

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.011

超级稻穴盘育苗精密播种装置研究*

陈进¹ 龚智强² 李耀明¹ 李建华¹ 徐亚¹

(1. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013; 2. 巢湖学院电子工程与电气自动化学院, 合肥 238000)

摘要: 为实现超级稻穴盘育苗,设计了一种气吸振动盘式精密播种装置。选择超级稻常优3号,进行五因素四水平正交试验,研究了相对压力、吸种盘吸孔孔径、振动种盘振动频率、振幅、吸种距离对播种性能指标的影响,构建了其数学模型。采用遗传算法对播种性能指标进行多目标优化,获得最佳工作参数组合:相对压力3.68 kPa,吸孔孔径1.84 mm,振动频率10.90 Hz,振幅4.09 mm,吸种距离3.92 mm,试验结果与预测值相接近。播种育苗试验表明,采用该播种装置播种可满足超级稻种植的要求。

关键词: 超级稻 穴盘育苗 气吸振动 吸盘式播种装置 多目标优化 试验

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)01-0073-06

Experimental Study on Nursing Seedlings of Super Rice Precision Seeder Device

Chen Jin¹ Gong Zhiqiang² Li Yaoming¹ Li Jianhua¹ Xu Ya¹

(1. College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. College of Electronic Engineering and Electrical Automation, Chaohu University, Hefei 238000, China)

Abstract: In order to realize the nursing seedlings of super rice, a type of vacuum-vibrating tray precision seeding device was designed. The super rice Changyou 3 was selected, the effects of relative pressure, diameter of suction hole, vibration frequency of plate, amplitude, the suction distance on seeding performance was analyzed with a five-factors and four-level orthogonal experiment. A mathematical model was established between seeding device parameters and seeding performance index, which provided the basis for the parameters selection of the precision seeder device in seeding process. The multi-objective optimization genetic algorithm was made and the optimal parameters were determined as: vacuum negative pressure value of 3.68 kPa, diameter of suction hole of 1.84 mm, vibration frequency of 10.90 Hz, amplitude of 4.09 mm, the suction distance of 3.92 mm which were verified by experiments. Through seeding test of the long type super rice, the results were consistent with theoretical analysis, which showed that the seeding device had a good adaptability to different varieties of super rice, which were suitable for different varieties of super rice seeding. Through sowing and seedling test, the seeding device could meet requirements of super rice planting seedling.

Key words: Super rice Nursing seedling Vacuum vibration Tray seeder device Multi-objective optimization Experiment

引言

精密播种装置是实现精密播种作业的关键设

备,其性能优劣直接关系到作物生产的产量和品质。欧美国家研制的作物精密播种机主要用于直播播种。穴盘育苗播种设备主要用于温室大棚育苗,播

收稿日期: 2014-02-24 修回日期: 2014-03-17

* 国家自然科学基金资助项目(51375214)、江苏省高校自然科学研究重大资助项目(11KJA460002)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8号)、巢湖学院博士科研启动资助项目和巢湖学院校级科研资助项目

作者简介: 陈进,教授,博士生导师,主要从事智能化农业装备、机器系统监测与控制研究,E-mail: chenjinjd126@126.com

种可达到每穴1~5粒不等。日本、韩国研发适用于水稻秧盘育苗的播种设备,所使用的秧盘育秧播种器主要以槽轮式、窝眼轮式或型孔式为核心工作部件,播种量为3~5粒/穴,这些设备存在的共同缺点是播种量控制不严格,伤种现象较严重,种植密度无法保证^[1-5]。国内,罗锡文等^[6]将谷物清选筛原理用于水稻精量穴直播排种器,研制出一种抛掷成穴式水稻精量直播排种机构,能实现每次2~6粒的精量穴播。李世平等^[7]研制了凸棒式、槽式匀轮、螺旋匀轮3种不同类型的水稻田间匀轮育秧播种机,并在不同播量和不同排种器条件下,进行播种性能对比试验。王朝辉等^[8-10]系统研究了超级稻育苗气吸滚筒式精密播种器,处于试验样机阶段。目前,超级稻穴盘育苗精密播种装置还处于探索研究阶段,现有的水稻播种装置大都属机械式,伤种较严重,且每穴播种达3~5粒,难以满足超级稻种植对播种技术的农艺要求((2±1)粒/穴,低伤种率)。本文以设计的新型气吸振动盘式精密播种装置为研究对象,开展台架试验,分析相对压力、吸孔孔径、振动种盘振动频率、振幅、吸种距离等因素对播种性能指标的影响,对不同品种超级稻进行播种试验,验证播种装置对不同品种超级稻芽种的适应性,并进行播种育苗试验。

1 播种装置结构与原理

气吸振动盘式精密播种装置主要包括行走轮、导种管、振动种盘机构、清种毛刷、吸种盘、二自由度机械手、定量加种装置、控制器、气压源、机架、水平调节装置等,其结构如图1所示。

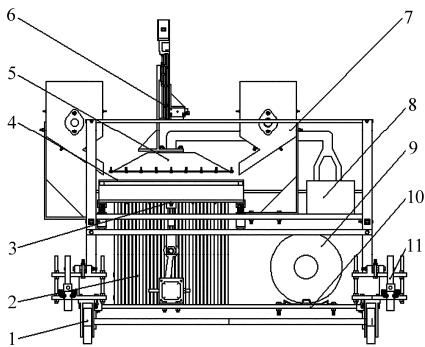


图1 气吸振动盘式播种装置结构示意图

Fig.1 Structure schematic of vacuum-vibration tray precision seeding device

1.行走轮 2.导种管 3.振动种盘机构 4.清种毛刷 5.吸种盘 6.二自由度机械手 7.定量加种装置 8.控制器 9.气压源 10.机架 11.水平调节装置

通过振动种盘机构产生振动使振动种盘内种群产生“沸腾”运动,吸种过程吸种盘内为真空负压,依靠负压气流吸力将种子吸附在吸种盘面板吸孔

上,通过二自由度机械手带动吸种盘在吸种位置与排种位置之间运动,当吸种盘到达导种管装置正上方的排种位置时,通过PLC控制一组两位三通电磁换向阀实现正负气压的转换,种子在正压气流和重力作用下进行排种,落入育秧盘穴孔中。排种后通过PLC控制吸种盘面板移动,通过一清种毛刷清除吸种盘面板上未排出的杂质。通过导种管装置有效防止泥土粉等小颗粒导致的吸孔堵塞,以免影响下一周期的播种。在振动种盘两侧安装定量加种装置,进行定量均匀加种,采用水平调节装置对振动种盘水平度进行调节。

2 播种性能评价指标

根据超级稻穴盘育苗的农艺要求和播种性能指标的评定经验^[11],对播种装置播种性能指标进行研究。确定播种性能指标为合格指数、重播指数、漏播指数、破损率,合格指数是指播种(2±1)粒种子的穴孔数占育秧盘总穴孔数的百分比;重播指数是指播种4粒种子或以上的穴孔数占育秧盘总穴孔数的百分比;漏播指数是指播种无种子的穴孔数占育秧盘总穴孔数的百分比;破损率是指育秧盘穴孔内芽种的破损数占育秧盘穴孔内芽种总数的百分比。播种性能各指标表达式:

$$\text{合格指数} \quad H = \frac{n_1}{N'} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{重播指数} \quad G = \frac{n_2}{N'} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{漏播指数} \quad M = \frac{n_0}{N'} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{破损率} \quad S = \frac{n_3}{N} \times 100\% \quad (4)$$

式中 N' ——试验用育秧盘穴孔总数,个

n_1 ——(2±1)粒种子的育秧盘穴孔数量,个

n_2 ——大于等于4粒种子的育秧盘穴孔数量,个

n_0 ——无种子的育秧盘穴孔数量,个

n_3 ——育秧盘穴孔内芽种破损数,个

N ——育秧盘穴孔内种子的总数,个

3 播种装置播种优化试验

选择超级稻种子常优3号、新两优6380、天优华占,根据超级稻育苗播种农艺技术要求进行选种、浸种、破胸催芽(芽长1~3mm)和晾干处理,试验用吸种盘选择为正棱台结构,吸种盘为双层吸盘结构,外层吸盘开有448组双孔。

选择448个穴孔的育秧盘,试验前对振动种盘

机构、二自由度机械手、水平调节装置、定量加种装置、气压源等进行调试标定,通过两水平数码显示仪将振动种盘台面调节为近水平状态。播种装置先运行 5 min 左右,待各部件工作稳定后,根据试验设计进行播种性能试验,所有试验每播 10 盘为一组,随机抽取 1 盘统计出育秧盘各穴孔内播种粒数以及相应的芽种完好程度,计算播种性能指标。样机如图 2 所示。



图 2 气吸振动盘式播种装置样机

Fig. 2 Prototypes of vacuum-vibration tray precision seeding device

为研究播种装置各因素组合对播种性能指标的影响,根据前期理论分析和单因素试验结果,采用五因素四水平正交试验数据表 $L_{16}(4^5)$ 安排试验^[12-13],试验选择 5 个主要因素:相对压力、吸孔孔径、振动种盘振动频率、振幅、吸种距离,每个因素选取 4 个水平, A、B、C、D、E 为各因素编码值,如表 1 所示,试验设计及结果如表 2 所示。试验指标为播种合格指数、重播指数、漏播指数和破损率。

表 1 试验因素及水平

Tab. 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	相对压力/ kPa	吸孔孔径/ mm	振动频率/ Hz	振幅/ mm	吸种距离/ mm
1	3.0	1.5	10.0	3.0	2.0
2	3.5	1.8	10.5	3.5	3.5
3	4.0	2.0	11.0	4.0	5.0
4	4.5	2.2	11.5	4.5	6.5

试验表明播种装置播种过程几乎无芽种破损现象发生。在播种合格指数、重播指数和漏播指数的极差分析中,分别得出合格指数极差: $R_A = 0.8925$, $R_B = 0.73$, $R_C = 1.005$, $R_D = 0.8975$, $R_E = 1.5325$ 。 $R_B < R_A < R_D < R_C < R_E$,故影响播种合格指数的因素主次顺序为:吸种距离、振动频率、振幅、相对压力、吸孔孔径,其中吸种距离和振动频率为主要因素;合格指数较优参数组合为:相对压力 3.5 kPa、吸孔孔径 1.8 mm、振动频率 10.5 Hz、振幅 4 mm、吸种距离 3.5 mm。得出重播指数极差: $R_A = 2.065$, $R_B = 1.5625$, $R_C = 0.5025$, $R_D = 0.1675$, $R_E = 0.5575$ 。 $R_D < R_C <$

表 2 正交试验设计及结果

Tab. 2 Experimental scheme and results of orthogonal test

序号	A	B	C	D	E	合格指数/%	重播指数/%	漏播指数/%
1	1	1	1	1	1	94.19	1.12	4.69
2	1	2	2	2	2	97.10	1.34	1.56
3	1	3	3	3	3	96.87	1.79	1.34
4	1	4	4	4	4	94.86	2.68	2.46
5	2	1	2	3	4	95.98	1.12	2.90
6	2	2	1	4	3	96.43	1.56	2.01
7	2	3	4	1	2	96.20	2.68	1.12
8	2	4	3	2	1	95.98	3.35	0.67
9	3	1	3	4	2	96.88	2.23	0.89
10	3	2	4	3	1	96.43	2.90	0.67
11	3	3	1	2	4	94.86	2.01	3.13
12	3	4	2	1	3	95.75	3.13	1.12
13	4	1	4	2	3	95.53	3.13	1.34
14	4	2	3	1	4	94.64	3.35	2.01
15	4	3	2	4	1	95.76	4.02	0.22
16	4	4	1	3	2	95.09	4.69	0.22

$R_E < R_B < R_A$,故影响重播指数的因素主次顺序为:相对压力、吸孔孔径、吸种距离、振动频率、振幅,其中相对压力和吸孔孔径为主要因素;重播指数较优参数组合为:相对压力 3 kPa、吸孔孔径 1.5 mm、振动频率 10 Hz、振幅 3.5 mm、吸种距离 6.5 mm。得出漏播指数极差: $R_A = 1.565$, $R_B = 1.3375$, $R_C = 1.285$, $R_D = 0.9525$, $R_E = 1.6775$ 。 $R_D < R_C < R_B < R_A < R_E$,故影响漏播指数的因素主次顺序为:吸种距离、相对压力、吸孔孔径、振动频率、振幅,其中吸种距离、相对压力为主要因素;漏播指数较优参数组合为:相对压力 4.5 kPa、吸孔孔径 2.2 mm、振动频率 11 Hz、振幅 4 mm、吸种距离 3.5 mm。

采用 DPS 数据处理系统进行分析,分别建立播种性能指标的合格指数 H 、重播指数 G 、漏播指数 M 与相对压力 x_1 、吸孔孔径 x_2 、振动频率 x_3 、振幅 x_4 、吸种距离 x_5 之间的数学回归模型方程,分别为

$$H = -107.551687 + 8.04775x_1 + 17.371538x_2 + 29.22025x_3 + 6.38625x_4 + 1.575694x_5 - 1.1175x_1^2 - 4.789048x_2^2 - 1.3425x_3^2 - 0.7825x_4^2 - 0.198611x_5^2 \quad (5)$$

$$G = 24.777953 - 4.5705x_1 - 8.574855x_2 - 2.008x_3 - 0.76x_4 - 0.133667x_5 + 0.785x_1^2 + 2.903066x_2^2 + 0.11x_3^2 + 0.11x_4^2 \quad (6)$$

$$M = 182.773734 - 3.47725x_1 - 8.79668x_2 - 27.21225x_3 - 5.62625x_4 - 1.442028x_5 + 0.3325x_1^2 + 1.885982x_2^2 + 1.2325x_3^2 + 0.6725x_4^2 + 0.198611x_5^2 \quad (7)$$

经检验,播种性能指标的合格指数、重播指数和漏播指数模型方程的 F 值分别为 42.310 0、34.094 8、28.381 5, P 值分别为 0.000 3、0.000 2、0.000 9, 均小于 0.05, 故拒绝 H_0 假设, 表明回归数学模型有意义且显著。决定系数 R^2 分别为 0.988 32、0.980 82、0.982 69, 说明模型拟合程度很高。

4 基于遗传算法的多目标优化

播种装置播种性能指标既要求合格指数高, 同时又要求重播指数和漏播指数都低, 这是一个多目标优化问题, 通过遗传算法^[14-15]对播种装置播种性能进行多目标优化。

目标函数: $\min H、G、M$

约束条件及边界条件

$$\begin{cases} H + G + M = 1 \\ 3 \leq x_1 \leq 4.5 \\ 1.5 \leq x_2 \leq 2.2 \\ 10 \leq x_3 \leq 11.5 \\ 3 \leq x_4 \leq 4.5 \\ 2 \leq x_5 \leq 6.5 \end{cases}$$

根据上述目标函数、约束条件及边界条件进行编程计算, 得到优化结果如表 3 所示, 表中只给出了部分解的值及所对应决策变量的大小。

表 3 多目标遗传算法寻优结果

Tab. 3 Multi-objective optimum results based on genetic algorithm

优秀个体	决策变量				指标			
	相对压力/ kPa	吸孔孔径/ mm	振动频率/ Hz	振幅/ mm	吸种距离/ mm	合格指数/ %	重播指数/ %	漏播指数/ %
1	3.677	1.845	10.904	4.094	3.919	97.83	2.04	0.13
2	3.677	1.843	10.903	4.097	3.919	97.83	2.04	0.13
3	3.678	1.845	10.904	4.096	3.918	97.83	2.04	0.13
4	3.679	1.846	10.904	4.094	3.919	97.83	2.04	0.13
5	3.678	1.846	10.903	4.093	3.919	97.83	2.04	0.13

根据以上遗传算法多目标优化结果, 在播种装置上进行试验验证。相对压力为 3.68 kPa, 吸孔孔径为 1.8 mm, 振动频率为 10.9 Hz, 振幅为 4.09 mm, 吸种距离为 3.9 mm, 试验条件与前面试验时相同, 试验过程中种子吸附状态和排种后的吸种盘如图 3 和图 4, 试验结果如表 4。

从图 3 可看出, 种子在吸种面板上的吸附姿态呈多样, 有高度方向、宽度方向、长度方向、倾斜等形式。经过多次试验统计发现播种装置排种后吸种盘吸孔几乎无堵塞现象发生, 携种过程中无种子掉落现象发生(机械手运行速度为 200 mm/s)。试验



图 3 种子吸附状态

Fig. 3 Attitude of suction seeds



图 4 排种后的吸种盘

Fig. 4 Suction disc after seeding

表 4 优化结果验证

Tab. 4 Test and verifying of optimum results %

指标	合格指数	重播指数	漏播指数
预测值	97.83	2.04	0.13
验证值	97.99	1.79	0.22

与优化所得结果相接近, 故上面所建的数学模型可用于播种装置播种性能指标的分析与预测, 为工作参数的设计提供依据。

前面通过对椭圆状超级稻常优 3 号进行播种性能试验, 已证实播种装置具有较高的播种精度, 由于不同品种超级稻种子形状存在一定差异, 为分析播种装置对不同品种超级稻播种的适应性, 对长粒型超级稻新两优 6380 和天优华占进行试验, 试验的条件与上面优化结果验证试验时相同, 得到播种装置播种新两优 6380 和天优华占的合格指数各为 97.77% 和 97.54%, 重播指数 2.01% 和 2.46%, 漏播指数 1% 和 0。因此, 得出播种装置对不同品种的超级稻芽种具有较好的适应性。

5 育苗试验

选择超级稻常优 3 号和新两优 6380 作为研究对象, 采用播种装置进行播种育苗试验, 播种 10 盘, 如图 5 所示, 统计播种粒数平均值, 得出播种常优 3



图 5 连续播种 10 盘

Fig. 5 Continuous seeding 10 disc

号和新两优 6380 的单粒率各为 7.14% 和 6.25%, 两粒率为 78.57% 和 81.03%, 三粒率 12.28% 和 10.71%, 四粒率 1.79% 和 2.01%, 漏播指数 0.22% 和 0。

穴盘的播种过程如图 6 所示, 首先对育秧盘铺

装有机质床土并进行压实, 适量洒水, 确保水分吃足但表面无积水, 再采用播种装置进行播种(穴孔局部视图如图 7 所示), 播种后进行覆土, 盖过种子为宜。

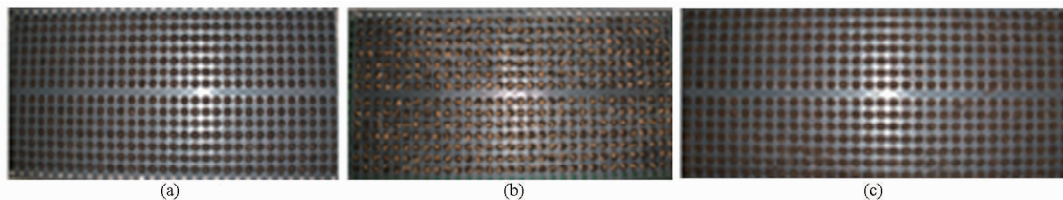


图 6 穴盘播种过程

Fig. 6 Seeding process

(a) 铺装床土 (b) 播种装置播种 (c) 覆土



图 7 穴孔局部视图

Fig. 7 Local hole view after seeding

从图 7 中可看出, 播种装置播种 1~3 mm 的芽种时, 通过统计发现播种后穴盘内芽种完好无芽种破损现象出现, 播种装置对芽种的损伤极小。

随机抽取播好 2 个品种超级稻的穴盘各两盘进行育苗试验, 将其放置在 28℃ 左右的环境下进行培养, 长成秧苗如图 8 所示, 统计得到播种常优 3 号和新两优 6380 的单苗率各为 23.21% 和 21.88%, 两根苗率为 66.08% 和 68.07%, 三根苗率 8.93% 和 8.26%, 四根苗率 0.89% 和 1.12%, 空苗率 0.89% 和 0.67%。

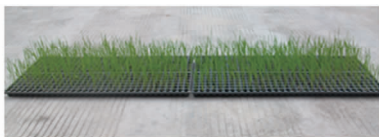


图 8 秧苗长成图

Fig. 8 Grow seedling

由于受种子发芽率和生长环境等因素影响, 得出穴盘育苗过程中, 通过播种装置播种(2±1)粒/穴

种子, 插秧时可满足 1~2 株/穴的超级稻种植技术指标要求。

6 结论

(1) 研制了一种超级稻穴盘育苗气吸振动盘式精密播种装置。进行了正交试验, 得出相对压力、吸种盘吸孔孔径、振动种盘振动频率、振幅、吸种距离与播种性能指标的数学模型。获得影响播种合格指数的因素主次顺序为: 吸种距离、振动频率、振幅、相对压力、吸孔孔径; 影响重播指数的因素主次顺序为: 相对压力、吸孔孔径、吸种距离、振动频率、振幅; 影响漏播指数的因素主次顺序为: 吸种距离、相对压力、吸孔孔径、振动频率、振幅。

(2) 对播种性能指标进行了遗传算法的多目标优化, 得到最优解: 相对压力 3.68 kPa, 吸孔孔径 1.84 mm, 振动频率 10.90 Hz, 振幅 4.09 mm, 吸种距离 3.92 mm, 并进行了试验, 试验结果与预测值相接近。播种装置排种后吸种盘吸孔几乎无堵塞现象发生, 携种过程中无种子掉落现象发生(机械手运行速度为 200 mm/s)。得出播种装置对播种不同品种的超级稻芽种具有较好的适应性, 合格指数大于 97%, 重播指数小于 3%, 漏播指数低于 1%。证明播种装置不损芽。通过对播种后的穴盘进行育苗后发现, 该播种装置能满足超级稻种植的育苗要求。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 Gaikwad B B, Sirohi N P S. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(3): 322-329.
- 3 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.
- 4 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)
- 5 许剑平,谢宇峰,徐涛. 国内外播种机械的技术现状及发展趋势[J]. 农机化研究,2011(2):234-237.
Xu Jianping, Xie Yufeng, Xu Tao. The present technic status and developing tendency of the domestic and abroad drill[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011(2): 234-237. (in Chinese)
- 6 罗锡文,欧周,蒋恩臣,等. 抛掷成穴式水稻精量直播排种器试验[J]. 农业机械学报,2005,36(9):37-40.
Luo Xiwen, Ou Zhou, Jiang Enchen, et al. Experimental research on precision rice direct-seeder with hill sowing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(9):37-40. (in Chinese)
- 7 李世平,马旭,谭祖庭. 水稻田间育秧播种机的试验研究[C]//中国农业工程学会2011年学术年会论文集,2011.
Li Shiping, Ma Xu, Tan Zuting. Experimental study on seeder for rice seedling in field[C]//Proceedings of the 2011 Academic Annual Meeting Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011. (in Chinese)
- 8 王朝辉,袁月明,董润坚,等. 超级稻育秧精密播种器内部流场的数值模拟[J]. 吉林农业大学学报,2009,31(6):781-784.
Wang Zhaohui, Yuan Yueming, Dong Runjian, et al. Numerical simulation for air field of air suction cylinder seeder [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(6):781-784. (in Chinese)
- 9 左彦军,马旭,玉大略,等. 水稻芽种窝眼窄缝式气吸滚筒排种器流场模拟与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(2):58-62.
Zuo Yanjun, Ma Xu, Yu Dalue, et al. Flow field numerical simulation of suction cylinder-seeder for rice bud seed with socket-slot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 58-62. (in Chinese)
- 10 齐龙,马旭,周海波. 基于机器视觉的超级稻秧盘育秧播种器空穴检测技术研究[J]. 农业工程学报,2009,25(2):121-125.
Qi Long, Ma Xu, Zhou Haibo. Seeding cavity detection in tray nursing seedlings of super rice based on computer vision technology[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(2):121-125. (in Chinese)
- 11 GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 2005.
- 12 孙长鸣. 正交试验在农业科学试验中的应用[M]. 北京:农业出版社,1978.
- 13 任露泉. 试验设计及其优化法[M]. 北京:科学出版社,2009.
- 14 Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- 15 王小平,曹立明. 遗传算法-理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.
- 16 陈进,李建华,李耀明,等. 气吸振动盘式精密播种机吸种高度控制与加种装置[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):67-71.
Chen Jin, Li Jianhua, Li Yaoming, et al. Analysis of suction height and seed-adding device for suction-vibration precision seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(Supp.1):67-71. (in Chinese)