

长期贮藏干枣在不同温度下的吸水和加工特性

尹小琳¹, 胡鑫¹, 李汴生^{1,2*}, 丁真真¹, 阮征², 李丹丹², 金庭飞³

(1.喀什大学生命与地理科学学院, 新疆帕米尔高原生物资源与生态重点实验室, 新疆喀什 844000)
(2.华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)(3.广东益可维生物技术有限公司, 广东广州 510640)

摘要: 干枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 是药食兼用的食品原料, 其保健功能、贮藏和加工特性备受关注。长期贮藏的干枣脱水严重, 果肉变硬、果皮发暗, 商品价值降低。该文以分别贮藏约 1 和 13 个月的新疆骏枣和灰枣干枣为对象, 研究干枣的浸泡吸(复)水的规律及其对干枣加工性能的影响。结果发现, 贮藏 13 个月的骏枣和灰枣的湿基含水量较贮藏 1 个月的骏枣和灰枣减少了约 50%, 贮藏时间对果形指数、果肉质地和成分均有一定影响, 长期贮藏的干枣仍具有很好的加工利用价值。干枣的吸水曲线大都呈对数曲线的规律, 吸水过程受水温和干枣种类影响。低场核磁共振成像 (Low-field Magnetic Resonance Imaging, LF-MRI) 分析显示, 水分主要从枣蒂和表面渗入到枣果肉内。贮藏约 13 个月的骏枣和灰枣的干基含水量分别为 43.18 g/100 g ($T=40^{\circ}\text{C}$) 和 41.06 g/100 g ($T=60^{\circ}\text{C}$) 时, 出现轻微软化现象, 此时可进行去核和切片加工; 当干枣浸泡至干基含水量为 129 g/100 g 时, 果肉软化充分, 水分分布均匀, 则可进行打浆加工, 浆液粒度和色泽均较好。

关键词: 干枣; 干基含水量; 核磁共振成像; 吸水/复水; 加工

文章编号: 1673-9078(2024)01-205-213

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.1.0117

Water Absorption and Processing Characteristics of Dried Jujube under Different Temperatures Following Long-term Storage

YIN Xiaolin¹, HU Xin¹, LI Biansheng^{1,2*}, DING Zhenzhen¹, RUAN Zheng², LI Dandan², JIN Tingfei³

(1.College of Life and Geographical Sciences, Kashi University, Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Ecology of Pamir Plateau, Kashi 844000, China)

(2.School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(3.Guangdong Yikewei Bio-technology Co. Ltd., Guangzhou 510640, China)

Abstract: Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) is a raw material used as both a medicine and food. It has attracted widespread interest concerning its health functions, storage and processing characteristics. The long-term storage of dried jujube can lead to severe dehydration, which causes the pulp to harden, the peel to darken, and its commodity value to decrease. Two types of Xinjiang jujube, Junzao and Huizao, that were stored for approximately 1 or 13 months, were selected as research samples to investigate the patterns of soaking and water absorption/rehydration and its effect on the processing properties of dried

引文格式:

尹小琳,胡鑫,李汴生,等.长期贮藏干枣在不同温度下的吸水和加工特性[J].现代食品科技,2024,40(1):205-213.

YIN Xiaolin, HU Xin, LI Biansheng, et al. Water absorption and processing characteristics of dried jujube under different temperatures following long-term storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(1): 205-213.

收稿日期: 2023-02-07

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2019B020219002)

作者简介: 尹小琳 (1996-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与保藏, E-mail: 2523200739@qq.com

通讯作者: 李汴生 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工与保藏, E-mail: febskli@scut.edu.cn

jujubes. Moisture content of Junzao and Huizao after 13 months of storage was reduced by approximately 50% compared with that of Junzao and Huizao after 1 month of storage. The duration of storage also affected fruit shape, pulp texture and composition, but the dried jujubes subjected to long-term storage retained good processing and utilization value. The water absorption curve of dried jujube was mostly logarithmic, and water absorption was affected by water temperature and the variety of dried jujube. Low-field magnetic resonance imaging demonstrated that water mainly infiltrated into the jujube fruit through the pedicle and surface. When the moisture content of Junzao and Huizao stored for about 13 months was 43.18 g/100 g on a dry mass basis (db) ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) and 41.06 g/100 g db ($T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$), respectively, the jujubes underwent a slight softening, which was ideal for pitting and slicing. When the dry jujube was soaked until the moisture content, on a dry mass basis, was 129 g/100 g, it was fully softened and moisture was evenly distributed, which was ideal for beating and produced jujube pulp with good particle size and color.

Key words: dried jujube; dry mass basis moisture content; magnetic resonance imaging; water absorption/rehydration; processing

枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 是鼠李科枣属植物的果实, 原产于中国, 广泛分布于欧洲、南亚、东亚和澳大利亚^[1]。我国枣的主要产地包括新疆、陕西、山东、河北、山西、河南和宁夏等^[2]。枣果除少量鲜食外, 大部分被干制成干(红)枣^[3]。我国自古就将干枣作为药用原料使用^[4], 记载的主要枣属品种是枣(包括酸枣)和滇刺枣; 目前枣被列入“既是食品又是药品”的物品目录。枣富含糖类、粗纤维、果胶和蛋白质等常量营养成分, 也含有多糖、维生素C、酚类物质、原花青素、三萜酸、甾体皂苷和黄酮类化合物等微量活性成分^[1-6], 近年来的医学、营养学研究显示, 枣的活性成分具有抗氧化、抑菌、抗炎、抗肿瘤、提高免疫力以及改善贫血等作用^[7-11]。

对不同产区枣成分含量的聚类分析显示, 以新疆为代表的西部产区以得天独厚的光热条件成为优质干枣的主产区, 而且枣的品质较优^[2,12]。新疆的枣有些不是采用收获红熟(Red Mature)的鲜枣通过干燥(晒干或烘干)完成干熟(Dry Mature), 而是红熟的枣在树上进一步自然干熟^[13,14]。在干熟过程中, 枣的含水量逐渐降低, 枣皮逐渐萎缩, 枣皮由鲜红色逐渐变为红棕色, 枣肉由浅黄绿色逐渐变为红褐色^[14]。干枣的贮藏效果取决于其含水量和贮藏条件, 干枣在低温、干爽条件下可获得较长的贮藏期^[15-17]。在干枣的贮藏过程中, 枣的含水量会进一步降低, 出现果色发暗、酸苦味增加、质地变硬, 表皮皱缩、卷曲甚至破裂等现象; 这使得长期贮藏干枣的商品价值显著下降, 因此如何对其进行加工利用成为需要解决的实际问题。研究也显示, 虽然长期贮藏干枣的糖、酸有一定变化, 但其主要活性物质总多酚和总黄酮的含量反而增加^[17], 说明长期

贮藏的干枣仍有较高的加工利用价值; 但由于长期贮藏使得干枣变得更为组织紧密、质地发硬, 给清洗、去核、切片等加工处理带来一定的困难, 因此大多情况下需要对干枣进行适当的吸水(复水)软化处理, 以便适合后续枣制品的其他加工所需^[18]。

长期贮藏的干枣质地坚硬, 干硬的枣果虽适合干法粉碎, 但较难去核且机器磨损较大, 因此, 基于综合品质来分析不同复水温度以及时间对干枣的复水特性和品质研究尤为重要, 吸水(复水)软化后的枣果可以按照新鲜干制枣果的工艺进行加工。复水过程的实质是外部水分在干制食品内部不断迁移, 使得干制食品质构溶胀软化^[19]。干枣的复水研究主要集中在复水条件对枣类加工的影响, 红枣泡腾片的加工需要将干枣60℃水复水6h以便干枣的去皮^[20]; 在干枣制作蜜枣过程中, 复水、烘烤加工中应降低温度、缩短加工时间从而提高蜜枣的感官质量^[21]; 干枣通过高温、高湿条件制取黑枣, 黑枣中还原糖、5-羟甲基糠醛(5-HMF)和酚类物质含量较丰富, 抗氧化性能相应提高^[22]。传统干枣吸水软化效果的评判多采用断面观察法, 该方法对枣果内部吸水观察受切面位置限制, 且是破坏性的, 难以持续地观测同一干枣的吸水软化过程, 对水分吸收节点难以准确判断。漆凤梅通过低场核磁共振成像技术(Low-field Magnetic Resonance Imaging, LF-MRI)分析槟榔润制过程的水分分布状态、含水量变化以及确定润制终点^[23]。本研究以不同贮藏时间的骏枣和灰枣为研究对象, 采用不同温度的水泡干枣全果, 通过测定枣果含水量及核磁共振成像(MRI)技术监测水分分布, 分析干枣吸水软化过程中枣果的品质和性状变化规律, 从而获得最佳吸

水软化工艺, 为去核、切片以及打浆加工控制提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 原料

骏枣和灰枣的干枣原料 2020 年 12 月购于喀什两亚市场, 分别为贮藏 1 个月的新鲜干枣和贮藏 13 个月的陈年干枣。选择大小、色泽较为一致, 表面无破损、无虫害的红枣作为红枣样品, 分装于 0.08 mm PE 袋中, 密封冷藏, 贮藏温度为 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

1.2 主要仪器设备

Meso MR23-60H 中尺寸型核磁共振成像分析仪, 苏州纽迈分析仪器股份有限公司; CR-400 便携式色差仪, 日本美能达公司; BHS-2 数显恒温水浴锅, 江阴市保利科研器械有限公司。

1.3 实验与分析方法

1.3.1 干枣的吸水特性实验

以干枣的干基含水量为评价指标, 以浸泡温度为影响因素。取相似质量、大小的干枣, 表面无破损, 每组 5 颗干枣, 设置浸泡温度分别为 4、20、40、60、80、100 $^\circ\text{C}$, 加水量为干枣质量的 20 倍, 将干枣完全浸没于水中开始吸水实验; 每隔 3 h 取样, 并以未吸水的样品为对照样, 测定样品的含水量, 分析其吸水特性。

1.3.2 吸水干枣的加工特性测试实验

去核特性: 采用去核器人工捅芯去核, 观察是否可完成去除枣核。

切片特性: 采用陶瓷水果刀按 0.3~0.5 mm 厚度对去核干枣进行横向切片, 观察是否可得到完整、均匀的切片。

打浆特性: 将吸水干枣样品去核、切片后, 按干基含水量的 10 倍加水量, 用打浆机 4 000 r/min 打浆 30 s, 对枣浆进行感官评价和过筛率分析, 反映其打浆性能。

1.3.3 干枣的果实形态测定

采用游标卡尺测量干枣的纵径(长)、横(胸)径, 计算果形指数(纵径/横径)^[19]; 称量干枣的全果质量, 取出果核, 称量果核质量; 每组样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

1.3.4 干枣的含水量测定

采用 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中的直接干燥法进行测定样品的水分含量, 干枣的湿基含水量 M_{wb} 和干基含水量 M_{db} 按公式(1)和(2)计算, 所有试验每组 3 个平行, 结果取平均值。

$$M_{wb} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (1)$$

$$M_{db} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad (2)$$

式中:

M_{wb} ——干枣的湿基含水量, g/100 g, wb;

M_{db} ——干枣的干基含水量, g/100 g, db;

m_1 ——干枣样品的(湿基)质量, g;

m_2 ——干枣样品的绝干质量, g。

1.3.5 吸水干枣的低场核磁共振成像(LF-MRI)分析

取浸泡吸水不同时间的干枣样品(包括对照样), 将整个枣果放入永磁场核磁线圈中心位置, 分别使用低场核磁分析和成像软件测定。利用图像处理软件统一伪彩处理, 获得更适合观测的伪彩图, 成像测试参数^[23]: SF=20 MHz, TR=500 ms, TE=20 ms, Slice width=3.0 mm, Slices=1, Average=2, Read size=256, Phase size=192。

1.3.6 吸(复)水能力测定

按 1.3.1 的吸水实验, 测定样品枣吸水前后的质量, 吸(复)水能力用吸(复)水比表示^[18], 按公式(3)计算。

$$X_1 = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

X_1 ——吸(复)水比, %;

M_1 ——吸水后枣的质量, g;

M_0 ——吸水前枣的质量, g。

1.3.7 枣浆的过筛率测定

将枣浆分别过 30 目(0.6 mm)、40(0.45 mm)目和 60 目(0.25 mm)筛, 将筛上物收集在 103 $^\circ\text{C}$ 干燥至恒重, 按公式(4)计算。

$$W_1 = \frac{M_2 - M_1}{M_2} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

W_1 ——过筛率, %;

M_1 —筛上物的绝干质量, g;

M_2 —打浆原料枣的总绝干质量, g。

1.3.8 枣浆色泽的测定

测定枣浆色泽时, 将干枣浸泡至含水量为 129 g/100 g, 按 1.3.2 制备枣浆, 用色差仪测定枣浆色泽。以 L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE^* 表示, 平行测定 3 次, ΔE 计算见公式 (5)。

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

式中:

ΔE^* —样品的总色差;

L^* —样品的亮度;

a^* —样品的红绿度;

b^* —样品的黄蓝度。

1.4 数据统计与分析

根据不同目标物测定的试样处理要求, 每份试样平行提取三次, 每份样液平行测定三次。试验数据处理采用 Excel 2016, 作图采用 Origin 2015 和 Graph Pad Prism 8.0.2, 因子分析均采用 SPSS 22.0。测定结果用均值 \pm 标准差表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 原料干枣的品质特性分析

2.1.1 原料干枣的果实形态和含水量

对购得的原料干枣, 用纸巾擦去表面灰尘, 称量(湿重)质量, 测定果实形态, 然后用 103 °C 热风将枣果干燥至恒重, 称量绝干质量, 得到干枣样品的湿基和干基含水量, 结果如表 1、表 2 所示。

表 1 干枣的果实形态

Table 1 Morphology of dried jujube

原料品种及编号	贮藏时间/月	纵径/mm	横径/mm	果形指数
骏枣 JZ1	1~2	57.04 \pm 1.72 ^a	38.01 \pm 0.58 ^a	1.52 \pm 0.09 ^a
骏枣 JZ2	13~14	51.84 \pm 1.64 ^b	37.57 \pm 1.91 ^a	1.36 \pm 0.23 ^b
灰枣 HZ1	1~2	35.94 \pm 2.17 ^c	24.48 \pm 2.89 ^b	1.47 \pm 0.15 ^a
灰枣 HZ2	13~14	32.65 \pm 3.08 ^c	23.82 \pm 0.64 ^b	1.37 \pm 0.11 ^b

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

由表 1 可知, 从枣果的外形尺寸上看, 骏枣要比灰枣大约 58%, 虽骏枣的形状一头略大, 但两

种枣总体均呈长圆形, 它们的果形指数差异不大 ($P \geq 0.05$)。长期贮藏使得果实收缩, JZ2 的横径和纵径较 JZ1 分别减少 10.03% 和 1.17%, HZ2 的横径和纵径较 HZ1 分别减少 10.08% 和 2.77%, 显示长期贮藏使得果实在纵径上的收缩较横径上大; JZ1 和 JZ2 的果形指数分别为 1.52 和 1.36, HZ1 和 HZ2 的果形指数分别为 1.47 和 1.37, 说明长期贮藏使得枣果的果形指数明显减小 ($P < 0.05$); 如果能准确掌握含水量对果形影响的规律^[24], 则在一定的贮藏时间内, 可以通过果形指数的变化知道干枣的贮藏时间。

表 2 干枣的质量和含水量

Table 2 Moisture content of dried jujube

原料编号	全果质量/g	枣核质量/g	M_{wb} /(g/100 g, wb)	M_{db} /(g/100 g, db)
JZ1	15.95 \pm 0.18 ^a	0.83 \pm 0.18 ^a	30.16 \pm 1.02 ^a	43.18 \pm 1.67 ^a
JZ2	11.69 \pm 1.81 ^b	0.73 \pm 0.11 ^a	14.29 \pm 0.86 ^b	16.67 \pm 0.45 ^b
HZ1	7.97 \pm 1.53 ^c	0.45 \pm 0.09 ^b	29.11 \pm 1.11 ^a	41.06 \pm 1.22 ^a
HZ2	4.91 \pm 1.15 ^d	0.40 \pm 0.05 ^b	14.46 \pm 0.95 ^b	16.90 \pm 0.67 ^b

表 2 显示, 新鲜骏枣干枣 (JZ1) 的全果质量大约为新鲜灰枣干枣 (HZ1) 的一倍, 长期贮藏后两个品种的干枣质量均会减轻, 差异显著 ($P < 0.05$)。长期贮藏导致的干枣果实质量减小主要是由于果肉中的水分蒸发所致, 而果核变化不明显 ($P > 0.05$); 一般干枣的含水量在 15~25 g/100 g (湿基), 实验用新鲜干枣样品 (JZ1 和 HZ1) 的含水量偏大, 显示样品干枣较新鲜, 贮藏前最好进一步降低含水量。JZ2 较 JZ1 湿基含水量减少了约 50%, HZ2 和 HZ1 也有相同结果; JZ2 和 HZ2 的褶皱起伏较明显, 腰部褶皱较两端多而且凹陷程度较深, 且果肉肉质发硬、丧失弹性, 果皮色泽较深。干枣长期贮藏过程中的脱水程度应与贮藏条件有关, 但研究也显示, 无论是常温、冷藏或气调, 干枣的水分都会随贮藏时间而降低^[15-17]。实验使用的新疆干枣采用自然贮藏, 受干燥气候的影响脱水较为严重。

2.2 干枣的浸泡吸水过程分析

2.2.1 干枣的浸泡吸水曲线

干枣的浸泡吸水主要是使干枣肉质软化, 便于去核、切片和打浆等加工需求。骏枣和灰枣干枣在不同温度水中浸泡的吸水曲线以枣的干基含水量随浸泡吸水时间的变化反映, 结果见图 1。

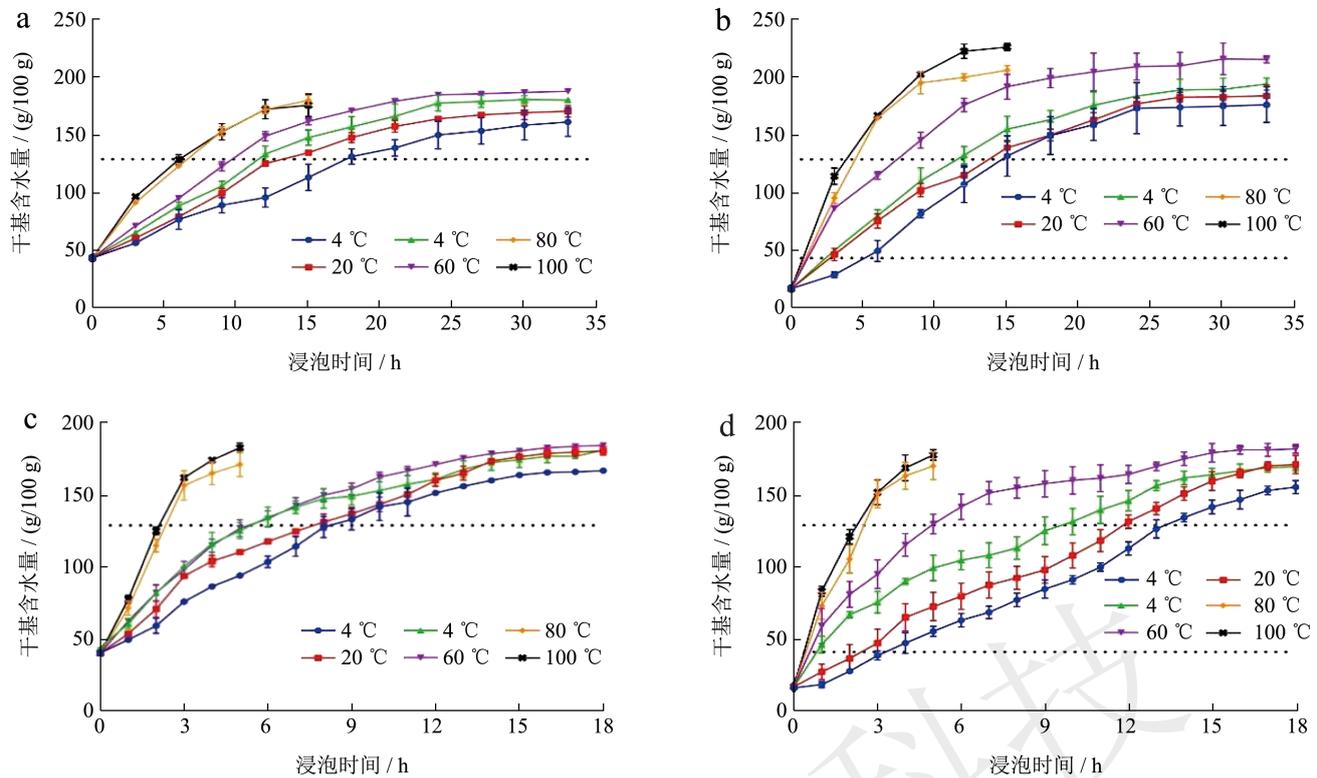


图1 骏枣 (JZ) 和灰枣 (HZ) 在不同浸泡温度下的吸水曲线

Fig.1 Water absorption curves of JZ and HZ at different soaking temperatures

注: (a) JZ1; (b) JZ2; (c) HZ1; (d) HZ2.

从图1可以看出,在6个不同温度下,随着浸泡时间延长,干枣的干基含水量增加。在浸泡初期,干枣吸收水的速度较大,随着浸泡时间的延长,样品吸水速度减慢,并逐渐趋于平缓。浸泡时间相同,水温越高干枣的干基含水量增加越快,干基含水量达到平衡的时间就越短,说明提高干枣的浸泡温度可加快水分的渗入,有利于干枣的软化。

对于骏枣干枣,4、20、40和60℃浸泡24h时,吸水过程趋于稳定;80℃和100℃浸泡12h,吸水过程便趋于稳定。JZ2的初始干基含水量为16.67 g/100 g,当浸泡至JZ1的初始干基含水量(43.18 g/100 g)时,JZ2有轻微软化现象;当浸泡至干基含水量为129 g/100 g时,JZ2明显感觉到软化。较高的浸泡温度(60~100℃)对贮藏约13个月的骏枣干枣的干基含水量影响更大,吸水较快,当浸泡温度较低时(4~40℃),骏枣干枣吸水较慢。对于灰枣干枣,其干基含水量达到平衡时所需要的时间比骏枣更短。HZ2的初始干基含水量为16.90 g/100 g,当浸泡至HZ1的初始干基含水量(41.06 g/100 g)时,HZ2有轻微软化现象;当浸泡至干基含水量为129 g/100 g时,HZ2明显感觉到软化。

2.2.2 干枣的吸水特性和规律

食品样品的吸(复)水是一个样品恢复到脱水前样品组织和成分与水的接触状态^[18]。干枣复水的程度取决于样品细胞和结构的破坏程度。表3反映了JZ2和HZ2在不同温度水中浸泡不同时间的吸水比。JZ2和HZ2在80℃、100℃分别浸泡12h和5h后,吸水过程趋于稳定,继续高温浸泡会导致枣皮严重破裂,内容物溶出等现象。

从浸泡吸水温度看,浸泡温度升高时,干枣的吸水比增大,这可能是由于温度升高使得干枣组织膨胀加剧,皱缩的表皮逐渐舒展,吸水的表面积明显增大,水分更容易进入干枣内部。因此,高温浸泡干枣时,干枣吸水能力更强,但较高温度浸泡较长时间会使枣肉变得稀软,溶出到浸泡水中的成分较多,而且更易发生褐变,在生产中应根据干枣的加工需求选择浸泡吸(复)水温度。

从枣的品种和状态看,当骏枣和灰枣同时浸泡5h时,在不同温度下,JZ1的吸水比都比HZ1小,在4、40、60和80℃,JZ2的吸水比都比HZ2小,说明骏枣的吸水过程较灰枣慢,这主要是由于骏枣个头较大,水渗透的行程较长;另一方面,骏枣果

肉组织相对较疏松，脱水后组织收缩较剧烈（果形指数下降较多），显著影响其吸（复）水能力。

从吸水动力学方程看，不同种类干枣的吸（复）水规律相似，吸水曲线大多呈对数曲线或直线形状。研究样品干枣在不同浸泡温度下的吸水动力学方程如表4所示。用对数方程模拟具有很好的拟合性，

方程系数随温度的升高而增大，HZ2在4℃和20℃下的对数方程模拟的回归系数 R^2 分别为0.8584和0.8956，拟合程度较低，遂对HZ2在4℃和20℃下的吸水曲线进行直线方程模拟，直线方程模拟的回归系数 R^2 分别为0.9948和0.9915，拟合程度较高。

表3 干枣在不同温度水中浸泡不同时间的吸水比 (%)

Table 3 Water absorption ratio of dried jujube soaked in water at different temperature and time (%)

温度/℃	JZ1, 5 h	JZ2, 5 h	JZ1, 12 h	JZ2, 12 h	HZ1, 5 h	HZ2, 5 h
4	23.23	28.16	36.63	77.81	37.81	39.42
20	25.39	50.46	57.38	84.51	49.37	47.55
40	31.64	54.35	63.05	99.41	55.20	70.64
60	36.25	84.44	74.03	136.91	60.89	109.04
80	55.71	127.17	90.11	157.49	83.23	129.61
100	59.75	129.07	90.36	176.92	87.16	112.75

表4 干枣浸泡吸水动力学方程

Table 4 Water absorption kinetics equation of dried jujube soaked in water

原料种类	浸泡温度 /℃	对数方程: $M_{db} (g/100 g) = a \ln(t) + b$			直线方程: $M_{db} (g/100 g) = at + b$		
		系数 a	系数 b	回归系数 R^2	系数 a	系数 b	回归系数 R^2
JZ1	4	53.21	25.35	0.949 1			
	20	69.05	28.32	0.967 3			
	40	63.37	29.94	0.972 6			
	60	65.70	35.58	0.972 7			
	80	79.35	40.20	0.994 6			
	100	77.03	43.82	0.995 3			
JZ2	4	77.65	-10.60	0.943 3			
	20	75.26	2.75	0.982 1			
	40	78.74	5.70	0.984 1			
	60	82.42	28.52	0.971 4			
	80	112.33	23.46	0.964 4			
	100	121.45	25.33	0.983 9			
HZ1	4	51.08	15.53	0.952 2			
	20	52.91	21.76	0.971 8			
	40	46.69	35.26	0.990 1			
	60	53.59	30.77	0.991 3			
	80	79.84	32.53	0.960 9			
	100	85.19	33.71	0.975 8			
HZ2	4	53.76	-23.92	0.858 4	8.30	4.34	0.994 8
	20	58.61	-19.27	0.895 6	8.85	13.60	0.991 5
	40	54.66	5.38	0.976 7			
	60	57.23	21.51	0.986 6			
	80	90.25	14.43	0.985 2			
	100	92.23	18.85	0.996 1			

2.2.3 浸泡过程干枣的LF-MRI分析

LF-MRI 通过获取样品内部的质子密度加权图像，从而反映样品中氢质子的分布。通常氢质子越密，LF-MRI 成像图颜色越亮，水分分布越多。采用低场核磁共振图像处理软件转换成伪彩图，蓝色表示所含氢质子少，红色表示有较高氢质子，为成像图内部水分的分布提供了直观和可视化分析。实验中对不同温度浸泡吸水不同时间的 LF-MRI 图均进行了测定，当同一干基含水量 (129 g/100 g) 在不同温度下的 LF-MRI 图展示如图 2 所示。

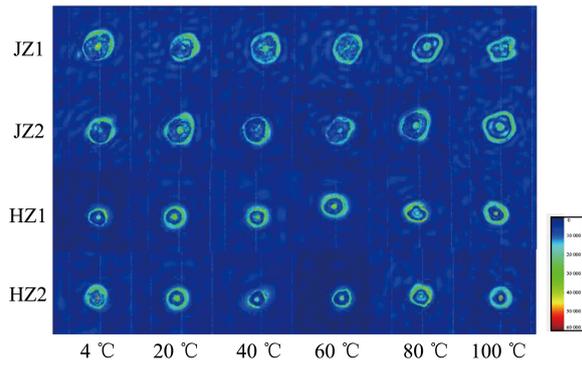


图 2 不同温度下干枣吸水至干基含水量为 129% 时的 LF-MRI 分析

Fig.2 LF-MRI Analysis of dry jujube with the same water content at different temperatures ($M_{db}=129\%$)

图 2 的 MRI 图像显示，当达到同一干基含水量时，不同种类和贮藏时间的干枣水分分布有一定区

别，当 4~60 °C 浸泡时，JZ1 和 JZ2 的水分分布较为均匀，当 80~100 °C 浸泡时，JZ1 和 JZ2 发生形变，说明较高温度使得干枣组织发生变化，生产中应注意浸泡温度。HZ1 和 HZ2 在不同浸泡温度下，水分主要富集在枣皮和果核处，由于枣皮透水性差，水分难以从枣皮直接渗入果肉；优先从枣蒂部位进到枣核部位，再由内向外扩散均匀。有文献称槟榔胚乳含油滴和糊粉粒^[25]，糊粉粒是蛋白质形成的特殊结构的颗粒，蛋白质含有大量亲水基团如羧基、氨基和羟基，吸水性强，这可能可以解释枣核周围亮度高于其他部位。这提示干枣在常温浸泡时主要通过果蒂部位或者裂隙部位吸收水分，内外水分不均匀，内部枣核的水分高于其他部位，则内部更容易霉变，具有隐蔽性，生产中这类情况较常见。

2.3 干枣吸水软化后的加工特性分析

2.3.1 干枣去核和切片加工特性

JZ1 和 HZ1 由于含水量较高，可以直接进行去核和切片加工，JZ2 和 HZ2 由于含水量较低，无法直接去核和切片，需要吸水软化处理。当 JZ2 和 HZ2 干基含水量分别为 43.18 g/100 g 和 41.06 g/100 g 时，当浸泡温度不同时，不仅所需的吸水时间不同，而且吸水后枣的性质也有不同；对该 JZ2 和 HZ2 进行感官特性分析，评价人工去核切片处理难易度，结果见表 5。

表 5 干枣吸水效果对去核切片加工特性的影响

Table 5 Influence of water absorption effect of dried jujube on the processing characteristics of cored slice

原料种类	浸泡温度 /°C	吸水时间 /h	感官特性				加工特性
			表面皱褶	外皮色泽	果肉软硬度	褐变程度	
JZ2	4	5.1	褶皱略舒展	枣红色	略硬	轻微褐变	无法去核，无法切片
	20	2.6	褶皱略舒展	枣红色	略软	轻微褐变	较难去核，较难切片
	40	2.5	褶皱处完全舒展	深红色	较软	轻微褐变	可去核，可完整切片
	60	1.2	褶皱处破裂	深红色	较软	略严重褐变	可轻松去核，可完整切片
	80	1.0	褶皱处破裂	红褐色	较软	严重褐变	可轻松去核，切片不完整
	100	0.8	褶皱处破裂	红褐色	较软	严重褐变	可轻松去核，切片不完整
HZ2	4	3.4	褶皱略舒展	枣红色	略硬	无褐变	无法去核，无法切片
	20	2.4	褶皱略舒展	枣红色	略硬	轻微褐变	无法去核，无法切片
	40	0.9	褶皱处舒展	枣红色	较软	轻微褐变	较难去核，较难切片
	60	0.6	褶皱处完全舒展	深红色	较软	轻微褐变	可去核，可完整切片
	80	0.5	褶皱处完全舒展	深红色	较软	略严重褐变	可去核，可完整切片
	100	0.4	褶皱处完全舒展	深红色	较软	略严重褐变	可轻松去核，切片不完整

当浸泡温度为 40 ℃ 时, JZ2 褶皱的表皮完全舒展, 对外皮色泽影响不大, 为深红色, 果肉较软, 发生轻微褐变, 适合去核以及完整切片。当浸泡温度为 60 ℃ 时, 适合去核以及完整切片。

2.3.2 干枣的打浆加工特性

将浸泡至不同含水量的干枣进行打浆处理, 对打浆效果进行分析, 结果见表 6。

表 6 不同含水量干枣的打浆效果 ($T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Table 6 Beating effect of dried jujube with different water content ($T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

原料编号	含水量/(g/100 g)		打浆效果	过筛率/%		
	湿基	干基		30 目	40 目	60 目
JZ1	46.34	86.36	较易打浆, 枣浆较粗糙	87.39	73.78	62.58
	56.43	129.54	较易打浆, 枣浆细腻	88.53	78.11	63.37
	63.33	172.72	容易打浆, 枣浆细腻	88.84	78.52	71.89
JZ2	45.46	83.35	较难打浆, 枣浆粗糙	85.45	70.16	61.22
	57.15	133.36	较易打浆, 枣浆细腻	91.05	81.81	75.98
	64.71	183.37	容易打浆, 枣浆细腻	91.94	84.43	80.14
HZ1	45.09	82.12	较易打浆, 枣浆较粗糙	80.62	71.19	60.94
	55.19	123.18	较易打浆, 枣浆细腻	87.63	77.58	62.05
	62.16	164.24	容易打浆, 枣浆细腻	88.10	78.05	72.85
HZ2	45.80	84.50	较难打浆, 枣浆粗糙	86.45	72.56	62.09
	57.48	135.20	较易打浆, 枣浆较粗糙	91.18	78.15	76.08
	65.02	185.90	容易打浆, 枣浆细腻	91.96	84.52	80.14

当 JZ1、JZ2、HZ1 和 HZ2 的干基含水量分别为 129.54、133.36、123.18 和 135.20 g/100 g 时, 较易打浆, 枣浆细腻, 过筛率较大, 继续浸泡, 过筛率变化较小。有文献报道^[26], 研磨过程只与大豆的含水量有关, 与大豆的浸泡方式无关, 可以通过采用较高温度来减少浸泡时间。所以, 枣浆的细腻程

度和含水量有着直接的关系, 可以通过浸泡较长时间或较高温度来提高枣浆的过筛率, 但在实际加工生产过程中应考虑加工成本和耗能情况。

将 40 ℃ 下浸泡至同一干基含水量 (129 g/100 g) 的干枣打浆, 测定枣浆色泽, 结果见表 7。

表 7 相同含水量干枣枣浆的色泽 ($M_{db}=129\text{ g}/100\text{ g}$, $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Table 7 Color and color of dry jujube pulp with the same water content ($M_{db}=129\text{ g}/100\text{ g}$, $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

原料编号	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
JZ1	33.45±0.23 ^a	6.78±0.15 ^a	16.32±0.67 ^c	37.83±0.17 ^b
JZ2	32.59±0.52 ^b	5.47±0.20 ^b	18.77±0.19 ^b	38.00±0.25 ^a
HZ1	30.18±0.22 ^c	5.58±0.32 ^b	15.51±0.27 ^d	34.39±0.14 ^c
HZ2	28.07±0.21 ^d	4.76±0.30 ^c	19.57±0.89 ^a	34.55±0.21 ^c

L^* 值在不同含水量的同种干枣中呈减小趋势, JZ2 和 HZ2 的枣浆 L^* 值较 JZ1 和 HZ1 干枣有所减小, 说明经过浸泡后打浆使得枣浆发生一定褐变, 导致枣浆颜色变暗, 差异显著 ($P<0.05$)。JZ2 枣浆较 JZ1 枣浆的 a^* 值有所下降 ($P<0.05$), HZ1 枣浆和 HZ2 枣浆也有相同结果 ($P<0.05$)。JZ2 较 JZ1 的 b^* 值有所增加, 差异显著 ($P<0.05$), 说明 JZ2 和 HZ2 的枣浆颜色更黄, HZ1 和 HZ2 也有相同结果 ($P<0.05$)。JZ1 和 JZ2 的 ΔE 值较大, 说明其枣浆总体颜色值水平较高, HZ1 和 HZ2 的 ΔE 值差异不显著 ($P\geq 0.05$)。

3 结论

本文通过对不同贮藏时间的骏枣和灰枣干枣的品质分析, 长时间贮藏干枣的浸泡吸(复)水实验, 和干枣不同吸水程度的加工适应性进行了研究, 结果表明, 贮藏时间约 13 个月的骏枣和灰枣的湿基含水量较贮藏时间约 1 个月的骏枣和灰枣减少了约 50%, 果肉收缩变硬、果皮皱褶发暗, 果形指数降低; 受虽然其主要成分(糖、酸等)有变化, 但其主要活性成分并没有损失, 仍具有较高加工利用价值。贮藏约 13 个月的骏枣和灰枣吸水至新鲜骏枣和灰枣的干基含水量时, 果肉出现轻微软化现象, 当浸泡温度为 40 ℃ 时, 贮藏约 13 个月的骏枣褶皱的表皮完全舒展, 对外皮色泽影响不大, 为深红色, 果肉较软, 发生轻微褐变, 适合去核及完整切片。当浸泡温度为 60 ℃ 时, 贮藏约 13 个月的灰枣适合去核及切片加工。当浸泡至干基含水量为

129 g/100 g 时, 贮藏约 13 个月的干枣明显感觉到软化, 可进行打浆处理, 此时根据 LF-MRI 图像显示, 较低的温度使得干枣水分分布更加均匀, 打浆所得的浆液细腻、色泽较好。

参考文献

- [1] GAO Q H, WU C S, WANG M. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: a review of current knowledge of fruit composition and health benefits [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2013, 61(14): 3351-3363.
- [2] SHI Q Q, HAN G, LIU Y, et al. Nutrient composition and quality traits of dried jujube fruits in seven producing areas based on metabolomics analysis [J]. *Food Chemistry*, 2022, 385(13): 26-27.
- [3] RASHWAN A K, KARIM N, SHISHIR M R I, et al. Jujube fruit: A potential nutritious fruit for the development of functional food products [J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 75: 104205.
- [4] CHEN J P, LI Z G, MAIWULANJIAN M, et al. Chemical and biological assessment of *Ziziphus jujuba* fruits from China: different geographical sources and developmental stages [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(30): 7315-7324.
- [5] 万胜, 杨智鹏, 黄瑶, 等. 南疆不同地区灰枣果实品质性状分析及综合评价[J]. *经济林研究*, 2022, 40(4): 143-152.
- [6] 王成, 吴东峰, 何伟忠, 等. 新疆骏枣营养品质特点及其表征指标初探[J]. *中国农业科技导报*. 2018, 20(12): 91-98.
- [7] FU Y L, ZHANG Y L, ZHANG R T. Purification and antioxidant properties of triterpenic acids from blackened jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) by macroporous resins [J]. *Food Sci Nutr*, 2021, 9(9): 5070-5082.
- [8] RAJAEI A, SALARBASHI D, ASRARI N, et al. Antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activities of extracts from the seed and pulp of jujube (*Ziziphus jujuba*) grown in Iran [J]. *Food Sci Nutr*, 2021, 9(2): 682-691.
- [9] CHEN J, DU C Y Q, LAM K Y C, et al. The standardized extract of *Ziziphus jujuba* fruit (jujube) regulates pro-inflammatory cytokine expression in cultured murine macrophages: suppression of lipopolysaccharide-stimulated NF- κ B activity [J]. *Phytotherapy Research*, 2014, 28(10): 1527-1532.
- [10] LIANG Q, WANG X Y, YANG S, et al. Characterization of the antioxidative polysaccharides from *Ziziphus jujuba* cv. Goutouzao and its tumor-inhibitory effects on human colorectal carcinoma LoVo cells via immunocyte activation [J]. *J Food Biochem*, 2020, 44(11): 13.
- [11] HUANG S Y, JIANG X, CHEN Q G, et al. Jujube polysaccharides mitigated anemia in rats with chronic kidney disease: Regulation of short chain fatty acids release and erythropoietin production [J]. *Journal of Functional Foods*, 2021, 86(10): 104673.
- [12] 王超, 吕文秀, 高京草, 等. 不同产地灰枣和骏枣干果风味研究[J]. *果树学报*, 2021, 38(11): 1921-1929.
- [13] 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 Chem*, 2019, 270: 344-352.
- [14] LI F, YANG J N, SHANG H L, et al. Changes of characteristic sugar, fatty acid, organic acid and amino acid in jujubes at different dry mature stages [J]. *Journal of Food Composition and Analysis* 2021, 104: 104104.
- [15] 王欢, 车凤斌, 李学文, 等. 干制骏枣在不同温度贮藏中品质和生理变化的研究[J]. *新疆农业大学学报*, 2013, 36(6): 494-497.
- [16] 郑素慧, 葛清华, 车凤斌, 等. 气调贮藏不同温度对新疆骏枣干枣贮期品质及生理活性的影响[J]. *新疆农业科学*, 2014, 51(4): 620-626.
- [17] PU Y F, DING T, WANG W J, et al. Effect of harvest, drying and storage on the bitterness, moisture, sugars, free amino acids and phenolic compounds of jujube fruit (*Ziziphus jujuba* cv. Junzao) [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(2): 628-634.
- [18] FANG S Z, WANG Z F, HU X S, et al. Hot-air drying of whole fruit Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Miller): physicochemical properties of dried products [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44: 1415-1421.
- [19] CHEN K, FAN D, FU B, et al. Comparison of physical and chemical composition of three chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars cultivated in four districts of Xinjiang region in China [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 39: 912-921.
- [20] 王晓娟. 红枣饮料泡腾片的研制[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2016.
- [21] 艾启俊, 徐文生. 干枣制作蜜枣过程中色泽变化的研究[J]. *中国农学通报*, 2004, 1: 146-148.
- [22] SUN X, GU D Y, FU Q B, et al. Content variations in compositions and volatile component in jujube fruits during the blacking process [J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(4): 1387-1395.
- [23] 漆凤梅, 饶小勇, 韩童童, 等. 槟榔润制过程水分迁移及动力学研究[J]. *中国中药杂志*, 2022, 47(7): 1871-1880.
- [24] BRASIELLO A, ADILETTA G, RUSSO P, et al. Mathematical modeling of eggplant drying: Shrinkage effect [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 114: 99-105.
- [25] 刘蕊, 范海阔, 黄丽云. 槟榔花果中槟榔碱的组织化学定位研究[J]. *中国南方果树*, 2018, 47(4): 65-69, 72.
- [26] PAN Z, TANG RATANAVALLEE W. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2003, 36(1): 143-151.