DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.012

基于土壤基质的播种精度检测试验*

张俊雄　马锃宏　李　伟　宋　鹏　董向前
(中国农业大学工学院,北京 100083)

【摘要】 研究了一种基于土壤基质的播种精度检测方法。运动的土槽台车搭载播种机将种子播种到土槽土壤上,同时机器视觉系统动态采集序列图像。采用编码器和 PLC 等实现台车运动距离检测,控制触发面阵摄像机采集序列图像,完成序列图像的硬件拼接;再通过图像处理拼接算法完成种子的目标识别和序列图像的拼接,得出播种机播种精度结果。试验结果表明:匹配粒距率达 85% 以上,正确粒距率达 70% 以上;经多次重复试验后,系统检测的绝对误差在 4% 以内。

关键词:土槽　播种机　播种精度　机器视觉　图像处理
中图分类号:S223.2;TP391.41　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2012)12-0062-05

Seeding Accuracy Test Experiment Based on Soil Substrate

Zhang Junxiong　Ma Zenghong　Li Wei　Song Peng　Dong Xiangqian
(*College of Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract

A seeding accuracy test experiment based on soil substrate was investigated. The moving trolley carried the sowing seeders. Meanwhile, the machine vision system sequential images dynamically were collected. Using encoder and PLC etc., it realized to control camera to collect sequential images through detecting the motion distance of trolley, which realized hardware splicing of the sequential images. In addition of splicing algorithm of image processing, the identification of seeds and the total splicing of the sequential images were completed. Experimental results showed that the matching rate of seed spacing was above 85%, and the accuracy rate of seed spacing was more than 70%. The experiment was repeated many times. The absolute error of the seeding accuracy data was within 4%.

Key words　Soil bin, Seeder, Seeding accuracy, Machine vision, Image processing

引言

播种精度是衡量播种机性能与质量的重要指标,播种精度检测是评价播种机性能和研制高质量播种机的关键环节之一[1]。

播种精度检测主要采用光电效应、压电效应、高速摄影以及机器视觉等技术[2~4],其中机器视觉技术检测方法的检测效率、检测精度和简化试验装备等取得了显著进展[5~6]。目前,机器视觉技术检测方法主要实现形式是:静止的播种机将种子播到运动的传送带上,传送带上刷的油粘住落下的种子形成种子带,种子带通过静止的图像采集装置后获得序列图像,经过图像处理分析后得出播种精度数据。

实际上,播种时播种机是运动的而土壤是静止的,而且播下的种子落在土壤上难免会产生跳动,因此采用上述机器视觉技术检测方法不能准确地模拟播种的实际工况。本文采用播种机运动并播种到静止的土壤,采集播种后的种子图像,经图像处理分析得出播种精度数据,从而能直接准确地模拟播种的实际工况。

收稿日期:2012-02-17　修回日期:2012-06-19
*国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2010AA101401)和国家自然科学基金资助项目(31101079)
作者简介:张俊雄,副教授 博士,主要从事机器视觉、机电一体化技术研究,E-mail:mech18@cau.edu.cn

1　系统基本原理

播种精度检测试验系统主要由土槽系统、台车运动距离检测装置和机器视觉系统组成，其中机器视觉系统分为图像采集装置和图像处理装置两大部分，如图 1 所示。

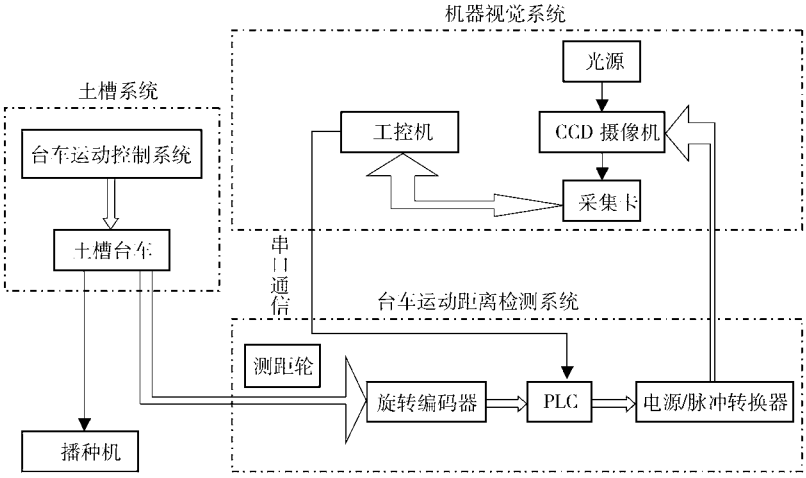

图 1　系统结构示意图

Fig. 1　Schematic diagram of system structure

土槽系统主要由土槽台车、轨道、土壤以及台车运动控制系统等组成。播种机和机器视觉系统分别固定连接在土槽台车前、后两端。试验时，由于采集系统的需要，播种机覆土机构被悬空。播种机随土槽台车一起运动并播下种子到土槽土壤上形成种子带，同时固定连接在土槽台车后端的图像采集装置动态采集并生成序列图像，序列图像输入图像处理装置经图像处理、分析、计算后输出播种精度数据。

2　硬件设计

检测系统硬件整体安装结构如图 2 所示。播种机置于台车前端，由台车动力输出轴驱动排种器。CCD 摄像机、光源、工控机等构成的机器视觉系统置于台车后端。台车运动距离检测装置固定连接在视觉系统框架上。

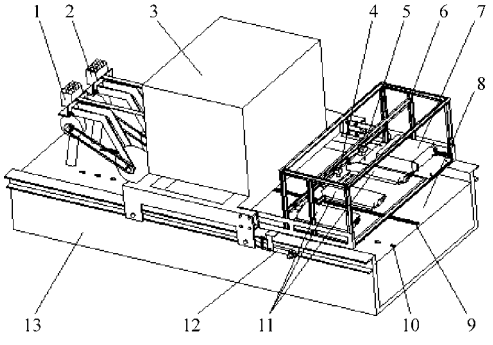

图 2　硬件安装结构示意图

Fig. 2　Schematic diagram of hardware installation structural

1. 播种单体 I　2. 播种单体 II　3. 土槽台车　4. CCD 摄像机 I　5. CCD 摄像机 II　6. 铝型材框架　7. 工控机　8. 土槽土壤　9. 种子带 II(条播)　10. 种子带 I(精播)　11. 光源　12. 土槽台车运动距离检测装置　13. 土槽轨道

2.1　台车运动距离检测装置

土槽台车运动距离检测装置主要由测距轮装置、旋转编码器和 PLC 组成。如图 3 所示。测距轮沿着土槽轨道外侧导轨面运动，为了使测距轮在运动过程中始终与导轨面保持良好接触并减少打滑，在测距轮的另一端加装拉伸弹簧并使其始终处于拉伸状态，以保证测距轮在运动过程中与导轨面始终保持一定的压力。

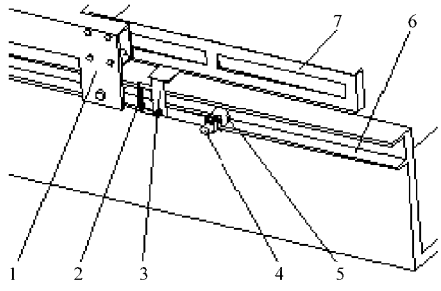

图 3　测距装置安装结构示意图

Fig. 3　Schematic diagram of ranging device installation structure

1. 土槽台车　2. 弹簧　3. 连接板　4. 旋转编码器　5. 测距轮　6. 土槽轨道　7. 角铁架

旋转编码器型号为 E6B2 - CWZ6C，方波脉冲输出，分辨率为 2 000 脉冲/r。采用西门子 PLC (S7 -200CN CPU 224XPCN)接收脉冲，通过 PLC 程序实现每接收一定个数脉冲输出一个 24 V 脉冲，再经过电源/脉冲转换器转换成摄像机可接收的 TTL 脉冲。由于测距轮每转一圈对应台车运动一定距离，所以台车运动距离检测装置实现了台车每运动一定距离输出一个 TTL 脉冲。

2.2 机器视觉系统

机器视觉系统包含 2 个通道的摄像机、光源和采集卡,可以同时检测 2 个排种器的播种情况。

土槽全长约 50 m,其中土槽台车有效运行长度约 40 m,精密播种粒距一般为 30 ~ 300 mm。以最大可能的理论粒距 300 mm 为依据,为使每次试验中拼接粒距尽可能少,采集每帧图像长度应大于 2 个理论粒距。设置每帧图像长度 b 为 600 mm,摄像机工作距离 W 为 800 mm,根据实际工况选择型号为 OK - AC1300 面阵彩色 CCD 摄像机,CCD 靶面尺寸为 7.6 mm × 6.2 mm,有效视频像元素为 1 300 × 1 024。

根据小孔成像原理[1,7]可得所需镜头焦距为

$$f = \frac{M_y W}{b} = \frac{7.6 \times 800}{600} = 10.13 \tag{1}$$

式中 f——焦距,mm

M_y——CCD 在图像长度上尺寸,mm

参照镜头标准焦距系列(8.0、12.5、16.0、25.0、50.0 mm)选择 8.0 mm 镜头。结合实际工况综合考虑,选择型号为 OK_RGB10B 采集卡。

土槽台车运动距离检测装置发出的 TTL 脉冲触发 CCD 摄像机采集图像。土槽台车运动距离检测装置每检测到台车运动一定距离 L 发出一个 TTL 脉冲,每一个脉冲触发 CCD 摄像机采集一帧图像,如图 4 所示。采集图像尺寸为 $a \times b$,分别通过相应程序可以设定每次检测的台车运动距离 L 与图像长度 b 相等($L = b$)。在不考虑其他误差的情况下,采集生成的序列图像按顺序首尾拼接能够无间断、无重复地反映种子带的实际情况,理论上实现了图像的拼接。

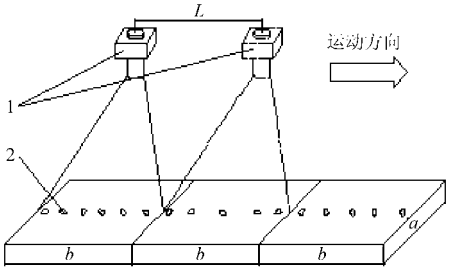

图 4 图像拼接原理图

Fig. 4 Schematic diagram of images combination

1. CCD 摄像机 I 2. 种子带 I(精播)

PLC 内部由高速计数器接收旋转编码器(2 000 脉冲/r)输出脉冲,当高速计数器的当前值等于预设值 N 时产生中断输出 24 V 脉冲,设测距轮直径 D,则有

$$L = \frac{\pi D}{2\,000} N \tag{2}$$

2.3 检测流程

播种精度检测的流程如图 5 所示。根据国家标准 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》[8]中要求,计算重播、漏播,进而得出播种精度数据。

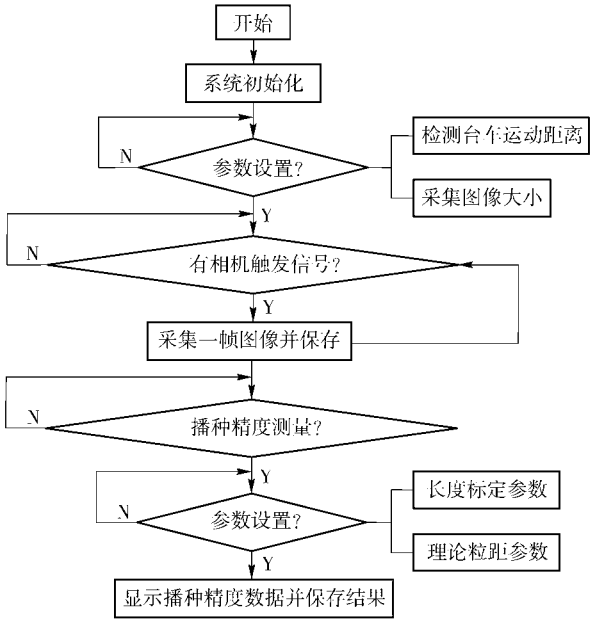

图 5 系统软件设计流程图

Fig. 5 Flowchart of system software design

其中,理论粒距的设置与排种器的控制相关。设排种盘转速为 n,且排种盘圆周上排种孔数为 m,土槽台车运动速度为 v,则播种理论粒距 x_r 为

$$x_r = \frac{60}{nm} v \tag{3}$$

3 播种精度图像处理算法

检测系统中采用黑色土壤为背景。经实际观察分析发现,影响图像处理的主要因素有土壤颗粒大小、含水率和杂质。土壤颗粒大,使得土壤表面凹凸程度大,播撒到土壤表面上的目标物体有可能进入凹坑而被遮挡或光照不足;大颗粒土块顶端容易风干而形成拍摄到图像中的白点噪声。试验发现,一定的含水率可使得拍摄到图像中目标物体与背景颜色区分明显,提高了后续阈值分割的效果,但含水率过大也会使得土壤颗粒变大,从而带来不利影响。土壤中某些杂质也会影响到图像处理效果,尤其是达到一定体积且颜色与目标物体相似的杂质,在图像处理中容易被误判为目标物体。因此保持土壤含水率适中,并去除大体积杂质能简化后续图像处理。

通过对图像分析可得,采用 R 通道阈值能很好地分离目标物体和背景,然后采用 3 × 3 的模板平滑处理去除微小的杂点噪声。图像处理算法主要流程如图 6 所示。

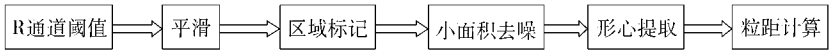

图 6　图像处理算法流程

Fig. 6　Flowchart of image processing algorithm

其中，基于序贯算法的区域标记需要对图像进行 2 次扫描[1]。第 1 次为连通性扫描（4 连通或 8 连通），扫描的同时建立等价标记表[9]，本文采用 4 连通扫描；第 2 次扫描中，使用这一等价标记表给连通区域中所有像素点的标记归一化。这种方法的特点是单位时间处理数据量少，对内存要求不高，比较适于单一类型数据处理的实时检测中。

选取试验采集到的序列图像，以相同参数对序列图像进行处理并统计一定数量的完整玉米种子区域面积，求其平均值。根据这一平均值，采用基于区域面积大小的方法将种子区域分为单粒种子、2 粒种子重叠、3 粒种子重叠以及多粒种子重叠（由于 4 粒及 4 粒以上种子重叠现象很少见，因此将此种重叠现象统一按 4 粒种子重叠处理）。当区域被区分为 M 粒种子重叠时，则按（$M-1$）个间距为零的粒距处理（实际上处在重叠区的粒距很小，将其统一按粒距为零处理后，不会影响后续的重播漏播计算）。

设图像左上角为坐标原点，向右为 X 轴正向，向下为 Y 轴正向，每个区域标记中心坐标为（$\bar{x}_o$，$\bar{y}_o$），则中心坐标计算公式为[10]

$$\begin{cases} \bar{x}_o = \dfrac{\sum_{i=0}^{p-1}\sum_{j=0}^{q-1} jB[i,j]}{A} \\ \bar{y}_o = \dfrac{\sum_{i=0}^{p-1}\sum_{j=0}^{q-1} iB[i,j]}{A} \end{cases} \tag{4}$$

其中　　$$A = \sum_{i=0}^{p-1}\sum_{j=0}^{q-1} B[i,j]$$

式中　$B[i,j]$——区域的标记值

设前一帧图像最后一粒种子到图像末端距离为 D_L，后一帧图像最前一粒种子到图像最前端距离为 D_R，则 2 粒种子粒距 P 为

$$P = D_L + D_R \tag{5}$$

相邻帧图像粒距计算原理[11]如图 7 所示。

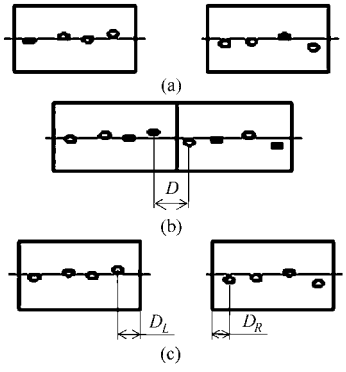

图 7　相邻帧图像粒距计算原理图

Fig. 7　Schematic diagram of measuring seed spacing between two adjacent images

（a）相邻帧图像　（b）相邻帧图像拼接　（c）测量种子粒距

4　试验及分析

为进一步研究分析该检测系统，进行了试验。试验采用气吸式精密播种机，风压 -3.5 kPa，排种盘上排种孔个数为 24。试验所用的土槽总长 40 m，分为 3 个区，两侧为长度分别为 10 m 的缓冲区，中间为 20 m 的有效测量区。试验采用黑色土壤，并且杂质少，含水率适中。

4.1　试验及数据统计

4.1.1　检测粒距匹配程度的对比试验

试验时，先播下玉米种子到土槽土壤，并用直尺测量种子实际粒距，然后用该检测系统连续进行 3 次重复检测，得到序列粒距数据，最后将直尺测量种子实际粒距与系统检测粒距进行对比。按理论粒距分别为 150、200 和 250 mm 进行 3 组试验，统计数据结果如表 1 所示。表中检测粒距与测量粒距的匹配是根据对应粒距个数尽量多且对应粒距绝对误差尽量小的原则进行的，并在此基础上考虑到各种随机误差的存在，匹配粒距中设检测粒距与测量粒距绝对误差值不大于 4 mm 为正确粒距。

4.1.2　播种精度整体试验

试验时，以理论粒距 200 mm 为例，先播下玉米种子到土槽土壤上并用直尺测量种子实际粒距，然后根据国家标准 GB/T 6973—2005《单粒（精密）播种机试验方法》计算得出播种精度数据。再用该检测系统重复进行 6 次检测试验并得出播种精度数据，最后将计算结果与检测结果进行对比，统计结果如表 2 所示。

4.2　试验结果分析

由表 1 可知，匹配粒距率为 85% 以上，正确粒距率为 70% 以上。而且随着理论粒距的增加，匹配粒距率和正确粒距率均有所增加。由表 2 可知，检测系统的检测绝对误差在 4% 以内。

影响粒距匹配度及正确度，进而影响播种精度检测结果的原因有如下几点：

表 1 检测粒距与测量粒距的匹配度与准确度

Tab. 1 Matching and accuracy of seed spacing of system detecting compared with survey calculation

序号	粒距数	匹配粒距数	匹配粒距率/%	正确粒距数	正确粒距率/%	备注
1	147	131	85.62	108	70.59	实际粒距数为 153 理论粒距为 150
	153	143	93.46	116	75.82	
	143	135	88.24	110	71.90	
2	129	119	92.25	95	73.64	实际粒距数为 129 理论粒距为 200
	128	118	91.47	99	76.74	
	131	121	93.80	103	79.84	
3	110	105	94.59	89	80.18	实际粒距数为 111 理论粒距为 250
	110	108	97.30	89	80.18	
	110	107	96.40	87	78.38	

表 2 系统检测结果统计

Tab. 2 Statistic of system detecting results

序号	合格指数/%	重播指数/%	漏播指数/%	变异系数/%	粒距平均值/mm	标准差/mm
第 1 次	74.78	14.78	10.43	11.96	197.18	23.58
第 2 次	70.91	18.18	10.91	12.96	197.21	25.56
第 3 次	70.37	18.52	11.11	13.15	197.57	25.98
第 4 次	73.21	16.07	10.71	12.88	198.40	25.55
第 5 次	72.73	18.18	9.09	12.54	197.24	24.74
第 6 次	70.54	17.86	11.61	12.77	197.01	25.16
测量计算	74.56	15.79	9.65	12.80	197.95	25.33

注:实际粒距数为 121;理论粒距为 200 mm。

(1)土槽土壤条件不均。土壤的湿度不同,采集图像背景颜色不同,进而影响图像处理中种子目标提取的正确性;土壤中含有少量的杂物,会在后续图像处理中被误识别为种子。

(2)硬件图像拼接误差。试验过程中,检测台车运动一定距离产生一个脉冲触发摄像机采集图像一帧。但实际中,不可避免地存在测距轮打滑、震动及其他干扰,使得检测台车运动距离存在误差。

(3)长度标定误差。采集每帧图像大小相同,由于在土槽长度方向上土壤表面高度不均,所以采集到的每帧图像对应的长度不完全相等。而检测试验开始前,先在土槽前、中、后 3 处分别进行长度标定后取平均值,后将此平均值代入进行图像处理参数,从而导致最终计算结果产生误差。

5 结论

(1) 采用机器视觉技术基于土壤基质的播种测量方法,不同以往播种在油带上的测量方法,而是播到真实的土壤上进行测量,更准确地模拟播种机实际工况。

(2) 检测系统能自动获得播种精度数据(播种量、重播指数、漏播指数、合格指数、变异系数等),可实现快速而准确检测播种精度。

(3)采用编码器和 PLC 控制机器视觉系统触发摄像头采集序列图像,实现序列图像的硬件拼接,再加上图像处理拼接算法,达到较高的图像拼接精度。

参 考 文 献

1 李伟. 基于机器视觉的播种精度检测技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.
Li Wei. Study on seeding accuracy test technology based on computer vision[D]. Beijing:China Agricultural University,2004. (in Chinese)

2 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 CSAE, 2009,25(9):90~95. (in Chinese)

3 马旭,王剑平,胡少兴,等. 用图像处理技术检测精播排种器性能[J]. 农业机械学报,2001,32(4):34~37.
Ma Xu, Wang Jianping, Hu Shaoxing, et al. Detection of a precision seedmeter performance using image processing technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(4):34~37. (in Chinese)

4 胡少兴,查红彬,马成林. 基于序列图像的排种器性能检测方法[J]. 农业机械学报,2004,35(1):52~55,64.
Hu Shaoxing, Zha Hongbin, Ma Chenglin. Detection method to quality of the seed metering based on the serial of images[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(1):52~55,64. (in Chinese)

(下转第 71 页)

参 考 文 献

1 曹文，丁俊华，李在臣. 机械式精密排种器的研究与设计[J]. 农机化研究，2009，31(7)：142～145.
Cao Wen, Ding Junhua, Li Zaichen. Research and design of mechanical precision metering[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 142～145. (in Chinese)

2 廖庆喜，高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器排种性能试验研究[J]. 农业工程学报，2003，19(1)：99～103.
Liao Qingxi, Gao Huanwen. Experimental study on performance of horizontal disc precision meter for corn seed [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(1): 99～103. (in Chinese)

3 廖庆喜，高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器种子破损试验[J]. 农业机械学报，2003，34(4)：57～59.
Liao Qingxi, Gao Huanwen. Experimental study on corn seed damaging in a horizontal plate precision metering [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4): 57～59. (in Chinese)

4 夏连明，王相友，耿端阳，等. 丸粒化玉米种子精密排种器[J]. 农业机械学报，2011，42(6)：53～57.
Xia Lianming, Wang Xiangyou, Geng Duanyang, et al. Precision seed-metering device for pelleted corn seeds [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 53～57. (in Chinese)

5 夏连明. 玉米精量播种机关键部件研究[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2011.
Xia Lianming. Research on key components for maize precision planter[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011. (in Chinese)

6 Xia Lianming, Wang Xiangyou, Geng Duanyang, et al. Experimental study on seed damaging in a precision metering for pelleted seeds [J]. International Agricultural Engineering Journal, 2011, 20(2): 53～56.

7 夏连明，王相友，耿端阳，等. 基于 BP 神经网络的排种器充种性能预测[J]. 农机化研究，2011，33(12)：123～125.
Xia Lianming, Wang Xiangyou, Geng Duanyang, et al. Prediction for performance of sees-metering process based on BP neural network[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(12): 123～125. (in Chinese)

8 徐向宏，何明珠. 试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用[M]. 北京：科学出版社，2010.

9 刘宏新，王福林. 作业参数对立式圆盘排种性能的影响[J]. 农业机械学报，2007，38(12)：89～92.
Liu Hongxin, Wang Fulin. Effects of working parameters on performances of vertical plate seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 89～92. (in Chinese)

10 王朝辉. 气吸滚筒式超级稻育秧播种器的基本理论及试验研究[D]. 长春：吉林大学，2010.
Wang Chaohui. Research of theory and experiment on air suction cylinder device for tray nursing seedling of super-rice[D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chinese)

(上接第 66 页)

5 王玉顺，郭俊旺，赵晓霞，等. 基于机器视觉的条播排种器性能检测及分析[J]. 农业机械学报，2005，36(11)：50～54，49.
Wang Yushun, Guo Junwang, Zhao Xiaoxia, et al. Performance detection and analysis of a machine vision based metering mechanism of drill [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 50～54, 49. (in Chinese)

6 吴海平，王玉顺，安爱琴，等. 精密排种器质量的机器视觉检测与分析[J]. 山西农业大学学报，2008，28(3)：324～328.
Wu Haiping, Wang Yushun, An Aiqin, et al. Detection and analysis on seeding quality of metering mechanism of precision drills based on machine[J]. Shanxi Agricultural University Journal, 2008, 28(3): 324～328. (in Chinese)

7 雷福宝. 基于线阵 CCD 的玉米播种均匀性在线检测技术研究[D]. 保定：河北农业大学，2011.
Lei Fubao. Study on technology of on-line detection for uniformity in corn planting based on line CCD [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2011. (in Chinese)

8 GB/T 6973—2005　单粒(精密) 播种机试验方法[S]. 2005.
GB/T 6973—2005　Testing methods of single seed drills (precision drills)[S]. 2005. (in Chinese)

9 李冬霞，曾禹村. 基于速度特征矢量提取运动目标的图像分割方法[J]. 北京理工大学学报，2000，20(3)：347～351.
Li Dongxia, Zeng Yucun. An image segmentation method based on velocity feature vector for moving target extraction[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2000, 20(3): 347～351. (in Chinese)

10 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京：电子工业出版社，2001.

11 李伟，林家春，毛恩荣. 种子动态图像匹配与拼接技术研究人[J]. 中国图象图形学报，2004，9(5)：578～583.
Li Wei, Lin Jiachun, Mao Enrong. A study on matching and joining techniques of dynamical image of seeds[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(5): 578～583. (in Chinese)