴苣<sup>[22]</sup>等结球叶菜收获机,大多采用先拔取后

Shepardson等研发的甘蓝收获机包括拔取装置、夹持升运装置、切割装置等部分。该机通过双圆盘结构拔取甘蓝,并由升运传送带夹持输送甘蓝至圆盘割刀处完成根部的切除,从而实现甘蓝的收获,并设计有一个重新定位机构,使得甘蓝在升运过程中保持竖直。但该机型机械结构复杂,不利于自动控制,适应能力较差<sup>[9-10]</sup>。

Kanamitsu等在研究甘蓝几何与力学特性的基础上,设计了牵引式甘蓝收获机。引入了一套带有位置伺服控制的高度自动调节器,能根据地面高低起伏自动调整收获机的升降,通过田间试验甘蓝的拔取率达到了100%。但该机型仅能完成甘蓝的拔取和切割作业,后续的剥叶和装箱还需人工完成,生产效率偏低<sup>[11]</sup>。

Hachiya等研制了一种集收获、输送、装箱等于一体的甘蓝收获机,如图1所示。采用旋转式双圆盘的拔取装置,通过传送带将甘蓝输送至圆盘割刀处完成切割。工人A操作收获机械和拖拉机,工人B负责剥去剩余的甘蓝外包叶,最后工人C挑选甘蓝并装箱。该机型收获效率比人工收获提高了一倍,已于2001年底实现商业化<sup>[12]</sup>。

切根的方式收获蔬菜,也有如意大利Hortech公司的Rapid T机型采用先切根后拾取的方式收获甘蓝。绿叶蔬菜如菠菜、鸡毛菜等,用机器播种后两个星期就可以收割,Urschel设计的收获机采用圆盘割刀将菠菜等从根部切断,然后由传送带收获食用叶子<sup>[23]</sup>。意大利Hortech公司的Slide FW机型采用的则是水平锯齿割刀,且切割高度可自动调节。绿叶蔬菜比较容易实现机械化收获,但对蔬菜的种植规范和土地平整度要求较高。其他叶菜类收获机,如大葱<sup>[24]</sup>、韭菜等收获机,国外也有商业推广的机型,如丹麦Asa-Lift公司的韭菜收获机等。

## 2.2 根菜类蔬菜收获机械

根菜类蔬菜收获机最有代表性的为胡萝卜收获机。1937年,美国成功研制了世界上第一台拔取式胡萝卜收获试验样机,从而在此基础上研制了一系列根类作物牵引式联合收获机。

Horia等研制的胡萝卜收获机包括拔取装置、输送系统和机架等。工作时,先由松土铲挖松土壤,拔取传送带夹持樱叶将胡萝卜拔出,输送至割刀处切除胡萝卜茎叶,根部随传送带装箱完成收获。通过田间试验,当胡萝卜收获机的具体参数为:拔取传送带速度 $0.5\text{ m/s}$ ,倾斜角 $45^\circ$ ,拔取点高度 $5\text{ cm}$ ,此时该机械能达到最佳工作指标:拔取率 $99.5\%$ 、根部破损率 $0.5\%$ 和输送成功率 $86.46\%$ <sup>[25]</sup>。

Abe等研制的胡萝卜收获机与目前市场上成熟的机型更为接近,如图2所示,主要工作部件有松土铲、拔取输送带、圆盘割刀、分选装置等。其中切叶部分的工作原理:由于托盘与输送带呈一定的角度,当胡萝卜输送至托盘处时,根部被托盘挡住,胡萝卜樱叶于根茎结合处被圆盘割刀切除。经该装置切割的胡萝卜切口整齐,切割质量好<sup>[8]</sup>。

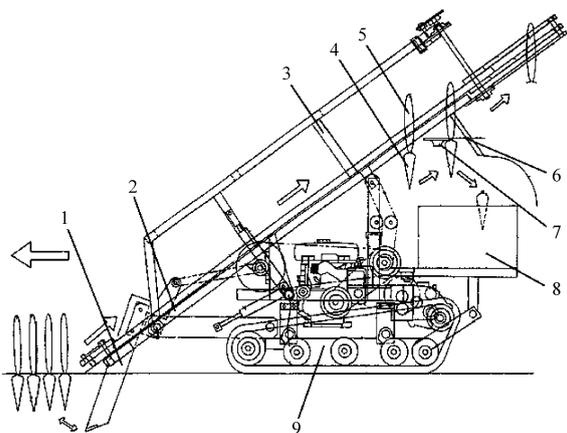


图2 胡萝卜收获机

Fig.2 Carrot harvester

1. 松土铲 2. 拔取输送带 3. 机架 4. 胡萝卜根部 5. 胡萝卜叶 6. 圆盘割刀 7. 托盘 8. 收集箱 9. 收获机底座

Kowalczuk等研究了Alina Supernova胡萝卜联合收获机工作参数不同时对胡萝卜收获质量的影响。发现当收获机的工作速度为 $1.5$ 、 $1.8$ 和 $3.1\text{ km/h}$ ,测得的胡萝卜损失率分别为 $2.4\%$ 、 $0.3\%$ 和 $0.2\%$ ,根部破损率分别为 $2.3\%$ 、 $0.9\%$ 和 $1.1\%$ 。当土壤湿度超过 $19.1\%$ 时,无法满足机械作业条件<sup>[26-27]</sup>。

在国内,东北农业大学通过田间试验,取得了萝卜的几何参数、松土位置参数优化组合和拔取力等物理学特性,并依此设计了萝卜收获机,通过仿真得出了振动松土铲等主要机构的合理参数<sup>[28-30]</sup>。

王家胜等设计的自走式双行胡萝卜联合收获机,可同时完成双行胡萝卜的挖掘、夹持输送、根叶分离、去土和收集等作业,该机械的净收率达到了 $98.2\%$ ,损伤率为 $2.5\%$ ,生产率为 $0.11\text{ hm}^2/\text{h}$ <sup>[31]</sup>。

目前,胡萝卜机械化收获的问题基本上得到了解决,并且净收率高,损伤率低。为满足更大的市场需求,胡萝卜收获机已经向着智能化,多行收获,高速收获,兼收其他根茎类作物的方向发展。

在其他根菜类蔬菜收获机的研究中,我国也做了比较多的研究工作,在引进国外技术的同时,改进并商业化生产了部分机型,一定程度上满足了市场需求。例如中国农业大学研制的MZPH-820型马铃薯收获机<sup>[32-33]</sup>,甘肃农业大学研制的4UX-550型马铃薯收获机<sup>[34]</sup>,可一次完成马铃薯的挖掘、土壤及茎叶分离以及装箱等作业。在大蒜<sup>[35]</sup>、洋葱<sup>[36-37]</sup>等收获机研究中,国内外多采用分段式的收获方式,大蒜等由收获机将其从土里挖出并成条铺在地上,晾晒几天后由人工捡拾完成收获。此外,还有针对牛蒡、山药等深根类蔬菜的收获机,主要通过开深沟的方式收获深根类蔬菜<sup>[38-40]</sup>。在多功能根菜类蔬菜收获机的研究中,胡志超等研究了一种多功能根茎类作物联合收获机,能够收获花生、大蒜、洋葱等多种根茎类作物,并且收获性能良好<sup>[41]</sup>。日本小桥工业公司推出的HP600型自走式蔬菜收获机,可收获甘薯、马铃薯、胡萝卜等块根类蔬菜<sup>[42]</sup>。

## 2.3 果菜类蔬菜收获机械

番茄收获机主要收获用于加工的番茄,为果菜类蔬菜收获机械的典型代表。该方面研究国外起步较早,且技术也较为成熟,美国、意大利等国基本实现了番茄收获的机械化。

Meester研制的一种小型番茄收获机,为现代番茄收获机的典型代表,该机械包括切割捡拾装置、输送装置、果秧分离装置、分选装置等。作业时,番茄果秧由往复式割刀割断,番茄秧及果实被捡拾装置捡拾后随输送带至果秧分离装置进行果秧分离,经过间隙时可排出一部分的泥土、石块等杂质,分离后的番茄秧随回收输送带排出,果实随加工输送带至分选装置进行分选,经过鼓风机时可进一步去除碎片等杂质,分选装置中不符合要求的果实被剔除,符合要求的果实则输出装车<sup>[43]</sup>。

Arazuri等研究了机械化收获过程中番茄物理特性的变化,通过比较由不同型号番茄收获机采收的位于输送带上、拖车底部和拖车顶部番茄的硬度、表面阻力等参数,发现位于拖车底部的番茄硬度下降高达 $30\%$ ,导致破裂的表面阻力下降约 $6\%$ ,并建立了采收期间番茄破损比率的预测模型,用于选择

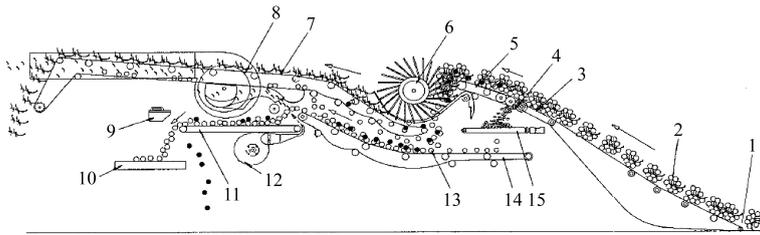


图3 番茄收获机

Fig. 3 Tomato harvester

1. 往复式割刀 2. 带秧果实 3. 捡拾输送带 4. 输送带隙 5. 接收输送带 6. 果秧分离装置 7. 回收输送带 8. 吸引装置 9. 分选装置  
10. 成品输送带 11. 加工输送带Ⅱ 12. 鼓风机 13. 番茄果实 14. 加工输送带Ⅰ 15. 碎片输送带

最优的采摘时间<sup>[44-45]</sup>。

在国内,开展番茄收获机研究的主要有石河子大学,彭霞、谭洪洋、孙日宾分别对4FZ-30自走式番茄收获机的收割台部分、果秧分离装置、分离装置的液压系统进行了设计试验。田间试验结果表明,该机平均生产率为 $0.26 \text{ hm}^2/\text{h}$ ,平均损失率为 $4.36\%$ ,平均破损率为 $4.10\%$ ,平均含杂率为 $3.09\%$ ,各项指标均达到NY/T1824—2009要求<sup>[46-49]</sup>。

番茄收获机基本能实现加工番茄机械化收获的目的,而适宜机械化收获的番茄品种,番茄的规模化种植,科学的种植和田间管理,减少收获过程中的损失等方面的研究比番茄收获机本身更加重要。

国内外对于果菜类收获机的研究相对偏少,主要集中于加工用果菜类收获机的研究。如黄瓜收获机,能一次完成黄瓜及藤蔓的切割和拾取、黄瓜与藤蔓的分离、输送装箱等作业<sup>[50]</sup>。中国农业机械化科学研究院研制的4ZCJT-500型籽瓜捡拾脱粒联合收获机,可一次完成南瓜等籽用瓜类的捡拾、割秧、脱籽等作业。保加利亚研制的辣椒收获机,可进行辣椒的采摘、收集、清选等作业,采收率高,损伤率低,与手工收获相比,劳动消耗降低 $93\%$ <sup>[51]</sup>。针对如毛豆、豌豆等荚豆类蔬菜研制的收获机,多采用旋转刷子摘取豆荚和叶子,脱粒滚筒分离豆荚和叶子的方法进行采收,但在实际生产中,分离效果并不理想,含杂率高、损失率高<sup>[52-54]</sup>。果菜类蔬菜因其复杂的生长状况使得机械化收获受到了一定的限制,尤其是攀援瓜类蔬菜,如丝瓜、苦瓜等,鲜食荚豆类蔬菜,如刀豆、豇豆等,几乎没有机械化收获的研究。

### 3 存在问题与研究方向

#### 3.1 存在问题

从国内外蔬菜收获机械的研究现状看,目前国外蔬菜机械化收获技术相对较为成熟,我国蔬菜生产的实际情况和蔬菜收获机械的研究还存在一些问题,制约着其在我国的发展与推广:

#### (1) 农艺粗放,重视程度低

蔬菜的机械化收获本身对农艺的要求较高,我国蔬菜的播种、移栽、浇灌等机械化程度不高,种植粗放,农艺不规范,这对收获机械的适应能力提出了更高的要求。此外,农民从思想上认为蔬菜生产是一种劳动密集型产业,更愿意接受手工作业,对蔬菜收获机械的重视程度不够。

#### (2) 体型大,制造成本高

由于国外农业多为大农场模式,尤其是欧美国家,设计的蔬菜收获机械体型庞大,制造成本高,价格昂贵。而我国蔬菜多为小农户种植,分布广而分散,一般农民负担不起投资成本,小型号、实用性强的机型更适宜于我国蔬菜的种植模式。

#### (3) 易堵塞,蔬菜损伤大

蔬菜收获作业条件恶劣,蔬菜叶梗、泥土等容易堆积在机械的死角,堵塞作业机械,影响收获效率。满足商业推广的机型要求具有良好的封闭性,并有一定的防堵塞、清淤能力。蔬菜的损伤率一直是评价收获机械性能的重要指标,蔬菜损伤不可避免,但应将蔬菜的损伤降低至可接受范围之内。

#### (4) 结构复杂,智能化程度低

传统的蔬菜收获机械结构复杂,较多地采用机械传动的方式增加了其复杂性,也易造成堵塞问题。农田高低起伏的变化、复杂多变的环境、作业对象的差异性使得其收获质量下降。随着电子电气技术的发展,电气传动、液压传动等将使蔬菜收获机械向着智能化的方向发展。

### 3.2 研究方向

针对以上问题,我国在引进国外蔬菜收获机械技术的基础上,基本解决了少数根类蔬菜的机械化收获问题,接下来要有重点地开展如甘蓝、胡萝卜、番茄等收获机械的研究,突破甘蓝收获中的切根、外包叶去除,胡萝卜收获中的整齐切叶、多行收获,番茄收获中的果秧分离、分选等关键技术,并带动其他叶菜类、根菜类、果菜类等蔬菜收获机械的发展,研制出一系列符合我国农田作业的机型,可着重从以

下5个方面开展研究工作:

### (1) 蔬菜物理特性的研究

蔬菜物理特性的研究是蔬菜收获机械研发的重要环节,通过蔬菜的几何形状(株径、株高、根茎、开展度等)、根茎叶的物理特性(抗拉强度、剪切力、拔取力等)等的研究,可以为蔬菜收获机械的研发、关键部件参数的设定提供理论依据。

### (2) 农艺结合农机的研究

美国早在1942年就开始培育适合机械化收获的番茄品种,采用大田直播的方式播种,规范对行和作业间距,同时采用催熟技术,从而使一次性番茄收获机成为可能<sup>[3]</sup>。在现代农业的发展中,农业机械化的实现越来越离不开农艺的支持,农机与农艺相辅相成,共同服务于农业生产的综合效益,蔬菜收获机械的研发也不外如是。通过相关学科专家的定期交流,协同研究,培育适宜于机械化收获的蔬菜品种,制定符合机械化收获的栽培模式,如行距、垄作/平作等,研发与农艺相融合的收获机械<sup>[55]</sup>。

### (3) 机械结构的优化设计

蔬菜收获机械体积大,耗材量大,面对农民的经济承受能力,需最大限度地降低制造成本。在满足机械性能的前提下,设计结构简单、紧凑、通用性好的机型,以满足广大的市场需求。同时,现代机械设计理论和方法为问题的解决提供了途径,CAD/CAE软件的运用,优化理论的研究,为进行机械的运动学、动力学仿真提供了技术平台,以达到优化机械结构的目的。

### (4) 收获机械的通用性

在目前的种植模式下,采用通用性差的收获机

械反而会增加蔬菜生产经营的成本,制约蔬菜收获机械的推广。寻找蔬菜的共性,设计合理的结构,通过更换部分零部件或者调整工作参数的方法来实现一机多用,可提高蔬菜收获机械的通用性。多功能根茎类蔬菜收获机的研制成功就为提高蔬菜收获机通用性提供了范例。

### (5) 智能化的收获系统

随着微电子技术的迅速发展,将机械系统和电气控制、液压控制或气动控制结合起来,收获机械的操纵性、方便性和智能化水平将进一步提高。国内有液压仿形扶茎机构的研究,能根据土地平整情况作出适当的反馈,实现松土铲松土深度的智能化调整<sup>[56]</sup>。

在国外蔬菜收获机有包含芦笋成熟度检测、番茄在线色选装置等的报道<sup>[57]</sup>,研究结合传感器、机器视觉等技术,用于收获过程的蔬菜数量重量信息的采集(进行自动产量)、智能化品质识别和在线筛选等,将是今后发展方向之一。

## 4 结束语

农村劳动力的减少与蔬菜需求的日益增长,要求我国蔬菜收获必须向机械化的方向发展。蔬菜收获机械具有较高的可靠性和经济性,适合规模化收获,为实现我国农业机械化的关键技术之一。借鉴国外相关机型的成功经验,有重点地开展甘蓝、胡萝卜、番茄等我国亟须解决的蔬菜收获机,研究蔬菜物理特性,优化设计机械结构,提高收获机械通用性,开发符合我国种植模式的蔬菜收获机,对实现我国蔬菜机械化收获具有重要意义。

## 参 考 文 献

- 1 耿端阳,张铁中,罗辉,等. 中国农业机械发展趋势分析[J]. 农业机械学报,2004,35(4):208-210.  
Geng Duanyang, Zhang Tiezhong, Luo Hui, et al. Analysis of agricultural machinery in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(4): 208-210. (in Chinese)
- 2 Cembali T, Folwell R J, Clary C D, et al. Economic comparison of selective and nonselective mechanical harvesting of asparagus [J]. International Journal of Vegetable Science, 2008, 14(1): 4-22.
- 3 Rasmussen W D. Advances in American agriculture: the mechanical tomato harvester as a case study[J]. Technology and Culture, 1968, 9(4): 531-543.
- 4 Bolhuis M W. Cabbage harvesting machine: EP, 1304914B1[P]. 2007-03-21.
- 5 Clifford C. Carrot harvesters: US, 2854083[P]. 1958-09-30.
- 6 Sandei L. Tomato harvester with improved plant handling devices: US, 6298644B1[P]. 2010-10-09.
- 7 Sandei L. Tomato harvester with improved devices for feeding cut plants to the shaker: US, 6350198B1[P]. 2002-02-26.
- 8 Abe T, Kobuchi T, Tokunaga H, et al. Harvester for root vegetables: US, 5431231[P]. 1999-07-11.
- 9 Shepardson E, Markwardt E, Millier W, et al. Mechanical harvesting of fruits and vegetables[J]. New York's Food and Life Sciences Bulletin, 1970, 5: 2-12.
- 10 Rehkugler G E, Shepardson E S, Pollock J G. Development of a cabbage harvester[C]//The Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Logan, 1969.
- 11 Kanamitsu M, Yamamoto K. Development of Chinese cabbage harvester[J]. JARQ, 1996, 30(1): 35-41.
- 12 Hachiya M, Amano T, Yamagata M, et al. Development and utilization of a new mechanized cabbage harvesting system for large fields[J]. JARQ, 2004, 38(2): 97-103.

- 13 王志强. 4YB-I型甘蓝收获机的总体设计[D]. 兰州:甘肃农业大学,2011.  
Wang Zhiqiang. Overall design of 4YB-I cabbage harvester[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- 14 张绢. 4YB-I型甘蓝联合收获机的设计[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012.  
Zhang Juan. Design of 4YB-I cabbage harvester[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 15 李小强,王芬娥,郭维俊,等. 甘蓝根茎切割力影响因素分析[J]. 农业工程学报,2013,29(10):42-48.  
Li Xiaoqiang, Wang Fen'e, Guo Weijun, et al. Influencing factor analysis of cabbage root cutting force based on orthogonal test [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(10): 42-48. (in Chinese)
- 16 王俊,杜冬冬. 甘蓝类蔬菜收获机及其方法:中国,201310248988.9[P]. 2013-06-27.
- 17 王俊,杜冬冬. 一种甘蓝类蔬菜收获的导正输送装置:中国,201310096655.9[P]. 2013-06-26.
- 18 王俊,杜冬冬. 甘蓝类蔬菜收获机的夹根输送装置及其方法:中国,201310249013.8[P]. 2013-06-21.
- 19 王俊,杜冬冬. 一种结球类蔬菜收获机的输送切割装置:中国,201310188981.2[P]. 2013-05-21.
- 20 王俊,杜冬冬. 甘蓝类蔬菜收获机的外包叶去除装置及其方法:中国,201310249036.9[P]. 2013-06-21.
- 21 姚会玲. 大白菜收获机关键部件的研究[D]. 北京:中国农业大学,2007.  
Yao Huiling. Research on critical components of Chinese cabbage harvester[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 22 Shepardson E S, Pollock J G, Rehkugler G E. Research and development of a lettuce harvester[J]. Transactions of the ASAE, 1974,71(693): 212-216.
- 23 Urschel W E. Spinach harvesting machine: US, 2240273[P]. 1941-04-29.
- 24 Medlock H G. Green onion harvester: US, 3989110[P]. 1976-11-02.
- 25 Horia M, El-Sahhar E A, Mostafa M M, et al. A developed machine to harvest carrot crop[J]. Farm Machinery and Power, 2008, 25(4): 1163-1173.
- 26 Kowalczyk J, Leszczynski N. An influence of the working parameters of *Alina supernova* combine on harvest quality of carrot roots [J]. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 2009(9): 128-133.
- 27 Kowalczyk J, Leszczynski N, Zarajczyk J. Evaluation of the work quality of 'Alina' carrot harvester at different work speeds[J]. Agricultural Engineering, 2002, 8(3): 57-61.
- 28 陈海涛,任珂珂,余嘉. 北方垄作萝卜物力学特性[J]. 农业工程学报,2010,26(6):163-169.  
Chen Haitao, Ren Keke, Yu Jia. Physical and mechanical properties of ridging radishes in Northern China[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 163-169. (in Chinese)
- 29 付威,陈海涛,王金峰,等. 拔取式萝卜收获机的设计研究[C]//中国农业工程学会2007年学术年会论文集,大庆,2007.
- 30 付威,陈海涛,坎杂. 萝卜收获机振动松土铲参数的优化[J]. 农业工程学报,2011,27(11):46-50.  
Fu Wei, Chen Haitao, Kan Za. Optimizing parameters on vibration break shovel of radish harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 46-50. (in Chinese)
- 31 王家胜,尚书旗. 自走式双行胡萝卜联合收获机的研制及试验[J]. 农业工程学报,2012,28(12):38-43.  
Wang Jiasheng, Shang Shuqi. Development and experiment of double-row self-propelled carrots combine[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(12): 38-43. (in Chinese)
- 32 刘宝,张东兴,李晶. MZPH-820型单行马铃薯收获机设计[J]. 农业机械学报,2009,40(5):81-86.  
Liu Bao, Zhang Dongxing, Li Jing. Design on MZPH-820 single-row potato harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 81-86. (in Chinese)
- 33 贾晶霞,张东兴,郝新明,等. 马铃薯收获机参数化造型与虚拟样机关键部件仿真[J]. 农业机械学报,2005,36(11):64-67.  
Jia Jingxia, Zhang Dongxing, Hao Xinming, et al. Parametric modeling and computer simulation of potato harvester parts[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 64-67. (in Chinese)
- 34 史增录,赵武云,吴建民,等. 4UX-550型马铃薯收获机悬挂机组液耦合仿真[J]. 农业机械学报,2011,42(6):98-102.  
Shi Zenglu, Zhao Wuyun, Wu Jinmin, et al. Suspension unit hydraulic-mechanical coupling simulation of 4UX-550 potato harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 98-102. (in Chinese)
- 35 刘德然,王延耀,王循进,等. 4S-6型大蒜收获机的研制开发[J]. 农机化研究,2010,32(4):96-98.  
Liu Deran, Wang Yanyao, Wang Xunjin, et al. Manufacture and exploitation of 4S-6 type garlic harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4): 96-98. (in Chinese)
- 36 Boyer E F. Onion harvester: US, 3163234[P]. 1964-12-29.
- 37 Khura T K, Mani I, Srivastava A P. Design and development of tractor-drawn onion (*Allium cepa*) harvester[J]. Indian Journal of Agricultural Science, 2011, 81(6): 528-532.
- 38 荐世春,孔凡祝,孙志民,等. 液压驱动垂直升降式山药收获机:中国,102870542[P]. 2013-01-16.
- 39 Matsuda K, Miyamoto K, Sato T. Harvest system, working performances, and coverage on various Chinese yam harvester[J]. Japanese Journal of Farm Working Research, 2001, 36(3): 163-170.
- 40 姚志刚,宋增芳. 牛蒡等深根类作物收获机的研究[J]. 新疆农机化,2004(2):30.  
Yao Zhigang, Song Zengfang. Research on deep root plants harvester[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2004(2): 30. (in Chinese)
- 41 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 多功能根茎类作物联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):58-61.  
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design and experiment on multifunctional root-tuber crops combine[J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 58–61. (in Chinese)
- 42 林亦秤. WFL-70 型立式微粉碎机研制成功/实用新型节能水能泵/自走式蔬菜收获机/甘蔗收割机等[J]. 福建农机, 2001(2):29.  
Lin Yiping. Success of WFL-70 state decay mill/new energy-saving water pump/self-propelled vegetable harvester/cane combine [J]. Fujian Agricultural Mechanization, 2001(2): 29. (in Chinese)
- 43 Meester D. Small scale tomato harvester: US, 7581375[P]. 2010-02-11.
- 44 Arazuri S, Jaren C, Arana J I, et al. Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 190–198.
- 45 Arazuri S, Arana I, Jaren C. Evaluation of mechanical tomato harvesting using wireless sensors[J]. Sensors, 2010, 10(12): 11 126–11 143.
- 46 李成松, 坎杂, 谭洪洋, 等. 4FZ-30 型自走式番茄收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 20–26.  
Li Chengsong, Kan Za, Tan Hongyang, et al. Development of 4FZ-30 self-propelled tomato harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(10): 20–26. (in Chinese)
- 47 彭霞. 番茄收获机割台部分的设计及仿真研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2009.  
Peng Xia. Design and simulation of the cutting units of tomato harvester[D]. Shihezi: Shihezi University, 2009. (in Chinese)
- 48 谭洪洋. 加工番茄果秧分离装置的试验研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2012.  
Tan Hongyang. The experimental study of processing tomato separation device [D]. Shihezi: Shihezi University, 2012. (in Chinese)
- 49 孙日宾. 番茄收获机分离装置液压与控制系统设计[D]. 石河子: 石河子大学, 2012.  
Sun Ribin. Design of hydraulic and control system for separation device of tomato harvester[D]. Shihezi: Shihezi University, 2012. (in Chinese)
- 50 Porter W W. Pickling cucumber harvester: US, 3518818[P]. 1970-07-07.
- 51 中国农机院情报组. 国外农业机械化概况[M]. 北京:《农业机械》编辑部, 1980:454–455.
- 52 Morgan A H. Vegetable and fruit harvester: US, 3473304[P]. 1969-10-21.
- 53 Mostafavand H, Kamgar S. Design and development of a cutter and feeder mechanism for chick pea harvester[C] //17th World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). Québec City, 2010.
- 54 Glancey J L. Analysis of header loss from podstripper combines in green peas[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1997, 68(1): 1–10.
- 55 蒋亦元. 农机科技创新中的农机与农艺相结合问题[J]. 农业机械学报, 2007, 38(3): 179–182.  
Jiang Yiyuan. Combination of agricultural machinery and agronomy in their scientific and technological innovations [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(3): 179–182. (in Chinese)
- 56 韩凤. 双行拔取式胡萝卜收获机设计研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.  
Han Feng. Design and research of double-row pulling carrot harvester [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 57 Sankai H, Shiigi T, Kondo N. Accurate position detecting during asparagus spear harvesting using a laser sensor[J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2013, 6(3): 105–110.

## Vegetable Mechanized Harvesting Technology and Its Development

Wang Jun Du Dongdong Hu Jinbing Zhu Jianxi

(School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** Vegetable mechanized harvesting technology has attracted much more attention in recent years in China. The features of vegetable harvesters were analyzed. In the sort of leaf vegetable, root vegetable and fruit vegetable, the research progress and development of cabbage harvester, carrot harvester and tomato harvester etc in domestic and overseas were reviewed respectively. In consideration of the development and the extension, some problems in vegetable harvesters were analyzed. The main research fields were presented, including the analysis of vegetable mechanical properties, the combination of agronomy and machinery, the optimization design of mechanical structure, the improvement of harvester generality and the intelligent system of machinery-electric-hydraulic admixture.

**Key words:** Vegetable Cabbage Carrot Tomato Harvesting machinery