

梨果肉质性状分析

王燕霞, 王晓蔓, 关军锋

(河北省农林科学院遗传生理研究所/河北省植物转基因中心, 石家庄 050051)

摘要: 【目的】比较不同梨品种的果肉质特性, 探讨反映梨果实质地状况的评价参数, 为研究梨的内在品质提供依据。【方法】应用质构仪质地多面分析法 (TPA, 质地参数包括脆度、硬度、弹性、回复性、凝聚性、咀嚼性) 和穿刺试验 (Puncture test, 质地参数包括破裂力、破裂位移、破裂能、屈服力、屈服位移和屈服能) 对成熟期采收的 14 个梨品种的果实果肉质地进行测定, 通过多元分析得出质地参数之间的关系。【结果】基于 TPA 和穿刺试验的分析结果表明, 不同梨品种之间果肉质之间有一定的差异。与 ‘鸭梨’、‘丰水’、‘美人酥’ 等相比, ‘粉酪’、‘晚秀’、‘南水’ 等品种具有较高的果肉硬度、脆度和咀嚼性; 与 ‘鸭梨’、‘丰水’、‘黄金’ 等相比, ‘粉酪’、‘晚秀’、‘满天红’ 等品种具有较高的破裂力、破裂能、屈服力和屈服能。相对来说, 不同品种之间的果肉破裂位移和屈服位移的差别较小。相关分析表明, 除弹性、屈服位移和破裂位移外, 梨果肉质参数中脆度、硬度、回复性、凝聚性、咀嚼性、屈服力、屈服能、破裂力、破裂能之间相关性显著, 大多呈正相关关系; 聚类分析将 14 个品种分为松软 (如 ‘丰水’、‘黄金’、‘黄冠’ 等)、硬脆 (如 ‘晚秀’)、坚硬 (如 ‘粉酪’) 等 3 种不同的果肉质类型; 主成分分析表明, 前 3 个主成分对梨果肉质地的贡献率达到 92.196%, 第 1 主成分反映了果肉的咀嚼特性; 第 2 主成分反映了果肉的弹性和屈服性; 第 3 主成分反映了果肉的破裂特性; 并且, 在梨果肉质中, 果肉硬度、破裂力、脆度等对质地的影响较大, 弹性和破裂位移次之。【结论】不同梨品种之间的果肉质存在差异; 梨果肉大多数的 TPA 参数与穿刺试验参数呈显著正相关; 果肉硬度、破裂力、脆度是影响梨果肉质的重要参数。

关键词: 梨; 质地多面分析; 穿刺; 果肉质

Flesh Texture Characteristic Analysis of Pear

WANG Yan-xia, WANG Xiao-man, GUAN Jun-feng

(Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Plant Genetic Engineering Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050051)

Abstract: 【Objective】The aim of this study is to compare fruit texture characters of different pear cultivars and to investigate the optimum evaluation parameters for texture of pear, and to provide proves for the study on internal quality of pear fruit. 【Method】The characters of flesh texture were analyzed by texture profile analysis (TPA) (including frangibility, hardness, springiness, resilience, cohesiveness, chewiness) and puncture test (PT) (including fracture force, fracture work, fracture displacement, bio-yield force, bio-yield work, bio-yield displacement) on 14 different pear cultivars harvested at maturity stage, and the relationships among different texture parameters were obtained by multivariate analyses. 【Result】There were certain differences at flesh texture based on TPA and PT among different varieties of pear. The varieties ‘Butirra Rostata Morettini’, ‘Mansoo’ and ‘Nansui’ showed higher flesh hardness, frangibility and chewiness than ‘Yali’, ‘Housui’, ‘Meirensu’ and other cultivars, and the ‘Butirra Rostata Morettini’, ‘Mansoo’ and ‘Mantianhong’ had higher fracture force, fracture work, bio-yield force and bio-yield work than ‘Yali’, ‘Housui’, ‘Hwangkum’ and other cultivars. Relatively, the displacements of fracture and bio-yield had smaller differences among different cultivars. The marked close correlations were observed among flesh texture parameters, such as frangibility,

收稿日期: 2013-03-29; 接受日期: 2013-08-07

基金项目: 河北省科技支撑计划项目 (10220922D)、河北省财政支持项目 (2013055007)

联系方式: 王燕霞, E-mail: tarenyc@163.com。通信作者关军锋, Tel: 0311-87652118; E-mail: junfeng-guan@263.net

hardness, resilience, cohesiveness, chewiness, fracture force, fracture work, bio-yield force and bio-yield work, and most of them were positively correlated, except springiness, fracture displacement and bio-yield displacement. The 14 cultivars of pear were able to classify into 3 different texture kinds using cluster analysis, which were soft (such as 'Housui', 'Hwangkum', 'Huangguan', etc), crisp ('such as Mansoo') and hard ('Butirra Rostata Morettini'), respectively. The result of principal component analysis (PCA) showed that the cumulative contribution ratio of the first three principal components to the fruit texture reached 92.196%. The first principal component (PC) reflected chewiness of flesh, the second springiness and yield, and the third fracture. This suggested that hardness, fracture force and frangibility had primary influence on flesh texture, and springiness and fracture displacement second.

【Conclusion】There are certain differences in the flesh texture among different cultivars of pear. Significant positive correlations were observed between most of TPA and PT parameters of the flesh. The flesh hardness, fracture force and frangibility are more important parameters to influence on fruit flesh texture in pear.

Key words: pear; texture profile analysis; puncture test; fruit texture

0 引言

【研究意义】果实质地是果实品质的重要组成部分, 采用物性仪分析(又称质构分析)果实质地时, 多采用硬度、脆度、回复性、咀嚼性等参数, 这些参数在一定程度上客观反映了果实的质地特性和组织结构变化^[1]。与传统的果实硬度计测定相比, 质构分析能提供更为丰富的质地特性信息, 越来越受到重视。

【前人研究进展】在梨果实质地描述中, 传统上采用品尝后再定性描述的方法^[2], 但质地性状之间的关系不清楚, 人为因子干扰较多。近年来, 果实质构分析取得了新的进展, 可通过果肉多面分析(TPA)和穿刺测验(puncture test)两种方法, 得出果实质地量化指标。目前, 在梨^[3-5]、苹果^[6-7]、杨梅^[8-9]、枇杷^[10]和香蕉^[11]等果肉质地的研究中采用 TPA 分析方法; 同时, 在梨^[12]、苹果^[13]、枣^[14]、黄瓜^[15]和番茄^[16]等果实中亦有采用穿刺测验的方法。随着质构分析技术的发展, 机械化质地分析在果实采后贮藏、加工和货架期等研究中得到广泛应用^[17-22]。尽管如此, TPA 分析和穿刺分析的质地参数之间的关系尚不明确。【本研究切入点】生产中栽培的梨品种众多, 不同品种的梨即使具有相同的营养成分, 当质地不同时, 口感亦不同。因此, 消费者对品质的反应也会不同, 尽管多喜欢细腻多汁的果实质地, 但目前为止对梨果肉质地性状的研究还很缺乏。【拟解决的关键问题】本研究采用质构仪对成熟期 14 个品种的梨果实进行果肉 TPA 和穿刺测验, 比较不同品种的梨果肉特性, 解析不同质地参数之间的关系, 探讨梨果实质地的最佳评价参数。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料于 2009 年采自河北赵县范庄镇基地果

园, 于正常成熟期(8—9 月)在树冠外围采集不同品种的梨果实, 包括‘雪花’(9 月 22 日采收, 简写为 9-22, 下同)、『酥梨』(9-7)、『黄冠』(8-25)、『鸭梨』(9-29)、『美人酥』(9-20)、『满天红』(9-22)、『晚秀』(9-1)、『南水』(8-25)、『丰水』(8-25)、『黄金』(8-25)、『满丰』(9-1)、『秋黄』(9-20)、『甘泉』(9-22)、『粉酪』(9-1)等。采后将果实立即运回实验室, 每品种选择果形整齐、大小均匀、无病虫害及机械损伤、成熟一致的 15 个果实为材料进行测定分析。

1.2 方法

TPA 试验参照潘秀娟等^[6]的方法, 即沿果实纵向均匀切分为两半, 使用内径 15 mm 的打孔器于两半的果肉中央部位打孔取样, 并在打孔器截取的圆柱体样品中部切分厚度为 10 mm 的小圆柱体作为试样。将试样置于 TA-XT2i 质地分析仪(英国 SMS 公司)台面, 选用 P/35 探头进行 TPA 试验。参数设置为: 预压速度、下压速度、压后上行速度均为 $1.0 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, 两次压缩中间停顿 10 s, 试样受压变形 75%, 触发力值 100 g。测定参数包括脆度、硬度、弹性、回复性、凝聚性和咀嚼性。每个果实制取 4 个小圆柱体试样, 结果取平均值。

穿刺试验时将果实纵向均匀分为两半, 每半果实用锋利刀片削去外表皮后用 TA-XT2i 质地分析仪(英国 SMS 公司)选用 P/2 (直径 2 mm) 探头进行穿刺试验, 测前速率、测试速率和测后速率均为 $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, 测试距离为 10 mm。获得的参数为破裂力、破裂位移、破裂能、屈服力、屈服位移和屈服能。测试时, 每个果实测定果面赤道附近 4 个部位, 结果取平均值。

1.3 数据统计

数据处理用 SPSS20.0 软件, 聚类分析采用组间平均距离法。

2 结果

2.1 不同品种梨果肉脆度和硬度

硬度是牙齿挤压样品的力，脆性是样品出现折断时的力^[23]。供试的 14 个梨品种的脆度和硬度，属西洋梨系统的‘粉酪’最高，‘晚秀’次之，而‘丰水’和‘鸭梨’的最低，品种之间差异显著（图 1）。

2.2 不同品种梨果肉的弹性和凝聚性

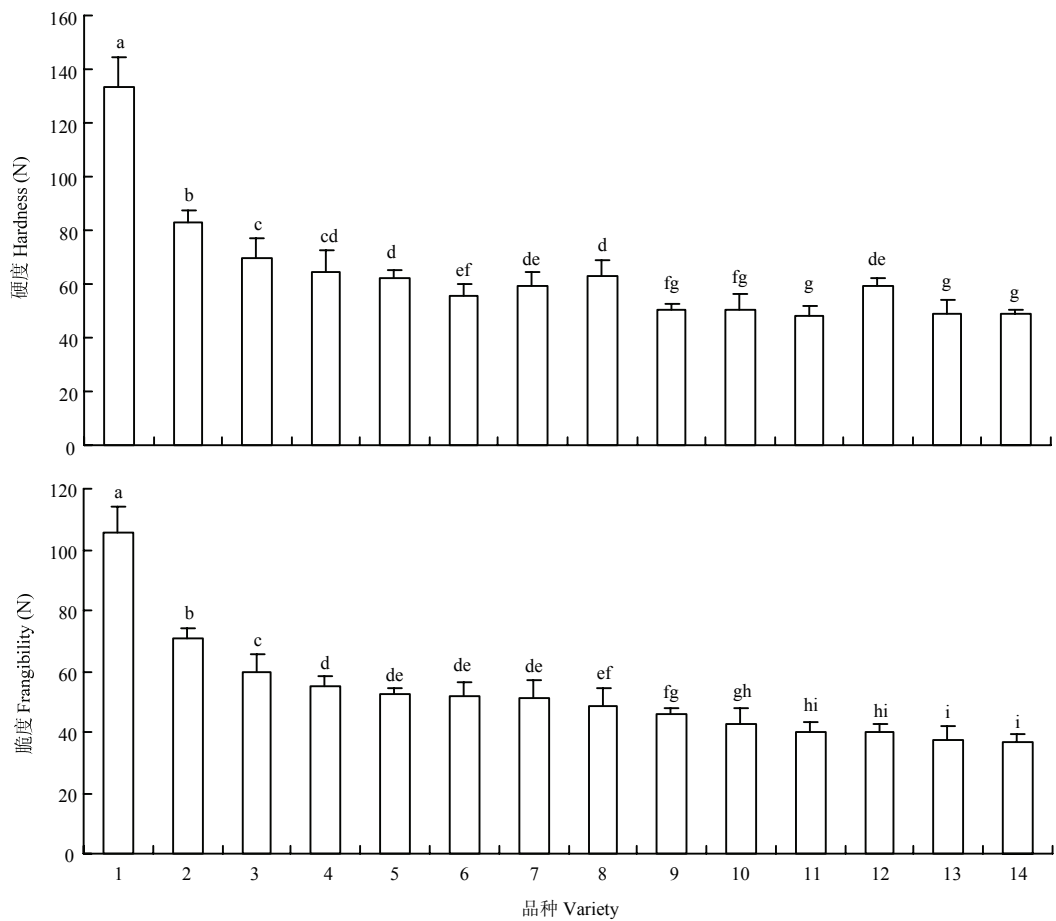
弹性为样品经过第一次压缩以后能够再恢复的程度^[23]。14 个品种梨的弹性差别比较表明，‘南水’> ‘晚秀’> ‘满丰’> ‘黄金’> ‘丰水’> ‘粉酪’> ‘黄冠’> ‘雪花’> ‘酥梨’> ‘秋黄’> ‘鸭梨’> ‘甘泉’> ‘满天红’> ‘美人酥’，除‘满天红’和‘美人酥’具有较低的果肉弹性之外，品种

之间差异较小，这可能是由于梨果实汁液含量多，在 75% 的受压程度下，试样经过两次挤压后变形较大，压缩后再恢复能力受抑制（图 2-A）。

凝聚性是咀嚼果肉时，果肉抵抗受损并紧密连接，致使果实保持完整的性质。因此，凝聚性可反映果肉细胞间结合力的大小。14 个品种的果肉凝聚性大小为：‘粉酪’> ‘满天红’> ‘秋黄’> ‘美人酥’> ‘酥梨’> ‘鸭梨’> ‘雪花’> ‘南水’> ‘晚秀’> ‘黄金’> ‘满丰’> ‘丰水’> ‘甘泉’> ‘黄冠’，品种间差异显著（图 2-B）。

2.3 不同品种梨果肉的回复性与咀嚼性

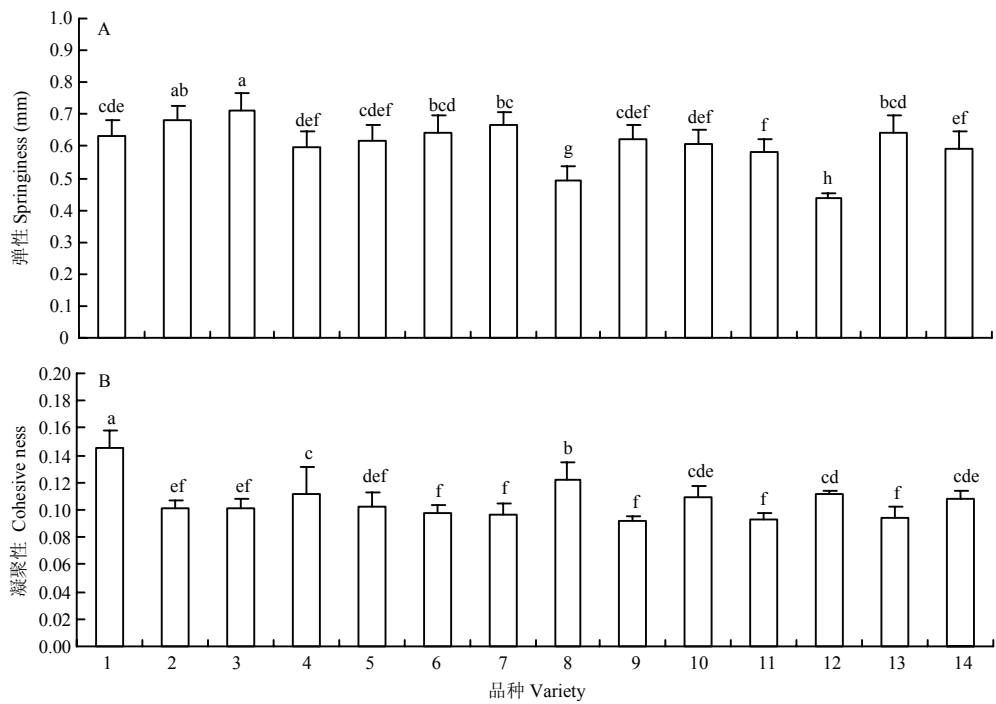
回复性表现的是果实受到挤压后迅速恢复变形的能力。在 14 个梨品种中，‘粉酪’的回复性最高，‘黄冠’的最低，品种间差异显著（图 3-A）。



1: 粉酪 Butirra Rosata Moretti; 2: 晚秀 Mansoo; 3: 南水 Nansui; 4: 秋黄 Chuhwang; 5: 雪花 Xuehua; 6: 黄金 Kwangkum; 7: 满丰 Manpung; 8: 满天红 Mantianhong; 9: 黄冠 Huangguan; 10: 酥梨 Suli; 11: 甘泉 Gamcheon; 12: 美人酥 Meirensu; 13: 丰水 Housui; 14: 鸭梨 Yali

图 1 不同品种梨的果肉硬度和脆度

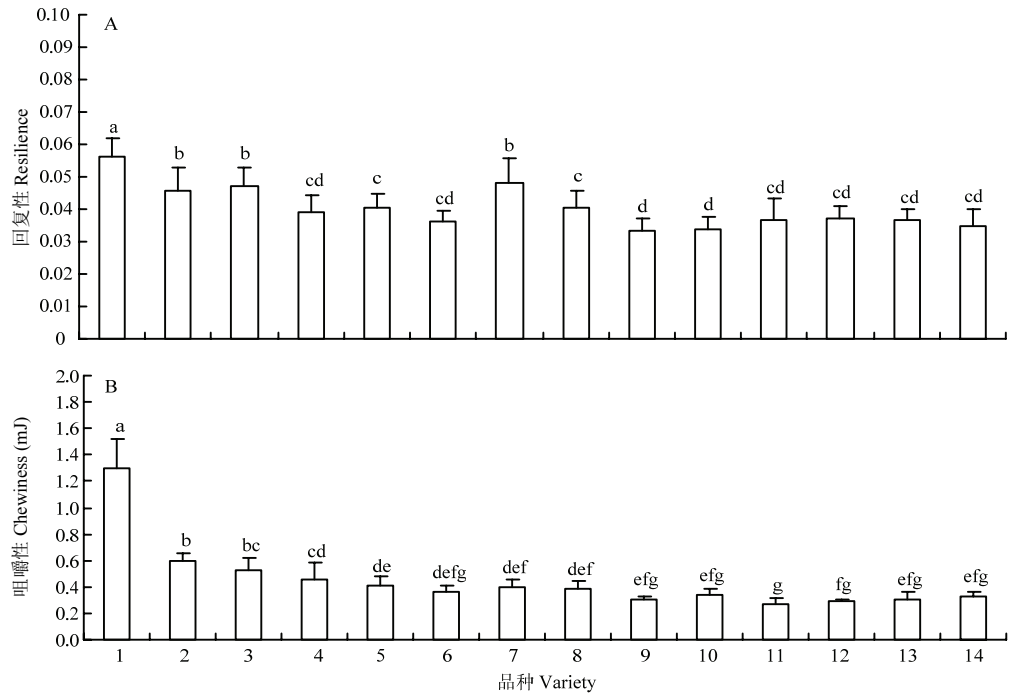
Fig. 1 The hardness and frangibility of flesh in different pear cultivars



1: 粉酡 Butirra Rosata Moretti; 2: 晚秀 Mansoo; 3: 南水 Nansui; 4: 秋黄 Chuhwang; 5: 雪花 Xuehua; 6: 黄金 Kwangkum; 7: 满丰 Manpung; 8: 满天红 Mantianhong; 9: 黄冠 Huangguan; 10: 酥梨 Suli; 11: 甘泉 Gamcheon; 12: 美人酥 Meirensu; 13: 丰水 Housui; 14: 鸭梨 Yali

图 2 不同品种梨果肉的弹性和凝聚性

Fig. 2 The springiness and cohesiveness of flesh in different pear cultivars



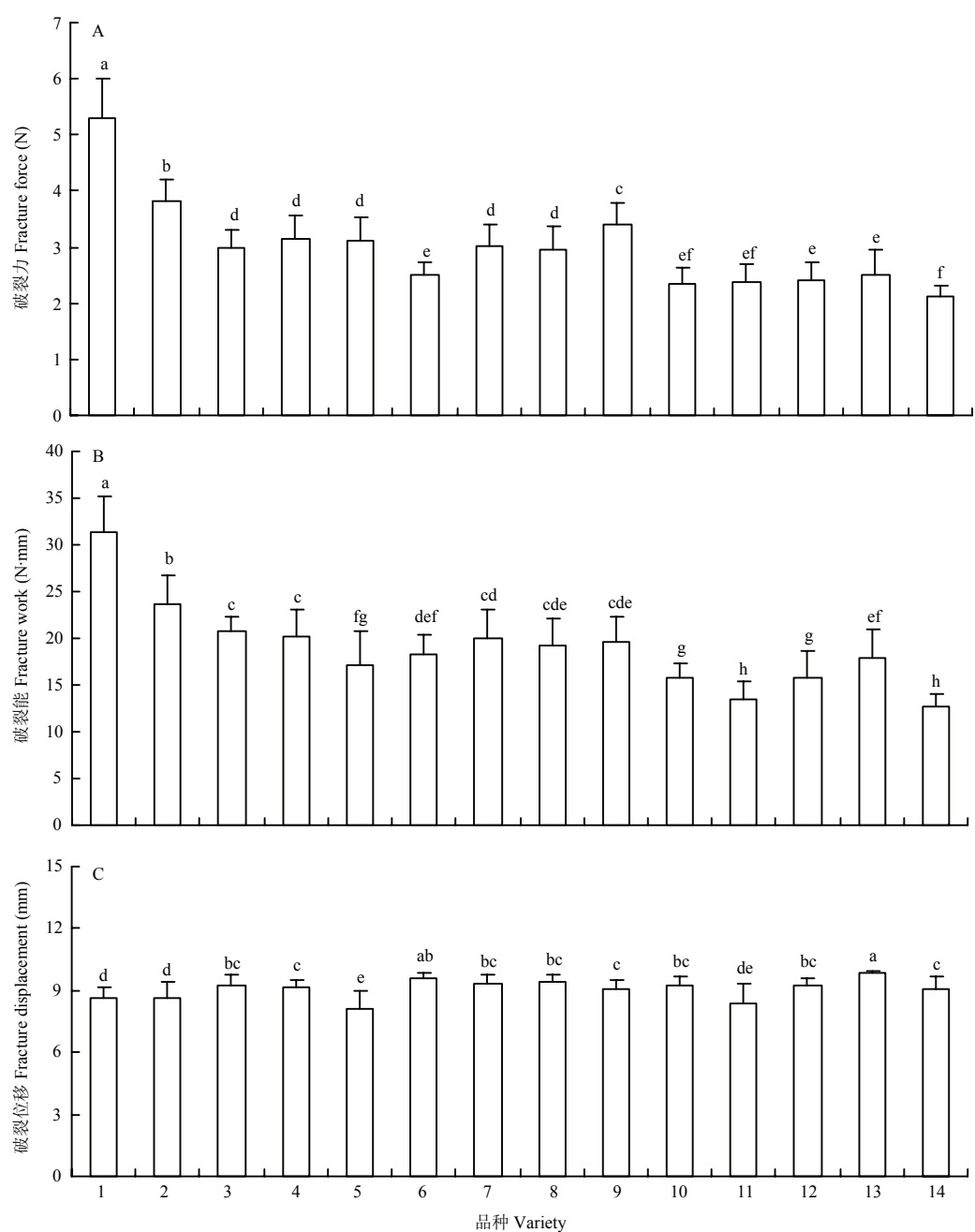
1: 粉酡 Butirra Rosata Moretti; 2: 晚秀 Mansoo; 3: 南水 Nansui; 4: 秋黄 Chuhwang; 5: 雪花 Xuehua; 6: 黄金 Kwangkum; 7: 满丰 Manpung; 8: 满天红 Mantianhong; 9: 黄冠 Huangguan; 10: 酥梨 Suli; 11: 甘泉 Gamcheon; 12: 美人酥 Meirensu; 13: 丰水 Housui; 14: 鸭梨 Yali

图 3 不同品种梨果肉的回复性和咀嚼性

Fig. 3 The resilience and chewiness of different pear cultivars

咀嚼性为弹性、凝聚性和硬度的乘积，反映咀嚼果肉到可以吞咽时需要的能量^[23]，以及果实对咀嚼的持续抵抗性^[6]。14个品种的咀嚼性变化同脆度和硬度变化基本一致，其中‘粉酪’的咀嚼性最高，‘美人酥’、‘丰水’、‘鸭梨’较低。除‘粉酪’以外，

其余品种之间的差别缩小（图 3-B）。
2.4 不同品种梨果肉的破裂力、破裂能和破裂位移
破裂力为咬嚼食物时的最大阻力；破裂能是产生最大阻力形变时需要的总能量。14个品种中，以‘粉酪’的破裂力和破裂能最大，‘鸭梨’的最小（图 4-A、



1: 粉酪 Butirra Rosata Moretti; 2: 晚秀 Mansoo; 3: 雪花 Xuehua; 4: 满天红 Mantianhong; 5: 满丰 Manpung; 6: 黄金 Kwangkum; 7: 秋黄 Chuhwangbae; 8: 美人酥 Meirensu; 9: 南水 Nansui; 10: 黄冠 Huangguan; 11: 酥梨 Suli; 12: 甘泉 Gamcheon; 13: 丰水 Housui; 14: 鸭梨 Yali

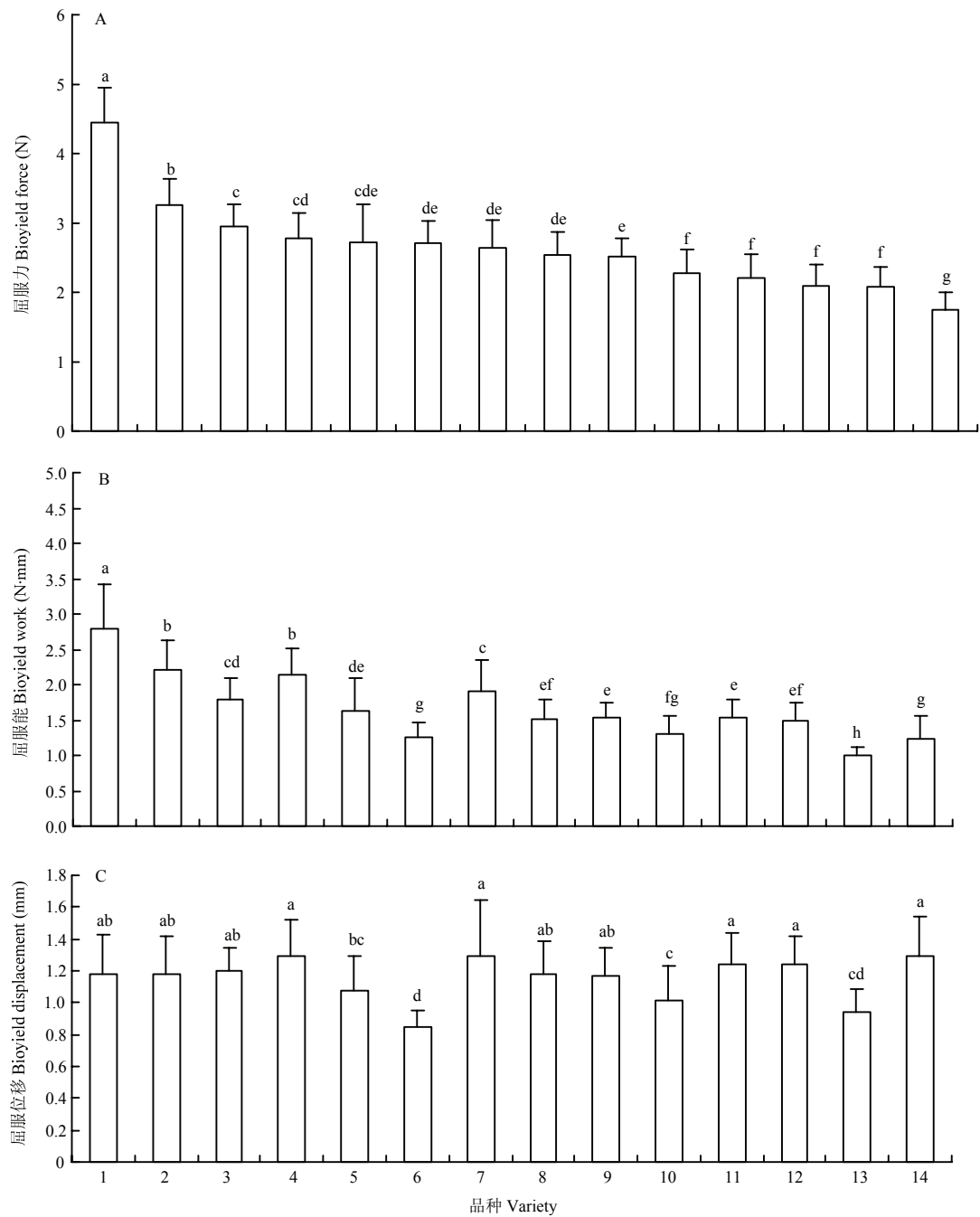
图 4 不同品种梨果肉的破裂力、破裂能和破裂位移
Fig. 4 The fracture force, work and displacement of flesh in different pear cultivars

B)。相对于品种间破裂力的差别，不同品种的破裂位移之间的差异较小，并以‘丰水梨’的破裂位移最大（图 4-C）

2.5 不同品种梨果肉的屈服力、屈服能和屈服位移

屈服力是样品第 1 次出现破碎时的力；屈服能是

刺破表面或者挤压破裂样品时做的功。以‘粉酪’屈服力和屈服能最大，‘鸭梨’屈服力最小，‘丰水’的屈服能最小（图 5-A、B）。相对来说，不同品种之间的屈服位移差异较小，‘秋黄’和‘鸭梨’的屈服位移最大（图 5-C）。



1: 粉酪 Butirra Rosata Moretti; 2: 晚秀 Mansoo; 3: 雪花 Xuehua; 4: 满天红 Mantianhong; 5: 满丰 Manpung; 6: 黄金 Kwangkum; 7: 秋黄 Chuhwang; 8: 美人酥 Meirensu; 9: 南水 Nansui; 10: 黄冠 Huangguan; 11: 酥梨 Suli; 12: 甘泉 Gamcheon; 13: 丰水 Housui; 14: 鸭梨 Yali

图 5 不同品种梨果肉的屈服力、屈服能和屈服位移

Fig. 5 The bioyield force, work and displacement of flesh in different pear cultivars

2.6 梨果肉 TPA 和穿刺参数之间的相关性

相关分析表明，梨果肉脆度、硬度、回复性、凝聚性、咀嚼性、屈服力、屈服能、破裂力和破裂能之间显著相关；屈服位移和破裂位移与其它参数之间的

相关性较差；果肉弹性与其它参数之间的相关性均不显著（表 1）。表明除果肉弹性、屈服位移和破裂位移之外，TPA 和穿刺测验两种方法得出的果肉质地性状之间关系密切。

表 1 梨果肉质地参数之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients among the flesh texture parameters in pear

	脆度 Frangibility	硬度 Hardness	弹性 Springiness	回复性 Resilience	咀嚼性 Chewiness	凝聚性 Cohesiveness	屈服力 Bio-yield force	屈服能 Bio-yield work	屈服位移 Bio-yield displacement	破裂力 Fracture force	破裂位移 Fracture displacement	破裂能 Fracture work
脆度 Frangibility	1											
硬度 Hardness	0.976**	1										
弹性 Springiness	0.346	0.187	1									
回复性 Resilience	0.859**	0.862**	0.363	1								
咀嚼性 Chewiness	0.971**	0.984**	0.265	0.838**	1							
凝聚性 Cohesiveness	0.677**	0.778**	-0.302	0.543*	0.775**	1						
屈服力 Bio-yield force	0.941**	0.939**	0.149	0.828**	0.897**	0.690**	1					
屈服能 Bio-yield work	0.846**	0.866**	-0.016	0.757**	0.812**	0.775**	0.881**	1				
屈服位移 Bio-yield displacement	0.057	0.141	-0.362	0.105	0.111	0.442	0.023	0.458*	1			
破裂力 Fracture force	0.948**	0.974**	0.186	0.923**	0.933**	0.717**	0.944**	0.882**	0.152	1		
破裂位移 Fracture displacement	-0.402	-0.365	-0.298	-0.521*	-0.376	-0.255	-0.352	-0.474*	-0.325	-0.392	1	
破裂能 Fracture work	0.908**	0.932**	0.118	0.815**	0.878**	0.668**	0.951**	0.835**	0.027	0.952**	-0.135	1

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

2.7 梨果肉质地聚类分析

聚类分析结果表明，按照果肉质地可将 14 个梨品种分为 3 类。第 1 类为‘丰水’、‘黄金’、‘黄冠’、‘酥梨’、‘甘泉’、‘鸭梨’、‘秋黄’、‘雪花’、‘满天红’、‘美人酥’、‘南水’和‘满丰’；该类主要表现为果肉脆度小，硬度低，咀嚼性低，屈服力小，屈服能低，破裂力小，破裂位移大，破裂能低，可归纳为果肉松软。第 2 类为‘晚秀’，其突出特点是果肉弹性大，可归为

果肉硬脆。第 3 类为‘粉酪’，其果肉硬度、脆度大，回复性、凝聚性和咀嚼性高，屈服力大，屈服能高，破裂力大，破裂能高，可归为果肉坚硬（图 6）。

2.8 梨果肉质地性状主成分分析

对不同品种梨果肉质地参数进行主成分分析表明，只有前 3 个主成分的特征值大于 1，因此只提取了 3 个主成分。第 1 主成分的方差占有主成分方差的 67.578%，第 2 主成分占 14.586%，第 3

主成分占 10.032%，这 3 个主成分的方差贡献率达到 92.196%，第 1 主成分中硬度的特征值最大，其次是破裂力，主要是 TPA 分析和穿刺测定参数，反映了果肉的咀嚼特性；第 2 主成分中弹性的特征值最大，其次是屈服位移，反映了果肉的弹性

和屈服性；第 3 主成分中破裂位移的特征值最大，其次是屈服位移，反映了果肉的破裂特性。这说明在梨果肉质地中，果肉硬度、破裂力和脆度等对质地的影响较大，弹性和破裂位移次之（表 2、表 3）。

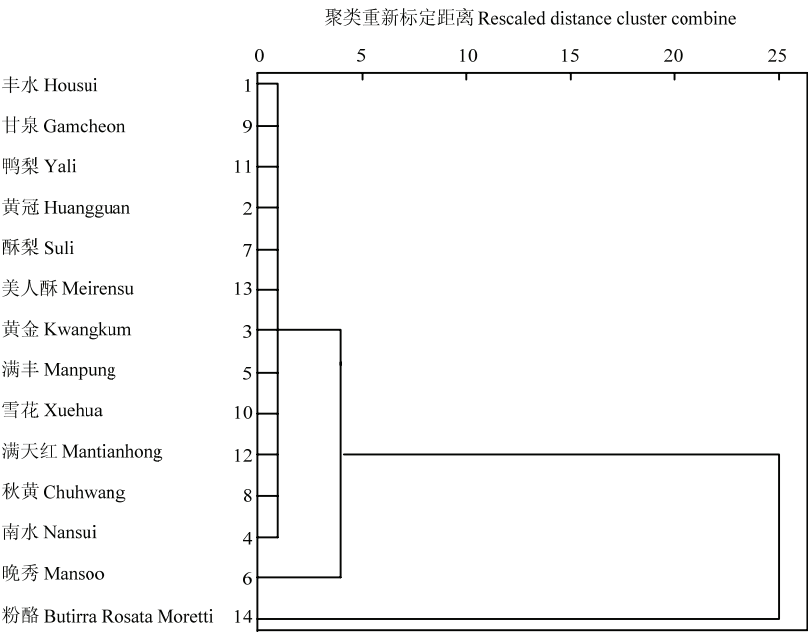


图 6 14 个品种梨果肉质地聚类分析

Fig. 6 Cluster analysis of flesh texture of the 14 varieties of pear

表 2 解释的总方差

Table 2 Total variance explained

主成分 Component	初始特征值 Initial eigen values			提取平方和载入 Extraction sums of squared loading				
	合计 Total	方差的% % of variance	累积% Cumulative/%	合计 Total	方差的% % of variance	累积% Cumulative/%		
1	8.109	67.578	67.578	8.109	67.578	67.578		
2	1.750	14.586	82.164	1.750	14.586	82.164		
3	1.204	10.032	92.196	1.204	10.032	92.196		
4	0.374	3.114	95.309					
5	0.297	2.472	97.781					
6	0.179	1.495	99.276					
7	0.050	0.414	99.690					
8	0.017	0.142	99.833					
9	0.013	0.108	99.940					
10	0.006	0.048	99.988					
11	0.001	0.010	99.999					
12	0.000	0.001	100.000					

表 3 主成分矩阵
Table 3 Component matrix

	成份 Component		
	1	2	3
脆度 Frangibility	0.971	-0.175	0.027
硬度 Hardness	0.987	-0.030	0.090
弹性 Springiness	0.190	-0.841	-0.374
回复性 Resilience	0.898	-0.199	-0.162
凝聚性 Cohesiveness	0.774	0.498	0.138
咀嚼性 Chewiness	0.963	-0.082	0.054
屈服力 Bioyield force	0.955	-0.077	0.149
屈服能 Bioyield work	0.918	0.275	-0.092
屈服位移 Bioyield displacement	0.201	0.792	-0.441
破裂力 Fracture force	0.985	-0.042	0.053
破裂位移 Fracture displacement	-0.448	0.006	0.825
破裂能 Fracture work	0.928	-0.067	0.313

3 讨论

不同水果果肉的质地特点不同，通常感官评定时很难对果肉质地进行人工量化，而采用质地分析仪可量化测定质地参数。本试验 TPA 结果表明，梨果肉硬度、凝聚性、回复力和咀嚼性之间呈显著正相关，与前人在梨^[4]、苹果^[6]和杨梅^[9]果实上的研究结果一致。基于 TPA 试验是模拟人口腔内咀嚼的过程，上述结果中果肉硬度、凝聚性、回复力和咀嚼性关系密切，因此，前三者可综合反映果肉的咀嚼性。

穿刺是模拟人咀嚼食品的过程，采用穿刺测定得到的果肉质地可反映人咬果肉时的质感。本试验结果表明，梨果肉破裂力与破裂能呈显著正相关，这与 Brookfield 等^[24]在苹果上的穿刺试验结果一致。进一步分析表明，除弹性、破裂位移和屈服位移外，梨果肉破裂力与破裂能与其余果肉 TPA 分析时的质地参数之间具有显著的相关关系（表 1），进一步说明了 TPA 分析与穿刺试验得到的质地参数之间具有相关性，二者均可以反映果肉的质地特性。但考虑到研究过程的简单化，可采取穿刺试验的方法，减少 TPA 分析需要制备果肉圆片试样的环节。穿刺试验方法在质地研究中已经逐渐受到重视^[14,16,18]。

聚类分析表明，供试梨的 14 个品种可分为 3

类，其中作为西洋梨的‘粉酪’品种，具有典型果肉硬度、脆度大，屈服力大，屈服能高，破裂力大，破裂能高的等特性，因此，采后立即食用时口感差。这与其它西洋梨一样，需要后熟一段时间才能达到最佳的食用品质；亚洲梨，如‘鸭梨’、‘黄金’和‘丰水’等品种，表现出果肉细腻的特点，即果肉脆度小，硬度低，咀嚼性低，屈服力小，屈服能低，破裂力小，破裂能低；‘晚秀’品种则介于两者之间，果肉弹性大。以上结果可为梨果肉质度评价提供量化依据，并为果肉质地的描述^[2]提供新的信息。

本试验通过主成分分析得出影响果实质地的 3 个主成分，其中果肉硬度、弹性和破裂位移的影响较大，进一步证实了 Monaco 等^[25]提出的“硬度和弹性可代表食品质地特性”观点。因此，在实际测定时，应关注梨果肉的硬度、弹性和破裂位移，可用之表示梨果肉质度特性。本试验结果表明，‘粉酪’的果肉硬度大，而‘鸭梨’、‘丰水’和‘黄金’等品种的硬度较小。当然，第一主成分占据较为重要的地位，其中，果肉硬度、破裂力、脆度、咀嚼性的特征值较为接近，是反映果肉质度的重要参数。

质构分析仅是果肉感官品质的组成部分，尚不能给出果肉汁液多少、石细胞分布等其它性状，需要与感官评定相结合，并结合仪器分析得到的参数值与感官评定的相关性^[26-27]，以全面评价果肉感官品质。

4 结论

14 个梨品种的果肉质地参数中，果肉的脆度、硬度、回复性、凝聚性、咀嚼性、屈服力、屈服能、破裂力和破裂能等之间具有密切的相关性，其中果肉硬度、弹性和破裂位移对果实质地的影响较大。

References

[1] 李里特. 食品物性学. 北京: 中国农业出版社, 1998: 134-135.
Li L T. *Physical Properties of Foods*. Beijing: China Agricultural Press, 1998: 134-135. (in Chinese)
[2] 曹玉芬. 梨种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Cao Y F. *Descriptors and Data Standard for Pear (Pyrus spp.)*. Beijing: China Agricultural Press, 2006. (in Chinese)

- [3] Sirisomboon P, Tanaka M, Akinage T, Kojima T. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. *Journal of Texture Studies*, 2000, 31: 665-677.
- [4] 孟陆丽, 张谦益, 吴洪华, 王香林, 张明德. TPA 试验测试梨果肉质质地研究. *食品科技*, 2006, 10: 283-286.
- Meng L L, Zhang Q Y, Wu H H, Wang X L, Zhang M D. Study on pear's texture by TPA test. *Food Science and Technology*, 2006, 10: 283-286. (in Chinese)
- [5] 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. *园艺学报*, 2012, 39(7): 1359-1364.
- Gao H S, Jia Y R, Wei J M, Ran X T, Yue W Q. Studies on the post-harvested fruit texture changes of 'Yali' and 'Jingbaili' pears by using texture analyzer. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(7): 1359-1364. (in Chinese)
- [6] 潘秀娟, 屠康. 质构仪质地多面分析方法对苹果采后质地变化监测. *农业工程学报*, 2005, 21(3): 166-170.
- Pan X J, Tu K. Comparison of texture properties of post-harvested apple using texture profile analysis. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(3): 166-170. (in Chinese)
- [7] 姜松, 林琳, 王海鸥, 赵杰文. 苹果整果 TPA 试验的研究. *江苏大学学报*, 2004, 25(3): 189-192.
- Jiang S, Lin L, Wang H O, Zhao J W. Experimental study on whole apple's TPA. *Journal of Jiangsu University*, 2004, 25(3): 189-192. (in Chinese)
- [8] Yang Z F, Zheng Y H, Cao S F, Tang S S, Ma S J, Li N. Effects of storage temperature on textural properties of Chinese bayberry fruit. *Journal of Texture Study*, 2007, 38: 166-177.
- [9] 陈青, 励建荣. 杨梅果实储存过程中质地变化规律的研究. *中国食品学报*, 2009, 9: 66-71.
- Chen Q, Li J R. Research on texture change regularity of the Chinese bayberry during storage. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2009, 9: 66-71. (in Chinese)
- [10] 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. *果树学报*, 2010, 27(3): 379-384.
- Song X Q, Zhang B, Xu C J, Zhang J K, Li X, Chen K S. Texture profile analysis of postharvest loquat fruit. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(3): 379-384. (in Chinese)
- [11] Kajuna S T A R, Bilanski W K, Mittal G S. Textural changes of banana and plantain pulp during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1997, 75: 244-250.
- [12] 张谦益, 吴洪华, 王香林, 张明德. 穿刺试验测试梨果肉质地的研究. *农产品加工学刊*, 2006(4): 22-24.
- Zhang Q Y, Wu H H, Wang X L, Zhang M D. Study on pear's texture by puncture test. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2006(4): 22-24. (in Chinese)
- [13] Camps C, Guillermin P, Mauget J C, Bertrand D. Data analysis of penetrometric force/displacement curves for the characterization of whole apple fruits. *Journal of Texture Studies*, 2005, 36: 387-401.
- [14] 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. *中国农业科学*, 2011, 44(6): 1210-1217.
- Ma Q H, Wang G X, Liang L S. Establishment of the detecting method on the fruit texture of Dongzao by puncture test. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(6): 1210-1217. (in Chinese)
- [15] Yoshioka Y, Horie H, Sugiyama M, Sakata Y. Quantifying cucumber fruit crispness by mechanical measurement. *Breeding Science*, 2009, 59: 139-147.
- [16] Aurand R, Faurobert M, Page D, Maingonnat J, Brunel B, Causse M, Bertin N. Anatomical and biochemical trait network underlying genetic variations in tomato fruit texture. *Euphytica*, 2012, 187: 99-116.
- [17] Askari G R, Emam-Djomeh Z, Mousavi S M. Effects of combined coating and microwave assisted hot-air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple slices. *Food Science and Technology International*, 2006, 12(1): 39-46.
- [18] Costa F, Cappellin L, Fontanari M, Longhi S, Guerra W, Magnago P, Gasperi F, Biasioli F. Texture dynamics during postharvest cold storage ripening in apple (*Malus domestica* Borkh.). *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 69: 54-63.
- [19] Mehinagic E, Royer G, Symoneaux R, Bertrand D, Jourjon F. Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 34: 257-269.
- [20] 邵兴锋, 屠康. 采后热空气处理对嘎啦苹果质地的影响及其作用机理. *果树学报*, 2009, 26(1): 13-18.
- Shao X F, Tu K. Effect and mechanism of hot air treatment on the fruit texture of Gala apple cultivar. *Journal of Fruit Science*, 2009, 26(1): 13-18. (in Chinese)
- [21] Chen H, Duprat F, Grotte M, Loonis D, Pietri E. Relationship of impact transmission wave to apple texture during ripening. *Journal of Texture Studies*, 1996, 27: 123-141.
- [22] 蔡琰, 余美丽, 邢宏杰, 狄华涛, 裴娇艳, 许凤, 郑永华. 低温预贮处理对冷藏水蜜桃冷害和品质的影响. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 334-338.
- Cai Y, Yu M L, Xing H J, Di H T, Pei J Y, Xu F, Zheng Y H. Effects of low temperature conditioning on chilling injury and quality of

- cold-stored juicy peach fruit. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 334-338. (in Chinese)
- [23] Szczesniak A S. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 2002, 13: 215-225.
- [24] Brookfield P L, Nicoll S, Gunson F A, Harker F R, Wohlers M W. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 59: 179-186.
- [25] Monaco R D, Cavella S, Masi P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 2008, 39: 129-149.
- [26] Harker F R, Maindonald J, Murray S H, Gunson F A, Hallett I C, Walker S B. Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 24: 225-239.
- [27] Mehinagic E, Royer G, Symoneaux R, Jourjon F. Relationship between apple sensory attributes and instrumental parameters of texture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 2006, 14: 25-37.

(责任编辑 曲来娥)

欢迎订阅 2015 年《农产品质量与安全》

中国科技核心期刊

主管：中华人民共和国农业部；主办：中国农业科学院

支持单位：农业部农产品质量安全监管局

协办单位：农业部农产品质量安全中心 中国绿色食品发展中心

承办单位：中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所

主要栏目：本刊特稿、本刊专稿、政策法规、质量安全监管、无公害农产品、绿色食品、有机农产品、农产品地理标志、农业标准化、检验检测、学科建设与发展、研究与探讨、安全生产技术、地方经验交流、海外博览、农业标准公告、信息与动态等。

读者对象：与农产品质量安全、农业质量标准和检验检测有关的各级行政管理、科研教学、检验监测、技术推广、生产企业等部门的相关人员。

本刊为双月刊，逢双月 10 日出版。大 16 开本，彩色四封，80 页。全国各地邮局（所）均可订阅，也可直接到本刊编辑部办理订阅手续。邮发代号：82-223。每册定价：10.00 元，全年共 60.00 元。

通讯地址：北京市中关村南大街 12 号中国农科院质标所《农产品质量与安全》编辑部，邮政编码：100081。

联系电话/传真：（010）82106521、82106522；E-mail: aqs@caas.cn

欢迎各界朋友订阅、赐稿和刊登广告