

蒋 宝, 侯清娥, 高红芳, 等. 不同采收成熟度对设施冬枣综合品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(7): 1312-1319.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.07.018

不同采收成熟度对设施冬枣综合品质的影响

蒋 宝, 侯清娥, 高红芳, 杨玉娜
(渭南职业技术学院, 陕西 渭南 714026)

摘要: 为了从成熟度方面给采收鲜食用、加工用大荔冬枣果实的时期提供参考, 以 4 个不同成熟度(白熟、脆熟、半红、全红, 分别对应白熟期、脆熟期、半红期、全红期)大荔冬枣果实为试验材料, 对比其果实的品质特性, 探究其果实品质在 4 个不同成熟度下的变化。结果表明, 随着果实成熟度的增加, 大荔冬枣果实的单果重、可溶性糖含量、维生素 C 含量及可溶性固形物含量增加, 而果实硬度、含水量、总酸含量、总酚含量及总类黄酮含量呈下降趋势。在脆熟期和半红期, 大荔冬枣果实的抗氧化能力较强。大荔冬枣果实的含水量与可溶性糖含量、可溶性固形物含量均呈极显著负相关($P < 0.01$), 与总酸含量、总酚含量及总类黄酮含量均呈显著正相关($P < 0.05$); 大荔冬枣果实的可溶性糖含量与可溶性固形物含量呈极显著正相关($P < 0.01$), 与总类黄酮含量、总酚含量均呈显著负相关($P < 0.05$)。综上所述, 脆熟期至半红期的大荔冬枣果实适宜立即食用或仅可进行短距离运输, 脆熟期的大荔冬枣果实适宜长距离运输或贮藏, 全红期的大荔冬枣果实适宜用作食品加工原料。

关键词: 大荔冬枣; 设施栽培; 成熟度; 品质; 贮藏

中图分类号: S628 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)07-1312-08

Effects of different harvest maturity on the comprehensive quality of *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao under protected cultivation condition

JIANG Bao, HOU Qing'e, GAO Hongfang, YANG Yuna
(Weinan Vocational & Technical College, Weinan 714026, China)

Abstract: To provide a reference for the period of harvesting fresh edible and processed Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits from the aspect of maturity, *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits with four different maturity (white ripening, crisp ripening, semi-red and full red, corresponding to white ripening stage, crisp ripening stage, semi-red stage and full red stage, respectively) were used as the test materials to compare the fruit quality characteristics and investigate the change of the fruit quality under four different maturity levels. The results showed that with the increase of fruit ripeness, the single fruit weight, soluble sugar content, vitamin C content and soluble solids content of *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits increased, while the fruit hardness, water content, total acid content, total phenols content and total flavonoids content decreased. The antioxidant capacity of *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits at crisp ripening stage and semi-red stage was

收稿日期: 2024-04-28

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(一般项目-农业领域)(2020NY-156); 渭南市科技计划项目(重点研发-农业创新)(2021ZDYF-NYCX-83); 渭南市科技计划项目(重点研发计划)(2022ZDYFJH-82); 渭南职业技术学院青年科技创新团队项目(WZYQNKJTD202302); 渭南职业技术学院青年科研基金项目(WZYQ202001)

作者简介: 蒋 宝(1981-), 男, 宁夏石嘴山人, 博士, 教授, 研究方向为果实品质评价与检测。(E-mail)treebaojiang@163.com

strong. The water content of *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits was in highly significant negative correlation with soluble sugar content and soluble solids content ($P < 0.01$), and the water content of *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits was in significant positive correlation with the contents of total acids, total phenolics and total flavonoids ($P < 0.05$). Soluble sugar content in *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits was in highly significant positive correlation with soluble solids content ($P < 0.01$), and was in signifi-

cant negative correlation with total flavonoids content and total phenolics content ($P<0.05$). In summary, *Z. jujuba* Mill. cv. Dongzao fruits at crisp ripening stage to semi-red stage are suitable for eating or only suitable for short-distance transportation, the fruits at crisp ripening stage are suitable for long-distance transportation or storage, the fruits at full red stage are suitable to be used as food processing raw materials.

Key words: Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao; facility cultivation; maturity; quality; storage

冬枣(*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao)为鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Ziziphus jujuba* Mill.)植物,又称雁来红、冰糖枣等。冬枣果皮薄,果肉脆,酸甜多汁,品质极佳,老少皆宜,因此受到消费者的广泛青睐。冬枣的营养价值很高,含有丝氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、天门冬氨酸等人体所需的氨基酸,总含量约为9.85 mg/kg;冬枣中含有维生素B、维生素C等多种维生素和多种糖,其中维生素C的含量较高,分别是苹果、梨果实中维生素C含量的70倍、100倍;冬枣还含有钾、铁、铜等多种微量元素,故有“百果之王”之美称^[1]。此外,冬枣还有很高的保健功效,可以健脾养胃、补血益神。每100 g枣肉中含有约50 mg生物活性物质环磷酸腺苷(cAMP),它能破坏和抑制人体内的癌细胞,对冠心病、心肌梗死、心源性休克等疾病也有一定疗效^[1-3]。截至2020年,陕西省大荔县冬枣的种植面积达到 2.8×10^4 hm²,年产量达 5×10^4 t以上,产值突破 6×10^9 元,占全国冬枣市场份额的1/3以上^[4]。由大荔县人民政府主持修订的中国首个冬枣相关的国家标准《冬枣》(GB/T 32714-2016)也已发布。由此可见,冬枣已成为大荔县的一张名片,大荔县因此获得“中国冬枣第一县”的美誉。

大荔县在全国首创冬枣设施栽培模式,使得冬枣在当地的成熟采收期从每年的5月中旬、下旬持续到10月中旬,极大地延长了冬枣的市场货架期和枣果的经济价值。目前,大荔冬枣以设施栽培模式为主。冬枣作为一种晚熟鲜食优质枣品种,其成熟要经历白熟期—脆熟期—半红期—全红期等4个不同阶段。鲜枣果实成熟度对其营养品质^[5-7]、贮运品质^[8]及加工质量^[9]有直接影响。目前,大荔冬枣的商品果采收期主要依据果农的感官(如依据枣果的着色程度、果粒大小等)和种植经验来判断,这种方法具有较大的主观性,常导致不同批次冬枣果实的质量参差不齐,进而给大荔冬枣鲜果质量的稳定性和品牌价值带来负面影响。若采收过早,会影响冬枣果实的口感风味、营养品质和贮藏质量;若采收过晚,会缩短冬枣鲜果的货架期,增加冬枣的贮运风

险。目前尚未见关于大荔冬枣设施采收成熟度对其品质影响的相关研究或报道。因此,探究设施条件下不同采收成熟度的大荔冬枣外观和营养品质的变化规律,对大荔冬枣产业的高质量发展尤为重要。此外,冬枣商品果以鲜食为主,但在实际采收过程中,残次冬枣果数量约占枣果总数的8%~10%,每年大荔冬枣残次果浪费现象非常普遍。为了进一步提升冬枣残次果的商业价值,考虑对残次冬枣果实进行初加工、深加工,达到变废为宝、延长冬枣产业链的效果。目前,市场上已开发出枣醋饮^[10]、枣酒^[11]、枣酵素^[12]、枣糕^[13]及脆冬枣^[14]等多种枣产品,这些产品的质量与其加工原料的营养品质直接相关。

本研究拟以设施栽培条件下不同成熟期(白熟期、脆熟期、半红期、全红期)的大荔冬枣果实为研究对象,考察不同成熟度冬枣果实的外观品质、理化和营养指标,以期改善大荔冬枣鲜果营养品质、提升其贮运质量及加工适宜性提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大荔冬枣采自陕西省大荔县朝邑镇平罗村设施冬枣大棚。选取长势良好、无病虫害或机械损伤的大荔冬枣,分别于4个不同成熟期(白熟期、脆熟期、半红期、全红期,分别对应白熟、脆熟、半红、全红4个成熟度)进行采收,采收时带果柄。其中,白熟期指冬枣果皮出现点红之前的时期,脆熟期指冬枣果皮出现红晕或点红的时期,半红期指冬枣果皮着色面积占比为40%~70%的时期,全红期指冬枣果皮着色面积占比在80%以上的时期。在预冷后,用泡沫包装盒将大荔冬枣样品包装后带回实验室,贮存于-80℃冰箱中,用于测定各项指标。

碘化钾、盐酸、甲醇、硫酸、硫酸铜、醋酸铵、碳酸钠、无水乙醇、三氯化铝、酚酞、氢氧化钠等均为分析纯,购自天津光复精细化工有限公司;蒽酮、福林酚(Folin-Ciocalteu)分别由国药集团化学试剂有限公

司、厦门海标科技有限公司生产;儿茶素、没食子酸购自 Sigma-Aldrich 公司。

1.2 仪器与设备

数显果实硬度计(GY-4),购自乐清市艾德堡仪器有限公司;电子天平(AL204),购自梅特勒-托利多科技(中国)有限公司;PAL-1 手持折光仪,购自日本 Atago 公司;HHS21-N14 型电热恒温水浴锅,购自天津市华北实验仪器有限公司;WFJ7200 型可见分光光度计,购自尤尼柯(上海)仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 果实外观、硬度及含水量的测定 单果重借助千分之一电子天平用称重法测定。果实的纵径、横径使用游标卡尺测定,果形指数=果实纵径/果实横径^[15]。在每个果实的赤道位置选取 3 个点,用数显果实硬度计测定果实的硬度^[16]。果实含水量的测定使用烘干称重法^[16]。

1.3.2 果实营养成分的测定 总酸含量、可溶性糖含量分别选用酸碱滴定法、蒽酮比色法进行测定^[16]。可溶性固形物含量、维生素 C 含量分别用手持折光仪、碘酸钾滴定法测定^[16]。总酚含量用 Folin-Ciocalteu 法测定^[17],结果用没食子酸含量表示,单位为mg/L。类黄酮含量的测定参考 Kim 等^[18]的方法,结果用儿茶素含量表示,单位为mg/L。

1.3.3 果实抗氧化能力的测定 1,1-二苯基-2-苦基肼(DPPH)自由基清除能力参考 Brand-Williams 等^[19]的方法,铜离子还原能力的测定参考 Apak 等^[20]的方法,结果均以水溶性维生素 E(Trolox)含量表示,单位为 $\mu\text{mol/g}$ 。

1.4 数据统计与分析

数据统计和作图用 Excel 2010,方差分析和显著性分析均用 SPSS 19.0 软件。

2 结果与分析

2.1 成熟度对大荔冬枣果实外观、硬度及含水量的影响

2.1.1 单果重和果形指数 大荔冬枣的单果重与其单位面积枣果产量、感官质量直接相关。由表 1 可以看出,随着大荔冬枣果实成熟度的增加,其单果重呈显著增加趋势($P<0.05$)。参照《冬枣》(GB/T 32714-2016)中关于冬枣鲜果等级质量的定义,半红期、全红期大荔冬枣的单果重符合特级果要求,而白熟期、脆熟期大荔冬枣的单果重符合一级果要求。

果形指数是衡量果实商品质量的重要的指标之一。由表 1 可以看出,成熟度对大荔冬枣的果形指数有显著影响($P<0.05$),其中脆熟大荔冬枣的果形指数为 1.12,果实形状为椭圆形;白熟期大荔冬枣的果形指数居中,为 1.05,果实形状为扁圆形;而半红期、全红期大荔冬枣的果形指数相同,均为 1.01,果实形状接近圆形,表明在大荔冬枣完全成熟后,果形趋于稳定。

2.1.2 果实硬度和含水量 大荔冬枣鲜果的口感受到果实硬度、含水量的影响,并且果实的耐贮性、运输和加工质量也与果实硬度、含水量密切相关。由表 1 可以看出,在 4 个成熟度下,大荔冬枣果实的硬度为 14.79~21.22 N。随着大荔冬枣果实成熟度的增加,枣果硬度呈下降趋势,其中白熟、脆熟大荔冬枣果实的硬度较大,分别为 21.22 N、20.31 N,显著高于半红、全红大荔冬枣果实的硬度(分别为 17.70 N、14.79 N),并且半红、全红大荔冬枣果实硬度间差异显著($P<0.05$)。脆熟大荔冬枣果实的硬度分别是半红、全红大荔冬枣果实硬度的 1.15 倍、1.37 倍。

由表 1 还可以看出,在大荔冬枣果实成熟的过程中,随着大荔冬枣果实硬度的下降,果实含水量也呈下降趋势。其中白熟大荔冬枣果实的含水量最高,为 83.17%,其次是脆熟大荔冬枣果实的含水量,为 78.88%,半红期、全红期大荔冬枣果实的含水量较低,分别为 72.63%、68.93%。在 4 个成熟度下,大荔冬枣鲜果含水量间差异显著($P<0.05$)。

2.2 成熟度对大荔冬枣果实可溶性固形物含量、总酸含量的影响

可溶性固形物含量是衡量冬枣鲜果质量等级的重要指标。《冬枣》(GB/T32714-2016)中关于冬枣鲜果等级质量的要求指出,除冬枣单果重、着色指标外,对于特级果还要求其可溶性固形物含量 $\geq 26\%$,而一级果、二级果的可溶性固形物含量都必需 $\geq 22\%$ 。由图 1A 可以看出,半红、全红大荔冬枣枣果的可溶性固形物含量分别为 22.43%、25.17%,均满足《冬枣》(GB/T32714-2016)中一级、二级果实的可溶性固形物含量要求,而白熟、脆熟大荔冬枣枣果的可溶性固形物含量分别为 15.07%、17.73%,远低于《冬枣》(GB/T32714-2016)中对一级、二级果实可溶性固形物含量的要求。由此可见,就大荔冬枣果实的可溶性固形物含量而言,半红期、全红期大荔冬枣的果实质量是符合高质量鲜食冬枣商品果实质

表 1 采收成熟度对设施大荔冬枣果实外观、硬度及含水量的影响

Table 1 Effects of harvest maturity on appearance, hardness and water content of Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao under protected cultivation

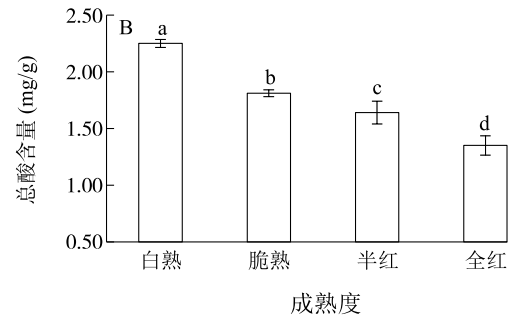
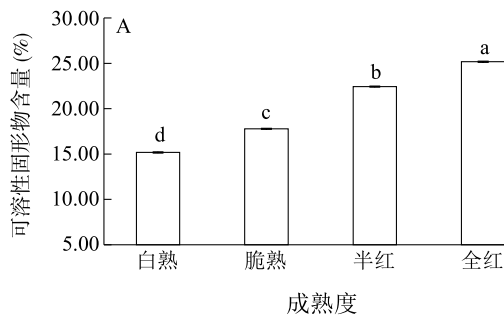
成熟度	单果重(g)	果形指数	果实形状	果实硬度(N)	含水量(%)
白熟(白熟期)	15.33±2.97d	1.05±0.09b	扁圆形	21.22±2.07a	83.17±1.13a
脆熟(脆熟期)	15.65±2.58c	1.12±0.08a	椭圆形	20.31±2.87a	78.88±1.11b
半红(半红期)	20.87±2.63b	1.01±0.08c	近圆形	17.70±2.19c	72.63±1.05c
全红(全红期)	21.52±2.87a	1.01±0.09c	近圆形	14.79±1.48d	68.93±0.84d

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

量要求的。此外,本研究结果与 Yan 等^[6]的研究结论一致,即全红期大荔冬枣果实的可溶性固形物含量最高,这对于在利用残次冬枣果实开发枣干粉、枣汁和枣酒等产品的过程中提升产品品质是有益的。

由图 1B 可以看出,不同成熟度大荔冬枣的总酸含量为 1.35~2.29 mg/g,随着大荔冬枣果实的逐

渐成熟,其总酸含量不断下降。当成熟度为白熟时,大荔冬枣的总酸含量达到 2.29 mg/g,显著高于其他成熟度($P<0.05$)。与成熟度为白熟的大荔冬枣相比,成熟度为全红的大荔冬枣果实的总酸含量下降了 41.05%。



A:可溶性固形物含量;B:总酸含量。不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 1 采收成熟度对设施大荔冬枣果实可溶性固形物和总酸含量的影响

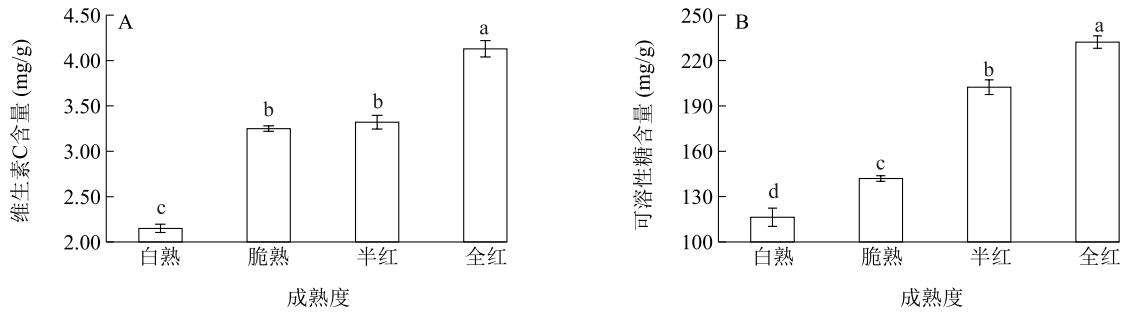
Fig.1 Effects of harvest maturity on the soluble solids content and total acid content of Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao under facility cultivation

2.3 成熟度对大荔冬枣果实营养品质的影响

2.3.1 维生素 C 和可溶性糖含量 维生素 C 又被称为抗坏血酸,它是冬枣果实中一种重要的营养物质。由图 2A 可知,成熟度对大荔冬枣果实中的维生素 C 含量产生不同程度的影响,不同成熟度的大荔冬枣果实的维生素 C 含量为 2.17~4.13 mg/g,其中全红大荔冬枣的维生素 C 含量达到最大值,且显著高于其他 3 个成熟度($P<0.05$)。与成熟度为白熟的大荔冬枣果实相比,全红期大荔冬枣果实的维生素 C 含量增加了 90.32%。在不同成熟度下,大荔冬枣果实的维生素 C 含量的变化趋势与前人对梨枣的研究结果^[21]相似,但与前人对骏枣的研究结果^[7]不同,究其原因,可能是品种、生长条件不同所致。

可溶性糖是枣果实生长过程中产生的一类非常

重要的次生代谢物质,它赋予枣果实特有的营养、药用价值^[22]。由图 2B 可知,不同成熟度的大荔冬枣果实的可溶性糖含量为 116.40~232.20 mg/g,随着大荔冬枣成熟度的增加,其果实可溶性糖含量呈上升趋势,其中全红大荔冬枣果实的可溶性糖含量显著高于其他 3 个阶段,达到 232.20 mg/g($P<0.05$)。与白熟大荔冬枣果实相比,全红大荔冬枣果实的可溶性糖含量增加了 99.48%。果胶是可溶性糖的重要组成部分,Ding 等^[23]对不同成熟期金丝小枣中的果胶进行研究发现,绿果期的枣果由于含有大量水溶性果胶成分,适宜用作食品增稠剂、乳化剂的原料。此外,果实的风味特性对其感官质量有重要影响。葡萄糖、果糖均属于可溶性糖,二者均为枣果实风味物质合成的前体物质,其含量与果实成熟度密切相关^[21,24]。



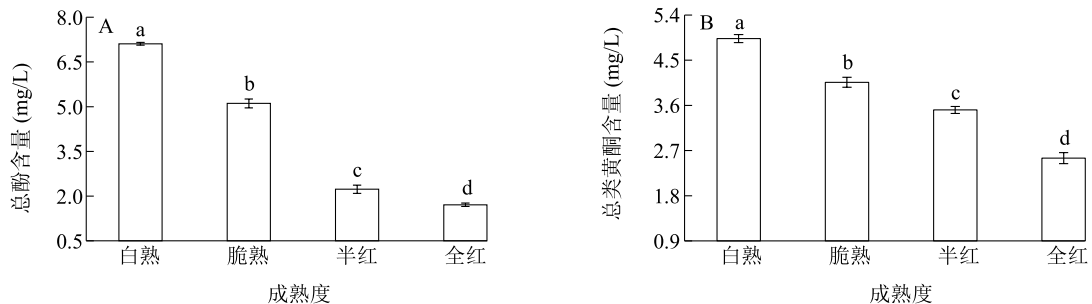
A: 维生素C含量; B: 可溶性糖含量。不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 采收成熟度对设施大荔冬枣果实维生素C含量、可溶性糖含量的影响

Fig.2 Effects of harvest maturity on vitamin C content and soluble sugar content of Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao under facility cultivation

2.3.2 总酚含量、总类黄酮含量 如图3所示,大荔冬枣果实成熟度越高,其总酚含量、总类黄酮含量越低。在果实白熟期,大荔冬枣果实的总酚含量、总类黄酮含量均最高,分别达到 7.12 mg/L、4.93 mg/L,显著高于其他3个成熟阶段 ($P < 0.01$)。在大荔冬枣果实全红期,冬枣果实的总酚含量、总类黄

酮含量均最低,分别为 1.71 mg/L、2.55 mg/L,与白熟期相比,全红期大荔冬枣果实的总酚含量、总类黄酮含量分别降低了 75.98%、48.28%。本研究对大荔冬枣成熟过程中总酚含量、总类黄酮含量变化趋势的分析结果与 Wang 等^[5]对稷山板枣和 Zozio 等^[25]对 Lamk P3、P5 枣品种的研究结果一致。



A: 总酚含量; B: 总类黄酮含量。不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 采收成熟度对设施大荔冬枣果实总酚、总类黄酮含量的影响

Fig.3 Effects of harvest maturity on total phenol content and total flavonoid content of Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao under facility cultivation

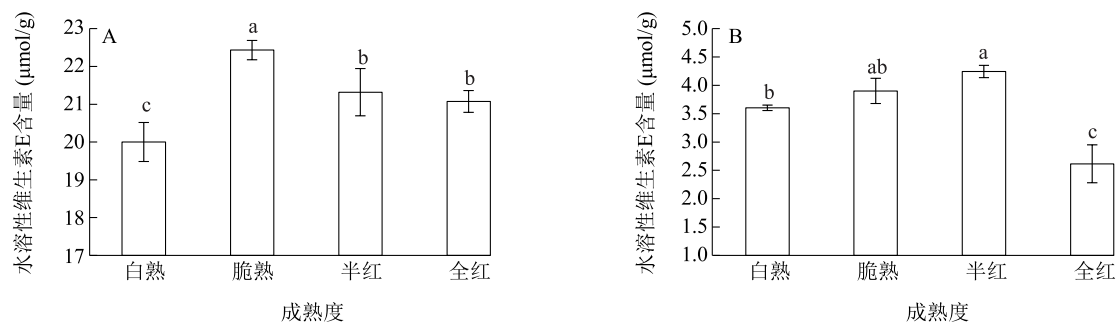
2.4 DPPH 自由基清除能力和铜离子还原力分析

如图4A、图4B所示,不同成熟度的大荔冬枣果实提取液均表现出较强的抗氧化能力且存在显著差异 ($P < 0.05$)。随着大荔冬枣成熟度的提高,其抗氧化能力呈先上升后下降的趋势。与白熟、全红大荔红枣果实相比,脆熟、半红大荔红枣果实表现出较强的抗氧化能力,但2种抗氧化能力的测定结果间也存在一定差异,可能与测定方法不同有关。

2.5 大荔冬枣果实各品质指标相关性分析

对4个不同成熟度的大荔冬枣果实的12项品质指标进行相关性分析。如表2所示,大荔冬枣果

实的含水量与可溶性糖含量、可溶性固形物含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$),与总酸含量、总酚含量及总类黄酮含量均呈显著正相关 ($P < 0.05$);大荔冬枣果实的可溶性固形物含量与可溶性糖含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$),与总酸含量、总类黄酮含量及总酚含量呈显著负相关 ($P < 0.05$);大荔冬枣果实的单果重与含水量、总酚含量呈显著负相关 ($P < 0.05$),与可溶性糖含量、可溶性固形物含量呈显著正相关 ($P < 0.05$);大荔冬枣果实的硬度与含水量、总类黄酮含量呈显著正相关 ($P < 0.05$),与可溶性固形物含量、可溶性糖含量均呈显著负相关 ($P < 0.05$);大荔冬枣果实的总类黄酮含量与维生素C含量、可溶性



A:1,1-二苯基-2-苦基肼(DPPH)法;B:铜离子还原能力(CUPRAC)法。不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图4 采收成熟度对设施大荔冬枣果实抗氧化能力的影响

Fig.4 Effects of harvest maturity on antioxidative capacity of Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao under facility cultivation

糖含量均呈显著负相关($P<0.05$)。由此可见,在不同成熟阶段,大荔冬枣果实各品质指标之间存在不同程度的相关性,为了避免在进行大荔冬枣果实品质评价时可能产生的信息重叠,应采用品质指标的相关性分析方法对评价指标进行简化,以提高品质指标评价的科学性。

表2 大荔冬枣主要品质指标的相关性分析结果

Table 2 Correlation analysis results of the main quality indicators of Dali *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao

品质指标	相关系数											
	单果重	果形指数	果实硬度	含水量	可溶性固形物含量	总酸含量	维生素C含量	可溶性糖含量	总酚含量	总类黄酮含量	1,1-二苯基-2-苦基肼自由基清除能力	铜离子还原能力
单果重	1.000	-0.810	-0.937	-0.958 *	0.965 *	-0.861	0.779	0.976 *	-0.959 *	-0.890	0.018	-0.333
果形指数		1.000	0.683	0.625	-0.654	0.422	-0.303	-0.688	0.610	0.512	0.559	0.361
果实硬度			1.000	0.974 *	-0.980 *	0.931	-0.895	-0.980 *	0.927	0.972 *	-0.074	0.606
含水量				1.000	-0.999 **	0.971 *	-0.927	-0.996 **	0.987 *	0.981 *	-0.238	0.424
可溶性固形物含量					1.000	-0.962 *	0.915	0.999 **	-0.983 *	-0.978 *	0.197	-0.443
总酸含量						1.000	-0.989 *	-0.948	0.954 *	0.989 *	-0.432	0.433
维生素 C 含量							1.000	0.895	-0.898	-0.973 *	0.499	-0.483
可溶性糖含量								1.000	-0.982 *	-0.968 *	0.159	-0.435
总酚含量									1.000	0.947	-0.299	0.273
总类黄酮含量										1.000	-0.303	0.536
1,1-二苯基-2-苦基肼自由基清除能力											1.000	0.270
铜离子还原能力												1.000

** 代表极显著相关($P<0.01$); * 代表显著相关($P<0.05$)。

3 结论与讨论

目前,大荔冬枣的销售类别以鲜果为主。近年来,随着大荔冬枣品牌影响力的提升和枣果产量的增加,大荔冬枣在国内的销售范围日益扩大,甚至还销到海外。伴随着大荔冬枣产业的快速发展,大荔冬枣的营养品质、贮运技术及残次果的再利用等问题逐渐凸显。果皮的颜色深浅和着色面积是生产上判断冬枣成熟度的重要依据之一。研究发现,枣果皮花色苷

组成和含量与枣果的品种特性、栽培措施、环境条件及果实成熟度等关键因素密切相关^[26]。为此,在生产中,主要根据冬枣果皮颜色和果肉的变化情况划分不同的成熟阶段或成熟度。通常情况下,冬枣在白熟期过后,果皮自梗洼、果肩部位开始上色,位于阳面的果皮首先出现红晕,紧接着由点红变为片红直至全红。与此同时,冬枣果肉中的有机酸、淀粉等物质陆续转化成糖,果实含糖量剧增,肉质变脆,营养也逐渐丰富。在半红期过后,冬枣很快进入全红期,它的果

皮颜色继续变深,果实中的营养物质进一步累积,尤其是糖含量进一步增加,而维生素含量、含水量则慢慢降低,果肉开始变软,果皮出现皱褶,品质开始变劣。由于冬枣属于晚熟鲜食品种,且新枣股和老枣股坐果时间不一致,因此在生产上应根据冬枣成熟度分批进行采收。成熟度对枣果采后耐贮运性、商品性及残次果的再加工利用等起着关键作用。耿阳等^[8]研究发现,初红期蟠枣在低温下贮藏能有效保持其良好的外观和营养品质,同时还表现出良好的贮藏性和商品性。Xu 等^[27]根据对新疆骏枣在不同成熟期的营养指标、色度的测定与分析,认为适度推迟枣果采收更有利于骏枣干制工艺的実施。通常情况下,成熟度低的枣果更加耐贮运,随着枣果成熟度的增加,其贮运期不断缩短。但如果枣果的成熟度不够时,由于果肉中的有机酸还未转化,其贮运后的果实品质也较差。同时当成熟度不够时,由于果皮保护组织发育得不充分,导致果实采收后极易失水、失重而不耐贮运。本研究对大荔冬枣抗氧化能力的测定结果显示,通过 2 种不同方法测定的冬枣的抗氧化能力存在差异性和协同性,究其原因可能是在生物体中存在多个抗氧化系统,它们的工作原理和彼此间的关系目前尚不清楚^[28],因此评定生物体的抗氧化能力是一件非常复杂的工作。为此,在多数试验中,研究者通常需要把 2 种以上且抗氧化机制不同的方法结合起来,以此来提升检测结果的客观性。

综上所述,随着成熟度的增加,大荔设施冬枣果实的单果重、可溶性糖含量、维生素 C 含量及可溶性固形物含量增加,而果实硬度、含水量、可滴定酸含量、总酚含量及总类黄酮含量呈下降趋势。脆熟期、半红期冬枣果实的抗氧化能力较强。大荔冬枣果实的含水量与可溶性糖含量、可溶性固形物含量呈极显著负相关($P<0.01$),与其总酸含量、总酚含量及总类黄酮含量均呈显著正相关($P<0.05$);可溶性固形物含量与可溶性糖含量呈极显著正相关($P<0.01$),与总酸含量、总类黄酮含量、总酚含量呈显著负相关($P<0.05$)。由本研究结果得出,若冬枣果实采后立即食用或仅进行短距离运输,则可在脆熟期至半红期采摘;若冬枣果实采后需要长距离运输或贮藏,则应在脆熟期采摘;若冬枣果实采后仅作为食品加工原料,则可在全红期采摘。研究结果为大荔设施冬枣的贮运和加工提供了理论依据和技术指导。

参考文献:

- [1] 赵建明,周爱英.冬枣优质高产栽培[M].北京:金盾出版社,2016.
- [2] KAVI KISHOR P B, GUDDIMALLI R, KULKARNI J, et al. Impact of climate change on altered fruit quality with organoleptic, health benefit, and nutritional attributes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(46): 17510-17527.
- [3] ARUNACHALAM K, SREEJA P S, YANG X F. Mechanisms and therapeutic actions of edible fruits in inflammatory bowel disease: a review of pre-clinical studies [J]. Food Chemistry Advances, 2023, 3: 100498.
- [4] 韩乃瑄,曹颖,刘晓敏,等.冬枣保鲜技术的研究进展[J].食品工业科技,2022,43(21):414-421.
- [5] WANG B N, HUANG Q Y, VENKITASAMY C, et al. Changes in phenolic compounds and their antioxidant capacities in jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) during three edible maturity stages [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 56-62.
- [6] YAN M, WANG Y, WATHARKAR R B, et al. Physicochemical and antioxidant activity of fruit harvested from eight jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars at different development stages [J]. Scientific Reports, 2022, 12: 2272.
- [7] SONG J X, BI J F, CHEN Q Q, 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: 344-352.
- [8] 耿阳,赵晓梅,谭玉鹏,等.采收成熟度对‘京凉1号’枣贮藏品质及抗氧化活性的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(9):269-275.
- [9] 王吉强,邓利珍,裴昱鹏,等.成熟度对冬枣真空脉动干燥动力学及产品品质的影响[J].农业工程学报,2021,37(23):273-279.
- [10] LI G F, YAN N, LI G Q, et al. Optimization of the process for green jujube vinegar and organic acid and volatile compound analysis during brewing [J]. Foods, 2023, 12(17): 3168.
- [11] YUAN L, LI G F, YAN N, et al. Optimization of fermentation conditions for fermented green jujube wine and its quality analysis during winemaking [J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 59(1): 288-299.
- [12] 贾丽丽,冀利,孙曙光,等.冬枣酵素发酵过程中生物学特性和抗氧化活性研究[J].食品与发酵科技,2014,50(4):30-33.
- [13] 毛青秀,徐远芳,陈渠玲,等.辐照方式对南酸枣糕品质及货架期的影响[J].食品与机械,2024,40(2):109-116,138.
- [14] 谢忠,曹荣荣.冬枣设施栽培理论与生产技术[M].西安:陕西科学技术出版社,2023:102-107.
- [15] 聂继云.果品质量安全学[M].北京:中国标准出版社,2020:59-62.
- [16] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:132-136.

- [17] RAPISARDA P, TOMAINO A, CASCIO R L, et al. Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(11):4718-4723.
- [18] KIM D O, CHUN O K, KIM Y J, et al. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(22):6509-6515.
- [19] BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1):25-30.
- [20] APAK R, GÜÇLÜ K, OZYÜREK M, et al. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(26):7970-7981.
- [21] WU C S, GAO Q H, GUO X D, et al. Effect of ripening stage on physicochemical properties and antioxidant profiles of a promising table fruit 'pear-jujube' (*Zizyphus jujuba* Mill.) [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 148:177-184.
- [22] LIN X M, LIU K S, YIN S, et al. A novel pectic polysaccharide of jujube pomace; structural analysis and intracellular antioxidant activities[J]. Antioxidants, 2020, 9(2):127.
- [23] DING S H, WANG R R, SHAN Y, et al. Changes in pectin characteristics during the ripening of jujube fruit [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(12):4151-4159.
- [24] GUO S, DUAN J N, QIAN D W, et al. Content variations of triterpenic acid, nucleoside, nucleobase, and sugar in jujube (*Zizyphus jujuba*) fruit during ripening[J]. Food Chemistry, 2015, 167:468-474.
- [25] ZOZIO S, SERVENT A, CAZAL G, et al. Changes in antioxidant activity during the ripening of jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk) [J]. Food Chemistry, 2014, 150:448-456.
- [26] LIU H X, WANG L F, LIU H, et al. Quantification and identification analysis of *Zizyphus jujuba* Mill. peel pigmentation at different developmental stages [J]. Food Chemistry: X, 2022, 16:100470.
- [27] XU C, YI X K, HU C, et al. Analysis of the changes in quality and characteristics of hot air drying of Xinjiang jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Junzao) following a delayed harvest[J]. Scientific Reports, 2023, 13:16732.
- [28] 王晓宇. 葡萄酒抗氧化活性及其检测方法的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2008:105-109.

(责任编辑:徐 艳)