甘蔗地面激励对砍蔗质量的影响*

赖　晓[1]　李尚平[2]　麻芳兰[3]　周敬辉[1]　李　婉[3]

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 南宁 530004; 2. 钦州学院, 钦州 535000; 3. 广西大学机械工程学院, 南宁 530004)

【摘要】 以虚拟仪器采集到的典型蔗地路谱为基础,通过虚拟仿真分析以及试验验证,探索甘蔗地特有的丘陵地貌路谱激励对砍蔗质量的影响。试验表明蔗地路谱激励对砍蔗质量有一般显著的影响,并且随着激励频率的增大砍蔗质量有降低的趋势。

关键词: 甘蔗　地面激励　砍蔗质量　仿真

中图分类号: S225.5⁺3　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2011)12-0097-05

Effect of Field Excitation on Cutting Quality for Sugarcane

Lai Xiao[1]　Li Shangping[2]　Ma Fanglan[3]　Zhou Jinghui[1]　Li Wan[3]

(1. *Light Industry and Food Engineering Institute*, *Guangxi University*, *Nanning* 530004, *China*

2. *Qinzhou University*, *Qinzhou* 535000, *China*

3. *College of Mechanical Engineering*, *Guangxi University*, *Nanning* 530004, *China*)

Abstract

Mechanism of field excitation impacted the quality of sugarcane cutting were analyzed through virtual simulation analysis and physical experiment based on typical sugarcane field excitation signals acquired by virtual apparatus. The experiment result showed that sugarcane field unevenness had the vibration of the cutter, and the higher the frequency, the more deteriorated the sugarcane cutting quality.

Key words　Sugarcane, Field excitation, Cutting quality, Simulation

引言

甘蔗切割质量是影响甘蔗收获机械推广的关键,国内外不少学者已从切割刀具的运动学、动力学及对甘蔗的影响进行了研究[1~4]。在我国,甘蔗广泛种植在南方丘陵地上,起伏不平的蔗地路谱会引起收获机械的振动,特别是切割系统的振动,从而成为影响砍蔗质量不容忽略的一个因素。本文通过虚拟仪器实地采集典型甘蔗地貌振动路谱,以更拟实的仿真与物理试验,研究蔗地激励对砍蔗质量的影响。

1　甘蔗地路谱采集

蔗地路谱采集试验采用五轮仪法[5],原理示意图如图 1 所示。一个 PM - LAS 型双轴加速度传感器安装在五轮仪上,采集到的蔗地路谱加速度信号经调理电路,传送到 NI USB - 6221 型数据采集卡,通过 A/D 转换后输入计算机信号采集系统。整个系统的电源由车载电瓶供给。计算机信号采集的控制系统由虚拟仪器软件 LabView 程序编写而成,如图 2 所示。

路谱采集试验地点选择在广西甘蔗主产区有代表性的丘陵地,南宁市郊金光农场周边等地。蔗地类型包括不同干湿情况的平地和坡地(坡度 18° ~ 26°)。试验车为钦机海豹 130 型农用车,车轮行驶在两行蔗地垄沟内。五轮仪的安装如图 3 所示。五轮仪调节支架安装在农用车右边备胎支架上,紧跟在农用车右后轮之后,使农用车右轮和五轮仪车轮

收稿日期: 2010 - 11 - 17　修回日期: 2011 - 06 - 12

* 科技部科技人员服务企业行动项目(2009GJE10008)、广西壮族自治区科学技术厅科技攻关项目(桂科攻 0992002 - 18)、广西制造系统与先进制造技术重点实验室资助项目(桂科能 07109008_021_K)和 2009 年广西研究生教育创新计划资助项目(105930901023)

作者简介: 赖晓,博士生,主要从事先进制造技术、CAD/CAE 研究,E-mail: dawnlx1979@126.com

通讯作者: 李尚平,教授,博士生导师,主要从事先进制造技术、CAD/CAE 及制造技术信息化研究,E-mail: spli501@vip.sina.com

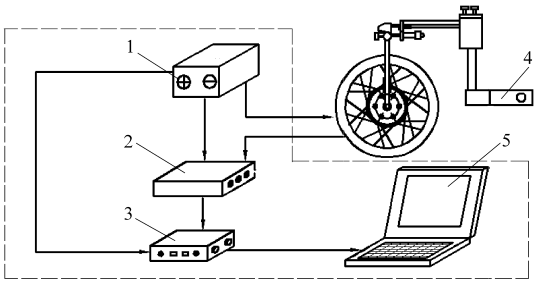

图 1 蔗地路谱采集试验原理示意图

Fig. 1 Data acquisition system of sugarcane field unevenness

1. 电源 2. 调理电路 3. 采集卡 4. 五轮仪及加速度传感器 5. 计算机

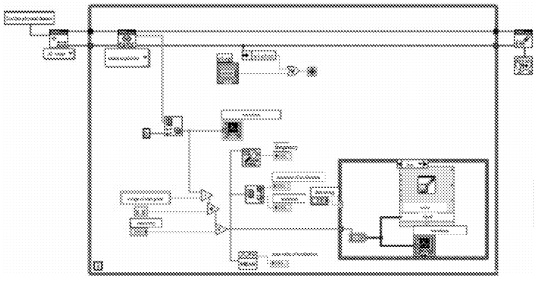

图 2 数据采集 LabView 程序

Fig. 2 Data acquisition procedure module in LabView

图 3 蔗地路谱采集试验场景

Fig. 3 Test scene pictures

车辙轨迹相同。加速度传感器固定在五轮仪轮心支架上。根据采样定律,确定采样频率为 1 000 Hz。

将采集到的信号在 LabView 中加窗和低通滤波后进行时频谱分析,得到蔗地加速度响应波形,其中一段坡度为 26°的坡地路段的波形如图 4 所示。时域分析显示,车速 0.92 m/s 时,坡地最大加速度为 0.98 m/s^2,最小加速度为 -2.12 m/s^2。平地最大加速度为 0.32 m/s^2, 最小加速度为 -1.09 m/s^2。频域综合分析显示,蔗地平均加速度响应频率范围均在 0 ~ 0.30 Hz 之间,在 0.05 ~ 0.07 Hz 时幅值最大。

2 甘蔗路谱激励信号还原

加速度传感器上的信号为

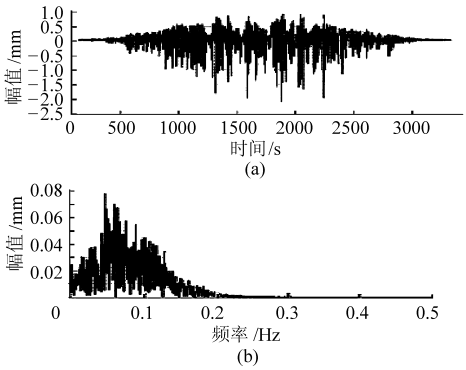

图 4 蔗地加速度响应时域及频域波形

Fig. 4 Acceleration response spectrum

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{HX} \tag{1}$$

式中 $\boldsymbol{H}$——传递函数(激励至加速度传感器轴头)

$\boldsymbol{X}$——蔗地激励信号

提取还原蔗地激励信号 $\boldsymbol{X}$ 可由 $\boldsymbol{X} = \boldsymbol{H}^{-1}\boldsymbol{Y}$ 求得[6]。传递函数 $\boldsymbol{H}$ 则由标准信号标定试验获得。图 5 为加速度传感器采集到的加速度信号与相应还原得到的蔗地路谱加速度、速度及位移激励信号。图 6 为平地和坡地时域位移激励信号。

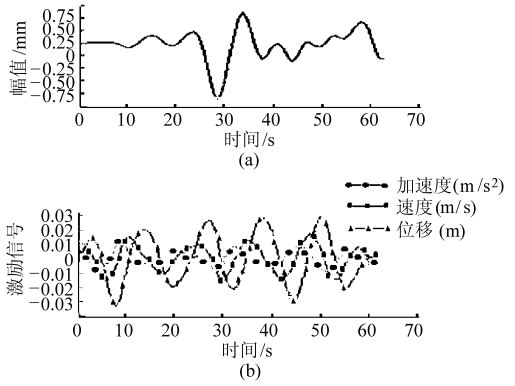

图 5 采集到的加速度信号与还原的激励信号

Fig. 5 Response signal and excitation signals

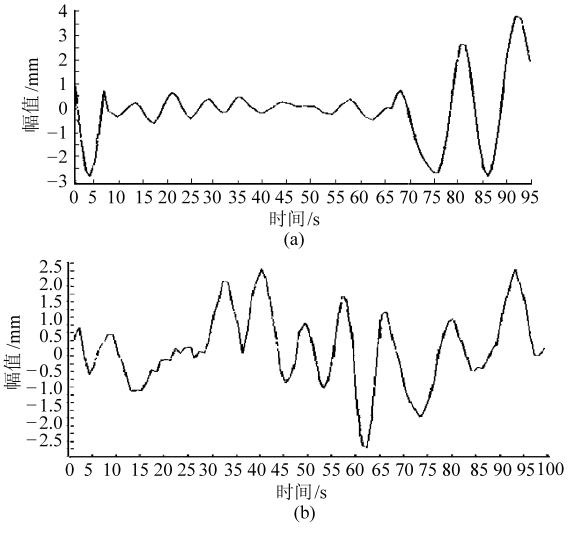

图 6 平地和坡地时域位移激励信号

Fig. 6 Excitation signals of hill roads and flat land

(a) 平地 (b) 坡地

3　收获机刀盘受蔗地路谱影响的振动仿真

为有效快捷地分析路谱对砍刀系统的振动影响，可以通过建立数字模型，添加各种载荷，在虚拟样机软件 ADAMS 中模拟现实中甘蔗收获机砍蔗机构的动力学状态，对其进行实时分析。

图 7 是在虚拟样机软件 ADAMS 中建立的甘蔗收获机砍蔗系统在典型蔗地路面行走模型。将采集到的蔗地路谱激励信号作为封闭的样条曲线，然后拉伸成蔗地路面实体。为了更清楚地看到蔗地路面经轮胎通过传动轴传到砍刀的动力状态，减少系统运算量，收获机模型作了相应的简化，只保留了轮胎、传动轴和砍刀系统，去掉了车身台架等部件。但整车质量仍然保留，即在重心处加载了质量 2 690 kg。收获机轮距为 1 200 mm，车胎宽度为 215 mm，行走速度为 0.4 m/s。砍刀机构为双刀盘结构，每个刀盘上相隔 180°设置 2 把刀，刀盘心轴距离收割机前轴 600 mm。给砍刀轴与车体、车轮与底盘添加旋转副，路面与车轮间添加碰撞力，车子后轮添加驱动力。在砍刀刀盘边缘上设置测量点 MAKER 点，测量其在整个路面上的垂直方向振动。在平地和 26° 坡地路谱激励下测得的刀盘振动曲线如图 8 所示[7]。

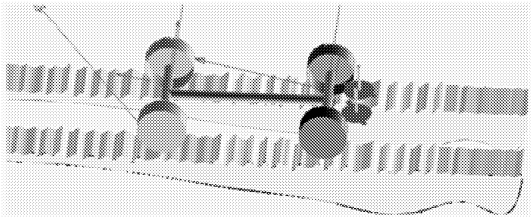

图 7　甘蔗收获机路谱振动测试模型

Fig. 7　Vibration test model of sugarcane harvester cutter on field excitation

由图 8 可见，砍刀刀盘在 0.20 Hz 主频时平地路况激励下平均振动幅值为 0.221 mm，坡度为 26° 路况激励下平均振动幅值为 0.304 mm。坡地蔗地路谱比平地路谱使砍刀振动有较明显增大。

4　路谱振动影响砍蔗质量的物理试验

路谱振动对砍蔗质量影响的室内试验在广西大学甘蔗收获机研究室进行。路谱激振实现的工作原理如图 9 所示。

试验台架示意图如图 10 所示，由带 LabView 系统的计算机、NI 数据采集卡、带电液比例控制阀的液压站及甘蔗收获试验整合台架组成。其中，甘蔗收获试验整合台架包括一条输送甘蔗的可自动调速滑轨、三相异步电动机、液压马达、采集振动信号的

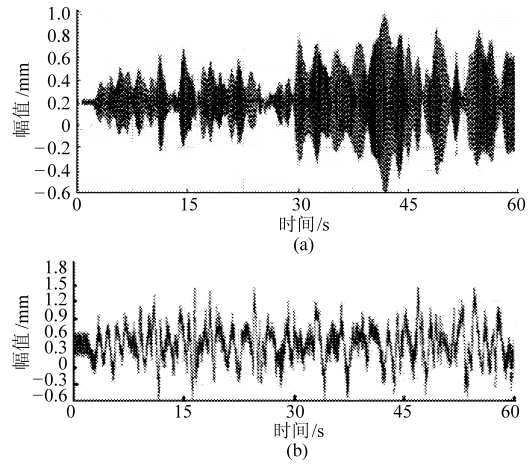

图 8　0.20 Hz 主频平地与坡地路谱激励下砍刀时域振动曲线

Fig. 8　Axial vibration of blade when harvester walking on 0.20 Hz flat and hill field roads

(a) 平地　(b) 坡地

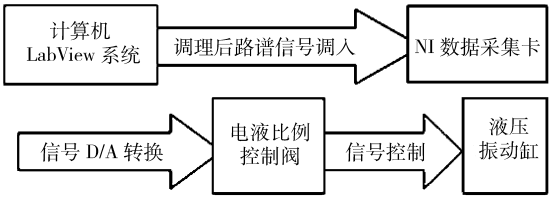

图 9　路谱激振实现的工作原理

Fig. 9　Principle of field excitation experiment executing

涡流传感器以及显示与分析信号的 QLVPR－3 型波形显示记录仪。砍蔗装置采用双刀盘结构，刀盘直径 600 mm、盘面倾角 0°、每个刀盘上安装 2 把矩形刀片、伸出刀盘外长度 70 mm、2 个刀盘上的刀片角度错开 90°。刀盘动力为 CM－F40－FL 型液压马达。SLM8500 型电涡流位移传感器装在刀盘边缘上方 1 mm 处。

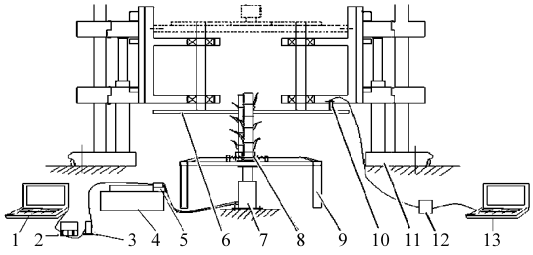

图 10　试验台架示意图

Fig. 10　Schematic diagram of experimental apparatus

1. PC(路谱激励信号输出)　2. NI DAQ 数据采集卡　3. 电液比例阀功率放大器　4. 液压站　5. 电液比例阀　6. 砍蔗刀盘　7. 路谱激振液压缸(给予导轨相对振动)　8. 甘蔗弹性夹持装置　9. 甘蔗输送进给导轨　10. 涡流传感器　11. 砍蔗台架　12. 涡流传感器前置器　13. QLVPR－3 型波形显示记录仪

采用正交试验方法，以刀盘振幅和砍蔗质量综合评分值为指标[7]，蔗地路谱频率、甘蔗进给速度、

甘蔗根数和刀盘转速为试验因素。其中,砍蔗质量综合评分值是依照文献[7]的模糊综合评分法将一般评价砍蔗质量的4个指标即甘蔗截面裂纹数 a、最大裂纹长度 b、最大裂纹厚度 c 及截面台阶数 d 转换为单指标的综合评分值。按照该方法,先将各因素的取值无量纲化为0~1之间的值,再按基于熵值法的加权平均法计算得上述4个指标的权重分别为0.214、0.544、0.055、0.187,即:砍蔗质量综合评分值为 $0.214a+0.544b+0.055c+0.187d$。试验结果如表1所示。对刀盘振幅方差分析如表2所示。

表1 试验方案和试验结果

Tab.1 Design and results of experiment

试验号	试验因素				指标	
	蔗地路谱频率 A/Hz	甘蔗进给速度 B /m·s^{-1}	甘蔗根数 C	刀盘转速 D/r·min^{-1}	砍蔗质量综合评分	刀盘振幅/mm
1	0.05	0.2	1	600	20.05	0.21
2	0.05	0.3	2	800	14.33	0.19
3	0.05	0.4	3	1 000	13.35	0.23
4	0.10	0.2	1	800	19.72	0.22
5	0.10	0.3	2	1 000	25.45	0.38
6	0.10	0.4	3	600	20.35	0.27
7	0.15	0.2	2	600	28.02	0.26
8	0.15	0.3	3	800	23.77	0.31
9	0.15	0.4	1	1 000	20.56	0.29
10	0.20	0.2	3	1 000	19.72	0.35
11	0.20	0.3	1	600	31.32	0.28
12	0.20	0.4	2	800	27.36	0.26
13	0.25	0.2	2	1 000	23.22	0.37
14	0.25	0.3	3	600	34.22	0.31
15	0.25	0.4	1	800	28.07	0.24
16	0.30	0.2	3	800	31.27	0.37
17	0.30	0.3	1	1 000	29.10	0.33
18	0.30	0.4	2	600	38.56	0.36

表2 刀盘振幅的方差分析

Tab.2 Variance analysis of cutter vibration

方差来源	平方和	自由度	方差	F	显著性
A	0.032	5	0.006	4.834	显著
B	0.002	2	0.001	0.829	不显著
C	0.008	2	0.004	2.829	不显著
D	0.012	2	0.006	4.317	显著
误差 e	0.008	6	0.001		

由表2可知,蔗地路谱频率和刀盘转速对刀盘振动影响显著。图11显示,0.05 Hz路谱频率激励时刀盘振幅平均为0.21 mm,0.30 Hz路谱频率激励时刀盘振幅平均为0.35 mm,比低频路面激励时刀盘振动增大了66.6%。这与仿真分析的结果基本吻合。

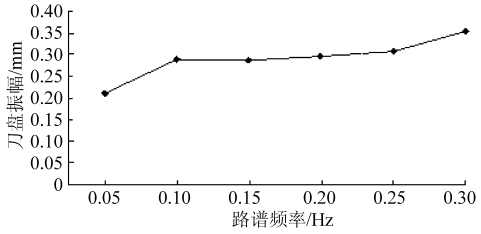

图11 路谱频率与刀盘振幅关系曲线

Fig. 11 Frequencies of field *vs* cutter vibration

对砍蔗质量方差分析如表3所示。由表3可知,蔗地路谱和刀盘转速对砍蔗质量影响显著。图12显示,随着蔗地路谱频率增大,甘蔗切割质量变差,甘蔗断面裂纹增多,裂缝较大、较深。

表3 砍蔗质量的方差分析

Tab.3 Variance analysis of sugarcane cutting quality

方差来源	平方和	自由度	方差	F	显著性
A	511.634	5	102.327	7.901	显著
B	12.574	2	6.287	0.485	不显著
C	28.378	2	14.189	1.096	不显著
D	133.181	2	66.591	5.142	显著
误差 e	77.706	6	12.951		

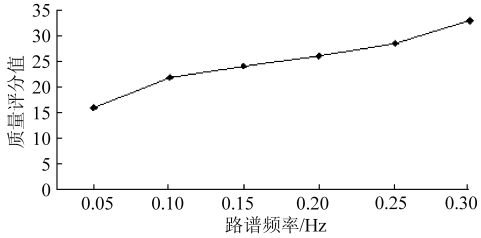

图12 路谱频率与砍蔗质量关系曲线

Fig. 12 Frequencies of field *vs* cutting quality

为了进一步验证砍蔗质量随蔗地路谱频率增大而变差,进一步以路谱频率为单因素,砍蔗质量综合评分值为指标进行试验验证。试验仪器与上述正交试验相同,砍蔗刀盘安装位置不变,甘蔗进给速度为0.4 m/s,甘蔗根数为1根,刀盘转速1 000 r/min,路谱频率则从0.05 Hz到0.30 Hz,每组试验进行5次。试验结果与方差分析如表4、5所示。

表4 单因素试验结果

Tab.4 Results of single factor experiment

试验号	路谱频率/Hz					
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
1	11.28	18.41	21.14	20.54	29.73	32.46
2	18.67	12.38	13.37	19.88	34.52	22.38
3	19.22	25.32	23.55	33.76	20.33	20.32
4	13.25	16.66	15.68	16.64	26.15	26.54
5	20.14	17.57	20.83	18.48	19.39	24.66

表 5　单因素试验砍蔗质量的方差分析

Tab. 5　Variance analysis of sugarcane cutting quality of single factor experiment

误差来源	偏差平方和	自由度	均方差	统计量 F	临界值	显著性
路谱频率	386.2	5	77.24	2.82	$F_{0.1}(5,24)=2.62$	显著
误差	656.6	24	27.35			
总和	1 043	29				

表 4、表 5 表明，0.05 Hz 到 0.30 Hz 路谱激励对砍蔗质量有一般显著的影响，随着蔗地激励频率的增大，砍蔗质量有降低的趋势。

5　结束语

结合仿真和试验的方法，比较和分析了蔗地路谱激励下对刀盘砍蔗时振动影响以及对应的甘蔗断面切割质量。结果表明，蔗地路谱激励对砍蔗时刀盘的振动有较为明显影响，随着蔗地激励频率的增大，砍蔗质量有降低的趋势。

参　考　文　献

1　刘庆庭，区颖刚，卿上乐，等. 甘蔗茎秆切割机理研究[J]. 农机化研究，2007(1)：21～24.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. Study on the cutting mechanism of sugarcane stem[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(1): 21～24. (in Chinese)

2　Mello R D C, Harris H. Cane damage and mass losses for conventional and serrated basecutter blades [C]// Proceedings of Australia Sugar Cane Technology Meeting, 2000(22): 84～91.

3　杨家军，谢化斌，汤双清. 小型甘蔗收割机切割器结构动态设计[J]. 湖北工学院学报，2003，18(2)：3～5.
Yang Jiajun, Xie Huabin, Tang Shuangqing. Dynamic design of minitype sugarcane harvester[J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2003, 18(2): 3～5. (in Chinese)

4　杨坚，梁兆新，莫建霖，等. 甘蔗切割器切割质量影响因素的试验研究[J]. 农业工程学报，2005，21(5)：60～64.
Yang Jian, Liang Zhaoxin, Mo Jianlin, et al. Experimental research on factors affecting the cutting quality of sugarcane cutter [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 60～64. (in Chinese)

5　王宵峰，杨春伟，杜永昌. 道路模拟控制系统的研制和开发[J]. 仪表技术与传感器，2004(10)：22～25.
Wang Xiaofeng, Yang Chunwei, Du Yongchang. Study and design of road simulation control system[J]. Instrument Techique and Sensor, 2004(10): 22～25. (in Chinese)

6　靳晓雄，张帆. 时域波形再现技术在汽车道路模拟中的应用[J]. 中国工程机械学报，2006，4(2)：220～222.
Jin Xiaoxiong, Zhang Fan. Application of time waveform replication technology in automobile road simulation[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2006, 4(2): 220～222. (in Chinese)

7　麻芳兰，何玉林，李尚平，等. 甘蔗收获机切割性能的模糊综合评价与优化[J]. 农业机械学报，2006，37(12)：79～84.
Ma Fanglan, He Yulin, Li Shangping, et al. Analysis on fuzzy comprehensive evaluation and optimization of cutting performance of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12): 79～84. (in Chinese)

(上接第 87 页)

10　张列南. 基于离散元法的大豆精密排种器的数字化设计方法研究[D]. 长春：吉林大学，2009.
Zhang Lienan. Digital design method of soybean precision seed-metering device based on DEM[D]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese)

11　LoCurto G J, Zakirov V, Bucklin R A. Soybean friction properties[C]// 1997 ASAE Annual International Meeting, ASAE Paper 97－4108, Minneapolis, MN, 1997.

12　Klinker D H, Henderson J M. Flow model development for pherical discrete objects[J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(1): 225～233.

13　焦红光，李靖如，赵继芬，等. 关于离散元法计算参数的探讨[J]. 河南理工大学学报：自然科学版，2007，26(1)：88～93.
Jiao Hongguang, Li Jingru, Zhao Jifen, et al. Discussion on the calculation parameters of discrete element method[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2007, 26(1): 88～93. (in Chinese)

14　李政权. 基于离散元法的小麦排种器的数字化设计方法研究[D]. 长春：吉林大学，2009.
Li Zhengquan. Study on digital design method of wheat metering device based on DEM[D]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese)