

加热处理对鱼肉蛋白质理化特性的影响

范三红¹, 刘晓华¹, 胡雅楠¹, 冯雨薇¹, 马丽珍²

(1.山西大学生命科学学院, 山西太原 030006;

2.天津农学院食品科学系, 天津 300384)

摘要:研究鲭鱼、鳀鱼、沙丁鱼鱼肉分别在40、50、60、70、80℃加热30min后肌原纤维蛋白pH、色差、热变性温度、蛋白溶解度、羧基和巯基的变化。结果表明:pH随中心温度升高基本呈上升的趋势,不同加热温度对pH的差异不显著($p>0.05$),加热后的鱼肉 L^* 值高于生肉, a^* 值下降。鲭鱼、鳀鱼和沙丁鱼的肌球蛋白、肌浆蛋白和肌动蛋白的变性温度分别为42.1、55.2、78.3℃;41.7、51.6、72.9℃;42.8、49.2、75.3℃,其中鲭鱼蛋白的热稳定性较高。蛋白溶解度、巯基随着加热温度的升高而降低,羧基形成量随着温度的升高而增加。所以,3种鱼肉在80℃时蛋白质完全变性,在达到加热目的前提下,要保证产品的品质和得率以及降低能源消耗,在生产中加热终点温度应控制在80℃以下。

关键词: 鱼肉, 肌原纤维蛋白, 蛋白质热变性

Effect of heat treatment on protein in physical and chemical properties

FAN San-hong¹, LIU Xiao-hua¹, HU Ya-nan¹, FENG Yu-wei¹, MA Li-zhen²

(1.College of Life Science, Shanxi University, Shanxi, Taiyuan 030006, China;

2.Department of Food Science, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: The myofibrillar's physical and chemical characteristics of mackerel, anchovy and sardine had been studied at 40, 50, 60, 70 and 80℃ for 30min, respectively. The results showed that pH increased with the temperature increasing, but no obvious changes were observed at higher temperature. The brightness L^* increased in comparison with raw meat, but the change of redness a^* decreased after heating. Myosin, sarcoplasmic protein and action protein thermal denaturation temperature of mackerel, anchovy and sardine muscle were 42.1, 55.2, 78.3℃, 41.7, 51.6, 72.9℃, 42.8, 49.2, 75.3℃, respectively. Mackerel protein had higher thermal stability. Protein solubility and the total sulfhydryl distinctly decreased with the temperature increased, the amount of carbonyl formation increased as the temperature increased. In conclusion, the protein of three fishes denatured at 80℃ completely. The end point temperature should be controlled at 80℃ in order to achieve the purpose of thermal processing, ensuring product quality and yield, and avoiding unnecessary energy consumption.

Key words: fish; myofibrillar; thermal property

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)12-0104-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.12.013

鲭鱼(mackerel)、鳀鱼(anchovy)和沙丁鱼(sardine)属于中上层经济鱼类,其产量在世界鱼类总捕捞数量中有举足轻重的作用。中上层鱼类的特点是能形成大的鱼群,但由于个体小、易腐败,不适合鲜食和长时间储存,产品主要以初加工为主,冻藏的形式出售或用于生产鱼粉等低值产品。在鱼肉的加工过程中,加热是一个重要的过程,加热会引起一系列生物化学反应,赋予产品特别的风味、色泽以及质地^[1-3]。这些生物化学反应主要是由于蛋白质在加热过程中的变性,特别是肌原纤维蛋白的热变化。肌原纤维蛋

白在加热后形成凝胶,对肉制品的质地和保水性有着重要的作用^[4-5]。加热过程还会造成重量以及营养物质的减少,温度控制不恰当会直接影响到产品的质量和出品率,影响企业的经济效益。目前对于3种鱼的研究主要集中在营养成分、保鲜、加工工艺方面的报道,但尚未见到有关3种鱼加热过程中的品质变化的报道。本实验研究3种鱼肉经不同加热温度处理后,其pH、色差以及蛋白理化特性等的变化。在达到加热目的前提下,要保证产品的品质以及降低能源消耗,从而为海水小杂鱼精深加工利用提供科学的加热工艺参数。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲭鱼、鳀鱼、沙丁鱼 福建省泉州市威威猫食品有限公司捕获,捕获后迅速冷冻,冰盒装箱空运到天津农学院食品加工车间,到达实验室后,每条鱼都单

收稿日期: 2013-10-09

作者简介: 范三红(1963-),男,硕士研究生,副教授,研究方向: 食品科学。

基金项目: 山西省自然科学基金项目(2012011031-4);山西省高等学校高新技术产业化项目(20111003)。

独称重记录,并除去鱼鳞、内脏,手工采肉后,将鱼肉斩拌成鱼糜以便取样的均一性,之后再进行后续实验,对于不能及时检测的指标,将剩余鱼糜真空包装后 -80°C 超低温冰箱冷冻贮存;KCl、MgCl₂、NaCl、NaH₂PO₄、Na₂HPO₄、乙酸乙酯、乙醚、硫酸铜、磷酸氢二钾、磷酸、焦磷酸钠 天津市北方天医化学试剂厂,分析纯;三氯乙酸(TCA) 天津光复精细化工研究所,分析纯;乙二胺四乙酸(EDTA) 北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司,分析纯;酒石酸钾钠 天津光复科技发展有限公司,分析纯;无水乙醇 天津市盛淼精细化工有限公司,分析纯;考马斯亮蓝G250

上海蓝季科技发展有限公司,分析纯;2,4-二硝基苯肼(DNPH) 上海申翔化学试剂有限公司,分析纯;5,5-二硫代双-2-硝基苯甲酸(DTNB) 北京索来宝科技有限公司,分析纯;盐酸胍 Sigma公司,分析纯。

FA1104型电子天平 上海精天电子主要仪器有限公司;OZKW-S-6型真空包装机 上海申越包装机械制造有限公司;PB-10型酸度计 赛多利斯科学仪器有限公司;FA25型高速剪切乳化分散机 上海弗鲁克流体机械制造有限公司;UV-LS-30型紫外可见分光光度计 龙尼柯上海仪器有限公司;CM-5型色差仪 日本柯尼卡美能达公司;WH2型微型旋涡混合机 上海沪西分析仪器厂有限公司;DSC200F3型差示扫描量热仪 德国耐驰公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料的预处理 精确称取 $(40\pm 1)\text{g}$ 的鱼糜放入直径为6cm,高为1cm的玻璃模型中,并将表面抹平压实,装入蒸煮袋内,用真空封口机封口。实验每组样品首先在 4°C 下测定相关指标。然后将样品分为5组,每组样品分别放于 40°C 、 50°C 、 60°C 、 70°C 、 80°C 的恒温水浴条件下加热30min,当达到30min后立即取出并迅速冷却,等待中心温度降到 10°C 以下测定相关指标。

1.2.2 pH的测定 精确称取样品5g于80mL离心管中,加入蒸馏水45mL,用高剪切乳化分散机乳化(13000r/min)30s,放置10min后用pH计测定。

1.2.3 色差的测定 将鱼肉填充于比色皿内,保证测定表面平整,以白板为标准进行样品色差测定,分别记录 L^* 、 a^* 和 b^* 值,作为所测样品的白度值、红度值和黄度值。

1.2.4 蛋白质热变性温度的测定 测定采用差示扫描量热法,取完全解冻后的鱼肉精确称取5~15mg,密封在铝盒中并放入样品池,以空盒做参比,保护气为氮气,升温速率 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,温度范围 $10\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.5 肌原纤维蛋白的提取 提取依照Xiong^[6]的方法作适当修改。称取5g左右的样品,加入4倍体积冷却的蛋白提取液(100mmol/L KCl、2mmol/L MgCl₂、10mmol/L Na₂HPO₄, pH7.0),用高剪切乳化分散机在13000r/min匀浆30s后,2000r/min、 2°C 冷冻离心15min,弃上清液,按照上述操作方法重复操作2次,除去水溶性蛋白。取两次离心所得的沉淀物加入8倍体积冷却的洗脱液(0.1mol/L NaCl),用高剪切乳化分散机在13000r/min匀浆30s后,2000r/min、 2°C 冷冻

离心15min,弃上清液,重复上述步骤2次,第二次匀浆后用煮沸晾干的两层纱布过滤,滤液用0.1mol/L HCl调pH至6.2,之后再离心,弃上清液,所得沉淀即为肌原纤维蛋白。为了防止蛋白在操作过程中受热变性,整个过程需在冰浴中进行。

1.2.6 蛋白浓度的测定 采用双缩脲法,精确称取2g左右的蛋白用,水定重到20g左右,并记下质量,混匀,吸取1mL蛋白溶液,加入4mL的酒石酸钾钠和3mL的乙醚,旋涡混匀,7500r/min离心10min,然后先用移液枪回收乙醚,再将下层液体吸出,在540nm的条件下测定吸光度值。

1.2.7 肌原纤维蛋白溶解度的测定 参照Benjakul等^[7]的方法作适当修改,提取的肌原纤维蛋白用蛋白溶解液(0.6mol/L NaCl, 2mmol/L MgCl₂, 10mmol/L焦磷酸钠, 10mmol/L哌嗪-1,4-二乙磺酸PIPES, pH6.2)配成5mg/mL的溶液,在 2°C 下每隔10min混匀一次,总共放置4h,之后在 2°C 、5000r/min条件下离心15min,取其上清液用双缩脲法测定其蛋白含量。肌原纤维蛋白的溶解程度用溶解性(Ps)来表示,计算公式如下:

$$Ps(\%) = \frac{\text{上清液中蛋白含量}}{\text{样品中总蛋白含量}} \times 100$$

1.2.8 总巯基含量的测定 吸取0.5mL浓度为2mg/mL的蛋白溶液(空白吸取0.5mL的蒸馏水)置于10mL的EP管中,加入2.5mL Tris-甘氨酸尿素,再加入20 μL DTNB,暗处计时反应25min后在412nm下测定吸光度值(严格控制时间)。被溶解的蛋白含量的测定使用考马斯亮蓝法。

1.2.9 羰基含量的测定 羰基含量的测定方法参照Oliver等^[8]和Lampila等^[9]的方法并稍加修改:量取0.1mL浓度为25mg/mL的蛋白溶液放入1mL离心管中,加入2mL 10mmol/L的DNPH,每隔10min在旋涡振荡器上振荡1h,再加入2mL 20%三氯乙酸,在11000r/min下离心3min,倒掉上清液,用滤纸吸干外壁液滴。在通风橱中加入4mL乙酸乙酯:乙醇(1:1),振荡混匀,除去上清液,洗涤沉淀3次,将得到的沉淀自然风干,风干后加入3mL 6mol/L盐酸胍溶液, 50°C 条件下恒温水浴45min使溶解沉淀,最后在370nm处测吸光值。对照组开始时只加入2mL 2mol/L HCl其余操作相同。分子吸光系数 $22000\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$,最终计算羰基含量单位为nmol羰基/mg蛋白;蛋白含量使用Lowry法测定在280nm下测定,用牛血清白蛋白做标准曲线测吸光值。

1.3 数据处理

Microsoft Excel 2003计算各个指标的平均值和标准差,Statistix 8.1进行数据分析,显著性差异($p < 0.05$)通过Turkey test程序进行,用Sigmaplot 9.0作图。

2 结果与分析

2.1 不同加热温度对鱼肉pH的影响

不同加热温度对鱼肉pH的影响如图1所示。随着温度的升高,鱼肉的pH也随之上升,鲭鱼从加热前的6.24上升到了6.31,鳀鱼从加热前的6.26上升到了6.45,沙丁鱼的pH变化从6.22上升到了6.32,但加热温度对pH的影响并不大。pH增加的原因可能是加热

使蛋白质变性,使得肌肉蛋白质在加热后酸性基团减少。从图1中还可以看出鳀鱼的pH始终要高于鲭鱼和沙丁鱼,分析原因可能是鲭鱼和沙丁鱼的脂肪含量较鳀鱼要高,脂肪在加热过程中有一部分水解为脂肪酸,因而pH略低。

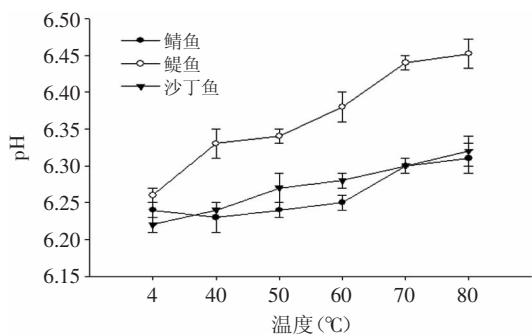


图1 不同加热温度对鱼肉pH的影响

Fig.1 Influence of temperature on pH value of fish

2.2 不同加热温度对鱼肉色差的影响

不同加热温度对鱼肉色差的影响如表1所示。由表1可知,3种鱼的 L^* 值在随着温度的升高而增加,鲭鱼和鳀鱼在50℃之后差异不显著($p>0.05$), a^* 值随着温度的升高呈下降的趋势, b^* 值则呈现不规则的变化。由感官评定也可发现3种鱼肉的色泽变化,加热之后肉的颜色慢慢变为灰白色。 L^* 值增加可能是肌球蛋白构象遭破坏,亚铁血红素氧化被取代所致; a^* 值下降可能由于亚铁肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白所致,与肌红蛋白含量及其溶解度有关。3种鱼对比可以看出总体上鲭鱼的 L^* 值始终大于鳀鱼和沙丁鱼,沙丁鱼的 b^* 值始终大于鲭鱼和鳀鱼。

2.3 3种鱼蛋白质的热变性温度

图2为DSC测得的3种鱼的肌肉的热变化分析图。蛋白质在热变性过程中,吸收热量从有序变为无序,多肽链展开,分子间相互作用破坏。当达到某种蛋白质的变性温度时,就会在热分析图谱中出现一个吸热峰,根据峰值温度、峰面积可以确定变性温度与热焓等参数^[10]。由图2可以看出,每种鱼分别有三个吸热峰,表示三种蛋白各自的热变性温度。吸热峰

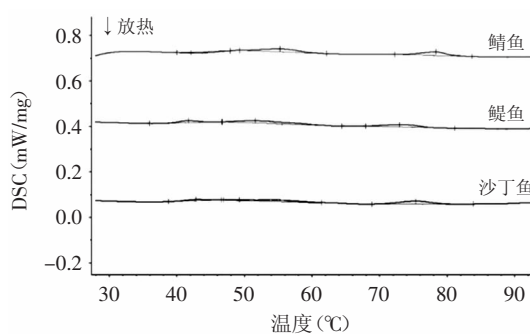


图2 3种鱼肉蛋白质随温度变化的DSC热流曲线图

Fig.2 DSC thermogram of three fishes muscle protein denaturated as temperature changed

的最高点代表该蛋白发生一般变性时的温度。第一个吸热峰反映的是肌球蛋白的变性温度,鲭鱼为42.1℃,鳀鱼为41.7℃,沙丁鱼为42.8℃。第二个吸热峰反映的是肌浆蛋白的热变性温度,鲭鱼为55.2℃,鳀鱼为51.6℃,沙丁鱼为52.2℃。第三个吸热峰为肌动蛋白的热变性温度,鲭鱼为78.3℃,鳀鱼为72.9℃,沙丁鱼为75.3℃。本研究结果与Thorarinsdottir等^[11]研究鳕鱼肌肉的热变性温度(43.5、59.3和73.6℃)、鲁长新^[12]研究鲢鱼肌肉热变性温度(41.5、53.28和72.4℃)以及Belibagli等^[13]报道的鲭鱼肌肉3种蛋白的热变性温度(48、56和71℃)基本吻合。由于品种和来源不同,3种鱼肌肉的热变性温度有所差别。

2.4 不同加热温度对鱼肌肉蛋白溶解度的影响

不同加热温度下,3种鱼肌原纤维蛋白的溶解度随温度变化的影响如图3所示。蛋白质的溶解性在肉制品加工过程中起着重要的作用,它与肌肉蛋白质的大多数功能相关,是评价肉品品质的一个重要指标。从图3可以看出,与原料肉相比,热处理后的鱼肉盐溶性蛋白溶解度显著降低,说明蛋白质随温度的升高发生了不可逆变性,且在加热初期的下降速度比加热后期快。总体上鲭鱼的蛋白溶解度要高于鳀鱼和沙丁鱼。

影响溶解度下降的因素有:a.在加热过程中,不溶性聚集体在盐溶性蛋白分子之间形成,使得其溶出量不断下降;b.蛋白变性后会产生碱溶性蛋白,其

表1 不同加热温度对鱼肉色差的影响

Table 1 Influence of temperature on the color of fish

鱼的种类		温度(℃)					
		4	40	50	60	70	80
L*	鲭鱼	50.80±0.35 ^{Ac}	52.33±1.74 ^{Ab}	54.55±1.54 ^{Aa}	55.99±1.79 ^{Aa}	55.66±2.64 ^{Aa}	56.08±2.29 ^{Aa}
	鳀鱼	44.97±2.44 ^{Bc}	47.11±1.13 ^{Bb}	54.06±1.32 ^{Aa}	55.17±1.00 ^{Aa}	55.25±1.23 ^{Aa}	56.02±0.95 ^{Aa}
	沙丁鱼	43.86±1.04 ^{Bl}	46.20±1.68 ^{Bc}	49.83±1.16 ^{Bb}	50.62±1.55 ^{Bb}	52.49±1.27 ^{Ba}	53.40±1.41 ^{Ba}
a*	鲭鱼	2.52±0.53 ^{Aa}	1.81±0.93 ^{Aa}	1.79±0.69 ^{Aa}	1.22±0.60 ^{Aa}	0.73±0.13 ^{Ab}	0.43±0.11 ^{Bc}
	鳀鱼	1.07±0.16 ^{Ba}	0.94±0.10 ^{Ba}	0.95±0.05 ^{Ba}	0.58±0.10 ^{Ab}	0.62±0.07 ^{Bb}	0.28±0.02 ^{Cc}
	沙丁鱼	2.94±1.01 ^{Aa}	2.21±0.47 ^{Aa}	2.36±0.99 ^{Aa}	2.66±0.87 ^{Ab}	1.93±0.85 ^{Ab}	1.02±0.41 ^{Ab}
b*	鲭鱼	14.97±1.35 ^{Aa}	8.55±1.59 ^{Bc}	15.02±1.41 ^{Ba}	14.34±2.98 ^{Ba}	9.82±0.84 ^{Bc}	11.4±0.57 ^{Ab}
	鳀鱼	12.26±0.80 ^{Ba}	5.77±1.30 ^{Cl}	13.84±1.85 ^{Aa}	14.4±1.80 ^{Ba}	9.98±0.64 ^{Bb}	7.67±0.47 ^{Bc}
	沙丁鱼	13.1±0.73 ^{Bb}	11.48±0.67 ^{Ac}	15.83±0.90 ^{Aa}	16.97±1.06 ^{Aa}	12.61±1.37 ^{Abc}	11.95±0.63 ^{Abc}

注:数据表示形式为平均值±标准差;同行/列上标不同字母者差异显著($p<0.05$)。

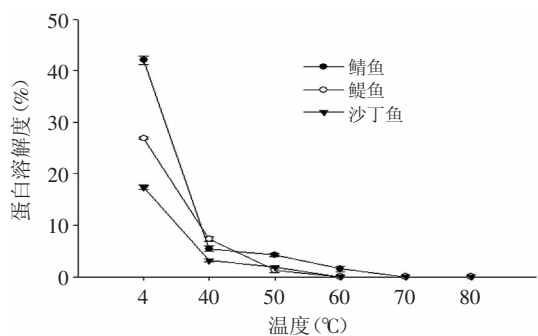


图3 不同加热温度下蛋白溶解度的变化

Fig.3 Changes of protein solubility of fish during different heat treatments

在高离子强度下不能溶出但在碱性条件下可以溶出,这使得盐溶性蛋白含量减少;c.巯基被氧化形成二硫键导致肌动球蛋白重链聚合,致使盐溶性蛋白含量下降^[14]。

2.5 不同加热温度对鱼肌肉蛋白总巯基的影响

加热过程中3种鱼肉的总巯基含量随温度变化曲线见图4所示。总巯基即包括活性巯基和隐藏的巯基,是水产蛋白中最具反应活性的功能性基团之一。二硫键含量下降与肌原纤维蛋白的活性巯基被氧化有关,所以蛋白质在加热过程中的变性和氧化程度可以通过测定总巯基含量的变化来反映^[15]。从图4可以看出,随着温度升高总巯基数下降,下降的原因是因为加热破坏了肌原纤维蛋白的空间结构,使巯基暴露出来,被氧化成二硫键,导致蛋白的完全变性和聚集^[16]。另外,蛋白质聚合体的形成也会掩盖部分巯基,能够检测到的游离巯基减少,使得总巯基含量下降。Ko^[16]、Yongsawatdingual^[17]、孙丽等^[14]分别研究的罗非鱼、马鲛鱼、金枪鱼的肌动球蛋白在加热过程中总巯基含量明显下降,同时活性巯基还出现暂时增加然后下降的现象,总巯基氧化为二硫键。相比鳀鱼和沙丁鱼而言,鲭鱼的总巯基下降比较缓慢,可能是由于鲭鱼的热稳定性比较高的原因。

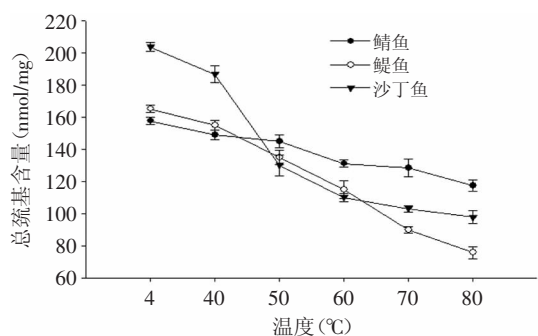


图4 不同加热温度下总巯基的变化

Fig.4 Changes of total sulphydryl content (nmol/mg) of fish during different heat treatments

2.6 不同加热温度对鱼肌肉蛋白羰基的影响

加热过程中3种鱼肌肉蛋白羰基含量随温度变化曲线见图5所示。羰基是自由基攻击氨基酸侧链与肽键产生羰基化合物及其他衍生物,从图5可以看

出,随着温度升高,羰基含量呈上升的趋势。4℃时3种鱼的羰基含量比新鲜鱼肉的羰基值要大许多,原因是鱼在运输以及贮藏过程中冰晶的多次重新形成,破坏了细胞结构以及肌纤维完整性,加速了蛋白氧化。鱼肉中一些天然的抗氧化剂在贮藏和加热过程中被逐步分解,也是导致羰基含量变化较大的原因。

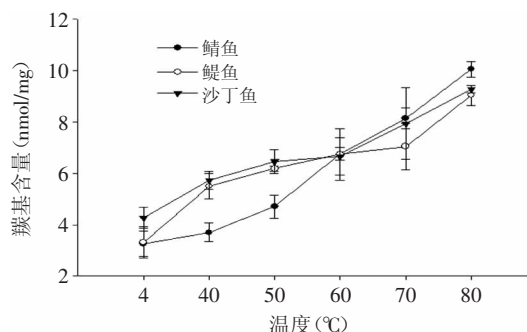


图5 不同加热温度下羰基的变化

Fig.5 Changes of carbonyl content (nmol/mg) of fish during different heat treatments

3 结论

鲭鱼、鳀鱼和沙丁鱼的肌球蛋白、肌浆蛋白和肌动蛋白的变性温度分别为:42.1℃-55.2℃-78.3℃;41.7℃-51.6℃-72.9℃;42.8℃-49.2℃-75.3℃,要使得蛋白质全部变性,鲭鱼、鳀鱼和沙丁鱼的加热温度需分别达到78.3℃、72.9℃、75.3℃,其中鲭鱼蛋白的热稳定性较高,到78.3℃时才能够完全变性,因此为了节省资源,3种鱼的加热温度应该控制在78.3℃、72.9℃、75.3℃以下。出现这种差异主要是来源、品种以及冷冻方式不同对鱼肉蛋白质的热稳定性产生的影响。蛋白溶解度、巯基随着加热温度的升高而降低,羰基形成量随着温度的升高而增加。加热使得蛋白质结构发生不可逆的变化,随着温度上升,变性速度加快。pH随加热温度升高呈上升的趋势,加热后的鱼肉L*值高于生肉, a*值下降,但不同加热温度对pH的差异不显著 ($p>0.05$),但鳀鱼的pH始终要高于鲭鱼和沙丁鱼,原因可能是鲭鱼和沙丁鱼的脂肪含量较鳀鱼要高,脂肪在加热过程中有一部分水解为脂肪酸。此结果为海水鱼的深加工提供理论依据。

参考文献

- [1] 刘红英,齐凤生,张辉.水产品加工与贮藏[M].北京:化学工业出版社,2006:1-4.
- [2] 孙玉民,罗明.畜禽肉品学[M].济南:山东科学技术出版社,1993:167-168.
- [3] 吕兵,张静.肉制品保水性的研究[J].食品科学,2000,21(4):23-26.
- [4] 韩敏义,费英,徐幸莲,等.低场NMR研究pH对机缘纤维蛋白热诱导凝胶的影响[J].中国农业科学,2009,42(6):2098-2104.
- [5] 闵连吉.肉类食品工艺学[M].北京:中国商业出版社,

(下转第112页)

醇主要是特异性吸附。另外,印迹聚合物对两种类似物喹烯酮和乙酰甲喹的印迹效率因子很大(2.0及以上),说明印迹聚合物对喹乙醇具有显著的印迹效应,对其他两种类似物的识别能力和选择性较差。这些结果进一步表明,在分子印迹聚合物中存在固定排列的结合基团的立体空腔,空腔的大小与空腔内结合基团的位置和模板分子相适宜,从而对模板分子有“记忆”功能,因此对模板分子有特异的选择性。

3 结论

本研究以壳聚糖为载体,运用表面印迹-溶胶凝胶法制备喹乙醇分子印迹聚合物。制备的印迹聚合物对 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的喹乙醇吸附容量为 $10.14\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而非印迹聚合物的吸附容量仅为 $5.93\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,说明其具有较高的吸附容量;制备的印迹聚合物在60min的吸附容量为 $5.89\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占最大吸附容量的57.6%,吸附大约在3h后达到平衡,表明具有较快的吸附速度;对喹烯酮的印迹效率因子达2.29,对乙酰甲喹的印迹效率因子为2.22,表明制备的印迹聚合物具有较好的选择吸附性。因此,所合成的功能材料适用于对喹乙醇的检测。

参考文献

- [1] 赵从民. 喹乙醇的作用与使用方法[J]. 吉林畜牧兽医, 2003(11):41.
- [2] 邓云波,段苏华,陈启友. 喹乙醇的特性及其规范合理使用[J]. 湖南畜牧兽医, 2004(1):14-17.
- [3] 宋春美,侯玉泽,刘宣兵,等. 喹乙醇的危害及检测方法研究进展[J]. 河南农业科学, 2009(12):13-17.
- [4] 罗杨,张剑勇. 高效液相色谱法测定饲料中喹乙醇含量[J]. 中国饲料, 2006(12):35-38.
- [5] Thente K, Andersson B. The determination of olaquinox in pig feeds by high-performance liquid chromatography[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1982, 33(10):945-948.
- [6] Poucke C V, Dumoulin F, Peteghem C V. Detection of banned antibacterial growth promoters in animal feed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry: optimization of the extraction solvent by experimental design[J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 529(1-2):211-220.
- [7] 曾静,朱宽正. 高效液相色谱-串联质谱法检测水产品中的喹乙醇[J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(5):423-425.
- [8] 杨文军,张丽英. 高效液相色谱质谱联用法测定饲料中喹乙醇[J]. 中国饲料, 2006(20):33-36.
- [9] 冀宝庆. 喹乙醇及其代谢残留免疫检测技术研究[D]. 无锡:江南大学, 2008.
- [10] Zhao D, He L, Pu C, et al. A highly sensitive and specific polyclonal antibody-based enzyme-linked immunosorbent assay for detection of antibiotic olaquinox in animal feed samples[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2008, 39(1):2653-2661.
- [11] 姜忠义. 分子印迹聚合物的设计与制备[J]. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(3):25-28.
- [12] 王华芳,何运华,何锡文,等. 3-氨基苯硼酸为功能单体在壳聚糖上印迹牛血清白蛋白的研究[J]. 高等学校化学学报, 2008, 29(4):726-730.
- [13] 杨春梅,顾磊,孙怡,等. 离子交联法制备氟尿嘧啶壳聚糖微球[J]. 华东理工大学学报:自然科学版, 2010, 36(4):546-549.
- [14] Guo T Y, Xia Y Q, Wang J, et al. Chitosan beads as molecularly imprinted polymer matrix for selective separation of proteins[J]. Biomaterials, 2006, 26(28):5737-5745.
- [15] Cormack P, Mosbach K. Molecular imprinting: recent developments and the road ahead[J]. Reactive and Functional Polymers, 1999, 41(1-3):115-124.
- [16] Xiong Y L. Protein oxidation and implications for muscle foods quality[J]. Meat Science, 2000, 72:647-655.
- [17] Benjakul S, Baher F. Physicochemical and enzymatic changes of Cod muscle proteins subjected to different freeze-thaw cycles[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(8):1143-1150.
- [18] Oliver C N, Ahn B W, Moerman E J, et al. Aged-related changes in oxidized proteins[J]. Journal of Biological Chemistry, 1987, 262(12):5488-5491.
- [19] Lampila L E. Comparative microstructure of red meat, poultry and fish muscle[J]. Journal of Muscle Foods, 1990, 1(4):247-267.
- [10] 王健,田丰伟,张玉新. 热分析法在食品蛋白质研究中的应用[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2000(4):14-17.
- [11] Thorarinsdottir K A, Arason S, Geirsdottir M, et al. Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry[J]. Food Chemistry, 2002, 77(3):377-385.
- [12] 鲁长新. 淡水鱼热肌肉特性的研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2007.
- [13] Belibagli K B, Speers R A, Paulson A T. Thermophysical properties of silver hake and mackerel surimi at cooking temperature[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60(4):439-448.
- [14] 孙丽. 金枪鱼肉在蒸煮过程中品质特性变化的研究[D]. 无锡:江南大学, 2009.
- [15] 万建荣,洪玉菁,奚印慈,等. 水产食品化学分析手册[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1993:154-157.
- [16] Ko W C, Yu C C, Hsu K C. Changes in conformation and sulfhydryl groups of tilapia actomyosin by thermal treatment[J]. LWT-Food Science & Technology, 2007, 40(8):1316-1320.
- [17] Yongsawatdigul J, Park J W. Thermal aggregation and dynamic rheological properties of pacific whiting and cod myosins as affected by heating rate[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(4):679-683.

(上接第107页)

1995:402-406.