

酿酒葡萄果-蒂振动分离试验

李成松^{1,2}, 高振江^{1*}, 坎 杂², 王丽红², 袁盼盼², 王 哲²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832000)

摘 要: 为深入研究酿酒葡萄果-蒂振动分离特性, 寻求影响分离效果因素的最优组合, 该文基于酿酒葡萄做变速运动产生惯性力克服葡萄果-蒂连接力实现分离的原理, 搭建了曲柄摇杆机构分离率测定装置。通过对曲柄摇杆机构运动及果-蒂分离临界条件的分析, 构建了果-蒂振动分离模型, 确定电机转速、偏心距离及摇杆长度为主要影响因素, 并针对霞多丽和赤霞珠品种开展试验研究。结果表明: 影响酿酒葡萄分离率显著因子的主次顺序为偏心距离、摇杆长度和电机转速; 赤霞珠品种较霞多丽品种更适合机械采收; 当转速为 245 r/min, 偏心距离为 75 mm, 摇杆长度为 200 mm 时, 赤霞珠分离率为 95.2%, 葡萄果-蒂分离的频率范围为 2.11~3.69 Hz, 葡萄穗梗处的振幅为 169.8 mm。该文研究结果可为酿酒葡萄收获装置的设计提供理论依据。

关键词: 果实; 振动; 分离; 酿酒葡萄

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.09.007

中图分类号: S225.99

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-09-0039-06

李成松, 高振江, 坎 杂, 等. 酿酒葡萄果-蒂振动分离试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 39—44.

Li Chengsong, Gao Zhenjiang, Kan Za, et al. Experiment of fruit-pedicle vibration separation of wine grape[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(9): 39—44. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

葡萄品种较多, 总体上可以分为酿酒葡萄和鲜食葡萄两大类。新疆是中国最早引种和栽培葡萄的地区^[1-2], 其独特的光热和水土等自然条件非常适宜葡萄的生长^[3], 与法国波尔多、美国加利福尼亚州并称为世界葡萄的“天堂种植区”。据调研, 酿酒葡萄种植业中收获是占用劳动力最多的环节, 占生产期总劳动力的 50%以上。

目前, 林果收获机械多采用振动方式^[4-9], 即通过一定形式的振动机构或振源, 施加一定频率的激振力, 使果实做周期性变速运动实现果-蒂分离。其机构形式一般有曲柄摇杆机构和曲柄滑块机构, 曲柄摇杆机构是通过摆动运动而产生的激振力, 曲柄滑块是通过直线往复运动产生激振力。Whitney 等进行柑橘采收试验时, 采用曲柄摇杆机构施加变向周期激励的采收率(71.9%~76.6%)要远高于曲柄滑块机构的采收率(49.8%~56.2%)^[10]。

在振动分离影响因素研究方面, Pezzi 和 Caprara 等通过设置加速度传感器测量葡萄藤的振动响应, 研究了振幅强度大小对果实收集及损伤的影响^[11]; Polat 等进行了振动频率、振幅对开心果机械化采收效率影响的试验研究^[12]; Loghavi 等研究了振动频率、振幅对青柠分离的影响^[13]; 王业成, 陈海涛等分析了振动频率、振幅、激

振位置对黑加仑采收率及果枝激振力的影响^[14]; 王长勤研究了不同激振频率对树干振幅、树干损伤及果实采净率的影响^[15]。杜小强研究了樱桃树室内与田间动态特性试验系统, 获得了樱桃树的基本动力学参数与振动能量传递模式^[16-17]。由上述文献分析可知, 振动频率、振幅等参数对分离效果有重要的影响。

本文拟对基于曲柄摇杆机构的振动分离率测定装置进行理论分析及试验研究, 明确影响分离效果因素的最优组合, 寻求在满足分离要求下葡萄果-蒂分离时频率范围和穗梗处振幅的最小极限值, 为酿酒葡萄振动分离装置的设计提供理论依据。

1 振动分离率测定装置工作原理及运动分析

1.1 工作原理

葡萄果-蒂的振动分离是由振动机构激励葡萄按一定的频率和振幅做变速运动, 由此产生的惯性力克服葡萄粒同果蒂间的连接力, 实现葡萄果-蒂分离。振动分离率测定装置由曲柄摇杆机构、Y100L-6 型电机、HDII.5E4L 变频器等组成。如图 1 所示, 采用电机为动力源, 驱动偏心盘转动, 使通过夹具夹持固定在摇杆上的葡萄串做摆动, 该夹具由动、定夹头和夹紧螺栓构成。

1.2 曲柄摇杆机构运动分析

平面曲柄摇杆机构运动如图 2 所示。

摇杆机构封闭矢量方程式^[18]:

$$L_1 e^{i\theta_1} + L_2 e^{i\theta_2} = L_4 + L_3 e^{i\theta_3} \quad (1)$$

通过欧拉公式转换, 得:

$$\begin{cases} L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 = L_4 + L_3 \cos \theta_3 \\ L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2 = L_3 \sin \theta_3 \end{cases} \quad (2)$$

收稿日期: 2014-11-27 修订日期: 2015-04-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51465051)

作者简介: 李成松, 男, 四川南充人, 博士生, 主要研究方向: 农业机械化工程。北京 中国农业大学工学院, 100083。Email: lcs_shz@163.com

*通信作者: 高振江, 男(蒙古族), 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事农产品加工及农业装备研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: zjgao@cau.edu.cn

式中: L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 分别为原动件长度、连接杆长度、摇杆长度及机架长度, m ; θ_1 、 θ_2 、 θ_3 分别为上述杆件的方位角, rad。

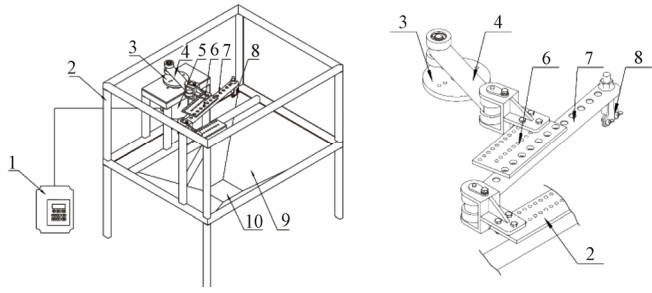
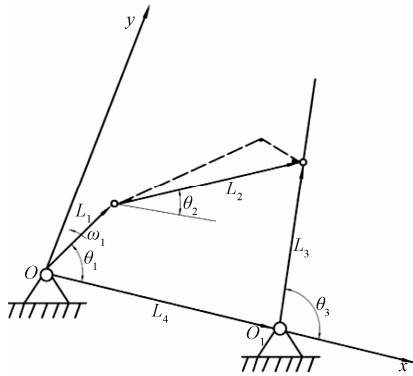


图 1 酿酒葡萄振动分离率测定装置
Fig.1 Separation test device of wine grape



注: L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 分别为原动件长度、连接杆长度、摇杆长度及机架长度, m ; θ_1 、 θ_2 、 θ_3 分别为上述杆件的方位角, rad; ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为原动件角速度、连接杆角速度及摇杆角速度, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 。
Note: L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , in turn, are the length of driving link, connecting rod, rocker and rack, m ; θ_1 , θ_2 , θ_3 , in turn, are the azimuth angle of L_1 , L_2 , L_3 , rad; ω_1 , ω_2 , ω_3 , in turn, are the angular velocity of driving link, connecting rod and rocker, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

图 2 平面曲柄摇杆机构运动

Fig.2 Plane crank-rocker mechanism kinematic diagram

经整理可简化为:

$$A \sin \theta_3 + B \cos \theta_3 + C = 0 \quad (3)$$

其中, $A=2L_1L_i\sin\theta_1$ ($i=2,3$), $B=2L_i(L_1\cos\theta_1-L_4)$

$$C=L_3^2-L_1^2-L_2^2-L_4^2+2L_1L_4\cos\theta_1 \quad i=2$$

$$C=L_2^2-L_1^2-L_3^2-L_4^2+2L_1L_4\cos\theta_1 \quad i=3$$

解之可得:

$$\theta_i = 2 \arctan \left(\frac{A \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{B - C} \right) \quad (4)$$

将式 (1) 对时间 t 求导:

$$L_1\omega_1 e^{i\theta_1} + L_2\omega_2 e^{i\theta_2} = L_3\omega_3 e^{i\theta_3} \quad (5)$$

式中: ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为原动件角速度、连接杆角速度及摇杆角速度, rad/s 。

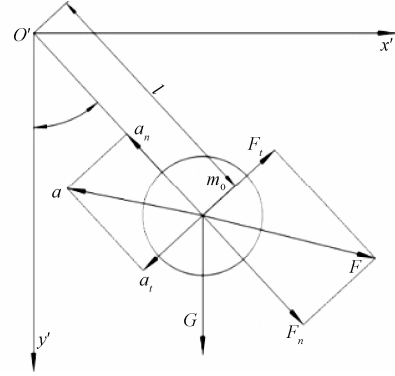
由复数矢量表达式, 可求得:

$$\omega_3 = \omega_1 L_1 \sin(\theta_1 - \theta_2) / L_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) \quad (6)$$

1.3 酿酒葡萄果-蒂分离条件

酿酒葡萄单果受力如图 3 所示。

葡萄粒相对于 O' 做摆动运动时, 受到重力 G 、惯性力 F 作用, F 法向分力 F_n 对葡萄粒产生轴向拉力, 切向分力 F_t 会对 O' 产生旋转力矩, 使葡萄粒绕 O' 点扭转 (果柄会相对于果柄同葡萄粒连接另一侧发生转动)。



注: m_0 为葡萄单粒质量, kg ; F 为葡萄粒惯性力, N ; F_n 为葡萄粒法向惯性力, N ; F_t 为葡萄粒切向惯性力, N ; G 为葡萄粒所受重力, N ; l 为果梗长度, m ; φ 为葡萄粒转动角位移, rad ; a 为葡萄粒加速度, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$, a_n 为葡萄粒法向加速度, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$, a_t 为葡萄粒切向加速度, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$ 。

Note: m_0 is mass of wine grape, kg ; F is inertial force of grape, N ; F_n is normal inertial force of grape, N ; F_t is tangential inertial force of grape, N ; G is gravity of grape, N ; l is the length of the stem, m ; φ is rotational displacement of grape, rad ; a is the acceleration of grape, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$; a_n is normal acceleration of grape, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$; a_t is tangential acceleration of grape, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$ 。

图 3 单果受力图

Fig.3 Per grape force

$$F_n = m_0 a_n = m_0 \ddot{\varphi}^2 l \quad (7)$$

$$F_t = m_0 a_t = m_0 \ddot{\varphi} l \quad (8)$$

其中:

$$\dot{\varphi} = A\omega l^{-1} \cos \omega t \quad (9)$$

$$\ddot{\varphi} = -A\omega l^{-1} \omega \sin \omega t \quad (10)$$

式中: m_0 为葡萄单粒质量, kg ; a_n 为葡萄粒法向加速度, mm/s^2 , a_t 为葡萄粒切向加速度, mm/s^2 ; A 为强迫振幅, mm 。

此处运动角速度 ω 即为上述 ω_3 , 将式 (9) 代入式 (7), 式 (10) 代入式 (8) 得:

$$F_n = m_0 A^2 \omega_3^2 l^{-1} \cos^2 \omega_3 t \quad (11)$$

$$F_t = -m_0 A \omega_3^2 \sin \omega_3 t \quad (12)$$

果实振动分离形式主要有 2 种: 果实与果蒂连接处分离, 受到法向惯性力 F_n 的作用; 果梗与枝条连接处分离, 受到切向惯性力 F_t 的作用。根据试验可知^[19-20], 酿酒葡萄振动分离的形式为果-蒂分离, 则重点研究法向惯性力对果-蒂分离的作用。

葡萄粒同果蒂分离脱落的条件为:

$$F_n + G \sin \varphi > F_0 \quad (13)$$

葡萄粒重力太小, 忽略简化为:

$$m_0 A^2 \omega_3^2 l^{-1} \cos^2 \omega_3 t > F_0 \quad (14)$$

式中: F_0 葡萄粒同果蒂临界连接力, 由试验测得 F_0 范围为 5~10 N, 为确保葡萄果-蒂分离, 该公式成立, 此处 F_0 取值为 10 N。

由式（14）可以看出，影响葡萄粒分离的因素主要有：1）强迫振动幅度 A ，振幅越大，惯性力越大， A 振动幅度与 θ_3 相关；2）强迫振动频率 ω_3 ，频率越大，惯性力也同样越大，而由式（6）可知影响 ω_3 的因素为 L_1 、 L_3 和 ω_1 。

2 试验材料与方法

2.1 材料

试验所用酿酒葡萄品种为新疆兵团第八师 152 团种植的霞多丽和赤霞珠，其成熟日期一般分别为 9 月初^[21]以及 9 月中旬^[22]，采样日期分别为 2014 年 9 月 9 日和 9 月 14 日，样品选择形状、质量相似葡萄串（约为两品种各自的串平均质量、串平均长度），采后迅速冷藏，贮藏温度为-2~0℃。试验时，根据田间酿酒葡萄串与葡萄枝条的连接方式，将酿酒葡萄串的穗梗（上顶部）固定于振动分离率测定装置的夹具动、定夹头中。试验在采样后 24 h 内完成，相关特性如表 1。

表 1 葡萄串物理特性

Table1 Physical characteristics of wine grape

品种 Varieties	串平均质量 Average mass of wine grapes/g	串长度 Length of wine grapes/ cm	平均 粒数 Average number	粒平均质量 Average mass of grape/g
霞多丽 Chardonnay	87.36	9.43	96	0.91
赤霞珠 Cabernet sauvignon	104.15	13.22	116	0.90

2.2 试验方法

2.2.1 分离率计算方法及影响因素的确定

通过计数法计算分离率。每串酿酒葡萄振动结束后，统计落果个数，和未落果个数，根据下式计算分离率。

表 3 试验结果与分析

Table 3 Test record and analysis

试验号 Experiment no.	影响因素 Factors			分离率 Separation rate $\mu/\%$					
	x_1	x_2	x_3	霞多丽 Chardonnay		赤霞珠 Cabernet sauvignon			
1	1	1	1	72.25		81.25			
2	2	2	2	88.75		91.89			
3	3	3	3	96.70		90.77			
4	1	2	3	89.53		59.54			
5	2	3	1	68.63		89.25			
6	3	1	2	68.52		73.91			
7	1	3	2	93.02		94.74			
8	2	1	3	74.80		67.74			
9	3	2	1	90.43		96.27			
霞多丽 Chardonnay	K_1	254.8	215.57	231.31	K_1	235.53	222.90	266.77	
	K_2	232.18	268.71	250.29	K_2	248.88	247.70	260.54	
	K_3	255.65	258.35	261.03	赤霞珠 Cabernet sauvignon	K_3	260.95	274.76	217.91
	k_1	84.93	71.87	77.10	k_1	78.51	74.30	88.92	
	k_2	77.39	89.57	83.43	k_2	82.96	82.57	86.85	
	k_3	85.22	86.12	87.01	k_3	86.98	91.59	72.64	
	R	7.83	17.7	9.91	R	8.47	17.29	16.28	

3.1 正交表直观分析

表 3 列出了霞多丽和赤霞珠两品种正交试验的结果，影响因子的主次顺序均为圆盘偏心距离、摇杆长度及电

$$P_r = N_r / (N_r + N_u) \times 100\%$$

式中： P_r 为分离率，%； N_r 为振动落果个数； N_u 为振动未脱落果实个数。

酿酒葡萄机械采收时，分离率的大小主要与惯性力、酿酒葡萄品种、成熟度、激振时间等因素有关^[23-24]，而影响惯性力的因素主要有：振动频率、振幅（影响振幅的因素主要为偏心距离、摇杆长度）。

2.2.2 试验设计

本试验选取电机转速 x_1 、偏心距离 x_2 、摇杆长度 x_3 3 因素为考察因素，对霞多丽及赤霞珠两品种进行试验，激振时间设定为 10 s^[25]。电机转速水平设置范围是根据预试验获得，在电机转速低于 215 r/min 时，酿酒葡萄难以脱落，激振时间超过 10 s，不符合生产要求；高于 245 r/min 时，葡萄损伤较大，试验表明在 215~245 r/min 的范围内，可满足果-蒂分离要求。试验所取因素与水平如表 2 所示。

表 2 试验因素与水平

Table 2 Factors and levels

水平 Levels	因素 Factors		
	电机转速 Motor speed $x_1/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	圆盘偏心距离 Eccentric distance x_2/mm	摇杆长度 Rocker length x_3/mm
1	215	35	320
2	230	55	240
3	245	75	200

依 $L_9(3^4)$ 正交表进行 9 组试验，每组分离试验进行 3 次，取 3 次测试结果的均值作为该组的试验结果。

3 结果与分析

由正交试验测得的试验的结果以及对采集的数据分析的结果如表 3 所示。

机转速；圆盘偏心距离均值差别较大，影响最为显著。

3.2 方差分析

从表 3 可看出试验指标的显著影响因子，为进一步

检验试验样本均数差别的显著性，对各因素进行方差分析，见表 4。

方差分析中 F 比越高的因素，对分离率的影响越显著，对霞多丽方差分析如表 4，偏心距离的 F 比和摇杆长度的 F 比大于 $F_{0.01}(2,20)$ ，对酿酒葡萄分离率影响极显

著，电机转速的 F 比大于 $F_{0.05}(2,20)$ ，影响显著。
赤霞珠的方差分析从表 4 中可看出，偏心距离和摇杆长度的 F 比远大于 $F_{0.01}(2,20)$ ，所以对酿酒葡萄分离率影响极显著，电机转速的 F 比小于 $F_{0.05}(2,20)$ ，影响不显著。

表 4 分离率方差分析
Table 4 Variance analysis of separation rate

	方差来源 Source of variation	离差平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom f	平均离差平方 Average sum of squares s	F 值 F value	临界值 Critical value	显著性 Significance
霞多丽 Chardonnay	x_1	116.7	2	58.3	5.3	$F_{0.05}(2,20)=3.49$	*
	x_2	534.8	2	267.4	24.1	$F_{0.01}(2,20)=5.85$	**
	x_3	150.5	2	75.3	6.8	$F_{0.01}(2,20)=5.85$	**
	误差 Error	221.5	20	11.1			
	总和 Sum	1808.4	26				
赤霞珠 Cabernet sauvignon	x_1	107.8	2	53.9	3.2	$F_{0.05}(2,20)=3.49$	
	x_2	448.5	2	224.3	13.3	$F_{0.01}(2,20)=5.85$	**
	x_3	468.7	2	234.3	13.9		**
	误差 Error	336.1	20	16.8			
	总和 Sum	1361.0	26				

注：*表示因素影响显著；**表示因素影响极显著。
Note: * expresses significant effect, ** expresses extremely significant effect.

3.3 方案确定

由表 3 的 R 值可知，即因素 x_2 （偏心距离）为酿酒葡萄分离率的主要影响因素，其次为因素 x_3 （摇杆长度）和因素 x_1 （转速）。由表 3 得出： $K_3 x_1 > K_1 x_1 > K_2 x_1$ ， $K_2 x_2 > K_3 x_2 > K_1 x_2$ ， $K_3 x_3 > K_2 x_3 > K_1 x_3$ ，因此，霞多丽果-蒂振动分离最优组合为：转速 245 r/min，偏心距离 55 mm，摇杆长度 200 mm； $K_3 x_1 > K_2 x_1 > K_1 x_1$ ， $K_3 x_2 > K_2 x_2 > K_1 x_2$ ， $K_1 x_3 > K_2 x_3 > K_3 x_3$ ，因此，赤霞珠果-蒂振动分离最优组合为：转速 245 r/min，偏心距离 75 mm，摇杆长度 320 mm。为确定各因素对 2 种品种分离率的影响，对 3 个显著因素的影响做了分析。偏心距离是影响酿酒葡萄（霞多丽、赤霞珠）分离率的最显著因素，赤霞珠最高分离率较霞多丽高；在转速影响因素下赤霞珠最高分离率较霞多丽高；对于赤霞珠品种，摇杆长度越小，酿酒葡萄分离率越高，霞多丽则在摇杆长度小时，分离率较低。因此，综合上述 3 个显著因素，赤霞珠品种机械分离率高于霞多丽品种分离率，赤霞珠较霞多丽更适合机械采收。

选取正交试验各影响因素的最优方案即转速 245 r/min，偏心距离 75 mm，摇杆长度 200 mm，在相同试验条件下，做 3 组重复试验，结果显示，酿酒葡萄分离达到 95.2%，将该最优参数带入前文中运动分析及果蒂分离条件中，可获得葡萄振动频率范围为 2.11~3.69 Hz，葡萄穗梗处的振幅为 169.8 mm。

4 结 论

1) 分析了曲柄摇杆机构运动和果-蒂分离条件，获得机构运动轨迹及速度，得到葡萄果-蒂临界分离时振幅关系式，确定影响因素；

2) 偏心距离、摇杆长度对酿酒葡萄分离率影响显著，赤霞珠、霞多丽显著因子的主次顺序均为：偏心距离、摇杆长度、电机转速；

3) 试验条件下，酿酒葡萄最优组合方案为转速为 245 r/min，偏心距离为 75 mm，摇杆长度 200 mm 时，葡萄果-蒂分离率为 95.2%，该条件下葡萄振动频率范围为 2.11~3.69 Hz，葡萄穗梗处的振幅为 169.8 mm；

4) 赤霞珠品种振动分离率总体高于霞多丽品种分离率，赤霞珠更适合机械采收。

[参 考 文 献]

[1] 刘俊. 张家口市葡萄产业发展建议[J]. 河北林业科技, 2013(2): 44—54.
Liu Jun. The development suggestion of Zhangjiakou grape industry[J]. Hebei Forestry Science and Technology, 2013(2): 44—54. (in Chinese with English abstract)

[2] 陈习刚. 葡萄、葡萄酒的起源及传入新疆的时代与路线[J]. 古今农业, 2009(1): 51—61.
Chen Xigang. On the origin of grape and grape wine and their spread time and route to Xinjiang[J]. Ancient and Modern Agriculture, 2009(1): 51—61. (in Chinese with English abstract)

[3] 蒲胜海, 张计峰, 丁峰, 等. 新疆葡萄产业发展现状及研究动态[J]. 北方园艺, 2013(3): 200—203.
Pu Haisheng, Zhang Jifeng, Ding Feng, et al. Development status and research emphases of the grape industry in Xinjiang[J]. Northern Horticulture, 2013(3): 200—203. (in Chinese with English abstract)

[4] 王殿九. 振动采果机的振动参数和卡箍器[J]. 粮油加工与食品机械, 1981, 19(2): 40—44.
Wang Dianjiu. Vibration parameters and Victaulic coupling of vibration picking fruit machine[J]. Machinery For Cereals, Oil and Food Processing, 1981, 19(2): 40—44. (in Chinese with English abstract)

- [5] 瞿维, 王春耀, 王学农, 等. 受迫振动下杏果实树枝能量传递初探[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(7): 223—227.
Qu Wei, Wang Chunyao, Wang Xuenong, et al. Energy transfer of apricot fruit branch under forced vibration[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed[J]. 2014, 42(7): 223—227. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王应彪, 赵学观, 徐丽明, 等. 振动技术在农业生产中的应用进展[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(6): 231—236.
Wang Yingbiao, Zhao Xueguan, Xu Liming, et al. Process of vibration technology application in agricultural production [J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(6): 231—236. (in Chinese with English abstract)
- [7] SessizA, Ozcan M T. Olive with pneumatic branch shaker and abscission chemical[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(2): 148—153.
- [8] Queiroz D M, Santos F L, Assis F. Analysis of coffee harvesting process by vibration[J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, 76(2): 148—153.
- [9] 陈度, 杜小强, 王书茂, 等. 振动式果品收获技术机理分析及研究进展[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 195—200.
Chen Du, Du Xiaoqiang, Wang Shumao, et al. Mechanism of vibratory fruit harvest and review of current advance[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 195—200. (in Chinese with English abstract)
- [10] Whitney J D, Churchill D B, Hedden S L, et al. Trunk shakers for citrus harvesting, part I: measured trunk shaker and tree trunk motion[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1988, 4(2): 93—101.
- [11] Pezzi F, Caprara C. Mechanical grape harvesting: Investigation of the transmission of vibrations[J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(3): 281—286.
- [12] Polat R, Gezer I, Guner M, et al. Mechanical harvesting of pistachionuts[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1131—1135.
- [13] Loghavi M, Mohseni S H. The effects of shaking frequency and amplitude on detachment of lime fruits[J]. Iran Agricultural Research, 2006, 24(2): 27—38.
- [14] 王业成, 陈海涛, 林青. 黑加仑采收装置参数的优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 79—83.
Wang Yecheng, Chen Haitao, Lin Qing. Optimization of parameters of blackcurrant harvesting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(3): 79—83. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王长勤, 许林云, 周宏平, 等. 偏心式林果振动才收集的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 10—16.
Wang Changqin, Xu Linyun, Zhou Hongping, et al. Development and experiment of eccentric-type vibratory harvester for forest-fruits[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(16): 10—16. (in Chinese with English abstract)
- [16] Du Xiaoqiang, Chen Du, Zhang Qin, et al. Response of UFO (Upright Fruiting Offshoots) on cherry trees to mechanical harvest by dynamic vibratory excitation[J]. Transactions of the ASABE, 2013, 56(2): 345—354.
- [17] Du Xiaoqiang, Chen Du, Zhang Qin, et al. Dynamic responses of sweet cherry trees under vibratory excitations[J]. Biosystems Engineering, 2012, 111(3): 305—314.
- [18] 孙恒. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [19] 李成松, 高振江, 坎杂, 等. 双支撑酿酒葡萄果实振动分离装置作业机理[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 26—22.
Li Chengsong, Gao Zhenjiang, Kan Za, et al. Operation mechanism of double support vibration separation device for wine grape berry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(4): 26—22. (in Chinese with English abstract)
- [20] 冯玉磊, 坎杂, 李成松, 等. 基于振动原理的酿酒葡萄采摘试验装置的设计[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 404—406.
Feng Yulei, Kan Za, Li Chengsong, et al. Design of wine grape picking test device based on mechanics of vibration[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(11): 404—406. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张振文, 唐虎利. 霞多丽不同成熟度干白葡萄酒质量的研究[J]. 中国酿造, 2010(7): 37—41.
Zhang Zhenwen, Tang Huli. Quality of dry white wine affected by maturities of Chardonnay grape[J]. China Brewing, 2010(7): 37—41. (in Chinese with English abstract)
- [22] 唐虎利, 张振文, 孙莹, 等. 新疆玛纳斯县赤霞珠葡萄最佳采收期的研究[J]. 中国酿造, 2009(10): 78—82.
Tang Huli, Zhang Zhenwen, Sun Ying, et al. Best harvest time of Cabernet Sauvignon grape from Manasi county in Xinjiang[J]. China Brewing, 2009(10): 78—82. (in Chinese with English abstract)
- [23] 凯普纳等著 R A. 农业机械原理[M]. 崔安, 张德骏译. 北京: 机械工业出版社, 1978, 514—526.
- [24] 林河通, 陈绍军, 席珣芳. 采收期对龙眼果实品质和耐贮性的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 179—184.
Lin Hetong, Chen Shaojun, Xi Yufang. Effects of harvesting date on quality and storability of longan fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(6): 179—184. (in Chinese with English abstract)
- [25] Erdoğar D, Güner M, Dursun E, et al. Mechanical harvesting of apricots[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(5): 19—28.

Experiment of fruit-pedicle vibration separation of wine grape

Li Chengsong^{1,2}, Gao Zhenjiang^{1*}, Kan Za², Wang Lihong², Yuan Panpan², Wang Zhe²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: Grape variety is plentiful, and can be divided into wine grape and table grapes in general. Xinjiang, Bordeaux and California are called the "grape plant heaven". However, the wine grape is still hand-harvested, moreover labor cost for harvesting is more than 50% of the total cost during production period. Fruit-pedicle separation is a key link in the mechanized harvesting. Grape reciprocate swinging according to a certain frequency and amplitude is inspired by oscillating mechanism, then the resulted inertia force can eliminate the fruit-pedicle connection force to realize fruit-pedicle separation. Normal inertial force plays the major role in grape and pedicle separation. For this experiment, vibration separating test device base on crank and rocker mechanism was designed and built. Eccentric disc was driven by motor, making grapes clamping on the rocker swing. The fruit- pedicel vibration separation model was built. Movement path and velocity were obtained by analyzing the movement of the crank rocker mechanism. Fruit-pedicle separation amplitude equation was gained by analyzing the fruit-pedicle separation conditions. At the same time, the main influence factors of separation, motor speed, eccentric distance and vibration rocker length were determined through the analysis of the models. The experimental study on grape was carried out. Using Chardonnay and Cabernet Sauvignon planted in Xinjiang Shihezi city, 152 groups of grapes were selected as samples. The sampling dates were respectively on September 9 and 14, 2014. The sample selection was based on grape average value of mass and length. The wine grape samples after taken were refrigerated rapidly to retain freshness. Notation was used to calculate the rate of grape separation with the formula. Experiment factors levels was achieved on the basis of preliminary experiment, and L₉ (3⁴) orthogonal test plan was designed. Each test group was replicated three times, and the average value of three replicates was used as the test group result. Grape peduncle was fixed on the dynamic and settled fixture of the vibration separate test device. And vibration time was 10 s. Visual and variance analysis methods were used to analyze the data. Observation from the experiment indicated that eccentric distance, rocker length and motor speed affected the separating effect of Chardonnay and Cabernet Sauvignon in primary and secondary. Analysis of variance showed that eccentric distance and rocker arm length influenced separation rate was significant, and motor speed affected significantly for Chardonnay, but not for Cabernet Sauvignon. The observation from the experiment and variance analysis of data were consistent. Cabernet sauvignon exceeding Chardonnay in mechanical separation rate was achieved by analyzing the influencing factors that controlled the separation rate. Therefore, Cabernet sauvignon was more suitable for mechanical harvest. The separation rate of optimal parameters that the motor speed was 245 r/min, eccentric distance was 75 mm, and vibration rocker length was 200 mm. These parameters were verified. The result showed the separation rate of wine grape was 95.2%. The range of grape vibration frequency was 2.11 to 3.69 Hz and grape peduncle amplitude was 169.8 mm. All of those were achieved by putting the optimal parameters in motion analysis and fruit-pedicle separation condition. The study could provide a reference to the design and optimization of wine grape harvester.

Key words: fruits; vibrations; separation; wine grape; fruit-pedicle