

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.029

便携式采茶机切割器运动仿真与试验

杜哲 胡永光 王升

(江苏大学农业装备工程学院, 镇江 212013)

摘要: 利用 ADAMS 软件对双动割刀往复式切割器进行运动仿真研究, 依据仿真结果, 应用响应面法对一次切割率、重割率和漏割率进行分析, 确定齿距 20 mm、齿高 19 mm、刀机速比 1.05 为最优组合。此时, 一次切割率、重割率和漏割率分别为 76.45%、21.34% 和 2.50%。利用双动割刀往复式切割器进行田间试验, 并与仿真结果进行对比分析。结果表明, 一次切割率实测值与模拟值绝对误差小于 6%, 漏割率实测值与模拟值绝对误差小于 2%。此方法可为便携式采茶机切割器的参数优化提供理论依据。

关键词: 切割器; 便携式采茶机; 运动仿真; 试验

中图分类号: S225.99 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)S0-0221-06

Simulation and Experiment of Reciprocating Cutter Kinematic of Portable Tea Picking Machine

DU Zhe HU Yongguang WANG Sheng

(School of Agricultural Equipment Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Tea picking is one of the important links to tea production process, and the cutter is an important part of picking device. In order to reliably measure the primary cutting rate, repeated cutting rate and leakage rate of reciprocating cutter of portable tea picking machine, the reciprocating cutter was taken as an object of simulation and experiment. The kinematics simulation of cutter was studied by using ADAMS, and an experimental analysis of the primary cutting rate, repeated cutting rate and leakage rate was made by using response surface methodology based on simulation data. The results showed that the optimal combination of tooth pitch, tooth depth and cutting speed index were 20 mm, 18.61 mm and 1.05, respectively. For ease of processing, tooth pitch, tooth depth and cutting speed index were chosen to be 20 mm, 19 mm and 1.05, respectively. At this time, the values of primary cutting rate, repeated cutting rate and leakage rate were 76.45%, 21.34% and 2.50%, respectively. The results of the experimental research on the developed double-acting blade reciprocating cutter were compared with simulation data. The results showed that the range of leakage rate and primary cutting rate were 0.79% ~ 3.64% and 70.55% ~ 79.90% when the tooth pitch, tooth depth and cutting speed index were 20 mm, 19 mm and 1.05, respectively. While the error of leakage rate and primary cutting rate between the simulation and experimental data were 2% and 6%, respectively. The method provided a theoretical basis for optimizing the parameters of portable tea picking machine.

Key words: cutter; portable tea picking machine; kinematic simulation; experiment

0 引言

采摘是茶叶生产过程中重要的环节之一, 错过采摘期会影响茶叶的质量和产量。国外早在 1930 年开始研究采茶机械, 现已基本实现茶园机械化采

摘, 其采茶机械主要包括便携式、单人式、双人抬式和乘坐式^[1-3]。虽然我国的茶叶种植面积最大、茶叶产量最多, 但采茶机械的相关研究工作起步较晚。近年来, 随着农村劳动力向城镇的转移, 采茶工日益紧缺^[4], “采工荒”、“采茶难”成为制约茶产业发展

收稿日期: 2018-07-10 修回日期: 2018-08-12

基金项目: 江苏省六大人才高峰项目(2015-ZBZZ-021)和江苏高校优势学科建设工程项目(2014-37)

作者简介: 杜哲(1989—), 男, 博士生, 主要从事农产品加工装备与技术研究, E-mail: duzhe03@sina.com

通信作者: 胡永光(1976—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事茶果园生产装备与技术研究, E-mail: deerhu@163.com

的瓶颈^[5]。此外,我国大部分茶叶产区多数为丘陵、陡坡地带,不适合大、中型机械的作业。针对我国茶园种植规格不统一、茶区地形复杂的现状^[6-7],开展便携式采茶装备的研究具有重要的现实意义^[8-9]。

采茶机的切割器是重要部件之一^[10],其性能对采茶作业的顺利进行、降低采摘损失率、提高采摘质量具有重要作用。目前,采茶机的采摘方式包括往复式切割、旋转式切割、拉割式采摘等多种,其中,往复式切割应用最为广泛^[11]。白启厚^[12]通过理论计算得到切割阻力与滑切角、切割速度、刀片间隙、茶叶茎秆直径的关系,为往复式切割器的参数设计提供理论依据。陈振玉等^[13]通过切割图分析,对联合收获机的往复式切割器在不同切割情况下的一次切割区、重割区和漏割区的变化特性进行理论分析,得到相应速度参数,提高了切割器的工作性能和作业效果。

虽然国内外专家学者对往复式切割器有较为深入的研究^[14-19],但针对便携式采茶机切割器的研究较少。本文结合茶叶采摘特点,设计一种双动割刀往复式切割器,并对其进行仿真与试验,通过研究各因素对一次切割率、重割率和漏割率的影响,以期对双动割刀往复式切割器的参数优化设计提供理论依据。

1 切割装置结构设计及参数确定

1.1 总体结构及工作原理

便携式电动采茶机主要由扫叶轮、分叶板、切割器、机壳、曲柄连杆机构和直流驱动电机等组成,如图1所示。切割器和扫叶轮的直流驱动电机各自独立,用PWM调速器进行速度控制,电源选用12V锂离子电池。

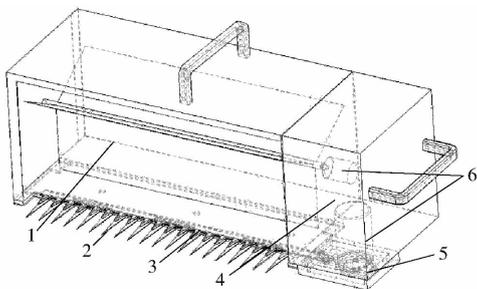


图1 总体结构示意图

Fig. 1 Diagram of overall structure

1. 扫叶轮 2. 分叶板 3. 切割器 4. 机壳 5. 曲柄连杆机构
6. 直流驱动电机

作业时,直流驱动电机分别驱动切割器和扫叶装置,双动割刀高速往复式运动,在分叶板和扫叶装置的共同作用下,进行切割。然后,采摘的茶树新梢

经由扫叶装置输送到收集袋中。

1.2 切割部件设计

为保证便携式采茶机的工作能力达到生产要求,实现切割率高、漏割率低的目标,设计刀片结构如图2所示。采茶机采用双动割刀往复式切割器,体积小、占用空间少。茶树冠层新梢分布密集,本文选取刀片宽度 b 为10mm,前桥宽度 c 为2mm,刀片厚度 i 为1.5mm。单个刀片切割行程需大于其宽度,齿距 t 为20~30mm,齿高 h 为10~20mm。

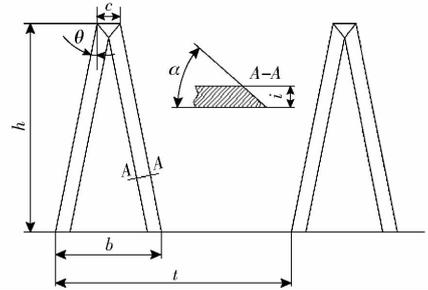


图2 刀片结构图

Fig. 2 Structure diagram of blade

1.3 切割器的传动方案

往复式切割器的传动机构包括曲柄连杆机构和摆环机构^[20]。摆环传动机构运动平稳、传动功率大,其主要应用在联合收获机上。本文设计的采茶机为便携式电动采茶机,在满足作业条件的情况下需采用简单紧凑、质量轻便的传动机构,经综合考虑本文选取传动机构为曲柄滑块式机构。

切割刀由连杆驱动,工作时上下切割刀同时作等速相对运动。双偏心轮结构由曲柄滑块机构演化,驱动双动割刀往复式切割器,偏心轮的偏心距为刀片间距的一半。其机构如图3所示,上偏心轮和下偏心轮在心轴上呈180°对称布置。

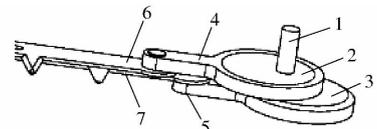


图3 切割器传动机构

Fig. 3 Transmission mechanism for cutter

1. 动力输入端 2. 上偏心轮 3. 下偏心轮 4. 上连杆 5. 下连杆
6. 上切割刀 7. 下切割刀

1.4 扫叶轮设计

根据前期试验,一芽三叶新梢长度为66.06~113.13mm。为保证采集一芽三叶,扫叶轮的叶片高度为120mm,扫叶轮宽度略小于割幅,取430mm。扫速比 λ 决定着扫叶轮边缘的轨迹,当扫速比 λ 大于1时,扫叶轮边缘轨迹为余摆线形成扣环,扣环下部有向后的水平分速度。此时,扫叶轮具有引导、辅助切割和输送的功能。当 λ 大于1.5时,扫叶轮会带

出切割后的茶鲜叶,减少茶叶产量。根据田间试验, λ 在(1,1.5)内,扫叶效果差别不明显,本文选取 λ 为 1.2。

为优化扫叶轮叶片数,分别建立叶片数为 2、3、4 的扫叶轮模型,并进行运动仿真。设置扫叶速比 λ 为 1.2,绘制不同结构扫叶轮末端的运动轨迹,如图 4 所示。

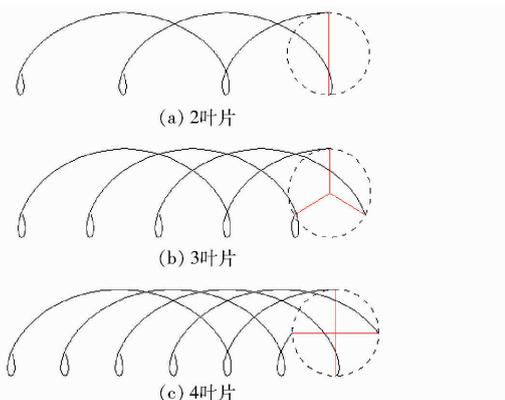


图 4 不同结构扫叶片运动轨迹

Fig. 4 Motion trajectory of different structural scavenging impellers

在扫叶速比一定条件下,叶轮数越多越有助于提高扫叶轮的辅助切割能力和扫叶能力,但叶片数越多,结构越复杂。对 3 组不同结构的扫叶轮进行田间试验,设定扫叶速比 λ 为 1.2,机器前进速度 0.5 m/s,扫叶轮叶片边缘转动角速度 0.7 rad/s,试验重复 10 次。试验结果表明,2 叶片的扫叶轮在工作时会有少量新梢掉落;3 叶片和 4 叶片的扫叶轮均能收集全部新梢,扫叶效果相同。基于轻便化设计,选取扫叶轮的叶片数为 3 叶片。

1.5 驱动电机

驱动扫叶轮所需功率较小,选用直流驱动电机的功率为 0.015 kW,电压 12 V,并配备减速比为 30 的减速器。切割器切割功率 P_q 包括切割新梢功率 P_g 和空转功率 P_k 两部分^[21],即

$$P_q = P_g + P_k \quad (1)$$

其中

$$P_g = \frac{v_m B W_0}{1\ 000} \quad (2)$$

式中 v_m ——采茶机作业速度,m/s

B ——割幅,m

W_0 ——切割比功,J/m²

v_m 为 0.6 ~ 1.0 m/s,此处取最大速度 1.0 m/s, B 为 0.45 m, W_0 ^[22] 为 200 J/m²。代入式(1)、(2),得到 $P_g = 0.09$ kW。空转功率 P_k 与切割器的安装调节技术有关,取 0.01 kW,得

$$P_q = P_g + P_k = 0.09 + 0.01 = 0.1 \text{ kW} \quad (3)$$

因此,切割器的直流驱动电机功率为 0.1 kW,

电压 12 V。

2 三维建模与仿真

在 Pro/Engineer 软件中建立双动割刀往复式切割器三维模型,并导入 ADAMS 软件进行运动仿真,定义模型中各个零部件的材料属性,添加模型的约束和驱动,如图 5 所示。在割刀边缘端点建立标记点,获取标记点的运动轨迹,此轨迹为相邻两刀片的切割图,如图 6 所示。

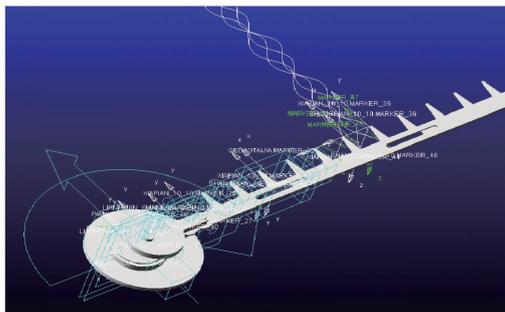


图 5 ADAMS 仿真模型

Fig. 5 ADAMS simulation model

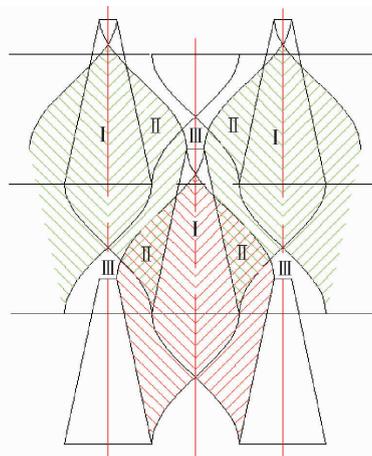


图 6 往复式切割器切割图

Fig. 6 Cutting pattern of reciprocating cutter

图 6 中, I 区为一次切割区,无漏割、重割现象; II 区为重割区,该区域新梢至少被切割 2 次; III 区为漏割区,该区域新梢没有被切割。在切割过程中,为保证切割质量和切割效率,需增加一次切割区的面积,减少重割区面积和漏割区面积。其中,一次切割率、重割率和漏割率分别为

$$y = S_1/S \times 100\% \quad (4)$$

$$z = S_2/S \times 100\% \quad (5)$$

$$w = S_3/S \times 100\% \quad (6)$$

其中

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (7)$$

式中 S ——总切割面积,m²

S_1 ——一次切割区面积,m²

S_2 ——重割区面积,m²

S_3 ——漏割区面积,m²

y ——一次切割率, %

z ——重割率, %

w ——漏割率, %

3 仿真结果与分析

在空载状态下分析齿距 x_1 、齿高 x_2 、刀机速比 x_3 对一次切割率 y 、重割率 z 和漏割率 w 的影响, 并进行单因素仿真试验, 然后利用响应面法^[23] 分析双因素交互作用, 建立相应数学模型, 优化结构参数。因素编码如表 1 所示。

表 1 试验因素编码

Tab.1 Experimental factors and coding

编码值	因素		
	齿距/mm	齿高/mm	刀机速比
-1	20	10	0.8
0	25	15	1.0
1	30	20	1.2

3.1 仿真结果

本文仅列出一次切割率的方差分析和一次切割率、重割率、漏割率与各因素编码值的二次回归方程, 未列出重割率、漏割率的方差分析。表 2 为响应面分析设计与结果, 表 3 为一次切割率的方差分析结果。

表 2 响应面分析设计与结果

Tab.2 Design and result of response surface analysis

编号	试验因素			指标		
	x_1	x_2	x_3	$y/\%$	$z/\%$	$w/\%$
1	-1	0	1	77.31	16.90	5.78
2	1	-1	0	54.70	1.89	45.29
3	-1	0	-1	78.04	2.49	19.46
4	0	0	0	72.42	3.26	24.33
5	1	1	0	69.91	8.06	22.03
6	0	0	0	72.42	3.26	24.33
7	0	0	0	72.42	3.26	24.33
8	1	0	-1	58.21	0.44	41.35
9	-1	-1	0	73.50	0.47	26.03
10	0	0	0	72.42	3.26	24.33
11	0	0	0	72.42	3.26	24.33
12	1	0	1	67.97	5.23	26.80
13	0	-1	-1	58.95	0.20	41.05
14	0	1	-1	72.92	4.43	22.64
15	0	1	1	72.35	22.78	4.87
16	-1	1	0	75.17	21.61	3.22
17	0	-1	1	66.90	0.73	32.37

由表 3 可知, 模型 P 小于 0.000 1, 模型处于极显著水平; 模型的确定系数 $R^2 = 0.993 8$, 拟合程度良好, 误差小; 失拟度不显著, 试验指标和试验因素

表 3 方差分析

Tab.3 Variance analysis

来源	平方和	自由度	均方差	F	P
模型	704.68	9	78.30	124.26	<0.000 1
x_1	354.18	1	354.18	562.09	<0.000 1
x_2	164.71	1	164.71	261.40	<0.000 1
x_3	33.66	1	33.66	53.42	0.000 2
x_1x_2	45.83	1	45.83	72.74	<0.000 1
x_1x_3	27.51	1	27.51	43.66	0.000 3
x_2x_3	18.15	1	18.15	28.80	0.001 0
x_1^2	2.36	1	2.36	3.75	0.094 2
x_2^2	47.29	1	47.29	75.05	<0.000 1
x_3^2	6.99	1	6.99	11.10	0.012 6
残差	4.41	7	0.63		
失拟	4.41	3	1.47		
误差	0.000	4	0.000		
R^2	0.993 8	预测 R^2	0.900 5		
调整 R^2	0.985 8				

存在显著的二次关系。得到一次切割率 y 与各因素编码值的二次回归方程为

$$y = 72.42 - 6.65x_1 + 4.54x_2 + 2.05x_3 + 3.38x_1x_2 + 2.62x_1x_3 - 2.13x_2x_3 - 0.75x_1^2 - 3.35x_2^2 - 1.29x_3^2 \quad (8)$$

$$z = 3.26 - 3.23x_1 + 6.70x_2 + 4.76x_3 - 3.74x_1x_2 - 2.41x_1x_3 + 4.45x_2x_3 + 1.99x_1^2 + 2.76x_2^2 + 1.02x_3^2 \quad (9)$$

$$w = 24.33 + 10.12x_1 - 11.50x_2 - 6.84x_3 - 0.11x_1x_2 - 0.22x_1x_3 - 2.27x_2x_3 - 1.04x_1^2 + 0.85x_2^2 + 0.054x_3^2 \quad (10)$$

回归方程中各因素系数的绝对值代表该因素影响模型预测结果的能力。由式(8)~(10)可知, 各因素对一次切割率 y 影响由大到小为 x_1 、 x_2 、 x_3 , 各因素对重割率 z 影响由大到小为 x_2 、 x_3 、 x_1 , 各因素对漏割率 w 影响由大到小为 x_2 、 x_1 、 x_3 。

3.2 单因素分析

各试验因素对一次切割率 y 、重割率 z 和漏割率 w 的影响曲线如图 7 所示。单因素分析表明, 齿距、齿高和刀机速比对一次切割率、重割率和漏割率的影响极为显著 ($P < 0.01$)。齿距过大会导致一次切割率迅速减小, 增加齿高可提高一次切割率(图 7a)。为降低重割率需增大齿距, 减小齿高和刀机速比(图 7b)。降低漏割率需减小齿距, 增加齿高和刀机速比(图 7c)。

3.3 双因素分析

一次切割率的响应曲面如图 8 所示。由图 8a

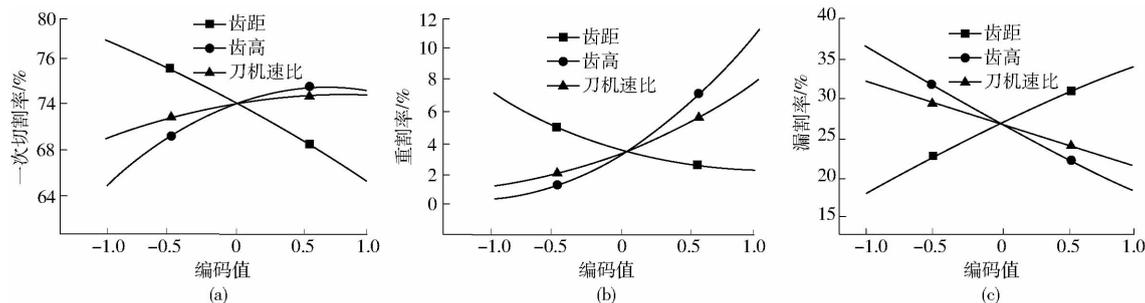


图7 三因素对一次切割率、重割率和漏割率的影响

Fig. 7 Effect of three factors on primary cutting rate, recutting rate and leakage rate

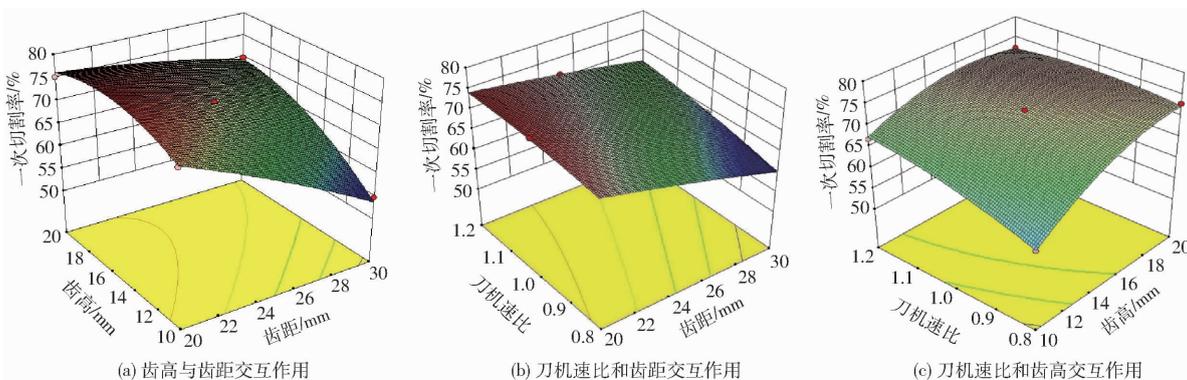


图8 一次切割率试验因素的响应面

Fig. 8 Response surfaces of primary cutting rate

可知,一次切割率随齿高的增加先升后降,随齿距的增加而减小。齿高和齿距的交互作用对一次切割率具有显著性影响($P < 0.01$)。由图8b可知,响应面坡度平缓,齿高和刀机速比对一次切割率的影响程度有差异。齿距和刀机速比的交互作用对一次切割率具有显著性影响($P < 0.01$)。由图8c可知,一次切割率随齿高的增加先升后降;在不同齿高下,一次切割率随刀机速比的变化不同。齿高和刀机速比的交互作用对一次切割率具有显著性影响($P < 0.01$)。

通过响应面优化,得到采茶机往复切割器参数的最优组合:齿距 20 mm、齿高 18.61 mm、刀机速比 1.05。为便于加工,选取齿距 20 mm,齿高 19 mm,刀机速比 1.05。此时,一次切割率为 76.45%,重割率为 21.34%,漏割率为 2.50%。

4 验证试验

试验场地为江苏省镇江市丹阳迈春茶厂,试验品种为茂绿,茶冠层宽度约 1 m,长度约 20 m。2018 年 3 月对茶树冠层进行轻修剪,4 月进行采摘试验,如图 9 所示。最佳刀机速比为 1.05,选取机器前进速度为 0.5、0.7、0.9 m/s,切割速度为 0.525、0.735、0.945 m/s。以前进速度和切割速度为因素,一次切割率 y 和漏割率 w 为指标,进行台架性能试验,每组试验重复 5 次,其结果取平均值,如表 4 所示。

$$y = m_1/m \times 100\% \quad (11)$$

$$w = n_1/n \times 100\% \quad (12)$$

式中 m_1 ——切割面积内一次切割新梢个数,个
 m ——切割面积内新梢总数,个
 n_1 ——切割面积内未切割新梢质量,kg
 n ——切割面积内新梢总质量,kg



图9 试验样机

Fig. 9 Experimental prototype

试验结果表明,当齿距为 20 mm、齿高 19 mm 和刀机速比 1.05 时,一次切割率的范围为 70.55% ~ 79.90%,最小的一次切割率 70.55% 与响应面优化试验 76.45% 的绝对误差小于 6%;漏割率的范围为 0.79% ~ 3.64%,最小漏割率 0.79% 与响应面优化试验 2.50% 的绝对误差小于 2%。表明优化后的齿距、齿高和刀机速比合理。

5 结论

(1)应用 ADAMS 仿真软件对双动割刀往复式

表4 试验结果
Tab.4 Test results

序号	前进速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	切割速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	漏割率/ %	一次切割 率/%
1	0.5	0.525	0.79	76.30
2	0.5	0.525	0.83	79.90
3	0.5	0.525	3.50	76.30
4	0.7	0.735	0.56	79.73
5	0.7	0.735	1.30	77.56
6	0.7	0.735	3.50	74.32
7	0.9	0.945	1.67	75.43
8	0.9	0.945	2.80	72.17
9	0.9	0.945	3.64	70.55

切割器进行运动仿真。依据仿真结果,基于响应面法,以优化一次切割率、重割率和漏割率为目标,研究切割器的齿高、齿距和刀机速比。结果表明:齿距20 mm、齿高19 mm和刀机速比1.05为最优组合。此时,一次切割率、重割率和漏割率分别为76.45%、21.34%和2.50%。

(2)利用双动割刀往复式切割器进行田间试验,并与仿真结果进行对比分析。结果表明,一次切割率实测值与模拟值的绝对误差小于6%,漏割率实测值与模拟值的绝对误差小于2%。此方法可为便携式采茶机切割器的参数优化提供理论依据。

参 考 文 献

- 岳鹏翔,陈椽. 采茶机和修剪机的发展史[J]. 茶叶机械杂志,1994(3):27-29.
- HAN Y, XIAO H, QIN G, et al. Developing situations of tea plucking machine[J]. Engineering, 2014,6(6):268-273.
- DUARA M, MALLICK S. Tea industry in Assam (India): issues of migration and gender discrimination [C] // International Proceedings of Economics Development and Research, 2012.
- 缪叶旻子,郑生宏. 丽水茶叶机采应用中存在的问题及对策探讨[J]. 浙江农业科学,2014,1(4):483-486.
- 石元值,吕闰强,阮建云,等. 双人采茶机在名优绿茶机械化采摘中的应用效果[J]. 中国茶叶,2010,32(6):19-20.
- 罗学平,赵先明. 茶叶加工机械与设备[M]. 北京:中国轻工业出版社,2015.
- 钱争光,茹利军. 6CDW-220型微型采茶机的设计[J]. 中国茶叶加工,2015(2):58-60,71.
- 邵陆寿. 4C-80型微功率电动采茶机采茶的农艺和加工配套措施[J]. 中国茶叶,1995(4):5.
- 向芬,郭放苏,刘志刚,等. 一种高效节能环保型单人电动采茶机[J]. 茶叶通讯,2013,40(3):43-44.
- 施印炎,陈满,汪小昂,等. 芦蒿有序收获机切割器动力学仿真与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(2):110-116. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170215&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.015.
- SHI Yinyan, CHEN Man, WANG Xiaochan, et al. Dynamic simulation and experiments on *Artemisia selengensis* orderly harvester cutter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(2):110-116. (in Chinese)
- 韩余,肖宏儒,秦广明,等. 国内外采茶机械发展状况研究[J]. 中国农机化学报,2014,35(2):20-24.
- HAN Yu, XIAO Hongru, QIN Guangming, et al. Studies on develop situations of tea-leaf picker both at home and abroad[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014,35(2):20-24. (in Chinese)
- 白启厚. 往复切割式采茶机切割器试验研究[J]. 安徽工学院学报,1985,15(2):29-44.
- 陈振玉,周小青. 谷物联合收获机往复切割器切割过程的研究[J]. 农机化研究,2012,34(7):73-77.
- CHEN Zhenyu, ZHOU Xiaoqing. Study on the cutting process of reciprocating cutter in combine harvester based on cutting[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012,34(7):73-77. (in Chinese)
- INCE A, UGURLUAY S, GUZEL E, et al. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue [J]. Biosystems Engineering, 2005,92(2):175-181.
- HEIDARI A, CHEGINI G, KIANMEHR M H, et al. Influence of knife bevel angle, rate of loading and stalk section on some engineering parameters of liliun stalk[J]. Iranica Journal of Energy and Environment, 2012,3(4):333-340.
- JOHNSON P C, CLEMENTSON C L, MATHANKER S K, et al. Cutting energy characteristics of *Miscanthus x giganteus* stems with varying oblique angle and cutting speed[J]. Biosystems Engineering, 2012,112(1):42-48.
- 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 农作物茎秆的力学特性研究进展[J]. 农业机械学报,2007,38(7):172-176.
- LIU Qingting, OU Yinggang, QING Shangle, et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(7):172-176. (in Chinese)
- 杜现军,李玉道,颜世涛,等. 棉秆力学性能试验[J]. 农业机械学报,2011,42(4):87-91.
- DU Xianjun, LI Yudao, YAN Shitao, et al. Mechanics characteristics of cotton stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(4):87-91. (in Chinese)
- 赵满全,张宁,杨铁军,等. 双圆盘割草机切割器虚拟样机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(8):101-105. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140816&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.016.
- ZHAO Manquan, ZHANG Ning, YANG Tiejun, et al. Design and experiment of virtual prototype of double disc mower cutter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(8):101-105. (in Chinese)
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:下册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 徐秀英. 小型牧草收获机械的设计[D]. 南京:南京农业大学,2004.
- XU Xiuying. Design of mini-type herbage harvester[D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 赵春花. 手扶式山地牧草收割机研制[D]. 兰州:甘肃农业大学,2004.
- ZHAO Chunhua. Development of hand-operated mountain pasture harvester[D]. Lanzhou:Gansu Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 吴崇友,丁为民,石磊,等. 油菜分段收获捡拾脱粒机捡拾损失响应面分析[J]. 农业机械学报,2011,42(8):89-93.
- WU Chongyou, DING Weimin, SHI Lei, et al. Response surface analysis of pickup losses in two-stage harvesting for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(8):89-93. (in Chinese)