添加剂对羊栖菜-鱼糜凝胶特性的影响

时培宁, 苑 蘅, 解春芝, 陈学红, 孙 玲, 于楠楠*

(徐州工程学院食品与生物工程学院, 徐州 221018)

摘 要: 目的 探究添加剂对羊栖菜-鱼糜凝胶特性的改善作用。**方法** 以白鲢鱼糜为原料, 添加羊栖菜浆液制备羊栖菜-鱼糜, 添加大豆分离蛋白、玉米淀粉及卡拉胶, 用物性分析仪和离心法测定羊栖菜-鱼糜复合凝胶的凝胶强度和持水性, 并与不含添加剂的羊栖菜-鱼糜测定结果进行比较。**结果** 与只含 20%羊栖菜浆液的鱼糜对照组相比, 添加 4%大豆分离蛋白、10%玉米淀粉及 0.75%卡拉胶时, 所制得的羊栖菜-白鲢鱼复合鱼糜的凝胶强度分别提高 13%、5%和 16%, 持水性分别提高 9%、10%和 8%。**结论** 添加 4%大豆分离蛋白、0.75%卡拉胶及 10%玉米淀粉有利于提高鱼糜复合凝胶强度及持水性, 改善凝胶品质。

关键词: 羊栖菜; 复合鱼糜; 添加剂; 凝胶特性

Effects of additives on the gel properties of *Sargassum fusiforme*-surimi

SHI Pei-Ning, YUAN Heng, XIE Chun-Zhi, CHEN Xue-Hong, SUN Ling, YU Nan-Nan*

(*College of Food and Biological Engineering*, *Xuzhou University of Technology*, *Xuzhou* 221018, *China*)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of additives on the gel properties of *Sargassum fusiforme*-surimi. **Methods** *Sargassum fusiforme*-surimi was prepared with silver carp surimi as the raw material and *Sargassum fusiforme* slurry as the additive, soy protein isolate, corn starch and carrageenan were added, and the gel strength and water holding capacity of the *Sargassum fusiforme*-surimi composite gel were determined by using a physical property analyzer and centrifugation method, and the results were compared with those of the *Sargassum fusiforme*-surimi composite gel without additives. **Results** Compared with the surimi control group containing only 20% *Sargassum fusiforme* slurry, the gel strength of the prepared *Sargassum fusiforme*-silver carp composite surimi was increased by 13%, 5% and 16%, respectively, and the water holding capacity was increased by 9%, 10% and 8%, respectively, when 4% soy protein isolate, 10% corn starch and 0.75% carrageenan were added. **Conclusion** Adding 4% soy protein isolate, 0.75% carrageenan and 10% corn starch is beneficial to improve the strength and water holding capacity of surimi composite gel and improve the gel quality.

KEY WORDS: *Sargassum fusiforme*; mixed surimi; additives; gel properties

0 引 言

羊栖菜[*Sargassum fusiforme* (Harvey) *Setchell*], 又名海菜芽、鹿角尖等, 隶属于褐藻门马尾藻科, 主要分布于西北太平洋地区, 在辽东、山东、浙江、福建、广东沿海比较常见。羊栖菜具有较高的营养和药用价值, 是一种重

基金项目: 徐州工程学院校级科研项目(XKY2019228)、江苏省高等学校自然科学研究重大项目(19KJA480002)、苏北科技专项(XZ-SZ202039)

Fund: Supported by the School Level Youth Project of Xuzhou University of Technology (XKY2019228), the Major Projects of Colleges and Universities in Jiangsu Province Natural Science Research Projects (19KJA480002), and the North Jiangsu Science and Technology Project (XZ-SZ202039)

***通信作者:** 于楠楠, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品加工与配料, 水产品加工。E-mail: 280193269@qq.com

***Corresponding author:** YU Nan-Nan, Ph.D, Lecturer, No.2 Lishui Road, Yunlong District, Xuzhou 221018, China. E-mail: 280193269@qq.com

要的海洋经济藻类[1]。2019 年，我国羊栖菜总产量约为 2.7×10^4 t[1]。羊栖菜含有丰富的多糖，主要由充填在细胞壁间的褐藻胶(algin)、褐藻糖胶(fucoidan)及存在于细胞质中的褐藻淀粉(laminaran)组成。其中褐藻胶是一种重要的食品添加剂，广泛应用于食品行业，褐藻胶-鱼肉蛋白质复合凝胶体系可用于制备高弹性鱼肉凝胶制品[1–4]。

鱼糜制品是指在冷冻鱼糜或碎鱼肉中加入食盐，经斩拌或擂溃制成肉糊，加入适量调味料及辅料，混合均匀后加热成型，制得的一种具有一定弹性的水产食品。鱼糜制品因其蛋白质含量高、脂肪及胆固醇含量低且食用方便深受消费者欢迎，是一种发展前景良好的现代水产加工食品[3–4]。由于海洋资源的日渐匮乏，以淡水鱼为原料制作鱼糜成为趋势。然而，淡水鱼糜易劣化，凝胶强度低，制约了其应用[5]。在鱼糜制品加工过程中，为了获得更好的产品，常常需要添加亲水胶体以提高其凝胶特性，其中蛋白、淀粉及多糖为 3 种应用最为广泛的亲水胶体[5–7]。它们的加入不仅能够改善鱼糜制品的质地、结构及持水性，还能够降低生产成本，在鱼糜制品生产过程中具有重要的作用[7–8]。

本研究通过将羊栖菜浆液与鱼糜混合，获得一种新型复合鱼糜制品，研究大豆分离蛋白、玉米淀粉及卡拉胶对复合凝胶的凝胶强度及持水性的影响，以期改善鱼糜的凝胶特性，丰富产品的营养品质，进一步提高羊栖菜-鱼糜复合凝胶的凝胶品质。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 主要材料

白鲢冷冻鱼糜(AAA 级别，湖北井力水产食品有限公司)；羊栖菜(浙江金海蕴生物有限公司)；大豆分离蛋白(纯度 99%，山东谷神生物科技集团有限公司)；玉米淀粉(纯度 95%，南京甘汁园糖业有限公司)；卡拉胶(纯度 99%，上海北连生物科技有限公司)；食盐(一级，江苏省盐业集团有限责任公司)。

1.1.2 主要仪器

JYL-D020 料理机(九阳股份有限公司)；T10-Basic 高速分散机(德国 IKA 公司)；TA-XTPlus 物性分析仪(英国 STab. Micro System 公司)；DK-8AXX 恒温水浴锅(上海森信实验仪器有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 羊栖菜的处理

选择嫩度适中、色泽均匀、无腐烂、无病虫害的新鲜藻体用自来水洗去表面的附生物、杂质等，沥干后切碎，然后置于搅拌机中搅成浆状，高速分散机均质成均匀糊状，置于 4 ℃冰箱中以备用。

1.2.2 鱼糜凝胶的制作

将冷冻淡水鱼糜置于 4 ℃冰箱中解冻 12 h，解冻后切成 2 cm 见方的小块。取一定质量的鱼糜块置于料理机中斩拌 5 min，使组织充分破碎，即为空斩。然后向其中添加 3%食盐，斩拌 5 min，使破碎组织中的盐溶性蛋白充分溶出，即为盐斩。将斩拌好的肉泥挤入肠衣中，排除空气，用棉线封口。整个操作过冲保证鱼糜的温度低于 10 ℃。将鱼糜放入蒸箱中使用两段加热法熟制，首先在 40 ℃下加热 30 min，然后 90 ℃下加热 20 min。将加热完成的鱼糜凝胶取出，迅速置于冰水中冷却至室温，4 ℃冰箱中放置过夜，以备后续实验。

1.2.3 羊栖菜浆液添加量的确定

参照 1.2.2 所述鱼糜凝胶制备方法，盐斩后分别添加鱼糜质量的 10%、20%、30%及 40%的羊栖菜浆液，继续斩拌制备鱼糜凝胶。

1.2.4 大豆分离蛋白、玉米淀粉及卡拉胶添加量的确定

参照 1.2.2 所述鱼糜凝胶制备方法，分别将大豆分离蛋白(2%、4%、6%、8%)、玉米淀粉(5%、10%、15%、20%)及卡拉胶(0.25%、0.5%、0.75%、1.0%)添加至含有 20%羊栖菜浆液的鱼糜中，继续斩拌 3 min。添加物的含量均以含有羊栖菜浆液的鱼糜为基准计。

1.2.5 凝胶强度的测定

根据王良玉[8]的研究，将制备好的鱼糜制品取出恢复至室温，剥去肠衣，切成长 2.5 cm、直径 2.5 cm 的圆柱形。使用 TA-XTPlus 物性分析仪对鱼肠进行凝胶强度测定。实验选取 P/5S 球形探头，设置测试条件为：测前速率 1 mm/s，测试速度 1 mm/s，测后速度 1 mm/s，下压比例 50%。每组实验重复 6 次，取平均值。凝胶强度用破断力及刺破鱼糜凝胶时所得破断距离表示。其中破断力反映了鱼糜凝胶的硬度，破断距离反映了鱼糜凝胶的弹性。凝胶强度即为破断力与破断距离的乘积。

1.2.6 持水性的测定

根据杨姣等[9]的方法，对鱼糜凝胶进行持水性的测定。取 10 g 左右样品至 50 mL 离心管中，准确称重为 W_1，将离心管置于冷冻离心机中 10000×g 离心 10 min。取出后将离心管倒置弃去水溶液，用滤纸将残余水分吸干，准确称重，记为 W_2。离心管重为 W_0。

持水性(water holding capacity, WHC)计算公式为(1):

$$\mathrm{WHC}/\%=(W_2-W_0)/(W_1-W_0)\times100\% \quad (1)$$

1.2.7 数据处理

采用 SPSS 11.0 的单因素方差分析(one-way analysis of variance, ANOVA)进行方差分析，Duncan 多重比较对数据之间的显著性进行对比。差异显著性 $P<0.05$。采用 Origin 8.6 软件作图。

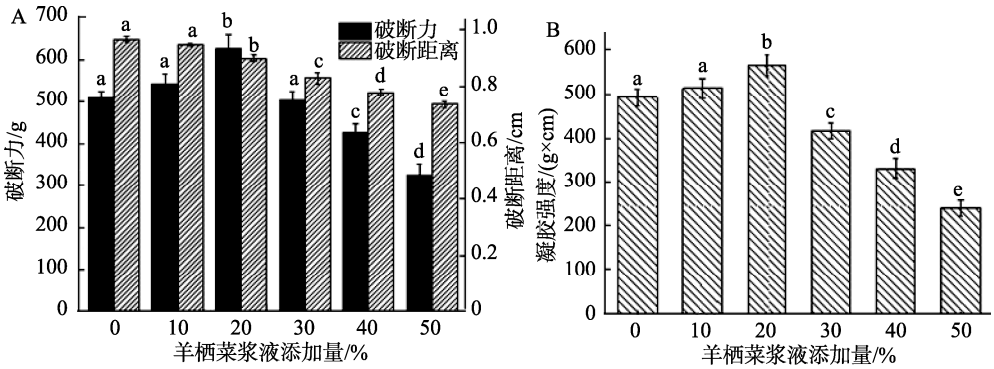
2 结果与分析

2.1 羊栖菜浆液添加量对羊栖菜-鱼糜复合凝胶的影响

羊栖菜浆液添加量对鱼糜凝胶破断力和破断距离的

影响如图 1A 所示。随着羊栖菜浆液添加量的增加, 鱼糜凝胶的破断力先上升后下降, 当羊栖菜浆液添加量为20%时, 破断力显著增加(P<0.05), 随着添加量的进一步增加, 破断力显著下降(P<0.05)。破断距离反映了凝胶的弹性品质, 如图 1A 所示, 鱼糜凝胶破断距离随着羊栖菜浆液的添加呈现降低。添加羊栖菜浆液的鱼糜凝胶强度的变化与破断力具有相似的变化趋势(图 1B), 凝胶强度随羊栖菜浆液的添加先增加后下降, 当羊栖菜浆液添加量达到 20%时, 鱼糜凝胶的凝胶强度值最高。

持水性是凝胶制品的一个重要评价指标。如图 2 所示, 随着羊栖菜浆液的添加, 鱼糜凝胶的持水性呈现显著下降(P<0.05), 当羊栖菜浆液添加量达到 50%时, 持水性较对照组下降了 24%。



注: A: 羊栖菜浆液添加量对鱼糜凝胶破断力和破断距离的影响; B: 羊栖菜浆液添加量对鱼糜凝胶强度的影响; 不同小写字母代表组间差异显著, P<0.05, 下同。

图 1　羊栖菜浆液添加量对鱼糜凝胶破断力和破断距离及凝胶强度的影响(n=3)

Fig.1　Effects of *Sargassum fusiforme* solution on breaking force, distance to rupture and gel strength of surimi gels (n=3)

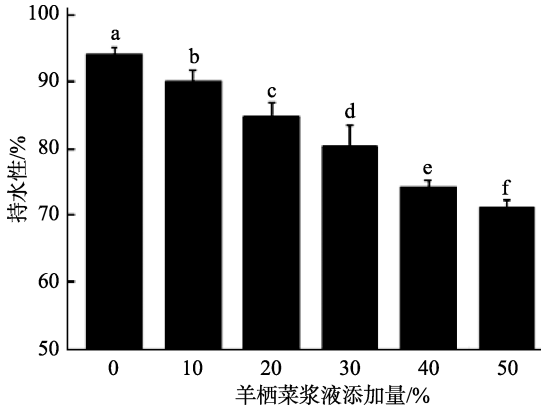


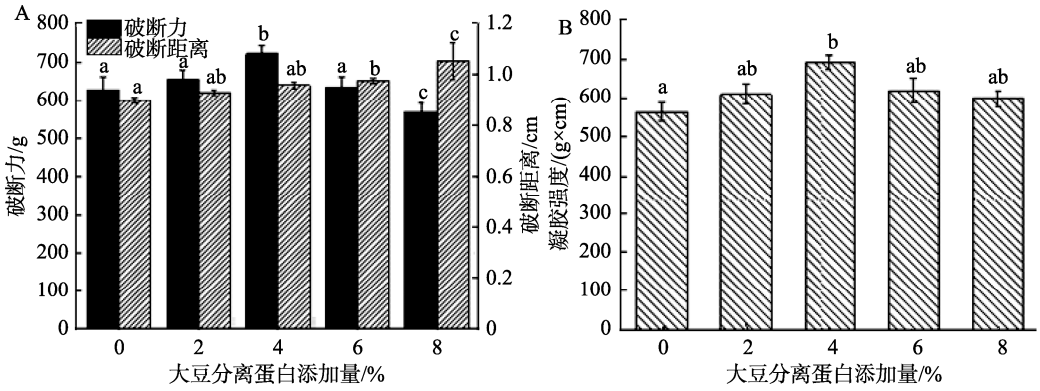
图 2　羊栖菜浆液添加量对鱼糜凝胶持水性的影响(n=3)

Fig.2　Effects of *Sargassum fusiforme* solution on WHC of surimi gels (n=3)

褐藻酸钠作为一种天然提取的线性高分子亲水胶体, 在食品应用中具有良好的增稠、稳定、品质改良等作用[10]。羊栖菜中含有 30%左右的褐藻胶。在鱼糜凝胶制作过程中, 羊栖菜浆液的添加引入了部分褐藻胶, 与鱼糜中蛋白质发生交联, 促进了鱼糜凝胶致密网络的形成, 从而增强了鱼糜凝胶强度[11–14]。然而, 当添加过量羊栖菜浆液时, 由于羊栖菜颗粒的物理阻隔作用, 破坏了鱼糜凝胶网络结构的形成, 使得凝胶强度下降, 持水性显著降低(P<0.05)。因此, 在羊栖菜-鱼糜复合凝胶的制作过程中, 添加 20%的羊栖菜浆液能够得到凝胶强度最佳的鱼糜凝胶。然而, 添加羊栖菜浆液使得鱼糜凝胶的破断距离及持水性均有所下降。为获得具有更高凝胶品质的鱼糜制品, 分别选择大豆分离蛋白、玉米淀粉及卡拉胶常用亲水胶体, 研究它们对羊栖菜-鱼糜复合凝胶品质的影响。

2.2　大豆分离蛋白添加量对羊栖菜-鱼糜复合凝胶的影响

大豆分离蛋白添加量对羊栖菜-鱼糜复合凝胶凝胶强度的影响如图 3A 所示。当大豆分离蛋白添加量为 4%时, 所得鱼糜凝胶破断力最大, 较未添加大豆分离蛋白组增加 13% (P<0.05)。然而, 进一步增加添加大豆分离蛋白显著降低了鱼糜凝胶的破断力(P<0.05), 尤其是当大豆分离蛋白添加量达到 8%时, 破断力明显低于对照组(P<0.05)。与鱼糜凝胶破断力的变化不同, 随着大豆分离蛋白含量的增加, 破断距离逐渐提高。大豆分离蛋白对羊栖菜-鱼糜复合凝胶凝胶强度的影响如图 3B 所示, 随着大豆分离蛋白添加量的增加, 羊栖菜-鱼糜复合凝胶的凝胶强度呈现先增加后降低的趋势, 当大豆分离蛋白含量增加至 4%, 凝胶强度值最大, 与对照组相比, 提高 13%。随着大豆分离蛋白添加量的进一步增加, 鱼糜凝胶强度值出现下降, 但是仍高于未添加大豆分离蛋白组。高含量的大豆分离蛋白可能由于其自身的蛋白凝聚作用阻碍了鱼糜中蛋白质的交联, 从而降低了凝胶强度。



注: A: 大豆分离蛋白对羊栖菜-鱼糜复合凝胶破断力和破断距离的影响; B: 大豆分离蛋白对羊栖菜-鱼糜复合凝胶凝胶强度的影响。

图 3 大豆分离蛋白对羊栖菜-鱼糜复合凝胶破断力和破断距离及凝胶强度的影响(n=3)

Fig.3 Effects of soy protein isolate (SPI) on breaking force, distance to rupture and gel strength of *Sargassum fusiforme*-surimi gels (n=3)

如图 4 所示, 大豆分离蛋白的添加显著提高了含羊栖菜浆液鱼糜凝胶的持水力, 随着大豆分离蛋白含量的增加, 凝胶持水力逐渐增强,, 添加 4%大豆分离蛋白的持水性最高, 与对照相比, 提高 9%, 这与大豆分离蛋白本身的吸水力有关。

在鱼糜凝胶的制作过程中, 加入的大豆分离蛋白能与鱼糜的盐溶性蛋白及羊栖菜中的褐藻胶充分混合, 形成蛋白质-蛋白质、蛋白质-多糖之间的相互作用, 促进了凝胶网络的形成, 从而提高了鱼糜凝胶的凝胶强度。在加工过程中, 大豆分离蛋白可以吸附水分, 具有保持水分的能力, 因此提高了鱼糜凝胶的持水性。过量的大豆分离蛋白因自身的凝胶性产生蛋白聚集, 产生空间位阻, 从而阻碍了鱼糜凝胶三维网状结构的形成, 引起鱼糜凝胶强度降低, 持水性下降[7]。说明在羊栖菜-鱼糜复合凝胶中适当添加大豆分离蛋白有利于改善鱼糜凝胶品质。

2.3 玉米淀粉添加量对羊栖菜-鱼糜复合凝胶的影响

玉米淀粉对羊栖菜-鱼糜复合凝胶的凝胶强度的影响如图 5 所示。玉米淀粉的添加显著增强了鱼糜凝胶的破断力。随着玉米淀粉添加量从 5%增加至 15%, 与对照组相比, 鱼糜凝胶破断力值增加了 4%~17%。当添加 20%的玉米淀粉时, 破断力出现下降。玉米淀粉的添加对破断距离的影响如图 5A 所示, 随着玉米淀粉添加量的增加, 破断距离呈现显著下降趋势(P<0.05)。凝胶强度的变化与破断力相似, 呈现先增加后降低的趋势(图 5B), 当玉米淀粉的添加量为 10%时, 所制得的鱼糜凝胶的凝胶强度最大, 与对照组相比, 增加了 5%。

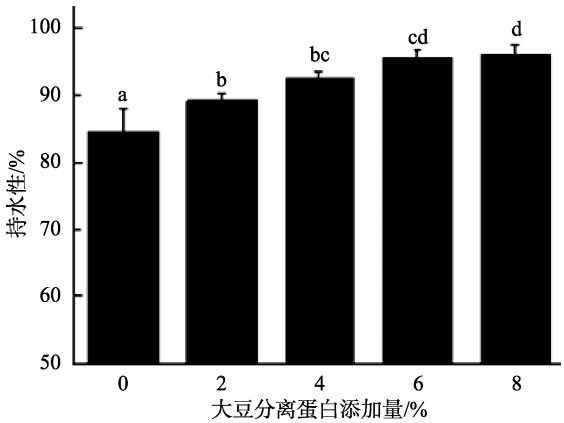
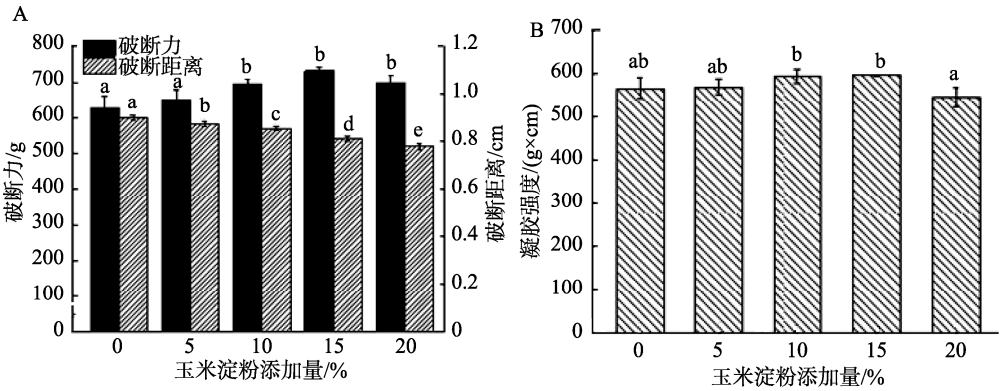


图 4 大豆分离蛋白对羊栖菜-鱼糜复合凝胶持水性的影响(n=3)

Fig.4 Effects of SPI on WHC of *Sargassum fusiforme*-surimi gels (n=3)



注: A: 玉米淀粉对羊栖菜-鱼糜复合凝胶破断力和破断距离的影响; B: 玉米淀粉对羊栖菜-鱼糜复合凝胶凝胶强度的影响。

图 5 玉米淀粉对羊栖菜-鱼糜复合凝胶破断力和破断距离及凝胶强度的影响(n=3)

Fig.5 Effects of corn starch on breaking force, distance to ruptureand gel strength of *Sargassum fusiforme-surimi* gels (n=3)

羊栖菜-鱼糜复合凝胶的持水性随着玉米淀粉的添加先升高后降低(图 6), 当玉米淀粉添加量超过 10%, 持水性得到显著提高($P<0.05$), 比对照组提高了 10%。然而与添加 10%玉米淀粉相比, 添加 15%及 20%的玉米淀粉会显著降低鱼糜凝胶的持水性($P<0.05$), 尤其是添加 20%玉米淀粉时, 凝胶持水性低于不含羊栖菜浆液的鱼糜凝胶。综合以上结果, 添加 10%的玉米淀粉有利于形成具有较高凝胶强度及持水性的鱼糜凝胶制品。

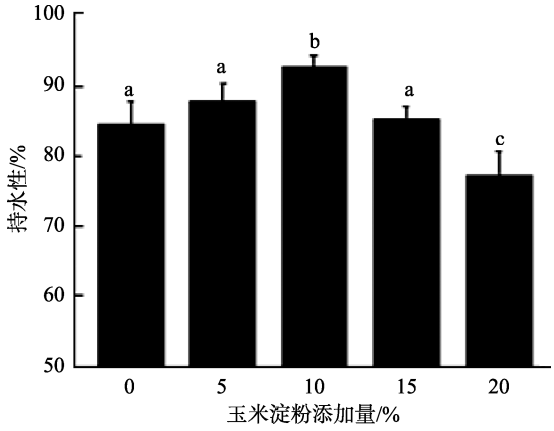


图 6　玉米淀粉对羊栖菜-鱼糜复合凝胶持水性的影响(n=3)

Fig.6　Effects of corn starch on WHC of *Sargassum fusiforme*-surimi gels (n=3)

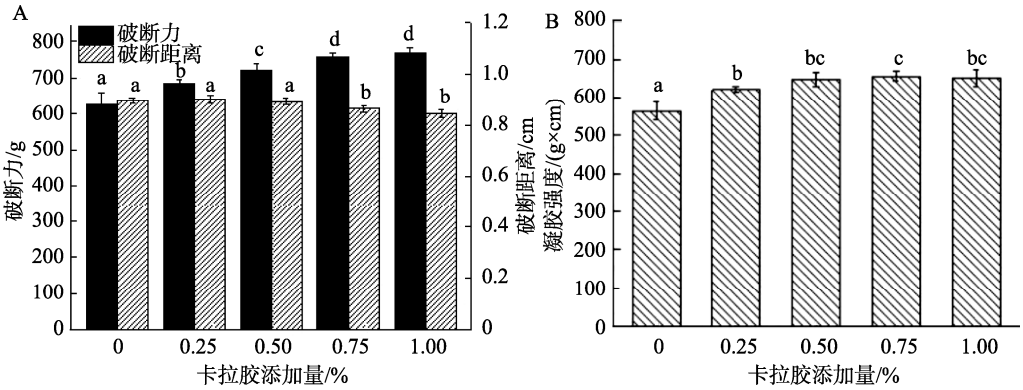
玉米淀粉在水中加热时, 能够吸水膨胀发生糊化, 冷却后能够形成凝胶。当一定量玉米淀粉添加到鱼糜中时, 淀粉颗粒可填充于肌原纤维蛋白网络结构的空隙中, 形成致密的鱼糜凝胶网络结构, 从而增强鱼糜凝胶的凝胶强度及持水能力[15]。另一方面, 玉米淀粉是一种高直链淀粉, 易形成脆性胶体。当过量玉米淀粉添加到鱼糜凝胶中时, 阻碍了鱼糜中的蛋白质交联, 破坏了凝胶网络的形成, 从而降低了凝胶强度及持水性。曹玲等[15]研究发现玉米淀粉能够提高鱼糜的凝胶强度, 改善鱼糜质构特性。袁美兰等[16]研究也表明添加 10.8%玉米淀粉能够改善草鱼鱼糜凝胶的凝胶特性, 随着淀粉添加量的增加, 破断距离逐渐增加。玉米淀粉对鱼糜凝胶析水率有降低的影响, 适当添加玉米淀粉能够提高鱼糜的凝胶保水能力[17–20]。

2.4　卡拉胶添加量对羊栖菜-鱼糜复合凝胶的影响

卡拉胶能够增强羊栖菜-鱼糜复合凝胶的凝胶强度。如图 7A 所示, 随着卡拉胶含量的增加, 鱼糜凝胶的破断力逐渐升高。卡拉胶添加量从 0.50%增加至 1.00%时, 鱼糜凝胶的凝胶破断力增加了 9%至 22%[21–24]。添加 0.50%卡拉胶能够增大破断距离, 但并不显著($P>0.05$)。当卡拉胶含量进一步升高时, 破断距离逐渐降低。卡拉胶对羊栖菜-鱼糜复合凝胶凝胶强度的影响如图 7B 所示。随着卡拉胶的添加, 鱼糜凝胶强度先上升后下降, 当卡拉胶含量为 0.75%时, 凝胶强度达到最大值, 较未添加卡拉胶的鱼糜凝胶增加了 16%[25]。

卡拉胶的添加影响了含羊栖菜浆液鱼糜凝胶的持水性。由图 8 可见, 鱼糜凝胶的持水性随卡拉胶含量的增加逐渐上升。当卡拉胶含量超过 0.50%时, 持水性显著增强($P<0.05$)。进一步增加卡拉胶含量至 0.75%, 持水性最大, 与对照组相比, 提高 8%, 但变化不显著($P>0.05$)。因此, 在含羊栖菜浆液鱼糜凝胶的制作过程中添加 0.75%卡拉胶能够显著提高鱼糜凝胶的凝胶强度和持水性($P<0.05$)[26–28]。

卡拉胶是一种阴离子多糖, 在鱼糜的低温凝胶化过程中能够与鱼糜中蛋白质发生相互作用, 形成蛋白-多糖复合物。在加热过程中, 肌球蛋白变性展开, 暴露出许多疏水基团, 能够与卡拉胶发生交联, 促进了凝胶网状结构的形成, 从而增强了鱼糜凝胶强度。邓海萍等[18]研究发现, 鲢鱼鱼糜的凝胶强度及持水性随卡拉胶含量增加逐渐增大。庄沛锐等[19]的研究也表明卡拉胶的添加能够降低猪肉糜的失水率, 增强肉糜的弹性和硬度, 提高猪肉糜的凝胶强度。



注: A: 卡拉胶对羊栖菜-鱼糜复合凝胶破断力和破断距离的影响; B: 卡拉胶对羊栖菜-鱼糜复合凝胶凝胶强度的影响。

图 7　卡拉胶对羊栖菜-鱼糜复合凝胶破断力和破断距离及凝胶强度的影响(n=3)

Fig.7　Effects of carrageenan on breaking force, distance to rupture and gel strength of *Sargassum fusiforme*-surimi gels (n=3)

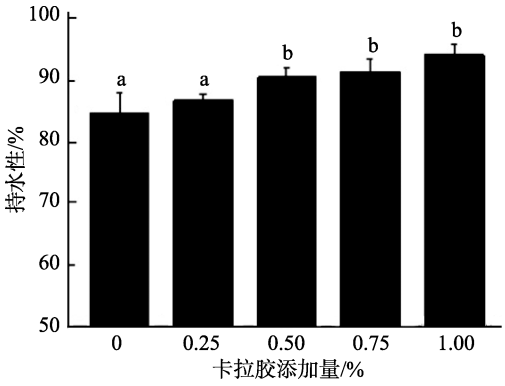


图 8 卡拉胶对羊栖菜-鱼糜复合凝胶持水性的影响(n=3)

Fig.8 Effects of carrageenan on WHC of *Sargassum fusiforme*-surimi gels (n=3)

3 结 论

羊栖菜中含有褐藻胶，适量添加羊栖菜浆液能够增强鱼糜凝胶的凝胶强度，得到具有丰富营养物质的新型鱼糜制品。但是由于羊栖菜颗粒的存在，含羊栖菜浆液的鱼糜凝胶的持水性较低，凝胶品质有待提高。当大豆分离蛋白、玉米淀粉及卡拉胶的添加量分别为 4%、15%及 0.75%时，鱼糜凝胶的凝胶强度及持水性均得到增强。添加 4%大豆分离蛋白、0.75%卡拉胶及 10%玉米淀粉对复合凝胶凝胶度和持水性的改善作用最佳，添加剂的加入有利于获得具有较好凝胶品质且营养丰富的新型鱼糜制品。本研究只探究单一添加物对羊栖菜鱼糜凝胶的影响，后续应进一步探究添加剂的复配作用[29–30]。

参考文献

[1] 刘宇璇, 汪芷因, 林振士, 等. 洞头羊栖菜不同部位的营养成分和物化性质分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(1): 216–223, 133.
LIU YX, WANG ZY, LIN ZS, *et al*. Analysis of nutritional components and physicochemical properties of different parts of *Sargassum fusiforme* [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(1): 216–223, 133.

[2] 刘鑫. 褐藻胶—鱼肉蛋白质复合凝胶体系流变特性及水分状态的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
LIU X. Study on the rheological properties and water states of alginate-fish protein mixture gel system obstract [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.

[3] 范素琴, 逄锦龙, 陈鑫炳, 等. 褐藻胶的功能特性及其在凝胶制品中的应用[J]. 食品与营养科学, 2019, 1: 90–94.
FAN SQ, FENG JL, CHEN XB, *et al*. Functional properties of alginate and its application in gel products [J]. J Food Nutr Sci, 2019, 1: 90–94.

[4] 刘树兴, 朱莉莉, 张书猛, 等. 羊栖菜干燥技术及其即食汤料包的研究[J]. 中国调味品, 2012, 1: 116–120.
LIU SX, ZHU LL, ZHANG SM, *et al*. Study on drying technology and ready-to-eat soup package of shiqi cabbage [J]. China Cond, 2012, 1: 116–120.

[5] 张婷, 李茜雅, 唐欢, 等. 鱼糜及鱼糜制品加工工艺研究进展[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 185–191.
ZHANG T, LI QY, TANG H, *et al*. Research progress of surimi and its processing technology [J]. China Cond, 2018, 43(3): 185–191.

[6] 孔秋红, 张瑞芬, 曾新安, 等. 不同方法提取的羊栖菜多糖理化性质及益生活性[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 123–129.
KONG QH, ZHANG RF, ZENG XAN, *et al*. Physicochemical properties and probiotics activity of polysaccharides extracted by different methods [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(5): 123–129.

[7] 申亮, 毕诗杰, 王小瑞, 等. 不同乳酸菌发酵羊栖菜浆的工艺研究[J]. 河北农业大学学报, 2021, 44(6): 69–76.
SHEN L, BI SJ, WANG XR, *et al*. Effects of different lactic acid bacteria on fermentation of vegetable pulp [J]. J Hebei Agric Univ, 2021, 44(6): 69–76.

[8] 王良玉. 鱼糜制品在生产许可现场审核问题分析与对策[J]. 福建轻纺, 2021, 5(5): 7–10.
WANG LY. Analysis and countermeasures on on-site audit of surimi products in production license [J]. Light Text Ind Fujian, 2021, 5(5): 7–10.

[9] 杨姣, 安玥琦, 陈雨欣, 等. 鱼糜制品加热过程中过熟味的特征风味成分解析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 265–280.
YANG J, AN YQ, CHEN YX, *et al*. Analysis of characteristic flavor components of overripe flavor of surimi products during heating [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(8): 265–280.

[10] 仪淑敏, 叶贝贝, 李学鹏, 等. 鱼糜及鱼糜制品中水分研究进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 304–310.
YI SM, YE BB, LI XP, *et al*. Research progress of water content in surimi and surimi products [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(12): 304–310.

[11] 于楠楠, 李景敏, 汤楚琦, 等. 羊血浆蛋白对高温杀菌鱼糜制品凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 32–36, 42.
YU NN, LI JM, TANG CQ, *et al*. Effects of sheep plasma protein on gel properties of high-temperature sterilized surimi products [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(16): 32–36, 42.

[12] 刘雪, 王桂宏, 赵福江, 等. 羊栖菜褐藻糖胶的结构表征及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 79–84.
LIU X, WANG GH, ZHAO FJ, *et al*. Structural characterization and antioxidant activity of alginose gum from Herbivore herbivore [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(3): 79–84.

[13] 郑晓丽, 阎利萍, 左吉卉, 等. 羊栖菜提取物的体外抗氧化活性及降低小鼠餐后血糖作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(6): 33–39.
ZHENG XL, YAN LP, ZUO JH, *et al*. *In vitro* antioxidant activity and hypoglycemic effect of extracts from Hiqiqi in mice [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(6): 33–39.

[14] 王团结, 冯志彪, 岳莹, 等. 茶多酚与大豆分离蛋白对复合乳化体系性质的影响[J]. 中国调味品, 2017, 42(4): 26–31.
WANG TJ, FENG ZB, YUE Y, *et al*. Effects of tea polyphenols and soy protein isolate on properties of composite emulsification system [J]. China Cond, 2017, 42(4): 26–31.

[15] 曹玲, 张坤生, 任云霞. 玉米淀粉魔芋胶和大豆分离蛋白对鸡肉丸持水力的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 227–230.
CAO L, ZHANG KS, REN YX. Effects of corn starch konjac gum and soybean protein isolate on water retention of chicken meatballs [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(4): 227–230.

[16] 袁美兰, 赵利, 邹胜员, 等. 玉米淀粉和红薯淀粉对草鱼鱼糜凝胶性质

的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 120–123.
YUAN ML, ZHAO L, ZOU SY, *et al*. Effects of corn starch and sweet potato starch on gel properties of grass carp surimi [J]. Food Sci Technol, 2011, 36(10): 120–123.

[17] 段方娥, 马乐, 何强, 等. 鲢鱼酶解液-多糖复合凝胶特性研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(5): 50–53.
DUAN FE, MA L, HE Q, *et al*. Research on properties of silver carp hydrolysate-polysaccharide complex gel [J]. China Cond, 2019, 44(5): 50–53.

[18] 邓海萍, 陈奇, 李向红, 等. 不同电荷多糖添加物对鲢鱼鱼糜凝胶结构的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 25–28, 39.
DENG HP, CHEN Q, LI XH, *et al*. Gel structure of silver carp surimi with different charge polysaccharide additives [J]. Food Mach, 2014, 30(3): 25–28, 39.

[19] 庄沛锐, 杨园媛, 孙为正, 等. 卡拉胶/刺槐豆胶对猪肉糜品质的影响研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 986–988.
ZHUANG PR, YANG YY, SUN WZ, *et al*. Effect of carrageenan/locust bean gum on pork meat quality [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(5): 986–988.

[20] 何晓萌. 罗非鱼混合鱼糜凝胶特性改良的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
HE XY. Study on improvement of gel properties of tilapia mixed surimi [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.

[21] 米红波, 李政翰, 李岩, 等. 外源添加物在鱼糜制品中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, (15): 349–355.
MI HB, LI ZH, LI Y, *et al*. Research progress on application of exogenous additives in surimi products [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, (15): 349–355.

[22] 黄卉, 何晓萌, 李来好, 等. 添加剂对罗非鱼-海鲈鱼混合鱼糜的凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, (10): 84–89.
HUANG H, HE XM, LI LH, *et al*. Effects of additives on gel properties of tilapia sea perch mixed surimi [J]. Food Ferment Ind, 2018, (10): 84–89.

[23] LIU Y, LI X, CHEN Z, *et al*. Characterization of structural and functional properties of fish protein hydrolysates from surimi processing by-products [J]. Food Chem, 2014, 151: 459–465.

[24] LIU J, WANG X, DING Y, *et al*. Optimization of adding konjac glucomannan to improve gel properties of low-quality surimi [J]. Carbohydr Polym, 2013, 92: 484–489.

[25] JESE A, RAMRIEZ, MANUEL V, *et al*. Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review [J]. Food Hydrocolloid, 2011, 25: 1842–1852.

[26] YU N, XU Y, JIANG Q, *et al*. Molecular forces involved in heat-induced freshwater surimi gel: Effects of various bond disrupting agents on the gel properties and protein conformation changes [J]. Food Hydrocolloid, 2017, 69: 193–201.

[27] WANG Z, LIANG J, JIANG L, *et al*. Effect of the interaction between myofibrillar protein and heat-induced soy protein isolates on gel properties [J]. J Food, 2015, 13: 1–8.

[28] LIU H, NIE Y, CHEN H. Effect of different starches on colors and textural properties of surimi-starch gels [J]. Int J Food Prop, 2014, 17: 1439–1448.

[29] ZHANG LT, LI Q, SHI J, *et al*. Changes in chemical interactions and gel properties of heat-induced surimi gels from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during setting and heating: Effects of different washing solutions [J]. Food Hydrocolloid, 2018, 75: 116–124.

[30] TAO Z, WEN WY, CAO MJ, *et al*. Effect of blend ratio and pH on the physical properties of edible composite films prepared from silver carp surimi and skin gelatin [J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(3): 1618–1625.

(责任编辑: 张晓寒　于梦娇)

作者简介

时培宁, 硕士, 实验师, 主要研究方向为食品加工。
E-mail: 280193269@qq.com

于楠楠, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品加工与配料, 水产品加工。
E-mail: 280193269@qq.com