

# 质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法研究

赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 任海燕, 弓桂花, 焦晋华, 隋串玲, 李登科\*

(山西省农业科学院果树研究所·果树种质创制与利用山西省重点实验室, 太原 030031)

**摘要:**【目的】系统研究质构仪不同探头、贯入速度及穿刺试验的果实成熟度和穿刺部位对枣果质地品质的影响, 为建立标准、规范的鉴定鲜枣果实质地品质的方法提供理论依据。【方法】以脆熟期‘壶瓶枣’果实为试材, 采用质构仪的位移模式, 用P/2和P/2n 2种探头进行对比试验, 以选取合适的仪器探头。设定探头P/2用不同贯入速度对‘壶瓶枣’‘相枣’和‘山东梨枣’3个品种的果实进行穿刺, 确定最佳贯入速度。分别对果实不同部位和不同成熟度进行比较, 确定最佳穿刺部位和果实成熟期。【结果】P/2探头最适合分析枣果质地品质; 贯入速度为 $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 时能较好地反映不同类型枣果质地特性; 脆熟全红期是鉴定不同类型枣果质地特性的最佳时期; 选择果实中部进行穿刺, 能更真实、准确地反映不同类型枣果的质地特性。【结论】初步建立了采用质构仪鉴定不同类型鲜枣果实质地品质的方法, 首次明确了枣果实成熟过程中质地性状的变化规律。

**关键词:** 鲜枣; 质构仪; 质地品质; 检测方法

中图分类号: S665.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)05-0631-11

## Measuring texture quality of fresh jujube fruit using texture analyser

ZHAO Ailing, XUE Xiaofang, WANG Yongkang, REN Haiyan, GONG Guihua, JIAO Jinhua, SUI Chuanling, LI Dengke\*

(Research Institute of Pomology, Shanxi Academy of Agricultural Science·Shanxi Key Laboratory of Germplasm Improvement and Utilization in Pomology, Taiyuan 030031, Shanxi, China)

**Abstract:** 【Objective】Traditionally, some adjectives such as compact, loose, crisp, soft and hard are used to define fruit texture, which are highly subjective and of low precision. Texture analyser has been used to measure the rheological properties of the whole fruit and quantify fruit texture indexes including hardness, strength, toughness, brittleness and firmness at the same time, which reflect the fruit properties objectively and accurately. Different probes and puncture speeds of the texture analyzer, puncture site of the fruit were studied on fresh jujube fruit at different maturity in order to establish unified method for measuring texture quality of fresh jujube fruit. 【Methods】(1) For selection of probe, the crisp ripe half red fruit of ‘Hupingzao’ was used as the material and tested with a TA.XT plus texture analyser. The displacement mode was used and two probes including P/2 (cylindricality, 2 mm in diameter) and P/2n (needle-like, 2 mm in diameter) were compared. The test speed of the probe was  $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  to a depth of 5 mm; the pre-test speed was  $1\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and the post-test speed  $10\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; the minimum induction force was 5 g; and the data acquisition rate was 400. Fruit samples were placed at the appropriate position on the loading table. The smooth surface at the middle part was used as the test surface. (2) For comparison of test speed, a P/2 probe was used. Different test speeds of  $1\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  were set to puncture the crisp ripe fruits of three varieties including ‘Hupingzao’, ‘Xiangzao’ and ‘Shandonglizao’ to determine the best test speed. The middle part of the fruit was punctured during the

收稿日期: 2017-11-29 接受日期: 2018-03-10

基金项目: 山西省资源平台建设项目(2015091004-0105); 国家科技支撑计划(2013BAD14B030101); 农业部农作物种质资源保护项目(NB2014-2130135-02); 农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室

作者简介: 赵爱玲, 女, 副研究员, 硕士, 研究方向为枣种质资源鉴定。Tel: 0354-6215025, E-mail: zhyb186@126.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0354-6215025, E-mail: ldkzao@126.com

test. The pre- and post-test speeds, minimum induction force, data acquisition rate and sample placement were the same as for probe selection. (3) For comparison of puncture sites of fruit, a P/2 probe and  $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  test speed were used, and texture parameters were measured at three sites including fruit shoulder, middle part and bottom part of the crisp ripe half red fruits of ‘Hupingzao’ and ‘linyilizao’. The other instrument parameters and sample placement method were the same as before. (4) For determination the best fruit ripening stage for the measurement, fruits at white ripe stage, crisp ripe half red stage, crisp ripe full red stage, full ripe stage (slightly soft full red) of four varieties including ‘Linyilizao’ ‘Lengbaiyuzao’ ‘Fengmiguanzao’ and ‘Popozao’ were measured at middle part. 【Results】(1) The puncture force of P/2n was concentrated at a point on the peel, and the force value of pericarp breaking could be used as the pericarp strength value. Therefore, the results from the P/2n probe did not fully reflect the pericarp texture. On the contrary, P/2 probe obtained more consistent values of mean flesh firmness and flesh fiber index. Therefore, the P/2 probe was more suitable for analyzing the texture quality of fresh jujube fruit. (2) Differences in the six textural parameters including pericarp strength, pericarp break distance, pericarp toughness, pericarp to pulp brittleness, mean flesh firmness and flesh fiber index of three varieties indicated that when the test speed was too small, the puncture time was too long, which increased the relative error. When the test speed was too high, relatively large impact force concealed subtle differences in fruit texture quality among varieties. Taking this into consideration, we recommended test speed of  $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  for measuring the texture properties of different varieties of jujube fruit. (3) The order of texture difference was inconsistent between the two test sites of fruit, i.e. fruit shoulder and fruit bottom. The puncture in the middle part of fruit was not only easy to operate, but also reflected the true characteristics of varieties. Therefore, the middle part of the fruit was the best puncture site. (4) The absolute values of pericarp strength, pericarp break distance, pericarp toughness, pericarp to pulp brittleness and mean flesh firmness decreased gradually with the ripening of the fruit; the pericarp strength, pericarp break distance and pericarp toughness increased again in the mature period; flesh fiber index showed a low-high-low tendency as the fruit became ripe. From white ripe stage to fully ripe stage, the fruit turned soft, and the texture parameters changed accordingly. At the full red crisp ripe stage, the accumulation of nutrients was the highest and was the best time for measuring texture properties of fresh jujube fruits. 【Conclusion】Texture quality of fresh jujube fruit is suggested to be measured at full red crisp ripe stage using a P/2 probe, a pre-test speed of  $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a test speed of  $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a post-test speed of  $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a minimum induction force of 5 g, and a data acquisition rate of 400. The smooth surface of the middle fruit part is chosen as the test site and the opposite side placed against the loading table was cut flat close to the stone. The obtained parameters including pericarp strength, pericarp break distance, pericarp toughness, pericarp to pulp brittleness, mean flesh firmness and flesh fiber index can accurately reflect the texture characteristics of flesh jujube fruit.

**Key words:** *Ziziphus jujuba* Mill.; Texture analyser; Fruit texture; Detecting method

枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)是原产中国的特色果树树种<sup>[1]</sup>。果实质地是果实品质的重要组成部分,质地还直接影响果实的商品性。果实质地评价主要包括感官评价和仪器测定 2 个方面,传统果实质地的评价用致密、疏松、酥脆、软、硬等指标,主观性较强,评价差异大<sup>[2]</sup>。近年来随着仪器设备的开发和

检测分析技术的完善,为果实质地的客观准确评价提供了可能。利用质构仪进行质地分析能较好地反映整个果实的流变学特征<sup>[3]</sup>,可根据果实自身的特点选取测试探头并编辑特定的运行程序,同时获得硬度、强度、韧性、脆性、坚实度等多项指标,数据精确,可克服传统感官评价主观性强的缺点,使得果实

质地品质评价的内容更加丰富和客观。

近年来,质构仪已广泛应用于国内外苹果<sup>[4-7]</sup>、梨<sup>[8-9]</sup>、柑橘<sup>[10]</sup>、桃<sup>[11]</sup>、葡萄<sup>[12]</sup>、枇杷<sup>[13]</sup>、杨梅<sup>[14]</sup>、荔枝<sup>[15]</sup>、杧果<sup>[16-17]</sup>、香蕉<sup>[18]</sup>等树种的果实质地分析,研究内容主要集中在采后以及贮藏过程中果实质地性状的差异和变化。国内外利用质构仪对枣果实质地特性的研究处于摸索阶段,主要采用质构仪质地多面分析法(texture profile analysis,TPA)和穿刺试验(cut test)<sup>[18-21]</sup>。Rahman等<sup>[22]</sup>采用典型TPA模式测定了枣片干制过程中随含水量的变化,样品的硬度、弹性、咀嚼性、内聚性等质地参数的变化。王德等<sup>[23]</sup>利用TPA模式比较了不同坐果期的果实成熟后质地参数的差异。马庆华等<sup>[20]</sup>用P/2n探头对冬枣果实做了穿刺分析方法的初步探究和冬枣果实3个发育时间段的简单比较,建立了适宜冬枣质地品质分析的方法。前人对枣果质地品质的研究主要针对某一品种,对不同质地类型品种间的研究鲜有报道。

笔者在前人研究的基础上,对质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法进行系统研究。选用‘相枣’、太谷‘壶瓶枣’和‘山东梨枣’、‘婆婆枣’和‘临猗梨枣’、‘蜂蜜罐’和‘临猗梨枣’等不同质地类型的果实,利用P/2、P/2n 2种探头和不同贯入速度对鲜枣果实质地品质进行分析,并对果实的不同成熟度和不同部位进行比较,旨在鉴定不同质地类型枣果的适宜探头、成熟度和测试部位,为客观准确反映不同质地类型枣果的质地特性,并建立标准、规范的枣果质地品质鉴定评价方法提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于2015—2016年在山西省农业科学院果树研究所果树种质创制与利用山西省重点实验室进行。试材为感官可区分的果实不同质地类型枣品种,详见表1。样品均采自山西省农业科学院果树研究所国家枣种质资源圃。试验地立地条件和管理水平一致,样本树均为正常生长的成年结果树。分白熟期、脆熟半红期、脆熟全红期和完熟期(全红变软)4个时期进行采样,每次采果形端正、大小和成熟度一致、无病虫害和机械损伤的果实20~30个,带回实验室,当天进行果实质地品质各项指标的测定。

表1 不同品种枣果质地感官评价  
Table 1 Sensory evaluation on texture of different jujube varieties

编号 Num- ber	品种 Variety	单果质量 Single fruit mass/g	果皮厚度 Preicarp thickness	果肉质地 Flesh texture	果肉粗细 Flesh coarseness
1	壶瓶枣 Hupingzao	19.0	中 Intermediate	较致密 Intermediate	中 Intermediate
2	蜂蜜罐 Fengmiguang	9.2	薄 Thin	酥脆 Crisp	细 Delicate
3	冷白玉 Lengbaiyu	18.5	薄 Thin	较致密 Intermediate	细 Delicate
4	临猗梨枣 Linyilizao	31.6	中 Intermediate	酥脆 Crisp	中 Intermediate
5	山东梨枣 Shandonglizao	22.4	薄 Thin	较致密 Intermediate	细 Delicate
6	相枣 Xiangzao	19.1	厚 Thick	致密 Compact	粗 Crude
7	婆婆枣 Popozao	14.1	厚 Thick	致密 Compact	粗 Crude

### 1.2 方法

1.2.1 仪器探头和贯入模式的选择 使用英国 Stable Micro Systems 公司生产的 TA.XT plus 质构仪,采用‘壶瓶枣’和‘蜂蜜罐’2个枣品种脆熟半红期的果实进行不同探头和2种测试模式的对比。

位移模式下比较P/2(柱形,直径2 mm)和P/2n(针状,直径2 mm)2种探头所测得枣果质地参数。贯入深度在最大限度地保证检测深度的同时,避免探头触到果核,根据所选枣品种果实的大小,将穿刺深度设为5 mm。设定测前速度为1 mm·s<sup>-1</sup>,贯入速度为1 mm·s<sup>-1</sup>,测后速度为10 mm·s<sup>-1</sup>,最小感应力5 g,数据采集率400。测试时选取果实阳面中部较平整的部分作为测试面,将相对的一面贴近果核用小刀削成一个平面,置于载物台上合适的位置,使探头贯入时正对果实中部。

采用P/2探头,进行位移和力2种测试模式的对比。位移模式设定仪器参数同上,力的模式不设定贯入深度,设定最大感应力为4 kg时结束测试,其他条件不变。

1.2.2 不同贯入速度的选择 采用P/2探头力的模式,选用1 mm·s<sup>-1</sup>、2 mm·s<sup>-1</sup>和5 mm·s<sup>-1</sup>3种不同的贯入速度,对‘壶瓶枣’‘相枣’和‘山东梨枣’3个不同质地类型品种脆熟半红期的果实进行测试。设定测前速度为1 mm·s<sup>-1</sup>,测后速度为10 mm·s<sup>-1</sup>,最小感应力5 g。

1.2.3 果实穿刺部位和成熟期的选择 采用P/2探头,设定测前速度为1 mm·s<sup>-1</sup>,贯入速度2 mm·s<sup>-1</sup>,测

后速度为  $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小感应力  $5 \text{ g}$ 。位移模式, 贯入深度  $5 \text{ mm}$ 。利用‘壶瓶枣’和‘临猗梨枣’脆熟半红期的果实进行果实肩部、中部和底部 3 个不同部位的穿刺比较。对‘临猗梨枣’‘冷白玉’‘蜂蜜罐’和‘婆婆枣’4 个品种白熟期、脆熟半红期、脆熟全红期和完熟期(全红稍软)4 个时期的果实进行比较试验, 穿刺部位选取果实中部。

每份试验样品选取 20~30 个果实进行重复测试。

### 1.3 数据统计

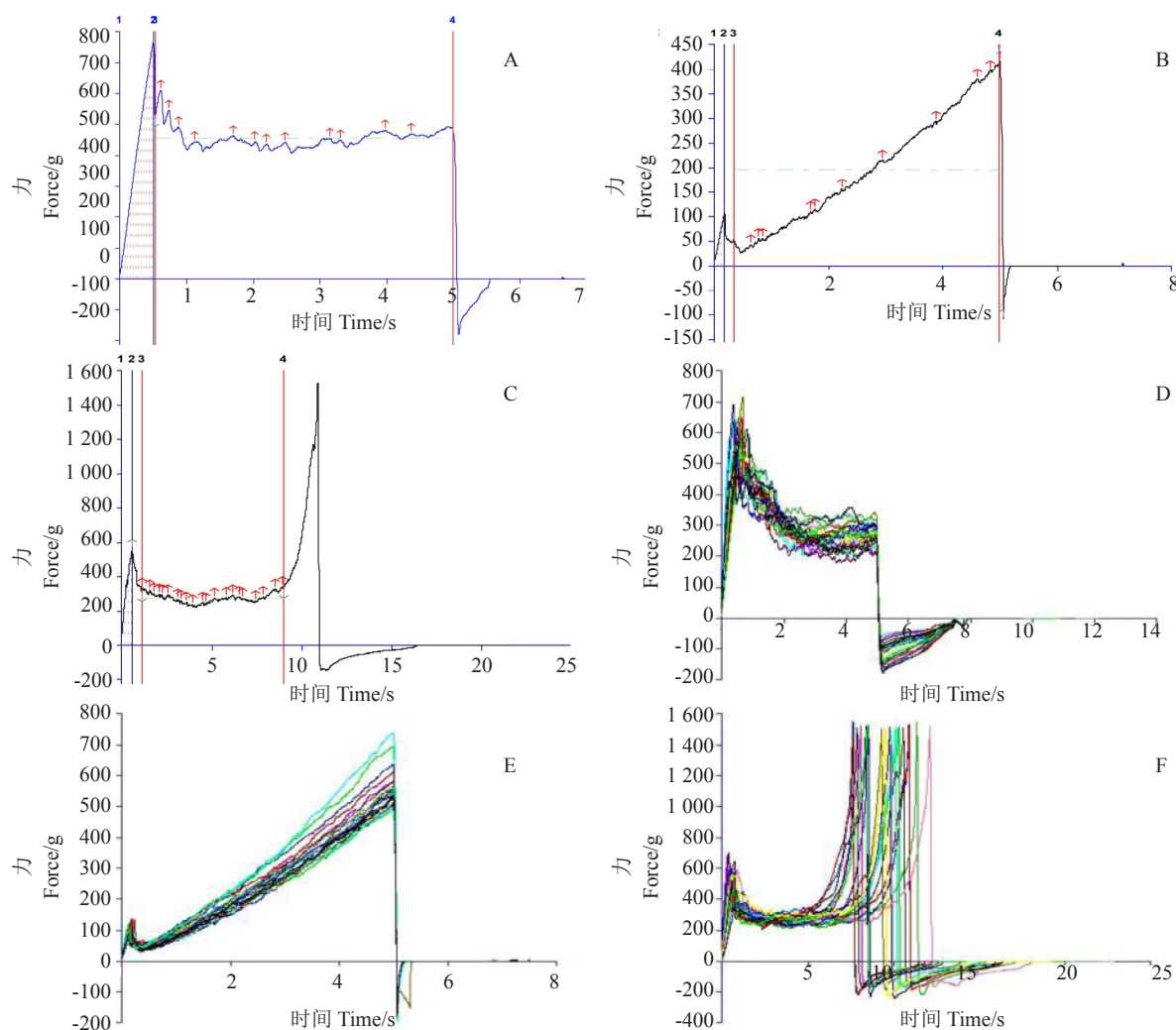
测试数据取 2 a(年)重复测定的平均值, 数据用 SAS 软件进行统计分析, Duncan 新复极差法检验差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同探头及贯入模式对枣果质地参数的影响

采集‘壶瓶枣’脆熟半红期的果实分别用不同的探头进行穿刺试验, 参考 Camps 等<sup>[3]</sup>、马庆华等<sup>[20]</sup>的方法, 结合枣果特殊性, 对 Macro 程序进行编辑, 得到‘壶瓶枣’的质地曲线(力·时间<sup>-1</sup>)如图 1 所示, 所有特征曲线分别在 4 个位置下锚进行参数的运算, 锚 1 均在曲线的起点位置。通过质地检测, 可以分别获得果皮破裂时的力、果皮强度、果皮破裂距离、果皮韧性、果肉跌落脆性、果肉平均坚实度、果肉纤维指数等特征参数。

P/2 探头在第 1 秒之内最高峰下锚 2, 锚 2 的力



A. P/2 位移模式; B. P/2n 位移模式; C. P/2 力的模式; D. P/2 位移模式, 重复; E. P/2n 位移模式, 重复; F. P/2 力的模式, 重复。

A. P/2 Distance; B. P/2n Distance; C. P/2 Force; D. P/2 Distance, repetition; E. P/2n Distance, repetition; F. P/2 Force, repetition.

图 1 不同探头和模式测定‘壶瓶枣’的质地特征曲线

Fig. 1 Characteristic curve of ‘Hupingzao’ texture determined by different probes and models

值为果皮破裂时的力(g),锚2的力值与探头横截面的比值为果皮强度( $g \cdot mm^{-2}$ ),锚1、锚2间的运行距离为果皮破裂距离(mm),锚2的力值与锚1:2运行时间(s)的乘积为果皮韧性( $g \cdot s$ ),在锚2后的第1峰谷下锚3作为果肉组织的起点,锚2的力值与锚2:3运行时间(s)的比值为果肉跌落脆性( $g \cdot s^{-1}$ ),在曲线上寻找力值迅速下降的拐点下锚4,锚3与锚4之间的平均力值为果肉平均坚实度(g)。锚3与锚4之间曲线上的箭头表示超过设置感应力阈值的峰个数,即果肉纤维指数。

P/2n 探头在特征参数计算时不同的是:在曲线第1峰处下锚2,以锚2的力值作为果皮破裂时的力,第1峰后0.2 s下锚3,作为果肉组织的起点,在曲线上寻找最高峰下锚4,锚4的力值为果肉最大硬度(g)。

P/2 探头力的模式与位移模式参数计算不同的是,锚4在锚3后力值迅速上升的拐点处,即探头穿透果肉到达果核的位置。

通过仪器探头的比较试验发现,P/2n 探头由于没有应力面积,穿刺时的作用力集中于果皮上的一点,只能以果皮破裂时的力值作为果皮强度的数值,对果皮质地的反映不够准确,与P/2 探头比较,同样贯入速度和贯入深度下所获得的果肉平均坚实度和果肉纤维指数不如P/2 探头均匀一致。P/2 探头穿刺可较好地反映枣果质地品质的常用指标,因此P/2 探头更适用于鲜枣果实质地品质的分析。

利用P/2 探头力的模式进行穿刺试验是在最大感应力4 kg 时结束测试,此时探头已贯穿果肉到达果核位置。与位移模式相比可以多得到一项果肉厚度数据,且所获得的果肉平均坚实度和果肉纤维指数能更全面地反映果肉的特性。

### 2.2 不同贯入速度对枣果质地品质的影响

使用P/2 探头,采用3种不同的贯入速度对‘壶瓶枣’、‘相枣’和‘山东梨枣’3个不同质地的枣品种脆熟半红期果实进行测试,结果见表2。

3种贯入速度相比,果皮强度、果皮破裂距离和

表2 不同贯入速度对枣果质地品质的分析

Table 2 Analysis of fruit texture using different injection speeds

贯入速度 Injection speed/ ( $mm \cdot s^{-1}$ )	品种 Variety	果皮强度 Pericarp strength/ ( $g \cdot mm^{-2}$ )	果皮破裂距离 Pericarp break distance/mm	果皮韧性 Pericarp toughness/( $g \cdot s$ )	果肉跌落脆性 Pericarp to pulp brittleness/( $g \cdot s^{-1}$ )	果肉平均坚实度 Mean pulp firmness/g	果肉纤维指数 Pulp fiber index
1	山东梨枣 Shandonglizao	278.00±25.12 a	0.783±0.14 a	208.29±44.59 b	-2 671±793.77 a	501.64±21.16 a	13.22±2.06 ab
	相枣 Xiangzao	303.25±28.93 a	0.817±0.14 a	326.29±57.41 a	-3 866±663.57 a	513.07±31.40 a	15.63±2.88 a
	壶瓶枣 Hupingzao	234.86±14.09 b	0.809±0.22 a	218.55±49.00 b	-5 975±728.76 a	445.02±10.81 b	9.43±1.73 b
2	山东梨枣 Shandonglizao	275.63±10.72 b	0.533±0.06 b	122.20±8.27 b	-5 411±913.83 a	474.96±35.08 b	14.78±2.76 a
	相枣 Xiangzao	333.11±40.77 a	0.722±0.16 a	214.97±15.09 a	-7 456±953.72 a	553.53±35.92 a	14.67±2.51 a
	壶瓶枣 Hupingzao	273.22±31.25 b	0.565±0.05 ab	133.07±9.93 b	-13 551±973.07 b	481.03±33.26 b	11.50±1.21 b
5	山东梨枣 Shandonglizao	264.43±20.71 b	0.635±0.12 a	56.62±7.87 ab	-6 993±522.19 a	445.95±26.99 b	10.14±1.84 a
	相枣 Xiangzao	347.50±29.69 a	0.604±0.08 a	66.55±8.49 a	-11 472±794.70 ab	530.07±59.54 a	10.10±1.66 a
	壶瓶枣 Hupingzao	252.23±28.81 b	0.549±0.08 a	46.00±8.86 b	-15 106±1 004.37 b	447.09±36.88 b	8.15±1.52 b

注:不同小写字母表示在  $p < 0.05$  差异显著。下同。

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

果皮韧性均是‘相枣’最大。果皮强度值是‘壶瓶枣’最小,‘山东梨枣’介于二者之间,贯入速度为  $1 mm \cdot s^{-1}$  时,‘山东梨枣’和‘相枣’无显著差异,‘壶瓶枣’与其他2个品种差异显著。贯入速度为  $2 mm \cdot s^{-1}$  和  $5 mm \cdot s^{-1}$  时,‘相枣’与其他2个品种差异显著,而‘山东梨枣’与‘壶瓶枣’无显著差异。仅当贯入速度为  $2 mm \cdot s^{-1}$  时,果皮破裂距离在品种间存在显著差异。3种速度下不同品种间果皮韧性存在显著差异。在  $1 mm \cdot s^{-1}$  和  $2 mm \cdot s^{-1}$  时,‘相枣’最高,‘山东

梨枣’最低;而  $5 mm \cdot s^{-1}$  速度下则是‘相枣’最高,‘壶瓶枣’最低,与其他2个速度测试的品种顺序不同。

‘壶瓶枣’的果肉跌落脆性绝对值最大,在  $1 mm \cdot s^{-1}$  时3个品种间无显著差异,随测试速度的增大,品种间差异显著性也增大。果肉平均坚实度为‘相枣’最大,贯入速度为  $2 mm \cdot s^{-1}$  和  $5 mm \cdot s^{-1}$  时,‘相枣’与其他2个品种存在显著差异;贯入速度为  $1 mm \cdot s^{-1}$  时,‘相枣’和‘山东梨枣’差异不显著。‘壶瓶枣’果肉纤维指数最小,与其他2个品种差异显

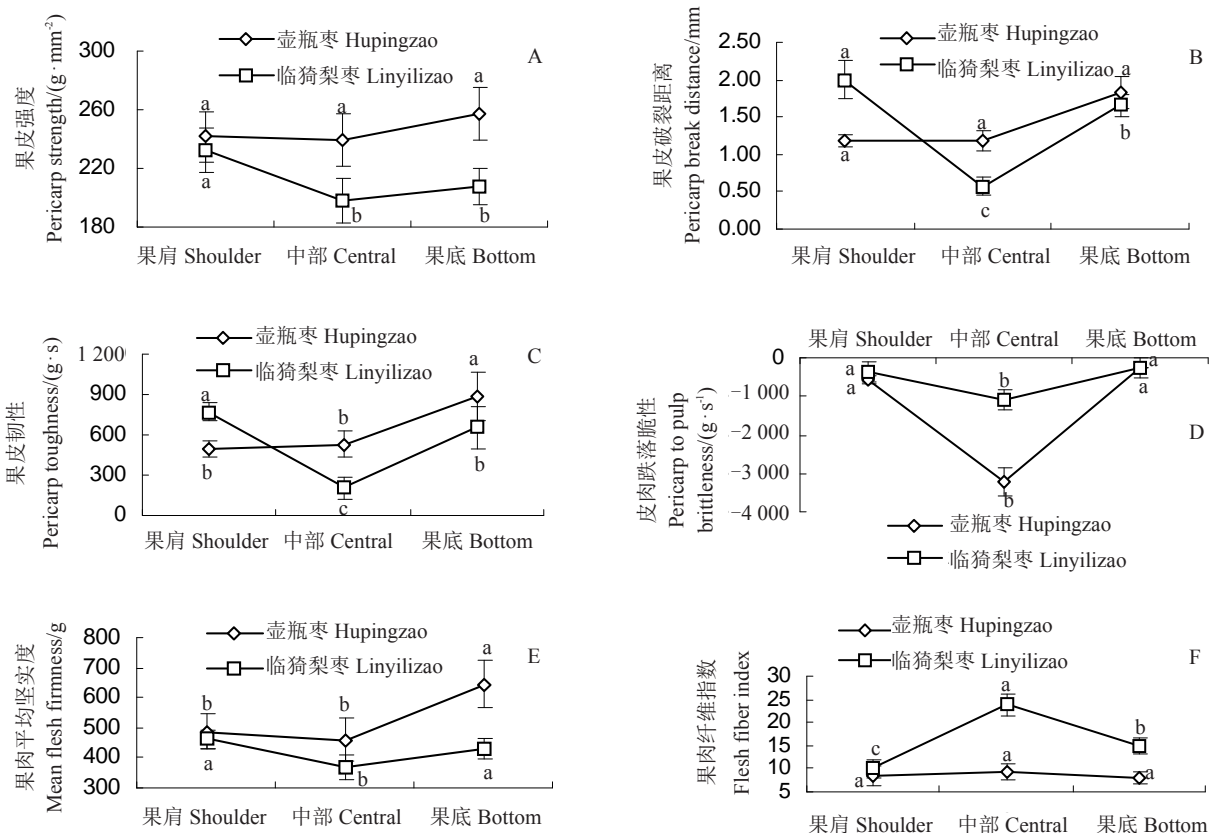
著,而‘相枣’和‘山东梨枣’差异不显著。随测试速度的增大,果肉纤维指数减小,品种间的差异也减小。

综合考虑6项质地数据,贯入速度太小时,穿刺时间较长;贯入速度太大时,形成相对较大的冲击力,相对误差较大,过大或过小都容易掩盖品种资源间果实质地的细微差异,贯入速度为 $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,则能较好地反映不同类型枣果实的质地特性。

### 2.3 不同穿刺部位对枣果质地品质的影响

利用‘临猗梨枣’和‘壶瓶枣’脆熟半红期的果实进行了果实肩部、中部和底部3个不同部位的穿刺比较,结果见图2。‘临猗梨枣’果实不同部位之间果皮和果肉的各项质地特征数据均存在显著差异。果皮强度、果皮破裂距离、果皮韧性和果肉平均坚实度4个特征参数都是果实中部最低,分别为 $198.11\text{ g}\cdot\text{mm}^{-2}$ 、 $0.576\text{ mm}$ 、 $207.33\text{ g}\cdot\text{s}$ 、 $368.36\text{ g}$ 。果肉跌落脆性的绝对值和果肉纤维指数则是果实中部最高,分别为 $1\ 085.34\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $23.78$ 。果皮强度是果肩部

与果实中部和果底部差异显著,中部和底部之间无显著差异;果皮破裂距离和果肉纤维指数在3个部位间均存在显著差异;果皮韧性、果肉跌落脆性和果肉平均坚实度3项特征数据是果实中部与果肩和果底部差异显著,果肩和果底差异不显著。‘壶瓶枣’果皮破裂距离和果皮韧性是果实底部最高,分别为 $1.818\text{ mm}$ 和 $881.60\text{ g}\cdot\text{s}$ ;果皮强度和果肉平均坚实度是果实中部最低,分别为 $257.63\text{ g}\cdot\text{mm}^{-2}$ 和 $645.28\text{ g}$ ;果肉跌落脆性的绝对值和果肉纤维指数也是果实中部最高,分别为 $3\ 215.51\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $9.43$ 。果皮强度、果皮破裂距离、果皮韧性和果肉纤维指数4项质地参数在3个不同部位间都不存在显著差异;果肉跌落脆性是果实中部与果肩和果底差异显著,肩部和底部之间差异不显著;果肉平均坚实度则是果实底部与果实肩部和中部差异显著,肩部和中部之间差异不显著。可见不同品种的果实,不同部位间的果皮和果肉质地差异不一致,如‘壶瓶枣’果肩部果皮厚度为 $75.34\text{ }\mu\text{m}$ ,果肉空腔大而多;中部为 $77.03$



A. 果皮强度; B. 果皮破裂距离; C. 果皮韧性; D. 果肉跌落脆性; E. 果肉平均坚实度; F. 果肉纤维指数。

A. Pericarp strength; B. Pericarp break distance; C. Pericarp toughness; D. Pericarp to pulp brittleness; E. Mean flesh firmness; F. Flesh fiber index.

图 2 2 个品种果实不同穿刺部位枣果质地特征参数比较

Fig. 2 Comparison of texture parameters obtained from different positions of fruits in 2 varieties

μm, 果肉空腔大得多; 底部为 76.33 μm, 果肉空腔少而小; ‘彬县晋枣’ 果肩部果皮较厚为 73.24 μm, 果肉空腔大得多; 中部为 67.60 μm, 果肉空腔少而小; 底部为 66.25 μm, 果肉空腔少而小。但 2 个品种果皮强度和果肉平均坚实度都是果实中部最低, 果肉纤维指数和果肉跌落脆性的绝对值都是果实中部最高。果实中部果肉组织较均匀一致, 更能代表不同品种果实的质地特性, 用质构仪进行不同枣品种果实质地品质鉴定应选择果实中部进行穿刺分析。

2.4 不同成熟期对枣果质地品质的影响

对‘临猗梨枣’‘冷白玉’‘蜂蜜罐’和‘婆婆枣’4 个品种白熟期、脆熟半红期、脆熟全红期和完熟期

(全红稍软)4 个时期的果实进行比较试验, 综合分析结果(表 3)表明, 果皮强度变化范围为 220.13~336.62 g·mm<sup>-2</sup>, 随果实成熟度的递进逐渐下降, 各发育时期差异显著; 4 个时期果皮破裂距离分别为 0.750、0.671、0.626 2、1.644 mm, 从果实白熟期到脆熟全红期逐渐下降, 完熟期则升高, 脆熟半红和全红期间无显著差异, 其他时期之间差异显著; 果皮韧性变化范围为 256.64~577.12 g·s, 变化规律与果皮破裂距离一致, 各时期之间均存在显著差异。果肉跌落脆性绝对值和果肉平均坚实度均随果实成熟度的递进逐渐下降, 各发育时期之间差异显著, 果肉跌落脆性绝对值为白熟期最高(5 949.2 g·s<sup>-1</sup>), 完熟期最

表 3 4 个品种不同成熟期果实质地特征参数比较  
Table 3 Comparison of texture parameters obtained from fruits at different maturing stages in 4 varieties

品种 Variety	成熟期 Mature stage	果皮强度 Pericarp strength/ (g·mm <sup>-2</sup> )	果皮破裂距离 Pericarp break distance/mm	果皮韧性 Pericarp toughness/(g·s)	果肉跌落脆性 Pericarp to pulp brittleness/(g·s <sup>-1</sup> )	果肉平均坚实度 Mean flesh firmness/g	果肉纤维指数 Flesh fiber index
蜂蜜罐 Fengmiguān	白熟期 White maturing	263.89±27.26 a	0.548±0.044 b	247.92±28.22 b	-5 675.0±752.53 c	365.03±24.94 a	22.67±4.58 a
	半红期 Semi-red crisp maturing	238.06±18.42 a	0.532±0.051 b	223.17±29.73 b	-3 771.0±605.37 b	340.56±26.50 b	24.89±4.57 a
	全红期 Full-red crisp maturing	179.00±14.47 b	0.667±0.053 b	208.65±22.97 b	-1 094.0±182.71 a	289.07±14.19 c	13.33±3.43 b
	完熟期 Complete maturing	172.89±20.65 b	1.374±0.162 a	369.73±10.04 a	-616.0±85.99 a	209.46±22.73 d	1.78±0.39 c
冷白玉 Lengbaiyu	白熟期 White maturing	317.42±28.81 a	0.690±0.050 b	378.70±38.76 b	-4 573.0±604.40 c	454.57±39.78 a	17.85±2.76 a
	半红期 Semi-red crisp maturing	263.00±17.02 b	0.589±0.056 b	255.52±26.56 b	-1 779.0±466.26 b	390.91±29.05 b	23.38±4.18 a
	全红期 Full-red crisp maturing	242.30±21.37 b	0.659±0.073 b	291.72±35.34 b	-1 544.0±204.86 b	388.43±33.54 b	20.40±2.94 a
	完熟期 Complete maturing	238.63±25.36 b	1.981±0.104 a	705.21±58.83 a	-250.0±31.92 a	239.86±10.35 c	2.23±0.56 b
临猗梨枣 Linyilizao	白熟期 White maturing	268.56±21.50 a	0.742±0.071 b	339.81±23.95 b	-11 244.0±2 001.05 c	402.91±24.65 a	11.28±3.45 c
	半红期 Semi-red crisp maturing	249.70±26.53 b	0.626±0.081 bc	278.71±30.46 bc	-6 345.0±635.40 b	421.93±32.58 a	21.00±6.56 b
	全红期 Full-red crisp maturing	247.07±17.91 b	0.472±0.023 c	177.54±21.78 c	-2 782.0±519.98 a	409.23±34.21 a	26.29±3.22 a
	完熟期 Complete maturing	195.14±27.28 c	1.541±0.174 a	545.42±58.94 a	-1 102.0±118.37 a	360.31±25.35 b	3.90±1.10 d
婆婆枣 Popozao	白熟期 White maturing	455.55±36.29 a	0.926±0.076 b	743.96±89.79 ab	-3 095.7±206.11 c	645.13±48.85 b	5.40±1.00 b
	半红期 Semi-red crisp maturing	396.05±14.87 b	0.839±0.073 bc	630.07±63.40 b	-1 285.2±118.24 b	711.39±63.10 a	5.85±1.17 b
	全红期 Full-red crisp maturing	320.67±24.72 c	0.725±0.054 c	402.43±36.31 c	-1 309.1±156.06 b	494.21±43.32 c	7.44±1.20 a
	完熟期 Complete maturing	299.31±18.25 c	1.821±0.135 a	873.38±52.02 a	-417.7±36.45 a	448.40±35.10 d	2.33±0.44 c
品种综合 Varieties composite	白熟期 White maturing	336.62±59.82 a	0.750±0.154 b	453.06±106.06 b	-5 949.2±840.11 c	483.00±84.42 a	13.41±5.87 c
	半红期 Semi-red crisp maturing	275.42±49.36 b	0.671±0.214 c	352.29±158.67 c	-2 937.8±722.84 b	463.05±82.94 b	17.53±6.18 a
	全红期 Full-red crisp maturing	233.90±62.49 c	0.626±0.145 c	256.64±109.69 d	-1 564.6±338.79 ab	362.84±94.69 c	15.41±3.40 b
	完熟期 Complete maturing	220.13±46.39 d	1.644±1.2 a	577.12±144.54 a	-815.8±351.39 a	327.06±41.11 d	2.38±1.77 d

低 ( $815.8 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 果肉平均坚实度变化范围为  $327.06\text{--}483.00 \text{ g}$ ; 果肉纤维指数变化范围为  $2.38\text{--}17.53$ , 随果实成熟度的递进呈低-高-低的趋势, 各时期之间差异显著。就单个品种而言, 枣果不同成熟期质地参数的变化规律基本一致, 但也有个别参数的变化同上述规律不同, 4 个品种的具体差异如下。

‘蜂蜜罐’‘冷白玉’‘临猗梨枣’和‘婆婆枣’4 个品种的果皮强度均随果实成熟逐渐变小。‘蜂蜜罐’白熟期果皮强度与脆熟半红期无显著差异, 脆熟全红期和完熟期无显著差异, 但前 2 个时期与后 2 个发育时期之间差异显著; ‘冷白玉’白熟期果皮强度与脆熟半红、全红期和完熟期之间有显著差异, 其他 3 个时期之间差异不显著; ‘临猗梨枣’脆熟半红期果皮强度与全红期差异不显著, 其他时期之间差异均达显著水平; ‘婆婆枣’脆熟全红期果皮强度和完熟期间无显著差异, 其他时期之间均存在显著差异。

果皮破裂距离和果皮韧性 2 项参数值在 4 个品种中均为完熟期最高, 且与其他 3 个时期差异显著。‘蜂蜜罐’和‘冷白玉’白熟、脆熟半红和全红 3 个时期之间差异不显著; ‘临猗梨枣’则是脆熟半红期 2 项参数值与白熟期和脆熟全红期之间差异不显著, 其他各时期间的差异达显著水平; ‘婆婆枣’脆熟半红期果皮破裂距离与白熟期和脆熟全红期间差异不显著, 白熟期果皮韧性与脆熟半红和完熟期间差异不显著。

4 个品种白熟期的皮肉跌落脆性绝对值最高, 随果实成熟逐渐降低, 与综合分析结果一致; ‘冷白玉’和‘婆婆枣’半红与全红期无显著差异; ‘蜂蜜罐’和‘临猗梨枣’脆熟全红和完熟期间无显著差异, 其他时期之间均存在显著差异。

‘蜂蜜罐’和‘冷白玉’的果肉平均坚实度与综合分析结果一致, 只有‘冷白玉’脆熟半红期果肉平均坚实度与全红期间无显著差异, 其他时期之间均存在显著差异; ‘临猗梨枣’脆熟半红期果肉平均坚实度略高于白熟期, 且前 3 个时期无显著差异; ‘婆婆枣’的果肉坚实度则是脆熟半红期最高, 催熟全红和完熟期间差异不显著, 这与综合分析结果不符。

4 个品种的果肉纤维指数均随果实成熟度的递进呈低-高-低的趋势, 但‘蜂蜜罐’和‘冷白玉’脆熟半红期果肉纤维指数最高, ‘临猗梨枣’和‘婆婆枣’则是脆熟全红期最高, 这与综合分析结果不一致。

‘蜂蜜罐’白熟期果肉纤维指数与半红期间无显著差异, 半红期后的 3 个时期之间差异显著; ‘冷白玉’前 3 个时期的果肉纤维指数间均无显著差异, 只有完熟期与其他时期之间差异达显著水平; ‘临猗梨枣’4 个发育时期的果肉纤维指数均存在显著差异; ‘婆婆枣’期白熟果肉纤维指数和半红期差异不显著, 其他时期均存在显著差异。

从白熟到完熟期, 果实由硬变软, 各项质地参数相应发生变化。从果皮破裂距离、果皮韧性和果肉纤维指数随发育时期的变化趋势来看, 脆熟全红期是趋势线的转折点, 之后枣果将失水变软。

## 3 讨 论

### 3.1 适宜枣果实的质构仪分析方法

利用质构仪分析果实质地品质主要有质地多面分析法(TPA)、穿刺试验(puncture test)和剪切试验(cut test)。刘亚平等<sup>[24]</sup>提出, 质构仪测试应针对不同的果蔬样品选择合适的测试模式和合理的表述参数, 才能更好地表述该样品的特性。TPA 被广泛应用于水果和食品的质地分析, 该方法能模拟人的咀嚼过程<sup>[25-27]</sup>。苹果、梨、桃等树种由于果实大, 便于打孔取材和压缩操作, 多采用 TPA 分析<sup>[28]</sup>。而不同品种枣果个大小不一, 对 TPA 要求的体积取样困难, 且该方法不能得到果皮性状数据, 因此 TPA 模式不适宜用在鲜枣果实品质鉴定中。这与马庆华等<sup>[29]</sup>对冬枣的研究结果一致。为了使建立的方法具有普遍适用性, 笔者选择感官可区分的不同质地类型枣果实进行研究。在探头、参数选择和贯入速度上进行改进和优化, 利用 P/2 探头对鲜枣果实进行整果穿刺试验, 所得到的果皮强度、果肉平均坚实度能更准确地反映果皮和果肉的特性, 新增加的皮肉跌落脆性和果肉纤维指数 2 项参数可以更全面地描述果实的质地。另外, 前人采用的位移模式在不同品种鉴定时, 若用统一的方法进行批量测试, 穿刺深度只能以果个儿最小品种果实的果肉厚度决定, 而对于果个儿大的品种果实只能刺入部分果肉, 所获得的果肉数据具有片面性。采用力的模式进行穿刺不仅可以多得到一项果肉厚度数据, 且所获得的果肉平均坚实度和果肉纤维指数能更全面、更准确地反映果肉质特性。

### 3.2 枣果质地适宜的鉴定时期和部位

通过对果实白熟期、脆熟半红期、脆熟全红期和



完熟期4个时期进行果实质地变化的动态研究,发现果皮强度、果皮破裂距离、果皮韧性、果肉跌落脆性的绝对值和果肉平均坚实度这5个参数在果实白熟期、脆熟半红期、脆熟全红期都是随成熟度的增加而显著降低,果皮破裂距离和果皮韧性是完熟期最高。王斐等<sup>[30]</sup>对脆肉梨果实成熟过程中质地性质变化的研究也表明,果皮硬度、果肉硬度和果肉脆度也随果实成熟度的增加呈逐渐降低的趋势。果实的质地性状直接反映果实的口感,脆熟全红期是鲜食果实口感最好的时期,不同资源鲜枣果实的质地特性在此时期能够充分体现,同时营养物质积累达到顶点,果实口感风味最佳,是鉴定鲜枣果实质地特性的最佳时期。

王斐等<sup>[30]</sup>也对梨果肉萼部、中部和梗部进行比较研究,发现果肉脆度和硬度都是萼部>中部>梗部。而对‘临猗梨枣’和‘壶瓶枣’2个不同果型的品种果实肩部、中部和底部3个不同部位的比较研究发现,2个品种各部位质地参数变化不一致,这可能是由不同品种的果实特性以及果型造成的。但2个品种果皮强度和果肉平均坚实度都是果实中部最低,果肉纤维指数和果肉跌落脆性的绝对值都是果实中部最高。果实中部果肉较均匀一致,能更好地反映不同类型枣果实的本质,是鉴定不同资源果实质地的最佳部位。从试验操作角度考虑,果肩和果底部穿刺时很难保证探头与穿刺部位垂直,穿刺时角度对果实质地特征数据影响也较大,而果实中部较容易操作,测定结果能更真实地反映果实质地品质。

### 3.3 物性分析与口感评价

用质构仪分析方法得到的各参数可以较客观地反映枣果的质地特性,使得果实质地品质鉴定内容更加丰富,但各项质地参数如何准确地表征口感品质的果皮厚度、果实粗细、果肉质地等描述性状,则需要进一步研究确立它们之间的对应关系。笔者只选取了几个不同果皮、果肉质地的代表性品种,如:果皮薄、果实质地酥脆的‘蜂蜜罐’‘太谷鸡心蜜’,果皮中厚的‘临猗梨枣’‘赞皇大枣’,果皮厚、果肉粗的‘相枣’‘婆婆枣’,果肉疏松的‘临泽大枣’,果肉较致密的‘冷白玉’‘壶瓶枣’,果肉致密的‘长红枣’‘板枣’‘婆婆枣’等进行测定,并将果肉质地描述性状的数字代码<sup>[31]</sup>与试验得到的物性参数进行相关性分析,口感描述的果皮厚度与物性分析的果皮强度、果

皮破裂距离和果皮韧性参数的相关系数分别为0.89、0.32和0.74,说明果皮强度、果皮韧性能较好地反映口感描述的果皮厚度性状。口感描述的果肉质地与物性分析的果肉平均坚实度参数的相关系数为0.93,口感描述的果肉粗细与物性分析的果肉纤维指数的相关系数为-0.95。说明果肉平均坚实度和果肉纤维指数物性分析参数能较好地反映口感描述的果肉的质地和果肉粗细性状。试验所采用的果肉跌落脆性参数与果皮强度和果肉平均坚实度二者的比值呈负相关,相关系数为-0.47,说明果肉跌落脆性参数能在一定程度上反映果皮和果肉的综合素质地性状,也更贴近口感评价的脆性。是否还有更合适的物性参数来反映鲜枣果实的质地特性以及各参数与不同品种的口感评价的对应关系,还需进一步深入研究。

## 4 结 论

在果实脆熟全红期,采用P2探头、力的模式,设定测前速度为 $1\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,贯入速度为 $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,测后速度为 $10\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最小感应力 $5\text{ g}$ ,数据采集率400,选取果实中部较平整的一面作为测试面,将相对的一面贴近果核用小刀削成平面,置于载物台上合适的位置,对果实中部进行穿刺,所获得的果皮强度、果皮韧性、果肉平均坚实度和果肉纤维指数能较好地反映枣资源果实的质地特性,准确地量化描述果实质地品质,使得资源鉴定评价更为客观。初步建立了适宜枣鲜果质地品质的鉴定方法,丰富了枣质地品质评价的内容,可为建立标准、规范的枣果实质地品质鉴定方法提供依据。

### 参考文献 References:

- [1] 曲泽州,王永蕙. 中国果树志·枣卷[M]. 北京: 中国林业出版社,1991: 56.  
QU Zezhou, WANG Yonghui. China Fruit's monograph · Chinese jujube volume[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1991: 56.
- [2] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社,2001: 112-115.  
LI Lite. Physical properties of foods[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 112-115.
- [3] CAMPS C, GUILERMIN P, MAUGET J C, BERTRAND D. Data analysis of penetrometric force/displacement curves for the characterization of whole apple fruits[J]. Journal of Texture Studies, 2005, 36(4): 387-401.

- [4] BARREIRO P, ORTIZ C, RUIZ ALTISENT M, DE SMEDT V, SCHOTTE S, ANDANI Z, WAKELING I, BEYTS P K. Comparison between sensory and instrumental measurements for mealiness assessment in apples A collaborative test[J]. *Journal of Texture Studies*, 1998, 29(5): 509-525.
- [5] ROJAS G M A, GRASA G R, MARTIN B O. Quality changes in fresh-cut Fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage atmosphere[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(1): 36-43.
- [6] 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.
- [7] 李江阔, 林洋, 张鹏, 秦国政, 李博强, 田世平. 采后不同时期 1-MCP 处理对苹果果实质地的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 277-281.  
LI Jiangkuo, LIN Yang, ZHANG Peng, QIN Guozheng, LI Boqiang, TIAN Shiping. Effect of 1-methylcyclopropene treatment at different times postharvest on the texture of apple fruits[J]. *Food Sciences*, 2013, 34(20): 277-281.
- [8] 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.  
WANG Yanxia, WANG Xiaoman, GUAN Junfeng. Flesh texture characteristic analysis of pear[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(20): 4056-4066.
- [9] 高海生, 贾艳茹, 魏建梅, 冉辛拓, 乐文全. 用物性分析仪检测鸭梨和京白梨果实采后质地的变化[J]. *园艺学报*, 2012, 39(7): 1359-1364.  
GAO Haisheng, JIA Yanru, WEI Jianmei, RAN Xintuo, YUE Wenquan. Studies on the post-harvested fruit texture changes of 'Yali' and 'Jingbaili' pears by using texture analyzer[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(7): 1359-1364.
- [10] MURAMATSU N, TAKAHARA T, KOJIMA K. Relationship between texture and cell wall polysaccharides of fruit flesh in various species of citrus[J]. *Hortscience*, 1996, 31(1): 114-116.
- [11] 李永红, 常瑞丰, 张立莎, 王召元, 陈湖, 韩继成, 刘国俭. 物性分析仪 TPA 测定鲜食桃质构条件的优化[J]. *河北农业科学*, 2016, 20(3): 95-100.  
Li Yonghong, CHANG Ruifeng, ZHANG Lisha, WANG Zhaoyuan, CHEN Hu, HAN Jicheng, LIU Guojian. The optimization of texture determination of fresh peach by using texture analyzer TPA[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2016, 20(3): 95-100.
- [12] 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.
- [13] 宋肖琴, 张波, 徐昌杰, 张九凯, 李鲜, 陈昆松. 采后枇杷果实的质构变化研究[J]. *果树学报*, 2010, 27(3): 379-384.  
SONG Xiaoqin, ZHANG Bo, XU Changjie, ZHANG Jiukai, LI Xian, CHEN Kunsong. Texture profile analysis of postharvest loquat fruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(3): 379-384.
- [14] 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.
- [15] 余恺, 胡卓炎, 余小林, 余凌苹, 王东峰, 陈昌实, 黄智洵. 荔枝果肉质构特性测定参数的研究[J]. *中国食品学报*, 2006, 6(1): 101-105.  
YU Kai, HU Zhuoyan, YU Xiaolin, SHE Lingping, WANG Dongfeng, CHEN Changshi, HUANG Zhixun. Study on the texture characteristics parameters of pitchi fruit[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2006, 6(1): 101-105.
- [16] AL-HAQ M I, SUGIYAMA J. Effect of degree of compression on texture profile parameters of pelican mango[J]. *Journal of Texture Studies*, 2004, 35(4): 341-352.
- [17] SIRISOMBOON P, BOONMUNG S, PORNCHALOEMPONG P, PITHUNCHARURNLAP M. A preliminary study on classification of mango maturity by compression test[J]. *International Journal of Food Properties*, 2008, 11(1): 206-212.
- [18] KOJIMA K, SAKURAI N, KURAIISHI S, YAMAMOTO R, INABA A. Physical measurement of firmness of banana fruit pulp: determination of optimum conditions for measurement[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1992, 2(1): 41-49.
- [19] HASSAN B H, ALHAMDAN A M, ELANSARI A M. Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66(4): 439-445.
- [20] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺试验检测大枣质地品质方法的建立[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(6): 1210-1217.  
MA Qinghua, WANG Guixi, LIANG Lisong. Establishment of the detecting method on the fruit texture of Dongzao by puncture test[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(6): 1210-1217.
- [21] 许铭强, 陈恺, 张艳艳, 逢焕明, 李焕荣, 李可. 干制温度对枣果实质构性能的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(5): 59-62.  
XU Mingqiang, CHEN Kai, ZHANG Yanyan, PANG Huanming, LI Huanrong, LI Ke. Effect on texture properties of treated jujube by different drying temperature[J]. *Food and Machinery*, 2012, 28(5): 59-62.
- [22] RAHMAN S R, AL-FARSI S A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66(4): 505-511.
- [23] 王德, 高疆生, 吴翠云, 王艳, 王志强, 孙亚强. 不同坐果期枣果

- 实品质差异的研究[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(2): 254-260.
- WANG De, GAO Jiangsheng, WU Cuiyun, WANG Yan, WANG Zhiqiang, SUN Yaqiang. Study on fruit quality in different fruit setting period of jujube [J]. Xinjiang Agricultural Science, 2016, 53(2): 254-260.
- [24] 刘亚平, 李红波. 物性分析仪及 TPA 在果蔬质构测试中的应用综述[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 30(2): 188-192.
- LIU Yaping, LI Hongbo. Review on the application of texture analyzer and TPA in the assessment for fruits and vegetables texture[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2010, 30(2): 188-192.
- [25] 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, 5(2): 1-4.
- SUN Cailing, TIAN Jichun, ZHANG Yongxiang. Application of TPA test mode in the study of food[J]. Experiment Science & Technology, 2007, 5(2): 1-4.
- [26] 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.
- [27] MARTIN J M, BERG J E, FISCHER A M, JUKANTI A K, KEPHART K D, KUSHNAK G D, NASH D, BRUCKNER P L. Divergent selection for polyphenol oxidase and its influence on agronomic, milling, bread, and Chinese raw noodle quality traits [J]. Crop Science, 2005, 45(1): 85-91.
- [28] 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 Xiujuan, TU Kang. Comparison of texture properties of postharvested apples using texture profile analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(3): 166-170.
- [29] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松, 李琴. 冬枣的穿刺质地及其影响因素[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 596-601.
- MA Qinghua, WANG Guixi, LIANG Lisong, LI Qin. Study on the fruit puncturing texture and its influencing factors of 'Dongzao' (*Zizyphus jujuba* Mill. 'Dongzao') [J]. Forest Research, 2011, 24(5): 596-601.
- [30] 王斐, 姜淑苓, 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 Fei, JIANG Shuling, CHEN Qiuju, 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.
- [31] 李登科. 枣种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 41-43.
- LI Dengke. Descriptors and date standard for jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) [M]. Beijing: China Agriculture Publishing House, 2006: 41-43.