

3 种即食鱼豆腐营养成分分析及凝胶性能评价

徐祖东¹, 戴志远^{1,2,*}, 陈康¹, 马旭婷¹, 薛静¹

(1. 浙江工商大学海洋食品研究院, 浙江 杭州 310012; 2. 浙江省水产品加工技术研究联合重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 以3种市售即食鱼豆腐(鱼豆腐A、B、C)为研究对象, 对其营养成分和凝胶性能进行分析及评价。结果表明: 3种鱼豆腐的水分质量分数分别为65.94%、69.34%和67.20%; 粗蛋白质量分数分别为25.63%、22.02%和23.81%; 粗脂肪和灰分含量较低。氨基酸种类齐全, 必需氨基酸/总氨基酸质量分数分别为39.43%、39.64%和39.57%, 鲜味氨基酸/总氨基酸质量分数分别为37.11%、36.06%和36.32%; 第1限制氨基酸均是亮氨酸, 必需氨基酸指数评分分别为43.81、53.14和49.57。分别检出21、22、21种脂肪酸, 且多不饱和脂肪酸含量丰富, 分别为59.14%、63.39%和44.59%。3种鱼豆腐持水性较好, 分别为84.61%、86.36%和82.98%; pH值分别为6.04、6.06、6.23; 凝胶强度较高, 分别为320.17、203.63、212.71 g·cm。3种鱼豆腐均属于营养种类齐全, 凝胶性能良好的即食食品。研究数据为进一步评定市售鱼豆腐产品质量提供了一定参考。

关键词: 鱼豆腐; 营养成分; 凝胶性能

Nutritional Components and Gelling Properties of Three Brands of Commercial Ready-to-Eat Fish Tofu

XU Zudong¹, DAI Zhiyuan^{1,2,*}, CHEN Kang¹, MA Xuting¹, XUE Jing¹

(1. College of Seafood, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012, China;

2. State Key Laboratory of Aquatic Products Processing of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Three brands of commercial ready-to-eat fish tofu (A, B, and C) were purchased and evaluated for their nutritional components and gelling properties. The results showed that the moisture contents of brands A, B and C were 65.94%, 69.34% and 67.20%, respectively, crude protein contents were 25.63%, 22.02% and 23.81% respectively, and crude fat and ash contents were low. All three brands contained a variety of amino acids with ratios of essential to total amino acids of 39.43%, 39.64% and 39.57%, and ratios of umami taste to total amino acids of 37.11%, 36.06% and 36.32% respectively; the first limiting amino acid was leucine (Leu) for all three samples, and the essential amino acids index (EAAI) scores for brands A, B and C were 43.81, 53.14 and 49.57, respectively. A total of 21, 22, and 21 fatty acids were detected in these three brands, and the contents of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) were high in them (59.14%, 63.39% and 44.59%, respectively). Water holding capacity of these fish tofu samples were high, which were 84.61%, 86.36% and 82.98% respectively. Moreover, pH values were 6.04, 6.06 and 6.23 and gel strengths were 320.17, 203.63 and 212.71 g·cm, respectively. Accordingly, this study demonstrated that fish tofu is a ready-to-eat food containing a variety of amino acids and having good gel performance. Data from this study may provide the foundation for further evaluation of the quality of commercial fish tofu products.

Key words: fish tofu; nutritional components; gelling properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718015

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)18-0093-06

引文格式:

徐祖东, 戴志远, 陈康, 等. 3种即食鱼豆腐营养成分分析及凝胶性能评价[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 93-98.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718015. <http://www.spkx.net.cn>

XU Zudong, DAI Zhiyuan, CHEN Kang, et al. Nutritional components and gelling properties of three brands of commercial ready-to-eat fish tofu[J]. Food Science, 2017, 38(18): 93-98. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718015. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-07-16

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B05)

作者简介: 徐祖东(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: xuzudongcr7@163.com

*通信作者: 戴志远(1958—), 男, 教授级高级工程师, 学士, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: dzy@mail.zjgsu.edu.cn

即食鱼豆腐是一种新兴的休闲鱼糜制品,有别于传统的鱼糜制品,可在常温下保存和流通,并且食用方便,开袋即食^[1]。其主要原料为冷冻鱼糜、大豆蛋白和食用淀粉等。制作工艺是将冷冻鱼糜和大豆蛋白等主料混合后经斩拌、摆盘、凝胶化、熟化、成形等步骤后冻结,再将冻结后的半成品经卤煮、冷却、拌料、包装后制成成品。之后进行杀菌、清洗烘干,经温检、分拣、再包装后装箱入库,进入销售渠道。

在加工过程中加入一定量的蛋白质、谷氨酰胺转氨酶或可降解高聚物^[2-4],可提高鱼糜制品口感和凝胶强度。即食鱼豆腐作为鱼糜制品与豆制品的结合产品,既具有鱼糜制品的良好口感,又因为添加了大豆蛋白而增加了豆制品的营养成分。豆制品蛋白质易于消化吸收,不含胆固醇,多食用可以降低动脉硬化等疾病的发生率,添加到肉制品中,不仅增加营养成分,而且能够改善肉制品的外观、质地等品质特性^[5]。同时经卤煮,添加辅料等工序又形成了独特的风味。目前,已有多家企业对即食鱼豆腐制品进行开发与生产,但对其研究的报道尚不多见。本实验随机选取了市场上3个品牌的即食鱼豆腐作为研究对象,对其进行营养成分、凝胶性能的分析 and 比较,旨在了解其具体营养价值以及产品性状,为消费者的购买食用及生产者的研发改进提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同厂家的3种即食鱼豆腐,购于杭州市教工路物美超市,常温保藏待用。

37种脂肪酸甲酯标准品、17种氨基酸混合标准品美国Sigma-Aldrich公司;14%三氟化硼(甲醇溶液)上海安谱科学仪器有限公司;石油醚、苯酚、丙酮、正己烷(均为色谱纯)国药集团化学试剂有限公司;凯氏定氮催化剂北京金元兴业科技有限公司;高纯氮气杭州今工特种气体有限公司;盐酸、硫酸、硝酸、硼酸、甲醇、氯仿、氯化钠、无水硫酸钠、氢氧化钠衢州巨化试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

水分测定仪 美国Ohaus公司;马弗炉 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;自动恒温干燥箱 上海市实验仪器总厂;B-324凯氏定氮仪、K-435型消化炉 瑞士Büchi公司;RC-6 Plus高速冷冻离心机 美国Thermo Fisher公司;DK-S 12型电热恒温水浴锅 上海森信实验仪器有限公司;T-18均质机 德国IKA公司;DSY-III型氮吹仪北京金科精华苑科技有限公司;L-8800氨基酸自动分析仪

日本Hitachi公司;7890A气相色谱仪 美国Agilent公司;TMS-Pro质构仪 美国FTC公司。

1.3 方法

1.3.1 基本营养成分的测定

水分含量按照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》直接干燥法测定^[6];灰分含量按照GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》高温灼烧法测定^[7];粗蛋白含量按照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》用自动凯氏定氮法测定^[8],蛋白质系数选为6.25;粗脂肪含量按照GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》索氏抽提法测定^[9]。每个样品均平行测定3次。

1.3.2 氨基酸组成的测定

氨基酸组成按照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》方法^[10],用L-8800高速氨基酸分析仪测定。

1.3.3 氨基酸评分

根据联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)1973年建议的氨基酸评分标准模式^[11]和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白质模式^[12]进行营养评价。按公式(1)、(2)、(3)分别计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)、必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)。

$$AAS = \frac{\text{待测样品氨基酸含量 (N)}}{\text{FAO/WHO评分标准中同种氨基酸含量 (N)}} \times 100 \quad (1)$$

$$CS = \frac{\text{待测样品氨基酸含量 (N)}}{\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (N)}} \times 100 \quad (2)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{\text{赖氨酸}_t \times \text{亮氨酸}_t \times \dots \times \text{缬氨酸}_t \times \text{色氨酸}_t}{\text{赖氨酸}_s \times \text{亮氨酸}_s \times \dots \times \text{缬氨酸}_s \times \text{色氨酸}_s}} \times 100 \quad (3)$$

式中:N表示蛋白质的含量以蛋白氮的量计算/(mg/g);
n为比较的氨基酸数目;t为实验蛋白质的氨基酸含量/(mg/g);s为鸡蛋蛋白质的氨基酸含量/(mg/g)。

1.3.4 脂肪酸组成的测定

参照Bligh等^[13]的方法并略作修改。称取4.00 g鱼豆腐,加入8 mL氯仿,4 mL甲醇,均质3 min后充氮气超声20 min。超声后于4℃、8 500 r/min离心15 min,取下层液于60℃氮气吹至油脂质量恒定。加入0.5 mol/L氢氧化钾-甲醇溶液5 mL,充氮封口,65℃水浴20 min,振摇至油滴消失,冷却后加入14%三氟化硼溶液2 mL,充氮封口,50℃水浴甲酯化5 min后超声10 min。冷却后加入2 mL正己烷,以2 mL饱和氯化钠淋洗上层,静置分层后加入少量无水硫酸钠,取上清液过0.22 μm有机滤膜,待气相分析。

气相色谱条件:色谱柱,HP-INNOWAX毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.15 μm);进样口温度250℃;升温程序:柱温以50℃保持2 min,后以4℃/min升至

220 ℃保持15 min; 载气(高纯氮气)流速0.65 mL/min; 分流比40:1, 进样量1 μL。

1.3.5 pH值测定

称取(3±0.1) g样品, 加入5倍体积的蒸馏水, 均质2 min后于室温3 000 r/min离心15 min。取上层清液, 用pH计测量pH值, 每个样品平行测定3次。

1.3.6 持水性测定

称取3 g左右(W)样品置于两层滤纸(直径110 mm)间折叠放入30 mL离心管中, 3 500 r/min室温离心15 min, 取出样品再次称质量(X), 每个样品平行测定3次^[14]。凝胶样品持水性计算见公式(4):

$$\text{持水性}/\% = \frac{X}{W} \times 100 \quad (4)$$

1.3.7 凝胶强度测定

利用TMS-Pro质构仪测定破裂强度和凹陷深度(5 mm圆柱探头, 60 mm/min穿刺速率), 根据破裂强度-时间曲线, 记录破裂强度和凹陷深度, 并根据公式(5)计算凝胶强度, 每个样品平行测定3次。

$$\text{凝胶强度}/(\text{g} \cdot \text{cm}) = \text{破裂强度}/\text{g} \times \text{凹陷深度}/\text{cm} \quad (5)$$

1.4 数据分析

采用SPSS 16.0软件和Microsoft Excel 2007软件进行数据统计分析。显著性检验方法为Duncan检验, 检测限为0.05, 当 $P < 0.05$ 时, 即为差异显著。实验结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 3种即食鱼豆腐基本营养成分

由表1可知, 3种即食鱼豆腐均为水分含量占基本营养成分的比例最高, 质量分数为65.94%~69.34%(以总质量计), 其中鱼豆腐B的水分含量要明显高于另外2种鱼豆腐($P < 0.05$)。粗蛋白质量分数次之, 为22.02%~25.63%(以总质量计), 且粗蛋白含量之间存在着显著差异($P < 0.05$), 鱼豆腐A的粗蛋白含量最高, 鱼豆腐B含量最低。粗脂肪质量分数为3.59%~4.20%(以总质量计), 其含量为鱼豆腐A<鱼豆腐B<鱼豆腐C($P < 0.05$)。灰分含量鱼豆腐A与B相当, 高于鱼豆腐C($P < 0.05$)。

即食鱼豆腐的水分和粗蛋白含量要高于市售的休闲豆腐干制品(57.75%、19.54%), 且脂肪含量要明显低于市售的休闲豆腐干制品(14.50%)^[15]。3种鱼豆腐粗蛋白含量均明显高于鸡蛋(12.84%)^[16], 且高于我国常见的几种淡水鱼糜^[17]。脂肪含量略高于多数鱼糜制品, 但低于猪肉肌肉脂肪含量(5.80%)^[18]。综上所述, 3种即食鱼豆腐都属于高蛋白, 低脂肪类的休闲食品。

表1 3种即食鱼豆腐基本营养成分

Table 1 Nutritional composition of three brands of ready-to-eat fish tofu

基本营养成分	鱼豆腐A	鱼豆腐B	鱼豆腐C
水分	65.94±0.40 ^a	69.34±1.44 ^b	67.20±0.39 ^a
粗蛋白	25.63±0.39 ^a	22.02±0.47 ^c	23.81±0.57 ^b
灰分	2.73±0.06 ^a	2.73±0.02 ^a	2.31±0.04 ^b
粗脂肪	3.59±0.08 ^a	3.90±0.07 ^b	4.20±0.18 ^c

注: 同一行不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 下表同。表中数据为质量分数, 以湿质量计算。

2.2 氨基酸组成及营养评价

2.2.1 氨基酸组成分析

表2 3种即食鱼豆腐氨基酸成分分析

Table 2 Amino acid composition of three brands of ready-to-eat fish tofu

氨基酸	鱼豆腐A	鱼豆腐B	鱼豆腐C
苏氨酸(Thr)*	0.42±0.02 ^a	0.46±0.01 ^a	0.45±0.02 ^a
缬氨酸(Val)*	0.19±0.00 ^a	0.20±0.00 ^a	0.20±0.00 ^a
甲硫氨酸(Met)*	0.51±0.02 ^a	0.55±0.01 ^a	0.55±0.03 ^a
异亮氨酸(Ile)*	0.80±0.04 ^a	0.86±0.02 ^a	0.87±0.04 ^a
亮氨酸(Leu)*	0.22±0.01 ^a	0.22±0.00 ^a	0.23±0.01 ^a
苯丙氨酸(Phe)*	0.73±0.04 ^a	0.90±0.02 ^b	0.78±0.03 ^a
赖氨酸(Lys)*	2.07±0.01 ^a	1.90±0.02 ^a	2.04±0.10 ^a
组氨酸(His)***	0.24±0.03 ^a	0.26±0.01 ^a	0.26±0.03 ^a
精氨酸(Arg)***	0.61±0.03 ^a	0.69±0.02 ^a	0.66±0.03 ^a
天冬氨酸(Asp)**	1.12±0.05 ^a	1.20±0.03 ^a	1.21±0.04 ^a
丝氨酸(Ser)	0.49±0.03 ^a	0.51±0.02 ^a	0.53±0.02 ^a
谷氨酸(Glu)**	2.63±0.08 ^a	2.47±0.07 ^a	2.52±0.13 ^a
甘氨酸(Gly)**	0.41±0.02 ^a	0.42±0.01 ^a	0.44±0.02 ^a
丙氨酸(Ala)**	0.49±0.02 ^a	0.54±0.01 ^a	0.53±0.02 ^a
胱氨酸(Cys)	1.03±0.03 ^a	1.08±0.02 ^a	1.09±0.04 ^a
酪氨酸(Tyr)	0.57±0.02 ^a	0.54±0.01 ^a	0.59±0.02 ^a
必需氨基酸(EAA)	4.94	5.09	5.12
半必需氨基酸(HEAA)	0.85	0.95	0.92
非必需氨基酸(NEAA)	6.74	6.80	6.90
总氨基酸总量(TAA)	12.53	12.84	12.94
鲜味氨基酸(DAA)	4.65	4.63	4.70
EAA/NEAA	73.29	74.85	74.20
EAA/TAA	39.43	39.64	39.57
DAA/TAA	37.11	36.06	36.32

注: *.必需氨基酸; **.鲜味氨基酸; ***.半必需氨基酸。数据为质量分数。

如表2所示, 16种常见氨基酸在3种鱼豆腐中均有检出, 其中色氨酸由于检测方法的原因, 分析过程中发生分解, 故不作分析。从氨基酸总量上分析, 三者相差不大, 分别为12.84%、12.94%和12.53%。鱼豆腐C中必需氨基酸, 非必需氨基酸和鲜味氨基酸含量均最多, 鱼豆腐B中半必需氨基酸含量最多。

从氨基酸组成来看, 氨基酸含量在不同种类鱼豆腐中的高低顺序基本一致, 含量最高的是谷氨酸(Glu), 其次是赖氨酸(Lys)、天冬氨酸(Asp)和胱氨酸(Cys), 最低的是缬氨酸(Val)。谷氨酸是一种常见的鲜味氨基酸, 广泛应用于味精、香料和营养增强剂的生产。3种鱼豆腐中除谷氨酸外, 天冬氨酸含量也较高,

其中谷氨酸、天冬氨酸为呈鲜味的特征性氨基酸^[19]。丙氨酸、甘氨酸的含量适中，这4种氨基酸组成鲜味氨基酸^[20]。蛋白质中鲜味氨基酸的组成和含量的多少决定了蛋白质的鲜美程度。从表2可以看出，3种鱼豆腐鲜味氨基酸的质量分数分别为4.65%、4.63%、4.70%，占氨基酸总量的37.11%、36.06%、36.32%。此外，3种鱼豆腐所含氨基酸较全面，必需氨基酸分别占氨基酸总量的39.43%、39.64%、39.57%，均超过FAO/WHO标准（35.38%）。特别是赖氨酸含量较高（1.90%~2.07%），其最重要的生理功能是参与体蛋白的合成，与动物生长密切相关^[21]。

3种鱼豆腐中必需氨基酸与非必需氨基酸的比值分别为73.29%、74.85%、74.20%，根据FAO/WHO的理想模式，品质较好的蛋白质其氨基酸组成必需氨基酸与非必需氨基酸的比值在60%以上。3种鱼豆腐均高于其标准值。

2.2.2 氨基酸营养评价

食物中蛋白质的营养价值主要取决于2个因素：必需氨基酸的种类和含量；氨基酸的比例。将表2中氨基酸数据换算成每克氮含氨基酸毫克数，与FAO/WHO所规定的人体必需氨基酸均衡模式和鸡蛋蛋白氨基酸模式进行比较，分别计算AAS、CS和EAAI，对3种鱼豆腐的氨基酸进行营养评价。

表3 3种即食鱼豆腐AAS、CS和EAAI的比较

Table 3 Comparative analysis of AAS, CS and EAAI of three brands of ready-to-eat fish tofu

氨基酸	鱼豆腐A		鱼豆腐B		鱼豆腐C		FAO/WHO推荐对应氨基酸含量/(mg/g)	鸡蛋蛋白对应氨基酸含量/(mg/g)
	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS		
Thr	41	37	52	47	47	42	40	47
Val	15	14	18	17	17	15	50	66
Met+Cys	171	127	210	157	196	146	35	57
Ile	78	64	98	80	91	75	40	54
Leu	12	11	14	12	14	12	70	86
Phe+Tyr	83	59	108	76	95	67	60	93
Lys	148	123	159	131	157	130	55	70
EAAI	43.81		53.14		49.57			

通过氨基酸数据换算可知，3种鱼豆腐的必需氨基酸含量略低于FAO/WHO及鸡蛋蛋白标准模式评分。由表3可知，3种鱼豆腐甲硫氨酸+胱氨酸、赖氨酸的AAS、CS评分较高，均超过100。甲硫氨酸是体内代谢中甲基的供体，可通过多种途径抗击脂质过氧化物对细胞和线粒体膜等重要的细胞器造成损害^[22]。另外，3种鱼豆腐中赖氨酸的含量超过FAO/WHO模式和鸡蛋蛋白质，这对于以谷物食品为主的膳食者来说，它可以弥补谷物食品中赖氨酸的不足，从而提高人体对蛋白质的利用率^[23]。异亮氨酸，苯丙氨酸+酪氨酸的AAS、CS评分接近100。异亮氨酸是支链氨基酸，它有助于促进训练后的肌肉恢复。苯丙氨酸与酪氨酸在一起可合成重要的神经递质和

激素，参与机体糖代谢和脂肪代谢^[24]。亮氨酸和缬氨酸含量较少，在2种评分模式下，它们分别为3种鱼豆腐的第1限制氨基酸和第2限制氨基酸。

2.3 脂肪酸成分分析

表4 3种即食鱼豆腐脂肪酸组成及质量分数

Table 4 Fatty acid composition of three brands of ready-to-eat fish tofu

脂肪酸	鱼豆腐A	鱼豆腐B	鱼豆腐C
<C _{14:0}	0.42±0.03 ^a	1.34±0.07 ^c	1.10±0.06 ^b
C _{16:0}	0.37±0.04 ^b	0.49±0.01 ^c	0.31±0.01 ^a
C _{17:0}	0.11±0.01 ^a	0.13±0.01 ^a	0.05±0.01 ^b
C _{18:0}	4.83±0.14 ^b	0.03±0.01 ^a	5.43±0.07 ^c
C _{20:0}	1.06±0.02 ^a	1.07±0.09 ^a	0.57±0.02 ^b
C _{21:0}	0.11±0.04 ^a	0.09±0.03 ^a	0.03±0.01 ^b
C _{24:0}	0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a
ΣSFA	6.92	3.19	7.50
C _{14:1}	0.05±0.01 ^a	0.09±0.02 ^b	0.06±0.02 ^a
C _{15:1}	15.55±0.09 ^b	14.97±0.31 ^a	31.90±0.16 ^c
C _{16:1}	0.15±0.01 ^{ab}	0.18±0.02 ^a	0.12±0.03 ^b
C _{17:1}	ND ^b	5.07±0.07 ^a	ND ^b
C _{18:1} N ₉	17.17±0.10 ^c	12.71±0.20 ^a	15.40±0.09 ^b
C _{20:1} N ₉	0.33±0.04 ^a	0.32±0.02 ^a	0.22±0.03 ^b
C _{24:1} N ₉	0.07±0.01 ^b	0.12±0.02 ^c	0.02±0.01 ^a
ΣMUFA	33.33	33.46	47.72
C _{18:2} N ₆	51.60±0.54 ^b	55.63±0.57 ^a	42.80±0.23 ^c
C _{18:3} N ₃	6.00±0.15 ^c	5.74±0.12 ^b	0.81±0.07 ^a
C _{18:3} N ₆	0.05±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a	0.01±0.01 ^b
C _{20:2}	0.07±0.01 ^a	0.09±0.03 ^a	0.01±0.01 ^b
C _{20:3} N ₃	0.09±0.01 ^{ab}	0.14±0.02 ^b	0.07±0.01 ^a
C _{20:5} N ₃	0.31±0.05 ^a	0.38±0.06 ^a	0.19±0.03 ^b
C _{22:2} N ₆	0.12±0.03 ^a	0.11±0.04 ^a	0.08±0.02 ^a
C _{22:6} N ₃	0.90±0.05 ^b	1.24±0.11 ^c	0.61±0.04 ^a
ΣPUFA	59.14	63.39	44.59

注：ND.未检出。数据为质量分数。

由表4可知，3种鱼豆腐的脂肪酸组成大致相同，均检出了7种饱和脂肪酸（saturated fatty acid, SFA）；鱼豆腐A和C检出了6种单不饱和脂肪酸（monounsaturated fatty acid, MUFA），鱼豆腐B检出了7种MUFA；3种鱼豆腐均检出了8种多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acid, PUFA）。从种类上比较，鱼豆腐A和B为ΣPUFA>ΣMUFA>ΣSFA；鱼豆腐C的ΣMUFA（47.72%）稍大于ΣPUFA（44.59%），ΣSFA（7.50%）最低。

即食鱼豆腐属于加工产品，检出饱和脂肪酸含量较少，不饱和脂肪酸含量占多数。研究表明，不饱和脂肪酸含量较高的油脂，必需脂肪酸的含量也较高，营养价值相对较高^[25]。3种鱼豆腐的多不饱和脂肪酸质量分数分别为59.14%，63.39%和44.59%。PUFA在防止心血管疾病、抗癌、抗炎症，延缓衰老，增强免疫力^[26]等方面具有显著效果。多不饱和脂肪酸中亚油酸含量最高，亚油酸能防止人体血清胆固醇在血管壁的沉积，有“血管清道夫”的美誉，具有防治动脉粥样硬化及心血管疾病的保健效果^[27]。

2.4 凝胶性能评价

2.4.1 持水性及pH值

表5 3种即食鱼豆腐持水性及pH值
Table 5 Water-holding capacity and pH value of three brands of ready-to-eat fish tofu

指标	鱼豆腐A	鱼豆腐B	鱼豆腐C
pH	6.04±0.05 ^a	6.23±0.01 ^b	6.06±0.08 ^a
持水性/%	84.61±0.58 ^{ab}	86.36±0.36 ^b	82.98±1.53 ^a

如表5所示,鱼豆腐B的pH值与其他2种有显著性差异($P<0.05$),3种鱼豆腐的pH值都偏酸性,但都接近中性。一般鱼糜的pH值保持在中性最好,此时,肌原纤维蛋白质的冷冻变性最小,鱼糜蛋白质较稳定^[28]。同时鱼糜的pH值在冻藏过程中也会发生变化,随着冻藏时间的延长通常会降低^[29]。鱼豆腐生产的主料为冷冻鱼糜,这解释了其pH值偏酸性的原因。持水性是凝胶保持水分的能力,与凝胶蛋白质的交联程度有关,其优劣性是凝胶制品在实际生产中的重要考虑因素之一。3种鱼豆腐中,鱼豆腐B(86.36%)的持水性最大,鱼豆腐A(84.61%)次之,鱼豆腐C(82.98%)最小,均高于巴浪鱼、红三鱼、丁鱼3种常见海水鱼鱼糜^[30]。

2.4.2 凝胶强度

表6 3种即食鱼豆腐凝胶强度对比
Table 6 Comparison of the gel strength of three brands of ready-to-eat fish tofu

指标	鱼豆腐A	鱼豆腐B	鱼豆腐C
破裂强度/g	651.23±26.45 ^a	445.13±11.68 ^b	490.83±31.01 ^b
凹陷深度/cm	0.49±0.05 ^a	0.46±0.02 ^a	0.43±0.02 ^a
凝胶强度/(g·cm)	320.17±45.52 ^a	203.63±13.18 ^b	212.71±19.22 ^b

3种即食鱼豆腐的凝胶强度结果由表6所示。对测试结果进行最小显著性差异(least significant difference, LSD)法分析可知,鱼豆腐A的破裂强度和凝胶强度均与鱼豆腐B和C有显著性差异($P<0.05$),凝胶强度大小依次为鱼豆腐A(320.17 g·cm)>鱼豆腐C(212.71 g·cm)>鱼豆腐B(203.63 g·cm)。凝胶强度是体现鱼糜凝胶制品品质的一个重要指标,它直接影响着鱼肉制品的质构特性、保水性,决定了鱼糜凝胶制品的感官品质对比发现,3种鱼豆腐的凝胶强度均高于沙丁鱼、带鱼、鲜丁鱼(<200 g·cm)这3种海水鱼糜,鱼豆腐A的凝胶强度还高于黄姑鱼(250 g·cm)^[31]。这表明,所测3种鱼豆腐具有良好的感官品质。

3 结论

通过对3种即食鱼豆腐的营养成分以及凝胶性能的分析评价,主要得到如下结论:

3种鱼豆腐基本营养成分中水分含量最高,其次为粗蛋白,粗脂肪含量较低;3种鱼豆腐氨基酸种类齐全,鲜味氨基酸含量丰富,但必需氨基酸含量略低于FAO/WHO及鸡蛋蛋白标准模式评分,亮氨酸和缬氨酸分别为3种鱼豆腐的第1和第2限制氨基酸;3种鱼豆腐且在脂肪酸组成上存在差异性,但都是不饱和脂肪酸含量较多,以多不饱和脂肪酸为主,亚油酸是含量最多的多不饱和脂肪酸。

3种鱼豆腐的pH值均偏酸性,这是由于冷冻鱼糜冻藏时间的延长的结果;持水性测试结果较好,均高于80%,说明鱼豆腐凝胶保持水分的能力较好;鱼豆腐A的凝胶强度明显大于其他2种鱼豆腐,但3种鱼豆腐凝胶性能相对较高,均大于或接近4种常见的海水鱼糜。

分析结果表明3种鱼豆腐的营养成分及凝胶性能大体呈现相似趋势,可能是由于3家企业所使用的主料冷冻鱼糜相似所致。本实验以具体数值形式将实验数据直观地展示出来,更好地指导消费者进行选购。产品具体指标变化趋势基本一致,则表明所测指标能够体现具有鱼豆腐产品的共性。当今市场,尚鲜有关键性指标作为判断鱼豆腐产品优劣的依据,而营养成分和凝胶性能是评定鱼糜制品质量的重要产品特性,可作为鱼豆腐产品标准的重要依据,为制定行业标准提供数据参考。

参考文献:

- [1] 卞智英.一种常温流通即食鱼豆腐及其制备方法:104397769A[P].2015-03-11.
- [2] 陈康,戴志远,王宏海,等.添加非肌肉蛋白对鱼糜制品品质影响的初步研究[J].食品与发酵工业,2011,37(7):214-219. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2011.07.047.
- [3] 郭颖,孟珺,常忠义,等.谷氨酰胺转氨酶和磷酸盐对鲢鱼鱼糜凝胶性能的影响[J].食品科学,2012,33(19):178-181.
- [4] 纪蓉,江海,胡亚芹,等. γ -聚谷氨酸对带鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].中国食品学报,2012,12(4):90-99. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2012.04.014.
- [5] 张秋会,岳喜庆,李苗云,等.大豆组织蛋白在重组肉糜制品中的应用[J].食品与发酵工业,2015,41(1):101-105. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201501020.
- [6] 卫生部.食品中水分的测定:GB 5009.3—2010[S].北京:中国标准出版社,2010:1-2.
- [7] 卫生部.食品中灰分的测定:GB 5009.4—2010[S].北京:中国标准出版社,2010:1-2.
- [8] 卫生部.食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2010[S].北京:中国标准出版社,2010:1-3.
- [9] 卫生部.食品中脂肪的测定:GB/T 5009.6—2003[S].北京:中国标准出版社,2003:1-2.
- [10] 卫生部.食品中氨基酸的测定:GB/T 5009.124—2003[S].北京:中国标准出版社,2003:1-3.
- [11] 王光亚.食物成分表[M].北京:人民卫生出版社,1997:26-27.
- [12] FAO/WHO and Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement[R]. Rome: World Health Organization, Geneva FAO, 1973.
- [13] BLIGH E G, DYER W J. A rapid method for total lipid extraction and purification[J]. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 1959, 37(8): 911-917. DOI:10.1139/o59-099.

- [14] SHI L, WANG X, CHANG T, et al. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 586-593. DOI:10.1016/j.lwt.2014.02.003.
- [15] 卜宇芳, 李文强, 谢灵来, 等. 休闲豆腐干贮藏过程中品质变化研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 115-118. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2016.02.030.
- [16] 葛庆联, 高玉时, 蒲俊华, 等. 不同品种鸡蛋部分营养成分比较分析[J]. 中国家禽, 2013, 35(11): 28-36. DOI:10.16372/j.issn.1004-6364.2013.11.003.
- [17] 张俊杰, 曾庆孝. 我国淡水鱼鱼糜的研究情况[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(9): 57-63. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2002.09.014.
- [18] 郑振霄, 童玲, 徐坤华, 等. 2 种低值金枪鱼赤身肉的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 114-118. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510023.
- [19] 薛静, 马继民, 张信祥, 等. 两种海洋蛸类营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2015, 15(12): 203-211. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.12.028.
- [20] 凌关庭. 食品添加剂手册[M]. 4版. 北京: 化学工业出版社, 2013: 208-210.
- [21] 田颖, 彭景, 陈玉. 人体赖氨酸需要量的研究进展[J]. 现代预防医学, 2014, 41(1): 22-24. DOI:1003-8507(2014)01-0022-04.
- [22] 王艳萍. 生物化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 385-386.
- [23] 邴旭文, 张宪中. 斑驳尖塘鳢肌肉营养成分与品质的评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(1): 107-111. DOI:1672-5174(2006)01-107-05.
- [24] 李良铸, 李明晔. 现代生化药物生产关键技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 145.
- [25] 耿越. 食品营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 34-35.
- [26] 王雪青, 苗惠, 胡萍. 膳食中多不饱和脂肪酸营养与生理功能的研究进展[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 337-339. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.11.090.
- [27] 孙翔宇, 高贵田, 段爱莉, 等. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 418-423. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.07.030.
- [28] KARAYANNAKIDIS P D, ZOTOS A, PETRIDIS D, et al. The effect of initial wash at acidic and alkaline pHs on the properties of protein concentrate (kamaboko) products from sardine (*Sardina pilchardus*) samples[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 775-783. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.11.018.
- [29] SULTANBAWA Y, LICHAN E C Y. Cryoprotective effects of sugar and polyol blends in ling cod surimi during frozen storage[J]. Food Research International, 1998, 31(2): 87-98. DOI:10.1016/S0963-9969(98)00063-5.
- [30] 尹贝贝, 蒋爱民, 栗俊广, 等. 三种常见海水鱼鱼糜凝胶特性比较研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 25-28. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2014.01.005.
- [31] 张崑, 曾庆孝, 朱志伟, 等. 罗非鱼与四种海水鱼鱼糜比较[J]. 现代食品科技, 2008, 24(12): 1222-1226. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2008.12.009.