

稻田开放式自动化养鸭设备的研制及试验

任文涛, 王 岳, 孔爱菊, 辛明金, 宋玉秋, 邬立岩, 刘翠红, 崔红光

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110886)

摘 要: 为了解决鸭稻共作过程中依靠人工饲养鸭子费时费力的问题, 加速推广具有良好经济效益和社会效益的水稻生态农业模式, 该文设计了一种以单片机为控制核心, 在无人值守情况下在稻田中自动化养鸭设备。该设备放置在稻田的输水渠上不占农田, 由太阳能电池板产生的能量驱动, 能够按照昼夜变化规律运行, 早晨 05:30 后自动开门, 傍晚 18:00 奏音乐唤鸭回笼并能自动补料、给水和关门。由于料斗放置在田间, 饲料容易受潮而结拱影响补料量控制的精准度, 设计了振动式料斗破拱装置, 试验确定了破拱装置的振动偏心距为 30 mm、转速为 1 200 r/min。田间试验结果表明, 在自动门延迟关门 1 min 和声音响度 100 dB 时, 鸭群回笼率达到 97.5% 以上; 自动化养鸭设备饲养鸭群体质量增长与人工喂养无显著性差异 ($P > 0.05$)。该研究成果对鸭稻共作技术的推广应用具有重要意义。

关键词: 自动化; 门; 饲养; 设备; 稻田; 养鸭; 破拱机构; 回笼率

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.010

中图分类号: S818.5; S817.3; S834

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-05-0070-07

任文涛, 王 岳, 孔爱菊, 辛明金, 宋玉秋, 邬立岩, 刘翠红, 崔红光. 稻田开放式自动化养鸭设备的研制及试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 70-76. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.010 http://www.tcsae.org

Ren Wentao, Wang Yue, Kong Aiju, Xin Mingjin, Song Yuqiu, Wu Liyan, Liu Cuihong, Cui Hongguang. Development and experiment of automatic duck feeding device with opening way for paddy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 70-76. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.010 http://www.tcsae.org

0 引 言

鸭稻共作是一种生态效益、经济效益和社会效益都很好的生态农业模式^[1], 特别适合生产有机稻米^[2], 在水库上游的水源保护地区尤为适合。鸭子是一种好动的、既吃草又吃虫的杂食性动物。把 10 日龄左右的雏鸭放入插秧后 10 d 左右的水稻田里, 充分利用鸭子和水稻各自的生理特点, 保证了鸭子吃草, 但不吃稻苗。缓苗后的水稻秧苗株高在 200 mm、叶龄为 4 片叶左右, 这时的稻苗叶片较老, 雏鸭无法采食, 而插秧后水田里滋生的杂草却很鲜嫩, 成为了鸭子喜欢的饲草, 鸭子还能采食稻田中的害虫。当水稻抽穗开花时将鸭子赶出水稻田, 此时的鸭子可以长到 1.5~1.8 kg。每天只在晚上给鸭子补喂部分饲料, 补料量是正常笼养喂饲量的 25% 左右, 鸭子在田间一直处于饥饿状态, 因此勤于采食杂草和各种昆虫。鸭子在田间活动过程中, 增加了水体的溶解氧含量, 有助于水稻根系生长^[3]。鸭子的排泄物同时起到了肥田的效果。在放养密度为 20~25 只/666.7 m² 雏鸭的条件下, 在养鸭期间无需对水田施用除草剂、杀虫剂和化肥^[4-5]。

影响鸭稻共作技术推广应用的难题是鸭子的管理。目前鸭子的过夜有 2 种形式, 一种是每天傍晚用人工将鸭子从稻田赶回家里, 集中补料进舍过夜, 早晨再将鸭

子在赶到水田里, 这种方法人工消耗大, 劳动条件差。另一种方法是, 在稻田地边搭建简易鸭舍, 人工喂饲部分饲料, 现有的简易鸭舍一般都是开放式的^[6-7], 无法保障鸭子安全过夜, 黄鼠狼、老鼠、狐狸、蛇等天敌会威胁鸭子的生命。基于此, 本文研制一种专门适用于鸭稻共作技术的自动化养鸭设备, 实现自动开关门、自动补料、自动给水和奏音乐唤鸭子回笼, 并能保证鸭群安全过夜。

1 自动化鸭舍的结构设计

1.1 设计的技术要求

1) 补料系统和电源等环节, 要有一定的持续能力, 确保在无人值守的野外环境下, 每个自动养鸭设备可以自动饲养至少 25 只鸭子达 10 d 以上。

2) 安装适应性要好。自动养鸭设备的安装应能在较大范围内适应各种田间地形条件。

3) 具备可扩展能力。采用模块化设计思想, 可通过组件拓展, 可满足面积为 6 667 m² 的使用需求。

1.2 自动养鸭设备的总体结构及工作原理

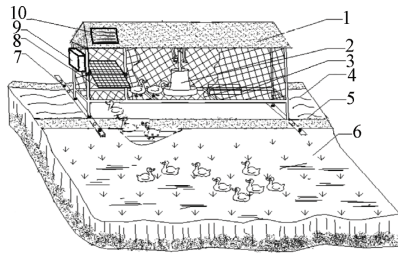
自动化养鸭设备主要由控制系统、喂料系统、供水系统、太阳能供电系统、声讯系统等组成。自动化养鸭设备采用单片机控制, 在早晨 05:30 产生指令, 打开养鸭设备自动门, 鸭群放入稻田。傍晚 18:00 控制系统产生指令, 打开自动门, 通过播放音乐召唤鸭回笼, 并进行喂料和供水。喂料过程中, 自动门关闭。自动供水系统的水源来自稻田。整个控制系统的能量由蓄电池提供, 由太阳能电池板对其进行充电, 满足长时间用电需求。自

收稿日期: 2015-09-09 修订日期: 2016-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51075238)

作者简介: 任文涛, 教授, 博士生导师, 主要从事水稻种植技术机械化技术与装备研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110886。Email: rwtysau@sina.cn

自动化养鸭设备可以在无人值守情况下, 自动完成对稻田中鸭群的管理。设备的总体结构如图1所示。



1.鸭舍顶棚 2.喂料装置 3.水槽 4.流水 5.水渠 6.稻田 7.地脚固定装置 8.自动门装置 9.控制箱 10.太阳能电池板
1.Feeding equipment 2.Feeding device 3.Water cistern 4.Stream 5.Canals 6.Rice field 7.Foot fixing device 8.Automatic door device 9.Control cabinet 10.Solar panel

图1 自动养鸭设备总体示意图

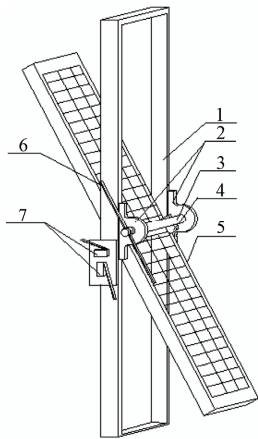
Fig.1 Overall diagram of automation feeding duck equipment

2 主要部件的设计

2.1 自动门系统的设计

2.1.1 自动门结构设计

养鸭设备的自动门要结构紧凑、安全可靠、运行简便灵活, 在设定的时间内实现开门、关门, 并具备锁死功能以保障鸭群夜间的安全。自动门如图2所示, 综合考虑野外环境与鸭舍的整体控制的要求, 自动门设计成以中间轴为旋转轴的翻版门结构。自动门的尺寸设计为470 mm×880 mm。框架采用30 mm×30 mm的角钢焊接而成, 铆装15 mm×15 mm规格的铁丝网。该门体可实现0~90°范围内的开合。在门轴一侧, 与门轴成90°方向安装2个行程开关7。当门开至水平方向时, 自动门边框的行程开关与触发装置接触, 门电机停止转动, 开门到位。关门过程中电机反转, 门回到竖直方向时, 触发装置与自动门边框行程开关接触, 门电机停止转动, 关门到位。



1.门框 2.轴承 3.门轴 4.橡胶垫 5.自动门 6.触发装置 7.行程开关
1.Door frame 2.Bearing 3.Door pivot 4.Rubber blanket 5.Automatic door 6.Trigger device 7.Limit switch

图2 自动门装置

Fig.2 Automatic door device

2.1.2 自动门参数设计

已知自动门的材料为角铁密度 $\rho=7.85 \text{ g/cm}^3$, 自动门质量(m , kg)计算公式如下

$$m = \rho \cdot V. \quad (1)$$

经计算得到自动门质量为 $m=4.15 \text{ kg}$ 。考虑到鸭子进出门时的行走速度, 试验确定自动门电机的转速为5 r/min。转动惯量(I , $\text{kg} \cdot \text{m}^2$)计算公式如下

$$I = \iiint_V r^2 \cdot dm. \quad (2)$$

式中 r 为质量微元到转轴距离, m ; V 为自动门总体积其值为 $5.614 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, 经计算转动惯量 $I=0.24 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。忽略摩擦阻力的情况下, 转矩(T , $\text{N} \cdot \text{m}$)计算公式如下

$$T = I \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (3)$$

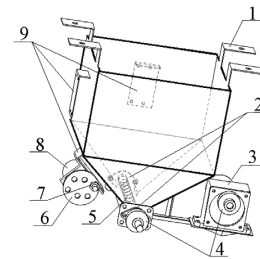
式中 I 为转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$; ω 为转动角速度, rad/s 。经计算所需驱动转矩为 $9.8 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。自动门从速度为0到5 r/min的加速过程为 $t=0.0067 \text{ s}$, 电机转速 n 选为5 r/min, 则电机功率(P , W)计算公式如下

$$P = T \cdot \frac{2\pi n}{60} \quad (4)$$

经计算电机选用为15 W。

2.2 喂料系统的设计

喂料系统由料斗、输送器、破拱装置。主要用于完成鸭群傍晚的喂料工作。通过芯片控制下料时间, 以实现精确控制下料量。喂料机构如图3所示。



1.支撑臂 2.轴承 3.下料电机 4.皮带轮 5.螺旋输送机 6.振动凸轮
7.偏心质量块 8.驱动电机 9.振源位置

1.Supporting arm 2.Bearing 3.Supply of feed DC 4.Belt sheave 5.Auger conveyor 6.Vibration of cam 7.Eccentric mass 8.Drive motor 9.Vibration source location

图3 喂料机构示意图

Fig.3 Feeding mechanism schematic diagram

2.2.1 饲料输送系统的设计与试验

喂料系统要下料精度高、方便可靠, 在稻田潮湿环境下, 喂料系统必须具备破拱功能^[8-9]。由于螺旋输送机在输送物料的同时可以完成物料的混合, 压缩, 揉搓, 具有结构简单耐久, 使用安全可靠, 密闭性好, 物料不易抛洒^[10-11], 因此选用水平螺旋输送机作为自动料斗的输送装置。

螺旋转子外直径 $D=0.05 \text{ m}$, 内直径为 $d=15 \text{ mm}$, 长度 $L=400 \text{ mm}$, 螺旋叶片螺距 $K=26 \text{ mm}$ 。输送机倾斜修正系数 $G=1$ 、物料装满系数 $\varphi=0.5$ 、饲料容重 $\gamma=0.4$ 、物料综合特性系数 $\xi=50$ 、螺旋轴转速 $n_1=7.5 \text{ r/min}$, 螺旋输送机内物料流的截面积(H , m^2)计算公式^[12]如下

$$H = \frac{\pi \times D^2}{4} \cdot \varphi \cdot G. \quad (5)$$

式中 φ 为装满系数; G 为倾斜输送修正系数。

$$v = \frac{K \cdot n_1}{60} \quad (6)$$

式中 v 为物料的推送速度, m/s; 输送量 (Q , m^3/h) 的计算公式如下

$$Q = 47 \times D^2 \cdot \varphi \cdot t \cdot n_1 \cdot G \cdot \gamma \quad (7)$$

极限转速 (n_2 , r/min) 计算公式如下

$$n_2 = \frac{\sqrt{\xi}}{D} \quad (8)$$

式中 ξ 为物料综合特性系数。

经计算物料流的截面积 $H=9.82 \text{ cm}^2$ 、输送速度 $v=0.33 \text{ m/s}$ 、输送量 $Q=0.0046 \text{ m}^3/\text{h}$ 、极限转速 $n_2=141 \text{ r/min}$ 。对几种养鸭所用饲料的休止角进行了试验, 结果表明自然休止角平均值在 $46.65^\circ \sim 54.82^\circ$ 范围内。据此, 设计料斗底部的倾角为 60° 。

2.2.2 螺旋输送机驱动电机的选择

考虑到太阳能电池板的充电能力, 螺旋输送机驱动电机在满足驱动要求的条件下, 功率尽量小, 为此选用直流调速电机。螺旋输送机与调速直流电机采用同轴相连。利用永磁式直流电机的输出转矩与电枢电流之间比例关系, 检测电机电枢电流, 进而计算出负载转矩^[13]。电机电枢电流检测结果如图 4 所示。

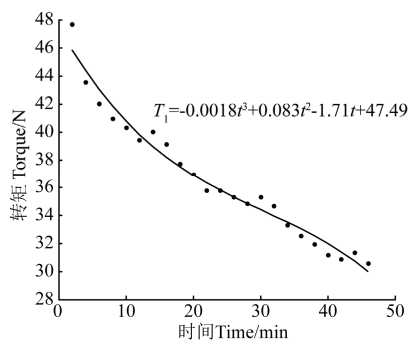


图 4 料斗满到料斗排空过程中转矩随时间变化

Fig.4 Hopper is full to hopper emptying torque changes over time

图 4 为料斗满料到料斗排空过程中, 负载转矩随时间变化, 运用最小二乘法对数据拟合, 如图 4 所示, 拟合平方误差 $\delta=3.48$ 。对拟合式求导, 得

$$T_1' = -0.0055t^2 + 0.17t - 1.17 \quad (9)$$

根据求导后的二次函数可知: 转矩变化最低点为 25 min 时刻 (转矩平缓的变化时刻出现在料斗由方形到锥形位置), 此时转矩最大为 $47.79 \text{ N}\cdot\text{m}$, 选用直流减速电机电压 24 V 、功率 160 W 、转速 7.5 r/min , 其产生转矩 $200 \text{ N}\cdot\text{m}$ (大于 $47.79 \text{ N}\cdot\text{m}$), 故满足要求。

2.2.3 破拱系统的设计

考虑到野外鸭舍的自然环境, 采用能量消耗小、易于维护的振动式破拱装置^[14-17]。以排料稳定性为优化目标, 以破拱电机转速、振源位置和偏心块偏心距为因素, 采用 3 因素 3 水平正交试验设计, 通过试验选取破拱系统的最优参数见表 1。

表 1 排料稳定性试验因素水平表

水平 Level	偏心距 Eccentric distance A/mm	转速 Rotate speed B/(r·min ⁻¹)	振源方位 Vibratory source location C
1	20	975	前
2	25	1010	中
3	30	1200	下

1) 试验材料与方法

试验在沈阳农业大学农机实验室进行。使用的主要仪器有 30 W 、 24 V 的直流电机、 160 W 、 24 V 直流电机、PWM 直流电机调速器、数字式万用表、BL3100 电子天平、 24 V 直流电源、全价鸭饲料 (粉料、含水率 11.5%)、PM-888 电容式谷物水分测量仪。

采用 3 因素 3 水平正交表 $L_9(3^4)$ 设计试验方案, 每个处理组合试验重复 3 次。在料斗排料的整个过程以 3 min 为时间间隔采集 10 个样本。以 1 min 时间内料斗下料质量为采样单位, g, 相关参数计算公式如下

$$\bar{O} = \frac{\sum_{i=1}^k O_i}{N} \quad (10)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (O_i - \bar{O})^2}{N-1}} \quad (11)$$

$$W = \frac{S}{\bar{O}} \times 100\% \quad (12)$$

$$U = (1 - W) \times 100\% \quad (13)$$

式中: N 为样本数; \bar{O} 为平均值; S 为标准差; W 为变异系数; U 为稳定系数, 稳定性系数越高, 效果越好。

2) 试验结果及参数选择

采用极差分析方法, 确定不同因素对排料稳定性的影响程度。试验结果如表 2 所示。

表 2 喂料系统排料稳定性试验结果

试验序号 Test number	A	B	C	空列 Empty row	稳定性系数 Stability coefficient/%
1	1	1	1	1	94.54
2	1	2	2	2	96.51
3	1	3	3	3	97.51
4	2	2	3	1	96.92
5	2	3	1	2	95.66
6	2	1	2	3	95.45
7	3	3	2	1	96.94
8	3	1	3	2	96.91
9	3	2	1	3	96.33

根据极差值确定最优组合为 $A_3B_3C_3$, 即最优的组合不在试验之中, 故需要对 $A_3B_3C_3$ 进行进一步试验, 通过进一步对比试验, 组合 $A_3B_3C_3$ 的稳定性系数为 98.84% , 即最优组合: 偏心距 30 mm 、转速 1200 r/min 、振源位置为下方。通过极差数值可知, 影响破拱的因素重要程度依次为 $C > B > A$ 。

为精确地估计各因素对试验结果影响的重要程度，进行方差分析，结果如表 3 所示。表 3 中稳定性系数影响的方差分析结果表明，在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时， $F_A=26.72>19$ ，偏心距因素对破拱的效果影响显著，而对于 F_A 和 F_B 则均小于 F_α 的值，即在置信度为 95% 时，振源位置、振动电机转速对破拱效果的影响不显著。偏心距 30 mm、转速 1 200 r/min、振源位置为下方为最佳参数组合，以此作为研制的最终选择参数。

表 3 稳定性系数方差分析表
Table 3 Difference analysis of stability coefficient

差异源 Source of differences	离差平方和 SS	自由度 df	组间均方和 MS	F 值	F_α	α
A	3.87	2	1.92	26.72	19	0.05
B	2.06	2	1.03	14.32	19	
C	0.84	2	0.41	5.80	19	
误差 Error	0.14	2	0.07			

2.3 自动养鸭设备控制系统设计

系统由输入参数界面、输入端口和输出端口三大部分组成，采用集成电路板并对控制系统进行封装，能够自动实现对鸭群喂料、供水、开关门等的控制及监测与报警。该系统具备手动、自动 2 种工作方式，可在 2 种工作方式中自由切换。

2.3.1 控制系统硬件设计

鸭舍控制系统的硬件原理图见图 5 所示，系统由外部的太阳能光伏发电进行供电，通过按键系统设置相关参数，控制系统的处理器根据设定的相关参数和从外部检测到的信号，产生相关控制指令，由控制芯片引脚输出高电平或低电平，驱动外围相应的电磁继电器（AFE-BRT1-SS-105D 12A），相应电磁阀带动电机等设备运行。系统内部设有低电压检测电路，当蓄电池电压过低时系统报警，同时关闭控制器。系统的微控制器选用 STC12C5A60S2 芯片，晶振电路选用 12 MHz^[18-20]。

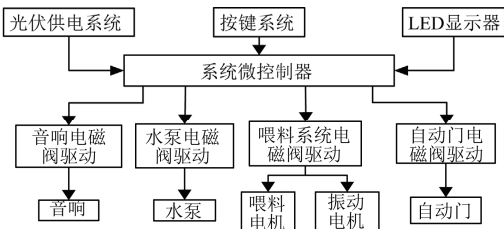


图 5 自动养鸭设备控制系统硬件原理图

Fig.5 Hardware schematic diagram of automatic feeding ducks equipment

2.3.2 控制系统软件设计

自动鸭舍控制系统软件流程图如图 6 所示。在控制系统的芯片上内置一张试验地点当地每天日出日落时间表。程序初始运行后，系统自动调取当天的日出和日落时间，同时自动计时运行。当控制器判断运行时间到达与时间表的触发时间一致时，并进行早晚启动流程判断。若是晚上启动流程，控制芯片发出指令，减速电机带动

自动门运行，自动门打开。在运动过程中触发到行程开关，自动门停止运动，保持打开状态。同时声讯系统和喂料系统开始工作，稻田中的鸭群经过驯化后，在听到声讯的音乐后，回笼吃料。待鸭群全部进笼后，设定的时间到后，自动门关闭，播放的音乐停止。控制系统根据鸭子的数量和周龄自动计算喂料的时间，时间到喂料系统停止下料。早上启动的过程则只启动自动门系统，鸭群放入稻田。供水系统由控制芯片控制 12 V、15 W 水泵实现自动供水。自动供水的水源来自稻田水渠，供水的时间由微控制器根据日期自动计算。

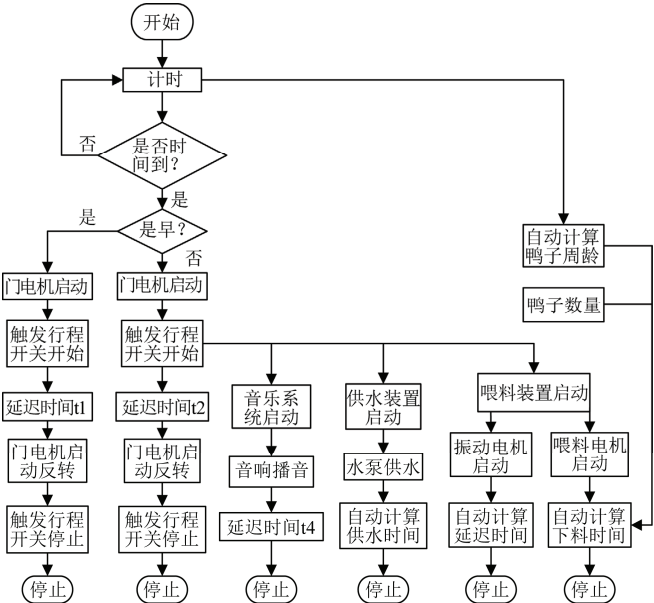


图 6 自动控制系统的软件流程图

Fig.6 Software flowchart of automatic feeding ducks system

3 样机田间试验

2015 年 7 月 1 日将研制的稻田自动化养鸭设备在辽宁省辽阳市灯塔市新光村进行了为期 35 d 的田间试验，设计自动化设备喂养试验。试验的水田面积 666.7 m²，田间的水位为 5 cm，外围网高 60 cm，每组养鸭数量 25 只。鸭群选用当地麻鸭，鸭龄为 4 周的雏鸭。对照组采用人工喂养，水田面积同为 666.7 m²，与试验田相邻，位于其南侧，鸭子喂料量和水田灌溉量等管理与试验组相同。

3.1 声讯系统试验

以召回鸭群回笼时声音的响度、声音的持续时间和自动门延迟时间作为鸭群回笼率的影响因素，设计三元二次回归正交组合试验设计。通过试验数据建立鸭群回笼数学模型，探求声讯系统与自动门控制系统的参数组合，使鸭群回笼率达到最大。水平因数编码表如表 4 所示。

表 4 试验因素水平编码表

Table 4 Factor and level coding

编码 Coding Z_j	声音的响度 Loudness of sound x_1/dB	声音持续时间 Duration of sound x_2/min	自动门持续时间 Duration of automatic door x_3/min
r	100	11	19
1	97.3	10.2	18.29
0	85	7	15
-1	82.3	6.3	14.29
- r	70	3	11
Δ	12.3	3.3	3.3

通过田间试验, 所得到的结果如表 5 所示。

表 5 各参数对鸭子回笼率影响试验结果
Table 5 Test result of various of parametric affect rate of duck returning cage

声音响度 Loudness of sound X_1	声音持续时间 Duration of sound X_2	自动门持续时间 Duration of automatic Door X_3	回笼率 Ratio of backing cage Y/%
1	1	1	85
1	1	-1	97.5
1	-1	1	85
1	-1	-1	95
-1	1	1	82.5
-1	1	-1	92.5
-1	-1	1	90
-1	-1	-1	85
1.287	0	0	92.5
-1.287	0	0	87.5
0	1.287	0	90
0	-1.287	0	90
0	0	1.287	82.5
0	0	-1.287	90
0	0	0	85
0	0	0	87.5

利用 SPASS 软件进行回归的统计计算得到回归方程的相关系数 $R=0.90$ 。对回归方程进行失拟性检验, 见表 6。

表 6 回归方程失拟性检验
Table 6 Regression equation is proposed to test

差异源 Source of differences	离差平方和 SS	自由度 df	组间均方和 MS	F 值	$F_{0.1}$
失拟 Loss of fitting	23.68	5	4.74	1.516	57.24
重复试验 Repeated experiment	3.125	1	3.125		

结果表明 $F=1.156 < F_{0.1}=57.24$ 回归方程失拟不显著, 即回归方程在整个研究范围内都能与试验值拟合的很好。偏回归系数的显著性检验, 对回归系数采用 P 值检验, P 值的计算结果可得出回归方程为

$$Y = 88.7 + 1.67X_1 - 3.28X_3 - 2.187X_1 \cdot X_3$$

由回归分析可知, 自动门的延迟时间和声音的响度对鸭群的回笼率呈现简单的一次关系, 不同因素对回笼率的影响程度为自动门延迟时间 > 声音响度 > 自动门的响度与声音的交互作用。从回归方程可知对于鸭群回笼率的提高, 需要增大声音的响度和减少自动门的延迟时间。由拟合回归方程计算的最大回笼率为 98%。10 次试验结果表明, 在自动门延迟时间 1 min, 声音响度为 100 dB 时, 鸭群的平均回笼率为 97.5%。

本试验所测数据受到当地气温、气候变化和试验环境背景噪音等因素影响。根据试验期间温度的连续记录: 试验全天最高温度的波动方差为 1.211°C , 最低温度波动方差 0.753°C , 可近似认为试验每天温度变化相同。由于本试验选择人为活动较少的农村进行, 试验过程中的背景噪声记录显示, 背景噪声的平均值为 45.3 dB 且波动方差为 0.854 dB, 可以近似认为试验每天的背景噪音相同,

且由于低于最低试验 70 dB 等级, 故可认为本试验的误差对试验影响较低, 试验数据可靠。

3.2 鸭群生长状况的对比试验

本试验以鸭子每周平均体质量增加作为对比因素, 采用单因数方差分析方法进行差异性分析。每周称取所有鸭子体质量增加取其平均值, 重复 3 次, 连续记录 5 周, 称量采用量程为 7.5 kg、精度 0.01 g 的电子秤。

通过单因素方差分析, 在置信度 $\alpha=0.05$ 的 F 检验中结果如表 7 所示。

表 7 不同饲养方式下鸭群体质量方差分析
Table 7 Difference analysis of duck weight under different raising conditions

差异源 Source of differences	离差平方和 SS	自由度 df	组间均方和 MS	P 值	F 值
组间 SS_A	4.08e-6	1	4.08e-6	0.97	2.34e-4
误差 SS_e	0.1748	10	0.07148		
总和 SS_T	0.1748	11			

由表 7 可知, 2 组数据并没有显著性变化 ($P=0.97 > 0.05$), 证明自动养鸭设备饲养鸭群与人工饲养鸭群具有相同的饲养效果。由数据可知鸭群在初始 2 周中生长较人工喂养增长缓慢, 是由于鸭群适应鸭舍及鸭群建立条件反射训练的原因造成。从 7~9 周龄后, 较人工喂养平均体质量有所增加, 其中第 8 周龄增加 0.05 kg、第 9 周龄增加 0.08 kg。测量的数据如图 7 所示。

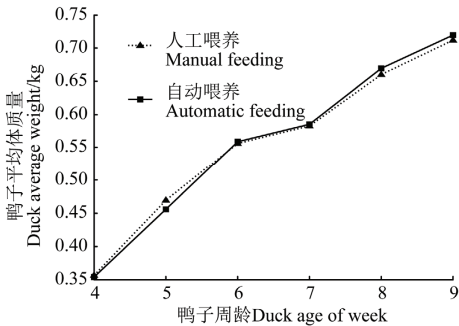


图 7 自动养鸭设备和人工饲养的鸭群体质量比较
Fig.7 Comparison of duck's weight between automatic raising-duck equipment and manual feeding group

4 结论与讨论

1) 研制了适用于鸭稻共作技术的野外自动养鸭设备, 实现了基于太阳能驱动的自动开关门、自动唤鸭回笼和自动补料, 试验验证了系统的可行性。

2) 针对存放于料斗中的饲料在田间容易受潮而结拱, 影响排料稳定性的问题, 设计了自动破拱装置。试验确定了破拱装置的最佳参数组合为偏心距 30 mm、转速 1 200 r/min、振源位置下方。

3) 唤鸭回笼系统田间试验结果表明, 在自动门延迟时间 1 min, 声音响度为 100 dB 时, 鸭群的回笼率为最大, 通过试验测得回笼率达 97.5%以上。

4) 自动养鸭设备的饲养的鸭群与人工饲养的鸭群相比, 在鸭子体重增长指标上没有显著性差异。

基于稻鸭共作技术的自动化养鸭设备与依靠传统的

人工手动喂养相比较, 在相同饲料消耗的情况下, 可节约人工成本。试验结果表明, 稻田养鸭需要人工晚上将鸭群赶回补料, 每天人工费需 200 元, 共需 36 d 花费 7 200 元。而本设备仅需 4 d 的人工维护, 需要人工费 800 元, 与对照相比可节约 6 400 元, 可见经济效益显著。同时本设备采用全部自动化控制, 可以降低人工在稻田中的劳动强度。因此基于稻鸭共作技术的自动化设备有着广阔的发展与应用前景。本设备作为基于稻鸭共作技术的自动化设备研究, 其证明了稻田养鸭自动化的可行性, 为后续基于稻鸭共作技术的大规模、高度自动化设备的研究, 提供了借鉴与参考。

[参 考 文 献]

- [1] 杨萍, 詹文莲, 徐鑫. 稻田养鸭对水稻病虫害的控制效果试验[J]. 通化师范学院学报: 自然科学, 2015, 36(3): 43—45.
Yang Ping, Zhan Wenlian, Xu Xin. Experiment effect of controlling disease and pests basic on rice-duck[J]. Journal of Tonghua Normal University: Natural Science, 2015, 36(3): 43—45. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈灿, 黄璜, 郑华斌, 等. 稻田不同生态种养模式对稻米品质的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(2): 17—19.
Chen Can, Huang Huang, Zheng Huabin, et al. Effects of different mode of ecological planting and raising on rice quality[J]. China Rice, 2015, 21(2): 17—19. (in Chinese with English abstract)
- [3] 郑华斌, 贺慧, 姚林, 等. 稻田饲养动物的生态经济效益及其应用前景[J]. 湿地科学, 2015, 13(4): 510—517.
Zheng Huabin, He Hui, Yao Lin, et al. Ecological economic effects and its prospects of raising animals in paddy field[J]. Wetland Science, 2015, 13(4): 510—517. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张孝安. 稻鸭共作技术在中国的应用与普及现状[J]. 世界农业, 2007(4): 51—54.
Zhang Xiaolan. Rice and duck make technology application and popularization in China[J]. World Agriculture, 2007(4): 51—54. (in Chinese with English abstract)
- [5] 卢跃红, 魏红江, 张曦, 等. 国内外稻鸭共生的研究现状[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(1): 81—85.
Lu Yuehong, Wei Hongjiang, Zhang Xi, et al. The research on the mode of rice duck mutualism[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2006, 21(1): 81—85. (in Chinese with English abstract)
- [6] 向敏, 黄鹤春, 裴正峰, 等. 我国稻鸭共作技术发展现状与对策[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(10): 33—36.
Xiang Min, Huang Hechun, Pei Zhengfeng, et al. Development status and countermeasures of rice-duck farming technology in China[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(10): 33—36. (in Chinese with English abstract)
- [7] 谢春风, 蒋劲松, 向青松, 等. 中国生态农业发展探讨[J]. 现代农业科技, 2009(20): 315—317.
Xie Chunfeng, Jiang Jinsong, Xiang Qingsong, et al. Discussion on ecological agriculture development in China[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(20): 315—317. (in Chinese with English abstract)
- [8] 吴爱祥, 古德生, 戴兴国. 含水量对散体流动性的影响[J]. 中南矿冶学报, 1994, 25(4): 455—459.
Wu Aixiang, Gu Desheng, Dai Xingguo. The influence of water content on the flow property of bulk solid[J]. Journal of Zhongnan Mining and Metallurgy, 1994, 25(4): 455—459. (in Chinese with English abstract)
- [9] 于建群, 付宏, 李红, 等. 离散元法及其在农业机械工作部件研究与设计中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 1—6.
Yu Jianqun, Fu Hong, Li Hong, et al. Application of discrete element method to research and design of working parts of agricultural machines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(5): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张西良, 马奎, 王辉, 等. 颗粒尺寸对螺旋加料机定量加料性能的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 19—27.
Zhang Xiliang, Ma Kui, Wang Hui, et al. Effect of particle size on precision dosing of screw feeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(5): 19—27. (in Chinese with English abstract)
- [11] 胡勇克, 戴莉莉, 皮亚男. 螺旋输送器的原理与设计[J]. 南昌大学学报: 工科版, 2000, 22(4): 29—33.
Hu Yongke, Dai Lili, Pi Ya'nan. Theories and calculation of the Auger-type conveyer[J]. Journal of Nanchang University: Engineering & Technology, 2000, 22(4): 29—33. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王鹰, 陈宏勋, 王国华, 等. 连续输送机械设计手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001: 737—744.
- [13] 李发海, 朱东起. 电机学[M]. 第五版. 北京: 科学出版社, 2013: 118—131.
- [14] 王莉静. 浅析破拱装置的特点及应用[J]. 吉林化工学院学报, 2012, 29(7): 73—75.
Wang Lijing. Analysis of characteristic and application of arch breaking device[J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2012, 29(7): 73—75. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘静川. 储煤仓空气炮破拱系统的设计[J]. 矿山机械, 2010, 38(13): 118—119.
Liu Jingchuan. The design of coal storage with air cannons for break the arch system[J]. Mining & Processing Equipment, 2010, 38(13): 118—119. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王亚武. 漏斗破拱措施分析[J]. 水运工程, 2011, 6(10): 165—169.
Wang Yawu. Measures for bulk anti-arch in funnel[J]. Port & Waterway Engineering, 2011, 6(10): 165—169. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张豪, 高全杰, 严江. 振动筛的三自由度动力学分析与仿真[J]. 煤矿机械, 2014, 35(11): 255—256.
Zhang Hao, Gao Quanjie, Yan Jiang. Dynamic analysis and simulation of three degrees of freedom shaker[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(11): 255—256. (in Chinese with English abstract)

- [18] 李志宇. 单片机控制系统抗干扰设计[J]. 电子测量技术, 2007, 30(6): 100—117.
Li Zhiyu. Anti-disturbance design in the micro controller system[J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(6): 100—117. (in Chinese with English abstract)
- [19] 辛喆, 葛元月, 薄伟, 等. 基于单片机的纯电动汽车电池管理系统设计[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 163—170.
Xin Zhe, Ge Yuanyue, Bo Wei, et al. Design of microcontroller-based battery management system for pure electric vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(12): 163—170. (in Chinese with English abstract)
- [20] 陈德益. 基于嵌入式单片机的电机控制系统设计[J]. 计算机仿真, 2010, 27(1): 359—362.
Chen Deyi. Design of motor control system based on embedded single-chip[J]. Computer Simulation, 2010, 27(1): 359—362. (in Chinese with English abstract)

Development and experiment of automatic duck feeding device with opening way for paddy

Ren Wentao, Wang Yue, Kong Aiju, Xin Mingjin, Song Yuqiu, Wu Liyan, Liu Cuihong, Cui Hongguang
(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110886, China)

Abstract: The technology of raising duck in paddy field has good economic and ecological benefits for rice based agriculture. The past studies are usually only based on interaction effect between ducks and paddy. In this paper, we took the development of automatic duck feeding equipment that could adapt environment of paddy as its study object. Equipment for both automatic feeding system and automatic door system are crucial issues needed to be solved by adequate design, calculation and testing. Through the relevant experiment for the speed of ducks returning to cages, we gained optimal speed of the automatic door was 5r/min. The automatic door of the related calculation showed that the adaptive quality of the automatic door was 4.15 kg, moment of inertia was 0.24 kg·m². The time of accelerating speed of automatic doors from 0 to 5 r/min was 0.0067s. According to the dynamic theory, we obtained the minimum torque of automatic door was 9.8 N·m. Automatic door powered by 15W DC gear motor. The DC gear motor can produce 28.6 N·m torque, which can meet the designed door requirement. Due to the hopper placed in the paddy field, feed was from more easily formed arch by affecting with damp, which influenced the control precision of feed quantity. So hopper with break-arch by vibration needed to be designed. For different kinds of feed angle of repose, the hopper's cone angle was designed to 60°. Taking advantage of the relationship between the DC motor armature current and DC motor torque, we measured the range of variation of torque during hopper discharging operation. The result showed that the minimum change rate of hopper torque appeared in transitional position between the body and the cone part, and the maximal load torque of the hopper was 47.79 N in the process of running. Based on the result of load torque, 24 V, 160 W 7.5 r/min DC gear motor was selected in the actuality. The optimal parameters of the break-arch that were measured by using of three factors at three levels orthogonal test were vibration eccentricity for 30 mm, rotating speed of 1200 r/min, vibration source location as below. Using the ternary quadratic orthogonal regression experiment of field experiment, we conducted researches on the optimal parameter between audio and automatic control system for maximizing the return rate of ducks. According to absolute value of coefficient in the regression equation, the factors affecting the rate of ducks return to cages were delay time of automatic door, sonic loudness and interaction between delay time of automatic door and sonic loudness in rank from big to small. At the same time, the maximum rate of ducks return to the cage was 98% from the equation in theory. Field experiment results showed that the closed delay time of automatic door was 1 min and sonic loudness was 100 dB, which would make the return rate of ducks achieve more than 97.5%. Under the same feeding condition, contrast experiment between manual feeding and automatic feeding was carried out. The test results showed that average weight of ducks in every week was not significant difference ($P>0.05$), which meant the designed automatic equipment could achieve the same result compared with manual feeding. The results were of great significance for improving automation level of rice-duck technology, accelerating the promotion and application of rice-duck technology.

Keywords: automation; doors; feeding; equipments; rice field; raising duck; arch breaking mechanism; rate of return cage