

微波干燥工艺对月柿果片色泽质构及感官品质的影响

韦珍珍^{1,2}, 段振华^{1,2*}, 唐小闲², 覃焱婷^{1,2}, 周思云^{1,2}, 段伟文², 刘艳²

(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)

摘要: 采用微波干燥技术对月柿果片进行干燥, 考察微波功率、切片厚度、装载量对月柿片色泽、硬度、咀嚼性、复水比、感官评分等品质特性的影响。结果表明: 随着微波功率增加, 月柿果片的 L^* 值、 b^* 值显著减小 ($p < 0.05$), 而 a^* 值、色差值 (ΔE)、硬度、咀嚼性的趋势相反; 复水能力与感官评分出现先升高后下降的变化, 均在 280 W 时达到峰值。当切片厚度不断提升, 月柿果片由焦黑色逐渐转变为亮黄色, 柿片的硬度、咀嚼性显著提高 ($p < 0.05$), 复水能力不断减弱, 感官评分升高, 但当厚度超过 2.00 cm, 干制品呈红褐色, L^* 值、 b^* 值下降, 柿片偏硬, 难以咀嚼, 易粘牙, 感官评分降低。随着装载量的提高, 干燥样品色泽越接近鲜柿, 硬度变小、韧性下降, 而复水比、感官评分呈现先增加后减少的趋势。综合而言, 在微波功率 280 W、切片厚度 2.00 cm、装载量 1.60 kg/m² 的条件下, 柿片 L^* 值 48.39, a^* 值 12.89, b^* 值 33.61, ΔE 值 24.94, 硬度值 2316.23 g, 咀嚼性 1106.97 g, 复水比达 1.77, 感官评分为 87.80 分, 此时产品色泽亮丽, 软硬适中, 富有嚼劲, 复水性好, 具有月柿风味浓郁和感官品质优良的优点。

关键词: 微波干燥; 月柿; 色泽; 质构; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2022)03-168-175

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0620

Effect of Microwave Drying Process on the Color, Texture, and Sensory

Quality of Persimmon Slices

WEI Zhenzhen^{1,2}, DUAN Zhenhua^{1,2*}, TANG Xiaoxian², QIN Yanting^{1,2}, ZHOU Siyun^{1,2}, DUAN Weiwen², LIU Yan²

(1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

(2. School of Food and Bioengineering, Hezhou University, Hezhou 542899, China)

Abstract: The effects of microwave power, slice thickness and loading amount on the quality attributes of persimmon slices such as color, hardness, chewiness, rehydration ratio and sensory score through using microwave drying technology. The results showed that the increase of microwave power resulted in the significant reduction ($p < 0.05$) of the L^* value and b^* value of persimmon slices, while causing opposite changes in the a^* value, color difference (ΔE), hardness and chewiness. The rehydration ability and sensory score first increased and then decreased, and both reached the peak values at 280 W. With the increase of slice thickness, the color of persimmon slices changed from burnt black to bright yellow, and their hardness, chewiness and sensory score improved significantly ($p < 0.05$), with their rehydration capacity showing a downward trend. However, when the thickness exceeded 2.00 cm, the dried products exhibited reddish brown color, and L^* value, b^* value and sensory score decreased significantly ($p < 0.05$), with the persimmon slices being relatively hard, sticky and difficult to chew. As the loading amount increased, the color of the dried samples was closer to that of fresh persimmon, and the hardness and toughness decreased significantly, with the

引文格式:

韦珍珍, 段振华, 唐小闲, 等. 微波干燥工艺对月柿果片色泽质构及感官品质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 168-175, +14

WEI Zhenzhen, DUAN Zhenhua, TANG Xiaoxian, et al. Effect of microwave drying process on the color, texture, and sensory quality of persimmon slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 168-175, +14

收稿日期: 2021-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32160581); 广西自然科学基金面上项目 (2020GXNSFAA259012); 现代食品加工新技术研究岗位创新人才培养示范基地建设 (桂科 AD17195088); 广西高校中青年骨干教师科研基础能力提升项目 (2019KY0719)

作者简介: 韦珍珍 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 852607987@qq.com

通讯作者: 段振华 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 现代食品加工新技术, E-mail: dzh65@126.com

rehydration ratio and sensory score increasing first then decreasing. In summary, when the microwave power was 280 W, slice thickness was 2.00 cm, and the loading amount was 1.60 kg/m², the values of L^* , a^* , b^* and ΔE of the persimmon slices were 48.39, 12.89, 33.61, 24.94, respectively, the hardness was 2316.23 g, chewiness was 1106.97 g, rehydration ratio was 1.77, and sensory score was 87.80. At this moment, the product was bright in color, moderate in softness/hardness and chewy, and has good rehydration ability and advantages in terms of rich persimmon flavor and excellent sensory quality.

Key words: microwave drying; persimmon; color; texture; sensory quality

柿子属于柿科柿属多年生落叶果树, 又名候枣、朱果, 是中国五大名果之一, 柿果实呈橙黄色, 肉厚脆爽, 甜蜜多汁, 拥有很高的食用价值^[1]。我国作为柿子的原产国, 其种植面积、产量均为世界第一, 根据 2018 年的 FAO 统计结果, 中国柿子栽培面积约 9.82×10⁵ hm², 年产量达 4.22×10⁶ t^[2]。其中月柿盛产于“中国月柿之乡”—广西恭城县, 已有 400 多年的栽培历史, 是广西名优涩柿品种, 享有“中华名果”的美称^[3]。柿果富含维生素、果胶、单宁、可溶性固形物、香豆素、多种微量元素、瓜氨酸、总酚、黄酮化合物等活性物质^[4], 被誉为“铁杆庄稼”, 具有止泻、解酒、润肠健脾、保肝降糖、扩张血管、降低胆固醇、抗癌等食疗保健功能^[5]。

虽然我国柿子种植产业逐年加速发展, 但因柿子为呼吸跃变型果实, 成熟时间仅集中在每年 9~11 月, 采收、加工不及时极易导致腐败, 鲜果不耐运输与贮存, 采摘后损失率巨大, 严重影响果农创收^[6]。并且, 我国柿子以鲜食为主, 深加工技术落后, 相关产品单调, 加工产品依旧以个体户手工制作的柿饼为主, 柿子醋酸饮料、柿单宁粉、柿汁、果脯等加工品^[7,8]虽有生产, 但是尚未形成规模化产业, 成为限制我国柿子深加工技术开发与应用的瓶颈。

干燥加工技术可显著抑制食品中微生物与酶的活性, 减少产品储存期间的物理、化学变化, 达到调整季节性果蔬的市场供需平衡, 解决原料过剩问题及有效延长产业链等效果而得到广泛应用^[9]。目前, 国内外涌现出许多关于柿子干燥技术的研究报道, 其中张鲜桃等^[10]研究了热风干燥和柿子表皮对柿子干脆片品质的影响, 结果表明与带皮干脆片相比, 去皮产品的加工时间大幅缩短, 同时去皮干脆片色泽较好, 感官评分更优良。Senadeera 等^[11]发现热风干燥柿片在 45~65 °C 的干燥条件下, Quadratic 模型能更好反映柿片在干燥过程中体积收缩比与水分比的变化规律, 65 °C 干燥的样品色差值 ΔE 最低, 有利于降低柿片褐变程度。Zhao 等^[12]研究了不同热风干燥温度对柿片营养成分、抗氧化活性、微观结构的影响, 并且发现与热风干燥相比, 冷冻干燥技术更有利于柿片生物活性化合物的保留。作为最常使用的干燥方式, 热风干燥

成本低、处理较大、不受环境影响, 但干燥效率低, 产品色泽、风味、营养损失较大^[13]。冷冻干燥得到的产品虽能最大限度的保留原料感官品质、化学成分与物料细胞结构和多孔性, 但是干燥成本高且耗能大, 限制了其在工业化中的应用^[14]。而微波干燥无需传热媒介, 干燥时直接深入原料内部, 拥有加热时间短、能耗低、无余热、热惯性小、易于快速调控、安全卫生等优点, 是一种节能、绿色、高效的干燥方法, 具有巨大的发展潜力^[15], 目前已成功运用于土豆、大蒜、菠菜等多种果蔬加工领域^[16], 但未见广西特色水果月柿上的应用。

本课题组研究微波干燥对月柿果片物理性质、营养成分、生物活性物质的影响, 基于果蔬在不同的干燥条件下易造成不同程度的热损失, 引发色泽劣变、表面硬壳板结、复水能力减弱等物理变化, 进而最直观的反映到干制品外观、口感、风味等食用品质^[17], 同时最直接的影响其商品价值。因此, 本文以月柿为研究对象, 进行微波干燥试验, 探讨微波功率、切片厚度、装载量对月柿果片色泽、质构及感官品质的影响, 以月柿果片色泽、硬度、咀嚼性、复水比、感官评分为评价指标, 旨在为月柿果片微波干燥加工技术的应用提供一定的理论支撑, 带动月柿产业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

恭城月柿, 购于广西贺州市泰兴超市。

1.2 仪器与设备

G70D20CN1P-D2(S0)微波炉, 广东格兰仕微波生活电器制造有限公司; MA 150 水分测定仪, 北京赛多利斯仪器系统有限公司; PTX-FA110S 电子天平, 福州华志科学仪器有限公司; CR-400 色彩色差计, 日本柯尼卡美能达公司; HH-S2 数显恒温水浴锅, 江苏金怡仪器科技有限公司; TA.XT plus 物性测定仪, 英国 stable micro systems 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 预处理

选择成熟度和大小均匀、无病虫害、无机械损伤的新鲜月柿为原料,经清洗、去根、削皮后,将月柿切成一定厚度的薄片,待微波干燥试验。

1.3.2 试验设计

设定切片厚度为 2.00 cm,装载量为 1.60 kg/m²,分别在 140、210、280、350、420 W 的微波功率下进行干燥试验;设定微波功率为 280 W,装载量为 1.60 kg/m²,分别在月柿 1.00、1.50、2.00、2.50、3.00 cm 的切片厚度下进行干燥试验;设定微波功率为 280 W,切片厚度为 2.00 cm,分别在 1.00、1.30、1.60、1.90、2.20 kg/m² 的装载量下进行干燥试验。每隔 2 min 测定并记录一次干燥过程中物料质量,计算含水量,干燥至柿片干基含水率在 25% 以下为止,分别测定月柿果片的色泽、硬度、咀嚼性、复水性、感官评分,每组试验重复 3 次,结果取算术平均值。

1.3.3 指标测定

1.3.3.1 色泽的测定

运用 CR-400 色差仪对月柿果片的色泽进行检测, L^* 称为明度值, $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色; a^* 值为正值时越大,颜色越接近纯红色; a^* 为负值时绝对值越大,颜色越接近纯绿色。 b^* 为正值时值越大,颜色越接近纯黄色; b^* 为负值时绝对值越大,颜色越接近纯蓝色^[18]。 $L^*a^*b^*$ 表色系还可以表示两种色调之间的差值,即色差,可用 ΔE 表示,它表示所测物体的 L^* 、 a^* 、 b^* 值与鲜样之间色差值。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

式中:

L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* ——新鲜月柿片的色度值;

L^* 、 a^* 、 b^* ——干燥样品的色度值。

1.3.3.2 硬度、咀嚼性的测定

采用 TA.XT PLUS 物性测试仪来检测。测试采用直径 50 mm 的平底圆柱型探头 P/50,测试前速率 1 mm/s,测试速率 2 mm/s,测试后速率 2 mm/s,压缩程度为样品形变 40%,两次压缩之间停留时间 5 s,压缩力度 5 g。硬度是指使月柿果片达到一定变形所需的力,测定中指第一次压缩时的最大峰值,若硬度值越大,则说明产品越硬^[19]。咀嚼性则是反映将固体样品咀嚼至能吞咽状态时做功的大小,其数值等于硬度、弹性和内聚性的乘积^[20]。

1.3.3.3 复水比的测定

参照文献^[21]的方法并略有改进。将干燥后的 5 g 干样品置于 100 mL 的 40 °C 温水中恒温浸渍 30 min,复水后用滤纸吸干表面的水分,称重。复水比按公式(2)计算,每组试验 3 次平行,结果取平均值。

$$RR = \frac{M_b}{M_a} \quad (2)$$

式中:

RR——干燥月柿果片复水比;

M_b ——复水后的月柿果片去除表面水分后的质量;

M_a ——复水前月柿果片的质量。

1.3.3.4 感官评价

邀请 20 位经过大量感官评价练习的人员构成评分小组,按表 1 感官评价标准表对月柿果片从滋味、色泽、气味、质地四个方面进行综合评分,最后,按照平均得分记录样品综合评分。

1.4 数据处理与分析

本试验使用 Excel 2010、SPSS 19.0、Origin 8.5 软件对试验数据进行统计分析与绘图,并用 Duncan 法进行方差分析,不同大写字母表明存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

表 1 月柿果片感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of persimmon slices

分值/分	滋味	色泽	气味	质地
90~100	柿子香味浓郁,不粘牙,口感醇厚	色泽金黄,均匀鲜亮	具有纯正的柿子香气	富有嚼劲,富有弹性,软硬度极佳
80~89	柿子香味较淡,轻微粘牙,有回味	色泽比较金黄,色泽基本均匀	具有柿子的香气	比较有嚼劲,略有弹性,软硬度中等
60~79	略带柿子涩味,易轻微粘牙回味短	色泽暗黄,不太均匀,有部分烤焦	基本没有柿子香气,有少许异味	不影响咀嚼,韧性不足,稍软或稍硬
<60	涩味较重,容易粘牙,无回味	呈棕褐色,色泽非常不均匀,有大部分烤焦	没有柿子香气,产生较重的异味	难以咀嚼,无韧性,太硬或太软
权重值	0.30	0.30	0.20	0.20

2 结果与讨论

2.1 微波功率对月柿果片色泽质构及感官品质的影响

2.1.1 微波功率对月柿果片色泽的影响

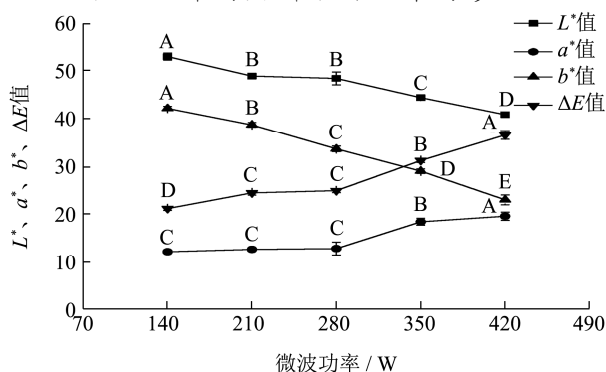


图1 微波功率对月柿果片色泽的影响

Fig.1 Effect of microwave power on the color of persimmon slices

注：同一指标不同大写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)，下同。

色泽能直接反馈产品的感官特性，是衡量果蔬干制品质量的重要评价指标^[22]。总色差值 ΔE 越小，说明干燥月柿片的色泽越接近鲜柿^[23]。图1表明，当月柿果片在不同微波功率下干燥时，其变化趋势为：随着微波功率升高，干燥样品的 L^* 值、 b^* 值均呈显著减小的趋势，当微波功率增大为 420 W 时，柿片的 L^* 值、 b^* 值分别降至 40.80 与 23.03；而 a^* 、 ΔE 值呈略微上升的趋势，当微波功率超过 280 W， a^* 、 ΔE 值明显增大，微波功率达到 420 W 时，其 a^* 、 ΔE 值最大，分别为 19.63 和 36.51。说明功率越大时，柿片明亮度、黄度值显著减小 ($p < 0.05$)；微波功率在 140~280 W 时，产品的红度值与色差值变化较小，当功率越大于 280 W，柿片中心部分呈现出越明显的红褐色。这是因为当微波功率由 140 W 提高至 280 W，微波辐射的

穿透力增强，产品升温幅度逐渐提高，但产品未产生“热失控”现象^[24]，色泽变暗黄的同时，稍许偏红， ΔE 值小幅升高；而当微波功率继续增加，使得干燥后期柿片温度迅速提升促使内部水分分布均匀性骤减，局部过热导致样品部分烧焦、色素降解愈发严重^[25]。

2.1.2 微波功率对月柿果片硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响

质构特性是影响消费者对即食干制品接受程度的关键品质属性^[26]。复水比是衡量果蔬在干燥过程中细胞结构损伤程度的重要因素^[27]。从表2可知，月柿果片的硬度、咀嚼性随微波功率的增加而上升，当微波功率为 420 W 时，柿片硬度、咀嚼性分别提升到 3111.33 g、1724.12 g；产品的复水比、感官评分随微波功率的增加呈先升高后减小的变化趋势，均在 280 W 条件下达到最高值，而 140、210、350、420 W 微波功率干制的产品复水比变化不明显 ($p > 0.05$)，其余组间间的硬度、咀嚼性、复水比、感官评分均差异显著 ($p < 0.05$)。这可能是因为功率较低时，柿片易干燥不完全，口感软绵，没有嚼劲，虽然色泽均匀，呈金黄色，但易吸潮“回软”，质地欠佳^[28]，柿子风味不足。当微波功率为 280 W 时，产品内部组织结构应力因水分加速散失而提升，进而干制柿片具有更均匀、多孔的结构，促使物料在复水时更易吸收水分^[29]，此时月柿片软硬适宜，咀嚼性优良，但不粘牙，香味浓郁，有光泽度，感官评分最高。但当微波功率在 350~420 W 范围内时，单位时间内产品的脱水量升高的同时因过高的局部温度，从而破坏内部孔道结构的完整性，细胞收缩并迅速在月柿表面产生一层硬膜^[26]，结构结实紧密，硬度大幅提升，咀嚼性也不断增大，适口性差，复水能力减弱，并且色泽不均匀，中心呈棕褐色，口感苦涩。张绪坤等^[30]在研究微波干燥条件对莲子品质的影响中同样发现，随着微波功率的增大，莲子的复水比先增加后降低，这与本研究结果相似。

表2 微波功率对月柿果片硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响

Table 2 Effect of microwave power on the hardness, chewiness, rehydration and sensory score of persimmon slices

微波功率/W	硬度/g	咀嚼性/g	复水比	感官评分/分
140	1087.67±40.27 ^E	637.03±14.56 ^D	1.59±0.02 ^B	80.40±0.81 ^C
210	1533.53±55.51 ^D	691.26±6.55 ^D	1.65±0.02 ^B	83.80±0.36 ^B
280	2316.23±88.56 ^C	1106.97±36.77 ^C	1.77±0.03 ^A	87.80±0.91 ^A
350	2763.61±64.59 ^B	1186.94±10.60 ^B	1.64±0.02 ^B	78.90±0.31 ^C
420	3111.33±51.98 ^A	1724.12±30.32 ^A	1.59±0.02 ^B	70.20±0.32 ^D

注：同列肩标大写字母不同表示显著性差异 ($p < 0.05$)，下同。

2.2 切片厚度对月柿果片色泽质构及感官品质的影响

2.2.1 切片厚度对月柿果片色泽的影响

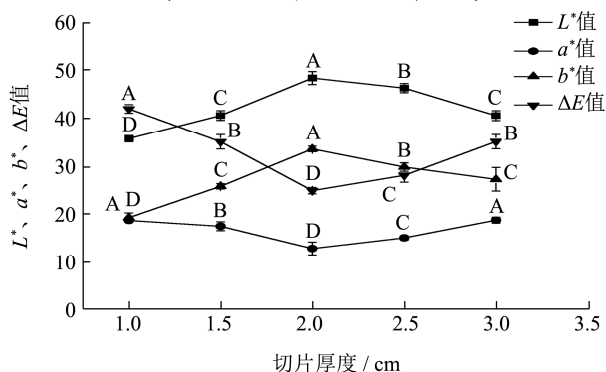


图2 切片厚度对月柿果片色泽的影响

Fig.2 Effect of slice thickness on the color of persimmon slices

由图2可知,在相同的微波功率、装载量条件下, L^* 值、 b^* 值随切片厚度的增加呈现先增大后减小的变化规律,在柿片为2.00 cm时为最大值, L^* 与 b^* 值分别为48.39、33.61;而 a^* 、 ΔE 值随着厚度的增加则呈现先下降后上升的趋势,在物料厚度为2.00 cm时达到最小,此时 a^* 值为12.89、 ΔE 值为24.94,表明2.00 cm厚度下的柿片色泽最优。造成这一现象的原因可能是:切片过薄,物料传热传质阻力减小,柿片表面温度过高,加速柿片中的氨基化合物与还原糖发生美拉德反应,产生大量糠醛^[31],造成产品颜色变深、黄度值下降,这与文静等^[32]对苹果片的研究结论保持一致;随着切片厚度增加到2.00 cm,柿片内部热量积累减少,有利于缩小柿片中心与表面的温度梯度,从而

表3 切片厚度对月柿果片硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响

Table 3 Effects of slice thickness on hardness, chewiness, rehydration and sensory score of persimmon slices

切片厚度/cm	硬度/g	咀嚼性/g	复水比	感官评分/分
1.00	1405.99±67.73 ^D	843.08±17.62 ^D	2.28±0.03 ^A	68.60±0.30 ^D
1.50	1744.34±40.70 ^C	945.83±20.47 ^D	1.82±0.03 ^B	73.60±0.37 ^C
2.00	2316.23±88.56 ^B	1106.97±36.77 ^C	1.77±0.03 ^{BC}	87.80±0.91 ^A
2.50	2468.78±61.92 ^{AB}	1329.67±20.07 ^B	1.68±0.03 ^{CD}	87.00±0.58 ^A
3.00	2674.37±63.79 ^A	1567.04±62.36 ^A	1.60±0.03 ^D	82.00±0.32 ^B

2.3 装载量对月柿果片色泽质构及感官品质的影响

2.3.1 装载量对月柿果片色泽的影响

图3反映了装载量对月柿果片色泽的影响,各试验组间的颜色呈显著性差异($p<0.05$)。柿片的 L^* 值与 b^* 值随着装载量的增加而增长,而 a^* 、 ΔE 值则随

改善干制品的色泽保留程度;当切片厚度继续提升,内部水分迁移的路径过长,干燥速率大幅减缓,受热时间相应延长,导致非酶褐变程度加剧^[33],柿片虽无明显焦糊但是整体色泽偏暗红、黄度值减小。

2.2.2 切片厚度对月柿果片硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响

分析不同切片厚度对月柿硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响,结果如表3所示。当微波功率、装载量一定时,物料硬度、咀嚼性随着切片厚度的增大而显著提升,切片厚度为3.00 cm时,产品的硬度高达2674.37 g,咀嚼性增至1567.04 g;复水比随着切片厚度的增大而单调递减,当柿片厚度为1.00 cm时,复水性能最强,为2.28;感官评分呈先逐渐增大后下降的趋势($p<0.05$),在切片厚度为2.00 cm时达到最大值,为87.80分。这可能是由于厚度较薄,微波能从月柿内部穿透,能量损耗率较低^[34],水分蒸发速度提升,微波膨化效应增强,降低物料细胞粘附性且提升细胞壁多糖的亲水性^[35],诱导其组织疏松性提高,表面产生多处“鼓泡”,硬度、咀嚼性较低,复水性能增强,物料出现部分碳化,感官品质较差。而物料厚度过大,微波能在物料内部渗透程度衰减,柿子中心部分吸收微波能的阻碍增大,升温速度慢,组织膨胀性能不足,导致柿片口感变硬,咀嚼性过强,极易粘牙,多孔结构收缩形变严重,复水性能差,且色泽暗沉,组织板结,在切片厚度为3.00 cm时,产品感官评分降至82.00分。唐小闲等^[36]同样发现通过增加微波干燥慈姑片的厚度,慈姑脆片的硬度不断提高,这与本研究结论相符。

着装载量的提高而减小,表明产品色泽由严重焦黑逐渐转变为接近鲜柿的亮黄色。当装载量为1.00 kg/m²时,干燥样品亮度值、黄度值最低,分别为40.18、24.61,同时其红度值、色差值达到最大,分别为18.94、36.29,这是因为物料过少导致单位质量物料吸收的微波能增大,削弱物料细胞组织对水分的约束力,显著增强水分扩散能力,有利于强化月柿的受热状态,产品易出现“热点”^[37],随之柿片焦糊程度提升;然而装

载量越大,同一时刻月柿果片内部含水量增加,在微波功率恒定的条件下,水分蒸发与迁徙阻力增大,相应的物料升温缓慢,从而有效抑制褐变反应^[38],能更好的保持色泽品质。

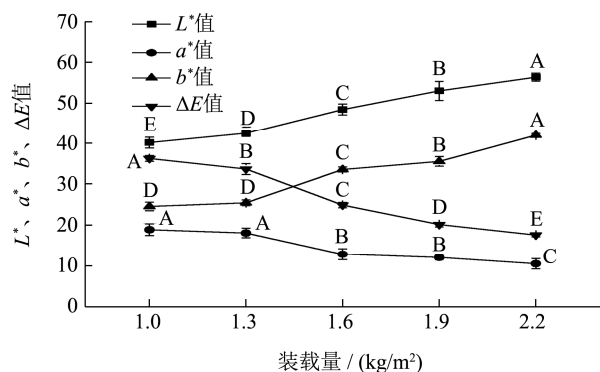


图3 装载量对月柿果片色泽的影响

Fig.3 Effect of loading amount on the color of persimmon slices

2.3.2 装载量对月柿果片硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响

如表4所示,在恒定微波功率、切片厚度的条件下,月柿果片的硬度、咀嚼性随装载量的增加而降低($p<0.05$),当装载量增加到 2.20 kg/m^2 ,柿片硬度、

表4 装载量对月柿果片硬度、咀嚼性、复水比、感官评分的影响

Table 4 Effect of loading amount on hardness, chewiness, rehydration and sensory score of persimmon slices

装载量/(kg/m ²)	硬度/g	咀嚼性/g	复水比	感官评分/分
1.00	3723.39±92.88 ^A	2662.62±30.27 ^A	1.56±0.05 ^B	70.80±0.81 ^D
1.30	2939.64±169.51 ^B	1822.35±143.40 ^B	1.59±0.01 ^B	77.60±0.72 ^C
1.60	2316.23±88.60 ^C	1106.97±36.77 ^C	1.77±0.03 ^A	87.80±0.91 ^A
1.90	2157.18±92.91 ^C	986.81±9.85 ^C	1.62±0.05 ^B	88.50±0.65 ^A
2.20	1745.05±32.97 ^D	947.64±7.35 ^C	1.60±0.02 ^B	83.60±0.56 ^B

3 结论

3.1 月柿果片微波干燥过程中,微波功率、切片厚度、装载量均对产品的色泽、质构及感官品质产生显著性影响($p<0.05$)。微波功率越高,柿片越偏向暗红色,ΔE值越大,产品硬度、咀嚼性显著提升。随功率的增大,产品的复水比、感官评分呈先升高后降低的趋势,微波功率为280 W时,干制品的复水性最好,为1.77,感官品质最佳,达到87.80分。

3.2 随着切片厚度的上升,ΔE值呈现先减小后增大的变化,柿片厚度过小时,果片部分焦黑严重,b*值骤降;当厚度为2.00 cm,对产品的色泽保护效果最好;再增加厚度,柿片整体偏红褐色,b*值减小。切片厚度越薄,其复水能力更强,硬度、咀嚼性越小;但当厚度范围在2.50~3.00 cm时,干燥样品硬壳板结,易粘牙。当厚度逐渐增加,感官评分呈现先升高后下降的变化趋势,在切片为2.00 cm时达到最高值。

咀嚼性分别仅有1745.05 g和947.64 g;复水比随装载量的提高呈先升高后减小的趋势,在装载量为 1.60 kg/m^2 达到最大值,即1.77, 1.60 kg/m^2 装载量处理组与1.00、1.30、1.90、 2.20 kg/m^2 处理组复水比存在显著性差异;感官评分也随着装载量的上升呈先增多后下降的变化趋势($p<0.05$),这与山核桃在不同装载量的微波干燥条件下的感官评分变化相同^[39]。分析原因可能是,当装载量为 1.00 kg/m^2 时,物料过少,产品内部水分汽化的蒸汽压力增加,产生的径向推动力过大,破坏月柿内部的细胞壁及液泡间的胶质大分子,细胞组织崩塌严重^[25],导致月柿片结构致密,质地坚硬,硬度达到最大值,即3723.39 g,咀嚼性过大,并且表面粗糙,产品焦糖化反应越明显^[40],色泽暗淡,有明显的焦糊味。当装载量范围在 $1.90\sim 2.20\text{ kg/m}^2$ 时,产品的比表面积扩大,单位面积月柿产热量大幅降低^[41],则膨化动力减小,不利于产品细微孔道及时扩张,组织具有较少的蜂窝状网络结构,抵御外力能力下降,造成柿片过软,咬劲不足,复水性降低,虽颜色均一,光泽较好,但柿子天然香气较淡,无回味,滋味一般。

3.3 装载量越大,产品颜色越接近鲜柿,色泽更金黄明亮。装载量为 1.00 kg/m^2 时,装载量偏小造成干制品表面皱缩,口感过硬,难以咀嚼;当装载量超过 1.60 kg/m^2 ,组织较软,韧性不足。柿片的复水比、感官评分均随装载量的升高呈先增多后减小的趋势。在装载量为 1.60 kg/m^2 时,月柿果片的复水特性更优越,口感更好,具有醇厚的柿子风味。

参考文献

- [1] Liang Y Q, Han W J, Sun P, et al. Genetic diversity among germplasm of *Diospyros kaki* based on SSR markers [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 186: 180-189
- [2] Mir-Marqués A, Domingo A, Cervera M L, et al. Mineral profile of kaki fruits (*Diospyros kaki* L.) [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 291-297
- [3] 邓丙乾,张鹏,李江阔,等.1-MCP对冷链运输月柿冷藏品质的影响[J].包装工程,2019,40(7):1-10

- DENG Bingqian, ZHANG Peng, LI Jiangkuo, et al. Effect of 1-MCP on cold storage quality of persimmon after cold chain transportation [J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(7): 1-10
- [4] Qi Y W, Liu X S, Zhang Q, et al. Carotenoid accumulation and gene expression in fruit skins of three differently colored persimmon cultivars during fruit growth and ripening [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 248: 282-290
- [5] González C M, García A L, Llorca E, et al. Carotenoids in dehydrated persimmon: antioxidant activity, structure, and photoluminescence [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 142: 111007
- [6] González C M, Llorca E, Quiles A, et al. Water sorption and glass transition in freeze-dried persimmon slices. Effect on physical properties and bioactive compounds [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2020, 130: 109633
- [7] 刘滔,朱维,李春美.我国柿子加工产业的现状与对策[J].食品工业科技,2016,37(24):369-375
LIU Tao, ZHU Wei, LI Chunmei. Present situation and countermeasures of persimmon processing industry in China [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(24): 369-375
- [8] 杨苗苗,张颖,王力,等.柿果清汁饮料的开发研制[J].食品科技,2018,43(5):118-121
YANG Miaomiao, ZHANG Ying, WANG Li, et al. Processing technology of clear persimmon beverage [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(5): 118-121
- [9] Lachowicz S, Michalska A, Lech K, et al. Comparison of the effect of four drying methods on polyphenols in Saskatoon berry [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 111: 727-736
- [10] 张鲜桃,陈晓彤,李喜宏,等.柿子表皮对柿子干脆片品质的影响[J].食品科技,2019,44(8):73-76
ZHANG Xiantao, CHEN Xiaotong, LI Xihong, et al. Effect of persimmon peel on the quality of persimmon crisp slices [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(8): 73-76
- [11] Senadeera W, Adiletta G, Önal B, et al. Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices [J]. *Foods*, 2020, 9(1): 101
- [12] Zhao C C, Ameer K, Eun J B. Effects of various drying conditions and methods on drying kinetics and retention of bioactive compounds in sliced persimmon [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 143: 111149
- [13] Ratsewo J, Meeso N, Siriamornpun S. Changes in amino acids and bioactive compounds of pigmented rice as affected by far-infrared radiation and hot air drying [J]. *Food Chemistry*, 2020, 306: 125644
- [14] Zielinska M, Zielinska D. Effects of freezing, convective and microwave-vacuum drying on the content of bioactive compounds and color of cranberries [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2019, 104: 202-209
- [15] Nathakaranakule A, Paengkanya S, Soponronnarit S. Durian chips drying using combined microwave techniques with step-down microwave power input [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 116: 105-117
- [16] Chandrasekaran S, Ramanathan S, Basak T. Microwave food processing - a review [J]. *Food Research International*, 2013, 52(1): 243-261
- [17] An K J, Zhao D D, Wang Z F, et al. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197(B): 1292-1300
- [18] 王海鸥,扶庆权,陈守江,等.不同组合冷冻干燥方法对水蜜桃脆片品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(7):173-178
WANG Haiou, FU Qingquan, CHEN Shoujiang, et al. Effect of different combined freeze-drying methods on the qualities of peach crisp [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(7): 173-178
- [19] Saengrayap R, Tansakul A, Mittal G S. Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(5): 2610-2621
- [20] 张乐,李鹏,王赵改,等.板栗片微波真空干燥的动力学模型及品质分析[J].现代食品科技,2020,36(4):235-243
ZHANG Le, LI Peng, WANG Zhaogai, et al. Microwave-vacuum drying kinetics model and quality analysis of Chinese chestnut slice [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(4): 235-243
- [21] Jia Y Y, Khalifa I, Hu L L, et al. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: a comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 118: 67-76
- [22] 侯皓男,毕金峰,陈芹芹,等.压差闪蒸干燥改善红枣脆片理化及营养品质的研究[J].现代食品科技,2019,35(11):161-169
HOU Haonan, BI Jinfeng, CHEN qinqin, 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

- [23] 苟小菊,刘冬,杨曦,等.热风干燥温度对新疆红肉苹果粉品质的影响[J].食品科学,2018,39(21):87-93
GOU Xiaoju, LIU Dong, YANG Xi, et al. Effect of drying temperature on the quality of apple powder made from red-fleshed apples grown in Xinjiang [J]. Food Science, 2018, 39(21): 87-93
- [24] 张志勇,李元强,刘成海,等.基于“热失控”规律的香菇微波干燥工艺优化[J].食品科学,2020,41(10):230-237
ZHANG Zhiyong, LI Yuanqiang, LIU Chenghai, et al. Optimization of microwave drying of shitake mushrooms considering thermal runaway [J]. Food Science, 2020, 41(10): 230-237
- [25] 代建武,杨升霖,王杰,等.微波真空干燥对香蕉片干燥特性及品质的影响[J].农业机械学报,2020,51(S1):493-500
DAI Jianwu, YANG Shenglin, WANG Jie, et al. Effect of microwave vacuum drying conditions on drying characteristics and texture structure of banana chips [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(S1): 493-500
- [26] 张钟元,聂梅梅,肖亚冬,等.真空微波干燥过程中南瓜果胶性质变化与质构的关系[J].现代食品科技,2021,37(1):134-141
ZHANG Zhongyuan, NIE Meimei, XIAO Yadong, et al. Relationship between pectin properties and texture of pumpkin during vacuum microwave drying [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(1): 134-141
- [27] Xiao H W, Bai J W, Xie L, et al. Thin-layer air impingement drying enhances drying rate of American ginseng (*Panax quinquefolium* L.) slices with quality attributes considered [J]. Food and Bioproducts Processing, 2015, 94: 581-591
- [28] 黄家鹏,张懿,郑丹丹.冷冻预处理及负压微波喷干干燥对脱水牛蒡品质的影响[J].食品与生物技术学报,2015,34(12):1262-1268
HUANG Jiapeng, ZHANG Min, ZHENG Dandan. Effects of frozen pre-treatment and pulse-spouted microwave vacuum drying on the quality of dehydrated burdock [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2015, 34(12): 1262-1268
- [29] WU X F, Zhang M, Bhandari B, et al. Effects of microwave-assisted pulse-spouted bed freeze-drying (MPS-FD) on volatile compounds and structural aspects of *Cordyceps militaris* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(12): 4634-4643
- [30] 张绪坤,杨祝安,吴肖望,等.基于控温的莲子微波干燥特性及干燥品质研究[J].食品工业科技,2019,40(1):40-46
ZHANG Xukun, YANG Zhuan, WU Xiaowang, et al. Characteristics and quality of microwave drying lotus seed based on temperature control [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(1): 40-46
- [31] Gao K, Zhou L Y, Bi J F, et al. Research on the nonenzymatic browning reactions in model systems based on apple slices dried by instant controlled pressure drop drying [J]. Drying Technology, 2017, 35(11): 1302-1311
- [32] 文静,代建武,张黎骅.苹果片微波间歇干燥特性及模型拟合[J].食品与发酵工业,2019,45(4):81-88
WEN Jing, DAI Jianwu, ZHANG Lihua. Microwave intermittent drying characteristics and model fitting for apple slices [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(4): 81-88
- [33] Duan X, Liu W C, Ren G Y, et al. Browning behavior of button mushrooms during microwave freeze drying [J]. Drying Technology, 2016, 34(11): 1373-1379
- [34] 陈健凯,王绍青,林河通,等.番木瓜片的微波真空干燥特性与动力学模型[J].热带作物学报,2017,38(8):1534-1542
CHEN Jiankai, WANG Shaoqing, LIN Hetong, et al. Microwave-vacuum drying characteristics and kinetics model of papaya slices [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(8): 1534-1542
- [35] Yi J Y, Zhou L Y, Bi J F, et al. Influences of microwave pre-drying and explosion puffing drying induced cell wall polysaccharide modification on physicochemical properties, texture, microstructure and rehydration of pitaya fruit chips [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 70: 271-279
- [36] 唐小闲,罗艳昕,任爱清,等.响应面法优化慈姑脆片微波加工工艺[J].食品工业科技,2020,41(12):144-149
TANG Xiaoxian, LUO Yanxin, REN Aiqing, et al. Optimization of the microwave processing technology of arrowhead chip by response surface method [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 144-149
- [37] Wojdyło A, Figiel A, Legua P, 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] 程丽君,蔡敬民,胡勇,等.蓝莓微波干燥动力学模型的研究[J].保鲜与加工,2020,20(5):78-82
CHENG Lijun, CAI Jingmin, HU Yong, et al. Study on the dynamic model of microwave drying of blueberry [J]. Storage and Process, 2020, 20(5): 78-82

(下转第 14 页)