

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.009

双级振动精密排种器外槽轮式定量供种装置设计与试验

周海波¹ 梁秋艳² 魏天路² 马旭³ 焦陈磊⁴

(1. 天津理工大学天津市先进机电系统设计 with 智能控制重点实验室, 天津 300384;

2. 佳木斯大学机械工程学院, 佳木斯 154007; 3. 华南农业大学工程学院, 广州 510642;

4. 天津理工大学机械工程学院, 天津 300384)

摘要: 针对现有外槽轮式排种装置存在充种不均匀现象的不足,从定量供种理论与试验研究角度,深入探讨定量供种技术。设计了一种电磁振动勺型外槽轮式定量供种装置,对勺型外槽轮、振动板和橡胶弹性板等关键部件进行了结构设计,并结合该装置的结构特点,推导了定量供种的理论模型,同时在振动频率保持不变的情况下,对该装置进行了定量供种试验,得到电磁振动振幅和排种轮转速对实际供种量的影响规律。试验结果表明,当排种轮转速在0.8~6.6 r/min、6.6 r/min以上,电磁振动振幅分别选择10 μm、15 μm时,实际供种量接近于理论模型,定量供种的相对误差小于4%,该研究成果可为精密排种器的数字化设计提供参考依据。

关键词: 精密排种器; 双级振动; 定量供种; 设计; 试验

中图分类号: S223.1⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)S0-0057-05

Design and Experiment of Quantitative Seed Supply Device with Fluted Roller Used for Double-vibrating Precision Seed Meter

Zhou Haibo^{1,2} Liang Qiuyan² Wei Tianlu² Ma Xu³ Jiao Chenlei⁴(1. *Tianjin Key Laboratory for Advanced Mechatronic System Design and Intelligent Control, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China*2. *College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China*3. *College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*4. *School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China*)

Abstract: In order to realize precision seeding for super rice and other crops in the seedling tray, the ration of quantitative seed supply is one of the important indicators to measure the performance of precision seed meter. Due to the uneven feeding of existing fluted roller seed meter, it needs to discuss quantitative seed supply technology deeply from the theory to test. A quantitative seed supply device with electromagnetic vibration scoop shape fluted roller was designed, including a detail structure design for scoop shape fluted roller, vibrating board and rubber sheet, etc. The theoretical model for quantitative seed supply was built with structure characteristics of the device, and the actual seed supply quantity was tested under the condition that electromagnetic vibration frequency was always constant. It was obtained that the influence rules of actual seed supply quantity were electromagnetic vibrator amplitude and fluted roller rotational speed. The test results showed that the actual seed supply quantity was close to theoretical model, the relative error of quantitative seed supply was less than 4%, when the seed rotational speed of metering wheel was 0.8 ~ 6.6 r/min and above 6.6 r/min, the electromagnetic

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51275209、51675188)、黑龙江省高校科技成果产业化前期研发培育项目(1253CGZH06)、广东省科技计划项目(2014B020207002)和佳木斯大学科学技术重点项目(YZ4014-002)

作者简介: 周海波(1973—),男,教授,博士,主要从事智能检测与控制技术研究,E-mail: haibo_zhou@163.com

通信作者: 马旭(1959—),男,教授,博士生导师,主要从事现代农业技术装备研究,E-mail: maxu1959@scau.edu.cn

vibrator amplitude was selected as 10 μm and 15 μm , respectively. The research results can provide a reference for digital design of precision seed meter.

Key words: precision seed meter; double-vibrating; quantitative seed supply; design; experiment

引言

排种器作为精密播种的核心部件,应该定量供种和均匀排种,尤其以目前流行的撒播方式为主对钵体毯状秧盘进行育秧播种时^[1-4],定量性和均匀性更显得尤为重要。现有属于散播的常用排种器主要可分为外槽轮式、凸棒轮式和振动式等,涉及的播种机机型主要有国外的井关农机有限公司 2BZP-580A 型、久保田农业机械有限公司 2BZP-800 型、洋马农机有限公司 YBZ600 型,国内的营口市农业机械化科学研究所 2BDP-1000 型水稻育苗秧盘精量播种机、台州市一鸣机械设备有限公司 YM-0819 型全自动水稻育秧播种流水线等,这些播种机均采用标准外槽轮式排种器进行秧盘育秧播种;电动播种机有哈尔滨同策科技发展有限公司研制的 2BJ-840 型电动水稻育秧播种机属于标准外槽轮式排种器,佳木斯明瑞农业机械制造有限公司 MR-BZ840A 型电动水稻大棚精量播种机属于 U 型外槽轮式排种器;手推式播种机有黑龙江省水田机械化研究所研制的 2BS-140 型水稻苗床播种机和佳木斯市文岭农机制造厂 2FBS-II 型育秧播种机,均属于凸棒轮式排种器^[5-7]。上述排种器主要由排种轮的种槽或者凸棒从种箱中排出种子,不足之处为:①充种性能仅依靠种子重力来实现,但会随着种箱内种层变薄而导致充实能力急剧下降,直接影响到定量供种的精度。②该类排种器仅有排种装置,没有进一步匀种过程,排种均匀性不高。为有效控制充种和匀种,李志伟等^[8]提出由调速电动机控制外槽轮的定量供种装置和电磁振动排种装置相结合的电磁振动式排种器;同时马旭等^[9]集成电磁振动勺型外槽轮式定量供种和气动振动 V-T 型匀种技术为一体,成功研制一种双级振动式精密排种器,并先后应用在 2CYL-450 型水稻秧盘育秧精密播种机和 2SJB-500 型水稻秧盘育秧精密播种流水线上。本文阐述双级振动精密排种器的电磁振动勺型外槽轮式定量供种装置结构和工作原理,以及关键零部件的设计过程,建立定量供种理论模型,并试验分析电磁振动幅值和排种轮转速对实际供种量的影响规律,确定与理论供种量相接近的工作参数。

1 结构设计

电磁振动定量供种装置主要由种箱、振动板、电

磁振动器、调节门、橡胶弹性板、排种轮及调速电动机构成,如图 1 所示。种箱的前部为振动器安装座,其内侧安装有电磁振动器,电磁振动器的振动台上安装着振动板,电磁振动器在带动振动板振动的同时也起到振动充种的作用,可促进种子的流动;种箱底部为双层叠板结构^[10-12],与振动板下端相互交错布置,且在排种轮上方形成一个相对稳定的供种腔;种箱的最下侧叠板上安装有橡胶弹性板,其下部附着在排种轮上,与种箱前侧的调节门一起在排种轮的上表面形成长方形充种区域;排种轮的转速由调速电动机进行控制,可以从供种腔中把种子定量排出,数字化变频调速技术的应用,也为定量供种装置设计奠定了良好的基础。

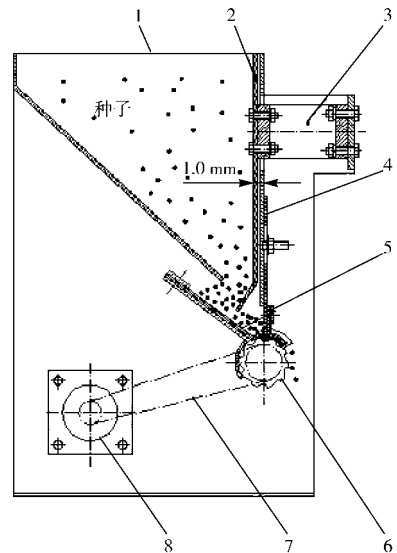


图 1 电磁振动定量供种装置结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of electromagnetic vibration quantitative seed supply device

1. 种箱 2. 振动板 3. 电磁振动器 4. 调节门 5. 橡胶弹性板
6. 勺式外槽轮 7. 链传动 8. 调速电动机

1.1 排种轮

采用一种勺式外槽轮作为排种轮进行定量供种,如图 2 所示,该排种轮周圈均匀分布着 11 个类似勺形的排种槽,其截面由直线和圆弧线两段组成,形成勺形流线。当排种时,排种轮将按照顺时针方向转动,促使种子沿着勺形流线滑动,并顺势堆积于勺内,即图中阴影部分,3 个填充区域表示排种轮在充种区域内的种槽充种情况,从而达到充种饱满的目的。

1.2 调节门

在排种轮的正上方,与排种轮外表面距离 H 处

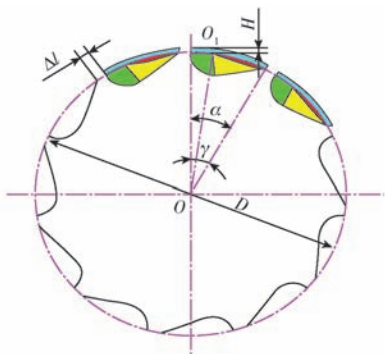


图2 勺式外槽轮截面示意图

Fig. 2 Cross section diagram of scoop outer groove-wheel

安装一个调节门,其下部为韧性较强的橡胶或者毛刷,可实现柔性清种的作用, H 取值范围为 $1.0 \sim 1.5 \text{ mm}$ (种子高度大于 2 mm ,可避免种子沿排种轮外表面流出)。

表1 秧盘型号与播宽 B 对照

Tab. 1 Tray type contrast with tray width

参数	钵体盘	钵体钵状盘	钵体毯状盘	毯状盘
总穴数	25×15	25×12	26×16	调 $\times 16$
尺寸比	600:350	600:300	585:356	调 $\times 18$
播宽 B/mm	345	300	352	280

1.4 电磁振动器与振动板

在种箱前壁内侧距离 1.0 mm 处设有一个振动板,与电磁振动器连接在一起,其下部与种箱叠板配合,使种子形成反“S”形续种流,同时在排种轮上方形成供种腔(图1),振动板随电磁振动器一起振动,可以促进种子流动,起到对供种腔连续稳定续种的作用。与以往外槽轮供种箱内全部种子堆积到排种轮上不同的是振动板与叠板支撑起种箱内种子,仅由反“S”形续种流按照休止角运动规律在供种腔内形成一小堆种子,大幅减少了排种轮在充种区域内的种子量,同时电磁振动器的振动也使充种区域内的种子比较蓬松,不仅提高了充种效果,还降低了排种轮刮擦种子的强度,减小了伤芽率,避免了在无振状态下因局部种子结拱^[13]而造成空排现象。

2 理论供种模型

按照种子千粒质量、种子体积、排种轮每圈内排出的种子体积以及排种轮的转速,可计算单位时间内的理论供种量 G ,从而实现数字化定量供种的控制过程。

2.1 填充区域

从图2和图4可知,每个勺形充种排种槽的填充区域主要包括圆环段 S_1 、球冠 S_2 、三角形 S_3 、扇形 S_4 、球冠 S_5 5个截面积小区域,假设单个充种排种槽

1.3 橡胶弹性板

平铺在种箱最下侧叠板上的橡胶弹性板,其下部有开口,宽度与秧盘幅宽 B 相等,如图3所示,并贴附在排种轮的左右两侧和后方,与调节门一起在排种轮的上表面形成长方形充种区域;同时橡胶弹性板在排种轮转动作用下,产生有规律波动,促进了供种腔内的种子流动,为排种槽充种形成了良好的续种条件。该板结构简单、调换方便,可满足不同宽度规格的秧盘供种(表1)。

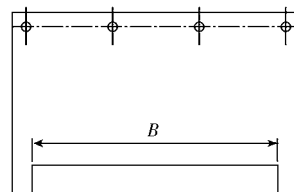


图3 橡胶弹性板平面示意图

Fig. 3 Plan sketch of rubber elasticity board

的截面积为 S ,则

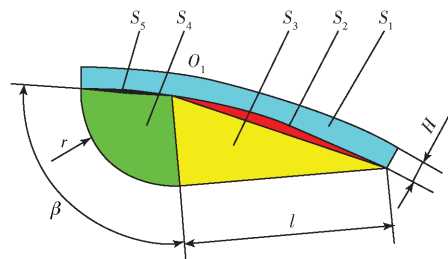


图4 排种槽填充区域截面

Fig. 4 Section of seeding groove fill area

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \quad (1)$$

$$\text{其中 } S_1 = \frac{\alpha}{360} \pi \left[\left(\frac{D}{2} + H \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$S_2 = \left[\frac{\gamma}{360} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2} \right)^2 \sin \gamma \quad (3)$$

$$S_3 = \frac{1}{2} lr \quad (4)$$

$$S_4 = \frac{\beta}{360} \pi r^2 \quad (5)$$

$$S_5 = \left[\frac{\alpha - \gamma}{360} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2} \right)^2 \sin(\alpha - \gamma) \quad (6)$$

式中 α, β, γ ——圆心角 D ——槽轮直径
 l ——勺形流线直线段长度
 r ——圆弧线半径

2.2 理论供种量

由排种槽填充区域面积和秧盘幅宽,可计算出单个排种槽的充种体积为

$$V = SB \quad (7)$$

则单个排种槽排出种子个数为

$$N = \frac{V}{v} \quad (8)$$

式中 v ——单个种子的平均体积, mm^3

当排种槽数为 11 个时,则单位时间内排种轮理论供种量为

$$G_0 = \frac{11nN}{1\ 000}g \quad (9)$$

式中 n ——排种轮转速, r/min

g ——种子千粒质量, g

2.3 理论供种计算

以秀优 5 号种子为例,种子长度 $a = 7.81 \text{ mm}$, 宽度 $b = 4.51 \text{ mm}$, 高度 $c = 2.82 \text{ mm}$ ^[14]。由图 5a 的种子外部结构图^[15]可知,在进行种子长度测量时,包含了稃尖、护颖的长度,对种子高度测量时,主

要以最厚处的内外颖钩合处为基准,而宽度不受影响,为此在计算种子体积时需要进行修正,采用试验测量取平均值法,得到种子长度、宽度和高度修正系数分别为 0.772、1.00 和 0.932。假设修正后的单个种子的形状为椭圆球体(图 5b),则计算公式为

$$V = \frac{\pi a_1 b_1 c_1}{6} \quad (10)$$

式中 a_1 、 b_1 、 c_1 为修正后的种子长度、宽度和高度,对钵体盘 25×15 进行定量供种试验,其他参数如表 2 所示。在不同转速下理论供种量 G_0 可由式(9)计算得出。

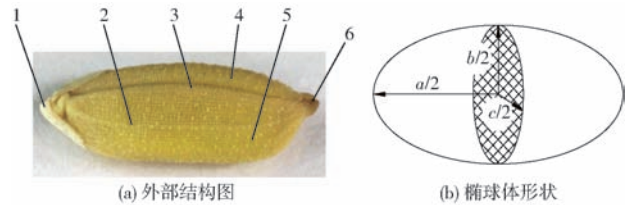


图 5 种子结构和形状

Fig. 5 Seed structure and shape

1. 护颖 2. 脉迹 3. 内外颖钩合处 4. 内颖 5. 外颖 6. 稃尖

表 2 定量供种参数

Tab. 2 Parameters for quantitative seed supply device

参数	a_1/mm	b_1/mm	c_1/mm	B/mm	H/mm	D/mm	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$	$\gamma/(\circ)$	l/mm	r/mm
数值	6.03	4.51	2.63	345	1.5	60	29	99	21	9.81	4.25

3 试验与分析

3.1 因素分析

(1) 排种轮转速

根据定量供种装置的工作原理可知,排种轮转速 n 直接决定供种量。在正常排种状态下,试验测得排种轮转速 n 与电动机频率 f 的对应关系曲线如图 6 所示,其线性拟合关系式为

$$n = 0.29f - 0.65 \quad (5 \leq f \leq 30) \quad (11)$$

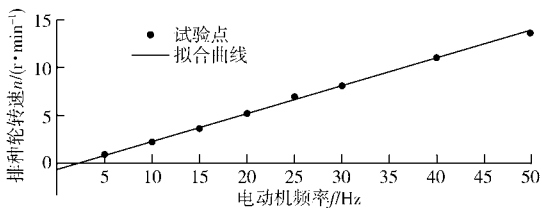


图 6 电动机频率与排种轮转速关系曲线

Fig. 6 Relationship of motor frequency and wheel speed

通过供种量试验可知,变频电动机的设置频率在 $5 \sim 30 \text{ Hz}$ 范围内的供种量可以满足从超级稻少播量到常规稻大播量需求,由式(11)可求得排种轮转速范围为 $0.8 \text{ r}/\text{min} \leq n \leq 8.05 \text{ r}/\text{min}$,以理论供种量所选用的排种轮转速作为定量供种试验的水平,频率与转速关系见表 3。

(2) 电磁振动振幅

电磁振动器的振幅变化也会影响到种子流动连续性和充种均匀性,对供种性能影响很大。由初步试验可知,电磁振动器振幅在 $0 \sim 15 \mu\text{m}$ 范围内,为找到在不同排种轮转速下电磁振动器的振幅对供种量的影响规律,取 0 、 5 、 10 、 $15 \mu\text{m}$ 4 个水平进行定量供种试验,其装置如图 7 所示。

3.2 供种试验

试验选择秀优 5 号超级稻,种子千粒质量为 26.5 g ,芽长小于 3 mm ,含水率小于 23.3% 。试验采用的平台为 2CYL-450 型水稻育秧播种流水线,按照前述排种轮转速 n 和电磁振动器振幅 B 的水平变化进行定量供种试验,试验和应用情况如图 7 所示。试验中保持电磁振动频率为 50 Hz ,每组试验重复做 5 次,取平均值作为实际供种量均值 G ,试验结果见表 3,其中定量供种的相对误差 $\sigma = (G_0 - G)/G_0 \times 100\%$,用来衡量排种轮填充区域的充种程度,其值越小充种效果越好且供种精度越高。

3.3 结果分析

由表 3 的试验结果可知:

(1) 当定量供种装置没有加入电磁振动时,排种轮上方的种子相互交织并形成结拱现象,致使充

表3 振幅对供种量影响试验

Tab.3 Test of amplitude impact on quantitative seed supply device

序号	振幅 $A/\mu\text{m}$	排种轮 转速 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	电动机 频率 f/Hz	理论 供种量 $G_0/(\text{g}\cdot\text{min}^{-1})$	实际供种 量 $G^{[15]}/(\text{g}\cdot\text{min}^{-1})$	相对 误差 $\sigma/\%$
1	0				110.2	19.5
2	5	0.80	5	136.9	125.6	8.2
3	10				134.1	2.0
4	15				136.5	0.3
5	0				314.5	18.3
6	5	2.25	10	384.9	356.3	7.4
7	10				376.5	2.2
8	15				379.8	1.3
9	0				495.3	21.8
10	5	3.70	15	633.1	590.4	7.2
11	10				627.7	0.8
12	15				636.6	0.1
13	0				716.7	18.7
14	5	5.15	20	881.2	819.2	7.0
15	10				866.6	1.7
16	15				875.4	0.7
17	0				940.1	16.8
18	5	6.60	25	1 129.3	1 038.7	8.7
19	10				1 098.2	2.7
20	15				1 108.2	1.9
21	0				1 100.4	20.1
22	5	8.05	30	1 377.3	1 248.2	9.4
23	10				1 322.4	4.0
24	15				1 335.0	3.1



(a) 定量供种试验 (b) 定量供种应用现场

图7 定量供种装置

Fig.7 Test device of quantitative seed supply device

种区域续种不连续,排种轮的种槽填充区域产生较大的孔隙比,定量供种的相对误差约为20%,充种效果较差,供种精度偏低;相反,有振动时定量供种的相对误差可以下降到9%以内,试验结果表明,供种装置的振动有利于充种,且电磁振动的振幅调节范围较大,振动驱动能力强,有利于提高定量供种装置的充种效果和供种精度。

(2)在不同排种速度情况下,当电磁振动振幅为5、10、15 μm 时,定量供种的相对误差变化范围分别为7%~9%、0.8%~4.0%、0.1%~3.1%,可以看出随着振幅的增加供种精度越来越高;同时在相同排种速度下,也得到了类似的影响规律;当排种转速大于6.6 r/min时,供种精度有所下降,说明大播量供种时精度不容易提高。

(3)当排种速度在0.8~6.6 r/min之间变化时,电磁振动的振幅选择中等振幅10 μm 进行中小播量定量供种较为适合,定量供种的相对误差可以控制在3%以内;当排种速度大于6.6 r/min时,电磁振动的振幅选择大振幅15 μm 进行大播量定量供种比较适宜,定量供种的相对误差可以控制在4%以内。

4 结论

(1)阐述了双级振动精密排种器的勺型外槽轮式定量供种装置工作原理,对勺型外槽轮、振动板和橡胶弹性板等关键部件进行了结构设计,并结合该装置的结构特点,推导了定量供种的理论模型,同时在振动频率保持不变的情况下,对该装置进行了定量供种试验,得到电磁振动振幅和排种轮转速对实际供种量的影响规律。试验结果表明,当排种轮转速在0.8~6.6 r/min、6.6 r/min以上,电磁振动振幅分别选择10 μm 、15 μm 时,实际供种量接近于理论模型,定量供种的相对误差小于4%。

(2)装置加入电磁振动时定量供种的相对误差可以减小到9%以内。同时在不同排种速度情况下,当电磁振动的振幅为5 μm 、10 μm 、15 μm 时,定量供种的相对误差变化范围分别为7%~9%、0.8%~4.0%、0.1%~3.1%,可以看出随着振幅的增加供种精度越来越高;在相同排种速度下,也得到了类似的影响规律;当排种速度大于6.6 r/min时,供种精度有所下降,说明大播量供种时精度不容易提高。

(3)由定量供种试验可知,对于排种轮转速在0.8~6.6 r/min之间的中小量定量供种,电磁振动的振幅宜选择10 μm ,定量供种的相对误差可以控制在3%以内,可满足超级杂交稻和杂交稻供种精度要求;对于像超级常规稻和常规稻要求排种轮转速大于6.6 r/min的大播量定量供种,电磁振动的振幅选择大振幅15 μm ,定量供种的相对误差可以控制在4%以内。

参 考 文 献

- 1 张琼,李勇. 水稻钵形毯状秧苗机插技术研发与应用[J]. 科技成果管理与研究,2014(6): 57-58.
- 2 李栋. 水稻应用不同类型育秧盘对秧苗素质及产量的影响[J]. 农业与技术,2016, 36(5): 59-60.

- ZHOU Liming, WANG Shumao, ZHANG Xiaochao, et al. Seed monitoring system for corn planter based on capacitance signal[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(13): 16-21. (in Chinese)
- 15 张锡志,李敏,孟臣. 精密播种智能监测仪的研制[J]. 农业工程学报,2004,20(2):136-139.
ZHANG Xizhi, LI Min, MENG Chen. Research and development of precision seeding intelligent monitor[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2): 136-139. (in Chinese)
- 16 张晓东,吴建民,孙伟,等. 马铃薯播种器自动补偿系统的设计[J]. 甘肃农业大学学报,2013,48(1):145-149.
ZHANG Xiaodong, WU Jianmin, SUN Wei, et al. Design of automatic compensation system for potato planter[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(1): 145-149. (in Chinese)
- 17 刘全威,吴建民,王蒂,等. 2CM-2型马铃薯播种机漏播补偿系统的设计与研究[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3): 260-266.
LIU Quanwei, WU Jianmin, WANG Di, et al. Design and test of a microcomputer-controlled loss sowing compensation system for 2CM-2 potato seeder[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(3): 260-266. (in Chinese)
- 18 孙伟,王关平,吴建民. 勺链式马铃薯排种器漏播检测与补种系统的设计与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(11):8-15.
SUN Wei, WANG Guanping, WU Jianmin. Design and experiment on loss sowing testing and compensation system of spoon-chain potato metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(11): 8-15. (in Chinese)
- 19 MCPHEE J E, BEATTIE B M, CORKREY R, et al. Spacing uniformity-yield effects and in-field measurement[J]. American Potato Journal, 1996, 73(4):167-171.

~~~~~

(上接第 61 页)

- 3 李静. 水稻钵形毯状秧苗机械插秧技术[J]. 农村科技,2016(3): 12.
- 4 陈惠哲,朱德峰,徐一成. 水稻钵形毯状秧苗机插技术及应用效果[J]. 中国稻米,2009(3): 5-7.
- 5 薛志刚,王华. 井关 2BZP-580A 型水稻育秧播种机[J]. 新农业, 2012(1): 53.
- 6 冯帆. 2BDP-1000 型水稻育秧盘精量播种机的研制[J]. 农业工程,2015,5(2): 76-79.  
FENG Fan. Research of 2BDP-1000 rice seedlings precise seeder[J]. Agricultural Engineering, 2015, 5(2): 76-79. (in Chinese)
- 7 孙志强,湛小梅,李平,等. 五种水稻育秧播种机的试验研究[J]. 南方农业, 2012, 6(2): 137-139.
- 8 李志伟,邵耀坚. 电磁振动式水稻穴盘精量播种机的设计与试验[J]. 农业机械学报,2000,31(5):32-34.  
LI Zhiwei, SHAO Yaojian. Study and test of electromagnetic vibrating type rice seeder for hill seedling nursery box [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(5): 32-34. (in Chinese)
- 9 周海波,马旭,玉大略,等. 2CYL-450 型水稻秧盘育秧播种流水线研制[J]. 农机化研究,2008,30(11):95-97.  
ZHOU Haibo, MA Xu, YU Dalue, et al. Rice seeding for nursing seedlings pipeline of 2CYL-450 type design[J]. Agricultural Mechanization Research,2008,30(11): 95-97. (in Chinese)
- 10 玉大略,马旭,周海波,等. 振动流动式水稻秧盘育秧播种器的试验研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(2): 137-139.  
YU Dalue, MA Xu, ZHOU Haibo, et al. Experimental research of vibration flow type rice seedlings seeder[J]. Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(2): 137-139. (in Chinese)
- 11 郑丁科,李志伟,区颖刚. 电磁振动组合式毯状秧苗播种装置的设计与试验[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(1): 103-106.  
ZHENG Dingke, LI Zhiwei, OU Yinggang. Design and test for electromagnetic vibration combined blanket seedling planting device[J]. Journal of South China Agricultural University, 2004, 25(1): 103-106. (in Chinese)
- 12 邢赫,臧英,王在满,等. 水稻气力式排种器分层充种室设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 42-48.  
XING He, ZANG Ying, WANG Zaiman, et al. Design and test for paddy pneumatic type metering device room layering[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4): 42-48. (in Chinese)
- 13 邓伟健,李志伟,邱秀丽,等. 基于交叉导流式种箱的稻种流动性及结拱研究[J]. 农机化研究, 2013,35(12): 145-149.  
DENG Weijian, LI Zhiwei, QIU Xiuli, et al. Research of box rice liquidity and arch based on cross diversion[J]. Agricultural Mechanization Research, 2013,35(12): 145-149. (in Chinese)
- 14 周海波. 水稻秧盘育秧精密播种机的关键技术研究与应用[D]. 长春:吉林大学,2009.
- 15 胡立勇,丁艳锋. 作物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2008.