

质构仪检测桑葚质地品质的方法研究

王彬彬^{1,2}, 李娜^{1,2}, 贾漫丽^{1,2}, 陈秀灵^{1,2},
范伟^{1,2}, 夏爱华^{1,2}, 高玉军^{1,2}, 李季生^{1,2*}

(¹河北省高校特产蚕桑应用技术研发中心, 河北承德 067000; ²承德医学院蚕业研究所, 河北承德 067000)

摘要:【目的】系统研究质构仪不同探头、测试速度、最大感应元、最小感应元、形变量对桑葚质地品质的影响, 为建立标准、规范的鉴定桑葚质地品质的方法提供理论依据。【方法】以黑果期冀桑 501(安葚)果实为实验材料, 采用质构仪的 TPA 模式, 用 P/2、P/5 和 P/10 3 种探头进行对比试验, 以选取合适的仪器探头。通过正交试验, 设定探头 P/5 对桑葚进行试验, 确定最佳质地特性测定的条件。【结果】P/5 型探头最适合分析桑葚的质地品质; 桑葚最佳质地特性测定的条件为形变量 50%, 最大感应元 400 N, 最小感应元 0.3 N, 测试速度 60 mm·min⁻¹。【结论】初步建立了采用质构仪运用 TPA 方法鉴定桑葚质地品质的方法, 丰富了桑葚质地品质评价的内容。

关键词: 桑葚; 质地多面分析; 质地品质; 检测方法

中图分类号: S663.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)11-2014-07

Measuring texture quality of mulberry fruit using a texture analyser

WANG Binbin^{1,2}, LI Na^{1,2}, JIA Manli^{1,2}, CHEN Xiuling^{1,2}, FAN Wei^{1,2}, XIA Aihua^{1,2}, GAO Yujun^{1,2}, LI Jisheng^{1,2*}

(¹Hebei Universities Technology R & D Center for Sericulture and Specialty Enabling Technologies, Chengde 067000, Hebei, China; ²The Sericultural Research Institute, Chengde Medical University, Chengde 067000, Hebei, China)

Abstract: 【Objective】Mulberry fruits taste good, which is largely influenced by texture. Texture parameters including hardness, adhesiveness, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness, have been recorded in many fruits by a texture analyser. However, the texture profile studies on mulberry fruit are limited. By comparing with different probes, testing speed, maximum inductive element, minimum inductive element and shape variables, a unified optimum method was established for detecting the texture quality of mulberry fruit at different maturity. 【Methods】For probe selection, the texture of JiSang 501 (An Shen) fruits during ripening was detected with a TMS-Pro/Touch texture analyser. In texture profile analysis (TPA) mode, three different probes, named P/2, P/5 and P/10 with 2, 5 and 10 mm in diameter, respectively, were used to evaluate the texture quality. The test speed, pretest speed, post-test speed, deformation, maximum sensing element, minimum sensing element and data acquisition rate were 1 mm·s⁻¹, 0.5 mm·s⁻¹, 0.5 mm·s⁻¹, 40%, 500 N, 0.3 N and 9600, respectively. Fresh fruit samples were placed at the appropriate position on the object stage. The surface at the middle part was used as the test platform. 【Results】(1) Among three probes, the stress area of P/2 probe and the index of mulberry texture quality was the smallest, and the texture curve exhibited drastic changes. Hence, the coincidence between them was not good. While the stress area of P/10 probe was large, and the error of texture index tested among samples was too large. The indexes detected by the P/2 and P/10 probe could not adequately evaluate the pericarp texture. On the contrary, the consistency of texture index

收稿日期: 2020-10-26

接受日期: 2021-05-27

基金项目: 河北省科技厅技术创新引导专项; 河北省科技厅课题(19226373D, 20326336D); 河北省教育厅课题(QN2019042, QN2018118); 河北省“三三三”人才工程资助项目(A201903008); 承德医学院国家自然科学基金项目培育基金(201910); 承德医学院基本科研业务费项目(KY2021021)

作者简介: 王彬彬, 男, 研究实习员, 硕士, 研究方向为桑种质资源鉴定。Tel: 19932348605, E-mail: binbinwang232456@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 18932877129, E-mail: jshlee@163.com

measured by P/5 probe was better. Thus, the P/5 probe was more suitable for analyzing the texture quality of mulberry fruit than other two probes. (2) Correlation analysis among all texture parameters showed that mulberry hardness was significantly (positively) correlated with springiness and chewiness. Cohesiveness was very significantly (positively) correlated with springiness and chewiness, but the correlation between adhesiveness and other parameters was not significant. It was suggested that the TPA parameters (hardness, cohesiveness, springiness and chewiness) can be used to characterize the fruit quality. (3) In the orthogonal test and range analysis, the deformation was the most important influencing factor. The optimal parameters of deformation, maximum sensing element, test speed, and minimum sensing element were 50%, 400 N, 60 mm·min⁻¹ and 0.3 N, respectively. 【Conclusion】The surface at the middle part was used as the test platform. The obtained parameters including hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, chewiness and gumminess can accurately reflect the texture quality of fresh mulberry fruits.

Key words: Mulberry fruit; Texture profile analysis; Texture quality; Detecting method

桑葚(*Fructus mori*)是桑树的果实,为聚花果,又名桑果、桑枣,是多年生桑科植物桑的成熟果穗^[1]。桑葚含有丰富的营养物质,历来具有食用及中药材用途。早在两千多年前,它就成为皇帝的御用药品之一。古代医书记载桑葚有补肝益肾、滋阴补血、驻容颜等功效,其药用价值备受青睐。现代医学发现桑葚具有提高动物体内酶活性、促进造血细胞生长以及防止动脉硬化等功效^[2-5]。1993年,国家卫生部就把桑葚列为“既是食品又是药品”的农产品之一^[6]。

桑葚是一种不耐贮藏的水果^[7]。在研究桑葚贮藏过程中,硬度是一个反映其品质好坏变化的重要指标,使用传统硬度计测定^[8-9],受到探头规格、测试者用力大小等因素的影响,测得的数据变异较大。目前桑葚果实硬度的测定均被自动化的质构仪测试所替代。

质构仪(texture analyser)又名物性测试仪,是公认的物性标准检测仪器^[10]。质地剖面分析法(texture profile analysis, TPA)是一种常用的果实质地分析方法,主要通过模拟人口腔的咀嚼运动,对样品进行两次压缩,分析得到硬度、黏性、凝聚性、弹性、咀嚼性、回复性等质地参数,较客观地反映果实的质地特性^[11-12]。质构分析丰富了果实质地品质的评价指标,能给感官以量化指标,数据精确,避免了人为因素的干扰,克服了传统检测方法的缺点。

桑葚硬度是影响桑葚口感和食用的一项重要品质指标。目前,质构仪在国内外已经广泛地应用于枣^[12]、苹果^[13-14]、梨^[15]、柑橘^[16]、葡萄^[17]、杨梅^[18]、桃^[19]等树种果实的质地分析。目前国内外利用质构仪对桑

葚质地特性的系统性研究处于起步阶段,主要集中在利用质构仪测定桑葚硬度这个单一指标上^[8-9, 20],但是单一指标(硬度)不能整体反映其质地特性的变化情况,还需要测定黏附性、内聚性、弹性、咀嚼性等指标,现在适合桑葚质地品质鉴定方法的研究鲜有报道。

因此,在前人研究的基础上,对质构仪检测桑葚质地品质的方法进行系统研究。笔者在本研究中选用新鲜的冀桑501(安葚)果实为研究对象,通过质构测定仪进行TPA测试,系统研究质构仪测试时不同的参数设置(探头、形变量、测试速度、最大感应元以及最小感应元)对TPA测定结果的影响,初步建立了标准、规范的鉴定桑葚质地品质的方法。

1 材料和方法

1.1 材料

供试品种为冀桑501(安葚),是目前河北省北部地区主栽的果桑品种,具有抗寒、抗旱等特性;采样地点为河北省承德市承德医学院蚕桑科技园。2020年6月采摘黑果期的桑葚,挑选其中成熟度一致、无机械损伤和大小均一的作为试样,取样当天用质构仪测定硬度、咀嚼性、弹性等质构特性指标。

1.2 仪器

TMS-PRO质构分析仪3种探头P/2(柱形,直径2 mm)、P/5(柱形,直径5 mm)和P/10(柱形,直径10 mm),分析软件为TMS-Pro/Touch物性分析软件(美国Food Technology Corporation公司)。

1.3 方法

1.3.1 不同仪器探头测定桑葚质地特性 使用

TMS-PRO/Touch 质构分析仪比较3种探头P/2、P/5和P/10对桑葚在TPA模式下质地参数的差异。由于桑葚属于浆果类,参考宋钰兴等^[21]的参数设置,略有改动:设定测前速度为 $0.5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,贯入速度为 $1\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,测后速度为 $0.5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,最小感应力 0.3 N ,最大感应元 500 N ,数据采集率 1000 Hz ,由于形变量的设定需要最大限度地保证检测深度的同时,避免探头贯穿果实,因此根据所选桑葚的大小将形变量设为 50% ,以桑葚中部最宽的部分作为测试面,置于载物台上合适的位置以使探头贯入时正对果实中部。

1.3.2 正交试验 前期进行单因素试验,对TPA试验的测试参数(形变量、测试速度、最大感应元以及最小感应元)进行了初步筛选。初步确定检测桑葚质构特性的条件为:形变量 50% ,最大感应元 400 N ,最小感应元 0.3 N ,测试速度 $60\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。因此,在桑葚质构性能各因素试验的基础上,用等差法来确定间隔,最终确定正交试验各因素和水平。测试速度3个水平为 55 、 60 、 $65\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$;最小感应元3个水平为 0.25 、 0.30 、 0.35 N ;最大感应元3个水平为 350 、 400 、 450 N ;形变量3个水平为 45% 、 50% 、 55% 。设计 $L_9(3^4)$ 正交试验。

1.4 数据处理

试验数据用Office Excel 2010进行统计,每个试验重复测定20个果实,取平均值,用SPSS 22.0 One-Way ANOVA($P=0.05$)LSD方法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 桑葚测试曲线及含义

桑葚质地特性分析指桑葚在外力的作用下,使其发生变形所需要的力。桑葚TPA典型质地特征曲线如图1所示。其中TPA参数定义为:硬度(Hardness)以双峰曲线中的第一个峰的最大值表示硬度,单位为牛顿(N);弹性(Springiness)指与第二次压缩达峰值时所经历的时间 $\Delta T(\Delta T = T_3 - T_2)$ 呈正比,与第一次压缩达峰值时所经历的时间 T_1 成反比,即弹性 $= (T_3 - T_2) / T_1$;内聚性(Cohesiveness)指第二次压缩所得的峰面积 A_4 与第一次压缩所得的峰面积 A_5 之比,即内聚性 $= A_4 / A_5$;咀嚼性(Chewiness)为硬度、内聚性和弹性三者乘积,即咀嚼性=硬度(N) $\times$ 内聚性 $\times$ 弹性,单位为牛顿(N)。胶黏性(Gumminess)指硬度和内聚性的乘积,即胶黏性=硬度(N) $\times$ 内聚性,胶黏性多用于评价半固态食品,此处桑葚为固态食品,因此不再对胶黏性这一参数做讨论;黏附性(Adhesiveness)指第一次压缩曲线达到零点到第二次压缩曲线开始之间曲线的负面积 A_3 。硬度2为TPA试验第二次咀嚼时,样品所受的最大力,第一次压缩后样品变形程度对硬度2的影响较大,故仅对硬度1做分析。

2.2 不同探头测定桑葚质地特性分析

图2-A、C、E分别为P/2、P/5、P/10型探头测定的桑葚质地特征曲线。从图2中可以看出,3种探头所

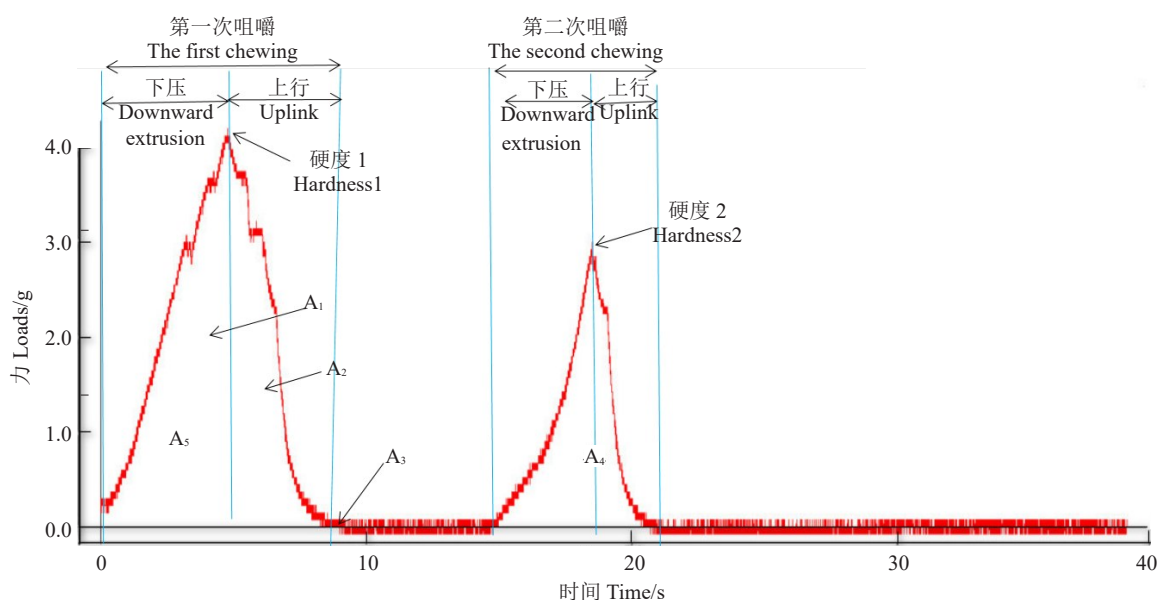
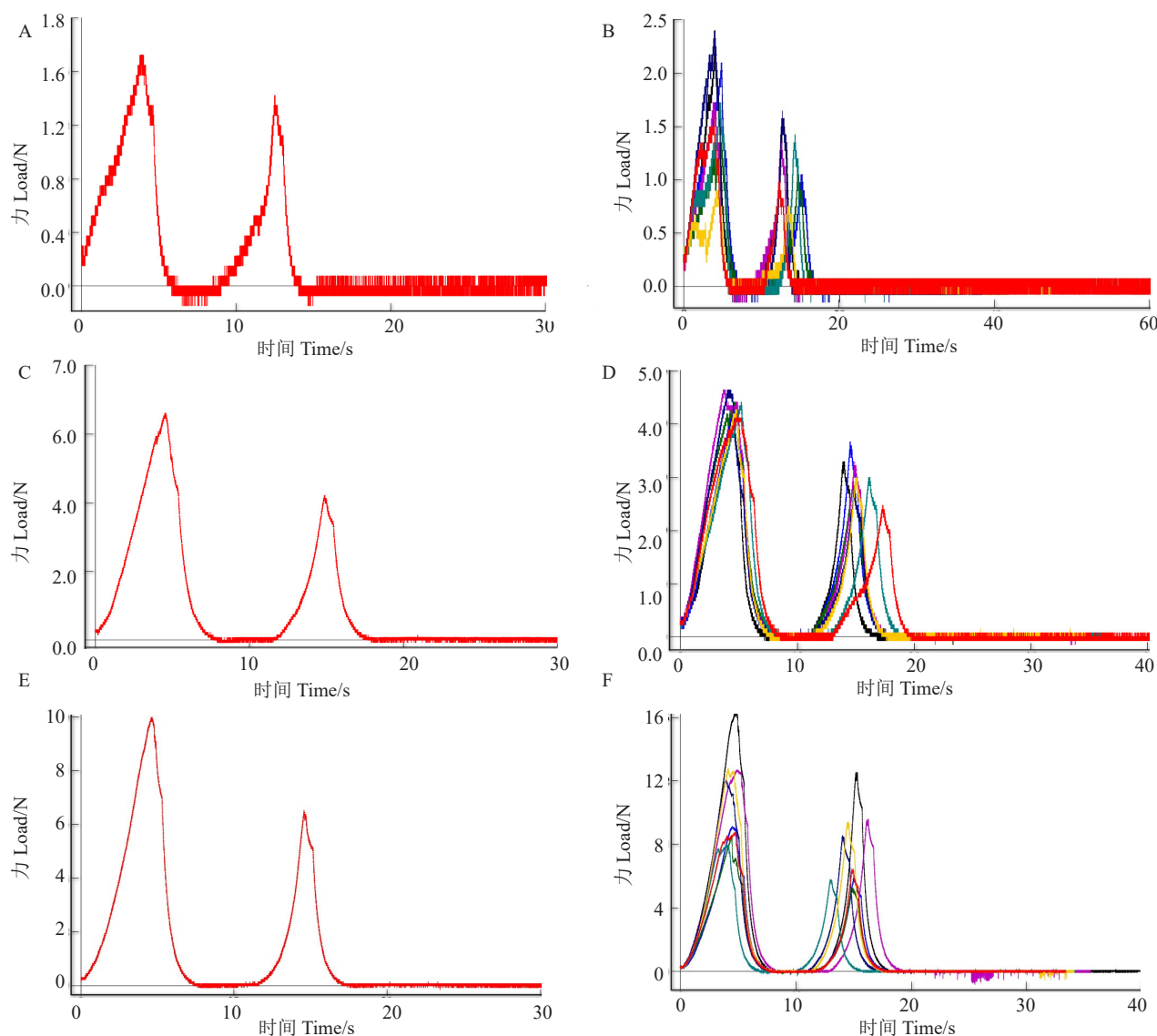


图1 桑葚TPA试验质地特征曲线

Fig. 1 Typical texture profile analysis curve of a mulberry



A. P/2 TPA 模式;B. P/2 TPA 模式,重复;C. P/5 TPA 模式;D. P/5 TPA 模式,重复;E. P/10 TPA 模式;F. P/10 TPA 模式,重复。

A. P/2 TPA model;B. P/2 TPA model, repetition;C. P/5 TPA model;D. P/5 TPA model, repetition;E. P/10 TPA model;F. P/10 TPA model, repetition.

图2 不同探头 TPA 模式下测定桑葚的质地特征曲线

Fig. 2 Characteristic curve of mulberry texture determined by different probes in the TPA models

展现出来的特征曲线趋势基本一致,均能反映桑葚的质地品质。而利用不同探头测定桑葚质地特性(表1)发现,不同探头测定指标存在显著差异。

图2-B、D、F与表1显示出P/2型探头应力面积

小,得到的桑葚质地品质的各指标在3种探头中最小,并且质地曲线变化较大,重合性不好;而使用P/10型探头应力面积过大,每个样品间所测试的各质地指标误差较大,得到的质地曲线重合性差异较大;而

表1 不同探头(P/2、P/5和P/10)测定桑葚质地特性

Table 1 Analysis of the results of texture differences reflected by probe (P/2, P/5 and P/10)

探头 Probe	硬度 Hardness/N	黏附性 Adhesiveness/mJ	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness/mm	咀嚼性 Chewiness/mJ
P/2	1.69±0.27 a	0.07±0.01 a	0.24±0.04 a	1.68±0.36 a	0.51±0.24 a
P/5	4.40±0.20 b	0.09±0.01 b	0.28±0.01 b	2.60±0.16 b	3.30±0.51 b
P/10	11.09±2.16 c	0.08±0.01 ab	0.26±0.04 ab	2.55±0.20 b	5.94±1.32 c

注:同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: Different small letters in same column mean significant difference at $p < 0.05$. The same below.

P/5型探头测试得到的质地指标一致性较好。因此,相比于P/2和P/10型探头,P/5型探头的TPA实验方案更适合分析桑葚的质地特性,能充分说明桑葚的质地特性。

2.3 各质地参数间的相关性

桑葚各质构参数之间相关性见表2。桑葚的黏附性和硬度、内聚性、弹性、咀嚼性之间的相关性较差,可能是由于该参数测试较困难,偏差相对较大所致。咀嚼性与硬度和内聚性呈较显著的相关性,是因为二者均能反映果实的坚实性,对应的是人体口腔中的触觉感受。桑葚的内聚性和咀嚼性、弹性的相关性较显著,说明该参数可与以上几项参数共同反映果实的质地特性,验证了它作为一项质地参数的可靠性。因此可以将硬度、内聚性、弹性、咀嚼性作为质地参数来反映桑葚质地品质的评价指标。

2.4 正交试验结果

由表3正交试验及极差分析表明,影响TPA测定桑葚质构性能的因素大小依次为形变量>最小感

表 2 桑葚 TPA 质地参数的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among textural parameters of the TPA test on mulberry

参数 Parameter	硬度 Hardness	黏附性 Adhesive- ness	内聚性 Cohesive- ness	弹性 Springiness	咀嚼性 Chewiness
硬度 Hardness	1				
黏附性 Adhesiveness	-0.196	1			
内聚性 Cohesiveness	0.096	0.064	1		
弹性 Springiness	0.530 **	0.082	0.369 **	1	
咀嚼性 Chewiness	0.929 **	-0.178	0.362 **	0.609 **	1

注: *表示差异显著($p < 0.05$); **表示差异极显著($p < 0.01$)。

Note: * and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level.

应元>最大感应元>测试速度,得到桑葚质构性能最佳条件为形变量50%,最大感应元400 N,最小感应元0.3 N,测试速度 $60\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。在此条件下进行TPA验证试验,得到桑葚的硬度是3.54 N,咀嚼

表 3 TPA 测定桑葚质构性能的正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal test for determination of texture properties of mulberry by TPA

试验编号 Treatment No.	因素 Factors				质构性能 Texture properties			
	测试速度 Testing speed/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	最小感应元 Minimum sensing element/N	最大感应元 Maximum sensing element/N	形变量 Deformation/ %	硬度 Hardness/ N	咀嚼性 Chewiness/ mJ	弹性 Springiness/ mm	内聚性 Cohesiveness
1	55	0.25	350	45	3.18	2.80	3.15	0.30
2	55	0.30	400	50	3.87	2.19	2.60	0.21
3	55	0.35	450	55	3.74	3.89	3.20	0.26
4	60	0.25	400	55	3.91	2.79	3.14	0.19
5	60	0.30	450	45	3.56	1.89	2.39	0.22
6	60	0.35	350	50	3.85	2.59	2.87	0.23
7	65	0.25	450	50	3.38	3.25	3.47	0.30
8	65	0.30	350	55	3.56	2.87	3.14	0.24
9	65	0.35	400	45	3.17	2.21	2.67	0.26
K ₁ 硬度 Hardness	3.60	3.49	3.53	3.30				
K ₂ 硬度 Hardness	3.77	3.66	3.65	3.70				
K ₃ 硬度 Hardness	3.37	3.59	3.56	3.74				
R ₁ 硬度 Hardness	0.40	0.17	0.12	0.44				
K ₁ 咀嚼性 Chewiness	2.96	2.95	2.75	2.30				
K ₂ 咀嚼性 Chewiness	2.42	2.32	2.40	2.68				
K ₃ 咀嚼性 Chewiness	2.78	2.90	3.01	3.36				
R ₁ 咀嚼性 Chewiness	0.54	0.63	0.61	1.06				
K ₁ 弹性 Springiness	2.98	3.25	3.05	2.74				
K ₂ 弹性 Springiness	2.80	2.71	2.80	2.98				
K ₃ 弹性 Springiness	3.09	2.92	3.02	3.16				
R ₁ 弹性 Springiness	0.29	0.54	0.25	0.42				
K ₁ 内聚性 Cohesiveness	0.26	0.26	0.26	0.26				
K ₂ 内聚性 Cohesiveness	0.21	0.22	0.22	0.25				
K ₃ 内聚性 Cohesiveness	0.27	0.25	0.26	0.23				
R ₁ 内聚性 Cohesiveness	0.06	0.04	0.04	0.03				

性是2.85 mJ,弹性是2.96 mm,内聚性为0.28。从正交试验中可以明显看出桑葚在不同条件下的质地变化,其中形变量是该试验最主要的影响因素。

3 讨 论

果实质地特性是决定其口感的重要因素,因此研究表征果实质地品质的参数从而反映果实品质具有重要意义。检测浆果质构品质常用的方法有质地剖面法和穿刺测试法,采用质构仪测试时,应根据测试样品本身的规格大小、型号、取样部位以及摆放方式等,选择合适的测试条件参数以及测试的关键指标^[22]。桑葚属于皮薄易碎的浆果类果实,穿刺测试针形探头接触面积较小,只能作用于桑葚的某一个聚花果及附近果实的质构品质,不能很好地反映整个果实的质地特性,因此穿刺试验不适合在桑葚品质鉴定中的应用。其他浆果如杨梅^[23]、番茄^[24]、草莓^[25]、樱桃番茄^[26]等均采用圆柱形平板探头进行TPA测试,该方法是通过模拟人的口腔咀嚼运动,可以一次提供多个参数,从细胞间结合力大小和组织结构等不同角度来反映果实物理性状^[27],因此,TPA测试适合在桑葚品质鉴定中的应用。

笔者采用TPA方法,对桑葚进行质地品质鉴定,发现桑葚的黏附性与硬度、内聚性、弹性、咀嚼性之间的相关性较差,弹性与硬度、内聚性、咀嚼性呈极显著正相关,陈青等^[23]以储存过程中杨梅果实为材料,发现杨梅果肉的黏着性与硬度、凝聚性、弹性、咀嚼性的相关性不显著,弹性与其他参数间相关性较差,而刘莉等^[27]以甜瓜为材料进行TPA测试时,黏着性与硬度、凝聚性、咀嚼性均呈极显著负相关,弹性与其他参数相关性均不显著。分析后推测研究试验材料不同,导致结果不一致。

该试验中也存在着一些不足,例如由于时间的原因,只研究了一种桑葚的质地特性,没有进行对比,今后将进一步探索其他桑葚品种的质构特性。

4 结 论

以桑葚作为试验对象,采用不同探头进行质构分析,发现P/5型探头适合桑葚的质地检测。通过正交实验分析,采用TPA方法进行桑葚质地品质检测时,设定形变量50%,最大感应元400 N,测试速度60 mm·min⁻¹,最小感应元0.3 N等参数,选取果实中部作为测试部位,所获得硬度、咀嚼性、内聚性和

弹性能较好地反映桑葚的质地特性。本试验初步建立了桑葚质地品质的鉴定方法,丰富了桑葚质地品质评价的内容,可为建立标准、规范的桑葚质地品质鉴定方法提供依据。

参考文献 References:

- [1] PEL P, CHAS H S, NHOEK P, KIM Y M, CHIN Y W. Chemical constituents with proprotein convertase subtilisin/kexin type 9 mRNA expression inhibitory activity from dried immature morus alba fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(26):5316-5321.
- [2] ADAM J, BILLING-MARCZAK K, JUSKIEWICZ J, KROTKIEWSKI M. Formulation of a mixture of plant extracts for attenuating postprandial glycemia and diet-induced disorders in rats[J]. Molecules, 2019, 24(20):3669-3680.
- [3] YUAN Q X, XIE Y F, WANG W, YAN Y H, YE H, JABBAR S, ZENG X X. Extraction optimization, characterization and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from mulberry (*Morus alba* L.) leaves[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128: 52-62.
- [4] 李冬香, 陈清西. 桑葚功能成分及其开发利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24):303-307.
LI Dongxiang, CHEN Qingxi. Study progress of functional ingredient and development in mulberry[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(24):303-307.
- [5] SINGHAL B K, KHAN M A, DHAR A, BAQUAL F M, BINDROO B B. Approaches to industrial exploitation of mulberry (*Morus* sp.) fruits[J]. Journal of Fruit & Ornamental Plant Research. 2010, 18(1):83-99.
- [6] 宋喜云, 任大文, 任术琦. 桑葚的营养保健功能与综合利用[J]. 中国食物与营养, 2004(8):22-24.
SONG Xiyun, REN Dawen, REN Shuqi. The nutrition and healthy function of mulberry and its comprehensive utilization[J]. Food and Nutrition in China, 2004(8):22-24.
- [7] 韩强, 郜海燕, 陈杭君, 房祥军, 穆宏磊, 周拥军, 吴伟杰. 臭氧处理对桑葚采后生理品质的影响及机理[J]. 中国食品学报, 2016, 16(10):147-153.
HAN Qiang, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, FANG Xiangjun, MU Honglei, ZHOU Yongjun, WU Weijie. Effects and mechanism of ozone treatment on mulberry postharvest physiological quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(10):147-153.
- [8] 蔡冲, 姜建中, 崔旭红, 钱佳颖. 桑葚采后微生物生长动力学预测模型的构建与品质评价[J]. 蚕业科学, 2018, 44(1):137-142.
CAI Chong, JIANG Jianzhong, CUI Xuhong, QIAN Jiaying. Construction and quality evaluation of postharvest microbial growth kinetic prediction model of mulberry[J]. Acta Sericologica Sinica, 2018, 44(1):137-142.
- [9] 霍宪起. 1-MCP对桑葚采后生理效应的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(2):310-313.
HUO Xianqi. Effect of 1-methylcyclo-propene treatment on post-harvest physiology of mulberry[J]. Food Science, 2011, 32

- (2):310-313.
- [10] 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(5):1-4.
SUN Cailing, TIAN Jichun, ZHANG Yongxiang. Application of TPA test mode in the study of food[J]. Experiment Science and Technology, 2007, 2(5):1-4.
- [11] 姜松,王海鸥. TPA 质构分析及测试条件对苹果 TPA 质构分析的影响[J]. 食品科学,2004,25(12):68-71.
JIANG Song, WANG Haiou. TPA and effect of experimental conditions on TPA test of apple slices[J]. Food Science, 2004, 25(12):68-71.
- [12] 赵爱玲,薛晓芳,王永康,任海燕,弓桂花,焦晋华,隋串玲,李登科. 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):113-123.
ZHAO Ailing, XUE Xiaofang, WANG Yongkang, REN Haiyan, GONG Guihua, JIAO Jinhua, SUI Chuanling, LI Dengke. Measuring texture quality of fresh jujube fruit using texture analyser[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(5):113-123.
- [13] 杨玲,肖龙,王强,张彩霞,丛佩华,田义. 质地多面分析(TPA)法测定苹果果肉质地特性[J]. 果树学报,2014,31(5):977-985.
YANG Ling, XIAO Long, WANG Qiang, ZHANG Caixia, CONG Peihua, TIAN Yi. Study on texture properties of apple flesh by using texture profile analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5):977-985.
- [14] 潘秀娟,屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报,2005,21(3):166-170.
PAN Xiujian, TU Kang. Comparison of texture properties of post-harvested apples using texture profile analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(3):166-170.
- [15] 王斐,姜淑琴,陈秋菊,欧春青,张文江,郝宁宁,马力,李连文. 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.
WANG Pei, JIANG Shuling, OU Chunqing, ZHANG Wenjiang, HAO Ningning, MA Li, LI Lianwen. Changes in fruit texture of crisp-flesh pear during fruit ripening[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(8):950-958.
- [16] 吴跃辉,李志坚,肖轲,张群,谢新华. 两个柑橘新品种果实耐贮性能研究初报[J]. 湖南农业科学,2012,3(2):77.
WU Yuehui, LI Zhijian, XIAO Ke, ZHANG Qun, XIE Xinhua. Preliminary report on storage property of orange fruit from two new orange varieties[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2012, 3(2):77.
- [17] 任朝晖,张昆明,李志文,农绍庄,张平. 质地多面分析(TPA)法评价葡萄贮藏期间果肉质地参数的研究[J]. 食品工业科技,2011,32(7):375-378.
REN Zhaohui, ZHANG Kunming, LI Zhiwen, NONG Shaozhuang, ZHANG Ping. Study on the evaluation of texture parameters of grape berry during storage by using texture profile analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7):375-378.
- [18] 徐志斌,励建荣,陈青. 杨梅果实采摘后品质变化规律的 TPA 表征[J]. 食品研究与开发,2009,30(2):114-117.
XU Zhibin, LI Jianrong, CHEN Qing. Study on textural properties of post-harvested chinese red bayberry by using TPA[J]. Food Research and Development, 2009, 30(2):114-117.
- [19] 李永红,张立莎,常瑞丰,王召元,陈湖,刘国俭. 质地多面分析三个桃品种果实采后质地的变化[J]. 北方园艺,2016(4):141-145.
LI Yonghong, ZHANG Lisha, CHANG Ruifeng, WANG Zhaoyuan, CHEN Hu, LIU Guojian. Change of texture properties of three peach varieties during postharvest storage by texture profile analysis[J]. Northern Horticulture, 2016(4):141-145.
- [20] 李丰廷,邹波,徐玉娟,肖更生,唐道邦,余元善,吴继军. 真空冷冻与热风联合干燥对桑葚干品质的影响[J]. 广东农业科学,2017,44(11):129-137.
LI Fengting, ZOU Bo, XU Yujuan, XIAO Gengsheng, TANG Daobang, YU Yuanshan, WU Jijun. Effect of freeze-hot air drying on the quality of dried mulberry[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2017, 44(11):129-137.
- [21] 宋钰兴,邵兴锋,张春丹,程塞. 测试条件的变化对草莓质地剖面分析结果的影响[J]. 食品科学,2011,32(13):15-18.
SONG Yuxing, SHAO Xingfeng, ZHANG Chundan, CHENG Sai. Effects of different test conditions on texture profile analysis parameters of strawberry fruits[J]. Food Science, 2011, 32(13):15-18.
- [22] 罗斌,赵有斌,尹学清,赵东林,杜志龙,何江涛. 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.
LUO Bin, ZHAO Youbin, YIN Xueqing, ZHAO Donglin, DU Zhilong, HE Jiangtao. Application progress of texture analyzer in the research of fruit and vegetable quality evaluation[J]. Food Research and Development, 2019, 40(5):209-213.
- [23] 陈青,励建荣. 杨梅果实贮藏过程中质地变化规律的研究[J]. 中国食品学报,2009,9(1):66-71.
CHEN Qing, LI Jianrong. Research on texture change regularity of the chinese bayberry during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2009, 9(1):66-71.
- [24] JACKMAN R L, GIBSON H J, STANLEY D W. Effects of chilling on tomato fruit texture[J]. Physiologia Plantarum, 2010, 86(4):600-608.
- [25] GUNNESS P, KRAVCHUK O, NOTTINGHAM S M, D'ARCY B R, GIDLEY M J. Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2):164-172.
- [26] 肖璐,郭风军,范新光,张振富,周志才,王美兰. RSM 法分析压缩程度与压缩速率对樱桃番茄 TPA 质地特性参数的影响[J]. 食品科技,2014,39(4):257-263.
XIAO Lu, GUO Fengjun, FAN Xinguang, ZHANG Zhenfu, ZHOU Zhicai, WANG Meilan. Influence of deformation rate and degree of compression on textural characteristic parameters of cherry tomato in texture profile analysis[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(4):257-263.
- [27] 刘莉,高星,华德平,刘翔,李志文,张平,李三培,张少慧. 不同的质构检测方法对甜瓜果肉质地评价[J]. 天津大学学报,2016,49(8):875-881.
LIU Li, GAO Xing, HUA Deping, LIU Xiang, LI Zhiwen, ZHANG Ping, LI Sanpei, ZHANG Shaohui. Evaluation of the textural properties of melon flesh by different texture test methods[J]. Journal of Tianjin University, 2016, 49(8):875-881.