

# 低水分马铃薯淀粉的理化性质及其对鱼糜制品凝胶特性的影响

黄洁<sup>1</sup>, 赵建新<sup>1</sup>, 黄建联<sup>2</sup>, 范大明<sup>1</sup>, 张文海<sup>2</sup>, 连惠章<sup>3</sup>, 陈卫<sup>1</sup>, 张灏<sup>1</sup>

(1. 江南大学食品学院食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122) (2. 福建安井食品股份有限公司, 福建厦门 361022) (3. 无锡华顺民生食品有限公司, 江苏无锡 214218)

**摘要:** 对低水分马铃薯淀粉的微观形貌、结晶结构、糊化特性、热稳定性、冻融稳定性等理化性质进行了测定, 研究了低水分马铃薯淀粉的添加对鱼糜制品凝胶特性的影响。结果表明: 低水分马铃薯淀粉的水分含量不超过 8%, 其改性制备过程对淀粉颗粒造成一定程度的破坏使其表面出现皱缩、龟裂, 导致其具有较大的无定形区域, 表现为较小的结晶度。低水分马铃薯淀粉的起始糊化温度 ( $T_0$ )、吸热焓值 ( $\Delta H$ )、析水率和胶稠度分别为 57.16 °C、16.26 J/g、40.83% 和 80.43 mm, 均低于原马铃薯淀粉, 且其膨润力 (18.83 g/g) 显著大于原淀粉 (13.06 g/g), 表现出较优的理化性质。添加了两种淀粉的鱼糜制品的凝胶强度、持水性和白度的测定数据表明: 原淀粉和低水分马铃薯淀粉均可改善鲑鱼鱼糜制品的凝胶性能, 增强鱼糜制品的凝胶强度, 提升其持水性并且低水分马铃薯淀粉的改善效果更显著, 其最佳添加量在 8% 左右。

**关键词:** 低水分马铃薯淀粉; 理化性质; 鲑鱼鱼糜; 凝胶特性

文章编号: 1673-9078(2015)3-108-114

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.019

## Physicochemical Properties of Low Moisture Potato Starch and Their Effects on Surimi products

HUANG Jie<sup>1</sup>, ZHAO Jian-xin<sup>1</sup>, HUANG Jian-lian<sup>2</sup>, FAN Da-ming<sup>1</sup>, ZHANG Wen-hai<sup>2</sup>, LIAN Hui-zhang<sup>3</sup>, CHEN Wei<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1</sup>

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)(2.Fujian Anjoyfood Share Co. Ltd., Xiamen 361022, China)(3.Wuxi HuashunMinsheng Food Co. Ltd., Wuxi 214218, China)

**Abstract:** In this study, the physicochemical properties such as morphology, microscopic morphology, crystal structure, pasting properties, freeze-thaw stability, and swelling power of ultra-dry potato starch and their effects on surimi seafood were investigated. The results indicated that the water content of ultra-dry potato starch did not exceed 8%. With shrinkage and crack observed on the surface of the starch granule, the ultra-dry potato starch had a larger amorphous region and smaller crystallinity. It formed a gel more easily at a low initial temperature of gelatinization ( $T_0$ , 57.16 °C) and transition enthalpy ( $\Delta H$ , 16.26 J/g). Compared to native potato starch, ultra-dry starch exhibited better freeze-thaw stability, higher swelling power (18.83 g/g), and lower gel consistency (80.43 mm), indicating its better physicochemical properties. According to the study, both native and ultra-dry potato starch can improve the gel properties of silver carp surimi products, and the latter showed more significant effects. The optimum addition level of the starch is about 8%.

**Key words:** ultra-dry potato starch; physicochemical properties; silver carp surimi products; gel properties

长久以来,海水鱼糜主导着我国的鱼糜制品市场,但由于近几年海洋资源日益匮乏,捕捞成本上升,海

收稿日期: 2014-07-31

基金项目: 江苏省产学研联合创新资金项目 (BY2013015-01); 厦门市重大产业技术攻关项目 (3502220121034); “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2012BAD28B05-04);

作者简介: 黄洁 (1990-), 女, 硕士, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 范大明 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术

水鱼糜的价格也逐渐攀升<sup>[1]</sup>。我国是淡水鱼养殖大国,海水鱼糜价格的上升给淡水渔业带来了进一步发展的机会。2009~2013年,中国淡水鱼产量年均增长率为 5.5%<sup>[2]</sup>。因此,淡水鱼糜制品的开发成为水产品加工业一个重要的发展趋势。但是,大部分淡水鱼类存在凝胶强度低,易凝胶劣化的问题,在一定程度上限制了淡水鱼糜产业的发展。

淀粉作为鱼糜制品一种重要的加工配料,对其凝

胶特性有着重要影响。在鱼糜制品中添加淀粉可提升鱼糜的凝胶强度,改善其质构性能<sup>[5]</sup>,降低生产成本<sup>[6]</sup>。然而,由于原淀粉的性质相对单一,导致其在鱼糜制品中的应用受到很大限制<sup>[7]</sup>。

变性淀粉是原淀粉经过一定手段进行处理,其天然性质发生一定改变,应用范围扩大的一类淀粉。主要变性手段包括物理、化学和酶变性<sup>[8]</sup>。目前,国内外的主要研究内容为化学变性淀粉在鱼糜制品中的添加。其结果也表明,化学变性淀粉具有较理想的添加效果<sup>[9-10]</sup>。值得关注的是,化学变性淀粉在生产过程中化工原料最大添加量、副产物残留量以及取代基含量等问题的存在使得其食用性存在一定的安全隐患<sup>[11]</sup>,而目前所熟知的物理变性淀粉如预糊化淀粉、微细化淀粉等虽已在食品领域广泛应用,但其性质并不能满足鱼糜制品的品质需求<sup>[8]</sup>。近期,国外有淀粉生产企业推出了一款新型的马铃薯淀粉,其经过特定的干燥手段,水分含量可降至 5~8%,其物理化学性质也发生了一定的变化,行业上称之为低水分马铃薯淀粉,但其理化特性及应用范围均未见详细报道。由于低水分马铃薯淀粉采用物理方法制备所得,可将其归类为物理变性淀粉。

本文主要对低水分马铃薯淀粉的微观形貌、结晶结构、糊化特性、冻融稳定性等理化性质进行了测定,研究了低水分马铃薯淀粉的添加对鲢鱼鱼糜制品凝胶特性的影响,为深入了解超干淀粉的性质,开发适宜于淡水鱼糜生产的物理变性淀粉提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

马铃薯原淀粉购自上海禾煜贸易有限公司;低水分马铃薯淀粉来自法国罗盖特公司;鲢鱼鱼糜由洪湖市宏业水产食品有限公司提供;氢氧化钾、无水乙醇均为化学纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

BX41 光学显微镜,德国 Leica 公司;QUANTA-200 型扫描电子显微镜,荷兰 FEI 公司;D8 X-射线衍射仪,德国 Bruker 公司;快速粘度分析仪(RVA),澳大利亚 NEWPORT 公司;Pyris-1 差示扫描量热仪(DSC),美国 Perkin-Elmer 公司;TGA/SDTA 851E 热重分析仪,瑞士 Mettler-Toledo 公司;TA.XTPlus 物性测试仪,英国 SMS 公司; $\alpha$ -110 可见光分光光度计,上海谱元仪器有限公司;DK-S24 型电热恒温水浴锅,上海森信实验仪器有限公司;高精度分光测色仪,美国 Hunterlab 公司;ZB-20 斩拌机,山东诸城市开泰食品机械厂;SZ200 手摇灌肠机,南京威利朗食品机械

有限公司;SU504 手动 U 型封口机,河北衡水鸿昊企业有限责任公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 淀粉颗粒形态及偏光特性的实验方法

淀粉适度稀释,振荡均匀后取少量滴于载玻片上,盖玻片固定后分别在光学显微镜的普通光和偏振光下观察马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的颗粒形态及偏光特性,放大倍数为 400 倍。

#### 1.2.2 淀粉超微形貌的实验方法

马铃薯原淀粉和低水分马铃薯淀粉通过扫描电子显微镜经 600 倍和 1200 倍放大观察其超微形貌。

#### 1.2.3 淀粉相对结晶度的测定方法

参考罗志刚<sup>[12]</sup>的方法进行淀粉 X-射线衍射测定。测定条件:采用 Cu-K $\alpha$  射线,加速电压为 35 kV,电流为 20 mA,扫描范围为 3~40°(2 $\theta$ ),扫描速度为 2°/min。采用 MDI Jade 5.0 软件分析晶型结构并计算样品的相对结晶度。

#### 1.2.4 淀粉 RVA 糊化性质测定方法

采用快速粘度分析仪(RVA)测定淀粉样品的糊化曲线。准确称取一定量的淀粉样品置于装有 25 mL 蒸馏水的 RVA 专圆筒形铝盒内,使得淀粉干基占淀粉乳液的 6%。温度控制程序参照马申媛<sup>[13]</sup>的方法。整个过程采用配套的热循环软件进行分析。

#### 1.2.5 淀粉热特性测定方法

参考 Karlsson 等人<sup>[14]</sup>的方法,采用差示扫描量热法(DSC)对淀粉进行热分析。准确称取一定量的淀粉样品于铝盒中,加入适量的水,将粉水比调至 1:2。铝盒置于差示扫描量热仪中室温下平衡 12 h。扫描速率:10 °C/min;扫描温度范围:30 °C~120 °C。样品重复测定 3 次。

#### 1.2.6 淀粉热稳定性测定方法

称取 5 mg 左右的淀粉置于样品池中。参数设定:氮气流速为 40 mL/min,扫描温度范围为 30~700 °C,升温速率为 10 °C/min。样品至少重复测定 3 次。

#### 1.2.7 淀粉溶解度和膨润力的测定方法

称取一定量的淀粉样品(干基),配制质量分数为 2%的淀粉乳,于 90 °C 下加热搅拌 30 min,3000 r/min 下离心 30 min,分离上清液和沉淀物。将上清液置于已知质量的铝盒中,90 °C 烘干,105 °C 恒重后称重。样品设 3 个平行,结果取平均值。按下式计算<sup>[15]</sup>:

$$\text{溶解度 } S (\%) = \frac{A}{W} \times 100$$

$$\text{膨润力 } B \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{P}{W(100 - S)} \times 100$$

式中:  $A$ -上清液烘干恒重后的质量, g;  $W$ -原样品质量, g;  
 $P$ -离心管中沉淀物质量, g。

### 1.2.8 淀粉胶稠度测定方法

测定方法参照 GB/T 2294-2008。

### 1.2.9 淀粉透明度测定方法

参照杜先锋等人<sup>[16]</sup>的方法。以透光率表示淀粉糊的透明度。

### 1.2.10 淀粉冻融稳定性测定方法<sup>[17]</sup>

称取一定量的淀粉样品配制成 3% 的淀粉乳。沸水浴 30 min 后冷却至室温。量取 30 mL 淀粉糊倒入已知质量的 50 mL 离心管内称重。装有样品的离心管于 -20 °C 冻 24 h, 25 °C 解冻 4 h, 如此进行 3 个冻融循环后 3000 r/min 离心 15 min, 去除上清液, 称量沉淀的质量。样品至少重复测定 3 次。淀粉的冻融稳定性以冻融析水率表示。

$$\text{析水率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

式中:  $m_0$ -离心管质量, g;  $m_1$ -淀粉样品和离心管质量, g;  
 $m_2$ -离心后沉淀物和离心管质量, g。

### 1.2.11 鱼肠的制备

冷冻鱼糜 4 °C 过夜适度解冻→切丁→空斩(鱼糜用量 500 g) 2 min→加鱼糜质量 3% 的食用盐继续斩拌 2 min→加淀粉(0%、4%、8%、12%、16%) 混斩 3 min(调节终水分含量至 78%)→灌肠→40 °C 凝胶化 30 min 后 90 °C 再加热 30 min→冰水中迅速冷却→4 °C 过夜冷藏备用

### 1.2.12 鱼肠凝胶强度的测定方法<sup>[18]</sup>

采用直径为 5 mm 的球形探头(P/5s)。测定条件: 测前速度 2 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测后速度 10 mm/s, 下压距离 15 mm, 触发力 5 g。穿刺曲线第一个峰值对应的力为破断力 g, 对应的距离为破断距离 cm, 凝胶强度为二者的乘积, 即凝胶强度(g cm)= 破断力(g)×破断距离(cm)。样品设 6 个平行, 结果取均值。

### 1.2.13 鱼肠白度测定方法

鱼肠样品切成 10 mm 厚的薄片, 用高精度分光测色仪测定样品的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值<sup>[19]</sup>。样品设 6 个平行, 结果取均值。白度  $W$  计算公式如下:

$$W = 100 - \left[ (100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2} \right]^{1/2}$$

### 1.2.14 鱼肠持水性能的测定方法

鱼肠切成 2 mm 左右的薄片, 取约 4 g 左右的样品称重, 用 4 层滤纸包裹好放入离心管内, 4 °C 下 5000 r/min 离心 20 min, 除去包裹的滤纸, 并将离心完的样品表面水分吸干后再称重。样品重复测定 3 次。持水性(WRA)计算公式<sup>[20]</sup>如下:

$$WRA(\%) = \frac{\text{鱼肠中总水分质量} - \text{离心释放出的水分质量}}{\text{鱼肠总质量}} \times 100$$

式中鱼糜总水分质量  $g = \text{鱼肠的水分含量} \times \text{离心前鱼肠样品质量}$

离心释放出的水分  $g = \text{离心前鱼肠样品的质量} - \text{离心后样品的质量}$

### 1.2.15 数据处理方法

数据采用平均值±标准偏差表示; 采用 Excel 2007 软件绘图; 显著性分析( $P < 0.05$ )采用 SPSS 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 低水分马铃薯淀粉的理化性质研究

#### 2.1.1 低水分马铃薯淀粉的颗粒形态及偏光特性

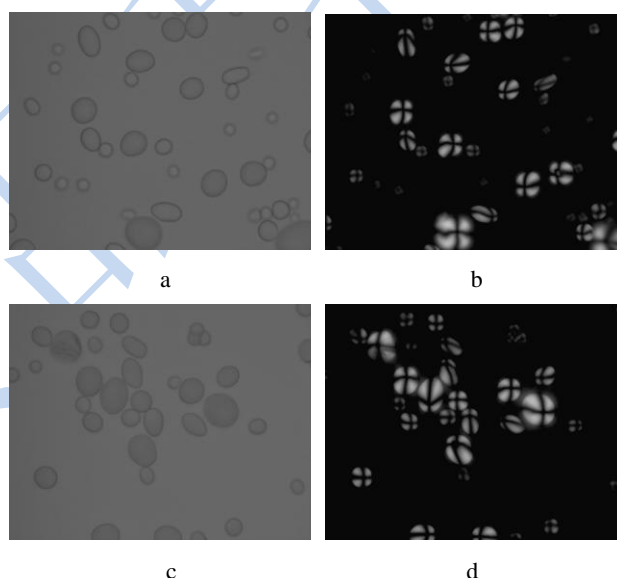


图 1 原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉颗粒形态和偏光十字图

Fig.1 Polarized light microscopic and light microscopic images of native and ultra-dry potato starch

注: (a) 和 (b) 分别为原马铃薯淀粉的颗粒形态和偏光十字图, 400×; (c) 和 (d) 分别为低水分马铃薯淀粉的颗粒形态和偏光十字图, 400×。

淀粉改性可引起其颗粒形态及晶体特性的变化。普通光学显微镜下可观察到淀粉的颗粒形状及颗粒大小。偏光显微镜下可观察到淀粉颗粒的偏光十字也称马耳他十字, 这是淀粉为球晶体的重要标志<sup>[15]</sup>。本文以原马铃薯淀粉作为对比, 对低水分马铃薯淀粉的颗粒形态及偏光特性进行了观察。由图 1 可以看出, 低水分马铃薯淀粉与原马铃薯淀粉在淀粉的颗粒形态和偏光特性上无明显区别, 大的颗粒均呈卵形, 小的为

圆形，均有明显的偏光十字出现，且低水分马铃薯淀粉在颗粒大小上与原淀粉也无显著差别，可见低水分马铃薯淀粉在变性制备过程中并未对其颗粒形态造成明显破坏，因此超干改性技术可以说是一种温和的变性手段。

### 2.1.2 低水分马铃薯淀粉的超微形貌

鉴于在普通光学显微镜下没有观察到低水分马铃薯淀粉与原淀粉在颗粒形态上的区别，考虑采用扫描电子显微镜更清晰的观察淀粉的超微形貌。由图2可见，原马铃薯淀粉与低水分马铃薯淀粉在整体形状上无差别。但原马铃薯淀粉表面相对光滑平整，低水分马铃薯淀粉表面则表现出明显的皱缩和龟裂，甚至出现了塌陷。说明低水分马铃薯淀粉颗粒在制备过程中受到一定损伤，造成其理化性质发生了一些改变。

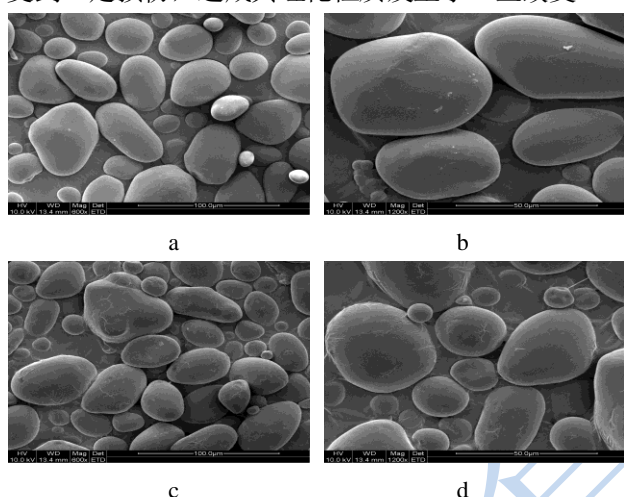


图2 原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的超微形貌图

Fig.2 Scanning electron micrographs of native and ultra-dry potato starch

注：(a)和(b)分别为原马铃薯淀粉放大600倍和1200倍的电镜图；(c)和(d)分别为低水分马铃薯淀粉放大600倍和1200倍的电镜图。

表1 原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的糊化特征参数

Table 1 The parameters describing the gelatinization characteristics of native and ultra-dry potato starch

样品	峰值粘度/cp	最小粘度/cp	崩解值/cp	最终粘度/cp	回值/cp	成糊温度/℃
原马铃薯淀粉	4696 ± 36.36*	1362 ± 7.78*	3334 ± 44.15*	1773 ± 7.78*	411 ± 0.02*	65.38 ± 0.32*
低水分马铃薯淀粉	3192 ± 18.38*	1244 ± 7.78*	1949 ± 10.61*	1636 ± 0.78*	386 ± 0.48*	62.98 ± 0.25*

注：表格中\*表示差异的显著性 (P < 0.05)。

### 2.1.5 低水分马铃薯淀粉的热特性

表2 原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的DSC特性参数

Table 2 The parameters describing the DSC characteristics of native and ultra-dry potato starch

样品	起始温度 $T_0$ /℃	峰值温度 $T_p$ /℃	终了温度 $T_c$ /℃	焓值 $\Delta H$ /(J/g)
马铃薯原淀粉	58.05 ± 0.21*	61.96 ± 0.21*	67.51 ± 0.16*	17.94 ± 0.61*
低水分马铃薯淀粉	57.16 ± 0.11*	60.64 ± 0.07*	66.37 ± 0.25*	16.26 ± 0.24*

注：表格中\*表示差异的显著性 (P < 0.05)。

### 2.1.3 低水分马铃薯淀粉的晶体结构

原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉在 X-射线衍射图谱上表现出了明显的差异，见图3。原马铃薯淀粉呈现出典型的B型特征衍射峰<sup>[21]</sup>，在5.6°、17.2°、22.2°、24.0°处有较强出峰。而低水分马铃薯淀粉在5.6°和24.0°处的特征峰消失，其结晶区域明显减少。由MDI Jade 5.0软件计算出的原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的相对结晶度分别为35.02%和14.15%，可以看出低水分马铃薯淀粉的结晶度与原马铃薯淀粉相比显著减小。说明低水分马铃薯淀粉在变性制备过程中对淀粉颗粒的结晶结构产生了一定程度的破坏，导致淀粉结晶区减少，结晶度减小。

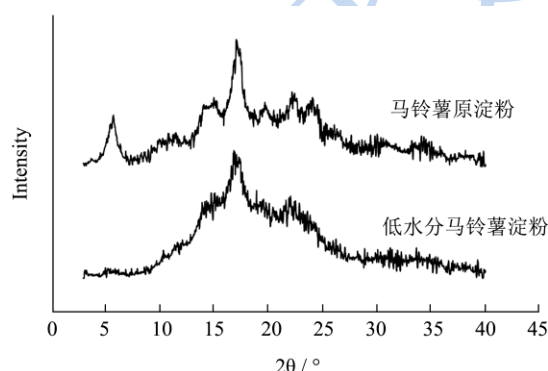


图3 马铃薯原淀粉和低水分马铃薯淀粉的X-射线衍射图谱

Fig.3 X-ray diffraction pattern of native and ultra-dry potato starch

### 2.1.4 低水分马铃薯淀粉的RVA糊化特性

淀粉的糊化特征参数见表1，其差异均具显著性 (P < 0.05)。由表可知，低水分马铃薯淀粉成糊温度相对较低，结合XRD结果分析，可能是由于低水分马铃薯淀粉在制备过程中对淀粉颗粒的晶体结构造成了一定程度的破坏，使其更易糊化。低水分马铃薯淀粉的崩解值较原淀粉明显偏低，且回值相对较小，说明低水分马铃薯淀粉的热糊稳定性较好，且不易回生。

原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的 DSC 特性参数包括起始温度  $T_0$ , 峰值温度  $T_p$ , 终了温度  $T_c$  以及糊化焓  $\Delta H$ , 具体数值见表 2, 其差异均具显著性 ( $P < 0.05$ )。低水分马铃薯淀粉与原淀粉相比拥有较低的糊化起始温度和糊化焓, 说明低水分马铃薯淀粉较原马铃薯淀粉更易糊化, 与 RVA 测定结果相符。

### 2.1.6 低水分马铃薯淀粉的热重 (TG) 曲线分析

为了进一步了解低水分马铃薯淀粉与原马铃薯淀粉在热稳定性上的区别, 对两种淀粉进行了热重分析实验。热重分析曲线见图 4。由图可以看出, 二者的质量损失在 150 °C 之前有明显的区别。原马铃薯淀粉在这一阶段的质量损失为 15.9765%, 而低水分马铃薯淀粉的质量损失为 7.9376%。0~150 °C 这一阶段的质量损失主要是水分的蒸发, 由此验证了低水分马铃薯淀粉与原淀粉在水分含量上的差异。150°C~450 °C 则是淀粉在无氧环境下的解聚和分解过程<sup>[22]</sup>。最后的阶段则是由于实验在无氧环境下进行从而留下了少部分惰性残留物<sup>[23]</sup>。

DTG 曲线是质量或相对质量的变化速率与温度的关系曲线。由图 4 可知, 两种淀粉的最大失重速率所对应的温度无区别, 均为 303.3 °C。说明低水分马

铃薯淀粉的变性制备并未对其热稳定性产生影响。

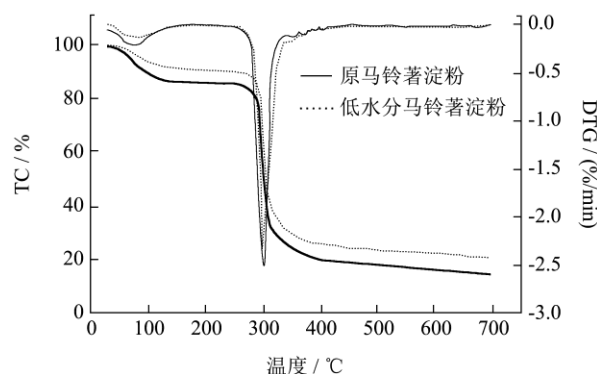


图 4 原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的 TG 和 DTG 曲线

Fig4 The TG and DTG curves of native and ultra-dry potato starch

### 2.1.7 淀粉其它相关理化性质分析

研究表明, 淀粉的胶稠度、溶解率、透明度与鱼糜制品的凝胶强度呈显著负相关, 而淀粉的膨润力及冻融稳定性与鱼糜制品的品质呈正相关<sup>[24]</sup>。由表 3 可以看出, 低水分马铃薯淀粉的膨润力大于原淀粉, 且冻融稳定性更优 (析水率较原淀粉明显小), 而胶稠度较原淀粉低, 均说明其在鱼糜制品中有很好的应用优势。两种淀粉在透明度上无显著差别 ( $P > 0.05$ )。

表 3 原马铃薯淀粉和低水分马铃薯淀粉的其它理化性质

Table 3 Other physicochemical properties of native and ultra-dry potato starch

样品	胶稠度/mm	溶解率/%	膨润力(g/g)	析水率/%	透明度/%
马铃薯原淀粉	96.21±0.32*	58.82±0.38*	13.06±0.09*	58.52±0.61*	90.11±0.84
低水分马铃薯淀粉	83.43±0.45*	84.75±0.44*	18.83±0.07*	40.83±0.84*	90.32±0.49

注: 表格中\*表示差异的显著性 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 低水分马铃薯淀粉的添加对鲑鱼鱼糜凝胶特性的影响

### 2.2.1 低水分马铃薯淀粉的添加对鲑鱼鱼糜凝胶强度的影响

凝胶强度是鱼糜制品品质的重要评价指标。由图 5 可以看出, 鱼糜制品的凝胶强度随着淀粉添加量的增加呈先上升后下降的趋势, 在 8% 添加量的时候达到最大值, 且低水分马铃薯淀粉的添加效果优于原淀粉。分析其原因, 目前的研究认为, 淀粉在鱼糜凝胶形成过程中受热吸水膨胀挤压鱼糜凝胶基质, 从而增强鱼糜凝胶强度<sup>[25]</sup>。因此, 适度的淀粉添加可对鱼糜制品凝胶强度的提升起到正面作用。而当淀粉添加过量时, 过多淀粉的存在则可能会阻碍鱼肉蛋白自身凝胶的形成, 从而降低体系的凝胶强度。结合低水分马铃薯淀粉的理化性质分析, 低水分马铃薯淀粉在制备

过程中淀粉颗粒受到一定损伤, 使得其较原马铃薯淀粉更易糊化吸水膨胀, 从而在鱼糜制品的应用中更具优势。

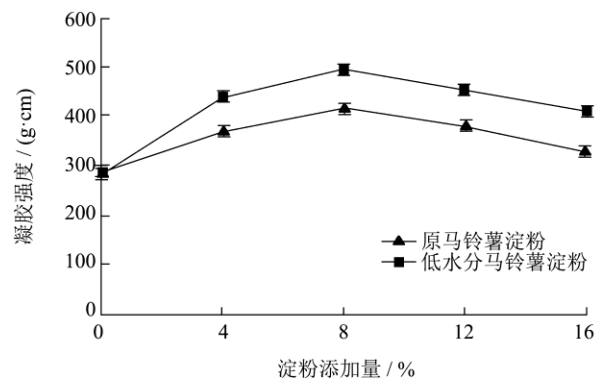


图 5 淀粉的添加对鱼糜凝胶强度的影响

Fig5 Effect of added starch on surimi gel strength

### 2.2.2 低水分马铃薯淀粉的添加对鲑鱼鱼糜凝胶白度的影响

白度是鱼糜制品中最重要的色泽评价指标, 与所

添淀粉的添加量和性质有关<sup>[26]</sup>。由表 4 可知, 两种淀粉的添加对鲑鱼鱼糜凝胶的白度几乎没有影响 ( $P > 0.05$ )。可能是鲑鱼鱼糜本身具有较高的白度, 而马铃

薯淀粉相对其它淀粉白度也较高, 因此两种淀粉的添加虽然没有体现出正面作用, 但也不存在负面效果。

表 4 淀粉的添加对鱼糜凝胶白度的影响

Table 4 Effect of added starch on surimi gel whiteness

淀粉添加量/%	0	4	8	12	16
马铃薯原淀粉	80.21±0.40 <sup>a</sup>	79.79±0.38 <sup>a</sup>	79.83±0.18 <sup>a</sup>	79.95±0.27 <sup>a</sup>	80.30±0.17 <sup>a</sup>
低水分马铃薯淀粉	80.21±0.40 <sup>a</sup>	79.70±0.42 <sup>a</sup>	79.73±0.19 <sup>a</sup>	79.85±0.57 <sup>a</sup>	80.46±0.25 <sup>a</sup>

注: 表格中数据右上方的字母表示差异的显著性 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2.3 低水分马铃薯淀粉的添加对鲑鱼鱼糜凝胶持水性的影响

鱼糜的持水性能代表了其凝胶网络截留水分的能力, 也是鱼糜制品品质重要的评价指标之一<sup>[27]</sup>。淀粉吸水膨胀, 适量淀粉的添加可使鱼糜凝胶中的游离水钝化, 难以析出, 从而起到提高鱼糜制品持水性的作用<sup>[28]</sup>。由图 6 可以看出, 随着淀粉添加量的增加, 鱼糜的持水性能呈上升趋势, 且在同样淀粉添加量的情况下, 低水分马铃薯淀粉相比原淀粉对鲑鱼鱼糜凝胶持水性能的提升效果更佳, 这与 2.1.7 中低水分马铃薯淀粉的膨润力大于原淀粉这一研究结果具有一致性, 说明低水分马铃薯淀粉特定的理化性质使得其在鱼糜-淀粉凝胶体系中较原淀粉更能锁住体系中的水分从而改善鱼糜制品的凝胶性能。

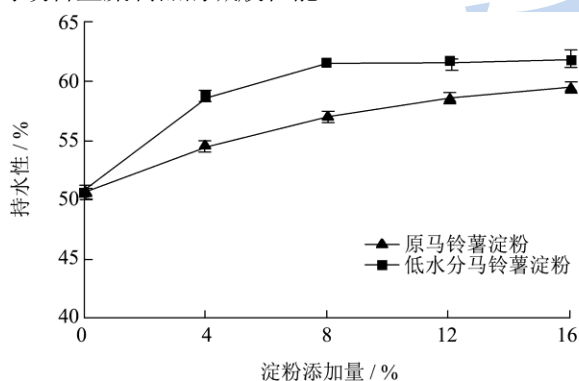


图 6 淀粉的添加对鱼糜凝胶持水性能的影响

Fig.6 Effect of added starch on the water retention capacity

## 3 结论

本文对低水分马铃薯淀粉的理化性质进行了具体测定, 结果表明: 低水分马铃薯淀粉的水分含量不超过 8%, 其较原淀粉更易吸水糊化且拥有较好的冻融稳定性和较高的膨润力以及较低的胶稠度。研究发现, 与原马铃薯淀粉相比, 低水分马铃薯淀粉更能有效的改善鱼糜制品的凝胶性能, 增强其凝胶强度, 提升其持水性, 对鱼糜制品的白度无显著影响。其最佳添加量在 8% 左右。

## 参考文献

- [1] 农业部渔业局.2011中国渔业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2011  
The Ministry of Agriculture Fisheries Bureau. 2011 Chinese Fisheries Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011
- [2] 农业部渔业局.2013中国渔业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2013  
The Ministry of Agriculture Fisheries Bureau. 2013 Chinese Fisheries Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013
- [3] Park J W. Effects of salt, surimi and/or starch content on fracture properties of gels at various test temperatures [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 1995, 4(2): 75-84
- [4] Chai P P, Park J W. Physical properties of fish proteins cooked with starches or protein additives under ohmic heating [J]. Journal of Food Quality, 2007, 30(5): 783-796
- [5] Lee C M. Surimi process technology [J]. Food Technology, 1984, 38(11): 69-80
- [6] Ma L, Grove A, Barbosa-C. Viscoelastic characterization of surimi gel: Effects of setting and starch [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(5): 881-884
- [7] Hunt A, Getty K, Park J. Roles of starch in surimi seafood: a review [J]. Food Reviews International, 2009, 25(4): 299-312
- [8] 赵凯.淀粉非化学改性技术[M].北京:化学工业出版社,2009  
ZHAO Kai. Non Chemical Modification of Starch [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009
- [9] Hunt A, Getty K, Park J. Development of temperature tolerant surimi gels using starch-protein interactions [J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(s1): 119-136
- [10] Tuankriangkrai S, Benjakul S. Effect of modified tapioca starch on the stability of fish mince gels subjected to multiple freeze-thawing [J]. Journal of Muscle Foods, 2010, 21(3):

- 399-416
- [11] 刘志皋,齐庆中.食品添加剂手册第3版精[M].北京:轻工出版社,2012  
LIU Zhi-gao, QI Qing-zhong. Manual of Food Additives (The Third Edition) [M]. Beijing: Light Industry Press, 2012
- [12] 罗志刚.微波对马铃薯淀粉性质的影响[J].食品与发酵工业,2007,6:50-52  
LUO Zhi-gang. Effects of microwave on properties of potato starch [J]. Food and Fermentation Industry, 2007, 6: 50-52
- [13] 马申嫣.微波加热对马铃薯淀粉介电和物性特征的影响[D].无锡:江南大学,2013  
MA Shen-yan. Effects of microwave heating on dielectric and physical characteristics of potato starch [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013
- [14] Karlsson M E, Eliasson A-C. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(8): 735-741
- [15] 张燕萍.变性淀粉制造与应用[M].北京:化学工业出版社,2007  
ZHANG Yan-ping. Manufacture and Application of Modified Starch [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [16] 杜先锋,许时婴,王璋.淀粉糊的透明度及其影响因素的研究[J].农业工程学报,2002,18(1):129-131  
DU Xian-feng, XU Shi-ying, WANG Zhang. Transparency and its affecting factors of starch paste [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2002, 18(1): 129-131
- [17] 尹月斌,涂宗财,王辉,等.白栎淀粉的特性[J].食品科学, 2013, 34(001):57-60  
YIN Yue-bin, TU Zhong-cai, WANG Hui, et al. Characteristics of white oak starch[J]. Food Science, 2013, 34(001): 57-60
- [18] 纪蓉,江海,胡亚芹,等. $\gamma$ -聚谷氨酸对带鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].中国食品学报,2012,4:90-99  
JI Rong, JIANG Hai, HU Ya-qing, et al. Effects of  $\gamma$ -poly glutamic acid on gel properties of minced fish [J]. Journal of Chinese Food, 2012, 4: 90-99
- [19] Park J W. Functional protein additives in surimi gels [J]. Journal of Food Science, 1994, 59(3): 525-527
- [20] Hunt A, Getty K, Park J. Screening of special starches for use in temperature-tolerant fish protein gels [J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(s1): 100-118
- [21] 金征宇.碳水化合物化学[M].北京:化学工业出版社,2008  
JIN Zheng-yu. Carbohydrate Chemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008
- [22] Zhang L, Xie W, Zhao X, et al. Study on the morphology, crystalline structure and thermal properties of yellow ginger starch acetates with different degrees of substitution [J]. Thermochimica Acta, 2009, 495(1): 57-62
- [23] Vijayakumar C T, Kothandaraman H. Thermal properties of polyvinyl alcohol [J]. Thermochimica Acta, 1983, 60(3): 383-387
- [24] Liu H M, Xiong S B, Qiu C G. Effect of modified starch on texture properties of surimi gel [M]. 2004 CIGR International Conference. Beijing, 2004
- [25] Li J Y, Yeh A I. Functions of starch in formation of starch/meat composite during heating [J]. Journal of Texture Studies, 2002, 33(4): 341-366
- [26] Liu H M, Nie Y N, Chen H X. Effect of different starches on colors and textural properties of surimi-starch gels [J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(7): 1439-1448
- [27] 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,2009,5:293-298  
CHEN Hai-hua, XUE Chang-hu. Effect of starch on the rheological and gel properties of horse mackerel surimi [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2009, 5: 293-298
- [28] Tabilo-Munizaga G, Barbosa-Cánovas G V. Pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white: microstructure and water-holding capacity [J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(1): 47-57