

# 我国大田作物有机肥撒施装备研究现状及发展趋势<sup>\*</sup>

许斌星, 陈永生, 陈明江, 马标, 高琪珉, 吴爱兵

(农业农村部南京农业机械化研究所, 南京市, 210014)

**摘要:** 有机肥还田是农业废弃物肥料化利用的收官环节, 而适宜的有机肥撒肥机欠缺, 不仅阻碍废弃物肥料化利用的发展, 一定程度上更制约农业整体发展。在基于我国现有大田作物广泛的耕地面积、地形地貌以及土壤贫瘠等现象, 分析有机肥还田的必要性。充分介绍国内外现有的相关机型, 从工作原理、优缺点及适用范围等方面进行对比分析。结合我国南北地块的差异, 分别提出不同条件下对应机型的选择与研发方向, 并对未来大田作物撒肥机从抛洒的均匀性、上料技术、智能调控等方面进行展望, 为我国大田作物有机肥撒施装备的进一步发展提供参考依据。

**关键词:** 大田作物; 有机肥; 撒施装备; 农业废弃物

**中图分类号:** S224.22   **文献标识码:** A   **文章编号:** 2095-5553 (2022) 12-0020-06

许斌星, 陈永生, 陈明江, 马标, 高琪珉, 吴爱兵. 我国大田作物有机肥撒施装备研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(12): 20-25

Xu Binxing, Chen Yongsheng, Chen Mingjiang, Ma Biao, Gao Qimin, Wu Aibing. Research status and development trend of organic fertilizer application equipment for field crops in China [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(12): 20-25

## Research status and development trend of organic fertilizer application equipment for field crops in China

Xu Binxing, Chen Yongsheng, Chen Mingjiang, Ma Biao, Gao Qimin, Wu Aibing

(Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, 210014, China)

**Abstract:** Returning organic fertilizer to the field is the final link of the fertilizer utilization of agricultural waste, and the lack of suitable organic fertilizer spreader not only hinders the development of the fertilizer utilization of waste, but also restricts the overall development of agriculture to a certain extent. Based on the extensive cultivated land area, landform and barren soil of field crops in China, this paper analyzes the necessity of returning organic fertilizer to the field. This paper fully introduces the existing relevant models at home and abroad and makes a comparative analysis from the aspects of working principle, advantages and disadvantages and scope of application. Combined with the differences between North and South plots in China, the author puts forward the selection and research direction of corresponding models under different conditions and prospects, the future crop fertilizer applicator from the distribution uniformity, self-feeding technology, intelligent control and other aspects. It provides a reference basis for the further development of field crop organic fertilizer application equipment in China.

**Keywords:** field crops; organic fertilizer; spreading equipment; agricultural waste

## 0 引言

我国主要的大田作物有小麦、水稻、玉米等, 它们

是我国粮食安全的保障、人民的生命线, 实现产业升级和推动农业现代化的主要途径, 同时已成为农村经济增长的重要支柱<sup>[1]</sup>。随着我国农业逐渐发展壮大

收稿日期: 2021 年 10 月 28 日    修回日期: 2022 年 1 月 13 日

<sup>\*</sup> 基金项目: 中国农科院级基本科研业务费(Y2019LM02-03); 江苏省现代农业(蔬菜)产业技术体系(JATS[2021]512); 江苏省省级农业科技成果转化与集成推广项目(SSY20220036)

第一作者: 许斌星, 男, 1990 年生, 安徽宿松人, 硕士, 助理研究员; 研究方向为农业废弃物肥料化利用。E-mail: 702076554@qq.com

通讯作者: 吴爱兵, 男, 1973 年生, 湖北浠水人, 副研究员; 研究方向为农业废弃物肥料化利用。E-mail: 454666341@qq.com

大,并在国家政策大力支持下,大田作物种植正朝着规模化、集约化发展<sup>[2]</sup>。现阶段,我国主要的大田作物主要还是依靠化肥投入,以达到增产的目的,年复一年的大田农作物种植,化肥的过度使用,破坏了土壤的结构,消耗了土壤中大量的有机物质,同时消耗的有机物质得不到及时地补充,导致土壤逐渐贫瘠,需要对土壤进行休耕改良。有机肥作为基肥进行土壤改良是一有效途径,但有机肥还田存在人工强度大、效率低、用工多、成本高等问题,针对不同形状的有机肥与不同的大田工作环境,需要配套相应的大田有机肥撒施装备<sup>[3-4]</sup>。基于我国的基本国情,本文介绍和分析了我国现有的大田作物有机肥撒施装备的研究现状与发展趋势。

## 1 大田作物产业发展现状

我国耕地面积排世界第三,仅次于美国与印度,其中农作物总播种面积每年基本维持在 165 000 km<sup>2</sup>左右。伴随产业结构的调整,主要农作物(粮食作物)播种面积每年基本稳定在 115 000 km<sup>2</sup>左右<sup>[5]</sup>,占总的播种面积约 70%,地块面积较大、较为集中,机器换人势在必行,以主要农作物为代表,目前基本实现了产前、产中、产后全程机械化作业,部分环节机械化程度较低。

其中在施肥环节,目前国内主要使用的是化肥,国内的化肥产量已居世界首位,化肥消耗量也是世界首位,化肥施用不合理问题与我国粮食增产压力大、耕地基础地力低、耕地利用强度高、农户生产规模小等相关,也与肥料生产经营脱离农业需求、肥料品种结构不合理、施肥技术落后、肥料管理制度不健全等相关。过量施肥、盲目施肥不仅增加农业生产成本、浪费资源,也造成耕地板结、土壤酸化<sup>[6]</sup>。经济的发展与社会的进步使得广大群众逐渐提升生活水准要求,更青睐于有机食品。相比于普通类型的食品,使用有机肥料的食品更为绿色健康。实施化肥使用量零增长行动,是推进农业“转方式、调结构”的重大措施,也是促进节本增效、节能减排的现实需要,对保障国家粮食安全、农产品质量安全和农业生态安全具有十分重要的意义,为此,国家出台了一系列的土壤保护政策,提出以有机肥代替化肥行动,所以研究固体有机肥高效还田机器在大田中的应用具有重要意义。

## 2 大田作物撒肥机研究现状

根据撒肥机构结构分类,主要包括锤片式撒肥机、辊式撒肥机、圆盘撒肥机三大类,其中锤片式包括单侧与双侧抛撒两种;辊式包括立辊与卧辊两种,其中辊的个数有单个、双个;圆盘式包括单元盘与双圆盘两种,

这三大类撒肥机均有履带自走、拖拉机牵引两种动力驱动。

大田有机肥撒肥机目前市场所见大部分为拖拉机牵引,以立辊式、卧辊式、锤片式等为代表机型,主要包括箱体、输肥部件、喂肥部件及撒肥部件等,主要工作原理:拖拉机动力输出,料箱内的肥料随着输肥部件整体输送肥料,通过喂肥部件进行肥料调节按需喂肥,最后通过撒肥部件抛撒还田<sup>[7-10]</sup>。

### 2.1 国外大田有机肥撒肥机现状

由于有机肥撒施作业劳动量大,环境条件恶劣,欧美等发达国家在有机肥施用机械方面研究起步较早,在实现农业机械化的早期,就有了简易的畜拉式堆肥撒布机。到 20 世纪 30 年代,施肥机械的研发制造就已经初具规模,70 年代已经研发生产了一定数量的用于有机肥与化肥储存、装卸、运输及田间撒施作业的各类机具,基本实现了有机肥施肥全过程机械化。在欧美发达国家有机肥一般为厩肥,其施用方式一般为撒施。目前,国外厩肥撒施机械已经达到较高的技术水平,并向大型化发展,肥料箱的装肥量可以达到 29 m<sup>3</sup>以上,撒幅宽度可达到 24 m 以上。其结构主要由肥料箱、输肥装置、动力传递装置、抛撒装置等组成。其中动力主要以大功率拖拉机为主,输肥通过液压整体推送或者链条整体向前输送,喂肥通过液压开合板调节肥量,最后撒肥部件撒肥。

#### 2.1.1 立辊式撒肥机

立辊式撒肥机一般有双立辊式与四立辊式两种,其叶片有仿爪型和带刀螺旋式两种,通常撒肥圆盘固接于立辊底部并同步转动,可对底部肥料进行宽幅撒施。由链条整体输送肥料,根据地块肥量需求调整开合板,最后通过带有一定倾斜角的立辊将肥量抛撒出。整体体积较大,适合于大地块平原作业,一般用于撒施粉状肥、厩肥等。

此类机型主要优点装载量大、撒肥机撒施幅宽较大,适合于规模化农牧场投入使用,撒施效率高,破碎效果好;撒施均匀性不够,需要配到大功率拖拉机及大型上料装载机<sup>[11-12]</sup>。法国某公司生产的固体有机肥撒播车(M20),该系列抛撒机有 12 种型号,肥料箱体积 8~24 m<sup>3</sup>,最低施肥幅宽 6 m,最大工作幅宽 20 m,部分型号配有液压控制的侧导流板,通过调整导流板的开合程度以调整撒肥幅宽,调整导流板的升降高度以调整撒肥量或调整高度至只留出立辊圆盘式抛撒装置的圆盘部分,用以抛撒轻质有机肥料,如灰、家禽粪渣和较低含水率的堆肥<sup>[4]</sup>。德国某公司的推卸式厩肥抛肥机,其输肥机构采用液压推进机构,无需裙板链条,减少了运动零部件,输肥平稳、快

速,使用寿命长。

### 2.1.2 卧辊式撒肥机

卧辊式撒肥机整体结构与立辊式撒肥机类似,主要区别在撒肥部件横置安装,由液压整体推送肥料,根据地块肥量需求调整开合板,最后通过带有一定倾斜角的立辊将肥量抛撒出。其中根据横辊的个数分为单辊、双辊及3辊,其中3辊应用较少。此类机型主要优点是整机整体高度较低,便于装卸物料,液压推送实现强制排肥,无论肥料特性如何,皆可排出,从本质上解决了肥料架空与堵塞等问题。但存在液压部件成本与维护费用较高问题,针对大型农场工作效率显低<sup>[13]</sup>。445卧式桨叶式农家肥施肥机,它采用液压背推式输肥机构输肥,卧式桨叶抛撒机构切削抛撒肥料。优点是作业幅宽大,车身低矮,便于装卸物料,相对于立式消耗功率较小<sup>[8]</sup>;如MS240撒肥机,采用链板输肥机构,结构复杂、对输肥机构磨损较大。

### 2.1.3 锤片式撒肥机

锤片式撒肥机一般是大型的侧抛式撒肥机,箱体呈V型,通过绞龙进行输肥,输送至沿绞龙垂直方向,当物料被送至卸料口时,锤片高速旋转,对物料进行撕裂、破碎,最后沿卸料口甩出<sup>[14]</sup>。适用的肥料为块状厩肥、垫床物料等,特别是当物料含水率较高时,相对于其他抛撒机构效果更佳。此类机型主要的优点是抛撒距离远,沿地块周边行走,减少了机器在田间的行走次数,从而减轻对土壤的压实作用,然而在抛洒过程中,物料是呈弧线抛出,当物料的含水率过低时,易受外界环境例如风等的影响,从而影响其抛撒的均匀性。典型机型有ProTwin8150侧式撒肥机,其抛撒幅宽可以通过幅宽调整板自由地改变抛撒宽度,抛撒宽度一般为0.9~15 m,料箱容量为19 m<sup>3</sup>,最大载重为22 680 kg,搅笼直径为61 cm,锤片数为18片,所需拖拉机功率要大于16.5 kW<sup>[15]</sup>。

## 2.2 国内大田有机肥撒肥机现状

### 2.2.1 立辊式撒肥机

东北农业大学吕金庆等<sup>[16]</sup>研究设计了一种带撒肥叶片的立式有机肥螺旋撒肥装置,以撒肥均匀度和撒肥幅宽为试验指标,以螺旋轴转速、撒肥圆盘倾斜角度、螺旋叶片螺距为试验因素,得到当螺旋轴转速为385 r/min,撒肥圆盘倾斜角度为16°,螺旋叶片螺距为360 mm时,撒肥均匀度横向变异系数为14%,撒肥幅宽为8.1 m;北京市农业机械试验鉴定推广站禹振军等围绕影响双螺旋式有机肥撒施机撒施粪肥效果的作业参数进行研究,以ADS120型有机肥撒施机作为样机,分别利用仿真建模分析与试验验证的方法,对有机肥撒施机在不同作业速度、推板速度、螺旋转速条件下

的撒肥量、作业效率及撒肥均匀性进行分析。三因素正交试验结果表明:作业速度是影响撒肥量和施肥效率的主要因素,螺旋转速是影响撒肥宽度的主要指标。

### 2.2.2 卧辊式撒肥机

我国大田撒肥机发展较为落后,主要以引进与仿制为主,目前国内科研院所也有了相应的研究成果,东北农业大学崔亮<sup>[8]</sup>设计了一种采用地轮驱动输肥的农家肥抛撒机,对地轮驱动、刚性轮行驶阻力进行阐述,对地轮驱动输肥过程中的地面参数和机具的结构参数间相互影响进行了仿真计算。刚性轮运动阻力模型的仿真在数值呈线性变化的垂直载荷条件下,运动阻力随着垂直载荷的增长而成指数增长。农业农村部南京农业机械化研究所马标等根据有机肥撒施机整机设计目标,对拨料辊进行了设计,并计算优化了拨爪式拨料辊拨爪的折弯角、排列间距及排列方式,得到最佳设计参数。上海某公司引进日本技术生产的TMS10700型厩肥施肥机,其最大装卸重量为8 600 kg、撒布宽度为4 m、工作速度为3~7 km/h、撒布量为17 910~99 507 kg/hm<sup>2</sup>、适应拖拉机功率为59~92 kW,驱动转速为540 r/min。北京市农机鉴定推广站研制的2F-5000型链耙刮板式大肥量有机肥撒施机,拖拉机动力通过动力输出轴传递给蜗轮蜗杆减速机(减速换向),再通过半轴链轮(减速)带动棘爪拨动链耙刮板主动轴棘轮转动,实现车厢内有机肥料整体前移<sup>[17]</sup>。前移的肥料通过出料口上方的2根旋转刮料辊刮到下撒到农田中,实现有机肥料大量均匀撒施;2F-5000型施肥机在装肥方式、防肥料架空性、防止施肥过程中的扬尘等方面有一定优势。东北农业大学王庆庆<sup>[4]</sup>分析了新型农家肥抛撒机的工作机理,并进行抛撒性能试验研究,得到了对于均匀度变异系数及撒肥幅宽,因素的影响主次顺序为抛撒转速、抛撒机行走速度、刮板间距。

### 2.2.3 锤片式撒肥机

东北农业大学刘宏新等<sup>[18]</sup>为解决现有锤片式有机肥侧向撒肥机关键部件可靠性较低等问题,设计以倾斜对置圆盘为关键部件的有机肥侧抛机,通过台架试验修正参数,当圆盘安装角度为73°,刮肥板安装角度为4°,圆盘转速为570~600 r/min,该撒肥机可达到与锤片式撒肥机相同作业效果;吉林农业大学施继红等<sup>[19]</sup>以螺旋式撒肥器为研究对象,采用试验优化设计的方法,研究了撒肥器的转速、螺旋的螺距和肥料的输送速度对抛撒性能的影响。结果表明:转速为375~400 r/min、螺距为340 mm、输送速度为12 mm/s能有效幅宽满足设计要求,不均匀度较小。

### 2.2.4 其他撒肥机

山东省农业机械科学研究院褚斌等<sup>[7]</sup>设计了一种

适用于高含水率畜禽粪便堆沤有机肥的侧向撒肥机,通过多因素水平正交试验,设定抛撒转速、施肥机行走速度、抛撒角度为试验因素,分别以均匀度变异系数、撒肥幅宽为试验指标。方差和响应面分析结果表明,对于均匀度变异系数和撒肥幅宽两试验指标,影响因素主次顺序为抛撒转速、抛撒角度、行走速度;最优参数组合为抛撒转速 305 r/min、行走速度 4 km/h、抛撒角度 20°。湖南农业大学李洁<sup>[20]</sup>通过对施肥机构关键零部件肥料箱、输送转轴、机架、抛撒转轴和传动系统进行了结构设计,在制作好的施肥机构上分别对粒状与粉状有机肥进行了多因素二次回归正交旋转试验,通过回归正交旋转试验并借助软件得出了各因素与施肥均匀性变异系数的数学模型,运用检验得出各因素对施肥均匀性的影响程度分别是排料口大小对排肥性能的影响大于输送转轴转速对排肥性能的影响;抛撒

转轴位置对撒肥性能的影响大于抛撒转轴转速对撒肥性能的影响。

### 2.3 国内外大田有机肥撒肥机对比

欧美等发达国家推广应用的有机肥撒施装备以大马力拖拉机配套撒施厩肥为主,性能先进,效率较高,但价格昂贵。我国南方丘陵地区与设施园区地块面积小,不适宜大型装备作业。我国在自主研发的同时,攻克了多功能施肥技术、定量喂肥技术、均匀撒施技术以及智能监控技术、基于北斗卫星的导航技术等,结合大田作物种植的基本国情,研发了部分相关机型,具体对比如表 1 所示。我国自主研发的撒肥机与人工施肥相比,施肥效率是人工施肥的 30~80 倍;与传统人工有机肥撒施作业方式相比,作业成本可降低 448~597 元/hm<sup>2</sup>;我国现有装备与国外机型成本相比,平均每台可降低 50% 左右。

表 1 不同撒肥机对比

Tab. 1 Comparison of different fertilizer spreader

施肥类型	施肥特点	适用范围	购机成本/万元
人工施肥	劳动强度大,施肥不均匀,效率低	适应于各种不同环境以及不同物理特性肥料	无
立辊式撒肥机	国外 装载量大、撒肥机撒施幅宽较大,撒施效率高,破碎效果好;但撒施均匀性不够,需要配到大功率拖拉机及大型上料装载机	适合于规模化农牧场投入使用,适用于粉状、颗粒状以及块状厩肥,特别是撒施高湿、高含杂率厩肥	约 20
	国内 链条整体输送肥料,撒肥幅宽大、效率高		约 11
锤片式撒肥机	国外 撒肥距离较大,主要沿地块周边行走,当物料含水率较高时,相对其他抛撒机构效果更佳	主要用于大田作业,适用于粉状、颗粒状以及块状厩肥,特别是撒施高湿、高含杂率厩肥、垫床物料等	约 24
	国内 撒肥距离较大,主要沿地周边行走		约 9
卧辊式撒肥机	国外 整机整体高度较低,便于装卸物料,液压推送实现强制排肥,无论肥料特性如何,皆可排出	主要用于大田作业,适用于粉状、颗粒状以及块状厩肥,特别是撒施高湿、高含杂率厩肥	约 12
	国内 施肥量可调,抛撒均匀度、作业效率高		约 6

### 3 存在问题

1) 有机肥撒肥机将会在国内逐步推广使用,但是在抛洒过程中存在一些问题制约了其发展与应用。抛洒过程一个重要考核的指标是其均匀性,目前现有的机器不管是横向还是纵向抛洒均匀性一般,需要来回多次重叠作业以改善其均匀性,然而整机的来回行走对土壤进行了压实。

2) 在撒肥环节,有机肥撒肥所消耗的时间仅占 15%,而装肥与运肥的时间则占 85%,需要配套上肥设备,增加了工作环节,同时增加了投入成本,一定程度上降低了工作效率。

3) 现有机器主要还是机械粗犷操作,缺少智能控制方面的调控,随着农业的逐步发展,大田作物农艺的逐步提高,定量按需施肥将成为必要。

4) 虽然国外机器发展整体成熟,但是存在进口设备成本高、在我国使用环境受限等问题,我国迫切需要

研发自主知识产权、适应我国基本国情的机型,为我国大田作物更好地发展做出贡献。

### 4 发展趋势

首先,针对上述存在的问题:需要对抛洒机构中的结构参数与工作参数进行优化改进,最终实现固体有机肥的均匀撒施;可结合本文提出的在种养结合模式下利用田头轻简化堆肥,以增加撒肥时间为目标,研发具有翻抛、自上料功能一体的撒肥机,避免上肥环节,更省时省力;针对输肥过程、抛洒过程进行智能调控,同时可增加故障报警等环节,进一步完善机器。

其次,我国是农业大国,每年产生的废弃物较多,其中代表性的畜禽粪污年产可达 40 亿吨左右,秸秆量超 10 亿吨,但其整体利用率较低,目前主要存在一些商品的颗粒状、粉状有机肥用于设施农业,大田使用较少,随着有机肥制作工艺及设备的逐渐完善,结合我国土壤现阶段的基本情况,如何高效地进行有机肥还田

已成为迫切需要解决的问题。有机肥还田目前主要以基肥还田为主要方向,大田作物有机肥还田从成本与抛洒效率等因素考虑,建议在种养结合模式下利用田头轻简化堆肥,对发酵后的厩肥直接还田<sup>[15, 21-22]</sup>。

根据我国的地理环境条件,北方地块具有分布集中、面积大等特点,南方地区主要小地块、丘陵地带等形貌特征存在,国外撒肥机基本只能满足我国北方需求,但是其成本过高,所以需要我国自主研发适用于我国土地基本国情的相关设备。针对南方地区,我国现有的设备体积略显过大,在田间作业行走困难,存在肥料抛撒出地块面积范围外问题,同时,造成了施肥不均等现象,为了减少配套上料设备的投入,因此,需要研制一款体积小、行走灵活、成本较低的自上料自走式撒肥机,主要是针对田间地头堆肥后的厩肥;针对北方地区,可在现有机器的基础上进一步扩大体积,然后考虑到我国北方的气候环境等问题,存在一定的冻肥,在增加抛撒效率的同时,需要对抛撒部件面对特殊的冻厩肥进行破碎及均匀撒施。

我国提出耕地红线、粮食安全、双减等一系列政策。有机肥的高效还田皆是相关政策实现全程机械化的关键环节,也是相对比较薄弱的环节。所以,需要加大对有机肥撒施装备的研究力度与投入,不断优化改进关键零部件,强弱项,补短板,为我国大田作业绿色种植与全程机械化提供技术支撑。另外,开展固体有机肥机械化撒施技术及装备研究,以机械撒施代替人工撒施,降低劳动成本,提高施肥效率,促进有机肥替代化肥政策的实施;通过系列化有机肥撒施机的示范、推广,提高农民使用有机肥的兴趣,扩大有机肥销售市场,为固体有机肥生产企业可持续发展,农业固体废弃物肥料化利用提供装备支撑。

## 5 结语

随着农业的快速发展,农业废弃物产量呈上升趋势,如果不及时有效地进行处理,将对环境造成二次污染,我们需要把这些放错地方的有机资源充分再次利用。农作物的频繁种植以及农药化肥的大量使用,严重破坏了土壤结构,造成土壤贫瘠,就我国东北的黑土地来说,黑土地的厚度在逐年降低,为了还原我们的黑土地,为了使土壤长期保持肥力,需要提高有机肥的使用力度。目前,我国出台了大量的相关政策大力扶持农业的机械化、农业废弃物的资源化,这不仅是农业机械化发展的机遇,也是时代的需要与选择,因此,研究适宜的先进的大田作物撒肥机具有重要意义。

## 参 考 文 献

[1] 张秀平, 李秋国. 有机肥撒施机撒肥装置的研究[J]. 河北

农机, 2014(2): 34-35.

- [2] 吴宁. 2F50 有机肥撒施机开发研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2016.  
Wu Ning. Research and design of 2F50 manure spreader [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2016.
- [3] 李文哲, 王庆庆, 崔亮, 等. 农家肥抛撒机抛撒性能分析与试验[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(12): 57-67.  
Li Wenzhe, Wang Qingqing, Cui Liang, et al. Performance analysis and experiment of farm manure spreader [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(12): 57-67.
- [4] 王庆庆. 农家肥抛撒机抛撒特性分析及试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.  
Wang Qingqing. Throwing characteristics analysis and experimental research of farm manure spreader [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [5] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [6] 农业部. 农业部办公厅关于印发《〈到 2020 年化肥使用量零增长行动方案〉推进落实方案》的通知[EB/OL]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201505/t20150525\\_4614695.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201505/t20150525_4614695.htm), 2015-05-25.
- [7] 褚斌, 吴爱兵, 韩梦龙, 等. 畜禽粪便堆沤有机肥撒肥机设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(2): 58-65.  
Chu Bin, Wu Aibing, Han Menglong, et al. Design and experiment of the organic fertilizer spreader for livestock and poultry manure composting [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(2): 58-65.
- [8] 崔亮. 农家肥抛撒机的设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.  
Cui Liang. Design and experiment of farmyard manure scatters machine [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [9] 马标, 付菁菁, 许斌星, 等. 有机肥撒施技术及装备研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(8): 1-6.  
Ma Biao, Fu Jingjing, Xu Binxing, et al. Research on manure spreader technology and equipment [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(8): 1-6.
- [10] 吴昊. 固体有机肥抛撒车的结构设计及力学性能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.  
Wu Hao. Structure design and mechanical performance analysis of solid manure spreader [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2018.
- [11] Stephen J L, Periyasamy B. Innovative developments in biofuels production from organic waste materials: A review [J]. Fuel, 2018, 214: 623-633.
- [12] Tejada M, Benítez C. Flazasulfuron behavior in a soil amended with different organic wastes [J]. Applied Soil Ecology, 2017, 117-118: 81-87.
- [13] Chin A, Schmidt S, Buckley S, et al. Sorbents can tailor nitrogen release from organic wastes to match the uptake capacity of crops [J]. Science of the Total Environment,

- 2018, 645: 1474-1483.
- [14] Aydin S, Yesil H, Tugtas A E. Recovery of mixed volatile fatty acids from anaerobically fermented organic wastes by vapor permeation membrane contactors [J]. *Bioresource Technology*, 2018, 250: 548-555.
- [15] 李洁, 吴明亮, 汤远菊, 等. 有机肥施肥机械的研究现状与发展趋势[J]. *湖南农业大学学报*, 2013, 39(1): 97-100.
- [16] 吕金庆, 孙玉凯, 李季成, 等. 立式有机肥螺旋撒肥装置设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(24): 19-28. Lü Jinqing, Sun Yukai, Li Jicheng, et al. Design and test of vertical spiral organic fertilizer spreading device [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(24): 19-28.
- [17] 张艳红, 秦贵, 秦国成, 等. 2F-5000型链耙刮板式大肥量有机肥撒施机设计[J]. *农业机械*, 2011(21): 74-76.
- [18] 刘宏新, 王佳兴, 苏航, 等. 倾斜对置圆盘侧抛式有机肥撒播机设计及关键部件研究[J]. *东北农业大学学报*, 2018, 49(8): 83-90. Liu Hongxin, Wang Jiaying, Su Hang, et al. Design on side type discharge organic fertilizer spreader with inclined opposite discs and research on its key components [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2018, 49(8): 83-90.
- [19] 施继红, 孟宪章, 潘世强, 等. 农家肥撒施机螺旋式撒肥器抛撒性能的试验研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2006(1): 111-113. Shi Jihong, Meng Xianzhang, Pan Shiqiang, et al. Scattering performance research of scattering apparatus in farm manure applicator [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2006(1): 111-113.
- [20] 李洁. 有机肥施肥机构设计与试验研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014. Li Jie. Design and experimental research of organic fertilizer [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [21] 冯艳辉, 杨华, 韩宏宇, 等. 厩肥施肥机的现状及发展趋势[J]. *农机使用与维修*, 2020(9): 8-10.
- [22] 李建新. 我国农业施肥机械及相关技术介绍[J]. *农机使用与维修*, 2018(9): 86. Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(9): 115-123.
- (上接第19页)
- [29] 王显仁, 李耀明, 徐立章. 水稻脱粒破碎率与脱粒元件速度关系研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8): 16-19. Wang Xianren, Li Yaoming, Xu Lizhang. Relationship between thresher velocities and rice grain broken rate [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(8): 16-19.
- [30] 金诚谦, 康艳, 郭红星, 等. 脱粒滚筒结构形式对大豆机收质量影响的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(4): 49-58. Jin Chengqian, Kang Yan, Guo Hongxing, et al. Experimental research on the influence of threshing roller structures on the quality of mechanically-harvested soybeans [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(4): 49-58.
- [31] 笪强. 联合收割机脱粒装置分析及优化设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2021. Da Qiang. Analysis and optimization design of threshing device for combine harvester [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021.
- [32] 王镇东, 崔涛, 张东兴, 等. 玉米联合收获机纹杆式脱粒元件设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(9): 115-123. Wang Zhendong, Cui Tao, Zhang Dongxing, et al. Design and experiment of rasp bar threshing element of corn combine harvester [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(9): 115-123.
- [33] 李耀明, 王建鹏, 徐立章, 等. 联合收获机脱粒滚筒凹板间隙调节装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(8): 68-75. Li Yaoming, Wang Jianpeng, Xu Lizhang, et al. Design and experiment on adjusting mechanism of concave clearance of combine harvester cylinder [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(8): 68-75.
- [34] 王立军, 宋良来, 冯鑫, 等. 谷物联合收获机筛分装置研究现状与发展分析[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(6): 1-17. Wang Lijun, Song Lianglai, Feng Xin, et al. Research status and development analysis of screening devices of grain combine harvester [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(6): 1-17.
- [35] 廖庆喜, 万星宇, 李海同, 等. 油菜联合收获机旋风分离清选系统设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(14): 24-31. Liao Qingxi, Wan Xingyu, Li Haitong, et al. Design and experiment on cyclone separating cleaning system for rape combine harvester [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(14): 24-31.
- [36] 陈巧敏, 夏先飞, 宋志禹, 等. 一种食用豆联合收割机输送机构[P]. 中国专利: CN211831926U, 2020-04-28.