

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.015

液压驱动式油茶果采摘机设计与试验

饶洪辉 黄登昇 王玉龙 陈斌 刘木华

(江西农业大学工学院,南昌 330045)

摘要:为提高电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器的采摘效率,设计了一种液压驱动式油茶果采摘机。通过分析油茶果与胶辊相互作用力的影响因素,确定了采摘机的主要工作参数。仿真分析了不同工作参数对油茶果与胶辊相互作用力的影响规律,并以上下组胶辊间距、旋转架转速、胶辊直径为影响因素,以油茶果采摘率和花苞损伤率为评价指标,在江西省林科院和江西农业大学分别进行了室外、室内采摘试验。结果表明,影响采摘率的因素由大到小依次是上下组胶辊间距、旋转架转速和胶辊直径;影响花苞损伤率的因素由大到小依次是胶辊直径、上下组胶辊间距和旋转架转速。结合室内、室外试验,运用综合评分法得出油茶果采摘率较高且花苞损伤率较小的最佳参数组合为:上下组胶辊间距 15 mm、旋转架转速 55 r/min、胶辊直径 30 mm。与电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器相比,液压驱动式油茶果采摘机旋转架转速提高了 83.33%,采摘效率明显提高,其平均采摘效率为 210 个/min。

关键词:油茶果;液压驱动式;采摘机;采摘效率

中图分类号: S225.93 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2019)05-0133-07

Design and Experiment of Hydraulic-driven Camellia Fruit Picking Machine

RAO Honghui HUANG Dengsheng WANG Yulong CHEN Bin LIU Muhua

(College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: In order to improve picking efficiency of motor-driven picking actuator of camellia fruit with rotate rubber roller, a hydraulic-driven camellia fruit picking machine was developed. The influencing factors of the interaction force between camellia fruit and rubber roller were analyzed, and the influence rules of different factors on the interaction force between camellia fruit and rubber roller were obtained by simulation. Based on the analysis result, the main working parameters of the picking device were confirmed. Taking the picking rate of camellia fruit and damage rate of camellia bud as experimental indexes, the distance between up and bottom rollers, speed of rotating frame and the diameter of rollers as experimental factors, the orthogonal indoor and outdoor tests were developed in Jiangxi Academy of Forestry and Jiangxi Agricultural University. Experimental results showed that the significant factors affecting the picking rate were represented as the distance between up and bottom rollers, the speed of rotating frame and the diameter of rubber roller. The significant factors affecting the damage rate of camellia bud were represented as the diameter of the rubber roller, the distance between up and bottom roller and the rotational speed of the rotating frame. With the optimal parameter combination, the distance between upper and lower rubber was 15 mm, the rotating speed of rotating frame was 55 r/min, and the diameter of robber was 30 mm, which were verified experimentally with respect to comprehensive performance of the camellia fruit picking machine. Compared with motor-driven picking actuator of camellia fruit with rotate rubber roller, the picking efficiency of hydraulic-driven camellia fruit picking machine was improved obviously, and its speed of rotating frame was increased by 83.33% and average picking efficiency was 210 per minute.

Key words: camellia fruit; hydraulic-driven; picking machine; picking efficiency

收稿日期: 2019-01-21 修回日期: 2019-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51305180)和江西省科技计划项目(20141BBF60057)

作者简介: 饶洪辉(1978—),男,副教授,主要从事现代农业装备研究,E-mail: rhh58@sohu.com

0 引言

油茶是我国南方特有的木本油料作物,主要分布在我国江西省、湖南省等地,是世界四大木本油料作物之一,具有较高的实用价值^[1-2]。江西省作为我国油茶种植的主要省份,近年来油茶种植面积不断扩大,然而油茶果的采摘依然靠人工完成,未能实现机械化,因此实现油茶果的机械化采摘具有重要意义^[3-5]。

国外的林果机械化采摘发展较为成熟,智能化程度较高。主要采用气吸式、振动式采摘装置和采摘机器人等,对苹果、开心果、杏仁、油橄榄、柑橘等进行采摘^[6-10]。我国林果机械化正稳步推进,相关科研院所和学者研制出了一些样机并取得了较好的试验结果^[11-16]。

国外只有东南亚等地有少量油茶果种植,因此油茶果机械化采摘尚无国外文献报道。国内部分学者进行了相关研究,高自成等^[17]应用D-H矩阵变换法建立了油茶果采摘执行机构中采摘齿的空间运动方程,并通过试验验证了该机构的可行性。叶霜等^[18]对油茶果振动采摘机的执行机构进行了运动仿真,得到了振动采摘头末端一点的运动位置和速度曲线图,但并未进行试验验证。饶洪辉等^[19]设计了一种电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器,试验表明,该采摘执行器对油茶果采摘率较好,花苞损伤低,但户外移动不方便,且电机驱动采摘持续时间有限,采摘机的高度调节范围小,旋转架转速不高(30 r/min),其采摘效率和实用性有待提高。

为进一步提高电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器的采摘效率,本文设计一种可在缓坡地带行走的液压驱动式油茶果采摘机,通过分析影响油茶果采摘效果的主要因素,确定采摘机的主要工作参数。并以主要工作参数为因素,以油茶果采摘率和花苞损伤率为指标进行正交试验,以期在提高采摘效率的同时获得采摘机较佳的工作参数组合。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

液压式油茶果采摘机主要由胶辊组、上下旋转架、链轮链条、齿轮箱、采摘头执行液压马达、采摘头液压缸、主臂、副臂、主臂液压缸、副臂液压缸、履带式行走系统等组成。其整体结构如图1所示,主要参数为:主臂液压缸行程0~160 mm,副臂液压缸行程0~330 mm,采摘头液压缸行程0~230 mm,采摘机采摘高度范围900~3 000 mm,采摘头采摘宽度465 mm,外形尺寸(长×宽)3 000 mm×920 mm。

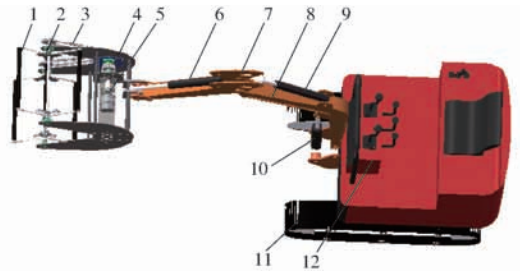


图1 液压驱动式油茶果采摘机结构简图

Fig. 1 Structure diagram of hydraulic-driven picking machine for camellia fruit

1. 胶辊 2. 旋转架 3. 链条 4. 齿轮箱 5. 采摘头执行液压马达 6. 采摘头液压缸 7. 副臂 8. 主臂 9. 副臂液压缸 10. 主臂液压缸 11. 履带式行走系统 12. 采摘头、主臂、副臂、液压马达控制手柄

1.2 工作原理

采摘机总宽度不大,但长度较长,因此其适宜的油茶种植条件为地势较为平坦,油茶株行距为4 m×4 m;或缓坡地带(坡度不大于25°)株行距为3 m×4 m。液压式油茶果采摘机工作原理如图2所示,通过控制主臂手柄和动臂手柄将采摘头调整至树枝的正向位置,将油门控制阀调至预定转速位置处并拨动采摘头执行液压马达手柄,液压马达开始工作,经传动系统减速后带动上下组旋转架按图2所示方向旋转,此时油茶果经碰撞和挤压掉落,完成采摘过程。

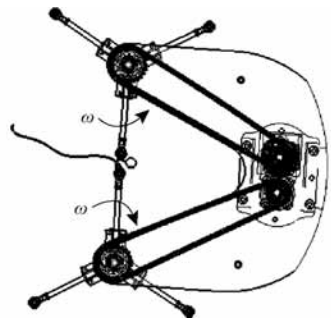


图2 采摘机工作原理图

Fig. 2 Working principle diagram of picking machine

2 油茶果与胶辊相互作用力影响因素分析

油茶果与胶辊相互作用力主要由胶辊与油茶果碰撞时的正压力和摩擦力组成,为了分析方便,本文将油茶果与胶辊的作用形式简化成如图3所示的模型。

由如图3油茶果受力分析可得

$$\begin{cases} f_1 = \mu F_{N1} \\ f_2 = \mu F_{N2} \\ F_x = F_{N1} \cos \alpha + F_{N2} \cos \alpha + f_1 \sin \alpha + f_2 \sin \alpha \end{cases} \quad (1)$$

式中 F_{N1} 、 F_{N2} ——上、下胶辊对油茶果表面的正压力,N

$f_1、f_2$ ——油茶果两侧形成的沿切线方向摩擦力, N

μ ——油茶果与胶辊接触时摩擦因数

α —— $F_{N1}、F_{N2}$ 与 x 轴的夹角, ($^\circ$)

F_x ——油茶果所受上、下胶辊作用力的合力沿水平方向的分力, N

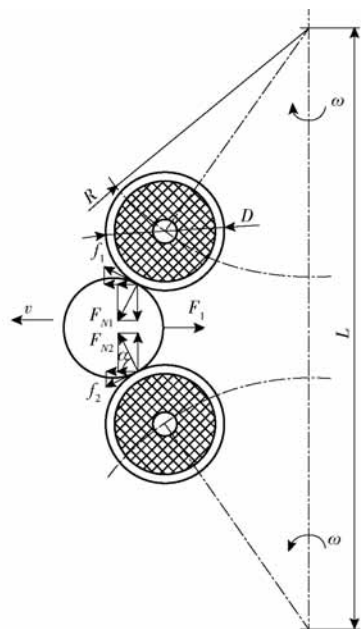


图3 油茶果与胶辊作用模型

Fig.3 Interaction model between camellia fruit and rubber roller

由式(1)可得油茶果受胶辊作用后脱落的力学条件为

$$(F_{N1} + F_{N2}) \cos\alpha + \mu \sin\alpha (F_{N1} + F_{N2}) \geq F_1 \quad (2)$$

式中 F_1 ——油茶果与果柄的结合力, N

上下组胶辊最小间距 d 与胶辊直径关系式为

$$d = L - (2R + D) \quad (3)$$

式中 L ——上、下胶辊组旋转中心距, mm

R ——胶辊组旋转半径, mm

D ——胶辊直径, mm

当 d 变小, 其它条件不变时, 胶辊对油茶果的正压力 $F_{N1}、F_{N2}$ 将增大, 由式(2)可知, 油茶果所受上、下胶辊作用力的合力沿水平方向的分力将增大。

当胶辊旋转架角速度 ω 增大, 其它条件不变时, 油茶果受胶辊撞击脱离的速度 v 将变大, 油茶果与胶辊作用时间也将变短, 由动量定理得

$$F\Delta t = m_1(v - v_0) \quad (4)$$

式中 m_1 ——油茶果质量, g

v_0 ——被胶辊喂入的初始速度, m/s

v ——油茶果脱离速度, m/s

Δt ——油茶果与胶辊作用时间, s

F ——油茶果受胶辊作用后的合力, N

由式(4)可知, 当胶辊旋转架角速度 ω 增大时, 油茶果受胶辊撞击脱离的速度 v 将变大, 油茶果受胶辊作用后的合力将增大。

当胶辊直径 D 增大时, 胶辊的质量将增大, 其它条件保持不变时, 胶辊对油茶果的采摘力也将增大。因此, 油茶果所受胶辊作用的采摘力影响因素主要有上下胶辊间距、胶辊旋转架转速和胶辊直径。

3 油茶果与胶辊相互作用力仿真分析

3.1 三维模型的建立

由于采摘机采摘时油茶果与胶辊作用过程较为复杂, 为了分析不同因素对油茶果与胶辊相互作用力(即油茶果受胶辊的碰撞力)的变化规律, 本文借助 ADAMS 软件对油茶果与胶辊作用规律进行建模仿真。

由于采摘头模型较为复杂, 在 ADAMS 中建立三维模型较为繁琐, 为此本文在 SolidWorks 软件中建立油茶果与旋转架的三维模型, 并利用 ADAMS 软件与 SolidWorks 的接口将 SolidWorks 中建立的三维模型直接导入 ADAMS 中进行分析, 导入的三维模型如图 4 所示。

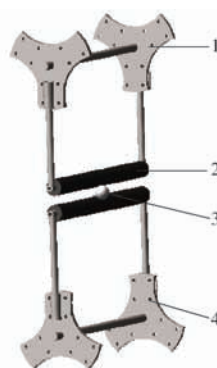


图4 旋转架与油茶果接触模型

Fig.4 Contact model between rotary frame and camellia fruit

1. 上旋转架 2. 胶辊 3. 油茶果 4. 下旋转架

3.2 材料属性定义

直接在 ADAMS 软件材料库中选择 steel 作为上下旋转架各个组件的材料, 油茶果的材料属性由文献[20]可知, 各种材料属性设置如表 1 所示。

表 1 材料属性

Tab.1 Material property

材料	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	泊松比	弹性 模量/MPa
上下旋转架组件	7.801	0.269	2.07×10^5
油茶果	0.954	0.35	4.984
胶辊	1.14	0.4	2830

3.3 约束和驱动添加

如图5所示,分别添加旋转架各个组件直径的固定副 JOINT_1 ~ JOINT_10, 回转轴与大地之间的旋转副 JOINT_11、JOINT_12; 在旋转副上添加旋转驱动。图中所示的两个旋转驱动在设置转速时, 上旋转架驱动取正值, 下旋转架取负值, 即大小相等、方向相反。通过冲击函数法分别设置上、下两胶辊与油茶果之间的接触力, 其刚度 k 计算公式为

$$k = \frac{4}{3} R^{1/2} E^* \quad (5)$$

其中

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$$

式中 R_1, R_2 —— 两碰撞物体的半径

ν_1, ν_2 —— 两物体的泊松比

E_1, E_2 —— 两物体的弹性模量

代入胶辊与油茶果相关物理参数得出 $k = 21.3409 \text{ N/mm}^3$, 碰撞力指数推荐值设置为2(胶辊和油茶果), 阻尼系数设置为刚度的1%, 穿透深度一般推荐值为0.1 mm。

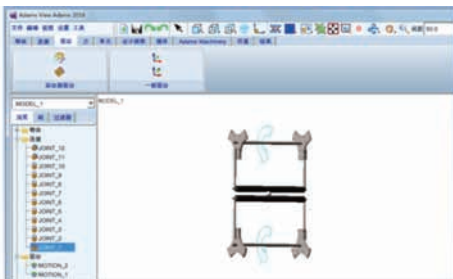


图5 添加约束和驱动界面

Fig. 5 Interface of adding constraints and drivers

3.4 仿真结果与分析

3.4.1 不同转速下油茶果所受接触碰撞力

当模型油茶果直径30 mm、上下组胶辊间距15 mm、胶辊直径为30 mm时, 在旋转副 JOINT_11、JOINT_12 上添加旋转驱动转速分别为10、30、50、70 r/min。图6所示为不同转速下油茶果所受到的接触碰撞力变化曲线。

由图6可知, 随着转速的不断提高, 油茶果所受的接触碰撞力在不断增加。从油茶果脱落临界条件来看^[17](纵向拉断力3.92 N、横向拉断力3.36 N), 转速在10 r/min时, 油茶果受到的最大碰撞力为5.287 N, 因此在间距15 mm时旋转架转速应大于10 r/min。

为进一步验证满足油茶果脱落的速度条件, 设定当模型油茶果直径30 mm、胶辊直径为30 mm、上下组胶辊间距为25 mm时, 在旋转副 JOINT_11、

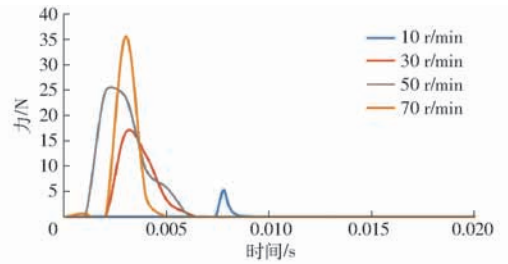


图6 不同转速下油茶果受到的碰撞力变化曲线
($d = 15 \text{ mm}$)

Fig. 6 Impact force curves of camellia fruit at different rotational speeds ($d = 15 \text{ mm}$)

JOINT_12 上添加10、12、14 r/min的转速, 得到图7所示的油茶果接触碰撞力变化曲线。

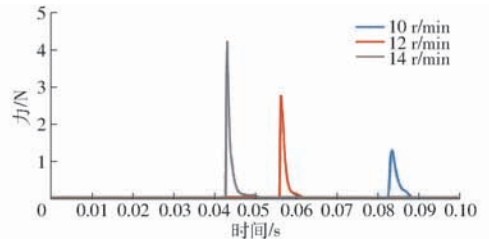


图7 不同转速下油茶果受到的碰撞力变化曲线
($d = 25 \text{ mm}$)

Fig. 7 Impact force curves of camellia fruit at different rotational speeds ($d = 25 \text{ mm}$)

由图7可知, 当 d 为25 mm时, 转速在10 r/min时受到的最大接触碰撞力为1.3 N; 转速在12 r/min时最大接触碰撞力为2.7 N; 转速在14 r/min最大接触碰撞力为4.2 N。因此 d 为25 mm时要使得油茶果脱落, 需将转速提高到14 r/min。

综合以上两个仿真结果得出: 当胶辊直径和油茶果直径不变时, 随着胶辊间距的增大, 油茶果脱落所需的旋转架理论转速也将增大。

3.4.2 不同胶辊直径下油茶果所受接触碰撞力

当油茶果直径30 mm, 上、下组胶辊间距15 mm, 旋转架转速为50 r/min时, 设定胶辊直径分别为25、30、35 mm, 图8所示为油茶果受到的碰撞接触力曲线。

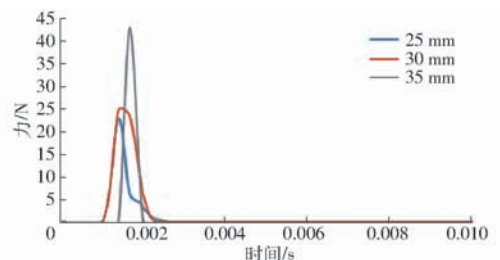


图8 不同胶辊直径下油茶果受到的碰撞力变化曲线

Fig. 8 Impact force curves of camellia fruit at different rubber roller diameters

由图8可知, 随着胶辊直径的不断增大, 油茶果

所受到的接触碰撞力在逐渐增大,可见胶辊直径大小对油茶的采摘有直接的影响。

3.4.3 不同间距下油茶果所受接触碰撞力

当油茶果直径为 30 mm、胶辊直径 30 mm、旋转架转速为 50 r/min 时,间距分别为 15、20、25 mm 时,油茶果受到的碰撞接触力曲线如图 9 所示。

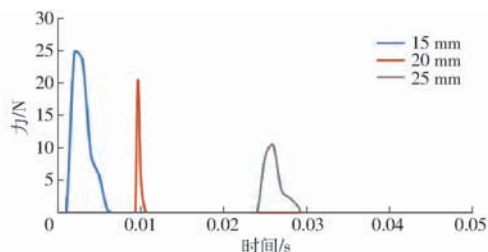


图9 不同间距下油茶果受到的碰撞力变化曲线

Fig. 9 Impact force curves of camellia fruit at different rubber roller gaps

由图 9 可知,随着间距的不断增大,油茶果所受的接触碰撞力在逐渐减小,且随着间距的扩大,油茶果所受最大接触碰撞力的时间也在向后推移,可知间距的大小对油茶果的采摘起关键性作用。

4 采摘试验

4.1 试验条件与设备

2018 年 10 月 22 日在江西省林科院国家高产油茶林基地进行室外试验,选择 6 棵挂果数量较多、分布茂盛的赣无 1 油茶品种作为采摘对象。该油茶林基地果树之间分布较为密集,油茶果树与油茶花树交错分布。茶树高在 3~5 m 之间,用游标卡尺测得赣无 1 品种油茶果直径分布在 12~38 mm,平均直径约 25 mm,油茶花苞直径约 8 mm,油茶树枝之间交错状分布且分布较为密集。

试验前通过数字式光电转速表测量采摘头的执行液压马达转速,并在油门处对旋转架转速 45、55、65 r/min 进行标定。每组胶辊安装有直径为 20、25、30 mm 胶辊各 1 个。试验设备包括:采摘样机、收集装置、游标卡尺、AR926 型数字式光电转速表等。

试验选用型号为 BMR125 的液压马达作为采摘头驱动马达,其主要参数如表 2 所示。

室内试验在江西农业大学工程训练中心进行,

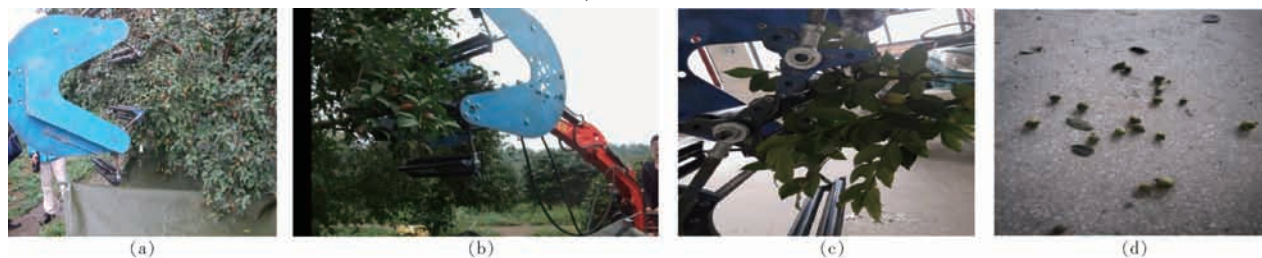


图 10 采摘试验

Fig. 10 Picking test

表 2 液压马达主要参数

Tab. 2 Main parameters of hydraulic motor

项目	最高转速/(r·min ⁻¹)	最大扭矩/(N·m)
额定值	420	250
连续值	475	300
断续值	600	340

分别从 2 棵赣无 1 油茶树上摘取长势相近的 18 枝油茶树枝,每枝均长有花苞和油茶果。

试验情况如图 10 所示,图 10a、10b 为室外试验图,图 10c、10d 为室内试验图。

4.2 影响因素和评价指标

4.2.1 试验影响因素

由前面的分析和仿真试验可知,油茶果采摘时受胶辊作用的采摘力影响因素有胶辊间距、胶辊旋转架转速和胶辊直径等。

胶辊间距应综合考虑油茶果和花苞直径。一方面,胶辊间距应小于油茶果直径,间距越小,油茶果脱落的机率越大。另一方面,胶辊间距应大于油茶花苞直径,且间距越大,油茶花苞在采摘时脱落损伤越少。

胶辊旋转架转速过低将会直接影响油茶果的采摘效果,由前面的仿真试验可知,要使油茶果脱落,旋转架转速不应小于 14 r/min;转速过高将会导致旋转架和胶辊在转动过程中对油茶花苞和枝叶造成损伤。因此胶辊架转速应在减少花苞和枝叶损伤的同时尽量增大。

4.2.2 试验指标

该样机研制的目的是在提高油茶采摘率的同时,降低油茶果花苞损伤。考虑试验时油茶果树枝呈交错状分布状态,难以对花苞数进行准确统计。以单位时间内油茶果采摘数量来估算采摘效率,由于室内采摘试验每枝油茶枝果实数量少,不宜统计采摘效率,因此户外试验主要验证指标为油茶果采摘率,并估算采摘效率,室内试验验证指标为采摘率和花苞损伤率。

4.3 试验结果及分析

4.3.1 试验方案

试验以上下组胶辊间距、旋转架转速、胶辊直径

作为影响因素,分别设置3个水平,采用正交试验表 $L_9(3^4)$ 进行9次试验,每次试验重复2次取平均值。室外试验时用收集伞收集油茶果以便统计其个数,每次试验操作时间为15 s,试验因素水平如表3所示。

表3 试验因素水平

Tab.3 Test factors and levels

水平	试验因素		
	胶辊间距 A/	旋转架转速 B/	胶辊直径 C/
	mm	($r \cdot \min^{-1}$)	mm
1	15	45	25
2	20	55	30
3	25	65	35

4.3.2 试验结果

室外试验方案及极差分析结果如表4所示。

表4 试验结果与极差分析(室外)

Tab.4 Experimental design and result

试验 序号	因素			指标	
	A/	B/	C/mm	采摘率/	采摘效率/
	mm	($r \cdot \min^{-1}$)		%	(个·次 ⁻¹)
1	15	45	25	93.00	47
2	15	55	30	92.80	58
3	15	65	35	93.70	91
4	20	45	30	91.85	53
5	20	55	35	91.50	43
6	20	65	25	91.25	43
7	25	45	35	90.86	82
8	25	55	25	92.83	35
9	25	65	30	90.25	21
K_1	2.795	2.757	2.771		
K_2	2.746	2.771	2.749		
采 摘 率 K_3	2.739	2.752	2.761		
k_1	0.932	0.919	0.924		
k_2	0.915	0.924	0.916		
k_3	0.913	0.917	0.920		
R	0.019	0.007	0.008		

由表4极差分析结果得: $R_A = 0.019$, $R_B = 0.007$, $R_C = 0.008$,三因素中胶辊间距极差大于另外两因素,是主要影响因素,胶辊直径和旋转架转速极差相近,均为次要因素。由表4计算采摘效率,其平均值为210个/min。第3、7次试验油茶果采摘数量多,而第9次试验油茶果采摘数量较少,主要是因为采摘时油茶果枝挂果过密或过稀造成的。由于试验因素中有胶辊旋转架转速,一般情况下,胶辊旋转架转速越高,其它条件相同时,相同数量的油茶果采收时间越短,采摘效率越高。

室内试验结果和极差分析如表5所示。

表5 试验结果与极差分析(室内)

Tab.5 Experimental result and range analysis

试验 序号	因素			指标	
	A/mm	B/	C/mm	采摘率	花苞损伤率
		($r \cdot \min^{-1}$)		$Y_1/\%$	$Y_2/\%$
1	15	45	25	100	25.00
2	15	55	30	88.89	0
3	15	65	35	100	16.67
4	20	45	30	88.89	0
5	20	55	35	75.00	14.00
6	20	65	25	80.00	33.00
7	25	45	35	77.78	13.00
8	25	55	25	66.67	0
9	25	65	30	75.00	0
K_1	2.889	2.667	2.467		
K_2	2.439	2.306	2.523		
采 摘 率 K_3	2.195	2.550	2.523		
k_1	0.963	0.889	0.822		
k_2	0.813	0.768	0.843		
k_3	0.732	0.850	0.843		
R	0.231	0.120	0.021		
K_1	0.417	0.380	0.580		
花 苞 损 伤 率 K_2	0.470	0.140	0		
K_3	0.13	0.497	0.437		
k_1	0.139	0.127	0.193		
k_2	0.157	0.047	0		
k_3	0.043	0.166	0.146		
R	0.113	0.039	0.146		

由表5极差分析结果可知,三因素对油茶果采摘率影响的主次顺序为:胶辊间距、旋转架转速、胶辊直径;对油茶花苞损伤率影响的主次顺序为:胶辊直径、胶辊间距、旋转架转速。另外由表4可知室外试验油茶果采摘率在90%以上,由表5可知,室内试验平均采摘率为83.6%,平均花苞损伤率为11.3%。综合室内外试验结果可知样机的油茶果采摘率较高,花苞损伤率较小。

4.4 最优方案

根据室内试验结果,以采摘率和花苞损伤率为评价指标,采摘率和花苞完好率各占50%的权重,用综合评分法确定最优方案,评价结果见表6。计算公式为

$$Y = Y'_1 + Y'_2 \quad (6)$$

$$\text{其中 } Y'_1 = Y_1 \times 100 \times 50\% \quad (7)$$

$$Y'_2 = (1 - Y_2) \times 100 \times 50\% \quad (8)$$

式中 Y_1 ——室内试验采摘率,%

Y_2 ——室内试验花苞损伤率,%

Y'_1 ——室内试验采摘率得分

Y'_2 ——室内试验花苞完好率得分

Y ——综合得分

表6 综合评分结果

Tab.6 Result of comprehensive scoring

试验 序号	因素			采摘率 得分	花苞完好 率得分	综合 得分
	A/mm	B/(r·min ⁻¹)	C/mm			
1	15	45	25	100	75.00	87.50
2	15	55	30	88.89	100	94.45
3	15	65	35	100	83.33	91.67
4	20	45	30	88.89	100	94.45
5	20	55	35	75.00	86.00	80.50
6	20	65	25	80.00	67.00	73.50
7	25	45	35	77.78	87.00	82.39
8	25	55	25	66.67	100	83.34
9	25	65	30	75.00	100	87.50

由表6可知,得分最高的组合是 $A_1B_2C_2$ 和 $A_2B_1C_2$ 。结合室外试验,组合 $A_1B_2C_2$ 比 $A_2B_1C_2$ 的室外采摘率更高,因此针对赣无1油茶品种确定的最优方案为: $A_1B_2C_2$,即上下组胶辊间距15 mm、转速55 r/min、胶辊直径30 mm。在此组合下,液压驱动式采摘机的旋转架转速比电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器(30 r/min)提高了83.33%,因而其采摘效率得到了明显提高。平均采摘效率为210个/min。

5 结论

(1)为提高电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器的采摘效率,设计了一种液压驱动式油茶果采摘机。

(2)分析了油茶果与胶辊相互作用力的主要影响因素,并通过仿真试验得出了不同因素对油茶果和胶辊相互作用力的影响规律。

(3)影响油茶果采摘率的主要因素依次为上下组胶辊间距、旋转架转速、胶辊直径;影响花苞损伤率的主要因素依次为胶辊直径、胶辊间距、旋转架转速。

(4)样机采摘试验表明:当油茶果的平均直径在25 mm左右、油茶花苞直径在8 mm左右时,综合考虑采摘率和花苞损伤率,采摘机工作参数最佳组合为:上下组胶辊间距15 mm、旋转架转速55 r/min、胶辊直径30 mm。在此组合下,该采摘机旋转架转速比电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器提高了83.33%,采摘效率明显提高,其平均采摘效率为210个/min。

参 考 文 献

- [1] 姚小华,王开良,罗细芳,等.我国油茶产业化现状及发展思路[J].林业科技开发,2005,19(1):3-6.
- [2] 杨曾辉,董艳琴.我国油茶产业发展的问题与对策[J].江西农业大学学报(社会科学版),2010,4(12):40-42.
YANG Zenghui, DONG Yanqin. Problems and solutions of camellia industrial development in China[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University(Social Sciences Edition), 2010, 4(12): 40-42. (in Chinese)
- [3] 黄义松,杨一辉,涂祥胜,等.江西油茶种植产业化现状及发展对策思考[J].绿色科技,2014(1):121-123.
- [4] 吴娟,王薇薇,魏丹,等.关于油茶产业发展的思考[J].林业经济,2010(5):84-87.
WU Juan, WANG Weiwei, WEI Dan, et al. Some issue and consideration of development of *Camellia oleifera* industry[J]. Forestry Economics, 2010(5): 84-87. (in Chinese)
- [5] 崔勇,蓝峰,苏子昊,等.油茶栽培机械化作业技术路线研究[J].南方农机,2010(1):42-45.
- [6] JOHAN B, KEVIN D, SEVEN B, et al. Autonomous fruit picking machine: a robotic apple harvester[J]. Field and Service Robotics, 2008, 42: 531-539.
- [7] POLAT R, GEZER I, GUNER M, et al. Mechanical harvesting of pistachio nuts[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1131-1135.
- [8] BLANCORODÁN G L, GILRIBES J A, KOURABA K S, et al. Effects of trunk shaker duration and repetitions on removal efficiency for the harvesting of oil olives[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(3): 329-334.
- [9] TORREGROSA A, CHAPARRO O, MARTIN B, et al. Design construction and testing of an apricot tractor-trailed harvester[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2008, 6(3): 333-340.
- [10] SAVARY S K J U, EHSANI R, SCHUELLER J K, et al. Simulation study of citrus tree canopy motion during harvesting using a canopy shaker[J]. Transactions of ASABE, 2010, 53(5): 1373-1381.
- [11] 周俊,张高阳,刘锐,等.基于粒子滤波的苹果采摘机器人目标姿态估算[J].农业机械学报,2011,42(3):161-165.
ZHOU Jun, ZHANG Gaoyang, LIU Rui, et al. Apple attitude estimation based on particle filter for harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 161-165. (in Chinese)
- [12] 赵德安,刘晓洋,陈玉,等.苹果采摘机器人夜间识别方法[J/OL].农业机械学报,2015,46(3):15-22.
ZHAO Dean, LIU Xiaoyang, CHEN Yu, et al. Image recognition at night for apple picking robot[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 15-22. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150303&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.003. (in Chinese)
- [13] 郭艳玲,鲍玉冬,何培庄,等.手推式矮丛蓝莓采摘机设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(7):40-45.
GUO Yanling, BAO Yudong, HE Peizhuang, et al. Design and experiment of hand-push lowbush blueberry picking machine[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(7): 40-45. (in Chinese)

58 - 64.

FENG Jianjun, LI Wenfeng, XI Qiang, et al. Influence of water admission through main shaft central hole on performance of Francis turbine draft tube [J]. Transactions of CSAE, 2017, 33(3): 58 - 64. (in Chinese)

- [28] CAMPOBASSO M S, YAN M, BONFIGLIOLI A, et al. Low-speed preconditioning for strongly coupled integration of Reynolds-averaged Navier - Stokes equations and two-equation turbulence models [J]. Aerospace Science and Technology, 2018, 77(6): 286 - 298.
- [29] 毛秀丽, 李春华, 屈波, 等. 蜗壳轴向出流式低比转数水轮机设计与数值模拟[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 204 - 211.
MAO Xiuli, LI Chunhua, QU Bo, et al. Design and numerical simulation of volute axial outflow hydraulic turbine with low specific speed [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 204 - 211. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180523&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.023. (in Chinese)
- [30] 冯静安, 唐小琦, 王卫兵, 等. 基于网格无关性与时间独立性的数值模拟可靠性的验证方法[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2017, 35(1): 52 - 56.
FENG Jing'an, TANG Xiaoqi, WANG Weibing, et al. Reliability verification method of numerical simulation based on grid independence and time independence [J]. Journal of Shihezi University (Natural Science), 2017, 35(1): 52 - 56. (in Chinese)
- [31] 张金凤, 黄茜, 袁寿其, 等. 基于 PIV 的低比转数离心泵网格无关性[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(7): 567 - 572, 583.
ZHANG Jinfeng, HUANG Xi, YUAN Shouqi, et al. Grid-independence in low specific speed centrifugal pump based on PIV [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2016, 34(7): 567 - 572, 583. (in Chinese)
- [32] 刘万江, 魏显著, 韩秀丽, 等. 高水头混流式水轮机导叶位置关系对水力性能的影响[J]. 大电机技术, 2013(6): 46 - 48, 51.
LIU Wanjiang, WEI Xianzhu, HAN Xiuli, et al. Influence of the relational position of guide vanes on the hydraulic performance in high-head Francis turbine [J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2013(6): 46 - 48, 51. (in Chinese)

(上接第 139 页)

- [14] 王学林, 肖永飞, 毕淑慧, 等. 机器人柔性抓取试验平台的设计与抓持力跟踪阻抗控制[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 58 - 63.
WANG Xuelin, XIAO Yongfei, BI Shuhui, et al. Design of test platform for robot flexible grasping and grasping force tracking impedance control [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(1): 58 - 63. (in Chinese)
- [15] 姬长英, 张纯, 顾宝兴, 等. 梳割气吸一体式贡菊采摘机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 137 - 145.
JI Changying, ZHANG Chun, GU Baoxing, et al. Design and experiment of shear-sucting mountain chrysanthemum picking machine [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 137 - 145. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20171117&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.017. (in Chinese)
- [16] 傅隆生, 张发年, 槐岛芳德, 等. 猕猴桃采摘机器人末端执行器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 1 - 8.
FU Longsheng, ZHANG Fanian, GEJIMA Y, et al. Development and experiment of end-effector for kiwifruit harvesting robot [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 1 - 8. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150301&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.001. (in Chinese)
- [17] 高自成, 李立君, 李昕, 等. 齿梳式油茶果采摘机采摘执行机构的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 19 - 25.
GAO Zicheng, LI Lijun, LI Xin, et al. Development and test of picking actor in oil-tea camellia fruit picking machine of tooth comb type [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(10): 19 - 25. (in Chinese)
- [18] 叶霜, 李立君, 高自成, 等. 基于 Pro/E 振动油茶果采摘机的运动仿真及分析[J]. 中南林业科技大学报, 2013, 33(11): 166 - 169.
YE Shuang, LI Lijun, GAO Zicheng, et al. Movement simulation and analysis of vibratory camellia fruit-harvesting machine based on Pro/E [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(11): 166 - 169. (in Chinese)
- [19] 饶洪辉, 张立勇, 黄登昇, 等. 电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(9): 115 - 121.
RAO Honghui, ZHANG Liyong, HUANG Dengsheng, et al. Design and test of motor-driven picking actuator of camellia fruit with rotate rubber roller [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(9): 115 - 121. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20180913&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.013. (in Chinese)
- [20] 饶洪辉, 罗时挺, 余佳佳, 等. 基于 ANSYS Workbench 的齿梳拨刀式油茶果采摘机拨果及花苞损伤仿真研究[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(12): 2134 - 2141.
RAO Honghui, LUO Shiting, YU Jiajia, et al. A simulation study on fruit picking and bud damage of toothed comb-and-poke type camellia fruit harvester based on ANSYS Workbench [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2017, 29(12): 2134 - 2141. (in Chinese)