

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.009

水稻育秧播种机钵体苗底土压实装置*

马旭^{1,2} 谢俊锋¹ 齐龙¹ 梁仲维¹ 邝健霞¹ 谭永炘¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 黑龙江省粮食产能提升协同创新中心, 哈尔滨 150030)

摘要: 设计了一种能实现水稻精密育秧播种机钵体软、硬秧盘穴孔底土压实的通用装置, 该装置以 AT89C51 单片机为控制系统核心, 采用步进电动机和送盘行程开关实现秧盘供送, 以及限位行程开关和对准接近开关实现秧盘穴孔与压实辊指对准, 压实辊指与秧盘穴孔内底土相互作用完成底土压实。通过系统的试验研究, 确定了该装置的最佳工作参数。压实试验表明, 该系统能满足秧盘穴孔底土压实的工作要求, 实现了穴孔与压实辊指的精确对准和底土压实, 当生产率在 500 盘/h、提前角对应弧长为 1 mm 时, 对准率为 98%, 满足钵体苗穴孔底土压实的技术要求; 育秧试验表明, 增加穴孔底土压实深度, 可提高秧苗素质, 保持土壤根系坚实不散, 有利于栽插作业, 压实深度为 6 mm 时效果最佳。

关键词: 水稻育秧播种机 钵体秧盘 底土压实装置 对准 控制系统

中图分类号: S233.71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0054-07

引言

水稻工厂化育秧是水稻机械化生产过程中的重要环节, 主要包括覆底土、播种、覆表土、喷水和压实等工艺过程^[1-5]。在钵体苗栽插时, 为了保证钵体苗根系坚实不散, 利于栽插作业, 需要对钵体秧盘内的底土进行压实作业, 增加秧盘穴孔内的土量, 保证秧苗栽插前的营养, 提高秧苗素质, 同时也利于秧苗扎根和生长^[5-12]。

目前, 国内外的穴孔土壤压实装置有多种。日本实产业和井关公司研制的工厂化育秧流水线都采用硬质专用秧盘与链条节距匹配, 保证压穴机构同步, 实现底土压实^[13], 但这种硬盘价格高, 因而应用少。国内, 中国农业大学和黑龙江农垦科学院研制的工厂化育秧流水线的钵体秧盘压穴装置都通过链条的定位轴控制钵体秧盘, 秧盘由链条带动同步移动, 其位置控制方法依靠链条节距与穴距相匹配, 保证秧盘穴孔与压实辊指的同步, 对应实现穴孔底土压实^[14-16]; 黑龙江八一农垦大学研制的水稻钵育联合精量真空播种装置采用齿条式托盘进行定位, 保证压穴机构同步, 实现底土压实^[17-20]。可以看出, 这些压穴装置由于受链条节距或齿条啮合的限制, 秧盘只能与育秧机专用, 不能与现有的育秧机通用; 尤其是国内从轻简化栽培出发, 主要使用软盘育秧

来降低成本, 上述几种育秧机不能实现软盘底土压实, 限制了其在国内育秧机上的应用。

本文设计一种水稻精密育秧播种机钵体秧盘底土压实装置, 该装置采用限位行程开关限位、对准接近开关对准同步, 步进电动机驱动控制秧盘行进, 秧盘穴孔与压实辊指相互作用, 实现钵体秧盘穴孔底土压实作业, 保证钵体苗根系坚实不散, 进而达到提高秧苗素质的目的。

1 装置结构与工作原理

水稻精密育秧播种机钵体秧盘底土压实装置主要由钵体秧盘、托盘、对准限位机构、输送机构、覆底土机构、扫土机构、辊指压实机构、机架和电动机等组成, 如图 1 所示。

该装置的工作过程如下: 启动驱动电动机, 电气系统复位。工作时, 将软秧盘放到托盘中再放入输送机构的橡胶输送辊上并随之前进(硬秧盘直接放到橡胶输送辊上), 行进的秧盘受到对准限位机构上的限位挡板阻止滑移等待, 此时托盘前端压靠在限位挡板下端的限位行程开关 K1 上, K1 闭合, IO 口(P2.1)为低电平产生来盘信号, 直到辊指压实机构上的对准接近开关 K3 检测到压实辊筒端面上的对准衔铁时, IO 口(P3.3)为低电平产生跳变沿触发使控制系统进入外部中断 1, 表明秧盘穴孔与辊指

收稿日期: 2014-01-13 修回日期: 2014-04-16

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA10A501)、公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203059)和现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-01-33)

作者简介: 马旭, 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

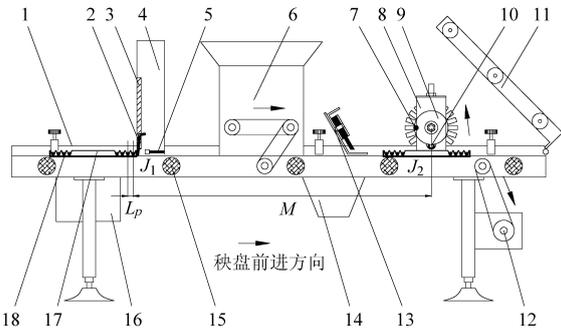


图 1 钵体秧盘穴孔底土压实装置结构图

Fig. 1 Subsoil compaction device of bowl seedling tray

1. 机架 2. 限位行程开关 K1 3. 限位挡板 4. 对准限位机构
5. 送盘行程开关 K2 6. 覆底土机构 7. 对准衔铁 8. 辊指压实机构
9. 压实辊筒 10. 对准接近开关 K3 11. 折叠取盘台
12. 电动机 13. 扫土机构 14. 集土斗 15. 橡胶输送辊 16. 电控箱
17. 秧盘 18. 托盘

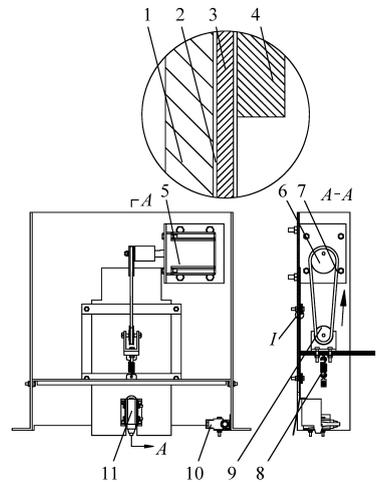


图 2 对准限位机构

Fig. 2 Bowl tray cave-hole aligning and positioning mechanism

1. 框架 2. 内夹板 3. 限位挡板 4. 外夹板 5. 步进电动机
6. 偏心盘型凸轮 7. 胶带 8. 回正弹簧 9. 滑轮 10. 送盘行程开关 K2
11. 限位行程开关 K1

已经对准同步,此时步进电动机转动带动限位挡板升起,解除限位,秧盘随橡胶胶输送辊前进,行进的秧盘侧壁压靠在送盘行程开关 K2 上,K2 闭合,IO 口 (P3.2) 为低电平触发控制系统进入外部中断 0,保持步进电动机不动作,当整盘通过后,K2 断开,IO 口 (P3.2) 转变为高电平触发控制系统,驱动步进电动机转动,并带动限位挡板复位,继续进行下一秧盘对准同步工作;接着由覆底土机构和扫土机构分别完成覆底土和清扫工序,最后由辊指压实机构的压实辊指与穴孔底土啮合完成压实作业。

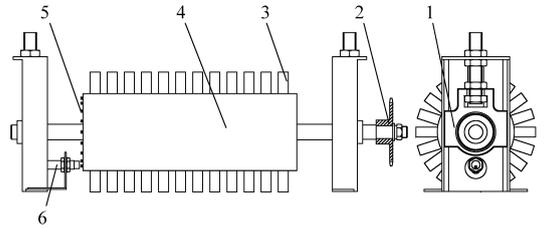


图 3 辊指压实机构

Fig. 3 Tray cave-hole subsoil compaction mechanism

1. 高度调节轴承 2. 传动链轮 Z4 3. 压实辊指 4. 压实辊筒
5. 对准衔铁 6. 对准接近开关 K3

2 关键部件

底土压实装置的主要部件有对准限位机构、辊指压实机构、电气控制系统等。

2.1 对准限位机构

对准限位机构由步进电动机、偏心盘形凸轮、胶带、滑轮、限位挡板、限位行程开关 K1、送盘行程开关 K2 等组成,如图 2 所示。步进电动机安装在机架上,步进电动机带动盘形凸轮,并通过胶带与滑轮连接;与滑轮固连的限位挡板下端装有限位行程开关 K1,对秧盘进行限位,并产生来盘信号;由框架、内夹板、外夹板所组成窄缝滑道,可保证限位挡板在其内上、下滑动。

压实辊筒端面上均布着数量与压实辊指工位相同的对准衔铁;在压实辊侧支架上,安装的对准接近开关 K3 (图 3) 用来检测对准盘上的对准衔铁,并发出秧盘释放信号,控制步进电动机旋转半圈,使得盘形凸轮上升到高位,同时限位挡板升起,秧盘随橡胶胶输送辊前进。

2.2 辊指压实机构

辊指压实机构如图 3 所示,由压实辊筒、压实辊

指、传动链轮、高度调节轴承组成。传动链轮带动压实辊 (压实辊筒和压实辊指) 转动,压实辊筒端面装有与压实辊指对应的对准衔铁,保证秧盘穴孔与压实辊指的对准,高度调节轴承固定在机架上,通过调节轴承高度来控制压实辊指压入秧盘穴孔的深度。

2.3 秧盘穴孔与压实辊指同步和对准计算

为保证压实辊指旋转时刚好压在秧盘穴孔,需满足下列要求:秧盘穴孔移动一个穴距 L_p ,压实辊指刚好旋转一个辊指角 θ_0 。即满足

$$\frac{L_p}{v_p} = \frac{\theta_0}{\omega} \quad (1)$$

式中 θ_0 ——压实辊圆周方向上相邻两辊指的夹角,rad

ω ——压实辊工作时的角速度,rad/s

L_p ——秧盘沿秧盘长度方向相邻两穴孔的中心距,mm

v_p ——秧盘平移速度,mm/s

此外,还要在传动系统上控制两者的转速比,以保证同步,图 4 为压实辊的传动链示意图,换向轴上的链轮 Z2 作为压实辊轴的驱动轮。秧盘的穴孔与

对应的压实辊指保持同速传动的链轮传动比为

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3} = \frac{R}{r} \quad (2)$$

式中 R ——压实深度中点处压实辊指半径, mm

r ——橡胶输送辊外径, mm

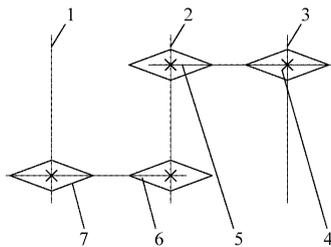


图4 压实辊传动链示意图

Fig. 4 Chain drive of compaction roller

1. 主传动轴 2. 换向轴 3. 压实辊轴 4. 链轮 Z4 5. 链轮 Z3
6. 链轮 Z2 7. 链轮 Z1

秧盘被限位机构的限位挡板挡住时,沿秧盘前进方向第一排穴孔中心(J_1)到压实辊轴中心(J_2)的距离为 M ;沿秧盘前进方向相邻两排秧盘穴孔中心距为 L_p 。令 $N = M/L_p$, N 为中心距整数倍(图1)。

当 M 是 L_p 的整数倍,并且经过对准接近开关 K3 的检测刚好有一个压实辊指处于正下方的位置时,提升限位挡板使秧盘前进,根据同步计算可知(图1),秧盘从 J_1 到 J_2 点的时间 ΔT_1 内,压实辊旋转 N 个辊指所需时间为 ΔT_2 ,必定有一个压实辊指处于正下方位置,保证秧盘穴孔与压实辊指的对准。

对准要求 $\Delta T_1 = \Delta T_2$,但实际上两者有误差。为了保证两者一致,减少误差,因此需有准确的控制系统。

2.4 控制系统

2.4.1 硬件电路设计

采用 AT89C51 单片机为控制系统核心,整个系统包括限位行程开关 K1、送盘行程开关 K2、对准接近开关 K3、光电耦合器 P1 和 P2、步进电动机驱动器、步进电动机和开关电源等。图5为秧盘穴孔与压实辊指同步对准装置的控制系统电路图。

2.4.2 限位挡板的控制

在控制限位挡板的动作时,因限位行程开关 K1(图2)和对准接近开关 K3(图3)所在的线路为开关线路^[21-22],无法控制步进电动机处于某一稳定状态,从而不能控制限位挡板处于某一固定状态,为此电气设计采用如下方法:通过 K1 和 K3 接通电路,秧盘在行进过程中压靠在机架侧壁的送盘行程开关 K2(图2)上,同时向单片机的 P3.2(INT0)口发出低电平信号,外部中断 0 被触发,保证步进电动机维持在不转动状态,继续保持限位挡板维持在提起状态,当秧盘整体通过后,放下限位挡板复位。

2.4.3 控制系统工作流程

图6为秧盘穴孔与压实辊指同步对准装置的控制系统的工作流程。

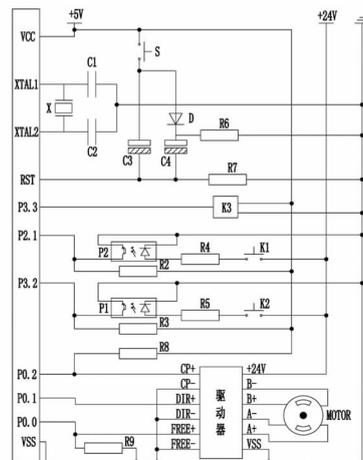


图5 控制系统电路图

Fig. 5 Control system circuit diagram

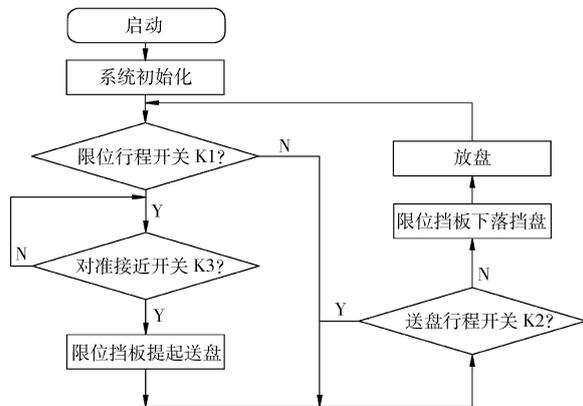


图6 控制系统工作流程图

Fig. 6 Flowchart of control system

驱动电动机启动,输送机构正常运转,压实辊达正常运行状态,电气系统复位。限位行程开关 K1 进行来盘检测并发出低电平信号,此时若对准接近开关 K3 检测到对准衔铁则发出低电平信号,产生跳变沿触发使控制中心进入外部中断 1,限位挡板升起让盘通过,秧盘行进时其侧面始终压靠在送盘行程开关 K2 上使其产生低电平,触发控制中心进入外部中断 0,保持步进电动机不动作,当整盘通过后, K2 信号转变为高电平,触发步进电动机,驱动限位挡板放下复位,继续下一秧盘的对准工序。

3 试验材料和方法

为了检测系统的控制精度,设计了精密育秧播种机钵体秧盘穴孔底土压实装置及控制系统。使用的压实辊筒直径为 108 mm,辊筒周圈共有 20 排压实辊指,每一排安装有 12 个圆柱形辊指,每一排相邻两辊指间距为 24 mm,相邻两排辊指夹角为 18° ,

辊指直径为 14 mm。

试验秧盘为 582.8 mm × 288 mm × 21 mm (23 穴 × 12 排, 穴距为 25.4 mm × 24 mm) PVC 软塑钵体盘。

试验时使用软秧盘, 为保证育秧后摆盘方便, 采用托盘实现秧盘放送, 托盘的尺寸与秧盘一致, 秧盘放入托盘内三面限位, 两者在育秧过程中不分离。

试验土壤取自稻田沙壤土, 经过粉碎后, 过孔径为 4 mm 的筛^[23], 含水率 8.41% ~ 15.59%。

压实辊指与秧盘穴孔的对准率测定如下:

(1) 通常, 当秧盘在前进过程中第一排穴孔与压实辊指对准时, 可保证后排穴孔均能准确压实; 且工作过程中不卡盘、不卷盘、不伤盘; 对准率的确定可用压实辊指的对准偏差来测量。试验时压实辊指压入已覆底土的钵体秧盘穴孔后, 辊指会在底土表面产生一个圆形压痕, 如图 7 所示。

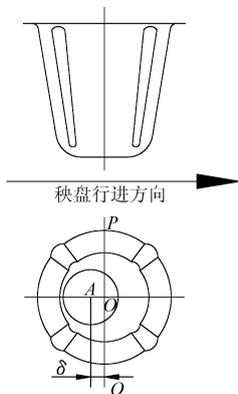


图 7 钵体秧盘单个穴孔示意图

Fig. 7 Cave-hole of bowl seedling tray

(2) 测量压实辊指压痕中心 A 到穴孔中心 O 点的距离 δ , 即为对准偏差, 当 A 点位于 O 点左侧时, 对准偏差 δ 为负值; 当 A 点位于 O 点右侧时, 对准偏差 δ 为正值。试验指标选择对准偏差 δ 的绝对值。试验所用秧盘的穴孔上口直径为 21 mm, 试验所用圆柱辊指直径 14 mm, 要保证压实辊指准确的压入穴孔, 则辊指压痕应在秧盘的穴孔范围内。即对准偏差 $\delta \leq 3.5$ mm, 可以达到对准要求。对准率为

$$Y = \frac{N_1}{N_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中 N_1 ——对准的秧盘个数, $\delta \leq 3.5$ mm 的个数
 N_0 ——试验总盘数

3.1 底土压实试验因素和指标

根据秧盘穴孔与压实辊指同步和对准的计算, 可知影响秧盘与压实辊速度同步和对准的因素有中心距倍数 N 、生产率 F 、提前角对应弧长 s 和底土压实深度。

3.1.1 中心距倍数

根据限位机构与辊指压实机构的相对位置来确定试验参数, 考虑机具本身的参数, 中心距倍数 N 的取值分别为 11 和 55。

3.1.2 生产率

根据实际生产需要, 结合机具上电动机变频器的调频范围, 生产率 F 范围为 400 ~ 600 盘/h, 试验时取中值 500 盘/h。

3.1.3 提前角对应弧长

在限位挡板提升这段时间, 秧盘没有运动, 但压实辊一直在连续旋转, 这样就会产生误差。在假设限位挡板提升后托盘瞬间加速到橡胶输送辊相同速度 v_p 的情况下, 将产生限位挡板提升时间误差; 所以为了消除提升时间误差, 需要提前一个角度发送对准信号, 也就是需要在辊指还没有到正下方之前的一段时间内就发出对准信号, 以保证限位挡板提起后, $\Delta T_1 = \Delta T_2$ 。

如图 8 所示, 压实辊筒端面安装有半径为 R_0 的圆盘, 圆盘上均布 20 个对准衔铁与辊指一一对应, 圆盘可绕压实辊轴中心旋转, 通过旋转圆盘改变衔铁相对于辊指的角度, 该角度 θ 为提前角, 规定圆盘顺时针旋转为正。由于提前角较小, 不易于测量, 因此试验采用提前角 $\angle A_0OA_1$ 对应弧长 s 作为试验因素, 圆盘旋转到 A_1 点时, 提前角对应弧长 A_1A_0 。根据预试验分析, 提前角对应弧长 s 取值范围为 0 ~ 4 mm (对应提前角为 0 ~ 4.58°) 时, 对准率较高, 试验时 s 每 0.5 mm 一个水平, 共 9 个水平。

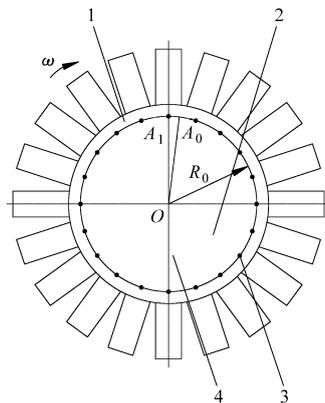


图 8 压实辊示意图

Fig. 8 Compaction roller

1. 压实辊筒 2. 压实辊指 3. 对准衔铁 4. 圆盘

3.1.4 底土压实深度

底土压实深度对穴孔土壤量影响较大, 按农业技术要求, 覆土深度为 5 ~ 6 mm 利于秧苗生长, 所以为了保证此覆土深度, 最大压实深度也应小于 6 mm。如秧盘穴孔高度为 21 mm, 底土压实深度育秧试验时, 压实辊相对秧盘的高度始终为 6 mm, 设定

覆盖底土上表面离秧盘上表面的高度分别为 15、17、19 和 21 mm,即实际底土压实深度分别为 0、2、4 和 6 mm。采用这种深度压实后土壤仍然较松,不能找到合适的指标来衡量,为此通过不同底土压实深度条件下的秧苗生长试验进行对比分析。

3.2 试验安排和试验结果

试验在华南农业大学工程实验室水稻育秧播种机底土压实装置上进行,试验现场如图 9 所示。



图 9 钵体秧盘穴孔底土压实装置试验现场
Fig. 9 Test on subsoil compaction device of bowl seedling tray

3.2.1 辊指与穴孔底土压实对准试验

辊指与穴孔底土压实对准试验以辊指与秧盘穴孔对准率 Y 为指标,根据中心距倍数将试验分为两组,每个试验随机取 25 盘,测量秧盘第一排穴孔对准偏差,每个计 300 个样品。试验结果如表 1 所示。

表 1 试验方案及对准率结果

Tab. 1 Design of experiment and results of alignment rate %

N	s/mm								
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
11	94	96	98	97	95	93	90	88	84
55	95	95	97	97	94	93	89	88	82

3.2.2 底土压实深度育秧试验

为测定底土压实对秧苗生长素质的影响,对 4 种不同底土压实深度对秧苗生长素质的影响进行了对比试验。试验稻种为杂交稻特优航 1 号,种子经过浸种催芽处理,芽长 1~3 mm,在钵体秧盘穴孔底土压实装置上完成不同底土压实深度 0、2、4 和 6 mm 后,再进行人工播种,2~3 粒/穴,最后覆盖表土 6 mm。育秧试验于 2014 年 3 月 2 日至 31 日在华南农业大学育秧温室中进行,秧苗生长期 29 d,测量秧苗移栽时的生长指标,每个底土压实深度选择长势中等的秧苗 20 株测量其叶龄、苗高、苗茎宽、单株根数和根长并取均值,每个底土压实深度分别测量 3 个秧盘秧苗的百株鲜质量并取均值,以及底土压实深度对拔起秧苗插秧时钵体苗完整性的影响测量,即每个底土压实深度分别从 3 个秧盘中随机各

取 100 穴,计量完整钵体苗个数(完整紧密见图 10a)所占百分比并取均值,试验测试结果如表 2 所示。

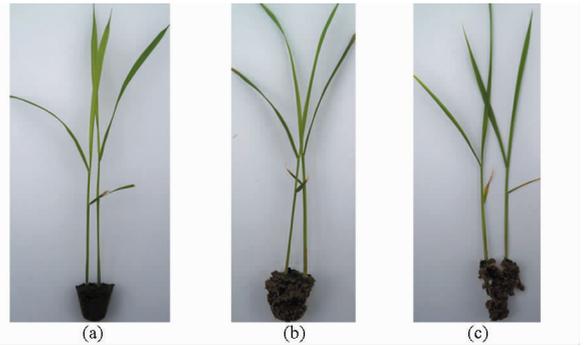


图 10 钵体苗的完整性

Fig. 10 Integrity of bowl seedling

(a) 完整紧密 (b) 较完整紧密 (c) 不完整紧密

表 2 不同底土压实深度秧苗生长参数

Tab. 2 Seedling characteristics and variance analysis under different depth of subsoil compaction

压实深度 /mm	叶龄 /叶	苗高 /cm	苗茎宽 /mm	单株根数 /条	根长 /cm	百株鲜质量/g	完整钵体苗占比/%
0	3.0	19.8	1.88	6.35	5.19	13.8	75.7
2	3.2	20.2	1.96	7.00	4.15	15.5	81.0
4	3.0	20.5	1.95	6.65	4.59	15.3	84.3
6	3.1	21.7	1.99	7.65	4.70	16.7	86.7
MS	0.1	12.5	0.05	6.25	3.65	4.3	68.3
F	2.5	5.04**	1.67	4.58*	2.38	14.0**	24.8**

注:苗高是指秧苗最高生根处到最长叶片的叶尖的距离;计数叶龄时,最底部的那一叶小叶片不算,尚未出全的叶芯算半叶;根数指长度大于 0.5 cm 的根的条数;根长指最长根的长度;百株鲜质量的测量方法:从秧苗中选取有代表性的秧苗 100 株,清洗干净,在无水滴掉下时测定鲜重质量。* 表示在 0.05 水平上显著,** 表示在 0.01 水平上显著。

3.3 试验结果与分析

3.3.1 对准率分析

根据表 1,当生产率 $F = 500$ 盘/h、中心距倍数分别为 11 和 55 时,随着提前角对应弧长的增加,对准率呈现先增加后减小的趋势;提前角对应弧长在 0~2 mm 范围内,对准率在 94% 以上;当提前角对应弧长 $s = 1$ mm 时,装置对准率较好,其值分别为 97% 和 98%;而中心距倍数 N 为 11 和 55 的对准率最大只相差 1%,影响很小。

3.3.2 穴孔底土增加量分析

对比有、无底土压实装置,穴孔底土覆土量因辊指的压实作用而增加,如图 11 所示。根据农艺要求种子上面覆土厚度要 5~6 mm,所以土壤压实量至少可以增加 5~6 mm 的辊指体积,按质量计,大约增加 20%,这将有利于钵体苗生长。

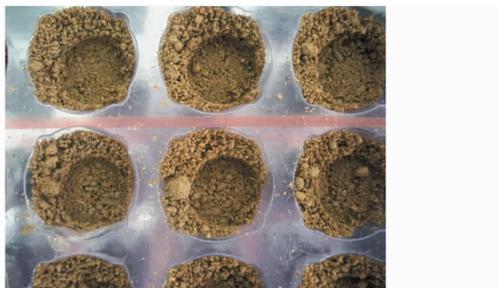


图11 底土压实效果

Fig. 11 Result of subsoil compaction experiment

3.3.3 底土压实深度对秧苗生长素质的影响分析

从表2可以看出,不同底土压实深度之间,苗高、百株鲜质量和完整钵体苗占比的差异达极显著水平,单株根数的差异达显著水平,而叶龄和苗茎宽的差异不显著。随着穴孔底土压实深度增加,秧苗苗高、单株根数和百鲜质量等素质指标都有所提高,当压实深度增加到6 mm时,苗高值和完整钵体苗占比最大,此时秧苗和土壤复合钵紧密、根系较坚实不散,利于秧苗进行栽插作业。

3.3.4 讨论

由试验可知,当中心距倍数 N 为11和55时,两者的对准率相差不大,考虑到在育秧播种机上对准限位机构的安装位置,实际应用时选用中心距倍数 N 为55。

通过调节提前角对应弧长,对准率能达到较优水平。根据表1可知,装置的最佳提前角对应弧长为1 mm。

对于个别第一排没有对准的穴孔,由于经过对

准控制,产生的对准偏差不会很大,这样可通过后面的辊指与穴孔逐步啮合对准,只对个别秧盘穴孔边缘有压痕,实际上该系统具有自动解决个别对准偏差的问题。

通过不同底土压实深度育秧试验可以看出,随着压实深度增加秧苗素质提高,这主要是土壤量增加利于秧苗营养和水分保持,从而使秧苗素质提高。

4 结论

(1) 设计了一种能实现水稻精密育秧播种机钵体软、硬秧盘穴孔底土压实的通用装置。保证秧盘穴孔与压实辊指对准同步,实现钵体软、硬秧盘供送,满足穴孔底土准确压实的要求。

(2) 设计了钵体秧盘穴孔底土压实装置的控制系統,实现压实辊指与秧盘穴孔同步对准技术。采用AT89C51单片机为控制系统核心,通过步进电动机和行程开关实现秧盘穴孔与压实辊指对准同步,压实辊指与秧盘穴孔内底土相互作用实现底土压实,控制系统性能稳定。

(3) 试验表明,该系统能满足秧盘穴孔底土压实的工作要求,底土压实后利于秧苗生长和栽插。实现了穴孔与压实辊指的精确匹配,当生产率在500盘/h、提前角对应弧长为1 mm时,对准率为98%,穴孔底土压实可增加覆土量20%左右;增加穴孔底土压实深度,提高了秧苗素质,以及秧苗和土壤复合钵完整紧密程度,有利于栽插作业,压实深度6 mm时效果最佳。

参 考 文 献

- 1 細野満典,前田拓,横山幸徳. ハネギ育苗移植の機械化に関する研究[R]. 三重県農業技術センター研究報告, 1985(13):45-55.
- 2 横山幸徳,中西幸峰. 水稻の露地中育苗用播種作業の機械化に関する研究[R]. 三重県農業技術センター研究報告, 1990(18):83-97.
- 3 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)
- 4 孟元元,冯伟东,余永卫,等. 水稻工厂化大棚育秧机械装备研究及发展[J]. 农机化研究, 2014(7): 249-252. Meng Yuanyuan, Feng Weidong, She Yongwei, et al. The research and development of greenhouse equipments for rice factory seedling [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(7):249-252. (in Chinese)
- 5 植田直人,角田真一. 水稻育苗培土:日本,165657A [P]. 2012-09-06.
- 6 菅原成徳. 金魚ポンプとボールペンでつくったセルトレイ播種機「種まきっこ」(播種・育苗に便利 こんな機械)[J]. 現代農業, 2003, 82(4):256-259.
- 7 津賀幸之介,小西達也,吉田清一,等. 水稻のマット育苗精密播種方法及び装置:日本,007005 [P]. 1994-01-18.
- 8 张欣悦,李连豪,汪春,等. 2BS-420型水稻植质钵育秧盘精量播种机[J]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 56-61. Zhang Xinyue, Li Lianhao, Wang Chun, et al. Type 2BS-420 precision seeder for rice seedling-growing tray made of paddy-straw [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 56-61. (in Chinese)
- 9 陈恒高,董晓威,张吉军. 水稻植质钵育秧盘的研制[J]. 现代化农业, 2005(9):31-32.
- 10 王光俊,谢小平,高云峰,等. 底铺不同厚度育秧基质对水稻秧苗素质及机插质量的影响[J]. 中国稻米, 2013, 19(6):65-66.
- 11 陈恒高,张义峰,董晓威. 新型水稻栽植机的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(4): 39-41. Chen Henggao, Zhang Yifeng, Dong Xiaowei. Study on a new type rice transplanting machine [J]. Journal of Heilongjiang August

- First Land Reclamation University, 2005, 17(4): 39-41. (in Chinese)
- 12 孙勇飞, 吴崇友, 张文毅, 等. 水稻育秧播种机的发展概况与趋势[J]. 农机化研究, 2013(12): 210-215.
Sun Yongfei, Wu Chongyou, Zhang Wenyi, et al. Developing situation and tendency of rice seedling planter [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013(12): 210-215. (in Chinese)
- 13 索建志, 荆玉兵, 闫云雨. LSPE-6型水稻钵育秧播种机简介[J]. 现代化农业, 2002(7): 39.
- 14 刘彩玲, 宋建农, 张广智, 等. 气吸式水稻钵盘精密播种装置的设计与试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(2): 43-46.
Liu Cailing, Song Jiannong, Zhang Guangzhi, et al. Design and experimental study on rice precision suction seeder for pot seedling nursery box [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(2): 43-46. (in Chinese)
- 15 宋建农, 王冲, 王继承. 基于链传动水稻穴盘精密播种机: 中国, 200820110232. 2[P]. 2009-07-15.
- 16 王冲, 宋建农, 王继承, 等. 链传动水稻穴盘精密播种机的研制[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(6): 87-90.
Wang Chong, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Design of rice precision plug seeder with chain drive [J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(6): 87-90. (in Chinese)
- 17 汪春, 郭占斌, 丁元贺, 等. 水稻钵育联合精量真空播种装置: 中国, CN1930937[P]. 2007-03-21.
- 18 刘松, 吴惠云, 陈恒高, 等. 气动式水稻钵育联合精量真空播种机的整体结构设计[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(4): 50-53.
Liu Song, Wu Huiyun, Chen Henggao, et al. Overall physical design of vacuum precise pneumatic paddy rice seeder which united bowl-seedling [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2007, 19(4): 50-53. (in Chinese)
- 19 赵军, 王智敏, 毛继东, 等. 2BYLS-320型水稻秧盘联合播种机的设计[J]. 农机化研究, 2001(2): 66-67.
- 20 李渤海. 2BYLS-320型水稻秧盘联合播种机的改进设计[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003, 15(2): 58-60.
Li Bohai. Improvement of the 2BYLS-320 model seeding machine for paddy on trays [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2003, 15(2): 58-60. (in Chinese)
- 21 马旭, 周海波, 张铁民. 秧盘连续输送的穴孔同步精准播种对中装置: 中国, 200710030872. 2[P]. 2008-03-05.
- 22 周海波, 马旭, 刘明亮. 精准插秧机秧盘连续输送与穴孔同步对中装置[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39(5): 1212-1217.
Zhou Haibo, Ma Xu, Liu Mingliang. Seedling tray continuous feed and synchronous cave-hole alignment device for precision paddy seedling transplanter [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2009, 39(5): 1212-1217. (in Chinese)
- 23 马瑞峻, 马旭, 张亚莉. 超级稻精量穴盘播种机排土器设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 8-13.
Ma Ruijun, Ma Xu, Zhang Yali. Design and experiments on soil spreading devices of plastic cell-tray type planter for raising super hybrid rice seedlings [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 8-13. (in Chinese)

Subsoil Compaction Device for Rice Seedling Nursery Planter of Bowl Seedling Tray

Ma Xu^{1,2} Xie Junfeng¹ Qi Long¹ Liang Zhongwei¹ Kuang Jianxia¹ Tan Yongxin¹

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Collaborative Innovation Center of Grain Production Capacity Improvement in Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract: The subsoil compaction device of bowl seedling tray cave-hole for rice seedling nursery planter was developed for soft and hard seedling tray. The device control system based on AT89C51 microcontroller used a stepping motor and a transporting-tray limit switch to control seedling tray feeding, and used a restrict limit switch and an align proximity switch to conduct seedling tray alignment and interaction between subsoil in the seedling tray cave-hole and the roller finger. With these steps, subsoil compaction was realized on this device. Through various testing on the compaction device, the optimum working parameters of the compaction device were obtained. The seedling tray alignment test showed that the system realized exact match between the seedling tray cave-hole and roller finger during the subsoil compaction operation at a productivity of 500 trays per hour and an advance angle arc length of 1 mm, and the alignment rate of 98%, which met the technical requirements for subsoil compaction of bowl seedling tray cave-hole. The seedling nursery test showed that subsoil compaction of bowl seedling tray cave-hole improved the quality of seedlings and ensured the integrity and tightness of bowl seedling root-soil complex, which was most helpful for planting operations when the depth of subsoil compaction was 6 mm.

Key words: Rice seedling nursery planter Bowl seedling tray Subsoil compaction device Alignment Control system