

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, 2023, 44(10): 98–106. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070299

SHI Jianchun, WANG Yu, LI Zhigang, et al. Effects of Three Drying Methods on Drying Quality of Mu-jujube at Different Harvest Periods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 98–106. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070299

· 研究与探讨 ·

三种干燥方法对不同采收期木枣干制品品质影响

石建春¹, 王 愈¹, 李志刚^{1*}, 郝晓玲¹, 高灵芝², 宋长利³
(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西晋中 030801;
2. 柳林县农业农村局, 山西吕梁 033300;
3. 柳林振兴农业联合有限公司, 山西吕梁 033300)

摘 要: 为充分利用红枣资源, 挖掘不同采收期枣果的加工利用价值, 以木枣为试材, 对比分析白熟期、半红期、全红期三个采收期木枣经自然晾干、热风干燥、真空冷冻干燥后营养、色泽、质地品质指标的变化。结果表明: 相同干制方式下白熟期木枣 V_C 、粗纤维、黄酮、三萜类化合物的含量高于半红期, 半红期的高于全红期; 白熟期木枣可溶性糖和多糖含量显著 ($P<0.05$) 低于半红期, 半红期的显著 ($P<0.05$) 低于全红期; 除了可溶性糖外, 三个采收期木枣真空冷冻干燥后营养成分含量最高, 但白熟期和半红期木枣自然晾干或热风干燥后可获得较全红期枣果真空冷冻干燥后高的粗纤维、黄酮、三萜类化合物含量。三个采收期木枣果肉颜色均为绿白色, 白熟期木枣质地相对偏硬, 半红期和全红期没有显著 ($P>0.05$) 差异, 真空冷冻干燥较好的保持了木枣原有的色泽品质和质构特性, 而自然晾干和热风干燥则促使白熟期和半红期木枣果皮果肉均由绿转红, 色差增大, 硬度升高, 接近甚至高于全红期木枣。由此可得, 提前采收的白熟期和半红期木枣具备较好的加工利用特性, 真空冷冻干燥为木枣高值化加工的首选干燥方法。研究结果为木枣提前采收加工利用提供了理论依据。

关键词: 木枣, 采收期, 干燥, 品质

中图分类号: TS205.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0098-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070299

本文网刊:



Effects of Three Drying Methods on Drying Quality of Mu-jujube at Different Harvest Periods

SHI Jianchun¹, WANG Yu¹, LI Zhigang^{1*}, HAO Xiaoling¹, GAO Lingzhi², SONG Changli³

(1. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China;

2. Liulin County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Lüliang 033300, China;

3. Liulin Revitalize the Agriculture Union Co., Ltd., Lüliang 033300, China)

Abstract: In order to make full use of jujube resources and further explore the processing and utilization value of jujube fruit, the changes of jujube nutrition, color and quality indexes after natural drying, hot air drying and vacuum freeze-drying in different harvesting stages were compared and analyzed using mu-jujube fruit as the test material. The results showed that the contents of V_C , crude fiber, flavonoids and triterpenoids of white ripe dates were higher than those of semi-red dates, and those of semi-red dates were higher than those of all-red dates under the same drying methods. The contents of soluble sugars and polysaccharides of white ripe dates were significantly ($P<0.05$) lower than those of semi-red dates and the semi-red dates were significantly ($P<0.05$) lower than those all-red dates. Except for soluble sugars, all three harvesting stages of jujube had the highest content of functional nutrients after vacuum freeze-drying, but the content of crude fiber,

收稿日期: 2022-08-01

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: 石建春 (1979-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 农产品贮藏及加工, E-mail: shijianchun688@163.com。

* 通信作者: 李志刚 (1979-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 农产品贮藏及加工, E-mail: sxndlzg@163.com。

flavonoids and triterpenoids after natural drying or hot air drying were higher at the white ripening stage and the semi-red stage than that of all-red stage of jujube fruit after vacuum freeze-drying. Flesh color of jujube during three harvest stages were green and white. The jujube texture at white ripe period was relatively hard, there was no significant difference between half red period and full red period ($P>0.05$). The original color, quality and texture of jujube were kept by vacuum freeze drying, while the flesh of white ripe period and half red stage jujube turned green to red, and the color difference and hardness increased after natural drying and hot air drying, which were close to or even higher than that of full red stage jujube. It could be concluded that the early harvested white and semi-red jujube fruit had better processing characteristics, and vacuum freeze-drying was the best drying method for high-value drying process. The results would provide a theoretical basis for early harvesting and processing of jujube fruit.

Key words: mu-jujube; harvest time; dry; quality

木枣别名吕梁木枣、柳林木枣、绥德木枣,俗称滩枣,是我国栽培种植面积最大、产量最多的枣树品种之一,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^[1-3]。木枣果大色丽,甜酸适宜,营养丰富独特,果肉质地致密、含水量少,是上等制干品种^[4-5]。木枣采后多被干制并加工成干枣、紫晶枣、蜜枣、酒枣、空心枣、枣粉、红枣浓缩汁等产品销售。木枣资源丰富,覆盖范围广,已发展成为当地的优势产业和特色主导产业之一,是当地农民的重要经济收入来源。然而,近几年由于新兴市场冲击、自然灾害频发、病虫害泛滥、劳动力价格上涨等因素影响,木枣市场价格一路走低,严重地挫伤了枣农种植红枣的积极性和主动性,导致当地红枣产业整体滑坡,大面积枣园荒芜,无人管理,严重影响了当地红枣产业的发展^[6-7]。因此,加大科技投入,深入挖掘木枣的加工利用价值,创新产品,提升附加值,对于振兴木枣产业具有重要意义。

鲜枣含水量较高,采后贮运、销售过程中极易腐败变质。干制是枣果采后主要的加工方式之一,干制可以较好的保存原料,减少腐烂,为后续加工利用提供原料。现有红枣干制品主要有整枣和枣片两种形式,整枣较为常见。生产中枣的干燥仍以传统的自然晾晒和热风干燥为主,但随着工业技术的发展和进步,传统的干制方法正在逐步被现代的干燥技术所取代,如真空冷冻干燥^[8]、微波干燥^[9]、变温压差膨化干燥^[10-11]、红外干燥^[12]、气体射流冲击干燥^[13]、热泵干燥^[14]、太阳能干燥^[15]、热风-真空分段联合干燥^[16]等新型干燥技术正在应用于枣果干制。目前,关于枣果干燥的研究主要集中在传统干燥技术的优化^[17]、干制品品质提升^[18-19]及新型干燥技术应用^[8,10,15]等方面。有关木枣干燥的研究不多,高红芳等^[20]以佳县全红期木枣为原料,探讨了不同干燥方式对木枣营养成分和感官品质的影响,结果表明真空低温干燥的成本较低、干制品品质好;许牡丹等^[21]探讨了不同的脱水预处理和热风干燥、真空冷冻干燥、真空低温干燥对木枣枣片品质的影响。此外,不同采收期枣果的品质风味不同,营养功能因子的积累也不同,目前关于不同采收期枣果的研究主要集中在营养成分分析和贮藏保鲜等^[22-23]方面,而关于不同采收期枣果的干制

品质特性的研究尚未见报道。为此,本试验以不同采收期木枣为原料,经自然晾干、热风干燥、真空冷冻干燥后,研究不同采收期枣果在不同干制方式下营养成分和色泽质地品质的变化,从而明确分阶段采收枣果在不同干制方法下的品质变化规律和加工特性,旨在挖掘不同采收期枣果的加工利用价值,为枣果的综合加工利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

木枣 采自山西省吕梁市柳林县高家沟乡宋家寨村红枣基地,分别在白熟期、半红期、全红期三个采摘期采收,采摘当天运回实验室置于 $2\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷库预冷,挑选表面光洁、大小形状均匀一致、无病虫害、无机械伤、果柄保存完好的枣果作为试材。L-抗坏血酸对照品、齐墩果酸对照品 上海如吉生物科技有限公司;蔗糖、葡萄糖、草酸、2,6-二氯酚靛酚、苯酚、硫酸、盐酸、氢氧化钾、甲醇、乙醇、甲醛、香草醛、冰乙酸、高氯酸、乙酸乙酯等均为分析纯。

U 410-86 超低温冰箱 New Brunswick an Eppendorf Company; JDG-0.2 真空冷冻干燥机 兰州科近真空冻干技术有限公司; DHG-9040E 电热鼓风干燥箱 上海松岛仪器有限公司; FW200A 高速万能粉碎机 北京科伟永兴仪器有限公司; TMS-Pro 质构仪 美国 Food Technology Corporation 公司; CM-5 型色差仪 KONICA MINOLTA; MB25 水分分析仪 奥豪斯仪器上海有限公司; Centrifuge 5804R 冷冻离心机 Eppendorf AG; G6860A 紫外可见分光光度计 Agilent Technologies; TDL-40B 高速离心机 上海安亭科学仪器厂; BJ224S 电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 木枣分组及预处理 供试木枣随机分为四组,一组用于鲜样的指标测定,其余三组洗净去核后,用不锈钢小刀径向切成厚 5 mm 左右的环形枣片,单层平铺于料盘中,分别进行自然晾干、热风干燥、真空冷冻干燥。

自然晾干(natural air drying, NAD): 取其中一组样品置于无任何遮掩物的试验台上自然晾干,环境温度 $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度 $45\%\pm 5\%$, 每 12 h 测定 1 次枣的含

水量,干燥终点控制在湿基含水量低于7%,干燥好的样品用0.08 mm厚的自封袋密闭包装后置于装有干燥剂的密封罐中保存,用于测试相关指标;

热风干燥(heat air drying, HAD):取其中一组样品置于电热鼓风干燥箱中进行热风干燥,温度60℃,鼓风功率30 W,每30 min测定1次含水量,干燥终点控制在湿基含水量低于7%,干燥好的样品用0.08 mm厚的自封袋密闭包装后置于装有干燥剂的密封罐中保存,用于测试相关指标;

真空冷冻干燥(vacuum freeze drying, VFD):取其中一组样品先置于-80℃冰箱中预冻6 h,然后取出将其迅速置于真空冷冻干燥机中进行真空冷冻干燥,冻干机冷阱温度为-45℃,绝对压强为32 Pa,加热板温度为30℃,干燥时间为13 h,干燥终点湿基含水量低于7%,干燥好的样品用0.08 mm厚的自封袋密闭包装后置于装有干燥剂的密封罐中保存,用于测试相关指标。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 V_C 含量的测定 参照《GB 5009.86-2016》中2,6-二氯酚靛酚滴定法进行实验。

1.2.2.2 粗纤维含量的测定 参照《GB/T 5009.10-2003》进行实验。

1.2.2.3 可溶性糖含量的测定 苯酚-硫酸法参照曹建康等^[24]的方法,建立的标准曲线 $y=0.0074x-0.0034$ ($R^2=0.998$),枣中可溶性糖含量以质量分数(%)表示,计算公式如下:

$$\text{可溶性糖含量}(\%) = \frac{m' \times V \times N}{V_s \times m \times 10^6} \times 100$$

式中, m' ,从标准曲线查得的蔗糖质量, μg ; V ,样品提取液总体积,mL; N ,样品提取液稀释倍数; V_s ,测定时所取样品提取液体积,mL; m ,样品质量,g。

1.2.2.4 多糖含量测定 参照石奇^[25]的方法,采用中性蛋白质复合酶法提取多糖,采用硫酸-苯酚法测定枣多糖,建立的标准曲线为 $y=0.0632x-0.0037$ ($R^2=0.9978$),多糖含量计算公式如下:

$$\text{多糖含量}(\text{mg/g}) = \frac{m_1 \times V_1 \times 0.9}{m_2 \times V_2 \times 10^3}$$

式中, m_1 ,从标准曲线上查得的含糖量, μg ; V_1 ,样品定容体积,mL; V_2 ,比色测定时取样品提取液体积,mL; m_2 ,样品质量,g; 0.9,葡萄糖换算成葡聚糖的校正系数。

1.2.2.5 黄酮含量的测定 参照 Zhang 等^[26]的方法,建立的标准曲线为 $y=0.0165x-0.0084$ ($R^2=0.9934$),总黄酮含量的计算公式如下:

$$\text{黄酮含量}(\text{mg/g}) = \frac{m_1 \times V_2}{m \times V_1 \times 10^3}$$

式中, m_1 ,根据标准曲线计算出的被测液黄酮质量, μg ; m ,样品质量,g; V_1 ,待测液分取的体积,mL; V_2 ,等测液的总体积,mL。

1.2.2.6 三萜类化合物含量的测定 参照苗利军等^[27]方法,建立的标准曲线为 $y=1.0146x+0.0317$ ($R^2=0.9909$),三萜类化合物含量计算公式:

$$\text{三萜类化合物含量}(\text{mg/g}) = \frac{c \times n \times V}{m}$$

式中, c ,根据标曲计算出的三萜类化合物的浓度, mg/mL ; n ,稀释倍数; V ,样品溶液体积,mL; m ,样品质量,g。

1.2.2.7 色差的测定 样品色差采用色差仪测定^[28]。测定时对称取2个点进行果皮色差的测定,去皮后再进行果肉色差的测定,重复6次,记录 L 、 a 、 b 、 ΔE 值,并求平均值。根据 CIELAB 表色系统, L 表示亮度, L 值越大说明样品颜色接近于白色; a 和 b 为彩度指数, a 正值表示偏红,负值表示偏绿; b 正值表示偏黄,负值表示偏蓝;色差值以 ΔE 表示,计算公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{式(1)}$$

式中: ΔL 、 Δa 、 Δb 表示为样品的 L 、 a 、 b 值与标准板的 L^* 、 a^* 、 b^* 值之间的差值。

1.2.2.8 硬度的测定 样品硬度采用质构仪测定,鲜样硬度测定时选取枣果赤道部位果肉,去皮后进行测定,干样硬度选取枣果赤道部位果肉,用1.2.1中的干制方式干燥后进行测定。

质构仪测定模式:质地多面分析(Texture profile analysis, TPA); 探头类型:直径2 mm的圆柱形探头; 测试温度:20~25℃; TPA 参数设置:起始力0.4 N; 测试速率60 mm/min,测前和测后速率200 mm/min; 挤压距离3 mm,停隔时间5 s; 数据采集速率为200 pps。

1.3 数据处理

采用 Excel 2017 和 SPSS Statistics 17 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 分阶段采收木枣不同干制方式下 V_C 含量的变化

枣果素有“天然维生素丸”之美称, V_C 是其中主要维生素之一。由图1可以看出,三个采收期木枣

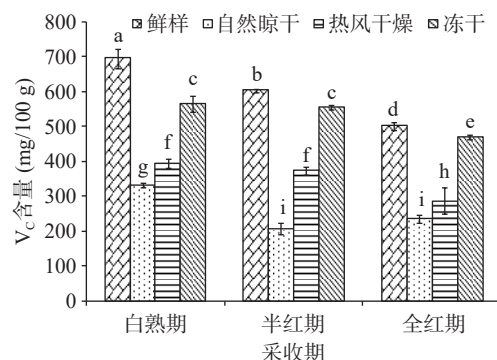


图1 干燥方式对不同采收期木枣 V_C 含量的影响

Fig.1 Effects of drying methods on V_C content of jujube at different harvest stages

注:不同小写字母表示数据差异显著, ($P<0.05$); 图2~图11同。

经三种干燥方式干燥后 V_C 含量均有显著($P<0.05$)降低,真空冷冻干燥后木枣 V_C 损耗较小,含量最高,热风干燥次之,自然晾干的最低;相同干制方式下白熟期木枣 V_C 含量高于或接近半红期,明显($P<0.05$)高于全红期。可见,提前采收的未完全成熟的木枣制干后可获得比成熟期更高的 V_C 含量,且真空冷冻干燥可以较好的保持枣果的 V_C 含量,热风干燥和自然晾干相对差之。

2.2 分阶段采收木枣不同干制方式下粗纤维含量的变化

图 2 显示,三个采收期的木枣经三种干燥方式干燥后粗纤维含量均有不同程度的降低,真空冷冻干燥后的变化不明显($P<0.05$),自然晾干和热风干燥后的变化较大,且热风干燥与真空冷冻干燥之间存在显著差异($P<0.05$);同一干制方式下白熟期采收木枣的粗纤维含量显著($P<0.05$)高于半红期和全红期,半红期与全红期接近;白熟期和半红期木枣自然晾干和热风干燥后粗纤维含量也明显高于或相当于全红期真空冷冻干燥的木枣。由此可见,提前采收的未完全成熟的木枣制干后可获得比成熟期更高的粗纤维含量,即使是采用传统的热风干燥或自然晾干也可以获得比成熟期真空冷冻干燥木枣更多的粗纤维。

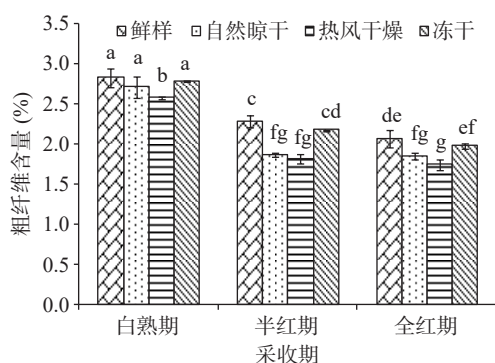


图 2 干燥方式对不同采收期木枣粗纤维含量的影响

Fig.2 Effects of drying methods on crude fibre content of jujube at different harvest stages

2.3 分阶段采收木枣不同干制方式下可溶性糖含量的变化

由图 3 可知,三个采收期木枣经不同干制方式干制后可溶性糖均有所降低,但变化规律不同。白熟期木枣热风干燥后可溶性糖含量最高,自然晾干次之,真空冷冻干燥最少;半红期木枣自然晾干后可溶性糖含量显著($P<0.05$)高于另外两种干制方式,而热风干燥和真空冷冻干燥之间没有显著差异($P>0.05$);全红期木枣自然晾干后可溶性糖含量最高,真空冷冻干燥次之,热风干燥最少。可见,自然晾干可以使枣果保持较高的可溶性糖含量。此外,图 3 还显示三种干制方式下白熟期木枣的可溶性糖含量显著($P<0.05$)低于半红期,半红期显著($P<0.05$)低于全红期。可见,提前采收的未完全成熟的木枣制干后可溶

性糖含量不及成熟期枣果,这可能会对枣果的风味会有一定影响,但将其作为低糖原料又是有益的。

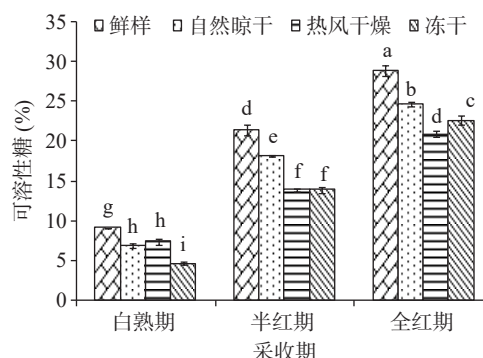


图 3 干燥方式对不同采收期木枣可溶性糖的影响

Fig.3 Effects of drying methods on soluble sugar content of jujube at different harvest stages

2.4 分阶段采收木枣不同干制方式下多糖含量的变化

多糖是枣果中重要的活性物质之一。由图 4 可知,同一采收期木枣真空冷冻干燥的多糖含量最高,热风干燥次之,自然晾干的最低;相同干制方式下,白熟期木枣的多糖含量显著($P<0.05$)低于半红期,半红期显著($P<0.05$)低于全红期。由此可见,真空冷冻干燥可以较好的保持枣的多糖含量,热风干燥相对较差,自然晾干后最低;提前采收的白熟期木枣多糖的积累不及半红期,半红期不及全红期。

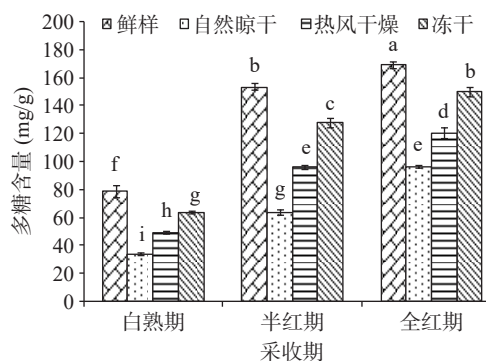


图 4 干燥方式对不同采收期木枣多糖含量的影响

Fig.4 Effects of drying methods on soluble sugar content of jujube at different harvest stages

2.5 分阶段采收木枣不同干制方式下黄酮含量的变化

黄酮类化合物是一种天然有机抗氧化剂,枣果实含有丰富的黄酮类化合物。由图 5 可知,三个采收期木枣经三种干燥方式干燥后黄酮含量均有显著($P<0.05$)降低,真空冷冻干燥后黄酮含量降低最小,热风干燥次之,自然晾干降低最大;相同干制方式下白熟期木枣黄酮含量显著($P<0.05$)高于半红期,半红期的显著($P<0.05$)高于全红期。可见,提前采收的未完全成熟的木枣制干后可获得比成熟期更高的黄酮含量,且真空冷冻干燥可以较好的保持枣果的黄酮含量,热风干燥和自然晾干相对差之。此外,由图 5 还可以看出,白熟期木枣热风干燥和自然晾干后的黄酮含量明显($P<0.05$)高于全红期真空冷冻干燥木枣;半

红期木枣热风干燥后的黄酮含量与全红期真空冷冻干燥没有差异($P>0.05$)。由此可见,提前采收的未完全成熟的木枣采用传统的、干制成本较低的热风干燥或自然晾干可以得到比成熟期采收木枣真空冷冻干燥更高的黄酮含量。

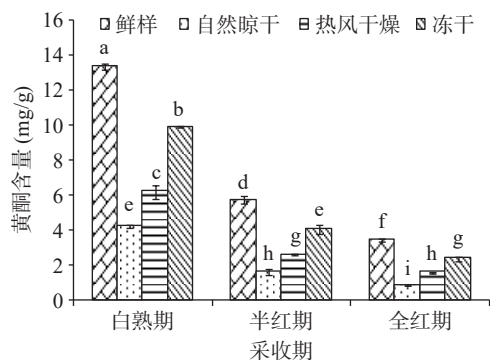


图5 干燥方式对不同采收期木枣黄酮含量的影响

Fig.5 Effects of drying methods on flavonoid content of jujube at different harvest stages

2.6 分阶段采收木枣不同干制方式下三萜类化合物含量的变化

三萜类化合物也是枣的主要活性成分之一。由图6可知,三个采收期木枣经三种干燥方式干燥后三萜类化合物含量均有显著($P<0.05$)降低。同一采收期木枣真空冷冻干燥后三萜类化合物含量显著($P<0.05$)高于自然晾干,自然晾干显著($P<0.05$)高于热风干燥;同一干制方式下白熟期木枣三萜类化合物含量显著($P<0.05$)高于半红期,半红期显著($P<0.05$)高于全红期。可见,提前采收的未完全成熟的木枣干制后可以得到比完全成熟枣果更高的三萜类化合物含量,真空冷冻干燥可以较好的保持枣果中的三萜类化合物,自然晾干次之,热风干燥对枣果中的三萜类化合物影响最大。此外,图6还显示白熟期木枣自然晾干和热风干燥后的三萜类化合物含量显著($P<0.05$)高于全红期真空冷冻干燥的,半红期木枣自然晾干也显著($P<0.05$)高于全红期真空冷冻干燥的。可见,提前采收的未完全成熟的木枣采用传统的、干制成本较低的自然晾干或热风干燥可以得到

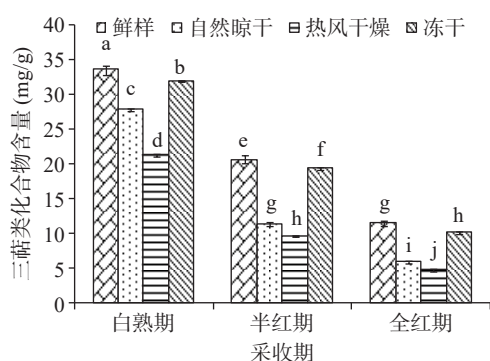


图6 干燥方式对不同采收期木枣三萜类化合物含量的影响

Fig.6 Effects of drying methods on triterpenoids content of jujube at different harvest stages

比成熟期采收木枣采用干燥周期长、成本较高的真空冷冻干燥更高的三萜类化合物含量。

2.7 分阶段采收木枣不同干制方式下色泽品质的变化

由图7可知,同一采收期木枣不同干燥方式下果皮亮度的变化规律不同。白熟期和半红期采收的木枣,自然晾干和热风干燥后果皮的 L 值较鲜样显著($P<0.05$)下降,真空冷冻干燥后果皮的 L 值却显著($P<0.05$)升高。而全红期木枣除了热风干燥使其果皮 L 值显著($P<0.05$)降低外,另外两种干燥方法对其果皮 L 值没有显著($P>0.05$)影响。此外,图7还显示,白熟期和半红期木枣鲜果果皮的 L 值显著($P<0.05$)高于全红期,真空冷冻干燥后仍保持相同的规律。然而白熟期和半红期木枣经自然晾干和热风干燥后果皮 L 值则大幅下降,接近全红期木枣。可见,随着枣果的逐步成熟,果皮逐步由白转红,其亮度也逐渐下降;真空冷冻干燥可以较好的保持不同采收期枣果的果皮 L 值;对于未完全成熟枣果,自然晾干和热风干燥均可使枣果果皮变红变暗,其亮度均要下降到与完全成熟果接近;对于完全成熟枣果自然晾干对其亮度没有太大影响,热风干燥则可以降低其亮度。

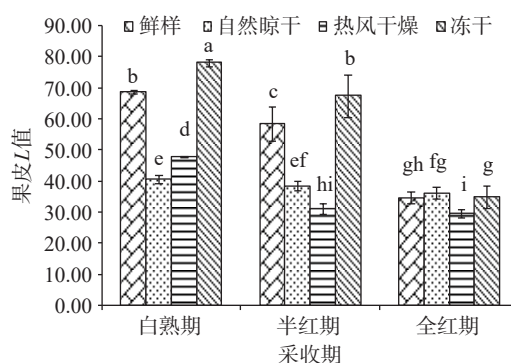


图7 干燥方式对不同采收期木枣果皮 L 值的影响

Fig.7 Effects of drying methods on L value of jujube peel at different harvest stages

由图8可知,三个采收期木枣经不同干燥方式干燥后枣果果肉亮度的变化规律一致,自然晾干和热风干燥后木枣果肉的 L 值均显著($P<0.05$)下降,热风干燥下降的幅度明显($P<0.05$)大于自然晾干;而真

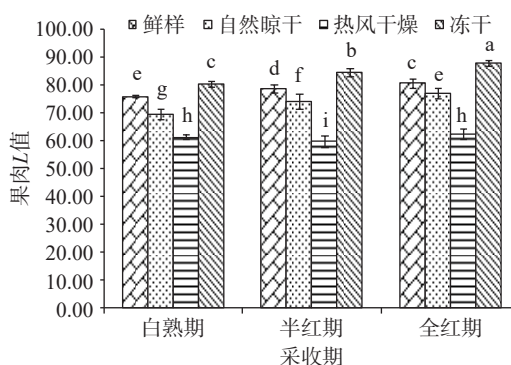


图8 干燥方式对不同采收期木枣果肉 L 值的影响

Fig.8 Effects of drying methods on L value of jujube pulp at different harvest stages

空冷冻干燥则显著($P<0.05$)提高了三个采收期木枣的果肉亮度。此外,图 8 还显示,随着采收期的推迟木枣果肉的 L 值逐步增大,且不同采收期之间存在显著差异($P<0.05$),真空冷冻干燥和自然晾干后仍保持相同规律,而热风干燥后三个采收期木枣的果肉亮度区别不大。由此可见,随着枣果的逐步成熟,果肉的亮度在逐渐提高,真空冷冻干燥可以较好的保持枣果果肉的亮度,自然晾干可以降低枣果果肉亮度,但没有热风干燥的影响大,热风干燥后未完全成熟与完全成熟木枣果肉的亮度没有差别。

由图 9 可以看出,白熟期木枣鲜样果皮 a 值为负值,表明果皮偏绿,半红期和全红期木枣鲜样果皮 a 值为正,表示果皮偏红,且全红期木枣果皮显著($P<0.05$)红于半红期。经不同干燥方式干燥后三个采收期木枣果皮 a 值变化不同。白熟期和半红期木枣经自然晾干和热风干燥后果皮 a 值均得到了显著($P<0.05$)升高,表明自然晾干和热风干燥可使白熟期木枣的果皮由绿转红,使半红期木枣果皮变得更红;而真空冷冻干燥后白熟期木枣果皮 a 值显著($P<0.05$)升高,但仍是负值,说明真空冷冻干燥在一定程度上可以促使白熟期木枣果皮由绿向红转变,但制干后果皮仍是偏绿;半红期木枣真空冷冻干燥后果皮 a 值与鲜样没有显著($P>0.05$)差异;但对于全红期木枣,三种干燥方式均显著($P<0.05$)的降低了其果皮的 a 值,说明全红期木枣无论采用哪种干燥方式干制均会造成其果皮红色减退。此外,由图 9 还可以看出,白熟期和半红期木枣自然晾干和热风干燥后的 a 值与全红期木枣干制后的相当,甚至高于其 a 值。可见,提前采收的未完全成熟木枣采用自然晾干和热风干燥后果皮的红色可达到完全成熟枣果的水平。

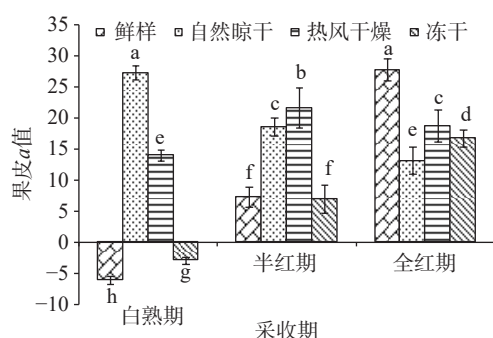


图 9 干燥方式对不同采收期木枣果皮 a 值的影响

Fig.9 Effects of drying methods on a value of jujube peel at different harvest stages

由图 10 可以看出,不同采收期木枣果肉 a 值均为负值,随着采收期的推迟, a 值逐步增加,且不同采收期之间存在显著差异($P<0.05$),表明新鲜木枣果肉均偏绿色,且随着枣果的不断成熟,其果肉逐步由绿色向红色转变。经不同干燥方式干燥后三个采收期木枣果肉的 a 值均得到了提高。其中热风干燥后木枣果肉的颜色变化最明显($P<0.05$),均由绿色转为红

色,半红期和全红期木枣转红最为严重,白熟期木枣的转红不及另外两个采收期;自然晾干后白熟期木枣果肉明显($P<0.05$)转红,半红期和全红期木枣转红程度不及白熟期,其 a 值仍为负值,但其果肉颜色已接近红色;真空冷冻干燥后白熟期木枣果肉 a 值没有明显($P>0.05$)变化,半红期和全红期木枣果肉的 a 值显著($P>0.05$)增加,但仍保持较大的负值,说明果肉仍偏翠绿色。由此可见,无论是完全成熟木枣还是未完全成熟木枣其鲜果果肉均偏翠绿色,真空冷冻干燥可以较好的保持其果肉原有的色泽,自然晾干和热风干燥均可使木枣果肉转红,热风干燥转红的程度更为严重。

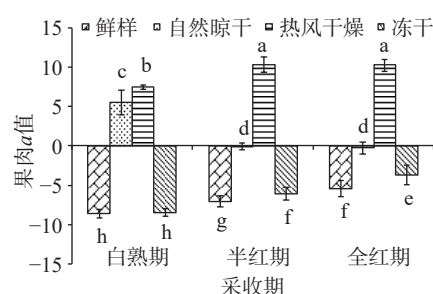


图 10 干燥方式对不同采收期木枣果肉 a 值的影响

Fig.10 Effects of drying methods on a value of jujube pulp at different harvest stages

2.8 分阶段采收木枣不同干制方式下硬度的变化

由图 11 可知,三个采收期木枣经不同干燥方式干燥后硬度均有所增大,自然晾干和热风干燥后木枣硬度增大幅度较大,分别为鲜果硬度的 3.89、3.03、3.13 倍和 4.06、3.65、4.9 倍;真空冷冻干燥后木枣硬度虽有增大,但增大幅度较小,分别为鲜果的 1.34、1.34、2.25 倍。可见,木枣采后干制均会提高枣果的硬度,自然晾干和热风干燥后枣果硬度变化较大,干制后枣果较硬,而真空冷冻干燥可以较好的保持木枣硬度,干制后枣果的硬度接近鲜果。图 11 还显示,白熟期木枣的硬度显著($P<0.05$)高于半红期和全红期,半红期和全红期之间没有显著($P>0.05$)差异;白熟期木枣自然晾干和热风干燥后的硬度仍显著($P<0.05$)高于半红期和全红期,真空冷冻干燥后与全

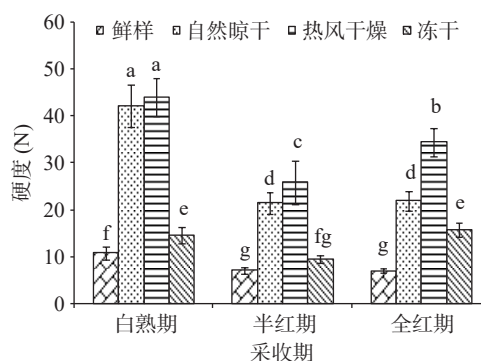


图 11 干燥方式对不同采收期木枣硬度的影响

Fig.11 Effects of drying methods on hardness of jujube at different harvest stages

红期木枣没有显著($P>0.05$)差异;半红期木枣自然晾干后的硬度与全红期没有显著($P>0.05$)差异,热风干燥和真空冷冻干燥后的硬度显著($P<0.05$)低于全红期。由此可见,提前采收的白熟期木枣的硬度较大,只有经真空冷冻干燥后采可以达到完全成熟枣果的硬度水平,半红期木枣的硬度相对接近全红期木枣。

3 讨论

干制是红枣采后的主要加工方式之一,生产中通常是在枣果完全成熟后采收干制。本试验对比了白熟期、半红期、全红期三个采收期木枣经自然晾干、热风干燥、真空冷冻干燥后枣果营养成分及色泽、质地品质的变化。研究发现,相同干制方式下白熟期木枣 V_C 、粗纤维、黄酮、三萜类化合物的含量高于半红期,半红期木枣的高于全红期,这与王吉强等^[29]、梁晓娟^[30]的研究结果一致。研究同时也发现,白熟期木枣干制后可溶性糖和多糖含量低于半红期,半红期的低于全红期;赵爱玲等^[31-33]通过对不同发育阶段枣果营养组分的研究也得出了相似的结果。糖是果实风味品质形成的主要成分之一,白熟期木枣糖分的积累不及全红期枣果,这必然会对枣果的品质和风味造成一定影响,然而相对的低糖又会赋予其独特的优势。白熟期木枣的低糖,加之富含 V_C 、粗纤维、黄酮、三萜类化合物等营养成分,恰恰符合当代消费者降糖的健康饮食需求,这为白熟期木枣开发低糖功能性枣产品或功能性食品原料提供了天然优势。另外,枣果的低糖还会降低其裂果的风险。刘光生等^[34]、赵利琴^[35]研究发现枣果中的糖含量与裂果有关。在枣果实发育前期,枣果中糖含量较低,果实水势较高,即使遇到雨天,果肉吸水少,果皮的伸展性较好,此时糖含量对枣裂果影响不大,不致于发生裂果;但随着枣果的逐步成熟,糖含量逐渐升高,枣果实水势降低,果皮弹性减小,由韧变脆,遇到阴雨天,过多的水分会被吸收,致使果肉膨压加大,表皮破裂,发生裂果。可见,白熟期木枣的低糖含量可使该生长期的枣果本身具备较好的抗裂果能力,遇到雨天裂果风险较小,当然,造成枣果裂果的因素较多,白熟期木枣裂果较轻的具体原因有待进一步研究。对于半红期木枣,其在糖分的积累上接近全红期木枣,因此半红期木枣在风味上与全红期木枣差别不大,但其 V_C 、粗纤维、黄酮、三萜类化合物等营养成分却高于全红期枣果,这为半红期枣果提前采收加工利用提供了优越条件。

自然晾干和热风干燥是枣果传统的干制方式,因其工艺简单、干制成本低而被广泛使用,但存在干燥效果较差、营养损失大等问题^[36]。真空冷冻干燥是业内公认的优质干燥方式,可以最大限度保持原料的营养及色、香、味、形,干燥品质好,但其干制成本较高、前期投资大,制约了其广泛应用^[8,37]。本试验发现,三个采收期木枣真空冷冻干燥后除了可溶性糖外,枣果的 V_C 、粗纤维、多糖、黄酮、三萜类化合物

等营养成分的含量均高于自然晾干和热风干燥;真空冷冻干燥后枣果的亮度得到了较好的保持,果皮果肉的红绿值接近鲜果,枣果的硬度变化不大,枣果的色泽品质和质地品质保持的较好;而自然晾干和热风干燥后枣果的亮度降低,果皮果肉均由绿转红,枣果的色差增大,枣果变硬,色泽品质和质地品质较差。分析原因,这是由于不同干制方式下干制温度、时间、氧化及水分迁移等因素的不同造成的^[38]。自然晾干和热风干燥过程中由于干制温度较高,时间较长,氧化较为严重,导致枣果中的 V_C 、多糖、黄酮、三萜类化合物等营养活性成分损耗较大;同时枣果会发生系列酶促褐变、非酶褐变及色素本身氧化,导致枣果褐变严重,色泽品质变差;另外,由于自然晾干和热风干燥过程中温度从外向内传递,使得枣的表面温度高于内部,随着表面水分的蒸发迁移,细胞迅速收缩在表面形成一层干硬膜,当颗粒中心干燥和收缩时,又会出现内裂空隙,从而形成表皮起皱和干瘪坚硬等现象,收缩严重,其内部结构质地紧密,体积密度大,故产品硬度大。而真空冷冻干燥过程中由于枣果是在低温、真空条件下脱水干制,热不稳定、易氧化的活性营养物质得到较好的保留,酶促褐变、非酶褐变较轻,产品具有较好的营养价值和色泽品质,同时由于冻干过程中枣内水分从冰晶状态下直接升华,所占空间仍然保留,可保持其原有形状,形成多孔性结构,收缩程度较小,体积密度小,故产品硬度小。

此外,本研究还发现,虽然自然晾干或热风干燥的干燥效果较差、营养损失大,但白熟期和半红期木枣采用以上传统的干制方法依然可以得到比全红期采收木枣真空冷冻干燥干制后高的粗纤维、黄酮、三萜类化合物等营养成分含量,进一步为白熟期和半红期木枣提前采收加工利用提供理论依据。

4 结论

提前采收的白熟期和半红期木枣具备较好的加工利用特性,干制后可获得较全红期采收木枣更高含量的 V_C 、粗纤维、黄酮、三萜类化合物等营养成分,白熟期和半红期木枣可以用于开发功能性枣产品或功能性食品原料,真空冷冻干燥可作为木枣高值化加工利用的首选干制方法;提前采收的白熟期和半红期木枣采用传统的、低成本的干制方式干制后可获得较完全成熟枣果真空冷冻干燥后高的营养成分含量。该研究结果为枣果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。本试验仅对白熟期、半红期、全红期木枣的自然晾干、热风干燥、真空冷冻干燥三种干燥方法的干制效果进行了研究,而其他新型干制方法、联合干制方法的干制效果如何,是否更节能,品质是否会更好有待进一步探讨。

参考文献

- [1] 冀晓龙,李环宇,韩林,等.木枣多糖的理化特性研究[J].食品科学技术学报,2017,35(5):41-45. [JI X L, LI H Y, HAN L,

- et al. Physicochemical study on polysaccharides from *Ziziphus jujube* cv. Muzao[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 35(5): 41–45.]
- [2] 樊保国, 李月梅, 张强, 等. 中阳木枣品种群果实制干品质性状及其综合评价[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(12): 130–139. [FAN B G, LI Y M, ZHANG Q, et al. Analysis and comprehensive evaluation of quality traits of dried jujube from jujube from Zhongyang muzao systematic cultivars[J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 2019, 47(12): 130–139.]
- [3] 樊保国, 李月梅, 张强, 等. 中阳木枣系品种果实制干品质的综合评价方法[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(5): 150–160. [FAN B G, LI Y M, ZHANG Q, et al. Comprehensive evaluation methods of dried jujube quality of Zhongyangmuzao cultivars[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(5): 150–160.]
- [4] 刘艳, 许牡丹, 刘青, 等. 不同成熟度对木枣冷藏品质的影响[J]. *陕西科技大学学报*, 2011, 29(1): 70–72. [LIU Y, XU M D, LIU Q, et al. Effect of different maturity rate on storage of MuZao jujube[J]. *Journal of Shanxi University of Science & Technology*, 2011, 29(1): 70–72.]
- [5] KOU X H, CHEN Q, LI X H, et al. Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars[J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 1037–1044.]
- [6] 陈红玉, 马光跃, 杨俊强, 等. 山西省沿黄枣区红枣产业现状及发展对策[J]. *北方园艺*, 2019(22): 155–158. [CHEN H Y, MA G Y, YANG J Q, et al. Status quo and development countermeasures of jujube industry in jujube area along yellow river in Shanxi province[J]. *Northern Horticulture*, 2019(22): 155–158.]
- [7] 杨建华. 山西省枣产业发展现状分析[J]. *山西林业科技*, 2018, 47(3): 57–59. [YANG J H. Analysis on current situation of jujube industry development in Shanxi Province[J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 2018, 47(3): 57–59.]
- [8] 魏婷, 高彩凤, 沈静, 等. 真空冷冻干燥过程中鲜食枣营养品质的变化研究[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(5): 161–167. [WEI T, GAO C F, SEN J, et al. Changes in nutritional properties of jujube fruits during different stages of vacuum freeze-drying[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(5): 161–167.]
- [9] 王剑强. 微波真空干燥红枣片干燥特性试验研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019. [WANG J Q. Experimental study on drying characteristics of microwave vacuum drying jujube slices[D]. Alar: Taram University, 2019.]
- [10] 侯皓男, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 压差闪蒸干燥改善红枣脆片理化和营养品质的研究[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(11): 161–169. [HOU H N, BI J F, CHEN Q Q, et al. Improvement of physicochemical and nutritional quality of red jujube chips by instant controlled pressure drop[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(11): 161–169.]
- [11] WANG X, GAO Y, ZHAO Y, et al. Effect of different drying methods on the quality and microstructure of fresh jujube crisp slices[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(2): e15162.]
- [12] 车兴文. 远红外真空干燥冬枣片干燥特性及品质研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2020. [CHE X W. Study on drying characteristics and quality of far-infrared vacuum dried winter jujube slices[D]. Alar: Taram University, 2020.]
- [13] WEI S, YAO X. Pulsed air jet impingement drying characteristics of winter jujube slices[J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2018, 36(4): 329–337.]
- [14] HOU H, CHEN Q, BI J, et al. Understanding appearance quality improvement of jujube slices during heat pump drying via water state and glass transition[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 272(109874): 1–10.]
- [15] 高阳. 金丝小枣太阳能干燥特性的实验研究[D]. 石家庄: 河北工业大学, 2016. [GAO Y. Research on solar drying characteristics of *Ziziphus jujube*[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Technology, 2016.]
- [16] 张裕仁, 张慧, 彭菁, 等. 响应面法优化板枣热风-真空分段联合干燥工艺[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(3): 131–138. [ZHANG Y R, ZHANG H, PENG J, et al. Optimization of hot air-vacuum segment-combined drying process of Jishan Jujube by response surface method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(3): 131–138.]
- [17] 彭雪, 赵丽娇, 雷小青, 等. 恒温 and 分段式降温热风干燥技术对黑枣干制特性及品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 92–96. [PENG X, ZHAO L J, LEI X Q, et al. Effects on the drying characteristics and quality of *Diospyros lotus* L. by the technology of thermostatic and subsection temperature-changing hot air drying[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 92–96.]
- [18] 沈静, 魏婷, 冀晓龙, 等. 干制方式对鲜食枣食用及营养品质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 30(7): 70–76. [SHEN J, WEI T, JI X L, et al. Effect of drying methods on eating and nutritional qualities of Chinese jujube fruits (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao)[J]. *Food Science*, 2017, 30(7): 70–76.]
- [19] 王恒超, 陈锦屏, 符恒, 等. 骏枣干制过程中几种营养物质的变化规律[J]. *食品科学*, 2012, 33(15): 48–51. [WANG H C, CHEN J P, FU H, et al. Change of several nutrients in Jun jujube during drying process[J]. *Food Science*, 2012, 33(15): 48–51.]
- [20] 高红芳, 许牡丹, 刘红梅. 真空低温干燥法生产高 V_C 香酥脆枣的可行性研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(10): 143–146. [GAO H F, XU M D, LIU H M. The feasibility of low-temperature drying on crisp jujube with high V_C [J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(10): 143–146.]
- [21] 许牡丹, 张瑞花, 高红芳, 等. 枣片的预处理及干燥方式研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(3): 244–246. [XU M D, ZHANG R H, GAO H F, et al. Study on pretreatment and drying operations of *Zizyphus Jujube* slices[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(3): 244–246.]
- [22] 苟茜, 王敏, 冀晓龙, 等. 不同成熟度灵武长枣食用及营养品质研究[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(11): 161–169. [GOU Q, WANG M, JI X L, et al. Dietary and nutritional properties of Lingwu long jujube at various stages of maturation[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(11): 161–169.]
- [23] 常雪花, 王振菊, 陈振涛, 等. 不同成熟度对冬枣采收后贮藏品质的影响[J]. *河南农业大学*, 2018, 56(6): 890–895. [CHANG X H, WANG Z J, CHEN Z T, et al. Effect of different maturity on postharvest storage quality of winter jujube fruits[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2018, 56(6): 890–895.]
- [24] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 54–59. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance of postharvest physiological and biochemical experiment of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013: 54–59.]
- [25] 石奇. 复合酶法提取大枣多糖的研究[D]. 西安: 西北大学, 2006. [SHI Q. Study on extraction and separation of polysaccharide from *Zizyphus jujube* with multiple enzyme[D]. Xi'an: Northwest University, 2006.]
- [26] ZHANG S Y, LI N. Effects of carbonmonoxide on quality,

- nutrients and antioxidant activity of post-harvest jujube[J]. *J Sci Food Agric*, 2014, 94: 1013–1019.
- [27] 苗利军, 刘孟军, 刘晓光, 等. 枣果中三萜类化合物提取工艺研究[J]. *河北农业大学学报*, 2008, 31(4): 68–70, 75. [MIAO L J, LIU M J, LIU X G, et al. Study on the extraction of triterpenoids from jujube[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2008, 31(4): 68–70, 75.]
- [28] HUI G H, JIN J J, SHANG G D, et al. Winter jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) quality forecasting method based on electronic nose[J]. *Food Chemistry*, 2015, 170: 484–491.
- [29] 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. [WANG J Q, DENG L Z, PEI Y P, et al. Effects of maturity on pulsed vacuum drying kinetics and product quality of winter jujube[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(23): 273–279.]
- [30] 梁晓娟. 木枣不同发育时期总黄酮含量测定研究[J]. *山西林业科技*, 2021, 50(2): 39–41. [LIANG X J. Studies on Content determination of total flavonoids at different development stages of *Ziziphus Jujube*[J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 2021, 50(2): 39–41.]
- [31] 赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 等. 枣果实糖酸组分特点及不同发育阶段含量的变化[J]. *园艺学报*, 2016, 43(6): 1175–1185. [ZHAO A L, XUE X F, WANG Y K, et al. The sugars and organic acids composition in fruits of different Chinese jujube cultivars of different development stages[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(6): 1175–1185.]
- [32] 赵爱玲, 李登科, 王永康, 等. 枣树不同品种、发育时期和器官的水溶性多糖含量研究[J]. *山西农业科学*, 2012, 40(10): 1040–1043. [ZHAO A L, LI D K, WANG Y K, et al. Study on the content of polysaccharides in different cultivars, growing periods and organs in Chinese jujube[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2012, 40(10): 1040–1043.]
- [33] 邓倩, 王羊, 邓群仙, 等. 枣和酸枣果实可溶性糖积累规律差异研究[J]. *四川农业大学学报*, 2021, 39(6): 734–741. [DENG Q, WANG Y, DENG Q X, et al. Differences in soluble sugar accumulation pattern in *Ziziphus jujuba* Mill. and *Ziziphus acidajujuba* Cheng et Liu fruits[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2021, 39(6): 734–741.]
- [34] 刘光生, 刘源源, 马树平, 等. 枣裂果主导因子及防裂技术措施研究[J]. *山西农业科学*, 2012, 40(2): 150–152, 176. [LIU G S, LIU Y Y, MA S P, et al. Major causes for jujube fruit cracking and anticracking technology[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2012, 40(2): 150–152, 176.]
- [35] 赵利琴. 基于枣裂果对果实发育过程中组织结构及组成物质变化的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2013. [ZHAO L Q. Effect of organizational structure and material changes on jujube fruit cracking in growth and development process[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2013.]
- [36] 韦玉龙, 于宁, 许铭强, 等. 热风干燥温度对枣果微观组织结构的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(7): 244–251. [WEI Y L, YU N, XU M Q, et al. Effect of hot air drying temperature on microstructure of Chinese jujube[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(7): 244–251.]
- [37] ANETA WOJDYŁO, ADAM FIGIEL, PILAR LEGUA, et al. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method[J]. *Food Chemistry*, 2016, 207: 170–179.
- [38] 邓媛元, 汤琴, 张瑞芬, 等. 不同干燥方式对苦瓜营养与品质特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(2): 362–371. [DENG Y Y, TANG Q, ZHANG R F, et al. Effects of different drying methods on the nutrition and physical properties of *Momordica charantia*[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(2): 362–371.]