

# 鲑鱼糜和海参复配 3D 打印食品材料

潘禹希<sup>1</sup>, 于婉莹<sup>1</sup>, 赵文宇<sup>1</sup>, 姜鹏飞<sup>1</sup>, 焦健<sup>2</sup>, 启航<sup>1</sup>, 董秀萍<sup>1</sup>

(1. 国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 辽宁省海产品精深加工产业共性技术创新平台, 大连工业大学食品学院, 辽宁大连 116034)

(2. 北京同仁堂健康(大连)海洋食品有限公司, 辽宁大连 116052)

**摘要:** 为了促进传统鱼糜制品的创新, 提高低值海参的高值化利用, 本实验将鲑鱼糜和海参浆两种原料进行复配, 制备出一种可用于 3D 打印的新型食品材料。采用 3D 打印机和质地测试仪考察了鲑鱼糜和海参浆不同复配比例对 3D 打印效果和质构特性的影响, 并比较了两种原料及复配后材料的营养差异。结果显示, 所制备鲑鱼糜和海参浆中蛋白质含量分别为 11.60% 和 15.08%, 其中鲑鱼糜氨基酸比例适宜, EAAI>75.00, 海参浆胶原蛋白含量为 8.07%, 活性多糖含量为 16.49 mg/g; 复配后食品材料兼具两种原料的营养成分, 组成更加丰富, 有利于营养互补。就 3D 打印效果而言, 海参浆比例的增加会降低复配材料的打印效果和凝胶性能, 使凝胶强度由 1180.86 g·mm 降至 136.40 g·mm。综合考虑, 鲑鱼糜和海参浆比例为 7:3 时, 可以较好的兼具营养与 3D 打印效果, 可以用于后续的研究与产品开发。

**关键词:** 鲑鱼糜; 海参浆; 3D 打印; 营养

文章编号: 1673-9078(2020)08-175-183

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.0059

## 3D Printing Food Materials Made with *Hypophthalmichthys molitrix*

### Surimi and Sea Cucumber Pulp

PAN Yu-xi<sup>1</sup>, YU Wan-ying<sup>1</sup>, ZHAO Wen-yu<sup>1</sup>, JIANG Peng-fei<sup>1</sup>, JIAO Jian<sup>2</sup>, QI Hang<sup>1</sup>, DONG Xiu-ping<sup>1</sup>

(1. National Engineering Research Center of Seafood, Collaborative Innovation Center of Provincial and Ministerial Coconstruction for Seafood Deep Processing, Liaoning Province Collaborative Innovation Center for Marine Food Deep Processing, School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

(2. Beijing Tongrentang Health (Dalian) Marine Food Co., Ltd., Dalian 116052, China)

**Abstract:** In order to promote the innovation of traditional surimi products and improve the high-value utilization of low-value sea cucumbers, the *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp were mixed to prepare a new type of food material for 3D printing. The effects of different compounding ratios of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp on 3D printing outcome and product texture properties were investigated by using a 3D printer and texture analyzer, and the nutritional differences of the two raw materials and the compounded materials were compared. The results showed that the protein contents of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp were 11.60% and 15.08%, respectively, with the *Hypophthalmichthys molitrix* surimi having an appropriate amino acid ratio (EAAI > 75.00), and the sea cucumber pulp having a collagen content of 8.07% and an active polysaccharide content of 16.49 mg/g; After compounding, the resulting food material had all the nutritional ingredients of both materials, which made the composition more abundant and allowed nutrition complementation. As for the 3D printing outcome, the increase of the proportion of sea cucumber pulp worsened the printing outcome and gel properties of the composite materials, causing the gel strength to reduce from 1180.86 g·mm to 136.40 g·mm. Taken together,

引文格式:

潘禹希,于婉莹,赵文宇,等. 鲑鱼糜和海参复配 3D 打印食品材料[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 175-183

PAN Yu-xi, YU Wan-ying, ZHAO Wen-yu, et al. 3D printing food materials made with *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 175-183

收稿日期: 2020-01-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0400603); (2019YFD0902000)

作者简介: 潘禹希 (1994-), 女, 硕士, 研究方向: 食品科学与工程

通讯作者: 董秀萍 (1977-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工理论与技术

the ratio of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi to sea cucumber pulp at 7 : 3 led to a 3D printing food material with the combined nutritional properties of both raw materials and satisfactory printing outcome, which can be used for subsequent research and product development.

**Key words:** *Hypophthalmichthys molitrix* surimi; sea cucumber pulp; 3D print; nutrition

鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 是我国主要养殖的淡水鱼类之一, 其养殖产量在 2018 年达到 385 万吨, 占淡水鱼类总产量的 15.20% (中国渔业统计年鉴, 2019)。鲢鱼因其快速的生长能力和低廉的价格而成为目前制作淡水鱼糜的主要原料<sup>[1]</sup>, 它富含蛋白质, 氨基酸种类齐全, 脂肪含量低, 是一种高蛋白、低脂低胆固醇的健康食品<sup>[2]</sup>。鱼糜是由鱼肉经斩拌、漂洗和脱水后得到的肌原蛋白浓缩物, 具有独特的组织结构。近年来鱼糜制品在水产加工食品中占据越来越重要的地位, 具有良好的发展前景。为了进一步开创鱼糜制品的种类, 研发能够满足消费者需求的新型鱼糜制品, 可以将鱼糜与其他食品进行结合以促进鱼糜产品的创新。

海参被亚洲地区视为珍贵海产品, 几个世纪以来一直被当作传统的滋补品。近年来越来越多的国家和人民意识到食用海参对健康的助益。作为一种理想的滋补食品, 海参是胶原蛋白以及皂苷、甾醇、酸性黏多糖、多肽等多种生物活性成分的丰富来源, 具有良好的食用和药用价值<sup>[3]</sup>。然而, 消费者对一些形态差异较大的海参接受度不高, 此外, 在海参加工过程中存在规格较小或形态破损的个体, 导致经济价值降低, 但所含营养物质并没有受到破坏, 仍然具有良好的食用价值, 因此, 充分利用这些低值海参, 将其与鱼糜结合共同加工成新型鱼糜产品, 不仅可以丰富产品最终的营养种类, 还可以通过一定的技术手段重新构建良好的外观形态, 提高低值海参附加值。

3D 打印技术是一种较为先进的快速成型技术, 可以完成传统模具所难以实现的复杂结构<sup>[4]</sup>。它在食品应用中具有良好的发展潜力和优势, 能够根据不同人群对于营养和形态的需求进行个人定制<sup>[5]</sup>, 目前在食品领域中已应用于巧克力、奶酪和鱼糜等<sup>[6]</sup>。由于人们对定制食品以及鱼糜制品的需求不断增加, 开发和利用新型鱼糜类复配原料进行 3D 打印的研究具有重要意义。因此, 本研究将鲢鱼糜与海参浆进行有机结合, 挑选出适宜 3D 打印的复配比例, 同时能够达到均衡营养的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

冷冻鲢鱼鱼糜, 购自洪湖市井力水产食品有限公司,

采用 -18 °C 冷链运输方式运至实验室, -20 °C 储存。刺参, 产地大连, 8~10 只/kg。

甲醇 (色谱级), 天津市科密欧化学试剂有限公司; L-半胱氨酸、L-岩藻糖、硫酸软骨素、乙腈 (色谱纯), 阿拉丁试剂 (上海) 有限公司; 氯仿、正己烷 (色谱纯), 上海国药集团。其他试剂均为分析纯。

### 1.2 主要仪器设备

PH070A 干燥箱, 上海一恒科技有限公司; LC-2030C 凯氏定氮仪, 上海沛欧分析仪器有限公司; SX-2-4-10 马弗炉, 龙口市先锋科技有限公司; UV-5200 紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限公司; Agilent+1260 高效液相色谱、G9250AA 三重串联四级杆气相色谱质谱联用仪, 美国安捷伦公司; 4000QTRAP 液相色谱质谱联用仪, 日本岛津公司; FPE2 3D 打印机, 上海富奇凡机电科技有限公司; TA-XTPLUSZ 物性测试仪, 英国 Stable Micro System 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 海参预处理

将海参从腹部剪开, 去除内脏和筋膜, 在沸水中预煮 20 min。捞出到容器中加水没过海参表面, 密封后放入高压灭菌锅中以 121 °C 处理 30 min, 打浆。浓缩控制水分含量至 80%, -20 °C 储存。

#### 1.3.2 鲢鱼糜和海参浆复配材料的制备

将冷冻鲢鱼糜流水解冻 30 min, 放入搅拌机中空播 1 min, 加入鱼糜质量 2.5% 的氯化钠和适量冰水继续播溃 5 min, 使鱼糜最终水分含量达到 80%。将鲢鱼糜与制得的海参浆以 5:5、6:4、7:3、8:2 和 9:1 的比例 (m/m) 进行复配, 继续播溃 5 min 混匀, 装入袋中暂置于 4 °C 备用。

### 1.4 3D 打印方法

将制备好的原料灌入 3D 打印机的进料桶中, 参照 Dong<sup>[7]</sup>等筛选出的最佳 3D 打印条件, 在软件 (Repetier-Host V0.95F) 中选取 stl 格式的“圆柱”图形文件 (直径 25 mm, 高 25 mm) 进行打印。打印后的成品采用二段式加热法进行熟化 (40 °C 水浴凝胶化 30 min, 随后 90 °C 水浴熟化 30 min), 结束后冷却至室温备用。

## 1.5 复配样品 3D 打印后的质构特性

在物性测试仪的强凝胶强度和全质构分析模式下测定熟化后 3D 打印样品的凝胶强度和 TPA。凝胶强度测试条件: P/5S 球形探头, 测前、测试速度为 1 mm/s, 测后速度为 10 mm/s, 穿刺比为 50%, 触发力为 5 g, 凝胶强度为断裂力 (g) 和断裂距离 (mm) 的乘积。TPA 测试条件: P/100 圆柱形探头, 测前、测试和测后速度均为 1 mm/s, 对每个样品进行两次连

续压缩, 压缩比为 30%, 触发力为 5 g。每个模式取 6 个样品进行测定, 将测试结果取平均值。

## 1.6 感官评定

选择 10 名经过培训的人员组成感官评定小组, 采用双盲法分别从色泽、气味、组织形态和弹性四方面进行评定, 评定标准见表 1。总分使用加权平均分计算, 加权系数为: 色泽 10%、气味 10%、外观形态 40%、弹性 40%。

表 1 感官评定标准

Table 1 Criteria of sensory evaluation

感官指标	7~10 分	4~7 分	1~4 分
色泽	表面光泽, 色泽均匀	略有光泽, 色泽较为均匀	颜色黯淡, 表面无光泽, 色泽不均匀
气味	鱼香和海鲜味明显, 无异味	鱼香和海鲜味较淡, 无明显异味	无鱼香或海鲜味, 有明显腥臭味或异味
外观形态	形态良好呈圆柱形, 无收缩或坍塌变形, 表面光滑平整, 无断点	形状较为完整, 基本呈现柱体形态, 存在轻微收缩或坍塌, 柱体表面有断点	无柱体形态, 收缩或坍塌变形严重, 表面粗糙, 断点较多
弹性	弹性较好, 稍用力按压表面不裂开, 迅速恢复原状	弹性适中, 稍用力按压表面不裂开, 缓慢恢复原状	弹性差, 过软或过硬, 稍用力按压表面即裂开, 不能恢复原状

## 1.7 基本营养成分测定

样品中的水分含量根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法进行测定; 脂肪含量根据 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定; 蛋白质含量根据 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定, 所得结果乘以系数 6.25 即为样品中的蛋白质总量; 灰分含量根据 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》进行测定; 总糖含量根据 GB/T 9695.31-2008《肉制品 总糖含量测定》中的分光光度法进行测定; 羟脯氨酸含量根据 GB/T 9695.23-2008《肉与肉制品中羟脯氨酸含量测定》进行测定, 所得羟脯氨酸浓度分别乘以转换系数 7.7 和 9.75<sup>[8,9]</sup>即为海参浆和鲑鱼糜的胶原蛋白含量。每个指标重复 3 次实验, 结果取平均值。

## 1.8 游离氨基酸分析及营养评价

参照 Fan<sup>[10]</sup> 的方法, 利用高效液相色谱法对样品中的氨基酸含量进行定量分析。

色谱条件: 色谱柱 (200 mm×2.1 mm×5 μm); 流动相: A 液: 乙酸钠溶液, B 液: 乙酸钠溶液+乙腈+甲醇; 柱温: 27 °C; 进样量: 10 μL。

参照向莹<sup>[11]</sup> 的计算方法将样品蛋白质中的氨基酸模式与 FAO/WHO 标准模式进行比较, 计算氨基酸评分 (AAS) 和必需氨基酸指数 (EAAI) 以评价蛋

白质的营养价值。

## 1.9 脂肪酸测定

参照 Folch<sup>[12]</sup> 的方法, 利用气相色谱-质谱联用法对样品中的脂肪酸含量进行分析。

色谱条件: 毛细管色谱柱 (30 mm×0.25 mm×0.25 μm); 载气: 氦气; 检测器温度: 250 °C; 初始柱温: 160 °C

## 1.10 硫酸多糖含量测定

参照 Cao<sup>[13]</sup> 的方法, 利用液相色谱-质谱联用法测定岩藻糖和硫酸软骨素混合标准工作液及样品中的硫酸多糖含量。将岩藻糖残基和软骨素结构的峰面积与内标 (乳糖) 的峰面积相关联, 得到岩藻糖残基 ( $X_{\text{Fuc}}$ , mg/g) 和硫酸软骨素 ( $X_{\text{CH}}$ , mg/g) 的含量, 并由此计算出样品中多糖 ( $X$ , mg/g) 的含量, 计算公式如下:

$$X_{\text{Fuc}} = \frac{C_{\text{Fuc}} \times 10 \times 146}{A \times 164} \quad (1)$$

$$X_{\text{CH}} = \frac{C_{\text{CH}} \times 10}{A} \times (100\% - 19\%) \quad (2)$$

$$X = (X_{\text{Fuc}} + X_{\text{CH}}) \times \frac{100\%}{100\% - 27\%} \quad (3)$$

式中:  $C_{\text{Fuc}}$ : 从标准曲线中得到的岩藻糖浓度 (mg/mL); A: 试样质量或试样体积 (g 或 mL);  $C_{\text{CH}}$ : 从标准曲线中得到的软骨素浓度 (mg/mL)。

### 1.11 数据处理及统计分析

所有实验数据均以平均值±标准差表示，采用 one-way ANOVA 算法进行方差分析和显著性分析 ( $p < 0.05$  表示有显著性差异)，使用 Origin 8.5 进行图表绘制。

## 2 结果与讨论

### 2.1 鲢鱼糜-海参浆复配样品的 3D 打印效果

从物料挤出的连续性和均匀性、3D 打印的精准度以及打印后立体形状的稳定等方面对不同比例复配的鲢鱼糜-海参浆材料的打印性能进行了评估。从图 1 中可以看出，随着复配材料中海参浆所占比例的增大，复配材料的打印性能有所降低。当鲢鱼糜和海参浆的复配比例为 9:1 和 8:2 时打印出的图形与设计图形相一致，当比例达到 7:3 时打印图形的立体结构依旧符合设计好的圆柱体形态，且在熟化后基本能够维持打印形态，但打印精度不足，柱体表面不够光滑平整。

继续增加海参浆的比例时发现，打印后的图形精准度和稳定性变差，材料从喷嘴中挤出时的连续性降低，物料的机械强度不足以支撑下层结构，导致打印后压缩变形，与设计图形相比发生了极大的改变，且在熟化后这一现象更为严重。当鲢鱼糜和海参浆的复配比例低于 5:5 时几乎已经不能打印成型。这可能是由于鲢鱼糜和海参浆是两种单独的凝胶体系，将两者复配后并不能相互交联形成网络结构，且海参浆具有一定的流动性，导致打印样品发生变形。此外，在加热过程中海参浆交联度变差，流动性增强，因此加入过多海参浆的样品在熟化后会出现坍塌现象。

3D 打印制品的精度和质量取决于食品材料的性能<sup>[14]</sup>，流动性过高或过低的材料都不利于打印成型，故通过 3D 打印效果确定鲢鱼糜和海参浆的最终复配比例为 7:3。按照该比例复配基本可以实现立体结构的 3D 打印，并且能够最大限度地提高低值海参的利用率，并为制备新型鱼糜产品提供依据，可以用于进一步的研究与开发。

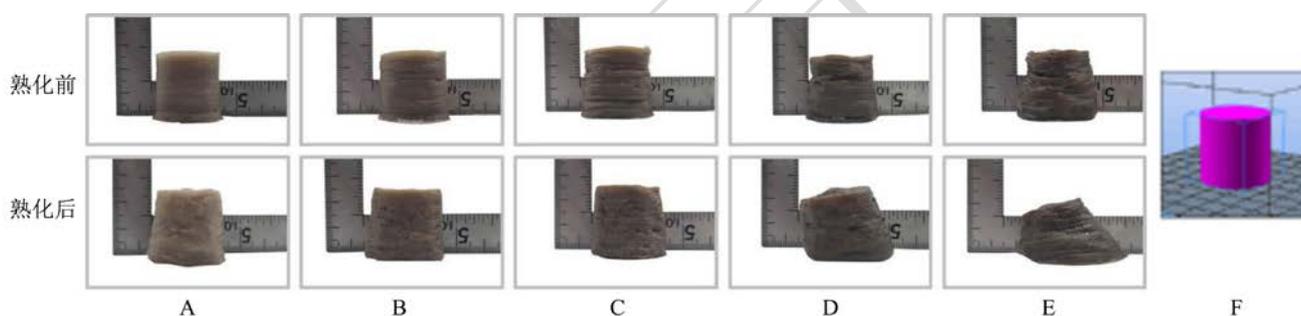


图 1 鲢鱼糜和海参浆的复配比例对 3D 打印成型效果的影响

Fig.1 Effect of the proportion of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp on the 3D printing

注：A~E：鲢鱼糜；海参浆的复配比例为 9:1、8:2、7:3、6:4 和 5:5，F：打印设计图。

### 2.2 鲢鱼糜-海参浆复配样品的质构特性

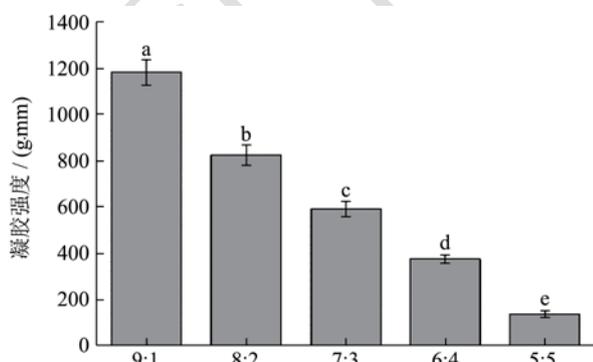


图 2 鲢鱼糜和海参浆复配比例对 3D 打印后凝胶强度的影响

Fig.2 Effect of the proportion of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp on the gel strength of 3D printed gel

注：不同字母表示样品间具有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

采用质构仪对不同比例复配材料 3D 打印后的质构进行测定分析，其中凝胶强度是反映肉糜类制品凝胶坚实程度的指标，TPA 能够反映出样品的质构特性<sup>[15]</sup>。综合图 2 和表 2 可知，随着鲢鱼糜和海参浆的复配比例从 9:1 到 5:5，3D 打印样品的凝胶强度从 1180.86 g·mm 下降至 136.40 g·mm，硬度从 767.47 g 下降至 317.21 g，此外，咀嚼性和回复性也显著降低，表明海参浆能够使复配材料 3D 打印样品的结构性能发生改变。这可能是由于鲢鱼糜和海参浆是两个单独的凝胶体系，在正常条件下并不能相互交联。鱼糜肌原纤维蛋白能够在氯化钠的作用下充分溶出并在加热过程中受到自身内源性转谷氨酰胺酶的诱导共价交联产生稳定的  $\epsilon$ -( $\gamma$ -谷氨酰)赖氨酸共价键，从而形成均匀而富有弹性的网状结构<sup>[16]</sup>。由于海参体壁在高温

处理过程中胶原纤维网状结构遭到了一定的破坏,导致相互之间的作用力并不稳定,所形成的凝胶网络较弱,因此随着海参浆相对比例的增加,体系中肌原纤维蛋白浓度受到稀释,降低了样品凝胶网络的交联程度和均匀性。田利利等<sup>[17]</sup>研究了虾糜和鱼糜的复配比例对混合肉糜凝胶特性的影响,发现虾糜的复配比例

越高时混合肉糜的质构越差。

海参浆添加量较高时会阻碍形成良好的凝胶网络结构,导致质构特性变差。综合来看,鲢鱼糜和海参浆的复配比例为 7:3 时凝胶强度和硬度等指标均不会过高或过低,达到较为适宜的水平。

表 2 鲢鱼糜和海参浆复配比例对 3D 打印后 TPA 的影响

Table 2 Effect of the proportion on the texture properties of 3D printed gel

复配比例	硬度/g	弹性	粘聚性	咀嚼度	回复性
9:1	767.47±32.51 <sup>a</sup>	0.97±0.02 <sup>a</sup>	0.87±0.01 <sup>a</sup>	573.98±28.10 <sup>a</sup>	0.57±0.01 <sup>a</sup>
8:2	655.67±34.98 <sup>a</sup>	0.99±0.04 <sup>a</sup>	0.86±0.01 <sup>a</sup>	499.67±29.46 <sup>b</sup>	0.55±0.01 <sup>b</sup>
7:3	545.47±47.18 <sup>b</sup>	0.99±0.02 <sup>a</sup>	0.87±0.00 <sup>a</sup>	432.26±39.42 <sup>c</sup>	0.53±0.02 <sup>b</sup>
6:4	434.58±21.30 <sup>c</sup>	0.98±0.02 <sup>a</sup>	0.87±0.01 <sup>a</sup>	367.03±13.27 <sup>d</sup>	0.53±0.01 <sup>b</sup>
5:5	317.21±30.63 <sup>d</sup>	0.97±0.01 <sup>a</sup>	0.86±0.01 <sup>a</sup>	268.45±26.95 <sup>e</sup>	0.53±0.02 <sup>b</sup>

注:不同字母表示样品间具有显著性差异 ( $p<0.05$ )。

表 3 鲢鱼糜和海参浆复配材料 3D 打印制品的感官评定结果

Table 3 Sensory evaluation of 3D printed products composited by *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp

复配比例	色泽	气味	组织形态	弹性	总分
9:1	7.54±0.78 <sup>a</sup>	6.84±0.53 <sup>a</sup>	8.62±0.32 <sup>a</sup>	8.13±0.37 <sup>a</sup>	8.14±0.46 <sup>a</sup>
8:2	7.29±0.65 <sup>ab</sup>	6.98±0.61 <sup>a</sup>	8.60±0.34 <sup>a</sup>	8.42±0.45 <sup>a</sup>	8.24±0.62 <sup>a</sup>
7:3	6.88±0.47 <sup>bc</sup>	7.03±0.46 <sup>a</sup>	8.57±0.65 <sup>a</sup>	8.33±0.48 <sup>a</sup>	8.17±0.49 <sup>a</sup>
6:4	6.46±0.47 <sup>cd</sup>	6.94±0.57 <sup>a</sup>	5.32±0.70 <sup>b</sup>	6.73±0.54 <sup>b</sup>	6.16±0.37 <sup>b</sup>
5:5	6.03±0.36 <sup>d</sup>	6.86±0.43 <sup>a</sup>	2.93±0.45 <sup>c</sup>	3.89±0.37 <sup>c</sup>	4.02±0.24 <sup>c</sup>

注:不同字母表示样品间具有显著性差异 ( $p<0.05$ )。

### 2.3 感官评定

感官评定是评价产品色泽、气味、组织形态和弹性的综合指标,如表所示。添加海参浆对复配材料 3D 打印制品的色泽、组织形态和弹性均有显著影响,当鲢鱼糜和海参浆的复配比例为 9:1~7:3 时各项感官评分相近,弹性有小幅度升高但并不显著,继续提高海参浆比例会造成综合感官评分降低,产品接受度下降,这与 3D 打印成型效果和质构的数据在一定程度上具有一致性。因此,当鲢鱼糜和海参浆的复配比例为 7:3 时,海参添加量较为适宜,具有较好的感官接受度。

### 2.4 基本营养成分分析

从表 4 中可以看出,鲢鱼糜和本实验制备的海参

浆中脂肪和灰分含量较低,蛋白质含量相对较高,分别为 11.60%和 15.08%,其中胶原蛋白含量分别占总蛋白质含量的 4.40%和 53.51%。这是因为鲢鱼中的胶原蛋白主要集中于鱼皮和鱼骨,鱼肉中的含量相对较低。汪之和等<sup>[18]</sup>在对漂洗和未漂洗鲢鱼肉的研究中发现,鱼肉经漂洗后会损失大量水溶性蛋白、脂肪和灰分,其主要成分为盐溶性肌原蛋白。Kiew 等<sup>[19]</sup>研究表明,海参是一种高蛋白低脂肪的食品,且体壁的主要成分为胶原蛋白。本实验所制备的海参浆是采用海参体壁制得,因此胶原蛋白含量较高。胶原蛋白对维持结缔组织的正常结构和抵抗能力至关重要<sup>[20]</sup>,此外它还具有治疗关节炎、维持血管健康等功能<sup>[21]</sup>,可以通过食用富含胶原蛋白的海产品来保证胶原蛋白的摄入量。

表 4 鲢鱼糜和海参浆中基本营养成分含量 (g/100 g 湿重)

Table 4 Common nutritive composition of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp (g/100 g wet weight)

	水分	蛋白质	脂肪	灰分	总糖	胶原蛋白
鲢鱼糜	80.07±0.15	11.60±0.14	1.08±0.01	0.58±0.06	5.81±0.98	0.51±0.05
海参浆	79.93±0.32	15.08±0.36	0.66±0.12	1.32±0.07	1.76±0.24	8.07±0.96
测定值 (7:3 复配材料)	79.96±0.22	12.66±0.35	0.88±0.02	0.86±0.13	4.47±0.38	2.74±0.09
理论值 (7:3 复配材料)	80.03±0.20	12.64±0.42	0.91±0.06	0.80±0.02	4.53±0.76	2.78±0.32

经检测, 将鲢鱼糜和海参浆按照 7:3 进行复配后的各种营养成分组成与理论计算值基本一致, 胶原蛋白含量较单独使用鲢鱼糜时有所提高, 证明复配后的材料同样是一种高蛋白、低脂肪的健康食品, 且可兼

具其他独特的营养特色。

## 2.5 氨基酸含量分析及营养评价

表 5 鲢鱼糜和海参浆中的氨基酸组成与含量 (g/100 g 湿重)

Table 5 Composition and content of amino acids in *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp (g/100 g wet weight)

氨基酸	鲢鱼糜	海参浆	7:3 复配材料
赖氨酸	1.18±0.04	0.42±0.03	0.95±0.03
色氨酸	0.12±0.00	0.10±0.01	0.12±0.02
苯丙氨酸	0.47±0.01	0.55±0.04	0.47±0.02
苏氨酸	0.54±0.02	0.74±0.01	0.59±0.02
异亮氨酸	0.55±0.00	0.50±0.01	0.54±0.00
亮氨酸	0.96±0.01	0.59±0.03	0.92±0.02
缬氨酸	0.60±0.01	0.56±0.01	0.56±0.01
甲硫氨酸	0.27±0.09	0.24±0.01	0.34±0.07
丙氨酸	0.67±0.01	1.00±0.04	0.80±0.02
甘氨酸	0.50±0.02	2.59±0.08	1.09±0.04
天门冬氨酸	1.20±0.04	1.48±0.03	1.25±0.04
L-酪氨酸	0.44±0.04	0.35±0.01	0.40±0.03
丝氨酸	0.39±0.01	0.59±0.02	0.45±0.02
精氨酸	0.62±0.04	1.00±0.03	0.83±0.04
组氨酸	0.28±0.00	0.15±0.01	0.22±0.00
胱氨酸	0.11±0.01	0.16±0.01	0.18±0.01
脯氨酸	0.41±0.01	1.33±0.00	0.64±0.01
谷氨酸	2.04±0.07	2.08±0.07	2.06±0.07
TAA	11.29±0.25	14.38±0.37	12.41±0.29
EAA	4.68±0.02	3.69±0.12	4.49±0.18
NEAA	6.65±0.24	10.71±0.28	7.92±0.28
EAA/TAA	0.41±0.01	0.26±0.00	0.36±0.02
EAA/NEAA	0.70±0.03	0.34±0.00	0.57±0.05

表 6 鲢鱼糜和海参浆必须氨基酸的 AAS、CS 和 EAAI 评分

Table 6 AAS, CS and EAAI scores of essential amino acids in *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp

氨基酸	鲢鱼糜	海参浆	7:3 复配材料	FAO/WHO 模式	鸡蛋蛋白	AAS		
						鲢鱼糜	海参浆	7:3 复配材料
苏氨酸(Thr)	4.61	4.91	4.66	4.00	5.10	115.25	122.75	116.50
缬氨酸(Val)	5.17	3.71	4.42	5.00	7.30	103.40	74.20	88.40
甲硫(Met)+半胱(Cys)	3.23	2.59	4.11	3.50	5.50	92.29	74.00	117.43
异亮(Ile)	4.74	3.32	4.27	4.00	6.60	118.50	83.00	106.75
亮氨酸(Leu)	8.28	3.91	7.27	7.00	8.80	118.29	55.86	103.86
苯丙(Phe)+酪(Tyr)	7.80	5.90	6.87	6.00	10.00	130.00	98.33	114.50
色氨酸(Trp)	1.03	0.63	0.95	1.00	1.60	103.00	63.00	95.00
赖氨酸(Lys)	10.13	2.79	7.50	5.50	6.40	184.18	50.73	136.36
EAAI	81.87	51.84	75.50	-	-	-	-	-

通过测定 18 种游离氨基酸的组成及含量计算出总氨基酸 (TAA)、必需氨基酸 (EAA) 和非必需氨基酸 (NEAA) 含量。鲢鱼糜和本实验制备的海参浆以及将两者按照 7:3 复配后的氨基酸组成如表 5 所示, 可以看出在鲢鱼糜中氨基酸含量最多的是谷氨酸, 约占鱼糜总量的 2.04%, 而本实验制备的海参浆中甘氨酸含量最为丰富, 约占 2.59%。Wen<sup>[22]</sup>等人在研究海参的氨基酸组成时发现, 8 种海参中氨基酸含量最丰富的是甘氨酸, 这与本实验的结果具有一致性。谷氨酸在加速肌肉合成代谢、促进伤口愈合和增强免疫系统等方面具有重要作用<sup>[23]</sup>, 甘氨酸能够降低血清中胆固醇水平<sup>[24]</sup>, 这两种氨基酸是合成谷胱氨酸的原料, 有利于提高人体的抗氧化能力。

经计算, 鲢鱼糜和本实验制备的海参浆中必需氨基酸 (EAA) 含量均低于非必需氨基酸 (NEAA) 含量。鲢鱼糜的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 分别为 0.41 和 0.70; 本实验制备的海参浆中 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 分别为 0.25 和 0.34。根据 FAO/WHO 理想模式, 高质量的蛋白质 EAA/TAA 应在 0.35 以上<sup>[25]</sup>, 且 EAA/NEAA 高于 0.50<sup>[23]</sup>。从表 5 可知, 当鲢鱼糜和海参浆按 7:3 进行复配后的 EAA/TAA 为 0.36, EAA/NEAA 为 0.56, 均符合 FAO/WHO 推荐的理想蛋白质营养评价模型, 是一种优质的食物必需氨基酸来源。

现代营养理论表明, 蛋白质的营养价值与氨基酸

的种类和含量密切相关。AAS 能够直观反映样品必需氨基酸与推荐蛋白质中必需氨基酸含量的近似程度; EAAI 是对食物整体蛋白质的营养价值进行评估。当 AAS 值接近 100.00, EAAI 值高于 75.00 时, 证明该蛋白质是良好的食物蛋白源, 易被人体吸收<sup>[26]</sup>。表 6 中的数据表明, 鲢鱼糜中必需氨基酸的 AAS 值均接近或高于 100.00, EAAI 值为 81.87, 其必需氨基酸组成与推荐值具有更好的拟合度, 是理想的膳食蛋白质摄入来源。制备的海参浆中各种必需氨基酸 AAS 值相对较低, EAAI 值为 51.84。

本实验中必需氨基酸比例和营养评价结果与马旭婷<sup>[27]</sup>和郝振林<sup>[28]</sup>等人对鲢鱼和不同海域刺参的氨基酸组成的研究结果相近。可以看出与鲢鱼糜和海参浆相比, 按照 7:3 复配后的 AAS 值与推荐值具有更好的拟合度, 且 EAAI 值为 75.50>75.00, 证明复配材料是一种良好的蛋白源。由此可见, 将两种原料以 7:3 复配时可以达到均衡营养的效果, 且复配材料具有较高的营养价值。

## 2.6 脂肪酸组成分析

鲢鱼糜中含有 10 种脂肪酸, 其中 4 种饱和脂肪酸, 3 种单不饱和脂肪酸, 3 种多不饱和脂肪酸。本实验制备的海参浆中含有 9 种脂肪酸, 其中 3 种饱和脂肪酸, 3 种单不饱和脂肪酸, 3 种多不饱和脂肪酸, 结果如表 7 所示。

表 7 鲢鱼糜和海参浆中的脂肪酸组成与含量 (g/100 g 湿重)

Table 7 Composition and content of fatty acids in *Hypophthalmichthys molitrix* surimi and sea cucumber pulp (g/100 g wet weight)

脂肪酸	鲢鱼糜	海参浆	7:3 复配材料
C14:0	0.09±0.01	0.02±0.00	0.04±0.02
C15:0	0.04±0.01	<0.02	0.02±0.00
C16:0	0.35±0.01	0.14±0.01	0.24±0.07
C18:0	0.05±0.00	0.08±0.01	0.06±0.01
C16:1	0.16±0.01	0.17±0.02	0.12±0.04
C18:1	0.25±0.01	0.07±0.00	0.25±0.04
C20:1	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
C18:2	0.05±0.01	0.06±0.01	0.05±0.02
C18:3	0.02±0.01	<0.02	0.02±0.00
C20:5(EPA)	0.03±0.00	0.03±0.02	0.03±0.01
C22:6(DHA)	<0.02	0.02±0.00	<0.02
ω-6/ω-3 脂肪酸	1.22±0.354	1.10±0.471	1.22±0.236
饱和脂肪酸	0.51±0.021	0.24±0.014	0.36±0.106
单不饱和脂肪酸	0.43±0.014	0.26±0.007	0.39±0.085
多不饱和脂肪酸	0.10±0.00	0.11±0.007	0.10±0.028
总脂肪酸	1.03±0.035	0.61±0.028	0.85±0.219

鲑鱼糜中的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量分别为 0.51、0.43 和 0.10 g/100 g, 本实验制备的海参浆中含量分别为 0.24、0.26 和 0.11 g/100 g。可以看出鲑鱼糜、海参浆以及两种原料的 7:3 复配材料中不饱和脂肪酸含量均高于饱和脂肪酸含量, 研究表明, 不饱和脂肪酸所占比例越大, 营养价值越高。

此外, 鲑鱼糜和海参浆  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 比例为 1.22 和 1.10, 均低于中国营养学会推荐的安全上限值 4.00<sup>[27]</sup>, 且两种原料的 7:3 复配产品同样符合标准。 $\omega$ -6 脂肪酸的过度累积会引起心血管、代谢和精神方面疾病, 因此摄入较低  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 比例的食品将有利于健康。

综上, 虽然鲑鱼糜和本实验制备的海参浆脂肪酸含量较少, 但所含种类和比例适宜, 能够被较好地利用, 复配后的材料基本能够保持原有的组成比例, 没有造成营养损失。

## 2.7 硫酸多糖含量分析

硫酸多糖是一种重要的活性多糖, 它是具有较高生物活性的大分子物质。经计算, 本实验制得的海参浆中硫酸多糖含量高达 16.49 mg/g, 占干重的 8.25%, 而采用相同的检测手法则无法检测出鲑鱼糜中含有硫酸多糖成分。王哲平<sup>[29]</sup>测定发现养殖刺参的多糖含量为 9.27%, 与本实验结果相近。两者的 7:3 复配原料中的硫酸多糖含量为 6.10 mg/g, 超过了理论预期值 4.95 mg/g, 获得了更高的营养价值。人们发现海参中的硫酸多糖可用于预防代谢疾病, 缓解高脂高糖引起的继发性综合征等<sup>[30]</sup>, Wei<sup>[31]</sup>等人的研究表明, 从海参中提取的硫酸软骨素可以被肠道菌群利用, 从而达到促进健康的效果。由此可见, 本实验制得的海参浆具有显著的营养保健功效, 将其添加到鲑鱼糜中能够有效提高复配材料的生物活性功能。

## 3 结论

通过对不同比例的鲑鱼糜-海参浆复配材料进行 3D 打印性能和质构特性的研究以及对两种原料中营养成分的测定分析可知, 随着复配材料中海参浆比例的增加, 3D 打印效果和质构特性均有所下降。当鲑鱼糜和海参浆以 7:3 进行复配时, 3D 打印后的形状基本符合设计好的柱体图形, 且能够维持熟化后的立体形状, 得到较为适宜的凝胶强度和硬度。此外, 鲑鱼糜和海参浆均具有较高的营养价值, 将两者复配后可以达到丰富蛋白质种类、均衡膳食结构以及实现营养互补的目的, 从而提高原料的综合利用率和产品的总体营养价值。

## 参考文献

- [1] Jia D, You J, Hu Y, et al. Effect of  $\text{CaCl}_2$  on denaturation and aggregation of silver carp myosin during setting [J]. Food Chemistry, 2015, 185: 212-218
- [2] 金庆华,李桂玲.中国鲑鱼营养成分的研究[J].食品科学, 1998,19(8):41-43  
JIN Qing-hua, LI Gui-ling. The study on the nutrition of Chinese silver carp [J]. Food Science, 1998, 19(8): 41-43
- [3] Meng S, Zhang H, Sun J, et al. Study on nutritional value of instant sea cucumber processed by the new processing approach [J]. American Journal of Biochemistry & Biotechnology, 2017, 13(1): 51-57
- [4] Sun J, Zhou W, Huang D, et al. An overview of 3D printing technologies for food fabrication [J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(8): 1605-1615
- [5] Liu Z, Zhang M, Bhandari B, et al. 3D printing: printing precision and application in food sector [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 69: 83-94
- [6] Yang F, Zhang M, Bhandari B. Recent development in 3D food printing [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 57(14): 3145-3153
- [7] Dong X, Huang Y, Pan Y, et al. Investigation of sweet potato starch as a structural enhancer for three-dimensional printing of *Scomberomorus niphonius* surimi [J]. Journal of Texture Studies, 2019, 50: 316-324
- [8] Trotter J A, Lyons-Levy G, Thurmond F A, et al. Covalent composition of collagen fibrils from the dermis of the sea cucumber, *Cucumaria frondosa*, a tissue with mutable mechanical properties [J]. Comparative Biochemistry and Physiology A, 1995, 112(3-4): 463-478
- [9] 伍芳芳,林婉玲,李来好,等.草鱼脆化过程中肌肉胶原蛋白、矿物质含量和脂肪酸组成变化[J].食品科学,2015,36(10): 86-89  
WU Fang-fang, LIN Wan-ling, LI Lai-hao, et al. Changes in muscle collagen content, mineral contents and fatty acid composition of grass carp during crisping process [J]. Food Science, 2015, 36(10): 86-89
- [10] Fan W, Tan X, Xu X, et al. Relationship between enzyme, peptides, amino acids, ion composition, and bitterness of the hydrolysates of Alaska pollock frame [J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(4): e12801
- [11] 向莹,陈健.滑子菇营养成分分析与评价[J].食品科学,2013, 34(6):238-242  
XIANG Ying, CHEN Jian. Analysis and evaluation of

- nutritional components in fruit body of *Pholiota nameko* [J]. Food Science, 2013, 34(6): 238-242
- [12] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Bid Chem, 1957, 22(226): 477-509
- [13] Cao J, Wen C, Liu J, et al. Characterization of acidic polysaccharides from the mollusks through acid hydrolysis [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 130: 268-274
- [14] Cardoso C, Mendes R, Pedro S, et al. Quality changes during storage of fish sausages containing dietary fiber [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2008, 17(1): 73-95
- [15] Cardoso C, Mendes R, Pedro S, et al. Quality changes during storage of fish sausages containing dietary fiber [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2008, 17(1): 73-95
- [16] Cando D, Borderías A J, Moreno H M. Combined effect of aminoacids and microbial transglutaminase on gelation of low salt surimi content under high pressure processing [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 10-17
- [17] 田利利, 薛长湖, 尹利昂, 等. 复合南极磷虾糜中鱼糜配比量及外源添加剂对其凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 16-21  
TIAN Li-li, XUE Chang-hu, YIN Li-ang, et al. Effect of surimi ratio and external additives on the gel properties of composite Antarctic Krill surimi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(17): 16-21
- [18] 汪之和, 陶妍, 刘振华. 白鲢漂洗鱼糜和未漂洗碎鱼肉营养成分的分析比较[J]. 淡水渔业, 1999, 29(8): 16-18  
WANG Zhi-he, TAO Yan, LIU Zhen-hua. Analysis and comparison of nutrition components of white carp surimi and unwashed fish meat [J]. Freshwater Fishers, 1999, 29(8): 16-18
- [19] Kiew P L, Don M M. Jewel of the seabed: sea cucumbers as nutritional and drug candidates [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2012, 63(5): 616-636
- [20] Rosmawati, Effendi A, Bakar T A, et al. Effect of body weight on the chemical composition and collagen content of snakehead fish *Channa striata* skin [J]. Fisheries Science, 2018, 84(1-4): 1081-109
- [21] Menon V V, Lele S S. Nutraceuticals and bioactive compounds from seafood processing waste [J]. Springer Handbook of Marine Biotechnology, 2015, 1405-1425
- [22] Wen J, Hu C, Fan S. Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(14): 2469-2474
- [23] Pochini L, Scalise M, Galluccio M, et al. Membrane transporters to the special amino acid glutamine: structure/function relationships and relevance to human health [J]. Frontiers in Chemistry, 2014, 2(61): 1-23
- [24] Ikeda Y, Inagaki M, Yamada K, et al. Langmuir monolayers of cerebroside with different head groups originated from sea cucumber: Binary systems with dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC) [J]. Colloids & Surfaces B Biointerfaces, 2009, 72(2): 272-283
- [25] Meng S, Zhang H, Sun J, et al. Study on nutritional value of instant sea cucumber processed by the new processing approach [J]. American Journal of Biochemistry & Biotechnology, 2017, 13(1): 51-57
- [26] Liu Q, Sun J, Pang Y, et al. Optimization of processing technology of instant sea cucumber with fuzzy mathematic comprehensive evaluation by response surface methodology and exploration on nutritional value of instant sea cucumber [J]. Food Science and Technology Research, 2016, 22(5): 583-593
- [27] 马旭婷, 钱攀, 戴志远. 美国鳙鱼和鲢鱼的营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 273-280  
MA Xu-ting, QIAN Pan, DAI Zhi-yuan. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Hypophthalmichthys nobilis* and *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(11): 273-280
- [28] 郝振林, 徐瀚晨, 于洋洋, 等. 不同海域刺参氨基酸的比较分析[J]. 河北渔业, 2017, 11: 8-13  
HAO Zhen-lin, XU Han-chen, YU Yang-yang, et al. Comparative analysis of amino acids of sea cucumber in different sea areas [J]. Hebei Fisheries, 2017, 11: 8-13
- [29] 王哲平, 刘淇, 曹荣, 等. 野生与养殖刺参营养成分的比较分析[J]. 南方水产科学, 2012, 8(2): 66-72  
WANG Zhe-ping, LIU Qi, CAO Rong, et al. Comparative analysis of nutritive composition between wild and cultured sea cucumber *Apostichopus japonicas* [J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(2): 66-72
- [30] Wang Y, Wang J, Zhao Y, et al. Fucoidan from sea cucumber *Cucumaria frondosa* exhibits anti-hyperglycemic effects in insulin resistant mice via activating the PI3K/PKB pathway and GLUT4 [J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2016, 121(1): 36-42