

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240103001

乳清和商业发酵剂对半干型发酵驼肉干品质特性的影响研究

李 金, 云雪艳, 陈 璐, 韩云飞, 格日勒图*

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 呼和浩特 010010)

摘要: **目的** 探究乳清和商业发酵剂(植物乳杆菌和戊糖片球菌复合菌, 复配比 45:55)对半干型发酵驼肉干品质特性的影响。**方法** 以自然发酵组为对比, 添加乳清和商业发酵剂制作不同批次的半干型驼肉干(CK 组: 未添加外源发酵剂; Wh 组: 仅添加乳清; Lpp 组: 仅添加商业发酵剂; Wh-Lpp 组: 接种乳清和商业发酵剂), 对其理化指标(pH、水分活度、色泽和质构)、基本营养成分(水分、蛋白质、脂肪和灰分含量)、氨基酸和脂肪酸含量进行对比分析。**结果** Wh 组、Lpp 组和 Wh-Lpp 组的 pH、水分活度和咀嚼性显著低于 CK 组($P<0.05$), 亮度值(L^*)高于 CK 组; 水分含量显著低于 CK 组($P<0.05$); 总氨基酸(total amino acid, TAA)、必需氨基酸(essential amino acid, EAA)和非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA)含量高于 CK 组; Wh 组 EAA/TAA 为 0.46, EAA/NEAA 为 0.85, 其氨基酸含量和组成更符合人体所需; Wh 组、Lpp 组和 Wh-Lpp 组中的饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)含量减少、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量增加; 油酸、花生四烯酸和二十二碳六烯酸等有益脂肪酸增加且 PUFA/SFA 比例升高, 脂肪酸含量和组成更符合人体所需。**结论** Wh-Lpp 组肉干中鲜味类和甜味类氨基酸的总和含量较高, 可增强肉干风味, 添加乳清和商业发酵剂对半干型发酵驼肉干品质有一定的改善作用, 本研究可为半干型发酵驼肉干的开发与研究提供理论依据。

关键词: 乳清; 商业发酵剂; 半干型发酵驼肉干; 品质特性

Studies on the effect of whey and commercial fermenters on the quality characteristics of semi-dry fermented camel jerky

LI Jin, YUN Xue-Yan, CHEN Lu, HAN Yun-Fei, BORJIGIN Gerelt*

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of whey and a commercial fermenter (*Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosus* complex bacteria, compound ratio 45:55) on the quality characteristics of semi-dry fermented camel jerky. **Methods** Different batches of semi-dry fermented camel jerky were prepared with the addition of whey and commercial fermenter (CK group: No exogenous fermenter; Wh group: Whey only; Lpp group:

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-38)

Fund: Supported by the Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Development: National Modern Agricultural Industrial Technology System (CARS-38)

*通信作者: 格日勒图, 博士, 教授, 主要研究方向为肉类科学。E-mail: bgerelt07@163.com

*Corresponding author: BORJIGIN Gerelt, Ph.D, Professor, Inner Mongolia Agricultural University, No.306, Zhaowuda Road, Saihan District, Hohhot 010010, China. E-mail: bgerelt07@163.com

commercial fermenter only; Wh-Lpp group: Inoculated with whey and commercial fermenter) in comparison with the natural fermentation group for physicochemical indices (pH, water activity, color and texture), basic nutrients (moisture, protein, fat and ash content), amino acid and fatty acid content were comparatively analyzed. **Results** The pH, water activity and chewiness of the Wh, Lpp and Wh-Lpp groups were significantly lower than that of the CK group ($P < 0.05$), and the brightness value L^* was higher than that of the CK group; the moisture content was significantly lower than that of the CK group ($P < 0.05$). The total amino acid (TAA), essential amino acid (EAA) and nonessential amino acid (NEAA) content was higher than that of the CK group. In the Wh group, EAA/TAA was 0.46, and EAA/NEAA was 0.85, and the amino acid content and composition were more in line with human requirements. The Wh, Lpp, and Wh-Lpp groups had decreased saturated fatty acid (SFA) content, monounsaturated fatty acid (MUFA), and polyunsaturated fatty acid (PUFA) content increased. Beneficial fatty acids such as oleic acid, arachidonic acid and docosahexaenoic acid were increased and the ratio of PUFA/SFA was elevated, making the fatty acid content and composition more compatible with human needs. **Conclusion** The total content of fresh and sweet amino acids is higher in the Wh-Lpp group, which can enhance the flavor of the jerky, and the addition of whey and commercial leavening agent improved the quality of semi-dry fermented camel jerky, and this study can provide a theoretical basis for the development and research of semi-dry fermented camel jerky.

KEY WORDS: whey; commercial fermenters; semi-dry fermented camel jerky; quality characteristics

0 引言

驼肉含有丰富的氨基酸、脂肪酸、铁、钙和磷等矿物质,具有高蛋白、低脂肪等营养特点,适合开发绿色、有机肉制品^[1]。在我国,驼肉被加工制作为风干驼肉^[2]和麻辣驼肉脯^[3]等产品,但发酵驼肉干产品开发较少。发酵可以赋予产品独特的风味,且发酵过程中赋予产品某种特性可以达到延长保质期作用。因此,可以将发酵技术应用到发酵驼肉干的生产中,开发出口感好且营养更为均衡的产品^[4]。

乳酸菌在发酵肉制品中发挥独特的作用,是发酵肉制品最常见的微生物之一^[4]。乳酸菌在肉干的发酵过程中利用碳水化合物产生大量的乳酸和少量的醋酸来降低产品的 pH,可以有效抑制杂菌生长和防止腐败变质^[5-6]。FLORES 等^[7]将乳酸菌和葡萄球菌添加到干发酵香肠中,结果表明在干发酵香肠成熟过程中这两种发酵剂能够抑制脂质氧化产物和促进乙基酯的生成,对挥发性物质的产生具有重要影响。左上春等^[8]应用乳酸片球菌制作发酵猪肉干,结果表明经发酵后的猪肉干的质地、色泽和风味得到改善且稳定性和安全性得以提高。乳清是奶制品生产加工过程中的副产物,经分离后呈绿色、半透明状液体,其含有丰富的乳酸菌。杨帆等^[9]将乳清液添加到沙芥中,测定不同发酵方式下沙芥中 pH 和总酸含量,结果表明,添加乳清液可以有效降低产品 pH、提升总酸含量,使产品更具食用安全性。但目前鲜少见关于乳酸菌发酵骆驼肉的相关报道。

本研究添加乳清和商业发酵剂(植物乳杆菌和戊糖片球菌复合菌)制作半干型发酵驼肉干,通过对其理化指标、基本营养成分、氨基酸和脂肪酸含量的测定,探究乳清和

商业发酵剂对半干型发酵驼肉干品质的影响,以期对半干型发酵驼肉干产品的开发与研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

骆驼后腿肉(来自内蒙古阿拉善右旗曼德拉苏木); JYLP-326 植物乳杆菌; JYPP-19 戊糖片球菌(复配比 45:55, 山东中科嘉亿生物工程有限公司); 乳清(内蒙古蒙元宽食品有限公司)。

氯化钠、浓硫酸、正己烷、5-磺基水杨酸、氢氧化钠、无水乙醚、三氟化硼·乙醚(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 三氯甲烷、无水硫酸钠[分析纯, 福晨(天津)化学试剂有限公司]; 37 种脂肪酸甲酯混合标准品(纯度 $\geq 90\%$, 美国 Supelco 公司); 载气 He(纯度 $> 99.99\%$, 武汉纽瑞德特种气体有限公司)。

1.2 仪器与设备

BSA223S-CW 型千分之一电子天平(美国丹佛仪器有限公司); HPP260 培养箱[美墨尔特(上海)贸易有限公司]; AW-Tester 型水分活度仪(上海智理科学仪器有限公司); TCP2 全自动色差计(北京奥依克光电仪器有限公司); TA.XTPlus 质构仪(美国 FTC 公司); SX2-GZX-9 型电热鼓风干燥箱、4-10 型马弗炉(上海右一仪器有限公司); KDN-102C 型自动凯氏定氮仪、HYP-320 二十孔智能消化炉(上海纤检仪器有限公司); SXT-02 型索氏抽提器(上海精密仪器仪表有限公司); L-8900 全自动氨基酸分析仪(日本 Hitachi 公司); Agilent7890 气相色谱仪(美国 Agilent 公司); Rt-2560 石英毛细色谱柱(100 m \times 0.25 mm, 0.20 μ m, 美国

Supelco 公司)。

1.3 半干型发酵驼肉干试验分组和工艺流程

试验共分为4组:第1组为自然发酵组(CK组),未添加外源发酵剂;第2组为乳清组(Wh组),仅添加乳清;第3组为发酵剂组(Lpp组),仅添加商业发酵剂;第4组为乳清+商业发酵剂组(Wh-Lpp组),添加乳清和商业发酵剂。

乳清[pH 4.01±0.02,水分含量 93.31%±0.19%,乳酸菌含量(5.93±0.25) log CFU/g]

工艺流程:原料肉→解冻→切条→4℃腌制(12 h)→37℃发酵(23 h)→55℃干制(4 h)→150℃烘烤(1 h)→冷却→真空包装。

1.4 半干型发酵驼肉干腌制配方

半干型发酵驼肉干腌制配方如表1。

表1 半干型发酵驼肉干腌制配方
Table 1 Pickle drecipe of semi-dry fermented camel jerky

配料(每100 g肉)	CK	Wh	Lpp	Wh-Lpp
食盐/g	3.00	3.00	3.00	3.00
糖/g	2.50	2.50	2.50	2.50
黑胡椒粉/g	1.00	1.00	1.00	1.00
花椒粉/g	0.06	0.06	0.06	0.06
大料/g	0.06	0.06	0.06	0.06
姜粉/g	0.06	0.06	0.06	0.06
料酒/mL	9.00	9.00	9.00	9.00
乳清添加量/mL	-	8.00	-	8.00
商业发酵剂添加量/%	-	-	0.10	0.10

注:-表示未添加该物质。

1.5 实验方法

1.5.1 理化指标

pH测定:依照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》方法测定;

水分活度测定:用AW-Tester便携式水分活度仪测定;

色泽的测定:使用TCP2全自动色差仪测定2 cm×2 cm×1 cm大小的肉干的色泽,结果分别用亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)表示。

质构的测定:使用TA.XTPlus质构仪测定1 cm×1 cm×1 cm肉干的硬度、咀嚼性、弹性和回复性。

测试相关参数:测量模式:TPA;探头类型:P36R;下压距离:15.0 mm;测前速度:2 mm/s;测中速度:1 mm/s;测后速度:2 mm/s;两次下压的时间间隔:5 s。

1.5.2 基本营养成分

水分参照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;

蛋白质参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定;

脂肪参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定;

灰分参照GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的马弗炉灼烧法进行测定。

1.5.3 氨基酸组成及含量

准确称取3.0 g样品于锥形瓶中,加入20 mL 5-磺基水杨酸(3 g/100 mL),5000 r/min均质1.0 min,4℃10000×g离心15.0 min。将上清液转至并定容到25 mL容量瓶中。加入2 mL正己烷溶液并混合均匀,10000×g、4℃离心10.0 min。取1 mL下层溶液用0.22 μm微孔水相滤膜过滤于样品瓶中上机待测,结果以mg/100 g表示。

1.5.4 脂肪酸组成及含量

准确称取5.0 g样品于锥形瓶中,依次加入60 mL三氯甲烷和30 mL甲醇在磁力搅拌器上搅拌2 h。向滤液中加入5 mL 20%氯化钠溶液,静置取下层滤液,并加入无水硫酸钠。45℃120 r/min旋转蒸发15.0 min。然后依次加入5 mL甲醇/氢氧化钠溶液、3 mL三氟化硼·乙醚溶液、2 mL正己烷溶液,依次回流5.0、2.0、1.0 min。向液体中加入5 mL饱和氯化钠溶液,静置10.0 min直至液体分层。取1 mL上清液用0.22 μm微孔有机膜过滤于样品瓶中上机待测。

气相参数:色谱柱(100 m×0.25 mm, 0.20 μm);载气He(纯度>99.99%);载气(He)流速1 mL/min,进样量1 μL,分流比100:1;升温程序:柱温箱初始温度100℃保持1.0 min,以10℃/min升至180℃,保持6.0 min,以1℃/min升至200℃,保持20.0 min,以4℃/min升至230℃,保持20.5 min。

1.6 数据处理

每个样品重复测定3次,实验结果以“平均值±标准偏差”表示。采用Excel 2016进行数据处理,并使用SPSS 18.0对实验数据进行显著性分析($P<0.05$ 表示差异性显著)。

2 结果与分析

2.1 不同组半干型发酵驼肉干的理化指标

由表2所示,Wh组、Lpp组和Wh-Lpp组3组肉干的pH显著低于CK组($P<0.05$),即CK组>Wh组>Lpp组>Wh-Lpp组。接种发酵剂的半干型发酵驼肉干pH含量较低可能由于在发酵过程中碳水化合物分解产生乳酸及少量副产物如乙酸、琥珀酸等^[10],当pH降至蛋白点附近时,会电离出大量自由水,导致水分活度降低^[11]。在发酵过程中乳酸产生的酸味是发酵肉制品特有的风味,还可以掩盖肉中的其他不良味道,如膻味等^[12]。水分活度与微生物生长密切相关,水分活度低于0.9时可以抑制腐败微生物的生长繁殖^[13]。4组半干型发酵驼肉干水分活度均在0.9以下,其中Wh组、Lpp组和Wh-Lpp组的水分活度显著低于CK组($P<0.05$),这说明添加乳清和商业发酵剂起到抑制杂菌的生长和延长发酵驼肉干保质期的作用。

肉干的色泽是影响消费者购买欲望最直观的指标之一^[14]。在本研究中, Wh 组、Lpp 组和 Wh-Lpp 组的 L^* 均高于 CK 组, 其中 Lpp 组的 L^* 最高为 25.87, CK 组的 L^* 最低为 20.42; 添加乳清和商业发酵剂 L^* 增加, 这说明发酵会提高肉干的亮度值, 在发酵过程中产生酸性物质可能破坏了肉的表面结构, 使肉变得透明, 这与马亚男等^[15]对鹿肉干的研究结果相似。Wh 组 a^* 高于 CK 组, Lpp 组和 Wh-Lpp 组 a^* 低于 CK 组; Wh 组的 a^* 最大肉色显得更为红润, 外观品质较好。Wh 组、Lpp 组和 Wh-Lpp 组的 b^* 均高于 CK 组, 但它们之间没有显著差异 ($P>0.05$)。 b^* 增加说明发酵会使驼肉干的黄度升高, 这可能是不饱和脂肪酸氧化产生的自由基和羰基化合物与蛋白质中的自由基氨基反应, 随后缩合成棕黄色色素^[16]。各组半干型发酵驼肉干之间硬度的关系为 Lpp 组<Wh-Lpp 组<Wh 组<CK 组, 咀嚼性是硬度、弹性和内聚性的乘积, 接种发酵剂各组肉干硬度和咀嚼性均低于 CK 组, 这与兰沁洁^[17]对发酵羊肉香肠的研究结果一致。这是由于发酵剂可使驼肉中肌原纤维蛋白与肌浆蛋白发生分解, 使内部结合力减弱, 从而降低产品的硬度和咀嚼性^[15]。综上所述, 添加乳清和商业发酵剂对半干型发酵驼肉干理化指标方面有较好的改善作用。

2.2 不同组半干型发酵驼肉干的基本营养成分

对 4 组半干型发酵驼肉干的水分、脂肪、蛋白质和灰分含量进行分析, 结果如表 3 所示。4 组半干型发酵驼肉干的水分含量为 35.96%~40.17%, 脂肪含量为 1.55%~2.18%, 蛋白质含量在 32.58%~36.91%, 灰分含量

为 7.9%~8.47%。蛋白质、脂肪和灰分含量差异不显著 ($P>0.05$)。Wh 组、Lpp 组和 Wh-Lpp 组水分含量显著低于 CK 组 ($P<0.05$), 这与水分活度的结果一致, 这说明发酵有利于降低驼肉干的水分含量, 焦阳阳^[18]对牛肉干的研究中也得到类似结果。综上, 添加乳清和商业发酵剂将水分含量保持在较低水平, 可以有效延长半干型发酵驼肉干的储藏期。

2.3 不同组半干型发酵驼肉干的氨基酸组成及含量

氨基酸是组成蛋白质的基本单位, 氨基酸的组成及含量是衡量食品中蛋白质营养价值的重要指标^[19]。4 组半干型发酵驼肉干中氨基酸含量如表 4 所示, 共检测出 16 种氨基酸, 包括 7 种 EAA 和 9 种 NEAA, 含量最高的为谷氨酸, 其次是丙氨酸和赖氨酸; 酪氨酸和苯丙氨酸含量较低。检测到的 16 种氨基酸中有 10 种氨基酸存在极显著差异 ($P<0.01$), 它们分别为 EAA 中的苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸以及 NEAA 中的丙氨酸、精氨酸、脯氨酸、丝氨酸、酪氨酸和组氨酸。4 组半干型发酵驼肉干检测出来的风味氨基酸有鲜味类氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸)和甜味类氨基酸(丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸), 其中 Wh 组鲜味类氨基酸含量较高, Lpp 组甜味类氨基酸含量较高, Wh 组、Lpp 组和 Wh-Lpp 组中谷氨酸含量均高于 CK 组, Wh 组和 Wh-Lpp 组中天冬氨酸含量高于 CK 组, 说明添加乳清和商业发酵剂会使鲜味氨基酸谷氨酸和天冬氨酸含量升高, 这可能是因为发酵可以促进蛋白质水解成游离氨基酸及多肽, 促进鲜味氨基酸含量的增加^[20]。

表 2 半干型发酵驼肉干理化指标

Table 2 Physicochemical indexes of semi-dry fermented camel jerky

项目	CK	Wh	Lpp	Wh-Lpp	<i>P</i>
pH	5.34±0.04 ^d	4.40±0.01 ^c	4.30±0.01 ^b	4.04±0.02 ^a	<0.001
水分活度	0.89±0.92 ^d	0.75±0.02 ^a	0.85±0.01 ^c	0.80±0.02 ^b	<0.001
L^*	20.42±1.56 ^a	23.60±1.77 ^{bc}	25.87±0.83 ^c	22.31±1.25 ^{ab}	0.009
a^*	3.65±0.32	3.66±0.23	3.36±1.38	3.13±0.26	0.780
b^*	4.71±1.02	5.46±1.63	5.77±0.15	5.05±0.80	0.633
硬度/N	28.48±4.08	27.47±3.57	19.83±6.20	21.54±2.70	0.099
弹性	0.70±0.05	0.68±0.04	0.67±0.05	0.66±0.07	0.814
咀嚼性	18.80±1.91 ^b	10.47±2.27 ^a	7.02±2.89 ^a	9.82±2.68 ^a	0.002
回复性	0.25±0.05	0.22±0.03	0.18±0.03	0.24±0.04	0.159

注: 同一行不同小写字母表示显著差异 ($P<0.05$), 下同。

表 3 半干型发酵驼肉干基本营养成分(%)

Table 3 Basic nutrients for semi-dry fermented camel jerky (%)

项目	CK	Wh	Lpp	Wh-Lpp	<i>P</i>
水分	40.17±0.42 ^c	35.96±0.37 ^a	36.85±0.83 ^b	36.75±0.39 ^b	<0.001
蛋白质	32.58±2.80	36.91±4.29	32.92±0.08	35.57±3.05	0.485
脂肪	1.55±0.68	1.65±0.07	1.86±0.39	2.18±0.08	0.482
灰分	8.47±0.71	7.90±0.11	8.39±0.28	8.42±0.23	0.336

表 4 半干型发酵驼肉干的氨基酸组成及含量(mg/100 g)
Table 4 Composition and content of amino acid of semi-dry fermented camel jerky (mg/100 g)

项目	CK	Wh	Lpp	Wh-Lpp	P
赖氨酸*	55.22±0.32 ^b	54.54±5.62 ^b	49.03±1.19 ^a	56.89±0.41 ^b	0.047
苏氨酸*	39.21±6.30 ^a	59.16±5.89 ^b	56.72±0.22 ^b	60.58±1.05 ^b	0.001
缬氨酸*	21.20±0.21 ^b	17.83±1.05 ^a	18.19±0.15 ^a	18.21±1.26 ^a	0.004
亮氨酸*	33.26±0.65 ^c	31.67±2.77 ^{bc}	28.55±0.12 ^a	29.71±0.27 ^{ab}	0.016
异亮氨酸*	13.63±0.31 ^a	11.57±0.80 ^b	13.16±0.13 ^a	11.91±0.12 ^b	0.001
甲硫氨酸*	11.71±0.26 ^b	11.05±0.98 ^{ab}	10.44±0.07 ^a	10.90±0.10 ^{ab}	0.084
苯丙氨酸*	4.60±0.27 ^a	14.59±2.99 ^c	8.61±0.04 ^b	3.38±0.03 ^a	<0.001
丙氨酸	60.71±2.73 ^b	53.98±2.16 ^a	59.09±0.69 ^b	58.19±0.03 ^b	0.009
谷氨酸	73.77±4.70 ^a	79.35±0.82 ^b	78.30±0.72 ^{ab}	79.68±0.20 ^b	0.057
精氨酸	26.72±1.26 ^a	35.81±1.26 ^c	29.88±0.13 ^b	27.32±0.03 ^a	<0.001
甘氨酸	16.12±0.83 ^a	16.83±1.41 ^{ab}	15.94±0.19 ^a	17.77±0.01 ^b	0.092
脯氨酸	13.42±0.48 ^d	9.45±0.74 ^a	12.02±0.11 ^c	10.61±0.06 ^b	<0.001
丝氨酸	8.68±0.65 ^a	8.84±0.49 ^a	12.15±0.19 ^b	11.37±0.06 ^b	<0.001
酪氨酸	5.59±0.49 ^b	4.80±0.03 ^a	7.29±0.26 ^c	5.45±0.08 ^b	<0.001
组氨酸	10.38±0.56 ^b	7.87±0.66 ^a	8.61±0.11 ^a	8.38±0.06 ^a	0.001
天冬氨酸	16.04±1.53 ^a	19.48±0.69 ^b	15.41±1.11 ^a	17.17±1.58 ^{ab}	0.020
EAA	178.81±7.14 ^a	200.43±18.78 ^b	184.71±1.76 ^{ab}	191.58±1.19 ^{ab}	0.130
NEAA	231.43±11.09	236.42±8.20	238.70±2.80	235.93±1.91	0.662
TAA	410.24±18.22	436.84±26.94	423.41±4.52	427.52±1.52	0.324
EAA/NEAA	0.77±0.01 ^a	0.85±0.05 ^b	0.77±0.01 ^a	0.81±0.04 ^{ab}	0.020
EAA/TAA	0.44±0.01 ^a	0.46±0.01 ^c	0.44±0.00 ^{ab}	0.45±0.00 ^{bc}	0.019
鲜味类氨基酸	89.81±6.20 ^a	98.83±1.51 ^b	93.71±1.70 ^{ab}	96.84±1.77 ^b	0.052
甜味类氨基酸	98.93±4.70 ^b	89.10±4.81 ^a	99.20±1.16 ^b	97.94±0.06 ^b	0.019

注: *表示必需氨基酸; EAA: 必需氨基酸(essential amino acid); NEAA: 非必需氨基酸(nonessential amino acid); TAA: 总氨基酸(total amino acid)。

4组发酵驼肉干中TAA含量为410.24~436.84 mg/100 g, EAA含量为178.81~200.43 mg/100 g, NEAA含量为231.43~238.70 mg/100 g, Wh组、Wh-Lpp组、Lpp组的TAA、EAA和NEAA含量均高于CK组,说明添加乳清和商业发酵剂使驼肉干中TAA、EAA和NEAA含量增加。氨基酸组成比例是用来评价肉类中营养价值的主要因素^[21],联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)提出的理想蛋白质需求EAA/TAA为0.4, EAA/NEAA为0.6时,符合优质蛋白质的标准^[22]。在本研究中, EAA/TAA在0.44~0.46之间, EAA/NEAA在0.77~0.85之间; Wh组和Wh-Lpp组EAA/TAA和EAA/NEAA含量高于CK组,这说明添加乳清和商业发酵剂组半干型驼肉干中蛋白质营养价值较高,其氨基酸含量和组成更符合人体所需。

2.4 不同组半干型发酵驼肉干的脂肪酸组成及含量

游离脂肪酸是肉制品加工过程中风味形成的重要前体物质,在加工过程中会被氧化生成一些风味物质,如醛类、酮类等^[23]。这些物质还可以进一步参与美拉德反应产生挥发性化合物,增加肉制品的风味^[24]。4组半干型发酵

驼肉干共鉴定到27种脂肪酸,其中饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)14种、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)6种和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)7种且4组发酵驼肉干中脂肪酸组成规律一致,即 $\sum\text{SFA} > \sum\text{MUFA} > \sum\text{PUFA}$,如表5所示,这与ESSID等^[25]研究结果相一致。4组半干型发酵驼肉干的脂肪酸含量无显著差异($P > 0.05$)。

从脂肪酸类别来看, SFA主要由棕榈酸和硬脂酸构成。与CK组相比,添加乳清和商业发酵剂会使棕榈酸的含量增加,硬脂酸含量减少,但二者脂肪酸在各组肉干中无显著差异($P > 0.05$)。过量摄入SFA会增加导致动脉粥样硬化和冠心病的发生^[26]。MUFA含量对风味的贡献较大,在加工过程中因热氧化而产生更多香味,在肉类风味物质的形成中起着关键作用。研究表明,适当增加MUFA摄入量有益于高血压人群降低血脂和血压^[27]。MUFA主要由油酸构成,油酸是发酵肉产品中重要的风味前体物质,在加工过程中会生成一些羰基类风味物质,对发酵肉制品的风味产生影响。PUFA主要由亚油酸构成。亚油酸是人体不能合成的必需脂肪酸之一,具有降血脂、促进大脑发育等

表 5 半干型发酵驼肉干脂肪酸组成及含量(%)
Table 5 Composition and content of fatty acids of the Semi-dried fermented camel jerky (%)

项目	CK	Wh	Lpp	Wh-Lpp	P
丁酸 C4:0	0.08±0.06	0.11±0.08	0.09±0.04	0.09±0.06	0.590
癸酸 C10:0	0.03±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01	0.07±0.07	0.154
十一烷酸 C11:0	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.292
月桂酸 C12:0	0.07±0.02	0.08±0.02	-	0.06±0.03	0.672
十三烷酸 C13:0	0.01±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0.03±0.02	0.174
肉豆蔻酸 C14:0	0.37±0.24	0.55±0.44	0.68±0.31	0.63±0.63	0.474
十五烷酸 C15:0	0.66±0.07	0.76±0.05	0.71±0.07	0.79±0.10	0.107
棕榈酸 C16:0	14.68±0.74	15.49±1.02	14.95±1.20	15.93±1.79	0.312
十七烷酸 C17:0	1.11±0.10	1.24±0.25	1.29±0.35	1.32±0.37	0.443
硬脂酸 C18:0	17.25±0.61	15.83±0.91	15.97±0.22	15.61±1.19	0.078
二十烷酸 C20:0	0.18±0.03	0.15±0.02	0.14±0.01	0.13±0.03	0.104
二十一碳酸 C21:0	0.12±0.01	0.12±0.02	0.11±0.01	0.11±0.02	0.247
二十三碳酸 C23:0	15.85±1.57	14.64±2.28	15.04±1.85	14.05±2.70	0.394
二十四碳酸 C24:0	2.15±1.86	3.17±0.97	3.02±0.52	-	0.497
棕榈烯酸 C16:1	1.84±0.13	1.86±0.24	1.74±0.02	1.88±0.12	0.339
十七碳烯酸 C17:1	0.04±0.02	-	0.04±0.01	0.04±0.02	0.626
反式油酸 C18:1n9t	0.93±0.15	0.84±0.74	0.88±1.05	1.03±1.00	0.796
油酸 C18:1n9c	23.35±0.41	24.55±2.09	23.93±3.15	25.65±4.36	0.407
二十碳烯酸 C20:1	0.22±0.01	0.22±0.02	0.20±0.02	0.21±0.03	0.278
二十二碳烯酸 C22:1n9	0.06±0.03	0.06±0.04	0.08±0.01	-	0.501
亚油酸 C18:2n6c	17.92±0.69	18.16±1.91	17.92±2.94	17.84±2.98	0.879
γ -亚麻酸 C18:3n6	0.03±0.00	0.03±0.01	0.03±0.00	0.04±0.01	0.097
α -亚麻酸 C18:3n3	0.63±0.01	0.58±0.04	0.64±0.08	0.56±0.04	0.093
二十碳二烯酸 C20:2	0.23±0.02	0.26±0.01	0.20±0.04	0.23±0.06	0.085
二十碳三烯酸 C20:3n6	1.77±0.13	1.80±0.30	1.65±0.28	1.77±0.36	0.569
花生四烯酸 C20:4n6	0.09±0.11	0.18±0.04	0.18±0.01	0.18±0.05	0.198
二十二碳六烯酸 C22:6n3	0.49±0.06	0.53±0.07	0.50±0.12	0.56±0.09	0.436
SFA	52.68±1.06 ^b	51.14±1.02 ^b	52.06±0.71 ^b	48.84±1.28 ^a	0.016
MUFA	26.48±0.61	27.55±2.57	26.85±4.18	28.82±5.36	0.865
PUFA	20.93±0.81	21.23±2.11	21.01±3.46	21.17±3.55	0.696
PUFA/SFA	0.40	0.42	0.40	0.43	-

注: -表示该物质含量极低,未达到检出限。

作用^[28]。功能性脂肪酸是对人体有营养价值的多不饱和脂肪酸,按双键的位置可分为 n-3 和 n-6 型不饱和脂肪酸,例如有亚油酸、 α -亚麻酸、二十二碳六烯酸和花生四烯酸等。在本研究中,Wh-Lpp 组花生四烯酸和二十二碳六烯酸含量较高,具有更高的营养价值。PUFA/SFA 是评价肉制品营养质量的重要指标之一,一般来说 PUFA/SFA 含量为 0.4 或更高时表示肉制品营养价值越高^[29-30]。本研究中 4 组半干型发酵驼肉干的 PUFA/SFA 含量都在 0.4 及以上,Wh-Lpp 组和 Wh 组 PUFA/SFA 含量高于 0.4,表明这两组半干型发酵驼肉干优于膳食标准。综上,可以看出添加乳

清和商业发酵剂有利于半干型发酵驼肉干中 MUFA 的释放、增加 PUFA/SFA 的比例,对发酵驼肉干的风味起到重要作用。

3 结论

添加乳清和商业发酵剂可促使半干型发酵驼肉干中 pH、水分活度和水分含量显著降低($P<0.05$),降低肉干的硬度和咀嚼性;添加乳清和商业发酵剂可以使 EAA、NEAA 和 TAA 含量增加且 EAA/TAA 均在 0.4 以上,符合优质蛋白质的标准;同时可以使脂肪酸中的油酸、花生四

烯酸和二十二碳六烯酸等有益脂肪酸增加, MUFA 和 PUFA 含量增加且 PUFA/SFA 的比例有所提升。综合理化指标、基本营养成分、氨基酸和脂肪酸含量考虑, Wh-Lpp 组肉干水分含量较低、可以减少微生物的滋生,同时鲜味类和甜味类氨基酸的总和含量较高、可以增强肉干风味, PUFA/SFA 比值更高,营养更加均衡。

参考文献

- [1] 张瑾, 张培大, 陆东林. 骆驼的产肉性能和驼肉的营养价值[J]. 新疆畜牧业, 2021, 36(3): 19–22.
ZHANG J, ZHANG PD, LU DL. Meat production performance and nutritional value of camel meat [J]. Xinjiang Anim Husband, 2021, 36(3): 19–22.
- [2] 马欣欣. 阿拉善双峰驼肉的嫩化及风干肉的研制[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
MA XX. Research on Tenderization of Alashan bactrian camel meat and manufacture of its dried meat [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- [3] 杨丽, 杨洁, 陈钢粮, 等. 麻辣骆驼肉脯制品加工工艺优化[J]. 肉类研究, 2018, 32(11): 15–21.
YANG L, YANG J, CHEN GL, *et al.* Optimization of process parameters for the production of spicy camel meat jerky [J]. Meat Res, 2018, 32(11): 15–21.
- [4] 赵改名, 焦阳阳, 祝超智, 等. 发酵时间对半干型发酵牛肉干品质及蛋白质构象的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 45–51.
ZHAO GM, JIAO YY, ZHU CZ, *et al.* Effect of fermentation time on quality and protein conformation of semi-dried fermented beef jerky [J]. Food Sci, 2021, 42(20): 45–51.
- [5] 刘英丽, 杨梓妍, 万真, 等. 发酵剂对发酵香肠挥发性风味物质形成的作用及影响机制研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 284–296.
LIU YL, YANG ZY, WAN Z, *et al.* Progress in understanding the effect and mechanism of starter cultures on the formation of volatile flavor compounds in fermented sausage [J]. Food Sci, 2021, 42(11): 284–296.
- [6] 吴若菡, 尚昊, 颜旭, 等. 不同发酵剂对费力诺萨拉米品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6592–6598.
WU RH, SHANG H, YAN X, *et al.* Effects of different starter on the quality of Felino Salami [J]. J Food Saf Qual, 2022, 42(11): 284–296.
- [7] FLORES M, DURÁ MA, MARCO A, *et al.* Effect of *Debaryomyces* spp. on aroma formation and sensory quality of dry-fermented sausages [J]. Meat Sci, 2004, 68(3): 439–446.
- [8] 左上春, 穆盛东, 张浩, 等. 乳酸片球菌发酵猪肉干的条件优化研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(8): 68–73.
ZUO SC, MU SD, ZHANG H, *et al.* Research on fermentation conditions of dried pork with *Pediococcus acidilactici* [J]. China Cond, 2016, 41(8): 68–73.
- [9] 杨帆, 刘学勤. 乳清液对发酵沙芥理化指标及微生物变化的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(35): 159–161, 207.
YANG F, LIU XQ. Effects of milk serum on physical-chemical index and changes of microbiological characteristics during the pickling process of cornuted pugionium [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(35): 159–161, 207.
- [10] ZHAO L, JIN Y, MA C, *et al.* Physico-chemical characteristics and free fatty acid composition of dry fermented mutton sausages as affected by the use of various combinations of starter cultures and spices [J]. Meat Sci, 2011, 88(4): 761–766.
- [11] 贾娜, 马宏慧, 刘登勇, 等. 直投式发酵剂对发酵牛肉干品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 106–112.
JIA N, MA HH, LIU DY, *et al.* Effect of direct vat starter culture on quality of fermented beef jerky [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(12): 106–112.
- [12] 徐君强. 发酵剂与木瓜蛋白酶对发酵牛肉干品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
XU JQ. Effect of starter cultures and papain on the quality of fermented jerky [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- [13] 张喜才. 低盐腊肉的复合腌制剂配方研究[J]. 荆楚理工学院学报, 2015, 30(2): 25–28.
ZHANG XC. Study on the formulation of compound curing preparations for low-salt bacon [J]. J Jingchu Univ Technol, 2015, 30(2): 25–28.
- [14] 付丽, 张秀凤, 党美珠, 等. 低钠盐对牛肉丸加工品质的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(11): 32–37.
FU L, ZHANG XF, DANG MZ, *et al.* Effect of low-sodium salt on quality of beef meatballs [J]. Meat Res, 2017, 31(11): 32–37.
- [15] 马亚男, 孔维洲, 马露, 等. 发酵及添加鸡脂肪对鹿肉干营养特性和风味的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 60–69.
MA YN, KONG WZ, MA L, *et al.* Effect of fermentation and adding chicken fat on the nutritional properties and flavor of venison jerky [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(9): 60–69.
- [16] THANONKAEW A, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, *et al.* The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles [J]. Food Chem, 2006, 95(4): 591–599.
- [17] 兰沁洁. 乳酸菌和酵母菌协同发酵对羊肉香肠膻味脱除效果及品质影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2023.
LAN QJ. Effect of lactic acid bacteria and yeast co-fermentation on mutton sausage odour removal and quality [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2023.
- [18] 焦阳阳. 发酵对半干型牛肉干品质的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021.
JIAO YY. Effect of fermentation on quality of semi-dried beef jerky [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2021.
- [19] 李杨梅, 贺雅非, 任灿, 等. 四川白兔的氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(3): 217–223.
LI YM, HE ZF, REN C, *et al.* Analysis of amino acids composition in different ages of Sichuan white rabbit and their nutrition evaluation [J]. Food Ferment Ind, 2017, 43(3): 217–223.
- [20] 陈倩, 韩齐, 孔保华, 等. 乳酸菌对发酵肉制品中肌肉蛋白降解作用的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 279–284.
CHEN Q, HAN Q, KONG BH, *et al.* Role of lactic acid bacteria in protein degradation of fermented meat products: A review [J]. Food Sci, 2014,

- 35(9): 279–284.
- [21] 双全, 柰如嘎, 李秀丽, 等. 阿拉善双峰驼不同部位肌肉氨基酸的研究[J]. 中国草食动物科学, 2016, 36(4): 27–30.
SHUANG Q, NAI RG, LI XL, *et al.* Research on the muscular amino acid contents in different parts of alxa bactrian camel china herbivore science [J]. China Herbivore Sci, 2016, 36(4): 27–30.
- [22] 郝旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价[J]. 中国水产科学, 2005, (2): 211–215.
BING XW, CAI BY, WANG LP. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in Spinibarbu sinensis muscle [J]. J Fish Sci China, 2005, (2): 211–215.
- [23] WANG J, HOU J, ZHANG X, *et al.* Improving the flavor of fermented sausage by increasing its bacterial quality via inoculation with *Lactobacillus plantarum* MSZ2 and *Staphylococcus xylosus* YCC3 [J]. Foods, 2022, 11(5): 736.
- [24] BOATENG EF, YANG Z, ZHANG W. Effects of kiwifruit peel extract and its antioxidant potential on the quality characteristics of beef sausage [J]. Antioxidants, 2022, 11(8): 1441.
- [25] ESSID I, HASSOUNA M. Effect of inoculation of selected *Staphylococcus xylosus* and *Lactobacillus plantarum* strains on biochemical, microbiological and textural characteristics of a Tunisian dry fermented sausage [J]. Food Control, 2013, 32(2): 707–714.
- [26] MASAAKI T, TAKESHI U, KENJI O, *et al.* Genotype of stearoyl-CoA desaturase is associated with fatty acid composition in Japanese black cattle [J]. Mamm Genome, 2004, 15(2): 142–148.
- [27] 蒋湘辉, 王兴兵, 寇凌霄, 等. 鸭绿江上游和下游斑鲢肌肉常规营养成分及脂肪酸组成分析[J]. 渔业研究, 2023, 45(6): 569–576.
JIANG XH, WANG XB, KOU LX, *et al.* A comparative study on the nutrient and fatty acid composition in muscle of *Siniperca scherzeri*in upstream and downstream area of Yalu River [J]. J Fish Res, 2023, 45(6): 569–576.
- [28] 刘梦, 张顺亮, 臧明伍, 等. 基于非靶向代谢组学分析牛肉干法成熟过程代谢产物的变化[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 249–256.
LIU M, ZHANG SL, ZANG MW, *et al.* Non-targeted metabolomics analysis of metabolite changes in beef during dry aging [J]. Food Sci, 2023, 44(10): 249–256.
- [29] MAPIYE C, CHIMONYO M, DZAMA K, *et al.* Fatty acid composition of beef from Nguni steers supplemented with Acacia karroo leaf-meal [J]. J Food Compos Anal, 2011, 24(4-5): 523–528.
- [30] 韩云飞, 翟钰佳, 郭骏飞, 等. 复配发酵剂对羊肉发酵香肠脂肪氧化及脂肪酸组成的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 99–105.
HAN YF, ZHAI YJ, GUO JF, *et al.* Effects of a compounded starter on fat oxidation and fatty acid composition of mutton fermented sausages [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(11): 99–105.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



李 金, 硕士研究生, 主要研究方向为肉品科学与技术。

E-mail: Li569715921@163.com



格日勒图, 博士, 教授, 主要研究方向为肉类科学。

E-mail: bgerelt07@163.com