

不同还原糖对鲢鱼肉糜凝胶品质的影响

刘俊雅^{1,2}, 施文正², 朱学伸^{1,*}

(1.江苏第二师范学院生命科学与化学化工学院, 江苏省生物功能分子重点建设实验室, 江苏 南京 211200;
2.上海海洋大学食品学院, 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 鲢鱼蛋白质凝胶性差、鱼腥味重是限制其精深加工的主要原因。为了探究糖基化对鲢鱼肉糜凝胶色泽、质构及风味等的影响, 选取葡萄糖、低聚异麦芽糖、葡聚糖、*L*-阿拉伯糖和木糖作为还原糖。利用紫外分光光度计、色差仪、pH计、质构仪和感官评价测定样品的接枝度、色泽、pH值、质构和风味变化。结果表明: 添加*L*-阿拉伯糖和木糖的鲢鱼肉糜凝胶的接枝度高达 $(58.24 \pm 0.62)\%$ 和 $(61.89 \pm 2.06)\%$, 与未加糖的对照组相比, 2组样品的pH值显著下降($P < 0.05$), 褐变和质构指标显著增加($P < 0.05$); 定量描述分析发现, 糖基化可以降低鲢鱼肉糜凝胶的鱼腥味, 增加肉香味、烤味和烧焦味; 喜好度评价表明, 要控制接枝度为44.85%~61.89%, 才能获得整体可接受度良好的产品。因此, *L*-阿拉伯糖和木糖是2种较好的还原糖基, 可以用于增强鲢鱼肉糜凝胶的质构和香气。

关键词: 鲢鱼肉糜; 糖基化; 质构; 风味; 感官评估

Effects of Different Reducing Sugars on Gel Quality of Silver Carp Surimi

LIU Junya^{1,2}, SHI Wenzheng², ZHU Xueshen^{1,*}

(1.Jiangsu Key Laboratory of Biofunctional Molecule, School of Life Sciences and Chemical Engineering, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 211200, China; 2.Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Product Processing & Preservation, College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Soft texture and intense fishy smell are the major factors limiting the deep processing of silver carp. In this study, different reducing sugars (glucose, isomaltoligosaccharide, dextran, *L*-arabinose, and xylose) were used to investigate the effect of glycation on the color, texture, and flavor of silver carp surimi gel. The degree of grafting, color, pH value, texture, and flavor were measured by using a spectrophotometer, a colorimeter, a pH meter, a texture analyzer, and sensory evaluation. The results showed that the degree of grafting of silver carp surimi gels with *L*-arabinose and xylose was $(58.24 \pm 0.62)\%$ and $(61.89 \pm 2.06)\%$, respectively. Compared with the unsweetened control group, the pH values of the two samples decreased significantly ($P < 0.05$), and the browning degree and texture properties increased significantly ($P < 0.05$). Quantitative descriptive analysis showed that glycation reduced the fishy smell of silver carp surimi gel and increased the meaty, roasted and burnt smell. Sensory evaluation showed that when the degree of grafting was in the range of 44.85%–61.89%, good overall acceptability was obtained. These findings showed that *L*-arabinose and xylose can be used as good carbonyl sources to enhance the texture and aroma of silver carp surimi gel.

Keywords: silver carp surimi; glycation; texture; flavor; sensory evaluation

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20221025-142

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2023) 02-0006-06

引文格式:

刘俊雅, 施文正, 朱学伸. 不同还原糖对鲢鱼肉糜凝胶品质的影响[J]. 肉类研究, 2023, 37(2): 6-11. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20221025-142. <http://www.rlyj.net.cn>

LIU Junya, SHI Wenzheng, ZHU Xueshen. Effects of different reducing sugars on gel quality of silver carp surimi[J]. Meat Research, 2023, 37(2): 6-11. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20221025-142. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2022-10-25

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2019YFD0902003)

第一作者简介: 刘俊雅 (1991—) (ORCID: 0000-0001-6651-2509), 女, 讲师, 博士, 研究方向为水产品加工与贮藏。

E-mail: liujunya1226@163.com

*通信作者简介: 朱学伸 (1984—) (ORCID: 0000-0002-9162-4657), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品科学。

E-mail: xueshen_zhu@163.com

鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 是我国价格便宜、产量仅次于草鱼的一种大宗淡水鱼, 鲢鱼除了作为活鱼出售, 主要加工成冷冻鱼糜和鱼糜制品。但是, 相对于其较高的总产量, 鲢鱼的精深加工程度仍然较低。并且, 随着科技的进步和人们生活水平的提高, 现有的鱼肉制品已不能满足人们对健康、营养、美味水产品的需求。此外, 鱼糜在制备过程中需要消耗大量的水, 且洗脱过程会造成大量的营养物质流失, 势必会造成资源浪费和环境污染。因此, 以未洗脱的鱼肉糜进行新产品开发成为新的研究热点。鲢鱼鱼肉新产品的开发, 如高蛋白营养食品、休闲风味食品等, 不仅可以提高鲢鱼的附加值, 还可以促进淡水鱼加工产业的快速发展。

然而, 鲢鱼蛋白质凝胶性差、鱼腥味重是限制其精深加工的主要原因。目前, 淡水鱼糜制品中凝胶增强方式主要以加入多糖、谷氨酰胺转氨酶、酚类物质、非肉蛋白、畜禽肉或海水鱼肉蛋白等外源物质为主。淡水鱼的腥味去除方法通常有2种途径: 一种是直接去除腥味物质, 如盐水浸泡、除臭剂吸附、漂洗等。另一种是通过产生更多的香气物质来掩盖腥味物质, 如香辛料腌制、发酵、加热等。然而, 目前还没有相关研究表明哪种方法或技术可以在合适条件下同时改善鱼肉制品的凝胶特性和挥发性风味特征。

蛋白糖基化是一种蛋白质分子修饰技术, 是指食品蛋白质侧链上的游离氨基与还原糖中的游离羰基通过美拉德反应共价交联形成糖蛋白^[1]。糖基化可以在不添加任何化学试剂的情况下自然发生, 并可以在受控条件下避免产生有害健康的二次产物^[2]。因此, 糖基化是一种“绿色加工技术”^[3]。有研究表明, 糖基化可以在合适条件下增强食品蛋白质的凝胶性、乳化性、溶解性、抗氧化性等功能性质^[1,4-5]。此外, 蛋白糖基化通常发生在美拉德反应的早期阶段^[6], 而美拉德反应在改善食物色泽、气味、滋味等方面有显著效果^[7-8]。因此, 推测蛋白糖基化在改善鲢鱼肉糜凝胶性和气味方面有很好的可行性。

在凝胶特性方面, Meydani等^[9]报道称, 麦芽糊精糖基化可以增强乳清分离蛋白的凝胶硬度和持水力, 这是因为高分子质量蛋白与多糖接枝物的形成弥补了网络的异质性, 并且糖基化过程中游离氨基的消耗可能导致蛋白质之间静电斥力降低, 形成更紧密的蛋白质凝胶网络。Bian Guangliang等^[10]发现, 利用葡萄糖胺糖基化可以促进正常鸡胸肉和类PSE (pale, soft, and exudative) 鸡胸肉肌原纤维蛋白表面疏水性增加, 活性巯基含量下降, 导致蛋白质凝胶强度增加。然而, 也有报道称, 葡聚糖糖基化会降低乳清蛋白的凝胶强度和硬度^[11-13]。因此, 还原糖的类型可能会影响食物蛋白质的质构特性。在风味方面, 目前以氨基酸或多肽为氨基来源的美拉德反应的相关报道有很多^[14-17]。然而, 以蛋白质为氨基来源的美拉

德反应的相关研究还很有限。作为一种早期的美拉德反应, 糖基化对含高蛋白的鱼肉这一复杂基质的挥发性风味的影响也尚不清楚。

因此, 本研究选择自然界分布最广泛、最重要的单糖葡萄糖作为其中一个还原糖, 并选择葡萄糖对应的寡糖 (低聚异麦芽糖) 和多糖 (葡聚糖) 作为还原糖。此外, 考虑到低糖饮食的健康策略, 木糖和L-阿拉伯糖 (2种新型蔗糖替代品) 也被选为还原糖。以5种不同类型的还原糖作为羰基来源, 以鲢鱼蛋白质作为氨基来源, 探究不同类型还原糖对鲢鱼肉糜凝胶特性和挥发性风味特征的影响, 并结合感官评价筛选出合适的还原糖类型。本研究将为糖基化在淡水鱼高质化和高值化加工中的应用, 以及健康、营养、美味鱼肉凝胶类新产品的开发提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

从当地超市购买20条鲢鱼 (平均体质量 (5.0 ± 0.5) kg) 运送回实验室。采用头部重击致死, 取背肉。将背肉用绞肉机搅碎, 并分装成400 g/袋, 贮存于 -80°C 冰箱待用, 1个月之内使用完毕。使用前, 放在 $0 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 冰箱解冻至中心无硬块。

D-葡萄糖、低聚异麦芽糖、葡聚糖、L-阿拉伯糖、D-木糖 (均为分析纯) 上海麦克林生化科技有限公司; 邻苯二甲醛 (*o*-phthalaldehyde, OPA)、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、甲醇、十二烷基硫酸钠 (sodium dodecyl sulfate, SDS)、硼砂、 β -巯基乙醇 (均为分析纯) 上海国药试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

SZ-22A绞肉机 广州旭众食品机械有限公司; JJ-2组织捣碎机 常州迈科诺仪器有限公司; H2050R高速冷冻离心机 长沙湘仪有限公司; HH-6数显恒温搅拌水浴锅 常州金坛新瑞仪器有限公司; CR-20色差计 日本Minolta仪器有限公司; FE20数字pH计 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; SMS TA-XT Plus质构分析仪 英国Stable Micro Systems公司; FOX4000电子鼻 法国Alpha MOS仪器公司。

1.3 方法

1.3.1 鲢鱼肉糜凝胶的制备

称取200 g鲢鱼肉糜, 添加5%的还原糖在组织捣碎机中混匀, 然后分装于50 mL离心管中 (每管30.0 g)。用离心机 $500 \times g$ 低速离心10 min, 以去除样品中的气泡。将离心管放入 90°C 恒温水浴锅中加热40 min, 使肉样中心温度达到 72°C 。以不加糖的样品为对照组, 进行相同操作。加热结束后, 立即放入冰水中停止反应。

将冷却后的凝胶样品放入4℃冰箱中过夜,以进行下一步分析。样品测试前在室温下放置30 min,以恢复室温(25℃)。

1.3.2 接枝度测定

采用OPA法^[18]。OPA试剂的配制:准确称取80 mg OPA溶解于2 mL甲醇中,再加入5 mL 20 g/100 mL SDS、50 mL 0.1 mol/L硼砂和200 μL β-巯基乙醇,最后用蒸馏水定容到100 mL。现用现配,2 h内使用。

取0.50 g样品与50 mL 50 mmol/L磷酸盐缓冲液(含0.1 mol/L NaCl, pH 7.0)混合均质,用2层纱布过滤。取200 μL滤液与4 mL OPA试剂混匀,放入35℃水浴锅中反应2 min,立即放入冰水中终止反应。使用紫外-可见分光光度计测定样品在340 nm波长处的吸光度。另取4 mL OPA试剂和200 μL去离子水混合溶液作为测定前去除背景的空白对照。

接枝度为反应体系中反应前后游离氨基含量的变化率,按式(1)计算。

$$\text{接枝度}/\% = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: A_0 和 A_t 分别表示未反应和反应结束时样品所对应的吸光度。

1.3.3 色泽测定

将凝胶样品切成5 mm厚的薄片,用吸水纸擦去表面的水分,在室温和自然光下,用色差仪测定生肉糜和凝胶样品的亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)。测量前,仪器用白板进行校准。每个处理进行3个重复。为了进一步表征糖基化程度,按式(2)~(4)计算凝胶样品的色差值(ΔE)和褐变强度(browning index, BI)^[19]。

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

$$BI = \frac{100 \times (x - 0.31)}{0.172} \quad (3)$$

$$x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (4)$$

式中: ΔL^* 、 Δa^* 和 Δb^* 分别表示凝胶样品与生肉糜的 L^* 、 a^* 和 b^* 之间的差值。

1.3.4 pH值测定

参照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》。称量1.00 g肉样,加入9 mL蒸馏水均质,10 000×g离心15 min。收集上清液,并在室温和自然光下,使用便携式pH计测量上清液的pH值。每个处理进行3个重复。

1.3.5 质构测定

参考Li Ke等^[20]的方法,并加以改进。将样品切成高20 mm、直径25 mm的圆柱。采用质构分析仪的质地剖面分析程序和P50探头进行质构测试。测试参数为:测前速

率2 mm/s,测试速率1 mm/s,测后速率1 mm/s,压缩比50%,触发力5 g。每个处理进行6个重复。

1.3.6 感官评价

1.3.6.1 定量描述分析(quantitative descriptive analysis, QDA)

参考Gomez等^[21]的方法,采用QDA法对不同还原糖糖基化的样品进行感官评价。首先,参照国家标准GB/T 12313—1990《感官分析方法 风味剖面检验》、GB/T 16860—1997《感官分析方法 质地剖面检验》和GB/T 16291.1—2012《感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第1部分:优选评价员》提出的方法对评价员进行筛选和培训。筛选出8名(3男5女,24~26岁)食品风味方向的研究生组成感官小组。小组成员均熟悉水产品感官品质的描述方法和评价流程,至少经半年以上的相关培训。其次,感官小组通过引用参比样品(表1)对产品感官属性进行描述,并筛选出9种重要的感官特征:颜色(褐变程度)、质构(硬度和多汁性)、气味(气味强度、鱼腥味、肉香味、烤香味和焦糊味)和滋味(滋味强度)。然后对每个特征采用4点标度打分:0=没有、1=轻微、2=中等、3=强烈。其中,气味强度和滋味强度采用3点标度打分:1=低、2=中、3=高。样品切成固定大小(2 cm×2 cm×1 cm)的薄片,于感官评价分析室(25℃、白炽灯)进行感官评定。

表1 用于感官评价的风味属性^[22-23]
Table 1 Flavor attributes selected for sensory evaluation^[22-23]

属性	特征	参比样品
鱼腥味	鲜鱼肉的味道	45 mg/L三甲胺水溶液
肉香味	明确的猪肉、牛肉或鸡肉的熟瘦肉味道	瘦的碎鸡肉在121℃压力锅中煮制60 min,香气在室温(25℃)下进行评估
烤香味	坚果适度烘烤后的香气	爆米花的香气
焦糊味	烧焦肉的气味	瘦的碎鸡肉在250℃烤箱中烤制30 min,香气在室温(25℃)下进行评估

1.3.6.2 嗜好度评价

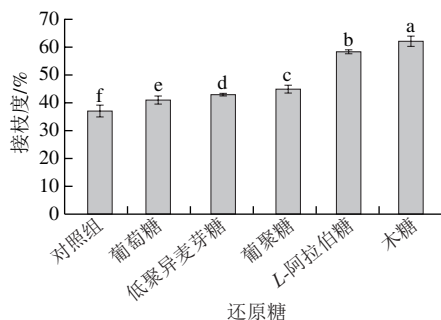
参照Alipour等^[24]的方法并加以修改。所有的样品被切成固定大小(2 cm×2 cm×1 cm),用7位随机数字编码,并放在感官评估室桌子上。然后由15名成员(年龄20~30岁,食品科学专业,女性8名,男性7名)对样品的色泽、硬度、多汁性、风味和整体可接受度进行评价。感官得分采用9分嗜好度(1:极其不喜欢;2:非常不喜欢;3:中度不喜欢;4:轻微不喜欢;5:既不喜欢也不讨厌;6:轻微喜欢;7:中度喜欢;8:非常喜欢;9:极其喜欢)。所有样本均在相同环境下进行评估。

1.4 数据处理

实验重复3次,结果以平均值±标准差表示。用SPSS v21.0软件(IBM Corporation, NY, USA)对数据进行显著性分析,选用单因素方差分析和Duncan's多元检验。 $P < 0.05$ 认为差异显著。用Origin 2019b软件(OriginLab Corporation, MA, USA)绘图。

2 结果与分析

2.1 不同还原糖对鲢鱼蛋白质接枝度的影响



小写字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图1 鲢鱼蛋白质与还原糖之间的接枝度

Fig. 1 Degree of grafting between silver carp proteins and reducing sugar

接枝度表示蛋白质和还原糖之间的结合程度^[6,18]。接枝度越高, 糖基化程度越高。由图1可知, 木糖与鲢鱼蛋白质之间的接枝度 (61.89 ± 2.06 %) 最高, 其次是L-阿拉伯糖 (58.24 ± 0.62 %) , 而葡聚糖 (44.85 ± 1.48 %)、低聚异麦芽糖 (42.78 ± 0.62 %)、葡萄糖 (40.94 ± 1.39 %) 的接枝度依次降低。这一结果与几种还原糖的糖基化反应活性有关。单糖的反应速率比多糖快, 五碳糖比六碳糖的反应速率快^[25]。以上结果表明, 糖基化程度受还原糖类型的影响。事实上, 除了还原糖类型, 糖基化程度还受还原糖与蛋白质的羰-氨基团比例、加热时间和温度、pH值、水分含量和离子强度等的影响^[26]。需要根据实际生产条件选择最合适的反应条件。在本研究中, 仅根据目前的反应体系来评价各指标的变化。

2.2 不同还原糖对鲢鱼肉糜凝胶色泽的影响

表2 添加不同还原糖的鲢鱼肉糜凝胶色泽变化
Table 2 Changes in color of silver carp surimi gels with different reducing sugars

指标	对照组	葡萄糖	低聚异麦芽糖	葡聚糖	L-阿拉伯糖	木糖
L^*	79.23 ± 0.21^a	80.20 ± 0.17^a	79.67 ± 0.55^a	79.77 ± 0.47^a	70.57 ± 0.75^b	64.97 ± 0.75^c
a^*	-0.67 ± 0.06^c	-0.83 ± 0.06^c	-0.73 ± 0.06^c	-0.53 ± 0.06^c	10.27 ± 0.47^b	13.10 ± 0.46^b
b^*	9.30 ± 0.40^c	9.77 ± 0.21^c	10.02 ± 0.00^c	10.30 ± 0.36^c	26.77 ± 0.25^b	29.73 ± 0.25^b
ΔE	11.50 ± 0.26^c	12.53 ± 0.09^c	12.19 ± 0.51^c	12.33 ± 0.39^c	24.18 ± 0.38^b	28.27 ± 0.29^b
BI	11.42 ± 0.59^c	11.76 ± 0.35^c	12.54 ± 0.15^c	12.85 ± 0.58^c	56.88 ± 1.73^b	73.73 ± 1.37^b

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

BI反映美拉德反应引起的褐变程度^[19], BI越高, 褐变程度越高。食物系统的 ΔE 符合生物体视觉感知褐变的阈值^[27]。因此, 根据 ΔE 可以直观感知样品的颜色变化。由表2可知, 木糖和L-阿拉伯糖显著降低了鲢鱼肉糜凝胶的 L^* , 显著增加了 a^* 、 b^* 、 ΔE 和BI ($P < 0.05$) , 其他还原糖对样品的色泽没有显著影响。这与Cai Luyun^[28]、Yu Min^[29]等的研究结论一致。他们认为 L^* 的下降是由于美拉德反应最后阶段产生的黑色化合物引起的, a^* 和 b^*

的增加是由中间或晚期美拉德反应生成的绿色和黄色化合物引起的。以上结果表明, L-阿拉伯糖和木糖的糖基化反应活性强、糖基化程度高, 有利于增强鲢鱼蛋白质与还原糖之间的糖基化反应。

2.3 不同还原糖对鲢鱼肉糜凝胶pH值的影响

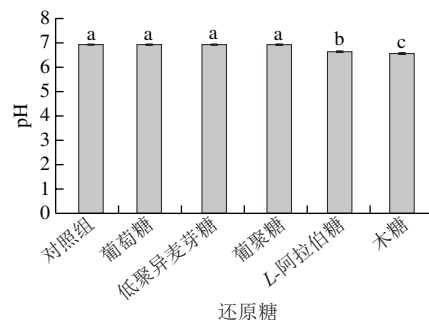


图2 添加不同还原糖的鲢鱼肉糜凝胶pH值变化

Fig. 2 Changes in pH of silver carp surimi gels with different reducing sugars

监测pH值变化是评估糖基化程度的有效方法^[30]。由图2可知, 添加木糖和L-阿拉伯糖的鲢鱼肉糜凝胶的pH值显著降低 ($P < 0.05$) , 其他样品则保持不变。pH值降低是由于美拉德反应中间阶段有带电氨基 (如赖氨酸) 的消耗和有机酸 (如甲酸和乙酸) 的产生, 这个结果与以往的研究结果一致^[29-30]。同色泽的测定结果一样, 以上结果也表明相对于其他糖类, L-阿拉伯糖和木糖这2种高反应活性的还原糖更有利于鲢鱼蛋白质发生糖基化反应。

2.4 不同还原糖对鲢鱼肉糜凝胶质构的影响

表3 添加不同还原糖的鲢鱼肉糜凝胶质构特性变化
Table 3 Changes in texture properties of silver carp surimi gels with different reducing sugars

指标	对照组	葡萄糖	低聚异麦芽糖	葡聚糖	L-阿拉伯糖	木糖
硬度/g	3240.28 ± 135.31^{ab}	3056.09 ± 162.77^a	2425.86 ± 121.38^a	2376.18 ± 161.79^a	3342.92 ± 184.16^a	4254.80 ± 340.72^c
弹性	0.78 ± 0.02^b	0.79 ± 0.02^b	0.77 ± 0.02^{bc}	0.75 ± 0.03^c	0.84 ± 0.02^a	0.84 ± 0.03^a
内聚性	0.37 ± 0.01^b	0.34 ± 0.01^c	0.33 ± 0.03^c	0.37 ± 0.01^b	0.38 ± 0.02^b	0.41 ± 0.01^a
咀嚼性/g	936.07 ± 23.07^c	827.91 ± 66.45^d	746.76 ± 37.29^d	662.50 ± 52.12^e	1049.33 ± 87.68^b	1511.97 ± 136.43^a
回复性	0.12 ± 0.00^c	0.11 ± 0.01^c	0.12 ± 0.01^{bc}	0.14 ± 0.01^a	0.13 ± 0.00^b	0.15 ± 0.01^a

由表3可知: 与对照组相比, 木糖的添加显著增强了鲢鱼肉糜凝胶所有质构属性 (硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性); L-阿拉伯糖的添加显著增强了弹性和咀嚼性; 而葡萄糖、低聚异麦芽糖和葡聚糖则不同程度降低了样品的质构特性。这说明木糖和L-阿拉伯糖可以通过糖基化作用增强鲢鱼肉糜凝胶的质构, 其增强效果可能与糖基化程度有关^[11]。Bian Guangliang等^[10]解释糖基化提高类PSE鸡胸肉肌原纤维蛋白的凝胶强度, 是因为糖基化增加蛋白质的表面疏水性, 减少活性巯基含量。而葡萄糖等导致的鲢鱼肉糜凝胶质构特性的降低一方面可能与糖基化程度低有关^[11], 另一方面也可能与糖的过量添加有关^[24]。Alipour等^[24]报道, 添加高浓度的多糖可能

导致蛋白质和多糖之间存在对水分子的竞争作用,从而阻碍蛋白质在热变性过程中获得足量的水以形成三维网络凝胶结构,且过量的糖还会阻碍蛋白质的交联,进一步影响成胶性。综上所述,提高糖基化程度有利于增强鲢鱼肉糜凝胶的质构特性,而糖基化程度受还原糖的种类、分子质量及添加量等因素影响。本研究表明,木糖和L-阿拉伯糖可作为还原糖进行糖基化,以增强鲢鱼肉糜凝胶的质构。

2.5 鲢鱼肉糜凝胶感官评价

2.5.1 QDA

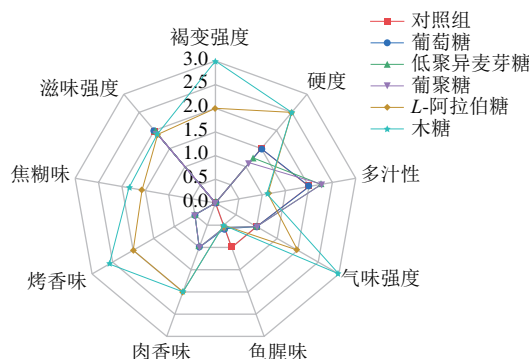


图3 添加不同还原糖的鲢鱼肉糜凝胶QDA数据雷达图

Fig. 3 Radar plot of QDA data of silver carp surimi gels with different reducing sugars

由图3可知,与对照组相比,添加L-阿拉伯糖和木糖的鲢鱼肉糜凝胶的褐变程度和硬度明显增加,这与前面分析的色泽和质构结果一致。葡萄糖、低聚异麦芽糖和葡聚糖明显增加了样品的多汁性,这可能是因为这3种糖中含有更多的亲水基团,有利于截留水分子于蛋白质凝胶网络中。味觉方面未感受到明显变化,表明葡萄糖、低聚异麦芽糖、葡聚糖、L-阿拉伯糖和木糖几种还原糖均没有影响人体对该产品的味觉感知。气味方面,对照组的鱼腥味较强,加糖加热后鱼腥味均有所减弱。相反,肉香味、烤香味和焦糊味成为主要的香味特征。在所有样品中,添加木糖的鲢鱼肉糜凝胶(接枝度为61.89%)的烤香味和焦糊味得分最高,其次是添加L-阿拉伯糖的鲢鱼肉糜凝胶(接枝度为58.24%)。肉香味和烤香味是一种宜人的香气,而焦糊味则相反,肉香味与噻唑类、硫化物、醛类和酮类物质的生成有关;烤香味主要由吡嗪类、吡咯类和嘧啶类化合物贡献^[28]。此外,由于糖的焦糖化或原料的过度反应,烤香味也可能变成令人不愉悦的焦糊味。这种焦糊味可以通过控制糖基化程度来抑制^[31]。这些结果表明,糖基化在合适的接枝度下(大于葡聚糖接枝度且小于木糖接枝度:44.85%~61.89%)是提高鲢鱼肉糜凝胶类产品感官品质的有效方法。

2.5.2 嗜好度分析

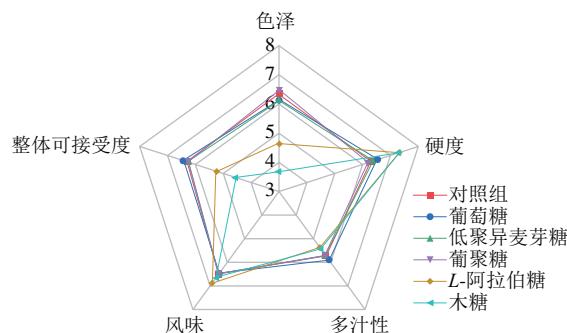


图4 添加不同还原糖的鲢鱼肉糜凝胶的嗜好度得分雷达图

Fig. 4 Radar map of the hedonic scores of silver carp surimi gels with different reducing sugars

由图4可知,相较于对照组,添加L-阿拉伯糖和木糖的样品硬度和风味得分较高,说明糖基化可以作为一种有效的凝胶增强和风味改良技术,用于淡水鱼凝胶类新产品的开发。然而,严重的褐变是不受喜爱的,会严重影响评价员对产品的整体可接受度。事实上,前期研究已经表明,轻微的褐变不会影响产品的整体可接受度^[31],甚至会增加年轻消费群体对产品的喜爱度。因此,在进行新产品开发时,要重点控制糖基化程度(通过减少糖含量、加热时间、温度等),使接枝度尽量控制在44.85%~61.89%,才能在改进质构和风味的基础上还能满足消费者对产品颜色的需求。

3 结论

L-阿拉伯糖和木糖可以有效增强鲢鱼肉糜凝胶的质构和香气,且增强效果与糖基化程度有关。当接枝度增大到58.24%时,鲢鱼肉糜凝胶的pH值降低,褐变增加。QDA发现,当接枝度达到58.24%时,可以降低鲢鱼肉糜凝胶的鱼腥味,增加肉香味、烤香味和焦糊味;但当接枝度达到61.89%时,令人不愉悦的焦糊味会变成主要的香气特性。嗜好度评价表明,要控制接枝度在44.85%~61.89%,才能获得整体可接受度较好的产品。本研究表明,L-阿拉伯糖和木糖是2种较好的羰基来源,可以通过糖基化作用增强鲢鱼肉糜凝胶的质构和香气。本研究为糖基化在淡水水产品精深加工中的应用和风味休闲水产产品的开发提供了理论依据和技术支持。

参考文献:

- [1] CHEN X, TUME R K, XU X, et al. Solubilization of myofibrillar proteins in water or low ionic strength media: classical techniques, basic principles, and novel functionalities[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 57(15): 3260-3280. DOI:10.1080/10408398.2015.1110111.



- [2] ZHONG Lei, MA Ning, WU Yiliang, et al. Characterization and functional evaluation of oat protein isolate-*Pleurotus ostreatus* β -glucan conjugates formed via Maillard reaction[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 459-469. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.08.034.
- [3] LIU Jianhua, FANG Chunhua, XU Xia, et al. Physico-chemical and functional properties of silver carp myosin glycated with konjac oligo-glucumannan: effects of deacetylation[J]. Food Chemistry, 2019, 291: 223-230. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.03.153.
- [4] AKHTAR M, DING R. Covalently cross-linked proteins & polysaccharides: formation, characterisation and potential applications[J]. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 2017, 28: 31-36. DOI:10.1016/j.cocis.2017.01.002.
- [5] NOOSHKAM M, VARIDI M, VERMA D K. Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: a review[J]. Food Research International, 2020, 131: 109003. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109003.
- [6] PIRESTANI S, NASIRPOUR A, KERAMAT J, et al. Preparation of chemically modified canola protein isolate with gum Arabic by means of Maillard reaction under wet-heating conditions[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 155: 201-207. DOI:10.1016/j.carbpol.2016.08.054.
- [7] GENG J T, TAKAHASHI K, KAIDO T, et al. Relationship among pH, generation of free amino acids, and Maillard browning of dried Japanese common squid *Todarodes pacificus* meat[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 324-330. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.01.056.
- [8] TREVISAN A J, DE ALMEIDA LIMA D, SAMPAIO G R, et al. Influence of home cooking conditions on Maillard reaction products in beef[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 161-169. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.008.
- [9] MEYDANI B, VAHEDIFAR A, ASKARI G, et al. Influence of the Maillard reaction on the properties of cold-set whey protein and maltodextrin binary gels[J]. International Dairy Journal, 2019, 90: 79-87. DOI:10.1016/j.idairyj.2018.11.009.
- [10] BIAN Guangliang, XUE Siwen, XU Yujuan, et al. Improved gelation functionalities of myofibrillar protein from pale, soft and exudative chicken breast meat by nonenzymatic glycation with glucosamine[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2018, 53(8): 2006-2014. DOI:10.1111/ijfs.13789.
- [11] SPOTTI M J, LOYEAU P A, MARANGÓN A, et al. Influence of Maillard reaction extent on acid induced gels of whey proteins and dextran[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 91: 224-231. DOI:10.1016/j.foodhyd.2019.01.020.
- [12] SUN Weiwei, YU Shujuan, YANG Xiaoquan, et al. Study on the rheological properties of heat-induced whey protein isolate-dextran conjugate gel[J]. Food Research International, 2011, 44(10): 3259-3263. DOI:10.1016/j.foodres.2011.09.019.
- [13] SPOTTI M J, PERDUCA M J, PIAGENTINI A, et al. Gel mechanical properties of milk whey protein-dextran conjugates obtained by Maillard reaction[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 31(1): 26-32. DOI:10.1016/j.foodhyd.2012.08.009.
- [14] ZHAO Jian, WANG Tianze, XIE Jianchun, et al. Meat flavor generation from different composition patterns of initial Maillard stage intermediates formed in heated cysteine-xylose-glycine reaction systems[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 79-88. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.08.096.
- [15] CUI Heping, YU Jingyang, XIA Shuqin, et al. Improved controlled flavor formation during heat-treatment with a stable Maillard reaction intermediate derived from xylose-phenylalanine[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 47-53. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.07.161.
- [16] CHEN Kangni, YANG Xiaoxue, HUANG Zhan, et al. Modification of gelatin hydrolysates from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) scales by Maillard reaction: antioxidant activity and volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2019, 295: 569-578. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.05.156.
- [17] WANG Wenli, ZHANG Long, WANG Zhengquan, et al. Physicochemical and sensory variables of Maillard reaction products obtained from *Takifugu obscurus* muscle hydrolysates[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 40-46. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.03.065.
- [18] WANG Chenying, LI Junhua, LI Xin, et al. Emulsifying properties of glycation or glycation-heat modified egg white protein[J]. Food Research International, 2019, 119: 227-235. DOI:10.1016/j.foodres.2019.01.047.
- [19] SANTOS I J B, HERNANDEZ H L H, COSTA M H C, et al. Conjugates of α -lactalbumin, β -lactoglobulin, and lysozyme with polysaccharides: characterization and techno-functional properties[J]. Food Research International, 2019, 116: 492-498. DOI:10.1016/j.foodres.2018.08.065.
- [20] LI Ke, LIU Junya, FU Lei, et al. Effect of gellan gum on functional properties of low-fat chicken meat batters[J]. Journal of Texture Studies, 2019, 50(2): 131-138. DOI:10.1111/jtxs.12379.
- [21] GOMEZ M, LORENZO J M. Effect of fat level on physicochemical, volatile compounds and sensory characteristics of dry-ripened "chorizo" from Celta pig breed[J]. Meat Science, 2013, 95(3): 658-666. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.06.005.
- [22] LIU Jianbin, LIU Mengya, HE Congcong, et al. Effect of thermal treatment on the flavor generation from Maillard reaction of xylose and chicken peptide[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(1): 316-325. DOI:10.1016/j.lwt.2015.05.061.
- [23] 张晶晶, 王锡昌, 施文正. 白姑鱼和小黄鱼肉中挥发性风味物质的鉴定[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 206-213. DOI:1002-6630(2019)14-0206-08.
- [24] ALIPOUR H J, REZAEI M, SHABANPOUR B, et al. Effects of sulfated polysaccharides from green alga *Ulva intestinalis* on physicochemical properties and microstructure of silver carp surimi[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 87-96. DOI:10.1016/j.foodhyd.2017.07.038.
- [25] YU Hang, ZHONG Qili, LIU Yang, et al. Recent advances of ultrasound-assisted Maillard reaction[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 64: 104844. DOI:10.1016/j.ultsonch.2019.104844.
- [26] OLIVEIRA F C D, COIMBRA J S D R, DE OLIVEIRA E B, et al. Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the Maillard reaction: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(7): 1108-1125. DOI:10.1080/10408398.2012.755669.
- [27] LEIVA G E, NARANJO G B, MALEC L S. A study of different indicators of Maillard reaction with whey proteins and different carbohydrates under adverse storage conditions[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 410-416. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.08.003.
- [28] CAI Luyun, LI Dongmei, DONG Zhijian, et al. Change regularity of the characteristics of Maillard reaction products derived from xylose and Chinese shrimp waste hydrolysates[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 908-916. DOI:10.1016/j.lwt.2015.09.007.
- [29] YU Min, HE Shudong, TANG Mingming, et al. Antioxidant activity and sensory characteristics of Maillard reaction products derived from different peptide fractions of soybean meal hydrolysate[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 249-257. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.09.139.
- [30] CHEN Kangni, YANG Qingfeng, HONG Hui, et al. Physicochemical and functional properties of Maillard reaction products derived from cod (*Gadus morhua* L.) skin collagen peptides and xylose[J]. Food Chemistry, 2020, 333: 127489. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127489.
- [31] LIU Junya, HUANG Shuqin, FENG Qian, et al. Sensory quality and digestibility evaluation of silver carp sausage glycated with *L*-arabinose[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(2): e16220. DOI:10.1111/JFPP.16220.