

亲水胶体对竹荚鱼鱼糜流变特性的影响

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: 研究亲水胶体的类型和添加量对竹荚鱼鱼糜流变性质的影响。通过对竹荚鱼鱼糜升温阶段和降温阶段的动态流变性质的测定, 结果表明: 添加可得胶、罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶、琼胶和 CMC 能显著提高竹荚鱼鱼糜在升温过程中的弹性模量峰值 G'_m 、95℃弹性模量 G'_{95} 和降温过程的胶凝速率常数 k 和 20℃弹性模量 G'_{20} , 瓜儿胶和海藻酸钠对 G'_m 、 G'_{95} 、 k 和 G'_{20} 无显著影响; 黄原胶、果胶降低了 G'_m 、 G'_{95} 、 k 和 G'_{20} 。胶凝速率常数 k 与 G'_{20} 有正相关性, 即胶凝速率越快, 形成凝胶的弹性模量越大, 凝胶强度也越大。

关键词: 亲水胶体; 竹荚鱼; 鱼糜; 凝胶; 流变性

Effect of Various Kinds and Amounts of Hydrocolloid on Rheological Properties of Horse Mackerel Surimi

CHEN Hai-hua^{1,2}, XUE Chang-hu²

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

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

Abstract: An MCR101-type rheometer was used to study the effects of various kinds and amounts of hydrocolloid on rheological properties of horse mackerel surimi. The results showed that the single addition of curdlan, tamarind gum, konjac, carrageenan, agar and CMC was able to significantly increase the peak of storage modulus (G'_m) and storage modulus of 95 °C (G'_{95}) during heating and gelation rate (k) and storage modulus of 20 °C (G'_{20}) during chilling. Guar gum and alginate both showed little effect on the dynamic rheological properties of horse mackerel surimi while xanthan both gum and pectin exhibited a negative effect on the above dynamic rheological properties. There was a positive correlation between k and G'_{20} , that is, the higher the gelation rate, the stronger the gel strength of surimi gel.

Key words: hydrocolloids; horse mackerel; surimi; gel; rheological properties

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)17-0052-04

亲水性胶体是鱼糜制品生产中常用辅料之一, 目前已有多种亲水胶体, 如魔芋胶、果胶、卡拉胶、黄原胶、槐豆胶等应用于鱼糜制品加工中。在鱼糜制品中添加亲水性胶体不仅能降低成本, 而且能显著增加鱼糜制品的凝胶特性、保水性, 延长货架期^[1]。由于不同亲水性胶体的结构和凝胶特性不同, 故对鱼糜凝胶特性的影响也不同。Barrera 等^[2]研究发现, 当氯化钙浓度为 0.2% 时, 酰基化的低甲氧基果胶 LM35 能显著改善鲑鱼鱼糜的凝胶特性。Ramirez 等^[3]研究发现黄原胶、刺槐豆胶以 0.25:0.75 的比例复配后能显著提高鲑鱼鱼糜凝胶的力学性质。Park 等^[4-5]研究发现添加魔芋胶或卡拉胶能显著改善鲑鱼糜的凝胶能力。Lee 等^[6]认为添加海藻酸钠能降低鱼糜凝胶的凝胶强度。刘海梅等^[1]研究指出在鲑鱼鱼糜中添加 0.5% 的卡拉胶或 0.1% 的瓜儿胶能显著增

加鱼糜凝胶的硬度和凝胶强度, 降低黏性和脆性, 改善制品的色泽; 在鱼糜自然 pH 值下, 添加黄原胶和魔芋胶会影响鲑鱼鱼糜凝胶的形成, 降低其凝胶强度。

鱼糜及其制品是低脂肪、不含胆固醇、易于消化吸收的完全蛋白质, 在水产食品中占有重要地位。近年来随着狭鳕捕获量的下降, 鱼糜制品需求量的增加, 开发新的鱼糜制品原料具有重要的意义, 其中利用竹荚鱼开发冷冻鱼糜是解决目前鱼糜制品原料不足的有效途径。但是竹荚鱼鱼糜的凝胶能力较差, 因此提高鱼糜品质是开发竹荚鱼鱼糜的关键点。

目前, 关于亲水胶体对竹荚鱼鱼糜流变性质的影响, 国内尚未见报道。本研究主要探讨亲水胶体对竹荚鱼鱼糜动态流变性质的影响, 为亲水胶体在鱼糜制品生产中的应用提供理论依据。

收稿日期: 2008-10-09

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

作者简介: 陈海华(1973—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: haihchen@yahoo.com.cn

1 材料与方

1.1 材料与试剂

竹荚鱼来源于浙江舟山, -30℃冻藏3个月, 样品每尾重为0.5kg。

黄原胶、瓜尔胶、可得胶(curdlan)、罗望子胶、CMC 青岛天新食品添加剂有限公司; 卡拉胶、琼胶 福建石狮市环球琼胶公司; 果胶 浙江省衢州果胶食品有限公司; 魔芋胶 青岛蕴宝贸易公司; 海藻酸钠 青岛胶南明月集团有限公司。

1.2 仪器与设备

MCR101 流变仪 奥地利安东帕有限公司; UMC5型真空斩拌机 德国Stephan公司。

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, 用冰水洗净后去头、去皮、去内脏、采肉, 再分别用3倍体积的冰水漂洗3次(每次10min)后脱水, 然后精滤并加入抗冻剂, 500g/袋分装, 并于-20℃贮藏, 此为冷冻竹荚鱼鱼糜, 备用。

1.3.2 竹荚鱼鱼糜蛋白凝胶的制备

取上述竹荚鱼鱼糜500g, 半解冻后用真空斩拌机在10℃以下空播5min, 添加2.5%的食盐继续盐播15min, 然后加入亲水胶体(添加量分别为0%、0.3%、0.5%、0.8%、1.0%)进一步播溃5min, 样品直接在4℃下冷藏, 用作流变性质的测定。

1.3.3 流变性质的测定

将样品置于校正好的MCR101流变仪的平台上, 石蜡密封, 以防止水分挥发。夹具直径为50mm平行板, 平行板的间距为1mm。在振动模式下和线性黏弹区的范围内, 分别进行频率扫描和温度扫描。

频率扫描条件: 振荡频率范围为0.1~20Hz, 测定频率扫描过程中弹性模量(G')的变化。

温度扫描条件: 升温扫描范围为20~95℃, 并在95℃下保温20min, 然后降温至20℃, 变温速率为5.0℃/min, 振荡频率为1Hz, 测定升温 and 降温过程中弹性模量 G' 的变化。升温过程中弹性模量的最小值记为峰值模量(G'_m), 此时对应的温度为峰值系统温度(T_m), 95℃保温20min对应的弹性模量记为 G'_{95} , 降温过程中, 降温至20℃时竹荚鱼鱼糜凝胶的弹性模量记为 G'_{20} 。降温过程中, 通过1000倍弹性模量对数 $1000\lg G'$ 对时间 t 的线性回归得出胶凝速率常数 k 。每个样品至少做3个平行样, 结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 添加亲水胶体对竹荚鱼鱼糜升温阶段流变性质的影响

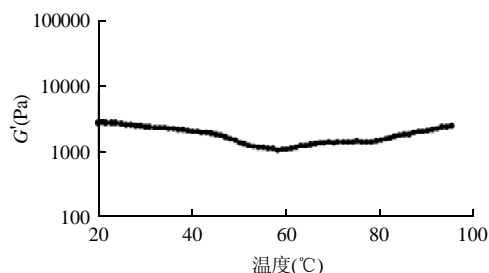


图1 竹荚鱼鱼糜在升温过程的流变图谱

Fig.1 Rheological profile of horse mackerel surimi during heating

表1 亲水胶体的类型和添加量对竹荚鱼鱼糜在升温过程中流变参数的影响

Table 1 Effects of various kinds and amounts of hydrocolloid on rheological parameters of horse mackerel surimi during heating

添加量(%)	0	0.3	0.5	0.8	1	
弹性模量峰值 G'_m (Pa)	卡拉胶	1560	1870	2270	3130	
	琼胶	1420	1760	2270	2670	
	瓜儿胶	1040	1180	1180	1220	
	黄原胶	1010	930	820	760	
	罗望子胶	1630	2030	2790	3650	
	可得胶	2040	2270	3090	4310	
	魔芋胶	1550	1840	2500	3300	
	CMC	1470	1640	1660	1840	
	果胶	1030	980	950	860	
	海藻酸钠	1030	1110	1140	1200	
	卡拉胶	57.2	57.2	56.2	55.2	
	琼胶	56.2	56.2	55.2	55.2	
	瓜儿胶	57.2	56.2	56.2	56.2	
黄原胶	57.2	57.2	56.2	56.2		
G'_m 峰值系统温度 T_m (°C)	罗望子胶	58.1	58.2	59.2	59.2	60.2
	可得胶	58.2	60.2	61.2	63.2	
	魔芋胶	59.2	59.2	60.2	60.2	
	CMC	57.2	57.2	56.2	55.2	
	果胶	57.2	57.2	56.2	56.2	
	海藻酸钠	56.2	55.2	55.2	55.2	
	卡拉胶	3320	3690	4420	5700	
	琼胶	3080	3330	4350	5650	
	瓜儿胶	2040	2080	2120	2160	
	黄原胶	1780	1740	1580	1600	
	罗望子胶	3140	3730	5550	5870	
	可得胶	3870	4160	6060	7550	
	魔芋胶	3280	3780	4720	5780	
CMC	3120	3490	3990	5390		
果胶	2020	1930	1880	1760		
海藻酸钠	2100	2140	2250	2250		
95℃弹性模量 G'_{95} (Pa)	卡拉胶	3320	3690	4420	5700	
	琼胶	3080	3330	4350	5650	
	瓜儿胶	2040	2080	2120	2160	
	黄原胶	1780	1740	1580	1600	
	罗望子胶	3140	3730	5550	5870	
	可得胶	3870	4160	6060	7550	
	魔芋胶	3280	3780	4720	5780	
	CMC	3120	3490	3990	5390	
	果胶	2020	1930	1880	1760	
	海藻酸钠	2100	2140	2250	2250	

对照样品(未添加亲水胶体的竹荚鱼鱼糜)在升温过程中的流变图谱见图1。由图1可以看出, 随着升温的进行, 对照样品的弹性模量 G' 逐渐降低, 并在58.1℃降到最小值, 为1020Pa。随着温度的继续升高, G' 又逐渐增加, 温度升高至95℃时, G' 均达到最大值, 95℃时的弹性模量为2040Pa。在升温过程中, 弹性模量的变化主要与竹荚鱼鱼肉中肌球蛋白的不同组分具有不同

的变性温度有关^[7]。从 20℃ 到 55℃，由于肌球蛋白轻链的变性而引起分子“流动性”(即黏性)的增强，从而导致 G' 的降低。当温度超过 55℃，主要是由于肌球蛋白重链的变性以及肌动球蛋白的变性形成了致密、热不可逆的凝胶网络，从而导致 G' 的增加。

由表 1 可以看出，亲水胶体的类型和添加量影响竹荚鱼鱼糜弹性模量的峰值 G'_m 、 G'_m 峰值的系统温度 T_m 、95℃ 弹性模量 G'_{95} 。添加亲水胶体后，竹荚鱼鱼糜的 G'_m 峰值的系统温度 T_m 范围为 55.2~63.2℃，弹性模量的峰值 G'_m 范围为 760~4310Pa，95℃ 弹性模量 G'_{95} 范围为 1600~7550Pa。添加可得胶、罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶、琼胶、CMC 能显著提高 G'_m 。并随着添加量的增加， G'_m 不断增加；瓜儿胶和海藻酸钠对 G'_m 无显著影响；黄原胶、果胶降低了 G'_m ，随着添加量的增加， G'_m 呈现降低的趋势。在相同的添加量时，可得胶提高 G'_m 最显著，其次是罗望子胶、魔芋胶和卡拉胶，黄原胶降低 G'_m 最显著，添加量为 1% 时，添加可得胶、罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶分别使 G'_m 提高 323%、258%、224%、207%，添加黄原胶使 G'_m 降低了 26%。

添加可得胶、罗望子胶和魔芋胶等能提高 T_m ，并随着添加量的增加， T_m 不断的增加；添加其他类型的亲水胶体均降低了 T_m ，随着添加量的增加， T_m 呈现降低的趋势。在相同的添加量时，可得胶提高 T_m 最显著，添加量为 1% 时，添加可得胶使 G'_m 提高 5℃。

添加黄原胶和果胶能降低 G'_{95} ，并随着添加量的增加， G'_{95} 不断的降低；添加其他类型的亲水胶体能提高 G'_{95} ，随着添加量的增加， G'_{95} 呈现增加的趋势。在相同的添加量时，可得胶提高 G'_{95} 最显著，其次是卡拉胶、魔芋胶和罗望子胶，黄原胶降低 G'_{95} 最显著，添加量为 1% 时，添加可得胶、罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶分别使 G'_{95} 提高了 270%、183%、183%、188%，添加黄原胶使 G'_{95} 降低了 28%。

2.2 添加亲水胶体对竹荚鱼鱼糜降温阶段流变性质的影响

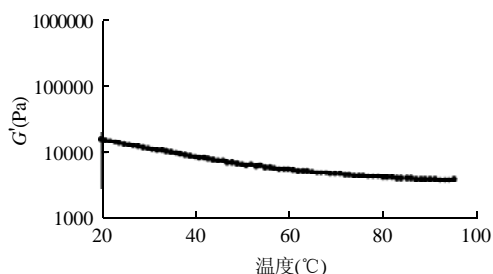


图2 竹荚鱼鱼糜在降温过程的流变图谱

Fig.2 Rheological profile of horse mackerel surimi during chilling

降温过程是体系重新快速有序化的过程，对样品(未添加亲水胶体的竹荚鱼鱼糜)在降温过程的流变图谱见

图 2。由图 2 可以看出，随着体系温度的降低，体系的弹性模量 G' 逐渐增大，对样品品的胶凝速率常数为 0.6932，20℃ 的弹性模量 G'_{20} 为 15200Pa。这主要是因为肌球蛋白形成的凝胶网络结构随着温度的降低不断加固，形成的凝胶强度也越大，因而弹性模量也增强。

表 2 亲水胶体的类型和添加量对竹荚鱼鱼糜在降温过程中流变参数的影响

Table 2 Effects of various kinds and amounts of hydrocolloid on rheological parameters of horse mackerel surimi during chilling

添加量(%)	0	0.3	0.5	0.8	1	
胶凝速率常数 k	卡拉胶	0.7762	0.7997	0.8495	0.9337	
	琼胶	0.7707	0.7989	0.8241	0.8777	
	瓜儿胶	0.7066	0.7036	0.7032	0.6928	
	黄原胶	0.6747	0.626	0.5853	0.5684	
	罗望子胶	0.7702	0.8152	0.8816	0.9928	
	可得胶	0.8616	1.0332	1.1119	1.2417	
	魔芋胶	0.7954	0.8398	0.8795	0.9612	
	CMC	0.7035	0.7359	0.7414	0.7884	
	果胶	0.6693	0.6481	0.6372	0.6111	
	海藻酸钠	0.7169	0.7018	0.7148	0.7086	
	20℃ 的 G'_{20} (Pa)	卡拉胶	20800	21800	30600	37200
		琼胶	18300	19800	25000	26400
		瓜儿胶	15300	15800	16200	16200
黄原胶		13800	13600	12000	12300	
罗望子胶		20700	25500	33600	44900	
可得胶		22400	33500	53100	67900	
魔芋胶		19300	22300	32200	39300	
CMC		18800	19500	21000	24900	
果胶		14000	13900	13600	13100	
海藻酸钠		15300	15900	15600	15800	

表 2 为通过 1000 倍弹性模量对数 $1000 \lg G'$ 对时间 t 线性回归^[8]得出的胶凝速率常数 k ，其相关系数(R^2)均在 0.9 以上。通过相关性分析发现，鱼糜的胶凝速率 k 与弹性模量 G'_{20} 呈显著的正相关性，即胶凝速率越快，形成凝胶的弹性模量越大。

亲水胶体的类型和添加量影响竹荚鱼鱼糜的胶凝速率常数 k 和弹性模量 G'_{20} 。由表 2 可以看出，添加可得胶、罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶、琼胶、CMC 能显著提高 k 和 G'_{20} ，并随着添加量的增加， k 和 G'_{20} 不断的增加；瓜儿胶和海藻酸钠对 k 和 G'_{20} 无显著影响；黄原胶和果胶降低了 k 和 G'_{20} ，随着添加量的增加， k 和 G'_{20} 呈现降低的趋势。

3 讨论

亲水胶体对竹荚鱼鱼糜在加热和降温过程中的流变性质的影响主要与亲水胶体的性质有关。可得胶、罗望子胶和魔芋胶均属于中性多糖。可得胶具有独特的胶凝性质，当可得胶加热到 80℃ 以上时，能够形成热不可逆的高强度凝胶^[9]，罗望子胶和魔芋胶均可形成热不

可逆凝胶^[10]，因此，在升温过程中，当温度升至 95℃ 时，一方面由于肌球蛋白分子变性伸展，相互交联形成凝胶网络结构，另一方面是由于亲水胶体本身在加热过程中形成了凝胶结构，加固了肌球蛋白分子的网络结构，使得 G'_{95} 增大。卡拉胶、琼胶和 CMC 均属于阴离子多糖，具有冷致凝胶的特点^[11]，在降温过程中，随着温度的降低，卡拉胶、琼胶、CMC 分子相互缠结形成凝胶，强化了肌球蛋白形成的凝胶网络结构，因此，在鱼糜中添加这三种亲水胶体，提高了鱼糜凝胶的 G'_{20} 。瓜儿胶是一种中性的非凝胶多糖，海藻酸钠是一种阴离子的钙凝型多糖^[12]，二者具有极高的黏度，在竹荚鱼鱼糜中，仅作为一种添加剂，对鱼糜凝胶的形成没有影响，因此对鱼糜的 G'_{95} 和 G'_{20} 也无显著影响。黄原胶和果胶属于阴离子多糖，黄原胶是非凝胶多糖，果胶需在高糖和酸性条件下形成凝胶，二者在竹荚鱼鱼糜中不能与鱼糜蛋白相互作用^[12]，干扰了鱼糜蛋白凝胶的形成，因此降低了鱼糜的 G'_{95} 和 G'_{20} 。

参考文献：

- [1] 刘海梅. 鲢鱼糜凝胶及形成机理的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 9-20; 103-125.
- [2] BARRERA A M, RAMIREZ J A, GONZALEZ-CABRIALES J J, et al. Effect of pectins on the gelling properties of surimi from silver carp[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(5): 441-447.
- [3] RAMIREZ J A, BARRERA M, MORALES O G. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(1): 11-16.
- [4] PARK J W. Temperature-tolerant fish protein gels using konjac flour[J]. *Journal of Muscle Food*, 1996, 7(2): 165-174.
- [5] PARK J W. Ingredient technology and formulation development[M]// PARK J W. *Surimi and surimi seafood*. New York: Marcel Dekker Inc, 2000: 343-391.
- [6] LEE C M, WU M C, OKADA M. Ingredient and formulation technology for surimi-based products[M]//LANIER T C, LEE C M. *Surimi technology*. New York: Marcel Dekker Inc, 1992: 273-302.
- [7] EGALANDSDAL B, FRETHEIM K, SAMEJIAM K. Dynamic rheological measurements on heat-induced myosin gels: effect of ionic strength, protein concentration and addition of adenosine triphosphate or pyrophosphate[J]. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 1986, 37(1): 64-73.
- [8] 朱帆, 徐广文, 丁文平. 表观直链淀粉含量对小麦淀粉凝胶流变特性影响的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 43-47.
- [9] 丛峰松, 张洪斌, 张维杰. 可得胶及其在食品和医药领域上的应用[J]. *食品科学*, 2004, 25(11): 432-435.
- [10] 任平, 阮祥稳, 王冬良. 植物胶的特性及在食品工业中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2004, 25(5): 39-44.
- [11] 谢笔钧. *食品化学*[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 117-129.
- [12] 王璋, 许时婴, 汤坚. *食品化学*[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 73-82.