

带鱼鱼糜蛋白粉的制备及其在 披萨饼坯中的应用

刘小羽¹, 俞璐萍¹, 黎斌¹, 陈卢涛¹, 胡松¹, 朱萌萌^{1*}, 周婷婷¹, 林慧敏²
(1.绿城农科检测技术有限公司, 杭州 310000; 2.浙江海洋大学食品与医药学院,
浙江省海产品健康危害因素关键技术研究重点实验室, 舟山 316000)

摘要: 采用碱性蛋白酶对带鱼鱼糜进行酶解, 酶解液经超滤、冻干后得到分子质量>5 ku, 3.5~5 ku, 1~3.5 ku, <1 ku的带鱼鱼糜蛋白粉(HSPP)。对4个分子质量段的HSPP进行起泡性、乳化性、吸油性、持水性和凝胶强度研究, 筛选出功能特性较好的HSPP进行基本成分和氨基酸分析, 将其应用于披萨饼坯制作中, 采用质构仪和差示量热扫描仪(DSC)研究其对披萨饼坯质构和老化焓值的影响。结果表明: (1)分子质量为3.5~5 ku的HSPP在各功能特性中的表现较为突出; (2)分子质量3.5~5 ku的HSPP粗蛋白含量高达88.2%, 氨基酸种类齐全, 含量丰富, 必需氨基酸平均得分91.31, 氨基酸组成符合FAO/WHO标准, 属于优质蛋白; (3)分子质量3.5~5 ku的HSPP可以降低披萨饼坯的胶黏性和咀嚼性, 食用起来爽口不黏牙, 提高了披萨饼坯硬度的同时也降低了弹性, 使得嚼劲有所下降但影响不大; (4)添加了3.5~5 ku HSPP的披萨饼坯5 d内吸热焓值增量2.23 J/g, 小于空白组的7.5 J/g, 有助于延缓披萨饼坯老化。

关键词: 带鱼鱼糜; 超滤; 蛋白粉; 功能特性; 披萨饼坯; 老化

中图分类号: TS 254.4 文献标志码: A 文章编号: 1005-9989(2019)04-0133-08

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2019.04.025

Preparation and application of hairtail surimi protein powder in pizza cake

LIU Xiaoyu¹, YU Luping¹, LI Bin¹, CHEN Lutao¹, HU Song¹, ZHU Mengmeng^{1*}, ZHOU Tingting¹, LIN Huimin²

(1. Greentown Agricultural Detection Technology Co., Ltd., Hangzhou 310000;
2. Key Laboratory of Health Risk Factors for Seafood of Zhejiang Province, College of Food and Medicine, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000)

Abstract: Alcalase was used to hydrolyze hairtail surimi, enzymatic hydrolysate by ultrafiltration and freeze drying to obtain the molecular weight of >5 ku, 3.5~5 ku, 1~3.5 ku, <1 ku of the hairtail surimi protein powder (HSPP). The foaming capacity, emulsification, oil absorption, water holding capacity and gel strength of four HSPP were studied to analyze the basic components and amino acids of HSPP with better functional properties. Applying the better HSPP to pizza cake production, TA and DSC were used to analyze the effect of HSPP on texture and retrogradation enthalpy of pizza cake. The results were as

收稿日期: 2019-01-10

*通信作者

作者简介: 刘小羽(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。

follows: (1) 3.5~5 ku HSPP was more prominent in the functional characteristics; (2) 3.5~5 ku HSPP contained 88.2% crude protein and rich amino acid, the average score of essential amino acids was 91.31 and amino acid composition accorded with FAO/WHO standard which proved that it belongs to high quality protein; (3) 3.5~5 ku HSPP reduced the adhesive and mastication of pizza that making it tasty sticky teeth. The hardness was improved and the elasticity was reduced which making mastication decreased but little effect; (4) Endothermic enthalpy increment of pizza cake added 3.5~5 ku HSPP in 5 d was 2.23 J/g which less than 7.5 J/g in the blank group, it was proved to be helpful to delay the staling of pizza cake.

Key words: hairtail surimi; ultrafiltration; protein powder; functional characteristics; pizza cake; staling

蛋白质是构成组织和细胞的重要成分，与健康息息相关。通过膳食途径摄入的蛋白质，在人体中的消化吸收率较低，氨基酸组成和含量往往不能满足人体所需，因此就要通过其他有效途径进行补充。蛋白粉作为补充蛋白质的重要途径，不仅具有合理的氨基酸组成，而且经水解的多肽更易吸收。蛋白粉目前已被证实有多种功效，具有重要的保健作用。

带鱼营养价值极高，100 g带鱼的蛋白质含量高达18.1 g，含有多种维生素和微量元素。目前食品行业对于带鱼的加工以鱼糜制品为主，而鱼糜中含有大量优质蛋白，亟待利用和优化。碱性蛋白酶(Alcalase)被证实为最适用于酶解海洋蛋白的酶，它对海洋蛋白的提取率和经济性均高于其他种类蛋白酶^[1]。张群飞等^[2]利用响应面分析法优化了碱性蛋白酶对虾籽的酶解工艺，2种鲜味氨基酸天冬氨酸和谷氨酸含量在酶解后显著提高，酶解液鲜味突出，为调味料生产提供参考。Ovissipour M等^[3]研究了碱性蛋白酶对黄鳍金枪鱼内脏的水解工艺，在此工艺下水解度超过53%，水解液具有较高的蛋白质含量(72.34%)和较低的脂肪含量(1.43%)，氨基酸含量丰富，可用于动物饲料的生产。目前尚未见到以带鱼鱼糜为原料，应用碱性蛋白酶生产带鱼鱼糜蛋白粉(Hairtail surimi protein powder, HSPP)的报道。

本文以带鱼鱼糜为原料，经碱性蛋白酶酶解后超滤分段，研究不同分子质量段HSPP的功能特性。筛选出最佳HSPP进行基本成分和氨基酸分析并应用于披萨饼坯中，采用TA和DSC研究其对质构的影响和在延缓披萨饼坯老化方面的作用，以期蛋白粉在风味食品中的应用提供理论参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

带鱼鱼糜冻品：宁波超星海洋生物制品有限公司，用锯子将冷冻鱼糜分装成100 g/份，用密封袋密封，置于-20 ℃冰箱中保存，使用时于前一夜取出，置于4 ℃冷藏室中缓慢解冻；玉米胚芽油：山东西王食品有限公司；小麦粉：香满园美味富强小麦粉；黄油：内蒙古呼和浩特市天美华乳食品有限责任公司；食盐：浙江绿海制盐有限责任公司。

碱性蛋白酶(酶活力 ≥ 200 units/mg)：上海瑞永生物科技有限公司；卡拉胶：河南广亿食品添加剂产品有限公司；氢氧化钠、硫酸、硫酸钾、五水硫酸铜：分析纯试剂，国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器设备

PHS-3C pH计：上海兰科仪器有限公司；HWS-12电热恒温水浴锅：上海齐欣科学仪器有限公司；电子天平：赛多利斯科学仪器有限公司；1812G膜分离设备：杭州沃腾膜工程有限公司；N-1000旋转蒸发器：日本EYELA8400公司；FD-1000冷冻干燥机：日本东京理化器械株式会社；VORTEX-5漩涡混合仪：海门市其林贝尔仪器制造有限公司；全自动索氏抽提系统、8400全自动凯氏定氮仪：丹麦福斯有限公司；Agilent 1100型液相色谱仪：美国安捷伦公司；长帝电烤箱：奕兰电器有限公司；TMS-PRO质构仪：美国FTC公司；ECLIPSE倒置显微镜：日本Nikon公司；DSC 200 F3差式量热扫描仪：德国NETZSCH公司。

1.3 方法

1.3.1 带鱼鱼糜蛋白粉的制备 缓慢解冻后的带鱼鱼糜经碱性蛋白酶^[4]在温度48 ℃、料液比1:3、加酶量1.65%的条件下酶解3.80 h，酶解、抽滤后得到淡黄色澄清酶解液。在0~1 MPa压力下超滤，依次透过分子质量为5、3.5、1 ku的超滤膜，分



别得到分子质量为>5 ku、3.5~5 ku、1~3.5 ku、<1 ku的带鱼鱼糜多肽滤出液。于旋转蒸发仪40℃真空浓缩，冷冻干燥后即得分级的HSPP。HSPP按分子质量由小到大命名为A、B、C、D，各HSPP质量比分别为A—30.7%、B—36.5%、C—25.4%、D—7.4%。

1.3.2 带鱼鱼糜蛋白粉的功能特性

1.3.2.1 起泡及泡沫稳定性测定 参照杨柳^[5]的方法并做相应改进：取1 g蛋白粉，置于20 mL浓度为0.01 mol/L的pH7.0磷酸缓冲液中，配制成5%蛋白溶液。在高速均质机下以10000 r/min的速度搅打2 min，快速转移至50 mL量筒中，记录0、15 min时泡沫高度，并重复2次实验。计算公式如下：

$$\text{起泡性}(\%)=(H_0-H)/H$$

式中：H为未搅打时溶液的高度，cm；

H_0 为搅打停止时泡沫的高度，cm。

$$\text{起泡稳定性}(\%)=(H_{15}/H_0) \times 100$$

式中： H_{15} 为搅打停止时泡沫的高度，cm。

1.3.2.2 乳化及乳化稳定性测定 参照于泓鹏^[6]的方法。

1.3.2.3 持水性测定 参照殷贺中^[7]的方法：准确称取0.1 g蛋白粉，置于10 mL离心管中加5 mL超纯水，用VORTEX-5漩涡混合仪混匀30 s，静置30 min后，在3000 r/min下离心10 min。除去上层的水分，倒置于滤纸上沥干，称重。2次重复，取平均值。计算公式如下：

$$\text{持水性}=(W_2-W_1)/W_0$$

式中： W_0 为蛋白粉质量，g；

W_1 为离心管和蛋白粉总质量，g；

W_2 为离心后离心管和蛋白粉总质量，g。

1.3.2.4 吸油性测定 参照殷贺中^[7]的方法：准确称取0.1 g蛋白粉，置于10 mL离心管中加5 mL玉米胚芽油，用VORTEX-5漩涡混合仪混匀30 s，静置30 min后，在3000 r/min下离心10 min。除去油层，倒置于滤纸上沥干，称重。2次重复，取平均值。计算公式如下：

$$\text{持油性}=(W_2-W_1)/W_0$$

式中： W_0 为蛋白粉质量，g；

W_1 为离心管和蛋白粉总质量，g；

W_2 为离心后离心管和蛋白粉总质量，g。

1.3.2.5 凝胶强度测定 蛋白粉凝胶制备：准确称取0.25 g带鱼鱼糜蛋白粉和0.5 g卡拉胶，加50 mL

纯水溶于100 mL烧杯中，不断搅拌，直至全部溶解。将烧杯放入95℃水浴锅中恒温放置30 min后迅速取出，冰水浴冷却，转移至4℃冰箱保存6 h。取出在室温下放置30 min，回温至室温后进行测定，2次重复，取平均值。

凝胶质构特性测定：将装有带鱼鱼糜蛋白粉凝胶的烧杯放在物性仪的载物台上，采用P0.5型圆柱形平头探头，对准试样的中心位置，由电脑控制探头以一定速度下压，使凝胶表面形变40%时测定其凝胶强度。

探头直径：25 mm，测前速度：2.0 mm/s，测试速度：2.0 mm/s，测后速度：2.0 mm/s。

带鱼鱼糜蛋白粉凝胶组织参数：硬度和弹性。

1.3.3 带鱼鱼糜蛋白粉基本成分分析与氨基酸评价 基本成分分析：均采用国标方法。

氨基酸组成分析：采用高效液相色谱-在线衍生联用^[8]的方法。

氨基酸评价：采用Chavan等^[9]的方法计算必需氨基酸比重，并将氨基酸组成与FAO/WHO推荐的必需氨基酸需要量模式进行比较，计算出氨基酸评分(AAS)，计算公式如下：

$$\text{EAA/TAA}(\%)=(\text{必需氨基酸总量}/\text{氨基酸总量}) \times 100$$

$$\text{AAS}(\%)=(\text{测试蛋白质氨基酸含量}/\text{FAO/WHO模式中同种氨基酸含量}) \times 100$$

1.3.4 带鱼风味披萨饼坯配方 披萨饼坯制作参照李雯昕^[10]的方法，并根据实际情况对披萨饼各成分含量略作调整，具体成分配方如表1所示。

表1 带鱼风味披萨饼坯配方表

项目	水	酵母	食盐	黄油	蛋白粉	
添加量 /%	空白组	52	1.5	1.2	7	0
	5%HSPP					5

注：以上各添加量基于面粉总质量。

1.3.5 披萨饼内部结构分析 在ECLIPSE倒置显微镜下放大4倍，观察其内部网孔大小。

1.3.6 带鱼风味披萨饼坯质构分析 测定在4℃冰箱内贮藏0~5 d的披萨饼坯的质构，每天同一时间从较厚的饼边部位取样，剥去硬壳，切成20 mm×20 mm×25 mm的块状，确保待测样品表面和底面平整。将待测样品放在物性仪的载物台上，采用直径12 mm的圆柱形平头探头，对

准试样的中心位置，由电脑控制探头以一定速度下压，压缩程度60%。每组样品测试3次，取平均值。

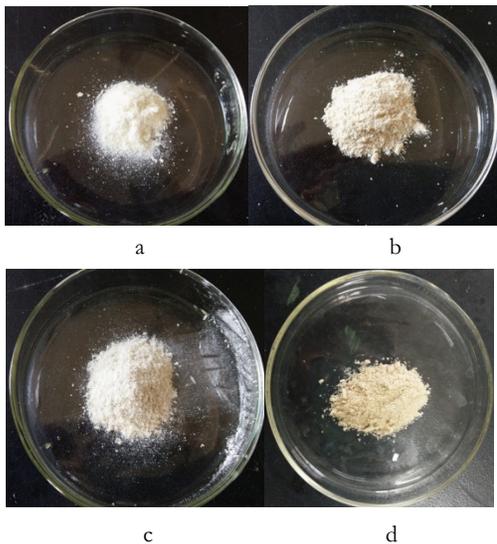
探头直径：12 mm，测前速度：1.0 mm/s，测试速度：3.0 mm/s，测后速度：3.0 mm/s。

组织参数：硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性。

1.3.7 老化焓值的测定 分别取在4℃冰箱内贮藏1~5 d的披萨饼芯进行焓值测定。准确称取5~10 mg披萨饼芯试样置于银质坩埚内，盖上锅盖，用密封压机密封。依次用镊子取下炉盖和2个内盖，用镊子将盛放样品的坩埚放在右侧热流传感器的中心位置，空白坩埚放在左侧热流传感器的中心位置，再依次盖上2个盖子。设置升温速率为10℃/min，终止温度为160℃，液氮为冷却介质。

2 结果与分析

2.1 带鱼蛋白酶解物不同组分的色泽



注：a为蛋白粉A的样品图，b为蛋白粉B的样品图；c为蛋白粉C的样品图；d为蛋白粉D的样品图。

图1 不同分子质量带鱼糜蛋白粉对照

图1为超滤后得到的不同分子质量的蛋白粉。由图1可知，蛋白粉颜色深浅与其分子质量大小有一定关联性。分子质量越小颜色越浅，蛋白粉A颜色最浅，呈乳白色；蛋白粉D颜色最深，呈黄褐色；蛋白粉B和C的颜色差异不大。这是因为随着膜截留分子质量的降低，膜通量明显减小，透过液的色泽明显变浅从而导致蛋白粉的颜色变浅^[11]。

2.2 带鱼蛋白酶解物不同组分起泡性的分析

由图2可知，随着分子质量的变化，蛋白粉的

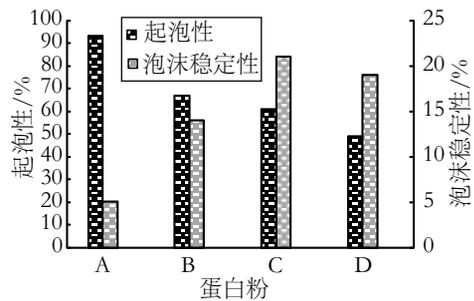


图2 不同分子质量带鱼糜蛋白粉的起泡及泡沫稳定性

起泡性与泡沫稳定性呈明显的变化规律。起泡性随分子质量增大呈现出明显的下降趋势，蛋白粉A的起泡性高达94.4%，当分子质量>5 ku时，蛋白粉D起泡性仅为48.2%。一方面可能与溶液黏度有关，分子质量越小溶液黏度越低，搅打过程中更容易产生气泡^[12]。另一方面分子质量越小说明水解越彻底，疏水基团暴露也越多，同时小分子肽较大分子肽能更快进入气液界面，在界面展开并进行重组，所以起泡性增强^[13-14]。泡沫稳定性在一定范围内与分子质量大小成正比，当分子质量继续增大泡沫稳定性下降，这说明泡沫稳定性与分子质量大小没有必然的联系。

2.3 带鱼蛋白酶解物不同组分乳化性的分析

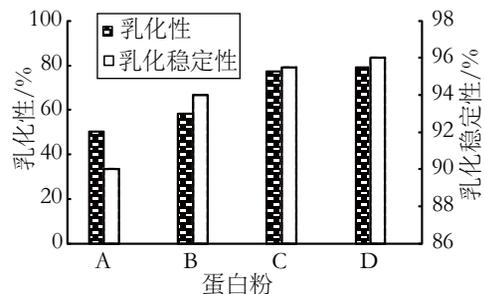


图3 不同分子质量带鱼糜蛋白粉的乳化及乳化稳定性

由图3可知，乳化性和乳化稳定性均随着分子质量的增大而增强，蛋白粉C的乳化性和乳化稳定性最为突出。这是因为水解程度越高，大分子肽分解成小肽和氨基酸的数量越多，维持多肽结构的分子间作用力破坏越严重，乳化性越差。水解过程会使维持溶液乳化性的水化层破坏，这也会大大降低乳化能力^[15]。

2.4 带鱼蛋白酶解物不同组分持水性和吸油性的分析

持水性和吸油性分别代表蛋白质保持水分和吸附油脂的能力。持水性的高低直接决定着食品的质地、风味和组织状态，而较好的吸油性能提高食品的适口性和风味^[7]。由图4可以看出，不同

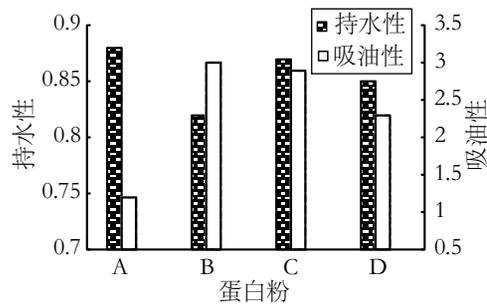


图4 不同分子质量带鱼鱼糜蛋白粉的持水性和吸油性

分子质量段的蛋白粉持水性和吸油性的差异较为明显。蛋白粉C的持水性和吸油性较为均衡，这主要是亲水基团和疏水基团共同作用的结果。

2.5 带鱼蛋白酶解物不同组分凝胶强度的分析

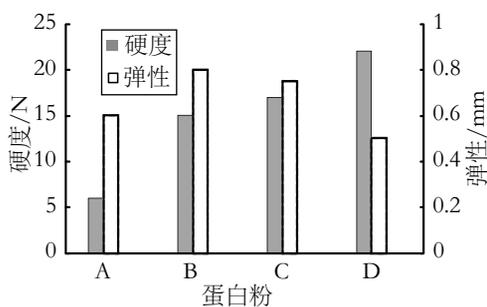


图5 不同分子质量带鱼鱼糜蛋白粉的凝胶强度

由图5可以看出，不同分子质量段的蛋白粉凝胶的硬度和弹性存在显著差异。硬度与分子质量成正比，蛋白粉D的硬度最大，这是因为凝胶结构需要依靠分子间作用力维持，水解越彻底则有序结构区域越少，凝胶网络越差，凝胶性越低^[16]。弹性与分子质量之间没有明确的关联，蛋白粉B的弹性最大。通过对比不同分子质量段的蛋白粉凝胶强度可以发现，硬度与弹性之间有一定的相互影响，硬度较高的蛋白粉往往弹性越差，蛋白粉C的硬度与弹性相对平衡，具有较好的凝胶性。

2.6 蛋白粉C基本成分分析及氨基酸

对蛋白粉C进行基本成分与17种水解氨基酸组成分析。基本成分见表2，氨基酸测定结果见表3。

表2 蛋白粉C的基本成分

项目	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
含量/%	6.71	88.2	0.96	2.79

氨基酸的种类和数量决定着蛋白粉品质的高低。由表3可知，蛋白粉C的氨基酸种类齐全，

表3 蛋白粉C的水解氨基酸含量 mg/g

项目	含量	WHO/FAO 评分模式	氨基酸评分 (AAS)
天冬氨酸(ASP)#	177.42		
谷氨酸(THR)#	104.29		
胱氨酸(CYS)	/		
丝氨酸(SER)#	27.58		
甘氨酸(GLY)#	42.32		
组氨酸(HIS)	7.89		
精氨酸(ARG)	5.57		
苏氨酸(THR)*	35.02	40	87.55
丙氨酸(ALA)#	42.19		
脯氨酸(PRO)	32.52		
酪氨酸(TYR)	25.22		
缬氨酸(VAL)*	45.03	50	90.06
蛋氨酸(MET)*	19.65		
异亮氨酸(ILE)*	40.35	40	100.88
亮氨酸(LEU)*	57.96	70	82.80
苯丙氨酸(PHE)*	26.73		
赖氨酸(LYS)*	52.38	55	95.24
苯丙氨酸+酪氨酸	51.95	60	86.58
蛋氨酸+胱氨酸	/	35	/
必需氨基酸总量(EAA)	277.12		
非必需氨基酸(NEAA)	465		
呈味氨基酸总量	393.8		
氨基酸总量(TAA)	742.12		
EAA/TAA	37.34		

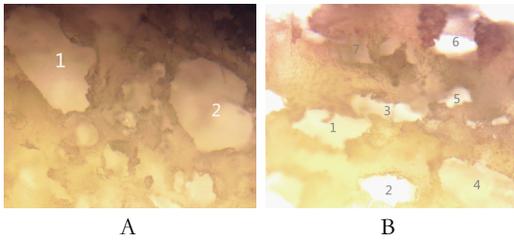
注：*—必需氨基酸；#—呈味氨基酸；/—未检测出。

苏氨酸、赖氨酸等7种人体所必需的氨基酸总量(EAA)为277.12 mg/g，丝氨酸等非必需氨基酸总量(NEAA)为465 mg/g，可以满足人体对氨基酸的日常需求。天冬氨酸、谷氨酸等5种呈味氨基酸总含量达393.8 mg/g，使蛋白粉C具有良好的海鲜风味，为蛋白粉C在食品中的应用提供了条件。各必需氨基酸的平均得分为91.31，其中异亮氨酸得分最高为100.88，说明蛋白粉C的营养价值较高。必需氨基酸(EAA)与氨基酸总量(TAA)的比值为37.34%，必需氨基酸(EAA)与非必需氨基酸(NEAA)的比值为59.6%，非常接近于FAO/WHO提出的EAA/TAA比值40%、EAA/NEAA比值60%以上的参考蛋白模式，说明蛋白粉C属于优质蛋白。

2.7 蛋白粉对披萨饼坯内部结构的影响

选用蛋白粉C，采用表1配方制作披萨饼坯，醒发至2倍体积大小，在220℃下烘烤12 min得到

熟制披萨饼坯，切成厚薄均匀的薄皮置于显微镜下观察，观察到的组织结构见图6。



注：A为空白组的组织结构图；B为添加5%蛋白粉C的组织结构图。

图6 披萨饼坯内部组织结构图

通过观察发现，图6A存在2个较为明显的大气泡和若干小气泡且分布不均匀，较大的气泡会对面筋网络结构造成破坏，使支撑力降低。同时气壁较薄，组织结构不够紧密，这样会导致披萨饼芯内陷，气孔壁易破裂，造成披萨饼坯厚薄不一或变形。图6B中可见的完整气泡有7个，它们孔径大小相近、分布均匀，气壁连接紧密且具有一定的厚度，稳定的组织结构有助于提高披萨饼坯的硬度和承重力，不易变形。

2.8 蛋白粉C对披萨饼坯质构的影响

将熟制的披萨饼坯保存于4℃冰箱内，每天同一时间取出回温至室温，分别研究硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性在5 d内的变化情况。

2.8.1 蛋白粉C对硬度的影响

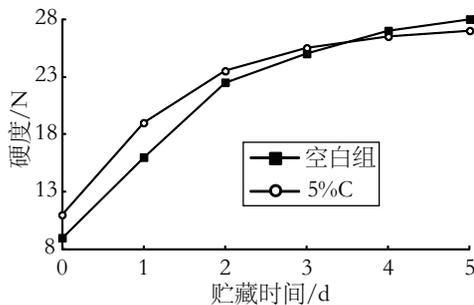


图7 添加蛋白粉C对硬度的影响

通过观察图7中披萨饼坯硬度变化情况可知，添加了5%蛋白粉C的披萨饼坯硬度更大。这可能是由于蛋白粉C的持水性较好，粒径较小，填充在面筋网络结构中使硬度增大^[17]。无论是否添加了蛋白粉C，披萨饼坯硬度均随贮藏时间延长而明显增大，这是因为水分是影响食品硬度的一个重要因素。随着贮藏时间的延长，水分逐步散失，硬度逐渐增加。添加5%蛋白粉C的披萨饼坯硬度增加趋势较空白组更为缓慢，在贮藏5 d时空

白组的硬度超过了添加5%蛋白粉C的披萨饼坯，这说明蛋白粉C可能有助于抑制低温存放过程中的淀粉回生，具有一定的抗老化作用。

2.8.2 蛋白粉C对弹性的影响

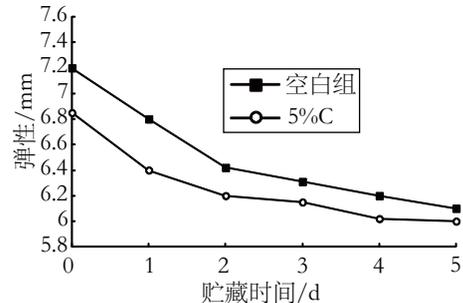


图8 添加蛋白粉C对弹性的影响

弹性是变性样品在去除变性力后恢复到变性前的高度或体积比率。由图8可知，添加5%蛋白粉C后，披萨饼坯弹性有所下降但降幅不大。披萨饼坯弹性随贮藏时间延长而下降，前2 d空白组的披萨饼坯弹性呈直线下降，这可能是因为淀粉聚合物的形成使面包迅速老化^[18]。而添加5%蛋白粉C的披萨饼坯弹性在5 d贮藏期内下降速率整体较为缓慢，这是因为蛋白粉C中的多肽与面粉中的蛋白形成的凝胶结构可以包裹部分淀粉和水，从而减少淀粉回生的比例，可以有效地减缓饼坯的老化。

2.8.3 蛋白粉C对胶黏性的影响

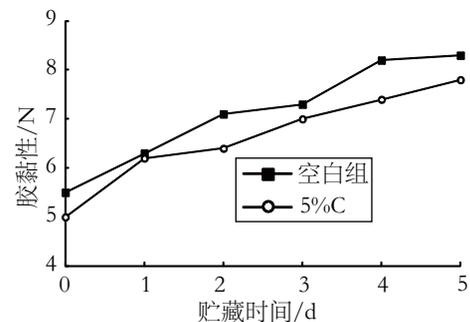


图9 添加蛋白粉C对胶黏性的影响

披萨饼坯胶黏性在一定贮藏时间内的变化情况如图9所示。由图9可知，2组披萨饼坯的胶黏性随着贮藏时间的延长均呈上升的趋势，只是2组数值的增加幅度有所差异。添加5%蛋白粉C有助于降低披萨饼坯胶黏性，使披萨饼食用起来爽口不黏牙。添加了5%蛋白粉C的披萨饼坯胶黏性增幅小于空白组，在一定贮藏期内品质更加稳定。

2.8.4 蛋白粉C对咀嚼性的影响

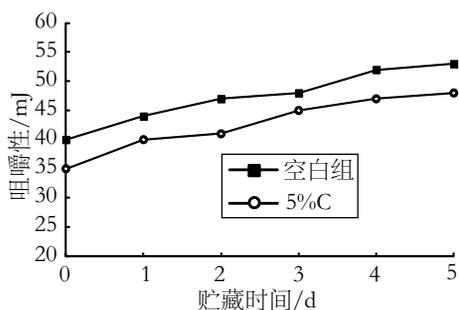


图10 添加蛋白粉C对咀嚼性的影响

观察图10的咀嚼性变化情况可知, 披萨饼坯的咀嚼性与贮藏时间成正比关系, 这是因为随着贮藏时间的增加, 水分不断从淀粉中逸出导致披萨饼坯老化程度不断增大。添加5%蛋白粉C的披萨饼坯咀嚼性明显低于空白组, 口感更为疏松。

2.9 蛋白粉C对披萨饼坯吸热焓值的影响

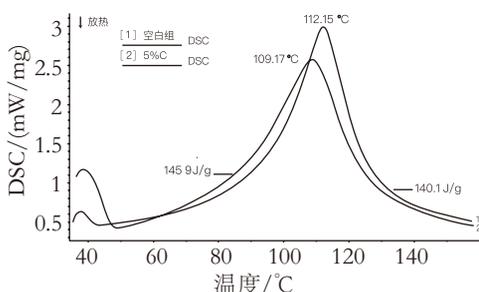


图11 蛋白粉C对吸热焓的影响

图11是新鲜烤制的披萨饼坯的DSC曲线, 空白组的热变性起始温度为96.6 °C, 峰值温度 T_m 为112.15 °C, 吸热焓 ΔH 为140.1 J/g; 添加5%蛋白粉C披萨饼坯的热变性起始温度为89.1 °C, 峰值温度 T_m 为109.17 °C, 吸热焓 ΔH 为145.9 J/g。蛋白粉C使吸收峰向左下飘移, 这可能是因为小分子肽进入面筋网络结构, 使得淀粉颗粒间的部分氢键断裂, 淀粉颗粒与肽形成新的网络结构, 使得热变性温度降低。变性起始温度也与样品颗粒大小有关, 一般来说, 尺寸越小, 起始温度越低, 因

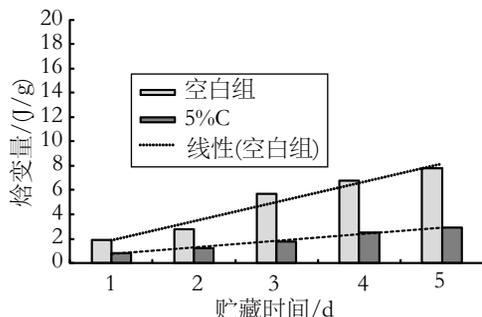


图12 蛋白粉C对焓变量的影响

此在实验中应尽量避免颗粒大小不均匀造成的实验误差。添加5%蛋白粉C的披萨饼坯热焓值 ΔH 较空白组有所升高, 这是因为蛋白粉C有较好的持水性, 在程序升温过程中水分子的解离较空白组更为不易, 因此需要的能量更多。

面制品老化的一个重要因素是淀粉的老化。随着低温下贮藏时间的延长, 支链淀粉的重结晶现象将逐步明显, 此时淀粉的长期老化开始, 支链淀粉的老化程度决定着产品的最终老化度^[19]。通过差示量热扫描仪(DSC)可以测得披萨饼坯在一定贮藏时间内的吸热焓值变化情况, 从而观察老化规律。图12是披萨饼坯在4 °C冰箱里贮藏1~5 d吸热焓值的变化情况。从图中可以看出随着贮藏时间的延长, 2组披萨饼坯的老化吸热焓均逐步增大, 说明披萨饼坯发生老化。空白组的披萨饼坯焓值增速明显, 5 d内焓值增量7.5 J/g。添加5%蛋白粉C的披萨饼坯的焓值增速明显小于空白组, 5 d内老化焓值增量2.23 J/g。空白组的披萨饼坯中游离的水分子较多, 随着这些水分子逸出, 淀粉颗粒间碰触的机会变大, 形成的结晶更加完善, 从而易于发生老化, 所需的焓值更大。这与周国燕^[20]的研究结果相一致。添加5%蛋白粉C的披萨饼坯焓变量小于空白组是由于蛋白粉C良好的持水性可以固定更多的水分子, 使得披萨饼坯中可以迁移的水分子质量下降, 阻止了淀粉颗粒间的接触从而抑制重结晶。也可能因为蛋白粉C与面筋蛋白作用, 生成的网络结构可以更好地抑制老化作用。

3 结论

经超滤分段的HSPP在功能特性上有显著差异。起泡性与分子质量成反比, 泡沫稳定性与起泡性大致成负相关但没有必然联系; 乳化性和乳化稳定性变化趋势一致, 与分子质量成正比; 持水性和吸油性的变化与分子质量没有明显关联, 这是因为肽链结构的差异造成亲水基团和疏水基团数目不同, 从而影响持水性和吸油性; 凝胶强度与分子质量没有明显的线性关系, 但硬度与弹性之间有一定的相互影响, 硬度较高的HSPP弹性往往越差。对4个分子质量段的HSPP综合分析发现, 蛋白粉C在各功能特性中的表现较为突出, 可以广泛应用于食品加工中, 改善食品特性。

蛋白粉C的蛋白质含量88.2%, 氨基酸组成合

理, 含量丰富, 能够满足人体对氨基酸的需求。氨基酸得分较高, 是优质蛋白, 添加到食品中可以极大提高产品的营养品质。呈味氨基酸含量丰富, 使蛋白粉C具有一定的鲜味, 可以运用于调味品等风味食品的生产中。

将蛋白粉C应用到披萨饼坯制作中, 生产出的披萨饼坯具有怡人的海鲜风味。通过TPA测试发现, 蛋白粉C可以降低披萨饼坯的胶黏性和咀嚼性, 使披萨饼坯食用起来更加爽口且不黏牙。蛋白粉C提高了披萨饼坯硬度的同时也降低了弹性, 使得嚼劲有所下降但对感官品质影响不大, 总体来说口感较为疏松。

蛋白粉C在延缓淀粉老化方面的作用较为突出, 主要表现为减缓披萨饼坯硬度和吸热焓值的增速。一方面蛋白粉C有良好的持水性, 可以减缓水分逸出; 另一方面可能是蛋白粉C与面筋蛋白结合成的新网络结构可以抑制淀粉的重结晶, 从而延缓淀粉老化。对于蛋白粉C-面筋蛋白结构的研究有待进一步深化。

参考文献:

- [1] Gbogouri G A, Linder M, Fanni J, et al. Influence of hydrolysis degree on the functional properties of salmon byproducts hydrolysates[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(8): 615-622.
- [2] 张群飞, 徐大伦, 杨文鸽. 响应面法优化碱性蛋白酶酶解虾籽的工艺条件[J]. 核农学报, 2014, 28(5): 876-882.
- [3] Ovissipour M, Abedian Kenari A, Motamedzadegan A, et al. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Visceral Waste Proteins of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*)[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(2): 696-705.
- [4] 厉望, 靳挺, 武玉学. 带鱼蛋白酶解条件优化及酶解物抗氧化性能[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 234-239.
- [5] 杨柳, 江连洲, 李杨, 等. 水酶法提取的大豆蛋白功能特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 80-84.
- [6] 于泓鹏, 陈运生, 吴克刚, 等. 罗非鱼酶解多肽的乳化性及

乳化稳定性研究[J]. 中国食品添加剂, 2015, (2): 94-100.

- [7] 殷贺中. 不同种脱脂榛子粉、榛子蛋白粉理化性质比较研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [8] 陈春晓, 陈卫, 仲岳桐, 等. 高效液相色谱-在线衍生联用技术检测食品中氨基酸[J]. 中国卫生检验杂志, 2005, 15(4): 457-458.
- [9] Chavan U D, McKenzie D B, Shahidi F. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus L.*)[J]. Food Chemistry, 2001, 74(2): 177-187.
- [10] 李雯昕. 冷冻面团技术在披萨面团制作中的应用研究[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 186-189.
- [11] 周利豆, 王君虹, 陈新峰, 等. 三酶复合法提取大豆多肽工艺的研究[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(4): 241-245.
- [12] 李玉珍, 肖怀秋. 蛋白酶酶解液水解度对起泡性和乳化性的影响研究[J]. 粮油食品科技, 2009, 17(6): 21-22.
- [13] Mutilangi W A M, Panyam D, Kilara A. Functional properties of hydrolysates from proteolysis of heat-denatured whey protein isolate[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2): 270-275.
- [14] Dickinson E. Surface active and emulsifying properties of caseins[J]. Journal of dairy research, 1989, 56(3): 471-477.
- [15] Gbogouri G A, Linder M, Fanni J, et al. Influence of hydrolysis degree on the functional properties of salmon byproduct hydrolysates[J]. Journal of Food Science, 2006, 69(8): 615-622.
- [16] 申锋. 草鱼鱼鳞胶原肽的制备及其特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [17] 张月巧, 陈龙, 卢可可, 等. 添加不同粉碎香菇粉对面团发酵特性及面包品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 211-220.
- [18] 孙银凤, 徐岩, 黄卫宁, 等. 不同发酵基质的酸面团对酵母面团体系面包烘焙及老化特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 37-42.
- [19] 范晨丽. 预烤冷冻工艺对面包品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
- [20] 周国燕, 胡琦玮, 李红卫, 等. 水分含量对淀粉糊化和老化特性影响的差示扫描量热法研究[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 89-92.