

等直径滚筒式茶鲜叶分级机设计与试验*

胡永光¹ 李建钢¹ 陆海燕² 肖宏儒³

(1. 江苏大学农业装备工程学院, 镇江 212013; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083;

3. 农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

摘要: 为提高茶鲜叶分级效果,设计了一种参数可调的等直径滚筒式分级机。在计算确定滚筒主要结构参数的基础上,通过正交试验优化了滚筒倾角、进料率和滚筒转速等工作参数。用正交表 $L_{25}(5^6)$ 安排试验,分析了茶鲜叶分级过程中的滚筒倾角、进料率、滚筒转速对茶鲜叶总体分级率的影响。结果表明,各因素对总体分级率影响的主次顺序为:滚筒倾角、进料率和滚筒转速。本试验条件下,综合考虑分级率 and 生产率,工作参数的最优组合为:滚筒倾角 6° 、进料率 3.0 kg/min 和滚筒转速 16 r/min 。

关键词: 茶鲜叶 分级机 等直径滚筒 设计 试验

中图分类号: S220.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)S0-0116-06

Design and Experiment of Equant-diameter Roller Screening Machine for Fresh Tea Leaves

Hu Yongguang¹ Li Jian'gang¹ Lu Haiyan² Xiao Hongru³

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

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

3. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to improve the screening effect of fresh tea leaves, an equant-diameter roller screening machine was developed with adjustable structural and technical parameters. The main parameters of roller rotating speed, roller diameter and roller length were calculated, and the model selection of driving motor was done. The optimal parameters combination of roller inclination, rotating speed and feeding rate was made based on the orthogonal test. The treatments were arranged according to orthogonal table $L_{25}(5^6)$, and the influence of each parameter on screening rate was analyzed. The results showed that the sequence of each parameter's influence on total screening rate was roller inclination, feeding rate and rotating speed, and screening rate reached the maximum when roller inclination was 6° , feeding rate was 1.5 kg/min and rotation rate was 16 r/min . To double the screening productivity, feeding rate should be selected as 3.0 kg/min , while correspondingly total screening rate was dropped by only 3.3% averagely.

Key words: Fresh tea leaves Screening machine Equant-diameter roller Design Experiment

引言

名优茶生产在我国茶产业发展中具有重要的地位^[1-3],但对名优茶鲜叶的外形具有严格的要求^[4],因而茶鲜叶分级机成为名优茶加工不可或缺的装备。

茶鲜叶分级机可以将各种等级茶鲜叶的混合物分离成不同等级的茶鲜叶。最常用的滚筒式分级机,虽然结构简单、成本低、适用性广,但分级效果不理想。目前,融合了机械、电子、图像识别等现代科学技术研制的茶鲜叶分级机有风选、色选和静电等多种类型。风选机和振动平输式茶鲜叶分选机是基

于尺寸进行分级,其分级精度均不高;色选机和基于图像识别技术的茶鲜叶智能分级机其技术要求高,工作可靠性与人工分级相比仍有很大差距且分级效率较低^[5]。茶鲜叶静电拣梗机生产周期长、生产效率较低^[3]。

滚筒式分级机分级过程中,待分级的茶鲜叶由进料口进料,在自身重力作用下随倾斜的筛面向出料口运动,贴近筛面大小不同的茶鲜叶先后通过由小到大的筛孔被分离出来。研究表明,当滚筒倾角为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 、滚筒直径与长度之比为 $1:(4 \sim 6)$ 、滚筒转速 $N = 11/\sqrt{R} \sim 15/\sqrt{R}$ 时(R 为滚筒半径),分级效果较好^[6]。唐萌等对改进的6CXF-70型茶鲜叶分级机进行了分级对比试验,指出投叶量、滚筒转速等是影响分级效果的主要因素^[7],但仍需对各参数的优化组合进行深入的研究。张兰兰等在唐萌等研究的基础上,通过增加筛网段数、改变筛网长度研制了新型的茶鲜叶分级机,分析了单因素作用下进料率、滚筒倾角和滚筒转速对分级率的影响^[3],但仍未对分级的最佳参数组合进行研究。

本文设计一种参数可调的等直径滚筒式茶鲜叶分级机,通过试验研究滚筒倾角、进料率、滚筒转速等因素对分级率的影响,并寻找各因素的最优组合。

1 等直径滚筒式茶鲜叶分级机设计

1.1 滚筒设计

选用 SUS304 不锈钢编织网作为筛面。一方面,编织网比冲孔板在单位面积内的孔更多,孔面积占筛网总面积的比率更大,茶鲜叶更易于落入筛孔;另一方面,茶鲜叶属于食品原料,304 不锈钢材料可满足食品分级的要求。

1.1.1 滚筒结构

滚筒式茶鲜叶分级机一般采用圆台型滚筒(MC-II型、6CFJ-70型)^[3,8],其出料口直径大于进料口直径。该设计的主要目的是使滚筒的表面与水平面呈一定的斜角,以便排料,但分级时进料端的茶鲜叶最多、料层最厚、分级最难,且进料端的小口径限制了茶鲜叶分级的生产率。在保证第一级滚筒分级率的情况下,其他等级的分级能力不能充分发挥。本研究设计的是等直径茶鲜叶分级机。

1.1.2 滚筒参数

(1) 滚筒转速

滚筒转速对茶鲜叶的运动影响较大,其取值与其临界转速有一定的关系。当滚筒转速超过某一临界值时,其内茶鲜叶不能脱离筛面而做离心运动,此时茶鲜叶不能被分级,滚筒临界转速的计算公式为^[9]

$$N_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{D}} \quad (1)$$

式中 D ——滚筒直径, m

当 $D = 0.8$ m 时, $N_c \approx 47$ r/min。

一般情况下,滚筒转速取其临界值的 30% ~ 60%^[9]。当滚筒转速超过临界转速的 50% ~ 60%,分级率会迅速下降;但当滚筒转速较低时,上层物料接触筛网的几率变低,分级率和生产率均会下降^[10]。对于茶鲜叶分级,滚筒转速取临界转速的 50%。

(2) 滚筒直径

当滚筒转速取临界转速的 50% 时,参照 Jeffrey 等的滚筒直径计算方法^[11],可得

$$D = \left(\frac{0.1886Q_m}{FK_v d_b g^{0.5} \tan \alpha} \right)^{0.4} \quad (2)$$

$$\text{其中 } K_v = \begin{cases} 1.35 & (\alpha = 3^{\circ}) \\ 1.85 & (\alpha = 5^{\circ}) \end{cases}$$

式中 Q_m ——分级生产率, kg/h

α ——滚筒倾角, ($^{\circ}$)

K_v ——旋转速度修正系数

d_b ——容积密度, kg/m³

F ——填充系数,取 0.25 ~ 0.33

将 $N = 50\% N_c$ 、 $Q_m = 100$ kg、 $F = 0.25$ 、 $\alpha = 5^{\circ}$ 、 $K_v = 1.85$ 、 $d_b = 224.7$ kg/m³、 $g = 9.8$ m/s² 代入式(2),得 $D \approx 0.85$ m。但在实际分级工作中, α 和 K_v 更大,所以滚筒直径取 0.8 m。

(3) 滚筒长度

滚筒长度是重要的设计参数之一,分级率随其增加而增加,但增幅将逐渐减少。典型的滚筒长度为其直径的 2 ~ 6 倍。当滚筒转速为临界转速的 50% 时,滚筒长度为^[11]

$$L = 15 \sqrt{2} K_v D^{0.5} g^{0.5} \pi^{-1} t \tan \alpha \quad (3)$$

式中 t ——分级时间, min

L ——滚筒长度, m

将 $K_v = 1.85$ 、 $D = 0.8$ m、 $t = 1$ min、 $\alpha = 5^{\circ}$ 代入式(3),得 $L = 3.06$ m,取整为 3.0 m。

1.2 驱动电动机选型

1.2.1 传动方式

如图 1 所示,滚筒的驱动需要两级传动。由于电动机输出转速较大、输出轴距离滚筒驱动轴较远,故第 1 级采用带传动,以减轻启动和停车的冲击和噪声,增加传动平稳性^[12]。第 2 级采用摩擦轮传动,在滚筒进料端两侧偏下方各设置一个摩擦轮。

1.2.2 电动机选型

(1) 电动机功率和扭矩

当分级进料率为 3.5 kg/min 时,进入滚筒内的茶



图1 茶鲜叶分级机

Fig. 1 Screening machine of fresh tea leaves

鲜叶对滚筒轴心的力矩为 $13.7 \text{ N}\cdot\text{m}$; 实测驱动空载滚筒转动所需最小力为 20 N , 所需最小力矩为 $8.0 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。所以, 驱动滚筒所需总力矩 T 为 $21.7 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。

在临界转速 N_c 为 $47 \text{ r}/\text{min}$ 时, 分级机工作时负载和滚筒消耗的总功率为 108 W 。由于传动过程中的能量损失, 所以驱动电动机功率需要大于 108 W 。电动机转矩

$$T_1 = K_A T / i \quad (4)$$

式中 i ——总传动比 K_A ——安全系数

T_1 ——电动机的输出转矩, $\text{N}\cdot\text{m}$

将 $i = 8.25$ 、 $K_A = 2$ 代入式(4), 得 $T_1 = 5.3 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。

(2) 电动机转速

滚筒的工作转速不超过临界转速的 75% , 此时 $N = 35 \text{ r}/\text{min}$ 。在传动系统中传动比 $i = 8.25$, 电动机的轴端输出转速最大为 $N_{\max} = 289 \text{ r}/\text{min}$ 。

综合考虑所需电动机的转矩、功率、转速和效

率, 选择电动机型号为: $\text{RX67} - \text{YVP} - 0.37 - 4\text{P}$ 。

1.3 工作参数调整装置

为达到最优的分级效果, 需调整该茶鲜叶分级机的主要工作参数, 如滚筒倾角、进料率和滚筒转速等。在滚筒进料端机架下方设置一套单驱动螺旋升降机构, 通过联动升降, 可改变滚筒倾角; 采用 2 台变频电动机及其变频器, 可分别调节进料率和滚筒转速。以上调节过程均通过控制器来实现。选用的驱动机架升降电动机为 $\text{R57} - \text{Y} - 1.1 - 4\text{P}$, 驱动进料机构的变频电动机与滚筒驱动电动机型号相同, 变频器型号为 $\text{CNT800} - 4\text{T0007G}$ 。

1.4 控制系统设计

控制系统由 PLC、倾角传感器、霍尔传感器、数据采集模块和触摸屏等组成。选型器件如下: 倾角传感器为 $\text{LCA318T} - 30$, 其量程为 $-30^\circ \sim 30^\circ$, 精度为 0.1° ; 转速检测用霍尔传感器为 $\text{CHE} 12 - 10\text{NA} - \text{H710}$; 数据采集模块为 DAM3059A ; 触摸屏为威纶 TK6102i ; PLC 为三菱 $\text{FX2N} - 485\text{BD}$ 。控制系统的组成和结构如图 2 所示。在触摸屏中输入待分级茶鲜叶的品种后, 控制系统自动匹配其对应的滚筒倾角、转速和进料率等工作参数的设定值。通过倾角传感器、霍尔传感器分别检测滚筒的倾角、滚筒和进料电动机的转速, 由 PLC 控制各工作参数达到设定值。

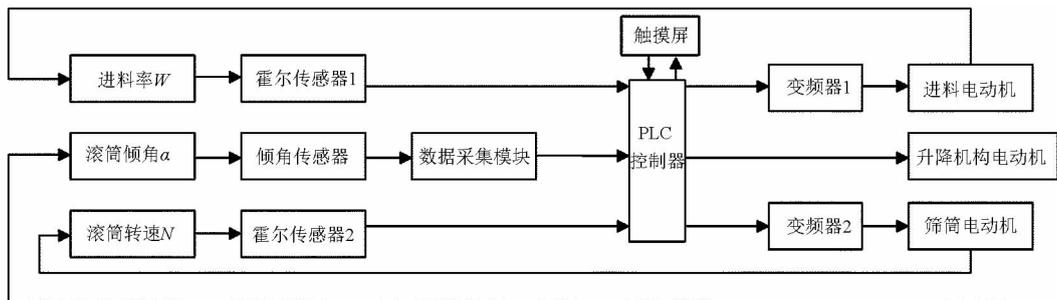


图2 茶鲜叶分级机控制系统组成

Fig. 2 Control system configuration of screening machine for fresh tea leaves

2 分级试验及结果分析

2.1 试验材料

供试材料为 2015 年 7 月 5—6 日在江苏省丹阳市迈春茶场的手采茶鲜叶, 品种为鸠坑。该茶鲜叶为茶树修剪后发出的新芽, 相同叶型的茶鲜叶大小均匀、形状相似。但手采茶鲜叶中仍混有各类茶鲜叶: 单芽、一芽一叶及其对夹叶、一芽二叶及其对夹叶、一芽三叶及其对夹叶。

各类茶鲜叶的评判标准^[13]: ①单芽: 只含有芽头而尚未展叶。②一芽一叶: 含有芽头及一片叶, 第 2 片叶尚未展叶。③一芽二叶: 含有芽头及 2 片叶片, 第 3

片叶尚未展叶。④一芽三叶及以上: 含有芽头及 3 片叶以上。⑤对夹叶: 无芽头, 2 片以上叶子。

自制的等直径滚筒式茶鲜叶分级机(图 1), 滚筒的直径为 0.8 m , 总长为 3.0 m (划分为间距相等的 3 段, 用于前 3 级茶鲜叶的分级)。滚筒倾角通过与试验平台进料端相联接的升降平台进行调节; 滚筒转速通过变频器对电动机输入电流的频率进行调节; 滚筒由孔径不同的编织网卷曲而成, 孔径从进料端到出料端依次增大^[8]。

2.2 试验方法

2.2.1 茶鲜叶分类及组成

在各个处理过程中, 随机抓取 100 g 茶鲜叶, 手

工分级为4级。第1级为单芽,第2级为一芽一叶及其对夹叶,第3级为一芽二叶及其对夹叶,第4级为一芽三叶及其对夹叶,统计各级茶鲜叶的质量,计算各类茶鲜叶所占质量分数,重复5次求均值。

2.2.2 茶鲜叶分级率的计算

茶鲜叶分级率 $\eta_i (i=1,2,3)$ 是指第 i 级集料器中收集的第 i 级茶鲜叶质量与第 i 级茶鲜叶总质量的比值,即

$$\eta_i = \frac{c_i}{e_i} \times 100\% \quad (5)$$

式中 c_i ——第 i 级集料器中第 i 级茶鲜叶质量, g
 e_i ——第 i 级茶鲜叶中大于前级筛孔料级且小于本级 (i 级) 筛孔料级的茶鲜叶质量, g

总体分级率 η 是指前3级滚筒中实际正确分级的茶鲜叶的质量和理论分级的茶鲜叶的质量之比,即

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^3 c_i}{\sum_{i=1}^3 e_i} \times 100\% \quad (6)$$

式中 $\sum_{i=1}^3 c_i$ ——前3级筛网中,第 i 级集料器中第 i 级茶鲜叶质量之和, g

$\sum_{i=1}^3 e_i$ ——前3级滚筒中,第 i 级滚筒中大于上级 ($i-1$ 级) 筛孔料级且小于本级 (i 级) 筛孔料级的茶鲜叶质量之和, g

2.2.3 正交试验安排

正交试验的因素为滚筒倾角、进料率和滚筒转速。其中,滚筒倾角为滚筒轴线与水平面的夹角,进料率为单位时间内进入滚筒内的茶鲜叶质量。各因素的水平如表1所示。以总体分级率 η 为试验指标。选用正交设计表 $L_{25}(5^6)$ 安排试验^[14],如表2所示 (A 、 B 、 C 分别为 α 、 W 、 N 的编码)。通过试验可以得出上述几个因素对总体分级率的影响规律。

表1 因素水平

Tab.1 Factors and levels of test

编码	因素		
	倾角 α / (°)	进料率 W / (kg·min ⁻¹)	转速 N / (r·min ⁻¹)
1	6	1.5	8
2	8	2.0	12
3	10	2.5	16
4	12	3.0	20
5	14	3.5	24

表2 正交试验设计及结果

Tab.2 Design and results of orthogonal test

试验 序号	因素						η /%
	A	空白列	空白列	B	空白列	C	
1	1	1	1	1	1	1	62.07
2	1	2	2	2	2	2	48.22
3	1	3	3	3	3	3	71.41
4	1	4	4	4	4	4	65.89
5	1	5	5	5	5	5	58.61
6	2	1	2	3	4	5	42.70
7	2	2	3	4	5	1	60.35
8	2	3	4	5	1	2	55.98
9	2	4	5	1	2	3	60.94
10	2	5	1	2	3	4	52.07
11	3	1	3	5	2	4	47.68
12	3	2	4	1	3	5	50.68
13	3	3	5	2	4	1	42.28
14	3	4	1	3	5	2	51.38
15	3	5	2	4	1	3	46.36
16	4	1	4	2	5	3	31.29
17	4	2	5	3	1	4	32.86
18	4	3	1	4	2	5	29.73
19	4	4	2	5	3	1	35.05
20	4	5	3	1	4	2	47.60
21	5	1	5	4	3	2	32.61
22	5	2	1	5	4	3	28.54
23	5	3	2	1	5	4	30.16
24	5	4	3	2	1	5	27.47
25	5	5	4	3	2	1	28.41

2.3 试验结果与分析

2.3.1 茶鲜叶分类级别及组成

由图3可得,分级前茶鲜叶中混有各级茶鲜叶,其中第1、2、3级的质量分数分别为34.34%、32.18%、29.00%,第4级的质量分数仅为4.48%。

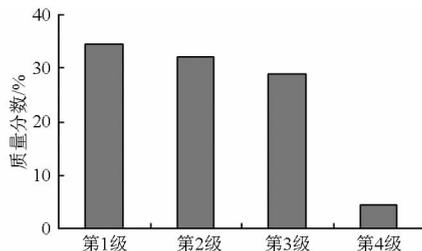


图3 茶鲜叶原料的级别组成

Fig.3 Grading of fresh tea leaves

2.3.2 工作参数对分级率的影响

2.3.2.1 直观分析

(1) 极差分析

极差反映了因素水平对试验指标的影响^[14],各因素的极差分析,如表3所示。表中, $K_i (i=1,2,3)$ 为某个因素 i 水平下的积累总体分级率, K_{iavg} 表示对其水平取均值,极差 $R_{avg} = \max K_{iavg} - \min K_{iavg}$ 。

越大,表明该列因素的数值在试验范围内的变化会导致试验指标在数值上的变化越大,所以极差最大的一列所对应的因素,即为对试验结果影响最大的因素。

由表3可知,各因素的主次顺序为:滚筒倾角、进料率、滚筒转速。

表3 极差分析

Tab.3 Range analysis

指标	A	空白列	空白列	B	空白列	C
K_1	306.20	216.35	223.79	251.45	224.74	228.16
K_2	272.04	220.65	202.49	201.33	214.98	235.79
K_3	238.38	229.56	254.51	226.76	241.82	238.54
K_4	176.53	240.73	232.25	234.94	227.01	228.66
K_5	147.19	233.05	227.30	225.86	231.79	209.19
K_{1avg}	61.24	43.27	44.76	50.29	44.95	45.63
K_{2avg}	54.41	44.13	40.50	40.27	43.00	47.16
K_{3avg}	47.68	45.91	50.90	45.35	48.36	47.71
K_{4avg}	35.30	48.15	46.45	46.99	45.40	45.73
K_{5avg}	29.44	46.61	45.46	45.17	46.36	41.84
R_{avg}	31.80	4.88	9.31	8.97	4.80	5.25

(2) 优方案的确定

优方案是指在所做试验范围内,各因素较优的水平组合^[14]。在本试验中以茶鲜叶总体分级率为指标,其值越大越好,所以应选取使指标大的水平,即各列指标中 K_i (或 K_{iavg})中最大的那个值对应的水平。由表3可得,A因素列不同水平下的分级率排序为: $K_1 > K_2 > K_3 > K_4 > K_5$,B因素列不同水平下的分级率排序为: $K_1 > K_4 > K_3 > K_5 > K_2$,C因素列不同水平下的分级率排序为: $K_3 > K_2 > K_4 > K_1 > K_5$ 。所以,分级的优方案为 $A_1B_1C_3$,即滚筒倾角 6° 、进料率 1.5 kg/min 、滚筒转速 16 r/min 。

(3) 趋势图的分析

由图4可得,茶鲜叶分级率随不同因素各水平变化的变化趋势不同。随着滚筒倾角的增加,茶鲜叶分级率下降,且变化很大;随进料率的增加,茶鲜叶分级率呈现先降低后升高再降低的趋势;随滚筒转速的增加,茶鲜叶分级率呈现先上升后降低的趋势,这与Hasselriis研究的结果类似^[10]。

在分级过程中,随着滚筒倾角的增大,茶鲜叶重力沿斜面的分力增大^[15],前进的平均速度加快使茶鲜叶从筛孔上面跳过的概率增大,从而使分级率随滚筒倾角的增大而降低^[16-17],同时也缩短了茶鲜叶在滚筒中的分级时间。

分级率随进料率的增大呈现先降低后升高再降低的变化,但总体趋势是降低的。当进料率增加时,分级过程中的茶鲜叶层厚度增加,上层茶鲜叶接触筛网的机会减少,从而降低分级率,这与Wheeler等

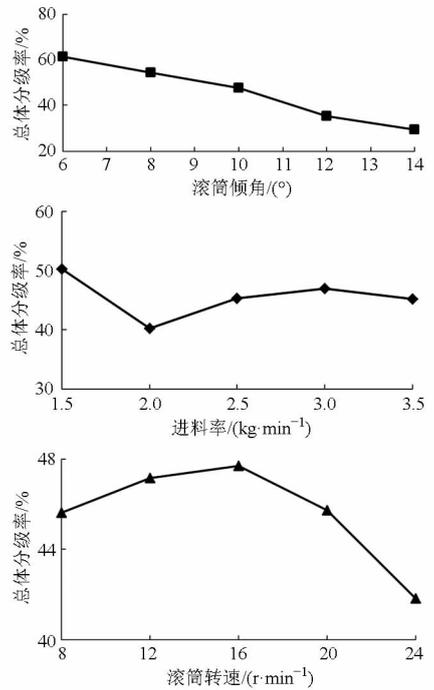


图4 因素-指标趋势图

Fig.4 Tendency of factor-indicator

的结论相同^[18]。

此外,分级率随滚筒转速的增加呈现先升高后降低的变化趋势。转速的逐渐增加使茶鲜叶混合更均匀、离心力增加、滞留量减少,上层茶鲜叶接触筛网的概率增加,从而使分级率升高;但滚筒转速过高缩短了茶鲜叶在滚筒内的分级时间,从而降低了分级率^[17]。所以,滚筒倾角、进料率和滚筒转速共同决定了茶鲜叶分级率。

极差分析直观反映了滚筒倾角、进料率和滚筒转速对分级率影响的主次顺序,但不能定量描述试验误差引起的数据波动。

2.3.2.2 方差分析

对表2中的数据通过DPS软件进行方差分析^[19],方差分析的结果如表4所示。滚筒倾角对茶鲜叶分级率有极显著的影响($P < 0.01$),进料率和滚筒转速对茶鲜叶分级率影响均不显著。

表4 方差分析

Tab.4 Variance analysis

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
A	0.3469	4	0.0867	24.1412	0	显著
第2列*	0.0076	4	0.0019			
第3列*	0.0278	4	0.0070			
B	0.0263	4	0.0066	1.8306	0.1878	不显著
第5列*	0.0077	4	0.0019			
C	0.0105	4	0.0026	0.7314	0.5877	不显著

2.3.2.3 最优方案的确定

由方差分析和图4可知,茶鲜叶分级率随滚筒倾角增大而迅速下降,但随着进料率和滚筒转速的

增加而下降很小。为同时保证分级率和生产率,滚筒倾角应该优先考虑较小值,进料率和滚筒转速可考虑较大值。所以,直观分析获得的最优方案 $A_1B_1C_3$ 应调整为 $A_1B_4C_3$, 即当滚筒倾角为 6° 、进料率为 3.0 kg/min 、滚筒转速为 16 r/min 时,总体分级率虽然平均下降了 3.3% (图 4),但进料率增加了一倍,即分级生产率提高了一倍。

3 结束语

设计了一种参数可调的等直径滚筒式茶鲜叶分

级机,主要由滚筒、机架、升降平台、进料装置、传动系统和控制系统等组成。以总体分级率为指标,通过正交试验分析并优化了主要技术参数。滚筒倾角、进料率和滚筒转速对分级率的影响主次顺序为:滚筒倾角、进料率、滚筒转速。为获得较高的分级率,需采用较小的滚筒倾角。当滚筒直径为 0.8 m 、长为 3.0 m 时,等直径滚筒式茶鲜叶分级机的工作参数最优组合为:滚筒倾角 6° 、进料率 3.0 kg/min 、滚筒转速 16 r/min 。

参 考 文 献

- 方实明. 机采名优茶鲜叶的实践与思考[J]. 茶业通报, 2014, 36(3): 114 - 116.
- 《中国茶业年鉴》编辑委员会. 中国茶业年鉴(2011)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- 张兰兰. 机采名优茶鲜叶分级技术及分级机研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- 安徽农学院. 制茶学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- 张皓臻, 肖宏儒, 梅松, 等. 茶叶分选技术的现状和未来[J]. 农业工程, 2014, 4(5): 59 - 63.
Zhang Haozhen, Xiao Hongru, Mei Song, et al. Status quo and future of tea sorting technology [J]. Agricultural Engineering, 2014, 4(5): 59 - 63. (in Chinese)
- 杨茂成. 滚筒圆筛机工艺设计计算[J]. 贵州茶叶, 1994(1): 34 - 36, 30.
- 唐萌. 茶园名优茶机械化采摘集成技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- 浙江大学. 一种名优茶鲜叶分级机: 中国, 200810059580. 6[P]. 2008 - 07 - 23.
- 盛金良, 高君. 垃圾滚筒筛参数设计[J]. 建筑机械化, 2004(3): 62 - 63.
- Hasselriis F. Refuse-derived fuel processing[M]. Boston: Butterworth Publishers, 1984.
- Jeffrey W S, Rodfers M H, James F S. The place of the trommel in resource recovery[C] // National Waste Processing Conference, 1992.
- 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- 谷兆骐, 曹婷婷, 陈国荣, 等. 机采与手采鲜叶加工平水日铸茶艺、品质及成本比较研究[J]. 茶叶, 2014, 40(4): 207 - 211.
Gu Zhaoqi, Cao Tingting, Chen Guorong, et al. A comparison research of technology, quality and cost of between machine picking and hand picking Pingshui Rizhu tea[J]. Journal of Tea, 2014, 40(4): 207 - 211. (in Chinese)
- 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- 蔡玉良, 杨学权, 丁晓龙, 等. 滚筒筛内物料运动过程的分析[J]. 水泥工程, 2010(2): 5 - 8.
Cai Yuliang, Yang Xuequan, Ding Xiaolong, et al. Analysis of the material's movement in rotating sieve [J]. Cement Engineering, 2010(2): 5 - 8. (in Chinese)
- Lau S T, Cheung W H, Kwong C K, et al. Removal of batteries from solid waste using trommel separation [J]. Waste Management, 2005, 25(10): 1004 - 1012.
- 阚建文, 何芳, 汪裕安. 圆筒筛筛分的过筛率及其影响因素[J]. 农业机械学报, 1995, 26(2): 63 - 68.
Zha Jianwen, He Fang, Wang Yu'an. Passage rate factor and effects of parameters in screening of cylinder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(2): 63 - 68. (in Chinese)
- Wheeler P A, Barton J R, New R. An empirical approach to the design of trommel screens for fine screening of domestic refuse [J]. Resources Conservation and Recycling, 1989, 2(4): 261 - 273.
- 唐启义. DPS 数据处理系统[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2010.