

# 7个梨品种不同熟期果肉质地评价分析

徐钰清, 田路明\*, 曹玉芬, 董星光, 张莹, 霍宏亮, 齐丹, 徐家玉, 刘超

(中国农业科学院果树研究所·农业农村部园艺作物种质资源利用重点实验室, 辽宁兴城 125100)

**摘要:**【目的】探究7个梨品种在不同采收期、不同货架期果肉质地的变化规律及质构性状的差异。【方法】以脆肉梨品种怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨, 以及软肉梨品种京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿这7个梨品种为试验材料, 对不同成熟度梨果的平均单果质量、可溶性固形物含量进行测量, 应用质构仪质地多面分析法(TPA)测定果肉的破裂力、硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性等6个质地参数指标, 并对质地参数进行相关性分析。【结果】7个梨品种的平均单果质量均随着成熟度的增加而逐渐升高, 可溶性固形物含量的变化趋势因品种和果肉质地类型的不同而存在差异。不同采收期的脆肉梨怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨, 随着货架期的延长, 果肉破裂力、硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性均在较小的范围内变化, 且随着采收期的延长呈逐渐降低的趋势, 其中鸭梨的果肉质地参数值始终处于较高水平。而软肉梨京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿果肉质地参数的变化与脆肉梨相比较, 果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性等参数值均在货架期7~14 d时呈下降趋势, 在货架期14~21 d时无明显变化, 内聚性的变化趋势因品种不同而存在差异。相关性分析表明, 果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性之间均呈极显著正相关, 而内聚性与硬度和咀嚼性呈显著正相关, 与胶黏性呈极显著正相关。【结论】采用质构仪TPA法获得的相关质地参数指标能准确地反映出不同成熟度的梨果在货架期质地的变化规律及不同梨品种之间质构特性的差异, 为梨果实采收期判断和采后果肉质地鉴定评价提供一定的参考依据。

**关键词:** 梨; 质地多面分析; 果肉质地; 货架期

中图分类号: S661.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2023)10-2112-12

## Evaluation of flesh texture of seven pear varieties at different ripening stages

XU Yuqing, TIAN Luming\*, CAO Yufen, DONG Xingguang, ZHANG Ying, HUO Hongliang, QI Dan, XU Jiayu, LIU Chao

(Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Horticultural Crop Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xingcheng 125100, Liaoning, China)

**Abstract:** 【Objective】The texture of the flesh is one of the important quality indicators the fruits, and is closely related to tissue state, taste and flavor of the fruits, which is often use to evaluate fruit the maturity, storability and shelf life. There are great differences in flesh texture between different pear varieties, and the changes in fruit components are closely related to the maturity of the fruit, which directly affects the edible quality, storability and transportation quality and commodity value of the fruit. This study analyzed the dynamic variations of flesh texture parameters of seven pear fruits with ripening, texture types during different shelf life at room temperature, and differences in flesh texture traits among different pear varieties. 【Methods】In this experiment, three crispy pear varieties such as Huailai Dayali (*Pyrus bretschneideri* Rehd.), Kuerlexiangli pear (*P. sinkiangensis* Yu.) and Yali (*P. bretschneideri* Rehd.), and four soft flesh pear varieties such as Jingbaili (*P. ussuriensis* Maxim.), Nanguoli (*P. ussuriensis* Maxim.), Wujiuxiang (*P. bretschneideri* × *P. communis*) and Jeanne d'Are (*P. communis* L.) were

收稿日期: 2023-02-09 接受日期: 2023-06-21

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-RIP); 国家现代农业产业技术体系(CARS-28-01); 国家科技资源共享服务平台项目(NHGRC2022-NH02-1)

作者简介: 徐钰清, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为梨种质资源。Tel: 15532996887, E-mail: xuyuqing0325@163.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0429-3598119, E-mail: tianluming@caas.cn

used as test materials, and the fruits with good fruit shape and consistent ripeness were collected on September 10, September 20 and September 30, and placed in the laboratory, and the harvested fruits were sampled and tested at the 7, 14 and 21 days of the postharvest shelf life. An electronic balance and a PR-101a refractometer (Japan ATAGO company) were used to measure the weight of pear fruit and content of soluble solids, respectively, and six texture parameters including fracture, firmness, cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness of the flesh were determined by a Texture Profile Analysis (TPA) food physical property analyzer, and correlation analysis of texture parameters was carried out. In the TPA test, the fruit is cut longitudinally into two halves along the pear fruit stalk. Each half of the fruit was sampled with a hole punch with an inner diameter of 10 mm using a small cylinder, and the tissue column with a height of 9 mm was placed on the plate of the texture analyzer. TPA test was carried out with a cylindrical probe with a diameter of 75 mm. Each random sample of 10 fruit was used for the determination of texture parameters, and the test for each fruit was repeated 4 times. **【Results】** The average weight per fruit of the seven pear varieties gradually increased with fruit ripening, and the change trend of soluble solids varied among different varieties and flesh texture types. Flesh fracture, firmness, cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness of the crispy pears in different harvest periods varied within a small range and gradually decreased with the extension of shelf life, among which the flesh texture parameter values of Yali were always at a high level. The variation in flesh texture parameters of soft flesh pears, Jingbai pear, Nanguo pear, Wujiu Xiang and Jeanne d'Are was greater than that of the crispy pears. Among fracture, firmness, springiness, gumminess and chewiness, the five texture parameters of the flesh of Jingbai pear and Nanguo pear were at a high level at the 7th day of the shelf life, and the value of the texture parameters had decreased significantly by the 14th day of the shelf life, and changed slightly by the 21 d of the shelf. The cohesiveness changed less during the shelf period. Flesh fracture, firmness, gumminess and chewiness of Wujiuxiang and Jeanne d'Are fruits harvested on September 10 were relatively high at the 7th day of the shelf life and had decreased sharply by the 14th day of the shelf life, and then remained basically stable thereafter. However, the four texture parameters of Wujiuxiang and Jeanne d'Are fruits harvested on September 20 and September 30 remained basically unchanged and were at a low level with the extension of the shelf life. In addition, with the extension of shelf life, the cohesiveness of Wujiuxiang changed in a small range; the parameter value of springiness gradually decreased. The cohesiveness of Jeanne d'Are gradually increased, and springiness gradually decreased. The correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between fracture, firmness, springiness, gumminess and chewiness, indicating that one or more of these five texture parameters could be used to distinguish the differences in flesh texture of the seven pear varieties and cohesiveness was significantly positively correlated with firmness and chewiness, and extremely positively correlated with gumminess. **【Conclusion】** The texture-related indexes of flesh such as fracture, firmness, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness obtained by the texture analyzer of TPA method can better reflect the change in texture of pear fruits with different ripeness during shelf life and can be used to characterize the texture of different pear varieties and determine harvest period of pear varieties.

**Key words:** Pear; Texture profile analysis; Flesh texture; Shelf life

梨树在世界上种植广泛,在中国已有3000年以上的栽培历史,其果实主要用于鲜食,营养价值高,具有很高的经济价值。梨果肉质能够直接反映果实的组织状态和口感,不仅是影响果实品质性状的重要指标<sup>[1]</sup>,也是评价果实成熟度、耐贮性和货架期的重要依据<sup>[2]</sup>。物性分析仪是量化和精确分析果实口感和内部组织结构的一种仪器,它可以对果实的质地性状包括破裂力、硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性等过去不能量化的一些参数作出准确表述,使得果肉质地的表述更加准确,对果实品质的评价更加客观,同时也弥补了传统测量方法的一些不足之处<sup>[1-3]</sup>。质地多面分析法(texture profile analysis, TPA)是质构仪结合特定探头来模拟人牙齿对食物的咀嚼运动,对试样进行两次压缩<sup>[4]</sup>,从而获得试样的多种质构特性参数<sup>[5]</sup>。近年来国内外已将TPA法广泛用于测定果实质地性状的相关研究,如苹果<sup>[6-7]</sup>、梨<sup>[8-9]</sup>、葡萄<sup>[10-11]</sup>、枣<sup>[12]</sup>、石榴<sup>[13]</sup>、蓝莓<sup>[14-15]</sup>、甜瓜<sup>[16-17]</sup>等。

不同质地特性梨品种间的果肉质地在较大差异,大多数脆肉型品种质地脆嫩,较耐贮藏,而大多数软肉型品种在刚采收时果肉质地粗硬,经后熟果实变软,不耐贮藏<sup>[18]</sup>。果实质地的变化与果实的成熟和衰老密切相关,直接影响果实的食用品质和商品价值<sup>[19]</sup>,成熟度会对果实的品质和货架期产生一定的影响,适宜时期采收对营养物质的积累和提高果实品质具有重要作用。研究不同质地类型梨果实在采后各果肉质参数指标的变化,可帮助育种专家确定新个体的最佳亲本<sup>[20]</sup>,从而培育出不同特色、不同风味的梨新品种,提升梨果的品质,以满足消费者对梨不同质地口感的需求以及对高质量梨果的要求<sup>[18]</sup>。目前,关于梨果在成熟过程中不同质地特性的梨果实间果肉质性状的差异和变化规律研究较少,对采后不同果肉类型梨果在不同货架期果肉质变化研究极少。笔者在本研究中采用质构仪对7个不同成熟期、不同质地类型的梨种果肉质地进行TPA测定,分析不同成熟度的梨果在室温货架期果肉质参数的动态变化规律,通过比较不同质地特性的梨品种间果肉质性状的差异,为梨果最佳采收期的确定及采后果肉质评价分析提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

2022年在国家梨苹果种质资源圃(兴城)中选

用具有不同质地特征且成熟期相近的7个品种,即脆肉型梨品种怀来大鸭梨(四倍体)(*Pyrus bretschneideri* Rehd.)、库尔勒香梨(*P. sinkiangensis* Yu.)和鸭梨(二倍体)(*P. bretschneideri* Rehd.),以及软肉型梨品种京白梨(*P. ussuriensis* Maxim.)、南果梨(*P. ussuriensis* Maxim.)、五九香(*P. bretschneideri* × *P. ussuriensis*)和珍妮阿(*P. communis* L.)作为试验材料。设有3个采样时期,即分别在9月10日(T1)、9月20日(T2)、9月30日(T3)选取果形端正、大小均匀、成熟度一致的无病虫害及机械损伤的果实分别放置于实验室中,果实均在室温条件下,于采后货架期7、14和21 d时取样测试。

### 1.2 试验仪器

平均单果质量采用电子天平进行称量;可溶性固形物含量(soluble solid content, SSC)采用日本ATAGO公司的PAL-1便携式数显折光仪进行测定;质地参数采用美国Food Technology Corporation公司的TMS-TOUCH食品物性分析仪(质构仪)进行测定。

### 1.3 试验方法和参数设置

采用质地多面分析法(TPA)对果肉质参数指标进行测定,试验方法参考潘秀娟等<sup>[4]</sup>和王斐等<sup>[5]</sup>的测定方法并加以改进,沿梨果果梗将果实纵切为两半,每半果实分别用内径为10 mm的打孔器取样,切取高度为9 mm的小圆柱体作为试样,将切取果肉试样置于质构仪的平板上,用直径为75 mm的圆柱形探头进行TPA测试。每次随机取样10个果实用于质地参数的测定,每个果实重复测定4次,共40次重复。

参数设置条件为:探头回升到样品表面上面的高度10 mm,形变百分量50%,检测速度30 mm·min<sup>-1</sup>,起始力1 N。通过质地特征图线得到梨果肉质地的各参数指标:破裂力、硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性。

### 1.4 数据处理

实验数据用Excel进行作图和数据统计分析,采用SPSS Statistics 26.0软件进行参数间的方差分析和相关性分析,采用Duncan新复极差法检验差异显著性( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同采收期7个梨品种果实单果质量的评价分析

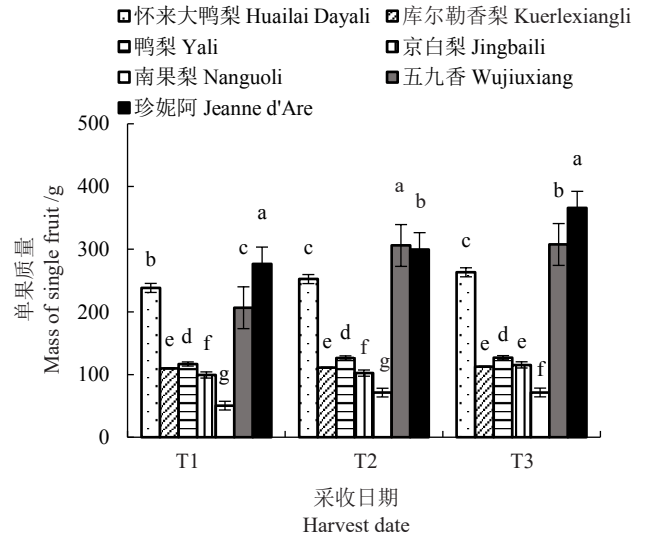
由图1可以看出,随着采收期的延长,怀来大鸭

梨、库尔勒香梨、鸭梨、京白、南果梨、五九香、珍妮阿的单果质量均逐渐增加。同一成熟期采收的果实,不同梨品种间的单果质量存在显著差异,T1采收的梨果单果质量大小为珍妮阿>怀来大鸭梨>五九香>鸭梨>库尔勒香梨>京白>南果梨,最大单果质量为276.7 g,最小单果质量为50.4 g;T2采收的梨果单果质量大小为五九香>珍妮阿>怀来大鸭梨>鸭梨>库尔勒香梨>京白>南果梨,最大单果质量为305.9 g,最小单果质量为71.2 g;T3采收的梨果单果质量,珍妮阿>五九香>怀来大鸭梨>鸭梨>京白>库尔勒香梨>南果梨,最大单果质量为365.6 g,最小单果质量为71.4 g。供试品种中大果型梨果,发育后期果实增重快于小果型梨果。

**2.2 7个梨品种在不同货架期果肉可溶性固形物含量的评价分析**

不同采收期的梨果货架期可溶性固形物含量的变化如图2所示,从图2可以看出,随着货架期的延长,不同成熟度采收的梨果中,怀来大鸭梨、京白梨的可溶性固形物含量均呈现出先上升后下降的趋势,珍妮阿的可溶性固形物含量稍有下降,且均在较小的范围内变化;库尔勒香梨、鸭梨、南果梨、五九香的可溶性固形物含量处于较小范围的波动状态。其中,T2采收的且在货架期第14天的南果梨可溶性固形物含量(w,后同)最高,为16.72%,而货架期第21天的怀来大鸭梨可溶性固形物含量最低,为9.22%。

脆肉梨果中库尔勒香梨的可溶性固形物含量最



T1. 9月10日;T2. 9月20日;T3. 9月30日。不同小写字母代表同一时期不同品种间差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

T1. Sept. 10; T2. Sept. 20; T3. Sept. 30. Different small letters indicate significant differences between varieties at same developmental stage ( $p < 0.05$ ). The same below.

图1 7个梨品种在成熟过程中平均单果质量的变化

Fig. 1 Changes in the average single fruit mass of seven pear varieties during ripening

高,且一直维持在较高的水平,且略高于软肉梨五九香;软肉梨果中,在T1采收且货架期第7天和第21天的京白梨可溶性固形物含量最高,分别为13.28%和13.64%;而在其余时期内,南果梨的可溶性固形物含量最高。珍妮阿室温货架期较短,21 d时已经完全失去商品价值,未测货架期21 d的可溶性固形

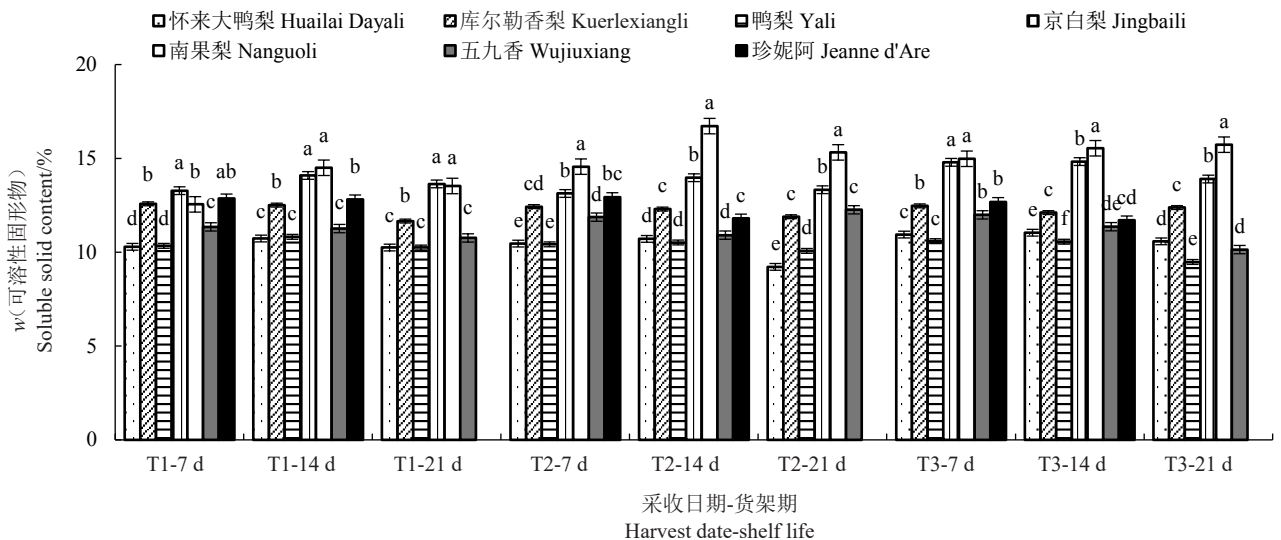


图2 不同熟期的7个梨品种在货架期可溶性固形物含量的变化

Fig. 2 Changes in soluble solids content during shelf life in seven pear varieties harvested at different ripening stages



物含量。

### 2.3 7个梨品种间肉质质地参数的评价分析

**2.3.1 破裂力** 破裂力是指样品发生折断时的力,在一定程度上代表了果实的脆度<sup>[1]</sup>。由图3可知,同一成熟度采收的果实,随着货架期的延长,不同梨果之间的果肉破裂力存在差异。在T1、T2及T3采收的脆肉梨果怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨的果肉破裂力均随着货架期的延长变化较缓,其中,鸭梨的果肉破裂力最大,库尔勒香梨次之,怀来大鸭梨最小。T1采收的软肉梨果京白梨、南果梨、五九香、珍妮阿的果肉破裂力随着货架期的延长变化较大,在货架期第7天,软肉梨果的果肉破裂力均处于较高水平,其中,南果梨的果肉破裂力显著高于京白梨、五九香和珍妮阿,为47.3 N,而五九香最小,为21.4 N;在货架期第14天后果肉的破裂力显著降低,其中,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿的果肉破裂力分别下降了81.8%、74.1%、81.4%和91.8%;而在货架期

21 d后果肉破裂力变化较缓。在T2采收的软肉梨果中,京白梨和南果梨的果肉破裂力在货架期第7天时均处于较高水平,南果梨的果肉破裂力显著高于京白梨、五九香和珍妮阿,为49.6 N,而五九香最小,为3.4 N;之后货架期至14 d时果肉破裂力迅速下降,分别下降了82.9%和89.7%,而在货架期至21 d时,果肉的破裂力呈小幅度下降趋势;而五九香和珍妮阿在整个货架期果肉的破裂力较小,且随着货架期的延长逐渐下降,下降幅度小于京白梨和南果梨。T3采收的软肉梨果,在货架期第7天时不同梨果间的果肉破裂力存在显著差异,南果梨>京白梨>五九香>珍妮阿,最大为24.2 N,最小为3.1 N;当货架期至14 d时,京白梨、南果梨和五九香间的果肉破裂力无显著差异,但均显著高于珍妮阿,且这4个梨果的果肉破裂力均呈下降趋势,分别下降了71%、81.3%、41%和44.9%;而货架期第21天时果肉破裂力变化较缓,基本上保持不变。从采收期分析,

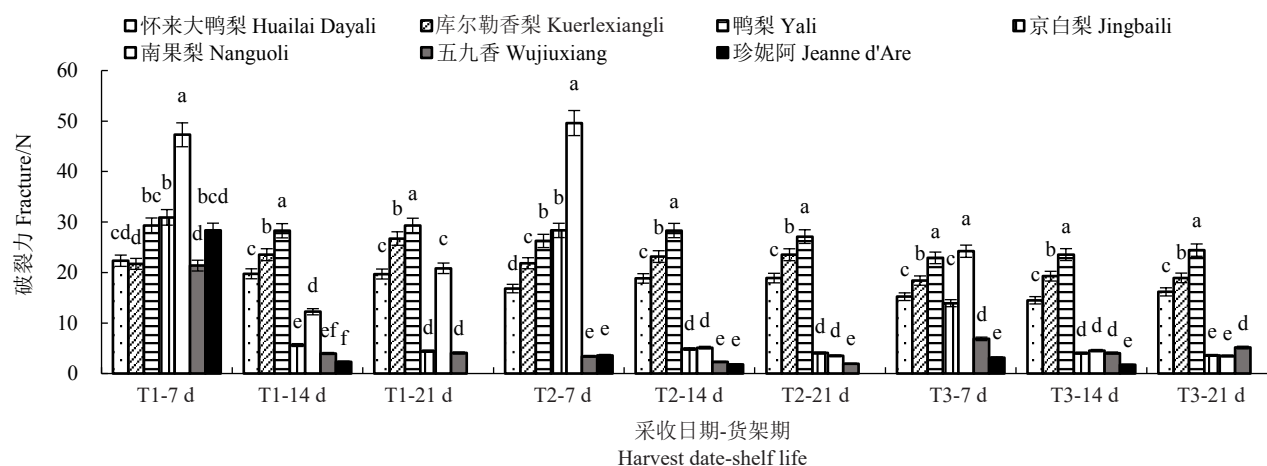


图3 不同熟期的7个梨品种在货架期果肉破裂力的变化

Fig. 3 Changes in flesh fracture force in seven pear varieties harvested at different ripening stages and during shelf life

梨果的果肉破裂力由于采收期的不同也存在显著差异。随着采收期的延长,这7个梨果的果肉破裂力在货架期均呈现出逐渐减小的趋势,且梨果采收的越晚,梨果的果肉破裂力越小。

**2.3.2 硬度** 果肉硬度是指果肉发生形变所需要的力,在感官上指人的牙齿咀嚼压迫果肉时所消耗的能量,反映了果肉整体的坚实程度和致密程度<sup>[1,21]</sup>。随着货架期的延长,同一成熟度采收的不同梨果之间的果肉硬度的变化趋势有所不同(图4)。果肉硬度的变化趋势与破裂力的变化相似,T1、T2及T3采收的脆肉梨果怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨的果肉

硬度在货架期呈小幅度变化趋势,同样是鸭梨的果肉硬度最大,库尔勒香梨次之,怀来大鸭梨最小,且这3个梨品种之间的果肉硬度差异显著。T1采收的软肉梨果京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿的果肉硬度在货架期第7天时果肉硬度均处于较高水平,其中南果梨>京白梨>珍妮阿>五九香,最大为54.8 N,最小为22 N,除了珍妮阿和五九香之间差异不显著外,其他梨果之间存在显著差异;在货架期第14天时果肉的硬度迅速下降,其中,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿的果肉硬度分别下降了82.8%、76.8%、79.5%和90.6%;之后到货架21 d时果肉硬度变化较缓,软肉

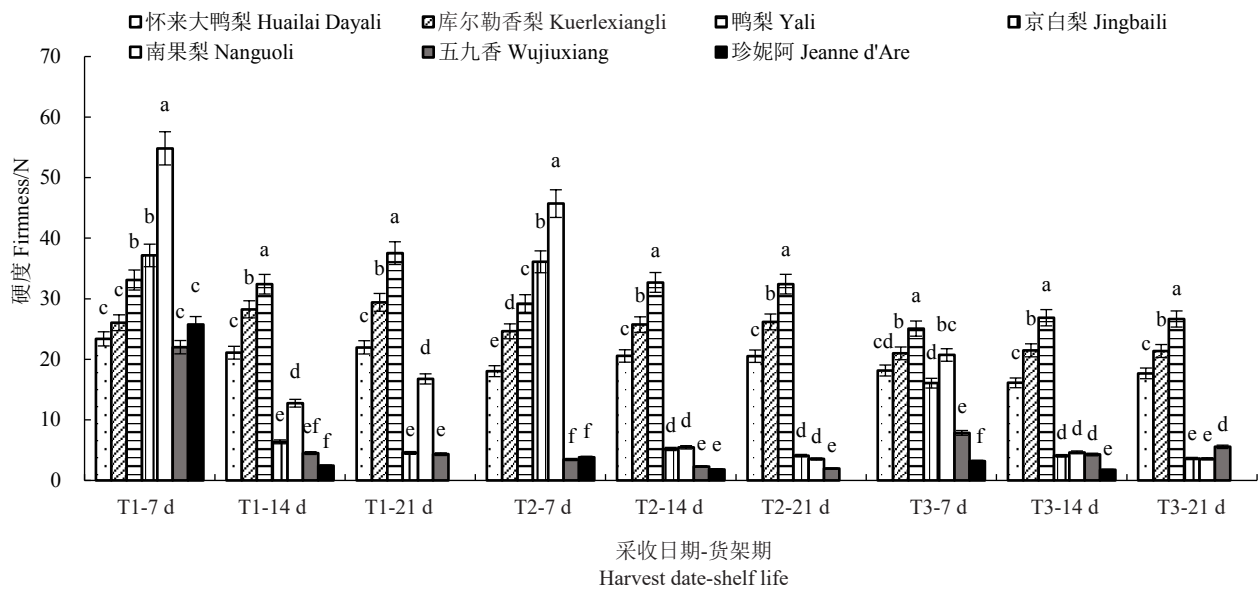


图4 不同熟期的7个梨品种在货架期果肉硬度的变化

Fig. 4 Changes in flesh firmness in seven pear varieties harvested at different ripeness and during shelf life

梨的果肉硬度基本维持稳定。T2采收的软肉梨果中,在货架期7 d时京白梨和南果梨的果肉硬度均处于较高水平,而五九香和珍妮阿较低,此外,仍然是南果梨的果肉硬度最大,为45.7 N,而五九香最小,为3.5 N;货架期第14天时,京白梨和南果梨的果肉硬度显著降低,分别降低了85.6%和88.0%,而五九香从3.5 N下降至2.3 N,下降了33.3%,珍妮阿从3.8 N下降至1.8 N,下降了51.7%,两者均呈小幅度下降趋势,变化较缓;与货架14 d相比,软肉梨在货架期第21天时果肉硬度下降幅度较小,基本保持稳定。T3采收的软肉型梨果的果肉硬度在货架期第7天时存在显著差异,其中南果梨>京白梨>五九香>珍妮阿,最大为20.7 N,最小为3.2 N;与货架期第7天的果肉硬度相比,货架期第14天的京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿均呈下降趋势,分别下降了74.7%、77.6%、45.5%和45.1%;之后到货架期第21天时,果肉硬度均呈小幅度变化趋势。从采收期分析,这7个梨品种的果肉硬度均随着采收期的延长呈现出逐渐降低的趋势,脆肉梨怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨的果肉硬度的下降幅度明显小于软肉梨京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿。

**2.3.3 内聚性** 内聚性是指果肉为抵抗牙齿咀嚼破坏而表现出的内部结合力,反映了细胞间结合力的大小,使果实保持完整的性质<sup>[1,19]</sup>。由图5可以看出,成熟度相同的不同梨品种之间的果肉内聚性在

货架期的变化趋势不同。T1、T2及T3采收的脆肉梨怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨的果肉内聚性参数值在货架期基本上维持稳定,且随着货架期的延长,这3个脆肉梨之间的差异逐渐缩小。在T1采收的软肉梨中,在货架期第7天时,南果梨的果肉内聚性显著高于京白梨、五九香和珍妮阿;此外,在整个货架期,京白梨呈逐渐下降趋势;南果梨和五九香均有小范围的先下降后上升的趋势,但在货架期第21天时的果肉内聚性仍低于货架期第7天时的水平;而珍妮阿在货架期7~14 d这段时间内,果肉内聚性显著增加,从0.085上升至0.148,上升了74.2%。T2采收的软肉梨在货架期第7天时,除了京白梨和珍妮阿之间差异不显著外,其余梨品种之间均存在显著差异,其中南果梨>京白梨>珍妮阿>五九香,最大为0.102,最小为0.068;在货架期第14天时,京白梨和南果梨的果肉内聚性均降低,分别下降了38.8%和30.6%,而五九香和珍妮阿均显著增加,分别增加了68.3%和131.3%;到货架期第21天时,京白梨、南果梨和五九香均呈缓慢下降趋势,但京白梨和南果梨的内聚性参数值显著低于货架期第7天时的水平,而五九香仍显著高于货架期7 d时的水平。在T3采收的软肉梨中,京白梨的内聚性在货架期呈先升高后降低的变化趋势,而南果梨先降低后升高,虽然两者的变化趋势存在差异,但其果肉内聚性的值基本上保持稳定;而五九香和珍妮阿的内聚性在

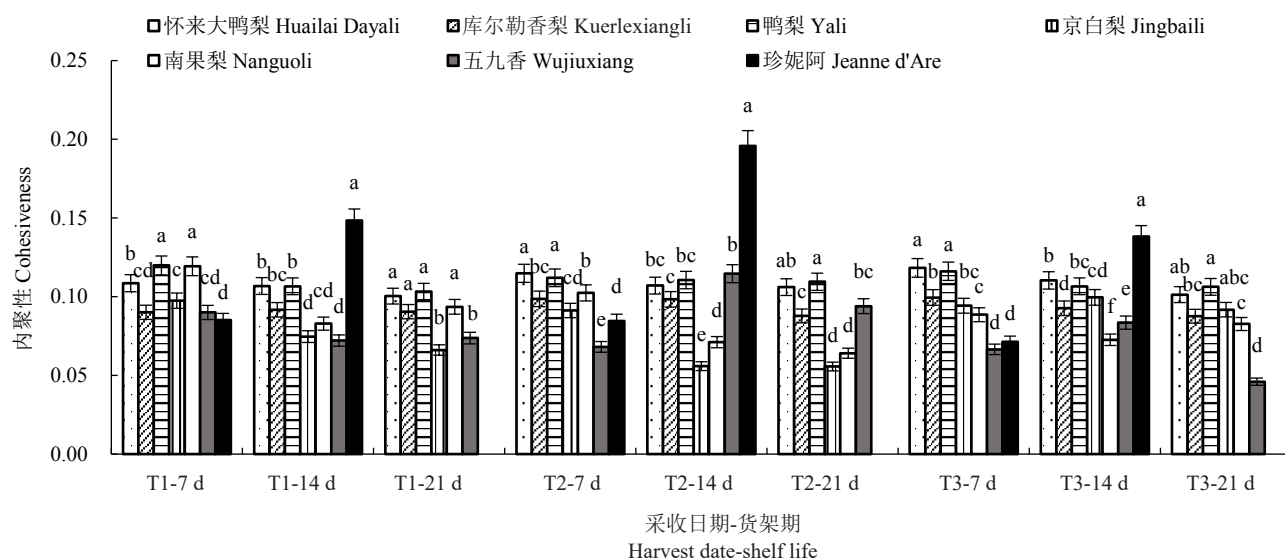


图 5 不同熟期的 7 个梨品种在货架期果肉内聚性的变化

Fig. 5 Changes in flesh cohesiveness of seven pear varieties of different ripeness during shelf life

货架期的变化较大,货架期第 14 天时两者的内聚性均增加,分别增加了 25.5%和 93.7%。从采收期分析,随着梨果成熟度的增加,3 个脆肉梨果肉内聚性的参数值基本保持不变,而 4 个软肉梨由于品种的不同其果肉内聚性的参数值均处于波动状态,其变化趋势和幅度存在差异。

2.3.4 弹性 果肉的弹性是指果肉经过第一次压缩变形之后,在去除压力时能够再恢复的程度<sup>[1-9]</sup>。梨果的采收期不同,果肉弹性的变化趋势在货架期也存在差异。由图 6 可知,T1、T2 及 T3 采收的脆肉梨,果肉弹性的参数值除了在 T1 采收货架期第 7 天时

怀来大鸭梨略高于库尔勒香梨,但差异不显著外,在其余的时间内均为鸭梨>库尔勒香梨>怀来大鸭梨,此外,脆肉梨果肉弹性参数值的变化均处于较缓的波动状态,且变化幅度明显小于软肉梨。在 T1 采收的软肉梨中,在货架期第 7 天时不同梨品种之间的果肉弹性存在差异,其中南果梨>京白梨>珍妮阿>五九香,珍妮阿略高于五九香,差异不显著,而其余软肉梨之间存在显著差异;在货架 14 d 时京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿的果肉弹性均显著降低,分别降低了 70.8%、59%、68.9%和 175.2%;之后到货架期第 21 天时京白梨和五九香稍有下降,变化

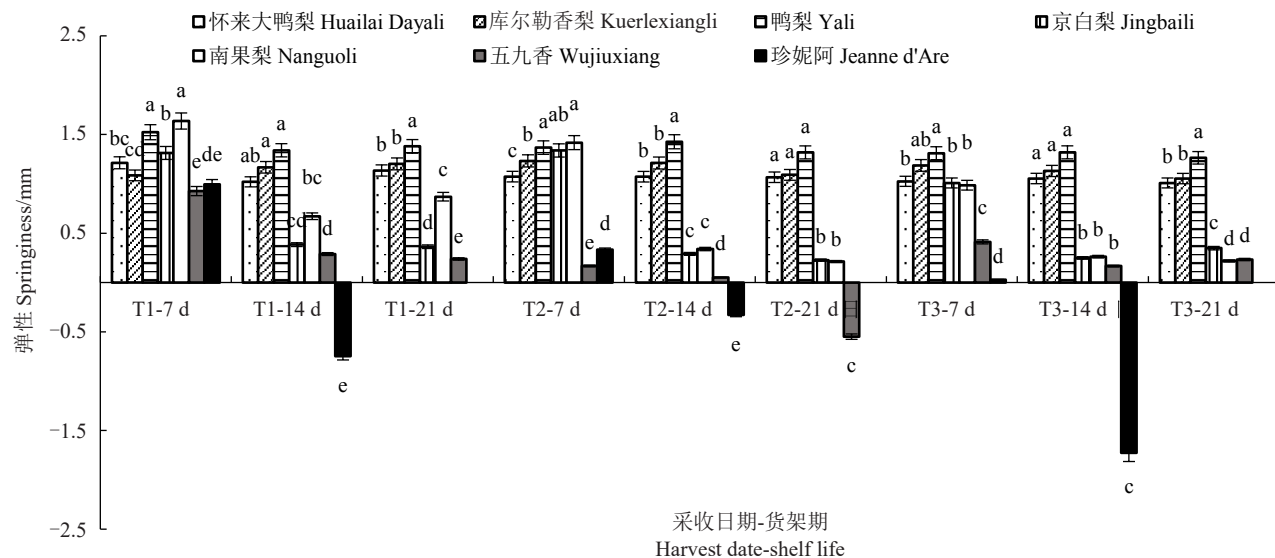


图 6 不同熟期的 7 个梨品种在货架期果肉弹性的变化

Fig. 6 Changes in flesh springiness in seven pear varieties harvested at different ripeness and during shelf life

不大,而南果梨稍有增加,增加了29.5%。T2采收的软肉梨在货架期第7天时,南果梨>京白梨>珍妮阿>五九香,其中南果梨略高于京白梨,差异不显著,而其余梨品种之间存在显著差异;与货架期第7天相比,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿在货架期14 d时其果肉弹性均已经显著下降,分别下降了78.3%、76.1%、69.8%和199.1%;在货架期第21天时,京白梨和南果梨稍有下降,而五九香大幅度下降,下降了近1200.0%。T3采收的软肉型梨在货架期第7天时,京白梨>南果梨>五九香>珍妮阿,其中京白梨和南果梨无显著差异,除此之外其余梨品种之间差异显著;在货架期第14天时京白梨、南果梨和五九香的果肉弹性参数值均降低,分别降低了75.3%、73.4%和59.6%,而珍妮阿大幅度下降,下降近6000.0%;与货架期第14天相比,京白梨和五九香稍有增加,而南果梨稍有下降,变化不大。此外,不论何时采收的五九香和珍妮阿在整个货架期其果肉弹性均显著小于脆肉梨,而京白梨和南果梨在货架7 d时与脆肉梨的差异较小,在货架期第14天时和第21天时均显著小于脆肉梨。随着采收期的延长,脆肉梨在室温货架期果肉弹性均处于较小的范围的波动状态,而软肉梨的变化幅度显著大于脆肉梨,其果肉弹性的变化趋势由于品种的不同而存在差异。

2.3.5 胶黏性 果肉的胶黏性是指果肉在咀嚼过程中黏稠的程度<sup>[5]</sup>。随着货架期的延长,同一成熟度的不同梨品种之间的果肉胶黏性的变化趋势有所差异。图7显示,T1、T2及T3采收的脆肉梨在货架期

果肉胶黏性的变化趋势存在差异,但均在较小的范围内波动,变化不大;在整个货架过程中,T1与T3采收在货架期第7天时怀来大鸭梨略高于库尔勒香梨,但差异不显著,除此之外,在其余的时间段内均为鸭梨>库尔勒香梨>怀来大鸭梨,鸭梨的果肉胶黏性始终显著高于怀来大鸭梨和库尔勒香梨。T1采收的软肉梨在货架7 d时,南果梨>京白梨>珍妮阿>五九香,最大为6.6 N,最小为2.2 N,其中除了珍妮阿略高于五九香,差异不显著外,其余软肉梨品种之间存在显著差异,此外,南果梨的胶黏性还显著高于脆肉梨;货架期第14天时,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿的果肉胶黏性均大幅度下降,分别降低了87.6%、81.6%、85.9%和88.2%,且均低于脆肉梨的胶黏性;之后在货架21 d,与货架第14天时的胶黏性相比,软肉梨均在小范围内变化,变化不大。在T2采收的软肉梨中,在货架期第7天时仍是南果梨的胶黏性最大,为4.8 N,京白梨次之,五九香最小,为0.2 N,珍妮阿略高于五九香,但差异不显著,其余软肉梨之间差异显著,此外,京白梨和南果梨的胶黏性同时显著高于脆肉梨;货架期第14天时京白梨和南果梨大幅度下降,分别下降了92%和90.3%,而五九香和珍妮阿的变化较缓,基本维持稳定;到货架期至21 d时,京白梨、南果梨和五九香均呈小幅度的下降趋势。T3采收的软肉梨在货架期第7天时,南果梨>京白梨>五九香>珍妮阿,最大为1.96 N,最小为0.2 N,除了五九香与珍妮阿之间差异不显著外,其余软肉梨品种之间差异显著;在货架期第14

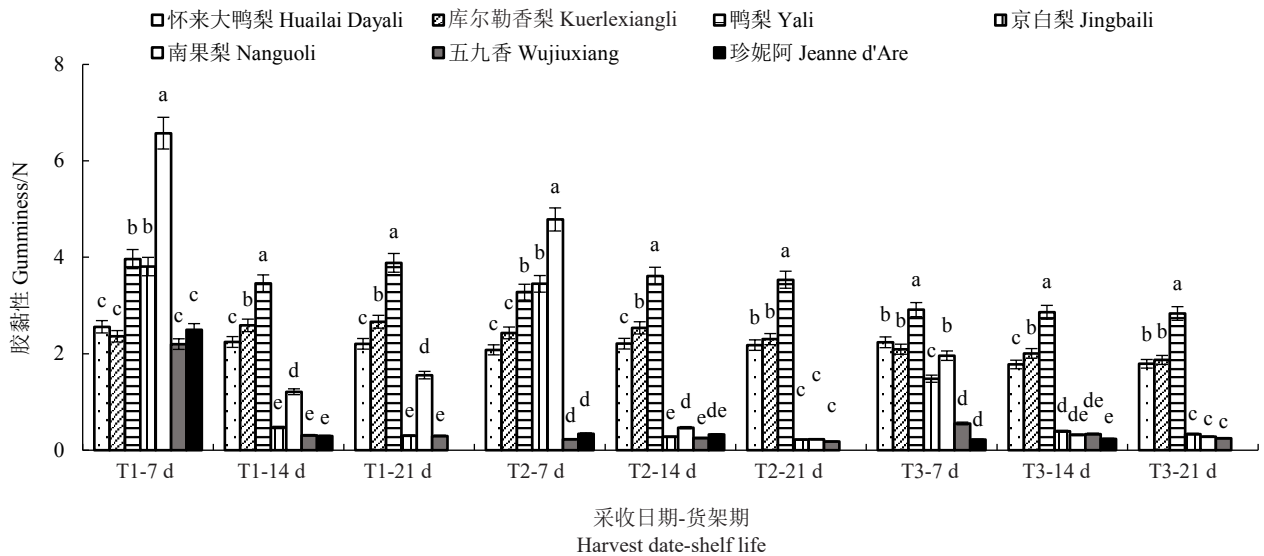


图7 不同熟期的7个梨品种在货架期果肉胶黏性的变化

Fig. 7 Changes in flesh gumminess in seven pear varieties harvested at different ripeness and during shelf life



天时,京白梨和南果梨的胶黏性均降低,分别下降了73.5%和83.8%,而五九香和珍妮阿的胶黏性参数值变化不大;货架期第21天的软肉梨的胶黏性与14 d相比其参数值均降低。从采收期来看,随着梨果成熟度的增加,脆肉梨的果肉胶黏性呈逐渐降低的趋势,而软肉梨之间的变化趋势有所差异,随着采收期的延长,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿均在货架期内呈小范围的变化趋势,在货架期第14天和第21天时,脆肉梨的胶黏性显著高于软肉梨。

**2.3.6 咀嚼性** 果肉的咀嚼性是指牙齿咀嚼果肉到可以吞咽时需要的能量<sup>[9]</sup>,反映了果肉对咀嚼的持续抵抗作用,为硬度、内聚性和弹性三者乘积<sup>[19]</sup>。由图8可知,在货架期不同梨品种之间果肉咀嚼性的变化趋势与胶黏性基本一致。T1、T2及T3采收的脆肉梨在货架期均在较小范围内变化,变化趋势较软肉梨小;此外,怀来大鸭梨的咀嚼性仅在T1采收在货架期第7天时略高于库尔勒香梨,但差异不显著,在其余的货架期内均为鸭梨>库尔勒香梨>怀来大鸭梨,鸭梨果肉的咀嚼性始终显著高于怀来大鸭梨和库尔勒香梨。T1采收的软肉梨在货架期第7天时,南果梨>京白梨>珍妮阿>五九香,最大为10.9 mJ,最小为2.7 mJ,且除了珍妮阿与五九香之间差异不显著外,其余梨品种之间均存在显著差异,此外,南果梨的咀嚼性还显著高于脆肉梨;货架期至14 d时,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿均呈大幅度下降趋势,分别下降了95.4%、88.5%、94.8%和103.9%;与货架期第14天相比,京白梨和五九香稍有降低,变化不大,而南果梨稍有增加。在T2采收

的软肉梨中,随着货架期的延长,软肉梨均呈逐渐下降的趋势,在货架期第7天时,仍然是南果梨最大,为7.04 mJ,且显著高于脆肉梨,而五九香最小,为0.04 mJ;货架期至14 d时,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿大幅度降低,分别降低了97.86%、95.2%、75.44%和116.1%;之后在货架21 d时分别下降了50.02%、84.88%和569.6%,变化较大。T3采收的梨果在货架期第7天时,南果梨>京白梨>五九香>珍妮阿,最大为2.26 mJ,最小为0.03 mJ,其中除了五九香与珍妮阿之间差异不显著外,其余梨品种之间存在显著差异,且软肉梨均显著低于脆肉梨;与货架期7 d相比,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿在货架第14天时均大幅度下降,分别下降了93.7%、95.52%、85.94%和375.8%,且软肉梨之间差异不显著;在货架期第21天时,京白梨和五九香稍有增加,而南果梨的咀嚼性降低,且软肉梨之间不存在显著差异。从采收期分析,脆肉梨的咀嚼性随着采收期的延长呈现出逐渐降低的趋势,而软肉梨随着成熟度的增加,其在室温货架期内的变化趋势因品种不同有所差异,在货架期第14天和21天时,脆肉梨的咀嚼性显著高于软肉梨。

#### 2.4 果肉各质地参数之间的相关性分析

由表1可知,供试梨品种的单果质量与可溶性固形物含量、果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性呈极显著负相关。可溶性固形物含量与果肉硬度、弹性和咀嚼性呈显著负相关,与内聚性和胶黏性呈极显著负相关。果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性之间均呈极显著正相关,而内聚性与硬度

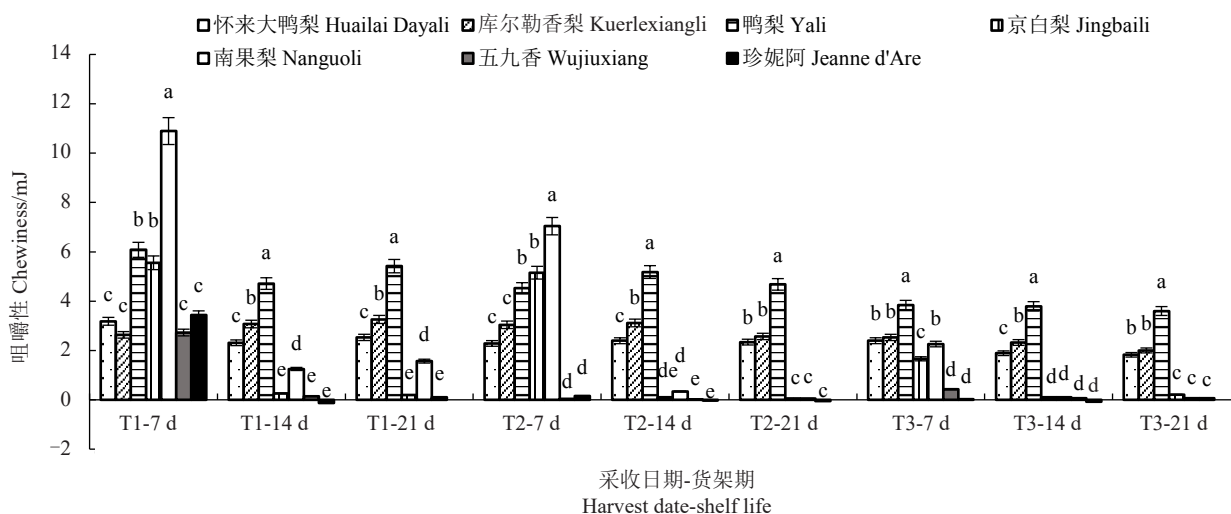


图8 不同熟期的7个梨品种在货架期内果肉咀嚼性的变化

Fig. 8 Changes in flesh chewiness in seven pear varieties harvested at different ripeness and during shelf life

表1 供试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

参数 Parameters	单果质量 Average single fruit mass	可溶性固形物含量 Soluble solid content	破裂力 Fracture	硬度 Firmness	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	胶黏性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness
单果质量 Average single fruit mass	1							
可溶性固形物含量 Soluble Solid Content	-0.472**	1						
破裂力 Fracture	-0.426**	-0.253	1					
硬度 Firmness	-0.427**	-0.298*	0.985**	1				
内聚性 Cohesiveness	0.202	-0.363**	0.253	0.265*	1			
弹性 Springiness	-0.490**	-0.283*	0.838**	0.850**	0.035	1		
胶黏性 Gumminess	-0.387**	-0.333**	0.973**	0.989**	0.340**	0.827**	1	
咀嚼性 Chewiness	-0.398**	-0.285*	0.953**	0.972**	0.312*	0.785**	0.990**	1

Note: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

和咀嚼性呈显著正相关,与胶黏性呈极显著正相关。

### 3 讨论

通常利用梨果实种子的颜色来判断梨果实的成熟度,果实的口感也是反映果实成熟度重要的依据,但无法进行数量化评价,而利用质构仪(TPA方法)对果肉分析可以获得科学的果肉质地参数,从而为梨果实成熟度判定提供可量化模型的科学依据。果实的成熟度是确定适宜采收期的重要指标,采收期会对果实品质造成一定程度的影响,过早或过晚采收均会对果实的贮藏期和货架期产生不良影响<sup>[22]</sup>。适宜的采收期在一定程度上影响着果实的品质,阚超楠等<sup>[23]</sup>以翠冠梨为试材研究发现,适宜采收梨果在货架期的质地品质较好,而过晚采收使果实的品质降低。任维维等<sup>[24]</sup>在富平尖柿上的研究发现,不同采收期的柿果品质存在较大差异,适宜的采收期可以提高果实的贮藏品质和风味物质的积累。而果肉质度是评价果实成熟度和耐贮性的一个重要依据<sup>[25]</sup>。笔者在本试验中发现,珍妮阿的货架期较短,为15 d左右,而怀来大鸭梨、库尔勒香梨、鸭梨、京白梨、南果梨和五九香的货架期均超过21 d;此外,随着成熟度的增加,7个梨品种的单果质量均逐渐增加,可溶性固形物含量均在较小的范围内处于波动状态,从整体上看脆肉梨的变化较软肉梨小。

笔者在本研究中评价分析发现,不同成熟度的梨果在室温货架期果肉质地参数呈现出不同的变化,不同梨品种间的果肉质地参数指标存在差异,这与王燕霞等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。整体上,不同采收

期的梨果随着货架时间的延长,怀来大鸭梨、库尔勒香梨和鸭梨这3个脆肉梨的果肉破裂力、硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性均在较小的范围内变化,且随着采收期的延长呈逐渐降低的趋势,其中鸭梨的果肉质地参数值始终处于较高水平。而与脆肉梨相比,京白梨、南果梨、五九香和珍妮阿这4个软肉梨变化较大,其中京白梨和南果梨果肉的破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性这5个质地参数在货架期第7天时均处于较高水平,到货架期第14天时质地参数值明显下降,之后至货架21 d变化较小,基本维持稳定,而其内聚性在货架期变化较小;五九香和珍妮阿果肉的破裂力、硬度、胶黏性和咀嚼性等仅于T1采收且货架期第7天时处于较高水平,至货架期第14天时大幅度下降,随后至货架21 d时基本维持稳定,而其余两个采收期采收的五九香和珍妮阿在整个货架期果肉破裂力、硬度、胶黏性和咀嚼性等这4个质地参数值均处于较低水平,且在货架期14 d时均呈逐渐降低的趋势,至货架期21 d时变化不大。此外,随着货架期的延长,五九香的内聚性在较小范围内变化,弹性的参数值逐渐降低,珍妮阿的内聚性逐渐增加,弹性逐渐降低。

通过分析不同梨品种果肉TPA质地参数的相关性,发现梨果的单果质量与可溶性固形物含量、果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性呈极显著负相关,说明梨果的单果质量越大,可溶性固形物含量、果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性越小;可溶性固形物含量与果肉硬度、弹性和咀嚼性呈显著负相关,与内聚性和胶黏性呈极显著负相关,说明梨果

的可溶性固形物含量越高,果肉的硬度、弹性、咀嚼性、内聚性和胶黏性越小。果肉破裂力、硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性这 5 个质地参数两两之间相互呈极显著正相关,这与王斐等<sup>[9]</sup>在脆肉梨品种果实质地上的研究结果一致,而王燕霞等<sup>[9]</sup>研究发现果肉弹性与其他质地参数之间不存在显著相关性,与本试验的研究结果有所不同,可能是试验材料及测定参数的不同造成的。而内聚性与硬度和咀嚼性呈显著正相关,与杨玲等<sup>[26]</sup>、杨绍兰等<sup>[27]</sup>、马媛媛等<sup>[20]</sup>、刘聪等<sup>[28]</sup>在苹果、荏梨、猕猴桃、澄口华莱士蜜瓜上的研究结果基本一致,此外,内聚性与胶黏性之间呈极显著正相关。从本研究的结果看,晚采的果实较大,而且可溶性固形物含量高;果肉质地参数分析表明,脆肉梨果实更适宜适当晚采,口感风味会更好,而软肉梨果实应及时采收,晚采的果实风味口感较好,但将不利于更长的货架期;结合果实质量、果肉可溶性固形物含量和果肉质地参数,还有其他因素等,综合分析判断梨品种果实的采收期,以期获得最佳效果。

## 4 结 论

通过对不同成熟度的软肉和脆肉梨质地参数进行 TPA 分析,结果表明,软肉梨果与脆肉梨果在室温货架期果肉质地参数变化差异较显著,可利用 TPA 方法进行果肉质地参数分析,但仍需多年重复测定以确定不同梨品种果实成熟时的果肉质地参数模型,为最佳采收期的确定和采后果肉质地的评价提供依据。

### 参考文献 References:

- [1] 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.
- [2] 李三培,华德平,高星,徐伟欣,杨旭辉,刘莉. 不同类型甜瓜成熟过程中果肉质地及其细胞显微结构的变化[J]. 西北植物学报, 2017, 37(6):1118-1125.  
LI Sanpei, HUA Deping, GAO Xing, XU Weixin, YANG Xuhui, LIU Li. Variation characteristics of flesh texture and cell microstructure of different types of melon during ripening[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(6): 1118-1125.
- [3] 王彬彬,李娜,贾漫丽,陈秀灵,范伟,夏爱华,高玉军,李季生. 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.  
WANG Binbin, LI Na, JIA Manli, CHEN Xiuling, FAN Wei, XIA Aihua, GAO Yujun, LI Jisheng. Measuring texture quality of mulberry fruit using a texture analyser[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11):2014-2020.
- [4] 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 post-harvested apples using texture profile analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(3):166-170.
- [5] 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.
- [6] POLES L, GENTILE A, GIUFFRIDA A, VALENTINI L, ENDRIZZI I, APREA E, GASPERI F, DISTEFANO G, ARTIOLI G, LA MALFA S, COSTA F, LOVATTI L, DI GUARDO M. Role of fruit flesh cell morphology and MdPG1 allelotype in influencing juiciness and texture properties in apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 164: 111161.
- [7] ZHAO W Q, FANG Y, ZHANG Q G, GUO Y R, GAO G T, YI X. Correlation analysis between chemical or texture attributes and stress relaxation properties of 'Fuji' apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 129:45-51.
- [8] 娄来峰,吴杰,张慧,吕吉光,杨雪梅. 香梨质地的多面分析及综合评价[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2017, 35(3):373-377.  
LOU Laifeng, WU Jie, ZHANG Hui, LÜ Jiguang, YANG Xue-mei. Principal component analysis and comprehensive evaluation of Korla pear texture[J]. Journal of Shihezi University (Natural Science), 2017, 35(3):373-377.
- [9] 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.
- [10] 李婷,安迪,鲍金平,臧运祥,万嗣宝,徐凯,郑伟尉. 基于果实质地参数的葡萄贮藏特性评价[J]. 核农学报, 2018, 32(11):2155-2161.  
LI Ting, AN Di, BAO Jinping, ZANG Yunxiang, WAN Sibao, XU Kai, ZHENG Weiwei. Evaluation on storage characteristics of different grape cultivars based on texture properties[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(11):2155-2161.
- [11] PISCIOTTA A, PLANETA D, GIACOSA S, PAISSONI M A, DI LORENZO R, ROLLE L. Quality of grapes grown inside paper bags in Mediterranean area[J]. Agronomy, 2020, 10(6): 792.
- [12] 禄彩丽,张梅,刘伟锋,魏喜喜,宋健,刘隋赞,杨文英,张磊,李建贵. 枣果质地发育动态分析[J]. 经济林研究, 2019, 37(3):119-127.  
LU Caili, ZHANG Mei, LIU Weifeng, WEI Xixi, SONG Jian, LIU-SUI Yunhao, YANG Wenying, ZHANG Lei, LI Jianguo.



- Analysis on development dynamics of jujube fruit texture[J]. Non-Wood Forest Research, 2019, 37(3): 119-127.
- [13] SZYCHOWSKI P J, FRUTOS M J, BURLÓ F, PÉREZ-LÓPEZ A J, CARBONELL-BARRACHINA Á A, HERNÁNDEZ F. Instrumental and sensory texture attributes of pomegranate arils and seeds as affected by cultivar[J]. LWT- Food Science and Technology, 2015, 60(2): 656-663.
- [14] RIVERA S, KERCKHOFFS H, SOFKOVA- BOBCEVA S, HUTCHINS D, EAST A. Influence of harvest maturity and storage technology on mechanical properties of blueberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 191: 111961.
- [15] GIONGO L, AJELLI M, POTTORFF M, PERKINS-VEAZIE P, IORIZZO M. Comparative multi-parameters approach to dissect texture subcomponents of highbush blueberry cultivars at harvest and postharvest[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 183: 111696.
- [16] BIANCHI T, GUERRERO L, GRATACÓS- CUBARSÍ M, CLARET A, ARGYRIS J, GARCIA-MAS J, HORTÓS M. Textural properties of different melon (*Cucumis melo* L.) fruit types: sensory and physical- chemical evaluation[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 201: 46-56.
- [17] 杨丽萍, 马荣雪, 周永海, 程登虎, 魏春华, 张显, 张勇. 甜瓜质地差异及相关细胞壁酶活性变化[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(5): 12-17.  
YANG Liping, MA Rongxue, ZHOU Yonghai, CHENG Denghu, WEI Chunhua, ZHANG Xian, ZHANG Yong. Study on the difference of melon texture and related cell wall enzyme[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2020, 33(5): 12-17.
- [18] 徐钰清, 田路明, 曹玉芬, 董星光, 张莹, 霍宏亮, 齐丹, 徐家玉, 刘超. 梨果肉质地及香气研究进展[J]. 果树学报, 2023, 40(4): 757-770.  
XU Yuqing, TIAN Luming, CAO Yufen, DONG Xingguang, ZHANG Ying, HUO Hongliang, QI Dan, XU Jiayu, LIU Chao. Research progress in flesh texture and aroma of pears[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(4): 757-770.
- [19] 姜建福, 樊秀彩, 张颖, 孙磊, 李民, 刘勇翔, 牛生洋, 张振文, 刘崇怀. 基于 TPA 法葡萄果肉质地的鉴定评价[J]. 中国果树, 2022(3): 31-36.  
JIANG Jianfu, FAN Xiucui, ZHANG Ying, SUN Lei, LI Min, LIU Yongxiang, NIU Shengyang, ZHANG Zhenwen, LIU Chonghui. Analysis and comprehensive evaluation of grape berry texture based on TPA method[J]. China Fruits, 2022(3): 31-36.
- [20] 马媛媛, 陆玲鸿, 古咸彬, 宋根华, 张慧琴. 基于 TPA 的猕猴桃质地差异分析及贮藏性评价[J]. 果树学报, 2021, 38(9): 1579-1589.  
MA Yuanyuan, LU Linghong, GU Xianbin, SONG Genhua, ZHANG Huiqin. Texture difference and storage characteristics evaluation based on texture profile analysis in kiwifruits[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(9): 1579-1589.
- [21] 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.
- [22] 阙超楠, 高阳, 陈明, 陈金印, 刘善军. 不同采收期对翠冠梨果实常温货架期间品质的影响[J]. 中国南方果树, 2017, 46(6): 100-103.  
KAN Chaonan, GAO Yang, CHEN Ming, CHEN Jinyin, LIU Shanjun. Effect of different harvesting periods on the quality of Cuiguan pear fruit during the shelf life at room temperature[J]. South China Fruits, 2017, 46(6): 100-103.
- [23] 阙超楠, 刘善军, 陈明, 陈楚英, 高阳, 陈金印. 不同采收期对‘翠冠’梨常温货架期果实色泽和质地的影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(1): 49-55.  
KAN Chaonan, LIU Shanjun, CHEN Ming, CHEN Chuying, GAO Yang, CHEN Jinyin. Effects of different harvest time on fruit color and texture of ‘Cuiguan’ pear during shelf life[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(1): 49-55.
- [24] 任维维, 梁宗瑶, 刘婧, 李珉梁, 梁连友, 冯锁芳, 刘斌, 段旭昌. 采收期对富平尖柿贮藏过程中生理生化特性的影响[J]. 果树学报, 2021, 38(6): 986-994.  
REN Weiwei, LIANG Zongyao, LIU Jing, LI Minmeng, LIANG Lianyou, FENG Suolao, LIU Bin, DUAN Xuchang. Effects of harvest dates on physiological and biochemical properties of Fuping Jianshi (*Diospyros kaki* Thunb.) in storage process[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(6): 986-994.
- [25] 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.
- [26] 杨玲, 张彩霞, 丛佩华, 程云, 王强. 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.  
YANG Ling, ZHANG Caixia, CONG Peihua, CHENG Yun, WANG Qiang. Texture parameters of different apple varieties’ flesh as measured by texture profile analysis[J]. Food Science, 2014, 35(21): 57-62.
- [27] 杨绍兰, 杨玉群, 张新富, 宋健坤, 李鼎立, 王然, 王成荣. 1-甲基环丙烯和乙酰水杨酸处理对茱梨果实质构性能的影响[J]. 北方园艺, 2012(5): 1-4.  
YANG Shaolan, YANG Yuqun, ZHANG Xinfu, SONG Jiankun, LI Dingli, WANG Ran, WANG Chengrong. Effect of 1-MCP and ASA treatments on the fruit texture profile of ‘Chili’ pear[J]. Northern Horticulture, 2012(5): 1-4.
- [28] 刘聪, 李亚珍, 尹嘉敏, 邓云, 孙静, 王吉力特. 不同贮藏温度对瓯口华莱士蜜瓜质构特性、理化指标、感官品质变化及相关性分析[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(1): 47-53.  
LIU Cong, LI Yazhen, YIN Jiamin, DENG Yun, SUN Jing, WANG Jilite. Correlation analysis of changes in texture characteristics, physical and chemical indexes and sensory quality of Dengkou Hualaishi melon at different storage temperatures[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1): 47-53.