

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.06.005

可得然胶添加量对卤牛肉蒸煮得率及品质特性的影响

李远征^{1,2}, 马文慧¹, 袁方³, 赵海波⁴, 李明⁵, 陆瑞琪³, 刘苗苗¹, 张欢¹, 曹云刚^{1,2*}, 李侠^{2*}

(1. 陕西科技大学 食品科学与工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193; 3. 江苏一鸣生物股份有限公司, 江苏 泰兴 225400; 4. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 食品科学与工程学院, 山东 济南 250353; 5. 临沂金锣文瑞食品有限公司, 山东 临沂 276036)

摘要: 为解决卤牛肉在实际生产过程中肉汁损失、口感下滑等劣变问题, 研究不同添加量(0%、1.0%、2.0%、3.0%)的可得然胶对卤牛肉品质特性的影响。低场核磁(low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)分析表明, 可得然胶使卤牛肉中不易流动水含量显著提高($P<0.05$), 自由水含量降低, 使得蒸煮得率显著提高($P<0.05$), 当添加量为3.0%时, 蒸煮得率增加33.43%。质构分析显示, 可得然胶明显降低卤牛肉的硬度、咀嚼性及剪切力, 当添加量达到2.0%时, 剪切力降低29.31%。可得然胶添加量从0%增加到2.0%时, 卤牛肉切面逐渐顺滑、呈色均匀且具有诱人光泽, 切面亮度值提高12.69%, 总体可接受性评分最高。但当添加量继续增加至3.0%时, 卤牛肉切面呈现出大片的类似胶状的成分, 感官品质降低。此外, 可得然胶添加可有效抑制冷藏过程中卤牛肉的脂肪氧化, 且2.0%添加量时效果最佳。

关键词: 可得然胶; 卤牛肉; 蒸煮得率; 质构特性; 感官品质

Effects of Curdlan at Different Addition Levels on the Cooking Yield and Quality Characteristics of Spiced Beef

LI Yuanzheng^{1,2}, MA Wenhui¹, YUAN Fang³, ZHAO Haibo⁴, LI Ming⁵, LU Ruiqi³, LIU Miaomiao¹, ZHANG Huan¹, CAO Yungang^{1,2*}, LI Xia^{2*}

(1. School of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, Shaanxi, China; 2. Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Jiangsu Yiming Biological Technology Co., Ltd., Taixing 225400, Jiangsu, China; 4. School of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, Shandong, China; 5. Linyi Jinluo Win Ray Food Co., Ltd., Linyi 276036, Shandong, China)

Abstract: In view of the gravy loss and taste deterioration occurred during the production of spiced beef, the impacts of curdlan added at different levels (0%, 1.0%, 2.0%, and 3.0%) on the quality characteristics of the product were studied. The low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) analysis revealed an increase in immovable water content ($P<0.05$) and a decrease in free water content after the addition of curdlan, which resulted in a notable increase in the cooking yield ($P<0.05$). At an addition level of 3.0%, curdlan increased the cooking yield by 33.43%. The results of the texture analysis indicated that the addition of curdlan reduced the hardness, chewability, and shear force of the spiced beef ($P<0.05$). At an addition level of 2.0%, curdlan reduced the shear force by 29.31%. The spiced beef produced with the addition of curdlan at 0%–2.0% presented

基金项目: 陕西省自然科学基金面上项目(2023-JC-YB-146); 农业农村部农产品加工与贮藏重点实验室项目(S2022KFKT-07); 西安市科学技术局农业技术研发项目(22NYF057); 陕西科技大学&江苏一鸣生物股份有限公司“产学研”合作项目; 山东省重点研发计划项目(2022TZXD0021); 山东省企业技术创新项目(202261500511)

作者简介: 李远征(1998—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 酱卤肉制品绿色加工。

*通信作者: 曹云刚(1985—), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 蛋白质结构与功能及肉制品绿色加工; 李侠(1985—), 女, 副研究员, 硕士, 研究方向: 肉品科学。

a smooth and uniformly colored section with an attractive luster (evidenced by a 12.69% increase in the brightness value) and the highest score of overall acceptability. However, increasing the concentration of curdlan to 3.0% led to the formation of large jellylike components on the section and a significant decrease in the sensory quality. In addition, curdlan can inhibit the fat oxidation of spiced beef during the refrigeration process, demonstrating the best inhibitory effect at the addition level of 2.0%.

Key words: curdlan; spiced beef; cooking yield; texture characteristics; sensory quality

引文格式:

李远征, 马文慧, 袁方, 等. 可得然胶添加量对卤牛肉蒸煮得率及品质特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(6): 31-39.

LI Yuanzheng, MA Wenhui, YUAN Fang, et al. Effects of Curdlan at Different Addition Levels on the Cooking Yield and Quality Characteristics of Spiced Beef[J]. Food Research and Development, 2024, 45(6): 31-39.

我国西北地区盛产牛羊肉, 应运而生的各色美食亦调动着广大消费者的味蕾。牛肉不仅可以满足人们的口腹之欲, 更为重要的是其富含优质蛋白、必需氨基酸等多种营养成分, 且易被人体消化吸收^[1]。近年来, 便捷、多样且美味的食物深受消费者青睐, 市场对预制菜需求量急剧上升, 卤牛肉作为即食预制菜的一类, 味道可口、色泽鲜美诱人, 受到广泛关注^[2]。然而, 牛肉在高温卤制过程中通常会丧失大量肉汁, 导致其在得率、营养、感官品质等方面大打折扣, 严重影响产品市场开发与企业经济效益^[3]。近年来肉类科技工作者研究了多种方法(如干预饲料、宰后成熟、冷藏、超声波辅助腌制、注入或添加非肉类成分等)以改善肉及肉制品保水性, 提高产品的蒸煮得率^[4-7]。其中, 多糖类添加剂具有成本低廉、高效等优点, 现已广泛应用于肉制品品质的提升^[8-10]。

可得然胶(curdlan)由 Harada 等^[11]在粪产碱菌变种(*Alcaligenes faecalis* var)中首次被观察到。作为微生物胞外多糖的一类, 通常一个可得然胶分子以 300~500 个葡萄糖残基通过 β -1,3-糖苷键连接而成^[12]。因其天然绿色、安全及独特的凝胶特性, 现已广泛应用于面制品、乳制品、肉肠制品及肉糜制品^[13-16]。姜帅等^[17]向不同加水量的法兰克福香肠中添加 0.3% 可得然胶, 发现可得然胶可以在较高含水量下显著提升香肠的食用品质。进一步研究肌原纤维蛋白(myofibrillar protein, MP)与可得然胶复合凝胶的特性, 发现 MP 凝胶强度、保水能力和白度随可得然胶含量的增加而显著提高^[18]。范丽欣等^[19]在鱼糜中以预乳化形式添加 0.3%~0.4% 可得然胶, 显著改善了鱼糜产品的多汁性、白度值及凝胶特性。然而, 添加可得然胶对卤牛肉蒸煮得率、感官品质等方面的影响却鲜有报道。

因此, 本研究将不同质量分数的可得然胶添加于卤牛肉中, 探讨其对卤牛肉蒸煮得率、感官评分、质构

指标、水分分布及迁移的影响; 通过脂肪氧化试验初步探究可得然胶对卤牛肉冷藏过程中氧化稳定性的影响。通过综合评价确定卤牛肉生产过程中可得然胶的最佳添加量, 以期可得然胶在肉制品加工中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

秦川牛腱子肉、葱、姜、食盐、白砂糖、料酒、生抽: 市售; CG-B 型可得然胶: 江苏一鸣生物股份有限公司; 复合磷酸盐[焦磷酸钠: 三聚磷酸钠=1:1(质量比)]: 广西远长食品科技股份有限公司; 硫代巴比妥酸(thio-barbituric acid, TBA): 上海源叶生物科技有限公司; 三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA): 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

TA.XT Plus C 物性分析仪: 英国 Stable Micro System 公司; NMI20-040V-I 低场核磁共振分析仪: 苏州纽迈分析仪器股份有限公司; CM-5 分光色差仪: 日本柯尼卡美能达公司; HR/T20MM 立式高速冷冻离心机: 湖南赫西仪器装备有限公司; UV2900 紫外-可见分光光度计: 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; KA-6189A 真空腌制机: 深圳市瑞丰电器有限公司; HX-SR01 小型搅拌机: 奥克斯集团有限公司; C22-RT22E01 多功能电磁炉、WQC50A1P 电压力锅: 广东美的生活电器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 卤牛肉的制备

1.3.1.1 腌制液的制备

在 200 mL 冰水(4 °C)中混合 1.0% 食盐、0.4% 白砂糖、0.4% 复合磷酸盐、1.5% 料酒及 1.0% 生抽, 配成盐调料冰水溶液。分别将 0、10、20 g 及 30 g 可得然胶

均匀分散于上述盐调料冰水溶液中,使用小型搅拌机搅拌 15 min 至悬浮液无明显颗粒,获得最终用于注射的腌制液。每次重复试验前需提前配制腌制液。由于本试验将全部腌制液充分注入 1 kg 生牛肉,因而记录可得然胶添加量分别为 0%、1.0%、2.0% 及 3.0%。

1.3.1.2 卤牛肉的制备

新鲜牛腱子(秦川黄牛)修去可见脂肪、淋巴等杂质,切割成大小均匀、质量为 1 kg 左右的肉块并记录其准确质量。而后进行清水浸泡清洗,滤网静置沥干表面水分。

使用手持式盐水注射器及 3 mm 针头,在 0.22 MPa 的压力下将不同可得然胶含量的腌制液分别注入肉块中,注入孔横纵向间距保持 10 mm 左右,将注射腌制液后的牛肉样品置于真空滚揉机中,添加 100 mL 冰水后,间歇滚揉 1.5 h (翻滚 35 min, 间隔 10 min),真空度保持在 -0.08~-0.09 MPa,温度保持在 (4±1)°C。滚揉及腌制后的肉样放入 25 °C 清水锅中,在电磁炉蒸煮模式下进行预煮(100 °C, 15 min)。

将 2.5 L 水倒入电压力锅(直径 24 cm, 高 15 cm)中,陆续放入经预煮后的牛肉块、炖牛肉调料包、酱汁(生抽 20 g、老抽 10 g、料酒 20 g、食盐 3 g、冰糖 10 g),炖制 1 h。最后,将卤牛肉从锅中取出并冷却至室温,准确称重并记录,存放于保鲜盒并置于 4 °C 环境,用于进一步分析。

1.3.2 得率测定

准确称量并记录烹饪前生牛肉质量(m_1 , g)及烹饪后熟牛肉质量(m_2 , g),按公式(1)计算出成品得率(X , %)。

$$X = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.3 质构测定

将 4 组卤牛肉顺肌纤维方向切分成大小、形状相近的立方体肉块(约 2 cm×2 cm×2 cm),以备后续测定使用。

全质构分析(texture profile analysis, TPA):依据赵家艺等^[20]所描述的方法并略作修改,采用物性分析仪在室温(25 °C)进行测定,选择二次压缩模式(TPA)及 P/75 探头。分别测试探头力与立方体肉块主视切面肌纤维平行及垂直方向样品的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性及回复性。参数设置:测试速度及测前、测后速度均设定为 1 mm/s;压缩形变 50%;两次压缩之间停留时间为 5 s;触发力 5 g。每组样品平行测 5 次。

剪切力测定:采用物性分析仪在室温(25 °C)进行测定,选择 HDP/BS 探头。测试探头力与立方体肉块主视切面肌纤维垂直方向,记录样品的最大剪切力及剪切功值。参数设置为测中速率 1 mm/s,返回速度 10 mm/s,下压距离 30 mm,返回距离 30 mm,触

发力 5 g。每组样品平行测 5 次。

1.3.4 低场核磁共振测定

参考 Cheng 等^[21]的方法并略作修改,将 4 组样品切分成约 1 g 左右的肉块(1 cm×1 cm×2 cm),每次取一份肉样置入低场核磁共振分析仪装配的直径为 25 mm 的核磁管中,采用 Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) 脉冲序列进行测定。参数设置: $T_w=3\ 000\ ms$, $T_E=0.300\ ms$, $N_{ECH}=3\ 000$, $N_S=16$, $P_1=7.00\ \mu s$, $P_2=14.00\ \mu s$, $S_w=200\ kHz$, $R_{G1}=20\ dB$, $D_{RG1}=3$, $P_{RC}=1$ 。利用 Niumag Invert 软件对测试结果进行反演,迭代次数为 2×10^6 ,获得样品的横向弛豫时间(T_2)数值,反映卤牛肉中水分的分布情况。每组样品平行测 3 次。

1.3.5 成品截面拍照

将不同可得然胶添加量下的样品顺肌纤维方向切割成均匀片状,并进行拍照记录。

1.3.6 色度值测定

将 4 组卤牛肉顺肌纤维方向切分为立方体肉块(约 2 cm×2 cm×2 cm),样品应含卤牛肉表面及切面,使用分光色差仪测定样品表面及切面色度,记录其 L^* (亮度)、 a^* (红/绿度)及 b^* (黄/蓝度)值。测定前需使用标准白板校准分光色差仪。切面及表面取不同随机点进行测量,测量切面为平行于肌纤维方向的切面。

1.3.7 感官评定

将 4 组卤牛肉样品分别顺肌纤维方向切成厚度约为 3 mm 形状均匀的薄片,随机放置于编好符号的保鲜盒中。打分标准实行 7 分制。选定经过感官训练的 10 人(男女各 5 人)所组成的评定小组对样品进行外观、色泽、风味、口感及总体可接受性评价打分。品尝后需漱口,再进行后续品尝,评定分值及描述详见图 1。

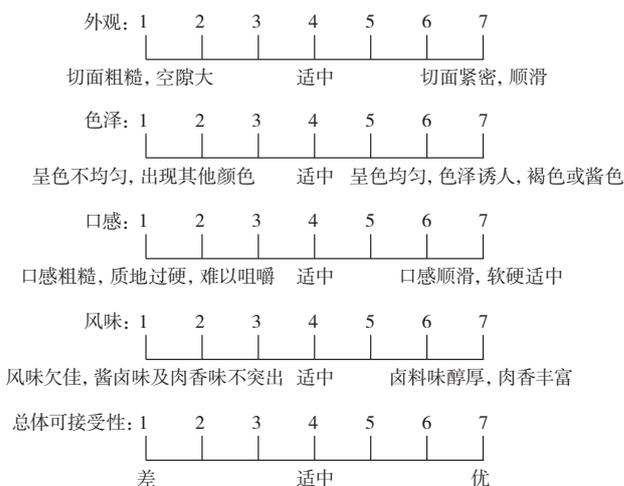


图 1 感官评定分值及各项指标的描述

Fig.1 Description of sensory evaluation scores and indicators

1.3.8 脂肪氧化值测定

将 4 组卤牛肉样品置于保鲜盒中 4 °C 冷藏,于 1、

3、5、7 d 取样,测定样品的硫代巴比妥酸反应物(thio-barbituric acid reactive substance, TBARs)值。

依据 Ahn 等^[22]方法并略作修改,称取约 2 g 肉沫(精确到 0.01),依次加入 1.5 mL 硫代巴比妥酸溶液及 8.5 mL 三氯乙酸溶液,混匀。100 °C 条件下水浴 30 min 后取出放入冰水浴冷却至室温。于通风橱中,取 5 mL 上清液,加入 5 mL 氯仿后离心(3 000 r/min, 5 min),而后取 3 mL 上清液加入 1.5 mL 石油醚再次离心(3 000 r/min, 5 min),吸取下层液体并于 523 nm 处测定吸光度。结果以丙二醛(malondialdehyde, MDA)当量(mg/kg)表示。试剂空白以 15 mmol/L 磷酸盐缓冲液代替样品溶液。TBARs 值(Y , mg/kg)按公式(2)计算。

$$Y = \frac{A}{W} \times 9.48 \quad (2)$$

式中: A 为扣除试剂空白后 532 nm 处的吸光度; W 为样品质量, g。

1.4 数据处理

采用 Excel 制表及 Prism 9 软件绘图。采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析,数据差异性分析采用单因素两两比较的 Duncan 模型($P < 0.05$ 表示差异显著),结果以平均值±标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 可得然胶添加量对卤牛肉蒸煮得率的影响

可得然胶添加量对卤牛肉蒸煮得率的影响见图 2。

表 1 可得然胶添加量对卤牛肉质构特性的影响(TPA 测试力与肌原纤维垂直)

Table 1 Effects of curdlan addition on the texture characteristics of spiced beef (TPA test force is perpendicular to myofibril)

可得然胶添加量/%	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g	回复性
0	18 458.06±94.99 ^a	0.64±0.06 ^a	0.72±0.01 ^a	11 062.86±883.15 ^a	0.34±0.01 ^a
1.0	15 017.52±131.07 ^b	0.64±0.09 ^a	0.62±0.03 ^b	5 729.39±385.29 ^b	0.30±0.01 ^a
2.0	12 005.40±62.94 ^c	0.65±0.06 ^a	0.62±0.03 ^b	4 883.18±629.33 ^b	0.30±0.01 ^a
3.0	11 822.62±147.43 ^c	0.69±0.03 ^a	0.65±0.01 ^b	5 343.73±234.25 ^b	0.32±0.03 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

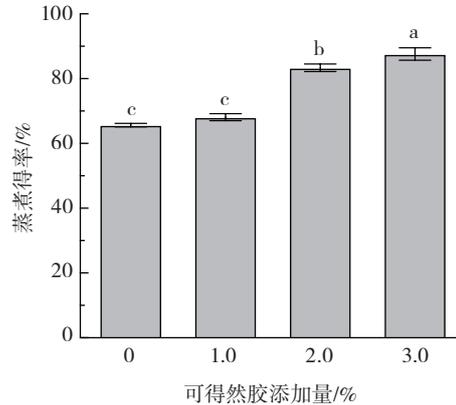
表 2 可得然胶添加量对卤牛肉质构特性的影响(TPA 测试力与肌原纤维平行)

Table 2 Effects of curdlan addition on the texture characteristics of spiced beef (TPA test force is parallel to myofibril)

可得然胶添加量/%	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g	回复性
0	11 022.03±326.76 ^a	0.64±0.02 ^a	0.63±0.02 ^a	4 401.18±95.01 ^a	0.26±0.02 ^{ab}
1.0	7 919.84±42.48 ^b	0.68±0.01 ^a	0.55±0.01 ^c	2 959.53±10.02 ^b	0.22±0.01 ^b
2.0	7 665.67±76.78 ^{bc}	0.64±0.02 ^a	0.59±0.01 ^b	2 743.46±166.38 ^b	0.24±0.02 ^{ab}
3.0	7 337.17±263.86 ^c	0.66±0.01 ^a	0.59±0.01 ^b	2 869.85±131.64 ^b	0.27±0.01 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由表 1 和表 2 可知,与对照组相比,可得然胶添加组卤牛肉的硬度、内聚性及咀嚼性均显著降低($P < 0.05$),弹性和回复性无明显变化。其中卤牛肉的硬度随可得然胶的添加而显著降低($P < 0.05$),当添加量达



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图 2 可得然胶添加量对卤牛肉蒸煮得率的影响

Fig.2 Effect of curdlan addition on the cooking yield of spiced beef

由图 2 可知,未添加可得然胶时,卤牛肉的蒸煮得率仅为 65.68%。添加 2.0% 及 3.0% 可得然胶可显著提升卤牛肉的蒸煮得率($P < 0.05$),且随可得然胶添加量的增加卤牛肉的蒸煮得率呈上升趋势。当可得然胶添加量为 3.0% 时,卤牛肉的蒸煮得率提高至 87.64%,与对照组相比,蒸煮得率提升了 33.43%。

2.2 可得然胶添加量对卤牛肉质构特性的影响

TPA 测试借助两次按压形变模拟牙齿咀嚼,同时获得多个指标,如硬度、弹性、内聚性、咀嚼性等,TPA 测试可综合反映肉制品的食用口感及总体可接受性^[23]。经探头施加力与肌纤维垂直及平行方向进行 TPA 测试,结果如表 1 及表 2 所示。

到 3.0% 时,TPA 测试力与肌纤维垂直及平行方向的硬度分别降低了 35.94% 和 33.43%。这一方面与可得然胶自身的强吸水性密不可分^[24],另一方面可能是由于牛肉中的肌球蛋白在一定离子强度作用下,以单体

形式分散于溶液中,在热诱导过程中,其与可得然胶分子相互作用(主要是分子间氢键作用),形成致密的三维网络结构,这种三维网络结构有别于纯肌球蛋白形成的凝胶网络,有利于凝胶体系对于水分子的进一步束缚^[25]。综上所述,可得然胶添加导致的三维凝胶网络结构变化及吸水性增强可能是引起卤牛肉硬度、内聚性及咀嚼性降低的内在原因。

一般情况下肉质品的嫩度与剪切力呈负相关,其与硬度、弹性及咀嚼性等一起综合反映肉及肉制品的质构特性^[26]。可得然胶添加量对卤牛肉剪切力及剪切功的影响见表3。

表3 可得然胶添加量对卤牛肉剪切力及剪切功的影响
Table 3 Effects of curdlan addition on the shear force and shear work of spiced beef

可得然胶添加量/%	最大剪切力/kg	剪切功/(kg·s)
0	10.78±0.30 ^a	156.95±22.17 ^a
1.0	9.36±0.69 ^b	118.76±2.35 ^b
2.0	7.62±0.44 ^c	108.57±5.43 ^b
3.0	10.15±0.02 ^{ab}	123.47±1.82 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表3可知,可得然胶的添加降低了卤牛肉的最大剪切力及剪切功,当可得然胶添加量从0%增加到2.0%时,卤牛肉的剪切力及剪切功降低至最小值,分别降低了29.31%及30.83%。这说明2.0%的可得然胶可以明显提升卤牛肉的嫩度,此添加量下卤牛肉的咀嚼性也最低(表1和表2)。但继续添加可得然胶至3.0%时,卤牛肉的剪切力及剪切功反而增加。这可能是由于过量可得然胶于卤牛肉中产生自聚集,从而对卤牛肉嫩度产生负面影响^[27]。

2.3 可得然胶添加量对卤牛肉水分分布的影响

旋转-自旋弛豫时间 T_2 可反映肌肉结构变化、肉中水分迁移速率及水分分布状态信息^[21,28]。图3显示了各可得然胶添加量对卤牛肉 T_2 图谱的影响。

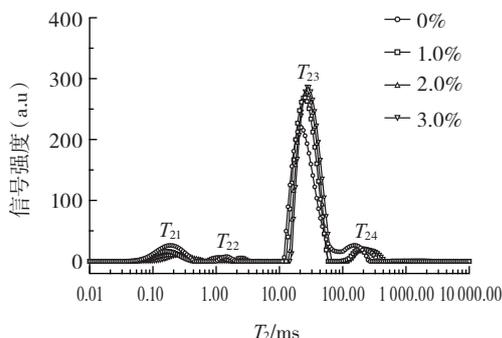


图3 可得然胶添加量对卤牛肉 T_2 图谱的影响

Fig.3 Effects of curdlan addition on the T_2 curve of spiced beef

由图3可知,不同可得然胶添加量的卤牛肉横向

弛豫时间图均呈现4个氢质子峰,分别代表肉制品中4种水分存在状态。涵盖强结合水 T_{21} (0.1~1 ms)、弱结合水 T_{22} (1~10 ms)、不易流动水 T_{23} (10~100 ms)及自由水 T_{24} (100~1 000 ms)。

表4为各可得然胶添加量对卤牛肉横向弛豫时间 T_2 的影响。

表4 可得然胶添加量对卤牛肉中LF-NMR横向弛豫时间 T_2 的影响

Table 4 Effects of curdlan addition on LF-NMR transverse relaxation time T_2 in spiced beef

可得然胶添加量/%	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms	T_{24}/ms
0	0.19±0.01 ^b	1.48±0.10 ^b	22.75±0.92 ^b	165.08±7.00 ^b
1.0	0.17±0.01 ^b	1.36±0.21 ^b	23.85±0.66 ^b	172.03±10.00 ^b
2.0	0.20±0.01 ^{ab}	1.26±0.05 ^b	26.23±0.98 ^a	186.89±7.40 ^{ab}
3.0	0.28±0.07 ^a	2.64±0.69 ^a	27.36±0.01 ^a	224.90±9.11 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表4可知,可得然胶的添加使卤牛肉的 T_2 弛豫时间明显右移,说明卤牛肉中不易流动水和自由水含量的增加。这也是可得然胶添加使卤牛肉最大剪切力及剪切功降低,嫩度增加的原因(表3),尤其是当可得然胶添加量达到3.0%时,这一现象尤为明显。范丽欣等^[19]在探究亲水胶体对鱼糜凝胶水分迁移中发现随添加量的增加,凝胶中水分终呈现向快弛豫方向移动。

T_2 弛豫反演图谱中相应峰面积与总面积比(A_{2i})可表示与之对应水分(强结合水 A_{21} 、弱结合水 A_{22} 、不易流动水 A_{23} 以及自由水 A_{24})的相对含量^[20]。不易流动水通常存在于肌原纤维之间,是反映肉制品持水性好坏的重要因素^[29]。表5及图4反映了可得然胶添加对卤牛肉横向弛豫峰面积比例的影响。

表5 可得然胶添加量对卤牛肉中LF-NMR横向弛豫峰面积比例的影响

Table 5 Effects of curdlan addition on the proportion of LF-NMR transverse relaxation peak area in spiced beef

可得然胶添加量/%	$A_{21}/%$	$A_{22}/%$	$A_{23}/%$	$A_{24}/%$
0	8.68±0.49 ^a	1.27±0.02 ^a	80.28±0.89 ^d	9.77±1.97 ^a
1.0	6.46±0.48 ^{ab}	1.32±0.34 ^a	85.64±0.69 ^c	6.58±0.99 ^b
2.0	5.79±0.23 ^{bc}	1.23±0.51 ^a	88.58±0.70 ^b	4.40±0.85 ^b
3.0	3.91±0.80 ^c	0.83±0.15 ^a	90.29±0.38 ^a	4.97±0.88 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表5和图4可知, A_{23} 是存在于卤牛肉的主要水分形态,在所有样品中相对含量占比均达80%以上。随着可得然胶添加量的增加, A_{23} 峰面积显著提升($P<0.05$), A_{24} 峰面积明显降低,说明可得然胶使卤牛肉中不易流动水含量明显提高,自由水含量明显降低。这

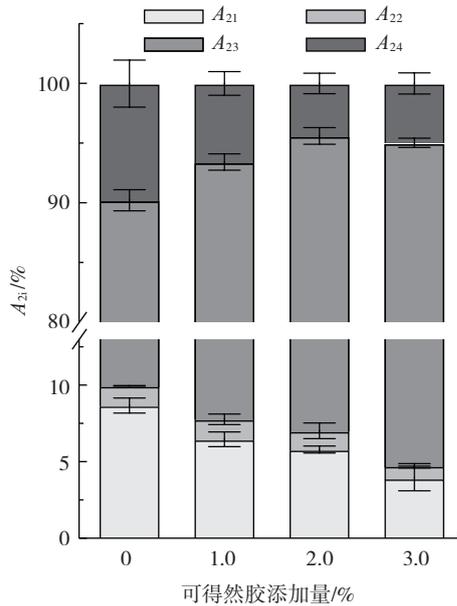


图4 可得然胶添加量对卤牛肉不同状态水分相对含量的影响
Fig.4 Effects of curdlan addition on the relative moisture content of spiced beef in different states

也是卤牛肉蒸煮得率(图2)及嫩度(表3)明显提高的主要原因。当添加量达到3.0%时,不易流动水含量增加了12.47%,自由水含量降低了49.13%。主要是由于可得然胶分散液经高速斩拌发生溶胀,再经热加工处理后,肉蛋白-可得然胶混合凝胶氢键作用的增强及二硫键的生成使三维网络结构更加均匀而紧凑,促使更多自由水向不易流动水转变^[18,25]。

2.4 可得然胶添加量对卤牛肉横截面表象的影响

为从直观角度反映可得然胶添加对卤牛肉切面改善效果,对各可得然胶添加量卤牛肉片进行拍摄,结果如图5所示。

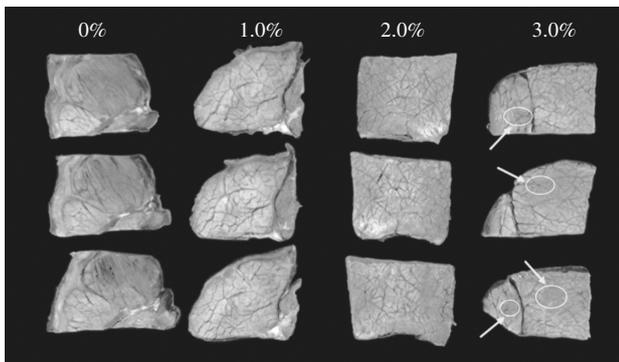


图5 可得然胶添加量对卤牛肉截面的影响
Fig.5 Effects of curdlan addition on the section of spiced beef

由图5可知,相较于对照组而言,腌制液中添加可得然胶明显改善了卤牛肉切面纹路,使其更富光泽且激发食欲。可得然胶添加量从0%增加到2.0%时,卤牛肉切面逐渐顺滑、呈色均匀且具有诱人光泽,更易调动品尝者味蕾,此时蒸煮得率也显著增大(图2)。而

添加量进一步增加至3.0%时,卤牛肉切面呈现出大片的类似胶状的成分(图5箭头所示),这是由于过高的添加量使得可得然胶自聚集。这与2.2质构分析结果相呼应。

2.5 可得然胶添加量对卤牛肉色度值的影响

色泽是影响消费者购买肉及肉制品的重要感官指标之一。不同可得然胶添加量对卤牛肉切面及表面色度值(L^* 、 a^* 、 b^*)的影响如表6及表7所示。

表6 可得然胶添加量对卤牛肉切面色度值的影响

Table 6 Effects of curdlan addition on the color parameters of spiced beef section

可得然胶添加量/%	切面色度值		
	L^*	a^*	b^*
0	47.03±0.01 ^d	5.65±0.58 ^a	16.60±0.46 ^a
1.0	51.92±0.29 ^b	5.34±0.16 ^{ab}	16.88±0.88 ^a
2.0	53.00±0.69 ^a	4.76±0.82 ^{bc}	16.73±0.42 ^a
3.0	49.90±0.65 ^c	4.43±0.20 ^c	15.74±0.45 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表7 可得然胶添加量对卤牛肉表面色度值的影响

Table 7 Effects of curdlan addition on the color parameters of spiced beef surface

可得然胶添加量/%	表面色度值		
	L^*	a^*	b^*
0	30.17±0.46 ^c	11.52±0.67 ^a	20.55±0.88 ^a
1.0	31.54±0.71 ^b	10.61±0.53 ^a	20.26±0.76 ^a
2.0	33.63±0.90 ^a	11.51±0.31 ^a	19.63±0.74 ^a
3.0	34.37±0.41 ^a	11.20±0.33 ^a	19.27±0.85 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表6和表7可知,与对照组相比,随着可得然胶添加量的增加,卤牛肉切面亮度值和表面亮度值(L^* 值)均明显增大。Chuah等^[30]认为可得然胶自身螺旋结构具有一定的旋光性,其晶体结构中存有大量氢键,可吸收大量水分,因此能够提升肉制品的色泽品质。另一方面,在热诱导凝胶过程中,可得然胶可以与肉蛋白相互作用形成致密的三维网络结构提升肉制品中不易流动水的含量(表5,图4),使得反射光的效果愈好,从而明显提高亮度值^[25]。

红度值 a^* 与肌肉组织中酶促反应、肌红蛋白含量及其所含铁离子的化学状态密切相关^[31]。添加1.0%可得然胶卤牛肉的切面红度值与对照组相比差异不显著($P>0.05$),进一步添加可得然胶,卤牛肉的切面红度值与对照组相比显著降低($P<0.05$),这可能是由于混有可得然胶的腌制液氧气分压较低,不利于肌红蛋白生成氧合肌红蛋白,致使卤牛肉切面红度值降低^[32]。另一方面是腌制液中混有酱料,且腌制液的黏度值随可得然胶添加量的增加有所上升,在滚揉及煮制过程

中,更多的酱料留存于肌肉组织中,从而降低了红度值。可得然胶添加对卤牛肉的表面红度值 a^* 、切面及表面黄度值 b^* 均无显著影响。

2.6 可得然胶添加量对卤牛肉感官品质的影响

分别从外观、风味、色泽、口感及总体可接受性5个方面对卤牛肉进行感官评定,结果如图6所示。

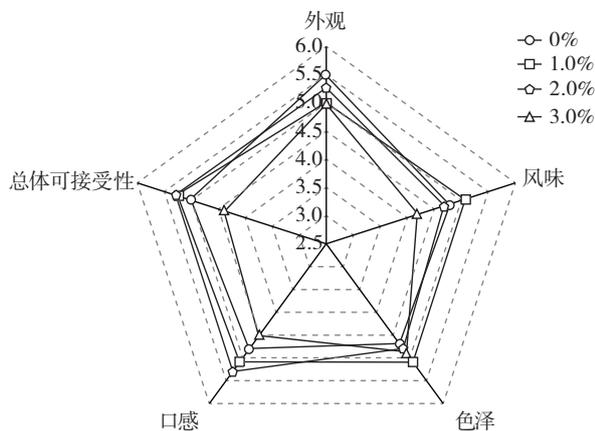


图6 可得然胶添加量对卤牛肉感官评定结果的影响

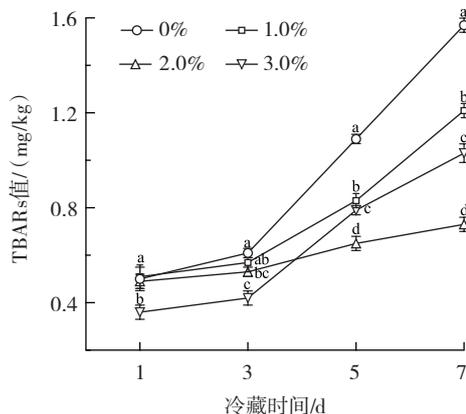
Fig.6 Effects of curdlan addition on the sensory evaluation results of spiced beef

由图6可知,可得然胶添加量 $\leq 2.0\%$ 时明显改善了卤牛肉的口感,但当添加量增加到3.0%时,卤牛肉的口感分值最低,进一步说明适量的可得然胶对卤牛肉质地具嫩化作用,但过量可得然胶添加会导致卤牛肉口感劣变。可得然胶的添加对卤牛肉色泽起到改善作用,这与色差分析的结果基本一致。在风味评分中,可得然胶添加量 $\leq 2.0\%$ 时评分较高,这可能是由于可得然胶与肉蛋白交联形成混合凝胶更加有利于肉汁及风味物质的保持^[25,33]。但当可得然胶添加量增加到3.0%时,卤牛肉风味明显变差。总体而言,添加2.0%可得然胶的卤牛肉与对照组外表分值相近,且在口感、风味、色泽中均获得较佳评分,因此总体可接受性评分最佳。

2.7 可得然胶添加量对冷藏过程中卤牛肉脂肪氧化的影响

硫代巴比妥酸试验是针对TBA及丙二醛的还原反应,可表示动物性油脂不饱和脂肪酸氧化分解产物的多少,以反映肉制品在贮藏期品质的好坏^[34]。一般认为TBARs值超过1 mg/kg为变质肉^[35]。不同可得然胶添加量卤牛肉冷藏期TBARs值如图7所示。

由图7可知,随冷藏时间的延长,各处理组卤牛肉的TBARs值均有所增加,且冷藏3 d后TBARs值增速明显增加,说明冷藏3 d后脂质氧化速率增加明显。添加可得然胶有效抑制了卤牛肉的脂质氧化进程,冷藏5 d时对照组的TBARs值为1.09 mg/kg,高于1 mg/kg,已成为变质肉,而可得然胶添加组的TBARs值为



不同小写字母表示差异显著, ($P < 0.05$)。

图7 冷藏过程中可得然胶添加量对卤牛肉TBARs值的影响
Fig.7 Effects of curdlan addition on the TBARs of spiced beef in refrigeration

0.62~0.86 mg/kg,且添加2.0%可得然胶的卤牛肉的TBARs值最低。在冷藏第7天时,除添加2.0%可得然胶的卤牛肉外,其余各组卤牛肉的TBARs值均高于1 mg/kg,已为变质肉。可得然胶对卤牛肉贮藏过程中脂肪氧化的抑制作用主要在于:(1)在pH值为3~7时,可得然胶对活性自由基具有高效的清除能力及抗氧化功效^[36];(2)可得然胶-肉蛋白形成的致密三维凝胶网络结构降低了自由基对脂肪的氧化攻击^[37]。

当可得然胶添加量为2.0%时,在7 d贮藏期内,TBARs值增长速率缓慢且处于较低范围,但当卤牛肉中可得然胶添加量增加至3.0%时,TBARs值增长速率不减反增。这可能是由于过量可得然胶的存在导致自身过度聚集,破坏了可得然胶-肉蛋白凝胶网膜的形成,致使脂质氧化进程有所增加^[38-39]。

3 结论

可得然胶添加显著提高了卤牛肉中不易流动水的含量,降低了自由水的含量,使卤牛肉的蒸煮得率显著升高,硬度、咀嚼性及剪切力明显降低。适量可得然胶的添加还能有效改善卤牛肉的切面、色泽、风味、口感等感官品质,有效抑制脂肪氧化进程、延长货架期。整体而言,添加2.0%可得然胶可以全面提升卤牛肉的品质,但过量可得然胶的添加(3.0%)会使卤牛肉切面出现大片的类似胶状的成分,导致感官品质降低。因此,在卤肉制品加工过程中添加适量的可得然胶可以全面提升产品品质、提高得率并延长货架期。然而,关于可得然胶与肉蛋白相互作用机制及其对肉蛋白凝胶体外消化率和消化产物特性的影响需要进一步研究。

参考文献:

- [1] ZHOU H L, HU Y Y, TAN Y B, et al. Digestibility and gastrointestinal fate of meat versus plant-based meat analogs: An *in vitro* comparison[J]. Food Chemistry, 2021, 364: 130439.

- [2] 王卫, 张锐, 张佳敏, 等. 预制菜及其研究现状、存在问题和展望[J]. 肉类研究, 2022, 36(9): 37-42.
WANG Wei, ZHANG Rui, ZHANG Jiamin, et al. Status quo, problems and future prospects of prepared dishes[J]. Meat Research, 2022, 36(9): 37-42.
- [3] ZHOU Y J, WANG X S, CHEN Y, et al. Effects of different paprikas on the quality characteristics and volatile flavor components of spiced beef[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(4): e15353.
- [4] BIESEK J, BANASZAK M, GRABOWICZ M, et al. Production efficiency and utility features of broiler ducks fed with feed thinned with wheat grain[J]. Animals, 2022, 12(23): 3427.
- [5] WANG H P, GAO Z W, GUO X Y, et al. Changes in textural quality and water retention of spiced beef under ultrasound-assisted sous-vide cooking and its possible mechanisms[J]. Foods, 2022, 11(15): 2251.
- [6] ZHANG H D, CAO Y G, DONG X L, et al. Effect of different post-mortem ageing conditions on physicochemical properties, structure and water-holding capacity of pork[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2023, 58(3): 1662-1672.
- [7] 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.
- [8] THANGAVELU K P, KERRY J P, TIWARI B K, et al. Novel processing technologies and ingredient strategies for the reduction of phosphate additives in processed meat[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 94: 43-53.
- [9] XIONG Y L. Inhibition of hazardous compound formation in muscle foods by antioxidative phytophenols[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2017, 1398(1): 37-46.
- [10] 李保玲, 李颖, 刘苗苗, 等. 石榴皮提取物与焦磷酸钠复配对猪肉饼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 123-129.
LI Baoling, LI Ying, LIU Miaomiao, et al. Effect of pomegranate peel extract combined with sodium pyrophosphate on the quality of pork patties[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 123-129.
- [11] HARADA T, FUJIMORI K, HIROSE S, et al. Growth and β -glucan 10C3K production by a mutant of *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes* in defined medium[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1966, 30(8): 764-769.
- [12] YUAN M, FU G, SUN Y M, et al. Biosynthesis and applications of curdlan[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 273: 118597.
- [13] CHEN J X, DENG T Y, WANG C, et al. Effect of hydrocolloids on gel properties and protein secondary structure of silver carp surimi[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(5): 2252-2260.
- [14] JIANG S, CAO C A, XIA X F, et al. Enhancement of the textural and gel properties of frankfurters by adding thermo-reversible or thermo-irreversible curdlan gels[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(5): 1068-1077.
- [15] VERMA D K, NIAMAH A K, PATEL A R, et al. Chemistry and microbial sources of curdlan with potential application and safety regulations as prebiotic in food and health[J]. Food Research International, 2020, 133: 109136.
- [16] 伏佳静, 马珂莹, 蒲华寅, 等. 可得然胶改善凉皮冷藏保存品质的机理研究[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(11): 90-97.
FU Jiajing, MA Keying, PU Huayin, et al. Mechanism of curdlan to improve liangpi quality during refrigeration[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2022, 41(11): 90-97.
- [17] 姜帅, 陈益春, 曹传爱, 等. 可得然胶和加水量对法兰克福香肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 57-66.
JIANG Shuai, CHEN Yichun, CAO Chuan'ai, et al. Effect of curdlan and water addition on quality characteristics of frankfurters[J]. Food Science, 2018, 39(14): 57-66.
- [18] JIANG S, ZHAO S C, JIA X W, et al. Thermal gelling properties and structural properties of myofibrillar protein including thermo-reversible and thermo-irreversible curdlan gels[J]. Food Chemistry, 2020, 311: 126018.
- [19] 范丽欣, 阮东娜, 刘慈坤, 等. 亲水胶体对包心鱼丸冻融后理化品质及汤汁损失的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 251-258.
FAN Lixin, RUAN Dongna, LIU Cikun, et al. Effects of hydrophilic colloid on physicochemical quality and juiciness loss of stuffed fish balls as affected by freeze-thaw cycles[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(3): 251-258.
- [20] 赵家艺, 马梦斌, 李亚蕾, 等. 加热温度对酱卤牛肉肉质构特性及水分分布的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(7): 18-21.
ZHAO Jiayi, MA Mengbin, LI Yalei, et al. Effect of reheating temperature on texture properties and moisture distribution of sauced beef[J]. Meat Research, 2020, 34(7): 18-21.
- [21] 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.
- [22] AHN D U, OLSON D G, JO C, et al. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties[J]. Meat Science, 1998, 49(1): 27-39.
- [23] PEMATILLEKE N, KAUR M, ADHIKARI B, et al. Relationship between instrumental and sensory texture profile of beef semitendinosus muscles with different textures[J]. Journal of Texture Studies, 2022, 53(2): 232-241.
- [24] CAI Z X, ZHANG H B. Recent progress on curdlan provided by functionalization strategies[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 68: 128-135.
- [25] LI Q R, WANG P S, MIAO S, et al. Curdlan enhances the structure of myosin gel model[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(6): 2123-2130.
- [26] BOTINESTEAN C, HOSSAIN M, MULLEN A M, et al. The influence of the interaction of sous-vide cooking time and papain concentration on tenderness and technological characteristics of meat products[J]. Meat Science, 2021, 177: 108491.
- [27] 陈道春, 陆志娟, 齐自元. 预处理可得然胶对速冻牛肉饼食用品质的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(9): 88-93.
CHEN Daochun, LU Zhijuan, QI Ziyuan. Effect of pretreated curdlan on the eating quality of quick-frozen beef patty[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(9): 88-93.
- [28] PAN N, DONG C H, DU X, et al. Effect of freeze-thaw cycles on the quality of quick-frozen pork patty with different fat content by consumer assessment and instrument-based detection[J]. Meat Science, 2021, 172: 108313.
- [29] GEDARAWATTE S T, RAVENSDALE J T, JOHNS M L, et al. Effectiveness of gelatine and chitosan spray coating for extending shelf life of vacuum-packaged beef[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(8): 4026-4037.
- [30] CHUAH C T, SARKO A, DESLANDES Y, et al. Packing analysis of carbohydrates and polysaccharides. Part 14. Triple-helical crystalline structure of curdlan and paramylon hydrates[J]. Macromolecules, 1983, 16(8): 1375-1382.
- [31] 朱宏星, 孙冲, 王道营, 等. 肌红蛋白理化性质及肉色劣变影响

- 因素研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(6): 55-63.
- ZHU Hongxing, SUN Chong, WANG Daoying, et al. Progress in the physicochemical properties of myoglobin and factors influencing meat color stability[J]. Meat Research, 2019, 33(6): 55-63.
- [32] 贾娜, 李博文, 孔保华. 盐水注射及食用胶对酱牛肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 96-99.
- JIA Na, LI Bowen, KONG Baohua. Effect of the brine injection and edible gums on the quality of marinated beef[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(3): 96-99.
- [33] 周婷婷, 宫金华, 杨雯, 等. 肉桂油对蛋清蛋白/可得然胶凝胶理化特性及释放肉桂醛性能的影响[J]. 食品科学技术学报, 2023, 41(4): 82-93.
- ZHOU Tingting, GONG Jinhua, YANG Wen, et al. Effects of cinnamon oil on physicochemical properties of egg white protein/curdlan gels and release behaviors of cinnamaldehyde[J]. Journal of Food Science and Technology, 2023, 41(4): 82-93.
- [34] ZHANG Y M, HOLMAN B W B, PONNAMPALAM E N, et al. Understanding beef flavour and overall liking traits using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)[J]. Meat Science, 2019, 149: 114-119.
- [35] YANG X D, ZHANG S S, LEI Y H, et al. Preservation of stewed beef chunks by using calcium propionate and tea polyphenols[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 176: 114491.
- [36] KISHK Y F M, AL-SAYED H M A. Free-radical scavenging and antioxidative activities of some polysaccharides in emulsions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(2): 270-277.
- [37] ABBASI E, AMINI SARTESHNIZI R, AHMADI GAVLIGHI H, et al. Effect of partial replacement of fat with added water and tragacanth gum (*Astragalus gossypinus* and *Astragalus compactus*) on the physicochemical, texture, oxidative stability, and sensory property of reduced fat emulsion type sausage[J]. Meat Science, 2019, 147: 135-143.
- [38] TAKAHASHI F, HARADA T, KOREEDA A, et al. Structure of curdlan that is resistant to (1→3)β-D-glucanase[J]. Carbohydrate Polymers, 1986, 6(6): 407-421.
- [39] 于晶超, 赵冰, 王守伟, 等. 可得然胶对肌原纤维蛋白理化和凝胶性质的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 27-38.
- YU Jingchao, ZHAO Bing, WANG Shouwei, et al. Effect of curdlan on the physicochemical and gel properties of myofibrillar protein [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(3): 27-38.

加工编辑:王雪

收稿日期:2023-08-07

(上接第8页)

- [32] 马蕊. 怀山药产地加工工艺及化学成分积累规律研究[D]. 郑州: 河南中医药大学, 2018.
- MA Rui. Study on processing technology and chemical composition accumulation law of *Dioscorea opposita*[D]. Zhengzhou: Henan University of Chinese Medicine, 2018.
- [33] HUNYADI A, MARTINS A, HSIEH T J, et al. Chlorogenic acid and rutin play a major role in the *in vivo* anti-diabetic activity of *Morus alba* leaf extract on type II diabetic rats[J]. PLoS One, 2012, 7(11): e50619.
- [34] LI X J, ZHANG M, LU Y, et al. Metabolic engineering of *Bacillus amyloliquefaciens* for efficient production of α-glucosidase inhibitor 1-deoxynojirimycin[J]. Synthetic and Systems Biotechnology, 2023, 8(3): 378-385.
- [35] LI Y G, JI D F, ZHONG S, et al. Hybrid of 1-deoxynojirimycin and polysaccharide from mulberry leaves treat diabetes mellitus by activating PDX-1/insulin-1 signaling pathway and regulating the expression of glucokinase, phosphoenolpyruvate carboxykinase and glucose-6-phosphatase in alloxan-induced diabetic mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 134(3): 961-970.
- [36] 赵国华, 李志孝, 陈宗道. 山药多糖 RDPS-I 组分的纯化及理化性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(9): 1-4.
- ZHAO Guohua, LI Zhixiao, CHEN Zongdao. Purification and physico-chemical properties analysis of Chinese yam polysaccharides friction RDPS-I[J]. Food and Fermentation Industries, 2002, 28(9): 1-4.
- [37] ZHANG L, BAI B, LIU X H, et al. α-glucosidase inhibitors from Chinese yam (*Dioscorea opposita* thunb.)[J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 203-206.
- [38] FAN Y J, HE Q Y, LUO A S, et al. Characterization and antihyperglycemic activity of a polysaccharide from *Dioscorea opposita* Thunb roots [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(3): 6391-6401.
- [39] WANG Q Q, JIANG C H, FANG S Z, et al. Antihyperglycemic, antihyperlipidemic and antioxidant effects of ethanol and aqueous extracts of *Cyclocarya paliurus* leaves in type 2 diabetic rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 150(3): 1119-1127.
- [40] 李婷婷, 吴彩娥, 方升佐, 等. 青钱柳冲剂对糖尿病小鼠的降血糖功效[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 287-290.
- LI Tingting, WU Caie, FANG Shengzuo, et al. Antidiabetic effect of traditional Chinese medicinal *Cyclocarya paliurus* granules in diabetic mice[J]. Food Science, 2012, 33(15): 287-290.

责任编辑:冯娜

收稿日期:2023-06-05