

乳清浓缩蛋白对竹荚鱼鱼糜凝胶化和凝胶劣化的影响

陈海华^{1,2}, 薛长湖²

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109;

2. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘 要: 采用质构分析法、扫描电子显微镜等方法研究乳清浓缩蛋白对竹荚鱼鱼糜凝胶劣化的抑制作用。结果表明: 添加乳清浓缩蛋白(WPC)能显著改善竹荚鱼鱼糜在 30℃凝胶化时的凝胶特性, 并且添加量为 5%(质量分数), 加热时间为 5h 时, 竹荚鱼鱼糜的凝胶特性最佳; 添加 WPC 能显著抑制竹荚鱼鱼糜在 50℃凝胶劣化现象, WPC 的添加量为 5% 时, 抑制效果显著, 添加量为 10% 时, 抑制效果最佳; WPC 的添加量低于 0.5% 时, 对竹荚鱼鱼糜凝胶色泽的影响不明显; 添加量超过 1% 时, 竹荚鱼鱼糜凝胶的白度显著降低。微观结构的观察表明, 添加 WPC 使鱼糜凝胶的结构变得更加致密, 因而能增强竹荚鱼鱼糜的凝胶强度。

关键词: 乳清浓缩蛋白; 凝胶化; 凝胶劣化; 竹荚鱼; 鱼糜; 微观结构

Effect of Whey Protein Concentration on Suwari and Modori Phenomena of Horse-mackerel Surimi

CHEN Hai-hua^{1,2}, XUE Chang-hu²

(1. College of Food Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China ;

2. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The effect of whey protein concentration (WPC) on the suwari and modori phenomena of horse-mackerel surimi prepared under the heating condition of 30℃/90℃ or 50℃/90℃ was studied. Regardless of heating conditions, added WPC resulted in a higher breaking force, a higher gel strength and the deformation of surimi gels. Optimal gel properties were observed with 5% WPC, setting at 30℃ for 5 h and then heating at 90℃ for 20 min. Addition of 5% WPC had significant inhibition effect on the modori phenomena when setting at 50℃, which increased breaking force, deformation and gel strength of surimi gels. Addition of 10% WPC showed an optimal inhibition effect. No changes in whiteness were observed for gels with less than 0.5% addition of WPC, while more than 1% addition of WPC resulted in a lower whiteness. The microstructure of surimi gels generally became denser due to the addition of WPC, leading to the increased gel strength.

Key words: whey protein concentration; suwari; modori; horse-mackerel; surimi; microstructure

中图分类号: TS254.4; S965.328

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)11-0025-06

鱼糜制品的品质是通过其质构、色泽、风味来综合评价的, 其中最主要的是其质构特性。鱼糜制品的质构主要取决于鱼糜蛋白的凝胶形成能力和凝胶特性, 而凝胶形成能力不仅受鱼种和加工条件与方式的影响, 同时也与外源物质的添加相关。近年来, 采用合适的添加剂来提高低值海水鱼糜的凝胶性能已成为国外鱼糜制品加工业的重要课题。添加剂的加入一方面可以降低鱼糜制品加工成本, 另一方面也可以改善

鱼糜制品的凝胶性能^[1-2]。

鱼糜制品加工过程中在 50~60℃的温度带内常因肌原纤维蛋白的降解而引起凝胶形成能力下降, 这种现象被称为凝胶劣化(modori)^[3]。凝胶劣化的产生不仅影响鱼糜制品的弹性, 更影响其商品价值。凝胶劣化现象是由于热激活蛋白酶作用于肌原纤维蛋白凝胶形成能力的主要组分——肌球蛋白重链而引起的^[4-5]。引起凝胶劣化的两种主要的蛋白酶是丝氨酸蛋白酶和热稳定的碱性蛋

收稿日期: 2009-09-06

基金项目: 2008 年度山东省博士后创新项目专项(200803105); 国家“863”计划项目(2006AA09Z430; 2006AA09Z444)

作者简介: 陈海华(1973—), 女, 副教授, 博士, 主要从事水产蛋白资源的开发和利用。E-mail: chhyj73@hotmail.com

白酶^[6]。通过添加蛋白酶抑制剂或其他的添加剂,可降低鱼糜制品中组织蛋白酶的活性。非肌肉蛋白如大豆分离蛋白、鸡蛋清蛋白、乳清蛋白、猪血浆蛋白、牛血浆蛋白等,是一类食品添加剂,能抑制内源性热激活蛋白酶,从而改善各种鱼糜制品的质构特性^[7-18]。Hongsprabhas等^[19]研究表明6%~10%的乳清蛋白浓缩物会增加鱼糜的凝胶强度和保水性。Weerasinghe等^[20]指出乳清蛋白浓缩物可以作为太平洋白鱼糜的蛋白酶抑制剂,有效的抑制蛋白自溶现象。Burgarella等^[21]指出鱼糜中加入蛋清和乳清蛋白对加热形成的凝胶强度有增加的作用。但是乳清浓缩蛋白对竹荚鱼鱼糜凝胶化和凝胶劣化的影响研究较少。作者前期的实验表明竹荚鱼鱼糜的适宜凝胶化温度是30℃,而50~70℃易发生凝胶劣化。本研究主要探讨乳清浓缩蛋白对竹荚鱼鱼糜凝胶化和凝胶劣化的影响,为乳清浓缩蛋白在竹荚鱼鱼糜制品生产中应用提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

竹荚鱼(-30℃冻藏3个月,样品质量为0.5kg)浙江舟山;乳清浓缩蛋白(WPC)江苏蒙倍特食品化学有限公司。

1.2 仪器与设备

TMS-PRO质构仪 美国Food Technology公司;WSC-S型色差计 上海精密科学仪器有限公司;UMC5型真空斩拌机 德国Stephan公司;KYKY-2008B扫描电镜 中国科学院;D-24型稳压稳流型电泳仪 北京六一仪器有限公司;GIS-2008型凝胶成像系统 天能科技有限公司;HH-4电热恒温水浴锅 金坛市科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 竹荚鱼冷冻鱼糜的制备

取冷冻竹荚鱼在4℃下解冻,然后用冰水洗净后去头、去皮、去内脏、采肉,分别用3倍体积的冰水漂洗3次(每次10min)后脱水,精滤后加入抗冻剂,每袋500g分装,并于-20℃贮藏,备用,此为竹荚鱼冷冻鱼糜(水分含量为78%)。

1.3.2 竹荚鱼鱼糜蛋白凝胶的制备

将冻藏的冷冻竹荚鱼鱼糜500g,半解冻后用真空斩拌机在10℃以下空搅5min,添加质量分数2.5%的食盐继续盐搅15min,然后加入不同质量分数(0~10%)的乳清浓缩蛋白进一步搅5min;将鱼糜充填至直径为30mm的尼龙肠衣中,采用两段加热法制备凝胶化鱼糜凝胶和凝胶劣化鱼糜凝胶:1)凝胶化鱼糜凝胶的制备:先在30℃下分别凝胶化0、1、3、5、7、9h,再在90℃加热20min;2)凝胶劣化鱼糜凝胶的制备:先在50℃

下分别凝胶劣化0、0.5、1、2、3、5、7h,再在90℃加热20min。

上述样品加热后立即置于冰水中冷却,再将其置于4℃下放置过夜,待测。注意在鱼肠加热前应严格控制鱼糜的温度在10℃以下。

1.3.3 破断强度的测定

将制备好的鱼肠从4℃取出,室温放置,使鱼肠温度平衡至室温,然后将其切成25mm长的片段,破断强度和凹陷度直接采用质构仪测定。采用直径为5mm的球形探头,以60mm/s的速度穿刺样品至20mm,穿刺曲线上的第一个峰即为破断强度,对应的距离为凹陷度。其中破断强度反映了鱼糜凝胶的硬度,凹陷度反映了鱼糜凝胶的弹性。二者的乘积即为凝胶强度^[7],即:

$$GS = BF \times D \quad (1)$$

式中:GS为凝胶强度/(g·mm);BF为破断强度/g;D为凹陷度/mm。

每组实验重复5次,实验结果为5次测定结果的平均值。

1.3.4 白度的测定

将样品切成厚3mm的薄片,室温下用WSC-S测色色差计测定样品的色泽,仪器采用标准白板校正,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 表示颜色的坐标, L^* 表示样品的亮度, a^* 表示样品偏红, $-a^*$ 表示样品偏绿; b^* 表示样品偏黄, $-b^*$ 表示样品偏蓝。白度计算公式为^[8]:

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (2)$$

每组实验重复5次,实验结果为5次测定结果的平均值。

1.3.5 持水性能的测定

将样品切成厚3mm的薄片并称其质量(m_1),下面放3张滤纸,上面放2张滤纸,用5kg的重物压制并保持2min,去掉滤纸,再将样品称其质量(m_2),失水率按式(3)计算:

$$\text{失水率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

每组实验重复5次,实验结果为5次测定结果的平均值。

1.3.6 扫描电镜观察

将鱼糜凝胶样品切成小块,用质量分数为3%戊二醛溶液4℃下固定24h,再用0.1mol/L磷酸盐缓冲液(pH7.2)漂洗数次。然后用质量分数为1%的锇酸溶液固定2h,再用0.1mol/L磷酸盐缓冲液(pH7.2)漂洗数次。依次用体积分数为30%、50%、70%、90%、100%乙醇梯度脱水,最后用醋酸异戊酯脱乙醇,用临界点干燥仪干燥,再用离子溅射仪喷金后,用扫描电镜观察,

加速电压为 10kV。

1.3.7 乳清浓缩蛋白对竹荚鱼鱼糜降解的抑制率

按照 Morrissey 等^[3]的方法检测乳清浓缩蛋白对鱼糜降解的抑制能力。取 3g 冷冻鱼糜, 4℃放置 2~3h 后加入乳清浓缩蛋白至不同终浓度。将鱼糜与乳清浓缩蛋白的混合物在 50℃温浴 1h, 以促进凝胶劣化的进行, 然后加入 27mL 5g/100mL 的冷 TCA 溶液, 11000r/min 均质处理 2min。混合物在 4℃静置 15min 后, 将均质液在 8000×g 离心 5min。采用 Lowry 法检测上清液中的 TCA-可溶性肽的含量。计算乳清浓缩蛋白对鱼糜降解的抑制率:

$$\text{抑制率}/\% = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

式中: C_0 为对照鱼糜(不添加乳清浓缩蛋白)在 50℃温浴后 TCA-可溶性肽含量/%; C_1 为样品鱼糜(添加乳清浓缩蛋白)中 50℃温浴后 TCA-可溶性肽含量/%。

1.3.8 TCA-可溶性肽的测定

称取 3g 绞碎的鱼糜凝胶于试管中, 加入 27mL 5g/100mL 的 TCA, 均质后于 4℃下静置 1h。将溶液在 8000×g 条件下离心 10min, 取上清液用 Lowry 法测定 TCA-可溶性肽, 用单位质量样品中酪氨酸的 mmol 数表示。

1.3.9 统计方法

所有实验数据用 SAS8.0 进行分析, 采用 Duncan 多重比较对数据之间的显著性进行对比。

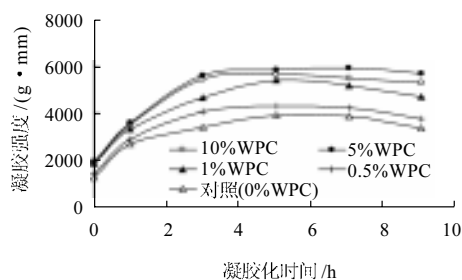
2 结果与分析

2.1 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶化特性的影响

2.1.1 WPC 对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶质构特性的影响

由图 1 可知, 添加 WPC 可显著改善竹荚鱼鱼糜的凝胶特性, WPC 添加量相同时, 凝胶化鱼糜凝胶样品的凝胶强度随着凝胶化时间的延长而增强, WPC 的添加量为 0.5%、1%、5%、10% 时, 均在 5h 达到最大值, 再继续加热, 添加 0.5% 和 1% WPC 的鱼糜制品的凝胶特性显著降低, 而添加 5% 和 10% WPC 的鱼糜制

品的凝胶特性变化不显著。在相同的凝胶化时间, 凝胶化鱼糜凝胶样品的凝胶强度随着 WPC 添加量的增加而增强, 在 WPC 添加量为 5% 时达到最大值; 当 WPC 添加量超过 5%, 其凝胶强度反而会降低。WPC 添加量为 5%, 凝胶化时间 5h 时, 凝胶化鱼糜凝胶样品的凝胶强度为 5554g·mm, 比对照样品(未添加 WPC 的凝胶化鱼糜凝胶样品)提高了 43%。



样品先在 30℃凝胶化一定时间, 然后 90℃加热 20min。

图 1 WPC 添加量对竹荚鱼鱼糜凝胶化质构特性的影响

Fig.1 Effect of WPC on the textural properties of horse-mackerel surimi gel

2.1.2 WPC 对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶白度的影响

由表 1 可知, 在 30℃凝胶化, 当 WPC 添加量相同时, 凝胶化时间对竹荚鱼鱼糜凝胶白度的影响较小。在凝胶化时间相同的条件下, 随着 WPC 添加量的逐渐增加, 凝胶化鱼糜凝胶的白度逐渐下降。添加 0.5% WPC 的凝胶化鱼糜凝胶样品的白度与对照样品(未添加 WPC)的白度无显著差别; 当 WPC 的添加量超过 0.5% 后, 样品的白度显著下降。当 WPC 添加量为 10% 时, 样品白度的最差。这可由于 WPC 本身呈浅黄色, 因此添加 WPC 会导致鱼糜凝胶的白度下降, 尤其是添加量较高时。

2.1.3 WPC 对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶持水力的影响

由图 2 可以看出, 在 WPC 添加量相同及凝胶化温度为 30℃的条件下, 随着凝胶化时间的延长, 凝胶化鱼糜凝胶样品的失水率略有降低但不显著($P > 0.05$), 这

表 1 WPC 对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶白度的影响

Table 1 Effect of whey protein concentration on the whiteness of horse-mackerel surimi gel

凝胶化时间/h	乳清浓缩蛋白添加量/%				
	0	0.5	1	5	10
1	82.54 ± 0.12 ^{Aa}	82.25 ± 0.55 ^{Aa}	80.61 ± 0.09 ^{Ab}	79.58 ± 0.16 ^{Ab}	76.90 ± 0.42 ^{Ac}
3	82.32 ± 0.01 ^{Aa}	82.19 ± 0.67 ^{Aa}	80.32 ± 0.46 ^{Ab}	78.15 ± 0.35 ^{ABb}	76.55 ± 0.16 ^{Ac}
5	81.68 ± 0.25 ^{ABa}	82.78 ± 0.43 ^{Aa}	79.94 ± 0.22 ^{Ab}	78.68 ± 0.05 ^{Abc}	77.41 ± 0.25 ^{Ac}
7	81.67 ± 0.05 ^{ABa}	82.21 ± 0.05 ^{Aa}	79.34 ± 0.13 ^{ABb}	78.34 ± 0.59 ^{Abc}	77.12 ± 0.27 ^{Ac}
9	81.63 ± 0.03 ^{ABa}	82.36 ± 0.36 ^{Aa}	79.78 ± 0.49 ^{Ab}	78.42 ± 0.19 ^{Ab}	76.83 ± 0.36 ^{Ac}

注: 同列肩标大写字母不同表示差异性显著($P < 0.05$); 同行肩标小写字母不同表示差异性显著($P < 0.05$)。凝胶化温度为 30℃。

说明竹荚鱼鱼糜在 30℃ 的凝胶化处理对其凝胶的持水力略有提高作用。在凝胶化时间相同的情况下, 随着 WPC 添加量的增加, 凝胶化鱼糜凝胶样品的失水率显著降低 ($P < 0.05$)。

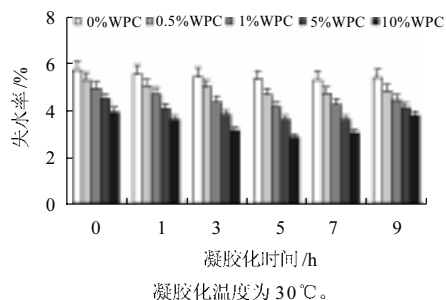


图2 添加WPC对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶持水力的影响

Fig.2 Effect of WPC on the water holding capacity of surimi gels from horse-mackerel

的 WPC 能使太平洋白鱼鱼糜的组织蛋白酶活降低 80% 左右(与不添加 WPC 的样品相比)。Weerasinghe 等^[20]报道 WPC 同时含有丝氨酸蛋白酶抑制剂和半胱氨酸蛋白酶抑制剂。

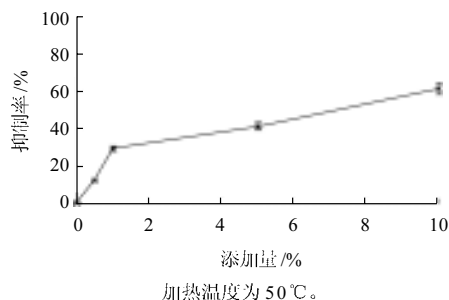
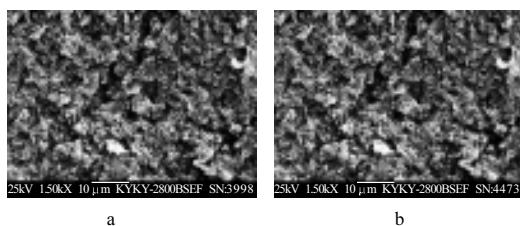


图4 WPC对竹荚鱼鱼糜自溶抑制率的影响

Fig.4 Effect of WPC on autolysis inhibition of surimi from horse-mackerel

2.1.4 WPC 对竹类色凝胶化色糜凝胶微观结构的影响



凝胶化温度为 30℃, 凝胶化时间为 5h, 二段加热; a. 未添加 WPC; b. 添加 5% WPC。

图3 添加 WPC 对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶微观结构的影响

Fig.3 Effect of whey protein concentration on the microstructure of surimi gels from horse-mackerel

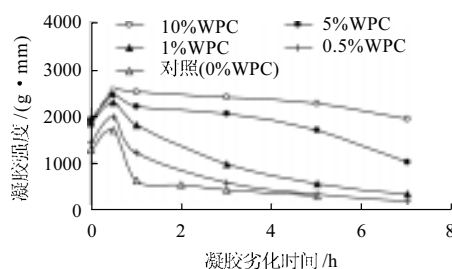
添加 WPC 对竹荚鱼凝胶化鱼糜凝胶的微观结构有显著的影响。由图 3a 可以看出, 未添加 WPC 的鱼糜凝胶的网络结构比较松散, 而添加 5% WPC 的鱼糜凝胶形成了高度致密、均一的三维网络结构(图 3b), 因而添加 WPC 能增强凝胶化鱼糜凝胶样品的凝胶强度。

2.2 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶劣化的影响

2.2.1 WPC 对竹类色素蛋白溶抑制率的影响

由图 4 可以看出, WPC 可显著抑制竹荚鱼鱼糜的降解, 并且这种抑制作用随 WPC 的添加量增加而增强。当添加量为 0.5% 时, WPC 的抑制率达到 12.1%, 添加量增加到 10% 后, 抑制率可达到 61.3%。由此可以推测, WPC 含有能够抑制导致竹荚鱼鱼糜降解的蛋白酶活性的抑制剂。Piyachomkwan 等^[22]报道 WPC 本身具有组织蛋白酶的抑制剂, 或者作为一种添加剂能够有效降低肌球蛋白的组织蛋白酶的活性, 因而具有保护鱼糜肌原纤维蛋白的作用。Akazawa 等^[7]也发现添加 3%

2.2.2 WPC 对竹菜色色度劣化凝胶质构特性的影响



鱼糜首先在 50℃ 凝胶劣化一定时间, 然后 90℃ 加热 20 min。

图5 WPC添加量对竹荚鱼鱼糜凝胶质构特性的影响

Fig.5 Effect of WPC on the textural properties of horse-mackerel modori gel

由图 5 可知,添加 0.5% 或 1% WPC 的鱼糜凝胶劣化样品的凝胶强度在 30min 达到最大值,继续延长凝胶劣化时间,会导致鱼糜劣化样品的凝胶特性显著下降。添加 5% 或 10% WPC 的鱼糜凝胶劣化样品的凝胶强度随着凝胶劣化时间的延长而增加,至 30min 达到最大值,继续凝胶劣化至 3h 其凝胶强度略有降低,但不显著;超过 3h 后,再继续凝胶劣化其凝胶强度会逐渐下降。在相同的凝胶劣化时间下,鱼糜凝胶劣化样品的凝胶强度随着 WPC 的添加量的增加而增强,WPC 添加量为 10% 时,效果最好,在 50℃ 凝胶劣化 30min 的凝胶强度为 2557g·mm,比对照(未添加 WPC 的样品)增加了 29%。由此可以看出,添加 WPC 能够在一定程度上抑制竹筴鱼鱼糜在 50℃ 下发生的凝胶劣化现象,并且这种抑制作用随着 WPC 添加量的增加而增强,当 WPC 的添加量为 5% 时,有抑制作用,添加量为 10% 时,抑制效果最显著。这一结果与其他学者的研究结果一致。

表2 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶白度的影响
Table 2 Effect of WPC on the whiteness of horse-mackerel modori gel

凝胶劣化时间/h	乳清浓缩蛋白添加量/%				
	0	0.5	1	5	10
0.5	80.53 ± 0.15 ^{Bab}	81.20 ± 0.28 ^{Ba}	79.34 ± 0.61 ^{ABb}	77.19 ± 0.37 ^{Bc}	76.60 ± 0.28 ^{Ac}
1	80.14 ± 0.11 ^{Bab}	81.43 ± 0.34 ^{ABa}	79.87 ± 0.36 ^{Ab}	77.31 ± 0.43 ^{Bc}	76.54 ± 0.38 ^{Ac}
3	80.91 ± 0.12 ^{Ba}	80.75 ± 0.23 ^{Ba}	79.32 ± 0.62 ^{ABa}	76.90 ± 0.18 ^{Bb}	76.29 ± 0.24 ^{Ab}
5	80.37 ± 0.12 ^{Ba}	80.59 ± 0.18 ^{Ba}	78.64 ± 0.37 ^{Bb}	77.15 ± 0.67 ^{Bbc}	76.86 ± 0.14 ^{Ac}
7	81.83 ± 0.11 ^{ABa}	80.65 ± 0.24 ^{Bab}	79.18 ± 0.14 ^{ABb}	76.64 ± 0.51 ^{Bc}	76.71 ± 0.19 ^{Ac}

注：同列肩标大写字母不同表示之间差异显著($P < 0.05$)；同行肩标小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。凝胶劣化温度为 50℃。

2.2.3 WPC 对竹荚鱼鱼糜劣化凝胶白度的影响

由表 2 可以看出，相同的 WPC 添加量及凝胶劣化温度下，凝胶劣化时间对竹荚鱼鱼糜凝胶白度的影响较小。在凝胶劣化温度和时间相同的条件下，随着 WPC 添加量的逐渐增加，竹荚鱼鱼糜凝胶的白度逐渐下降。添加 0.5%WPC 的样品的白度与对照样品(未添加 WPC)的白度无显著差别。当 WPC 的添加量超过 0.5% 后，样品的白度显著下降。当 WPC 添加量为 10% 时，样品白度最差。这可能是由于 WPC 本身呈浅黄色，因此添加 WPC 会导致鱼糜凝胶的白度下降，尤其是添加量较高时。因此，低浓度的 WPC 可以作为蛋白类添加剂用于鱼糜制品的加工，以改善鱼糜的凝胶强度，并且不会导致鱼糜凝胶白度的显著降低。这与周爱梅^[24]的研究结果不同，她认为添加 WPC 对白鲢鱼鱼糜凝胶的白度没有不利影响，并能提高鱼糜的白度。

2.2.4 WPC 对竹荚鱼鱼糜劣化凝胶持水力的影响

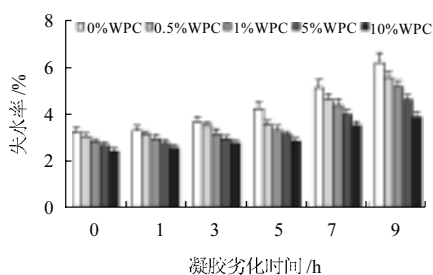


图6 添加 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶持水力的影响

Fig.6 Effect of WPC on the water holding capacity of modori gels from horse-mackerel

由图 6 可以看出，添加 WPC 可使鱼糜凝胶劣化样品的失水率有一定程度的降低。WPC 添加量相同时，随着凝胶劣化时间的延长，鱼糜凝胶劣化样品的持水力显著降低，并且添加 WPC 的鱼糜凝胶劣化样品的持水力显著高于对照样品。从图 6 还可以看出，在 50℃ 凝胶劣化 30min 时，添加 1% 和 10% WPC 的鱼糜凝胶劣化样品的失水率比对照样品分别降低 10.8% 和 22.9%，这说明 WPC 能有效吸收和保留样品中的水分。这主要是

因为添加 WPC 至竹荚鱼鱼糜中，可有效的抑制鱼糜蛋白的降解，从而可促进竹荚鱼鱼糜蛋白形成更加紧凑的蛋白质网络结构，从而可提高竹荚鱼鱼糜凝胶的持水能力。鱼糜凝胶持水能力的提高，对鱼糜的质地、颜色及货架期都有积极的影响。

2.2.5 WPC 对竹荚鱼鱼糜劣化凝胶 TCA-可溶性肽的影响

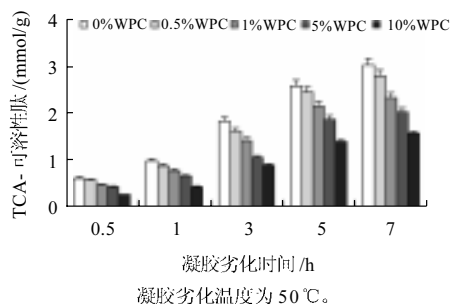
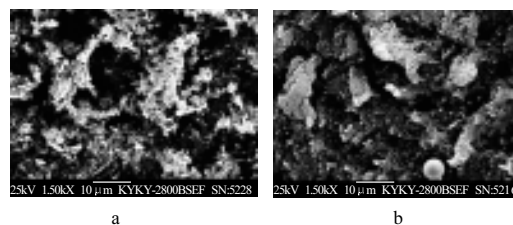


图7 添加 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶 TCA-可溶性肽的影响

Fig.7 Effect of WPC on the TCA-soluble peptides of modori gels from horse-mackerel

由图 7 可以看出，在 50℃ 凝胶劣化，当凝胶劣化时间相同时，鱼糜凝胶劣化样品的 TCA-可溶性肽含量随着 WPC 添加量的增加而显著下降($P < 0.05$)；当 WPC 的添加量相同时，随着凝胶化时间的延长，TCA-可溶性肽含量变化显著增加($P < 0.05$)，与对照相比，添加 WPC 能显著降低鱼糜凝胶样品的 TCA-可溶性肽含量。上述结果表明，添加 WPC 在一定程度上能够抑制竹荚鱼鱼糜蛋白的降解作用。

2.2.6 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶微观结构的影响



凝胶劣化温度为 50℃，凝胶劣化时间为 5h，二段加热；a. 未添加 WPC；b. 添加 10% WPC。

图8 添加 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶微观结构的影响

Fig.8 Effect of WPC on the microstructure of surimi gels from horse-mackerel

添加 WPC 对竹荚鱼鱼糜凝胶的微观结构有显著的影响。由图 8a 可以看出,未添加 WPC 的鱼糜在 50℃ 凝胶劣化后形成的凝胶结构呈现出大小不一的凝胶空洞,凝胶网络结构的致密性下降,这主要是因为竹荚鱼鱼糜在 50℃ 凝胶劣化时,部分蛋白质被水解,导致蛋白质间的交联程度降低^[25]。由图 8b 可以看出添加 10% WPC 的鱼糜在 50℃ 凝胶劣化时又重新形成了较为致密、均匀的三维网络结构,这主要是因为 WPC 的填充作用、自身凝胶化以及对组织蛋白酶的抑制作用,因而可增强竹荚鱼鱼糜凝胶特性,也有利于竹荚鱼鱼糜凝胶中水分的保持,因此, WPC 的添加使竹荚鱼鱼糜凝胶表现出良好的凝胶特性和持水性能,并在一定程度上可以抑制竹荚鱼鱼糜凝胶的劣化现象。

3 结 论

WPC 能显著改善竹荚鱼鱼糜在 30℃ 凝胶化的凝胶特性,并且添加量为 5%,加热时间为 5h 时,竹荚鱼鱼糜的凝胶特性最佳,其凝胶强度为 5554g·mm,比对照样品(未添加 WPC 的凝胶化鱼糜凝胶样品)提高了 43%。

WPC 可显著抑制竹荚鱼鱼糜在 50℃ 的自动降解作用,并且这种抑制作用随 WPC 的添加量增加而增强。添加 WPC 能显著改善竹荚鱼鱼糜在 50℃ 凝胶劣化时的凝胶特性,并且添加量为 5%,WPC 对竹荚鱼鱼糜的凝胶劣化现象有显著的抑制作用;添加量为 10% 时, WPC 对竹荚鱼鱼糜的凝胶劣化现象的抑制作用最佳。WPC 添加量为 10%,凝胶劣化 30min 时,竹荚鱼鱼糜凝胶劣化样品的凝胶强度为 2557g·mm,比对照(未添加 WPC 的样品)增加了 29%。

WPC 的添加量低于 0.5% 时,对竹荚鱼鱼糜凝胶色泽的影响不明显,超过 1% 时,竹荚鱼鱼糜凝胶的白度显著降低。添加 WPC 能降低竹荚鱼鱼糜凝胶的失水率。

参考文献:

- [1] 陈海华,薛长湖. 亲水胶体对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 119-125.
- [2] 陈海华,薛长湖. 淀粉对竹荚鱼鱼糜流变性质和凝胶特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 293-298.
- [3] MORRISSEY M T, WU J W, LIN D D, et al. Effect of food grade protease inhibitor on autolysis and gel strength of surimi[J]. Journal of Food Science, 1993, 58: 1050-1054.
- [4] JIANG S T. Enzymes and their effects on seafood texture[M]//HAARD N F, SIMPSON B K. Seafood enzyme: Utilization and influence on postharvest seafood quality. USA, New York: Marcel Dekker, 2000: 411-450.
- [5] VISESSANGUAN W, AN H. Effects of proteolysis and mechanism of gel weakening in heat-induced gelation of fish myosin[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(4): 1024-1032.
- [6] AN H, PETERS M Y, SEYMOURS T A. Roles of endogenous enzymes in surimi gelation[J]. Trends in Food Science and Technology, 1996, 7(10): 321-327.
- [7] AKAZAWA H, MIYAUCHI Y, SAKURADA K, et al. Evaluation of protease inhibitors in Pacific whiting surimi[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 1993, 2(3): 79-95.
- [8] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Pig plasma protein: Potential use as proteinase inhibitor for surimi manufacture; inhibitory activity and the active components[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80: 1351-1356.
- [9] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, SRIVILAI C. Gel properties of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi as affected by setting and porcine plasma proteins[J]. Journal of Food Quality, 2001, 24: 453-472.
- [10] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, TUEKSUBAN J, et al. Effect of some protein additives on proteolysis and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18: 395-401.
- [11] CHANG-LEE M V, LAMPILA L E, CRAWFORD D L. Yield and composition of surimi from Pacific whiting (*Merluccius productus*) and the effect of various protein additives on gel strength[J]. Journal of Food Science, 1990, 55: 83-86.
- [12] KANG I S, LANIER T C. Bovine plasma protein functions in surimi gelation compared with cysteine protease inhibitors[J]. Journal of Food Science, 1999, 64: 842-846.
- [13] LEE J aijaan, TZENG S hinshuenn, WU Juwen, et al. Inhibition of thermal degradation of mackerel surimi by pig plasma protein and L-kininogen[J]. Journal of Food Science, 2000, 657: 1124-1129.
- [14] RAWDKUEN S, BENJAKUL S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish[J]. Food Chemistry, 2008, 106: 1077-1084.
- [15] RAWDKUEN S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Chicken plasma protein: Proteinase inhibitory activity and its effect on surimi gel properties[J]. Food Research International, 2004, 37(2): 156-165.
- [16] REPPOND K D, BABBITT J K. Protease inhibitors affect physical properties of arrowtooth flounder and walleye pollock surimi[J]. Journal of Food Science, 1993, 58: 96-98.
- [17] SEYMOUR T A, PETERS M Y, MORRISSEY M T, et al. Surimi gel enhancement by bovine plasma proteins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45: 2919-2923.
- [18] WASSON D H, REPPOND K D, BABBITT J K, et al. Effects of additives on proteolytic and functional properties of arrowtooth flounder surimi[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 1993, 1(3/4): 147-165.
- [19] HONGSPRABHAS P, BARBUT S. Protein and salt effects on Ca²⁺-induced cold gelation of whey protein isolate[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(2): 382-385.
- [20] WEERASINGHE V C, MORRISSEY M T, CHUNG Y C. Whey protein concentrate as a proteinase inhibitor in pacific whiting surimi[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2): 367-371.
- [21] BURGARELLA J C, LANIER T C, HAMANN D D. Gel strength development during heating of surimi in combination with egg white or whey protein concentrate[J]. Journal of Food Science, 1985, 50: 595-597.
- [22] PIYACHOMKUAN K, PENNER M H. Inhibition of Pacific whiting surimi-associated protease by whey protein concentrate[J]. Journal of Food Biochemistry, 1995, 18: 341-353.
- [23] AKAZAWA H, MIYAUCHI Y, SAKURADA K, et al. Evaluation of protease inhibitors in Pacific whiting surimi[J]. Journal of Aquatic and Food Products Technology, 1993, 2(3): 79-95.
- [24] 周爱梅. 淡水鱼糜抗冻性能及凝胶特性改良的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2005.
- [25] PARK J W. Functional protein additives in surimi gels[J]. Journal of Food Science, 1994, 59(3): 525-527.