

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.013

# 电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器设计与试验

饶洪辉 张立勇 黄登昇 陈斌 刘木华

(江西农业大学工学院,南昌 330045)

**摘要:**油茶果机械化采摘是目前亟待解决的难题,其中花苞损伤又成为机械采摘难以克服的问题。设计了一种电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器,分析了胶辊机构采摘油茶果的过程和原理,得到了油茶果碰撞脱落的临界条件。通过对采摘头回转架组件参数设计,确定了回转架组件上对辊间距有效调节范围为20~65 mm,初步拟定回转架转速范围为20~40 r/min。在江西农业大学油茶林进行了油茶果采摘试验,并对电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器作业中油茶花苞损伤进行了研究。结果表明:当胶辊直径为30 mm,间距为25 mm,胶辊旋转速度为30 r/min,胶辊线速度为0.833 m/s时,直径大于25 mm的油茶果能全部被采摘,漏采率为13.6%,且未开的花苞未见明显损伤。

**关键词:**油茶果;采摘;电动;执行机构

中图分类号:S225.93 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2018)09-0115-07

## Design and Test of Motor-driven Picking Actuator of Camellia Fruit with Rotate Rubber Roller

RAO Honghui ZHANG Liyong HUANG Dengsheng CHEN Bin LIU Muhua

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

**Abstract:** It is a dilemma to solve the picking mechanization of camellia fruit in the camellia industry, of which camellia bud damage is a bottleneck. A motor-driven picking actuator of camellia fruit with rotate rubber roller was developed. The principle of camellia fruit picking by rotate rubber roller was analyzed. The interaction between camellia fruit and rotate rubber roller can be summarized as contact, impact and abscission during the process of camellia fruit picking by rotate rubber roller, through which corresponding forces were derived and the critical condition of camellia fruit's falling off was obtained. By analyzing the parameters of swinging strut of picking head, the efficient adjustable range between upper and lower rubber roller of swinging strut was designed as from 20 mm to 65 mm, and the preliminary rotate speed was proposed from 20 r/min to 40 r/min. Tests of camellia fruit picking and its bud damaging were conducted in the camellia forest of Jiangxi Agricultural University when the prototype was completed. Experimental results showed that as the diameter of rubber roller was 30 mm, the rotate speed was 30 r/min, the linear velocity was 0.833 m/s, and the gap between up and down of rubber roller was 25 mm, the diameter of camellia fruit above 25 mm can be harvested by rotate rubber roller, the percentage of residual camellia fruits on the camellia branches was 13.6%. What's more, the damage of unopened camellia bud was bare, which verified the practicability of this prototype and provided the reference for the development of camellia fruit picking machine.

**Key words:** camellia fruit; picking; motor-driven; actuator

## 0 引言

当前油茶果的采摘主要靠人工,效率低,成本高,且劳动力短缺,油茶果迫切需要机械化采摘。国外对林果机械采摘研究开展较早,其采摘方式主要

有效率较高的振动采摘和技术要求较高的机器人采摘,前者如油橄榄、柑橘和樱桃等的采摘<sup>[1-5]</sup>;后者如苹果、猕猴桃等的采摘<sup>[6-7]</sup>。国内针对林果采摘机械的研究刚刚起步,在林果振动采摘模型、理论及物理样机研制等方面陆续取得了一些成果,如对蓝

收稿日期:2018-05-20 修回日期:2018-07-10

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

莓、山核桃、油茶果等的采摘<sup>[8-14]</sup>。另外,根据不同林果的特点,国内学者研制了一些样机并开展了试验。如高自成等<sup>[15]</sup>研制了齿梳式油茶果采摘机,该机采用回转式齿梳采摘头实现连续采摘,通过现场试验验证了机构的可行性。史高昆等<sup>[16]</sup>设计了一种基于伯努利原理的气吸式红枣收获机械,该机械结构简单、采摘效率较高,能实现红枣的捡拾收集和除杂分选,该机械适用于南疆地矮化密植枣园。罗时挺等<sup>[17]</sup>设计了一种齿梳拨刀式油茶果采摘装置,其原理是利用采摘头之间的齿梳间隙梳拢树上油茶果,并由采摘头前端的拨刀加速击打油茶果,从而达到采摘油茶果的目的。尹建军等<sup>[18]</sup>设计了一种欠驱动双指手葡萄采摘装置,采摘试验结果表明该装置采摘率为100%,果实挤伤率为5.2%。

然而,油茶果作为我国特有的木本油料,其机械采摘国外无文献报道,目前国内油茶果机械振动采摘尚处于理论研究阶段,从成熟油茶果与果柄的结合力均大于油茶花苞与花柄的结合力(纵向拉断和横向扭断力)来看<sup>[19]</sup>,其技术是否可行还有待深入研究。现有的油茶果采摘机械尚需提高采摘效率,减少油茶花苞损伤。解决上述两个问题的关键在于油茶果末端执行器的设计。辊式末端执行器具备良好的滚动性、耐磨性和较强的适应性,在农林作物收获机械中应用较多,如在玉米摘穗机构、拔棉秆、秸草打捆和红花采收等方面<sup>[20-24]</sup>开展了样机研制及试验,并取得了一些成果。

为此,借鉴上述胶辊采摘良好的机械性能和效率,设计一种电动胶辊旋转式采摘执行器,通过上、下两组胶辊旋转喂入油茶果,以期提高油茶果采摘效率和减少油茶花苞损伤。

## 1 油茶果采摘末端执行器工作原理

设计的油茶果采摘末端执行器(即采摘头)三维模型如图1所示。采摘头包括上、下胶辊组件,各有3组胶辊,每组胶辊有3根采摘胶辊,胶辊回转轴头部有两根可调伸缩杆。采摘机工作时,人工将装有脚轮的采摘执行器推至油茶果树前合适位置,操作螺杆可调节采摘头的倾斜角度,以便采摘头顺利伸进油茶果枝,启动直流电动机,电动机经减速器减速后,由主从动齿轮分别带动侧边上、下链轮旋转,链轮再分别带动上、下胶辊组件做同步异向回转运动,其中上胶辊组件做逆时针运动,下胶辊组件做顺时针运动。通过调节回转组件中伸缩杆上的螺旋段可以调节上下胶辊间距,胶辊在连续回转和自转过程中不断将油茶果枝夹紧,油茶果在受到上下回转胶辊的撞击力后脱落,从而完成采摘过程。

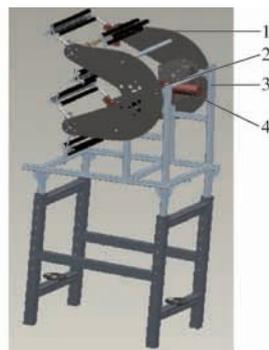


图1 油茶果胶辊旋转采摘头三维模型

Fig. 1 3D model of picking head of camellia fruit with rotate rubber roller

1. 胶辊组件 2. 回转组件架 3. 机架 4. 电动机

## 2 油茶果采摘执行器采摘头参数设计

### 2.1 采摘头回转组件结构及模型

采摘头回转组件包括回转架组件和胶辊组件,其中回转架组件主要由伸缩杆、伸缩座、回转架、回转轴构成;胶辊组件主要由胶辊、胶辊架、胶辊轴构成,其三维模型如图2所示。回转架通过紧定螺钉安装至回转轴两端上,伸缩杆通过螺纹外旋合在伸缩座里,伸缩座通过螺栓固定在回转架上。伸缩杆外螺纹与伸缩座内螺纹通过牙面旋合,伸缩行程最大可达60 mm。胶辊架通过紧定螺钉安装在胶辊轴两端,胶辊两侧通过菱形带座轴承安装在胶辊架上。每组胶辊组件上安装3根胶辊呈等边三角形对称布置。这种布置形式在工作时不仅能保证胶辊组件的采摘稳定性,而且能扩大油茶果采摘范围。每根胶辊可以绕轴自转,以降低胶辊与油茶枝叶的摩擦力,从而提高胶辊工作寿命,减少花苞和枝叶损伤。

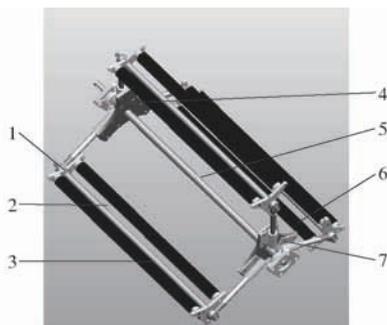


图2 采摘头回转架及胶辊组件模型

Fig. 2 Model of swinging strut and rubber roller of picking head

1. 胶辊架 2. 胶辊轴 3. 胶辊 4. 回转架 5. 回转轴 6. 伸缩杆 7. 伸缩座

### 2.2 回转组件上对辊间距及转速确定

油茶果采摘装置在作业时,回转组件上对辊的间隙直接影响油茶树枝的喂入速度及油茶果与果柄分离效果。对辊间隙大,油茶树枝喂入量增加,胶辊

对油茶果的正压力和摩擦力相应减小,油茶果难以被采落;对辊间隙小,则油茶树枝喂入量较少,采摘效率较低。由相关文献资料知油茶果平均直径为37.5 mm,种植面积最广的普通油茶果直径为30 mm,油茶果直径最大的为广宁红花油茶,平均直径为78 mm,未开的花苞平均直径为3.12 mm<sup>[20]</sup>,根据油茶果及其花苞直径的差异,初步确定回转组件上对辊间距为20~65 mm。合理调节上、下回转组件上胶辊间距不仅能将油茶果采摘下来,而且可以避免胶辊组件损伤油茶果花苞。另外,回转架组件旋转速度应合理设置,旋转速度过大,会对油茶树枝造成冲击断裂;转速过小,则油茶果采摘效率将会大大降低。通过对油茶果相关特性研究,初步拟定回转架角速度范围为:每0.5 s至1 s间隔内胶辊与油茶果接触一次。由于上下各有3组胶辊架,上下两组胶辊旋转相遇实现采摘油茶果时每组胶辊转过的弧度 $\phi$ 为 $2\pi/3$ ,则回转架转速范围估算式为

$$\omega = n\pi/30 = \phi/t \quad (0.5 \text{ s} \leq t \leq 1 \text{ s}) \quad (1)$$

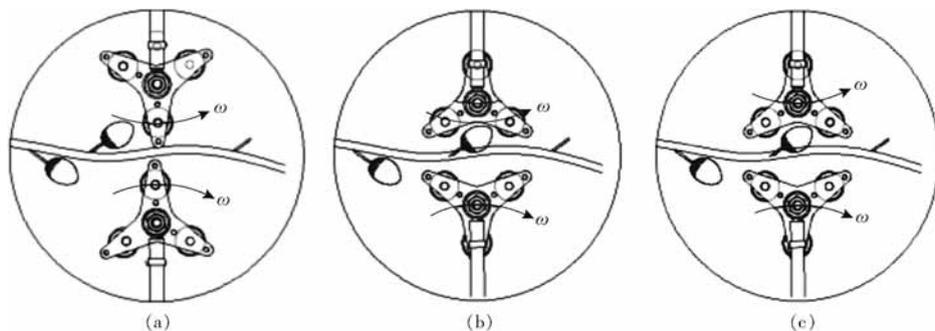


图3 胶辊组件采摘油茶果作用形式

Fig. 3 Action forms of rubber roller assembly

### 2.3.2 胶辊采摘油茶果原理分析

为了方便分析胶辊组件采摘油茶果原理,将胶辊与油茶果简化成图4所示模型,其中胶辊与油茶果作用情况可分为接触、脱落、分离3个过程,下面依次分析其作用机理。

(1)当采摘头接近油茶树时,胶辊与油茶果表面接触,上、下胶辊做异向同步运动,如图4a所示。此时胶辊在油茶果表面接触位置处产生的正压力大小相等,受力方向均指向油茶果球心。同时,由于油茶果表皮质地及粗糙程度大致相同,油茶果两侧处形成沿切线方向的摩擦力大小相等,油茶果在摩擦力作用下将沿上、下胶辊旋转中心线垂直方向向前加速运动。

(2)随着上下胶辊相向旋转运动,当上、下胶辊运行至最低点时,如图4b所示。胶辊在油茶果表面接触位置处压力的垂直分力达到最大值,油茶果果柄逐渐与油茶果枝拉紧。当胶辊对油茶果产生的作用力大于油茶果果柄与果枝结合力时,油茶果果柄

式中  $\omega$ ——回转架角速度,rad/s  
 $n$ ——回转架转速,r/min  
 $t$ ——胶辊与油茶果接触一次的时间间隔,s  
 $\phi$ ——胶辊与油茶果接触时间间隔内转过的弧度,为 $2\pi/3$

由式(1)得回转架转速  $n$  合适范围为  $20 \text{ r/min} \leq n \leq 40 \text{ r/min}$ 。

### 2.3 采摘头胶辊组件参数设计

#### 2.3.1 胶辊组件采摘油茶果作用形式

上、下胶辊组对油茶果的作用有3种形式,如图3所示。图3a是单胶辊式,即上、下胶辊组件中分别有一根胶辊与油茶果枝同时接触。图3b是单双胶辊式,即其中一组胶辊组件中有一根胶辊与油茶果枝作用,另一组胶辊组件有2根胶辊与油茶果枝作用。图3c是双胶辊式,即上、下胶辊组件中分别有2根胶辊与油茶果枝同时接触。上述3种作用方式均能将油茶果从树枝上摘落下来。

与油茶果枝脱落。由于油茶花苞直径远小于油茶果直径,因此花苞易从胶辊间隙漏过。

(3)在油茶果受胶辊碰撞脱落过程中,有一个临界脱落过程,如图4c所示,由受力分析得

$$\begin{cases} F_1 = F_2 \\ f_1 = \mu F_1 \\ f_2 = \mu F_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中  $F_1, F_2$ ——上、下胶辊对油茶果表面的正压力,N

$f_1, f_2$ ——油茶果两侧处形成的沿切线方向摩擦力,N

$\mu$ ——油茶果与胶辊接触时摩擦因数

结合式(2)可得

$$\begin{cases} \cos\alpha_1 = \frac{\frac{L}{2} - r_1 - r_3}{R_1} \\ F = f_1 + f_2 = \mu F_1 + \mu F_2 = 2\mu F_1 \end{cases} \quad (3)$$

式中  $L$ ——上、下胶辊组旋转中心距,mm

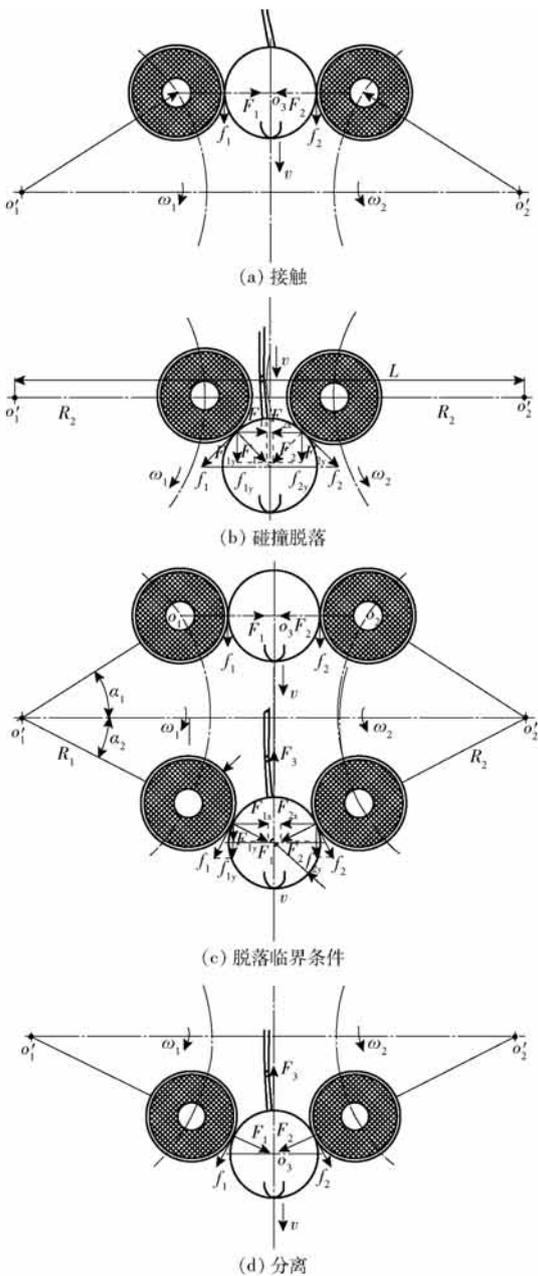


图4 胶辊与油茶果作用过程

Fig. 4 Interaction process between camellia fruit and rubber roller

$\alpha_1$ ——胶辊中心和旋转中心连线与上、下胶辊组旋转中心线构成角度, ( $^\circ$ )

$R_1$ ——上胶辊组旋转半径, mm

$r_1$ ——上胶辊组半径, mm

$r_3$ ——油茶果半径, mm

$F$ ——油茶果两侧处形成沿切线方向的摩擦力合力, N

当胶辊运行至最低点位置处时见图4b, 由受力分析得

$$\begin{cases} F_{1x} = F_{2x} = F_1 \cos\theta \\ F_{1y} = F_{2y} = F_1 \sin\theta \\ f_{1y} = f_1 \cos\theta = \mu F_1 \cos\theta \end{cases} \quad (4)$$

式中  $F_{1y}$ 、 $F_{2y}$ ——上、下胶辊在油茶果表面压力的垂直分力, N

$F_{1x}$ 、 $F_{2x}$ ——上、下胶辊在油茶果表面压力的分力, N

$f_{1y}$ ——油茶果受上胶辊摩擦力垂直分力, N

$\theta$ ——胶辊与油茶果轧角, ( $^\circ$ )

由式(4)得

$$\begin{cases} \cos\alpha_1 = \frac{L}{R_1 + r_1 + r_3} \\ F' = 2(f_{1y} + F_{1y}) = 2F_1(\mu\cos\theta + \sin\theta) \end{cases} \quad (5)$$

式中  $F'$ ——油茶果所受胶辊正压力和摩擦力沿垂直方向分力的合力

(4)当胶辊与油茶果分离时见图4c, 此时有

$$\begin{cases} F_{1x} = F_{2x} = F_1 \cos\alpha_1 \\ F_{1y} = F_{2y} = F_1 \sin\alpha_1 \\ f_{1y} = f_1 \cos\alpha_1 = \mu F_1 \cos\alpha_1 \end{cases} \quad (6)$$

由图4c中几何关系得

$$F'' = 2(f_{1y} + F_{1y}) = 2F_1(\mu\cos\alpha_1 + \sin\alpha_1) \quad (7)$$

式中  $F''$ ——油茶果所受合力沿垂直方向分力, N

当油茶果进入胶辊中, 油茶果能被胶辊组件顺利采摘下来必须满足关系式

$$\begin{cases} F'' > F_\delta \\ \Delta s = R_1 \sin\alpha_1 + (R_1 + r_1 + r_2) \sin\alpha_2 > \Delta l \end{cases} \quad (8)$$

式中  $\alpha_2$ ——胶辊离开转角, 即胶辊中心和旋转中心连线与上下胶辊组旋转中心线构成角度, ( $^\circ$ )

$F_\delta$ ——油茶果果柄与油茶树枝的结合力

$\Delta s$ ——油茶果与胶辊由接触至分离时运行距离

$r_2$ ——下胶辊组半径, mm

$\Delta l$ ——油茶果果柄与树枝伸展长度

若油茶果未能在最低点与树枝发生断裂, 则会在摩擦力  $f_1$ 、 $f_2$  及正压力  $F_1$ 、 $F_2$  作用下运动。反之, 当胶辊运行至图4d所示位置时, 油茶果将与上、下胶辊组发生碰撞脱落, 以临界速度  $v$  脱离胶辊。

### 3 油茶果采摘试验

根据图1研制了电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器, 选取江西农业大学油茶林中长势大致相同的油茶果树枝共15枝, 每枝上均长有油茶果和油茶花苞, 如图5a所示, 图5b是其中2枝。用游标卡尺测量并记录每枝油茶果树枝上油茶果与花苞的数量和直径。

采摘试验参数为胶辊直径为30 mm, 间距为



图5 油茶果枝及花苞试验样本

Fig. 5 Sample of camellia fruit branch and its bud

25 mm, 胶辊旋转速度为 30 r/min, 胶辊线速度为 0.833 m/s, 启动电动胶辊旋转式油茶果执行器, 将 15 枝油茶果树果枝分别伸入采摘执行器中进行采



图6 油茶果采摘试验过程

Fig. 6 Process of picking camellia fruit test



图7 室外采摘试验

Fig. 7 Outdoor test of camellia fruit picking with rotate rubber roller



图8 室内采摘试验

Fig. 8 Indoor test of camellia fruit picking with rotate rubber roller

摘。单枝油茶果枝在采摘试验过程中, 依次历经油茶果枝喂入、碰撞脱落、分离 3 个阶段, 如图 6 所示。

为了进一步验证样机试验效果, 2017 年 10 月下旬至 11 月初, 课题组采用电动胶辊旋转式采摘执行器在江西农业大学油茶林和工学院实验室内进行了室内外试验, 如图 7、8 所示。

在室外试验过程中, 油茶果与胶辊作用时存在碰撞与摩擦力, 由于每个胶辊架均能转动, 胶辊架会因碰撞及摩擦力产生转动, 导致油茶果难以采落。针对上述问题, 在室内试验时, 把胶辊间距调整为最小 25 mm, 胶辊架焊接固定, 问题得以解决。

## 4 试验结果与讨论

### 4.1 油茶果采摘结果

采摘执行器进行油茶果室内单枝采摘试验时, 测量并记录每组试验号和油茶果枝中油茶果脱落情况及果径, 试验数据如表 1 所示。

分析表 1 试验数据可得, 当上、下胶辊组间距为 25 mm, 试验中油茶果直径在 26.5 ~ 40 mm 时, 油茶果均能从果枝上脱落下来; 而油茶果直径在 12 ~ 23.8 mm 时, 油茶果未能被摘落。根据未采摘成功的油茶果数与总油茶果数之比计算漏采率, 其值为 13.6%。由此可见, 油茶果脱落效果与油茶果直径、上下胶辊组间距因素有关。当油茶果直径小于采摘头胶辊组间距时, 油茶果未能顺利采摘; 当油茶果直径大于采摘头胶辊组间距时, 油茶果能顺利被采摘。

### 4.2 油茶花苞损伤结果

由于油茶树具有“花果同期”特点, 在样机机械采摘时必须考虑油茶花苞损伤情况(以油茶花苞是否脱落为损伤评价标准)。进行室内单枝油茶树枝采摘时油茶花苞损伤试验, 测量并记录每组试验号油茶树枝中油茶花苞脱落情况和花苞直径, 其数据如表 2 所示。

分析表 2 试验数据可知, 油茶花苞直径在

表1 油茶果树果枝采摘试验果实脱落数据

Tab.1 Shedding data of camellia fruit picking test on each camellia branch

油茶果枝 序号	油茶果直径/mm			脱落
	1	2	3	
1	40.0	-	-	√
2	33.0	36.0	29.5	√
3	29.5	38.5	-	√
4	26.5	-	-	√
5	43.0	28.5	-	√
6	32.5	34.0	32.0	√
7	32.0	-	-	√
8	32.0	-	-	√
9	27.0	36.0	-	√
10	35.0	-	-	√
11	36.0	-	-	√
12	32.9	-	-	√
13	12.0	-	-	×
14	20.0	-	-	×
15	23.8	-	-	×

注:“-”表示油茶果枝上此处无油茶果,“√”表示脱落,“×”表示未脱落,试验参数为胶辊直径30 mm、间距25 mm、胶辊旋转速度30 r/min、胶辊线速度0.833 m/s。

表2 单枝油茶树枝采摘时花苞脱落数据

Tab.2 Shedding data of camellia bud damage test on each camellia branch

油茶树枝 序号	油茶花苞直径/mm			脱落
	1	2	3	
1	8.0	7.0	9.0	×
2	9.0	8.5	9.0	×
3	7.5	8.0	7.0	×
4	11.0	10.0	-	×
5	9.0	8.5	8.0	×
6	7.2	7.0	-	×
7	8.0	7.9	-	×
8	8.6	8.5	-	×
9	8.0	7.5	7.0	×
10	9.0	8.8	8.2	×
11	8.0	7.2	-	×
12	7.0	8.2	-	×
13	8.0	7.9	-	×
14	7.7	7.0	-	×
15	7.5	-	-	×

注:“-”表示油茶树枝上此处无油茶花苞,“×”表示未脱落,试验参数为胶辊直径30 mm、间距25 mm、胶辊旋转速度30 r/min、胶辊线速度0.833 m/s。

7~11 mm时均未脱落且其表皮未见明显损伤。因为油茶花苞直径远小于采摘头胶辊组间距25 mm,油茶花苞易从采摘头胶辊间隙漏过去。试验中花苞损伤评价以采摘试验中花苞是否脱落为标准,根据油茶花苞脱落数与油茶花苞总数之比计算花苞损伤

率,其值为0,可见本文设计的电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器在采摘过程中对油茶花苞损伤较小。

### 4.3 试验结果分析

采摘执行器室外试验时油茶果枝由采摘头自行喂入,在喂入前需要调节采摘头的倾角。操作螺杆可顶起机架,从而改变采摘头的倾角,以便油茶果枝顺利喂入采摘头。而室内试验则由人工喂入,操作者可用手调整油茶果枝进入旋转胶辊的位姿,以便油茶果枝的喂入。从试验结果来看,直径较小的油茶果易漏采,可以缩小上下胶辊间距来减少漏采率,但可能会降低油茶果枝喂入效率。试验中胶辊组件转速越高对油茶果及花苞作用力越大,试验时先从低速加速到胶辊组件转速为30 r/min时进行试验,此时油茶花苞均未发生脱落,其原因是油茶花苞直径小于上下胶辊间距,花苞易从间隙中漏过去,且胶辊材质表面较光滑,本身绕自身轴线旋转,不容易损伤花苞及枝叶。随着胶辊组件转速进一步加大,胶辊对花苞的作用力将增大,花苞损伤率可能会增加。与齿梳式油茶果采摘机比较,本文设计的电动胶辊旋转式油茶果采摘执行器体积较小,易在较密油茶林中作业;胶辊间距可调,可以适应不同直径油茶果的采摘;胶辊可自转且表面光滑,对油茶花苞的损伤较小。

## 5 结论

(1)为提高油茶果采摘效率,设计了一种电动胶辊旋转式油茶果采摘装置。油茶果能在上、下胶辊旋转碰撞中脱落下来,由于胶辊材质表面较光滑,在采摘过程中可有效避免对油茶花苞的损伤。

(2)胶辊与油茶果在作用过程中依次经历接触、断裂、分离3个阶段,油茶果被胶辊顺利采落的临界条件为油茶果所受合力大于油茶果果柄与油茶树枝的结合力,油茶果与胶辊由接触至分离时运行距离应大于油茶果果柄与树枝伸展长度。

(3)通过对回转架组件参数设计,确定了上、下回转架组件间距有效调节范围为20~65 mm,初步拟定胶辊架转速范围为20~40 r/min。

(4)样机的室内外采摘试验结果表明,油茶果脱落效果与油茶果直径、上下胶辊组间距因素有关,当油茶果直径小于采摘头胶辊组间距时,油茶果无法采落。当油茶果直径大于采摘头胶辊组间距时,油茶果能顺利从树枝上脱离下来。当胶辊回转组件转速为30 r/min时,胶辊间距为25 mm,样机顺利采摘直径在25 mm以上的油茶果,且脱落效果较好,未开的油茶花苞未见明显损伤,初步验证了该样机的实用性。

## 参 考 文 献

- 1 SESSIZ A, ÖZCAN M T. Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006,76(2):148-153.
- 2 TORREGROSA A, ORTÍ E, MARTÍN B, et al. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain[J]. *Biosystems Engineering*, 2009,104(1):18-24.
- 3 HE L, ZHOU J, DU X, et al. Energy efficacy analysis of a mechanical shaker insweet cherry harvesting[J]. *Biosystems Engineering*, 2013,116(4):309-315.
- 4 ALMEIDA A, FIGUEIREDO T, FERNANDES-SILVA A. Data used as an Indicator of mechanical olive harvest season[J]. *Agriculture & Agricultural Science Procedia*, 2015,7:2-5.
- 5 AMATYA S, KARKEE M. Integration of visible branch sections and cherry clusters for detecting cherry tree branches in dense foliage canopies[J]. *Biosystems Engineering*, 2016,149(9):72-81.
- 6 BAETEN J, DONNÉ K, BOEDRIJ S, et al. Autonomous fruit picking machine: arobotic apple harvester[M]//CHRITIAN L, ROLAND S. *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 2008,42:531-539.
- 7 SCARFE A J, FLEMMER R C, BAKKER H H, et al. Development of an autonomous kiwifruit picking robot[C]//*Proceedings of the 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents*, 2009:380-384.
- 8 王海滨,郭艳玲,鲍玉冬,等. 振动式蓝莓采摘的机理分析与仿真[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(12):40-46.  
WANG Haibin, GUO Yanling, BAO Yudong, et al. Mechanism analysis and simulation of blueberry harvest by vibration mode[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(12):40-46. (in Chinese)
- 9 刘进宝,韩长杰,杨宛章,等. 振动式林果采摘机械的设计[J]. *中国农机化学报*, 2014, 35(3):41-44, 58.  
LIU Jinbao, HAN Changjie, YANG Wanzhang, et al. Design of a vibrating fruit picking machinery [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2014, 35(3):41-44, 58. (in Chinese)
- 10 程学良,李立君,高自成,等. 油茶果振动采摘系统运动特性分析[J]. *农机化研究*, 2014, 36(2):15-19.
- 11 杜小强,倪柯楠,潘珂,等. 可调振幅单向拽振式林果采收机构参数优化[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(16):25-32.  
DU Xiaoqiang, NI Kenan, PAN Ke, et al. Parameter optimization of stroke-adjustable and monidirectional pulling fruit harvester [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(16):25-32. (in Chinese)
- 12 郑甲红,毛俊超,梁金生,等. 基于 Pro/E 便携式核桃采摘机的设计[J]. *农机化研究*, 2014, 36(5):128-131.
- 13 王朋辉,李立君,高自成,等. 摆动式林果采摘头设计与分析[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(5):288-291.  
WANG Penghui, LI Lijun, GAO Zicheng, et al. The design and analysis of oscillating fruit picking head[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(5):288-291. (in Chinese)
- 14 耿雷,郭艳玲,王海滨. 高丛蓝莓采摘机采摘系统设计与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(3):67-74. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160310&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160310&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.010.  
GENG Lei, GUO Yanling, WANG Haibin. Picking system design and experiment for highbush blueberry picking machine[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(3):67-74. (in Chinese)
- 15 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)
- 16 史高昆,马少辉. 气吸式红枣收获机的设计与试验[J]. *新疆农机化*, 2014(2):25-26, 53.
- 17 罗时挺,饶洪辉,张立勇,等. 齿梳拨刀式油茶果采摘装置设计与试验[J]. *农机化研究*, 2017, 39(2):84-88.  
LUO Shiting, RAO Honghui, ZHANG Liyong, et al. Design and experiment of tooth comb type device for Camellia fruits picking [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(2):84-88. (in Chinese)
- 18 尹建军,陈永河,贺坤,等. 抓持-旋切式欠驱动双手指葡萄采摘装置设计与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(11):12-20. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20171102&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171102&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.002.  
YIN Jianjun, CHEN Yonghe, HE Kun, et al. Design and experiment of grape-picking device with grasping and rotary-cut type of underactuated double fingered hand[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(11):12-20. (in Chinese)
- 19 冯国坤,饶洪辉,许朋,等. 油茶果与油茶花苞生物力学特性研究[J]. *农机化研究*, 2014, 36(12):187-191.  
FENG Guokun, RAO Honghui, XU Peng, et al. Experimental study on the biomechanical properties of Camellia fruit and Camellia flower buds[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014, 36(12):187-191. (in Chinese)
- 20 张道林,孙永进,赵洪光. 自走式穗茎兼收型玉米联合收获机的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1):79-82.  
ZHANG Daolin, SUN Yongjin, ZHAO Hongguang. Design and experiment of the self-propelled combine harvester for corn and stalk [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(1):79-82. (in Chinese)
- 21 郭振华,史建新,康秀生. 提辊式拔棉秆阻力分析[J]. *农机化研究*, 2009, 31(2):37-39.
- 22 王德福,蒋亦元,王吉权. 钢辊式圆捆打捆机结构改进与试验[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(12):84-88.  
WANG Defu, JIANG Yiyuan, WANG Jiquan. Structure-improving and experiment of steel-roll round baler[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(12):84-88. (in Chinese)
- 23 葛云,张立新,谷家伟,等. 对辊式红花采收装置参数优化及试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(21):35-42.  
GE Yun, ZHANG Lixin, GU Jiawei, et al. Parameter optimization and experiment of dual roller harvesting device for safflower[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(21):35-42. (in Chinese)
- 24 耿端阳,李玉环,孟凡虎,等. 玉米收获机多棱立辊式摘穗装置设计与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(3):84-91. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170310&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170310&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.010.  
GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Fanhu, et al. Design and experiment of corn harvester polygonal vertical-rollers snapping means[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(3):84-91. (in Chinese)