

基于质构仪的三华李果实质地品质评价

潘秋玲¹, 李芳¹, 江芷欣¹, 黄建昌¹, 宋雯佩¹, 马焕基², 李娟¹, 李彩琴¹
(¹仲恺农业工程学院园艺园林学院, 广州 510225; ²广东省德庆林场, 广东肇庆 526638)

摘要: 为建立量化评价三华李果实质地品质方法提供理论依据, 利用质构仪穿刺试验法对三华李果实质地参数进行测定。以‘麒麟’三华李为材料, 以贯入距离、贯入速度、接触力以及穿刺部位为单因素参数, 通过质构仪P2探头, 对三华李果实进行穿刺力学实验, 分析果实质地变化, 包括果皮强度、果皮脆性、果皮破裂距离、果皮韧性、果肉硬度、果肉黏聚性、果肉胶着力, 确定最佳质地特性测定的条件。结果显示, 三华李果实质地特性最佳测定条件为触发力15 g, 穿刺距离9 mm, 贯入速度1 mm/s, 果实中部穿刺。果皮韧性与果皮破裂距离呈极显著正相关, 与果皮强度呈显著正相关。研究初步建立了利用质构仪穿刺试验法量化评价三华李果实质地品质的方法, 丰富了三华李质地评价内容。

关键词: 三华李; 质地; 质构仪; 品质评价; 穿刺试验法

中图分类号: S662.3

文献标志码: A

论文编号: casb2022-0987

Comprehensive Evaluation of Sanhua Plum Fruits by Texture Analyzer

PAN Qiuling¹, LI Fang¹, JIANG Zhixin¹, HUANG Jianchang¹, SONG Wenpei¹, MA Huanji², LI Juan¹, LI Caiqin¹

(¹College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225;

²Guangdong Province Deqing Forest Farm, Zhaoqing, Guangdong 526638)

Abstract: The purpose of this study was to provide a theoretical basis for establishing a quantitative evaluation method of Sanhua plum fruit texture quality, and determine the texture parameters of Sanhua plum by texture analyzer puncture test. ‘Qilin’ Sanhua plum fruits were used as the material, the penetration distance, penetration speed, contact force, and puncture site were tested as single factor parameters. Through the probe P2 of texture analyzer, the puncture mechanical experiment of Sanhua plum fruit was carried out, and the changes of fruit texture were analyzed, including peel strength, peel fragility, peel rupture distance, peel toughness, pulp hardness, pulp cohesiveness, and pulp adhesion, so as to determine the best conditions for measuring texture characteristics. The results showed that the optimal parameters of trigger force, puncture distance, and penetration speed for determining Sanhua plum fruit texture quality were 15 g, 9 mm, and 1 mm/s, respectively. The best puncture site was in the middle part of the fruit. Peel toughness was significant positively correlated with peel rupture distance and pulp hardness. The quantitative evaluation method of fruit texture quality of Sanhua plum by texture analyzer piercing test was preliminarily established, which enriched the content of texture evaluation of Sanhua plum.

Keywords: Sanhua plum; texture; texture analyzer; quality evaluation; puncture test method

基金项目: 仲恺农业工程学院人才项目“转录因子LcFYF1调控荔枝落果的分子机制研究”(KA2005408A4); 广东省林业科技创新项目“岭南特色经济林植物猕猴桃等新品种选育与应用”(2021KJCX015); 广东省驻镇帮镇扶村农村科技特派员项目“油茶优质高产栽培技术应用与推广”(KTP20210166)。

第一作者简介: 潘秋玲, 女, 1998年出生, 广西柳州人, 研究生在读, 研究方向: 森林培育。通信地址: 510225 广东省广州市海珠区仲恺路500号 仲恺农业工程学院, E-mail: 1695057022@qq.com。

通信作者: 李彩琴, 女, 1984年出生, 广东江门人, 副教授, 博士, 主要从事果实发育调控研究。通信地址: 510225 广东省广州市海珠区仲恺路500号 仲恺农业工程学院, E-mail: licaiqin@zhku.edu.cn。

收稿日期: 2022-11-28, **修回日期:** 2023-08-14。

0 引言

三华李是蔷薇科李属植物,广泛分布在华南亚热带地区,是广东省第一大落叶果树。三华李果实口感酸甜,果肉脆爽,富含多种矿质元素和维生素等营养物质,老少皆宜^[1];不仅可供鲜食,还可用于制成果铺、果酱、榨汁、酿酒等,经济价值高。三华李是一种不耐贮藏的水果,口感品质是衡量三华李商品性的重要因素。果实质地是果蔬品质最重要的属性,是直接影响消费者口感和可接受程度的主要因子^[2-4]。果实的许多特性,如硬度、糯性、脆性、嚼劲、汁水含量等都与果实质地相关^[5-7]。目前对于果实质地测定的方法主要有2种,一种是感官评价,通过人为感知或简单小仪器得出评价,这种方法主观性强,重复性差;另一种则是通过质构仪利用力学方法反映质地特征,兼具灵敏度和客观性的优点,是目前果蔬质地测定最广泛使用的方法。这种方法可以根据果蔬自身的特点选取测试探头,编辑特定的运行程序得到多个质地指标^[8]。目前,质构仪已广泛应用于苹果^[9]、葡萄^[10]、荔枝^[11]、橄榄^[12]、无花果^[13]、鲜枣^[14]、桑葚^[15]、甜柿^[16]、桃子^[17]、百香果^[18]等多种园艺作物的果实质地分析。利用质构仪对果蔬质地进行分析最常用的方法有质地多面分析法(texture profile analysis, TPA)和整果穿刺法^[19],即直接通过探头按照给定的速度或者压力,下压或者穿刺得到反映果蔬质地特性的数据^[20]。例如,姜建福等^[10]利用质构仪TPA法对290份不同葡萄种质果肉质地进行了评价,发现鲜食葡萄果肉质地硬度显著高于酿酒葡萄和制汁葡萄,弹性和硬度是反映葡萄果肉质地的指标。张翔宇等^[21]对10个不同品种的葡萄进行质构仪穿刺测试,发现果皮硬、果形圆润的葡萄品种(如‘巨峰’、‘红提’、‘意大利’)口感脆而有落差感;果形较长的葡萄品种(如‘马奶’、‘美人指’)口感较有韧性;形状大小相似、单果粒重、果形较大较圆润的葡萄更耐运输。郭华等^[22]对‘脆玉’桃进行穿刺实验,发现果皮穿刺硬度、果皮韧性、果肉坚实度、果肉纤维指数可作为参数评价‘脆玉’桃的质地。田青兰等^[19]利用整果穿刺法和TPA法对5个品种西番莲成熟果实的果皮进行质构特性分析,得出整果穿刺法较TPA法更适合西番莲果皮质构分析,穿刺硬度、硬度形变量、穿刺果皮做功、粘力和粘性均可以作为反映西番莲果皮质地的参数。

质构仪是一种可以对果蔬品质做出客观评价的感官化测量仪器,检测结果客观、准确且可数据化,易操作,可有效避免出现主观性误差^[23]。在果蔬行业中,可以通过检测果蔬果皮、果肉的硬度,为果蔬的保鲜、储藏以及运输提供科学依据^[20]。目前,有关三华李质地

品质评价分析鲜少报道。本研究拟以三华李成熟果实为试材,利用质构仪的整果穿刺试验法进行穿刺,优化贯入距离、贯入速度、接触力、果实穿刺部位等参数,以期在优化三华李质构测定条件的基础上,建立一套标准、规范的三华李果实质地品质检测方法,为三华李果实质地差异性评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为‘麒麟’三华李,样品于2022年6月采自广东省肇庆市封开县。试验果园地立地条件和田间管理水平相对较高,选择样品树3~5株,均为生长健壮、能正常开花结果的成年结果树。每株树冠外围东南西北方向随机采集果形端正、成熟度一致、个头匀称、无病虫害、无机械损伤或腐烂的果实,以每株的随机方位采摘符合标准的果实270个,放置于塑料泡沫盒中迅速带回实验室进行果实质地各项指标的测定。

1.2 仪器

Universal TA研究型质构仪,由上海腾拔仪器科技有限公司生产。

1.3 试验方法

1.3.1 不同触发力比较 参照陈丽^[24]的方法,采用整果穿刺试验法,利用P2不锈钢针形探头,触发力分别设定为5、10、15、20、25 g,对三华李果实进行整果穿刺测试。测试时将果实放置于质构仪的载物台中心,穿刺部位选取果实中部。设定测前速度为5 mm/s,测后速度为5 mm/s,贯入速度为3 mm/s,穿刺距离为9 mm,得到同一穿刺速度、穿刺距离、穿刺部位,不同触发力下三华李果实的果皮强度、果皮脆性、果皮韧性、果皮破裂距离、果肉强度、果肉黏聚性、果肉胶着力变化。每个处理选取15个果实作为试验样品进行重复测试。

1.3.2 不同贯入速度比较 采用P2探头,贯入速度分别设定为1、2、3、4、5 mm/s,穿刺部位选取果实中部,设定测前速度为5 mm/s,测后速度为5 mm/s,穿刺距离为9 mm,触发力为15 g,得到同一穿刺距离、触发力、穿刺部位,不同穿刺速度下三华李果实的果皮强度、果皮脆性、果皮韧性、果皮破裂距离、果肉强度、果肉黏聚性、果肉胶着力变化。每个处理选取15个果实作为试验样品进行重复测试。

1.3.3 不同穿刺距离比较 采用P2探头,穿刺距离分别设定为3、6、9、12、15 mm,穿刺部位选取果实中部,设定测前速度为5 mm/s,测后速度为5 mm/s,贯入速度为3 mm/s,触发力为15 g,得到同一触发力、穿刺速度、穿刺部位,不同穿刺距离下三华李果实的果皮强度、果

皮脆性、果皮韧性、果皮破裂距离、果肉强度、果肉黏聚性、果肉胶着力变化。为达到最好的实验效果,穿刺距离的设定应超过三华李最大横径减去中心核直径的一半,即尽可能深的穿刺,但探头不会接触到果核部分。每个处理选取15个果实作为试验样品进行重复测试。

1.3.4 果实穿刺部位比较 采用P2探头,设定测前速度为5 mm/s,测后速度为5 mm/s,贯入速度为3 mm/s,接触力15 g,穿刺距离为9 mm。穿刺位置选取果实肩部、中部和底部3个不同部位进行整果穿刺试验,得到同一触发力、穿刺速度、穿刺距离,不同穿刺部位下三华李果实的果皮强度、果皮脆性、果皮韧性、果皮破裂距离、果肉强度、果肉黏聚性、果肉胶着力变化。每个处理选取15个果实作为试验样品进行重复测试。

1.3.5 质地参数获得 根据质构仪自动输出的测试样品的特征曲线,并完成具体的指标数据测定,按试验要求和样品的特征曲线对Macro程序进行编辑,得到三华李力值/测定时间曲线如图1所示。参考Camps等^[25]的研究以及三华李本身特性,以曲线第一峰(锚b)力值作为果实破裂需要的力,即果皮强度(g),是指在外力作用下三华李果实发生形变所需要的力^[26];第一峰的运行距离即为果皮破裂距离(mm);第一峰的力值与第一峰的运行距离的比值为果皮脆性(g/s),脆性是指第一次挤压时的破裂力^[9];第一峰的力值与第一峰的运行距离的乘积为果皮韧性(g·s);曲线第二峰(锚c)的

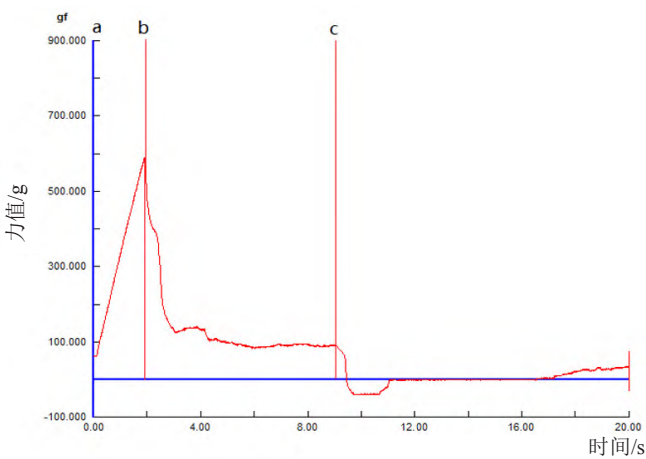


图1 三华李整果穿刺质地特征曲线图

力值为果肉硬度(g)。

1.4 数据分析

使用Excel 2019进行数据整理,利用IBM SPSS statistics 27软件对数据进行单因素方差分析以及相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同检测参数条件下三华李果实质地参数差异

2.1.1 三华李果皮质地参数 由表1可知,果皮强度在不同触发力条件下差异显著,触发力为15 g时,果皮强度最大(860.75 g),显著高于触发力5 g和20 g时的测定结果;不同穿刺距离和贯入速度对果皮强度的影响并不显著。不同触发力和穿刺距离对果皮脆性的影

表1 不同检测参数条件下三华李的果皮质地参数

检测参数	水平	果皮强度/g	果皮脆性/(g/s)	果皮韧性/g·s	果皮破裂距离/mm
触发力	5 g	758.29±118.67b	1974.86±307.24a	325.45±66.71c	0.41±0.05b
	10 g	782.91±114.01ab	1914.10±382.87a	422.73±186.50ab	0.47±0.18ab
	15 g	860.75±159.43a	1977.66±308.41a	498.83±194.79a	0.50±0.15a
	20 g	771.12±128.10b	1871.28±350.47a	352.44±94.77bc	0.46±0.10ab
	25 g	806.24±144.25ab	1847.33±374.81a	364.75±87.69bc	0.45±0.07ab
穿刺距离	3 mm	924.55±128.36a	1941.23±316.83a	471.81±139.76a	0.51±0.13a
	6 mm	926.00±127.75a	1970.27±237.16a	424.82±135.38a	0.47±0.09a
	9 mm	848.33±152.84a	1858.32±432.47a	389.17±107.79a	0.48±0.10a
	12 mm	922.60±107.11a	1910.42±406.82a	450.47±100.59a	0.48±0.07a
	15 mm	888.20±111.44a	1904.34±368.15a	434.11±107.85a	0.49±0.08a
贯入速度	1 mm/s	791.11±163.39a	546.29±131.46d	980.76±321.11a	1.35±0.15a
	2 mm/s	810.00±131.84a	1103.51±230.93c	610.02±160.56b	0.75±0.13b
	3 mm/s	784.50±109.88a	1508.14±214.88b	448.90±101.16bc	0.57±0.12c
	4 mm/s	825.75±182.08a	1921.51±418.51a	373.89±87.72c	0.45±0.05d
	5 mm/s	931.43±110.84a	2208.93±521.85a	380.18±70.86c	0.43±0.05d

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05,Duncan 检验),下同。

响并不显著,但果皮脆性在不同贯入速度条件下差异显著,并且随着贯入速度的增加,测得的果皮脆性值逐渐减增大。贯入速度为4、5 mm/s时,果皮脆性最大(分别为1921.51、2208.93 g/s)显著高于贯入速度为1、2、3 mm/s时的测定结果,贯入速度为1 mm/s时果皮脆性仅有546.29 g/s。果皮韧性在不同触发力和贯入速度条件下差异显著,触发力为15 g时,果皮韧性值最大(498.83 g·s),显著高于触发力为5、20、25 g时的果皮韧性值,贯入速度为1 mm/s时,测得的果皮韧性值最大(980.76 g·s),且随着贯入速度的增加,测得的果皮韧性值逐渐减少。果皮破裂距离与触发力和贯入速度关系密切,分别在触发力为15 g和贯入速度为1 mm/s时,果皮破裂距离最大(分别为0.50、1.35 mm)。值得注意的是,不同穿刺距离对所有果皮质地参数没有太大的影响。

2.1.2 三华李果肉质地参数 由表2可知,不同触发力对果肉硬度、果肉黏聚性和果肉胶着力等果肉质地参数均没有较大影响。果肉硬度在不同刺穿距离条件下差异显著,穿刺距离为15 mm时,果肉硬度最大(215.27 g),显著高于6、9 mm穿刺距离所测得的果肉

硬度值;不同贯入速度对果肉硬度影响显著,当贯入速度为1 mm/s时,果肉硬度最小(64.29 g),当果肉硬度分别为2、3、4、5 mm/s时,果肉硬度之间的差异不显著。果肉粘聚性在不同穿刺距离以及贯入速度下具有显著的差异,穿刺距离为9 mm时,果肉黏聚性最大(1.23 mJ),显著大于穿刺距离为3、6、15 mm时测得的果肉黏聚性值;贯入速度为1 mm/s时果肉粘聚性最大(2.36 mJ),显著大于3、4、5 mm/s时的果肉粘聚性,贯入速度为3 mm/s时测得的果肉粘聚性最小,仅有0.95 mJ;果肉胶着力在不同穿刺距离和贯入速度条件下影响较大,穿刺距离为9 mm时的果肉胶着力(1111.79 g)显著大于其他穿刺距离时测得的数值,穿刺距离为3 mm时的果肉胶着力最小,仅为306.34 g;贯入速度为1 mm/s和2 mm/s时的果肉胶着力相对较大(分别为1475.55、1261.87 g),贯入速度为5 mm/s时果肉胶着力最小(621.66 g)。

2.2 不同穿刺部位对三华李果实质地的影响

由表3可知,穿刺部位在肩部、中部时,测得的果皮强度较大,分别为719.00、793.69 g,显著大于穿刺部位为下部的果皮韧性值(658.89 g)。穿刺部位在中部

表2 不同检测参数条件下三华李的果肉质地参数

检测参数	水平	果肉硬度/g	果肉黏聚性/mJ	果肉胶着力/g
触发力	5 g	183.38±38.45a	1.17±0.56a	1224.12±503.65a
	10 g	183.56±56.53a	1.18±0.66a	1058.55±414.33a
	15 g	189.33±58.15a	1.26±0.75a	1255.28±687.46a
	20 g	196.00±49.27a	1.47±0.70a	1176.34±419.46a
	25 g	183.78±52.47a	1.33±0.62a	1138.82±671.95a
穿刺距离	3 mm	182.83±44.14ab	0.36±0.23c	306.34±158.29b
	6 mm	162.18±39.62b	0.72±0.39bc	601.72±259.98b
	9 mm	168.17±29.67b	1.23±0.58a	1111.79±542.21a
	12 mm	176.83±47.68ab	1.12±0.94ab	594.49±352.978b
	15 mm	215.27±78.29a	0.71±0.33bc	599.99±270.64b
贯入速度	1 mm/s	64.29±24.86b	2.36±0.81a	1475.55±433.59a
	2 mm/s	183.43±52.94a	1.87±0.99ab	1261.87±630.26a
	3 mm/s	165.00±47.48a	0.95±0.33c	956.72±534.77ab
	4 mm/s	178.00±44.74a	1.30±0.37bc	1054.95±260.78ab
	5 mm/s	184.00±54.92a	1.08±0.38bc	621.66±308.65b

表3 不同穿刺部位果皮质地参数

检测部位	果皮强度/g	果皮脆性/(g/s)	果皮韧性/g·s	果皮破裂距离/mm
肩部	719.00±116.10ab	1622.16±177.12b	327.78±55.29a	0.50±0.11a
中部	793.69±127.40a	2213.69±165.60a	305.64±59.26a	0.40±0.07b
下部	658.89±80.82b	1626.78±223.69b	280.58±44.39a	0.44±0.05b

时,果皮脆性最大(2213.69 g/s),显著高于肩部和下部测得的果皮脆性值。穿刺部位在肩部的果皮破裂距离最大(0.50 mm),显著高于中部和下部的果皮破裂距离值。不同刺穿部位的选择对果皮韧性的影响不大。

由表4可知,不同穿刺部位的选择对果肉硬度的影响不大,各处理组之间的差异不显著。但不同穿刺部位对果肉黏聚性和果肉胶着力有显著影响,并且穿刺部位为中部时,测得的果肉粘聚性、果肉胶着力均为最大,分别为1.49 mJ、1185.93 g,显著大于穿刺部位为肩部和下部所测得的数值,其中穿刺部位为肩部时测得的果肉粘聚性和果肉胶着力最小,仅为0.45 mJ、345.38 g。

表4 不同穿刺部位果肉质地参数

检测部位	果肉硬度/g	果肉黏聚性/mJ	果肉胶着力/g
肩部	255.56±36.14a	0.45±0.13c	345.38±84.97c
中部	235.45±52.18a	1.49±0.44a	1185.93±253.89a
下部	255.14±50.34a	1.07±0.23b	589.61±115.65b

2.3 三华李果皮质地与果肉质地参数相关性

由表5可知,果皮强度与果皮韧性呈显著正相关关系,相关系数为0.377,即果皮强度越大果皮韧性越强。果皮破裂距离与果皮韧性呈极显著正相关关系,相关系数为0.550,即果皮韧性越强果皮破裂距离越长,其他质地参数之间没有显著的相关关系。

3 结论

本研究对‘麒麟’三华李进行整果穿刺实验,建立了一套鲜食三华李的果实质地测定评价方法,分析比对不同贯入距离、贯入速度、接触力以及穿刺部位之间的参数差异以及相关性,发现最佳测定条件为触发力15 g、穿刺距离9 mm、贯入速度1 mm/s,最佳穿刺部位是果实中部,其中穿刺距离对果皮质地参数无显著性影响,触发力对果肉质地参数影响也不大。明确了果皮强度、果皮破裂距离、果皮韧性能较好地反映三华李

果实质地的特征,准确量化描述三华李果实的质地。

4 讨论

三华李成熟于炎热气候,货柜期短,果实品质是消费者挑选三华李果实的重要决定因素,果实的口感可直接体现在果实质地参数上^[14]。果实质地是由多种影响因子综合作用的结果^[27]。众多研究显示,果实质地主要取决于果皮薄壁细胞的数量、大小、排列紧密程度、细胞壁厚度以及果肉内外层细胞的大小、果肉细胞之间的延展性、结合力、强度等,一般细胞壁较薄的品种果实会有较强韧的果肉^[19]。果实细胞之间的吸引力和果实的硬度以及韧性有关,即果实细胞间结合密度越高,则果实硬度越高,否则反之^[28]。杏果果实皮细胞断裂,果肉细胞解体,细胞间隙增大,果实品质也随之转变^[29]。质构仪可对果蔬内外部组织质地特征进行测定,具有灵敏度高、精确度高、操作方便等优点。质构仪的测试模式主要有压缩模式、质地多面分析法(TPA)、穿刺试验、剪切试验、抗破碎性、抗挤压测试、拉伸、粘附性测试等^[30],其中TPA、穿刺试验、剪切试验是果实质地测定最常用的3种方法^[15]。TPA测试最常见的测试方法是利用探头两侧挤压样品,模拟食物被牙齿咀嚼的机械过程,在这个过程中测定果蔬的质地参数^[31-32]。TPA测定分析方法多需要打孔取材和压缩操作,因此多应用于苹果^[33]、梨^[34]、西番莲^[19]、桃^[17,22,35]等体型大的果实。但三华李果实脆性大、弹性小,并且三华李是带皮食用,果皮是果实质地重要的评价指标,因此TPA测定不适合用于三华李鲜果的评价应用,这与马庆华等^[8]、赵爱玲等^[14]对鲜枣的研究结论一致。剪切测试法用来测定肉类的韧性^[36-37]、果蔬的纤维韧性等^[38],可采用斜刀口探头,或配合样品咬合辅助装置,模拟咀嚼,获得有关剪切的应力变化,有助于切割的完全进行^[39]。剪切法在水果中的应用较少,可能是因为样品大小对检测结果的影响较大,不同水果样品之间的大小难以达到一致,因此,无法做到横向比较^[9]。穿刺测试法主要利用针状探头、锥状探头等测定蔬果的硬度、

表5 三华李果实果皮与果肉质地参数的相关系数

	果皮强度	果皮脆性	果皮破裂距离	果皮韧性	果肉硬度	果肉黏聚性
果皮脆性	0.039					
果皮破裂距离	0.047	0.073				
果皮韧性	0.377*	0.028	0.550**			
果肉硬度	-0.029	-0.082	0.084	-0.218		
果肉黏聚性	-0.336	-0.114	-0.279	-0.260	-0.040	
果肉胶着力	-0.084	0.021	0.332	0.191	-0.104	-0.161

注:*表示在0.05级别(双尾)相关性显著,**表示在0.01级别(双尾)相关性显著。

破裂距离、黏聚性、胶着力等参数^[14,39]。穿刺试验不受果实大小以及性状的影响,而TPA法则容易受到果实大小、性状以及组织比例的影响^[19],并且穿刺试验能区分果皮特征,因此三华李果实质地的测定方法适宜使用整果穿刺方法。

本研究以接触力、贯入速度、穿刺距离、穿刺部位等作为单因素参数,对三华李进行力学整果穿刺试验,发现穿刺距离对果皮破裂距离、果皮脆性以及果皮韧性等果皮质地参数影响不大,触发力则对果肉质地的无显著影响,与无花果果实质地参数分析的结论一致^[13]。当触发力为15 g时,三华李果皮强度、果皮脆性、果皮韧性、果皮破裂距离最大;穿刺距离对果肉质地的影响,当穿刺距离为9 mm时,果肉粘聚性和果肉胶着力最大,而果肉硬度在15 mm时最大,但是对果皮质地参数无显著影响。贯入速度为1 mm/s时三华李果皮韧性、果皮破裂距离、果肉黏聚性与果肉胶着力最大,而贯入速度为5 mm/s果皮脆性最大,但贯入速度对果皮强度则无显著影响。综合比较三华李的果实质地参数,发现触发力为15 g、穿刺距离为9 mm、贯入速度1 mm/s的检测条件在一定程度上能更好地体现三华李鲜果的质地特征。且果皮强度与果皮韧性显著正相关,果皮破裂距离与果皮韧性极显著正相关;可见果皮强度、果皮破裂距离和果皮韧性之间相互影响,并对三华李果实质地特征影响较大,推测果皮破裂距离、果皮韧性以及果皮强度其中任意1个或者2个以上都可以作为反映三华李质地特征的主要参数。

不同品种果实各部位质地参数不同。杜昕美等^[9]对5种苹果果肩、赤道、果顶部位进行质地参数检测,发现果顶部位穿刺硬度最大,其次是果肩然后赤道部位。王斐等^[40]对梨果实萼部、中部、梗部进行果实质地参数测定,发现果肉脆性以及硬度的由大到小依次是萼部、中部、梗部。赵爱玲等^[14]对‘临猗梨枣’和‘壶瓶枣’脆熟半红期的果实进行肩部、中部、底部不同部位穿刺试验,发现果实硬度以及果肉平均坚实度中部最小,而果肉纤维指数和皮肉跌落脆性中部最大。本研究对三华李果实肩部、中部以及底部进行整果穿刺试验发现,果皮强度、果皮脆性、果肉黏聚性以及果肉胶着力以果实中部最大,果实中部的细胞组织较均匀紧密,在一定程度上能够更好反映三华李果实质地,是分析三华李果实质地的最佳部位。从操作角度分析,果实肩部以及底部穿刺不能保证探头与穿刺部位的垂直落下,可能会对果实质地的数据产生较大影响,而果实中部相对比较容易和方便进行整果穿刺试验,测定结果也更为真实、可靠。

三华李是典型的中国李南方品种群,其中‘麒麟’三华李是软枝型三华李的代表性优良品种,与普通三华李相比,具有早结、丰产稳产、果型大、商品性好、适应性强等优点^[41]。本研究利用质构仪穿刺试验法,以‘麒麟’三华李为典型材料,初步建立了量化评价三华李果实质地品质的方法,能较好地反映成熟三华李果实的质地特征,丰富了三华李质地品质评价内容。该方法具有准确、灵敏、客观、简便等优点,但是否可作为一种简便有效评价三华李果实质地变化的标准,还需要进一步研究。

参考文献

- [1] BOBRICH A, FANNING K J, RYCHLIK M, et al. Phytochemicals in Japanese plums: Impact of maturity and bioaccessibility[J]. Food research international, 2014, 65: 20-26.
- [2] WANG N N, SUN D W, YANG Y C, et al. Recent advances in the application of hyperspectral imaging for evaluating fruit quality[J]. Food analytical methods, 2015, 9(1): 178-191.
- [3] 高滋艺, 范献光, 杨惠娟, 等. 苹果发育过程中细胞壁代谢及果肉质地的变化[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 70-75.
- [4] CHAIB J, DEVAUX M F, GRPTE M G, et al. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits[J]. Journal of experimental botany, 2007, 58(8): 1915-1925.
- [5] FERREE D C, REID M S, WETZSTEIN H Y, et al. Texture of fresh fruit[J]. Horticultural reviews, 1997, 20: 121-224.
- [6] SZCZESNIAK A S. Texture is a sensory property[J]. Food quality and preference, 2002, 13: 215-225.
- [7] PREDIERI S, RAGAZZINI P, RONDELLI R. Sensory evaluation and peach fruit quality[J]. Acta horticulture, 2006, 713: 429-434.
- [8] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1210-1217.
- [9] 杜昕美, 赵前程. 五种苹果质构测定方法的比较及与感官评价的相关性分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(22): 240-246.
- [10] 姜建福, 樊秀彩, 张颖, 等. 基于TPA法葡萄果肉质地的鉴定评价[J]. 中国果树, 2022(3): 31-36.
- [11] 崔永宁, 陈洁珍, 史发超, 等. 基于TPA法的荔枝资源果肉质地的品质分析[J]. 果树学报, 2022, 39(12).
- [12] 肖维强, 刘传滨, 匡石滋, 等. 广东鲜食橄榄果实质地特性比较[J]. 中国农学通报, 2022, 38(16): 132-138.
- [13] 周靖宇, 薄艳红, 解小锋, 等. 无花果果实质地测定参数优化及质地特性分析[J]. 经济林研究, 2020, 38(3): 258-264.
- [14] 赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 等. 质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法研究[J]. 果树学报, 2018, 35(5): 631-641.
- [15] 王彬彬, 李娜, 贾漫丽, 等. 质构仪检测桑葚质地品质的方法研究[J]. 果树学报, 2021, 38(11): 2014-2020.
- [16] 程文强, 龚榜初, 吴开云, 等. 基于质构仪与电子舌的甜柿口感品质综合评价[J]. 果树学报, 2022, 39(7): 1281-1294.
- [17] 李永红, 张立莎, 常瑞丰, 等. 质地多方面分析三个桃品种果实采后质地的变化[J]. 北方园艺, 2016(4): 133-137.

- [18] 陈蔚辉,李昶炎,彭珩,等.不同品种百香果品质评价及质构分析[J]. 韩山师范学院学报,2020,41(3):53-60.
- [19] 田青兰,张英俊,刘洁云,等.西番莲果皮质构特性和显微结构特征分析[J]. 果树学报,2022,39(12).
- [20] 匡凤军,刘群,曹倩蕾,等.质构仪在食品行业中的应用综述[J]. 现代食品,2020(3):112-115.
- [21] 张翔宇,李喜宏,王妍丹,等.基于果形和穿刺测试的葡萄浆果质构特性分析[J]. 食品工业科技,2017,38(1):338-343.
- [22] 郭华,陈双建,成继东,等.‘脆玉’桃质构研究初探[J]. 果树资源学报,2022,3(4):13-16.
- [23] 罗斌,赵有斌,尹学清,等.质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J]. 食品研究与开发,2019,40(5):209-213.
- [24] 陈丽.甘薯块根质构特性的评价研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2013.
- [25] CAMPS C, GUILERMIN P, MAUHET J C, et al. Data analysis of penetrometric force/displacement curves for the characterization of whole apple fruits[J]. Journal of texture studies,2005,36:387-401.
- [26] 王琰,胡容平,陈庆东,等.壳聚糖对葡萄果实品质的影响[J]. 湖南农业科学,2022(4):57-60.
- [27] TOIVONEN P M A, BRUMMELL D A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables[J]. Postharvest biology & technology,2008,48(1):1-14.
- [28] 潘好斌.薄皮甜瓜果实质地品质综合评价及质地差异分析[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [29] 马玄,朱璇,赵亚婷,等.不同成熟度杏果实组织的结构变化与絮败关系[J]. 食品与发酵工业,2015,41(8):203-207.
- [30] 李云飞,殷涌光,金万镐.食品物性学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2005:103-107.
- [31] 孙彩玲,田纪春,张永祥.TPA质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术,2007(2):1-4.
- [32] ELAINE T C, BRENDA G L, BONG K M, et al. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice[J]. Cereal chemistry,1998,75(2):181-186.
- [33] 李丽娜,赵武奇,曾祥源,等.苹果的质构与感官评定相关性研究[J]. 食品与机械,2017,33(6):37-41,45.
- [34] 王燕霞,王晓蔓,关军锋.梨果肉质地性状分析[J]. 中国农业科学,2014,47(20):4056-4066.
- [35] 袁成龙,董晓颖,李培环,等.TPA质构分析硬肉桃果实采后质地变化[J]. 食品科学,2013,34(20):273-276.
- [36] 常海军,唐翠,牛晓影,等.超高压处理对牛肉肌肉结缔组织胶原蛋白热特性影响[J]. 食品科学,2013,34(23):28-31.
- [37] 刘兴余,金邦荃,詹巍,等.猪肉嫩度测定方法的改进[J]. 中国农业科学,2007(1):167-172.
- [38] 杨玲,张彩霞,丛佩华,等.基于质地多面分析法对不同苹果品种果肉质构特性的分析[J]. 食品科学,2014,35(21):57-62.
- [39] 张秋会,宋莲军,黄现青,等.质构仪在食品分析与检测中的应用[J]. 农产品加工,2017(24):52-56.
- [40] 王斐,姜淑苓,陈秋菊,等.脆肉梨果实成熟过程中质地性状的变化[J]. 果树学报,2016,33(8):950-958.
- [41] 陆育生,林志雄,邱继水,等.南亚热带李新品种‘麒麟三华李’[J]. 园艺学报,2015,42(S2):2825-2826.