

基于质地多面分析法对不同苹果品种果肉质地特性的分析

杨玲¹, 张彩霞¹, 丛佩华^{1,*}, 程云², 王强¹

(1.中国农业科学院果树研究所, 农业部园艺作物种质资源利用重点实验室, 辽宁 兴城 125100;

2.聊城市林业局果树技术站, 山东 聊城 252000)

摘要: 为了细致研究“华红”苹果贮藏期间果肉质地变化和不同苹果品种质地特性差异, 本实验以套袋和未套袋“华红”苹果为试材, 应用质地多面分析法定期测定贮藏期间果肉质地参数; 以及以不同熟期“华红”、“华苹”、“寒富”、“红星”、“嘎拉”、“津轻”为试材, 比较不同苹果品种果肉质地品质差异, 同时分析各质地参数之间相关性。“华红”套袋和未套袋果肉质地参数在常温贮藏过程中变化趋势基本一致, 且未套袋果肉的各项质地参数稍高于套袋的。硬度呈下降趋势, 在黏附性、内聚性、弹性、咀嚼性、回复性方面, 贮藏0 d的果实与48 d相比稍有升高。“华红”果肉贮藏期间质地参数变化相关性和6个苹果品种之间质地参数相关性有相似处, 内聚性与弹性、回复性、咀嚼性都呈正相关, 弹性与回复性、咀嚼性都呈较好地正相关, 回复性与咀嚼性呈较好的正相关。不同的是, “华红”果肉硬度与黏附性、内聚性呈负相关, 而不同品种之间果肉硬度与内聚性、弹性、回复性、咀嚼性呈高度正相关。不同品种之间各质地参数也进行了量化比较。综上所述说明本实验选用的P5探头测定的果肉内聚性、弹性、回复性、咀嚼性能反映“华红”果肉质地变化规律, 适用于苹果果肉质地品质的客观评价。硬度、内聚性、弹性、回复性、咀嚼性质地参数中的一项或多项可以作为评价“华红”果肉质地和比较这6个苹果品种果肉质地差异性的重要参数。

关键词: 苹果; “华红”苹果; 品种; 果肉; 质地多面分析法; 质地特性

Texture Parameters of Different Apple Varieties' Flesh as Measured by Texture Profile Analysis

YANG Ling¹, ZHANG Cai-xia¹, CONG Pei-hua^{1,*}, CHENG Yun², WANG Qiang¹

(1. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Germplasm Resources Utilization), Ministry of Agriculture, Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, China;

2. The Fruit Technology Station of Forestry Bureau of Liaocheng, Liaocheng 252000, China)

Abstract: The objective of the study was to investigate the change in texture properties of “Huahong” apple and five other varieties during storage. The texture properties of bagged and non-bagged “Huahong” apple flesh were examined regularly during storage by texture profile analysis with a texture analyzer, and six apple varieties, “Huahong”, “Hanfu”, “Huahong”, “Huaping”, “Starking”, “Gala”, and “Tsugaru” were compared for their differences in flesh texture at different maturity stages. Meanwhile, correlation analysis was carried out among the texture parameters. The texture properties of “Huahong” apple (bagged and non-bagged) flesh had similar changing trend during storage at ambient temperature, and the texture properties of non-bagged “Huahong” apple flesh were a little higher than those of the bagged apple flesh. The hardness showed a decreasing trend; the cohesiveness, springiness, resilience, adhesiveness, and chewiness before storage were slightly higher than those observed after 48 d storage. Similar correlations among texture properties were observed for all the seven varieties. The cohesiveness had a positive correlation with springiness, resilience and chewiness; the springiness displayed a positive correlation with resilience and chewiness; and the resilience was positively correlated with chewiness. The hardness of “Huahong” apple flesh exhibited a negative correlation with adhesiveness and cohesiveness, whereas a positive correlation of hardness with cohesiveness, springiness, resilience and chewiness was observed for each variety. Therefore, the cohesiveness, springiness, resilience and chewiness could meticulously reflect the texture changes of

收稿日期: 2014-04-23

基金项目: 国家现代农业(苹果)产业技术体系建设专项(CARS-28); “十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD02B01)

作者简介: 杨玲(1981—), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为苹果果实品质。E-mail: merry515@163.com

*通信作者: 丛佩华(1963—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为苹果种质资源与遗传育种。E-mail: congph@163.com

“Huahong” apple flesh, and TPA is suitable for quality evaluation of apple flesh by P5 probe. The hardness, cohesiveness, springiness, resilience and chewiness can be used as the major indexes to evaluate the texture of “Huahong” apple flesh and distinguish among the six apple varieties.

Key words: apple; “Huahong” apple; varieties; flesh; texture profile analysis; texture property

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 21-0057-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201421012

苹果果实从发育、成熟到采后经历了一系列复杂的生理生化过程如色泽、风味、内含物质等的变化^[1], 其中质地改变是果实发育、成熟和采后最显著的变化, 是果实采收和贮藏运输过程中品质评价的重要指标。果实质地也是衡量果实品质的重要指标, 被广泛用来表示食品的组织状态、口感、美味感觉等。质构仪检测是一种目前应用较多的评价食品品质的有效方法, 它通过模拟人口腔咀嚼运动, 对测试样品进行两次压缩, 用力学方法来模拟食品品质的感官评价, 可实现一次测得一系列质地相关指标, 如硬度、黏附性、内聚性、弹性、咀嚼性、脆性等^[2-4]。

质构特性是反映与力学特性有关的果实物理性状, 所测定的指标在一定程度上能反映果实的质地特性和组织结构的变化, 可以评价不同品种和不同时期果实的质地品质。国内外已将质地多面分析法 (texture profile analysis, TPA) 应用于面包、水果、面条、酸奶、肉类等^[5-14], 目前也逐渐开展对果蔬类如葡萄、香蕉、苹果、甜樱桃、杨梅、桃、梨等的质地特性研究^[15-18]。近年来, 对苹果质构特性的研究多集中于测试不同因素对质地参数的影响^[19-23], 而对不同苹果品种间的质地分析较少。

“华红”为中晚熟苹果品种, 具有果肉肉质细脆、汁液多、风味酸甜浓郁等特点; “华苹”和“华红”相似, 但比“华红”成熟稍早。“寒富”苹果为晚熟苹果品种, 果肉酥脆、耐贮藏; “红星”为中晚熟品种, 果肉松脆; “嘎拉”果肉细嫩甜脆、致密, 不耐贮藏; “津轻”果肉质细松脆不耐贮藏。以上6个品种为晚熟、中熟、早熟品种的代表, 果肉硬度、风味、适口感等不同。本实验选用未套袋和套袋“华红”苹果为材料, 进行果肉贮藏过程中TPA测试研究, 分析比较套袋和未套袋果肉质地参数的差异性, 并验证TPA评价“华红”苹果果肉质地品质的有效性; 选用不同成熟期、质地和风味的苹果品种 (早熟品种“津轻”和“嘎拉”、中晚熟品种“红星”、新品种“华苹”、晚熟品种“寒富”和新品种“华红”苹果) 为材料, 探索评价不同苹果品种果实质地状况差异的最佳评价参数, 并分析各质地参数之间相关性。

1 材料与方法

1.1 材料

“华红”苹果果实于2013年采自辽宁省葫芦岛市

双树乡果园, 于果实九成熟时适时采收, 选取树冠中部外围大小均匀、成熟度相近的无病虫害套袋和未套袋果实, 随机采摘九成熟果实各70个, 从中分别选取大小均匀、形状相近的果实共35个作为实验果。于室温条件下贮藏。分别在果实贮藏0、8、16、24、32、40、48 d时取样测试, 每次随机取样5个果实用于质地参数测定。每个果实切取2 cm×2 cm×2 cm大小的4块果肉, 共重复20次。未套袋处理的不同品种“寒富”、“华苹”、“红星”、“嘎拉”、“津轻”采于辽宁省兴城市果园, 每个品种九成熟时随机采摘大小相近10个果实, 从中选取5个果实正反面于采摘当天测试, 共重复10次。

1.2 仪器与设备

TMS-PRO食品物性分析仪 美国FTC公司。

1.3 果肉质构分析

果肉置于质构仪平板上, 然后用圆柱形探头 (直径为5 mm) 对苹果果肉进行TPA测试。测试参数为测前速率60 mm/min, 测试速率60 mm/min, 起始力2 N, 果肉形变10%, 测定参数为果肉硬度、黏附性、内聚性、弹性、回复性、咀嚼性。其质地特征曲线见图1。

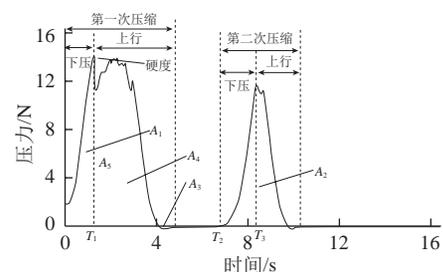


图1 苹果果肉TPA质地特征曲线
Fig.1 Typical TPA curve of apple flesh

硬度为第1次挤压样品时所达到的压力峰值/N; 内聚性指第2次挤压循环的正峰面积 (A_2) 同第一次挤压循环的正峰面积 (A_1) 比值; 回复性指第1次循环回程做功 (A_4) 与第一次循环挤压做功 (A_3) 的比值; 黏附性为第1次返回过程中曲线的负面积表示 (A_3) / (N·mm); 弹性指在第1次挤压结束后, 第2次挤压开始前样品回复的高度/mm; 与第2次压缩达峰值时所经历的时间 ΔT_1 ($\Delta T = T_3 - T_2$) 成正比, 与第1次压缩达峰值时所经历的时间 T_1 成反比。咀嚼性为硬度、内聚性、弹性三者的乘积/mJ。

1.4 数据处理

实验数据采用Excel 2003进行作图,用SPSS 17.0进行相关性分析,用Duncan's多重比较法进行数据差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 “华红”苹果果肉各项质地参数在常温贮藏过程中的变化规律

2.1.1 “华红”苹果果肉硬度和黏附性变化规律

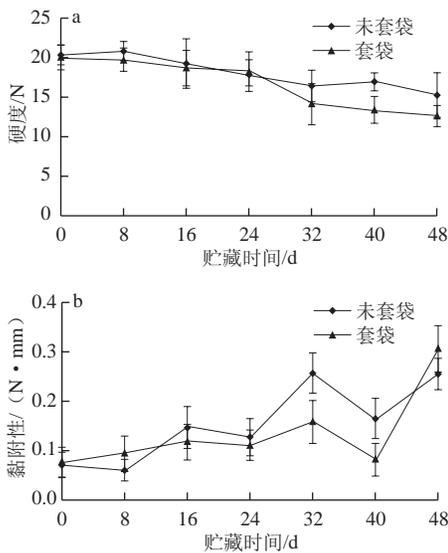


图2 “华红”苹果果肉硬度(a)、黏附性变化(b)

Fig.2 Changes in hardness (a) and adhesiveness (b) during storage of “Huahong” apple flesh

果肉硬度指果肉受力达到一定形变时所必须的力,感官上指牙齿挤压样品的力量值。如图2a所示,套袋和未套袋果实硬度在常温贮藏过程中变化趋势相似,都呈下降趋势。未套袋处理的果实果肉硬度始终稍高于套袋处理的,随着贮藏时间的延长,24 d后套袋处理的果肉硬度比未套袋处理的下降快。与0 d时相比,贮藏48 d未套袋果肉硬度下降了0.33倍,套袋果肉硬度下降了0.59倍。套袋果肉硬度明显的比未套袋的下降快,这说明未套袋果实的果肉贮藏性能优于套袋果实的,这与前人研究结果一致^[24-26],这也充分说明了TPA测试能很好的反映“华红”苹果果肉硬度在常温贮藏过程中的变化规律。

果肉黏附性为克服果肉表面同探头表面接触之间的吸引力所需要的能量。如图2b所示,未套袋果实和套袋果实的果肉黏附性在贮藏过程中变化趋势相似,总体上都呈上升趋势。套袋处理的果肉黏附性在前8 d稍高于未套袋处理的,48 d时套袋处理的果实黏附性低于未套袋处理的。说明未套袋果实贮藏后期果肉黏附性优于套袋果实的。

2.1.2 “华红”苹果果肉内聚性和弹性变化规律

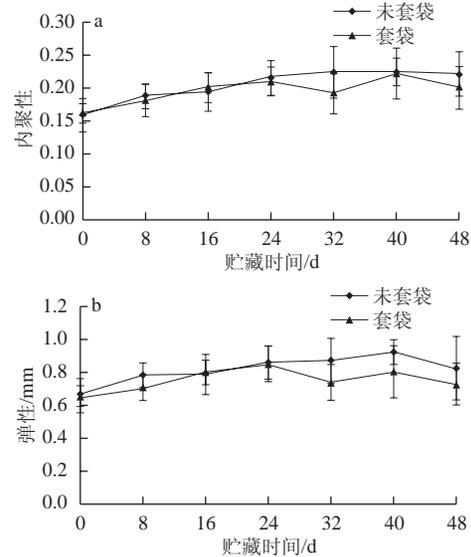


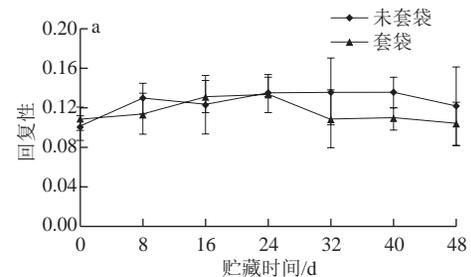
图3 “华红”苹果果肉内聚性(a)、弹性(b)变化

Fig.3 Changes in cohesiveness (a) and springiness (b) during storage of “Huahong” apple flesh

内聚性是指果肉抵抗牙齿咀嚼所表现出来的样品的内部收缩力,它具有使果肉保持完整性的特点,体现了细胞分子之间结合力的大小。如图3a所示,未套袋和套袋处理的果肉内聚性变化趋势大致相同,呈先升高后下降趋势,0~48 d总体上呈稍升高趋势。未套袋的果肉内聚性升高了0.38倍,套袋升高了0.24倍,未套袋处理的果肉内聚性在24 d前和套袋处理的相差不大,此后未套袋处理的比套袋处理的略高。这说明在贮藏过程中,未套袋处理的比套袋处理的果肉更具有完整性。

果肉弹性感官上指人牙齿碾磨果肉的力度,它反映了果肉的组织结构状况和细胞分子间结合力的大小。如图3b所示,套袋和未套袋处理采后变化趋势相似,呈现先升高后下降趋势,0~48 d总体上呈稍微升高趋势,未套袋果实弹性升高了0.24倍,套袋果实弹性升高了0.11倍。且未套袋果肉在贮藏过程中比套袋果肉弹性稍高,在贮藏至24 d后套袋果肉弹性较未套袋果肉下降快,这说明未套袋果肉弹性在贮藏过程中维持的比套袋的好。由以上结果可知,未套袋和套袋果肉内聚性和弹性在贮藏过程中变化规律相似。

2.1.3 “华红”苹果果肉咀嚼性、回复性变化规律



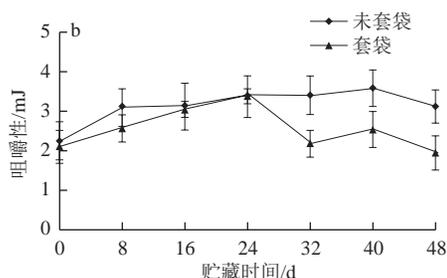


图4 “华红”苹果果肉回复性(a)、咀嚼性(b)变化

Fig.4 Changes in resilience (a) and chewiness (b) during storage of “Huahong” apple flesh

果肉回复性是在第1次压缩过程中果肉样品回弹的能力,为第1次压缩循环过程中返回样品所释放的弹性能(A_4)与压缩时探头的耗能(A_5)之比。如图4a所示,未套袋果实果肉回复性与套袋果肉回复性在贮藏过程中变化趋势一致,都是先升高后下降。套袋果实果肉回复性在24 d后下降比未套袋果实快,与0 d时相比,贮藏48 d未套袋果实回复性呈稍微升高趋势,比0 d升高了0.20倍;而套袋果实果肉回复性变化不大。未套袋果肉回复性比套袋的稍高,这说明了未套袋果肉在贮藏过程中抵抗外界压力的能力比套袋的强。

果肉咀嚼性为牙齿咀嚼果肉成稳定状态时所需要的能量。如图4b所示,未套袋“华红”果肉和套袋果肉咀嚼性变化趋势总体一致,呈先升高后下降的趋势。在贮藏前24 d都呈稍微升高趋势,24 d后套袋果肉咀嚼性比未套袋的下降快,未套袋果肉咀嚼性48 d比0 d时稍微升高,为0 d时的0.39倍;套袋果肉咀嚼性48 d时和0 d时变化不大,而且在贮藏过程中未套袋果肉的咀嚼性比套袋果肉的高。以上结果说明套袋的比未套袋的果肉软化快,贮藏性较未套袋果实稍差。

由以上结果可知,未套袋和套袋果实咀嚼性与回复性在贮藏过程中变化规律相似。

2.1.4 “华红”苹果果肉TPA测试各项质地参数间的相关性

表1 “华红”苹果果肉各项质地参数变化的相关性

Table 1 Correlations among TPA parameters of “Huahong” apple flesh

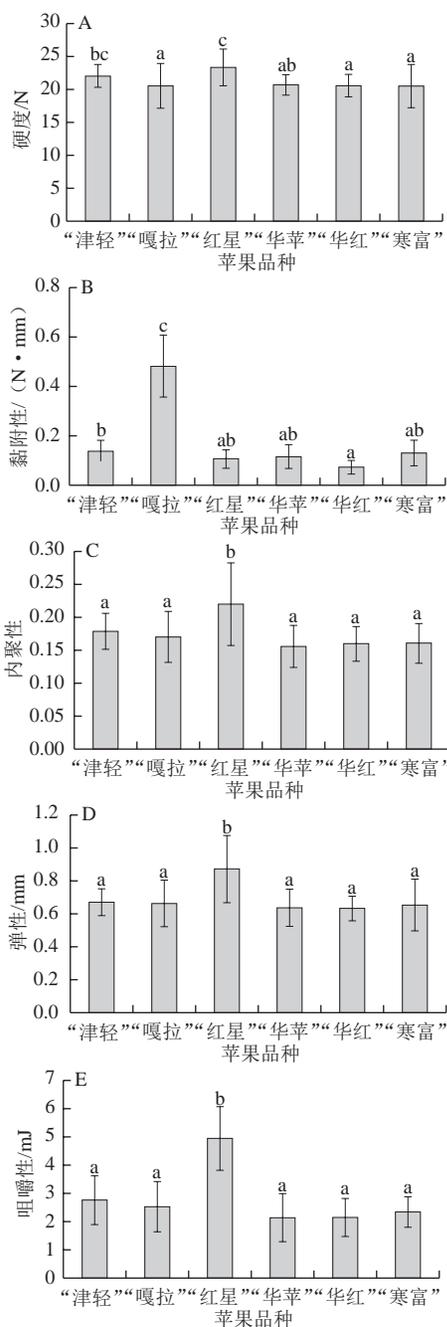
因素	硬度	黏附性	内聚性	弹性	回复性	咀嚼性
硬度	1					
黏附性	-0.674**	1				
内聚性	-0.583*	0.509	1			
弹性	-0.243	0.299	0.906**	1		
回复性	0.217	0.067	0.614*	0.845**	1	
咀嚼性	0.223	0.043	0.647*	0.878**	0.951**	1

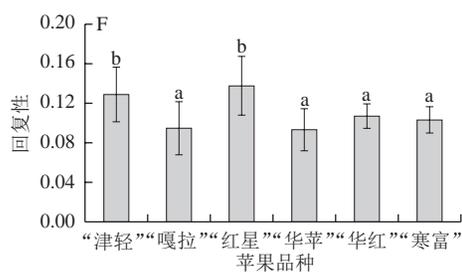
注: **. 在0.01水平(双侧)上显著相关; *. 在0.05水平(双侧)上显著相关; 下同。

“华红”苹果果肉质地多面性分析参数变化的相关性如表1所示,硬度与黏附性呈极显著负相关(r 为-0.674),与内聚性呈显著负相关(r 为0.583),说明了“华红”果肉硬度越大,与探头的黏附作用越小,果肉内部收缩力越小。果肉内聚性与弹性呈极显著正相关

(r 为0.906),内聚性与回复性、咀嚼性呈显著正相关(r 分别为0.614和0.647),弹性与回复性、咀嚼性呈极显著正相关(r 分别为0.845和0.878)。而果肉内聚性、弹性、回复性、咀嚼性均与果肉细胞分子间结合力大小及组织结构有关,综合体现了人牙齿对于果肉的触觉感,并具有保持果实完整的特性,这说明了内聚性、弹性、回复性、咀嚼性均能很好反映“华红”果肉质地属性。综合分析说明硬度、黏附性、内聚性、弹性、回复性、咀嚼性中的一项或多项可以作为评价“华红”苹果果肉质构特性的重要参数,适用于“华红”苹果贮藏品质的客观评价,为“华红”苹果贮藏保鲜奠定基础。

2.2 不同苹果品种果肉TPA质地参数





小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图5 不同苹果品种各项质地参数比较

Fig.5 Comparison of TPA parameters of different apple varieties

TPA测试实现了苹果各品种间质地品质由感官到量化的比较。由图5可知,不同苹果品种果肉硬度不同,“红星”与最小“嘎拉”的硬度有显著性差异,“津轻”次之,“华红”、“华苹”、“嘎拉”、“寒富”硬度没有显著性差异;“嘎拉”黏附性与其他5个品种有显著性差异,“红星”内聚性、弹性、咀嚼性与其他5个品种有显著性差异,“寒富”、“华红”、“华苹”、“嘎拉”、“津轻”这5个品种间除回复性外差异都不显著,说明“红星”苹果在刚采后果肉坚实度较大、结构较致密。

表2 不同苹果品种TPA质地参数之间的相关性

Table 2 Correlation among TPA parameters of different apple varieties

因素	硬度	黏附性	内聚性	弹性	回复性	咀嚼性
硬度	1					
黏附性	-0.465	1				
内聚性	0.932**	-0.199	1			
弹性	0.897**	-0.258	0.980**	1		
回复性	0.927**	-0.484	0.832*	0.756	1	
咀嚼性	0.914**	-0.265	0.987**	0.999**	0.784	1

“寒富”、“华红”、“华苹”、“红星”、“嘎拉”、“津轻”6个苹果品种在采后0 d时果肉质地参数之间相关性如表2所示,果肉硬度与内聚性、弹性、回复性、咀嚼性呈极显著正相关(相关系数 r 分别为0.932、0.897、0.927和0.914),说明苹果果肉硬度越大,其内聚性、弹性、回复性和咀嚼性越大;内聚性与弹性、咀嚼性呈极显著正相关(r 分别为0.980和0.987),与回复性呈显著正相关(r 为0.832),它们均与果肉的组织细胞间结合力的大小、果肉致密度有关,具有保持果肉完整的性质;弹性和咀嚼性呈极显著正相关(r 为0.999),此外弹性与回复性呈较好相关性(r 为0.756),回复性与咀嚼性呈较好的相关性(r 为0.784)。综上所述,硬度、内聚性、弹性、咀嚼性、回复性5个质地参数两两之间相互呈显著正相关。这说明了硬度、内聚性、弹性、回复性、咀嚼性5个质地参数指标中的一项或多项能区分这6个不同苹果品种果肉质地的差异性,可以作为评价这6个苹果品种质地差异性的重要参数。

3 结论与讨论

果实质地特性是决定其口感好坏的重要因素,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。宋肖琴等^[27]用P5探头测得的枇杷果实凝聚性、弹性、回复性、咀嚼性可灵敏反映果实较细微的质地变化差异,TPA测试也可很好反映枇杷、葡萄、桃等的贮藏期间质地变化规律^[27-29]。本实验“华红”苹果果肉质地未套袋和套袋在常温贮藏期间硬度、黏附性、内聚性、弹性、回复性、咀嚼性变化趋势基本一致,且未套袋的比套袋的都稍高,尤其是24 d后差异明显,说明这些质地参数均能细致区分“华红”果肉内部质地特性。综合以上表明质地多面性分析(TPA测试)P5探头所测“华红”果肉质地参数能客观、灵敏地反映苹果果肉的质构特性,并且能够细致区分不同处理间质地参数间差别。

“华红”果肉硬度在贮藏过程中呈下降趋势,而内聚性、弹性、回复性48 d与0 d相比相差不大或稍有升高,这似乎与“华红”果实贮藏过程中果实软化,质地不断下降相矛盾;可能与贮藏过程中在多聚半乳糖醛酸酶和果胶甲酯酶的作用下,果实细胞壁逐渐降解、细胞变圆、原果胶由成熟前呈不溶状态到成熟后降解为可溶性果胶^[30-32];另一方面在贮藏过程中果肉失去自由水,果肉致密程度也增大,这些导致了内聚性、弹性、回复性在短期的常温贮藏过程中值有所增加。未套袋苹果的咀嚼性稍有升高,套袋的咀嚼性下降,这可能由于果实常温贮藏过程失水导致的果实分子间致密程度增大,未套袋果肉质地品质下降慢,所以出现了咀嚼性升高,而套袋果实质地品质下降快,咀嚼性也有下降;这充分说明了P5探头更适合细致测量果肉内部质地特性。另外本实验所测脆性数据时有时无,无法获得完整数据,而胶黏性由于只适用于半固体食品,而苹果为固体食品,所以这两个指标不适用于本实验质构特性分析。

分析“华红”果肉贮藏期质地参数变化和不同品种间果肉质地参数之间相关性,内聚性与弹性、回复性、咀嚼性呈正相关,弹性与回复性、咀嚼性都呈很好的正相关,回复性与内聚性、弹性呈较好正相关。这说明内聚性、弹性、回复性、咀嚼性能很好反映“华红”苹果果肉质地变化及细致反映不同苹果品种果肉质地差异性。“华红”由于常温贮藏中果肉黏性物质增多,“华红”的果肉硬度与黏附性、内聚性呈负相关,而不同苹果品种间硬度与内聚性、弹性、回复性、咀嚼性呈高度正相关,说明硬度可以作为区分6个不同苹果品种果肉质地差异性的重要参数,能反映出该品种果肉的内聚性、弹性、回复性以及咀嚼性的大小。潘秀娟等^[33]研究4项参数黏着性、凝聚性、回复性、咀嚼性可以比较“嘎拉”和“富士”质地差异,田海龙等^[34]研究硬度、弹性、凝

聚性、咀嚼性、回复性作为评价葡萄果肉质地参数的主要指标。综上说明硬度、内聚性、弹性、回复性、咀嚼性5项质地参数中的一项或多项可以作为评价“华红”果肉质地和区分6个不同苹果品种质构特性差异的重要参数。

参考文献:

- [1] 魏建梅. 苹果果实质地品质发育及采后调控的生理和分子基础[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009: 1-15.
- [2] 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.
- [3] 朱丹实, 李慧, 曹雪慧, 等. 质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 273-276.
- [4] 吴洪华, 姜松. 食品质地及其测试[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 128-131.
- [5] MARTINEZ O, SALMERÓN J, GUILLÉN M D, et al. Texture profile analysis of meat products treated with commercial liquid smoke flavourings[J]. Food Control, 2004, 15(6): 457-461.
- [6] KADAN R, SROBINSON M G, THIBODEAUX D P, et al. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(7): 940-944.
- [7] 师俊玲, 魏益民, 郭波莉, 等. 面条食用品质评价方法研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2002, 30(6): 112-116.
- [8] 战旭梅, 郑铁松, 陶锦鸿. 质构仪在大米品质评价中的应用研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 62-65.
- [9] 丁武, 寇莉萍, 张静, 等. 质构仪穿透法测定肉制品嫩度的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 138-141.
- [10] 蒋予箭, 周雁. 肉类弹性测定方法的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(4): 99-102.
- [11] 杨莹莹, 贺红军, 郭萌萌, 等. 响应面法分析TPA测试参数对酸奶质构的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1281-1284.
- [12] 王海鸥, 姜松. 质构分析(TPA)及测试条件对面包品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(3): 1-3.
- [13] LUCEY J A, JOHNSON M E, HORNE D S. Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(9): 2725-2743.
- [14] SULLIVAN P O, FLAHERTY J, BRUNTON N, et al. Fundamental rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(3): 441-453.
- [15] SALVADOR A, SANZ T, FISZMAN S M. Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different desert bananas[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(3): 319-325.
- [16] APOSTOLOPOULOS C, BRENANRENAN J G. Identification of the main textural characteristics of canned peaches and the effects of processing variables[J]. Journal of Texture Studies, 1994, 25(4): 383-402.
- [17] MUSKOVICS G, FELFLDL J, KOVCS E, et al. Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(1): 56-63.
- [18] KAJUNA S, BILANSKI W, MITTAL C S. Textural changes of banana and plantain pulp during ripening[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 75: 244-250.
- [19] 邵兴锋, 朱勇, 张春丹. 测试因素对苹果质地剖面分析结果的影响[J]. 中国食品学报, 2011, 11(6): 199-205.
- [20] BILLY L, MEHINAGIC E, ROYER G, et al. Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 47(3): 315-324.
- [21] ZDUNEK A, BEDNARCZYK J. Effect of mannitol treatment on ultrasound emission during texture profile analysis of potato and apple tissue[J]. Journal of Texture Studies, 2006, 37: 339-359.
- [22] NAULSKI R, GROCHOWICZ J. The influence of the measurement conditions on the TPA test of selected fruit[J]. Acta Horticulturae, 2001, 562(1): 213-219.
- [23] 王海鸥, 姜松. 测试条件对苹果TPA质地参数的影响[J]. 食品与机械, 2004, 20(1): 13-27.
- [24] 王少敏, 高华君, 魏立华, 等. 短枝红富士苹果生长期果实套袋对采后贮藏品质的影响[J]. 果树科学, 2000, 17(3): 181-184.
- [25] 刘彦珍. 套袋对红富士苹果除袋和采收时期及贮藏期生理特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004: 23-25.
- [26] 王娜, 李建贵. 干旱区套袋红富士苹果的品质特征研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(6): 1022-1027.
- [27] 宋肖琴, 张波, 徐昌杰, 等. 采后枇杷果实的质构变化研究[J]. 果树学报, 2010, 27(3): 379-384.
- [28] 姜松, 陈巧林. 水蜜桃在贮藏期间的质地变化规律的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5): 4-8.
- [29] 李志文, 张平, 张昆明, 等. 1-MCP结合冰温贮藏对葡萄果实质地的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 176-181.
- [30] 张鹏龙, 陈复生, 杨宏顺, 等. 果实成熟软化过程中细胞壁降解研究进展[J]. 食品科技, 2010, 35(11): 62-66.
- [31] 高海生, 贾艳茹, 魏建梅, 等. 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.
- [32] 魏建梅, 刘长江, 朱向秋, 等. 苹果果实发育成熟软化过程中脂氧合酶活性变化及采后乙烯调控[J]. 河北农业科学, 2008, 12(7): 27-30.
- [33] 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.
- [34] 田海龙, 张平, 农绍庄, 等. 基于TPA测试法对1-MCP处理后葡萄果实质构性能的分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 104-107.