

加工番茄回转滚筒式果秧分离机构参数正交试验优化*

毕新胜 肖彬彬 张进 黄国伟
(石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003)

【摘要】 为了优化加工番茄果秧分离机构的技术参数,设计并制作了回转滚筒式分离试验台。以里格尔 87-5 加工番茄为试验对象,应用二次回归通用旋转组合试验方法,建立了果秧分离性能指标与滚筒转速、凸轮盘转速和拨杆振幅之间的回归方程。分析了试验因素对分离性能的影响规律,在果秧分离率、果实破损率和含杂率满足作业质量的条件下,优化得出滚筒转速为 21 r/min、凸轮盘转速为 42 r/min 和拨杆振幅为 110 mm。

关键词: 加工番茄 果秧分离机构 分离参数 优化
中图分类号: S225 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)08-0094-05

Orthogonal Experiment Optimization of Parameters of Rotary Roller-type Fruit-vine Separation Mechanism for Processing Tomato

Bi Xinsheng Xiao Binbin Zhang Jin Huang Guowei
(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract

In order to optimize the operation parameters of the processing tomato fruit-vine separation mechanism, a rotary roller-type separation bedstand was designed. Mathematical models that described relationship between the performance indexes and influence factors of the separation mechanism were established by applying quadrate regression experiment with general rotary design method. The tendency and regularity of the separation performance influenced by the factors were analyzed. For the Liger 87-5 processing tomato, with a certain tomato separation rate, tomato damage rate and tomato impurity rate, the roller rotation speed was 21 r/min, cam plate rotation speed was 42 r/min, deflector rod oscillation amplitude was 110 mm by parameter optimization.

Key words Processing tomato, Fruit-vine separation mechanism, Separation parameters, Optimization

引言

新疆加工番茄种植面积近年来一直稳定在 6.7×10^4 hm² 以上,由于番茄、辣椒、棉花成熟期非常接近,收获时需要消耗大量的劳动力,并且加工番茄的收获期极短,劳动力紧张与采摘成本的提高对加工番茄机械化收获提出了迫切要求^[1~2]。加工番茄果秧分离机构是番茄机械化收获的关键技术,其作用是将番茄从果秧上分离下来,并使分离过程中的果实破损率和含杂率降到最低,符合工

业化生产的要求。早在 20 世纪 60 年代,美国等国家就进行了加工番茄果秧分离机构的研究,并取得了诸多成果。Studer 设计了旋转滚筒式分离机构,通过在滚筒上产生一定的角加速度来有效分离番茄果实^[3]。Privette 通过摇摆试验台试验认为振动振幅在 50.8 ~ 127.0 mm、转速在 150 ~ 300 r/min 时,分离效果较好^[4]。国内目前针对大型果类及灌木类水果分离机构的研究较多,对番茄力学特性和番茄收获机器人也开展了相关研究^[5~9],研究内容主要是针对鲜食番茄单体的精确采摘,不适用于加工

收稿日期: 2012-01-11 修回日期: 2012-02-23
* 国家自然科学基金资助项目(50965016)
作者简介: 毕新胜,副教授,主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: bxs_mac@shzu.edu.cn

番茄大规模机械化采收作业。

近年来,新疆地区随着加工番茄种植面积的扩大,引进了国外番茄收获机,国内在此基础上设计了 4FZ-2 型和 4FQ-2000 型番茄收获机,但都处于试验阶段。4FZ-2 型番茄收获机的果秧分离机构采用振动带式结构,其抖动分离输送带较长,工作时液压系统受到冲击较大。4FQ-2000 型番茄收获机的果秧分离机构采用摇摆器配合弹齿滚筒的设计,结构较为复杂、对动力要求高^[10]。本文设计一种回转滚筒式果秧分离机构^[11],并进行果秧分离机构参数试验与优化,得出滚筒转速、凸轮盘转速和拨杆振幅对果秧分离性能指标的影响,为优化设计果秧分离机构提供理论依据。

1 果秧分离试验台结构与工作原理

1.1 基本结构

试验台主要由机架、果秧输送、果秧分离机构及果实收集箱组成,如图 1 所示。果秧分离机构如图 2 所示。

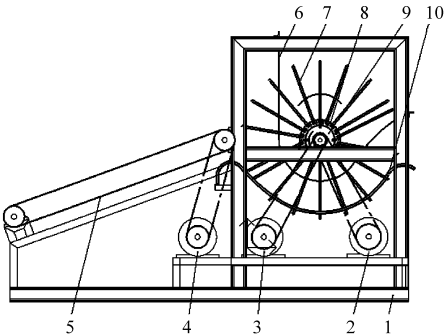


图 1 番茄果秧分离试验台结构示意图
Fig. 1 Structural diagram of fruit-vine separation bedstand for processing tomato

1. 机架 2、3、4. 电动机 5. 输送带 6. 护秧挡板 7. 拨杆
8. 回转滚筒 9. 凸轮盘 10. 格栅

1.2 工作原理

果秧分离机构工作时,回转滚筒与凸轮盘分别由变频器控制电动机实现调速,两者相向转动,拨杆的端部插入输送格栅之间的栅条间隙,格栅上有果秧时插入果秧中间。当回转滚筒上横向安装的横杆一端的挡块未与凸轮接触时,拨杆随滚筒转动仅起

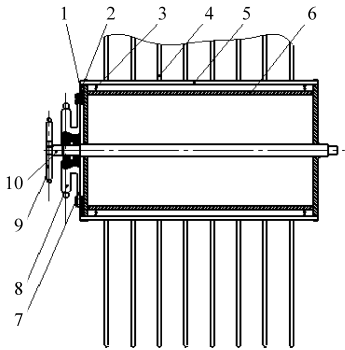


图 2 果秧分离机构示意图
Fig. 2 Structural diagram of fruit-vine separation mechanism for processing tomato

1. 凸轮 2. 挡块 3. 回位弹簧 4. 拨杆 5. 横杆 6. 回转滚筒
7. 凸轮盘 8. 凸轮盘链轮 9. 滚筒链轮 10. 滚筒主轴

到向后输送果秧的作用;当横杆一端的挡块被凸轮盘上的凸轮顶起时,与横杆刚性连接的拨杆绕横杆的转动中心摆动,拨杆的摆动半径与挡块的摆动半径按比例设计,可以将拨杆的振幅放大。当挡块离开凸轮后,在回位弹簧的作用下拨杆回位,拨杆完成一次振动。当回转滚筒与凸轮盘连续不断旋转时,实现回转滚筒上的拨杆依次振动,进而将连续不断的振动力施加给番茄果秧,实现番茄果实与果秧的分离。通过调整滚筒转速可以改变果秧输送速度;调整凸轮盘转速可以控制拨杆的振动次数,也就控制了拨杆的振动频率;调整凸轮的高度可以调整拨杆的振幅。

2 性能试验

2.1 试验设备与材料

试验是在果秧分离试验台上进行。试验用番茄品种为里格尔 87-5,在番茄成熟期从其主茎秆根部实施切割取样。

加工番茄样品的单果质量用数显称重仪测定,番茄的纵径和横径用数显游标卡尺测定。番茄果秧分离力测定在 GDE-500 型电动单柱立式试验台上进行,试验台配备 HF-50N 型拉力计,计算机终端数据采集系统对试验过程的数据进行采集、处理。实测加工番茄部分物理力学特性如表 1 所示。

表 1 加工番茄物理力学特性

Tab. 1 Physical and mechanical properties of processing tomato

单果质量/g			纵径/mm			横径/mm			分离力/N		
最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
131.00	15.10	52.47	90.71	24.06	51.09	79.48	21.39	43.12	32.06	6.87	14.72

2.2 试验因素

根据前期单因素试验结果分析,在凸轮为 3 个

的情况下,选取滚筒转速、凸轮盘转速、拨杆振幅三因素作为考察因素。试验采用二次回归通用旋转组

合设计方法,试验水平编码与试验方案如表 2 和表 3 所示^[12],共进行 20 组试验。在 20 组试验中,每组重复 3 次,每次测 10 株。试验结果取平均值,试验指标为果秧分离率、果实破损率和含杂率。试验方案设计及结果分析采用 Design-Expert 7.1.6 软件。

表 2 试验因素水平与编码值

Tab.2 Coding of experimental factors and levels

编码	滚筒转速 $a/r\cdot\text{min}^{-1}$	凸轮盘转速 $b/r\cdot\text{min}^{-1}$	拨杆振幅 c/mm
1.68	30	60	135
1	26	52	122
0	20	40	105
-1	14	28	88
-1.68	10	20	75

表 3 试验方案及结果

Tab.3 Design and results of experiments

试验号	A	B	C	果秧分离率 $S/\%$	果实破损率 $D/\%$	含杂率 $I/\%$
1	1	1	1	96.1	5.50	4.22
2	1	1	-1	88.0	4.90	2.78
3	1	-1	1	88.0	3.03	3.02
4	1	-1	-1	83.1	2.50	1.79
5	-1	1	1	93.0	5.00	3.41
6	-1	1	-1	86.0	3.20	2.19
7	-1	-1	1	82.0	3.00	2.82
8	-1	-1	-1	81.0	2.40	1.52
9	-1.68	0	0	89.0	2.86	1.82
10	1.68	0	0	95.0	3.20	2.58
11	0	-1.68	0	85.0	2.40	1.71
12	0	1.68	0	98.0	5.50	2.68
13	0	0	-1.68	87.0	2.66	1.57
14	0	0	1.68	96.0	5.10	4.22
15	0	0	0	92.0	2.62	1.65
16	0	0	0	97.0	3.01	2.03
17	0	0	0	95.0	3.01	2.09
18	0	0	0	95.0	3.03	2.03
19	0	0	0	94.8	3.02	2.00
20	0	0	0	95.0	3.00	2.06

3 试验结果与分析

3.1 试验结果回归分析

经过 Design-Expert 7.1.6 软件对试验结果进行方差分析,剔除模型中显著性大于 0.05 的系数项,如表 4 所示。分别得到试验台各响应指标与编码值

之间的回归模型为

$$S=94.97+1.69A+3.72B+2.65C-1.92A^2-2.10B^2-2.10C^2$$

$(R^2=0.841\ 6)$

(1)

$$D=2.98+0.21A+0.95B+0.56C+0.27AB+0.36B^2+0.33C^2$$

$(R^2=0.949\ 5)$

(2)

$$I=1.95+0.23A+0.37B+0.70C+0.14A^2+0.14B^2+0.39C^2$$

$(R^2=0.953\ 0)$

(3)

回归模型的回归系数显著性水平都小于 0.05,失拟性不显著,表明回归模型拟合很好。

表 4 性能指标的方差分析

Tab.4 Variance analysis of performance indexes

性能指标	来源	平方和	自由度	均方和	F	显著性
果秧分离率	模型	474.16	6	79.03	11.54	0.000 1
	A	39.04	1	39.04	5.70	0.032 8
	B	189.43	1	189.43	27.66	0.000 2
	C	95.62	1	95.62	13.96	0.002 5
	A^2	53.10	1	53.10	7.75	0.015 5
	B^2	63.33	1	63.33	9.25	0.009 5
	C^2	63.33	1	63.33	9.25	0.009 5
	误差	89.04	13	6.85		
	总和	563.20	19			
果实破损率	模型	20.89	6	3.48	40.72	<0.000 1
	A	0.62	1	0.62	7.21	0.018 7
	B	12.27	1	12.27	143.51	<0.000 1
	C	4.27	1	4.27	49.92	<0.000 1
	AB	0.57	1	0.57	6.63	0.023 0
	B^2	1.85	1	1.85	21.65	0.000 5
	C^2	1.60	1	1.60	18.75	0.000 8
	误差	1.11	13	0.085		
	总和	22.00	19			
含杂率	模型	11.77	6	1.96	43.93	<0.000 1
	A	0.71	1	0.71	15.84	0.001 6
	B	1.89	1	1.89	42.35	<0.000 1
	C	6.67	1	6.76	151.35	<0.000 1
	A^2	0.28	1	0.28	6.31	0.026 0
	B^2	0.27	1	0.27	6.15	0.027 6
	C^2	2.14	1	2.14	47.99	<0.000 1
	误差	0.58	13	0.045		
	总和	12.36	19			

注: $F_{0.1}=(1,0)=3.29,F_{0.05}(1,10)=4.96$ 。

3.2 各因素对果秧分离率的影响

根据果秧分离率回归方程作出的响应曲面如图 3 所示。各因素中凸轮盘转速 B 对果秧分离率的影响最大,其次为拨杆振幅 C 和滚筒转速 A 。在拨杆振幅为 105 mm 时,随着凸轮盘转速和滚筒转速

的增加,果秧分离率先增大后减小;在凸轮盘转速较小时(小于 40 r/min),凸轮盘转速对果秧分离率的影响较大。当凸轮盘转速较大(大于 40 r/min)和滚筒转速较大(大于 20 r/min)时对果秧分离率影响较小(图 3a)。

在凸轮盘转速为 40 r/min 时,随着拨杆振幅和滚筒转速的增加,果秧分离率先增大后减小。拨杆

振幅较小时(小于 105 mm)对果秧分离率影响较大,拨杆振幅增大(大于 105 mm)对果秧分离率影响较小,且果秧分离率有下降趋势(图 3b)。

在滚筒转速为 20 r/min 时,随着拨杆振幅和凸轮盘转速的增加,果秧分离率先增大后减小,凸轮盘转速的变化对果秧分离率的影响大于拨杆振幅的影响(图 3c)。

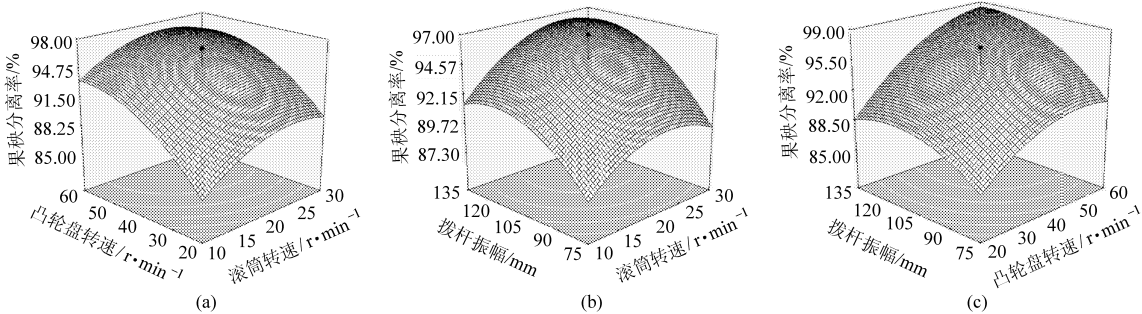


图 3 各因素对果秧分离率影响的响应曲面

Fig. 3 Response surfaces of effects of all factors on tomato separation rate

3.3 各因素对果实破损率的影响

根据果实破损率回归方程作出的响应曲面如图 4 所示。各因素中凸轮盘转速 *B* 对果实破损率的影响最大,其次为拨杆振幅 *C* 和滚筒转速 *A*,滚筒转速 *A* 和凸轮盘转速 *B* 有交互作用。在拨杆振幅为 105 mm 时,随着凸轮盘转速和滚筒转速的增加,果实破损率增大。当凸轮盘转速较小时(小于 40 r/min),果实破损率缓慢增大;当凸轮盘转速较大时(大于 40 r/min)时,果实破损率迅速增大。凸轮盘转速对果实破损率的影响大于滚筒转速的影响(图 4a)。

在凸轮盘转速为 40 r/min 时,随着拨杆振幅和滚筒转速的增加,果实破损率增大。在拨杆振幅较小(小于 88 mm)时,果实破损率随着拨杆振幅的增加而缓慢增大;当拨杆振幅较大(大于 88 mm)时,果实破损率随拨杆振幅的增加急剧增大。滚筒转速对果实破损率的影响近似线性关系(图 4b)。

在滚筒转速为 20 r/min 时,随着拨杆振幅和凸轮盘转速的增加,果实破损率增大。凸轮盘转速在较低(小于 40 r/min)时,果实破损率随凸轮盘转速的增加缓慢增大;当凸轮盘转速继续增大,果实破损率急剧增大(图 4c)。

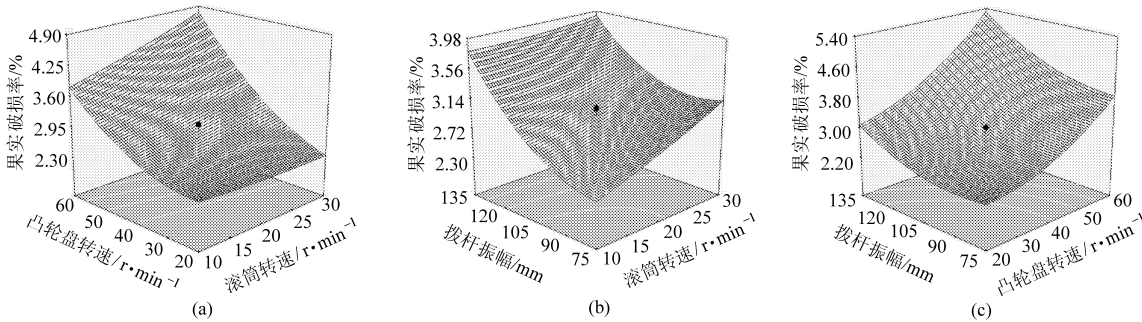


图 4 各因素对果实破损率影响的响应曲面

Fig. 4 Response surfaces of effects of all factors on tomato damage rate

3.4 各因素对含杂率的影响

根据含杂率回归方程作出的响应曲面如图 5 所示。各因素中拨杆振幅 *C* 对含杂率的影响最大,其次为凸轮盘转速 *B* 和滚筒转速 *A*。在拨杆振幅为 105 mm 时,随着凸轮盘转速和滚筒转速的增加,含杂率增大。当滚筒转速较小(小于 20 r/min)时,含杂率随着转速的增加缓慢增大;当滚筒转速较大(大于 20 r/min)时,含杂率随滚筒转速增加而上升

速度加快(图 5a)。

在凸轮盘转速为 40 r/min 时,随着拨杆振幅和滚筒转速增加,含杂率增大。当拨杆振幅较小(小于 105 mm)时,含杂率随着拨杆振幅的增加而缓慢增大,当拨杆振幅较大(大于 105 mm)时,含杂率将随着拨杆振幅的增加而迅速增大。拨杆振幅对含杂率的影响大于滚筒转速的影响(图 5b)。

在滚筒转速为 20 r/min 时,含杂率随着拨杆振幅

和凸轮盘转速的增加而增大。当凸轮盘转速较小(小于 40 r/min)时,含杂率随着凸轮盘转速的增加而缓慢增大,当凸轮盘转速较大(大于 40 r/min)时,含杂率随着凸轮盘转速的增加而迅速增大(图 5c)。

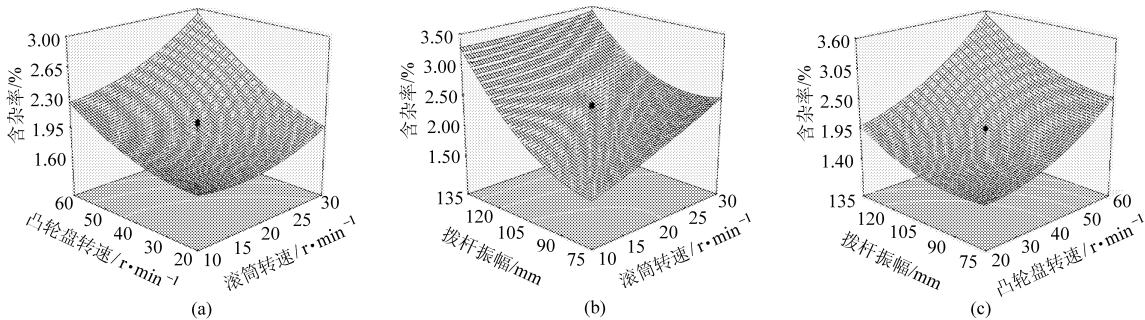


图 5 各因素对含杂率影响的响应曲面

Fig. 5 Response surfaces of effects of all factors on tomato impurity rate

3.5 最佳参数优化

当滚筒转速为 10 ~ 30 r/min、凸轮盘转速为 20 ~ 60 r/min 和拨杆振幅为 75 ~ 135 mm 时,采用多目标优化方法,应用 Design-Expert 7. 1. 6 软件,以番茄果秧分离机构的果秧分离率、果实破损率和含杂率满足一定的范围要求(即 $95.5\% < S < 98\%$, $2\% < D < 3.5\%$, $1.5\% < I < 2.5\%$),在因素编码空间内优化结果如图 6 所示。滚筒转速为 21 r/min、凸轮盘转速为 42 r/min、拨杆振幅为 110 mm 时,果秧分离率为 96.26%、果实破损率为 3.22% 和含杂率为 2.13%。

为验证优化的参数,选用滚筒转速为 21 r/min、

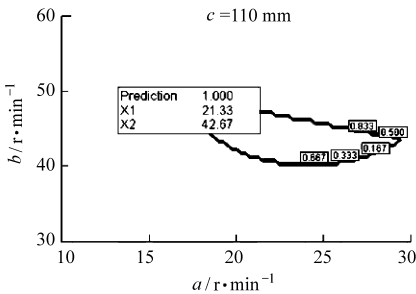


图 6 优化结果

Fig. 6 Results of optimization

凸轮盘转速为 42 r/min 和拨杆振幅为 110 mm 的参数组合进行试验。试验在新疆生产建设兵团农业机械重点实验室进行,番茄果秧从石河子大学农试场采集,共 100 株,分 10 组进行试验。试验后测得番茄果秧分离率 S 为 96.12%,果实破损率 D 为 3.34%,含杂率 I 为 2.30%。测试结果与试验优化预期结果基本相符,且符合相关农艺标准^[15]。

4 结论

- (1) 设计了一种回转滚筒式番茄果秧分离机构,并制作分离试验台进行果秧分离性能试验,分离机构拨杆振动频率和振幅可以方便调节。
- (2) 采用二次回归通用旋转组合设计方法,建立了番茄果秧分离性能指标与试验因素间的数学模型,并分析了各试验因素对分离机构性能指标的影响。
- (3) 试验优化的最佳参数组合为:滚筒转速 21 r/min、凸轮盘转速 42 r/min 和拨杆振幅 110 mm,且经过试验验证,符合预期要求。

参 考 文 献

1 新疆罐头饮料协会. 新疆罐头饮料协会 2009 年度工作报告[R]. 乌鲁木齐:兵团发展改革委轻纺机电处,2010.

2 梁勤安,余庆辉,冯斌,等. 新疆加工番茄机械化收获发展对策的研究[J]. 新疆农业科学,2007(2):225 ~ 229.
Liang Qin'an, Yu Qinghui, Feng Bin, et al. Exploration on counter measures of developing mechanization harvest of processing tomato in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2007(2):225 ~ 229. (in Chinese)

3 Studer H E. A rotary shaker for harvesting tomatoes[J]. Transactions of the ASAE, 1981, 24 (3): 545 ~ 548.

4 Privette C V. Analysis of a variable amplitude shaker for tomato removal [D]. Clemson: Clemson University, 1968.

5 陈度,杜小强,王书茂,等. 振动式果品收获技术机理分析及研究进展[J]. 农业工程学报,2008,24(8):196 ~ 199.
Chen Du, Du Xiaoqiang, Wang Shumao, et al. Mechanism of vibratory fruit harvest and review of current advance [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8):196 ~ 199. (in Chinese)

6 王业成,陈海涛,林青. 黑加仑采收装置参数的优化[J]. 农业工程学报,2009,25(3):79 ~ 82.

Yi Weiming, Bai Xueyuan, Xiu Shuangning, et al. The devolatilization characteristics of biomass at high heating rates [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2006, 27(Supp.2):135 ~ 138. (in Chinese)

6 Xiu Shuangning, Li Zhihe, Li Baoming et al. Devolatilization characteristics of biomass at flash heatingrate [J]. Fuel, 2006, 85(5 ~ 6): 664 ~ 670.

7 Xiu Shuangning, Yi Weiming, Li Baoming. Flash pyrolysis of agricultural residues using a plasma heated laminar entrained flowreactor [J]. Biomass and Bioenergy, 2005, 29(2):135 ~ 141.

8 李志合,易维明,修双宁,等. 生物质闪速热解挥发特性的模型研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10):1 ~ 4.
Li Zhihe, Yi Weiming, Xiu Shuangning, et al. Models for volatilization characteristics of biomass flash pyrolysis [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 1 ~ 4. (in Chinese)

9 李志合,易维明,刘焕卫,等. 垂直下降管内陶瓷球流动与传热的实验[J]. 农业工程学报,2009,25(2):72 ~ 76.
Li Zhihe, Yi Weiming, Liu Huanwei, et al. Experimental study on the flow behavior and heat transfer of ceramic balls in a vertical descendant tube[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2):72 ~ 76. (in Chinese)

10 王娜娜,易维明,杨延强,等. 竖直管内陶瓷球和玉米秸粉混合颗粒运动的 PIV 测量[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 154 ~ 157.
Wang Nana, Yi Weiming, Yang Yanqiang, et al. Particle image velocimetry of motion of the mixture of corn stalk particles and spherical ceramic particles in a vertical pipe[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3):154 ~ 157. (in Chinese)

11 崔喜彬,李志合,易维明,等. 下降管式生物质快速热解反应器温度场控制与检测[J]. 农业机械学报, 2010,41(增刊):133 ~ 135.
Cui Xibin, Li Zhihe, Yi Weiming, et al. Control and measurement of temperature field in a down flow tube reactor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.):133 ~ 135. (in Chinese)

(上接第 98 页)

7 刘继展,李萍萍,李智国,等. 面向机器人采摘的番茄力学特性试验[J]. 农业工程学报,2008,24(12):66 ~ 69.
Liu Jizhan, Li Pingping, Li Zhiguo, et al. Experimental study on mechanical properties of tomatoes for robotic harvesting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12):66 ~ 69. (in Chinese)

8 梁喜凤,苗香雯,崔绍荣,等. 番茄收获机械手运动学优化与仿真试验[J]. 农业机械学报,2005,36(7):97 ~ 100.

9 刘继展,李萍萍,倪齐,等. 番茄采摘机器人真空吸盘装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(10):171 ~ 173,184.
Liu Jizhan, Li Pingping, Ni Qi, et al. Design and test of the vacuum suction device for tomato harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(10):171 ~ 173,184. (in Chinese)

10 石河子大学. 农作物藤果分离装置:中国,CN200820103914.0[P]. 2008-09-30.

11 石河子大学. 番茄收获分离装置及该装置所构成的番茄收获机:中国,CN201010578942.X[P]. 2011-06-01.

12 洪伟,吴承祯. 实验设计与分析[M]. 北京:中国林业出版社,2004.

13 NY/T 1824—2009 番茄收获机作业质量[S]. 2009.

14 季坚柯 H Φ. 蔬菜收获机械[M]. 北京:中国农业机械出版社,1982.

(上接第 147 页)

13 Huang J. The impact of different weather data on simulated residential heating and cooling loads[J]. ASHRAE Trans. , 1998, 104(2):516 ~ 527.

14 叶韵. 建筑热环境[M]. 北京:清华大学出版社,1996:57 ~ 58.

15 单寄平. 空调负荷实用计算法[M]. 北京:中国建材工业出版社,1989:129 ~ 130.

16 王文君,阚安康,韩厚德,等. 真空绝热板应用于寒冷地区活动房最佳位置的研究[J]. 新型建筑材料, 2010(2):34 ~ 40.

17 路延魁. 空气调节设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995:73 ~ 75.