

添加百香果果皮纤维粉的牛肉干干燥特性及产品质量变化

刘蓉蓉, 滕建文*, 黄丽, 夏宁, 韦保耀
(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 在牛肉干中以注射滚揉的方式分别添加 0%、0.5%、0.75%、1% (*m/m*) 的百香果果皮纤维粉, 通过测定牛肉干的干燥特性、出品率、质构特性、水分分布和感官评价等指标, 研究添加百香果果皮纤维粉对牛肉干干燥特性和产品品质的变化。结果表明, 百香果果皮纤维粉的添加能使牛肉干干燥时间由原来的 3.7 h 缩短至 2.9 h, 同时也将出品率由 51.40% 提高至 56.02%。低场核磁共振检测结果显示, 百香果果皮纤维粉缩短了牛肉干 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 三组弛豫时间, 降低了水在牛肉干中的流动性。质构和感官评价结果显示, 百香果果皮纤维粉能显著降低牛肉干的硬度, 增强了牛肉干的弹性、胶黏性和咀嚼性, 其中, 与 0% 纤维粉含量的牛肉干相比, 0.5% 纤维粉含量的牛肉干感官评价总得分最高。综上可得, 将百香果果皮纤维粉添加到牛肉干中, 可以改变牛肉干干燥特性, 能缩短牛肉干干燥时间, 同时改善牛肉干中的水分分布和质构特性, 提高牛肉干的产品品质, 值得注意的是, 在牛肉干中添加 0.5% 的百香果果皮纤维粉具有更好的整体效果, 该研究可为百香果副产物的综合利用提供参考。

关键词: 百香果果皮纤维粉; 牛肉干; 持水性; 干燥特性; 水分分布; 质构

文章编号: 1673-9078(2025)10-81-88

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.10.1069

Changes in Drying Characteristics and Product Quality of Beef Jerky with Added Passion Fruit Peel Fiber Powder

LIU Rongrong, TENG Jianwen*, HUANG Li, XIA Ning, WEI Baoyao

(School of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Injection and tumbling were performed to add 0%, 0.5%, 0.75%, and 1% (*m/m*) of passion fruit peel fiber powder to beef jerky. The effects of adding passion fruit peel fiber powder on the drying characteristics and quality of beef jerky were investigated by measuring the drying characteristics, yield, texture characteristics, moisture distribution, and sensory qualities. The results showed that addition of passion fruit peel fiber shortened the drying time of beef jerky from 3.7 to 2.9 h and increased the yield from 51.40% to 56.02%. The results of low-field nuclear magnetic resonance showed that the relaxation times of T_{21} , T_{22} , and T_{23} were shortened and the fluidity of water in beef jerky was reduced by adding passion fruit peel fiber. Texture and sensory evaluation revealed that passion fruit peel fiber significantly reduced the hardness of beef jerky while enhancing its elasticity, viscosity, and chewability. Compared with beef jerky containing 0% fiber, beef jerky with a 0.5% fiber content had the highest total score for sensory evaluation. In conclusion, the application of passion fruit peel fiber powder to beef jerky can alter the drying

引文格式:

刘蓉蓉,滕建文,黄丽,等.添加百香果果皮纤维粉的牛肉干干燥特性及产品质量变化[J].现代食品科技,2025,41(10):81-88.

LIU Rongrong, TENG Jianwen, HUANG Li, et al. Changes in drying characteristics and product quality of beef jerky with added passion fruit peel fiber powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(10): 81-88.

收稿日期: 2024-07-23; 修回日期: 2024-09-19; 接受日期: 2024-09-29

基金项目: 国家现代农业产业技术体系广西牛羊产业创新团队专项项目 (nycytxgxcxt-d-21-09-06); 广西重点研发计划项目 (桂科 AB22035020)

作者简介: 刘蓉蓉 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用, E-mail: 1807124116@qq.com

通讯作者: 滕建文 (1969-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 农产品加工与综合利用, E-mail: tjw1027@gxu.edu.cn

characteristics, shorten the drying time, improve the moisture distribution and texture characteristics, and enhance the product quality. Notably, adding 0.5% passion fruit peel fiber powder to beef jerky attained the best overall effect. This study can serve as a reference for the comprehensive utilization of passion fruit by-products.

Key words: passion fruit peel fiber powder; beef jerky; water-holding capacity; drying characteristic; moisture distribution; texture

干肉制品具有含水量低、储存耐久、体积小、运输方便等特点,是休闲食品行业的重要组成部分^[1]。然而,干肉的低导热系数增加了肉干加工处理过程中的干燥时间和能量损耗^[2],导致肌肉收缩、硬化、变色、产生异味和营养物质被破坏^[3],导致肉干的保水性和持水性降低。较高的保水性有助于提升肉干的口感和出品率,可以为生产企业或个体经营者带来更大的收益,因此努力开发新的加工技术,使用更少的能源和时间生产出质地柔软的肉干是目前的热点研究方向。因此选择良好的持水剂对于提高肉制品持水性及改善产品品质至关重要。

传统持水剂大都为磷酸盐类持水剂,但是这类持水剂会导致产品出现金属涩味,摄入过多导致肾结石及肾衰竭,并对人体骨骼、心血管健康等产生不良影响^[4]。膳食纤维类物质,是一种纯天然的功能性食品原料,具有多种功能特性,膳食纤维应用到肉制品加工中已有较多研究报道,能够改善肉制品的持水性,质构和感官性状^[5,6],并增加肉制品中膳食纤维含量,提高肉制品的营养^[7]。Das等^[8]研究发现富含膳食纤维的木桔果肉残渣可以提高羊肉的水分含量,延缓羊肉的脂质氧化,抑制微生物的生长繁殖;Cavar等^[9]发现番茄纤维和甜菜根纤维可以降低鸡肉制品的水分流失,提高鸡肉的持水力,且提高水平与纤维的添加量有关;Riberiairo等^[10]将燕麦纤维加到肉饼中,发现燕麦纤维可以改善肉饼的亮度和白度,优化肉饼的质地特性,提高其压缩力。Eim等^[11]将胡萝卜膳食纤维添加到香肠中,发现其影响了香肠的初始水分含量和干燥速率,有效水扩散率从 $0.99 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ 变化至 $2.08 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ 。Barbut^[12]将不同的膳食纤维加到火鸡肉产品中,与对照相比,甘蔗和苹果皮纤维减少了蒸煮损失,硬度提高了20%,竹纤维虽然显著提高了硬度,但产量没有提高,柑橘和苹果果实纤维降低了蒸煮损失,但对硬度没有影响。Xu等^[13]发现八角茴香膳食纤维能提高肉糜产品的持水能力和颜色稳定性,增加肉糜的硬度,降低结合水的弛豫时间,并使蒸煮损失从11.93%降低到9.38%。

百香果(*Passiflora edulis*)是一种营养丰富且风味独特的热带水果,研究表明百香果果皮含有丰富的膳食纤维,其含量高达60%以上^[14],由纤维素、半纤

维素、木质素和果胶等物质组成,含有半乳糖、葡萄糖、鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、多酚和多种维生素等物质,具有持水、胶凝、防癌抗衰、消炎抑菌、抗氧化等保健功能^[15]。但在百香果生产加工中,大量果皮被丢弃,造成了资源的浪费和环境的污染。杭瑜瑜等^[16]探究百香果果皮粉对罗非鱼鱼糜的影响,结果表明,随着百香果皮粉添加量的增加,鱼糜硬度、凝胶强度、持水性先增加后下降,结合水和半结合水比例增加,自由水比例减少。Lopze等^[17]将不同浓度的百香果果皮纤维粉加到猪肉汉堡中,发现在猪肉汉堡中添加2.5%的百香果果皮纤维粉可有效提高烹饪产量、保湿性和脂肪含量。

合理利用百香果果皮,不仅有利于开发新的富含膳食纤维的功能食品配料,还能提高副产物的综合利用。本研究拟在牛肉干中添加不同质量浓度的百香果果皮纤维粉,通过测定牛肉干的干燥特性、水分分布、出品率、质构和感官等指标,来研究百香果果皮纤维粉对牛肉干产品品质的影响,为后续膳食纤维粉在肉制品中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

百香果果皮纤维粉,由南宁尖兵食品有限公司提供[新鲜果皮与水按照1:4(*m/m*)的比例混合后打浆,浆液在柠檬酸中水解1 h后用纱布过滤三次,滤渣用蒸馏水洗至中性,55℃烘48 h,粉碎后过200目筛],呈棕红色粉末, $D_{90}=192.77 \pm 1.86 \mu\text{m}$,膳食纤维质量分数 $\geq 80\%$,水质量分数 $\leq 5\%$;新鲜牛肉、精制食用盐、生抽、白糖、耗油、料酒、鸡精均为市售,购于沃尔玛购物广场。

1.2 仪器与设备

KA-6189A型真空腌制机,深圳市瑞丰电器有限公司;CF07X7-101型真空包装机,美的集团股份有限公司;快速水分仪,美国Meade仪器公司;HD-6型水分活度测量仪,无锡市华科仪器仪表有限公司;TMS-PRO质构仪,美国FTC公司;核磁共振成像分析仪,苏州(上海)纽迈电子科技有限公司。

表 1 感官评定表
Table 1 Sensory assessment

项目	评分标准	分值
外观	外观平整，条形完整均匀，无松散碎裂	18~25
	外观基本平整，条形较完整均匀，松散碎裂处较少	10~17
	外观不平整不均匀，有较多松散碎裂处	0~9
色泽	有光泽，暗红色，均匀一致	18~25
	光泽度一般，黑褐色，基本均匀一致	10~17
	光泽度差，黑色，不均匀一致	0~9
组织状态	结构紧密，弹性好，口感软硬适中，咀嚼性好，无柴感	18~25
	结构较紧密，有弹性，口感较硬或较软，咀嚼性良好，肉质较柴	10~17
	组织结构疏松，弹性差，口感差，粗糙干涩难咀嚼，肉质柴	0~9
风味	牛肉和香辛料味浓郁，无焦味无异味，咸甜适当，味道好	18~25
	牛肉和香辛料味较浓郁，带有一点焦味，无异味，稍微偏咸或偏甜，味道良好	10~17
	香气不浓郁，带有焦味和异味，过甜或过咸不适口，味道差，难以入口	0~9
可接受度	非常认可，接受度强	81~100
	较为认可，可接受	61~80
	不认可，不可接受	0~60

1.3 方法

1.3.1 牛肉干制备工艺

将含有约质量分数 10% 脂肪的牛腱子肉去除结缔和脂肪组织。然后，把牛肉切成小块，每块约 100 g，并称重。按 100 g 肉质量计算分别加入 0、0.5、0.75、1 g 百香果果皮纤维粉，食盐 5 g、白糖 20 g、鸡精 2 g、料酒 10 g、生抽 10 g、耗油 10 g、水 200 g，混匀，然后以 3 000 r/min 搅拌 15 min，所得即为腌制液用于滚揉操作。用注射器将腌制液均匀注入处理好的牛肉块中，在冰箱中腌制 1 h 后放入真空滚揉机中，真空滚揉 45 min，间隔 10 min 再继续滚揉 45 min，温度保持在（4±1）℃，转速 2 r/min，真空度保持在 0.08~0.09 MPa。随后将滚揉好的牛肉切成 2 cm×2 cm×1 cm 左右的肉片，加入 2 g 五香粉，混匀放入冰箱 4℃ 中腌制 8 h，用于后续加工^[18,19]。将充分腌制后的牛肉片，平铺于托盘中。置于烘箱 70℃ 下烘干 30 min，然后 55℃ 下烘干至所需水分。将烘干后的肉片从烘箱中取出冷却至室温，即得牛肉干样品进行后续测定，用真空包装袋进行抽真空，于干燥处保存。

1.3.2 干燥特性测定

干燥烘箱的平均风速为（0.5±0.1）m/s。在不同干燥时间内测定水分含量和水分活度，MC 和 MR 按下（1）和（2）式计算，并对 MC 和 Aw 所做的解吸等温线图使用 Freundlich 函数进行数据拟合^[20,21]。结

果取 3 个样品的平均值。

$$B = \frac{W_t - W_{ds}}{W_{ds}}$$

(1)

$$D = \frac{B_t}{B_0}$$

(2)

式中：

- B——牛肉干的干基水分含量（MC），g/g；
- W_t ——干燥时间 t 时的牛肉干质量，g；
- W_{ds} ——牛肉干的干基质量，g；
- D——干基水分含量之比（MR），g/g；
- B_t —— t 时间的干基水分含量，g/g；
- B_0 ——初始干基水分含量，g/g。

1.3.3 牛肉干出品率的测定

参考郭慧等^[22]的方法，并适当进行修改。用滤纸吸去肉块表面水分，称取滚揉前原料肉总质量 m_1 ，烘烤后再称其总质量 m_2 ，根据式（3）计算出品率。

$$Y = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$

(3)

式中：

- Y——牛肉干出品率，%；
- m_1 ——滚揉前的牛肉质量，g；
- m_2 ——烘烤后的牛肉质量，g。

1.3.4 牛肉干质构的测定

参考 Chen 等^[23]的方法并稍作修改，测定参数：测前、测中和测后速率分别为 1.0、5.0 和 5.0 mm/s，返

回速率为 10 mm/s，校准高度为 30 mm，压缩程度为 30%，触发力 5 g。每个样品取 3 个部位进行测定，结果取 3 个样品平均值。

1.3.5 低场核磁共振测定牛肉干水分分布

低场核磁共振测定牛肉干水分分布参考 Cheng 等^[24]的方法。将牛肉样品用保鲜膜包裹，置于核磁共振成像仪永磁场中心位置的射频线圈中心，进行磁共振波谱测定，共振频率 18 MHz，磁体强度 0.5 T，线圈直径为 40 mm，磁体温度为 (32.00±0.01) °C。采用核磁共振分析软件中的 CPMG 脉冲序列测定样品中的横向弛豫时间，CPMG 脉冲序列参数为：主频 23 MHz、偏移频率 286.7813 kHz、90° 脉冲时间 17 μs，180° 脉冲时间 35 μs；采样点数 54 996；重复时间 3 000 ms；累加次数 4 次；回波数 2 000。结果取 3 次样品测定的平均值。

1.3.6 感官评价

参考 GB/T 22210-2008《肉与肉制品感官评定规范》^[25]中的感官鉴定要求，选取经过培训后掌握感官评价的基本操作和不同属性的质量标准的 30 人对最后所得的牛肉干成品进行感官评价，按照下表标准对牛肉干进行赋分，对得分情况进行分析，主要包括肉干的色泽、形态、香气、滋味、可接受度五个方面，具体评分标准见表 1。

1.3.7 数据分析

所有试验重复 3 次，结果以平均值 ± 标准偏差表示。采用 Origin (9.0, OriginLab, 美国) 进行绘图，SPSS Statistics (26, IBM, 美国) 进行显著性分析，以 $P<0.05$ 表示不同组别数据之间差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同百香果果皮纤维粉添加量的牛肉干干燥特性

在图 1 中，牛肉干的水分含量随着干燥时间的增加呈逐渐下降趋势，同干燥时间下含纤维粉牛肉干样品的 MR 比不含纤维粉牛肉干样品的 MR 低，如图 1 中 MR=0.15 即湿基含水量约为 23% 时，1% 纤维粉添加量的牛肉干干燥时间为 2.5 h 左右，而其它三组样品的干燥时间依次递增，其中 0% 的干燥时间是最长的。总体结果表明添加百香果纤维粉含量可以显著加快牛肉干的干燥过程，并且纤维粉含量增加，对牛肉干的干燥过程有正向影响。在速率下降期间，由于肉样收缩，孔隙率降低，在干燥过程中水产生运动，中心水分移

动到表面，然后被蒸发，导致水分含量逐渐降低。高纤维含量能够加快牛肉干干燥时间，可能是肉孔隙数量增加的原因。据先前研究报道，孔隙率随着挤压圆柱体中水量的增加而增加^[26]，这种现象可能归因于热物理特性对水分的强烈依赖性^[27]。Ktari 等^[28]研究表明增加多孔结构的形成可能加速肉干中的水分扩散，注射方式使纤维更多的进入了牛肉肌肉内部，导致肉孔隙数量增加，导致水分从肌肉内部扩散速度加快，从而让干燥速率加快。Kim 等^[20]的研究结果也证实用注射方式注入不同的盐水量可以增加牛肉干的孔隙率和初始含水量，缩短干燥时间，从而带来更优的干燥特性，表现出了相同的规律。

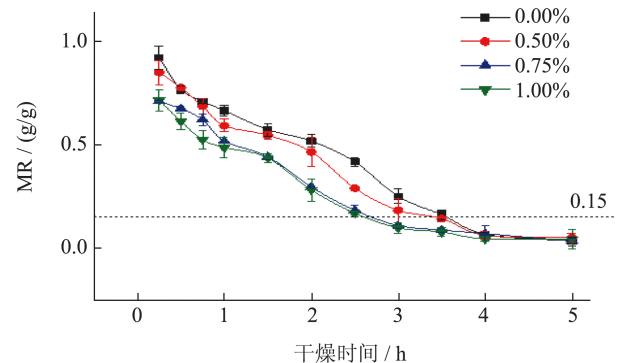


图 1 不同纤维粉添加量加工牛肉干的干燥曲线
Fig.1 Drying curves of processed beef jerky with different fiber additions

表 2 牛肉干解吸等温线拟合结果

Table 2 Beef jerky desorption isotherm fitting formula		
纤维粉添加量/%	Freundlich 拟合公式	R^2
0.00	$y=2.95x^{7.74}$	0.983 1
0.50	$y=3.06x^{8.57}$	0.978 9
0.75	$y=3.43x^{10.35}$	0.976 5
1.00	$y=3.85x^{12.42}$	0.975 1

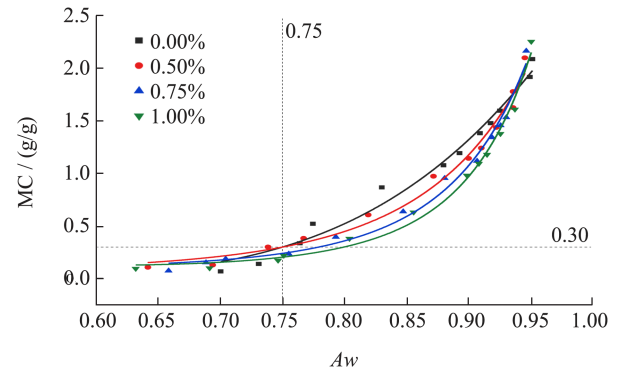


图 2 牛肉干的解吸等温线
Fig.2 Aw-moisture content curves of processed beef jerky with different fiber additions

表 3 不同纤维添加量的牛肉干所需干燥时间、Aw和出品率

Table 3 Drying time, Aw and yield of beef jerky at different water content				
纤维粉添加量/%	湿基含水量/%	干燥时间/h	Aw	出品率/%
0.00	23.12 ± 0.59 ^a	3.71 ± 0.08 ^a	0.75 ± 0.01 ^a	51.40 ± 1.51 ^a
0.50	23.67 ± 1.12 ^a	3.50 ± 0.05 ^b	0.77 ± 0.01 ^{bc}	52.48 ± 1.24 ^{ab}
0.75	23.25 ± 1.44 ^a	2.94 ± 0.04 ^c	0.76 ± 0.01 ^{ab}	54.04 ± 1.20 ^{bc}
1.00	23.50 ± 1.19 ^a	2.89 ± 0.04 ^c	0.79 ± 0.01 ^c	56.02 ± 1.32 ^c

注：同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异（ $P<0.05$ ）。下表同。

表 4 添加百香果纤维粉的牛肉干水分分布的变化

Table 4 Changes of water distribution in beef jerky with passion fruit fiber powder						
纤维粉添加量/%	T_{21} /ms	T_{22} /ms	T_{23} /ms	P_{21} /%	P_{22} /%	P_{23} /%
0.00	1.46 ± 0.08 ^a	23.66 ± 1.57 ^a	122.49 ± 3.51 ^a	1.04 ± 0.02 ^a	92.47 ± 0.02 ^a	6.49 ± 0.01 ^a
0.50	1.14 ± 0.17 ^b	20.57 ± 1.53 ^a	118.06 ± 3.58 ^b	7.16 ± 0.01 ^b	85.87 ± 0.01 ^b	6.97 ± 0.06 ^{ab}
0.75	0.85 ± 0.14 ^c	21.51 ± 2.25 ^a	115.57 ± 3.03 ^b	10.33 ± 0.01 ^c	82.43 ± 0.02 ^c	7.24 ± 0.01 ^b
1.00	0.60 ± 0.10 ^d	20.41 ± 1.34 ^a	102.23 ± 2.17 ^c	15.44 ± 0.02 ^d	74.60 ± 0.01 ^d	9.96 ± 0.02 ^c

表 2 为图 2 的 Freundlich 数据曲线拟合结果，四组样品的 R^2 都大于 0.98，表明模型构造合理，具有强相关性。从图 2 的解吸等温线可看出，当 MC 为 0.3 时，0% 和 0.5% 组的牛肉干 Aw 基本没有变化，而 0.75% 和 1% 组的牛肉干 Aw 则有影响。当 $Aw \leq 0.75$ 时，纤维粉的添加对产品含水量的影响较小，而当 $Aw > 0.75$ 时，纤维粉的添加则影响了产品的水分含量。且在同一水平的 Aw 下，0% 纤维粉添加量的肉干 MC 都普遍高于 0.5%、0.75%、1%，添加了纤维粉后的牛肉干初始含水量也变得更高。这是由于纤维具有持水力和保水力，高水结合力增强了牛肉干的持水性和保水性，使得牛肉干的具有较高的含水量。Younis 等^[29]的研究也表明增加不同质量分数的黎檬纤维粉，能够逐渐提高香肠和肉饼的含水量，分别提高了 1.86% 和 2.55%。

2.2 不同百香果果皮纤维粉添加量的牛肉干品质特性

上述从干燥特性的结果了解到百香果果皮纤维粉对牛肉干干燥特性的变化，由于本文研究的牛肉干属于半干制品，半干制品的牛肉干的水分含量一般在 15%~50% 左右，并且市面上的软硬适中的牛肉干一般水分含量在 22%~35% 之间^[30]，为了进一步对比纤维粉不同添加量对牛肉干的出品率、水分分布、质构特性及口感品质的影响，因此综合水分活度因素，选取 MC=0.3，MR=0.15 下的牛肉干进行品质特性的分析。

2.2.1 不同纤维粉添加量的牛肉干所需干燥时间、Aw和出品率

表 3 的结果表明在相近的含水量下，随着纤维粉添加量的增加，牛肉干的 Aw、干燥时间和出品率都有

变化。干燥时间和 Aw 的变化与图 1、图 2 的干燥特性的测定结果趋势相吻合，加了纤维粉组的牛肉干干燥时间都显著缩短，与 0% 相比，0.5%、0.75% 和 1% 纤维粉组的 Aw 升高，且与 0.5% 和 1% 变化差异显著。从出品率看，0% 与 0.5% 的纤维粉组的牛肉干出品率变化较小，分别为 51.40% 和 52.48%，0.75%、1% 纤维粉的牛肉干出品率则分别提高至 54.04% 和 56.02%。因为百香果纤维能够吸水膨胀，并能够保住一定水分，从而提高了出品率。张明成等^[7]研究柑橘纤维对酱牛肉出品率的影响，也证实了加了纤维能够使酱牛肉获得更高的出品率，相比空白样品，酱牛肉出品率最高提高了 0.14 倍。

2.2.2 牛肉干水分分布

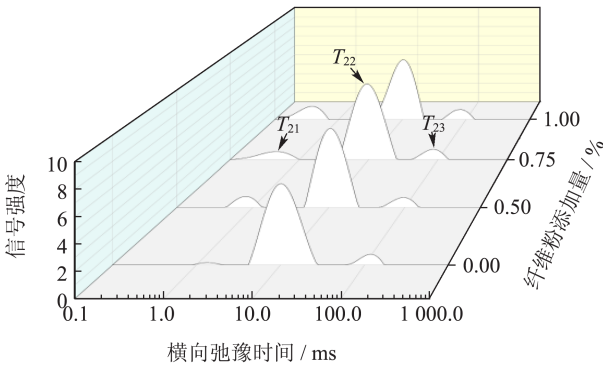


图 3 不同纤维粉添加量牛肉干的弛豫时间 T_2 图谱（MC=0.3）
Fig.3 Relaxation time T_2 mapping of beef jerky with different fiber supplemental levels (MC=0.3)

图 3、表 4 表示了不同百香果纤维粉添加量对牛肉干中水分状态变化的影响，在 1~1 000 ms 的弛豫时间内，四组牛肉干都有 3 个峰，其横向弛豫时间分别

为 T_{21} (0.1~10 ms)、 T_{22} (10~100 ms)、 T_{23} (100~1 000 ms), T_{21} 峰表示与大分子中亲水基团紧密结合的结合水, T_{22} 峰表示封闭于肌原纤维束内或粗细纤维间的半结合水, T_{23} 峰表示存在于纤维间隙的自由水^[31]。表 4 中 P_{21} 、 P_{22} 、 P_{23} 分别表示了 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 三组弛豫时间所对应的峰面积在三组总峰面积中所占的比例。

相关研究表明, T_2 可反映不同状态水分的流动性, 弛豫时间 T_2 越短, 水与底物结合越紧密, 水的流动性越差, 弛豫时间 T_2 越长, 说明水与肌肉结合状态越松散, 水的流动性越强^[32]。在表 4 中, 与 0% 组相比, 其余三组 T_{21} 弛豫时间都分别缩短至 1.14、0.85 和 0.60 ms, 说明加了纤维粉后牛肉干中结合水部分与蛋白质底物结合的更加紧密, 流动性降低, 自由度降低。与 0% 纤维粉组的牛肉干相比, 0.5%、0.75% 和 1% 组的牛肉干样品结合水含量比例从原来的 1.04% 增加至 15.44%, 自由水含量的比例也从原来的 6.49% 增加至 9.96%。

百香果纤维粉改变了牛肉干结合水和自由水的比例, 使样品内部水分状态分布发生变化, 主要表现为结合水与自由水比例的增加和半结合水比例的降低。以上结果表明在牛肉干中添加百香果果皮纤维粉可以改变牛肉干中水分状态分布的变化, 使水的形态更多的往结合水状态迁移, 提高牛肉中结合水的含量, 增强了牛肉干的持水性和保水性。产生这种现象的原因可能是因为纤维致密均匀的平铺在牛肉基束表面, 使纤维极性基团暴露, 由于纤维具有高结合水能力, 促进纤维吸附和结合更多的水分, 自由度较低^[33], 使得肉品中与肌原纤维蛋白结合最紧密的结合水含量增加,

更容易被保留在组织内, 不易流失。张明成等^[7]研究结果表明三种不同型号的柑橘纤维能够降低酱牛肉的 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 值, 并增加结合水的含量, 但是在对自由水作用上展现出不一样的结果, CF100L80 和 CF400L80 能够降低自由水含量, 而 CF100H60 则有增加自由水含量的效果。

2.2.3 质构特性

质地特性是衡量肉与肉制品食用品质的重要参数, 硬度、弹性、咀嚼性等是评价质构特性的重要指标, 在一定程度上可以反映肉制品食物的质地以及组织结构特性^[34]。添加不同量的百香果果皮纤维粉对牛肉干质构影响的结果如表 5 所示。与 0% 未添加纤维粉的牛肉干相比, 添加 0.5%、0.75% 和 1% 纤维粉的牛肉干硬度逐渐降低, 弹性、胶黏性和咀嚼性都逐渐增高。由此可见, 百香果果皮纤维粉的添加为牛肉干带来了更低的硬度, 更优的弹性和更佳的咀嚼性, 这可能是因为百香果纤维粉被注射进入牛肉组织后吸水膨胀, 增加了肌肉孔隙, 使肌纤维间隙变大, 使得原本紧密排列的肌纤维结构改变, 变得扭曲松散, 从而降低硬度^[35], 并且膳食纤维具有黏度特性, 因此也增加了牛肉肌肉纤维的胶黏性, 改善了咀嚼效果^[36]。Younis 等^[29]将不同质量分数的黎檬粉加到香肠和肉饼中, 结果显示两种产品的硬度和胶黏性都有增加, 最高分别增加了 19.21% 和 24.91%, 但是弹性降低了 0.11%。Choi 等^[37]研究明日叶膳食纤维对鸡肉饼质地的变化, 随着明日叶膳食纤维含量的增加, 鸡肉饼的硬度、弹性、内聚力、胶粘性和咀嚼性降低都有降低, 最高降低了 10%。

表 5 不同纤维粉添加量对牛肉干质构特性的影响

Table 5 Effect of different fiber additions on the texture of beef jerky				
纤维粉添加量/%	硬度	弹性	胶黏性	咀嚼性
0.00	39.01 ± 3.25 ^a	1.17 ± 0.07 ^b	16.7 ± 2.29 ^b	23.6 ± 2.57 ^c
0.50	34.62 ± 1.23 ^b	1.24 ± 0.20 ^b	21.2 ± 1.34 ^a	27.1 ± 2.20 ^b
0.75	31.32 ± 2.80 ^{bc}	1.56 ± 0.13 ^a	21.8 ± 0.79 ^a	29.0 ± 1.34 ^{ab}
1.00	30.24 ± 2.58 ^c	1.76 ± 0.18 ^a	23.9 ± 1.99 ^a	30.9 ± 2.70 ^a

表 6 不同纤维粉添加量的牛肉干感官评价结果

Table 6 Sensory evaluation results of beef jerky with different fiber additions				
纤维粉添加量/%	0.00	0.50	0.75	1.00
外观评分	20.59 ± 2.06 ^a	19.94 ± 2.16 ^a	20.76 ± 2.61 ^a	20.76 ± 2.61 ^a
色泽评分	19.94 ± 1.71 ^a	20.29 ± 2.69 ^a	19.12 ± 3.24 ^a	18.53 ± 1.41 ^a
组织状态评分	19.76 ± 2.97 ^a	19.94 ± 2.73 ^a	18.41 ± 1.27 ^{ab}	17.41 ± 2.26 ^b
风味评分	19.41 ± 0.79 ^{ab}	19.70 ± 2.39 ^a	20.58 ± 1.32 ^a	17.88 ± 1.86 ^b
前四项指标总分	79.71 ± 5.39 ^a	79.88 ± 5.79 ^a	78.88 ± 6.66 ^a	73.76 ± 5.58 ^b
可接受度评分	83.71 ± 3.65 ^a	84.94 ± 2.81 ^a	83.35 ± 4.09 ^a	75.88 ± 5.13 ^b
总分	163.41 ± 6.99 ^{ab}	164.82 ± 7.73 ^a	162.23 ± 8.32 ^b	150.01 ± 6.90 ^c

2.2.4 感官评价

在表6的感官评价结果中,添加了纤维粉的牛肉干对外观无显著影响,1%纤维粉添加量对组织状态评分影响较大,在风味评分上,牛肉干产品在0%、0.5%、0.75%下风味差异不显著,但在1%下有显著降低,有可能是纤维上结合的酚酸、花青素等带有挥发性气味的物质导致肉干气味和滋味的改变。在色泽方面,虽然百香果果皮纤维对色泽有一定的影响,但差异并不显著,百香果果皮纤维粉为棕红色,添加量过大,导致了肉干颜色变暗。在可接受度和总分上,虽然0.5%纤维粉的牛肉干相比0%牛肉干有提高,但差异并不显著,0.75%和1%这两项评分都逐渐降低,说明添加百香果纤维能够在一定呈度上增强牛肉干的感官特性,提升口感,但纤维粉添加量并不是越多越好,相反添加纤维粉含量过高,反而让肌肉纤维的质构特性的胶黏性过高,使得牛肉干难以被咬断。Choi等^[37]对加了明日叶膳食纤维的鸡肉饼进行感官评价分析,其结果显示随着膳食纤维的增加,感官总体评分也显著提高,但当含量达到3%时,总体评分开始降低。通过感官评价可知,添加0.5%的百香果纤维粉的牛肉干具有更好的感官品质,但差异并不显著,而1%纤维粉的牛肉干则会降低牛肉干的感官品质。

3 结论

百香果果皮纤维粉应用到牛肉干中,会对牛肉干的干燥特性和产品品质产生影响,显著缩短牛肉干的干燥时间。纤维进入牛肉肌束中后,通过对水的吸附,使结合水、半结合水和自由水的含量和流动性发生变化,不仅增加了牛肉干中结合水的含量,同时增强了结合水与牛肉蛋白质底物的结合能力,使其结合更紧密,降低了肉干硬度、增强了弹性和咀嚼性,提高了肉干出品率,使牛肉干的感官品质和理化性质得到了改善。通过对牛肉干的质构结果和感官评价来看,百香果果皮纤维粉能提升牛肉干质地和口感,但纤维含量过高,会使牛肉干胶黏性过高,使得口感变差,其中,添加0.5%纤维粉含量的牛肉干接受度最高。综上所述,在牛肉干添加百香果果皮纤维粉能够缩短干燥时间,改善牛肉干的质构特性和产品品质。

参考文献

- [1] SE-MYUNG K, TAE-KYUNG K, JI Y C, et al. Novel processing technologies for improving quality and storage stability of jerky: A review [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 151: 112179.
- [2] TOM A, BRUNEAU D, DJONGYANG N, et al. Drying kinetics of beef meat: modeling by the isenthalpe mass flux method [J]. Journal of Food Process Engineering, 2021, 44(4): e13647.
- [3] KIM S, KIM T, KANG M, et al. Effects of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) leaf extract with or without ascorbic acid on the quality characteristics of semi-dried restructured jerky during storage [J]. Food Science of Animal Resources, 2022, 42(4): 566-579.
- [4] COOKE A. Dietary food-additive phosphate and human health outcomes [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(5): 906-1021.
- [5] HAN M Y, HANNE C B. Designing healthier comminuted meat products: Effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system [J]. Meat Science, 2017, 133: 159-165.
- [6] JULIANA M G, BRUNO R C C, DENIZE O, et al. Mixture design approach for the development of reduced fat lamb patties with carboxymethyl cellulose and inulin [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(4): 1328-1336.
- [7] 张明成,常光强,王族,等.不同柑橘纤维及添加量对酱牛肉出品率及品质的影响[J].食品科学,2023,45(11):226-234.
- [8] ARUN K D, VINCENTRAJU R, ARUN K V. Bael pulp residue as a new source of antioxidant dietary fiber in goat meat nuggets [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 1626-1635.
- [9] RAMON C, LUIS L, CANTERO V M, et al. Assessment of different dietary fibers (tomato fiber, beet root fiber, and inulin) for the manufacture of chopped cooked chicken products [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(4): C346-C352.
- [10] WANESEA O R, MARISTELA M O, MIRIAN D S, et al. Improving the textural and nutritional properties in restructured meat loaf by adding fibers and papain designed for elderly [J]. Food Research International, 2023, 165: 112539.
- [11] EIM V S, GARCIA-PEREZ J V, ROSSELLO C, et al. Influence of the addition of dietary Fiber on the drying curves and microstructure of a dry fermented sausage (Sobrassada) [J]. Drying Technology, 2012, 30(2): 146-153.
- [12] BARBUT S. Research note: Effects of fiber source on the physicochemical properties of lean poultry meat products [J]. Poultry Science, 2022, 102(5): 102423.
- [13] XU Y, YAN H M, XU W P, et al. The effect of water-insoluble dietary fiber from star anise on water retention of minced meat gels [J]. Food Research International, 2022, 157: 111425.
- [14] 种俸亭,黄子珍,滕建文,等.百香果皮体外抑制葡萄糖吸收、抗氧化及调节高血糖大鼠肠道菌群结构的作用[J].食品科学,2021, 42(5):193-200.
- [15] GUO Q B, XIAO X Y, LU L F, et al. Polyphenol-polysaccharide complex: preparation, characterization, and potential utilization in food and health [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2022, 13: 59-87.
- [16] 杭瑜瑜,于淑池,商文慧,等.百香果皮粉对非漂洗罗非鱼鱼糜凝胶品质的影响[J].食品工业科技,2022,43(19):92-97.
- [17] JAIRO H L, JUANA F, JOSE A P A, et al. Quality characteristics of pork burger added with albedo-fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products [J]. Meat Science, 2014, 97(2): 270-276.

- [18] 刘丹丹,吴子健,刘忠敏,等.滚揉方式对中式传统酱牛肉品质的影响[J].肉类研究,2021,35(7):15-20.
- [19] ZHANG M C, WANG Z, WU J C, et al. Effects of adding citrus fiber with different chemical compositions and physicochemical properties on the cooking yield of spiced beef [J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 176: 114486.
- [20] DONG-HYUN K, DONGMIN S, JUNGHOON L, et al. Effect of different brine injection levels on the drying characteristics and physicochemical properties of beef jerky [J]. Food Science of Animal Resources, 2022, 42(1): 98-110.
- [21] 唐婷范,徐紫薇,周友全,等.壳聚糖对单宁酸的吸附性能研究[J].中国调味品,2023,48(4):20-36.
- [22] 郭慧,张宝雪,孔玲,等.超声波辅助定量卤制对茶香味卤煮牛肉品质的影响[J].食品工业科技,2024,45(15):107-115.
- [23] CHEN Z, FENG A G. Differences in physicochemical quality, texture, and fractal dimensions of tilapia fillets in different specifications and partitions [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(12): e16084.
- [24] CHENG S S, WANG X H, YANG H M, 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): 1940-1948.
- [25] GB/T 22210-2008肉与肉制品感官评定规范[S].
- [26] JERWANSKA E, ALDERBORN G, BORJESSON E, et al. Effect of water content on tensile fracture force and deformability of ram extruded cylinders [J]. International Journal of Pharmaceutics, 1997, 149(1): 131-136.
- [27] WIRIYA P, GEORGE S, ROBERT H D. Thermophysical properties of stone fruit [J]. Drying Technology, 2006, 24(2): 195-200.
- [28] NAOUREZ K, SLIM S, TRABELSI I, et al. Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage [J]. Meat Science, 2014, 96(1): 521-525.
- [29] KAISER Y, SAGHIR A, MUDASIR A M. Mosambi peel powder incorporation in meat products: Effect on physicochemical properties and shelf life stability [J]. Applied Food Research, 2021, 1(2): 100094.
- [30] 刘才子.保水技术与食盐替代技术在牛肉干中的应用[D].长春:吉林农业大学,2017.
- [31] WANG H C, CHE G, WAN L, et al. Combination of LF-NMR and BP-ANN to monitor the moisture content of rice during hot-air drying [J]. Journal of Food Process Engineering, 2022, 45(9): e14102.
- [32] PANG B, BOWKER B, XUE C, et al. Evaluation of visible spectroscopy and low-field nuclear magnetic resonance techniques for screening the presence of defects in broiler breast fillets [J]. Food Control, 2023, 44: 10936.
- [33] ZHUANG X B, JIANG X P, HAN M Y, et al. Influence of sugarcane dietary fiber on water states and microstructure of myofibrillar protein gels [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 253-261.
- [34] NELUM P, MANDEEP K, BENU A, et al. Relationship between masticatory variables and bolus characteristics of meat with different textures [J]. Journal of Texture Studies, 2021, 52(5-6): 552-560.
- [35] SE-MYUNG K, TAE-KYUNG K, HYUN-WOOK K, et al. Quality characteristics of semi-dried restructured jerky processed using super-heated steam [J]. Foods, 2021, 10(4): 10762.
- [36] 陈洁,李露芳,段飞霞,等.秋葵多糖流变特性及其对冷冻面团结构的影响[J].食品科技,2018,43(2):265-271.
- [37] CHOU Y S, KIM H W, WANG K E, et al. Effect of dietary fiber extracted from algelica keiskei koidz on the quality characteristics of chicken patties [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2015, 35(3): 307-314.