

微波功率对月柿果片微波间歇干燥中水分迁移及品质的影响

Effects of microwave power on moisture migration and quality of persimmon slices during microwave intermittent drying

覃焱婷^{1,2}

段振华^{1,2}

韦珍珍^{1,2}

QIN Yan-ting^{1,2} DUAN Zhen-hua^{1,2} WEI Zhen-zhen^{1,2}

周思云^{1,2}

唐小闲²

ZHOU Si-yun^{1,2} TANG Xiao-xian²

(1. 大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034; 2. 贺州学院食品与生物工程学院, 广西 贺州 542899)

(1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China; 2. School of Food and Bioengineering, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China)

摘要:目的:探讨微波间歇干燥对月柿果片水分动态和微观结构的影响。方法:选取不同微波功率(280, 350, 420, 490, 560 W)对月柿果片进行微波间歇干燥,对干燥过程中月柿果片的水分动态和迁移进行监测,以及对月柿果片的色泽、质构、微观结构进行测定分析。结果:新鲜月柿中的水分主要以结合水(T_{21})、不易移动水(T_{22})和自由水(T_{23})3种形式存在,分别对应3个明显的水峰。随着干燥时间的延长,不易移动水和自由水的横向弛豫时间显著降低。 L^* 、 a^* 、 b^* 值随着微波功率的增加显著减小, ΔE 、硬度、弹性、咀嚼性随着微波功率的增加而增加。随着微波功率的增加,果片的组织结构收缩塌陷越明显。结论:较低的微波功率能得到品质较佳的月柿干制品。

关键词:月柿;微波间歇干燥;低场核磁共振技术;扫描电镜

Abstract: Objective: The effects of microwave intermittent drying on water dynamics and microstructure of persimmon slices were studied. Methods: Different microwave power (280, 350, 420, 490 and 560 W) were selected to dry the persimmon slices intermittently. The moisture dynamics and migration of persimmon

slices during drying were monitored, and the color, texture and microstructure of persimmon slices were analyzed. Results: There were three obvious water peaks corresponding to bound water (T_{21}), immobilized water (T_{22}) and free water (T_{23}) in fresh persimmon. With the increase of drying time, the transverse relaxation time of immobilized water and free water decreased significantly. The values of L^* , a^* and b^* decreased significantly with the increase of microwave power. The ΔE , hardness, elasticity and chewiness increased with the increase of microwave power. With the increase of microwave power, the shrinkage and collapse of persimmon slices become more and more obvious. Conclusion: Lower microwave power can get better quality dried persimmon products.

Keywords: persimmon; microwave intermittent drying; low field nuclear magnetic resonance technology; scanning electron microscope

基金项目: 广西自然科学基金面上项目(编号: 2020GXNSFAA259012); 广西科技计划项目(编号: 桂科 AD17195088); 广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(编号: 2019KY0719)

作者简介: 覃焱婷, 女, 大连工业大学在读硕士研究生。

通信作者: 段振华(1965—), 男, 贺州学院教授, 博士。

E-mail: dzh65@126.com

收稿日期: 2021-05-31

恭城月柿为柿科(Ebenaceae)柿属(*Diospyros* L.)植物。由于月柿属于呼吸跃变型果实, 采后常温下极易软化, 且柿果是季节性收获的, 如果使用不当的贮藏和运输方法, 将造成重大损失^[1]。对月柿进行干燥可以较好地解决这个问题。

干燥通过去除游离水来减缓产品中可能发生的生化反应, 从而使产品能够便于贮存、运输和携带^[2]。近年来, 微波间歇干燥因具有干燥时间短、散热均匀、最终产品质量好、能耗低等优点, 成为了研究热点^[3-4]。而有关月柿微波干燥的研究报道甚少。

低场核磁共振(LF-NMR)和成像技术(MRI)在快速、

无损地监测水分变化方面具有独特的优势,已被广泛用于干燥^[5]、复水^[6]、冷冻^[7]、嫩化^[8]等食品加工过程中。研究拟以恭城月柿为试验原料,采用 LF-NMR 和 MRI 技术监测不同微波功率下月柿果片的水分状况,并对月柿果片的色泽、质构和微观结构进行测定,对比其不同微波功率下的品质变化,为月柿干燥加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

恭城月柿:市售。

1.2 主要仪器设备

微波炉:G70D20CN1P-D2(S0)型,广东格兰仕微波生活电器制造有限公司;

电子天平:JJ1000 型,常熟市双杰测试仪器厂;

水分测定仪:MB90 型,奥豪斯仪器常州有限公司;

核磁共振成像分析仪:NMI 20-015V-I 型,上海纽迈电子科技有限公司;

色差计:CR-400 型,日本柯尼卡美能达控股株式会社;

物性测定仪:TA.XT Plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

扫描电子显微镜:JSM-7610F 型,日本电子株式会社。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 取无破损、成熟度相对一致的月柿,经去皮后,将其切成厚度为 2 cm 的果片,均匀摆放后置于微波干燥腔内。在间歇比为 2 的条件下,设定不同的微波功率(280,350,420,490,560 W)进行干燥,到达间歇时间后将其取出,快速称量月柿干燥产品的总质量,直至月柿果片干燥至设定质量(对应干基 $\leq 35\%$ ^[9])时,停止干燥。

1.3.2 水分测定 根据 GB 5009.3—2016,采用直接干燥法测定月柿果片的初始含水量。干燥样品含水量按式(1)计算^[10]:

$$X_t = \frac{M_t - M_d}{M_d}, \quad (1)$$

式中:

X_t ——月柿干燥至 t 时的干基含水率, g/g;

M_t ——月柿干燥至 t 时的总质量, g;

M_d ——月柿绝干物料质量, g。

1.3.3 低场核磁共振(LF-NMR)和成像(MRI)检测 采用核磁共振成像分析仪对样品进行测定,测定参数:样品仓恒温(32 ± 0.01) °C,质子共振频率 18.0 MHz,采用 Carr-Purcell-Meiboom-Gills 序列(CPMG)脉冲序列采集衰减信号,90°脉冲和 180°脉冲分别为 10.00,19.52 μ s,回波个数 4 000,累加采样 4 次。以玉米油为标准油,测量

横向弛豫时间(T_2)。将不同微波功率下干燥的月柿果片每干燥 5 min 进行衰减信号的采集,每次测量进行 3 次。

对不同微波功率干燥后的月柿果片进行核磁共振图像试验,将样品置于透明圆柱形玻璃管,采用自旋回波(MSE)序列进行 T_2 加权成像,扫描参数:翻转角度 90°,尺寸 256,像素 192,视野 80 mm×80 mm,层厚 3 mm,层间隙 2 mm。通过 20 ms 的回波时间和 500 ms 的重复时间获得 T_2 加权图像。

1.3.4 色差值测定 将月柿果片研磨成粉末状,分别测定月柿果片的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。以白板作为标准参考,每个样品测定 3 次,取其平均值,按式(2)计算总色差。

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

式中:

ΔE ——总色差值;

L^* ——样品亮度值;

a^* ——样品红绿值;

b^* ——样品黄蓝值;

L ——仪器经白板校正后的亮度值;

a ——仪器经白板校正后的红绿值;

b ——仪器经白板校正后的黄蓝值。

1.3.5 硬度、弹性、咀嚼性测定 采用 TA.XT Plus 物性测定仪 TPA 程序对月柿果片样品进行测定,参照王宸之等^[11]的方法稍作修改,测定参数:探头为 P/36R,试验前速度 1.00 mm/s,试验速度 3.00 mm/s,试验后速度 10 mm/s,触发力 5.0 g,测试距离 5.000 mm。通过质地特征曲线可得到月柿果片的 TPA 参数:硬度、弹性、咀嚼性,每个样品测定 3 次,取其平均值。

1.3.6 电子显微镜扫描 参照 Kamal 等^[12]的方法并稍作修改,将干燥后的样品切成 1 mm×1 mm×2 mm 大小的块状样品,用石墨双面胶将样品固定在样品台上,喷金镀膜后,将制备好的样品放入低真空样品室中抽真空后,在 1.00 kV 的加速电压下调节聚光焦距并放大一定倍数观察样品的微观结构。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件应用 Duncan 多重比较法进行单因素方差分析,使用 Origin 9.1 软件进行绘图。

2 结果和讨论

2.1 对横向弛豫时间和核磁共振成像的影响

由图 1 可知,在新鲜月柿中发现了 3 个弛豫时间分别为 8,91,1 048 ms(从左到右轴上的每个峰时间分别为 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23})。 T_{21} 的峰值最小(即弛豫时间最小),流动性最差,可归属于结合水,它与月柿组织中的细胞壁多糖结合紧密^[13]。较低的中间峰 T_{22} 代表细胞质中流动性较小的水(也称为不易流动水),这些水被困在高度有序的结构中,与大分子紧密结合^[14]。具有最大面积的峰 T_{23}

为存在于细胞间隙、原生质及液泡内游离程度较高的自由水,水分自由度较高、流动性较好^[15]。

干燥过程会改变样品的含水量,也可能改变水分子与其他细胞内大分子的结合条件^[16]。由图2可知,随着干燥时间的增加,在不同微波功率下, T_2 弛豫时间的分布发生了明显的变化:峰值振幅明显减小,横向弛豫时间向左侧偏移。这些现象表明,微波间歇干燥会导致水分含量和水分流动性随干燥时间的增加而降低。

在微波间歇干燥月柿果片干燥过程中, T_{21} 值变化最小,280 W为5.72~9.33 ms,350 W为5.72~7.92 ms,420 W为5.72~9.33 ms,490 W为5.72~7.92 ms,560 W为2.98~10.98 ms。说明与细胞壁多糖结合的水是稳定的,不易受干燥过程的影响^[13]。随着干燥时间的延长,

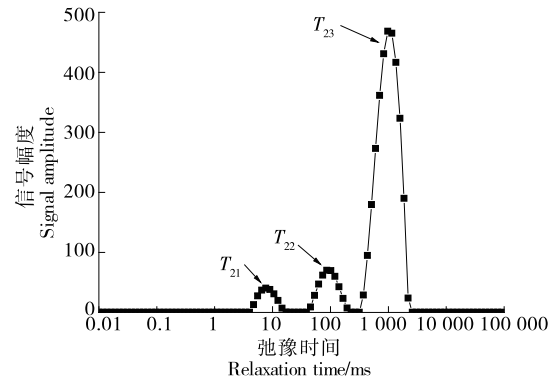


图1 新鲜月柿横向弛豫曲线

Figure 1 Transverse relaxation curve of fresh persimmon

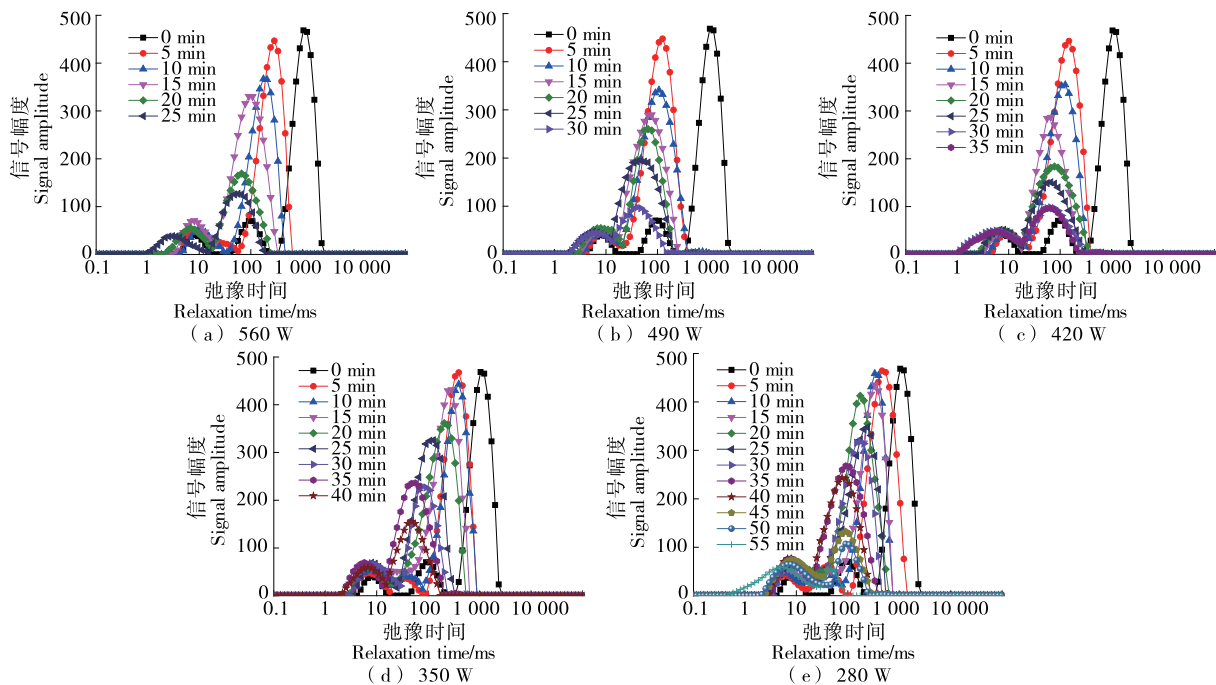


图2 不同微波功率干燥月柿果片的横向弛豫曲线

Figure 2 Transverse relaxation curves of dried persimmon slices with different microwave power

T_2 反演谱上的3个峰会出现峰融合个数减少的现象,说明在微波间歇干燥过程中,月柿果片的不同状态水之间是动态的连续变化过程,并且能相互渗透和转化^[17]。这可能是因为微波间歇干燥存在一个间歇时间,月柿果片内部温度梯度在间歇时间内会减小,水分会重新分布^[18],也可能是由于微波间歇干燥引起的细胞膜损伤,使细胞的持水能力下降,果胶、多糖等大分子物质降解,葡萄糖、果糖、蔗糖等小分子碳水化合物增加,这些溶质的增加为流动性较小的水提供了更多的结合机会^[16]。由图2还发现,微波功率越大到达干燥终点所需时间越短,且 T_{23} 急剧减少最终消失,表明微波功率是影响月柿果片干燥速率的重要因素,其值越大越有利于除去自由水。

MRI图像轮廓清晰分明、亮度高,表明H质子密度越高,物料水分含量也越高^[19]。在所有月柿果片样品中,随着干燥时间的延长,MRI图像的外侧轮廓逐渐模糊,亮度逐渐减弱,直至干燥后期,因水分过低无法获取MRI图像。结果表明,随着干燥时间的延长,所有月柿果片样品的 T_2 加权图像的信号强度均降低;较高质子密度区域相对应的明亮区域的大小随着长时间的微波间歇干燥而减小。因为H质子密度越大,信号强度越大,月柿果片水分含量越高,呈高亮状态;相反,水分含量越低,图像越接近背景色^[20]。月柿果片样品中水分含量的降低,表现为从表面到内部的信号强度降低,微波功率、干燥时间与信号强度呈负相关。

2.2 对色泽的影响

由表 1 可知, L^* 值、 a^* 值与 b^* 值随着微波功率的增加而显著减小, ΔE 值则逐渐增大, 且随微波功率变化较为显著。这可能是因为微波功率越高, 干燥温度越高, 微波能量分布越不稳定, 使样品出现炭化现象。

从月柿果片经不同微波功率干燥后的外观变化可以发现, 果片的中心区域随着微波功率的不同而出现不同程度的颜色加深变黑现象, 而且这种现象随着干燥过程的进行由内往外逐渐延伸。这种变化同微波加热的边角效应方向相反。这可能是月柿果片的水分含量分布不均匀, 且柿果的果心是果实中心纤维束部分, 中间会出现空腔现象^[21], 因此对样品进行干燥直至达到所需的含水量时, 靠近芯部的区域比较容易出现焦化或炭化现象^[22]。也可能是月柿果片不同部位的化学成分含量不同, 在微波加热条件下发现了不同的褐变反应, 其变化机理有待进一步研究。

2.3 对硬度、弹性、咀嚼性的影响

产品的硬度和弹性等质构特性, 对干燥后产品品质变化有很大影响。月柿果片在不同微波功率下的硬度、弹性、咀嚼性如表 2 所示。月柿果片样品的硬度、弹性和咀嚼性随着微波功率的增加而显著增加, 可能是在高的微波功率下, 干燥的温度更高, 由此产生的温度梯度越大, 水分传递速度快速增加, 导致水分快速蒸发; 当果片的水分含量降至某一临界值后, 表现为果片表面水分的汽化速度超过水分传递速度, 干燥速率降低, 果片由最外层向内逐渐变干^[23], 导致样品变硬。果片弹性随微波功率增大而增大, 但变化范围不大, 这可能与果片内部组织结构弹性恢复能力比较恒定有关^[24]。咀嚼性是硬度、弹性的综合表现, 反映了果片从咀嚼状态到可吞咽状态所需的能量^[25], 因此硬度与弹性增大, 咀嚼性也随之增大, 这与马超等^[26]研究结果一致。

2.4 对微观结构的影响

由图 3 可知, 当微波功率为 280 W 时, 月柿果片微观结构呈凹凸不平的沟壑状, 可能是由于在微波干燥过程中, 细胞受热后迅速脱水而收缩, 造成塌陷皱褶现象。当微波功率增加到 350, 420 W 时, 干燥速率快, 内部的水分迅速汽化, 使月柿果片内部组织发生膨胀^[27], 产生大的突起, 外部呈现大气泡, 体积膨胀。当微波功率为 490,

表 1 微波功率对月柿果片色泽的影响[†]

Table 1 Effect of microwave power on the color of persimmon slices

微波功率/W	L^*	a^*	b^*	ΔE
280	50.66±0.24 ^a	14.74±0.13 ^a	20.74±0.07 ^a	27.70±0.12 ^e
350	48.38±0.45 ^b	14.53±0.19 ^a	18.99±0.10 ^b	30.40±0.06 ^d
420	47.06±0.32 ^c	13.52±0.28 ^b	15.82±0.09 ^c	33.04±0.09 ^c
490	46.18±0.23 ^d	13.31±0.16 ^b	13.27±0.13 ^d	35.25±0.07 ^b
560	45.37±0.32 ^e	11.94±0.05 ^c	9.34±0.20 ^e	38.24±0.10 ^a

† 同列小写字母不同代表差异显著($P<0.05$)。

表 2 微波功率对月柿果片硬度、弹性、咀嚼性的影响[†]

Table 2 Effect of microwave power on hardness, elasticity and chewiness of persimmon slices

微波功率/W	硬度/N	弹性	咀嚼性/N
280	198.96±5.66 ^b	0.54±0.09 ^b	55.02±0.60 ^c
350	231.32±6.80 ^b	0.57±0.09 ^{ab}	56.14±1.00 ^c
420	240.38±7.92 ^b	0.58±0.03 ^{ab}	78.02±2.15 ^b
490	310.39±11.89 ^a	0.62±0.30 ^{ab}	102.19±2.72 ^a
560	339.17±23.78 ^a	0.65±0.46 ^a	105.91±4.35 ^a

† 同列小写字母不同代表差异显著($P<0.05$)。

560 W 时, 水分蒸发产生的压力差较大, 使月柿果片内的部分水分以液态水形式直接析出表面, 该部分水主要在月柿果片的表面汽化蒸发, 削弱了膨化作用^[23], 故果片局部突起较小, 但可能因其失水速度过快, 使组织畸变, 造成塌陷皱褶现象。

3 结论

通过对比分析在不同微波功率下月柿果片的水分动态状况、色泽、质构、微观结构, 探讨微波功率对月柿果片的影响。微波间隙干燥时, 微波能转化为热能使组织温度升高, 月柿果片水分不断散失, H 质子密度减少。随着微波功率的增加, 果片干燥温度升高, 果片色泽变暗, 硬度、弹性、咀嚼性增加, 果片组织结构变形。研究结果表明, 较低的微波功率能得到品质较佳的月柿干制品。但由于月柿本身的构造导致果片各部位水分分布不均匀, 靠近芯部的区域干燥速度较快, 这种变化与微波的边角

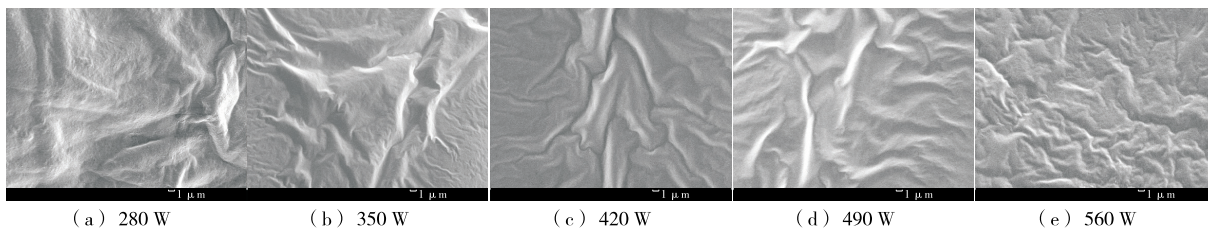


图 3 不同微波功率微观结构电镜扫描图

Figure 3 SEM images of microstructure with different microwave power

效应相反,因此月柿果片干燥过程中微波引发逆边角效应的机理有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] 覃焱婷, 段振华, 韦珍珍, 等. 柿子干燥技术的研究进展[J]. 食品科技, 2020, 45(12): 53-58.
QIN Yan-ting, DUAN Zhen-hua, WEI Zhen-zhen, et al. Research progress in drying technology of persimmon[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(12): 53-58.
- [2] CHONG C H, FIGIEL A, LAW C L, et al. Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(4): 975-989.
- [3] 盘喻颜, 段振华, 刘艳, 等. 火龙果片微波间歇干燥特性及其动力学研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 195-201.
PAN Yu-yan, DUAN Zhen-hua, LIU Yan, et al. Research on properties and kinetic model of intermittent microwave drying to pitaya slices[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 195-201.
- [4] 唐小闲, 汤泉, 张巧, 等. 马蹄淀粉微波间歇干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 211-215.
TANG Xiao-xian, TANG Quan, ZHANG Qiao, et al. Research on intermittent microwave drying of water chestnut starch[J]. Food & Machinery, 2018, 34(4): 211-215.
- [5] CHENG Sha-sha, LI Ran-ran, YANG Hui-min, et al. Water status and distribution in shiitake mushroom and the effects of drying on water dynamics assessed by LF-NMR and MRI[J]. Drying Technology, 2020, 38(8): 1 001-1 010.
- [6] 程沙沙, 唐英强, 章坦, 等. LF-NMR 和 MRI 对干制虾仁复水过程水分状态及品质变化的研究[J]. 分析测试学报, 2017, 36(10): 1 224-1 229.
CHENG Sha-sha, TANG Ying-qiang, ZHANG Tan, et al. Investigation on variation of water state and quality of dried shrimp during rehydrated process by LF-NMR and MRI [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2017, 36(10): 1 224-1 229.
- [7] CHENG Sha-sha, WANG Xiao-hui, YANG Hui-min, et al. Characterization of moisture migration of beef during refrigeration storage by low-field NMR and its relationship to beef quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(5): 1 940-1 948.
- [8] 张骏龙, 周纷, 邵俊花, 等. 低场核磁共振技术研究淀粉添加量对肉糜保水性和质构特性的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 66-69, 75.
ZHANG Jun-long, ZHOU Fen, SHAO Jun-hua, et al. LF-NMR analysis of the effect of starch content on water holding capacity and texture properties of meat batters[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(21): 66-69, 75.
- [9] 保定茂源果品股份有限公司. 一种柿子的深加工方法: CN201811354433.1[P]. 2019-01-08.
Baoding Mao Yuan Fruit Limited Company. A deep processing method of persimmon: CN201811354433.1[P]. 2019-01-08.
- [10] JIANG Hao, ZHANG Min, MUJUMDAR A S. Microwave freeze-drying Characteristics of banana crisps[J]. Drying Technology, 2010, 28(12): 1 377-1 384.
- [11] 王宸之, 邓自高, 李琳, 等. 热风 and 微波干燥对龙眼品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(4): 429-436.
WANG Chen-zhi, DENG Zi-gao, LI Lin, et al. Changes in the quality of dimocarpus longan during the hot-air drying and microwave drying processes[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(4): 429-436.
- [12] KAMAL T, SONG Yu-kun, ZHANG Tan, et al. Effect of hot-air oven dehydration process on water dynamics and microstructure of apple (Fuji) cultivar slices assessed by LF-NMR and MRI[J]. Drying Technology, 2019, 37(15): 1 974-1 987.
- [13] XIN Ying, ZHANG Min, BENU A. Effect of trehalose and ultrasound-assisted osmotic dehydration on the state of water and glass transition temperature of broccoli (Brassica oleracea L. var. botrytis L.) [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(3): 640-647.
- [14] 曾雅, 刘云宏, 张嘉怡, 等. 远红外辐射温度对猕猴桃干燥水分迁移的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 143-147.
ZENG Ya, LIU Yun-hong, ZHANG Jia-yi, et al. Effects of far-infrared radiation temperature on the moisture transfer of kiwifruit slices[J]. Food & Machinery, 2019, 35(8): 143-147.
- [15] QIAO Y, GALVOSAS P, CALLAGHAN P T. Diffusion correlation NMR spectroscopic study of anisotropic diffusion of water in plant tissues[J]. Biophysical Journal, 2005, 89(4): 2 899-2 905.
- [16] XU Fang-fang, JIN Xin, ZHANG Lu, et al. Investigation on water status and distribution in broccoli and the effects of drying on water status using NMR and MRI methods[J]. Food Research International, 2017, 96: 191-197.
- [17] 薛广, 李敏, 关志强, 等. 基于低场核磁共振的罗非鱼片微波真空干燥过程水分变化规律[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(6): 123-129.
XUE Guang, LI Min, GUAN Zhi-qiang, et al. Moisture change of Tilapia fillet in microwave vacuum drying process based on low-field nuclear magnetic resonance[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(6): 123-129.
- [18] 张黎骅, 武莉峰, 党鑫凯, 等. 鲜切高山野山药片微波间歇干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 39-44.
ZHANG Li-hua, WU Li-feng, DANG Xin-kai, et al. Drying Characteristics of intermittent microwave heated fresh-cut high mountain yam slice[J]. Food & Machinery, 2017, 33(1): 39-44.
- [19] 龙门, 张文豪, 郑素玲, 等. 基于低场核磁共振技术的咸鸭蛋腌制过程水分及质构特性变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 21-26.
LONG Men, ZHANG Wen-hao, ZHENG Su-ling, et al. Study on changes of gel moisture characteristic and texture properties of duck eggs during salting period by low-field nuclear magnetic resonance[J]. Food & Machinery, 2019, 35(2): 21-26.

(下转第 78 页)

- & Preference, 2018, 69: 57-65.
- [14] ROODENBURG A J C, POPKIN B M, SEIDELL J C. Development of international criteria for a front of package food labeling system: The international choices programme[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 65(11): 1 190-1 200.
- [15] VAN DER BEND D L M, JANSEN L, VAN DER VELDE G, et al. The influence of a front-of-pack nutrition label on product reformulation: A ten-year evaluation of the Dutch Choices programme[J]. *Food Chemistry*, 2020, 6: 100086.
- [16] SMED S, EDENBRANDT A K, JANSEN L. The effects of voluntary front-of-pack nutrition labels on volume shares of products: The case of the dutch choices[J]. *Public Health Nutrition*, 2019, 22(15): 1-12.
- [17] VYTH E L, STEENHUIS I H M, MALLANT S F, et al. A front-of-pack nutrition logo: A quantitative and qualitative process evaluation in the Netherlands[J]. *Journal of Health Communication*, 2009, 14(7): 631-645.
- [18] 黄泽颖. 北欧食品 Keyhole 标签系统的做法与启示[J]. *农产品质量与安全*, 2020(3): 88-91.
- HUANG Ze-ying. Practice and enlightenment of the Nordic food Keyhole symbol system[J]. *Quality and Safety of Agro-products*, 2020(3): 88-91.
- [19] 黄泽颖. 英国食品交通灯信号标签系统经验与借鉴[J]. *食品与机械*, 2020, 36(4): 1-7.
- HUANG Ze-ying. Experience and reference of food traffic light signpost labeling system in United Kingdom [J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(4): 1-7.
- [20] Colruyt Group. The Nutri-score[EB/OL]. (2020-01-05)[2020-12-28]. <https://nutriscore.colruygroup.com/colruygroup/en/about-Nutri-score>.
- [21] Governo Italiano Ministero Dello Sviluppo Economico. Made in Italy: Notificato alla commissione ue il sistema di etichettatura 'NutriInform Battery'[EB/OL]. (2020-01-27)[2021-01-24]. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/per-i-media/notizie/2040704-made-in-italy-notificato-alla-commissione-ue-il-sistema-di-etichettatura-nutrinform-battery>.
- [22] American Heart Association. Heart-check mark[EB/OL]. (2020-12-10)[2021-01-11]. <https://www.heartcheckmark.org>.
- [23] Health Check™ Program. Canada's health check[EB/OL]. (2014-01-07)[2021-01-10]. <http://www.healthcheck.org/page/what-health-check/>.
- [24] Smart Choices Program. Smart choices[EB/OL]. (2014-01-10)[2021-01-10]. <http://www.smartchoicesprogram.com/>.
- [25] Nestle Cereals. Thenestlé whole grain guarantee[EB/OL]. (2010-05-10)[2021-01-21]. <https://www.nestle-cereals.ae/whole-grain>.
- [26] 王瑛瑶, 赵佳, 梁培文, 等. 预包装食品正面营养标签分类及特点[J]. *营养学报*, 2020, 42(4): 318-324.
- WANG Ying-yao, ZHAO Jia, LIANG Pei-wen, et al. Classification and characteristics of the nutrition labels on front of the packed foods[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2020, 42(4): 318-324.
-
- (上接第 5 页)
- [20] 李定金, 段振华, 刘艳, 等. 利用低场核磁共振技术研究调味山药片真空微波干燥过程中水分的变化规律[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 116-123.
- LI Ding-jin, DUAN Zhen-hua, LIU Yan, et al. Variation in water content during vacuum microwave drying of flavored yam chips process analyzed by low-field nuclear magnetic resonance imaging[J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 116-123.
- [21] 蒋汉均, 刘桂秀. 月柿丰产栽培技术与加工[M]. 广西: 广西师范大学出版社, 1995: 17.
- JIANG Han-jun, LIU Gui-xiu. High yield cultivation techniques and processing of persimmon[M]. Guangxi: Guangxi Normal University Press, 1995: 17.
- [22] ÇELEN S. Effect of microwave drying on the drying characteristics, color, microstructure, and thermal properties of trazon persimmon[J]. *Foods*, 2019, 8(2): 1-19.
- [23] 李树君. 农产品微波组合干燥技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2015: 30-60.
- LI Shu-jun. Microwave combined drying technology for agricultural products[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2015: 30-60.
- [24] 李永红, 常瑞丰, 张立莎, 等. 物性分析仪 TPA 测定鲜食桃质构条件的优化[J]. *河北农业科学*, 2016, 20(3): 95-100.
- LI Yong-hong, CHANG Rui-feng, ZHANG Li-sha, et al. The optimization of texture determination of fresh peach by using texture analyzer[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2016, 20(3): 95-100.
- [25] 蔡洁, 李汴生, 阮征. 远红外辅助热风干燥对秋刀鱼片干燥特性及品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(21): 58-66.
- CAI Jie, LI Bian-sheng, RUAN Zheng. Effect of far-infrared assisted hot air drying on the drying characteristics and quality of saury fillets[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(21): 58-66.
- [26] 马超, 赵治兵, 吴文能, 等. 不同浓度臭氧处理对采后猕猴桃货架期间质构性能的影响[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(1): 1-7.
- MA Chao, ZHAO Zhi-bing, WU Wen-neng, et al. Effects of different concentration of ozone on textural properties of kiwifruit during shelf life[J]. *Storage and Process*, 2018, 18(1): 1-7.
- [27] 贾暑花. 基于微波真空方法的蓝靛果脆片膨化工艺研究[D]. 黑龙江: 东北农业大学, 2009: 3-5.
- JIA Shu-hua. Study on blue honeysuckle (*Lonicera edulistruc*) chips based on the microwave vacuum puffing method[D]. Heilongjiang: Northeast Agricultural University, 2009: 3-5.