

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.12.004

2ZDJ-2型钵苗移栽机栽植系统试验*

金鑫¹ 杜新武¹ 耿贵胜² 姬江涛¹ 董祥³ 刘卫想¹

(1. 河南科技大学农业工程学院, 洛阳 471003; 2. 现代农装科技股份有限公司, 北京 100083;

3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要: 为了提高导苗管式移栽机栽植作业效果及稳定性,以导苗机构为研究对象,选取连杆杆长、曲柄初始相角和移栽机作业速度为试验因素,钵苗直立率为试验指标,在室内土槽中对研制的2ZDJ-2型钵苗移栽机进行了混合水平均匀试验设计。建立了试验因素与指标间的多元非线性回归模型,并分析了因子效应对试验指标的影响规律。采用Matlab软件对试验取值范围内的因子组合进行了优化求解,并进行了最优因子组合方案重复性验证试验,试验结果表明,曲柄初始相角取 70° ,连杆杆长取356 mm,作业速度设定280 mm/s时,钵苗直立率升至95.5%,导苗机构作业性能稳定。

关键词: 钵苗移栽机 导苗机构 均匀试验设计 非线性回归

中图分类号: S223.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)12-0026-06

Experiment on Planting System of 2ZDJ-2 Transplanter

Jin Xin¹ Du Xinwu¹ Geng Guisheng² Ji Jiangtao¹ Dong Xiang³ Liu Weixiang¹

(1. College of Agricultural Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

2. Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China

3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to further improve the operation effect and stability of transplanter with chute, the guiding seedling mechanism was chosen as the research object, indoor mixed level uniform design experiment was done under the condition that the length of the connecting rod, initial phase angle of crank and velocity of the 2ZDJ-2 seedling transplanter were made as the experiment factors and lodging rate was made as the experiment indicator. Multivariate non-linear regression model between experiment factors and indicator was built by making statistical analysis of the experiment result, and the influence rule of factorial effect on experiment indicator was analyzed. Optimized solution of experiment factor combination was done within the scope of experiment data by using Matlab software, and repeated verification experiment of optimal factors combination was done. Experiment result showed that the guiding mechanism worked well when the initial phase angle of crank was 70° , the length of the connecting rod was 356 mm, and the velocity was 280 mm/s, under this condition, the erectness percentage was up to 95.5%, and the mechanism worked smoothly.

Key words: Seedling transplanter Guiding seedling device Uniform experimental design Non-linear regression

引言

育苗移栽蔬菜种植方式具有充分利用光热资

源、对气候进行补偿、抢占农时、提高抵御灾害能力等优势。然而,目前育苗移栽在我国仍然属于劳动力密集作业,基本以手工移栽和半自动移栽为主,劳

收稿日期: 2015-09-09 修回日期: 2015-10-20

* 国家国际合作专项资助项目(2013DFA71130)、国家自然科学基金资助项目(51505130)、河南省教育厅重点资助项目(15A416003)和河南科技大学青年基金资助项目(2015QN004)

作者简介: 金鑫,讲师,主要从事作物高效种植与低损收获技术研究,E-mail: jx.771@163.com

通讯作者: 姬江涛,教授,博士生导师,主要从事智能化农机装备研究,E-mail: jjt0907@163.com

动强度大、劳动生产率低、且经济效益不明显,因此,发展高速、高效移栽机已成为迫切需求。导苗管式移栽机系统一般由苗盘输送机构、自动取投苗机构、导苗机构、栽植机构、覆土压实机构等几部分组成。其中,导苗机构作为移栽机栽植系统的重要组成部分,良好的设计一方面可以保证秧苗被导入土后,不仅具有较高的直立率,而且伤苗较少,从而提高秧苗移栽后的成活率;另一方面,可以提高移栽机作业速度和工作效率。因此,对移栽机栽植系统导苗机构的研究可为整机综合性能的提升提供必要基础^[1-5]。

目前,移栽机导苗管式栽植系统在欧美主要发达国家已经广泛应用和推广,而国内研究还相对较少,仅有少数科研院所对栽植系统导苗机构进行过探索,并主要集中在与半自动移栽机相配套的机构设计上。为了进一步改善导苗机构的作业性能,提高导苗机构工作稳定性,本文以导苗机构连杆杆长、曲柄初始相角、移栽机作业速度为因素,以移栽钵苗直立率为试验指标,建立试验因子与试验指标间的多元非线性回归模型,并进行因子效应对试验指标的影响规律分析,以获得栽植系统中导苗机构的最佳参数组合。

1 试验材料与方法

2ZDJ-2 型移栽机整机结构示意图如图 1 所示。苗盘置于苗盘输送链上,自动取投苗装置在中央控制器的控制下将钵苗成排取出后,投入旋转导苗筒,然后钵苗经过栽植系统的导苗机构落入开沟器开出的沟槽中,最终在回流土壤和覆土镇压轮作用下完成定植过程。导苗机构(图 2)是导苗管式移栽机栽植系统的核心部分,其性能直接影响整机的作业效果与稳定性,由图 2 可看出,导苗机构中曲柄的初始相角 φ_{10} 与连杆杆长 l_2 是关键的工作参数。

移栽钵苗直立率或倒伏率是评价钵苗移栽效果

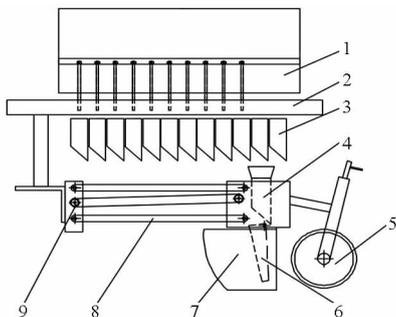


图 1 2ZDJ-2 型移栽机结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of 2ZDJ-2 transplanter

1. 自动取投苗机构
2. 机架
3. 旋转导苗筒
4. 中间承接筒
5. 覆土镇压轮
6. 导苗机构
7. 开沟器
8. 仿形机构
9. 传动机构

的重要指标之一。它主要与 2 个方面有关:一方面是与试验使用的钵苗物理特征和试验条件有关,其中,钵苗的物理特征主要包括秧苗种类、钵体基质组成、钵体含水率等,试验条件主要包括移栽土壤种类、土壤含水率、土壤硬度等;另一方面是与试验装置条件有关,主要包括机构的结构参数和栽植系统作业速度等。本试验研究的目的在于评估导苗机构连杆杆长、曲柄初始相角和栽植系统作业速度 3 个试验因素对钵苗移栽直立率的影响,在验证导苗机构设计可行性的同时,寻找利于钵苗定植姿态的最优参数组合,为栽植系统的优化改进提供依据。

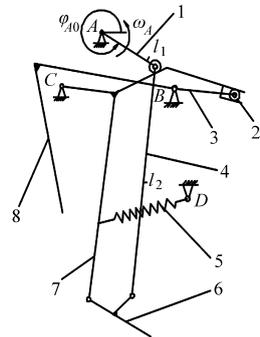


图 2 导苗机构结构简图

Fig. 2 Diagram of guiding seedling mechanism

1. 曲柄
2. 凸轮
3. 挡苗机构摆杆
4. 连杆
5. 复位弹簧
6. 扶苗机构摆杆
7. 导苗管
8. 钵苗挡板

1.1 试验材料

试验材料选用番茄穴盘苗,育苗在北京魏善庄蔬菜育苗基地完成,苗龄 60 d,苗高 14.0 ~ 15.5 cm,平均苗高 14.8 cm。苗盘使用 128 孔正方形锥体穴盘,钵体含水率范围为 47.2% ~ 61.5%,钵体基质主要成分为泥炭和珍珠岩,秧苗盘根良好。

1.2 仪器设备

规格 50 m × 3.5 m × 1 m 土槽及土槽台车,台车前后各有一套独立的农机具夹持悬挂机构,具有电动机驱动的横向系统和电动机、液压双重驱动的升降系统。台车牵引功率 55 kW,牵引速度为 0.15 ~ 14 km/h,无极调速^[6]。

移栽机栽植系统:主要包括导苗机构、覆土机构、仿形机构、地轮及传动系统等。

移栽机取、投苗系统:主要包括送盘机构、取苗机构和投苗机构等。

量程 2 m 的卷尺,量程 30 cm 的直尺,45 cm 多用量角器斜边三角尺各一把。

1.3 试验方案设计与方法

选择连杆杆长、曲柄初始相角、移栽机作业速度为试验因素,移栽钵苗直立率为试验主要性能指标(直立:栽植后秧苗主茎与地面的夹角大于 70°^[7]),

并选用均匀试验设计方法设计试验。理论上选用均匀设计表 U5(53) (中心偏差 $D=0.457$), 考虑到回归方程的可靠性, 选用混合均匀设计表 U10* (10×52) ($D=0.2305$), 即试验 10 次^[8-10], 其中, 安排二因素五水平、一因素十水平试验。查询均匀设计表, 进行混合水平的均匀试验设计表的设计^[11-12], 因素水平如表 1 所示^[13]。

表 1 三因素混合试验因素水平

Tab. 1 Three factors mixed experimental treatment

水平	因素		
	初始相角/(°)	连杆杆长/mm	作业速度/(mm·s ⁻¹)
1	-10	351	200
2	-5	353	250
3	0	355	300
4	10	357	350
5	20	359	400
6	30		
7	40		
8	50		
9	60		
10	70		

按照方案表中的条件来设置系统各参数变量, 进行钵苗移栽机栽植系统试验。试验按照 JB/T 10291—2013《旱地栽植机械标准》规定进行, 试验单次测定株数 120 株, 使用 45 cm 多用量角器斜边三角尺测量单株钵苗倒伏状况, 记录单次试验测量结果并作平均运算处理^[7]。考虑数据处理的可靠性, 取直立株数所占百分比(直立率)作为试验记录结果, 用 Y 表示, 其计算公式为

$$Y = 1 - T \quad (1)$$

其中 $T = \frac{N_{DF}}{N'} \times 100\%$ (2)

式中 T ——倒伏率, %

N_{DF} ——倒伏株数

N' ——测定段内的设计株数^[7]

1.4 试验

试验于 2015 年 3 月 9 日在中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室田间工况模拟试验室土槽内进行。栽植系统试验前, 先完成移栽机栽植系统和取、投苗系统安装, 然后利用悬挂装置与土槽台车挂接, 通过台车液压升降系统和栽植系统覆土轮微调结构调节开沟器入土深度。调整导苗机构的初始相角, 旋动鱼眼接头微调连杆杆长(连杆两端采用鱼眼接头分别与曲柄和摆块铰接, 鱼眼接头规格 M8×1), 栽植系统作业速度通过台车控制设定。完成安装和调试的试验装置如图 3 所示。

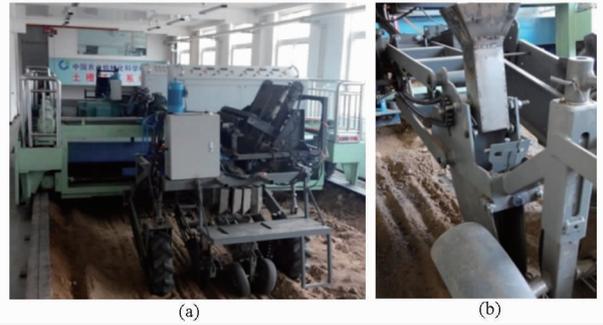


图 3 移栽机栽植系统组图

Fig. 3 Assembly diagram of planting system of transplanter

(a) 移栽机试验装置 (b) 导苗机构

完成栽植系统装置的安装和调试后, 先对土槽土表进行刮平处理, 然后按照试验方案中的条件来调节导苗机构的连杆杆长、曲柄初始相角, 并通过台车速度控制器调节移栽机作业速度, 使钵苗移栽系统在不同因素、不同水平下工作, 记录钵苗移栽直立率的表现。同时, 通过在试验过程中对导苗机构导苗动作稳定性的考察, 验证导苗机构设计的可行性和可靠性要求。

2 结果与分析

2.1 试验结果

对钵苗移栽机栽植系统进行混合水平均匀试验的结果如表 2 所示, 表中 $x_1 \sim x_3$ 表示各因素的真实值。

表 2 试验结果

Tab. 2 Test results

试验序号	初始相角 $x_1/(^\circ)$	连杆杆长 x_2/mm	作业速度 $x_3/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	直立率 $Y/\%$
1	0	355	400	75.5
2	30	359	350	83.5
3	60	353	300	93.2
4	-10	359	250	89.3
5	10	353	200	82.5
6	40	357	400	78.2
7	70	351	350	85.1
8	-5	357	300	91.3
9	20	351	250	84.2
10	50	355	200	86.7

2.2 试验数据的回归分析

利用 Uniform Design Version 3.00 均匀设计软件, 采用全回归法对混合水平均匀试验结果进行多元非线性回归处理, 得到试验结果的多元回归数学模型为

$$Y = -36\,807.715 + 207x_2 + 0.627x_3 + 0.00111x_1^2 - 0.291x_2^2 - 0.00112x_3^2 \quad (3)$$

回归方程的显著性检验, 如表 3 所示。

回归模型在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 上, 复相关系数 $R = 0.9931$, 决定系数 $R^2 = 0.9862$, 检验值 $F_i =$

表 3 回归方程显著性检验

Tab. 3 Significance test of regression equation

变异来源	平方和	自由度	均方	均方比
回归	270	5	54.0	
残差	3.78	4	0.944	57.22
总和	274	9		

57.22, 查 F 分布分位点表^[13], 得 $F_{0.05}(5, 4) = 6.256$, $F_t > F_{0.05}(5, 4)$, 回归模型显著。观测值和拟合误差小, 准确度高。回归方程的残差分析如表 4 所示。

表 4 残差分析

Tab. 4 Residual analysis

试验序号	观测值	回归值	残差	残差百分比
1	75.5	75.61	-0.11	0.15
2	83.5	84.16	-0.66	0.79
3	93.2	93.36	-0.16	0.17
4	89.3	87.78	1.52	-1.70
5	82.5	82.78	-0.28	0.34
6	78.2	77.00	1.20	-1.53
7	85.1	85.48	-0.38	0.45
8	91.3	90.95	0.35	-0.38
9	84.2	84.99	-0.79	0.94
10	86.7	87.39	-0.69	0.80

由残差分析可以看出, 观测值与拟合值误差非常小, 说明回归模型在 $\alpha = 0.05$ 显著水平上, 可以很好地反映实际情况。

为了考察试验因子对试验指标的影响程度, 需要计算各回归项偏回归平方和及其对回归的贡献率, 如表 5 所示。

分析表 5 可以看出, 导苗机构曲柄初始相角, 连杆杆长和移栽机作业速度对钵苗移栽直立率都有一

表 5 偏回归平方和及其贡献率

Tab. 5 Sum of squares of partial regression and its

	contribution rate				
参数	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2
偏回归平方和	25.7	121	22.7	25.6	141
贡献率/%	9.52	45.00	8.42	9.47	52.30

定影响。影响效果从大到小为: 移栽机作业速度、连杆杆长、曲柄初始相角。

2.3 因子效应对试验指标的影响分析

2.3.1 单因子效应

分析单因子效应对试验指标的影响规律, 由表 5 可知, 曲柄初始相角对试验指标的影响相对于其他因子对试验指标的影响小得多, 因此, 只考虑连杆杆长和作业速度两因子对试验指标钵苗直立率的影响。分析单因子效应对指标的影响规律时, 将其其他因子值设置为中间水平值(即初始相角第 5 水平值、连杆杆长和作业速度分别取第 3 水平值), 利用 Matlab, 得到各对应的变化曲线, 如图 4 所示^[14]。

由图 4 可以看出, 在试验范围内, 连杆杆长与试验指标间呈上凸抛物线关系, 先随着连杆杆长增大, 钵苗定植后呈直立状态所占比例随之升高, 在连杆杆长取 355 mm 附近值时, 比例达到最大, 即直立率达到最高, 而后随着连杆杆长的继续增大, 直立率呈下降趋势, 如图 4a 所示; 同样, 作业速度与试验指标间呈类似抛物线关系, 钵苗直立率随着作业速度增大先增大后减小, 在作业速度取 300 mm/s 附近值时, 直立率达到最高, 且从图线变化趋势上看, 倒伏率对作业速度取大值比取小值更加敏感, 如图 4b 所示。从两因子对试验指标的影响规律可以看出, 试验结果与前期理论分析基本一致。

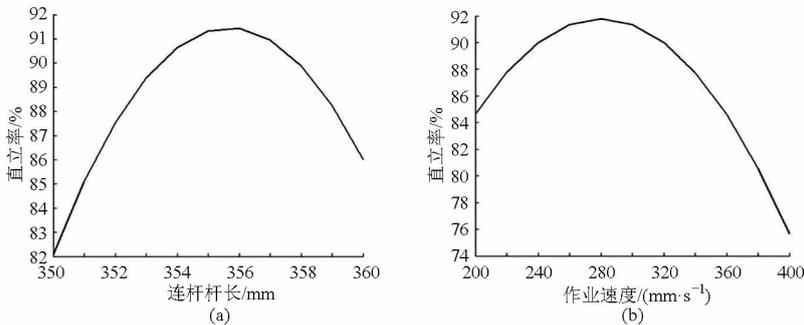


图 4 单因子效应对试验指标的影响规律

Fig. 4 Influence rule of single factor effect on test indicators

2.3.2 多因子效应对试验指标的影响分析

分析多因子效应对试验指标的影响规律, 同样仅考虑连杆杆长和作业速度两因子同时作用时, 对试验指标钵苗直立率的影响。分析时, 将回归模型中其他因子值设置为零, 利用 Matlab 软件, 得到多

因子效应对试验指标的影响响应曲面, 如图 5 所示。

由图 5 可以看出, 作业速度对试验指标的响应相对于连杆杆长对试验指标的响应变化更为陡峭, 说明作业速度对试验指标的影响程度更突出; 从 $X - Y$ 平面的等值线可以分析出, 在取值范围内, 作

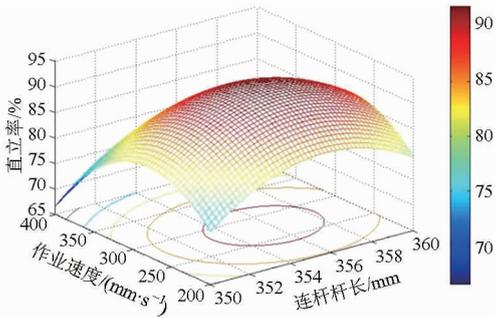


图5 多因子效应对试验指标的影响响应曲面

Fig.5 Response surface of influence of multiple factor effect on test indicators

业速度取大值、连杆杆长同时取大值,和作业速度取小值、连杆杆长同时取小值,极不利于钵苗直立;作业速度取大值、连杆杆长相应取小值,和作业速度取小值、连杆杆长相应取大值,对提高钵苗直立率具有等效作用;作业速度和连杆杆长同时为取值范围内的中间值时,将更加利于钵苗直立,即提高钵苗直立率。其主要原因由前期研究结果可知当连杆杆长增大时,导苗机构摆块拨动钵苗前的瞬间水平速度减小,此时若移栽机作业速度与摆块速度接近或相等,理论上将更有利于钵苗获得高的直立度,即提高钵苗移栽的直立率。

2.4 试验因子对试验指标影响的优化求解

结合试验数据回归模型和试验因子效应对试验指标的影响分析,利用 Matlab 软件,建立试验因子与指标间的优化数学模型,对试验指标进行优化计算^[15]。

优化目标函数

$$\max f = -36\ 807.715 + 207x_2 + 0.627x_3 + 0.001\ 11x_1^2 - 0.291x_2^2 - 0.001\ 12x_3^2 \quad (3)$$

考虑试验范围内试验指标的最大值,则函数约束条件为: $x_1 \in [-10, 70]$, $x_2 \in [351, 359]$, $x_3 \in [200, 400]$ 。

采用求解多变量有约束非线性函数最值问题的 fmincon 函数进行优化目标函数求解。结果得出:在试验取值范围内,曲柄初始相角取 70° ,连杆杆长取 355.7 mm,移栽机作业速度设定为 279.9 mm/s 时,钵苗直立率将升高至 97.3%。相比前期试验获取的最好结果 93.2%,直立率提高 4.3%,优化效果显著。

2.5 最优因子组合方案重复性试验

为进一步验证最优因子组合方案的作业效果

和导苗机构工作性能的稳定性,对优化结果进行重复性试验验证。试验条件和试验方法同前述,试验重复 3 次,以保证试验的可靠性。试验因子水平作取整处理,试验结果由式(1)计算。试验结果如表 6 所示。

表 6 最优因子组合方案重复性试验结果

Tab.6 Test results of replicate test in combination scheme with optimal factor

试验序号	初始相角 $x_1/(\circ)$	连杆杆长 x_2/mm	作业速度 $x_3/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	直立率 $Y/\%$
1	70	356	280	95.3
2	70	356	280	95.8
3	70	356	280	95.5
平均值	70	356	280	95.5

将表 6 的重复性试验结果与理论优化结果进行比较可以看出,试验所得直立率与理论优化所得的直立率相近,相差 1.8% (理论优化值 97.3%,重复试验值 95.5%)。说明因子水平在试验取值范围内,栽植系统获得了很好的工作参数组合和作业性能。同时,重复试验结果也验证了理论优化计算的正确性和导苗机构工作性能的可靠性,该成果将为后续相关研究和实际应用提供参考。

3 结论

(1) 建立了栽植系统中导苗机构曲柄初始相角、连杆杆长及移栽机作业速度与钵苗直立率之间的回归数学模型,通过回归贡献率分析,明确了试验因子对指标的影响程度从大到小依次为:移栽机作业速度、连杆杆长、曲柄初始相角。

(2) 通过试验因子对指标的影响规律分析表明,在试验范围内,直立率随着连杆杆长和移栽机作业速度的增加均先增大后减小;作业速度取大值,连杆杆长相应取小值,与作业速度取小值,连杆杆长相应取大值,对提高秧苗直立率具有等效作用。

(3) 构建了试验因子与指标间的优化数学模型,基于参数最优取值,以曲柄初始相角 70° ,连杆杆长 356 mm,移栽机作业速度 280 mm/s 来调整栽植系统作业参数,进行了重复性验证试验,结果表明,栽后钵苗直立率升至 95.5%,同比前期试验获取的最好结果 93.2%,直立率提高 2.47%,且作业稳定性显著提高。

参 考 文 献

- 陈风,陈永成,王维新. 旱地移栽机现状和发展趋势[J]. 农机化研究, 2005(3): 24-26.
Chen Feng, Chen Yongcheng, Wang Weixin. Present situation and developing trend of the transplanter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(3): 24-26. (in Chinese)
- 崔巍,方宪法,赵亮,等. 齿轮-五杆取苗装置机构优化与试验验证[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 74-77.

- Cui Wei, Fang Xianfa, Zhao Liang, et al. Optimization and experimental validation on gear-five-bar picking-up seedlings device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 74-77. (in Chinese)
- 3 崔巍, 徐盼, 王海峰, 等. 旱地自动移栽技术发展现状及分析 [J]. 农机化研究, 2015(6): 1-5.
Cui Wei, Xu Pan, Wang Haifeng, et al. Present status and analysis of dry-land auto-transplanting seedling technique [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(6): 1-5. (in Chinese)
- 4 Fabrizio Mazzetto, Aldo Calcante. Highly automated vine cutting transplanter based on DGNS-RTK technology integrated with hydraulic devices [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 79(1): 20-29.
- 5 俞高红, 刘炳华, 赵匀, 等. 椭圆齿轮行星轮系蔬菜钵苗自动移栽机构运动机理分析 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 53-57.
Yu Gaohong, Liu Binghua, Zhao Yun, et al. Kinematic principle analysis of transplanting mechanism with planetary elliptic gears in automatic vegetable transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 53-57. (in Chinese)
- 6 于晓旭, 赵匀, 陈宝成, 等. 移栽机械发展现状与展望 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 44-53.
Yu Xiaoxu, Zhao Yun, Chen Baocheng, et al. Development and prospect of transplanting machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 44-53. (in Chinese)
- 7 JB/T 10291—2013 旱地栽植机械 [S]. 2013.
- 8 关植基, 李宁, 张进疆, 等. 胡萝卜带式穿流干燥的均匀设计试验研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 190-192.
Guan Zhiji, Li Ning, Zhang Jinjiang, et al. Uniformly designed experimental study on belt type cross-flow drying of carrot [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 190-192. (in Chinese)
- 9 梅松华, 盛谦, 冯夏庭. 均匀设计在岩土工程中的应用 [J]. 岩土力学与工程学报, 2004, 23(16): 2694-2697.
Mei Songhua, Sheng Qian, Feng Xiating. Application of uniform design to geotechnical engineering [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2694-2697. (in Chinese)
- 10 陈高峰, 程圣国, 卢应发, 等. 基于均匀设计的边坡稳定性敏感性分析 [J]. 水利学报, 2007, 38(11): 1397-1401.
Chen Gaofeng, Cheng Shengguo, Lu Yingfa, et al. Sensitivity analysis of slope stability based on uniform design [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(11): 1397-1401. (in Chinese)
- 11 方开泰. 均匀设计和均匀设计表 [M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- 12 李秀昌, 韩曦英, 孙健. 利用 DPS 数据处理系统进行均匀试验设计与分析 [J]. 中国卫生统计, 2010, 27(2): 201-203.
- 13 孙海燕, 周梦, 李卫国, 等. 应用数理统计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.
- 14 杨慧. 气流输送式排种系统性能试验研究 [D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2014.
Yang Hui. Experimental study on the air conveyor metering system performance [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2014. (in Chinese)
- 15 陈科, 杨学军, 颜华, 等. 基于 Matlab 的全自动移栽机取苗机构设计与参数优化 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 1): 24-26.
Chen Ke, Yang Xuejun, Yan Hua, et al. Design and parameter optimization of seedling pick-up mechanism based on Matlab [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 24-26. (in Chinese)
- 16 陈建能, 章鹏华, 王英, 等. 旋转式钵苗栽植机构多目标参数优化与试验 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 46-53.
Chen Jianneng, Zhang Penghua, Wang Ying, et al. Multi-objective parameter optimization and experiment of rotary seedling planting mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 46-53. (in Chinese)