

小型甘蔗收获机喂入能力仿真与试验*

沈中华¹ 李尚平² 麻芳兰³ 高建立³

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 南宁 530004; 2. 广西民族大学信息科学与工程学院, 南宁 530008;

3. 广西大学机械学院, 南宁 530004)

摘要: 针对丘陵地区甘蔗收获设计的一种小型整秆式甘蔗收获机, 运用物流仿真软件 FLEXSIM 对甘蔗通过切割系统进行了虚拟仿真试验, 试验表明增加切割系统的通道宽度和提高甘蔗的输送速度对防止甘蔗收获机出现堵塞具有显著影响, 当物流系统的宽度一定时, 提高小型甘蔗收获机的输送速度就显得尤为重要。通过多体动力学仿真软件 ADAMS 对甘蔗的输送速度进行了仿真, 仿真结果表明通过增加甘蔗与螺旋的摩擦因数、增加主动喂入辊及在刀轴上增加橡胶可以提高甘蔗的输送速度。田间试验表明, 采取上述措施提高了甘蔗被切断后的输送速度, 减少了甘蔗头部受刀盘和固定在刀盘上螺旋反复打击的次数, 提高了甘蔗的切割质量及降低了收获机出现堵塞的概率。甘蔗通过切割输送系统的时间由改进前的 2~3 s 缩短为 1.5 s 左右, 甘蔗头部的完好率由改进前的 17.8% 提高到 57.9%。

关键词: 整秆式甘蔗收获机 物流系统 仿真

中图分类号: S225.5⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0117-07

引言

中国南方主要以丘陵地区为主, 且种植甘蔗的地块面积较小, 这就决定了国外的大型甘蔗收获机并不适合中国国情, 在中国南方小型甘蔗收获机在相当长一段时间内仍将是甘蔗收获机发展的主流方向。目前我国的小型甘蔗收获机收获过程中普遍存在严重堵塞或效率过低等问题, 这严重阻碍了甘蔗收获机在我国的推广使用^[1]。

目前, 虚拟样机技术已广泛应用于小型甘蔗收获机的设计和开发中。解福祥等通过 ADAMS 软件进行了甘蔗收获机物流虚拟试验, 分别针对单根甘蔗通过物流系统对甘蔗收获机整机及关键部件进行运动学仿真研究^[2-3]; 高建民等通过 ADAMS 软件分析了螺旋式和拨指链式两种扶起装置, 针对扶起螺旋和拨指链的工作过程进行虚拟仿真研究^[4-5]。

排队论又称随机服务系统理论, 排队论主要对由于受随机因素的影响而出现排队的系统进行研究, 它广泛应用于通信、交通与运输、生产与服务、公用服务事业以及管理运筹等一切服务系统^[6-9]。

本文针对广西某企业开发的整秆式甘蔗收获机工作时输送系统容易出现堵塞的问题, 运用物流仿

真软件 FLEXSIM 对小型甘蔗收获机切割系统的物流宽度和输送速度进行物流仿真, 并运用多体动力学仿真软件 ADAMS 对提高甘蔗的喂入能力进行进一步仿真, 最后通过田间试验对仿真结果进行验证。

1 甘蔗输送速度、机器前进速度与甘蔗重叠的关系

小型整秆式甘蔗收获机主要由扶分蔗辊、压蔗辊、刀盘、套筒、螺旋提升机构、输送系统、齿轮箱、剥叶系统和输出系统等构成, 其中螺旋提升机构上方与齿轮箱的距离为 80 mm, 当甘蔗的直径在 30 mm 左右时在高度方向上可容纳约两根甘蔗同时通过, 如图 1 所示。

收获中, 前、后甘蔗的重叠量是影响整秆式甘蔗收获机工作质量和生产效率的一个重要因素。为便于分析, 特作如下假设: 甘蔗被切断后以相同的速度向后输送; 甘蔗的高度一致。

收获时存在以下 3 种情况: $S/v_m > H/v_i$ 、 $S/v_m = H/v_i$ 和 $S/v_m < H/v_i$ 。式中, H 为甘蔗植株高度 (mm), S 为甘蔗株间距 (mm), v_m 为收获机前进速度 (mm/s), v_i 为甘蔗向后的输送速度 (mm/s)。

第 1 种情况, 此时前一株甘蔗的尾部已完全通

收稿日期: 2013-12-13 修回日期: 2014-01-19

* 科技部科技人员服务企业资助项目(2009GJE10008)和广西制造系统与先进制造技术重点实验室资助项目(11-031-12S04)

作者简介: 沈中华, 高级工程师, 博士生, 主要从事先进制造技术、CAD/CAE 研究, E-mail: shenzh2627369@aliyun.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

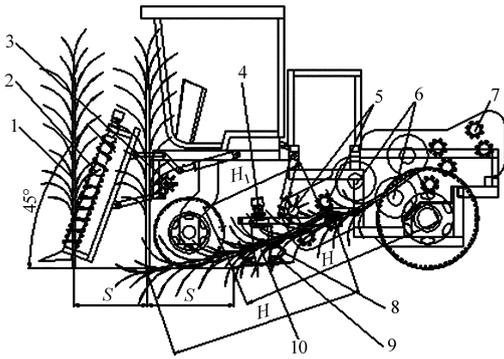


图1 甘蔗收获机简图

Fig.1 Sugarcane harvester

1. 甘蔗 2. 扶分蔗辊 3. 压蔗辊 4. 齿轮箱 5. 输送系统
6. 剥叶系统 7. 输出系统 8. 螺旋提升机构 9. 刀盘 10. 套筒

过切割系统,而后一株甘蔗的根部还没到达切割系统,此时前、后两株甘蔗完全没有重叠,前、后两株甘蔗能顺利通过喂入口。

第2种情况,此时前一株甘蔗的尾部刚好通过切割系统,后一株甘蔗的根部正好被切割器切断,此时前、后两株甘蔗的重叠量为零,前、后两株甘蔗也能顺利通过喂入口。

第3种情况,此时前一株甘蔗的尾部还没有完全通过切割系统,后一株甘蔗的根部已被切断,后一株甘蔗的前段部分便与前一株甘蔗的尾部重叠在一起。

以第1株切断时为计时点,在时间为 t 时,第1株甘蔗头部输送的距离为

$$S_1 = v_i t \quad (1)$$

第2株甘蔗头部输送的距离则为

$$S_2 = v_i (t - S/v_m) \quad (2)$$

前后两株甘蔗重叠部分的长度为

$$H_1 = H - (S_1 - S_2) \quad (3)$$

将式(1)、(2)代入式(3)则有

$$H_1 = H - Sv_i/v_m \quad (4)$$

当 $H_1 \leq 0$ 时,前、后两株甘蔗之间完全没重叠, $H_1 > 0$ 时前、后两株甘蔗之间出现重叠现象。

分析式(4)可知,收获机工作时,前、后两株甘蔗的重叠量与甘蔗的高度 H 、收获机的前进速度 v_m 、株间距 S 、输送通道的宽度、输送通道的高度、甘蔗的输送速度 v_i 有关。当重叠量大于甘蔗高度一半时,则会有多株以上的甘蔗积聚在喂入口,此时当切割系统的物流通道不足时就会出现堵塞现象,这也就是实际工作过程中,遇到较高的甘蔗或甘蔗的株间距较小时,收获机需降低作业速度的原因。田间作业时甘蔗收获机要保证一定的收获效率,收获机前进速度不能太低,驾驶员也不可能在操作时通过频繁换挡来控制甘蔗喂入量。为了避免甘蔗收获机

出现堵塞和避免收获机横向尺寸过大,甘蔗切断后的输送速度和切割系统的物流宽度就成为设计初期需要重点考虑的因素。

2 数据采集和分析

采样的甘蔗品种为粤糖159,地点为广西某农场,分别选取新植蔗蔗地和宿根蔗蔗地进行甘蔗种植密度和甘蔗生长高度调查测量。

2.1 甘蔗种植密度呈泊松分布

随机选取一块当年新种植甘蔗地,共测量119次,在测量范围共有984株甘蔗,甘蔗平均种植密度为8.27株/m。新植蔗的种植密度采样分析结果如图2a所示。结果表明类似于Poisson分布,对进行Poisson分布的拟合优度检验, $13.659 < (11, 0.05) = 19.675$,按0.05的标准,不拒绝Poisson分布假设,故可认为甘蔗的种植密度服从平均密度为8.27株/m的Poisson分布。表1是检验结果。

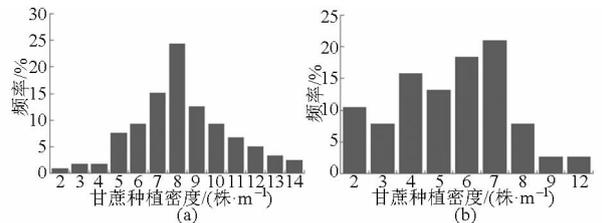


图2 甘蔗种植密度抽样统计频率

Fig.2 Sugarcane density distribution frequency

(a) 新植蔗 (b) 宿根蔗

表1 新植蔗种植密度Poisson分布的拟合优度检验

Tab.1 Poisson distribution test of new plant sugarcane density

甘蔗密度/ (株·m ⁻¹)	频数 f_n	概率 P_n	理论 频次 T	$(f_n - T)^2 / T$
2	1	0.008 757 208	1.042 108	0.001 701
3	2	0.024 140 703	2.872 744	0.265 141
4	2	0.049 910 903	5.939 398	2.612 866
5	9	0.082 552 634	9.823 763	0.069 076
6	11	0.113 785 048	13.540 420	0.476 628
7	18	0.134 428 906	15.997 040	0.250 787
8	29	0.138 965 882	16.536 940	9.392 782
9	15	0.127 694 205	15.195 610	0.002 518
10	11	0.105 603 107	12.566 770	0.195 338
11	8	0.079 394 336	9.447 926	0.221 899
12	6	0.054 715 930	6.511 196	0.040 134
13	4	0.034 807 749	4.142 122	0.004 876
14	3	0.020 561 435	2.446 811	0.125 068
总计	119			13.659

随机选取第二年的宿根蔗地进行统计,共测量38次,在测量范围共有209株甘蔗,甘蔗平均种植密度为5.5株/m。宿根蔗的种植密度采样分析结果如图2b所示。结果表明类似于Poisson分布,对

其进行 Poisson 分布的拟合优度检验, $7.188\ 978 < (7, 0.05) = 14.067$, 按 0.05 的标准, 不拒绝 Poisson 分布假设, 故可认为甘蔗的种植密度服从平均密度为 5.5 株/m 的 Poisson 分布。表 2 是检验结果。

表 2 宿根蔗种植密度 Poisson 分布的拟合优度检验
Tab.2 Poisson distribution test of ratoon sugarcane density

甘蔗密度 /(株·m ⁻¹)	频数 <i>f_n</i>	概率 <i>P_n</i>	理论 频次 <i>T</i>	$(f_n - T)^2/T$
2	4	0.061 812	2.348 872	1.160 653
3	3	0.113 323	4.306 265	0.396 243
4	6	0.155 819	5.921 115	0.001 051
5	5	0.171 401	6.513 226	0.351 570
6	7	0.157 117	5.970 457	0.177 534
7	8	0.123 449	4.691 073	2.334 006
8	3	0.084 871	3.225 113	0.015 713
9	1	0.051 866	1.970 902	0.478 284
12	1	0.006 537	0.248 416	2.273 924
总计	38			7.188 978

从统计结果可以得出, 不同甘蔗地的甘蔗种植密度是不同的, 甘蔗的种植密度分布可以看作是离散分布的, 是极其不均匀的, 呈 Poisson 分布。

2.2 甘蔗的生长高度呈正态分布

甘蔗的高度采样分析结果如图 3 所示。根据测量结果可知, 甘蔗平均高度为 2 326 mm, 标准方差为 338 mm。结果表明类似于正态分布, 对其进行正态分布的拟合优度检验, $7.335\ 65 < (9, 0.05) = 16.919$, 按 0.05 的标准, 不拒绝正态分布假设, 故可认为甘蔗的生长高度服从平均高度为 2 326 mm, 标准方差为 338 mm 的正态分布。检验结果如表 3 所示。

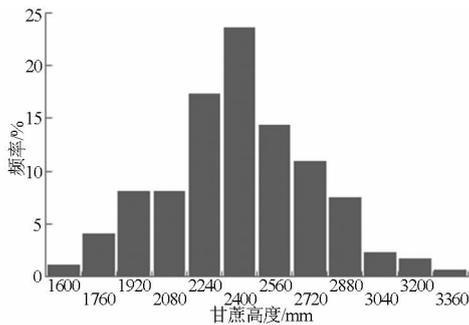


图 3 甘蔗高度抽样统计频率

Fig.3 Height of sugarcane distribution frequency

3 联合仿真

运用 FLEXSIM 物流仿真软件和 ADAMS 多体动力学仿真软件进行联合仿真。

3.1 甘蔗通过切割系统的物流仿真模型

以甘蔗收获机为参考对象, 服务规则为先到先服务模式 (FCFS), 在 FLEXSIM 物流仿真软件建立

表 3 甘蔗高度呈正态分布的拟合优度检验

Tab.3 Normal distribution test of the height of sugarcane

甘蔗 高度/mm	频数 <i>f_n</i>	概率 <i>P_n</i>	理论 频次 <i>T</i>	$(f_n - T)^2/T$
1 600	2	0.015 81	2.735 02	0.197 53
1 760	7	0.031 05	5.371 22	0.493 92
1 920	14	0.067 62	11.698 47	0.452 80
2 080	14	0.118 22	20.452 63	2.035 75
2 240	30	0.165 92	28.704 85	0.058 44
2 400	41	0.186 95	32.341 56	2.318 03
2 560	25	0.169 09	29.253 03	0.618 34
2 720	19	0.122 78	21.241 3	0.236 49
2 880	13	0.071 57	12.381 65	0.030 88
3 040	4	0.033 49	5.793 52	0.555 22
3 200	3	0.012 58	2.175 92	0.312 10
3 360	1	0.004 92	0.850 85	0.026 15
总计	173			7.335 65

甘蔗收获机工作时排队系统的仿真模型。其中甘蔗即为顾客, 双刀盘切割器中心距与套筒直径之差即为切割系统的物流宽度, 物流宽度与甘蔗的直径 (甘蔗的平均直径取 30 mm) 之比则为服务台数量。

假设小型整秆式甘蔗收获机的收获效率为 W (t/h), 每根甘蔗的质量为 m (kg), 则单位时间通过小型甘蔗收获机的甘蔗平均数量为 $W/(3.6m)$ (株/s)。

通常小型整秆式甘蔗收获机的收获效率为 4 ~ 6 t/h, 平均每根甘蔗的质量为 1.1 kg^[10], 小型甘蔗收获机工作时的调头时间和调整时间约占整个工作时间的 1/2。取甘蔗收获机的收获效率为 6 t/h, 则小型整秆式甘蔗收获机净工作时间的收获效率应为 12 t/h, 单位时间通过小型甘蔗收获机的甘蔗平均数量为 $12/(3.6 \times 1.1) = 3.0$ 。

不同地块甘蔗生长密度服从泊松分布, 只是均值不同而已。收获中为了使甘蔗收获机单位时间的喂入量达到均值, 只需根据单位时间的平均喂入量与甘蔗的种植密度之比来调整收获机的前进速度。当甘蔗的分布密布为 8.27 株/m 时, 甘蔗收获机的前进速度约为 $3/8.27 = 0.36$ m/s; 当甘蔗的分布密布为 5.5 株/m 时, 甘蔗收获机的前进速度约为 $3/5.5 = 0.55$ m/s。假设甘蔗切断后通过切割系统的速度是相等的, 则甘蔗通过切割系统时间为甘蔗的高度与甘蔗通过切割系统的速度之比。甘蔗的生长高度服从正态分布, 则可以认为甘蔗通过切割系统的时间也呈正态分布。

3.1.1 甘蔗通过切割系统的物流仿真试验

仿真过程中作如下假设: ①切割系统的功率足够, 不会因同时进入的甘蔗数量发生变化而影响甘

蔗的输送速度。②不考虑甘蔗与甘蔗之间的摩擦力。③不考虑甘蔗的弯曲程度,甘蔗喂入过程中甘蔗不会占用其他空间。

甘蔗通过剥叶系统的速度为 1.75 m/s ^[11-12], 试验选取切断后甘蔗通过切割系统的输送速度 v_i 为 0.8 、 1.2 、 1.6 m/s 进行仿真。在这3种速度下分别考察服务台数量 m_1 为 $10 \sim 15$ 时, 系统出现堵塞的情况, 当同时进入切割系统的甘蔗数量超过切割系统的物流通道数量时则认为切割系统出现堵塞现象。考察时间为 $60\,000 \text{ s}$, 置信区间为 95% , 对不同的物流通道数量, 单位时间到达切割系统的甘蔗数量采用不同的随机数分别仿真5次, 取其平均值作为仿真结果。当 v_i 为 0.8 m/s 时, 甘蔗通过切割系统的平均时间为 $2\,328/800 = 2.910 \text{ s}$, 标准差为 $338/800 = 0.423 \text{ s}$; v_i 为 1.2 m/s 时, 甘蔗通过切割系统的平均时间为 $2\,328/1\,200 = 1.940 \text{ s}$, 标准差为 $338/1\,200 = 0.282 \text{ s}$; 切断后甘蔗的输送速度 v_i 为 1.6 m/s 时, 甘蔗通过切割系统的平均时间为 $2\,328/1\,600 = 1.455 \text{ s}$, 标准差为 $338/1\,600 = 0.211 \text{ s}$ 。

3.1.2 物流仿真结果及分析

仿真结果如表4所示。由表可知, 在服务台数量 m_1 为 10 时, 当甘蔗的输送速度 v_i 从 0.8 m/s 提高到 1.6 m/s 时, 系统出现堵塞的概率从 20.30% 降低为 6.28% , 仅为原来的 30.94% ; 在服务台数量 m_1 为 15 时, 当甘蔗的输送速度 v_i 从 0.8 m/s 提高到 1.6 m/s 时, 切割系统出现堵塞的概率从 7.04% 降低为 1.42% , 仅为原来的 20.17% 。

方差分析如表5所示。方差分析结果表明, 提高甘蔗的输送速度 v_i 和增加甘蔗的物流通道数量 m_1 对于防止系统出现堵塞具有高度显著性。结合表4和表5分析可知, 增加物流通道的数量 m_1 和提

表4 系统堵塞概率

Tab.4 Virtual simulation results %

$v_i /$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	服务台数量 m_1					
	10	11	12	13	14	15
0.8	20.30	16.60	13.48	11.00	8.74	7.04
1.2	10.10	7.82	6.00	4.62	3.50	2.64
1.6	6.28	4.64	3.44	2.56	1.92	1.42

表5 方差分析

Tab.5 Variance analysis

因素	平方和	自由度	均方和	F 值	F 临界值	显著性
行	0.029	2	0.015	55.518	7.559	**
列	0.015	5	0.003	11.701	5.636	**
误差	0.003	10	0			
总计	0.047	17				

注: $\alpha = 0.01$ 。

高甘蔗的输送速度 v_i 均能有效地防止切割系统出现堵塞, 但由于增加切割系统物流通道的宽度将会增加双刀盘切割器的中心距, 同时也意味着刀盘直径加大, 过大的刀盘直径在甘蔗收获机工作有可能切割到相邻垄的甘蔗, 因此在确定双刀盘的中心距后可通过提高甘蔗向后的输送速度 v_i 来防止切割系统出现堵塞的概率。

从表4分析还可知, 当甘蔗的输送速度为 1.6 m/s , 切割系统的物流通道宽度能同时容纳11株甘蔗通过时, 切割系统出现堵塞概率已低于 5% , 可以以此作为小型甘蔗收获机切割系统物流通道宽度的设计依据。由于甘蔗在通过后续剥叶系统的速度为 1.75 m/s , 比甘蔗通过切割系统的速度要高, 此时只要剥叶系统能同时容纳11株甘蔗通过, 则甘蔗在剥叶系统也不会出现堵塞。

3.2 提高喂入能力的虚拟仿真试验

3.2.1 虚拟样机模型建立

切割及输送系统的建模是在三维设计软件UG 6.0中完成, 并进行适当简化后导入ADAMS仿真软件。为减少计算机的计算量, 安装在同一滚筒上的橡胶均简化为一整体。仿真模型如图4所示。

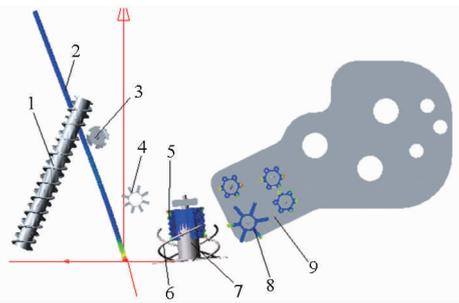


图4 切割及输送系统虚拟样机

Fig.4 Virtual modeling of cutting and conveyance system

1. 扶蔗辊 2. 甘蔗 3. 上压蔗辊 4. 主动喂入辊 5. 橡胶
6. 螺旋提升机构 7. 套筒 8. 输送系统 9. 侧板

3.2.2 试验材料

根据广西不同蔗地测得的甘蔗生长数据^[10]建立甘蔗模型为: 甘蔗高度 $2\,000 \text{ mm}$, 直径 30 mm , 密度 $1\,100 \text{ kg/m}^3$, 弹性模量 $1.531 \times 10^{10} \text{ Pa}$, 泊松比 0.33 。

输送辊上的橡胶参数为: 密度 900 kg/m^3 , 弹性模量 $7.84 \times 10^8 \text{ Pa}$, 泊松比 0.47 ^[12]。

本文将甘蔗和橡胶用ANSYS划分网格建立mnf文件, 在ADAMS中导入mnf文件, 将甘蔗和橡胶进行柔性化处理。

3.2.3 虚拟仿真试验

为避免仿真失败, 采用分段仿真^[13]和加大仿真步长的方法^[14], 仿真时间为 2 s , 甘蔗和地面连接方

式为 Bushing, Bushing 失效时间为 1 s, 分别计算甘蔗在 1 s 时间内向后输送的平均速度。

采用三水平三因素正交试验进行研究, 主要考虑是否增加主动喂入辊、安装在刀盘上螺旋与甘蔗的摩擦因数、刀轴的套筒上是否安装橡胶拔板及数量对甘蔗输送速度 v_i 的影响。根据小型甘蔗收获机的效率选取收获机的前进速度, 根据文献[15]选取刀盘转速, 根据文献[12]选取与甘蔗相接触的参数。虚拟试验方案如表 6 所示。

表 6 试验方案设计

Tab. 6 Test design

水平	压蔗辊 a	甘蔗与螺旋的摩擦因数 b	橡胶拔板数量 c
1	仅有上压蔗辊	$f_0 = 0.13, f_1 = 0.09$	0
2	仅有主动喂入辊	$f_0 = 0.35, f_1 = 0.25$	2
3	上压蔗辊和主动喂入辊均有	$f_0 = 0.5, f_1 = 0.35$	4

橡胶与甘蔗的接触参数为: $K_1 = 2\ 855\ \text{N/mm}$, $n_1 = 1.1, f_0 = 0.35, f_1 = 0.25, r_1 = 0.1\ \text{mm}$ 。铁制件与甘蔗的接触参数为: $K_1 = 3\ 800\ \text{N/mm}$, $n_1 = 2, f_0 = 0.13, f_1 = 0.09, r_1 = 0.1\ \text{mm}$ 。其中, K_1 为刚度系数, n_1 为力指数, f_0 为甘蔗与接触部件的静摩擦因数, f_1 为甘蔗与接触部件的动摩擦因数, r_1 为穿透深度。

收获机前进速度 $v_m = 0.4\ \text{m/s}$, 上压蔗辊、主动喂入辊及输送辊转速 $n_2 = 200\ \text{r/min}$, 扶蔗辊转速 $n_3 = 120\ \text{r/min}$, 刀盘转速 $n_4 = 750\ \text{r/min}$ 。

3.2.4 虚拟仿真试验结果与分析

仿真结果如表 7 所示, 各因素对甘蔗向后输送速度 v_i 的方差分析如表 8 所示。方差分析表明, 各因素对甘蔗向后输送的速度均有显著影响, 选择 $A_3B_3C_2$ 作为较优组合, 此时甘蔗的平均输送速度 v_i 达到了 $1.885\ \text{m/s}$ 。由于仿真过程中没有考虑多根甘蔗同时经过喂入系统, 实际生产过程中甘蔗切断后的输送速度还会有所降低, 所以应选择较高的输送速度。

表 7 虚拟仿真结果

Tab. 7 Virtual simulation results

序号	A	B	C	$v_i / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	1	1	1	1.295
2	1	2	2	1.480
3	1	3	3	1.674
4	2	1	2	1.595
5	2	2	3	1.486
6	2	3	1	1.490
7	3	1	3	1.838
8	3	2	1	1.458
9	3	3	2	1.885

表 8 方差分析

Tab. 8 Variance analysis

差异源	平方和	自由度	均方和	F 值	显著性
A	0.103	2	0.051	30.31	*
B	0.065	2	0.033	19.25	*
C	0.121	2	0.06	35.655	*
总和	0.292	6			

注: $F_{0.05} = 19.00$ 。

3.3 样机改进

在仿真的基础上, 对样机进行了一系列技术改进, 改进后的样机在压蔗辊前方增加了一级主动喂入辊。刀盘上的螺旋由普通圆钢换成了优质螺纹钢, 加大了甘蔗与螺旋的摩擦因数, 并在刀轴的套筒上各增加了 2 片橡胶拔板。

4 田间试验

4.1 试验材料及地点

试验在广西钦州某农场进行, 甘蔗品种为粤糖 159, 为上一年度的宿根蔗, 甘蔗密度为 $5 \sim 6$ 株/m, 直径在 $20 \sim 30\ \text{mm}$ 范围之间为 90% 以上, 甘蔗高度在 $2\ 300\ \text{m}$ 左右, 甘蔗倒伏较少, 垄距为 $1\ 200\ \text{mm}$, 垄高在 $150 \sim 220\ \text{mm}$ 之间, 蔗茎长度为 $50\ \text{m}$ 左右, 选择晴朗的天气进行试验。

4.2 试验设备及方法

试验选用改进前、后的机型进行对比试验, 该机型的配套动力为 $91\ \text{kW}$ 、轮距 $1\ 200\ \text{mm}$, 双刀盘切割器之间的物流通道宽度为 $315\ \text{mm}$ 。每次测试距离为 $10\ \text{m}$, 各测试 5 次, 切割方式为入土切割^[16-18]。

4.3 高速摄影试验

高速摄影设备选用卡西欧 FH100 型数码相机, 记录速度为 480 帧/s, 采用卤钨灯照明。标定后数码相机显示的时间与真实时间之比为 $15:1$ 。在前期试验基础上选取较佳参数作为试验参数: 剥叶辊转速为 $770\ \text{r/min}$, 刀盘转速为 $750\ \text{r/min}$, 上压蔗辊、主动喂入辊及输送辊转速为 $200\ \text{r/min}$, 扶蔗辊转速为 $120\ \text{r/min}$, 收获机的前进速度为 $0.5\ \text{m/s}$ 。

改进前、后机型于 2012 年 12 月曾在该蔗地进行多次试验, 试验结果以自测为主。

图 5a ~ 5d 是改进前甘蔗收获机工作时的部分高速摄影截图。切断后的甘蔗碰到高速旋转的螺旋时甘蔗头部便随着螺旋提升和向后输送(图 5a)。由于螺旋转速较高, 甘蔗在输送过程中经常会被螺旋弹起, 此时的甘蔗由于没有外界的作用, 仅靠自身惯性和收获机前进速度的共同作用, 缓慢前进(图 5b), 然后在重力作用下下落, 下落的甘蔗在碰到螺旋后又会继续向后输送(图 5c), 甘蔗从切断后

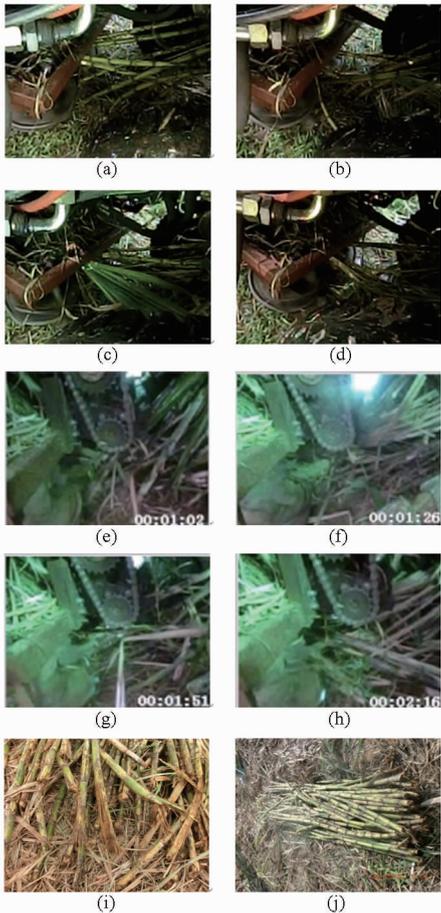


图5 甘蔗切割后通过喂入系统的高速摄影截图及切割后的甘蔗图片

Fig.5 High speed photography of material flow motion on cutting and feeding system

到输送完成的时间大约会持续 $2\sim 3$ s(图5d),在5次试验过程中收获机还先后出现了3次堵塞现象。图5e~5f是改进后的甘蔗收获机工作时的部分高速摄影截图。切断后的甘蔗碰到高速旋转的螺旋时甘蔗头部便随着螺旋提升和向后输送(图5e),

甘蔗被螺旋弹开很快碰到主动喂入辊(图5f),旋转的主动喂入辊和安装在刀轴套筒上的橡胶则会给甘蔗提供持续向后输送的动力(图5g),甘蔗从切断到输送完成的时间仅为 1.5 s左右(图5h)。在5次试验过程中,甘蔗均能顺利通过喂入及剥叶系统而堵塞现象均未出现。图5i是样机改进前收获的部分甘蔗图片,图5j是样机改进后收获的部分甘蔗图片。比较图5i和5j可知,改进后的样机由于提高了甘蔗的输送速度,使得甘蔗头部受刀盘和螺旋打击的次数减少,收获后的甘蔗头部破损状况有了明显改善,统计结果表明收获的甘蔗头部完好率由改进前的 17.8% 提高到了 57.9% 。

5 结论

(1) 从理论上分析了收获机前进速度与甘蔗种植密度、甘蔗植株高度及输送速度的关系,得到了前、后两株甘蔗重叠的计算公式。

(2) 田间调查表明甘蔗的种植密度呈 Poisson 分布,甘蔗的生长高度则呈正态分布。

(3) 物流仿真结果表明,加大切割系统的物流宽度和提高甘蔗的输送速度可以减少收获机出现堵塞的概率。

(4) 建立了切割及输送系统的虚拟样机模型,并进行了虚拟正交仿真试验,仿真试验表明增加甘蔗与螺旋的摩擦因数、增加主动喂入辊及在刀轴上增加橡胶都可以提高甘蔗向后的输送速度。

(5) 田间试验表明,改进后的样机工作时切断甘蔗的输送速度有了较大提高,甘蔗从切断到输送完成的时间由改进前的 $2\sim 3$ s提高到了约 1.5 s。改进后样机收获的甘蔗头部完好率由改进前的 17.8% 提高到了 57.9% 。

参 考 文 献

- 李明,黄晖,邓干然,等.甘蔗收获机械的研究现状与进展分析[J].农业机械,2008(1):54-64.
- 解福祥,区颖刚,刘庆庭,等.甘蔗收获机物流虚拟试验[J].农业机械学报,2010,41(9):90-94.
Xie Fuxiang, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Virtual experiment on flow simulation of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 90-94. (in Chinese)
- 傅隆正,蒙艳玫,董政,等.整秆式甘蔗联合收获机整机物流设计与仿真[J].农机化研究,2012,34(2):19-23.
Fu Longzheng, Meng Yanmei, Dong Zheng, et al. Design and simulation for logistics channel of whole-stalk sugarcane harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(2): 19-23. (in Chinese)
- 高建民,区颖刚.甘蔗螺旋扶起机构的理论研究及虚拟样机仿真[J].农业工程学报,2004,20(3):1-5.
Gao Jianmin, Ou Yinggang. Theoretical study on spiral sugarcane-lifting mechanism of sugarcane harvester and virtual prototype simulation[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(3): 1-5. (in Chinese)
- 张杨.甘蔗收获机拨指链式扶蔗器样机研究[D].广州:华南农业大学,2008.
Zhang Yang. Virtual prototype study on the rake bar chain-type sugarcane lifter[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 陈庆宏.排队论在生产过程时间组织中的应用[J].北方经贸,2003(11):15-17.
Chen Qinghong. The application of queuing theory in time organization of the production procedure[J]. Northern Economy Trade, 2003(11): 15-17. (in Chinese)

- 7 Whitney R W, Cohran B J. Predicting sugar cane mill delivery rates[J]. Transactions of the ASAE, 1976,19(1):47-48.
- 8 张莉. 基于排队网络理论的集装箱码头设备配置优化研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
Zhang Li. Research on equipment configuration optimization of container terminal based on queueing network theory [D]. Shanghai: Tongji University, 2007. (in Chinese)
- 9 邓小琳. 基于排队理论的最优生产线设计[J]. 运筹学与管理, 2000, 9(3): 17-18.
- 10 刘玉婷. 甘蔗收获机甘蔗数字化模型知识库的建立及其仿真分析[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
Liu Yuting. Build knowledge base system of sugarcane digital model and its simulation analysis about sugarcane harvester [D]. Nanning: Guangxi University, 2011. (in Chinese)
- 11 刘海. 整秆式小型甘蔗收获机剥叶机的改进设计与试验研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
Liu Hai. The improved design and experimental study about the leaf peeling machine of the whole stalk-type small-scale sugarcane harvester [D]. Nanning: Guangxi University, 2012. (in Chinese)
- 12 王永健. 节能环保型胎面胶剥叶元件的设计与研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
Wang Yongjian. Design and research on the leaf cleaning element of sugarcane cleaner [D]. Nanning: Guangxi University, 2012. (in Chinese)
- 13 石明全. 基于 ADAMS 的多接触问题研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(29): 220-222.
- 14 魏勇亮, 金圭. ADAMS 仿真时发生接触穿透的原因及对策[J]. 机械工程师, 2005(9): 53-54.
- 15 Gupta C P, Oduori M F. Design of the revolving knife-type sugarcane base-cutter[J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(6): 1747-1752.
- 16 杨坚, 陈国晶, 梁兆新, 等. 单圆盘甘蔗切割器切割破头率影响因素的试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(3): 69-74.
Yang Jian, Chen Guojing, Liang Zhaoxin, et al. Experimental study on influencing factors of broken biennial root rate for a single base cutter of sugarcane harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(3): 69-74. (in Chinese)
- 17 杨望, 杨坚, 刘增汉, 等. 入土切割对甘蔗切割过程影响的仿真试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 150-156.
Yang Wang, Yang Jian, Liu Zenghan, et al. Dynamic simulation experiment on effects of sugarcane cutting beneath surface soil [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 150-156. (in Chinese)
- 18 陈超君, 梁和, 何章飞, 等. 甘蔗机械收获对蔗蔸质量和宿根蔗生长影响初探[J]. 广东农业科学, 2011(23): 26-30.
Chen Chaojun, Liang He, He Zhangfei, et al. Effects of mechanical harvesting on sugarcane stubble quality and growth of ratoon [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011(23): 26-30. (in Chinese)

Simulation and Experiment on Feed Ability of Small Sugarcane Harvester

Shen Zhonghua¹ Li Shangping² Ma Fanglan³ Gao Jianli³

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

2. College of Information Science and Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530008, China

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

Abstract: In order to harvest sugarcane with machine in hilly area, a small whole-stalk sugarcane harvester was designed. Virtual simulation test for cutting system was carried out using logistics simulation software FLEXSIM. The virtual test results showed that increasing the width of logistic channel and enhancing the transmission speed of the sugarcane had significant differences on avoiding blocking during sugarcane harvesting. When the width of logistic channel remained constant, enhancing the transmission speed of the sugarcane was particularly important. Then, the transmission process of the sugarcane was simulated using ADAMS software. The simulation results showed that increasing the friction coefficient between sugarcane and spiral, equipping aggressive knock-down roller and adding more rubbers on the drum could increase the transmission speed of the sugarcane. Field test indicated that the feed ability was enhanced, and the times of sugarcane struck by base-cutter and lifter were decreased. The cutting quality of sugarcane was improved, and the probability of blocking during sugarcane harvesting was reduced after taking the measures above. The time of sugarcane passing through the cutting system was shortened to 1.5 s from 2~3 s, and no damage rate of the base of sugarcane was increased from 17.8% to 57.9%.

Key words: Whole-stalk sugarcane harvester Logistic system Simulation