

蔡礼彬,李想,易林,等.鱼浆静置时间对鱼丝品质及其微观结构的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(6):237-246.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.06.028

# 鱼浆静置时间对鱼丝品质及其微观结构的影响

蔡礼彬,李想,易林,尤娟,刘茹,尹涛,熊善柏

华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉)/  
长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心,武汉 430070

**摘要** 为研究鱼浆静置时间对鱼丝品质及其微观结构的影响,以冷冻鱼糜为研究对象,于4、15、25℃制备混合鱼浆并在相同温度下静置一定时间后加工成鱼丝,测定成型前不同静置时间下鱼丝的外观形态、蒸煮品质、质构特性、感官品质、微观结构及鱼浆流变学特性等指标。结果显示,静置处理能显著提高较低物料温度下制得鱼丝的蒸煮品质、质构特性和感官评分( $P<0.05$ ),其中在物料温度4℃和15℃下分别静置8h和4h时,鱼丝持水性较未静置组分别提高了20.18%和9.94%,拉伸强度分别提高了28.97%和24.11%。而在25℃下静置0.5h其品质无显著变化( $P>0.05$ )。鱼丝微观结构及鱼浆流变学特性的试验结果表明,适当静置能显著促进鱼浆中蛋白溶出并形成均匀致密的凝胶网络、更好地将淀粉包裹在凝胶网络中,但经过长时间静置鱼浆会形成弱凝胶,后续挤压过程则会破坏已有结构,降低凝胶网络的连续性,最终导致鱼丝品质的下降。综上,鱼浆在物料温度4、15、25℃下所允许的最长静置时间分别为8、4和0.5h,过度静置会导致鱼丝品质及其微观结构的劣化。

**关键词** 静置时间;鱼丝;鱼糜;鱼浆;流变学特性;微观结构

**中图分类号** TS254.5; TS201.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)06-0237-10

鱼糜制品是深受国内外消费者青睐的水产加工食品,具有营养价值高、口感独特及风味鲜美等特点<sup>[1]</sup>。随着人民生活水平和消费水平的日益提高,鱼糜制品产业品种单一、创新力不足的问题愈发严峻<sup>[2]</sup>,亟需新产品的开发与生产。作为鱼糜制品的原料,鱼糜具有水分含量高、蛋白稳定性较差及组织蛋白酶含量高等特点<sup>[3]</sup>,在加工过程中易受外源添加物、斩拌、热处理工艺及条件的影响<sup>[4]</sup>。Esturk等<sup>[5]</sup>研究表明,斩拌时间过长或过短会导致蛋白的展开程度不够或过度热变性,从而影响鱼糜凝胶的品质。Luo等<sup>[6]</sup>则发现鲢在较高的凝胶温度下,静置时间的延长会降低鱼糜凝胶的破断力与破断距离。此外,在保证品质的前提下原料的静置时间越长意味着生产调度能力更灵活<sup>[7]</sup>,这对鱼糜制品的生产工艺及其品质控制具有重要意义。

笔者所在实验室早期以冷冻鲢鱼糜为原料通过挤压工艺制得以鱼蛋白为主体结构的鱼糜制品——鱼丝(fish vermicelli, FV),发现成型前物料温度会对其品质产生影响,其中物料温度25℃时鱼丝的质构

特性较优<sup>[8]</sup>。但物料温度25℃下,鱼丝成型前采取不同静置时间对其品质的影响鲜有报道。此外,在以鲢为原料制作鱼糜制品的过程中,通常要求温度不超过15℃,而工业上生产鱼糜制品则需要环境温度低于10℃<sup>[9]</sup>。因此,本研究在物料温度4、15和25℃下控制鱼丝成型前的静置时间,测定鱼浆不同静置时间下制得鱼丝的蒸煮品质、质构特性、微观结构和感官品质等参数,研究鱼浆静置时间对鱼丝品质及其微观结构的影响并确定所允许的最长静置时间,以期为鱼丝后续工业生产控制提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

冷冻鲢鱼糜(AAA级,水分含量(76.21±1.34)%),洪湖市井力水产股份有限公司;马铃薯淀粉(直链淀粉含量(25.87±0.42)%),黑龙江省如意淀粉食品有限公司;食盐,湖南盐业股份有限公司。上述原料的基本组成见表1。

收稿日期:2022-05-06

基金项目:财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系(CARS-45-28)

蔡礼彬, E-mail: cailb@webmail.hzau.edu.cn

通信作者:熊善柏, E-mail: xionsb@mail.hzau.edu.cn

表 1 原料的基本组成  
Table 1 Basic components of raw materials

原料 Raw material	蛋白质/(g/100 g) Protein	脂肪/(g/100 g) Fat	碳水化合物/(g/100 g) Carbohydrate	钠/(mg/100 g) Sodium
冷冻鲢鱼糜 Frozen silver carp surimi	15.5	0.3	4.8	56.0
马铃薯淀粉 Potato starch	0	0	84.5	0
食盐 Table salt	0	0	0	39 182

罗丹明 B 染料,美国 Sigma-Aldrich 公司;PAS/ 萘酚黄 S 染料,武汉塞维尔生物科技有限公司;二甲苯、无水乙醇均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

HX-DMJ-01 型面条机,中山市慧心智能科技有限公司;K600(3205)型食品料理机,德国博朗公司;CR-400/410 型色差计,美国 Konica Minolta 公司;TA-XT Plus 型物性分析仪,英国 Stable Micro System 公司;Eclipse E100 型光学显微镜、Eclipse Ti 型激光共聚焦显微镜,日本 Nikon 股份有限公司;AR2000ex 型动态流变仪,美国 TA 公司。

1.3 鱼丝样品的制备方法

首先将冷冻鱼糜的含水量调整至 78%,再将冷冻鱼糜、蒸馏水分别置于 4、15、25 ℃ 环境下保温 10 min 以达到目标温度。加入 30% 的蒸馏水(以鱼糜和淀粉质量之和为基准)空斩 2 min,然后加入 3% 的食盐并盐斩 2 min,以鱼糜(含水量 78%)质量为 100% 计,加入 25% 的马铃薯淀粉斩拌 3 min,得到膏状 的鱼浆,将斩拌后的鱼浆转入真空袋中脱气并分别在 4 ℃ 下静置 0、4、8、12、16 h,15 ℃ 下静置 0、2、4、6、8 h 和 25 ℃ 下静置 0、0.5、1.0、1.5、2.0 h。最后将鱼浆装入孔径为 3 mm 的面条机中,并置于水上方 5 cm 处,随后挤入 90 ℃ 水中加热 2 min 后捞起,并立即放入冰水中冷却 2 min,滤干水分后包装,4 ℃ 贮藏,备用。

1.4 蒸煮品质的测定

水分含量测定参照 GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

鱼丝吐浆值的测定参考雷婉莹等<sup>[10]</sup>的方法。

持水性的测定采用离心法。称取 2 g 鱼丝,记录质量为  $m_1$ ,用双层滤纸包裹,于 4 000 r/min 下离心 15 min 后去除滤纸,称取鱼丝质量  $m_2$ , $M$  为鱼丝水分含量,按式(1)计算持水性。

持水性=
$$\left[1 - (m_1 - m_2)/(m_1 \times M)\right] \times 100\% \quad (1)$$

断条率的测定参考张玉荣等<sup>[11]</sup>的方法。

1.5 拉伸特性的测定

鱼丝拉伸特性的测定参考 Wu 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作调整。将无裂纹、粗细均匀的样品平衡到室温后取每根长度约 15 cm。测定参数如下:测前速度 2 mm/s、测中速度 2 mm/s、测后速度 10 mm/s、触发力 5 g、探头初始距离 20 mm、拉伸距离为 75 mm。每组样品进行 6 次平行测试。

1.6 质构特性的测定

鱼丝质构特性测定参考 Gao 等<sup>[13]</sup>的方法并稍作调整。将无裂痕、粗细均匀的样品平衡到室温后切段,长度约为 3 cm。测定参数如下:测前速度 1.5 mm/s、测中速度 1.5 mm/s、测后速度 10 mm/s、触发力 5 g、压缩比例 90%、间隔时间 3 s。每组样品进行 6 次平行测试。

1.7 色度的测定

取 4 根长度为 5 cm 的鱼丝并成一排并使之无缝隙,表面覆盖保鲜膜随机测试鱼丝的亮度值  $L^*$ 、红绿值  $a^*$ 、黄蓝值  $b^*$ ,并计算白度值( $W$ )。

1.8 感官评价方法及标准

在蒸煮容器中添加样品质量 50 倍的蒸馏水并加热至沸腾后,放入样品持续蒸煮 2 min,将煮制完成的样品浸于 30 ℃ 的蒸馏水中,待评价用。参照 Gao 等<sup>[13]</sup>的方法修改鱼丝感官评分细则(表 2),感官评价指标包含色泽、外观、风味和口感 4 项内容。6 名经过培训的感官评价人员(3 名男性、3 名女性,年龄 20~60 岁)参与评价。

1.9 微观结构的观察

采用 CLSM 技术观察鱼丝中蛋白质的组织形貌,参考 Sow 等<sup>[14]</sup>的方法并稍作调整。鱼丝用 OCT 包埋剂处理后,在冰冻切片机上速冻包埋以及切片,并采用体积分数 0.2% 罗丹明 B 进行染色 15 min。将染色完成的样品置于载玻片上采用激光共聚焦显微镜放大 200 倍观察并采集图像。采用 He/Ne 激光器作为激发光源,发射波长确定为 543 nm。

采用 PAS-萘酚黄 S 双染结合光学显微镜观察淀粉和蛋白质在鱼丝中的形态和空间分布,参考 Fan

表 2 鱼丝的感官评价标准

Table 2 Grading criteria for sensory evaluation of FV

感官指标 Sensory index	18~25	9~17	0~8
色泽 Color	米白色,晶莹有光泽 Off-white and lustrous	颜色正常,略有光泽 Off-white with slight lustrous	颜色发黄或有异色 Yellowish white or abnormal color
外观 Appearance	鱼丝表面均匀,不断条 Smooth and even appearance with no fracture	鱼丝表面较均匀,会断条 Slightly even appearance and hard to fracture	鱼丝表面不均匀,断条 Rough and uneven appearance and easy to fracture
风味 Favor	有鱼鲜味,回味甘甜 Fish flavor with a sweet aftertaste	鲜味淡,无明显回味 Slightly fish smell with no aftertaste	有鱼腥味 Fishy smell
口感 Mouth feel	明显有嚼劲 Moderate hardness and chewy	略有嚼劲 Slightly chewy	缺乏嚼劲 Too soft with no elasticity

等<sup>[15]</sup>的方法并稍作调整。脱水的鱼丝样品经过石蜡包埋后使用石蜡切片机切取厚度为 4 μm 的样品薄片,随后将其转移至载玻片上并采用二甲苯进行脱蜡。分别采用 PAS、萘酚黄 S 对脱腊后的样品进行染色,使淀粉呈紫红色、蛋白质呈黄色,并运用光学显微镜进行观察并拍照。

1.10 鱼浆流变学特性的测定

采用动态流变仪测定鱼浆流变学特性。取少量鱼浆样品置于载物台,配 40 mm 平板,载物间距 1 mm,并使用表面覆有甘油的保温盖以减少实验过程中水分蒸发。测定参数:温度分别为 4、15、25 ℃,频率范围 0.1~100 Hz,应变 2%(线性黏弹区内)。

1.11 数据处理与分析

试验重复 3 次。样品色度、拉伸特性、质构特性和感官评价数据平行测定 6 次,其试验数据平行测定 3 次,数据以“平均值±标准差”表示。采用 SPSS Statistics 25.0 软件对试验数据进行方差分析(ANOVA)和显著性检验(Duncan’s)。采用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 静置时间对鱼丝表面形态的影响

鱼浆在物料温度 4、15 和 25 ℃下静置不同时间制得鱼丝的表面形态如图 1 所示。物料温度 4 ℃时,静置处理会改善鱼丝表面平滑程度,但当静置时间延长至 12 h 及以上,鱼丝表面出现不平整的现象且随静置时间延长表面粗糙程度加剧;而物料温度为 15、25 ℃,分别在静置 6、1.5 h 后均无法形成表面平整光滑的鱼丝。综上,成型前静置时间的延长会对鱼丝的表观形态产生显著影响,且物料温度越高,观察到鱼丝表面粗糙现象所需的静置时间就越短。

2.2 静置时间对鱼丝蒸煮品质的影响

图 2 显示了鱼浆不同静置时间所得鱼丝的吐浆值、水分含量、持水性和断条率。从图 2 可知,成型前鱼浆静置时间对鱼丝的吐浆值、水分含量、持水性和断条率均有显著影响。从图 2A 可以看出,不同静置时间组鱼丝的吐浆值有显著差异( $P<0.05$ )。当物料温度为 4 ℃时,静置处理可以显著降低鱼丝的吐浆值,静置 4、8 和 12 h 的鱼丝的吐浆值差异不大,但显著低于未静置鱼丝样品的( $P<0.05$ )。而当成型前静置时间继续延长至 16 h,鱼丝吐浆值显著增加,显著高于其他静置时间鱼丝的( $P<0.05$ ),其吐浆值比未静置组增加了 10.08%。当物料温度为 15 ℃时,静置处理 2 h 和 4 h 的鱼丝的吐浆值与未静置处理的鱼丝的吐浆值无显著差异( $P>0.05$ ),但静置时间达到并超过 6 h 后鱼丝的吐浆值显著增加,静置处理 6 h 组

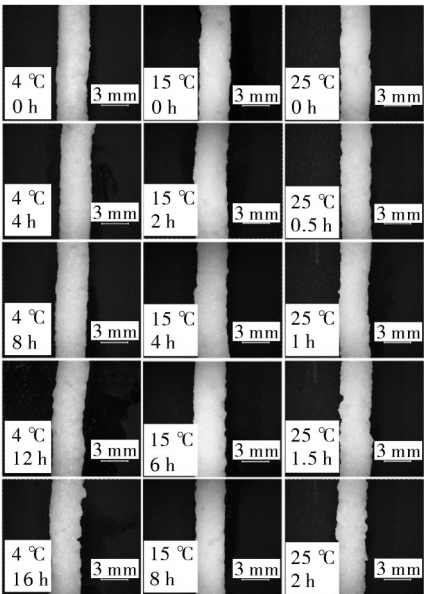


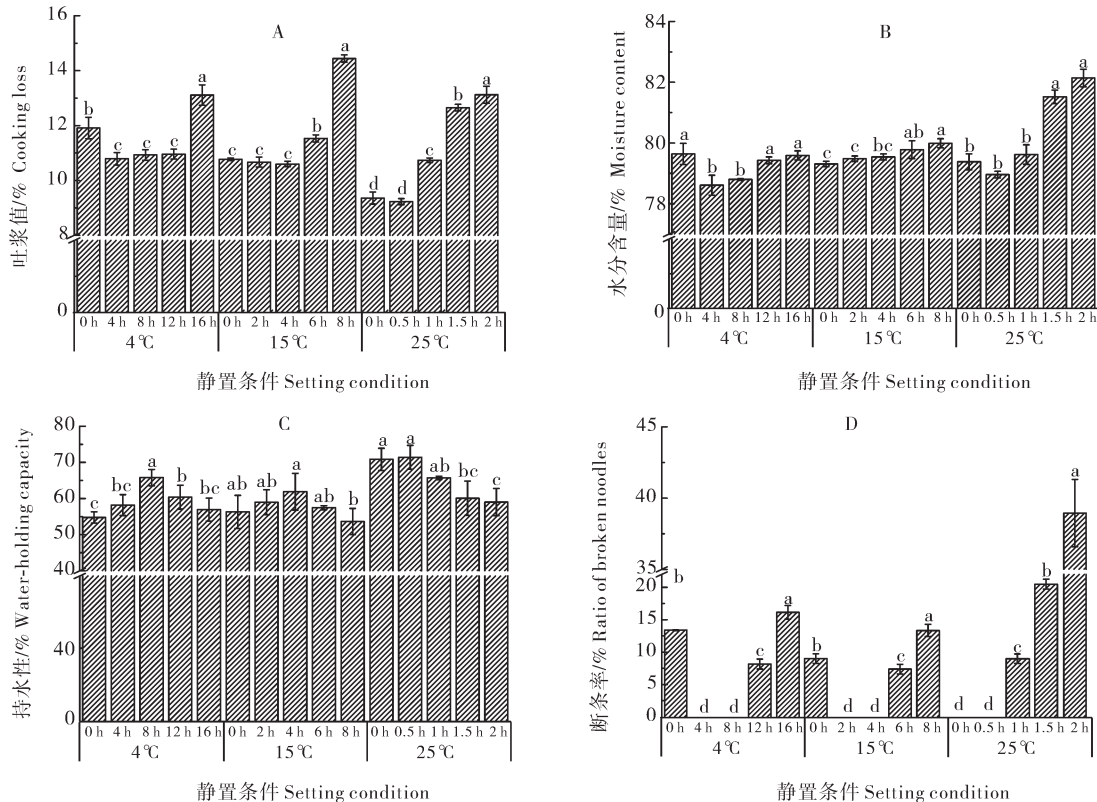
图 1 不同静置时间制得鱼丝的表面形态

Fig.1 The smoothness of FV under different setting time



鱼丝的吐浆值比未静置处理组鱼丝的吐浆值增加7.06%。当物料温度为25℃时,鱼丝静置1 h时其吐

浆值比未静置组增加14.74% ( $P<0.05$ ),且随着静置时间延长,鱼丝的吐浆值均持续增加。



同温度组中不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同。Different letters on the bar mean significant differences in the same material temperature ( $P<0.05$ ). The same as below.

图2 静置时间对鱼丝吐浆值(A)、水分含量(B)、持水性(C)和断条率(D)的影响

Fig.2 Effects of setting time on the cooking loss (A), moisture content (B), water-holding capacity (C) and the ratio of broken noodles (D) of FV

由图2B、C可知,不同静置时间下鱼丝的水分含量和持水性有明显不同。图2B显示,成型前物料温度为4℃时,静置处理4 h和8 h组鱼丝的水分含量显著低于未静置处理组和静置处理12 h和16 h组鱼丝的 ( $P<0.05$ )。而成型前物料温度为15℃和25℃时,较长时间的静置处理会导致鱼丝的水分含量增加。图2C显示,当成型前物料温度为4℃和15℃时,随着静置时间延长,鱼丝的持水性显著升高 ( $P<0.05$ ),分别在静置8 h和4 h时鱼丝持水性最高,两者的持水性分别比未静置组提高了20.18%和9.94%;继续延长静置时间则鱼丝的持水性显著下降 ( $P<0.05$ ),而成型前物料温度为25℃时,鱼丝的持水性随静置时间延长而显著降低 ( $P<0.05$ ),静置处理1.5 h组鱼丝的持水性为60.09%,比未静置组下降15.19%。这表明在较低温度下(4℃和15℃),适当静置处理提升鱼丝的持水性,但静置过久会使鱼浆过度凝胶化,影响其在活塞挤压后的成型能力。

由图2D可见,当物料温度为4℃和15℃,适当时间的静置处理可显著降低鱼丝的断条率,改善其成型特性效果。于4℃静置处理4 h和8 h、于15℃静置处理2 h和4 h的鱼浆加工出的鱼丝无断条现象出现,断条率为0;而静置时间继续延长则会使鱼丝断条率显著增加 ( $P<0.05$ ),于4℃静置12 h、于15℃静置6 h的鱼浆加工出的鱼丝的断条率分别升至8.15%与7.38%。当物料温度为25℃时,静置1 h显著增加了鱼丝的断条率,且断条率随静置时间的延长持续增加。从宏观角度看,断条率反映了鱼丝在蒸煮过程中的强度和稳定性,其数值的降低表明鱼丝具有更好的凝胶特性。综上,静置时间对鱼丝蒸煮品质有显著影响。当物料温度较低(4、15℃)时,适当静置可以改善鱼丝的蒸煮品质,但物料温度为25℃时,静置处理不会显著提高蒸煮品质。此外,不同温度下过度静置都会对鱼丝的蒸煮品质产生不利影响。

2.3 静置时间对鱼丝拉伸特性和质构特性的影响

不同物料温度下经静置处理的鱼丝的拉伸特性如表3所示。当物料温度为4℃,静置4 h后鱼丝的拉伸强度与最大形变量较未静置组分别提高了34.11%和73.44%;物料温度为15℃时呈现类似的趋势,静置2 h后鱼丝的拉伸强度与最大形变量较未静置组分别提高了25.18%和24.79%,表明静置处理可以显著提高鱼丝的拉伸特性,且对于低物料温度(4℃)的鱼丝改善效果更明显。但当时间过长或者当物料温度为25℃时,静置处理不仅无法改善鱼丝的拉伸特性甚至带来不利影响。鱼丝的拉伸特性在物料温度4、15和25℃下分别静置12、6和1 h后显著下降( $P<0.05$ )。

图3显示了不同静置时间下制得鱼丝的TPA参数。在4℃和15℃下,鱼丝的硬度在静置4 h和2 h后显著提高,但分别在静置12 h与6 h后出现显著降低( $P<0.05$ )。鱼丝的咀嚼性与硬度呈现了一致的趋势。然而当物料温度为25℃时,鱼丝的硬度与咀嚼性分别在静置1 h与0.5 h后均显著下降( $P<0.05$ )。鱼丝的弹性则在15℃下静置2 h后显著

提高( $P<0.05$ ),但随着静置时间的延长无差异,而在25℃下静置1 h后显著降低( $P<0.05$ ),这可能与鱼浆在25℃下静置后凝胶化程度较高而后又在挤压过程中被破坏有关。25℃下鱼丝的回复性随静置时间延长而变化的趋势与弹性一致。整体来看,较低温度下对鱼浆进行静置处理可以制得富有弹性与咀嚼性的鱼丝,但静置过久会导致鱼丝的质构品质下降,且物料温度越高所允许的最长静置时间越短。

2.4 静置时间对鱼丝色度的影响

不同静置时间制得鱼丝的色度值如表4所示,可见静置处理对鱼丝的色度有显著影响( $P<0.05$ )。在所有物料温度下(4、15和25℃),鱼丝的亮度值 $L^*$ 和蓝黄值 $b^*$ 随静置时间延长均显著降低。其中,鱼丝的亮度值 $L^*$ 分别在静置8、2和1.5 h后显著降低,而鱼丝的黄蓝值 $b^*$ 则分别在静置4、2和0.5 h后显著降低,表明静置处理会使鱼丝表面颜色变深、变暗。鱼丝红绿值 $a^*$ 的绝对值在物料温度4、15和25℃下分别静置4、8、2 h后显著降低,表明静置处理使鱼丝色泽变深。鱼丝白度在4、15和25℃下分别静置8、4和1.5 h后显著降低。

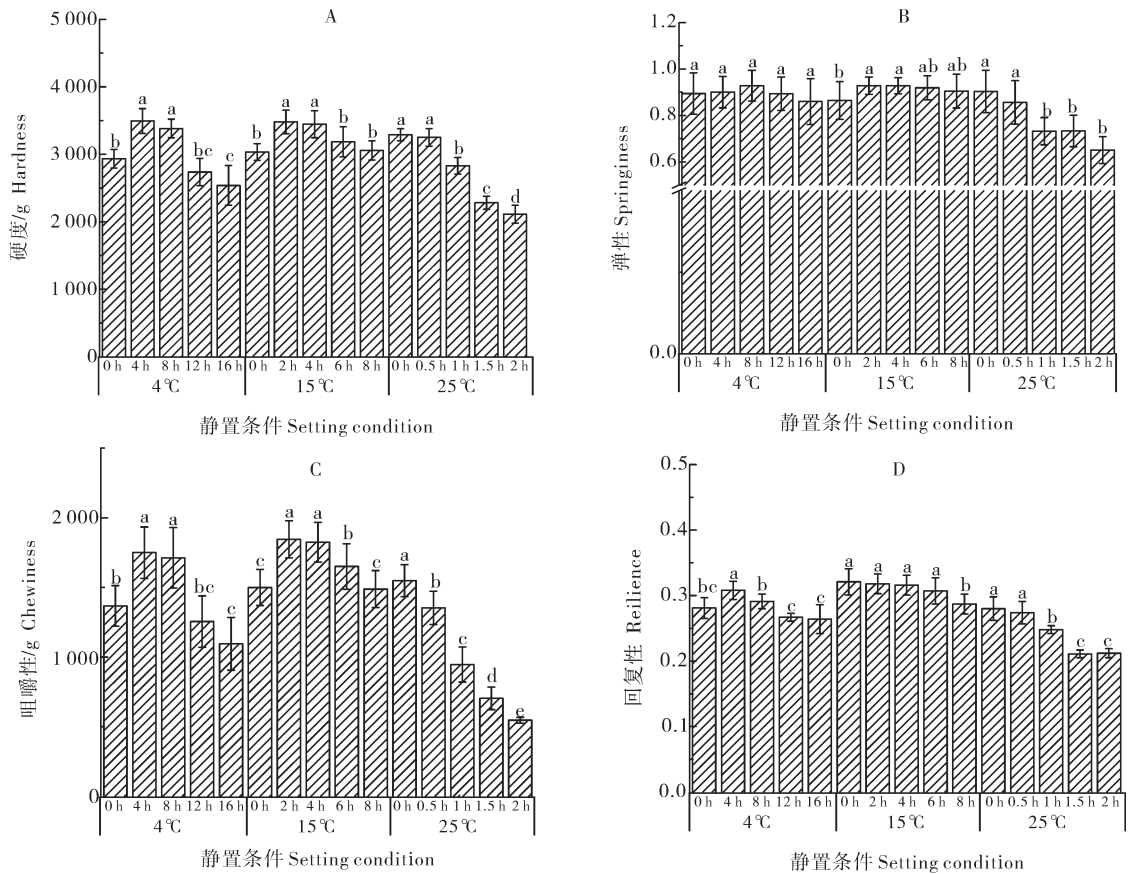


图3 静置时间对鱼丝硬度(A)、弹性(B)、咀嚼性(C)、回复性(D)的影响

Fig.3 Effects of setting time on hardness (A), springiness (B), chewiness (C) and resilience (D) of FV

表 3 不同静置时间下鱼丝的拉伸特性  
Table 3 The tensile strength and distance of FV under different setting time

物料温度/℃ Material temperature	静置时间/h Setting time	拉伸强度/ (g/mm <sup>2</sup> ) Tensile strength	最大形变量/mm Tensile distance
4	0	2.14±0.06b	18.71±1.69b
	4	2.87±0.28a	32.45±3.67a
	8	2.76±0.26a	31.40±1.64a
	12	2.32±0.19b	23.30±3.20b
	16	2.06±0.07b	22.45±2.09b
15	0	2.82±0.20b	26.99±1.04b
	2	3.53±0.27a	33.68±3.54a
	4	3.50±0.12a	36.87±3.19a
	6	2.83±0.14b	20.77±1.64c
	8	2.42±0.12c	16.66±2.14c
25	0	3.03±0.17a	41.84±3.36a
	0.5	3.07±0.33a	42.38±4.32a
	1.0	1.75±0.07b	22.12±3.49b
	1.5	0.98±0.02c	3.40±0.18c
	2.0	空白 Blank	空白 Blank

注：“空白”表示无法检测。同温度组中不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同。Note: “Blank” means the parameters could not be detected. Different letters in the same material temperature group mean significant differences ( $P<0.05$ ). The same as below.

2.5 静置时间对鱼丝感官品质的影响

表 5 列出了具有代表性的 4℃(0、8 和 16 h)、15℃(0、4 和 8 h)、25℃(0、0.5 和 2 h)共 9 组鱼丝的感官评分,主要包括色泽、外观、风味和口感 4 个方面。

表 4 不同静置时间下鱼丝的色度

Table 4 Color characteristics of FV under different setting time

物料温度/℃ Material temperature	静置时间/h Setting time	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$W$
4	0	81.98±0.57a	-1.83±0.08a	6.27±0.24a	80.83±0.51a
	4	81.23±0.35a	-1.94±0.03b	5.87±0.12b	80.24±0.31a
	8	80.28±0.59b	-1.96±0.05b	5.69±0.17bc	79.38±0.56b
	12	79.49±0.39c	-1.98±0.04bc	5.55±0.17c	78.66±0.38c
	16	78.38±0.80d	-2.04±0.03c	5.23±0.14d	77.66±0.77d
15	0	80.49±0.23a	-1.93±0.09a	5.39±0.17a	80.54±0.62a
	2	79.96±0.25b	-1.95±0.04ab	5.14±0.16b	80.24±0.31a
	4	79.40±0.31c	-1.98±0.04ab	5.05±0.14bc	79.35±0.51b
	6	78.70±0.09d	-1.98±0.04ab	4.93±0.13cd	78.26±0.47c
	8	78.01±0.73e	-2.01±0.04b	4.78±0.12d	77.01±0.94d
25	0	80.48±0.14a	-2.07±0.07a	5.46±0.05a	79.62±0.14a
	0.5	80.43±0.14a	-2.10±0.02a	5.36±0.05b	79.60±0.14a
	1.0	80.08±0.16a	-2.09±0.06a	5.27±0.03c	79.29±0.15a
	1.5	79.43±0.26b	-2.14±0.03ab	5.18±0.03d	78.68±0.24b
	2.0	78.65±0.37c	-2.21±0.02b	5.16±0.04d	77.92±0.35c

从表 5 可知,短时间静置处理对鱼丝的色泽和风味评分无显著影响( $P>0.05$ ),但静置时间过长会导致鱼丝色泽和风味评分显著降低( $P<0.05$ )。静置处理显著影响鱼丝的外观、口感及总体评分,在较低的物料温度(4℃和 15℃)下,适当时间的静置处理可以改善鱼丝的外观和口感品质,显著增加总体评分,这与质构特性测定结果(图 3)一致,而过度静置则会引起鱼丝食用口感的显著下降。分析感官各指标,物料温度 4℃下静置至 8 h、15℃下静置至 4 h、25℃下静置至 0.5 h 均不会降低鱼丝感官品质,且对低物料温度组(4℃和 15℃)鱼丝的感官品质有提升作用。

2.6 静置时间对鱼丝微观结构的影响

根据不同静置时间制得鱼丝的蒸煮品质及质构特性分别选择了具有代表性的 4℃(0、8 和 16 h)、15℃(0、4 和 8 h)、25℃(0、0.5 和 2 h)共 9 组样品进行荧光染色切片观察,结果见图 4。对于所有物料温度下的鱼丝,适当的静置处理均能够显著提高鱼丝内部蛋白网络结构的连续性与致密程度,表现为硬度、拉伸强度等指标的提高(表 3、图 3)。从图 4 可以看出,鱼浆经长时间静置后挤出成型的鱼丝的网络的连续性、均匀性变差,显示静置时间过长时鱼浆中蛋白质预凝胶化,后续挤压成型时则会因剪切作用而导致已形成的蛋白网络结构破坏。此外,还可观察到,对于未静置处理组鱼丝而言,随着物料温度的升高,鱼丝中蛋白网络结构更加均匀。



表 5 不同静置时间下鱼丝的感官评分

Table 5 Sensory evaluations of FV under different setting time

物料温度/℃ Material temperature	静置时间/h Setting time	色泽 Color	外观 Appearance	风味 Flavor	口感 Mouthfeel	总分 Total score
4	0	19.33±1.21a	14.50±1.52b	16.83±1.47ab	15.67±1.86bc	66.33±2.94bc
	8	18.33±1.21ab	20.83±0.98a	17.17±1.47ab	20.50±1.64a	76.83±2.14a
	16	16.50±1.76b	13.50±1.38bc	14.50±1.76c	14.17±1.17c	58.67±2.94d
15	0	19.50±1.64a	14.83±1.83b	17.17±1.60ab	16.67±1.63b	68.17±2.93b
	4	18.83±1.94a	20.83±1.47a	17.33±1.47ab	21.17±1.47a	78.00±3.57a
	8	16.33±1.21b	14.33±1.37b	15.17±1.47bc	16.83±1.47b	62.67±3.45c
25	0	19.17±2.32a	21.17±1.72a	18.67±1.86a	21.33±1.37a	80.33±3.72a
	0.5	18.83±2.40a	20.5±1.64a	17.33±1.63a	20.83±1.33a	77.50±4.51a
	2	16.67±0.82b	12.17±1.47c	15.17±1.33bc	11.33±1.75d	55.33±3.33d

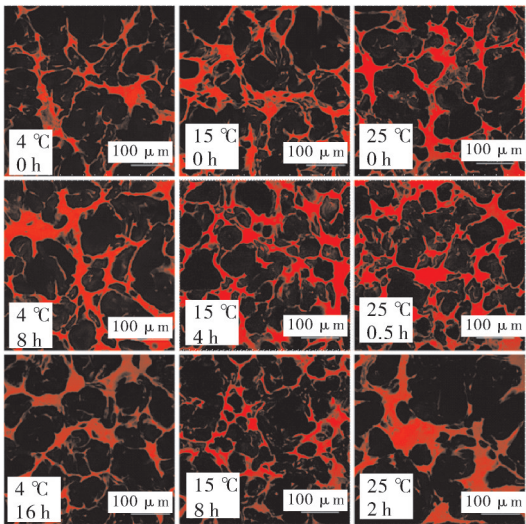


图 4 不同静置时间制得鱼丝的 CLSM 图  
(红色区域代表蛋白)

Fig.4 CLSM images of FV underr different setting time (protein in red)

图 5 是不同静置时间制得鱼丝经双染后的显微图像,其中蛋白质呈现黄色,淀粉呈现紫色。对于所有的鱼丝样品,双染结果显示,蛋白质凝胶网络为鱼丝主体结构、淀粉被包裹在蛋白凝胶网络结构中。各温度下未静置的鱼丝均可观察到不均匀的蛋白聚集情况且物料温度越低聚集情况越严重。经过静置处理后,鱼丝中蛋白网络的均匀性明显改善,相应地淀粉也分布得更加均匀。但静置时间过长则会导致鱼丝内部蛋白网络均匀性降低、孔径变大甚至网络断裂等问题。

2.7 静置时间对鱼浆流变学特性的影响

为探究不同物料温度下静置处理对鱼浆黏弹性

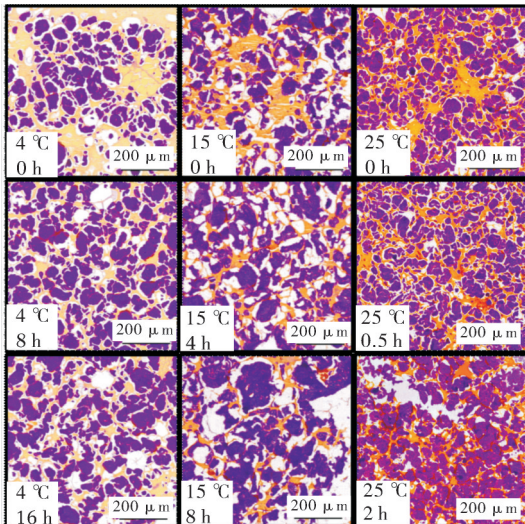


图 5 不同静置时间制得鱼丝的双染观察  
(紫色区域代表淀粉、黄色区域代表蛋白)

Fig.5 Light micrographs of FV under different setting time with double staining  
(starch in purple,protein in yellow)

的影响,选取 4 °C 下静置了 0、8 和 16 h,15 °C 下静置了 0、4 和 8 h,25 °C 下静置了 0、0.5 和 2 h 共 9 组鱼浆进行频率扫描。不同静置时间鱼浆的弹性模量  $G'$  和  $\tan\delta$  在频率扫描下的变化如图 6 所示。对于所有鱼浆, $\tan\delta$  均小于 1,且随着测试频率的升高, $G'$  相应升高,表明混合鱼浆是以弹性为主的体系并具有类固体特性。在不同物料温度下(4、15 和 25 °C),静置处理均提高了鱼浆的  $G'$ ,表明随着静置时间的延长鱼浆的弹性提高。然而,随着静置时间的延长,鱼浆的  $\tan\delta$  下降,表明静置处理提高了鱼浆黏弹性,降低了其流动性。

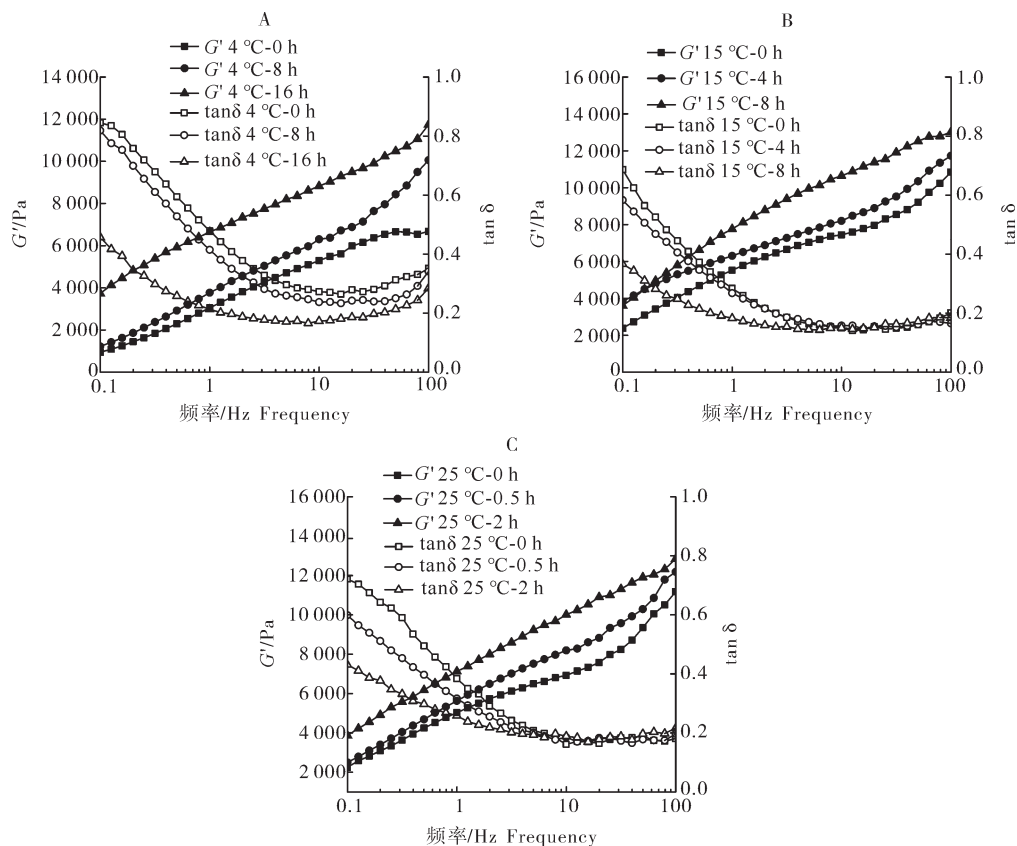


图6 4 °C(A)、15 °C(B)、25 °C(C)下静置时间对鱼浆流变特性的影响

Fig.6 Effects of setting time on the dynamic rheological properties of fish paste under 4 °C(A), 15 °C(B) and 25 °C(C)

### 3 讨论

#### 3.1 静置时间对鱼丝品质的影响

弱凝胶网络结构通常对淀粉颗粒束缚能力较差,进而会导致淀粉在蒸煮过程中损失至蒸煮水中或从网络中渗出并分布在凝胶表面<sup>[16]</sup>。前者导致较高的吐浆值,而后者导致鱼丝表面变黏稠,表现为在相同滤干条件下鱼丝表面会残留更多水,最终使产品具有较高的水分含量。本研究结果表明,不同物料温度下静置时间对鱼丝品质的影响存在差异。当物料温度较低(4 °C和15 °C)时,静置处理可以显著提高鱼丝的蒸煮品质和质构特性,并且对于所有物料温度组,静置处理能够改善鱼丝中蛋白成块聚集、淀粉分布不均匀等问题。这可能是由于静置过程中,鱼浆中的肌原纤维蛋白在盐的作用下充分溶出,随后构象发生变化并暴露出内部基团,从而促进分子间化学键的形成<sup>[17]</sup>。在此基础上,鱼糜能在高温下形成致密的三维网络结构,该结构通常具有较好地截留水分及淀粉颗粒的能力,其中淀粉颗粒在高温下吸水溶胀、糊化后对网络结构起到填充的作用并降低网络中水分子的自由度,二者共同作用显著提

高了鱼丝的质构特性和持水性。感官评价中外观与口感的得分与该趋势一致。然而,静置时间过长则会对鱼丝的品质和微观结构产生不良影响。这一方面可能是由于在内源性TGase的作用下鱼糜已由溶胶转变为弱凝胶<sup>[18]</sup>,而后续的挤压过程破坏了现有的网络结构,从而导致了鱼丝品质的下降。后续可以通过其他成型方式(例如蒸汽加热熟化后切条)制得鱼丝后比较其蒸煮品质和质构特性进一步论证。另一方面可能与鱼糜中组织蛋白酶导致的蛋白降解有关,Luo等<sup>[6]</sup>研究表明过度静置会引起蛋白质降解,最终导致鱼糜凝胶强度的降低。

#### 3.2 静置时间对鱼丝原料特性的影响

作为鱼丝的原料,鱼糜是一种假塑性溶胶,在非剪切过程中呈现较高的黏度,而在挤压、剪切等外力作用下其黏度会大大降低。已有学者通过螺旋挤压等方式制得鱼糜凝胶产品<sup>[19]</sup>,并发现挤出效果与原料的流变特性密切相关。本研究中,未静置鱼浆的 $G'$ 较低、 $\tan \delta$ 较高,表明其流动性大,不利于鱼丝成型。而经过适当静置,鱼浆 $G'$ 呈现上升趋势,推测与静置过程中盐溶性蛋白溶出增多有关,从而促进鱼浆中蛋白质分子间交联、最终形成品质较好的鱼丝。



类似地, Fan等<sup>[15]</sup>研究发现, 当鱼糜样品的弹性模量  $G'$  较高时, 其形成凝胶的质构特性较好。在同一温度下, 鱼浆  $G'$  随着静置时间的延长进一步增加, 表明其流动性大大降低, 这与鱼浆中蛋白质分子在静置过程相互作用增强有关, 促进了较好网络结构的形成。然而, 后续挤出工艺可能会破坏已有结构导致其在高温熟化过程无法形成品质较好的鱼丝。Liu等<sup>[20]</sup>通过比较加工过程中的鱼糜(漂洗后、空斩后、盐斩后、静置后)作为原料进行3D打印的效果, 发现具有一定流动性的原料表现出最好的打印性能。现有研究表明, 鱼糜制品加工中的斩拌、静置和蒸煮等工艺均会对鱼糜的流变特性产生影响<sup>[6]</sup>。Han等<sup>[21]</sup>研究发现流变特性与蛋白构象密切相关, 并且因物质状态不同存在较大差异。鱼糜斩拌后蛋白质分子间/分子内形成较多二硫键, 经过静置后溶胶状鱼糜糊中蛋白质疏水相互作用增强。此外,  $\alpha$ -螺旋是鱼糜中蛋白的主要二级结构, 而 $\beta$ -折叠和无规卷曲则是鱼糜凝胶中的主要蛋白质构象<sup>[22]</sup>。因此, 后续可以研究静置过程中鱼浆化学作用力、蛋白二级结构等的变化, 以此阐述静置处理对鱼丝品质影响的机制, 从而为鱼丝后续生产调控提供理论支持。

综上所述, 静置时间对鱼丝品质及其微观结构有显著影响, 且不同物料温度下的最长静置时间存在差异。在较低物料温度(4℃和15℃)下, 静置处理可以显著提高鱼丝的蒸煮品质、质构特性和感官评分。适当静置后促进鱼浆中蛋白溶出, 有利于蛋白质分子间的交联与致密凝胶网络的形成, 更好地将淀粉包裹在网络中。但经过长时间静置鱼浆会形成一定的结构, 后续挤压成型时破坏已形成的凝胶结构, 最终导致其品质的下降。综上, 物料温度4、15和25℃下的最长静置时间分别为8、4和0.5 h, 过度静置则会导致鱼丝品质及其微观结构的劣化。

## 参考文献 References

- [1] LI J R, LU H X, ZHU J L, et al. Aquatic products processing industry in China: challenges and outlook[J]. Trends in food science & technology, 2009, 20(2): 73-77.
- [2] 朱燕. 后疫情时代我国水产品市场发展趋势的思考[J]. 中国水产, 2022(3): 74-77. ZHU Y. Reflections on the development trend of Chinese aquatic product market in the postepidemic era[J]. China fisheries, 2022(3): 74-77 (in Chinese with English abstract).
- [3] SAMPELS S. The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products[J]. Trends in food science & technology, 2015, 44(2): 131-146.
- [4] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, CHANTARASUWAN C. Effect of high-temperature setting on gelling characteristic of surimi from some tropical fish[J]. International journal of food science and technology, 2004, 39(6): 671-680.
- [5] ESTURK O, PARK J W, THAWORNCHINSOMBUT S. Effects of thermal sensitivity of fish proteins from various species on rheological properties of gels[J]. Journal of food science, 2004, 69(8): E412-E416.
- [6] LUO Y K, SHEN H X, PAN D D, et al. Gel properties of surimi from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) as affected by heat treatment and soy protein isolate[J]. Food hydrocolloids, 2008, 22(8): 1513-1519.
- [7] 李浩琪. 基于系统动力学的水产品冷链配送体系优化研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2019. LI H Q. Optimization of aquatic products cold chain distribution system based on system dynamics[D]. Qingdao: Qingdao Technological University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高洁. 高蛋白鱼丝生产工艺及质构特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. GAO J. Studies on the processing technology and textual properties of high protein fish vermicelli[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [9] 谭力, 周春霞, 洪鹏志. 淡水鱼鱼糜制品加工特性及品质影响因素[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 165-168. TAN L, ZHOU C X, HONG P Z. Research progresses on processing and utilization of freshwater fish surimi and surimi products[J]. Food & machinery, 2018, 34(8): 165-168 (in Chinese with English abstract).
- [10] 雷婉莹, 吴卫国, 廖卢艳, 等. 鲜湿米粉品质评价及原料选择[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 74-79. LEI W Y, WU W G, LIAO L Y, et al. Quality evaluation of and raw material selection for wet rice noodles[J]. Food science, 2020, 41(1): 74-79 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张玉荣, 周显青, 彭超, 等. 不同储藏年限稻谷的品质及鲜湿米粉加工适应性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 42-48. ZHANG Y R, ZHOU X Q, PENG C, et al. Analysis of the quality and suitability for fresh rice noodle processing of rice at different storage times[J]. Food science, 2020, 41(23): 42-48 (in Chinese with English abstract).
- [12] WU J P, CORKE H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase[J]. Journal of the science of food and agriculture, 2005, 85(15): 2587-2594.
- [13] GAO X, YONGSAWATDIGUL J, WU R L, et al. Effect of ultrasound pre-treatment modes on gelation properties of silver carp surimi[J/OL]. LWT-Food science and technology, 2021, 150: 111945 [2022-05-09]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.1105942>.
- [14] SOW L C, TOH N Z Y, WONG C W, et al. Combination of sodium alginate with tilapia fish gelatin for improved texture properties and nanostructure modification[J]. Food hydrocolloids, 2019, 94: 459-467.
- [15] FAN M C, HUANG Q L, ZHONG S Y, et al. Gel properties of myofibrillar protein as affected by gelatinization and retrogradation behaviors of modified starches with different crosslinking and acetylation degrees[J]. Food hydrocolloids, 2019, 96: 604-616.
- [16] ARAVIND N, SISSONS M J, FELLOWS C M, et al. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and

- structural properties of durum wheat spaghetti[J]. Food chemistry, 2012, 130(2): 299-309.
- [17] 梁雯雯, 杨天, 郑志红, 等. 升温方式对二段加热鲢鱼糜水分分布和品质的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(4): 646-652. LIANG W W, YANG T, ZHENG Z H, et al. Effects of heating methods on water distribution and quality of silver carp surimi during two stage heating[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(4): 646-652 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王金余, 刘承初, 赵善贞, 等. 白鲢鱼糜肌球蛋白交联反应和凝胶化最适条件的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 223-227. WANG J Y, LIU C C, ZHAO S Z, et al. Optimal conditions for maximal cross-linkage of myosin heavy chain (MHC) and gelation of surimi product from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food science, 2008, 29(11): 223-227 (in Chinese with English abstract).
- [19] PAN Y M, SUN Q X, LIU Y, et al. The relationship between rheological and textural properties of shrimp surimi adding starch and 3D printability based on principal component analysis [J]. Food science & nutrition, 2021, 9(6): 2985-2999.
- [20] LIU Y, SUN Q X, WEI S, et al. Insight into the correlations among rheological behaviour, protein molecular structure and 3D printability during the processing of surimi from golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J/OL]. Food chemistry, 2022, 371: 131046 [2022-05-06]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131046>.
- [21] HAN Z Y, ZHANG J L, ZHENG J Y, et al. The study of protein conformation and hydration characteristics of meat batters at various phase transition temperatures combined with Low-field nuclear magnetic resonance and Fourier transform infrared spectroscopy[J]. Food chemistry, 2019, 280: 263-269.
- [22] GUO M H, LIU S C, ISMAIL M, et al. Changes in the myosin secondary structure and shrimp surimi gel strength induced by dense phase carbon dioxide [J]. Food chemistry, 2017, 227: 219-226.

## Effects of setting time of fish paste on quality and microstructure of fish vermicelli

CAI Libin, LI Xiang, YI Lin, YOU Juan, LIU Ru, YIN Tao, XIONG Shanbai

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education/National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China

**Abstract** The morphology, cooking characteristics, textural properties, sensory attributes, and microstructure of fish vermicelli (FV) and dynamic rheological properties of fish paste processed from frozen surimi under the setting time at 4 °C, 15 °C, and 25 °C were determined to study the effects of setting time before molding on the quality and microstructure of FV. The results showed that the setting treatment significantly improved the cooking characteristics, textural properties, and sensory scores of FV at lower material temperatures ( $P < 0.05$ ). The water-holding capacity of FV increased 20.18% and 9.94%, and the tensile strength of FV increased 28.97% and 24.11% when the material temperature was 4 °C and 15 °C and the setting time was 8 h and 4 h, respectively. There was no significant difference in the quality of FV within 0.5 h at 25 °C ( $P > 0.05$ ). The results of analyzing the microstructure of FV and the rheological properties of fish paste showed that the appropriate setting time significantly promoted the dissolution of protein in fish paste and formed a uniform and dense gel network, with more starch encapsulated in the gel network. But the fish paste formed a weak gel after setting for a long time, and the subsequent process of squeezing destroyed the existing structure and reduced the continuity of the gel network, and eventually led to the decline of the quality of FV. It is indicated that the maximum setting time of fish paste at material temperatures of 4 °C, 15 °C, and 25 °C is 8 h, 4 h, and 0.5 h, respectively. The excessive setting can lead to the deterioration of the quality and microstructure of FV.

**Keywords** setting time; fish vermicelli; surimi; fish paste; rheological properties; microstructure

(责任编辑:赵琳琳)