

不同成熟度木枣果实物理特性对比分析

温芳¹, 陈东晓¹, 李志刚^{1*}, 石建春¹, 王愈¹, 郝晓玲¹, 宋长利²

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801) (2. 柳林振兴农业联合有限公司, 山西柳林 033300)

摘要: 为充分利用木枣果实资源, 挖掘不同成熟度木枣的利用价值, 以白熟期、半红期、全红期木枣为试材, 对比分析不同成熟度木枣可食率、色泽、质地等物理特性的变化。结果表明: 白熟期、半红期与全红期木枣均具有较高的可食率(>94%)。木枣由白熟期向半红期、全红期转变过程中果皮 a 值由-6.10 增至 27.92, ΔE 值由 50.63 增至 74.31, L 值和 b 值分别由 68.90、41.68 降至 34.95、29.12, 果皮色泽由亮白、绿黄逐步变为暗红色, 色差增大 ($P<0.05$); 果肉 L 值、 a 值分别由 75.49、-8.53 增至 80.24、-5.73, b 值和 ΔE 值分别由 32.68、40.00 降至 25.25、30.76, 果肉由暗绿逐步变为绿白, 色差减小 ($P<0.05$); 枣果硬度和咀嚼性分别由白熟期的 13.39、7.16 降至全红期的 7.68、5.26, 粘附性由 0.79 升至 2.13, 内聚性和弹性变化不大, 变化范围分别在 0.22~0.28、2.12~2.56 之内, 白熟期之后基本趋于稳定, 由此可得, 白熟期和半红期木枣具备良好的加工经济性, 但不同成熟度木枣果实色泽品质和质地品质不同, 加工利用时要考虑原料色泽、质构特性对工艺参数的要求和最终产品感官品质的影响。研究结果为木枣提前采收加工利用提供了理论依据, 对于促进红枣产业良好发展, 指导生产实践具有重要意义。

关键词: 木枣; 成熟度; 色泽; 质构

文章编号: 1673-9078(2023)10-225-232

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.10.1264

Comparison Analysis of Physical Characteristics of 'Muzao' Fruit with Different Maturities

WEN Fang¹, CHEN Dongxiao¹, LI Zhigang^{1*}, SHI Jianchun¹, WANG Yu¹, HAO Xiaoling¹, SONG Changli²

(1. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

(2. Liulin Revitalize the Agriculture Union Co. Ltd., Liulin 033300, China)

Abstract: In order to make full use of 'muzao' fruit resources and explore the utilization value of 'muzao' with different maturities, the changes of physical characteristics (such as edible rate, color and texture) of 'muzao' fruits with different maturities were compared and analyzed through using 'muzao' at the white ripe stage, half red stage and full red stage as the test materials. The results showed that of the fruits at the white-ripe and half-red-ripe and full-red-ripe stages had relatively high edible rate (>94%). During the transition period from the white-ripe stage to the half-red-ripe stage then the full-red-ripe stage, the a value of the fruit peel increased from -6.10 to 27.92, the ΔE value increased from 50.63 to 74.31, the L value and b value decreased from 68.90 and 41.68 to 34.95 and 29.12, respectively. The color of the peel gradually changed from bright white, green yellow to dark red, and the color difference increased ($P<0.05$). The L value and a value of the fruit flesh increased from 75.49, -8.53 to 80.24, -5.73, respectively. The b value and ΔE value decreased from 32.68 and 40.00 to 25.25 and 30.76, respectively. The flesh color changed gradually from dark green to greenish white, and the color difference decreased ($P<0.05$). The firmness and chewiness of 'muzao' fruit decreased from 13.39 and 7.16 at the white-ripen stage to 7.68 and 5.26 at the full-red-ripe stage, respectively. The adhesiveness increased from 0.79 to 2.13. The cohesiveness and elasticity changed very little, ranging from 0.22 to 0.28 and 2.12 to 2.56, respectively, and becoming essentially constant after the white-ripe period. Therefore, that the 'muzao' fruits at the white-ripe stage and half-red-ripe stage have

引文格式:

温芳,陈东晓,李志刚,等.不同成熟度木枣果实物理特性对比分析[J].现代食品科技,2023,39(10):225-232

WEN Fang, CHEN Dongxiao, LI Zhigang, et al. Comparison analysis of physical characteristics of 'Muzao' fruit with different maturities [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 225-232

收稿日期: 2022-10-04

基金项目: 山西省重点研发计划项目(201903D211007); 山西农谷建设科研专项项目(SXNGJSKYZX201902); 柳林县校地合作项目(2020HX62)

作者简介: 温芳(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬高值化加工利用, E-mail: 1914010079@qq.com

通讯作者: 李志刚(1979-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 农产品贮藏及加工, E-mail: sxndlgz@163.com

good economic perspective for processing, though the color quality and texture quality of 'muzao' fruits with different maturities differ. For fruit processing and utilization, the effects of raw fruit material's color and texture characteristics on the process parameters and the sensory quality of final product should be considered. The research results provide a theoretical basis for the early harvest, processing and utilization of 'muzao' fruit, which is of great significance for promoting the healthy development of 'muzao' industry and guiding production practice.

Key words: 'Muzao'; maturity; color; texture

木枣别名吕梁木枣、柳林木枣、绥德木枣, 俗称滩枣, 为鼠李科枣属植物枣树的果实, 主要分布于山西省吕梁地区和陕西省榆林地区黄河沿岸, 为当地主栽品种^[1]。木枣酸甜可口, 果实中富含维生素 C、多糖、酚酸、黄酮类化合物、三萜类化合物、环核苷酸和氨基酸等营养活性成分^[2-5], 具有镇静、催眠、降压、抗氧化等功效^[6], 同时对预防心血管疾病具有良好的作用^[7]。木枣属于上等制干品种, 生产中枣农多在枣果完全成熟时采收加工利用。然而, 近年来, 由于全球气候变化, 在枣成熟收获季节常会出现阴雨天气, 导致枣果出现裂果烂果现象, 轻则损失 30%~50%, 重则绝收, 严重制约了当地红枣产业的发展。为此, 探讨不同采收期木枣的加工特性和利用价值对于促进红枣产业良好发展具有重要意义。

食品原料的物理特性与其营养生理特性同等重要, 不仅与原料的加工过程密切相关, 而且与最终产品品质的控制也有紧密联系。目前, 关于枣果物性的研究不多。许玲等^[8,9]利用色差仪估测枣果成熟度的研究中发现色差参数与枣果的成熟度存在紧密的相关性, 能直观估测其果实的成熟度, 并且发现接近全红期的枣果口感最佳。高阳等^[10]在研究不同贮藏温度条件下枣果实色泽和质地的变化中发现色泽是果实外观品质的核心指标之一, 对鲜食及其加工产品的商品价值有着重要影响, 同时高阳等^[10]以及吴萌萌等^[11]都表明果实质地是影响果实采后商品性和贮运的关键因素之一。宋烨等^[12]表明果皮色差 a 在一定程度上可以表征灰枣果实的色泽品质, 质构参数能够在一定程度上评价枣果实的组织状态。马庆华等^[13]、曹源等^[14]研究了冬枣的穿刺质地及其影响因素, 结果表明, 质构仪全果穿刺法可以准确测定冬枣果皮和果肉的质构, 有利于冬枣品质的评价。此外, 现有关于枣果物理特性的研究大多以金丝小枣^[15]、冬枣^[16]、梨枣^[17]、大酸枣^[18]为研究对象, 而关于木枣物理特性的研究鲜少。为此, 本试验以不同采收期木枣为原料, 对比分析三个成熟度木枣的可食率、色泽、质地等物理特性的变化规律, 旨在明确不同采收期木枣的加工利用特性, 以求为木枣的提前采收、加工利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

木枣采摘于山西省吕梁市柳林县高家沟乡宋家寨村枣园基地。按成熟度分批次从不同树体上人工随机采摘大小一致、带果柄、无病虫害、无机械伤的果实, 采摘后当天运回实验室, 置于 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 冷库中预冷 12 h, 之后将木枣装入 0.035 mm 微孔保鲜膜袋内, 每个成熟度试验用果 600 颗。所有过程需轻拿轻放, 以免枣果磕伤。具体成熟度分级标准见表 1。

表 1 不同成熟度木枣分级标准

Table 1 Different maturity 'Muzao' grading standards

成熟度	标准
白熟	枣果表面全白
半红	枣果表面约 1/3~1/2 红
全红	枣果表面全红, 呈褐红色

1.2 主要仪器与设备

BJ224S 电子天平, 北京赛多利斯仪器系统有限公司; CM-5 台式分光测色仪, 日本柯尼卡美能达公司; TMS-Pro 质构仪, 美国 Food Technology Corporation 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 可食率的测定

枣果单重使用电子天平测定, 每种成熟度枣果随机选取 12 个进行称重, 取平均值。将木枣去核, 分别记录整果和相应枣核的质量, 可食率计算公式如下:

$$R = (m_w - m_s) / m_w \times 100\% \quad (1)$$

式中:

R ——可食率, %;

m_w ——整果质量, g;

m_s ——枣核质量, g。

1.3.2 色差的测定

样品色差使用 CM-5 型色差仪在反射模式下进行测定。果皮色差测定时选取枣果阴阳两面的肩部、腰

部、臀部各取1个点进行测定,重复12个果,记录 L 、 a 、 b 、 ΔE 值,求平均值。果肉色差测定时,将上述枣果三个部位阴阳两面的果皮用刀片切除,各取1个点进行色差测定,重复12个果,记录 L 、 a 、 b 、 ΔE 值,求平均值。

根据CIELAB比色系统, L 代表亮度, L 值越高,样品颜色越接近白色; a 和 b 代表色度指数, a 值为正表示偏红, a 值为负表示偏绿; b 值为正表示偏黄, b 值为负表示偏蓝;色差值用 ΔE 表示,计算公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

式中:

ΔL 、 Δa 、 Δb ——样品的 L 、 a 、 b 值与标准板的 L 、 a 、 b 值之间的差值。

1.3.3 质构的测定

样品质构指标采用TMS-Pro型质构仪测定。带皮整果测定时将枣果带皮整体置于质构仪载物台上,在枣果赤道部位径向穿刺测定质构指标,每个枣取一个点,重复12次,求平均值。果肉质构测定时将上述枣果测试点翻转90°并去皮,在枣果赤道部位径向穿刺测定质构指标,每个枣取一个点,重复12次,求平均值。

测定模式:质地多面分析(TPA):力量感应元100 N;探头类型:直径2 mm圆柱形探头;测试温度:20~25℃;TPA参数设置:起始力0.4 N;测试速率90 mm/min,测前和测后速率200 mm/min;挤压距离5 mm,停隔时间5 s;数据采集速率为200次/s。

测定指标:硬度、粘附性、内聚性、弹性、咀嚼性。

1.4 数据分析

实验数据采用Excel 2010和SPSS v17.0分析软件进行处理,采用新复极差法(SSR)进行差异分析,结果以平均值±标准差表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度木枣可食率的比较

可食率是评价枣果经济性状的重要指标。由图1可知,随着枣果的逐步成熟,木枣的可食率逐步上升,且三个成熟度木枣的可食率均比较高,都在90%以上。虽然白熟期木枣的可食率与半红期和全红期的有显著差异($P<0.05$),但其可食率也达到了94.33%,半红期木枣的可食率与全红期木枣没有显著差异($P>0.05$)。由此可见,提前采收的白熟期和半红期木枣与全红期木枣具有同样的加工利用经济性。

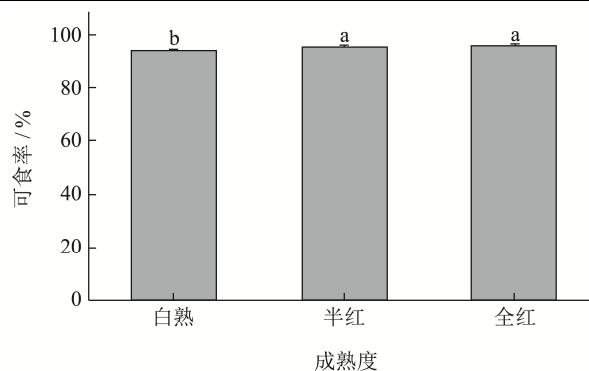


图1 不同成熟度木枣可食率的比较

Fig.1 Comparison of edible rate of 'Muzao' with different maturity

注:不同小写字母表示不同成熟度木枣的差异水平($P<0.05$)。

2.2 不同成熟度木枣L值的比较

由图2可知,随着成熟度的增加,木枣果皮的亮度逐渐降低,白熟期木枣果皮的亮度最大, L 值为68.9,相比白熟期木枣,半红期果皮亮度下降了10.80,全红期下降了33.95,三者之间差异显著($P<0.05$),说明随着枣果的成熟,木枣果皮由白逐步变暗,变化较大。这与丁胜华等^[20]的研究结果一致。三个成熟度木枣果肉亮度的变化与果皮相反,随着成熟度的增加,果肉亮度逐步升高,从75.49增至80.24,变化幅度不大,白熟期木枣果肉亮度虽与半红期的差异显著($P<0.05$),但差值仅为2.73,半红期与全红期的没有显著差异($P>0.05$),说明白熟期木枣果肉亮度基本接近全红期,半红期以后果肉亮度趋于稳定。此外,图2还显示三个成熟度木枣果肉亮度始终大于果皮亮度,且随着成熟度的增大,果肉果皮亮度差别越大。因此,木枣果皮亮度与枣果成熟度存在紧密相关性,可以作为评价不同成熟度木枣的外观品质指标。

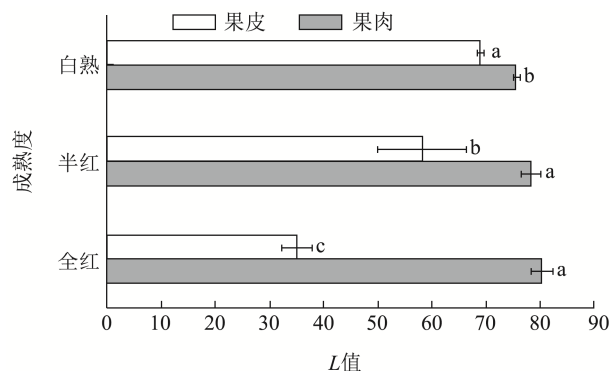


图2 不同成熟度木枣L值的比较

Fig.2 Comparison of L value of 'Muzao' with different maturity

注:不同小写字母表示不同成熟度木枣果皮与果肉的差异水平($P<0.05$),下同。

2.3 不同成熟度木枣 a 值的比较

由图3可知,随着枣果的逐步成熟,木枣果皮的 a 值变化较大,白熟期木枣果皮 a 值最小,为-6.10,表明果皮偏绿,但到了半红期,木枣果皮 a 值就转为正值,相对白熟期增大了14.71,全红期增大幅度更大,增大了34.02,三者之间差异显著($P<0.05$),说明随着枣果的成熟,枣果果皮颜色逐渐由绿色转变为红色,徐玲^[9]、丁胜华等^[20]对‘脆蜜’毛叶枣和金丝小枣的研究也得出了同样的结果,分析其原因可能为随着枣果的生长发育,果皮中的叶绿素类物质逐渐降解,绿色逐渐消退,而类胡萝卜素、花青素的颜色逐渐显现所致^[19,20]。三种成熟度木枣果肉的 a 值也在逐渐增大,三者之间存在显著($P<0.05$)差异,但均为负值,说明三个成熟度木枣果肉颜色始终偏绿。此外,由图3还可以看出所有成熟度的果皮 a 值都比果肉 a 值高,且随着枣果的成熟差别越大。由此可见, a 值较好的反应了木枣的外观色泽品质变化,可以作为估测木枣成熟度的色泽指标之一。

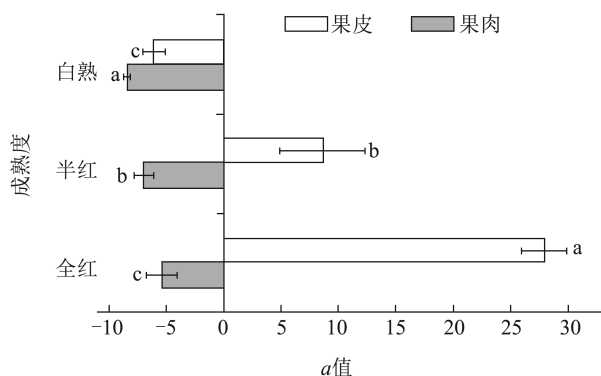


图3 不同成熟度木枣 a 值的比较

Fig.3 Comparison of a value of 'Muzao' with different maturity

2.4 不同成熟度木枣 b 值的比较

由图4可知,随着成熟度的增加,木枣果皮、果肉的 b 值均呈下降趋势,白熟期木枣果皮、果肉的 b 值最大,分别为41.68、32.68,半红期有所降低,但与白熟期的差异不显著($P>0.05$),全红期的最小,分别为29.12、25.25,与半红期和白熟期差异显著($P<0.05$)。说明枣果成熟过程中果皮果肉的黄色度均在减弱,全红期较其他两个成熟度变化更明显,分析其原因可能是到了枣果成熟后期的着色期,花青苷开始积累合成,使得枣果从黄绿色向红色转变^[19,21],而在白熟到半红这段时期变化不明显。徐玲^[9]在研究‘脆蜜’毛叶枣成熟过程中颜色的变化时也得出同样的结果, b 值由38.25降至32.61。因此, b 值可以较好的反应出不同成熟度木枣果皮果肉的黄色变化,可

以作为评价木枣外观品质的指标之一。

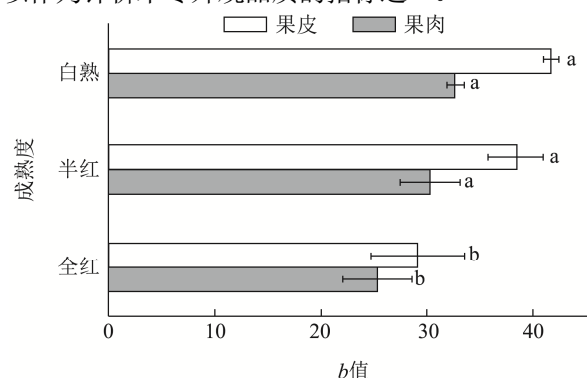


图4 不同成熟度木枣 b 值的比较

Fig.4 Comparison of b value of 'Muzao' with different maturity

2.5 不同成熟度木枣 ΔE 的比较

由图5可以看出,不同成熟度木枣果皮果肉的色差值不同,且随着成熟度的增加,果皮果肉 ΔE 的变化规律不同,枣皮的色差越来越大,依次为50.63、55.82、74.31,而果肉的色差越来越小,分别为40.00、36.31、30.76。方差分析显示,白熟期木枣果皮果肉的色差值与半红期之间差异不显著($P>0.05$),但与全红期的存在显著($P<0.05$)差异。木枣成熟过程中枣皮色差的增大和枣皮亮度的降低,红度值的增加有关,而果肉色差的减小与果肉亮度增加,绿色降低,黄度减小,颜色越来越接近白色有关。由此可见,色差值 ΔE 可以较好的反应出不同成熟度木枣果皮果肉的黄色变化,可以作为评价木枣外观品质的指标之一。

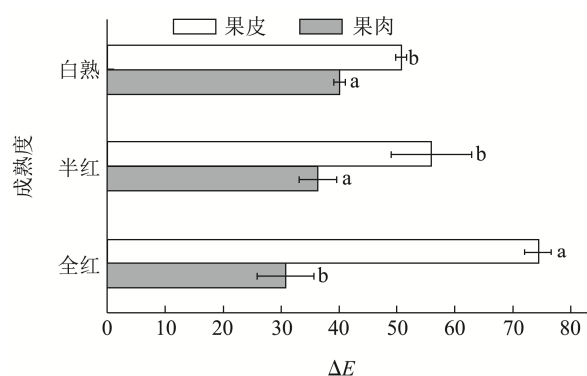


图5 不同成熟度木枣 ΔE 的比较

Fig.5 Comparison of ΔE value of 'Muzao' with different maturity

2.6 不同成熟度木枣硬度的比较

硬度是评价果蔬品质的重要指标,可以客观地反映果蔬的成熟程度和品质状态^[22]。由图6可以看出,随着成熟度的增加,木枣带皮硬度和去皮硬度均呈下降趋势。白熟期木枣硬度最大,带皮硬度为13.39 N,去皮硬度为11.21 N,半红期带皮硬度和去皮硬度均显

著 ($P<0.05$) 低于白熟期, 全红期带皮硬度为 7.68 N, 显著 ($P<0.05$) 低于半红期, 而去皮硬度与半红期的没有显著差异 ($P>0.05$)。分析其原因可能为在枣果成熟以前, 枣果细胞壁含有较多的原果胶, 果实硬度较大; 当果实趋于成熟时, 原果胶转变为易溶于水的果胶, 果实硬度下降, 果肉变绵^[19]。这与魏天军等^[23]在研究中宁圆枣时得出的从白熟期到半红期, 硬度会大幅度降低, 从半红期到全红期变化不明显的研究结果相似。由此可见, 硬度较好的反应了不同成熟度木枣的质地品质变化, 可以作为不同成熟度木枣质地品质的评价指标之一, 不同成熟度木枣硬度对后续加工利用和品质控制具有重要影响。

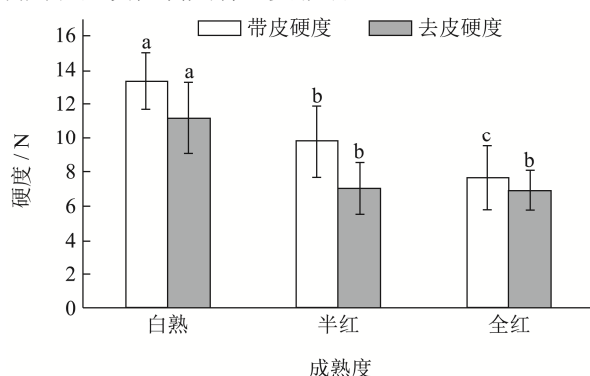


图6 不同成熟度木枣硬度的比较

Fig.6 Comparison of hardness of 'Muzao' with different maturity

注: 不同小写字母表示不同成熟度木枣带皮与去皮的差异水平 ($P<0.05$), 下同。

2.7 不同成熟度木枣粘附性的比较

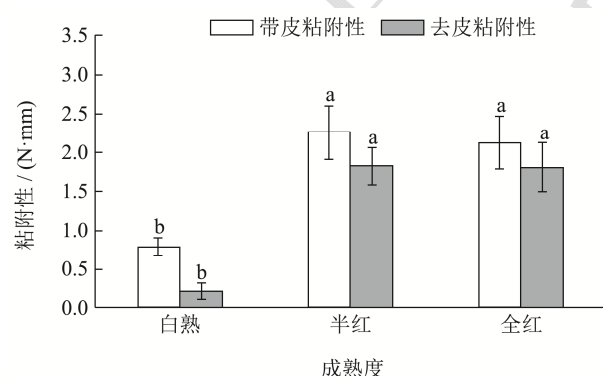


图7 不同成熟度木枣粘附性的比较

Fig.7 Comparison of adhesion of 'Muzao' with different maturity

粘附性是指克服样品与质构仪探头之间黏性作用所施用的功^[22]。由图7可知, 随着成熟度的增加木枣带皮与去皮粘附性均呈现先增后减的趋势, 白熟期木枣的带皮、去皮粘附性最低, 分别为 0.79、0.22 N·mm, 半红期木枣的带皮、去皮粘附性最高, 分别为 2.27、

1.83 N·mm, 白熟期显著 ($P<0.05$) 低于半红期、全红期, 半红期与全红期之间的带皮、去皮粘附性均差异不显著 ($P>0.05$), 说明未完全成熟的白熟期木枣加工过程中对作用部件的黏附作用不强, 但随着枣果的成熟, 黏附作用逐步增强, 到了半红期达到最大, 之后变化不大。

2.8 不同成熟度木枣内聚性的比较

内聚性是食物被咀嚼时内部组织产生抵抗咀嚼破坏的内部结合力^[22]。由图8可知, 随着成熟度的增加, 木枣带皮内聚性呈缓慢上升趋势, 分别为 0.22、0.24、0.28 Ratio; 去皮内聚性缓慢上升至半红期达到稳定, 分别为 0.25、0.27、0.27 Ratio, 带皮与去皮内聚性相互之间差别不大, 差异不显著 ($P>0.05$), 说明不同成熟度木枣的内聚性变化较小, 成熟度达到白熟期之后木枣的内聚性基本趋于稳定。

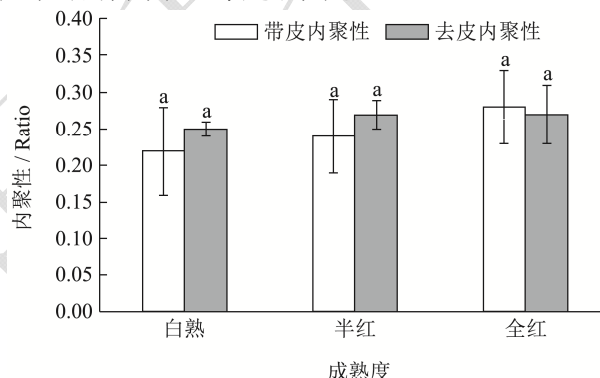


图8 不同成熟度木枣内聚性的比较

Fig.8 Comparison of cohesiveness of 'Muzao' with different maturity

2.9 不同成熟度木枣弹性的比较

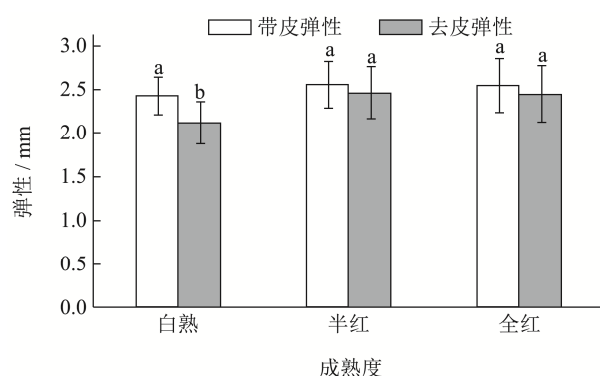


图9 不同成熟度木枣弹性的比较

Fig.9 Comparison of elasticity of 'Muzao' with different maturity

果实弹性是指样品在第一次探头穿刺过程中变形后的“弹回”程度^[22]。由图9可知, 随着成熟度的增加, 不同成熟度木枣带皮与去皮弹性均有所升高但差别较

小,均在 2.42 mm 左右。除了白熟期木枣去皮弹性显著 ($P<0.05$) 低于半红期与全红期木枣之外,其他均不存在显著 ($P>0.05$) 差异。彭俊等^[24]对白熟期、脆熟期冬枣的弹性进行比较,也发现二者无显著性差异。可见,木枣达到白熟期之后弹性变化较小,基本趋于稳定。

2.10 不同成熟度木枣咀嚼性的比较

咀嚼性是指食物从开始咀嚼到吞咽结束所需能量,它反映了食物对咀嚼的抵抗能力^[22]。由图 10 可知,随着成熟度的增加,不同成熟度木枣带皮与去皮咀嚼性逐渐下降,白熟期的带皮与去皮咀嚼性最大,分别达到了 7.16、5.90 mJ,并显著 ($P<0.05$) 高于半红期与全红期,而半红期与全红期的咀嚼性差异不显著 ($P>0.05$)。此外,三个成熟度木枣的带皮咀嚼性均高于去皮咀嚼性,由此可见,咀嚼性能够在一定程度上反应木枣果实的质构特性,白熟期木枣加工或食用时相对功耗大于半红期和全红期,木枣带皮加工或食用时需要提供更多的能量。

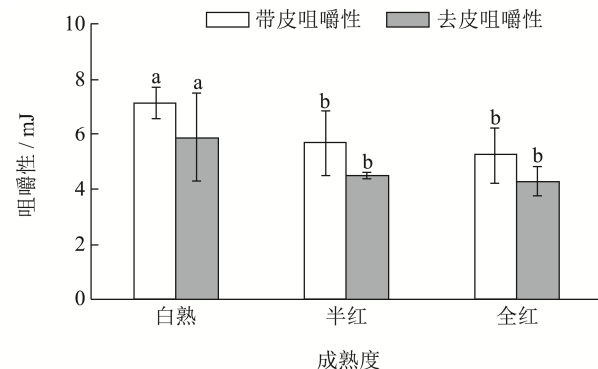


图 10 不同成熟度木枣咀嚼性的比较

Fig.10 Comparison of chewiness of 'Muzao' with different maturity

2.11 不同成熟度木枣物理特性的描述性分析

对三种成熟度木枣物理指标差异分析结果见表 2。从中可以看出,由白熟期到全红期,木枣的可食率在 94.31%~96.59%之间,变异系数为 0.88%,数值小于 10%,离散程度较小。木枣的 L 值、 a 值、 b 值、硬度、粘附性、咀嚼性 6 项物理指标的变异系数均比较大,其中果皮 a 值变异系数高达 168.21%,去皮粘附性达到了 71.80%,果皮 L 值、带皮粘附性的变异系数在 30%~50%,果肉 a 值、果皮 b 值、果肉 b 值、带皮硬度、去皮硬度、带皮内聚性、去皮咀嚼性的变异系数在 10%~30%,这说明不同成熟度木枣的多数物理指标差异较大,即木枣在果皮颜色、质构特性上有成熟度特异性,另一方面也说明本试验在木枣选择的成

熟度上,具有一定的广泛性和代表性。

表 2 木枣物理特性描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of physical characteristics of 'Muzao'

指标	变化范围	均值	变异系数/%
可食率/%	94.31%~96.59%	95.26	0.88
果皮 L 值	34.95~68.90	53.98	32.13
果肉 L 值	75.49~80.24	77.98	3.06
果皮 a 值	-6.10~27.92	10.14	168.21
果肉 a 值	-5.37~-8.53	-5.96	14.97
果皮 b 值	29.12~41.68	36.41	17.90
果肉 b 值	25.25~32.68	29.41	12.90
带皮硬度/N	7.68~13.39	10.29	28.08
去皮硬度/N	6.93~11.21	8.4	28.98
带皮粘附性/(N·mm)	0.79~2.27	0.82	47.22
去皮粘附性/(N·mm)	0.22~1.83	1.29	71.80
带皮内聚性/Ratio	0.22~0.28	0.25	12.39
去皮内聚性/Ratio	0.26~0.27	26.33	4.38
带皮弹性/mm	2.43~2.56	2.34	8.26
去皮弹性/mm	2.12~2.46	2.51	8.26
带皮咀嚼性/mJ	5.26~7.16	6.04	16.50
去皮咀嚼性/mJ	4.30~5.9	6.06	17.79

注:单位同以上图表。

3 讨论

适宜的采收期对果实产量和采后贮藏、加工品质有很大影响。采收过早,果实未达到成熟标准,单果重量较小,产量低,品质差,果实本身固有的色、香、味未充分表现出来,储存性和加工性较差;采收过晚,果实完全成熟,接近衰老期,采后不耐贮运,易受天气因素影响,出现裂果烂果现象,腐烂率高损失大^[25]。适宜的采收对于果蔬采后贮运和加工利用至关重要。

本实验发现不同成熟期木枣的色泽不同,木枣由白熟向全红转变过程中果皮 a 值和 ΔE 值显著 ($P<0.05$) 升高, L 值和 b 值显著 ($P<0.05$) 降低,果皮色泽由亮白、绿黄逐步变为暗红色,色差增大,这与柴利萍^[26]、石倩倩等^[27,28]研究结果相似,可能是枣果实发育成熟过程中,使白熟期果皮呈现绿色的叶绿素类物质逐渐降解,而促进红变的主要色素类胡萝卜素、花青素逐渐积累的原因导致。研究同时发现,随着成熟度的增加,木枣果肉 L 值、 a 值显著 ($P<0.05$) 升高, b 值和 ΔE 值显著 ($P<0.05$) 降低,果肉由暗绿逐步变为绿白,色差减小,这与苏娟娟等^[29,30]研究结果相似,可能与青绿枣皮中总酚含量、青红果皮原花青素含量、黄白阶段总黄酮含量变化有关,畅晓洁^[31]

的研究表也明总酚、总黄酮含量皆在青白果时期最高,且随着 a 值的增大枣果的转红,呈下降趋势。此外,木枣成熟过程中枣果硬度和咀嚼性明显 ($P<0.05$) 降低,这与吴宝婷等^[32]的研究结果类似。吴宝婷在对灵武长枣成熟过程中硬度变化的研究中表明,硬度随着成熟度增加逐渐下降,同时伴有细胞壁主要多糖物质原果胶含量下降,可溶性果胶含量、果胶甲酯酶活力、多聚半乳糖醛酸酶活力和 β -半乳糖苷酶活力都有所增加,说明硬度的下降主要是细胞代谢及果实内部降解酶系对果实细胞壁果胶物质的增溶解聚及中胶层、中性侧链的共同降解作用所致。粘附性明显 ($P<0.05$) 增大,内聚性和弹性变化不大,白熟期之后基本趋于稳定,这可能与枣果生长成熟过程中果胶和纤维素的代谢有联系^[33]。

此外,根据前人对不同成熟度枣果的研究,可知白熟期木枣不仅低糖,还富含 Vc、粗纤维、黄酮、三萜类化合物等营养成分^[1],耿阳^[34]、畅小洁^[31]还表明白熟期枣果抗氧化能力最好,但硬度、咀嚼性较大,不适合鲜食,因此白熟期木枣可开发低糖功能性枣产品,或功能性食品原料。半红期木枣 Vc、粗纤维、黄酮、三萜类化合物等营养成分高于全红期枣果^[1],硬度适中,弹性、粘附性较大,为半红期枣果提前采收加工利用提供了优越条件,可用于加工功能休闲食品。丁胜华等^[20]研究表明全红期的可溶性总糖、糖酸比以及游离氨基酸总量最高,同时全红期木枣果皮颜色鲜红,果肉鲜亮,硬度、粘附性、弹性和咀嚼性较低,口感较佳,但不易贮藏,为此全红期可作为鲜食的最佳采收时期。

4 结论

白熟期和半红期木枣与全红期木枣均具有较高的可食率。木枣由白熟期向半红期、全红期成熟转变过程果皮色泽由白亮、绿黄逐步变为暗红色,色差增大,果肉由暗绿逐步变为绿白,色差减小,枣果硬度和咀嚼性明显降低,粘附性明显增大,加工利用过程中要考虑色泽和质构特性对最终产品感官品质的影响,加工利用时可以根据不同成熟度木枣的色泽和质地品质特点开发相应的产品。本试验仅对白熟期、半红期、全红期木枣的可食率、色泽、质地等物理特性进行了研究,而木枣生长成熟过程中营养生理指标的变化与色泽质地品质的相关性以及导致色泽质地变化的机制尚不明确,不同成熟期木枣枣果可用于加工什么具体类型产品有待进一步研究。本研究结果为木枣提前采收加工利用提供了理论依据,对于促进红枣产业良好发展,指导生产实践具有重要意义。

参考文献

- [1] 石建春,王愈,李志刚,等.三种干燥方法对不同采收期木枣干制品品质影响[J].食品工业科技,2022,44(20):1-16.
- [2] HAN Xue, ZHOU Qian, GAO Zhe, et al. *In vitro* digestion and fecal fermentation behaviors of polysaccharides from *Ziziphus jujuba* cv. Pozao and its interaction with human gut microbiota [J]. Food Research International, 2022, 162(PA): 112022.
- [3] LIN Ximeng, JI Xiaolong, WANG Min, et al. An alkali-extracted polysaccharide from *Ziziphus jujuba* cv. Muzao: Structural characterizations and antioxidant activities [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 136: 7-15.
- [4] Muhammad Noman Khan, Faraz Ul Haq, Saeedur Rahman, et al. Metabolite distribution and correlation studies of *Ziziphus jujuba* and *Ziziphus nummularia* using LC-ESI-MS/MS [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2020, 178(30): 112918.
- [5] SONG Jianxin, BI Jinfeng, CHEN Qinqin, et al. Assessment of sugar content, fatty acids, free amino acids, and volatile profiles in jujube fruits at different ripening stages [J]. Food Chemistry, 2019, 270: 44-52.
- [6] SONG Ye, WANG Jianzhong. Evaluation of sensory and physico-chemical properties of grey jujube from different producing regions [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 148-154.
- [7] LI Dong, XUE Ruiting. Study on the quality characteristics and antioxidant activity of jujube fruit of different varieties in Shanxi Province [J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 46-50.
- [8] 许玲,魏秀清,章希娟,等.3个毛叶枣品种的果皮色泽差异研究[J].东南园艺,2017,5(6):1-4.
- [9] 许玲,章希娟,魏秀清,等.利用色差仪估测‘脆蜜’毛叶枣成熟度的研究[J].东南园艺,2017,5(5):10-12.
- [10] 高阳,巴元富,李宏宇,等.不同贮藏温度条件下南酸枣果实色泽和质地的变化[J].经济林研究,2021,39(4):239-245.
- [11] 吴萌萌,张瑞萍,史亚娟,等.4个苹果品种贮藏期间果实质地和营养成分的变化[J].果树学报,2020,37(9):1404-1412.
- [12] 宋辉,王建中.不同产地灰枣感官及理化特性评价[J].现代食品科技,2021,37(7):148-154, 293.
- [13] 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[J].中国农业科学,2011,44(6):1210-1217.
- [14] 曹源,史秋兰.优化 TPA 测定南疆冬枣质地特性条件[J].安徽农业科学,2014,18:5947-5949.

- [15] LI Baoyu. Effects of different drying methods on quality of banana products [J]. Food Science, 2016, 37(15): 100-106.
- [16] GAO Qinghan, WU Chunsen, YU Jinguang, et al. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) selections [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(11): 1218-1225.
- [17] 丁胜华,王蓉蓉,单杨,等.不同品种枣果果实品质分析与评价[J].食品与机械,2016,32(2):31-36.
- [18] 彭艳芳.枣果营养成分分析与冬枣货架期保鲜研究[D].保定:河北农业大学,2003.
- [19] 李鹏.果实物理化学特性及其抗氧化活性研究[D].福州:福建农林大学,2016.
- [20] 丁胜华,王蓉蓉,李高阳,等.金丝小枣在生长成熟过程中理化特性的变化规律[J].现代食品科技,2016,32(9):47-55.
- [21] 赵爱玲,薛晓芳,王永康,等.质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法研究[J].果树学报,2018,35(5):631-641.
- [22] 牛玉宝,姚雪东,肖红伟,等.射频辅助热风干燥对红枣脆片质构特性和微观结构的影响[J].农业工程学报,2022,38(2): 296-306.
- [23] 魏天军,窦云萍,张勤.中宁圆枣果实发育成熟期生理生化变化[J].中国农学通报,2007,3:324-327.
- [24] 彭俊,ManuelLVázquez-Arellano,孙世鹏,等.冬枣果实物理参数与生物特性研究[J].中国农业大学学报,2017,22(8):95-100.
- [25] 李莉峰,叶春苗,韩艳秋.不同干燥方式对南果梨干理化指标及质构特性的影响 [J].食品工业,2018,39(10):46-49.
- [26] 柴利萍.基于转录组测序的冬枣果皮转红机制[D].天津:天津大学,2020.
- [27] 石倩倩.枣果实色泽性状形成的分子机制研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [28] SHI Qianqian, DU Jiangtao, ZHU Dajun, et al. Metabolomic and transcriptomic analyses of anthocyanin biosynthesis mechanisms in the color mutant *Ziziphus jujuba* cv. Tailihong [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(51): 15186-15198.
- [29] 苏娟娟,康晨煊,石倩倩,等.陕北鲜食枣果实成熟过程主要物性与营养指标研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(10):129-138,145.
- [30] 游凤,黄立新,张彩虹,等.冬枣各成熟阶段果皮酚类含量变化及其对 DPPH 自由基清除能力的影响[J].食品科学,2013, 34(19):62-66.
- [31] 畅晓洁.不同成熟度红枣的酚类物质、有机酸、三萜酸、Vc 含量及其抗氧化活性研究[J].保鲜与加工,2021,21(2): 28-32.
- [32] 吴宝婷,王娟,邱雪,等.灵武长枣成熟过程中硬度变化的生物力学研究[J].河南农业大学学报,2020,54(5):770-777.
- [33] 李欢,张舒怡,张钟,等.骏枣果实成熟过程中果胶和纤维素代谢及其基因表达[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(12):34-43.
- [34] 耿阳,赵晓梅,谭玉鹏,等.采收成熟度对‘京沧 1 号’枣贮藏品质及抗氧化活性的影响[J].食品与发酵工业,2022,53(22): 1-11.