

张 周, 陈 雪, 张富贵, 等. 双料箱施肥机关键部件的设计[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 213-219.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.01.031

双料箱施肥机关键部件的设计

张 周¹, 陈 雪², 张富贵¹, 符德龙², 黄化刚², 荆双伟¹

(1. 贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州 毕节 551700)

摘要: 为了合理利用有机肥和复合肥, 满足多种经济作物的施肥要求, 本研究研制了双料箱施肥机, 可一次性完成起垄和施肥作业。为了合理设计该施肥机的排肥参数, 对复合肥和自行研制的酒糟有机肥进行物理性质测定。根据 2 种肥料的物理性质并结合施肥要求, 得到该机具有机和复合肥的排肥机构、料箱等关键部件的设计参数, 排肥机构的极限转速为 3.23 r/s。机具的田间试验结果表明, 各档位施肥的均匀度均在 94% 以上, 复合肥与酒糟有机肥施肥量在各档位下的变异系数均在 0.04 以内, 施肥比例均接近于 3:1。施肥幅宽和深度的均值为 5.43 cm 和 21.64 cm, 变异系数分别为 0.07 和 0.04, 基本达到了当地的施肥要求。

关键词: 有机肥; 复合肥; 双料箱; 施肥机

中图分类号: S224.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2018)01-0213-07

Design of key components of fertilizer applicator with double fertilizer boxes

ZHANG Zhou¹, CHEN Xue², ZHANG Fu-gui¹, FU De-long², HUANG Hua-gang², JING Shuang-wei¹

(1. College of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Bijie Branch of Guizhou Provincial Tobacco Corporation, Bijie 551700, China)

Abstract: For the purpose of rational utilization of organic and compound fertilizer to meet the plantation needs of multiple industrial crops, a fertilizer applicator with double fertilizer boxes was developed, which could complete ridge and fertilization operations at the same time. To design the distributing parameters of the machinery, the physical properties of the commercial compound fertilizer and vinasse organic fertilizer of self-developed were determined. According to the physical properties of the two kinds of fertilizer and fertilizer requirements, the machine was designed, including fertilizer mechanism, container and other key components. It determined that the speed limit of the fertilizer applicator was 3.23 r/s. According to field trials of the machine, application uniformity of fertilizer under different shifts were above 94%, the coefficient of variation of the compound fertilizer and vinasse organic fertilizer fertilization amount was within 0.04, and application ratio of organic and compound fertilizer was 3:1. Application width and application depth were 5.43 cm and 21.64 cm, and the coefficients of variation were 0.07 and 0.04.

Key words: organic fertilizer; compound fertilizer; double fertilizer boxes; fertilizer applicator

收稿日期: 2017-07-17

基金项目: 优质烤烟农机农艺融合研究与示范基金项目[(2014)6015-6]; 毕节烟草农机常用机型适应性优化设计研究基金项目[(2015)3]; 贵州省贵州大学研究生创新基金项目(2017057)

作者简介: 张 周(1991-), 女, 贵州石阡人, 硕士研究生, 主要从事机械电子工程方面的研究。(Tel) 18300862231; (E-mail) 903857150@qq.com

通讯作者: 张富贵, (E-mail) zhufugui@vip.163.com

施肥机是现代农业机械化生产体系中的主要配套机具之一, 提高肥料利用率并减少肥料损失是施肥机械发展的重点。中国化肥的施用量较高, 但利用率远低于许多发达国家的水平(60%~70%), 目前只能达到 30%^[1]。化肥施用量以每年 1.0×10^6 t

的速度增长,同时以每年 1.8×10^7 t 的速度流失,化肥使用率总体呈下降的趋势^[2]。化肥的不合理使用会导致化肥利用率降低,土壤肥力下降,环境污染加剧以及经济作物品质下降等多种问题^[3-6]。同时,随着酿酒业、养殖业等快速发展,会产生大量酒糟、家禽粪便等有机肥原料。据文献记载,中国每年产生的酒糟等有机肥原料达 1.9×10^9 t^[7],如果任其流失会造成严重的环境污染。

国内外对施肥机做了大量研究,Hosseini 等^[8]采用作物定位管理(SSCM)技术提高施肥的精确度。Ishola 等^[9]和于英杰等^[10]采用位置定位的方法,根据机具田间位置实现精准施肥,通过改变旋转轴的转速来控制施肥量。精准施肥机技术已经成熟,但仍存在结构复杂、价格昂贵和不易维修等问题,并且在南方丘陵地区存在施肥稳定性不高和适应性差等问题^[11]。在排肥器研究方面,潘世强等^[12]和田耘等^[13]通过理论计算及仿真确定了变量施肥机外槽轮排肥器的参数。德国 Hanovre 农机展会上出现了一种全自动操纵的双盘式施肥机^[14]。杨欣伦等^[15]先通过理论计算初步确定叶片式排肥器参数,利用 VB6.0 软件对其进行运动学仿真优化,应用 Pro/e 软件快速生成模型,最后确定排肥器结构参数。陈雄飞等^[16]研制了一种 2 级螺旋排肥装置,有效改善了施肥效果。以上排肥器在实验室

的试验效果较好,但对南方多雨地区潮解肥料的适用性不好,并且只能施用一种肥料。有机肥排肥器一般采用撒肥的形式^[17],这种方式不能对肥料进行深施和均匀施肥,且有机肥湿度大,易发生堵塞。因此,研制一种能同时施用 2 种不同物理性质肥料的施肥机十分必要。

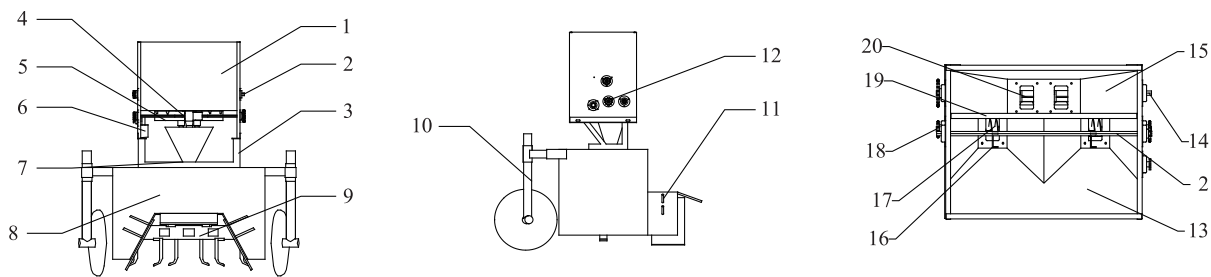
为了能同时施用有机肥和复合肥,减少肥料对环境的污染,并对肥料进行深施,本研究拟根据有机肥和复合肥的物理性质,设计一种可以同时施用有机肥和复合肥的施肥机装置,并对施肥机进行田间试验和性能分析。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

双料箱施肥机装置的结构简图(图 1)显示,其主要由料箱、排肥机构、传动机构、旋耕起垄机构等组成,主要技术参数见表 1。

施肥机料箱由有机肥料箱和复合肥料箱组成,料箱底部设有排肥口,有机肥料箱内安装了有机肥搅拢轴。复合肥采用外槽轮式的排肥机构,有机肥采用螺旋式的排肥机构。传动机构主要由电机、链传动机构、有机肥旋转轴、复合肥旋转轴和搅拢轴构成,旋耕起垄机构由开沟器、起垄器和旋耕刀构成。



1: 双料箱; 2: 搅拢轴; 3: 机架; 4: 复合肥排肥机构; 5: 有机肥排肥机构; 6: 电机; 7: 混肥漏斗; 8: 旋耕起垄机构; 9: 旋耕刀; 10: 覆土轮; 11: 起垄器; 12: 传动机构; 13: 有机肥料箱; 14: 复合肥排肥轴; 15: 复合肥料箱; 16: 搅拢轴叶片; 17: 螺旋排肥器; 18: 有机肥排肥轴; 19: 料箱隔板; 20: 外槽轮排肥器。

图 1 双料箱施肥机结构简图

Fig.1 Simplified structure of the double fertilizer boxes

1.2 工作原理

双料箱施肥机用拖拉机连接悬挂装置,通过万向节传递动力,使旋耕刀旋转从而对土壤进行旋耕。机具行进时,使用者根据施肥要求选择合适的档位,

当选择自动档时,固定在拖拉机后轮上的速度传感器将采集机具的速度信号。控制系统将机具行进速度与排肥直流电机的转速进行匹配。对有机肥排肥轴和复合肥排肥轴进行匹配后,通过调节调节板改

变排肥口的开口度,实现固定比例施肥,最后达到精准施肥的效果^[18]。在电机的带动下,有机肥在搅拢轴的带动下通过2个反装的螺旋排肥器进入混肥漏斗,复合肥通过外槽轮排肥器进入混肥漏斗,最后进入排肥管。在施肥前,应先调节排肥管的距离,控制施肥深度,通过机架后方起垄板的可调拖板刮平垄顶来控制垄高,一次性完成旋耕、施肥和起垄。

表1 双料箱施肥机主要参数

Table 1 The main parametes of the double fertilizer boxes

指 标	参 数
外形尺寸(长×宽×高, mm)	860×1 180×1 200
配套动力(kW)	60
行进速度(km/h)	0.37~29.91
挂接方式	后三点悬挂
作业幅宽(cm)	110
作业行数	一垄单行
起垄高度(cm)	25~30
施肥间距(cm)	80~130
施肥深度(cm)	20~25
有机肥施肥量(kg/hm ²)	1 125
有机肥和复合肥的施肥比例	3:1
施肥方式	条施、深施
施肥传动方式	直流电机
有机肥排肥器	螺旋式
复合肥排肥器	外槽轮式
作业效率(hm ² /h)	0.2~0.5

2 双料箱施肥机关键部件设计及田间施肥试验

2.1 肥料物理性质测定

2.1.1 测定内容 肥料物理性质与施肥机构的设计有直接关联^[19],分别对贵州毕节市使用的复合肥(毕节灵丰复合肥有限公司产品)和遵义酒糟有机肥的物理性质进行测定,测定的物理量有粒径、含水率、休止角、体积密度。测试前将有机肥的含水率控制在10%以内。

2.1.2 测定结果 肥料物理性质测定结果(表2)显

示,含水率在10.00%以内,满足设计要求。复合肥和有机肥料箱壁的倾斜角分别为45°和60°,料箱壁倾斜角度大于休止角。体积密度影响排肥时肥料的摩擦特性和流动特性,与排肥器的选择密切相关。

表2 复合肥与酒糟有机肥的物理性质

Table 2 The physical properties of compound fertilizer and vinasse organic fertilizer

物理性质	复合肥	酒糟有机肥
粒径(mm)	2.81	—
含水率(%)	4.38	9.01
休止角(°)	30.72	43.18
体积密度(g/cm ³)	1.23	0.83

2.2 关键部件的参数设计

2.2.1 外槽轮排肥器 复合肥的排肥器为外槽轮式,适用于流动性好的松散化肥和复合颗粒肥^[20]。外槽轮排肥量是施肥机性能的一个重要指标,外槽轮每一转排肥量的计算公式为:

$$q_1 = \pi d L \gamma \left(\frac{\alpha_0 f_q}{t} + \lambda \right) \quad (1)$$

式(1)中: q_1 为理论排肥量(g/r), d 为外槽轮外径(cm), L 为槽轮的有效工作长度(cm), γ 为复合肥密度(g/cm³), α_0 为槽内肥料的充满系数, f_q 为单个槽的截面积(cm³), λ 为带动层特性系数, t 为槽轮凹槽节距(cm), $t = \frac{\pi d}{z}$, z 为槽数。

从式(1)中可以看出,外槽轮排肥量与 d 、 L 、 γ 、 $\alpha_0 f_q$ 、 z 和 λ 有关。依据李洁^[19]的研究结果, α_0 接近1.00,考虑误差取0.95, λ 的带动层特性系数为0.20~0.60(取0.30)。通过改变转速来满足对排肥量的设计要求,设计外槽轮外径 d 为6.0 cm, L 为10.0~20.0 cm(取12.0 cm),外槽轮槽深为1.6 cm, f_q 为1.76 cm³, z 为8。

2.2.2 螺旋排肥器

2.2.2.1 排肥量 根据酒糟有机肥的物理性质,排肥器采用螺旋排肥器,螺旋排肥器的单圈排肥量是评价排肥装置性能的一个重要指标。排肥装置的稳定性和均匀性取决于螺旋排肥器排肥的稳定性和均匀性,其中排肥器的转速和轴向阻力都会影响其排肥性能^[16]。在不考虑转速和轴向阻力的情况下,理

论上单圈排肥量的计算公式为:

$$q = [\pi(D^2 - d^2)S/4 - bhL_p]\rho\varphi \quad (2)$$

式(2)中: q 为理论单圈排肥量(g), D 为排肥螺旋的外径(mm), d 为排肥螺旋的内径(mm), S 为螺距(mm), b 为螺牙平均厚度(mm), h 为螺牙深度(mm), $h = (D - d)/2$, L_p 为螺牙平均长度(mm), ρ 为肥料容重(g/mm^3), φ 为排肥螺旋的填充系数。

安装好的螺旋排肥器基本是固定的,排肥量很难通过机械结构来改变。因此,只有通过改变转速来改变螺旋排肥器单位时间内的排肥量。其中螺旋的填充系数 φ 与肥料的物理性质和排肥螺旋的转速等有关,为保证足够的肥料流以及螺旋排肥的均匀性和稳定性,应使填充系数接近1^[21]。根据设计要求和肥料物理性质,设计螺旋排肥器的螺旋外径(D)为100.0 mm,螺旋内径(d)为20.0 mm,螺距(S)为80.0 mm,螺牙深度(h)为7.5 mm,螺旋长度(L_p)为240.0 mm,采用2个螺旋排肥器。

2.2.2.2 转速 螺旋排肥器的转速对其排肥量和排肥性能有较大影响。当螺旋排肥器的转速超过其极限值时,肥料会因离心过大而向外壁堆积,无法排出^[22],所以要对螺旋排肥器的转速进行限定,不能超过其极限。在螺旋外径有机肥不产生径向运动并且不考虑肥料不同的情况下,螺旋排肥器的转速与其相关参数的关系如下:

$$\pi n_{\max}/30 \leq K\sqrt{gr} \quad (3)$$

$$n_{\max} = \frac{30K}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r}} = \frac{30K}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{D}} \quad (4)$$

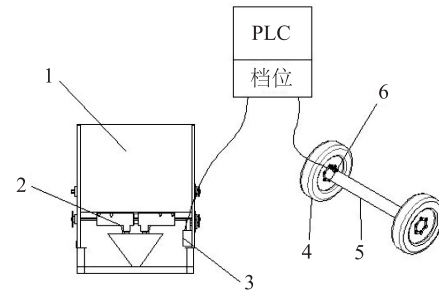
令 $A = 30K\sqrt{2g}/\pi$,故其关系可转换为经验公式^[23]:

$$n_{\max} = A/\sqrt{D} \quad (5)$$

式中: r 为螺旋排肥器半径(m), n_{\max} 为螺旋排肥器的极限转速(r/min), g 为重力加速度(s^2), K 为物料综合特性系数, D 为排肥螺旋外径(mm)。根据所设计的参数可得 $n_{\max} = 3.23 \text{ r/s}$ 。

2.2.3 排肥控制系统机构 为保证排肥量的均匀性和稳定性,设计排肥控制系统,由可编程逻辑控制器(PLC)控制,设置不同速度进行施肥,共5个档位(1档、2档、3档、4档和自动档),自动档施肥时的施肥量主要取决于排肥器转速。该系统结构如图2显示。

机具运作时,使用者可通过控制箱设置不同档



1:料箱;2:排肥器;3:24 V 直流电机;4:拖拉机后轮;5:拖拉机驱动轴;6:传感器;PLC:可编程逻辑控制器。

图2 排肥控制系统结构简图

Fig.2 Schematic structure of fertilizer control system

位,选择合适的速度以控制施肥量。自动档是通过PLC控制电路收集机具前进速度和地轮旋转速度信息,将信息转化为脉冲数后输入直流电机驱动器,通过电机控制各排肥轴的转速,从而控制有机肥和复合肥的施肥量。

2.3 田间施肥试验

2.3.1 试验条件及方法 2017年4月1日在贵州省毕节市威宁县黑石科技园烟草基地进行施肥起垄测试。田间测试面积约1 600 m^2 ,测试区为无茬田地,土壤全耕层的绝对含水率平均为18.13%。采用雷沃604拖拉机悬挂双料箱施肥机(图3)。



图3 样机试验现场

Fig.3 Prototype experiment site

测试内容主要包括施肥均匀性、幅宽、深度、断条率,以及在不同转速下有机肥和复合肥单位时间的施肥量、墒面宽、垄高、垄基宽和垄距。测试工具主要有:100 m皮尺、5 m卷尺、米尺、秒表、水平仪、小铲、电子天平等。

2.3.1.1 施肥均匀性 施肥均匀性的测试在地面进行,排肥管口处用容量足够大的收纳袋固定。机具

调整到合适的高度,在不同速度(1档、2档、3档、4档、自动挡)下进行5次测试,测试长度为50 m。计算肥料施肥均匀性相关指标系数,变化率、变异系数、均匀度按如下公式计算:

$$q_v = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max}} \quad (6)$$

$$CV = \frac{S}{q_{\text{mean}}} \quad (7)$$

$$UC = \left[1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - q_{\text{mean}}|}{q_{\text{mean}}} \right] \times 100\% \quad (8)$$

式中: q_v 为变化率, q_{\max} 为最大变化率, q_{\min} 为最小变化率, CV 为变异系数, S 为样本方差, q_{mean} 为样本均值, UC 为均匀度, n 为样本数, q_i 为第*i*个样本值。

2.3.1.2 施肥幅宽、深度和断条率 在田间起垄施肥5行,从中随机选取3行,每行选取5个点,将土层横断面切开,进行施肥幅宽和施肥深度(起垄顶层距肥料的距离)的测定。为便于观察施肥断条率的情况,在地面进行断条率测试。

2.3.1.3 单位时间施肥量 以不同速度行驶50 m,测量每行总施肥量,并记录每一行有效段施肥所用的时间,有机肥和复合肥分开测量,得到有机肥和复合肥单位时间的施肥量及二者之间的关系。

2.3.1.4 墒面宽、垄高、垄基宽及垄距 在4.2.2试验的基础上,每行选取5个等距的点,测定墒面宽、垄高、垄基宽及垄距。按下列公式计算垄高、墒面宽、垄基宽。

$$V = \frac{S}{\bar{Q}} \times 100\% \quad (9)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (10)$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q_i}{n} \quad (11)$$

V 为垄高、墒面宽和垄基宽的变异系数(%), S 为垄高、墒面宽和垄基宽的标准差(cm), \bar{Q} 为垄高、墒面宽和垄基宽的平均值(cm), Q_i 为垄高、墒面宽和垄基宽的测量值(cm), n 为各指标测点数。

2.3.2 试验结果

2.3.2.1 施肥均匀性 分别对有机肥和复合肥的均

匀性进行测试,测试过程中,保持拖拉机在不同施肥速度下的前进速度相同,均为0.9 m/s。所测结果(表3、表4)显示,有机肥最大变化率为0.15,最大变异系数为0.04,最低均匀度为96%。复合肥最大变化率为0.11,最大变异系数为0.03,最低均匀度为94%,均满足设计要求。在一定速度范围内,施肥量随施肥速度的增加而增加,变化率和变异系数随施肥速度的增大而减小,但自动挡下的变化率和变异系数较高,这主要是因为拖拉机前进中速度的波动较大。

表3 双料箱施肥机施用有机肥的均匀性

Table 3 Uniformity of organic fertilizer applied by fertilizer applicator with double fertilizer boxes

档位	施肥量 (kg)	变化率	变异系数	均匀度 (%)
自动挡(0.93 r/s)	6.90	0.15	0.04	97
1档(0.65 r/s)	4.53	0.10	0.03	96
2档(0.83 r/s)	6.01	0.07	0.02	98
3档(1.10 r/s)	7.13	0.06	0.02	98
4档(1.36 r/s)	7.74	0.03	0.01	99

表4 双料箱施肥机施用复合肥的均匀性

Table 4 Uniformity of compound fertilizer applied by fertilizer applicator with double fertilizer boxes

档位	施肥量 (kg)	变化率	变异系数	均匀度 (%)
自动挡(0.93 r/s)	2.14	0.06	0.02	97
1档(0.65 r/s)	1.54	0.11	0.03	94
2档(0.83 r/s)	2.02	0.09	0.03	95
3档(1.10 r/s)	2.25	0.08	0.02	97
4档(1.36 r/s)	2.58	0.05	0.02	98

2.3.2.2 施肥幅宽、深度和断条率 双料箱施肥机施肥幅宽、深度和断条率的结果(表5、表6)显示,施肥幅宽为5.43 cm,其方差为0.14,变异系数为0.07。施肥深度为21.64 cm,其方差为0.71,变异系数为0.04。有机肥的断条率为2.03%,刚刚达到烟草施肥的要求,其主要原因是有机肥流动性较差,导致断条率偏高,但基本满足了设计要求。复合肥的断条率为0,效果理想,满足施肥要求。

表 5 双料箱施肥机施肥幅宽和断条率

Table 5 Fertilization width and discontinuous rate of fertilizer applicator with double fertilizer boxes

测试号	施肥幅宽 (cm)		断条率 (%)	
	测定值	方差	有机肥	复合肥
行 1	5.38	0.17	2.30	0
行 2	5.48	0.15	1.70	0
行 3	5.42	0.09	2.10	0
均值	5.43	0.14	2.03	0

表 6 双料箱施肥机施肥深度

Table 6 Fertilization depth of fertilizer applicator with double fertilizer boxes

测试号	施肥深度 (cm)	方差	变异系数
行 1	21.83	1.22	0.05
行 2	21.41	0.47	0.03
行 3	21.72	0.45	0.03
均值	21.64	0.71	0.04

2.3.2.3 单位时间施肥量 单位时间内,有机肥和复合肥施肥量随档位(自动档除外)的提升而增大(图 4)。满足烟草有机肥与复合肥 3:1 施肥比例的要求。

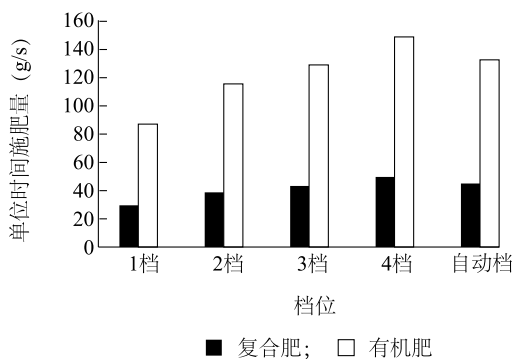


图 4 单位时间施肥量

Fig.4 Amount of fertilizer per unit time

2.3.2.4 墒面宽、垄高、垄基宽及垄距 双料箱施肥机起垄结果(表 7)显示,墒面宽、垄高、垄基宽和垄距的均值分别为 34.30 cm、25.57 cm、85.35 cm、111.90 cm,方差分别为 1.40、1.54、2.16、11.00,变异系数分别为 0.040、0.070、0.023、0.095,合格率分别为 90%、92%、100%、93%。垄型较好,垄体饱

满,并且垄面平实,满足烟草起垄农艺要求。垄高变异系数偏大,主要是由山地地面不平整导致的。垄距变异系数最大,主要是受人为因素的干扰。

表 7 双料箱施肥机起垄结果

Table 7 The ridging results of fertilizer applicator with double fertilizer boxes

测试内容	测试号	测量值 (cm)	方差	变异系数	合格率 (%)
墒面宽	行 1	34.80	1.20	0.030	-
	行 2	34.40	2.30	0.060	-
	行 3	33.80	0.70	0.020	-
	均值	34.30	1.40	0.040	90
垄高	行 1	25.50	2.02	0.080	-
	行 2	26.04	0.88	0.060	-
	行 3	25.18	1.71	0.070	-
	均值	25.57	1.54	0.070	92
垄基宽	行 1	85.04	2.95	0.030	-
	行 2	85.62	1.69	0.020	-
	行 3	85.40	1.85	0.020	-
	均值	85.35	2.16	0.023	100
垄距	行 1 与行 2	111.20	12.70	0.110	-
	行 2 与行 3	112.60	9.30	0.080	-
	均值	111.90	11.00	0.095	93

3 结论

通过理论分析与试验,所设计的双料箱施肥机能够同时实现有机肥和复合肥的精准施用,并且能根据当地的施肥要求进行施肥。

双料箱施肥机中有机肥和复合肥各档位施肥量的均值都符合要求,变化率、变异系数均在要求范围内,均匀度全部达到要求(94%以上)。有机肥和复合肥单位时间的施肥量满足烟草有机肥与复合肥 3:1 施肥比例的要求。

双料箱施肥机施肥幅宽为 5 cm 以上,施肥深度为 20 cm 以上,变异系数符合烟草施肥要求,满足田间作业要求。

双料箱施肥机在田间的起垄试验结果表明,该机具起垄效果较好,合格率均在 90%以上,墒面宽、垄高、垄基宽及垄距均值分别为 34.30 cm、25.57 cm、85.35 cm、111.90 cm,其变异系数分别为 0.040、0.070、0.023、0.095,各项指标均满足设计要

求。

双料箱施肥机仍存在一些问题,例如在有机肥含水率较高时,有堵塞架空现象,说明该机具仍需继续改进。

参考文献:

- [1] 陈远鹏,龙 慧,刘志杰. 我国施肥技术与施肥机械的研究现状及对策[J]. 农机化研究, 2015(4):255-260.
- [2] 夏循峰,胡 宏. 我国肥料的使用现状及新型肥料的发展[J]. 化工技术与开发, 2011, 40(11):45-48.
- [3] 王鹏程,邵泽强,薛大伟. 明确化肥施用现状 提高肥料使用效率[J]. 吉林农业, 2015(24):85.
- [4] 惠富平,过慈明. 近代中国关于化肥利弊的争论[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2015(1):114-122.
- [5] 宋永林. 常用肥料施用应注意的问题[J]. 中国农业信息, 2010(12):18-20.
- [6] 古丽皮叶·艾乃吐拉. 我国肥料的使用现状及新型肥料的发展[J]. 农业与技术, 2016, 36(10):14.
- [7] 刘希锋,孙士明,钱晓辉,等. 有机肥撒施机的种类与性能分析[J]. 农机化研究, 2016, 38(6):259-263.
- [8] HOSSEINI M S, ALMASSI M, MINAEI S, et al. Accuracy of two types of fertilizer rate control systems in a variable rate fertilizer applicator[J]. Advances in Environmental Biology, 2014, 8(12):306-314.
- [9] ISHOLA T A, YAHYA A, SHARIFF A R M, et al. An RFID-based variable rate technology fertilizer applicator for tree crops[J]. Journal of Applied Sciences, 2013, 13(3):409-415.
- [10] 于英杰,张书慧,齐江涛,等. 变量施肥机在不规则田块的定位方法[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2):158-161.
- [11] 陈桂芬,马 丽,陈 航. 精准施肥技术的研究现状与发展趋势[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(3):253-259.
- [12] 潘世强,赵亚祥,金 亮,等. 2BFJ-6 型变量施肥机外槽轮式排肥器的设计与试验研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(1):40-42.
- [13] 田 耘,赵亚祥. 变量施肥机外槽轮排肥器的试验研究[J]. 农业与技术, 2014(5):52-53.
- [14] 吴清分. 国外施肥机和植保机发展新动向[J]. 当代农机, 2015(4):50-52.
- [15] 杨欣伦,王金武,王金峰,等. 叶片式排肥器参数优化设计与分析[J]. 农机化研究, 2015(7):160-163.
- [16] 陈雄飞,罗锡文,王在满,等. 两级螺旋排肥装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3):10-16.
- [17] 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(自然科学版), 2013(s1):97-100.
- [18] 古玉雪,苑 进,刘成良. 基于模糊系统的开度转速双变量施肥控制序列生成方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11):134-139.
- [19] 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.
- [20] 耿端阳,张道林,王相友,等. 新编农业机械学[M]. 北京:国防工业出版社, 2011.
- [21] 陈广富,徐余伟. 饲料螺旋输送机设计参数的选择和确定[J]. 饲料工业, 2008, 29(15):1-5.
- [22] 陈长海. 水稻插秧机螺旋搅龙式侧深施肥装置的设计与试验研究[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学, 2016.

(责任编辑:王 妮)