

刘 东,肖宏儒,金 月. 叶类蔬菜有序收获机械的研究现状及发展对策[J]. 江苏农业科学,2019,47(3):27-31.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.006

叶类蔬菜有序收获机械的研究现状及发展对策

刘 东,肖宏儒,金 月

(农业部南京农业机械化研究所,江苏南京 210014)

摘要:我国是蔬菜生产大国,但目前对于叶类蔬菜的收获主要还是依赖于人工收获,这就大大影响了叶类蔬菜收获的效率,随着我国城镇化进程的加快,农业劳动力资源急剧短缺,叶类蔬菜的收获作为传统劳动密集型产业,收获机械短缺已严重制约了我国新型高效蔬菜产业的发展。叶类蔬菜有序收获机械的目的是为了实现有序切割、有序输送及有序收集,从而大大提高效率,节约劳动力,降低成本。为此,针对国内外叶类蔬菜有序收获机械进行综述,分析发展趋势,指出存在的问题,并据此提出未来的研究方向。

关键词:叶类蔬菜;有序收获;机械化

中图分类号:S225.92

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2019)03-0027-05

我国有着几千年的悠久农业发展史,蔬菜一直是中国人饮食当中不可或缺的食材,并且蔬菜产业一直以来都是我国农业农村经济的重要支柱产业,关乎农民钱袋子和城镇居民菜篮子。但我国蔬菜的收获机械化水平极低,目前依然沿袭传统的手工采收,严重制约了其规模发展。近年来,随着设施蔬菜生产技术、蔬菜移栽、灌溉和植保技术的逐渐成熟和广泛应用,蔬菜种植面积和产量逐年增加。据统计,2015 年我国的蔬菜种植面积超过 2 亿 hm^2 ,蔬菜产量达 7 亿 $\text{t}^{[1-3]}$,比狭义的粮食产量(指禾本科作物,主要包括稻、麦、糜等)还多。作业过程当中,收获作业约占整个作业量的 40%,但是目前蔬菜机械化水平却只有 20%,相对于粮食的机械化水平严重滞后,与其相应的地位严重不符。因此,对蔬菜收获过程实现机械化的要求越来越迫切^[4-9]。

由于蔬菜品种繁多,蔬菜的机械化收获也要根据其种类采取不同的办法来完成,根据收获部位不同,蔬菜收获机一般可分为叶类蔬菜收获机、根菜类蔬菜收获机、果菜类蔬菜收获机。就叶类蔬菜收获机而言,一般主要包括分禾装置、切割装置、输送装置等,其中分禾装置扶持茎秆,切割器进行切割,输送装置将切下的叶类送往料箱。按收获后蔬菜的堆放方式,蔬菜收获机又可分为无序收获机和有序收获机,其中有序收获后的蔬菜品相好,且有序收获又能节省对收获后的蔬菜进行二次整理所需的劳动力,相较于无序收获机更具有研发价值。但目前国内研制的蔬菜有序收获机还存在着蔬菜损伤率较大、收获效率低下以及实用性和适用性较差等问题,因此并未得到大面积的推广使用^[9-14]。

针对叶类蔬菜需求增长和人工生产效率低下的现状,分

析国内外叶类蔬菜有序收获机械化的研究现状及存在问题,创造性提出叶类蔬菜有序收获未来的研究方向,对改善我国现有蔬菜有序收获机械的不足及我国蔬菜产业的发展都具有重要意义。

1 叶类蔬菜有序收获机械的特点

1.1 作业环境的非结构性

叶类蔬菜的生长环境复杂,我国蔬菜种植情况总体上仍处于小规模、零散分布的状态,要求作业机械要面对各类不同的作业环境,对于露天生长的蔬菜来说,还要考虑恶劣的天气影响、田间环境等一系列的因素。随着设施农业在我国的快速发展,蔬菜收获机械的设计研究还须要考虑大棚内狭小的作业空间和特殊环境。

1.2 作业对象的非标准性

叶类蔬菜品种众多,不同品种蔬菜往往具有不同的几何形态和物理特点,即便是同品种的蔬菜生长也有一定的随机性,在受到土壤、天气、肥料等多种因素的影响下,长成之后的蔬菜也往往具有不同的形态,且叶类蔬菜的食用部分是叶片,叶片具有柔软易碎的物理特点,同时多数叶类蔬菜还须要实现有序收获,以便进一步提高收获效率,降低劳动强度。这就要求在进行叶类蔬菜有序收获机械的设计和研发的过程中,要考虑到蔬菜的特殊物理特性和几何形态,从而设计出适用性较强的蔬菜有序收获机械。

1.3 收获作业的特殊性

叶类蔬菜生长周期较短,对于采收成熟期一致或用于食品加工的叶类蔬菜来说,为了能够提高收获效率,一般多采用一次性收获作业的方式收获蔬菜,但不同于小麦、水稻等农作物,叶类蔬菜具有柔软易碎的物理特性,收获过程中,易造成较大程度上的损失率和损伤率,再加上叶类蔬菜复杂的生长环境,因此就对作业机械的设计和研发提出了更高的要求。

1.4 叶类蔬菜有序收获机械的专用性

不同品种的叶类蔬菜往往具有不同的几何形态和物理特性,就需要不同的作业机械收获,因此目前设计的叶类蔬菜收获机械专用性很强,通用性较差,这就大大增加了成本,阻碍

收稿日期:2017-10-30

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(15)1015];中国农业科学院创新工程。

作者简介:刘 东(1992—),男,安徽六安人,硕士研究生,研究方向为农业机械化工程。E-mail:liudongmy@sina.com。

通信作者:肖宏儒,研究员,主要从事农业机械相关方面的研究。E-mail:xhr2712@sina.com。

了叶类蔬菜收获机械的推广和普及。因此,在设计研发叶类蔬菜有序收获机械时,应当考虑这方面的因素,开发某些大面积种植的蔬菜收获机械,通过更换割台或部分零件就能实现不同品种蔬菜收获的机械,从而提高作业机械通用性^[15-18]。

2 叶类蔬菜有序收获机械的国内外研究现状

国外对蔬菜机械化收获的研究起步较早,技术也较为成熟,但与水稻、小麦等机械化水平相比,叶类蔬菜的机械化水平仍然相对偏低。据统计,美国用于加工的果蔬菜约 60% 采用机械化收获,而其中用于直接食用的鲜用果蔬菜的机械化收获只有小部分。目前,国外的科研机构正在加快蔬菜机械化收获方面的研究开发。

2.1 国外研究现状

2.1.1 SLIDE TW 型叶菜收获机 在叶类蔬菜收获机械中,以意大利 HORTECH 公司研制的 SLIDE TW 型叶菜收获机为例,SLIDE TW 型叶菜收获机采用环状带刀的切割方式,传动方式选用电机或液压马达,结构简单且能实现作业速度的连续可调(图 1)。SLIDE TW 型叶菜收获机可以实现叶类蔬菜的有序收获,主要工作过程和原理如下:在整机前进过程中,扶禾装置能实现叶类蔬菜的分行收获,分禾器将蔬菜植株扶起并拢入分禾器内部;环状带刀将被夹持的蔬菜植株进行切割;机具前进,波纹状夹持带完成将切割后的蔬菜进行柔性夹持的输送过程,波纹状夹持带的夹持力能保证蔬菜植株的立式输送;叶类蔬菜被输送至作业机器上端由人工进行捆扎。SLIDE TW 型叶菜收获机能够实现叶类蔬菜收获过程中对蔬菜收获的有序切割、有序输送及有序收集,实现了叶类蔬菜的有序收获,缺点是结构复杂,仅适用于茎秆类蔬菜或大棵青菜,不利于机具推广^[19]。

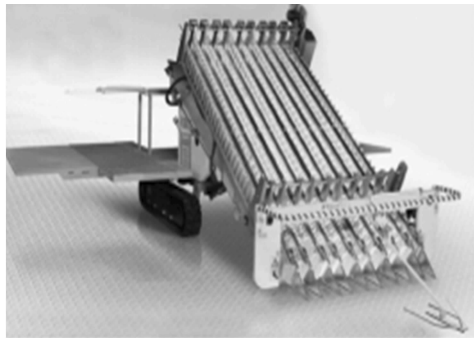


图1 SLIDE TW 型叶菜收获机

2.1.2 MT-200 型叶菜收获机 韩国播蓝特蔬菜公司研制的 MT-200 叶菜类小型收割收获机,整机质量为 140 kg,小巧轻便,收割高度可调(图 2),收割作物高度范围为 3 ~ 20 cm,工作效率可达到 667 m²/h(实测 40 kg/min),相比于人工收获,大大提高了收获效率,节约了劳动力。具体工作过程为 MT-200 型叶菜收获机在行进过程中将蔬菜植株切割,收割过程为电机驱动,驱动电机型号为 DC24V,60 W 割刀采用往复式,上下 2 片割刀左右交错完成割断过程,行进过程为电机驱动,驱动电机型号为 DC24V,300 W,行进作业速度分为 3 档,可进行调整;割后的蔬菜被后面蔬菜的推挤作用力及传送带和蔬菜间的摩擦力推送到传送带上实现蔬菜的输送过程,输送过程采用电机驱动,驱动电机型号为 DC24V,90 W;

由于收割过程持续,蔬菜被不断推挤而不会出现倒伏情况,割后的蔬菜被输送至作业机器上端的转向装置进行回旋转动式收集,收集电机型号为 DC24V,15 W。该机具具有结构简单、小巧轻便、工作效率高、适应性广等特点,缺点是不能实现有序收获过程。



图2 MT-200 型叶菜收获机

2.1.3 卷心菜收获机 美国在很早便意识到叶类蔬菜机械化收获的重要性,约 10 年前,2 所大学开始合作研究一次性收获工艺收获机械,并在近几年取得重要突破。俄亥俄州的马彻-韦尔德制造公司率先开始出售了金-科尔食用卷心菜收获机。该收获机分为单行和双行 2 种类型,型号分别为 PT-K-1、PT-K-2,二者都是牵引式。相比于人工收获卷心菜,收获机的出现大大提高了收获效率,PT-K-1 为单行收获机,工作效率为 40 ~ 60 t/d,PT-K-2 为双行收获机,工作效率为 50 ~ 120 t/d 以上。其中 PT-K-1 型收获机长 4.3 m,宽 2.0 m,总质量约为 1 260 kg(包括升运器),工作行距为 0.6 m 以上,而 2 行收获机的工作行距为 0.76 m 以上。

该公司出售的卷心菜收获机由 2 根螺旋搅龙拔出卷心菜并由沿着搅龙移动的限位输送带的作用完成输送过程,在输送过程中,2 片回转式圆板型割刀切除卷心菜的根部及其外叶,切割装置由液压马达驱动,机具上装有鼓风机能对切除下来的外叶进行去除,最后由升运装置将卷心菜输送上车。该机型目前已得到广泛应用,除了俄亥俄州的马彻-韦尔德制造公司,包括纽约的卡斯尔收获机公司和伊曼纽尔-博耶公司在内的 2 家大型农机具制造公司以及同在俄亥俄州的洛机器公司都在出售该种型号的收获机。

欧洲也很早便开始了对叶类蔬菜收获机械的研究开发,同样以卷心菜收获机为例,德国的海因里希布莱因罗特农机制造公司出售农夫收获机,荷兰的多凯克斯公司出售一款名为多凯克斯收获机的类似机具。

与金-科尔食用卷心菜收获机原理相似,农夫收获机同样由导引的 2 根螺旋搅龙拔出卷心菜,不同的是农夫收获机是由带锯切断卷心菜的根部及其外叶,最后由螺旋输送机进行横向输送至升运器完成输送过程,并在输送过程中完成外叶的去除与分离。农夫收获机采用一次性收获,由 25.725 kW 以上的拖拉机牵引,工作过程中,需要包括拖拉机驾驶员、清选人员、负责装菜人员在内的共计 3 人,工作效率约为收获 1 hm²/d。

荷兰的多凯克斯收获机的收获机构是由 2 片圆盘对卷心菜的位置控制和夹入起到辅助作用,再由波形皮带夹着卷心菜进行输送,波形皮带由 1 组实心轴驱动,输送装置末端装有回转锯对卷心菜根部及其外叶进行切断,最后卷心菜通过外叶分离装置输送到装菜车上。

除了上述介绍的几种蔬菜收获机,国外已经研制了多种其他种类蔬菜的收获机械。如由加利福尼亚的 Nu - Way 收获机公司以及欧洲的德国海因里希 - 威廉农业机械制造厂等公司出售的菠菜收获机在马里兰州已经得到广泛应用,美国有龙须菜、食荚菜豆等收获机,日本川崎公司研发的风送型叶菜收获机以及德国的菜花收获机^[20-28]。

2.2 国内研究现状

2.2.1 金花菜收获机

现阶段国内对叶类蔬菜收获机械的研发尚处于起步阶段,蔬菜的收获过程仍然以人工收获为主。江苏大学和镇江市农业机械技术推广站使用 TA - XT2i 新型质地物性测试仪对金花菜包括拉断力、拉应力、剪切力和剪应力在内的一系列力学特性进行试验研究,研制出了金花菜收获机(图3),能够实现金花菜的机械化收获过程^[29-31]。该机具的作业过程为机具行进过程中,往复式双动割刀完成对金花菜的切割,切割动力采用直流电源电机驱动,收割高度可调;考虑到金花菜体积小、单个质量较轻,因此采用风力输送来完成金花菜的收集过程,通过控制手柄对发动机转速和风机转速进行控制,将收集袋挂在机架上,收割后的金花菜被风力吹入收集袋中完成收割过程。通过样机试验,该机具能够顺利实现金花菜的收获过程,生产率可达到 960 kg/h,收割后的畦面相比于人工收割更加平整,有利于后期的采收。该机具的缺点是对作业土地的适应性较差,风力收集无法实现金花菜的有序收获^[32-34]。

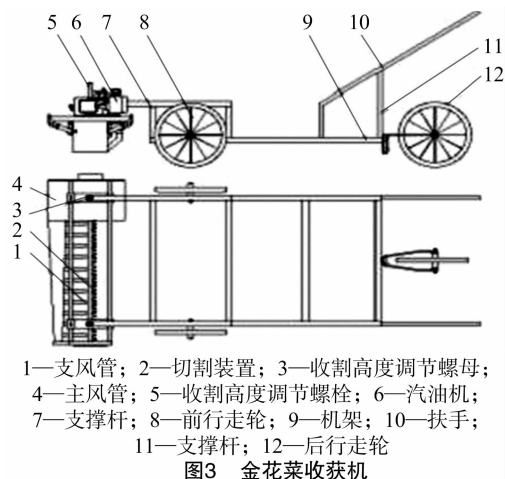


图3 金花菜收获机

2.2.2 芦蒿收获机

由南京农业部农业机械化研究所与盐城市盐海拖拉机制造有限公司合作研发的芦蒿收获机(图4),实现了芦蒿的机械化收获,该作业机具割幅宽为 1 m,可完成芦蒿高度在 30 ~ 80 cm 范围内的收获作业且割茬齐整,比人工收获的效率提高了 8 ~ 10 倍,大大降低了劳动强度,该机型结构小巧简单,适用性较强^[35],稍加改装便可实现对青菜、菠菜等叶类蔬菜的收获。

目前,国内叶类蔬菜的无序收获机技术相对来说已经较为成熟,除了上述介绍的 2 款无序收获机外,还包括由南通富来威农业装备有限公司研制,主要针对青菜、韭菜、菠菜等叶类蔬菜的一款通用标准化收获机,该机具可以实现多种叶类蔬菜的机械化收获,但无法实现有序化收获过程;南京农业部农业机械化研究所研制的一款通用叶类蔬菜无序收获机,适用于青菜、菠菜、鸡毛菜等多种叶类蔬菜(图5),采用电机驱



图4 芦蒿收获机



图5 无序收获机

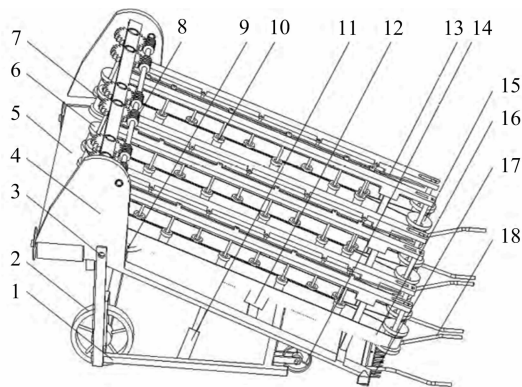
动,往复式动刀完成切割过程,通过传送带完成输送过程,蔬菜输送至作业机具顶部落入收集框内,能高效率地实现叶类蔬菜的无序收获。

2.2.3 通用叶类蔬菜有序收获机

由于有序收获后的蔬菜品相较好,有序收获又能减少蔬菜收获后由于人工二次整理所需的劳动力,目前国内正逐步加强对叶类蔬菜有序收获机的研究力度,并且取得了一定成果。

由南京农业大学工学院设计出的一款叶类有序收获机具有茎叶兼收、结构简单、工作高效等特点,该机具采用动力驱动,割茬高度可调。具体结构见图6,工作原理如下:调整好割茬高度的作业机器在行进过程中,拨禾器将蔬菜植株拨入拨禾器内,再由立式输送带将蔬菜倾斜输送至切割装置,由往复式割刀完成切割过程,拨禾器将蔬菜分为 3 行收获;割后的蔬菜被输送带夹持向上输送,扶禾装置辅助扶持蔬菜植株防止蔬菜植株倾倒,同时调节张紧装置使蔬菜在输送过程中不会发生掉落;蔬菜向上输送至机具上端的转向装置,蔬菜的上部失去夹持力作用力,根部受到转向装置的阻力,站立的蔬菜将会平躺着有序落入收集框内。整个收获过程满足了有序切割、有序输送及有序收集,实现了叶类蔬菜的有序收获^[23]。

由农业部南京农业机械化研究所蔬菜创新团队最新研发的手扶式叶菜有序收获机正式亮相,有序收获技术也填补了国内研究空白,得到了业内专家的广泛好评。农业部南京农业机械化研究所蔬菜创新团队根据典型叶类蔬菜(鸡毛菜)的种植和生长情况,创新研究高效低损切割技术、柔性喂入技术、机电液耦合技术以及有序输送技术,研制出电驱动手扶式叶菜有序收获机,基本满足露地和设施种植的收获要求,并进行试验示范。试验结果表明,该样机能够实现一次到位,有序,无需人工 2 次整理,减少了叶菜的损伤和浪费,在推动农业供给侧改革的过程中,农机化研究所叶类蔬菜收获机的



1—底盘；2—行走轮；3—摆动轴；4—机架；5—卧式输送装置；6—第1主动带轮；7—蜗轮；8—蜗杆；9—转向装置；10—张紧支撑装置；11—电动推杆；12—电池；13—扶禾装置；14—仿形轮；15—第1从动带轮；16—立式输送带；17—切割装置；18—拨禾装置

图6 叶类蔬菜有序收获机

成功研制,为实现蔬菜全程机械化提供了重要的技术支持,极大地节省了时间和人力,在全国范围具有广阔的推广应用价值。

3 存在问题及发展趋势

3.1 存在的问题

3.1.1 农艺的复杂粗放限制了机具的使用 蔬菜具有很多不同的种类,不同种类的蔬菜需要不同的生长环境,也有着不同的特征性质,农艺较为复杂,没有统一的生产种植模式,对机械化收获要求较高,而我国目前蔬菜的播种、移栽、浇灌过程机械化程度还很低,农艺粗放,规范性较差,这就对蔬菜有序收获机械的适应性提出了更高的要求^[35]。

3.1.2 技术不成熟,易堵塞,收获损伤率较大 由于国内对叶类蔬菜有序收获机械的研发尚处于起步状态,蔬菜收获作业本身环境恶劣,收获过程中的叶片、泥土等杂物容易堵塞作业机械,特别是割台处极易发生堵塞现象,清理起来较为麻烦,从而影响收获效率,再加上叶类蔬菜柔弱易碎的物理特性,导致目前研发的叶类蔬菜收获机械仍存在收获后的叶类蔬菜损伤率较大的现象。在叶类蔬菜机械化收获的过程中,应尽量降低蔬菜的损伤率,使之达到合理的范围内,提高经济效益^[21]。

3.1.3 结构形式较为单一,智能化程度低 目前,研发出的较为成功的几类叶类蔬菜收获机械,结构形式较为单一,采用了较多的机械传动方式,不仅增加了机具的复杂程度,也容易造成损坏现象,不利于机具的日常维修和保养。同时,机具的智能化程度较低,无法有效面对复杂多变的作业环境及品种多样且柔弱易碎的叶类蔬菜。

3.1.4 使用效益问题限制机具的推广 主观上菜农受传统思维的影响,认为蔬菜收获本身就是一种劳动密集型产业,菜农对蔬菜收获机械的迫切程度较低。客观上我国目前蔬菜生产的主体仍是个体散户种植,对菜农来说,购买设备的投资回收期较长,而菜农又并不把自身劳动力算入成本当中,再加上目前研发的蔬菜收获机械的作业质量还难以达到人工收获的质量标准,因此菜农难以接受蔬菜的机械化收获作业^[36]。

3.2 未来发展趋势

目前,我国对叶类蔬菜机械化收获的研究虽然仍处于起步阶段,但是通过引进国外蔬菜收获机械进行研究,在此基础上所研发出来的蔬菜收获作业机械基本上能满足小范围地区的叶类蔬菜收获问题,但是要研发出真正符合我国特殊情况及作业环境的一系列作业机械,实现真正意义上的蔬菜机械化有序收获过程,未来叶类蔬菜收获作业机械的研发要着重从以下5个方面进行突破。

3.2.1 加强农机结合农艺的研究力度 农业机械化的实现要求工程技术与种植技术相结合,二者相辅相成,发挥各自优势,共同实现农业产品的高效与高产。叶类蔬菜的粗放型农艺加大了蔬菜收获机械的开发难度,因此在未来研究过程中,农业机械科研人员应从农艺的角度设计研发蔬菜收获的作业机械,将农业机械适应农艺作为重要的研究方向,设计与农艺相融合的作业机械,例如统一行距与株距、统一栽培模式等^[37]。

3.2.2 加强对叶类蔬菜物理特性的研究 叶类蔬菜机械化收获过程中,叶类损失率和损伤率是不可避免的,但是如何尽量降低收获过程中叶类的损失率和损伤率,将其控制在合理的范围内,也是未来研究需要考虑的因素之一。叶类蔬菜的叶片具有柔软易碎的物理特性,将这种物理性质具体量化,通过大量试验得出各种不同种类蔬菜抗拉强度、剪切力、拔取力等力学特性以及株高、根茎粗细、叶片开合程度等几何形态,对未来蔬菜收获作业机械的研究有着重要意义^[35]。

3.2.3 优化作业机械结构,降低制造成本 随着设施农业的普及,蔬菜多种植于温室大棚内,结构简单,体型小巧才能适应未来蔬菜收获机械的发展趋势,加上目前国内叶类蔬菜种植主体仍是个体散户的小规模种植,考虑到农民经济承受能力,在满足性能的前提下,应当尽量优化机械结构,降低制造成本,价格低廉作业机械才符合我国特殊形势及未来的发展趋势,因此更好地优化作业机械结构,降低制造成本也是未来设计开发叶类蔬菜收获机械需要着重考虑的问题。

3.2.4 更好实现有序收获的过程 叶类蔬菜存在收获铺放难、成本高、效率低、劳动强度大等一系列问题,如何更好地实现叶类蔬菜的有序化收获过程将是未来农业机械科研人员必须要攻克的难题。目前,国内叶类蔬菜实现有序化收获过程主要还是依靠柔性夹持输送机构和切割后直接装箱2种方式来实现,柔性夹持技术还存在着蔬菜损伤率高等诸多问题,而人工装箱则是介于机械化无序收获和有序收获之间的一种方式,收集仍需人工辅助才能保证有序,只能算是半自动化实现有序收获的过程,需要人工辅助。为了降低劳动强度,提高劳动效率,更好地实现蔬菜有序化机械收获也是未来研究的发展趋势。

3.2.5 作业机械应致力于提升智能化程度 目前,国内研发的蔬菜收获机械大多结构形式单一,机具的智能化程度较低,无法有效面对复杂多变的作业环境及品种多样且柔弱易碎的叶类蔬菜。随着智能机器人技术的兴起,智能控制技术、机器视觉技术、传感器技术、导航定位技术等都得到了快速发展。国外已有关于将机器视觉技术与传感器技术结合从而在蔬菜收获过程中记录蔬菜数量和质量等信息的报道。随着精准农业的兴起,将智能控制与导航定位技术运用到蔬菜收获过程

中,便可能实现蔬菜的机械收获中将损失率和损伤率降至与人工相同甚至更低的水平。未来叶类蔬菜收获机械想要具备更强的适应性和通用性,降低收获损伤率,必将在智能化程度上有所突破。

4 结语

随着我国城镇化进程的高速发展和大量农村青壮年劳动力进入城市从事非农业工作,蔬菜生产作为一种劳动密集型产业,必将面临愈加严峻的劳动力短缺问题,实现蔬菜机械化收获过程已成为迫切须要解决的难题。我国目前在蔬菜机械化收获方面,主要还是通过引进国外相关成熟产品再进行一定改造,作业机械的通用性和适应性方面都还有待加强。未来我国农业机械科研人员应当加强对蔬菜收获机械的投入力度,在作业机械的智能化、通用性、适应性、结构优化等方面作更深层次的研究。

参考文献:

- [1] 康国光,蔡芳,高群. 蔬菜机械化生产发展现状与对策思考[J]. 长江蔬菜,2013(14):69-72.
- [2] 丁馨明,何白春,薛臻. 小型叶菜收割机研发与市场初探[J]. 江苏农机化,2014(2):40-42.
- [3] 胡杰文. 小型多功能绿叶类蔬菜收获机的设计与优化[D]. 广州:仲恺农业工程学院,2014.
- [4] 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.
- [5] 糜南宏,赵映,秦广明,等. 蔬菜全程机械化研究现状与对策[J]. 中国农机化学报,2014,35(3):66-69.
- [6] 曾平欧. 蔬菜机械化生产的装备与技术预测分析[J]. 中国农机化,2011(2):12-14.
- [7] 徐少华,秦广明,沈丹波. 一种新型叶茎类蔬菜收获机的研制[J]. 中国农机化学报,2016,37(1):18-21.
- [8] 史明明,魏宏安,胡忠强,等. 4U-1400型马铃薯联合收获机的设计[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(1):263-267.
- [9] Richard C F, Dale R H, Lawrence H H. Development of a Florida mechanical cabbage harvester[J]. Florida State Horticultural Society,1968(5):140-147.
- [10] 汪小岳,施印炎,陈满,等. 叶菜有序收获机收集装置:201420622366.8[P]. 2015-06-17.
- [12] 徐少华,孙登峰,陈建华,等. 叶类蔬菜通用收获机的设计[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):365-367.
- [13] 卢建强,秦广明,金月,等. 一种喂入切割装置及具有该装置的蔬菜有序收获机:201510276464.X[P]. 2015-09-02.
- [14] 姚会玲,徐丽明. 结球叶菜收获机械研究现状及发展对策[J]. 农机化研究,2007(4):185-188.
- [15] 吴明聪,陈树人,李继伟,等. 4YC-110型秧草收获机的设计[J]. 农机化研究,2014,36(3):106-108.
- [16] 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.
- [17] Rasmussen W D. Advances in American agriculture;the mechanical tomato harvester as a case study[J]. Technology and Culture, 1968,9(4):531-543.
- [18] Bolhuis M W. Cabbage harvesting machine:EP,1304914B1[P]. 2007-03-21.
- [19] Huang Z, Fang Y F. Kinematics characteristics analysis of 3D of in-parallel actuated pyramid mechanisms[J]. Mechanism and Machine Theory,1996,31(8):1009-1018.
- [20] 王攀峰,尚士友,刘海亮,等. 9GSCC-1.4H水草收割机切割装置改进设计[J]. 农机化研究,2010,32(9):69-72.
- [21] 王俊,杜冬冬,胡金冰,等. 蔬菜机械化收获技术及其发展[J]. 农业机械学报,2014,45(2):81-85.
- [22] Hortech. horticulture technology[EB/OL]. <http://www.hortech.it/gallery-tecnologie-per-lagricoltura-raccolta>
- [23] 章永年,施印炎,汪小岳,等. 茎叶类蔬菜有序收获机柔性夹持输送机构设计[J]. 中国农机化报,2016,37(9):48-51.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Kanamitsu M, Yamamoto K. Development of Chinese cabbage harvester[J]. JARQ,1996,30(1):35-41.
- [27] 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.
- [28] 王芬娥,郭维俊,曹新惠,等. 甘蓝生产现状及其机械化收获技术研究[J]. 中国农机化,2009(3):79-89.
- [29] 卢建强,秦广明,赵映,等. 一种蔬菜有序收获机:201410281685.1[P]. 2014-10-22.
- [30] 卢建强,秦广明,金月,等. 一种喂入切割装置及具有该装置的蔬菜有序收获机:201510276464.X[P]. 2015-05-27.
- [31] 李继伟,卞丽娜,陈树人,等. 秧草力学特性与机械化收获研究[J]. 农机使用与维修,2013(10):30-32.
- [32] 陈树人,卢强,李继伟,等. 一种三叶菜机械收获装置:201010617672.6[P]. 2010-12-31.
- [33] 张瑞华,施俊侠,张日红,等. 小型绿叶类蔬菜收获机的收获方案及切割装置设计[J]. 农业科技与装备,2015(10):11-16.
- [34] 施俊侠,张日红,梁坚,等. 一种小型多功能绿叶类蔬菜收获机:中201510451160.2[P]. 2015-07-29.
- [35] 黄丹枫. 叶菜类蔬菜生产机械化发展对策研究[J]. 长江蔬菜,2012(2):1-6.
- [36] 耿贵胜,张京开,刘扬华. 蔬菜收获机械化需重视和加强[J]. 农机市场,2009(2):27.
- [37] 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.