

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.017

# 梳割气吸一体式贡菊采摘机设计与试验

姬长英 张纯 顾宝兴 符海娇 谢娣 郭俊

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

**摘要:** 针对山地贡菊采摘仍以人工采摘为主、采摘效率低、费时费力、尚未实现机械化等问题,设计了一种适应山地采摘的贡菊采摘机。采花梳齿间隙大于胎菊直径,小于朵菊花托直径,利用采摘梳齿与分花齿之间的相对运动,从花托处碰撞拉断,实现采摘。在负风压机的风压差作用下,将花朵运输至集花箱。试验表明,贡菊采摘机能够实现山地贡菊花朵采摘及收集。在花朵含水率为87.20%,采花梳齿间隙为8~9 mm时,该采摘机效果较佳,花朵采收率为87.50%~93.11%,花朵破碎率为0~0.34%,花朵落地率为1.99%~2.39%,花朵杂质率为4.87%~6.48%,花朵漏摘率为3.30%~4.96%。正交试验表明,当梳齿采摘间隙为8 mm,进风口风速为8 m/s,梳齿齿形为50 mm,主动轴转速为30 r/min,贡菊采摘机采摘效果最佳,花朵采收率为94.54%,花朵落地率为2.05%,杂质率为1.48%,花朵破碎率为0.57%,花朵漏摘率为1.36%。

**关键词:** 山地贡菊; 负风压机; 气吸梳齿式采摘; 试验

中图分类号: S225.99 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)11-0137-09

## Design and Experiment of Shear-sucking Mountain Chrysanthemum Picking Machine

JI Changying ZHANG Chun GU Baoxing FU Haijiao XIE Di GUO Jun

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

**Abstract:** Aiming at solving artificial picking, low efficiency and time-consuming, shear-sucking mountain chrysanthemum picking machine was designed to achieve mechanization. The picking machine mainly consisted of container, lithium battery, negative air compressor, transmission pipeline, picking box, comb-teeth, synchronous wheel, transmission shaft, separating teeth, DC stepper motor, DC motor speed controller, digital controller, a machine frame and four wheels. Comb-teeth gap was larger than the diameter of bud and less than diameter of chrysanthemum receptacle. The relative motion between comb-teeth and separating teeth pulled from the receptacle. Under the pressure of negative air compressor, the flower was transported to the container. Single factor tests of comb-teeth gap selected 7 mm, 8 mm, 9 mm, 10 mm and 11 mm five levels. The machine worked well at the gap of 8~9 mm. The picking rate was 87.50%~93.11%, the broken rate was 0~0.34%, the drop rate was 1.99%~2.39%, the impurity rate was 4.87%~6.48%, the leakage rate was 3.30%~4.96%. The orthogonal tests showed that the best combination was comb-teeth gap, comb radius, wind speed and rotational speed. When the comb-teeth gap was 8 mm, the radius was 50 mm, the wind speed was 8 m/s and the rotational speed was 30 r/min, the machine would work better. The picking rate was 94.54%, the broken rate was 0.57%, the drop rate was 2.05%, the impurity rate was 1.48%, and the leakage rate was 1.36%.

**Key words:** mountain chrysanthemum; negative air compressor; shear-sucking picking; experiment

### 引言

贡菊生长在海拔较高的山地,为多年生草本,高35~65 cm,多为条栽,需分花期采摘。贡菊种植模

式不同,植株高低不一,导致采摘环境复杂<sup>[1-3]</sup>。目前尚未实现机械式采摘,全是人工采摘,劳动强度大,采摘效率低。

国内很多科研机构和生产企业已经开始研究菊

收稿日期: 2017-02-10 修回日期: 2017-03-13

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20140720)和中央高校基本科研业务费专项资金项目(KYZ201325)

作者简介: 姬长英(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事精确农业理论与技术研究,E-mail: chyji@njau.edu.cn

花类花朵的机械化采摘,周瑛等<sup>[4]</sup>发明了一种电动红花采摘器,利用抓花扇将花抓至刀片处,刀片通过往复运动将花切下送至贮花箱,但该机工作效率低,未见推广。牛国玲等<sup>[5]</sup>研制出首台万寿菊采摘机,实现了高低不一的万寿菊采摘,加快了采摘进度,但大型机械的采摘对植株带来了一定的损害,降低了花朵下次采摘的质量和产量。姬长英等<sup>[6]</sup>发明了梳割一体式杭白菊采摘器,是一种手摇带动梳齿梳花装置,实现了花朵差异采摘,但增加了劳动强度,贮花箱容积有限。李景彬等<sup>[7]</sup>研制了剪切式红花采收装置,负压风机吸花,干花丝直立,剪切刀片往复运动实现采收。以上研究成果由于采摘效率低、植株损伤大、采摘强度大等原因,并未实际投入生产推广。

本文设计一种针对贡菊采摘的背负式贡菊采摘机,采用梳割气吸一体的方式实现花朵的差异性采摘,利用花朵与梳齿的碰撞作用将花朵摘下,由负压风机将花朵吸至贮花箱。采摘梳齿可拆卸更换,以适应不同品种贡菊的采摘,采摘头可调节,以实现不同生长阶段不同高度贡菊的采摘。

## 1 结构与工作原理

### 1.1 采摘机结构

梳割气吸一体式贡菊采摘机主要由梳齿采摘头、负压风压集花箱、输花管组成,梳齿采摘头由分花齿、弧形梳齿、梳齿安装座、转动轮、转动轴、轴承、轴承座、集风箱体等组成。弧形梳齿一共3排,通过螺栓与梳齿安装座连接,梳齿安装座与轮缘连接,通过平销固定转动轮与轴,通过紧定螺栓固定转动轮轴向运动,分花齿安装在采摘头的前部,转动轴通过同步带轮与电动机相连,采摘头的另一端与负压风压机的进风口连接,其结构如图1所示。

### 1.2 工作原理

如图2所示,梳割气吸一体式贡菊采摘机利用梳齿间隙大于贡菊枝条直径,小于贡菊花托直径实现采摘;当负压在采摘头产生内外压差,且风速大于菊花悬浮速度<sup>[8]</sup>,菊花花朵会随空气运动,并运送至集花箱。工作时,主动轴顺时针转动,弧形梳齿聚拢花朵,分花齿固定待采花朵,负压风机产生与弧形梳齿同方向的力,将花托附近的花枝碰撞拉断花柄,通过空气产生的负压,将花通过输花管运送到集花箱。

贡菊植株各部位名称如图3所示。为了验证气吸梳齿的方式采摘贡菊的可行性,对贡菊植株的力学参数和悬浮速度进行了测量。分别对花柄、小枝、花轴和根茬间的剪切力进行测量。



图1 梳割气吸一体式贡菊采摘机试验样机

Fig.1 Shear-sucting chrysanthemum picking prototype

1.箱体把手 2.机架 3.采摘梳齿 4.分花齿 5.车轮 6.肩带 7.直流步进电动机 8.同步轮 9.数显控制器 10.直流电动机调速器 11.负压风道 12.负压风机 13.集花箱 14.取料门 15.锂电池

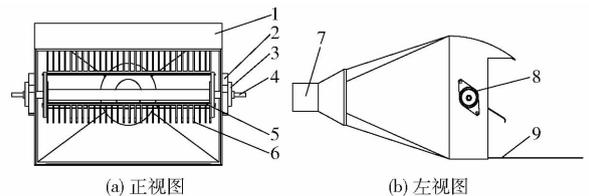


图2 采摘头示意图

Fig.2 Sketch of picking mechanism

1.集风箱体 2.轴承座 3.轴承 4.转动轴 5.采摘梳齿安装座 6.采摘梳齿 7.进风通道 8.梳齿转动轮 9.分花齿

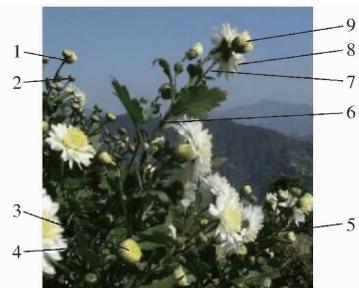


图3 贡菊各部位名称

Fig.3 Name of different parts of chrysanthemum

1.花轴1 2.花蕾 3.胎菊 4.花轴2 5.小枝 6.大枝 7.花柄 8.大朵菊 9.小朵菊

分别选取30个随机样本测量各部位的拉断力,结果如表1所示。同时,分别对小朵菊、大朵菊、胎菊、花蕾的悬浮速度进行试验,选取10个随机样本测量悬浮速度<sup>[9]</sup>,结果如表2所示。

由表1可知,花柄拉断力明显小于花朵的其他

表1 贡菊植株力学参数

Tab.1 Mechanical parameters of chrysanthemum plant

		N	
拉断部位	拉断力	拉断部位	拉断力
花柄	3.6	花轴	103.3
小枝	62.5	大枝	231.3

表 2 贡菊的悬浮速度

Tab.2 Suspension velocity of chrysanthemum plant

贡菊	质量/g	悬浮速度/(m·s <sup>-1</sup> )
花蕾	0.18	3.1
胎菊	0.37	4.3
小朵菊	0.60	5.2
大朵菊	0.97	6.5

部位,从花朵至根茬,花柄处的拉断力小于小枝、花轴和大枝等部位。在采摘头作业时,花朵最先于花托处断裂,不会出现其他部位拉断或连根拔起的情形,此摘花方式适合贡菊。

由表 2 可知,花朵的质量越大,悬浮速度也越大,当风速大于大朵菊的悬浮速度时,采摘后的花朵可以通过风压差,将花朵从采摘头运输至集花箱,实现收集花朵的功能。

## 2 关键结构参数设计

### 2.1 负风压机功率

集花箱内的负风压机使进风口产生大于贡菊悬浮速度的空气速度,将拉断下的贡菊运送至集花箱,在惯性和重力作用下沉降,风机功率主要由风量和风压确定。风机将采摘头处的空气吸入,通过输花管道和集花箱,最后通过负风压机排到空气中。

#### 2.1.1 风量的确定

负风压机风量的确定采用的是置换原则和末速度原则<sup>[10]</sup>,其原理是负风压机能吸进采摘头和花托连接处所包含的全部空气,且进风口处空气速度不能低于贡菊的悬浮速度。

根据置换原则,负风压机的风量  $Q$  应为图 4 中采摘头至  $ABCD$  面的体积,为计算方便,取  $ABCD-P$  ( $abh$ ) 长方体的体积,即

$$Q = abht_1 k_1 \quad (1)$$

式中  $a$ ——采摘头吸菊花的有效长度

$b$ ——采摘头吸菊花的有效宽度

$h$ ——采摘头吸菊花的有效高度

$t_1$ ——将一朵菊花摘下所需的时间,经试验确定为 1 s

$k_1$ ——考虑到气流衰减和沿途的损失而确定的系数,取 1.3 ~ 1.6

根据末速度原则,负风压机吸进的空气,经过  $ABCD$  截面的风量要等于集花箱出口截面的风量

$$Q = A_1 v_1 k_2 = v_2 h b \quad (2)$$

式中  $A$ ——集花箱出口的截面面积

$v_1$ ——出口截面风速

$v_2$ ——气流到达截面  $ABEF$  时的风速

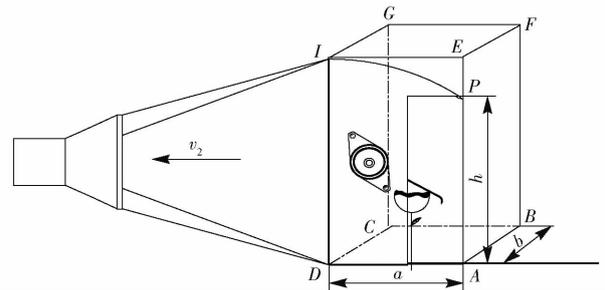


图 4 气吸梳割式贡菊采摘头风量置换图

Fig.4 Air displacement diagram of shear-sucting chrysanthemum picking mechanism

$k_2$ ——与作物品种、气象条件和菊花密度等因素有关的系数,取 1.3 ~ 1.8

根据表 2 悬浮速度试验结果,大朵菊的悬浮速度为 6.5 m/s。

取  $v_2$  为 7 m/s,此时风机风量为 5.6 m<sup>3</sup>/min,考虑收集时的泄漏和储备风量,储备系数选 1.2,计算风机风量  $Q = 6.72$  m<sup>3</sup>/min。

#### 2.1.2 风压的确定

风机的总压主要包括动压损失  $P_d$  和静压损失 (摩擦压力  $P_m$  和局部压力  $P_i$ ),计算结果为

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

$$P_m = \frac{\lambda}{4R'} \frac{\rho v^2}{2} L \quad (4)$$

$$P_i = \xi \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (5)$$

$$P = P_d + P_m + P_i \quad (6)$$

式中  $P$ ——总压,Pa

$\rho$ ——空气密度,取 1.22 kg/m<sup>3</sup>

$v$ ——气流速度,取 7 m/s

$\lambda$ ——摩擦因数<sup>[11]</sup>,取 0.1

$R'$ ——输送管道运输半径,取 0.5 m

$\xi$ ——局部阻力系数,取 1.3<sup>[11]</sup>

$L$ ——风管长度,取 1 m

经计算  $P_d = 29.89$  Pa,  $P_m = 1.49$  Pa,  $P_i = 38.86$  Pa,  $P = 70.24$  Pa。

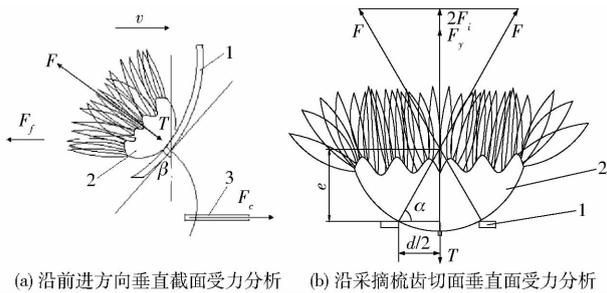
### 2.2 采摘梳齿间隙

采摘头进行梳齿采花时,采摘梳齿将贡菊枝条集拢,喂入至分花齿,分花齿断面以上花枝被采花梳齿卷入梳齿齿条之间。采花梳齿间隙过大,花朵易漏摘;间隙过小,会造成枝条缠枝、堵塞、阻力过大、误摘等现象。摘花时,花朵在相邻两梳齿齿条间的受力状况<sup>[12-14]</sup>如图 5 所示。

花朵被摘下需满足

$$2F_i + F_y \geq T \quad (7)$$

$$2F_s \sin \alpha + F_f \cos \beta \geq T \quad (8)$$



(a) 沿前进方向垂直截面受力分析 (b) 沿采摘梳齿切面垂直面受力分析

图5 花朵受力示意图

Fig.5 Sketch of forces on flowers

1. 采摘梳齿 2. 贡菊花朵 3. 分花齿

$$\text{其中 } F_i = F \sin \alpha = F \frac{e}{\sqrt{e^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}} \quad (9)$$

式中  $F_i$ ——梳齿对花朵的冲击力  $F$  垂直方向分力, N

$T$ ——花柄对花托的拉力, N

$F_y$ ——风力在花柄方向的垂直分力, N

$F$ ——梳齿对花朵冲击力, N

$\alpha$ —— $F$  与花柄方向的夹角, ( $^\circ$ )

$d$ ——两梳齿之间的距离, mm

$e$ ——花朵重心到梳齿断面的距离, mm

$\beta$ ——梳齿切线与垂直方向之间的夹角, ( $^\circ$ )

$F_f$ ——负风压沿花朵展开方向的分力

由式(7)~(9)得

$$F \geq \frac{(T - F_f \cos \beta) \sqrt{4e^2 + d^2}}{4e} \quad (10)$$

由图5a可知  $\beta$  与梳齿弯曲幅度相关,花枝与梳齿接触点不同,对应的梳齿剪切角  $\beta$  不同。当花柄在梳齿的最末端碰撞采摘时,花枝呈垂直状态,剪切角  $\beta$  为  $0^\circ$ ;当花柄在梳齿弧度的最上端碰撞采摘时,与花柄连接的花枝部分弯曲呈水平状态,剪切角为  $45^\circ$ 。

易得  $0^\circ \leq \beta \leq 45^\circ$ , 由式(10)可知,在  $\beta$  一定情况下,  $F$  与  $d$  正相关。梳齿间隙  $d$  过大,易造成漏摘,同时增大采摘花朵的最小冲击力,易增大破坏花朵的可能性。但  $d$  过小易造成漏摘、阻塞、误摘等现象。

经拉断力试验表明梳齿采摘时贡菊在采摘梳齿与分花齿之间拉伸,在花柄处拉断,且梳齿采摘时是采摘梳齿与贡菊的花托部分受冲击力。结合贡菊各部位直径测量分析结果(表3),为防止采摘梳齿采摘时错摘花蕾和大枝,梳齿间隙  $d$  应该大于花蕾直径;为防止采摘梳齿摘花时发生漏摘,梳齿采摘间隙  $d$  应小于胎菊花托直径,且梳齿采摘时是采摘梳齿与贡菊的花朵部分受力,  $d$  理论范围为  $6.87 \text{ mm} \leq d \leq 10.31 \text{ mm}$ 。考虑到采摘过程中会发生缠枝、堵

塞等现象,最优的采摘梳齿间隙需要通过试验才能确定。

表3 贡菊植株直径测量结果

Tab.3 Measurement results of diameter of chrysanthemum plant

部位	范围	平均值	标准差
花蕾花托直径	5.7 ~ 8.2	6.87	0.844
胎菊花瓣直径	20.0 ~ 29.0	24.42	3.180
胎菊花托直径	8.1 ~ 12.1	10.31	1.345
朵菊花瓣直径	35.5 ~ 42.7	38.3	2.203
朵菊花托直径	10.1 ~ 15	12.35	1.389
花柄直径	0.8 ~ 1.3	1.09	0.158
花轴直径	0.1 ~ 0.3	0.21	0.031
大枝直径	3.8 ~ 5.0	4.48	0.431

### 2.3 采摘梳齿排数

贡菊为行栽,种植密度一般为  $64 \text{ 100 株/hm}^2$ ,行距在  $500 \text{ mm}$  时,其株距为  $310 \text{ mm}$ 。由于单支植株上菊花较密集,取采摘机作业速度为  $0.3 \text{ m/s}$ ,采摘梳齿转速为  $30 \text{ r/min}$ 。梳齿采摘时间间隔与梳齿转速、梳齿排数的关系为

$$t = \frac{60}{kn} \quad (11)$$

式中  $t$ ——时间间隔, s

$k$ ——采摘梳齿排数

$n$ ——梳齿转速, r/min

转速与梳齿排数呈反比,若转速  $n$  一定,梳齿排数越多,梳齿采摘时间间隔越短。为确保植株间采摘时,朵菊不发生遗漏<sup>[12]</sup>,需满足

$$\frac{l}{v_3} \geq t \quad (12)$$

式中  $l$ ——株距, mm

$v_3$ ——机器前进速度, m/s

由式(12)可得  $t \leq 1.03 \text{ s}$ 。考虑主动轴的结构尺寸,取  $k = 3$ ,此时  $t = 0.67 \text{ s}$ ,满足式(12)的要求,因此设计时采摘梳齿排数为3排。

### 2.4 采摘梳齿外径

采摘梳齿工作时,梳齿的运动是梳齿绕梳齿主动轴的圆周运动与机器前进运动的合成。设梳齿自上而下开始梳摘,其梳齿上任意一点的运动轨迹如图6所示。

设梳齿开始圆周运动的中心点  $O_0$  在地面上的投影为原点,梳齿转动的角速度为  $\omega$ ,经过时间  $t$  后,其梳齿上一点的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = v_3 t + R \cos(\omega t) \\ y = H + R \sin(\omega t) \end{cases} \quad (13)$$

式中  $R$ ——梳齿上的一点与主动轴之间的距离, mm

$H$ ——主动轴安装高度, mm

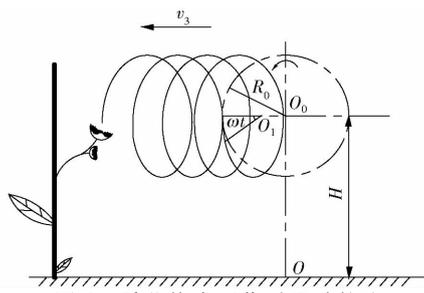


图 6 采花梳齿工作时运动轨迹

Fig. 6 Movement trajectory of working comb-teeth

为满足植株上的朵菊能全部被采摘,梳齿的外径  $R_0$  应满足

$$R_0 \geq \left| \frac{y - H}{\sin(\omega t)} \right| \quad (14)$$

当梳齿运动到最高点或者最低点时,  $|y - H|$  应大于花朵高度极差。经测量同一水平区域贡菊花朵高度极差均值为 130 mm,设计时采花梳齿外径取 8 mm。

### 2.5 转动轴离地高度

梳齿采摘是通过碰撞的方式将贡菊花朵摘下,碰撞过程具有瞬时性,撞击力非常大,因此忽略重力、弹性力的冲量<sup>[15-16]</sup>。主动轴安装高度是影响朵菊碰撞采摘效果的重要因素。因此有必要对梳齿安装高度进行分析,如图 7 所示。

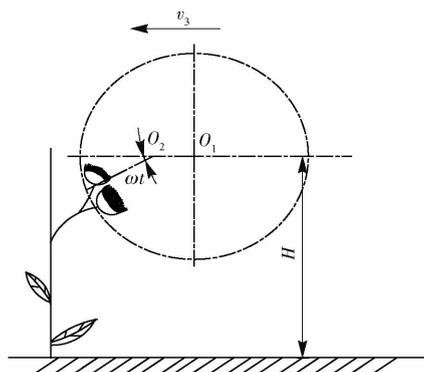


图 7 转动轴安装高度分析

Fig. 7 Analysis of rotational axis installation height

如图 7 所示采摘头由  $O_1$  处运动到  $O_2$  处,梳齿上一点的运动轨迹为余摆线,摘花时应利用最大横弦以下运动的部分,以保证采摘后的朵菊具有向后的水平速度,其梳齿速度比  $\lambda_0$  为

$$\lambda_0 = \frac{R\omega}{v_3} \quad (15)$$

梳齿从主动轴  $H$  处垂直向下梳摘朵菊,其水平方向的速度为零。对式(15)中  $x$  坐标求导,得

$$\sin(\omega t) = \frac{v_3}{R\omega} \quad (16)$$

为了确保朵菊采摘后,能有向后抛送的水平速度,梳齿安装的高度应略高于朵菊平均高度,主动轴安装高度为

$$H = h_0 + R\sin(\omega t) \quad (17)$$

式中  $h_0$ ——朵菊平均高度,mm

联立式(15)~(17),可得

$$H = h_0 + \frac{R}{\lambda_0} \quad (18)$$

为了避免漏摘高于平均高度的朵菊, $R$  为采摘梳齿端点处半径  $R_0$ ,其最低安装高度

$$H_{\min} = h_0 + \frac{R_0}{\lambda_{0\max}} \quad (19)$$

由式(19)可知,当  $\lambda_0$  取最大值时,主动轴为最低安装高度。 $\lambda_0$  越大,采摘梳齿具有向后抛送的速度和范围越大;但  $\lambda_0$  过大,则梳齿对朵菊的冲击力较大,极易造成朵菊掉落或是损伤<sup>[16]</sup>。综合考虑取  $\lambda_{0\max} = 3$ ,由此可得: $H_{\min} = h_0 + 16.7$  mm。经测量计算  $h_0 = 430$  mm,因此  $H_{\min} = 446.7$  mm。

## 3 采摘性能试验

### 3.1 设备与材料

试验采用自行设计的采摘机。主动轴由转矩 10 N·m,型号为 WS-60GA775F 的直流步进电动机驱动,通过型号为 DCMC3-2 直流电动机调速器和数显控制器实现转速控制。集花箱内采用 24 V(动力可调型)锂电池供电,带动功率为 54 W 的负风压机,将梳齿摘下的朵菊吸至集花箱。手动水平匀速移动采摘头,贡菊枝条嵌入分花齿间隙,采摘梳齿转动,实现摘花的全过程。

试验材料为自然生长状态下的歙县山地贡菊,花朵含水率为 87.20%,条栽。

### 3.2 试验指标

试验中选取花朵破碎率  $S_p$ 、落地率  $S_l$ 、采收率  $S_c$ 、杂质率  $S_y$  和漏摘率  $S_w$  5 个试验指标<sup>[17-18]</sup>,计算公式为

$$S_p = \frac{W_s}{W_z} \times 100\% \quad (20)$$

$$S_l = \frac{W_l}{W_z} \times 100\% \quad (21)$$

$$S_c = \frac{W_c}{W_z} \times 100\% \quad (22)$$

$$S_y = \frac{W_y}{W_z} \times 100\% \quad (23)$$

$$S_w = \frac{W_w}{W_z} \times 100\% \quad (24)$$

式中  $W_z$ ——试验前枝条上朵菊和胎菊质量总和,g  
 $W_s$ ——有明显破损花朵和掉落花瓣质量总和,g  
 $W_l$ ——落地的花朵质量,g  
 $W_c$ ——摘下的花朵质量,g  
 $W_y$ ——杂质质量,g

$W_w$ ——未摘下的花朵质量, g

### 3.3 单因素试验

背负集花箱,手动水平匀速推动采摘头,向贡菊植株方向移动,朵菊枝条嵌入分花齿内,水平移动的速度为 0.3 m/s。由于采摘间隙是影响摘花性能的关键因素,当梳齿圆弧半径为 50 mm,负风压机风速为 7 m/s,转速为 60 r/min 时,进行了单因素试验。初步试验表明,梳齿间隙小于 6 mm,误摘率较高;梳齿间隙大于 11 mm,漏摘率超过 70%,漏摘现象严重,不适合采摘。为此梳齿间隙在上述范围内选择 5 个水平,分别为 7、8、9、10、11 mm,并进行田间试验以选择合适的梳齿间隙。

田间采摘试验如图 8 所示,右上角为被采收的贡菊。



图 8 田间采摘试验

Fig. 8 Field picking test

试验时,取梳齿圆弧半径为 50 mm,负风压机风速为 7 m/s,主动轴转速为 45 r/min,分别对梳齿间隙的 5 个水平进行试验,试验结果如图 9 所示。花朵破碎率和花朵落地率随梳齿间隙增大而升高。梳齿间隙在 7~9 mm,花朵的破碎率在 0~0.34%,花朵落地率在 0.96%~2.39%之间,漏摘率在 2.87%~4.96%之间;当梳齿间隙大于 9 mm 时,花朵的杂质率明显减小,花朵漏摘率极具增大,花朵的破碎率和落地率也明显增大。

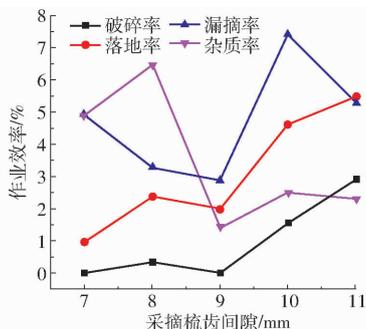


图 9 梳齿间隙对采摘效果的影响

Fig. 9 Impact of comb-teeth gap on picking effect

花朵采收率与梳齿间隙之间的关系图 10 所示。当梳齿间隙小于 9 mm 时,花朵采收率从 87.5% 明显增加至 93.71%,花朵采收率明显升高;当梳齿间

隙大于 9 mm 时,花朵采收率从 93.71% 急剧下降至 83.82%,随梳齿增加明显降低。间隙过小易造成采收率降低,造成杂质增多,枝条缠枝等问题;间隙过大,将造成很明显的漏摘,在花朵采摘的临界梳齿间隙,易造成落地率和破碎率增加。

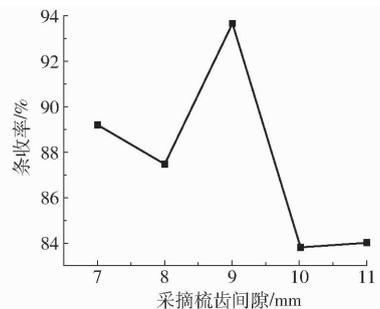


图 10 梳齿间隙对花朵采收率的影响

Fig. 10 Impact of comb-teeth gap on removal rate

随着梳齿间隙增大,花朵的杂质率明显降低。为保证被采贡菊的品质,梳齿间隙选择 8、9、10、11 mm 4 个水平进行正交试验。

### 3.4 正交试验

采摘头进行梳摘作业时,梳齿齿形、负风压机风速和转速对作业效果具有较大影响。为了进一步研究采摘机构作业时的较优作业指标,进行了梳齿间隙、梳齿齿形、风速和转速的四因素四水平正交试验<sup>[19-21]</sup>,试验因素水平如表 4 所示。

表 4 试验因素水平

Tab. 4 Experiment factors and levels

水平	因素			
	梳齿间隙 A/mm	梳齿齿形 B/mm	风速 C/ (m·s <sup>-1</sup> )	转速 D/ (r·min <sup>-1</sup> )
1	8	30	7	30
2	9	40	8	45
3	10	50	9	60
4	11	60	10	75

试验方案和结果如表 5 所示,表 6、7 分别为极差分析和方差分析。

由极差和方差分析结果可得,采摘梳齿间隙对花朵采收率有显著影响,当梳齿间隙为 8 mm 时,采摘效果较优。对杂质率和破碎率有一定的影响,随着梳齿间隙增大,杂质率和破碎率呈现降低的趋势。主动轴转速对花朵采收率有显著影响,转速越低,采收率越高,当转速为 30 r/min,采摘效果较优;对花朵破碎率有一定影响,随转速越高,落地率呈现越高的趋势。

花朵采收率较优的组合为  $A_1B_1C_2D_1$ ,花朵落地率较优的组合为  $A_4B_3C_2D_1$ ,花朵杂质率较优的组合为  $A_4B_1C_2D_1$ ,花朵破碎率较优的组合为  $A_1B_2C_2D_1$ ,花朵的漏摘率较优的组合为  $A_1B_1C_2D_4$ 。4 种指标在

表 5 试验方案与结果

Tab. 5 Experiment scheme and result

试验号	A	B	C	D	空列	采收率/%	落地率/%	杂质率/%	破碎率/%	漏摘率/%
1	1	1	1	1	1	93.94	0.32	3.68	0	2.06
2	1	2	2	2	2	92.05	1.91	2.21	0	3.83
3	1	3	3	3	3	89.79	0.78	6.52	0.19	2.72
4	1	4	4	4	4	90.40	1.15	5.18	1.15	2.11
5	2	1	2	3	4	91.27	1.77	2.49	0	3.61
6	2	2	1	4	3	89.76	1.14	5.09	0.86	4.47
7	2	3	4	1	2	91.97	0	0.99	0.88	6.16
8	2	4	3	2	1	89.76	1.14	3.15	0.86	5.09
9	3	1	3	4	2	87.83	2.47	4.23	0.44	5.03
10	3	2	4	3	1	85.25	3.54	5.56	0	5.65
11	3	3	1	2	4	87.96	0	5.27	0.85	5.91
12	3	4	2	1	3	90.22	0.14	3.05	0	6.59
13	4	1	4	2	3	89.33	0	0.30	0.98	9.39
14	4	2	3	1	4	91.80	0.23	0.75	0	7.22
15	4	3	2	4	1	89.75	0.70	1.35	1.41	6.80
16	4	4	1	3	2	85.50	1.99	0.99	1.91	9.61

表 6 极差分析

Tab. 6 Range analysis

试验指标	A	B	C	D	
采收率	$K_1$	91.55	90.59	89.29	91.98
	$K_2$	90.69	89.72	90.82	89.78
	$K_3$	87.82	89.87	89.80	87.95
	$K_4$	89.10	89.97	89.24	89.44
	极差	3.73	1.62	1.58	4.03
	较优组合	$A_1$	$B_1$	$C_2$	$D_1$
落地率	$K_1$	1.04	1.14	1.48	0.17
	$K_2$	1.01	1.71	0.56	0.76
	$K_3$	1.54	0.37	1.16	2.02
	$K_4$	0.73	0.67	1.17	1.37
	极差	0.81	1.34	0.61	1.85
	较优组合	$A_4$	$B_3$	$C_2$	$D_1$
杂质率	$K_1$	4.40	2.68	3.58	2.12
	$K_2$	2.93	3.40	2.28	2.73
	$K_3$	4.53	4.50	3.66	3.89
	$K_4$	0.85	3.09	3.96	3.96
	极差	3.68	1.83	1.68	1.84
	较优组合	$A_4$	$B_1$	$C_2$	$D_1$
破碎率	$K_1$	0.32	0.36	0.38	0.22
	$K_2$	0.65	0.22	0	0.67
	$K_3$	0.34	0.36	0.37	0.53
	$K_4$	1.08	0.98	0.97	0.97
	极差	0.75	0.77	0.97	0.75
	较优组合	$A_1$	$B_2$	$C_2$	$D_1$
漏摘率	$K_1$	2.68	5.02	5.54	5.51
	$K_2$	4.83	5.29	5.29	6.06
	$K_3$	5.80	5.82	5.82	5.40
	$K_4$	8.26	5.85	5.85	4.60
	极差	5.58	0.83	0.94	1.45
	较优组合	$A_1$	$B_1$	$C_2$	$D_4$

表 7 方差分析

Tab. 7 Variance analysis

指标	方差来源	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	F	显著性
采收率	A	33.09	3	11.03	15.32	*
	B	5.31	3	2.16	2.46	
	C	6.49	3	1.77	0.21	
	D	33.24	3	11.08	15.39	*
	系统误差	2.16	3	0.72		
	总和	80.29	15			
落地率	A	1.35	3	0.45	0.43	
	B	3.60	3	1.20	1.14	
	C	0.26	3	0.09	0.08	
	D	7.56	3	2.52	2.40	
	系统误差	3.15	3	1.05		
	总和	15.92	15			
杂质率	A	35.20	3	11.73	5.53	◎
	B	1.74	3	0.58	0.27	
	C	5.66	3	1.89	0.89	
	D	43.65	3	14.55	6.85	◎
	系统误差	6.37	3	2.12		
	总和	92.62	15			
破碎率	A	1.50	3	0.50	6.00	◎
	B	1.63	3	0.54	6.52	◎
	C	0.92	3	0.31	3.68	
	D	1.15	3	0.38	4.60	
	系统误差	0.25	3	0.08		
	总和	5.45	15			
漏摘率	A	64.12	3	21.37	11.01	*
	B	1.42	3	0.47	0.24	
	C	1.52	3	0.51	2.26	
	D	4.30	3	1.43	0.74	
	系统误差	5.80	3	1.93		
	总和	77.16	15			

注： $F_{0.01}(3,3) = 29.46, F_{0.05}(3,3) = 9.28, F_{0.1}(3,3) = 5.39$ 。  
 $F_{0.05}(3,3) < F_{\alpha}(3,3) < F_{0.01}(3,3)$  为显著影响，用 \* 表示；  
 $F_{0.10}(3,3) < F_{\alpha}(3,3) < F_{0.05}(3,3)$  为有影响，用 ◎ 表示。

主动轴转速为 30 r/min 和负风压机风速为 8 m/s 时工作情况较好;考虑到花朵采收率是衡量花朵采摘效果重要指标,取梳齿间隙为 8~9 mm。当梳齿间隙为 8 mm 时,花朵采收率、破碎率、漏摘率 3 种指标较佳;梳齿齿形对花朵的 4 项指标并无显著影响,花朵落地的损失比其他两种损失更为严重,故优先考虑,此时采摘梳齿端部的折弯半径为 50 mm。

综合考虑,气吸梳齿式采摘贡菊作业时,较优的组合为  $A_1B_3C_2D_1$ 。此时,采摘梳齿间隙为 8 mm,采摘梳齿端部的折弯半径为 50 mm,负风压机的风速为 8 m/s,主动轴转速为 30 r/min,采摘的效果最佳,通过试验得出该试验条件下的花朵采收率为 94.54%,花朵破碎为 0.57%,花朵落地率 2.05%,花朵杂质率为 1.48%,花朵漏摘率为 1.36%。

由于山地贡菊采摘受季节性影响,本文仅对梳齿间隙、风速等因素进行试验。地形限制,还需对前进速度对采摘性能的影响开展研究。农艺限制,还需研究主动轴转速和前进速度之间相互作用对贡菊采摘效果影响。雨水过多或是花朵盛开繁多,易压倒菊花植株,也将影响采摘效果。

## 4 结论

(1)设计了一种适应山地贡菊的气吸梳齿式

采摘机。利用采摘梳齿与分花齿之间的相对运动,从花托处拉断花托,实现采摘。根据花朵大小挑选适当间隙的梳齿进行采摘,过滤掉还未开放的花蕾,提高采摘花朵的质量。初步试验表明,山地贡菊气吸梳齿式采摘机能够完成贡菊的采摘作业。

(2)进行了采摘梳齿间隙的单因素试验,当梳齿间隙大于 9 mm 时,花朵的采摘率明显降低,花朵的破碎率、落地率和漏摘率明显较大。在梳齿间隙为 8~9 mm 时,气吸梳齿采摘机的花朵破碎率为 0~0.34%,花朵的落地率为 1.99%~2.39%,花朵的漏摘率为 3.30%~4.96%,花朵杂质率为 4.87%~6.48%,花朵采收率范围为 87.5%~93.11%,采摘效果最佳。

(3)正交试验表明,采摘梳齿间隙对花朵的采收率和漏摘率都有显著的影响,对花朵的落地率有一定的影响;主动轴转速对花朵采收率也有显著影响,对杂质率和破碎率有一定的影响。因此,气吸梳齿采摘机梳齿间隙为 8 mm,主动轴转速为 30 r/min,采摘梳齿端部折弯半径为 50 mm,风速为 8 m/s 时,采摘效果最佳,此时花朵采收率为 94.54%,花朵破碎率为 0.57%,花朵落地率 2.05%,花朵杂质率为 1.48%,花朵漏摘率为 1.36%。

## 参 考 文 献

- 李平生,杨青山,刘怀伟. 贡菊的研究概况[J]. 安徽医药,2013,17(10):1793-1794.
- 王德群,刘守金,梁益敏. 中国药用菊花的产地考察[J]. 中国中药杂志,2013,17(10):1793-1794.  
WANG Dequn, LIU Shoujin, LIANG Yimin. A study on producing areas of *chinese flos dendranthematis* [J]. China Journal of Chinese Meteria Medica, 2013, 17(10):1793-1794. (in Chinese)
- 陆卫明,王亦民,章庆华,等. 黄山贡菊产地状况及发展对策[J]. 中国园艺文摘,2014(6):56-77.
- 周瑛,沈凤芳. 电动红花摘花器:中国,99253283.3[P]. 2005-01-12.
- 牛国玲,姜永成,李镖镖,等. 万寿菊机械式采摘现状分析[J]. 机械工程师,2014(5):32-34.  
NIU Guoling, JIANG Yongcheng, LI Biaobiao, et al. Status and analysis of mechanical marigold picking[J]. Mechanical Engineer, 2014(5):32-34. (in Chinese)
- 姬长英,王春香,顾宝兴,等. 手持式杭白菊梳齿摘花机结构与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(7):143-150.  
[http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20160720&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160720&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.07.020.  
JI Changying, WANG Chunxiang, GU Baoxing, et al. Structure design and experiment of hand-push *Chrysanthemum morifolium* comb-teeth picking machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7):143-150. (in Chinese)
- 李景彬,王晓华,坎杂,等. 剪切式红花采收装置的设计与试验[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):537-539.  
LI Jingbin, WANG Xiaohua, KAN Za, et al. Design and experiment of a cutting safflower harvesting device[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2015, 43(11):537-539. (in Chinese)
- 黄红亮. 圆筒筛清选装置气流的研究[D]. 南京:南京农业大学,2015.  
HUANG Hongliang. The study of air flow field of acylndric screen cleaning device[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- 吴明聪,陈树人,卞雨娜,等. 不同刈割期秧草收割物悬浮速度的测定与分析[J]. 安徽农业大学学报,2014,41(3):507-512.  
WU Mingcong, CHEN Shuren, BIAN Li'na, et al. Measurement and anlysis on suspension velocity of cut medicago falcate components in different harvesting periods[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2014, 41(3):507-512. (in Chinese)
- 赵晓平,刘宝森,戴奋奋,等. 风送式喷雾机作业质量[M]. 北京:中国农业出版社,2006.

- 11 李超, 张晓辉, 姜建辉, 等. 葡萄园立风送式喷雾机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 71 - 78.  
LI Chao, ZHANG Xiaohui, JIANG Jianhui, et al. Development and experiment of riser air-blowing sprayer in vineyard[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(4): 71 - 78. (in Chinese)
- 12 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 31 - 32.
- 13 罗特军, 魏泳涛. 理论力学[M]. 2 版. 成都: 四川大学出版社, 2007: 261 - 286.
- 14 凌邦国. 碰撞过程中碰撞力定量计算[J]. 南通工学院学报: 社会科学版, 2001, 17(4): 7 - 9.  
LING Bangguo. The quantitative calculation of impact in the process of collision[J]. Journal of Nantong Institute of Technology: Social Science Edition, 2001, 17(4): 7 - 9. (in Chinese)
- 15 郑焕武. 碰撞时间的定量计算. [J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2001, 24(3): 307 - 309.  
ZHENG Huanwu. The quantitative calculation of collision time[J]. Journal of Sichuan Normal University: Natural Science, 2001, 24(3): 307 - 309. (in Chinese)
- 16 镇江农业机械学院. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1981: 43 - 48.
- 17 庄楚强, 何春雄. 应用数理统计基础[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- 18 孙明珠, 贾亚民, 王红理, 等. Origin 软件在实验数据处理中的应用研究[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(10): 96 - 98.  
SUN Mingzhu, JIA Yamin, WANG Hongli, et al. Application research of software Origin in experimental data processing[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(10): 96 - 98. (in Chinese)
- 19 GB/T 21961—2008 - T 玉米收获机械 试验方法[S]. 2008.
- 20 GB/T 21962—2008 - T 玉米收获机械 技术条件[S]. 2008.
- 21 NY/T 645—2002 玉米收获质量评价技术规范[S]. 2002.