

智能化设施育苗机设计与试验

刘中正^{1,2} 侯加林^{1,2} 辛杰^{1,2} 邵园园^{1,2} 邵江华³ 王勇³

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018;
3. 山东华兴机械股份有限公司, 博兴 256500)

摘要: 在分析现代工厂化育苗技术的基础上, 提出并设计了智能化设施育苗机。整机采用 PLC 技术、传感器技术、异步电动机变频调速等控制技术, 能够实现精量播种作业。以白菜种子为试验对象, 选取吸孔直径、真空度、种箱移动速度作为试验因素, 进行吸种性能的正交试验, 经试验得出最优因素参数组合为真空度 7 kPa、吸孔直径 0.8 mm、种箱移动速度 0.03 m/s, 最优因素参数组合下单粒率 93.82%、空穴率 3.71%、重播率 2.47%; 在吸种性能最优因素参数组合下, 对不同的播种效率做进一步播种性能试验, 当播种效率为 400 盘/h, 单粒率达到 92.63%, 可以满足蔬菜精量播种农艺要求。

关键词: 设施农业; 育苗机; 设计; 性能试验

中图分类号: S223.2⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0136-07

Design and Experiment of Intelligent Facilities Seedling Machine

Liu Zhongzheng^{1,2} Hou Jialin^{1,2} Xin Jie^{1,2} Shao Yuanyuan^{1,2} Shao Jianghua³ Wang Yong³

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China
2. Shandong Province Key Laboratory of Horticultural Machinery and Equipment, Tai'an 271018, China
3. Shandong Huaxing Machinery Co., Ltd., Boxing 256500, China)

Abstract: An intelligent facilities seedling machine was put forward and designed with the analysis of modern factory seedling technology. PLC programmable control was adopted in this machine. Human machine interface, sensor technology and frequency control of asynchronous motors were integrated into the control system to realize the accurate seeding operation. Selecting suction hole diameter, vacuum degree, seed box moving speed as experiment factors, an orthogonal experiment on suction performance was carried out with cabbage seeds as test object. The experiment result showed that the optimal parameter combination of factors were vacuum pressure of 7 kPa, suction hole diameter of 0.8 mm, seed box moving speed of 0.03 m/s, and under the optimal parameter combination of factors, the single-seeding rate was 93.82%, miss-seeding rate was 3.71%, and reseeding rate was 2.47%. Furthermore, under the above conditions, a seeding performance test was carried out. The test showed that the single-seeding rate can reach 92.63% with seeding efficiency of 400 tray per hour, which can meet the requirements of precision seeding agronomic for vegetables.

Key words: facilities agriculture; seedling machine; design; performance test

引言

工厂化育苗设备是工厂化育苗技术中的关键设

备^[1-2]。工厂化育苗与传统的土方育苗相比较, 省时、省工、出苗整齐、成苗率高、便于机械化移栽^[3-4]。

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-18

基金项目: 山东省农机化装备研发创新项目(2016YH004)和山东省现代农业产业技术体系项目(SDAIT-05-11)

作者简介: 刘中正(1987—), 男, 硕士生, 主要从事机械自动化在农业中的应用研究, E-mail: 851882910@qq.com

通信作者: 侯加林(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事信息技术在农业中的应用研究, E-mail: jlhou@sdau.edu.cn

目前,国外先进的育苗设备成套技术已基本形成,并融入气动技术和电控技术,通过精准的气压和电气控制,实现育苗设备的自动化和智能化^[5-8]。如英国 Hamilton 公司生产的 Natural 系列精密播种机,其播种效率为 300 盘/h;意大利 MOSA 的 M-DSL1200 滚筒式播种生产线的播种效率高达 1 200 盘/h;美国 Blackmore 公司的 Cylinder 滚筒式育苗精密播种机的作业效率为 1 200 盘/h;荷兰 VISSER 开发的 GRANETTE 2000 双排针式全自动穴盘育苗精密播种机的作业效率达到 700 盘/h^[9-13],但设备的结构复杂,制造成本高。

国内通过吸取国外的先进技术,研制开发多种机型^[14],如农业部规划设计研究院和中国农业大学等单位联合研制的 2XB-400 型穴盘育苗精量播种机采用机械窝眼式播种结构,适用于包衣丸粒化种子,对种子要求高;广西林科院研制的 4LRZ-10000 型流动式育苗作业线采用气吸式滚筒式排种器,但气压调节困难;台州一鸣机械设备有限公司研制的气针式穴盘育苗精密播种机采用单排针式播种结构,实现全自动播种,但单排针式播种器工作效率低^[15-18]。纵观已有研究成果,育苗播种机械取得一定的发展,但仍满足不了育苗机械化和产业化的发

展需求^[19-20]。

为此,本文基于移栽机的作业特点,结合蔬菜育苗的农艺要求,设计一种智能化设施育苗机,并进行整机播种性能试验,以期对育苗机的设计提供参考。

1 整体结构与工作原理

1.1 整机设计农艺与技术要求

根据移栽机的作业特点与蔬菜育苗农艺要求,蔬菜播种深度为 12~16 mm,基质单元体设计为 40 mm×40 mm 的方体,所设计的穴盘为 126 穴(9×14),其结构尺寸(长×宽)为 640 mm×420 mm。依据目前国内气吸滚筒式育苗机的现状,播种效率为 350~450 盘/h。

1.2 整体结构

智能化设施育苗机分为前输送、播种和后输送 3 个作业段,如图 1 所示。前输送段由输送带机构、拨土装置、压土装置、压穴装置构成,播种段由气吸滚筒式播种装置、气控机构构成,后输送段由覆土装置、切分装取装置、刮土机构、苗盘输送装置构成。其中切分装取装置由切块机构、移动机构和卸料机构组成。

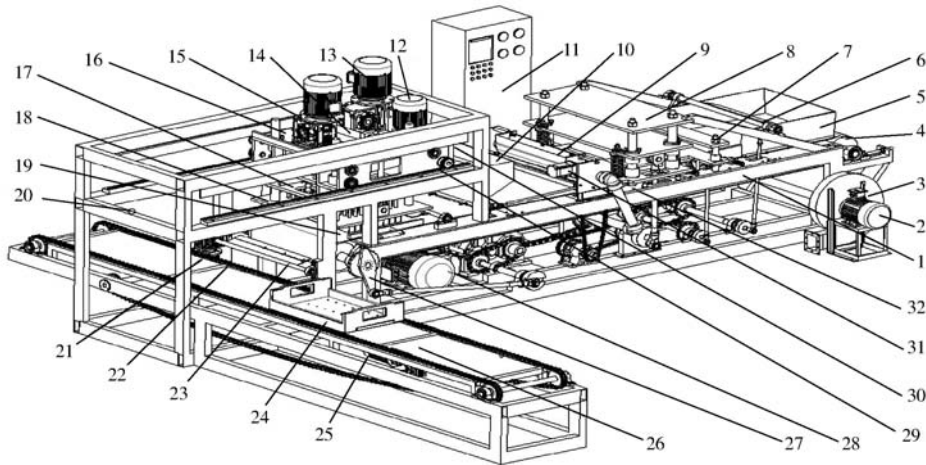


图 1 智能化设施育苗机结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of intelligent facilities seedling machine

1. 机架 2. 气控电动机 3. 风机 4. 输送带 5. 基质箱 6. 拨土装置 7. 压土装置 8. 压穴装置 9. 气吸滚筒式播种装置 10. 覆土装置 11. 控制器 12. 移动电动机 13. 切块电动机 14. 切块电动机接近开关 15. 卸料电动机 16. 切分装取装置 17. 卸料机构 18. 升降切块机构 19. 主电动机接近开关 20. 卸料电动机接近开关 21. 刮土电动机 22. 苗盘定位接近开关 23. 刮土机构 24. 苗盘 25. 苗盘电动机 26. 苗盘输送装置 27. 输送带机构 28. 主电动机 29. 移动机构 30. 移动电动机原点接近开关 31. 微型电动机 32. 光电开关

1.3 工作原理

整机作业流程图见图 2。作业时,输送带间歇运动,拨土装置将基质箱里的基质拨到输送带上并匀速通过压土装置和压穴装置,压土装置将输送带上的基质压制成基质块,再由压穴装置在基质块上

均匀打上穴坑。随后,基质块被送至播种段,当基质块触动光电开关 I 时,PLC 控制气控电动机和微型电动机,使滚筒产生负压和种箱内的种子“沸腾”运动,在落种板的作用下,种子落入基质块穴坑里,完成播种作业。

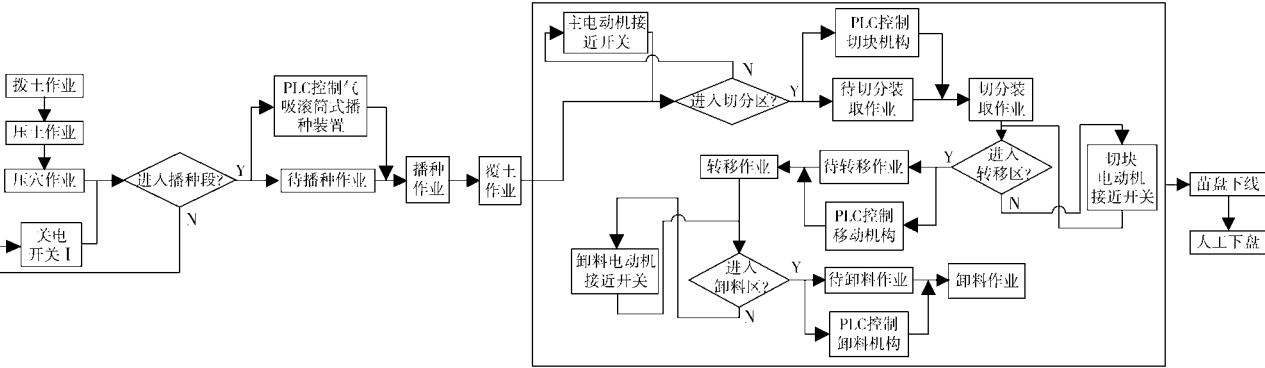


图2 整机作业工艺流程图

Fig.2 Process chart of machine operation

完成播种后的基质块被送到后输送段,覆土装置在基质块上覆盖一定厚度的表土,完成覆土作业;已覆土的基质块被送至切分装取区,苗盘输送装置上的苗盘触动光电开关Ⅱ,PLC控制苗盘快速移动至卸料位等待卸料,同时,基质块触发主电动机接近开关、切块电动机接近开关、移动电动机原点接近开关和卸料电动机接近开关,PLC控制切分装取装置完成对基质块的切分装取、转移、卸料以及刮土机构对切分装取装置底部余土的清理,卸料完成后苗盘被输送到下线工位,并由人工移走。

2 气吸滚筒式播种装置参数确定与分析

为实现精良播种,设计一种气吸滚筒式播种装置,主要由种箱移动机构、种箱、滚筒等部件组成,如图3所示。滚筒连续转动,当吸种孔经过种箱时,跳动的种子在负压作用下被吸附,滚筒转到穴坑上方时,种子在落种板的作用下准确落入穴坑,完成连续的精密播种。

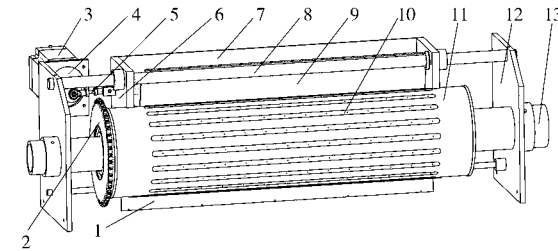


图3 气吸滚筒式播种装置结构示意图

Fig.3 Structure diagram of air-suction cylinder seeding device

1.落种板 2.齿轮 3.微型电动机 4.偏心机构 5.连杆
6.种箱移动机构 7.种箱 8.导向杆 9.滤种器 10.吸种条
11.滚筒 12.支撑架 13.空心轴

2.1 种箱移动机构

为便于种子被吸附,选用微型电动机驱动偏心机构带动种箱往复移动,使种子产生跳动。设计电动机为无级变速,可产生不同的种箱移动速度,微型电动机型号选择51K60GN,功率60 W。初步设计种箱移动速度为0.03、0.05、0.07 m/s,通过试验确定

最优值。

2.2 种箱

为保证种子在种箱移动过程中不会掉落,种箱设计为弧形,总结构尺寸(长×宽×高)640 mm×148 mm×180 mm,如图4a所示。为使尽量多的种子与滚筒充分接触,设计种箱半开口面为弧形,包裹滚筒弧度的包角为120°。由于种子本身有自然休止角,为保证远离滚筒部位的种子被吸走,种箱内表面设计为倾斜角,倾斜角应大于种子与箱壁的摩擦角^[21],通过前期多次种子物料特性试验,确定倾斜角为20°。

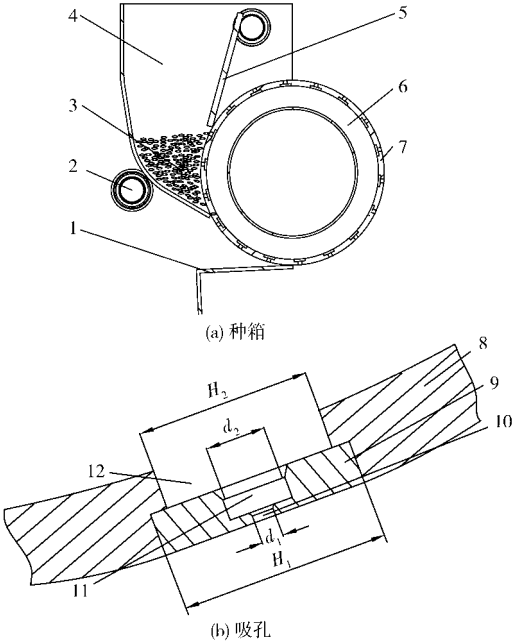


图4 吸孔结构和种箱结构示意图

Fig.4 Structure diagram of suction hole and seed box

1.落种板 2.导向杆 3.种子 4.种箱 5.滤种器 6.真空室
7.滚筒 9.吸种条 10.吸种条外层吸孔 11.吸种条内层吸孔 12.梯形槽

为了过滤掉吸附滚筒上的多余种子,提高播种的单粒率,在滚筒上方设计一种滤种器。根据种箱尺寸确定滤种器尺寸为570 mm×95 mm,其中一端

为锯齿形,与滚筒上的吸种孔相对应。

2.3 滚筒

为了满足不同种子播种的需要以及达到播种的理想效果,使滚筒上的吸孔与基质块穴坑中心对应^[22],沿滚筒圆周方向均匀分布 18 个梯形槽并与轴向分布 14 个吸孔的吸种条相配合,相邻两吸孔间距为 43 mm。因此设计滚筒长度 $l > 602$ mm,取 730 mm。参考目前国内外气吸滚筒式排种器滚筒直径在 130 ~ 180 mm 之间^[23],综合考虑各种因素与试验结果,选取滚筒直径为 158 mm。

育苗机理论小时生产率为

$$y = 2n \times 60 \tag{1}$$

式中 y ——理论小时生产率,取 350 ~ 450 盘/h
 n ——播种滚筒转速, r/min

由相邻两粒种子时间间隔得

$$\frac{P}{v_1} = \frac{2\pi}{Z\omega} = \frac{60}{Zn} \tag{2}$$

式中 P ——苗距,设计为 43 mm
 v_1 ——输送带的带速, m/s
 ω ——播种滚筒角速度, rad/s
 Z ——吸孔沿滚筒周向个数,此处为 18

由式(1)、(2)计算得:播种滚筒的转速为 $2.9 \text{ r/min} < n < 3.3 \text{ r/min}$ 。输送带带速与滚筒转速匹配关系为 $v_1 = 12.9n$ 。

若提高播种效率,可通过编程控制电动机进而同步调节滚筒转速和输送带带速。

对于滚筒线速度 v_1 来说,吸孔处线速度 v_2 越小,吸孔在吸种区停留时间越长,充种几率越高,因此应尽量降低滚筒线速度。吸孔处线速度为

$$v_2 = \omega d/2 = \frac{\pi dn}{60} \tag{3}$$

式中 v_2 ——吸孔处线速度, m/s
 d ——滚筒直径, m

由式(3)计算得:吸孔处线速度 $0.024 \text{ m/s} < v_2 < 0.031 \text{ m/s}$ 。表明吸种效果较为理想。

2.4 吸孔结构

为提高真空室气压分布的均匀性和气流的稳定性,有效解决吸孔被堵塞的难题^[24],将吸孔结构设计为三层式结构,即吸种条外层吸孔、吸种条内层吸孔和梯形槽,具体结构如图 4b 所示。图中 H_1 、 H_2 分别为梯形槽上底宽和梯形槽下底宽, mm; d_1 为吸种条外层吸孔直径, mm; d_2 为吸种条内层吸孔直径, mm。

吸孔条内层吸孔直径选择大些,有利于被吸入的杂质通过。针对白菜、油菜等近似球形的种子,采用经验公式^[25]

$$d_1 = (0.64 \sim 0.66)b \tag{4}$$

式中 b ——种子平均宽度, mm

一般蔬菜种子的平均宽度为 1 ~ 2.5 mm,代入式(4)中可获得外层吸孔直径为 0.64 ~ 1.65 mm,因此初步设计外层直径为 0.8、1.2、1.5 mm,通过试验分析选最优值。

3 控制系统设计

控制系统主要由信捷 XC3 - 32T - E 型可编程控制器 PLC、TH765 - NT 人机界面、VB5 - 41P5 变频器、VB5 - 42P2 变频器、光电开关、异步电动机、微型电动机、接近开关、编码器等组成,如图 5 所示。

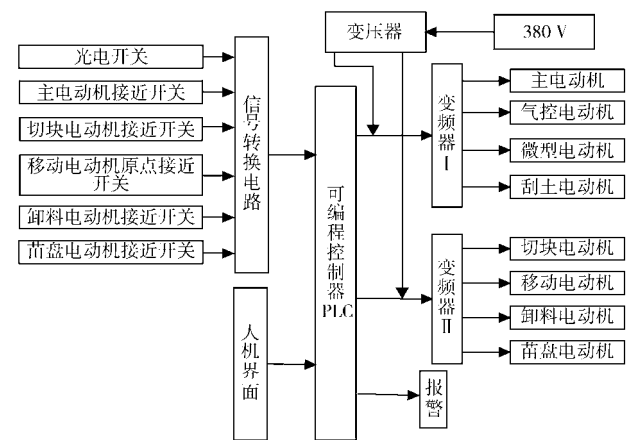


图 5 控制系统框图

Fig. 5 Block diagram of control system

本设计采用 PLC 作为控制器,采用软件容错技术,增强控制系统抗干扰性。通过人机界面设定播种类型和生产效率,简化了硬件,实现播种作业的实时监控功能。

PLC 控制器控制功能如下:控制主电动机完成拨土、压土、压穴和滚筒转动作业;控制气控电动机和微型电动机,使滚筒产生负压和种箱内的种子“沸腾”运动;控制切块电动机和苗盘电动机,完成基质块切分装取作业和苗盘输送作业;控制移动电动机,完成基质块转运作业;控制卸料电动机完成卸料作业;控制移动电动机和刮土电动机完成切分装取装置返回作业和对切分装取装置底部余土的清理作业。

4 吸播种性能试验分析

4.1 试验设备及指标

试验对象:选择粒度均匀的丰抗 70 白菜种子,测得平均直径 2.1 mm,种子球度 89%,千粒质量为 4.2 g,试验采用 126 穴的穴盘,每 3 盘为一组,再从 3 盘中随机抽取 1 盘进行统计,重复 3 次。

试验设备:自主研发的智能化设施育苗机见

图 6。

试验目的:通过吸种性能测试,确定各因素对该机吸种的单粒率、空穴率和重播率影响的主次顺序,并得出最优参数组合。

试验指标:单粒率、空穴率和重播率。单粒率越大越好,空穴率和重播率越小越好。

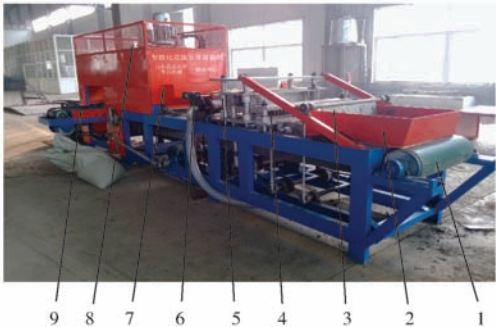


图 6 试验样机

Fig. 6 Experimental prototype

1. 输送带 2. 基质箱 3. 填土装置 4. 压土装置 5. 压穴装置
6. 气吸滚筒式播种装置 7. 覆土装置 8. 切分装取装置 9. 苗盘输送装置

4.2 吸种性能正交试验

选取吸孔直径、真空度、种箱移动速度为吸种性能的主要因素,单粒率、空穴率和重播率为试验指标,选用 $L_9(3^4)$ 正交试验表进行吸种性能正交试验,各因素均取 3 个水平进行正交试验,正交试验因素水平见表 1 所示,方体育苗机性能试验方案与结果如表 2 所示, A 、 B 、 C 为编码值。确定各因素的主次关系,得出最优因素组合。为了简化试验,考虑交互作用,吸孔直径和真空度各因素水平通过前期单因素试验来确定^[25]。

表 3 正交试验结果极差分析

Tab. 3 Range analysis of orthogonal experiment results

	单粒率				空穴率				重播率				%
	x_1	x_2	空	x_3	x_1	x_2	空	x_3	x_1	x_2	空	x_3	
m_1	92.25	89.95	90.31	90.58	4.86	5.53	5.59	3.48	2.89	4.52	4.09	5.94	
m_2	90.37	93.32	90.24	89.75	5.77	5.08	5.19	4.70	3.86	1.60	4.57	5.55	
m_3	89.64	88.99	91.7	91.93	3.69	3.72	3.54	6.14	6.67	7.29	4.76	1.93	
极差	2.61	4.33	1.46	2.17	2.08	1.81	2.05	2.66	3.78	5.69	0.67	4.01	
因素主次	$B > A > C$				$C > A > B$				$B > C > A$				

根据表 3 中的平均值,绘制出各因素水平变化的趋势图如图 7,分析如下:

(1)如图 7a 所示,各因素影响单粒率的主次顺序: B 、 A 、 C 。单粒率随着真空度增加先升后降;随吸种直径变大而下降;随种箱移动速度加快先缓慢降低后快速上升。因此,选取的 3 因素较优参数组合为 $A_2B_2C_3$,即吸孔直径 0.8 mm,真空度 7 kPa,种箱移动速度 0.07 m/s。

表 1 正交试验因素水平

Tab. 1 Levels and factors of orthogonal experiment

水平	因素		
	吸孔直径 x_1 / mm	真空度 x_2 / kPa	种箱移动速度 x_3 / (m·s ⁻¹)
1	0.8	5	0.03
2	1.2	7	0.05
3	1.5	9	0.07

表 2 智能化设施育苗机性能试验方案与结果

Tab. 2 Performance test plan and results of intelligent facilities seedling machine

试验号	A	B	空列	C	单粒率/%	空穴率/%	重播率/%
1	1	1	1	1	90.83	5.14	4.03
2	1	2	2	2	93.31	5.50	1.19
3	1	3	3	3	92.61	3.94	3.45
4	2	1	2	3	90.23	8.31	1.46
5	2	2	3	1	93.71	3.55	2.74
6	2	3	1	2	87.17	5.46	7.37
7	3	1	3	2	88.78	3.14	8.08
8	3	2	1	3	92.94	6.18	0.88
9	3	3	2	1	87.19	1.75	11.06

4.3 试验结果综合分析

从表 2 可知,第 5 次试验的结果为最优,在 $A_2B_2C_1$ 因素组合下的吸种试验结果为单粒率 93.71%、空穴率 3.55%、重播率 2.74%,而各个指标受试验因素(真空度、吸孔直径和种箱移动速度)的影响而存在差异,因此对试验结果采用极差分析法^[26-27],以便获得因素的较优水平组合,如表 3 所示。

(2)如图 7b 所示,各因素影响空穴率的主次顺序: C 、 A 、 B 。空穴率随着种箱移动速度加快而快速上升;随吸种直径变大先上升后降低;随真空度增加而逐渐降低。因此,选取的 3 因素较优参数组合为 $A_3B_3C_1$,即吸孔直径 1.5 mm,真空度 9 kPa,种箱移动速度 0.03 m/s。

(3)如图 7c 所示,各因素影响重播率的主次顺序: B 、 C 、 A 。重播率随真空度增加先下降后上升;随

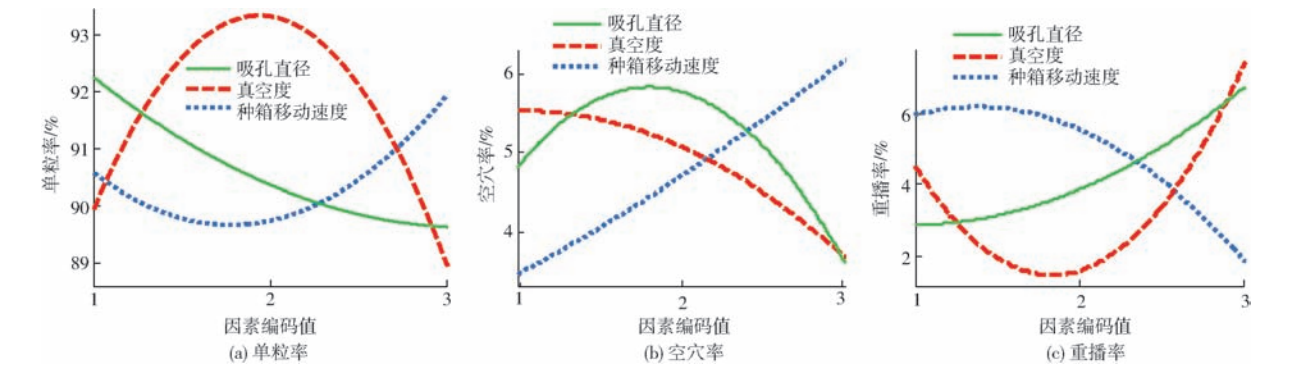


图7 各因素对播种性能影响趋势

Fig.7 Trend of planting effect affected by various factors

种箱移动速度加快而降低;随吸种直径变大先缓慢上升后快速上升。因此,选取的3因素较优参数组合为 $A_1B_2C_3$,即吸孔直径0.8 mm,真空度7 kPa,种箱移动速度0.07 m/s。

(4)最优因素参数组合的选择:以提高单粒率,减少空穴率,控制重播率为吸种试验主要考核指标,为获得较高的吸种质量,选取最优因素参数组合为 $A_1B_2C_1$,即吸孔直径0.8 mm、真空度7 kPa、种箱移动速度0.03 m/s,并在该因素水平组合下重新做吸种性能试验,得到的试验结果:单粒率93.82%,空穴率3.71%,重播率2.47%。在该因素组合下,选取不同的播种效率(350 盘/h、400 盘/h、450 盘/h)进行播种试验,结果如表4。

表4 播种效率对该机整体性能的影响

播种效率/(盘·h ⁻¹)	单粒率/%	空穴率/%	重播率/%
350	90.42	3.57	6.01
400	92.63	4.13	3.24
450	87.35	9.76	2.89

由表4表明,播种效率在400 盘/h时,播种单

粒率最高为92.63%、空穴率4.13%、重播率3.24%。随着滚筒转速的增加,播种效率提高,但单粒率和重播率逐渐降低,空穴率上升。其主要原因是滚筒转动过快,种子容易在播种过程中在滚筒壁上脱落,导致单粒率下降的现象。

5 结论

(1)利用研制的试验样机对白菜种子进行播种试验,播种精度均达到农艺要求,说明智能化设施育苗机对种子适应性强,易于实现精量播种。

(2)整机采用PLC 可编程控制,集人机界面、传感器、异步电动机变频调速等控制技术,完成对蔬菜种子育苗作业,满足育苗精量播种农艺要求。

(3)通过 $L_9(3^4)$ 正交试验表明:影响吸种单粒率的主次因素顺序为真空度、吸孔直径、种箱移动速度,最优因素参数组合为真空度7 kPa、种箱移动速度0.03 m/s、吸孔直径0.8 mm,在此参数组合下进行播种效率性能试验,得出播种效率为400 盘/h时,单粒率最高,可满足农艺上对蔬菜精量播种的要求。

参 考 文 献

1 杨明金,邱兵,杨玲,等. 振动气吸式精密穴播机的排种性能[J]. 农业工程学报,2010,26(9):139–143.
YANG M J, QIU B, YANG L, et al. Metering performance of the vibrational vacuum precision tray seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 139–143. (in Chinese)

2 张石平,陈进,李耀明. 振动气吸式穴盘精量播种装置种子群“沸腾”运动分析[J]. 农业工程学报,2008,24(7):20–24.
ZHANG Shiping, CHEN Jin, LI Yaoming. Analysis of seeds “boiling” motion on vibrational air-suction tray seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 20–24. (in Chinese)

3 陈殿奎. 蔬菜机械化育苗的现状与展望[J]. 农业工程学报,1990,6(4):20–25.
CHEN Diankui. Current status and prospects of vegetable mechanization seedling[J]. Transactions of the CSAE, 1990, 6(4): 20–25. (in Chinese)

4 杨艳丽,辜松,李恺,等. 大粒种子定向精量播种装置参数优化试验[J]. 农业工程学报,2013,29(13):15–22.
YANG Y L, GU S, LI K, et al. Parameters optimization of directing precision seeder for large cucurbitaceous seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(13): 15–22. (in Chinese)

5 杨立国,王尚君,刘旺,等. YM-0913型育苗播种机应用试验[J]. 农业工程,2013,3(增刊2):78–80.
YANG Liguo, WANG Shangjun, LIU Wang, et al. Application test of YM-0913 type seeder[J]. Agricultural Engineering, 2013, 3(Supp.2):78–80. (in Chinese)

6 范鹏飞. 设施蔬菜育苗机械化精准播种技术研究[D]. 保定:河北农业大学,2012.
FAN Pengfei. Study on the facilities vegetable seedlings mechanized precision seeding technology [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012. (in Chinese)

- 7 赵郑斌, 王俊友, 刘立晶, 等. 穴盘育苗精密播种机的研究现状分析[J]. 农机化研究, 2015(8): 1-5.
ZHAO Zhengbin, WANG Junyou, LIU Lijing, et al. Current status and prospects of vegetable mechanization seedling[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(8): 1-5. (in Chinese)
- 8 郭世荣, 孙锦, 束胜, 等. 国外设施园艺发展概况、特点及趋势分析[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 43-52.
GUO Shirong, SUN Jin, SHU Sheng, et al. General situations, charactics and trends of protected horticulture in foreigners[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(5): 43-52. (in Chinese)
- 9 SINGH R C, SINGH G, SARASWAT D C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cotton seeds[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4): 429-438.
- 10 刘洋, 李永强, 徐鑫霖, 等. 穴盘育苗播种机械及技术发展研究[J]. 农业科技与装备, 2014(6): 34-36.
LIU Yang, LI Yongqiang, XU Xinlin, et al. Study on development of plug seedling planter and technology[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2014(6): 34-36. (in Chinese)
- 11 武广伟. 温室穴盘精密播种设备的研究进展[J]. 北方园艺, 2010(15): 37-41.
WU Guangwei. Advances of research on precision seeding equipment with plug trays in greenhouse[J]. Northern Horticulture, 2010(15): 37-41. (in Chinese)
- 12 李洪昌, 高芳, 赵湛, 等. 国内外精密排种器研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 12-16.
LI Hongchang, GAO Fang, ZHAO Zhan, et al. Domestic and overseas research status and development trend of precision seed-metering device[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(2): 12-16. (in Chinese)
- 13 王朝辉. 气吸滚筒式超级稻育秧播种器的基本理论及试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
WANG Chaohui. Research of theory and experiment on air suction cylinder device for tray nursing seeding of super-rice[D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chinese)
- 14 周海波, 马旭, 姚亚利. 水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 301-306.
ZHOU Haibo, MA Xu, YAO Yali. Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings of rice [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 301-306. (in Chinese)
- 15 刘志侠, 张宏友, 刘颖. 工厂化育苗精量播种装置现状分析[J]. 农机化研究, 2005(2): 16-18.
LIU Zhixia, ZHANG Hongyou, LIU Ying. The present situation and existing problems in application of precision seeding machine equipment of at home[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(2): 16-18. (in Chinese)
- 16 王飞龙. 气力滚筒式烟草穴盘播种机的设计研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
WANG Feilong. Study on the design of tobacco pneumatic drum seeder [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 17 苗振坤. 气吸针板式林木种子精密播种机的设计与研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
MIAO Zhenkun. The design and research on suction needle plate precision seeder of forest tree seed[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 18 李洪昌, 高芳, 赵湛, 等. 国内外精密排种器研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 12-16.
LI Hongchang, GAO Fang, ZHAO Zhan, et al. Domestic and overseas research status and development trend of precision seedmetering device[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(2): 12-16. (in Chinese)
- 19 夏红梅, 李志伟, 甄文斌. 气力板式蔬菜排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 56-60.
XIA Hongmei, LI Zhiwei, ZHEN Wenbin. Design and experiment of the vegetable seed metering device in pneumatic plate-type [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 56-60. (in Chinese)
- 20 余山山, 张文毅, 吴崇友, 等. 盘育秧精密播种流水线 PLC 控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 202-207.
YU Shanshan, ZHANG Wenyi, WU Chongyou, et al. Design of PLC controll system of precise seeding assembly line for rice seedling nursing[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 202-207. (in Chinese)
- 21 姬少龙, 朱二丽, 秦伟桦, 等. 磁吸滚筒式烟草穴盘播种机的设计[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(3): 326-329.
JI Shaolong, ZHU Erli, QIN Weihua, et al. Design of magnetic drum tray seeder for tobacco [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(3): 326-329. (in Chinese)
- 22 祁兵. 中央集排气送式精量排种器设计与试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
QI Bing. Design and experiment of a centralized pneumatic metering device[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 23 刘松. 气动式水稻钵育联合精量真空播种机关键参数的试验研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008.
LIU Song. Experiment study on the key parameters of the Air-suction accurate seeder for sowing rice in bowl-seedling tray which made of straw[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 24 庞昌乐, 苏聪英. 气吸式双层滚筒水稻播种器设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 52-55.
PANG Changle, SU Congying. Design and experimental study on air-suction two-layer cylinder rice seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(5): 52-55. (in Chinese)
- 25 赵湛, 李耀明, 陈进, 等. 气吸滚筒式排种器吸种过程的动力学分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 112-116.
ZHAO Zhan, LI Yaoming, CHEN Jin, et al. Dynamic analysis of seeds pick-up process for vacuum-cylinder seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 112-116. (in Chinese)
- 26 杨文伟. 气吹供种的滚筒式番茄育苗播种器的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
YANG Wenwei. Research on cylinder precision tomato seeder based on the pneumatic suspension seed supply [D]. Shihezi: Shihezi University, 2014. (in Chinese)
- 27 张秋波, 王卫兵. 一种穴盘精量播种机的试验设计及优化[J]. 农机化研究, 2015(7): 213-215.
ZHANG Qiubo, WANG Weibing. Optimization of one type of tray precision seeder based on orthogonal experimental design [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(7): 213-215. (in Chinese)