

闫二伟,陈永生,韩柏和,等. 散草捡拾拖车研究现状与发展对策[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):10-15.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.003

散草捡拾拖车研究现状与发展对策

闫二伟¹, 陈永生¹, 韩柏和¹, 张银平², 陈明江¹, 谢虎¹, 赵维松¹, 王振伟¹

(1. 农业部南京农业机械化研究所, 江苏南京 210014; 2. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东淄博 255000)

摘要:目前我国秸秆产业发展迅猛,快速高效离田是秸秆“五化”利用的前提,散草捡拾拖车是秸秆离田的重要设备,对秸秆离田作业机械化至关重要,主要用于稻麦秸秆、玉米秸秆、牧草等的收集转运。通过介绍国内外关于散草捡拾拖车的发展现状及几种主流机型的关键技术,并分析国内相关技术落后、应用未普及、推广困难等问题存在的原因,最后针对性地提出可能的解决方案。

关键词: 秸秆; 捡拾拖车; 现状; 集箱; 对策

中图分类号: S225.2⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0010-05

我国是农业生产大国,秸秆资源非常丰富,如何有效地转化利用秸秆资源成为当前亟待解决的问题^[1-3]。秸秆收集是秸秆综合利用的先导环节,是秸秆能否顺利进行“五化”利用的先决条件^[4]。在政策支持和技术发展条件下,秸秆收储运机械化程度日渐提高,推广范围也逐渐扩大。目前,国内常见的机械化秸秆收储运方式是先将秸秆打捆(圆捆或方捆),

再进行运输、储存利用^[5];不过目前国内还存在一些大型农场和农牧企业,如上海大丰农场采用一种将稻麦、牧草等利用散草捡拾拖车直接进行捡拾、切碎、集厢的模式,这种秸秆收集方式环节简单,需要的作业人员也较少。利用散草捡拾拖车进行秸秆收集并不是国内独创,国外早已将利用散草捡拾拖车收集秸秆、牧草等纳入到“收储运”模式中^[6](图1)。

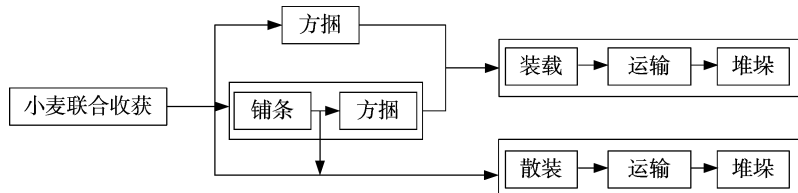


图1 国外小麦秸秆收储运技术路线

在短距离收集转运秸秆模式中,利用散草捡拾拖车环节较少、人员需求较少。因此,作为秸秆打捆运输模式的一种补充,以散草捡拾拖车作为主要设备的秸秆捡拾、切碎、集厢、运输模式在降低作业成本和提高生产效率方面具有重要的现实意义^[7]。

1 散草捡拾拖车结构及工作原理

散草捡拾拖车按照主要部件有弹齿捡拾器、切割喂入转子、切刀、物料厢、刮板系统以及后厢板(图2)。其工作原理是牵引机械通过牵引装置驱动散草捡拾拖车,弹齿捡拾器将地面上的条状散草捡拾喂入切割喂入转子中,切刀与切割喂入转子共同作用将散草切割,然后切割喂入转子将散草强制推入物料厢中,切割后的散草在物料厢前端逐渐堆积,当散草堆积达到一定体积与密度后,触发刮板系统将散草向物料厢后部转移一定距离,刮板系统间歇性运行,直至整个物料厢充满散草。

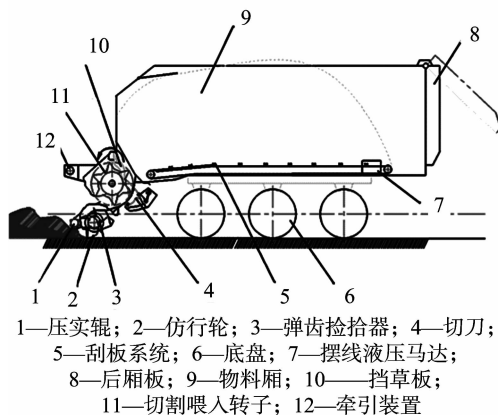


图2 散草捡拾拖车结构示意图

散草捡拾拖车不仅可以主动收集散草等物料,还可以通过简单的机械结构设置屏蔽捡拾喂入装置而单独作为散料运输拖车使用。

2 国外散草捡拾拖车发展现状

国外的散草捡拾设备从20世纪50年代开始发展,最原始的散草捡拾拖车主要应用在散草长距离运输上,经过不断地改进发展,其作业范围和使用地域越来越广;目前散草捡拾拖车已不再是仅仅可以进行单一的散草运输作业,而是可以

收稿日期:2017-09-05

基金项目:中国农业科学院基本科研业务费专项(编号:S201602、Y2017LM12)。

作者简介:闫二伟(1992—),男,安徽怀远人,硕士研究生,研究方向为农业装备机械化。E-mail:670504507@qq.com。

通信作者:王振伟,硕士,助理研究员,研究方向为农业装备机械化。E-mail:zhenwei86@qq.com。

根据需求挂载不同功能模块进行收集、装载、运输等多种作业。许多欧洲国家如瑞士、德国、奥地利等的散草捡拾拖车已经发展形成一套成熟的集散草捡拾、装载、运输等功能于一体的技术体系,相关的产品设备也已经形成模块化、体系化。克罗尼(KRONE)、克拉斯(CLAAS)、博田(POTTINGER)、施特劳曼(Strautmann)等一系列农机生产商更是精益求精孜孜不倦地发展完善散草捡拾拖车设备。

2.1 散草捡拾拖车捡拾器部件

捡拾器是散草捡拾拖车的重要工作部件之一,其作用是将铺放在地上的秸秆拾起并传送给切割喂入机构。捡拾器工作性能的优劣,对捡拾拖车整体工作性能有很大影响^[8]。目前散草捡拾拖车所采用的捡拾器主要有 2 种(图 3),一种是凸轮滚筒式弹齿捡拾器,另一种是无凸轮式弹齿捡拾器。

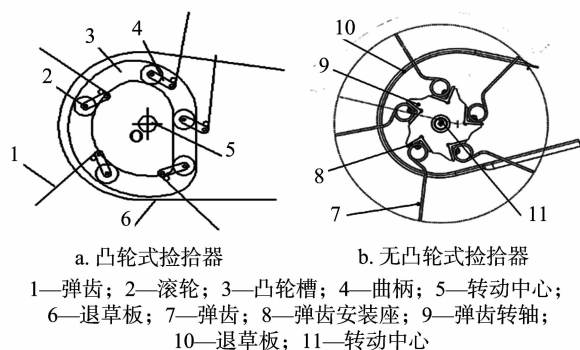


图3 散草捡拾拖车采用的捡拾器示意

德国克拉斯公司^[9]与奥地利博田公司^[10]制造的捡拾拖车采用凸轮式捡拾器(图3-a),凸轮式捡拾器通过凸轮槽的控制实现弹齿与捡拾器转轴所成角度呈现周期性变化,这种周期性变化能实现捡拾器三个阶段:捡拾-传输-缩齿工作,有效防止了捡拾器弹齿回带物料,损伤物料,堵塞捡拾器,造成捡拾效率降低等问题。

德国克罗尼公司的 AX、MX、ZX、RX 系列散草捡拾拖车捡拾器模块 Easy Flow 均采用无凸轮式弹齿捡拾器(图4)^[11-16];这种捡拾器优点很明显,结构简单,活动部件较少,运行平稳,机械磨损较少,维护成本很低;同时比传统凸轮式捡拾器的捡拾速度提升近 30%,工作效率明显提高;通过重新设计退草板,使退草板与弹齿之间的角度处于较合适的阈值,可以防止捡拾器弹齿回带物料的情形。

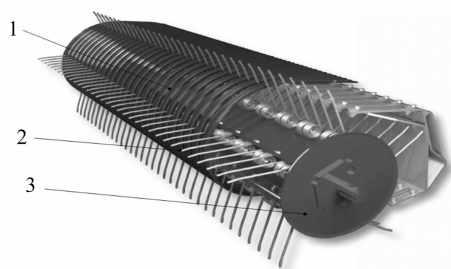


图4 克罗尼无凸轮式弹齿捡拾器模块

捡拾器弹齿的排列对散草捡拾的流畅度有一定影响。克罗尼在 ZX 系列中将捡拾器弹齿由直线型排列改为 W 形排列,这样能够有效地将捡拾器前方成团的散草松散开,增加了物料喂入的均匀性;施特劳曼公司将弹齿排列设计成 V 形,

同克罗尼的设计目的一致,都是为了提高物料喂入的流畅度。

凸轮式捡拾器与无凸轮式捡拾器相比,由于弹齿在凸轮槽机构的控制下按规定的轨迹运动,捡拾性能更加优越,捡拾率更高;同时由于凸轮式捡拾器弹齿的规律运动,相较于同尺寸的无凸轮式捡拾器,弹齿扫过的空间更小,所以捡拾器与切割滚子之间的空档区域较小,使得物流流稳定连续。施特劳曼为了弥补无凸轮式捡拾器增加的这一距离,在捡拾器与切割滚子之间加入了物料加速辊(图5)^[17],这样可以防止物料堆积,使得物料喂入的连续性得以保证。



图5 连续物流系统加速辊

散草捡拾拖车捡拾器模块具有强大的地面仿形功能,同时捡拾器后方加入了导向轮装置,能有效防止如车辙等复杂地形对捡拾器的影响,极大地提高了捡拾器应对复杂地形的能力;散草捡拾拖车捡拾器通常采用链轮传递动力驱动工作,克罗尼在其 ZX 系列中一改捡拾器链轮驱动方式,采用液压驱动捡拾器,降低了故障率,使捡拾拖车可靠性得到进一步提高。

总之,散草捡拾拖车捡拾器发展的 2 种形式各有优劣。在研发制造捡拾拖车的过程中应根据物料特性,选择合适的形式。在无须注重物料质量形态,捡拾率要求不是非常高的情况下,应尽量选择结构简单、捡拾速度较高、可靠性较高的无凸轮式捡拾器。

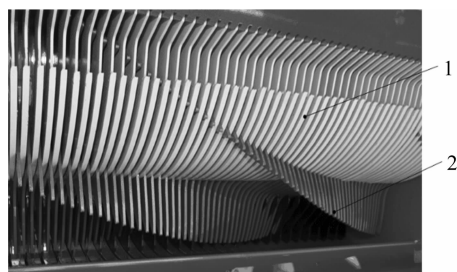
2.2 切割喂入转子模块

传统的捡拾拖车并不带有物料切割功能,只有物料喂入功能,通常喂入装置有链齿式、推杆式以及摆动式,但是随着需求的变化以及切割功能的整合,喂入装置的结构有了很大变化。带有切割功能的喂入装置可分为链齿式、滚筒式、耙杆式、螺旋式和摆动式,国外生产商基本采用螺旋式喂入装置(图6)。切割喂入转子的工作性能及结构形式对捡拾拖车经济性指标,如功耗、机构的磨损率等有很大影响。切割喂入转子在正常工作状态下拨齿处于长时间张力与磨损状态,易发生磨损变形,而磨损变形的拨齿对物料切割性能有很大影响。克罗尼散草捡拾拖车切割转子物料拨齿材料使用了耐磨钢板,旨在提高拨齿的使用寿命,拨齿以焊接的形式呈螺旋形排布,安装在转鼓上,降低了驱动转子完成切割功能所需的功率;拨齿拨草侧设置有一定的宽度,一方面为了降低转子对物料的损伤,另一方面有利于提升物料喂入物料厢的推力。荷兰 Lely 公司将转鼓上的拨齿设计为可拆卸更换式,便于在拨齿磨损严重的情况下,通过简单的拨齿更换即可快速恢复正常工作状态^[18]。拨齿的合理设计可以减小物料喂入的功耗以及增加物料堆积入厢体内的密度,提高设备的工作效率。

切割喂入转子与挡草齿组成物料强制喂入装置(图7),



1—拨齿；2—转鼓
图6 切割喂入转子基本形式



1—挡草齿；2—转子拨齿
图7 喂入转子

转子拨齿几何轮廓与挡草齿工作面几何轮廓对物料喂入的推送力及物料的堆积密度有很大影响。

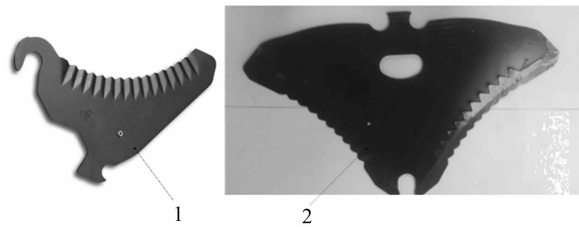
不同公司采用的切割喂入转子的驱动方式也略有不同。克罗尼系列拖车采用了3种不同动力传递方式的转子轴驱动方式,在AX系列上采用链轮驱动切割喂入转子,并配备有自动润滑装置;在MX、RX系列上采用封闭箱油浸齿轮方式传递动力驱动转子轴,油浸齿轮动力传递方式能够使切割喂入转子承受住巨大的持续性应力。克拉斯、施特劳曼、Lely等也采用与克罗尼类似的齿轮驱动转子轴的动力传递方式,而克罗尼在ZX系列上独创了皮带轮加行星齿轮驱动切割喂入转子的方式,此动力传递方式可以从动力输入轴传递近294 kW的动力。传统的过载保护装置是凸轮式离合器,最大能够传递2 500 Nm的扭矩,相比而言,克罗尼采用齿轮箱内嵌的离合装置可以传递2 800 Nm的扭矩,同时使用皮带传递动力,可以更有效地吸收瞬时的过载,使得转子工作更平稳。利用行星齿轮做减速机构可以将节省下来的空间用于增加切割转子宽度,进而提升物料的喂入宽度。

总之,切割喂入转子要求使用寿命长、功耗低、运行平稳、吞吐物料量大且要尽量对物料损伤小。动力传输方面要求传动力矩大、效率高、过载保护等。如果应用到稻麦秸秆的收获上,主要考虑设备的寿命、功耗、平稳性及收集效率等问题。

2.3 刀具及刀架

刀具是切割物料的核心部件,它的质量直接影响了物料粉碎的质量及设备的功耗。刀架是刀具的配套组件,一款设计精良的刀架能够使刀具发挥出其最优的性能,并能延长刀具的寿命以及提高设备维护的效率。切刀结构分为上齿纹刀片、下齿纹刀片和光刃刀片。散草切刀采用上齿纹刀片,因为齿刃对茎秆的钳制作用较好。为了延长切刀的寿命,生产商设计了单刃口切刀与双刃口切刀2种形式的刀具(图8)。

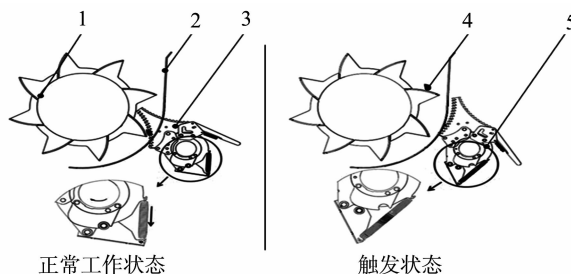
切刀结构的设计水平决定了切刀的质量,切刀的质量是切刀使用可靠性的生命线;切刀的设计工艺是生产商的竞争优势,所以基本查不到相关的设计标准。但是切刀设计应尽



1—单刃口切刀；2—双刃口切刀
图8 2种形式的切刀

量保证切刀受力合理,在持续受力的部位使用抗疲劳、耐磨损的材料。

切刀通常通过切刀保护装置与刀架连接在一起;弹性切刀保护装置是较常见的切刀保护装置;普通的弹性切刀保护装置作用过程是当石块等异物与刀刃相接触时,切刀刃口在弹性装置作用下与异物弹性接触,直至异物被切割滚子清出,可以防止刀刃口与异物刚性碰撞,这在一定程度上保护了刀具。但是这种弹性保护装置对切刀的保护作用非常有限,石块等硬质异物在弹簧力的作用下与刀具刃口持续接触滑行直至清出,在此过程中切刀刃口从与异物接触点至异物脱离的刃口都被损伤。施特劳曼为了改善这种情况,设计了一款行之有效的切刀保护装置(图9)^[19]。

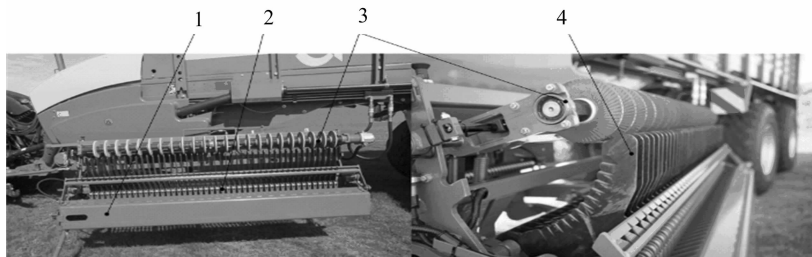


正常工作状态 触发状态
1—切割喂入转子；2—护板；3—切刀；4—异物；5—保护装置
图9 切刀保护系统

在这种切刀保护装置作用下一旦异物触碰到切刀刃口的任何一点,切刀会立即缩回到护板后方,即由正常工作状态转变为触发状态,一定延时后恢复到工作位置;触发切刀保护装置动作的相关标准并未说明。

安装刀具的刀架形式对刀具的日常维护工作有很大影响。合适的刀架能够大大提高刀具更换维护的效率,降低工作人员的工作量。克罗尼、博田等均采用可旋出刀架(图10),可实现单人快速无工具更换切刀。克拉斯尚未采用这种形式的刀架,克拉斯系列拖车捡拾器刀架可以提升至距离地面很高的位置,足够普通身高的操作人员进入车下进行维护更换切刀及相关部件^[20]。切刀须要经常维护,即使工作过程中物料相当纯净,切刀也在不断地磨损变钝,紧接着设备会出现功耗增加,切割效率降低等一系列问题。便于维护更换切刀的结构设计显得不可或缺,可旋出刀架以及一套方便快捷的磨刀装置是非常有利的;克罗尼 ZX^[21],博田 TORRO、JUMBO 等均是在其原有刀架的基础上加入了自动磨刀装置(图10),进一步减轻了维护工作,提高了捡拾拖车的工作效率。

总之,切刀的质量高低是切割系统好坏的核心标准;一款设计优良、结构合理的刀架能够辅助切刀更好地发挥性能,是



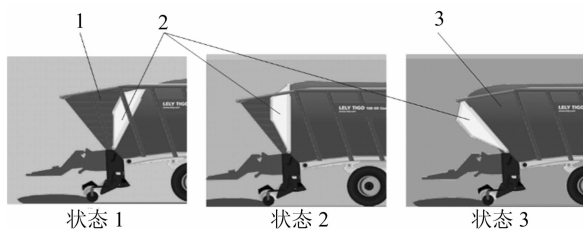
1—刀架; 2—切刀保护装置; 3—自动磨刀装置; 4—切刀

图10 自动磨刀单元

实现捡拾拖车高效率工作的保障。

2.4 物料装载厢

装载厢物料填充性能及自动化程度对散草捡拾拖车载重运输效率影响极大。装载厢对于散草捡拾拖车是必需的功能模块,装载厢大体结构形式较固定,发展也较成熟,国外各个生产商配备的装载厢自动化程度都很高,均具备物料填充状态监测系统、刮板自动填充系统和辅助加速卸料系统。合理的物料厢结构对提高物料收集转运效率有很大帮助。Lely 公司将物料厢设计为活动前板,通过液压装置控制前板的倾斜程度,不仅可以增大物料厢容量,还可以根据要求改变物料填充的密度;在物料卸载过程中可以辅助加速卸料,提高捡拾拖车的转运效率(图 11)。



状态 1

状态 2

状态 3

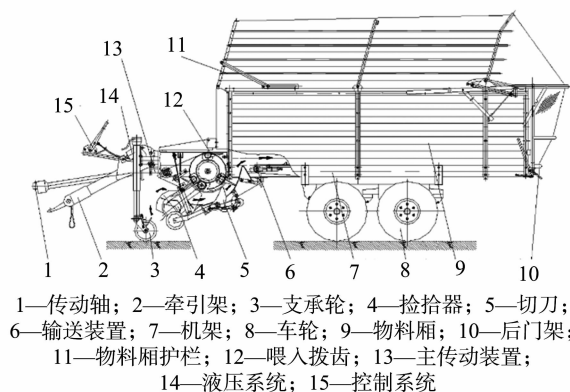
1—固定箱体; b—活动前板; c—物料

图11 多功能前板

3 国内散草捡拾拖车发展现状

我国从 20 世纪 60 年代初开始研制散草运输车,但是发展十分缓慢^[22]。20 世纪 90 年代以来,我国饲草产业发展迅速,为多用途散草捡拾拖车提供了市场,研制适合我国国情的散草拖车系列产品是改进饲草收获工艺、提高饲草质量、增加经济效益的有效途径。因此,根据我国国情研制了中小型多用途的散草捡拾拖车系列。1982 年 6 月在新疆维吾尔自治区阜北农场对 9CZ-3 型拖车进行了生产考核试验。该车可同时完成捡拾、切割装载、运输 3 种作业,效率较高,在短距离运输情况下,小时生产率可达 3 t 以上。1985 年 9 月在甘肃省甘南藏族自治州夏河县又对 9CZ-3 型散草拖车进行性能试验和生产考核。该机作业质量好,机具具有结构简单、机动灵活、工作可靠、故障少、生产率高等优点。1987—1990 年原机械工业部呼和浩特牧机所机电部呼和浩特牧机所(现中国农机研究院呼和浩特分院)与德国霍恩海姆大学农业工程研究所在内蒙古自治区呼伦贝尔盟草原进行饲草收贮工艺开发与实验研究的科技合作项目。德方提供的主要设备为克拉斯公司生产的 300K 型散草捡拾拖车。试验完成后提出 4 种最佳牧草收贮工艺,与传统工艺相比,其中 2 种工艺只增加 1 台

散草车即可完成集、垛、运 3 项作业,其营养成分可保存 80%,其作业成本较经济,生产率也较适应,但其基本属于仿制,所以发展很受限制^[23-24]。2008 年 8 月中国农业机械化研究院呼和浩特分院研制的 9CJ-3.0 型散草捡拾运输车在内蒙古自治区呼和浩特市和林格尔县新店子镇进行了田间试验,对样机性能进行全面考核。2012 年 12 月 9CJ-3.0 型饲草料捡拾(切碎)运输车完成中试验收,根据验收报告可知,该设备可自动完成捡拾、喂入、切碎、装厢和卸载等作业工序,同时该机结构简单、布局合理,实现了饲草料纵向轴线流动,捡拾输送饲草料工艺流程合理,切碎、输送阻力小,并提高了机器的喂入量和生产率。9CJ-3.0 饲草料捡拾(切碎)运输车是适合国情、节能环保、配套性好、达到国内领先水平的,集牧草捡拾、切碎、装载、运输、卸料作业的一体化设备^[25-26]。马赛等对 9CJ-3 散草捡拾拖车捡拾器原理进行分析,发现该捡拾拖车采用凸轮滚筒式捡拾器,并通过大量的实践和田间试验证明该捡拾器的漏损率非常小,完全可以避免牧草在地面的堆积和漏捡。捡拾器的结构参数完全能满足各种情况下的捡拾作业要求,对地面的仿形性也能很好地满足作业要求^[27]。9CJ-3.0 散草捡拾运输车喂入切碎装置设置了前后两排切刀,其中前排切刀可以方便调整,以选择是否使用切碎功能,获得所需要的饲草切段长度。喂入切碎装置每个切刀均设置了过载保护装置;根据我国地块较分散且相对较小的情况,9CJ-3 车厢小型化,非常适合实际情况;9CJ-3.0 散草捡拾拖车与国外散草捡拾拖车相比,刀架不可旋出,刀具更换维护较麻烦(图 12)。

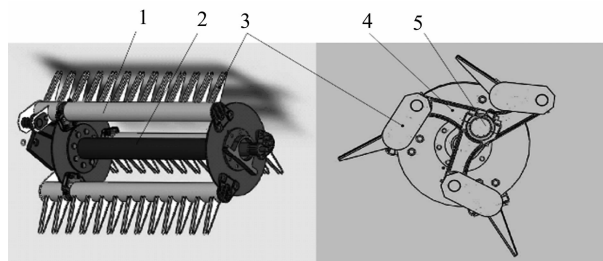


1—传动轴; 2—牵引架; 3—支承轮; 4—捡拾器; 5—切刀; 6—输送装置; 7—机架; 8—车轮; 9—物料厢; 10—后门架; 11—物料厢护栏; 12—喂入拨齿; 13—主传动装置; 14—液压系统; 15—控制系统

图12 9CJ-3.0 捡拾拖车总机图示

2013 年李洋利用 ANSYS 有限元分析软件对 9CJ-3.0 切刀进行结构受力分析,利用 ADAMS 软件对喂入机构进行了运动仿真分析,并对切刀与喂入机构进行了优化设计,保证

了切刀作用力在切刀使用材料安全范围内;同时在喂入过程中物料的损失率也控制在允许范围内^[28]。9CJ-3.0 型散草捡拾拖车喂入装置与国外捡拾拖车选用的喂入装置有明显的不同。9CJ-3.0 喂入装置拨齿与切刀切割物料使动力负载出现峰值,即负载不均匀;国外机型普遍采用拨齿螺旋式排列,切割物料过程负载非常均匀,动力输入平稳,对设备的稳定性非常有利。9CJ-3.0 散草捡拾拖车的喂入机构采用摆动式拨齿双曲柄机构,主要部件包括齿轮中轴、拨齿杆、曲柄和曲柄轴(图 13)。



1—拨齿杆;2—齿轮中轴;3—拨齿;4—曲柄;5—曲柄轴
图 13 9CJ-3.0 散草捡拾拖车喂入装置

2015 年下半年,哈尔滨万客特种车设备有限公司在辽宁省沈阳市农机展展出散草捡拾拖车,该车正处于试验阶段。该捡拾拖车仿制奥地利博田系列拖车,但是去除了切割模块,且物料用电控检测模块均不具备。

国内对利用散草捡拾拖车进行秸秆捡拾、切碎、集厢等方面的研究还处于探索阶段,存在很多亟待解决的问题:首先,散草捡拾拖车相关的理论研究、技术资料甚少,研究起步相对困难;其次,国外技术垄断,设备价格昂贵,小型农场企业难以负担;再次,目前市场上销售的机型主要为国外进口,车型普遍庞大,与国内大部分地形不相匹配;最后,虽然我国农机行业有了较大发展,但是和真正的农业机械化差距还很大,国家在农机方面的投入逐渐减少,投入相对不足,对散草捡拾拖车的发展非常不利。可能的解决方案有以下几点:首先,充分吸收国外的先进设计技术与经验,提高自主研发能力,在保证散草捡拾拖车功能性能的前提下,降低机器的制造成本;其次,进行实地调研,研究国内实际应用的捡拾拖车情况;同时积极推进学术成果的转化,让机器从论文中走到田间;最后,国家应加强政策引导,建立示范基地并进行模式宣传。

随着国内土地改革进程逐渐加快,大量农村劳动力涌向城市,导致农村劳动力越来越少,越来越多的农田集中在少数人手中进行耕种运营,大面积农田的生产模式对散草捡拾拖车的需求与日俱增,所以加强散草捡拾拖车关键技术研究势在必行,本文能为散草捡拾拖车的研究与制造提供可用资料和技术支持,为未来可能的大型农场的发展提供借鉴。

参考文献:

- [1] 陈利洪,舒帮荣,李鑫. 华东地区农业废弃物资源量估算及其综合利用评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):1-5.
- [2] 宋平. 农作物秸秆开发利用研究进展[J]. 现代牧业,2018(2):26-30.
- [3] 张斯梅,杨四军,石祖梁,等. 江苏省稻麦秸秆收集利用现状分析及对策[J]. 生态与农村环境学报,2014(6):706-710.

- [4] 王金武,唐汉,王金峰. 东北地区作物秸秆资源综合利用现状与发展分析[J]. 农业机械学报,2017(5):1-21.
- [5] 中国国际秸秆产业博览会将在长春召开[J]. 新疆农机化,2016(4):48.
- [6] 蒋泓峰. 中国秸秆产业蓝皮书[M]. 北京:中国农业出版社,2016.
- [7] 常娟,卢敏,尹清强,等. 秸秆资源预处理研究进展[J]. 中国农学通报,2012(11):1-8.
- [8] 郁志宏,莫日根毕力格,王文明,等. 弹齿滚筒式牧草捡拾器性能参数对比试验研究[J]. 农机化研究,2017(2):122-127.
- [9] Pick-up[EB/OL]. [2017-07-26]. www.serbia.claas.com/products/forage-hacvesting-machinery/quantum-loader-wagons/pickup.
- [10] High performance pick-up[EB/OL]. [2017-07-26]. https://www.poettinger.at/en_us/Produkte/Detail/282/europrofi-combine-2-in-1-loader-wagon-technology#highlights.
- [11] Transport technology/AX-Forage and Discharge wagon[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/ax-forage-and-discharge-wagon>.
- [12] Transport technology/MX-Forage and Discharge wagon[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/mx-forage-and-discharge-wagon>.
- [13] Transport technology/rx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagon[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/rx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagon>.
- [14] Transport technology/zx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagon[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/zx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagon>.
- [15] Transport technology/new:zx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagon[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/new-zx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagons>.
- [16] Transport technology/Forage transport wagon TX[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/forage-transport-wagon-tx>.
- [17] CFS drum[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.straumann.co.uk/products/forage-wagons/30-42m3-giga-vitesse-cfs/>.
- [18] Lely tigo PR and XR silage/combi-wagons[EB/OL]. [2017-07-26]. https://www.lely.com/media/filer_public/c9/0c/c90c481b-7c8f-4f47-98b8-d46867484031/lely_tigo-pr-xr_en.pdf.
- [19] 45-knife cutting unit[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.straumann.co.uk/products/forage-wagons/30-42m3-giga-vitesse-cfs/>.
- [20] QUANTUM loader wagons rotor[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.serbia.claas.com/products/forage-harvesting-machinery/quantum-loader-wagons/rotor>.
- [21] ZX-self-loading and harvester-filled forage wagons[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.krone-uk.com/english/products/transport-technology/new-zx-self-loading-and-harvester-filled-forage-wagons/speedsharp/>.
- [22] 苏正范,杨世昆. 饲草生产机械与设备[M]. 北京:中国农业出

刘伟杰, 尤琰婷, 赵若菲, 等. 生物表面活性剂生产及应用的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 15-19.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.004

生物表面活性剂生产及应用的研究进展

刘伟杰, 尤琰婷, 赵若菲, 刘 聪, 孙 地, 朱静榕

(江苏师范大学生命科学学院/江苏省药用植物生物技术重点实验室, 江苏徐州 221116)

摘要:生物表面活性剂大多是由微生物代谢产生的一种具有表面活性的物质,可以有效降低两相界面的张力。相对于化学表面活性剂,生物表面活性剂具有稳定性强、绿色环保等优点,因此被广泛用于降低表面张力、稳定乳化液和增溶等多个领域。本文综述了生物表面活性剂产生菌筛选、产物活性检测、降低生产成本及其应用领域研究进展,并对其未来的研究趋势进行了展望。

关键词:生物表面活性剂;脂肽;糖脂;研究进展

中图分类号:S182 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)24-0015-05

生物表面活性剂是指由微生物代谢产生的一种可有效降低两相界面张力的天然物质,具有特殊的“两亲性”结构。相对于化学表面活性剂,生物表面活性剂结构复杂、分子量大、临界胶束浓度一般更低,具有表面活性和稳定性较高^[1-2]、低毒或无毒、可生物降解等优点^[3]。因此它被广泛用于农业生产、食品、环境修复、日用化学品、石油开采等多个领域。据预测,到 2018 年表面活性剂的需求量全球将达到 410 亿美元,因此生物表面活性剂具有巨大的发展前景。本文综述了生物表面活性剂产生菌的筛选、产物活性的检测、降低生产成本的策略及其在农业和工业领域应用的研究进展,并对其未来的研究方向进行了展望。

1 生物表面活性剂种类及产生菌

根据结构特征可以把生物表面活性剂分为脂肽类和脂蛋白类、糖脂类、磷脂类和脂肪酸类、中性脂类、颗粒生物表面活性剂以及多聚物生物表面活性剂^[4-5]。目前已经报道的生物表面活性剂产生菌主要有假单胞菌(*Pseudomonas* sp.)^[3]、地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)^[6-7]、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)^[8]、链霉菌(*Streptomyces* sp.)^[1]、不动杆菌

(*Acinetobacter* sp.)^[9-10]、屎肠球菌(*Enterococcus faecium*)^[11]、*Brevibacterium aureum*^[12]等,其中 *Bacillus licheniformis* 和 *Pseudomonas* sp. 生产生物表面活性剂的研究较多,已经被商业化应用在多个领域。

1.1 生物表面活性剂产生菌的筛选

高效的筛选模型可以减少生物表面活性剂产生菌筛选的工作量。目前较为成熟的筛选模型主要有血平板法、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)蓝平板法和油平板法。

1.1.1 血平板筛选法 血平板筛选法的原理基于生物表面活性剂能使红细胞发生溶血现象。如图 1-A 所示,形成溶血圈的菌落可以作为待选菌株进一步研究其产生生物表面活性剂的能力^[13]。血平板筛选法直观,菌株生长周期短,但该方法不易灭菌,易引入杂菌,且容易产生假阳性。

1.1.2 CTAB 蓝平板筛选法 CTAB 蓝平板法是目前筛选生物表面活性剂产生菌较为常用的筛选模型,其原理是阴离子表面活性剂与 CTAB 能形成不溶性复合物,该复合物能与亚甲基蓝产生显色反应。如图 1-B 所示,形成蓝色晕圈的菌落可以作为待选菌株进一步研究其产生生物表面活性剂的能力,且可以通过蓝色晕圈的大小初步判断菌株产生生物表面活性剂的能力^[14]。该方法不易染菌,筛选效率高,但微生物生长周期长,且限于筛选阴离子表面活性剂产生菌。

1.1.3 油平板筛选法 油平板是将食用油或原油涂布在固体培养基上制成的平板,如图 1-C 所示,形成明显的噬油斑的菌株说明其能产生生物表面活性剂、乳化碳氢化合物^[15],从而可以筛选出产生生物表面活性剂的降烃菌,该方法操作简单、高效、直观。

收稿日期:2017-08-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:31300054);江苏省自然科学基金青年基金(编号:BK20130228);江苏省自然科学基金面上项目(编号:BK20171163);江苏省徐州市科技计划(编号:KC15N0014);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

作者简介:刘伟杰(1982—),男,黑龙江讷河人,博士,副教授,主要从事环境微生物学研究。E-mail:leonliu2013@126.com。

版社,2009.

[23] 乌 欣. 畜牧机械发展现状及趋势[J]. 畜牧与饲料科学(奶牛版),2006(5):92-94.

[24] 杨文大. 我国畜牧机械现状及发展趋势[J]. 农村牧区机械化,2000(1):7-8.

[25] 刘宝军,敖恩查,马卫民. 9CJ-3 型散草捡拾运输车浅析[J]. 内蒙古石油化工,2017(4):56-57.

[26] 中国农业机械化科学研究院. 呼和浩特分院“9CJ-3.0 型饲草

料捡拾(切碎)运输车中试”项目顺利通过验收[EB/OL]. [2017-07-26]. <http://www.nongji360.com/list/201412/8523381088.shtml>.

[27] 马 赛,敖恩查,李文广,等. 9CJ-3.0 型散草捡拾运输车捡拾器的原理分析[C]. 国际农业工程大会现代畜牧业装备创新与产业化分会场,2010.

[28] 李 洋. 9CJ-3.0 散草捡拾运输车切刀及喂入机构的分析研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.