

果蔬三维切丁机切丁断面形状偏差分析

Section shape deviation analysis of fruits and vegetables three-dimensional dicing machine

胡建平 杨丽红 杨德勇 黄英飒

HU Jian-ping YANG Li-hong YANG De-yong HUANG Ying-sa

(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏 镇江 212013)

(Key Laboratory of Ministry of Education for Agricultural Equipment and
Technology, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

摘要:果蔬三维切丁机具有加工效率高、结构紧凑、不易堵塞等优点,但其切丁断面始终存在倾斜不平现象,尤其在切大丁时更加明显。为了提高切丁质量,对三维切丁机切削机理进行分析,建立切丁刀切割果蔬丁断面曲线方程,分析影响丁断面切削质量的主要因素,并将丁断面形状归结为右偏、左偏及对称形 3 种结构形状,以丁断面相对偏差 η 、倾斜度 l 为评价指标,分析离心切削滚筒与切丁刀轴中心间距、离心切削滚筒与切丁刀轴转速比对断面质量指标的影响,通过双因素方差分析,得到切大丁时上述两因素对丁断面相对偏差 η 及倾斜角度 l 影响的权重关系,从而为切丁机参数优化提供依据。

关键字:果蔬切丁机;断面;形状;偏差;分析

Abstract: Three-dimensional dicing machine has some advantages of high efficiency, compact structure and not easy to be clogged. However, there is always uneven phenomenon on the diced section, especially when cutting big side block. In order to improve the quality of dice, analyzed the mechanism of three-dimensional dicing, established the curve equation of inclined section of fruits and vegetables block, analyzed the main affecting factors of the quality of diced section and divided diced sections into three shapes of right deviation, left deviation and symmetrical. Using relative deviation and gradient of the section as evaluation index to analyze the effects of center spacing and speed ratio between the strip cutting knife pivot and centrifugal cutting tumbling barrel on quality indicators of section. The date of two-factor variance analysis showed that the weight relations between the deviation and gradient of the section when cutting big side block. The result can provide the basis for dicing machine parameter

optimization.

Keywords: fruit and vegetable dicing machine; diced section; shape; deviation; analysis

传统果蔬切丁加工是手工进行切片,然后再进行纵向和横向切割,工作效率低、劳动强度大。随着果蔬加工生产规模的不断扩大,国外先进的果蔬加工机械采用了能实现连续喂料、分步连续切片、切丝、切丁的三维切割加工模式,如美国 URSCHER 公司研制的 G-A 型果蔬切丁机,比利时 FAM 公司制造的 MCS-3D 型蔬菜三维切丁机^[1,2]。近年来,中国通过自主研发开发,在果蔬切丁加工技术方面也取得一定进展^[3-5],如江苏兴化李工蔬菜机械公司研制的 LG-350 型切丁机,采用离心切削滚筒送料切片、圆盘刀切丝、条刀切丁的加工模式,大大提高了加工效率和加工质量。果蔬三维切丁机具有加工效率高、结构紧凑、不易堵塞等优点,但其切丁断面始终存在倾斜不平现象,尤其在切大丁时更加明显。本研究拟以自制果蔬三维切丁机为研究对象^[3,4,6,7],通过切丁成形机理分析和丁断面形状偏差分析,确定影响丁断面形状偏差的主要因素及合理取值范围,从而为切丁机参数优化提供依据。

1 丁断面形状曲线方程及影响因素分析

1.1 丁断面形状曲线方程的建立

根据图 1 所示切丁成型机理可知,物料经过离心切片及切丝圆盘刀切丝之后,被切得的条状物料在自身重力的作用下沿切片刀片向下运动,同时切丁刀刀尖随着中心轴的转动切过物料将物料切成丁块状。切丁刀的旋转运动与物料自身下落运动使得切断面为一曲线 AEF,其坐标方程即为切丁断面曲线方程:

$$\begin{cases} x_E = x_B = R_3 \sin(\varphi + \beta) \\ y_E = y_B + \Delta s = R_3 \cos(\varphi + \beta) + \varphi R_1 \times \frac{\omega_1}{\omega_2} \end{cases} \quad (1)$$

基金项目:江苏省农机三新工程(编号: NJ2013-14)

作者简介:胡建平(1965—),男,江苏大学教授,博士生导师。

E-mail: hujp@ujs.edu.cn

收稿日期: 2015-04-29

式中:

R_1 ——离心切削滚筒内径,mm;

R_3 ——切丁刀刀尖轨迹半径,mm;

φ ——切丁过程中切丁刀刀轴转角,rad;

β ——AO与AM夹角, $\beta = \arcsin(\frac{hd}{R_3})$,rad;

ω_1 ——离心切削滚筒角速度,rad/s;

ω_3 ——切丁刀中心轴角速度,rad/s;

\overline{AB} ——弦长, $\overline{AB} = 2R_3 \sin \frac{\varphi}{2}$,mm.

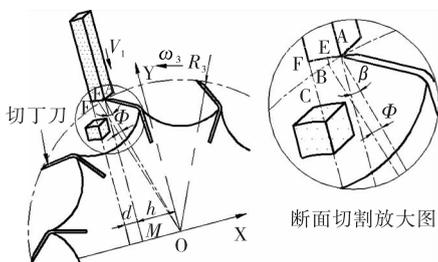


图1 切丁断面成型示意图

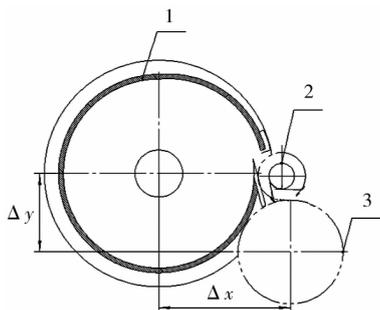
Figure 1 Schematic diagram of cross-sectional shape

1.2 影响丁断面形状的主要因素

根据丁断面曲线方程,可知影响切丁断面形状的有:离心切削滚筒内径 R_1 、切丁刀刀尖轨迹半径 R_3 、被切削物料的厚度 d 、离心切削滚筒和切丁刀的旋转角速度之比 ω_1/ω_3 ,以及切丁刀中心轴相对于被切物料底面距离 h 。其中,离心切削滚筒内径 R_1 和切丁刀回转半径 R_3 根据切丁机整体结构来确定,而切丁刀中心轴相对于被切物料底面距离 h ,则由切丁刀中心轴与离心切削滚筒中心间距 Δx 确定。假设切丁厚度 d 一定,在切丁机结构确定的情况下影响丁断面形状的主要因素包括:切丁机离心切削滚筒转速与切丁刀转速比 n_1/n_3 ,切丁刀中心轴与离心切削滚筒中心间距 Δx ,见图2。

2 切丁断面形状偏差仿真分析

丁断面不平整缺陷主要在切丁刀切丁过程中产生。为此,利用运动倒置法,使切丁刀在逆时针旋转的同时沿切片刀向条状物料运动反向移动,得到切丁刀刀尖在物料横截面上形成的轨迹线,通过对轨迹线的处理,实现对切丁断面形状偏差的仿真分析^[6]。本试验仿真分析的切丁机结构参数:



1. 离心切削滚筒 2. 圆盘切丝刀 3. 切丁刀

图2 切丁机结构布置

Figure 2 Structure distribution diagram of dicing machine

离心切削滚筒内径、切丁刀回转半径、离心切削滚筒与切丁刀中心垂直距离,离心切削滚筒与切丁刀中心水平距离,离心切削滚筒转速与切丁刀转速比 n_1/n_3 在 0.11~0.22 可调。

2.1 影响因素及水平

由于现有切丁机在切制大丁时易产生断面质量缺陷,且随着切丁规格的增大,丁断面质量更加难以保证,所以首先应使得 20 mm 大丁切丁断面质量能够满足要求。对仿真结果进行双因素方差分析,因素水平见表1。

表1 中心间距和转速比试验因素水平表

Table 1 Factors and levels for horizontal spacing and speed ratio test

序号	Δx /mm	n_1/n_2	序号	Δx /mm	n_1/n_2
1	260	0.11	7	290	0.17
2	265	0.12	8	295	0.18
3	270	0.13	9	300	0.19
4	275	0.14	10	305	0.20
5	280	0.15	11	310	0.21
6	285	0.16	12	310	0.22

2.2 丁断面质量评价指标

由不同因素水平下的断面形状仿真分析得知^[6],丁断面形状大致分为向左倾斜、两边对称倾斜和向右倾斜三类,见图3。为此,引入丁断面偏差相对值 η 及倾斜度 l 作为评价指标。断面偏差相对值 η 由式(2)来计算:

$$\eta = \frac{\delta}{d} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

η ——断面偏差绝对值,mm;

δ ——断面偏差绝对值,mm;

d ——切丁厚度,mm。

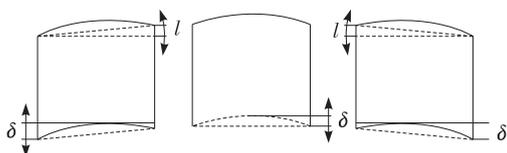


图3 丁断面形状偏差分类指标示意图

Figure 3 Schematic diagram of deviation of the cross-section index

2.3 丁断面形状偏差影响因素显著性分析

根据丁断面形状仿真结果,分别测量出离心切削滚筒中心轴与切丁刀中心轴水平间距 260~310 mm、离心切削滚筒和切丁刀轴之间的转速比 0.11~0.22 条件下,切得的 20 mm 丁断面偏差绝对值 O 和倾斜角度 l (见表2),并由式(2)计算出断面偏差相对值 η (见表3)。

对上述两因素影响下得出的 20 mm 丁断面偏差相对值 η 进行双因素方差计算和分析^[8],结果见表4、5。

表 2 20 mm 丁断面倾斜度 l 值
Table 2 Gradient of the cross-section of the 20 mm-cross-section (°)

中心间距/ mm	n_1/n_3											
	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22
260	13.70	14.71	15.58	16.58	17.45	18.43	19.39	20.34	21.20	22.13	23.04	23.95
265	10.30	11.56	12.57	13.56	14.43	15.42	16.40	17.36	18.32	19.26	20.20	21.13
270	6.74	7.79	8.84	9.89	10.92	11.95	12.96	13.97	14.88	15.87	16.85	17.82
275	3.51	4.56	5.61	6.66	7.70	8.74	9.77	10.79	11.81	12.82	13.75	14.75
280	0.25	1.29	2.33	3.38	4.42	5.47	6.52	7.56	8.60	9.63	10.74	11.76
285	2.54	1.41	0.29	0.70	1.70	2.93	3.94	4.95	6.14	7.15	8.16	9.17
290	5.04	4.00	2.94	1.89	0.70	0.36	1.42	2.49	3.56	4.63	5.78	6.77
295	7.78	6.91	6.06	4.90	3.74	2.71	1.55	0.50	0.65	1.71	2.86	4.00
300	10.60	9.68	8.53	7.49	6.34	5.53	4.36	3.27	2.09	1.06	0.12	1.23
305	13.90	12.76	11.64	10.63	9.49	8.45	7.19	6.13	4.97	3.80	2.71	1.54
310	17.60	16.63	15.62	14.45	13.39	12.32	11.02	9.93	8.72	7.61	6.48	5.26

表 3 20 mm 丁断面偏差相对值 η
Table 3 Relative deviation of the 20 mm-cross-section %

中心间距/ mm	n_1/n_2											
	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22
260	31.5	34.1	35.4	38.0	41.3	43.9	46.5	49.1	50.5	53.1	55.6	58.2
265	24.1	26.6	29.1	31.6	33.0	35.6	38.1	40.6	43.1	45.6	48.2	50.7
270	15.2	17.7	20.3	22.8	25.3	27.8	30.3	32.8	34.5	37.0	39.5	42.0
275	8.1	10.3	12.7	15.1	17.6	20.1	22.5	25.0	27.5	29.9	31.7	34.2
280	3.8	4.5	6.1	7.9	10.0	12.4	14.8	17.2	19.7	22.1	25.1	27.6
285	6.6	4.6	3.5	3.9	5.3	7.3	9.2	11.3	14.1	16.4	18.8	21.2
290	11.7	9.1	7.4	5.5	3.8	3.5	4.8	6.6	8.4	10.7	13.3	15.6
295	18.4	15.7	13.8	11.1	8.8	7.1	5.2	3.3	3.8	5.4	7.3	9.4
300	25.4	22.7	20.0	17.8	15.0	12.7	10.1	8.2	6.1	4.6	3.4	4.9
305	32.8	29.7	26.7	24.6	21.7	19.4	16.6	14.3	11.5	9.1	7.2	5.3
310	40.8	38.8	36.6	33.3	31.0	28.6	25.7	23.2	20.2	17.6	15.0	12.1

表 4 20 mm 丁断面偏差相对值 η 方差计算
Table 4 The variance calculation for relative deviation of the 20 mm-cross-section

行	求和	平均	方差	列	求和	平均	方差
1	537.2	44.767	77.999	1	218.4	19.855	145.257
2	446.3	37.192	74.739	2	213.8	19.436	140.779
3	345.2	28.767	76.033	3	211.6	19.236	135.005
4	254.7	21.225	74.982	4	211.6	19.236	138.197
5	171.2	14.267	66.252	5	212.8	19.345	150.469
6	122.2	10.183	37.467	6	218.4	19.855	166.051
7	100.4	8.367	14.844	7	223.8	20.345	187.671
8	109.3	9.108	23.108	8	231.6	21.055	217.173
9	150.9	12.575	57.200	9	239.4	21.764	239.355
10	218.9	18.242	82.288	10	251.5	22.864	272.653
11	322.9	26.908	90.612	11	265.1	24.100	309.286
				12	281.2	25.564	344.431

表 5 20 mm 丁断面偏差相对值 η 方差分析
Table 5 The variance analysis for relative deviation of the 20 mm-cross-section

差异源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	F 临界值
						0.05 0.01
行	17 570.542	10	1 757.054	28.041	6.9E-26	1.918 2.486
列	538.078	11	48.916	0.781	0.659	1.877 2.413
误差	6 892.687	110	62.661			
总计	25 001.307	131				

由表 5 可知, $F_{行} > F_{0.05}$, $F_{行} > F_{0.01}$, 行差异对于 20 mm 丁断面偏差相对值 η 有极显著影响。而 $F_{列} < F_{0.05}$, 列差异对相对断面偏差 η 值影响不显著。

同样,对 20 mm 丁断面倾斜度 l 值进行双因素方差计算和分析,结果见表 6、7。

由表 7 可知, $F_{行} > F_{0.05}$, $F_{行} > F_{0.01}$, 行差异对于 20 mm 丁断面倾斜角度 l 值有极显著影响。 $F_{列} < F_{0.05}$, 列差异对 20 mm

表6 20 mm 丁断面倾斜角度 l 值方差计算

Table 6 The variance calculation for gradient of the cross-section of the 20 mm-cross-section

行	求和	平均	方差	列	求和	平均	方差
1	226.50	18.88	11.27	1	92.01	8.36	29.10
2	190.55	15.88	12.19	2	91.30	8.30	27.42
3	148.48	12.37	13.16	3	90.01	8.18	27.69
4	110.47	9.21	13.63	4	90.13	8.19	27.98
5	71.95	6.00	14.24	5	90.28	8.21	29.68
6	49.08	4.09	9.02	6	92.31	8.39	32.17
7	39.58	3.30	4.11	7	94.52	8.59	35.08
8	43.37	3.61	5.80	8	97.29	8.84	40.12
9	60.30	5.03	12.67	9	100.94	9.18	44.96
10	93.19	7.77	16.35	10	105.67	9.61	50.35
11	139.06	11.59	16.67	11	110.69	10.06	57.09
				12	117.38	10.67	61.84

表7 20 mm 丁断面倾斜角度 l 值方差分析

Table 7 The variance analysis for gradient of the cross-section of the 20 mm-cross-section

差异源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	F 临界值	
						0.05	0.01
行	3 297.382	10	329.738	27.121	2.46E-25	1.918	2.486
列	83.111	11	7.556	0.621	0.807	1.877	2.413
误差	1 337.360	110	12.158				
总计	4 717.853	131					

丁断面倾斜角度 l 值影响不显著。

又由方差分析可知:离心切削滚筒与切丁刀中心之间的水平间距 $\Delta x=290$ mm 时得到的丁断面偏差相对值 η 、丁断面倾斜度 l 值的平均值及方差最小(分别见表 4、6 第 7 行),所以离心切削滚筒与切丁刀中心水平间距优选 290 mm;由

(上接第 22 页)

能够延缓烟丝中水分的散失速度。对比空白组,在相对湿度 $RH=84\%$ 的环境下,能使烟丝从 12% 的初始含水率达到 35% 的时间延缓 2 倍;在相对湿度 $RH=32\%$ 的环境下,能使烟丝含水率从 12% 降到 8% 的时间延缓 2 倍。

通过观察添加复配阻湿剂后烟丝表面的环境扫描电镜图,可以直观地看到在高湿或低湿的环境中,复配阻湿剂都能通过覆被在烟丝表面,减少暴露的表面积,达到有效延缓烟丝表面的水分变化,将烟丝表面较长时间地维持在一个相对稳定的状态。即添加剂以化学吸附等方式将水分锁定在阻湿膜两侧,从而达到控制烟丝中水分的目的。

参考文献

- 孙雯,李雪梅,曾晓鹰. 烟丝含水率对卷烟燃吸品质、烟气水分及颗粒物挥发性成分的影响[J]. 烟草科技,2009(11):34~39.
- 张丽,张相辉,徐丽霞. 保润剂对卷烟保润性能的影响[J]. 郑州轻

表 2、3 可知,在 290 mm 中心间距下,离心切削滚筒和切丁刀之间的转速比为 0.15~0.17 时,丁断面偏差相对值 η 、丁断面倾斜度 l ,指标达到了国际同类产品标准。

3 结论

本研究通过对三维切丁机切削成形机理分析,建立了三维切丁机切割果蔬断面曲线方程,分析了影响丁断面形状的主要因素;以丁断面相对偏差 η 、倾斜度 l 为评价指标,仿真分析了不同离心切削滚筒与切丁条刀中心水平间距、离心切削滚筒与切丁条刀转速比对丁断面质量指标的影响,通过双因素方差分析,得到了上述两因素对丁断面相对偏差 η 及断面倾斜度 l 影响的权重关系,据此优选出离心切削滚筒与切丁条刀中心水平间距最优值,以及离心切削滚筒和切丁条刀之间的转速比的合理范围,从而为切丁机参数优化提供了依据。

参考文献

- 祁景瑞,胡文忠,姜爱丽,等. 果蔬切割加工与保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工,2005,5(4):7~9.
- 胡小松. 中国果蔬加工产业现状与发展态势[J]. 食品与机械,2005,21(3):4~9.
- 杨德勇,胡建平,许晓东,等. 多功能果蔬鲜切机的研制[J]. 食品与机械,2012,28(3):183~185.
- 胡建平,黄英飒,杨德勇. 果蔬三维切丁机设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(12):353~357.
- 王益强. 多功能蔬菜加工机的研制[D]. 北京:中国农业大学,2007.
- 杨德勇,胡建平,许晓东,等. 新型果蔬切丁机的设计[J]. 机械设计与制造,2012(7):25~27.
- 黄英飒. 果蔬三维切丁机设计及成形机理研究[D]. 镇江:江苏大学,2011.
- 王式安. 数理统计[M]. 北京:北京理工大学出版社,1995:110~116.

工业学院学报,2012(10):38~40,58.

- A Stoilova. Comparative investigations of the influence of polyvalent alcohols and fruit extracts on the physicochemical properties of tobacco[J]. Beitrage Zur Tabakforschung Int, 1994,16(1):1~19.
- 阮晓明,王青海,徐海涛. 新型天然保润剂 PDS 在卷烟中的应用[J]. 烟草科技,2006(9):8~10.
- 郭国宁,严恒,蔡冰. KSAP-T 的保润性能及其应用研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(12):6 569~6 572.
- 韩聃,田兆福,王宏生. 基于 LF-NMR 和 ESEM 对卷烟吸湿机制研究[J/OL]. 中国科技论文在线,2013(10)[2014-03-02]. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2013/10/356/>.
- 何保江,刘强,赵明月. 烟草保润性能测试方法[J]. 烟草科技,2009(2):25~28,45.
- 易锦满,文俊,杨庆. 几种保润剂的性能比较[J]烟草科技,2006(4):9~12.