

# 杏果实成熟度特性参数与果柄分离力的相关性分析

散望龙<sup>1</sup>, 刘旋峰<sup>2,4</sup>, 牛长河<sup>2,4</sup>, 孙小丽<sup>2,3</sup>, 郭兆峰<sup>2,3</sup>,  
乔园园<sup>2,3</sup>, 刘向东<sup>2,4</sup>, 王学农<sup>2,3\*</sup>

(1. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院农业机械化研究所, 乌鲁木齐 830091;  
3. 农业部林果棉与设施农业装备科学观测试验站, 乌鲁木齐 830091;  
4. 新疆特色林果装备工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830091)

**摘 要:** 为弄清杏收获所需的采收力, 从而为杏收获机械的研制提供依据, 研究分析了不同品种杏果实各项生理特性参数对果柄分离力的影响, 通过试验仪器测定两个品种杏果实各项生理特性参数与果柄分离力, 运用 SPSS 统计软件对试验数据进行相关性分析及拟合分析。相关性分析表明与果实成熟度相关的特性参数和果柄分离力间有着很高的相关性, 其中库买提杏和轮台小白杏果实可溶性固形物含量与果柄分离力相关系数分别为: -0.957 和 -0.976; 果实表面红绿色差值与果柄分离力相关系数分别为: -0.955 和 -0.942; 果实表面硬度与果柄分离力相关系数分别为: 0.957 和 0.904。通过对果柄分离力与生理特性参数进行曲线拟合分析, 得到与成熟度相关的各项参数与果柄分离力的二次拟合方程和曲线。成熟期杏果柄分离力的变化范围为 2~8 N; 果实硬度在 4.0~8.9 kg/cm<sup>2</sup> 范围内, 等级为软; 果实表面红绿色差  $a^*$  值均在 1~5 范围内。分析表明杏果柄分离力随果实可溶性固形物含量的升高而减小; 随着果实表面红绿色差值升高而降低; 果实表面硬度越小分离力越低, 即果柄分离力随着果实成熟不断降低。

**关键词:** 果实, 力调控, 农业机械, 杏, 果实分离力, 成熟度, 可溶性固形物含量, 色差

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.009

中图分类号: S666.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0062-07

散望龙, 刘旋峰, 牛长河, 等. 杏果实成熟度特性参数与果柄分离力的相关性分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 62-68.

San Yunlong, Liu Xuanfeng, Niu Changhe, et al. Relativity analysis between characteristic parameters of apricot's ripeness and its fruit removal force[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 62-68. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

杏 (*Armeniaca vulgaris*) 属蔷薇科 (Rosaceae) 李亚科 (Prunoideae) 杏属 (*Armeniaca* Mill.) 植物, 新疆杏品种繁多, 种植历史悠久, 口感独特, 营养丰富, 是新疆重要的特色林果之一。2012 年新疆杏子总面积达到 19.4 万 hm<sup>2</sup>, 总产量 16.1 万 t<sup>[1]</sup>。杏种植业中收获是占用劳动力最多的环节。随着劳动力价格的不断上涨, 人工采收成本越来越高, 使得这一特色经济林果的利润逐年减少。

采用收获机械进行林果采收的过程中, 果柄分

离力大小是决定收获效率的重要因素之一。为了更好的选择林果收获机械设计方案及确立设计参数, 国外在研究林果收获机械的同时对林果物理学和生物学特性与其果柄分离力 (fruit removal force, FRF) 之间的关系进行了大量的研究<sup>[2-8]</sup>。Coppock 等在研究橙子的机械化收获时对成熟和未成熟甜橙分离力的大小进行了分析比较。为了确立“Zahdi”品种椰枣选择性振动收获可能性, Ibrahim 等对果实成熟度与果柄分离力之间的关系进行了研究。Crisost 等对成熟期不同品种咖啡的分离力进行了研究。

目前中国从事林果机械化收获及其相关方面的研究较少, 对林果分离力的研究尚处于起步阶段。国内研究人员对水稻、加工番茄和猕猴桃等果实分离力进行了分析研究<sup>[9-11]</sup>, 对杏果实生理特性参数相关研究较多<sup>[12-16]</sup>, 目前还没有杏果实成熟度对其果柄分离力影响的研究。果实成熟度的判定主要以成熟期果实形状、质量、色差 (颜色)、酸度及可溶性固形物含量等特性为依据。研究针对新疆杏各项生理特性参数进行测试, 分析与果实成熟度有关的生理特性: 可溶性固形物含量 (total soluble

收稿日期: 2013-07-22 修订日期: 2013-10-27

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划—新疆特色林果精深加工关键技术与装备研究与示范 (2011BAD27B02); 自治区科技基础条件平台建设项目—新疆特色林果收获技术与装备试验研究平台建设 (PT1301)  
作者简介: 散望龙 (1988—), 男, 汉族, 湖北省襄阳市人, 从事农业机械化技术装备研究。乌鲁木齐 新疆农业大学机械交通学院, 830052。

Email: sanyunlong@hotmail.com

\*通信作者: 王学农 (1964—), 男, 汉族, 陕西汉中, 研究员, 从事农业机械化技术装备研究。乌鲁木齐 新疆农业科学院农业机械化研究所, 830091。Email: xjwxn2010@sina.com

solids, TSS)、果实表面红绿色差 ( $a^*$  值)、果实表面硬度 (fruit peel firmness, FPF) 等与果柄分离力之间的关系。

通过对新疆杏各项生理特性的测定和分析, 为科学确立合适的杏收获振动力度及杏收获机械的研制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点概况

试验于 2013 年 6 月, 于新疆南部巴音郭楞蒙古自治州轮台县新疆农业科学院果树资源圃 ( $84^{\circ}.198085^{\circ}\text{E}$ ,  $41^{\circ}.762217^{\circ}\text{N}$ ) 进行。年日照时数为 2 670~2 780 h, 年日照率 63%, 全年大于  $10^{\circ}\text{C}$  的积温为 4 040~4 210 $^{\circ}\text{C}$ , 年平均气温为  $10.6^{\circ}\text{C}$ , 最高气温  $35^{\circ}\text{C}$ 。试验果园由果农承包, 水肥管理良好, 果园套种玉米和小麦等粮食作物。

### 1.2 材料

试验材料为库买提杏和轮台小白杏, 其成熟期一般分别为 6 月中旬<sup>[17]</sup>以及 6 月底<sup>[18]</sup>, 受天气和气温等因素的影响, 试验地区杏果实成熟期与往年相比提前了 5~15 d, 实际成熟期均在 6 月上旬, 实际人工收获日期分别为 6 月 12 日和 10 日。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品选择

果树不同位置果实受光照、养分等因素的影响, 其成熟度有差异, 因此取样时选择果实生长条件相同或相似的区域进行。为了方便测量果柄分离力, 样品果实与其生长位置的果枝一起剪下, 果实单边果枝长度为 20~30 mm。

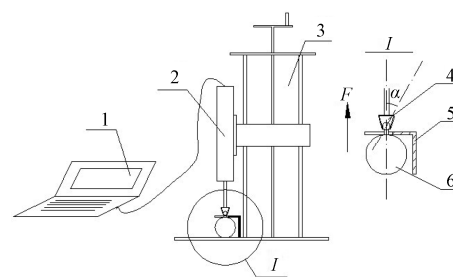
#### 1.3.2 果柄分离力和果实表面硬度

使用包含 AM-50 数显式推拉计、AY-4 数显式果实硬度计、手动升降部件、夹具和固定底座等仪器的 AMA 螺旋式测试机架, 测试样品果柄分离力与果实表面硬度。

测试时将果实放入果实固定装置中使果实固定, 通过夹具将果枝夹紧, 匀速转动螺旋升降手柄, 最终使果实与果柄分离, 通过 USB 数据线将拉力计的测量数据输入并记录到笔记本电脑中 (图 1)。

研究表明当施加在果实上的拉力角  $\alpha$  (拉力方向与竖直方向间的夹角) 增大时, 果实分离力明显减小<sup>[3]</sup>。杏果实与其他果品相比果柄短, 不易于在倾斜拉力下测量分离力, 因此试验所测量的分离力为  $\alpha=0$  时果柄的轴向拉力。

单个果实表面硬度取 3 次测量的平均值。果实表面硬度分为 5 个等级: 极软  $<4.0\text{ kg/cm}^2$ ; 软  $4.0\sim 8.9\text{ kg/cm}^2$ ; 中  $9.0\sim 14.9\text{ kg/cm}^2$ ; 硬  $15.0\sim 19.0\text{ kg/cm}^2$ ; 极硬  $>19.0\text{ kg/cm}^2$ 。<sup>[19]</sup>



1. 笔记本电脑 2. 拉力计或硬度计 3. 螺旋升降部件 4. 夹具  
5. 果实固定装置 6. 果实  
1. Laptop 2. Tension meter or hardness tester 3. Spiral elevator part  
4. Clamp 5. Fruits fixing device 6. Fruits

图 1 果柄分离力测量简图

Fig.1 Diagram of measuring stalk removal force

#### 1.3.3 果实色差

用 CR-10 型色差仪测量果实表面色差, 仪器所测量的  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值的颜色空间是当前最通用的测量物体的颜色空间之一<sup>[20]</sup>。在这一颜色空间中,  $L^*$  值域范围  $0\sim 100$ ,  $L^*$  值越大表示所测样品的表面越亮;  $a^*$  和  $b^*$  值域均为  $-128$  至  $+127$ , 其中  $a^*$  正值为红色, 负值为绿色, 绝对值越大红色或绿色越深;  $b^*$  值正值为黄色, 负值为蓝色, 绝对值越大, 黄色或蓝色越深。

由于杏品种繁多, 果实表面色差各异, 结合利用色差进行的研究<sup>[21-23]</sup>及试验的测量结果, 研究中果实色差主要以红绿色差  $a^*$  值为主要的评价标准。

#### 1.3.4 可溶性固形物含量

用手持折光仪测量果实可溶性固形物含量。

### 1.4 数据采集

每天选取各杏品种 15 组 (每组 10 个) 进行数据测试, 并求每组平均值作为当天测试结果, 试验从 6 月 3 日—15 日, 连续测量 11 d。作不同品种杏果实各项参数变化曲线。果柄分离力与杏各项生理参数测试数据采用 SPSS (Statistic Package for Social Science) 统计分析软件 (SPSS 21.0) 进行分析。根据方差分析结果, 对不同杏品种的果柄分离力相对于果实可溶性固形物含量、果实表面硬度以及果实表面色差  $a^*$  值进行回归分析, 并建立回归模型, 分析回归模型的相关系数, 确定回归模型的可靠性。

## 2 结果与分析

### 2.1 杏果实各项参数的测定结果

杏果实各项参数连续测量结果曲线如图 2 所示, 成熟期库买提杏与轮台小白杏可溶性固形物含量一般分别为  $16.0\%\sim 18.9\%$  和  $20.66\%\sim 25.73\%$ <sup>[24]</sup>, 从图 2a 可以看出可溶性固形物含量达到其成熟期要求的日期分别为: 6 月 12 日和 6 月 10 日。随着果实不断成熟, 果实表面色差  $a^*$  值逐渐

变大, 达到成熟期后 2 个品种果实表面色差  $a^*$  值均在 1~5 范围内 (图 2b); 果实表面硬度逐渐降低, 达到成熟期后 2 种果实表面硬度在  $\sim 8.9 \text{ kg/cm}^2$  范

围内, 等级为软 (图 2c); 杏果实与果柄的分离力不断下降, 达到成熟期后两个杏品种的果柄分离力大小集中在 2~8 N (图 2d)。

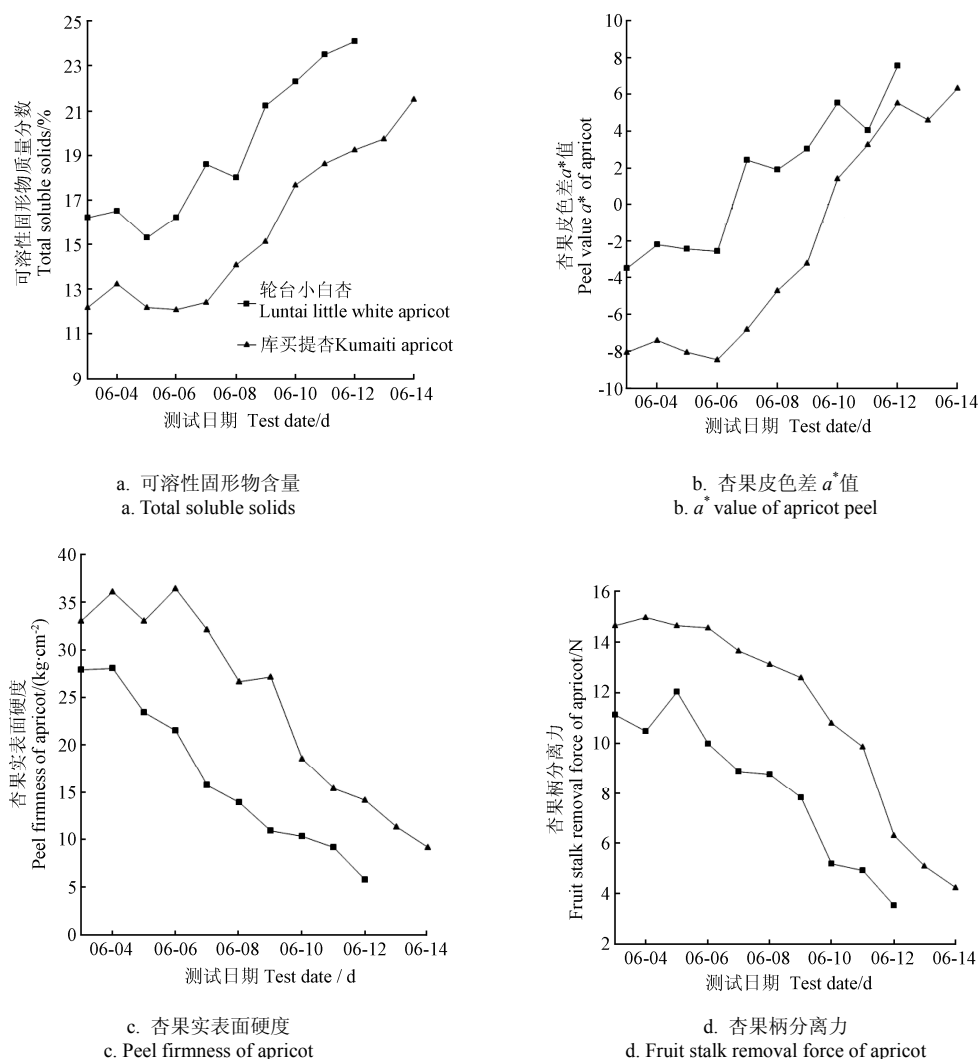


图 2 2 种杏品种果实各项参数变化

Fig.2 Changes of parameters of apricot fruit for various cultivar

## 2.2 杏果实各项参数对果柄分离力的影响

### 2.2.1 可溶性固形物含量对果柄分离力的影响

可溶性固形物含量能够很好地反映果实的成熟度, 同时也是果实品质评价的重要标准之一, 本研究也将可溶性固形物含量作为主要参数来判断杏品种是否达到成熟期标准。通过测量透明杏汁, 得到单个果实可溶性固形物含量。由相关性检验可知在 0.01 水平下 2 个品种果实可溶性固形物含量对果实分离力具有显著影响, 为确定显著性影响规律, 对果实分离力进行曲线回归分析, 结果见表 1、表 2。

分析表明: 试验中库买提杏和轮台小白杏果柄分离力与可溶性固形物含量多项式曲线回归方程分别为:  $y_{\text{库}} = -0.09x^2 + 1.853x + 5.356$ ;  $y_{\text{轮}} = -0.016x^2 -$

$0.23x + 18.573$ 。用于拟合优度检验的决定系数  $R^2$  分别为: 0.947 和 0.954, 拟合度很高。从图 3 可以看出: 随着果实可溶性固形物含量的增大, 果柄分离力不断降低。回归模型显著性检验  $P < 0.0001$ 。

表 1 杏各项参数相关性检验结果

项目 Index	果实分离力 FRF	
	Fruit stalk removal force	
	库买提杏 Kumaiti apricot	轮台小白杏 Luntai little white apricot
TSS	-0.957**	-0.976**
$a^*$	-0.955**	-0.942**
FPP	0.957**	0.904**

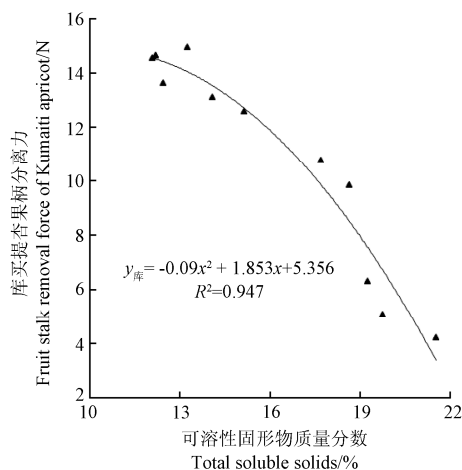
注: \*\*表示在 0.01 水平 (双侧) 有显著相关; TSS 为可溶性固形物含量,  $a^*$  为果实表面红绿色差值, FPP 为果实表面硬度。

Note: \*\* Indicate significant difference at 0.01 levels; TSS is total soluble solids;  $a^*$  is the value of red and green chromatic aberration; FPP is peel firmness.

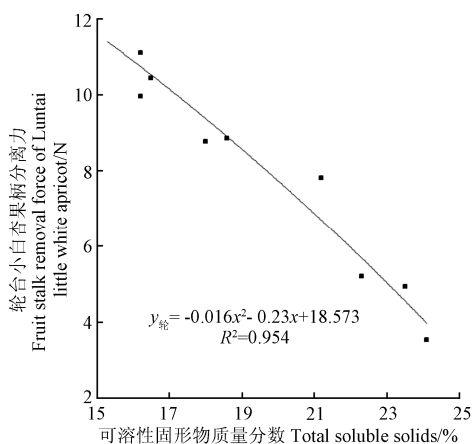
表 2 可溶性固形物含量多项式方差分析

Table 2 Variance analysis of polynomial regression of total soluble solids

品种 Variety	项目 Index	平方和 Quadratic sum	df	均方 Mean square	F	Pr>F
库买提杏 Kumaiti apricot	回归 Regression	162.835	2	81.418	80.568	<0.0001
	残差 Residual	9.095	9	1.011		
	总计 Total	171.930	11		$R^2=0.947$	
轮台小白杏 Luntai little white apricot	回归 Regression	70.356	2	35.178	72.841	<0.0001
	残差 Residual	3.381	7	0.483		
	总计 Total	73.737	9		$R^2=0.954$	



a. 库买提杏 Kumaiti apricot



b. 轮台小白杏 Luntai little white apricot

图 3 2 种杏果实中可溶性固形物含量对果实分离力的影响

Fig.3 Influence of total soluble solids on removal force of two apricot cultivars

2.2.2 果实表面红绿色差 ( $a^*$  值) 对果实分离力的影响

果实表面颜色是衡量果实是否成熟度的重要标准之一。目前果农主要根据经验和观察果实的颜色这一直观的方法来判断果实是否成熟,通过直接观测的方法具有很大的局限性,因此采用色差仪测量果实表面色差变化范围,能够更精确地测量和判断果实颜色的变化。将颜色这一抽象参数进行具体化的研究,更加科学的判断果实是否成熟,进而分

析研究果柄分离力的变化。

通过相关性分析可知在 0.01 水平下果皮红绿色差  $a^*$  值对果实分离力有着显著影响。对 2 个品种杏果皮红绿色差  $a^*$  值与果柄分离力进行回归分析,建立曲线回归方程(表 1, 表 3)。

表 3 果实表面色差  $a^*$  值多项式方差分析Table 3 Variance analysis table of polynomial regression of peel value  $a^*$ 

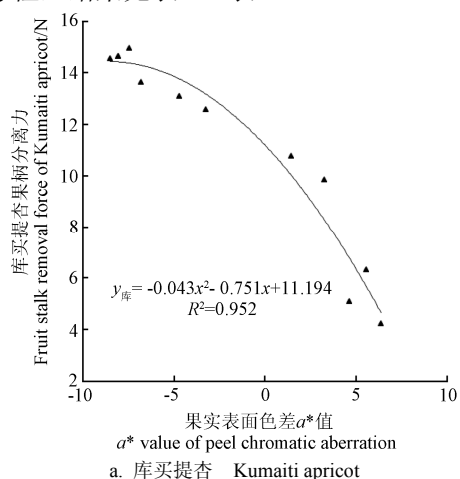
品种 Variety	项目 Index	平方和 Quadratic sum	df	均方 Mean square	F	Pr>F
库买提杏 Kumaiti apricot	回归 Regression	163.734	2	81.867	89.897	<0.0001
	残差 Residual	8.196	9	0.911		
	总计 Total	171.930	11		$R^2=0.952$	
轮台小白杏 Luntai little white apricot	回归 Regression	67.090	2	33.545	35.329	<0.0001
	残差 Residual	6.647	7	0.950		
	总计 Total	73.737	9		$R^2=0.910$	

分析表明:试验中库买提杏和轮台小白杏果实表面红绿色差  $a^*$  值与果柄分离力多项式曲线回归方程分别为:  $y_{\text{库}} = -0.043x^2 - 0.751x + 11.194$ ;  $y_{\text{轮}} = -0.036x^2 - 0.587x + 9.617$ 。用于拟合优度检验的决定系数  $R^2$  分别为: 0.952 和 0.910, 拟合度很高。从图 4 可以看出:果柄分离力会随着果实表面红绿色差  $a^*$  值增大而减小。回归模型显著性检验  $P < 0.0001$ 。

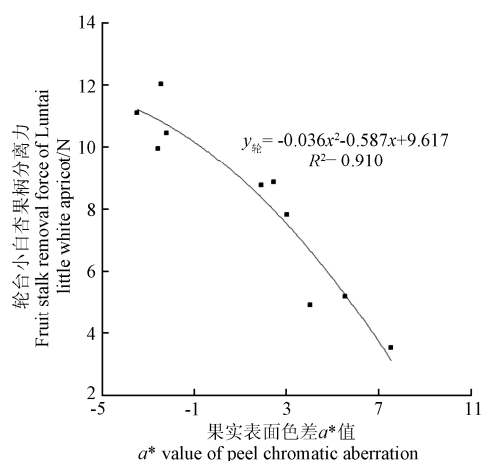
## 2.2.3 果实表面硬度对果实分离力的影响

果实表面硬度是林果机械化收获和加工贮藏的重要指标。机械化收获过程中果实容易因碰撞产生物理性损伤,果实表面硬度决定着机械化收获过程中果实损伤率的大小。分析果实表面硬度与果柄分离力的相关性,不仅是为研究其与果柄分离力的关系,也是为研究如何降低收获过程中果实损伤率提供理论参考。

通过相关性分析可知在 0.01 水平下果实表面硬度对果实分离力有着显著影响,对 2 个品种杏果实表面硬度与果实分离力进行回归分析,建立曲线回归方程,结果见表 1、表 4。



a. 库买提杏 Kumaiti apricot



b. 轮台小白杏 Luntai little white apricot

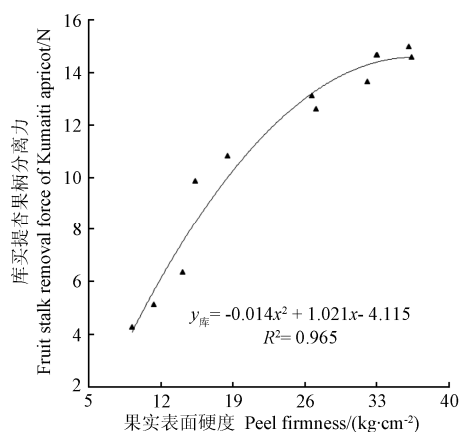
图4 2种杏果实表面色差 $a^*$ 值对果实分离力的影响Fig.4 Influence of peel  $a^*$  value on removal force of two apricot cultivars

表4 果实表面硬度多项式方差分析

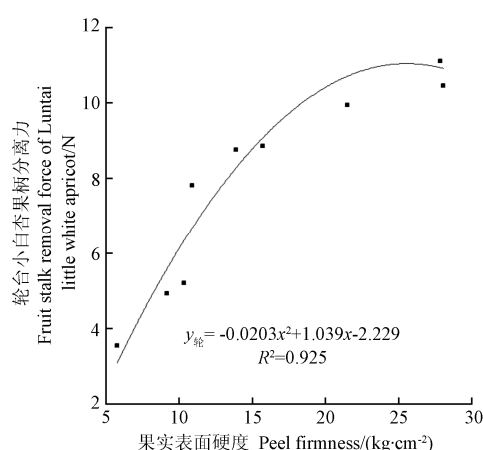
Table 4 Variance analysis table of polynomial regression of peel firmness

品种 Variety	项目 Index	平方和 Quadratic sum	df	均方 Mean square	F	Pr>F
库买提杏 Kumaiti apricot	回归 Regression	166.012	2	83.006	123.682	<0.0001
	残差 Residual	6.040	9	0.671		
	总计 Total	172.053	11		$R^2=0.965$	
轮台小白杏 Luntai little white apricot	回归 Regression	68.204	2	34.102	43.460	<0.0001
	残差 Residual	5.493	7	0.785		
	总计 Total	73.697	9		$R^2=0.925$	

分析表明: 试验中库买提杏和轮台小白杏果柄分离力与果实表面硬度值多项式曲线回归方程分别为:  $y_{库} = -0.014x^2 + 1.021x - 4.115$ ;  $y_{轮} = -0.0203x^2 + 1.039x - 2.229$ 。用于拟合优度检验的决定系数  $R^2$  分别为: 0.965 和 0.925, 拟合度很高。从图 5 可以看出随着果实表面硬度值逐渐降低, 即果实变软, 果柄分离力逐渐降低。回归模型显著性检验  $P < 0.0001$ 。



a. 库买提杏 Kumaiti apricot



b. 轮台小白杏 Luntai little white apricot

图5 2种杏果实表面硬度对果柄分离力的影响

Fig.5 Influence of peel firmness on removal force of two apricot cultivars

### 3 讨论

果实果柄分离力是影响林果机械化收获的一个重要参数, 果柄分离力的大小与果实成熟度有关。研究采用试验手段, 分析果实可溶性固形物含量、果实表面色差以及果实表面硬度等能够反映果实成熟度的各项生理参数对果柄分离力的影响, 得到成熟期果实各项生理参数与果实果柄分离力间的关系。

林果成熟受光照、营养、温度等外界因素影响较大, 因此园间取样测量可能存在一定的误差。雨后果实果柄中含水率升高, 也会对试验结果造成一定的影响。该试验结果能够在一定程度上反映果实成熟度对果实分离力的影响趋势, 为确立适合的杏机械化收获振动力度及收获机械的研制提供参考。

从果实各项特性与果柄分离力的关系曲线可以看出: 随着果实的不断成熟, 果实表面硬度会随之降低, 而果实中可溶性固形物含量上升的趋势趋缓。若果实表面硬度过低, 机械化收获过程中果实容易因碰撞产生物理性损伤, 由于杏品种繁多, 不同品种可溶性固形物含量差异较大, 因此应在可溶性固形物含量达到各品种成熟要求、果实硬度较大且不易产生物理性损伤时进行机械化采收, 以便于果实储存运输及后续加工处理。

振动收获机设计的关键是确定成熟杏果实收获所需要的分离力。通过对成熟期果实特性参数与果柄分离力的研究, 判断和选择合适机械化收获时间及条件, 保证机械化收获能够达到更好的采收率。

### 4 结论

1) 2个品种杏果柄分离力会随着果实可溶性固形物含量的升高而减小, 本试验中库买提杏与轮台

小白杏可溶性固形物含量达到其成熟期要求的日期分别为: 6 月 12 日和 6 月 10 日; 随着果实表面红绿色差  $a^*$  值升高而降低, 成熟期果实表面红绿色差  $a^*$  值在 1~5 范围内; 果实表面硬度越小果实分离力越低, 成熟期果实表面硬度等级为软, 范围为  $4.0 \sim 8.9 \text{ kg/cm}^2$ 。即果实成熟度越高, 果实分离力越小。当果实各项参数达到上述范围时, 果柄分离力较小, 更易进行收获。

2) 不同品种杏果实分离力不同, 但在成熟期分离力大小差异不大, 试验中 2 个杏品种果柄分离力范围均集中在  $2 \sim 8 \text{ N}$ 。

3) 得到了果柄分离力与果实可溶性固形物、果柄分离力与果实表面红绿色差  $a^*$  值以及果柄分离力与果实表面硬度之间的关系表达式, 可以明确的反映果实分离力与其各项生理特性间的关系。

#### [参 考 文 献]

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 2010~2011.
- [2] Coppock G E. Properties of young and mature 'Valencia' oranges related to selective harvest by mechanical means[J]. Transactions of the ASAE, 1972, 15(2): 235—238.
- [3] Ibrahim A A, Al-Jalil H F, Al-Duri S M. Fruit detachment force and selective harvest of Zahdi date variety[J]. J Agric Water Reso Res, 1986, 5(2): 81—96.
- [4] Crisosto C H, Nagao M A. Evaluation of fruit removal force of coffee cultivars[J]. Horti-Science, Alexandria, 1991, 26(2): 210—230.
- [5] Mirzaee E, Rafiee S, Keyhani A, et al. Physical properties of apricot to characterize best post harvesting options[J]. Australian Journal of Crop Science, 2009, 3(2): 95—100.
- [6] Markwardt E D, Guest R W, Cain J C, et al. Mechanical cherry harvesting[J]. Transactions of the ASAE, 1964, 7(1): 70—74.
- [7] Nyborg E O, Coulthard T L. Design parameters for mechanical raspberry harvesters[J]. Transactions of the ASAE, 1969, 12(5): 573—576.
- [8] Ruff J H, Holmes R G. Removal considerations in [mechanical] strawberry harvesting[J]. Transactions of the ASAE, 1975, 18(1): 10—13.
- [9] 张进, 毕新胜, 肖彬彬, 等. 加工番茄果茎分离力研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 5051—5053.  
Zhang Jin, Bi Xinsheng, Xiao Bingbing, et al. Study on separation force between tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit and stalk[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(8): 5051—5053. (in Chinese with English abstract)
- [10] 谢方平, 罗锡文, 汤楚宙. 水稻粒穗分离力的研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 3(5): 469—471.  
Xie Fangping, Luo Xiwen, Tang Chuzhou. Study on grain and spiklets detaching force of paddy rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences). 2004, 3(5): 469—471. (in Chinese with English abstract)
- [11] 崔永杰, 苏帅, 吕志海, 等. 基于 Hough 变换的猕猴桃毗邻果实的分离方法[J]. 农机化研究, 2012, 34(12): 166—169.  
Cui Yongjie, Su Shuai, Lü Zhihai, et al. A method for separation of kiwifruit adjacent fruits based on hough transformation[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(12): 166—169. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈家华, 卢春生, 李利民. 新疆第一杏——赛买提[J]. 新疆农业科学, 1999, 3: 144.
- [13] 赵晓梅, 张谦, 徐麟, 等. 赛买提杏多酚氧化酶特性的研究[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(4): 715—718.  
Zhao Xiaomei, Zhang Qian, Xu Lin, et al. A study on characteristics of polyphenol oxidase in Saimaiti apricot[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(4): 715—718. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张婷, 车凤斌, 马燕翔, 等. 新疆主栽杏品种动态运输模拟试验[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(8): 1485—1491.  
Zhang Ting, Che Fengbin, Ma Yangxiang, et al. A brief summary on dynamic transportation simulation of the major commercia varieties of Xinjiang apricot[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(8): 1485—1491. (in Chinese with English abstract)
- [15] 樊丁宇. 新疆杏品种果实数量性状评价研究[D]. 新疆农业大学, 2010.  
Fan Dingyu. Study on Evaluation of Some Fruit Quantitative Characters of Apricot Varieties in Xinjiang[D]. Xinjiang Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孙守文, 刘凤兰, 王静, 等. 新疆杏果品质比较的研究[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(3): 226—229.  
Sun Shouwen, Liu Fenglan, Wang Jing, et al. Comparative study on the quality of Xinjiang apricot[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(3): 226—229. (in Chinese with English abstract)
- [17] 努尔艳 买买提. 不同杏品种生物学特性对比研究[J]. 中国园艺文摘, 2011, 27(9): 6—8.
- [18] 徐乐, 章世奎, 李文慧, 等. 新疆 16 个地方杏品种特性比较[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(12): 2196—2201.  
Xu Le, Zhang Shikui, Li Wenhui, et al. Comparison between 16 apricot cultivars[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(12): 2196—2201. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李永闲, 廖康, 胡安鸿, 等. 新疆轮台县和乌什县不同杏品种果实性状差异性分析[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(4): 655—661.  
Li Yongxian, Liao Kang, Hu Anhong, et al. Analysis on difference of fruit character of different apricot varieties in Luntai County and Ushi County, Xinjiang[J]. Xinjiang

- Agricultural Sciences, 2011, 48(4): 655—661. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李桂祥, 马瑞娟, 张斌斌, 等. 套袋对霞晖 6 号桃果实发育过程中果皮色素含量和色差的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(6): 1418—1423.
- Li Guixiang, Ma Ruijuan, Zhang Binbin, et al. Effect of bagging on peel pigment content and fruit chromatism of peach cultivar Xiahui 6[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 28(6): 1418—1423. (in Chinese with English abstract)
- [21] Barreiro J A, Milano M, Sandoval A J. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 33(3): 359—371.
- [22] Shi J, Maguer M L, Kakuda Y, et al. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration[J]. Food Research International, 1999, 32(1): 15—21.
- [23] Pani P, Leva A A, Riva M, et al. Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(1): 105—112.
- [24] 程卫东, 吕国华, 李琳, 等. 新疆小白杏资源的综合利用及其产业化[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 241—244.
- Cheng Weidong, Lü Guohua, Li Lin, et al. Integrated utilization and industrialization of Xinjiang little white apricot[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(9): 241—244. (in Chinese with English abstract)

## Relativity analysis between characteristic parameters of apricot's ripeness and its fruit removal force

San Yunlong<sup>1</sup>, Liu Xuanfeng<sup>2,4</sup>, Niu Changhe<sup>2,4</sup>, Sun Xiaoli<sup>2,3</sup>, Guo Zhaofeng<sup>2,3</sup>,  
Qiao Yuanyuan<sup>2,3</sup>, Liu Xiangdong<sup>2,4</sup>, Wang Xuenong<sup>2,3\*</sup>

(1. Mechanical and Traffic College of Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Research Institute of Agricultural Mechanization, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. Scientific Observing and Experimental Station of Forest Fruit, Cotton and Facility Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture, Urumqi 830091, China; 4. Xinjiang Engineering Research Center for Characteristic Wood's Fruit, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** The purpose of this project was to make clear how strong the harvesting power is for the apricot harvest in order to provide a theoretical basis for developing its harvesting machinery. The effect of each kind of physiological characteristic parameter of various varieties of apricots on fruit removal force was studied and analyzed. Physiological characteristic parameters and fruit removal force of two varieties of apricots were measured by means of testing instruments and correlation, and fitting analyses were conducted about the relevant testing data through SPSS software. The discovery from the correlation analyses showed that the characteristic parameters related to the degree of the ripeness were highly correlated to its fruit removal force. Among them, correlation coefficients of fruit removal force to contents of soluble solids of Kumaiti Apricot and Luntai Apricot were -0.957 and -0.976, respectively.  $a^*$  value of the fruit surface red-green color aberration was -0.955 and -0.942, respectively, and correlation coefficients of hardness were 0.957 and 0.904, respectively. Through the curve fitting analysis of the fruit removal force and physiological characteristic parameters, a curve regression equation was set up. The equation established from the experiments of the two varieties was  $y = -0.09x^2 + 1.853x + 5.356$ ;  $y = -0.016x^2 - 0.23x + 18.573$ , and the  $R^2$  of the fitting coefficients were 0.947 and 0.954, respectively. The equation of  $a^*$  value of the fruit surface red-green color aberration was  $y = -0.043x^2 - 0.751x + 11.194$ ;  $y = -0.036x^2 - 0.587x + 9.617$ , and the  $R^2$  of the fitting coefficients were 0.952 and 0.910, respectively. The equation of the fruit surface hardness was  $y = -0.014x^2 + 1.021x - 4.115$ ;  $y = -0.0203x^2 + 1.039x - 2.229$ ; and the  $R^2$  of the fitting coefficients were 0.965 and 0.925, respectively. The varying range between them was 2–8 N, and the range between the hardness was 4.0–8.9 kg/cm<sup>2</sup>. The grade could be marked 'soft.'  $a^*$  value of the fruit surface red-green color aberration was from 1 to 5. The analyses demonstrated that the fruit removal force became weakened with the increase of the soluble solids, and decreased with the rising value of the fruit surface red-green color aberration; the lower the separating force, the weaker of the fruit surface hardness, that is to say, the separating force became weaker with the increasing fruit maturity.

**Key words:** fruits, force control, agricultural machinery, apricot, fruit removal force, maturity, total soluble solids, chromatic aberration

(责任编辑: 刘丽英)