

电磁振动式拌浆育秧水稻芽种播种机优化试验

杨 坚^{1,2}, 杨 望¹, 王高峰¹, 李军林¹

(1. 广西大学机械工程学院, 南宁 530004; 2. 广西制造系统与先进制造技术重点实验室, 南宁 530004)

摘 要: 为了探明电磁振动式拌浆育秧水稻芽种播种机工作性能的影响规律并获得因素的最优组合, 该文对拌浆育秧水稻芽种播种机进行了单因素和多因素播种试验。通过回归分析建立了挡种板开口高度、行走速度、排种盘振动速度和隔振橡胶垫刚度 4 个因素与播种量和播种合格率的单因素、多因素数学模型, 分析了各影响因素及交互作用对播种量和播种合格率的影响规律及机理, 进行了参数优化。结果表明, 挡种板开口高度小于 7 mm 时, 堵种现象较严重; 挡种板开口高度和排种盘振动速度大, 播种量和播种合格率大, 行走速度大, 播种量和播种合格率小; 小的行走速度与大的排种盘振动速度组合, 有利于提高播种合格率。参数的最优组合为挡种板开口高度 9.3 mm, 行走速度 50.1 mm/s, 排种盘振动速度 13.1 m/s, 隔振橡胶垫刚度 1 248.9 N/mm。可靠性为 95% 的播种合格率总区间为 86.72%~93.54%。该文为播种机的优化设计提供依据。

关键词: 农业机械, 优化, 速度, 秧盘播种机, 电磁振动式, 拌浆育秧, 水稻

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.06.006

中图分类号: S223.2⁺5; S223.2⁺6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-06-0032-07

杨 坚, 杨 望, 王高峰, 等. 电磁振动式拌浆育秧水稻芽种播种机优化试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 32-38.
Yang Jian, Yang Wang, Wang Gaofeng, et al. Optimization experiments on electromagnetic vibrated seeder of rice bud-seed for field seedling raising[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 32-38. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

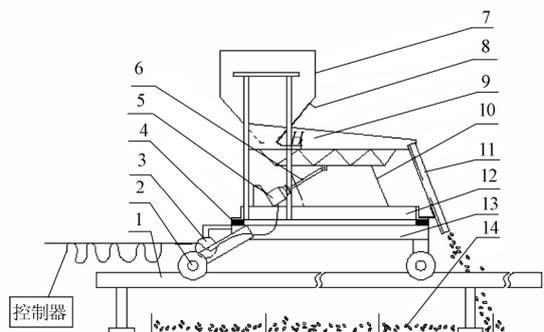
工厂化育秧始于 20 世纪 70 年代, 是高效的水稻育秧技术, 它在实现精量化播种的同时达到了规模化育秧和社会化供秧的目的。国内外学者在工厂化育秧播种机及排种器等方面进行了很多的研究, 取得了较多的成果^[1-14], 但工厂化育秧需要建立育秧工厂, 且中国南方地区育秧季节雨水多, 难以获得干的育秧床土, 工厂化育秧成本高, 农民不易接受。拌浆育秧能在大田作业育秧, 用泥浆作床土, 该方法操作简便、成本低、效率高, 且能满足机插秧的要求, 是适合南方水稻生产特点的机插水稻育秧方式。目前拌浆育秧主要采用人工撒种的方法, 尤其对于芽种播种, 多以手工为主, 无法达到精量播种, 播种均匀性低, 因此, 开展拌浆育秧播种机的研究具有重要意义。

本文采用试验设计和物理试验方法, 对广西大学设计的电磁振动式拌浆育秧水稻芽种播种机(下面简称芽种播种机)进行试验和分析, 研究各影响因素对播种性能的影响规律, 优化参数, 为该类播种机的优化设计提供依据。

1 结构与工作原理

芽种播种机由种子箱、电磁振动式排种器、移动平

台、驱动电机、行走轨道、控制器等部分组成, 其结构简图如图 1 所示。



注: H 为开口高度。

1. 轨道 2. 驱动轴 3. 减速电机 4. 隔振橡胶 5. 电磁铁 6. 拉杆
7. 种子箱 8. 挡种板 9. 排种盘 10. 片弹簧 11. 导种板 12. 底座
13. 移动平台 14. 育秧盘

图 1 芽种播种机结构简图

Fig.1 Structure diagram of seeder for rice bud-sowing

电磁振动式排种器由底座(12)、电磁铁(5)、拉杆(6)、片弹簧(10)、排种盘(9)等组成。排种盘宽 280 mm, 为了使种子均匀分布及便于流动, 排种盘上表面, 根据种子形状及尺寸, 开有 80 条小 V 型槽。振动方向与水平面的夹角为 19°, 激振频率 32 Hz。芽种播种机上设有 2 个排种器, 水平间隔 30 mm, 并列布置在移动平台上。排种器和移动平台(13)之间安装有隔振橡胶垫(4)。排种器振动速度通过调节电磁铁线圈的电流大小进行调节。移动平台使用直流减速电机(3), 通过

收稿日期: 2011-07-19 修订日期: 2012-01-16

基金项目: 广西科技攻关资助项目(桂科攻 11107002-32)、广西制造系统与先进制造技术重点实验室资助项目(09-007-05S015)和钦州市科技攻关项目(20094202)

作者简介: 杨 坚, 教授, 主要从事农业机械设计及性能优化研究。南宁 广西大学机械工程学院, 530004。Email: yangkok@gxu.edu.cn

齿轮传动进行驱动，芽种播种机的行走速度通过控制器改变驱动电机的转速进行调节。行走轨道（1）由方管焊接而成，长 10 m，有 5 个支撑点均匀支撑。

为了调节种子箱开口高度及使种子分散均匀，种子箱前面安装有挡种板，开口高度为挡种板下沿距排种盘的距离（图 1），通过螺栓调节。工作时，打开单片机控制系统，给电磁铁施加一定频率的通断电流，使电磁铁产生交变电磁力，电磁铁通过连杆作用于排种盘，使得由片弹簧支撑的排种盘产生振动。由于排种盘的振动，使从种子箱落入排种盘的种子分散在 V 型槽内，形成种子流，向前移动。同时，打开直流电机控制开关，使移动平台上的排种器以一定速度在轨道上行走，使排种盘排出的种子通过导流板落入铺放在田间的育秧盘，实现拌浆播种育秧。作业时，通过人工抬起芽种播种机实现换行。

2 试验设备及方法

2.1 试验材料

稻种为优 I679，千粒质量 25.5 g，浸泡种子至露白状态（芽长 1~2 mm），于通风处晾至表面无水痕，种子间相互不粘接，休止角为 45°；580 mm×280 mm×25 mm 育秧软盘若干。

2.2 试验仪器

东华振动测试仪 1 台（江苏东华测试有限公司生产，分辨率 0.2 Hz，1 次积分误差不超过 3%），天平 1 台；DH130 压电式加速度传感器 1 个（灵敏度 1.23 pC/m.s²）；电脑 1 台。

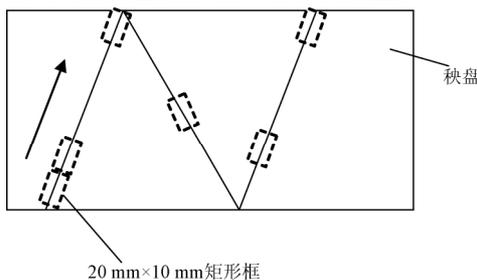
2.3 试验方法

试验在室内进行。为了便于收集种子，测量播种量，空育秧盘与装有泥浆的育秧盘间隔摆放在轨道下面。试验时，开启控制器，排种盘开始排种，移动平台向前行走，使种子播到育秧盘中。播种后，收集落入 6 个空育秧盘的种子，称质量后取平均值，作为每盘播种量 y_1 （单位：g）。取 6 个装有泥土育秧盘，使用 20 mm×10 mm 矩形框，在育秧盘中按“Z”字型取样（见图 2）^[15]，计算播种合格率 y_2 （单位：%）。

$$y_2 = n/N \times 100\% \quad (1)$$

式中，N 为样本总量（约 300 个）；n 为合格样本量（20 mm×10 mm 矩形框内每 cm² 种子粒数在 $m \pm 1$ 范围内视为合格）；m=（使用矩形框取的 N 个样本中总的种子粒数）/（N×2cm²）。

为减少试验误差的影响，每种试验重复 2 次。



注：收集 6 盘落入空育秧盘的种子，称重后取平均值，作为每盘播种量 y_1 。

图 2 取样点示意图

Fig.2 Schematic diagram of sample points

2.4 试验方案

试验采用单因素和多因素试验进行。根据芽种播种机的实际情况，选取挡种板开口高度 X_1 、行走速度 X_2 、排种盘振动速度 X_3 （振动到波峰时的最大速度）、隔振橡胶垫刚度 X_4 作为试验因素，播种量 y_1 、播种合格率 y_2 作为试验指标。多因素试验采用二次回归通用旋转组合设计进行。试验因素水平表如表 1、2 所示，其中，表 1 是单因素试验因素水平表，表 2 是多因素试验因素水平编码表。

表 1 单因素试验因素水平表

水平	X_1/mm	$X_2/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_4/(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$
1	6	32.7	10.54	572.05
2	7	40.8	11.05	774.82
3	8	83.4	11.85	1175.57
4	9	98.6	12.70	1378.30
5	10	118.8	13.10	1581.07

注： X_1 挡种板开口高度， X_2 行走速度， X_3 排种盘振动速度， X_4 隔振橡胶垫刚度。

表 2 多因素试验因素水平编码表

因素水平	X_1/mm	$X_2/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_4/(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$
上星号(+2)	10	120	13.10	1581.1
上水平(+1)	9	97.5	12.46	1328.8
零水平(0)	8	75	11.82	1076.6
下水平(-1)	7	52.5	11.18	824.4
下星号(-2)	6	30	10.54	572.1

注： X_1 挡种板开口高度， X_2 行走速度， X_3 排种盘振动速度， X_4 隔振橡胶垫刚度。

3 结果与分析

3.1 试验结果

试验结果如表 3、4 所示，其中，表 3 是单因素的试验结果，表 4 是多因素的试验结果。

表 3 单因素试验结果

试验号	试验因素				试验指标	
	X_1/mm	$X_2/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_4/(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$	y_1/g	$y_2/\%$
1	6	83.4	11.85	1175.57	57.5	74.99
2	7	83.4	11.85	1175.57	72.3	78.33
3	8	83.4	11.85	1175.57	86.2	83.33
4	9	83.4	11.85	1175.57	94.2	85.83
5	10	83.4	11.85	1175.57	109.5	88.33
6	8	32.7	11.85	1175.57	173.0	88.33
7	8	40.8	11.85	1175.57	142.6	89.17
8	8	83.4	11.85	1175.57	88.3	83.33
9	8	98.6	11.85	1175.57	73.1	82.50
10	8	118.8	11.85	1175.57	52.6	77.50
11	8	83.4	10.54	1175.57	46.5	79.13
12	8	83.4	11.05	1175.57	55.5	83.33
13	8	83.4	11.85	1175.57	78.1	84.17
14	8	83.4	12.70	1175.57	92.4	86.66
15	8	83.4	13.10	1175.57	109	88.33
16	8	83.4	11.85	572.1	38.4	77.49
17	8	83.4	11.85	774.8	62.7	82.50
18	8	83.4	11.85	1175.57	85.7	84.99
19	8	83.4	11.85	1378.3	97.2	86.67
20	8	83.4	11.85	1581.1	69.3	83.33

注： X_1 挡种板开口高度， X_2 行走速度， X_3 排种盘振动速度， X_4 隔振橡胶垫刚度， y_1 每盘播种量， y_2 播种合格率。

表4 多因素试验结果
Table 4 Results of multi-factor experiment

试验号	试验因素				试验指标	
	X_1/mm	$X_2/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$X_4/(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$	y_1/g	$y_2/\%$
1	7	52.5	11.18	824.4	73.1	75
2	7	52.5	11.18	1328.8	89.2	78.33
3	7	52.5	12.46	824.4	114.2	80
4	7	52.5	12.46	1328.8	136.5	81.66
5	7	97.5	11.18	824.4	40.5	71.66
6	7	97.5	11.18	1328.8	50.8	75
7	7	97.5	12.46	824.4	69.4	76.66
8	7	97.5	12.46	1328.8	78.5	78.33
9	9	52.5	11.18	824.4	112.3	80
10	9	52.5	11.18	1328.8	128.5	81.66
11	9	52.5	12.46	824.4	156.5	85
12	9	52.5	12.46	1328.8	176.2	86.66
13	9	97.5	11.18	824.4	55.5	76.66
14	9	97.5	11.18	1328.8	121.5	78.33
15	9	97.5	12.46	824.4	86.5	80
16	9	97.5	12.46	1328.8	102	81.66
17	6	75.0	11.82	1076.6	40.1	71.66
18	10	75.0	11.82	1076.6	98.2	86.66
19	8	30.0	11.82	1076.6	177	83.33
20	8	120.0	11.82	1076.6	43.9	81.66
21	8	75.0	10.54	1076.6	53.6	80
22	8	75.0	13.10	1076.6	105.7	86.66
23	8	75.0	11.82	572.1	32.3	78.33
24	8	75.0	11.82	1581.1	67.6	81.66
25	8	75.0	11.82	1076.6	73.5	80
26	8	75.0	11.82	1076.6	76.2	81.66
27	8	75.0	11.82	1076.6	71.5	83.33
28	8	75.0	11.82	1076.6	73.5	81.66
29	8	75.0	11.82	1076.6	70.1	83.33
30	8	75.0	11.82	1076.6	72.3	80
31	8	75.0	11.82	1076.6	76.2	78.33

注: X_1 挡种板开口高度, X_2 行走速度, X_3 排种盘振动速度, X_4 隔振橡胶垫刚度, y_1 每盘播种量, y_2 播种合格率。

3.2 单因素试验结果分析

3.2.1 回归分析

运用 SPSS 软件对单因素试验数据进行回归分析处理(除考虑的因素外,其余因素取水平值),得每盘播种量 y_1 、播种合格率 y_2 与挡种板开口高度 X_1 、行走速度 X_2 、排种盘振动速度 X_3 和隔振橡胶垫

刚度 X_4 关系的数学模型为

$$\hat{y}_1 = -16.795 + 12.590X_1 \quad (2)$$

$$\hat{y}_2 = 54.842 + 3.417X_1 \quad (3)$$

$$\hat{y}_1 = 205.878 - 1.335X_2 \quad (4)$$

$$\hat{y}_2 = 89.878 - 0.001X_2^2 \quad (5)$$

$$\hat{y}_1 = -65.649 + 1.005X_3^2 \quad (6)$$

$$\hat{y}_2 = 47.038 + 3.147X_3 \quad (7)$$

$$\hat{y}_1 = -102.386 + 0.317X_4 - 0.00013X_4^2 \quad (8)$$

$$\hat{y}_2 = 56.727 + 0.048X_4 - 0.000019X_4^2 \quad (9)$$

式(2)和(3)是挡种板开口高度 X_1 与播种量 y_1 及播种合格率 y_2 的数学模型,式(4)和(5)是行走速度 X_2 与播种量 y_1 及播种合格率 y_2 的数学模型,式(6)和(7)是排种盘振动速度 X_3 与播种量 y_1 及播种合格率 y_2 的数学模型,式(8)和(9)隔振橡胶垫刚度 X_4 与播种量 y_1 及播种合格率 y_2 的数学模型。

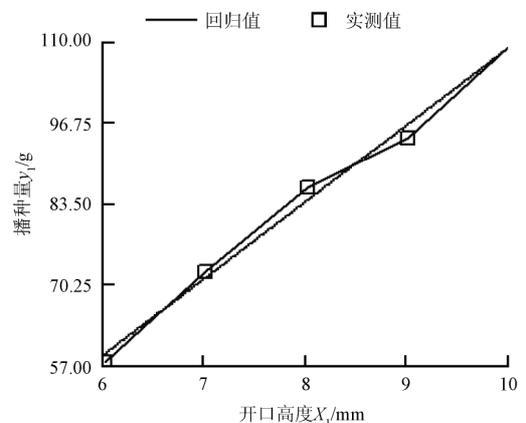
对回归数学模型及系数进行显著性检验,结果表明,回归数学模型在 $0 \sim 0.073$ 之间显著,各系数在 $0 \sim 0.081$ 之间显著,数学模型回归拟合得好。

3.2.2 因素影响分析

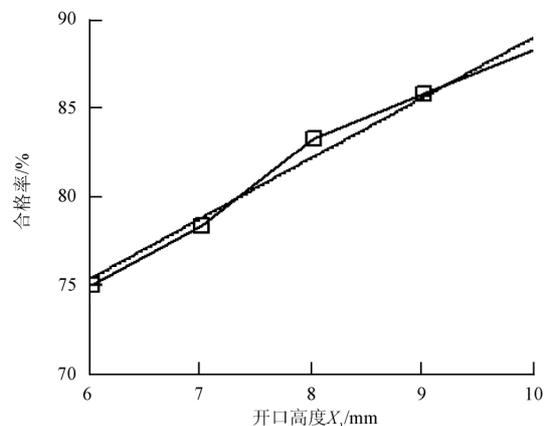
应用 MathCAD 软件对式(2)~(9)进行模拟计算,得出各回归数学模型所对应的回归曲线,如图3所示。

由图3a可知,随着开口高度 X_1 的增大,播种量 y_1 成线性增大。其原因是当开口高度增大时,排种盘上的种子厚度增加,单位时间内排出的种子量增多,故播种量 y_1 增加。由图3b可知,随着开口高度 X_1 增大,播种合格率 y_2 也增大。其原因是,当开口高度 X_1 过小时,种子不能从种子箱顺畅流出,有堵种现象,播种合格率 y_2 较低,随着开口高度 X_1 增大,堵种现象消失,播种合格率 y_2 增高。

由图3c可知,播种量 y_1 随着行走速度 X_2 增大而减少。其原因是,随着行走速度 X_2 的增加,播种机通过单位育秧盘的时间减少,故播种量 y_1 减少。由图3d可知,随着行走速度 X_2 增大,播种合格率 y_2 呈下降趋势。其原因是,速度较快时,轨道产生一定程度的颤动,合格率 y_2 呈下降。



a. 开口高度与播种量的关系曲线



b. 开口高度与合格率的关系曲线

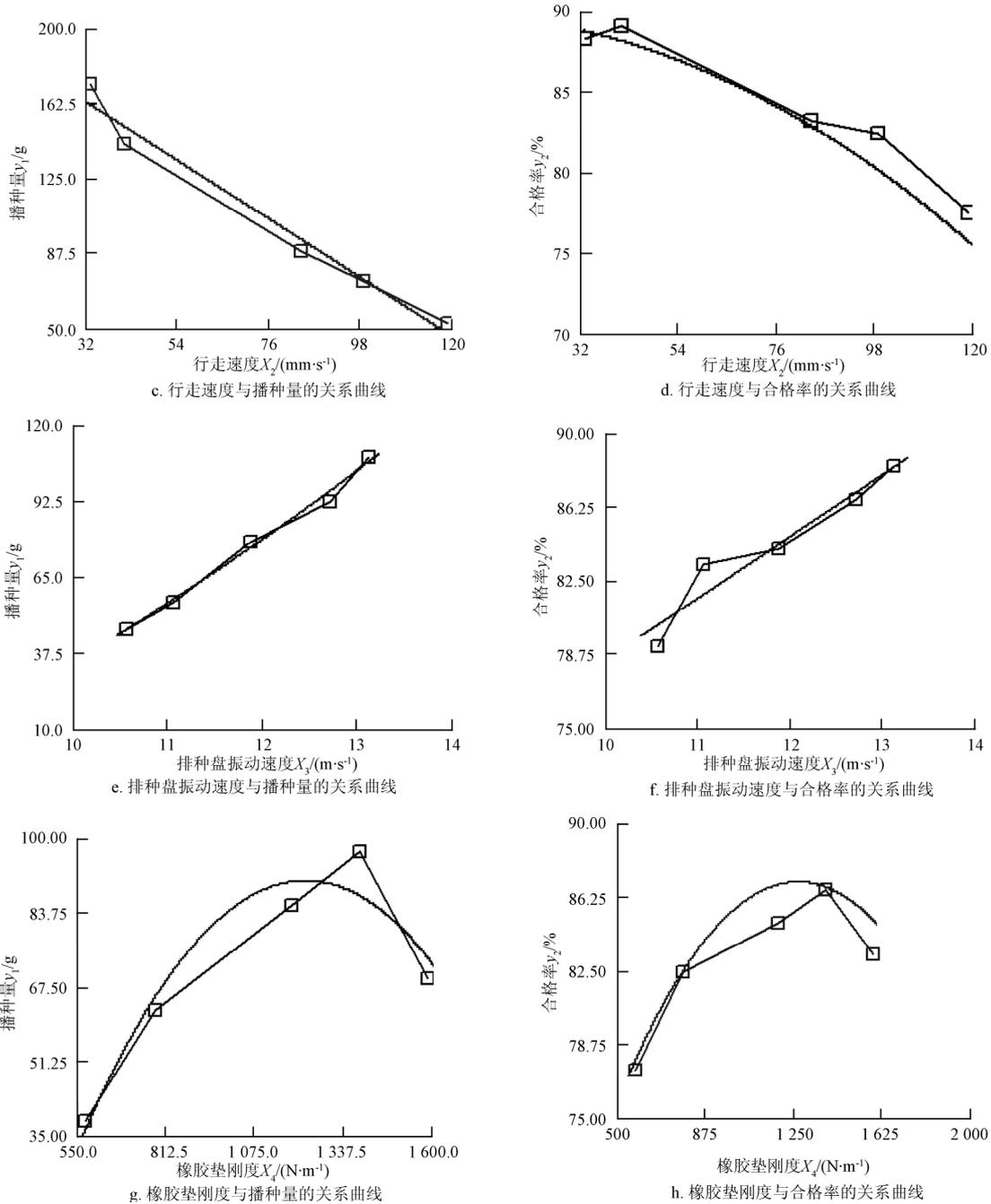


图 3 因素对播种量和播种合格率的影响曲线

Fig.3 Influence curves of factors on seeding quantity and seeding percent of pass

由图 3e 可知，播种量 y_1 随排种盘振动速度 X_3 增加而增大。其原因是，随着排种盘振动速度 X_3 增加，种子在排种盘上运动速度增大，单位时间内排种量增大。由图 3f 可知，播种合格率 y_2 随着排种盘振动速度 X_3 增加而增大。其原因是，随着排种盘振动速度 X_3 增大，种子不易产生堵塞，且排种盘上种子产生跳跃，易于分散，分布均匀，故播种合格率增大。

由图 3g 可知，随着隔振橡胶垫刚度 X_4 增加，播种量 y_1 先增大，后减小。其原因是，当橡胶垫刚度 X_4 较小时，排种盘的振动一部分被隔震橡胶垫吸收，种子在排种盘上运动速度较慢，而当刚度过大时，两排种盘的振动相互干扰大，播种量 y_1 减小，故随着隔振橡胶垫刚度 X_4 增大，

播种量 y_1 先增大，后减小。由图 3h 可知，随着隔振橡胶垫刚度 X_4 增加，播种量 y_2 先增大，后减小。其原因是，随着隔振橡胶垫刚度 X_4 的增大，排种盘的振动量被橡胶垫吸收较少，种子在排种盘上有轻微跳动，分布均匀，播种合格率 y_2 增大。当橡胶垫刚度 X_4 过大时，两排种盘的振动相互干扰大，造成排种时快时慢，播种合格率变小。

3.3 多因素试验结果分析

3.3.1 回归分析

运用 SPSS 软件对多因素试验数据进行回归分析处理，得每盘播种量 y_1 、播种合格率 y_2 与挡种板开口高度 X_1 、行走速度 X_2 、排种盘振动速度 X_3 和隔振橡胶垫刚度 X_4 关系的数学模型为

$$\hat{y}_1 = -105.39 + 0.712X_1^2 + 0.026X_2^2 + 2.334X_3^2 + 0.005X_1X_4 - 0.426X_2X_3 \quad (10)$$

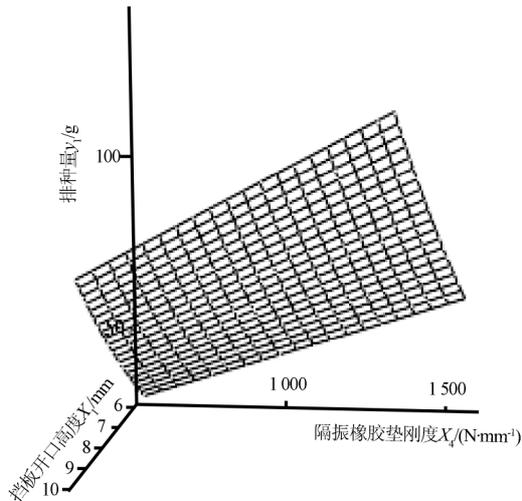
$$\hat{y}_2 = -26.910 + 16.467X_1 + 0.026X_4 - 0.864X_1^2 + 0.146X_3^2 - 1.0 \times 10^{-5}X_4^2 - 0.005X_2X_3 \quad (11)$$

对回归数学模型及回归系数进行显著性检验, 结果表明, 回归数学模型在 0.000 水平上显著, 各系数在 0.000~0.067 之间显著, 数学模型回归拟合得好。

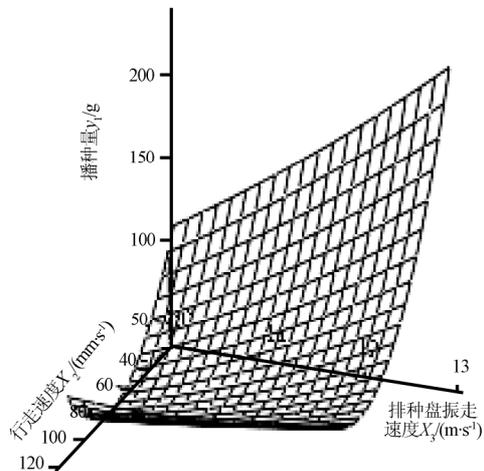
3.3.2 因素交互影响分析

应用 MathCAD 软件对式 (10)、(11) 进行模拟计算, 得出因素交互作用对指标影响图, 计算时除考虑的因素外其余的因素取零水平值, 结果如图 4 所示。

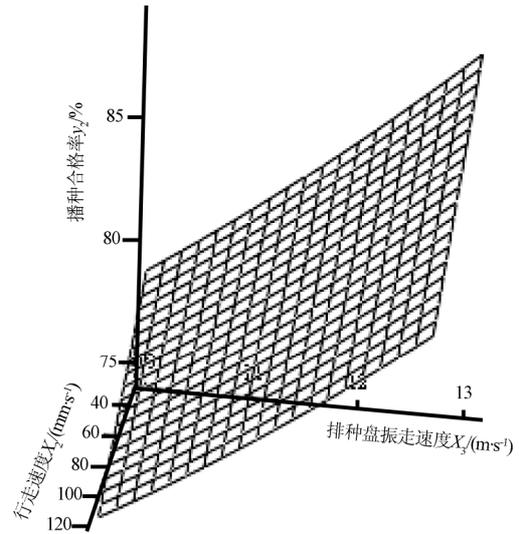
由图 4a 可知, 当较小挡种板开口高度 X_1 与较小隔振橡胶垫刚度 X_4 组合时, 每盘播种量较小, 当较大挡种板开口高度 X_1 与较大隔振橡胶垫刚度 X_4 组合时, 每盘播种量比较大, $X_1=6$ mm 与 $X_4=572.1$ N/mm 组合时, 每盘播种量 y_1 最小。其原因是 X_1 、 X_4 较小时, 种子出口小, 且排种盘振动速度小, 出现堵种、段条现象, 种子流出少, 故播种量较小。反之, 当 X_1 、 X_4 较大时, 种子出口大, 且排种盘振动速度大, 种子能从种子出口顺畅流出, 排种盘上的种子厚度大, 故播种量较大。



a. 挡板开口高度 X_1 与隔振橡胶垫刚度 X_4 的交互作用对播种量的影响



b. 行走速度 X_2 与排种盘振动速度 X_3 的交互作用对播种量的影响



c. 行走速度 X_2 与排种盘振动速度 X_3 交互作用对合格率的影响

图 4 因素交互作用对指标的影响

Fig.4 Effect curves of factors' interaction on experimental index

由图 4b 可知, 当小行走速度 X_2 与小排种盘振动速度 X_3 组合时, 每盘播种量较大, 当小行走速度 X_2 与大排种盘振动速度 X_3 组合时, 每盘播种量大, 当较小行走速度 X_2 与小的排种盘振动速度 X_3 组合时, 每盘播种量小, $X_2=30$ mm/s 与 $X_3=13.1$ m/s 组合时, 每盘播种量最大, $X_2=80$ mm/s 与 $X_3=10.54$ m/s 组合时, 每盘播种量最小。其原因是, 当 x_2 较小、排种盘振动速度较大时, 播种机通过每个育秧盘的时间较长, 同时, 排种盘上种子排出速度也较快, 故播种量较大。反之, 播种机通过每个育秧盘的时间较短, 同时, 排种盘上种子排出速度较慢, 播种量较小。

由图 4c 可知, 当大的行走速度 X_2 与小的排种盘振动速度 X_3 组合时, 合格率小, 当小行走速度 X_2 与大排种盘振动速度 X_3 组合时, 合格率大, $X_2=30$ mm/s 与 $X_3=13.1$ m/s 组合时, 合格率最大。其原因是 X_2 小、 X_3 大时, 种子在排种盘上的分布均匀, 故合格率高。

4 试验因素的优化

为了提高播种的合格率, 且满足杂交稻农艺对每盘的播种量要求, 杂交稻以合格率 y_2 的最大为优化目标, (2 ± 1) 粒/cm² 为合格, $y_1=60$ g 为条件, 利用 Matlab 数学软件对影响合格率 y_2 的试验因素进行优化, 获得的参数优化组合为 $X_1=9.3$ mm、 $X_2=50.1$ mm/s、 $X_3=13.1$ m/s、 $X_4=1248.9$ N/mm, 在因素优组合的条件下, 95%可信度的播种合格率 y_2 为 86.72%~93.54%, 芽种播种机的纯工作效率 10 盘/min。

在因素优组合的条件下进行物理验证试验, 试验重复 3 次, 试验结果 y_2 分别为 90%、90%、91.66%, 平均值为 90.55%, 在 86.72%~93.54% 区间之内, 表明优化结果正确, 可作为芽种播种机的设计依据。

5 结论

对于广西大学设计的电磁振动式秧盘播种机, 播种

优 1679 水稻品种, 其工作性能的影响因素为:

1) 挡种板开口高度、行走速度、排种盘振动速度和隔振橡胶垫刚度对播种量和播种合格率有大的影响, 挡种板开口高度和隔振橡胶垫刚度的交互作用对播种量有较大的影响, 行走速度和排种盘振动速度的交互作用对播种量和播种合格率有较大的影响。

2) 挡种板开口高度小于 7 mm 时, 堵种现象较严重; 挡种板开口高度、排种盘振动速度大, 隔振橡胶垫刚度适中时, 播种量和播种合格率高, 行走速度大时, 播种量和播种合格率低; 当较小的挡种板开口高度与较小的隔振橡胶垫刚度组合时, 播种量较小, 当较大的挡种板开口高度与较大的隔振橡胶垫刚度组合时, 播种量较大, 挡种板开口高度 6 mm 与隔振橡胶垫刚度 572.1 N/mm 组合时, 播种量最小; 当小的行走速度与大的排种盘振动速度组合时, 播种量大, 行走速度 30 mm/s 与排种盘振动速度 13.1 m/s 组合时, 播种量最大; 当大的行走速度与小的排种盘振动速度组合时, 播种合格率低, 当小的行走速度与大的排种盘振动速度组合时, 播种合格率高, 行走速度 30 mm/s 与排种盘振动速度 13.1 m/s 组合时, 播种合格率高。

3) 挡种板开口高度 9.3 mm、行走速度 50.1 mm/s、排种盘振动速度 13.1 m/s 和隔振橡胶垫刚度 1248.9 N/mm 时, 可靠性为 95% 的 (2 ± 1) 粒/cm² 播种合格率 y_2 总区间为 86.72%~93.54%, 播种量为 60 g/盘。

[参 考 文 献]

- [1] 李渤海, 霍建林, 张昆, 等. 2BS-1200 型水稻工厂化育秧播种机的研制[J]. 农机化研究, 2003, (1): 111-112.
Li Bohai, Huo Jianlin, Zhang Kun, et al. A study of 2BS-1200-type factoring rice seedling growing machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003, (1): 111-112. (in Chinese with English abstract)
- [2] 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: 自然科学版, 2004, 25(1): 103-106.
Zheng Dingke, Li Zhiwei, Ou Yinggang. Design and test on mechanism of electromagnetic vibrating type rice seeder for flat seedling[J]. Journal of South China Agricultural University: Natural Science Edition, 2004, 25(1): 103-106. (in Chinese with English abstract)
- [3] 罗汉亚, 李吉, 袁钊和, 等. 杂交稻机插秧育秧播种密度与取秧面积耦合关系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 98-102.
Luo Hanya, Li Ji, Yuan Zhaohe, et al. Coupling relationships of nursing seedling densities and finger sticking area by mechanized hybrid rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 98-102. (in Chinese with English abstract)
- [4] Prasanna Kumar G V, Brijesh Srivastava, Nagesh D S. Modeling and optimization of parameters of flow rate of paddy rice grains through the horizontal rotating cylindrical drum of drum seeder[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65(1): 26-35.
- [5] 庞昌乐, 鄂卓茂, 苏聪英, 等. 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, E Zhuomao, Su Congying, et al. Design and experimental study on air-suction two-layer cylinder rice seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2000, 16(5): 52-55. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘彩玲, 宋建农, 王继承, 等. 水平吸盘式水稻育秧精密播种装置吸种真空度的研究[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(5): 121-125.
Liu Cailing, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Research on vacuum of a level-sucker precision metering device for rice seedlings[J]. Journal of China agricultural university, 2009, 14(5): 121-125. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杨望, 杨坚, 周晓蓉, 等. 电磁振动排种器振动系统参数的确定[J]. 农机化研究, 2009, (2): 47-50.
Yang Wang, Yang Jian, Zhou Xiaorong, et al. Parameters study on the vibrant system electromagnetic vibrated seeding apparatus[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, (2): 47-50. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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 control system of precise seeding assembly line for rice seedling nursing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(11): 202-207. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(4): 301-306. (in Chinese with English abstract).
- [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, (2): 137-139.
Yu Dalue, Ma Xu, Zhou Haibo, et al. The experimental study on the vibration-flow type of seed metering device for rice tray nursing seedlings[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, (2): 137-139. (in Chinese with English abstract)
- [11] 董艳, 杨坚, 杨晓丽, 等. 电磁振动排种器仿真研究[J]. 农机化研究, 2005, (6): 97-99, 103.
Dong Yan, Yang Jian, Yang Xiaoli, et al. The simulation study on electromagnetic vibrated seeding apparatus by virtual prototype technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, (6): 97-99, 103. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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.
Zhao Jun, Wang Zhimin, Mao Jidong, et al. A design of the 2BYLS-320 model united sowing machine for paddy seedling on

- trays[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2001, (2): 66—67. (in Chinese with English abstract)
- [13] 汤楚宙, 向卫兵, 谢方平. 气吹式杂交水稻精播排种器型孔型式的试验研究[J]. *农业工程学报*, 1999, 15(1): 241—243.
- [14] 张敏, 张文毅, 吴崇友, 等. 气吸式超级水稻毯状苗盘育秧播种流水线设计[J]. *农机化研究*, 2009, (6): 65—68.
- Zhang Min, Zhang Wenyi, Wu Chongyou, et al. Seeding pipeline design of suction blanket-type raise rice seedling for super-rice[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009, (6): 65—68. (in Chinese with English abstract)
- [15] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 425.

Optimization experiments on electromagnetic vibrated seeder of rice bud-seed for field seedling raising

Yang Jian^{1,2}, Yang Wang¹, Wang Gaofeng¹, Li Junlin¹

(1. *College of Mechanical Engineering of Guangxi University, Nanning 530004, China;* 2. *Guangxi Key Laboratory of Manufacturing System and Advanced Manufacturing Technology, Nanning 530004, China*)

Abstract: In order to study the influence law of electromagnetic vibrated seeder for field seedling raising of rice bud-seed's performance and obtain the optimal combination of parameters, single factor and multi-factor experiments were carried out on seeder for field seedling raising of rice bud-seed. The relationship of the four influencing factors (opening height of retaining plate, walking speed, vibration velocity of seed plate and stiffness of vibration isolating rubber pad) and seeding quantity and seeding pass rate were established respectively by regression analysis. The influence law and mechanism of the factors and their interaction were analyzed, and the respective optimization of the parameters was obtained. The results showed that: opening height of retaining plate is less than 7mm, blocking phenomenon was serious; when opening height of retaining plate and vibration velocity of seed plate was big, seeding quantity and the pass rate of seeding was high, and when walking speed was large, seeding quantity and pass rate of seeding was low; combination of small walking speed and large vibration velocity of seed plate was beneficial to improve pass rate of seeding. Optimal combination of parameters was achieved under the condition that opening height of retaining plate was 9.3 mm, walking speed was 50.1 mm/s, vibration velocity of seed plate was 13.1 m/s, and stiffness of vibration isolating rubber pad was 1248.9 N/mm. The pass rate of seeding interval with 95% reliability was from 86.72% to 93.54%. This paper provides a foundation for optimization design of seeder.

Key words: agricultural machinery, optimization, speed, tray seeder, electromagnetic vibratory, field seedling raising, rice