

穴盘水稻秧苗通过分秧滑道的高速摄像分析*

马瑞峻¹ 王凯湛² 马旭¹ 张亚莉¹ 汪昭军¹ 龚海明¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 广州市交通委员会, 广州 510032)

【摘要】 通过高速摄像技术观察了穴盘水稻秧苗通过分秧滑道的情况,发现滑道上部的过渡圆弧段是影响秧苗通过性的关键,其中分滑道1~3的通过性相对于其他分滑道要差;当秧苗营养土含水率为26.6%时,秧苗通过整条滑道的时间比营养土含水率为31.2%时的要短,且与计算机虚拟仿真的结果更接近。试验结果表明,秧苗通过分滑道1所用的时间最长,通过分滑道6所用的时间最短,秧苗在各分滑道中下滑的一致性较好,所设计的分秧滑道能够满足机械手式抛秧机中对分秧作业的要求。

关键词: 水稻秧苗 分秧滑道 高速摄像

中图分类号: S223 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)10-0084-06

Analysis of Rice Seedlings Passing through Separating Chutes
Based on High Speed Photography Technology

Ma Ruijun¹ Wang Kaizhan² Ma Xu¹ Zhang Yali¹ Wang Zhaojun¹ Gong Haiming¹

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

2. Communications Commission of Guangzhou Municipality, Guangzhou 510032, China)

Abstract

The process of rice seedlings passing through the separating chutes was observed using high speed photography technology. The circular arc part of chutes was the key that affects the rice seedlings passing through chutes. It was easier for rice seedlings to pass chute No. 4 ~ 7 than No. 1 ~ 3. The time of rice seedlings passing through chutes was shorter and closed to simulation results calculated by computer when water content of nutrient soil of rice seedlings was 26.6%. It need the longest time when rice seedlings pass through chute No. 1. The shortest time appeared when rice seedlings passing through chute No. 6. The results of experiment showed that chutes of separating rice seedlings could be satisfied the requirements of throwing transplant machine for rice seedlings sprouted in the plastic cell-tray.

Key words Rice seedlings, Separating chutes, High speed photography technology

引言

高速摄像技术以极高的速度记录影像,对于分析物体的高速运动具有重要的意义,可以得到一些普通试验方法难以得到的数据,因此高速摄像技术被广泛地应用到了农业机械产品的开发和研究中^[1-16]。

本文依据前期的虚拟仿真研究^[17],得到实际尺

寸的秧苗营养土钵模型(忽略了秧苗叶茎部分)在分滑道中的通过时间很短(小于1s),如使用普通的试验方法将难以获得秧苗通过滑道的精确时间以及秧苗通过滑道的轨迹,因此本文采用高速摄像技术,摄录秧苗从进入到滑出分秧滑道的全过程,借以观察实物秧苗在滑道中的通过情况,分析其通过性能,将其与虚拟仿真研究的结果进行对比,以验证仿真的准确性及实物滑道设计的合理性。

收稿日期: 2010-12-23 修回日期: 2011-04-06
* 广东省高等学校人才引进科研资助项目(粤教师[2008]86号)和广东省自然科学基金博士科研启动项目(04300478)
作者简介: 马瑞峻,副教授,博士,主要从事农业机械化及其自动化研究,E-mail: maruijun_mrj@163.com

1 材料与方法

1.1 试验用秧苗

根据机械手式抛秧机对秧苗的要求,采用专用的育秧穴盘培育出符合抛秧要求的水稻秧苗^[18~20],保证每穴秧苗株数为 (2 ± 1) 株,供试验所用。

1.2 试验用分秧滑道

根据机械手式抛秧机分秧滑道设计与虚拟样机模型^[18,21~22],加工了一组分秧滑道的物理样机,考虑到高速摄像的要求,采用透明玻璃作为滑道的加工材料(实际生产中可以采用 PVC 工程塑料加工^[23]),要求加工的误差不大于 2 mm。实际加工出来的滑道在长度上有一定误差,但在圆弧段的尺寸和虚拟样机模型基本吻合,总体上满足试验的要求,如图 1 所示。

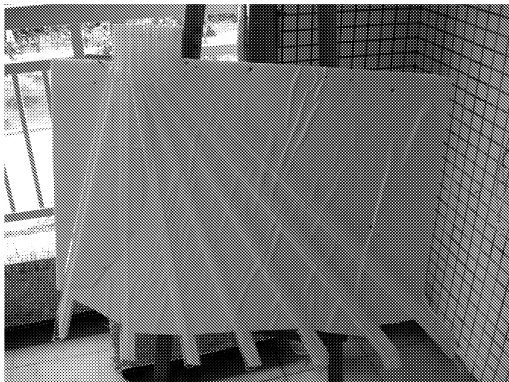


图 1 分秧滑道物理样机

Fig. 1 Separating chutes (made of glass) machine

1.3 试验内容

根据秧苗在滑道中通过情况的几组前期预备试验,发现最关键的是秧苗经过滑道上部圆弧段的情况,因此试验重点观察秧苗通过滑道上部圆弧段的情况。

另外,秧苗营养土的含水率对秧苗在滑道中的通过性影响很大,尤其是对于分滑道 1(图 1 中右边第 1 条滑道)的影响最大。秧苗营养土的含水率越低,秧苗在滑道中的通过性越好,当营养土含水率超过一定程度时,秧苗在滑道 1 中通过困难,甚至会出现堵塞情况。通过前期的机械手拔秧力的研究,得知营养土适宜含水率为 27%~29%,在此范围内机械手从穴盘中拔起秧苗的拔秧力最小及秧苗的拔起率最高^[24~25]。

为分析不同秧苗营养土含水率对秧苗在滑道中通过性的影响,在培育秧苗的后期,对不同穴盘中的秧苗施以不同的水量,使其营养土具有不同的含水率,分为 2 个水平,每盘秧苗一个水平。利用 101-4 型电热鼓风干燥箱通过干燥的方法,测得试验所用秧

苗营养土含水率分别为 26.6% 和 31.2%。

1.4 试验测量设备和方法

试验设备采用日本 PHOTRON 公司生产的 Fastcam-Super 10KC 型高速摄像仪,最高记录速度可达 3 000 帧/s,记录容量为 128 M DRAM。试验中摄录速度设置为 125 帧/s,即每两张图片之间的时间间隔为 $1/125 = 8 \text{ ms}$ 。每次试验摄录持续时间约为 1.5 s,采集图片约 180 幅,图像数据通过接口下载到 PC 机中进行处理。

试验时,首先摄录秧苗通过上部圆弧段的运动轨迹;然后摄录秧苗通过整体滑道的轨迹。采用人工操作打开机械手秧夹放秧,使 7 穴秧苗尽可能同一时间分别落入 7 条分滑道中。

2 试验结果与分析

2.1 秧苗通过分秧滑道上部圆弧段的轨迹

秧苗通过分秧滑道上部圆弧段运动轨迹如图 2 所示。

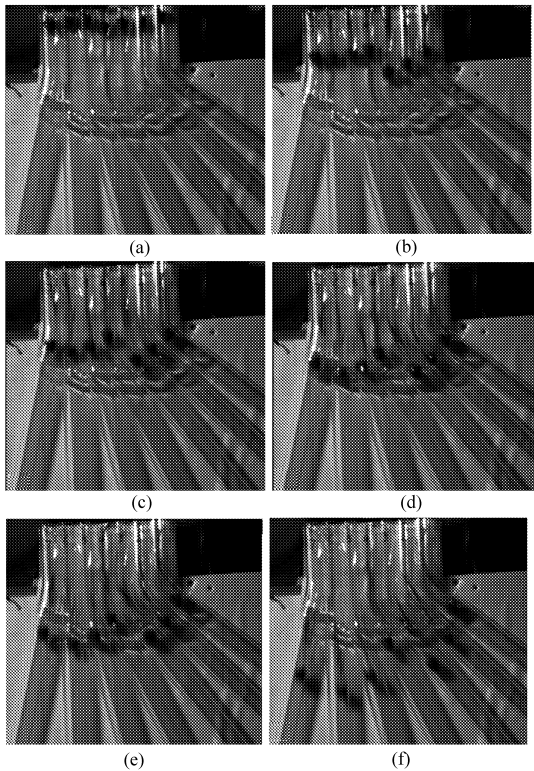


图 2 秧苗通过分秧滑道上部圆弧段的轨迹

Fig. 2 Trajectory of rice seedlings passing through circular arc part of chutes

由图 2 可以观察到,秧苗由滑道入口竖直直线段开始加速下滑,从图 2b 起,秧苗开始进入分秧滑道上部圆弧段,尽管秧苗一开始在分滑道 1~3 中下落稍早(由于放秧误差),导致秧苗提前进入过渡圆弧段,但由于分滑道 1~3 圆弧段的阻力较大,导致秧苗的速度减小,当到达图 2f 的位置时,已经被分

滑道 5~7 中的秧苗赶上(分滑道 4 中的秧苗不明显),说明了分滑道 5~7 的圆弧段通过性明显比分滑道 1~3 的要好。从图 2c 到图 2e,秧苗开始从滑道上部竖直段小径(内径为 22 mm)经圆弧段向各自分滑道的倾斜直线段大径(内径为 28 mm)过渡,此段圆弧段成为变截面尺寸的过渡圆弧段。由图 2f 可以看出,秧苗通过滑道圆弧段的轨迹基本和仿真结果相似^[17]。对于个别分滑道中实物试验结果与仿真结果有差异,则可能是由于试验中放秧的误差,如放秧时间和秧苗的初始位置以及秧苗个体差异,滑道的加工误差等造成的。

通过 20 次重复试验,结果显示秧苗在分秧滑道上部圆弧段的通过性良好,所有秧苗均能顺利通过滑道上部圆弧段及整条滑道,没有出现堵塞现象。但是相对来讲,分滑道 1~3 上部圆弧段的通过性要比其他分滑道差些。如果当每穴中秧苗株数过多(超过 3 株以上时),则在滑道 1~3 中容易出现堵塞。

2.2 不同含水率营养土秧苗通过分秧滑道的轨迹

营养土含水率为 26.6% 的秧苗通过分秧滑道的运动轨迹如图 3 所示(含水率为 31.2% 的图略)。

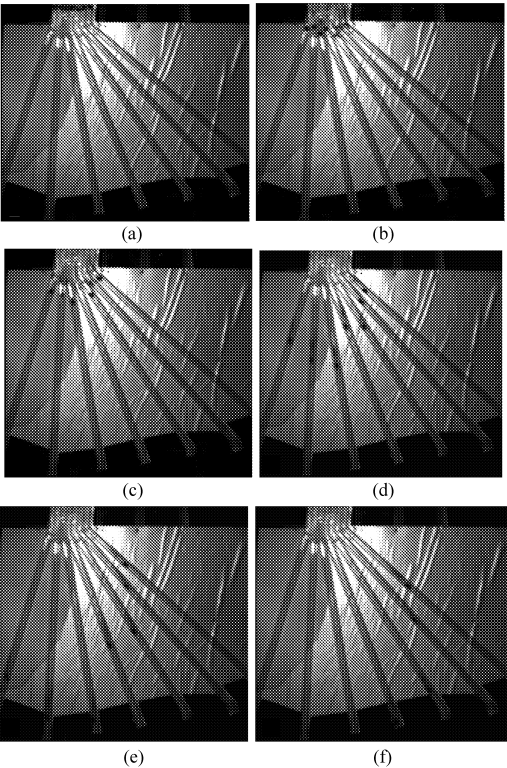


图3 营养土含水率为 26.6% 的秧苗通过分秧滑道的轨迹
Fig.3 Trajectory of rice seedlings passing through chutes with 26.6% water content of nutrient soil

由图中可以看出,秧苗在各分滑道中滑落及滑出滑道的先后顺序和虚拟仿真的结果是一致的^[17]。通过 20 组的重复试验,根据对秧苗通过分秧滑

道的轨迹的高速摄像记录,剔除部分放秧误差较明显的试验组,确定秧苗开始滑落和滑出滑道的图片,可以得到秧苗通过各分滑道的时间,其中部分试验结果数据如表 1、表 2 所示。20 组试验中,秧苗全部通过滑道,没有出现堵塞的情况。

表 1 营养土含水率为 26.6% 的秧苗通过各分秧滑道的时间

Tab.1 Time of rice seedlings passing through chutes with 26.6% water content of nutrient soil ms							
试验序号	分滑道 1	分滑道 2	分滑道 3	分滑道 4	分滑道 5	分滑道 6	分滑道 7
1	848	728	568	760*	488	472	552
2	880	756	592	568	456	456	480
3	816	728	464	496	488	464	488
4	848	736	632	544	488	464	488
5	888	720	624	480	488	464	456
6	880	720	616	480	456	432	448
7	872	744	624	488	456	456	488
平均值	862	733	589	545	474	458	486
RMSE	25.6	13.21	59.3	34.15*	17.1	12.83	33.53

注:*在计算该均方根误差值时未计入第 1 次试验时的数据。

表 2 营养土含水率为 31.2% 的秧苗通过分秧滑道的时间

Tab.2 Time of rice seedlings passing through chutes with 31.2% water content of nutrient soil ms							
试验序号	分滑道 1	分滑道 2	分滑道 3	分滑道 4	分滑道 5	分滑道 6	分滑道 7
1	1 064	968	624	544	520	504	512
2	976	808	648	480	512	440	496
3	1 024	800	632	560	536	456	544
4	992	800	808	600	544	448	488
5	896	736	656	560	504	464	528
平均值	990	822	674	549	523	462	514
RMSE	62.58	86.42	76.19	43.67	16.59	24.92	22.91

由表 1、2 的数据可知,营养土含水率为 26.6% 的秧苗通过滑道的时间要比含水率为 31.2% 的秧苗短,所用时间平均值分别为 862 ms 和 990 ms(分滑道 1),表明了营养土含水率对于秧苗能否快速顺利地通过滑道的影响,尤其是在分滑道 1~3 中。主要原因是营养土钵含水率高增加了土钵与滑道壁的摩擦性,其次是由于 1~3 分滑道本身结构,其过渡段长且倾斜角度较大,相对平缓,增大了秧苗和滑道的接触面,增加了秧苗的滑落时间,同时也造成了秧苗通过其上部圆弧段的难度,结果造成的影响也相对较大;而其他分滑道,结构相对陡峭,因此对两种营养土含水率的秧苗的通过性(时间)影响不大。

另外,从表 1、2 中秧苗多次试验通过各自分滑道的时间的均方根误差值可以看出, RMSE 值相对于通过该滑道所需时间的平均值都比较小(分滑道 4 未剔除第 1 次试验数据时的 RMSE 值为 100.71)。说明以一定的时间间隔放秧时,秧苗落入滑道后其在各自滑道(同一条滑道)中的间隔性较好。即当秧苗从落入滑道端部开始滑落时,在相同的时间段内,秧苗下滑所到达的位置偏差不大。

由于秧苗通过分滑道 6 所需要的时间最短,受到的影响也较小,因此选择分滑道 6 为对比标准。每次试验中,秧苗通过其他分滑道的时间均与该次试验中秧苗通过分滑道 6 的时间进行比较(表 1、表 2 中数据),得到的时间差值结果如图 4、5 所示。

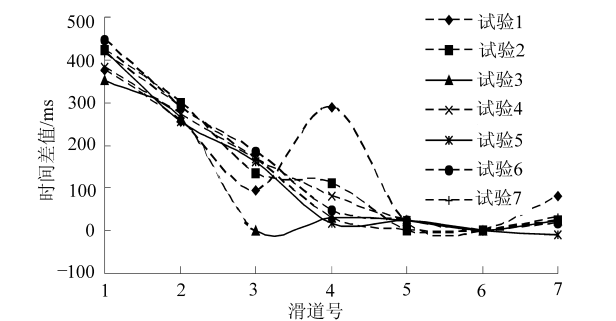


图 4 含水率为 26.6% 的营养土钵秧苗通过各滑道的时间与通过分滑道 6 的时间对比

Fig.4 Time difference value of rice seedlings passing chutes comparing with chute No.6 (26.6% water content of nutrient soil)

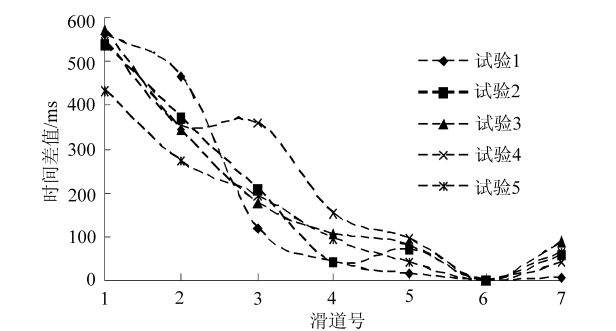


图 5 含水率为 31.2% 的营养土钵秧苗通过各滑道的时间与通过分滑道 6 的时间对比

Fig.5 Time difference value of rice seedlings passing chutes comparing with the chute No.6 (31.2% water content of nutrient soil)

从图 4 可以看出,除了试验 1 中分滑道 4 和试验 3 中分滑道 3 的时间差值有少许出入外,秧苗通过滑道的整体一致性较好。图 5 中,2、3 分滑道在试验 1、4 中有些波动,此外整体下滑的一致性较好。但是,高含水率营养土钵秧苗通过各滑道的一致性波动显然要比低含水率的大。秧苗在各滑道中下滑的一致性将影响秧苗在田间定植的株距分布,但只

要能够保证波动所造成的株距差异保持在可接受的范围内即可。

试验结果(时间均值)与利用实际尺寸的营养土钵模型进行的虚拟仿真秧苗通过滑道的时间比较见表 3,在虚拟仿真中,并没有直接考虑秧苗营养土钵的含水率,而是通过设置泥土材料参数和接触参数来决定^[17]。

表 3 实际试验结果和虚拟仿真时间的比较

Tab.3 Time comparison between the results of real experiments and virtual simulation ms

参数	滑道编号						
	1	2	3	4	5	6	7
虚拟仿真时间	633	572	532	495	478	463	477
与仿真时间差(含水率 26.6%)	229	161	57	50	-4	-5	9
与仿真时间差(含水率 31.2%)	357	250	142	54	45	-1	37

由表 3 中的数据可以看出,试验中秧苗通过滑道的时间总体上要比虚拟仿真的大,分滑道 1,最大时间差为 0.229 s(营养土含水率 26.6%) 和 0.357 s(营养土含水率 31.2%),而秧苗通过分滑道 3~7 的时间和虚拟仿真基本一致,尤其是分滑道 5~7。总体来讲,利用实际尺寸的营养土钵模型进行的虚拟仿真结果与秧苗营养土含水率为 26.6% 的试验结果更接近;而利用球体模型进行的秧苗通过各分滑道的仿真时间结果要比利用实际尺寸的营养土钵模型进行的仿真结果更短^[17],说明更加完善的仿真结果在建模时需要考虑更多的相关因素。

对两种秧苗营养土含水率下的试验数据(表 1、表 2)和实际尺寸的营养土钵模型的虚拟仿真数据(表 3)分别进行独立样本 *T* 检验, *P* 值分别为 0.274 和 0.144,均大于 0.05,显示试验结果和仿真结果并无显著差异,从而验证了运动仿真的正确性。

通过虚拟仿真^[17]及实物高速摄像试验表明,在满足一定育秧要求条件下,利用所设计的分秧滑道进行穴盘水稻秧苗分秧定植是可行的。

3 结论

(1)通过秧苗通过分秧滑道中的高速摄像试验表明,满足育秧要求的水稻秧苗(每穴 2 株 ± 1 株)均能顺利通过分秧滑道上部的圆弧段及整条滑道,但是相对来讲,分滑道 1~3 的通过性比其他几条分滑道差。

(2)秧苗营养土含水率为 26.6% 时比含水率为 31.2% 时,秧苗通过滑道的时间要短;秧苗通过分滑道 1 所用的时间最长,平均为 0.862 s,通过分滑道 6 所用的时间最短,平均为 0.458 s。

(3)当秧苗营养土含水率为 26.6% 时,秧苗在滑道中的运动轨迹和通过滑道的时间与以实际尺寸的营养土钵模型进行的虚拟仿真结果更接近。

(4)试验中秧苗在滑道中的通过性良好,没有

出现堵塞的情况,而且秧苗在各滑道中下滑的整体一致性和秧苗在同一条滑道中下滑的间隔性也较好,说明所设计的滑道可以满足穴盘水稻秧苗分秧定植的要求。

参 考 文 献

- 1 王静,廖庆喜,田波平,等. 高速摄像技术在我国农业机械领域的研究[J]. 农机化研究,2007,29(1):184~186.
Wang Jing, Liao Qingxi, Tian Boping, et al. The present and development tendency of high-speed photography applied on agricultural machinery[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007,29(1): 184~186. (in Chinese)
- 2 王再满,罗锡文,黄世醒,等. 型孔式水稻排种轮充种过程的高速摄像分析[J]. 农业机械学报,2009,40(12):56~61.
Wang Zaiman, Luo Xiwen, Huang Shixing, et al. Rice seeds feeding process in cell wheel based on high-speed photography technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 56~61. (in Chinese)
- 3 陈进,边疆,李耀明,等. 基于高速摄像系统的精密排种器性能检测试验[J]. 农业工程学报,2009,25(9):90~95.
Chen Jin, Bian Jiang, Li Yaoming, et al. Performance detection experiment of precision seed metering device based on high-speed camera system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(9): 90~95. (in Chinese)
- 4 廖庆喜,邓在京,黄海东. 高速摄影在精密排种器性能检测中的应用[J]. 华中农业大学学报,2004,23(5):570~573.
Liao Qingxi, Deng Zaijing, Huang Haidong. Application of the high speed photography checking the precision metering performances[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(5): 570~573. (in Chinese)
- 5 袁明月,马旭,朱艳华,等. 基于高速摄像技术的气吸式排种器投种过程的分析[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(4):617~620.
Yuan Yueming, Ma Xu, Zhu Yanhua, et al. Analysis of working process for seed-metering device based on high speed video camera system technique[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(4): 617~620. (in Chinese)
- 6 于海业,马成林,马旭,等. 小麦种子在输种管内运动状态的观察与分析[J]. 农业机械学报,1996,27(增刊):58~61.
Yu Haiye, Ma Chenglin, Ma Xu, et al. The observation and analysis on the moving states of wheat seeds in seed-transporting pipe[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(Supp.): 58~61. (in Chinese)
- 7 刘宏新,王福林. 立式圆盘排种器工作过程的高速摄像分析[J]. 农业机械学报,2008,39(4):60~64,46.
Liu Hongxin, Wang Fulin. Study on high-speed image of working principle of vertical plate seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 60~64, 46. (in Chinese)
- 8 师清翔,刘师多,姬江涛,等. 控速喂入柔性脱粒机理研究[J]. 农业工程学报,1996,12(2):173~176.
Shi Qingxiang, Liu Shiduo, Ji Jiangtao, et al. Studies on the mechanism of speed-controlled feeding and soft threshing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12(2): 173~176. (in Chinese)
- 9 衣淑娟,蒋恩臣. 轴流脱粒与分离装置脱粒过程的高速摄像分析[J]. 农业机械学报,2008,39(3):52~55.
Yi Shujuan, Jiang Enchen. High-speed photography analysis on process of threshing of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 52~55. (in Chinese)
- 10 衣淑娟,汪春,毛欣,等. 轴流滚筒脱粒后自由籽粒空间运动规律的观察与分析[J]. 农业工程学报,2008,24(5):136~139.
Yi Shujuan, Wang Chun, Mao Xin, et al. Observation and analysis of motion rule of free kernel in the threshing and separating space [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(5): 136~139. (in Chinese)
- 11 陶桂香,衣淑娟. 组合式轴流装置稻谷运动仿真及高速摄像验证[J]. 农业机械学报,2009,40(2):84~86.
Tao Guixiang, Yi Shujuan. Simulation of the rice motion model in axial threshing device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 84~86. (in Chinese)
- 12 王立军,蒋恩臣,李瑰贤. 4ZTL-1800 收获机惯性沉降分离室工作机理[J]. 农业工程学报,2008,24(9):108~110.
Wang Lijun, Jiang Enchen, Li Guixian. Working mechanism of inertia depositeon separation chamber of 4ZTL-1800 harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(9): 108~110. (in Chinese)
- 13 李心平,马福丽,高连兴. 玉米种子脱粒过程高速摄影观察分析[J]. 农业机械学报,2009,40(11):46~49.
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. High-speed photograph analysis on threshing process of corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11): 46~49. (in Chinese)
- 14 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 光刃刀片切割甘蔗茎秆破坏过程高速摄像分析[J]. 农业机械学报,2007,38(10):31~34.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. High-speed photography analysis on the damage process in cutting sugarcane stalk with smooth-edge blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(10):

- 31 ~ 34. (in Chinese)
- 15 廖庆喜,舒彩霞,田波平,等. 基于高速摄像技术的芦竹切割过程的研究[J]. 华中农业大学学报,2007,26(3):415 ~ 418.
Liao Qingxi, Shu Caixia, Tian Boping, et al. Research on the cutting process based on high-speed photography technology for the *Arundo donax* L[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(3): 415 ~ 418 (in Chineses)
- 16 廖庆喜. 免耕播种机锯切防堵装置的高速摄影分析[J]. 农业机械学报,2005,36(1):46 ~ 49.
Liao Qingxi. Analysis on the saw-tooth anti-blocking mechanism for no-tillafe planter by the high speed photography technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(1): 46 ~ 49. (in Chinese)
- 17 马瑞峻,王凯湛,马旭,等. 穴盘水稻秧苗通过分秧滑道的运动仿真与分析[J]. 农业工程学报,2010,26(10):113 ~ 118.
Ma Ruijun, Wang Kaizhan, Ma Xu, et al. The movement simulation and analysis of rice seedlings passing through the separating chutes [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(10): 113 ~ 118. (in Chinese)
- 18 马瑞峻,区颖刚,邵耀坚. 机械手式水稻有序行抛机构的设计[J]. 农业机械学报,2002,33(1):36 ~ 38,42.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Shao Yaojian. Study on manipulator of a seedling throwing device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 36 ~ 38, 42. (in Chinese)
- 19 马瑞峻,区颖刚,王玉兴,等. 穴盘水稻秧苗机械抛栽的农艺要求[J]. 华中农业大学学报,2003,22(1):55 ~ 59.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Wang Yuxing, et al. Study on the agronomic requirement of mechanized throwing rice seedlings sprouted in plastic cell-tray[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22(1): 55 ~ 59. (in Chinese)
- 20 马瑞峻. 机械手拔抛穴盘水稻秧苗的机理研究[D]. 广州:华南农业大学,2001.
Ma Ruijun. A study on the principle of the manipulator for gripping and order throwing of the rice seedlings sprouted in the plastic cell-tray[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2001. (in Chinese)
- 21 王凯湛. 基于虚拟样机的机械手式水稻抛秧机的研究[D]. 广州:华南农业大学,2008.
Wang Kaizhan. Virtual prototyping research of manipulator of rice seedling throwing machine[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 22 王凯湛,马瑞峻. 基于 Pro/E 的机械手式水稻抛秧机的虚拟样机设计[J]. 农机化研究,2008,30(4):89 ~ 93.
Wang Kaizhan, Ma Ruijun. Virtual prototyping design of manipulator of rice seedling throwing machine based on Pro/E[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(4): 89 ~ 93. (in Chinese)
- 23 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 水稻钵苗机械手取秧有序移栽机的改进[J]. 农业工程学报,2003,19(1):113 ~ 116.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Zhao Zuoxi, et al. Development of the order throwing machine for rice seedlings sprouted in the cell-tray[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(1): 113 ~ 116. (in Chinese)
- 24 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 穴盘水稻秧苗拔断力学特性的试验研究[J]. 农业机械学报,2004,35(1):56 ~ 59.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Zhao Zuoxi, et al. Experimental study on fracture mechanic characteristics of rice seedlings sprouted in the plastic cell-tray[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 56 ~ 59. (in Chinese)
- 25 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 穴盘水稻秧苗拔秧力试验研究[J]. 农业机械学报,2005,36(9):32 ~ 36,40.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Zhao Zuoxi, et al. Experimental study on the force of pulling up the rice seedlings sprouted in the plastic cell-tray [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(9): 32 ~ 36, 40. (in Chinese)

(上接第 24 页)

- 12 赵颖,孙群,陈兵旗,等. 基于机器视觉的非结构化道路导航路径检测方法[J]. 农业机械学报,2007,38(6):202 ~ 204.
- 13 Hyun-Chul Choi, Se-Young Oh. Illumination invariant lane color recognition by using road color reference & neural networks [C]//The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Barcelona, 2010:18 ~ 23.
- 14 Gong J W, Wang A S, Zhai Y. High speed lane recognition under complex road conditions[C]// 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2008:566 ~ 570.
- 15 Zheng Tian, Cheng Xu, Xiaodong Wang, et al. Non-parametric model for robust road recognition[C]// 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP), 2010: 24 ~ 28.
- 16 吴刚,谭戡,郑永军,等. 基于改进 Hough 变换的收获机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报,2010,41(2):176 ~ 179.
Wu Gang, Tan Yu, Zheng Yongjun, et al. Walking goal line detection based on improved Hough transform on harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2):176 ~ 179. (in Chinese)