豆类淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响

余永名，马兴胜，仪淑敏，邵珍，徐永霞，励建荣
（渤海大学食品科学与工程学院，辽宁锦州 121013）

摘要：本文研究了豌豆淀粉、绿豆淀粉和马铃薯淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响。分析了添加不同含量淀粉时，鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性、蒸煮损失、横向弛豫时间（T_2）和微观结构的变化规律。结果表明，添加 8%，10%的马铃薯淀粉或绿豆淀粉均可以显著增加鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性，同时明显降低蒸煮损失。低场核磁共振显示，淀粉对鱼糜凝胶的横向弛豫时间 T_{21} 和 T_{22} 影响较小，对 T_{23} 和 T_{24} 的影响较大，尤其添加 10%的马铃薯淀粉或绿豆淀粉均可以显著降低凝胶的 T_{23} 和 T_{24}，减弱凝胶中不易移动水的流动性。与马铃薯淀粉和绿豆淀粉相比，豌豆淀粉在添加量为 4%时便可以显著增强鱼糜制品的凝胶强度和持水性，同时明显降低其蒸煮损失、横向弛豫时间 T_{23} 和 T_{24}。添加马铃薯淀粉（10%）、绿豆淀粉（10%）或者豌豆淀粉（4%）后的鲢鱼鱼糜凝胶均可以形成相当均匀、致密的空间凝胶网络结构。

关键词： 鱼糜；豆类淀粉；凝胶强度；持水性；蒸煮损失；三维网络结构
文章篇号：1673-9078(2016)1-129-135 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.021

Effect of Bean Starches on the Gel Properties of Silver Carp Surimi

YU Yong-ming, MA Xing-sheng, YI Shu-min, SHAO Zhen, XU Yong-xia, LI Jian-rong
(College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: The effect of pea starch, green bean starch, and potato starch on the gel properties of silver carp surimi were investigated in this study. The changes of gel strength, water holding capacity (WHC), cooking loss, transverse relaxation time (T_2), and microstructure of the surimi gel in the presence of different amounts of added starches were analyzed. The results showed that the addition of 8% or 10% potato starch or green bean starch significantly increased the gel strength and WHC of silver carp surimi gel, and reduced cooking loss. The results of low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) showed that starches had a greater impact on transverse relaxation times (T_{23}, T_{24}) than on transverse relaxation times (T_{21}, T_{22}) of surimi gel. Especially, the addition of 10% potato starch or green bean starch significantly decreased T_{23} and T_{24} of the surimi gel and weakened the mobility of immobilized water. Compared with potato starch or green bean starch, pea starch significantly improved the gel properties of silver carp surimi with an added amount of only 4%, while cooking loss, T_{23}, and T_{24} were significantly reduced. With an addition of 10% potato starch, 10% green bean starch, or 4% pea starch, a highly uniform and compact gel network structure was formed in silver carp surimi.

Key words: surimi; bean starch; gel strength; water holding capacity; cook loss; three-dimensional network structure

鲢鱼（*Hypophthalmichtys molitrix*），又称白鲢、跳鲢或水鲢，属鲤科，鲢亚科，是我国四大家养鱼之一，具有成长速度快、饲养简便、成本低廉以及营养价值高等优点。但由于其质地软、口感差，在市场上进行鲜销并不理想。因此，将鲢鱼加工制成鱼糜制品，可提高其经济价值和食用价值，然而鲢鱼鱼糜制品和其他淡水鱼鱼糜制品同样存在凝胶特性较海水鱼糜制品差的特点，因而改善淡水鱼鱼糜制品的凝胶特性，成为当前淡水鱼加工急需解决的问题。

绿豆淀粉和豌豆淀粉是提取蛋白质后的重要副产物，尤其是豌豆淀粉，在欧洲，豌豆淀粉常用来作为复合饲料的原料之一，而在亚洲，可做为食品原料[1]。与玉米、小麦和马铃薯淀粉相比，它被认为是一种相对比较便宜的淀粉来源。此外，豌豆淀粉和绿豆淀粉还具有成胶能力强，较高的持水性和凝胶强度等优点。有研究表明豌豆淀粉、绿豆淀粉等谷物淀粉与蛋白质混合后可以有效的改善复合物的凝胶特性[2-3]。目前，绿豆淀粉和豌豆淀粉主要用来加工粉丝和粉皮，部分用于肉制品的加工，关于其在鱼糜制品中的应用较少。本文以鲢鱼鱼糜为研究对象，分析了添加绿豆淀粉、豌豆淀粉以及常用的马铃薯淀粉后鲢鱼鱼糜的凝胶强

收稿日期：2014-12-18
基金项目：国家自然基金(31301418, 31301569)；“十二五”国家科技支撑计划课题（2012BAD29B06）；辽宁省高校重大科技平台；大学生创新创业训练计划（201410167000029）
通讯作者：仪淑敏（1980-），女，博士，副教授，主要从事水产品贮藏加工及质量安全控制方面的研究；励建荣(1964-)，男，博士，教授，主要从事水产品、果蔬贮藏加工及安全控制方面的研究

度、持水性、蒸煮损失，凝胶水分分布状态和弛豫特性，以及凝胶微观结构的变化规律，为豆类淀粉在鱼糜制品加工中的应用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲢鱼鱼糜：购于湖北潜江市柳伍水产食品有限公司，置于-18±0.5 ℃冰箱冻藏，在半年之内完成使用；豌豆淀粉和绿豆淀粉均为优级：水分含量不高于14%，购于衡水福桥淀粉有限公司；马铃薯淀粉：优级，水分含量不高于 17.5%，购于锦州大润发超市；盐：食品级，纯度不低于 98.5%，购于锦州大润发超市。

1.2 仪器与设备

ZB-20 型斩拌机：诸城市瑞恒食品机械厂；TA.XT.PLUS 型质构仪：英国 Stable Micro System 公司；SORVALL Stratos 型高速冷冻离心机：德国 SIGMA 仪器有限公司；NMI20 型核磁共振成像仪：上海纽迈电子科技有限公司；S4800 场发射扫描电镜：日本 Minolta 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鱼糜凝胶的制备

冷冻鲢鱼鱼糜→流水解冻 1 h→空斩 2 min→添加 2.5%食盐斩拌 3 min→添加马铃薯淀粉、绿豆淀粉和豌豆淀粉（添加量分别为 2%、4%、6%、8%和 10%）及 16%的冰水斩拌 15 min→灌入玻璃小瓶（内径 25 mm)→40 ℃水浴加热 30 min，90 ℃水浴加热 20 min

以未添加淀粉且相同处理条件的样品为对照组，所有样品均于 4 ℃冰箱保藏，备用。

1.3.2 凝胶强度的测定

取 1.3.1 制备的鱼糜凝胶样品，平衡至室温后切成 25×25 mm 的圆柱体。利用 TA.XT.PLUS（SMS）型质构仪的凝胶强度测定模式分析鱼糜凝胶的破断力和凹陷距离。测定条件：探头：P/5S 球形金属探头；测试速度：1 mm/s；测试距离：15 mm；触发力：10 g。凝胶强度为破断力和凹陷距离的乘积，即：凝胶强度（g mm）=破断力（g）×凹陷距离（mm）。

1.3.3 持水性的测定

将 1.3.1 制备的鱼糜凝胶切成 5 mm 的薄片，准确称重（W_1），三层滤纸将样品裹住后装入 50 mL 的离心管中，采用冷冻高速离心机在 4 ℃条件下，5000×g 离心 15 min，离心结束后，立即取出样品并再次称重 W_2。持水性的计算如下：

持水性（%）= W_2/ W_1×100%

1.3.4 蒸煮损失的测定

参照 Yang[4]的方法略微修改，进行鱼糜凝胶蒸煮损失的测定。将鱼糜凝胶切成 15×15×2 mm 形凝胶圆柱体并称重（G_1）后放入蒸煮袋内且封口，置于 90 ℃水浴 20 min。蒸煮结束后迅速取出凝胶，擦干表面液体后再次称重（G_2）。按如下计算蒸煮损失：

蒸煮损失（%）=（G_1-G_2）/ G_1×100

1.3.5 低场核磁共振（LF-NMR）分析

样品在室温下恒温 30 min 后，切成 10×10×20 mm 的长方体并转入核磁管，采用 Carr-Purcell- Meiboom-Gill（CPMG）脉冲序列进行自旋-自旋弛豫时间 T_2、T_2 峰面积及峰面积比的测定。参数设定：SFI（MHz）=22，P90（μs）=14，SW（kHz）=100，TR（ms）=2000 ms，NS=8，τ（μs）=150，Echocnt=4000。

1.3.6 电镜扫描观察（SEM）

微观电镜扫描测试参照 Oujifard[5]的方法并略微修改，流程如下：

样品→切块（3×3×2 mm）→2.5%戊二醛溶液固定 24 h→去除固定液→磷酸盐缓冲液（0.2 M，pH 值 7.2）漂洗三次（15 min/次）→去离子水冲洗 1 h→50%、70%和 90%的乙醇梯度脱水→100%乙醇脱水 3 次（10 min/次）→真空冷冻干燥→离子溅射镀金→扫描电镜观察

1.3.7 数据处理

使用 Oringin7.5 和 SPSS19.0 进行数据处理和相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同淀粉及淀粉添加量对鲢鱼鱼糜凝胶破断力、凹陷距离和凝胶强度的影响

从图 1 可以看出，除豌豆淀粉以外，随淀粉添加量的增加，鱼糜凝胶的破断力、凹陷距离和凝胶强度逐渐增加，且在添加量为 8%、10%时达到最大值，添加马铃薯淀粉的鱼糜凝胶破断力、凹陷距离和凝胶强度分别为 546 g、11.5 mm 和 6279 g mm，与对照组相比分别增加了 46.8%、29.2%和 90.0%；添加绿豆淀粉的鱼糜凝胶破断力、凹陷距离和凝胶强度 524 g、11.1 mm 和 5816 g mm，与对照组相比分别增加 40.9%、24.7%和 76.0%。

与马铃薯淀粉及绿豆淀粉相比，豌豆淀粉在改善鱼糜凝胶特性方面具有更加出色的效果。由图1-A、1-B和1-C可知，随豌豆淀粉添加量的增大，鱼糜凝胶的破断力、凹陷距离及凝胶强度均呈现先增加后减少

的变化趋势，且在添加量为4%时达到最大值，分别为528 g、11.3 mm和5966 g mm，与对照组相比，分别增加了42.0%、27.0%和80.6%，且与添加8%的马铃薯淀粉、绿豆淀粉的鱼糜凝胶的最大值相近。这可能与豌豆淀粉含有较多的直链淀粉有关。直链淀粉经糊化后再冷却，其分子进行快速迁移和重排，导致直链与直链、直链与支链淀粉之间发生交联作用，使原淀粉分子重新结晶，进而使鱼糜凝胶体系具有一定的柔韧性和抗拉伸力[5]。马铃薯淀粉、绿豆淀粉和豌豆淀粉中的直链淀粉含量占淀粉总量的百分比分别为15~20%，30.5%和43.3%[6~7]。有研究报道直链淀粉的含量越高（如豌豆淀粉），在升温过程中，淀粉分子缠绕的程度越剧烈，体系网络结构的抗拉伸强度也就越大[8]。由此推测高含量直链淀粉的豌豆淀粉可以加固鱼糜凝胶的空间网络结构，是其凝胶强度增加。与其他许多学者关于淀粉可以促进鱼糜制品形成致密的微孔结构，显著增加鱼糜制品的凝胶延展性和强度的研究结果一致[9-10]。当豌豆淀粉添加量大于4%时，鱼糜凝胶的破断力、凹陷距离及凝胶强度显著降低。可能是由于过量添加豌豆淀粉导致鱼糜凝胶体系中直链淀粉含量过量，升温过程中，过量的直链淀粉与直链淀粉、直链与支链淀粉分子间的缠绕和交联的程度过于剧烈，导致淀粉分子吸水后迅速膨胀，占据大量空间，阻碍了蛋白质分子间的伸展，使蛋白质变性不完全，最终导致鱼糜凝胶的破断力、凹陷距离以及凝胶强度减少。Zhang[11]也指出过量添加淀粉会导致鱼糜制品的凝胶强度降低。

2.2 不同淀粉及淀粉添加量对鲢鱼鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失的影响

持水性反映的是鱼糜凝胶对其中水分的保持能力，持水性能高的鱼糜凝胶，内部水分不易外渗，因而在凝胶受到外力挤压时失水率低。鱼糜凝胶的蒸煮损失是指在凝胶蒸煮过程中水分、淀粉等易流失物质因渗出所造成的质量减少。蒸煮损失率越大，表明淀粉、水分等物质在受热时越易渗出。持水性和蒸煮损失间接反映了鱼糜凝胶微观网络结构的致密程度。持水性越高，蒸煮损失越低，表明鱼糜凝胶的网络结构对水分和淀粉等物质的束缚能力越强，即凝胶的空间网络结构越致密。由图 2a 和 2b 可知，淀粉的添加可显著增加鱼糜凝胶的持水性、降低其蒸煮损失。随马铃薯淀粉和绿豆淀粉添加量的增加，鱼糜凝胶的持水性逐渐增加，蒸煮损失逐渐减少，且凝胶持水性均在淀粉添加量为 8%、10%时达到最大值，分别为 88.5%和 87.6%，与对照组（持水性为 80.5%）相比，持水性分别增加了 9.9%和 8.8%；二者凝胶的蒸煮损失也均在淀粉添加量为 8%，10%时达到最小值，分别为 6.9%和 6.7%，与对照组（蒸煮损失为 10.6%）相比，蒸煮损失分别减少 34.7%和 36.8%。

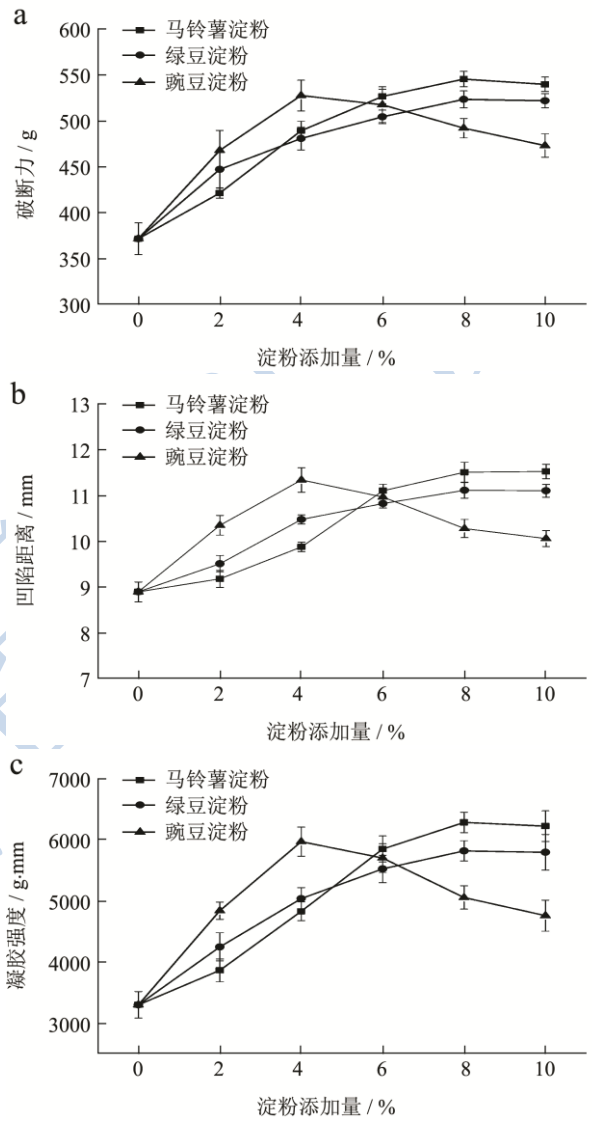


图 1 不同淀粉添加量下鲢鱼鱼糜凝胶破断力（a）、凹陷深度（b）和凝胶强度（c）的变化

Fig.1 Changes in breaking force, deformation, and gel strength of silver carp surimi gels in the presence of different concentrations of starches

豌豆淀粉在改善鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失方面尤为显著，淀粉添加量为 4%时，鱼糜凝胶持水性便达到了最大值，同时蒸煮损失达到最小值，分别为 87.6%和 7.0%，与对照组相比，持水性增加了 8.8%，蒸煮损失降低了 33.7%。然而当豌豆淀粉添加量大于 4%时，鱼糜凝胶的持水性和蒸煮损失没有得到继续改善，相反持水性明显降低以及蒸煮损失显著升高。添加马铃薯淀粉、绿豆淀粉均可以改善鱼糜凝胶的持水

性和蒸煮损失，但其与豌豆淀粉相比，淀粉添加量较高，且均在添加量为 8%、10%以上时才能达到最大值。相反，豌豆淀粉在添加量为 4%时，便达到了最佳效果，添加量过高反而不利于鱼糜凝胶品质的改善。

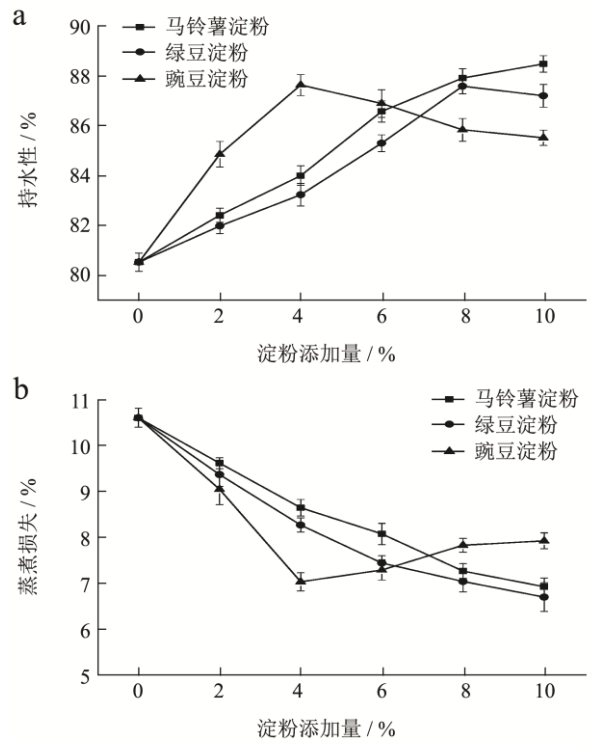


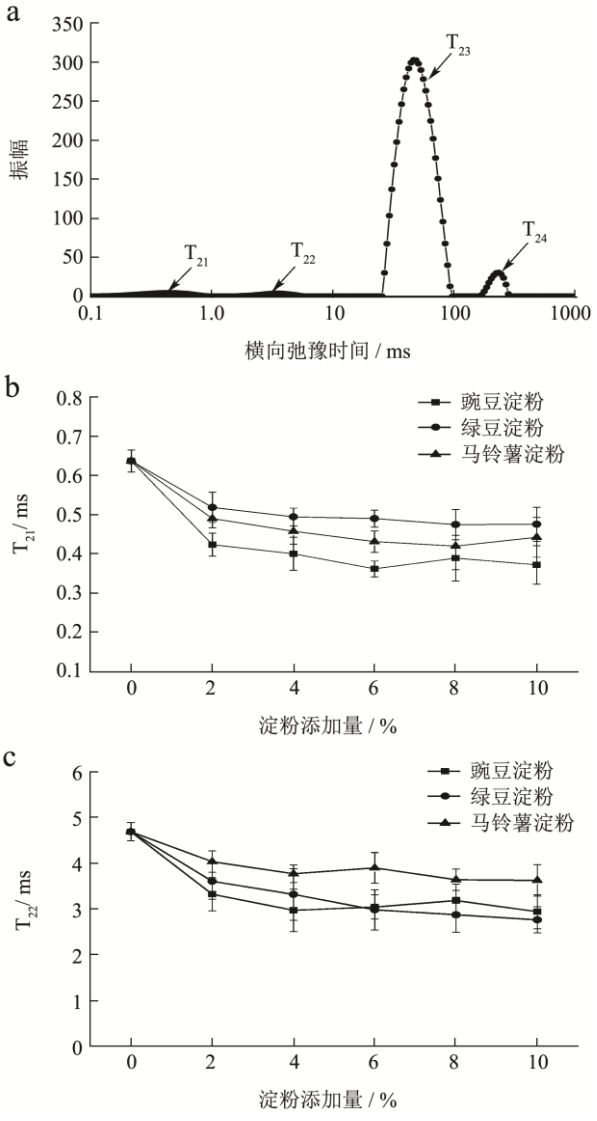
图 2 不同淀粉添加量下鲢鱼鱼糜凝胶持水性（a）和蒸煮损失（b）的变化

Fig.2 Changes in water holding capacity and cooking loss of silver carp surimi gels in the presence of different concentrations of starches

淀粉改善鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失主要由两方面的原因：一方面，淀粉颗粒填充在鱼糜蛋白质交联的空隙中，使凝胶网状结构更致密，加固了鱼糜凝胶的网状结构，有助于捕获更多的水分[12~13]。Zhang 等人也曾指出致密的空间网络结构可以增加水分的束缚能力，提高持水性[14]；另一方面淀粉具有吸水膨润的特点，可以结合鱼糜中的游离水，使鱼糜中的游离水钝化，难以析出，在一定程度上也起到了提高蛋白质浓度的作用，从而提高鱼糜凝胶的持水能力，降低其蒸煮损失，可以提高鱼糜凝胶的凝胶强度[15]。一些研究学者也曾报道淀粉合适的添加量可以有效的增加肉制品的持水性和降低其蒸煮损失[4]。

2.3 不同淀粉及淀粉添加量对鲢鱼鱼糜凝胶水分分布及横向弛豫时间 T_2 的影响

鱼糜凝胶中水分分布及其弛豫特性直接影响到鱼糜凝胶对水分的保持能力，进而影响到鱼糜制品的品质。从图 3a（10%马铃薯淀鲢鱼鱼糜凝胶）得知，鲢鱼鱼糜凝胶中水分主要呈 4 种状态分布，这与之前的研究学者所取得的结论基本符和[10]。鲢鱼鱼糜凝胶横向弛豫时间（T_2）的分布区间分别为：T_{21}（0.1 ms~1 ms）、（1 ms~10 ms）、（25 ms~100 ms）和（180 ms~320 ms），其中 T_{21} 表示与蛋白质、淀粉等大分子表面的极性基团靠氢键相结合的单分子层水，以及位于大分子固有结构上的质子，即结合最紧密的水分。T_{22} 是指与蛋白质中的酰胺基以及淀粉纤维素中的羟基形成键能较小的氢键的那部分水分，与单分子层水相比，它的结合强度较低，称为半结合水。T_{21} 与 T_{22} 所代表的水分共同称为结合水。T_{23} 代表由组织中的显微和亚显微结构及膜所阻留的那部分水，即被束缚在鱼糜凝胶致密的空间网络结构中的水，称为不易移动水，占鱼糜凝胶总水分的 90%以上。T_{24} 表示鱼糜凝胶空间网络结构以外可以自由移动的水分，即自由水。



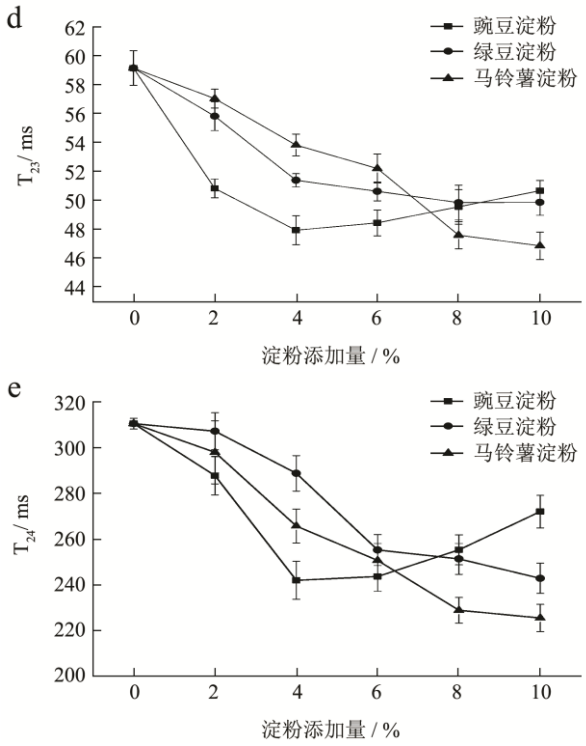


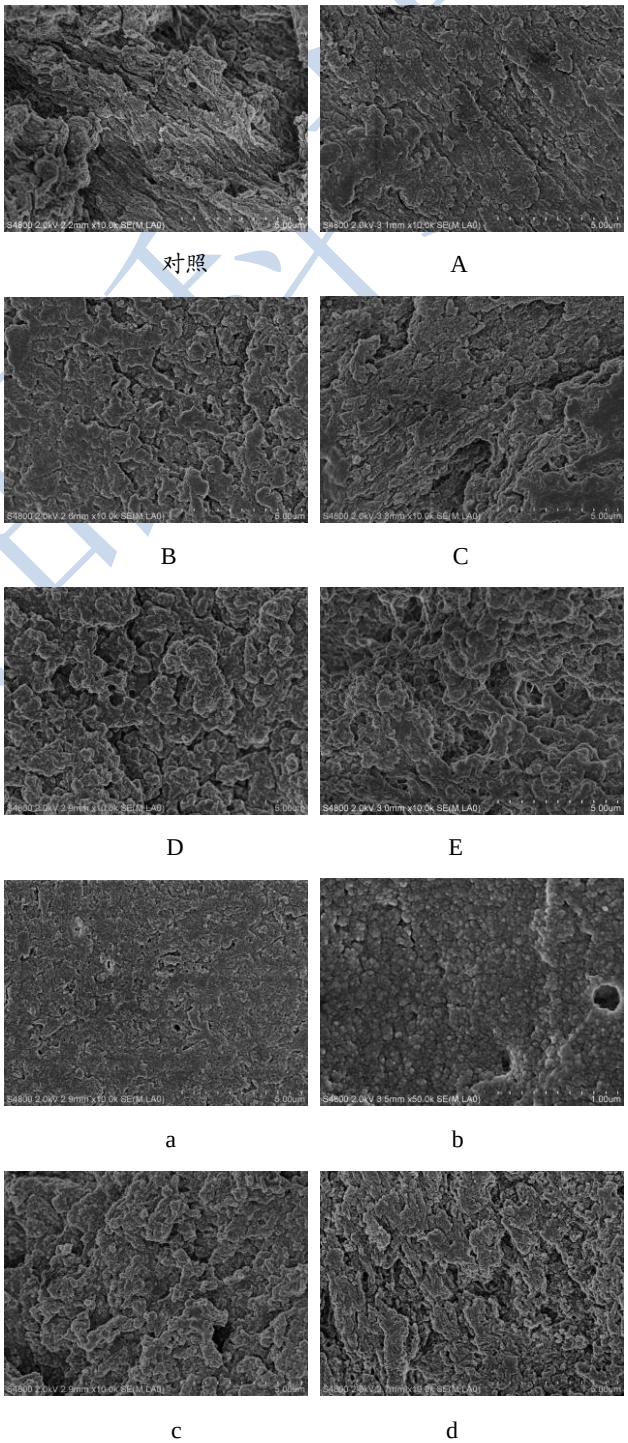
图 3 不同淀粉添加量下鲢鱼鱼糜凝胶水分分布（a）及横向弛豫时间 T_2（T_{21}、T_{22}、T_{23}和 T_{24}）的变化

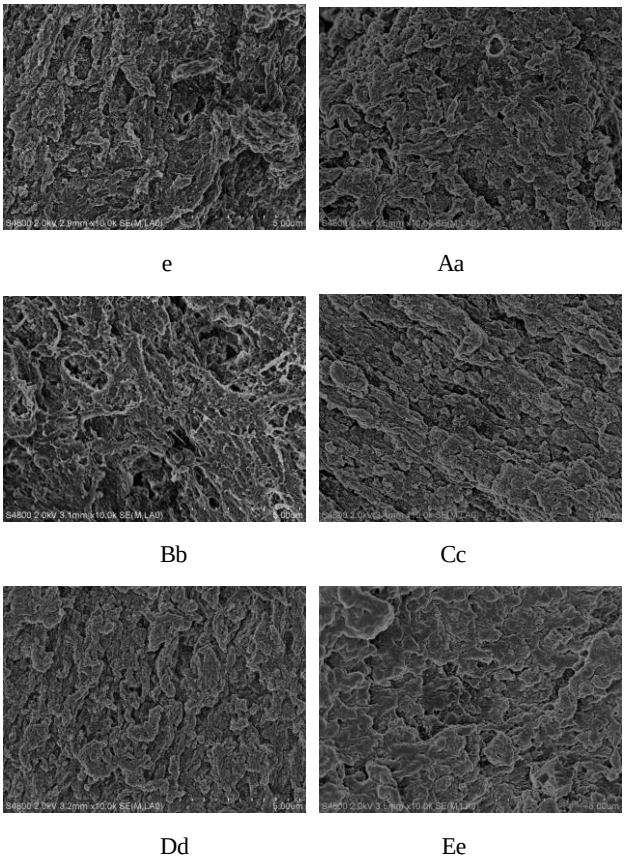
Fig.3 Changes in water distribution and transverse relaxation time T_2 (T_{21}, T_{22}, T_{23}, and T_{24}) of silver carp surimi gels in the presence of different concentrations of starches

弛豫时间是指系统受到外界瞬时扰动后，重新恢复到原来的平衡态时所需要的时间。鱼糜凝胶横向弛豫时间越短，表明鱼糜凝胶中水分越不易受到外界干扰，即该种水分稳定性越强[14]。由图 3b 和 3c 得知，结合水（T_{21} 与 T_{22} 所代表的水分）占鱼糜凝胶总水分的比例最小，且随着淀粉的添加量增加，横向弛豫时间 T_{21} 与 T_{22} 均在淀粉添加量为 2%时出现明显减小，这主要是由于淀粉分子中含有大量的亲水基团，促进了淀粉与水分的氢键结合，增加了结合水的稳定性，导致 T_{21} 与 T_{22} 横向弛豫时间降低[16]。随着淀粉添加量继续增加，T_{21} 与 T_{22} 横向弛豫时间均保持不变，表明淀粉的添加对鱼糜凝胶中的结合水影响程度是有限的。

T_{23} 作为鱼糜凝胶中含量最多的水分，其与 T_{24} 直接关系到鱼糜凝胶的持水性能。由图 3d 和 3e 得知，随着绿豆淀粉和马铃薯淀粉添加量增加，鱼糜凝胶的横向弛豫时间 T_{23} 与 T_{24} 均明显减少，且均在淀粉添加量为 8%、10%时达到最小值，他们的最小值分别为 49.7 ms 和 46.8 ms（T_{23}），243 ms 和 226 ms（T_{24}）。与绿豆淀粉和马铃薯淀粉相比，豌豆淀粉仅在添加量为 4%时便可以明显降低鲢鱼鱼糜凝胶的 T_{23} 和 T_{24} 横向弛豫时间，增加鱼糜凝胶的持水性能，随豌豆淀粉添加量继续增加，T_{23} 和 T_{24} 横向弛豫时间明显升高，鱼糜凝胶的持水性能减弱，由此可知少量的豌豆淀粉更能改善鱼糜凝胶的持水性能。与上文中凝胶的持水性变化相符合。

2.4 不同淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶微观结构的影响





e Aa

Bb Cc

Dd Ee

图 4 不同处理方式下鲢鱼鱼糜凝胶三维凝胶网络结构变化

Fig.4 Changes in the three-dimensional gel network of silver carp surimi gels by using different treatment methods

注：A~E：2%~10%马铃薯淀粉；a~e：2%~10%绿豆淀粉；Aa~Ee：2%~10%豌豆淀粉。

由图 4 可知，不同的淀粉对改善鲢鱼鱼糜凝胶空间微观结构具有显著影响。对照组微观结构较松散，有较大孔洞，表面粗糙、不均匀且结块程度较高。添加 10%的马铃薯淀粉（图 4E）、10%绿豆淀粉（图 4e）和 4%豌豆淀粉（图 4Bb）的鲢鱼鱼糜凝胶的微观结构较为致密，表面相对光滑、平整，空隙较小且分布均匀，形成了具有高度致密、均匀有序的空间三维凝胶网络结构。均匀有序网络结构的形成有利于增加淀粉粒子在鱼糜凝胶网络结构中的被包裹能力，进而增加淀粉分子对凝胶网络结构的加固作用，增加鱼糜凝胶的凝胶强度。此外，高度致密的网络结构不仅可以增加其对水分的束缚能力，使更多的自由水成为不易流动水被捕获在网络结构中，还可以增加淀粉的吸水能力，高强度的鱼糜凝胶网络结构使淀粉所吸收的水分不易散失，进而减少鱼糜凝胶在蒸煮过程中的损失。添加淀粉的鱼糜凝胶所呈现的均匀、致密的空间网络结构也解释了淀粉在改善鱼糜凝胶强度、持水性和蒸煮损失方面的作用。

3 结论

淀粉的不同来源及添加量对鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性、蒸煮损失、横向弛豫时间（T_2）和微观结构均匀有显著影响。添加 8~10%的马铃薯淀粉或绿豆淀粉均可以明显提高鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性，同时降低凝胶的蒸煮损失、横向弛豫时间 T_{23} 和 T_{24}，减弱凝胶中不易移动水的流动性。与马铃薯淀粉和绿豆淀粉相比，豌豆淀粉在改善鱼糜凝胶特性方面具有较好的效果，且在添加量仅为 4%时便可以显著增强鱼糜制品的凝胶强度和持水性，同时明显降低其蒸煮损失、横向弛豫时间 T_{23} 和 T_{24}。此外，添加 10%马铃薯淀粉或 10%绿豆淀粉或 4%豌豆淀粉后的鲢鱼鱼糜凝胶均可以形成相当均匀、致密的空间凝胶网络结构。

参考文献

[1] De Almeida Costa G E, da Silva Queiroz-Monici K, Pissini Machado Reis S M, et al. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes [J]. Food Chemistry, 2006, 94(3): 327-330

[2] Zhang Q, Ismail N, Cheng L H. Flow behaviour and temperature stability of chicken muscle proteins-modified waxy corn starch blends [J]. Int. Fd. Res. J., 2010, 17: 137-145

[3] Sun Q, Xiong S C L. Functional and pasting properties of pea starch and peanut protein isolate blends [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 101: 1134-1139

[4] Yang Z, Wang W, Wang H, et al. Effects of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties of surimi gel from grass carp (*Ctenopharyn odon idellus*) [J]. Food Chemistry, 2014, 145: 212-219

[5] Oujifard A, Benjakul S, Ahmad M, et al. Effect of bambara groundnut protein isolate on autolysis and gel properties of surimi from threadfin bream (*Nemipterus bleekeri*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 261-266

[6] 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
CHEN Hai-hua, XUE Chang-hu. Effects of starch on rheological and gel properties of horse-mackerel surimi [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(5): 293-298

[7] 赵萍,巩慧玲,赵瑛.不同品种马铃薯淀粉及其直链淀粉、支

链淀粉含量的测定[J].兰州理工大学学报,2004,30(1):76-78
ZHAO Ping, GONG Hui-ling, ZHAO Ying. Determination of content of starch, amylose, and amylopectin of different varieties of potato [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2004, 30(1): 76-78

[8] Yong H, Park J W. Effects of starch properties and thermal processing conditions on surimi starch gels [J]. LWT-Food Science and Technology, 1998, 31(4): 344-353

[9] 余世锋,张永春,林佳楠,等.玉米淀粉、绿豆淀粉和皱皮豌豆淀粉热特性及回生性质的比较[J].食品科技, 2013, 38(9): 136-140
YU Shi-feng, ZHANG Yong-chun, Lin Jia-nan, et al. Comparing the thermal and retrogradation properties of corn starch and mung bean starch and wrinkled pea starch [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(9): 136-140

[10] Sun F, Huang Q, Hu T, et al. Effects and mechanism of modified starches on the gel properties of myofibrillar protein from grass carp [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64(3): 17-24

[11] Zhang F, Fang L, Wang C, et al. Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi-beef gels with microbial tranglutaminase [J]. Meat Science, 2013, 93 (3): 533-537

[12] Gipsy T, Gustavo V B. Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white [J]. Food Research International, 2004, 37: 767-775

[13] Ma X S, Yi S M, Yu Y M, et al. Changes in gel properties and water properties of Nemipterus virgatus surimi gel induced by high-pressure processing [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 377-384

[14] Zhang L, Xue Y, Xu J, et al. Effects of high-temperature treatment (≥100 ℃) on alaska pollock (*theragra chalcogramma*) surimi gels [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(1): 115-120

[15] 刘鑫,薛长湖,刘艺杰,等.不同淀粉在鱿鱼鱼糜制品中的应用[J].食品与发酵工业,2006,32(10):62-65
LIU Xing, XUE Chang-hu, LiIU Yi-jie, et al. The effect of various starches to the squid surimi [J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(10): 62-65

[16] Goh K S, Bhat R, Karim A A. Probing the sol-gel transition of egg white proteins by pulsed-nmr method [J]. European Food Research and Technology, 2009, 228(3): 367-371

现代食品科技