

不同干燥方式对鱼粉营养价值及新鲜度的影响

李 弋, 黄文文, 周歧存*

(宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 本文旨在研究不同干燥方式对鱼粉营养价值、新鲜度的影响。以新鲜杂鱼为原料, 分别采用 60、80、100、120、150 °C 热风干燥以及冷冻干燥方式进行干燥处理。结果显示: (1) 不同干燥方式对鱼粉的粗蛋白质含量没有显著影响($P>0.05$); 采用热风干燥时, 随着温度的升高, 脂肪含量显著降低($P<0.05$); 采用冷冻干燥时, 粗蛋白质、粗脂肪含量和 80 °C 干燥组接近。 (2) 100 °C 干燥时鱼粉氨基酸总量高于其他处理组, 且赖氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸含量高于其他处理组, 80 °C 干燥时组氨酸含量高于其他处理组, 采用冻干处理时赖氨酸含量高于其他处理组。 (3) 150 °C 干燥时 SFA 和 MUFA 含量最高, 80 °C 干燥时 PUFA 含量最高, 且 EPA 和 DHA 含量也最高。 (4) VBN 和酸价随着干燥温度的升高而显著降低($P<0.05$)。当采用冷冻干燥时, 鱼粉的酸价显著高于采用干燥组($P<0.05$)。冷冻干燥和 60 °C 干燥鱼粉的 VBN 显著高于其他各组($P<0.05$)。结果表明: 与热风干燥相比, 冷冻干燥对鱼粉营养成分破坏小, 但不能改善鱼粉新鲜度。热风处理时提高温度可以改善鱼粉新鲜度, 但干燥温度超过 100 °C 对鱼粉的营养价值有破坏。

关键词: 鱼粉; 干燥方式; 营养价值; 新鲜度

中图分类号: S816.34

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 03-0001-05

水产养殖业是渔业中的重要产业之一, 已经成为我国水产品市场供给的主要来源。我国水产养殖业发展迅速, 但随着养殖规模的不断扩大, 水产养殖业也面临着诸多问题。转变水产养殖增长方式是我国水产养殖持续发展的必由之路。而开发高效环保的水产饲料, 是诸多方式中重要的一点^[1]。鱼粉是以鱼、虾、蟹等一种或多种水产动物及其加工剩余废弃物为原料制作的高蛋白质产品, 一般需经蒸煮、压榨、脱脂(或不脱脂)、干燥、粉碎等工序制作而成^[2]。由于鱼粉具有必需氨基酸和脂肪酸含量高, 碳水化合物含量低, 适口性好, 抗营养因子少以及能够被养殖动物很好的消化吸收等特点, 一直以来是水产饲料中不可或缺的优质蛋白源^[3]。近年来, 由于厄尔尼诺效应、环境破坏严重以及过量捕捞等原因, 渔业资源逐渐减少, 鱼粉资源也逐渐减少^[4]。人们开始寻找其他蛋白源来

替代鱼粉, 但鱼粉是一种优质蛋白源, 目前的研究还没有找到可以完全代替鱼粉的合适蛋白源。因此在这种背景下, 如何使用有限的资源生产优质的鱼粉才是现在鱼粉生产企业需要重视的问题。鱼粉品质一般由营养价值和新鲜度表示, 新鲜度评价方法一般包括感官鉴定方法和化学评价法^[5]。近年来有关鱼粉品质的研究较多, 冯幼等^[6]认为鱼粉品质因原料鱼的种类和生产工艺的不同而有所差异。白鱼粉是由鲮鱼、鳙鱼和鳊鱼等白肉鱼种的全鱼或其加工后的下脚料经蒸煮、压榨、脱脂和干燥等工艺获得的, 具有粗蛋白质含量高(68%~70%)、新鲜度好、色淡、蓬松、鱼肉多和弹性好等特点。此外, 干燥方式对鱼粉品质也有影响^[7], 常用干燥方法共有 4 种: 直火干燥、蒸汽干燥、热空气干燥、低温干燥鱼粉(CLT 鱼粉), 方法各有优劣。其中热空气干燥法则结合了其他三者的优点,

收稿日期: 2016-12-29.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业专项 (201305013); 浙江省高校重中之重(一级)学科建设项目。

第一作者: 李弋 (1991-), 男, 江苏盐城人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水生动物营养与饲料。E-mail: 531103788@qq.com

*通信作者: 周歧存 (1967-), 男, 安徽舒城人, 教授/博士生导师, 主要研究方向: 水生动物营养与饲料。E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

既避免了烟尘影响,又避免了能耗高和产能低的弊端;直火烘干设备结构简单,但热空气温度高(100~400 °C),烘干过程中容易使物料局部过热,使营养成分破坏;蒸汽烘干是以蒸汽为介质间接的方式进行加热,烘干温度一般为 90~130 °C,虽然干燥速度慢,但生产出来的鱼粉品质好。

不同温度烘干的鱼粉间成分和性质有很大区别,加工成饲料后投喂会对水产动物的生产性能产生不同的影响^[8]。从已有的研究结果可以看出,干燥方式特别是干燥温度会给鱼粉品质带来影响,但目前关于鱼粉加工温度的研究还较少,并且这些研究大多从单一因素考量温度对鱼粉加工的影响。故本试验通过检测经 60、80、100、120、150 °C 热风干燥,以及冷冻干燥方式加工的鱼粉的营养价值、氨基酸及脂肪酸组成与新鲜度指标,来探究不同干燥处理对鱼粉品质的影响。

1 材料和方法

1.1 试验原料

本实验原料为 2014 年 11 月购自象山港湾水产苗种有限公司的新鲜杂鱼。主要构成为鳀鱼(*Engraulis japonicus*),玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)及带鱼(*Trichiurus lepturus*)。

1.2 试验设计

将冰鲜鱼分别采用 60、80、100、120、150 °C 热风干燥以及冷冻干燥方式进行干燥,干燥至平衡后用粉碎机进行粉碎,每组设三个重复。将制作好的鱼粉于 -20 °C 暂存,分别取样测试相关指标。

1.3 试验方法

鱼粉粗蛋白质采用蛋白自动分析仪进行检测,粗脂肪采用索氏抽提法进行检测,灰分采用马弗炉高温灼烧法。鱼粉脂肪酸测定先使用 Bligh-Dyer 法提取总脂^[9],后续处理方法及气相色谱(GC)质谱

(MS)条件均参照张稳等^[10]试验方法。鱼粉氨基酸组成测定前处理方法及设定条件参照周飘苹等^[11]试验方法。挥发性盐基氮(VBN)采用梁瑞兰等^[12]方法测定。酸价采用李昊帮等^[13]方法进行测定。

1.4 数据统计

实验数据统计分析使用 SPSS 17.0 软件,实验结果以平均数±标准差表示,对数据作单因素方差分析(ANOVA);如果单因素方差分析结果有显著差异,再进行 Tukey 多重比较,差异显著用 $P < 0.05$ 表示。

2 试验结果

2.1 不同干燥方式对感官的影响

采用热风干燥时,随着干燥温度的升高,鱼粉颜色由淡黄色变为深棕色,鱼粉中鱼腥味逐渐变淡,100 °C 时开始出现焦糊味,150 °C 焦糊味最重。冷冻干燥得出的鱼粉颜色几乎为白色,有鱼腥味,没有焦糊味。

2.2 不同干燥方式对鱼粉常规成分的影响

不同干燥方式的鱼粉常规成分见表 1。不同干燥方式对鱼粉粗蛋白质含量的影响不显著($P > 0.05$)。当采用热风干燥时,随着温度升高,水分含量逐渐降低,冷冻干燥与 80 °C、100 °C 热风干燥鱼粉的水分含量显著高于 150 °C 干燥组($P < 0.05$),而显著低于 60 °C 干燥组($P < 0.05$)。当采用热风干燥时,60 °C 干燥后粗脂肪含量显著高于其他各处理组($P < 0.05$),80~120 °C 干燥时,鱼粉粗脂肪含量差异不显著($P > 0.05$),当温度超过 120 °C 后,粗脂肪含量显著降低($P < 0.05$);冷冻干燥组脂肪含量与 100 °C 干燥组比较没有显著差异($P > 0.05$);150 °C 干燥后鱼粉灰分显著高于其他处理方式($P < 0.05$)。

2.3 不同干燥方式对鱼粉氨基酸含量的影响

表 2 表明干燥温度低于 100 °C 时,随着温度上

表 1 不同干燥方式鱼粉主要营养成分

%

营养成分	热风干燥					冷冻干燥
	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	150 °C	
水分	4.23±0.07 ^d	2.48±0.02 ^c	2.48±0.02 ^c	2.32±0.02 ^b	0.83±0.03 ^a	2.47±0.04 ^c
灰分 ¹⁾	12.46±0.09 ^a	14.01±0.12 ^b	13.39±0.02 ^b	13.38±0.04 ^b	14.47±0.07 ^c	13.40±0.02 ^b
粗脂肪 ¹⁾	14.06±0.07 ^c	11.61±0.02 ^b	11.18±1.13 ^b	11.36±0.05 ^b	7.93±0.30 ^a	11.17±0.43 ^b
粗蛋白质 ¹⁾	67.97±0.71	68.70±0.21	67.91±0.96	68.8±0.65	68.59±0.73	68.32±0.76

注: 1) 指标均以干重计; 数据使用平均值±标准差表示($n=3$); 同一行肩标不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 2 不同干燥方式鱼粉氨基酸组成						%
氨基酸	热风干燥					冷冻干燥
	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	150 °C	干燥
精氨酸 Arg	3.53	3.29	4.12	4.03	4.08	4.06
组氨酸 His	0.86	1.55	1.59	1.50	1.41	1.53
异亮氨酸 Ile	2.85	2.98	3.37	3.18	3.20	3.29
亮氨酸 Leu	5.47	5.88	6.08	5.76	5.75	6.00
赖氨酸 Lys	4.47	5.04	5.74	5.60	5.05	5.75
甲硫氨酸 Met	1.89	1.99	2.29	2.20	2.12	2.29
苯丙氨酸 Phe	2.62	2.55	2.81	2.70	2.67	2.68
缬氨酸 Val	2.62	2.93	3.54	3.41	3.44	3.39
苏氨酸 Thr	2.87	3.14	3.10	3.08	2.88	3.18
必需氨基酸合计	27.18	29.35	32.64	31.46	30.6	32.17
丙氨酸 Ala	4.51	5.05	5.18	5.03	5.43	5.07
天冬氨酸 Asp	5.39	5.96	6.85	6.66	6.71	6.85
胱氨酸 Cys	0.77	1.09	0.89	0.88	0.69	0.79
谷氨酸 Glu	11.39	11.30	13.17	13.29	13.84	13.55
甘氨酸 Gly	4.06	4.08	4.54	4.49	4.54	4.55
脯氨酸 Pro	3.88	3.98	3.08	2.94	2.94	3.05
丝氨酸 Ser	2.03	2.34	2.51	2.58	2.21	2.76
酪氨酸 Tyr	1.92	2.37	2.11	2.00	2.06	2.01
非必需氨基酸总计	33.95	36.17	38.33	37.87	38.42	38.63

注: 每种氨基酸的数据是指其在饲料干重中所占的比例。

升, 必需氨基酸总量上升, 干燥温度超过 100 °C 后下降。其中组氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸含量在干燥温度为 60~100 °C 时增加明显, 干燥温度超过 100 °C 后下降。亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸含量在干燥温度为 60~100 °C 时增加明显, 温度在 100~120 °C 时含量下降, 温度超过 120 °C 后这三种氨基酸含量没有变化。且采用冷冻干燥处理得到鱼粉赖氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸含量均较热风干燥组高。

2.4 不同干燥方式对鱼粉脂肪酸组成的影响

表 3 表示不同的干燥方式对鱼粉脂肪酸组成的影响。可见, 150 °C 干燥时饱和脂肪酸(SFA)和单

表 3 不同干燥方式鱼粉脂肪酸组成						%
脂肪酸	热风干燥					冷冻干燥
	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	150 °C	干燥
C14:0	4.09	3.36	3.73	3.54	5.42	4.67
C16:0	31.44	26.23	28.84	27.53	31.73	30.71
C18:0	11.93	10.21	11.07	10.64	11.93	12.15
C24:0	1.28	1.05	1.17	1.11	1.39	1.29
SFA	48.73	40.85	44.79	42.82	50.47	48.82
C16:1	7.14	6.26	6.7	6.48	6.98	9.61
C18:1	13.74	12.32	13.03	12.67	15.82	8.34
C24:1	1.69	1.51	1.60	1.56	1.76	1.72
MUFA	22.56	20.09	21.33	20.71	24.56	19.66
C20:3	0.68	0.71	0.69	0.70	0.71	1.15
C20:4	1.61	2.16	1.87	2.02	1.51	4.45
C20:5	6.37	8.96	7.66	8.31	6.44	4.49
C22:6	20.05	27.24	23.64	25.44	16.31	21.43
PUFA	28.71	39.06	33.88	36.47	24.97	31.52

注: 每种脂肪酸的数据是指其在总脂肪酸中所占的比例。

不饱和脂肪酸(MUFA)含量最高, 80 °C 干燥时多不饱和脂肪酸(PUFA)含量最高, 并且二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量也最高。

2.5 不同干燥方式对鱼粉新鲜度的影响

不同干燥方式对鱼粉新鲜度的影响见表 4。由表可见不同的干燥方式对鱼粉的 VBN 和酸价有显著影响。当采用热风干燥后, VBN 值随着温度升高而显著降低($P<0.05$), 冷冻干燥后的鱼粉的 VBN 值最高。当采用热风干燥时, 酸价随着温度升高显著降低($P<0.05$), 冷冻干燥的鱼粉酸价最高。

3 讨论

3.1 不同干燥方式对鱼粉感官的影响

随着干燥温度的升高, 鱼粉的色泽逐渐上升, 当温度超过 100 °C 时鱼粉有明显的焦糊味。全晶晶等^[14]在鲑鱼加工温度的研究中发现当经过 95 °C 加热后, 普通肉中脂肪酸发生裂解, 产生了大量的烃类物质, 而杂环类化学物质是鲑鱼加热后美拉德

表 4 不同干燥方式鱼粉 VBN 及酸价

项目	热风干燥					冷冻干燥
	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	150 °C	
挥发性盐基氮/(10 mg·kg ⁻¹)	217.05±1.20 ^e	164.70±1.31 ^d	138.95±4.20 ^c	94.09±3.93 ^b	68.51±1.55 ^a	220.36±2.99 ^e
酸价(KOH)/(mg·g ⁻¹)	5.67±0.05 ^d	5.40±0.12 ^d	4.91±0.11 ^c	4.33±0.16 ^b	2.72±0.13 ^a	6.30±0.33 ^e

注: 数据使用平均值±标准差表示($n=3$); 同一行肩标不同表示差异显著($P<0.05$)。

反应的特征物质。美拉德反应又称为“非酶棕色化反应”，主要是指还原糖与氨基酸(尤其是赖氨酸)之间的复杂反应，会产生褐色产物。在本实验中观察到随着温度的升高鱼粉颜色变深的现象，应该是鱼粉发生了明显的美拉德反应。

3.2 不同干燥方式对鱼粉常规成分的影响

采用热风干燥时，干燥温度越高鱼体中水分就蒸发越多；干燥温度不影响鱼粉粗蛋白质含量，与郭玲等^[15]的结果一致。本试验中当采用热风干燥时，鱼粉的粗脂肪含量随着温度的升高而降低，这是因为随着温度的升高脂肪发生氧化分解。

3.3 不同干燥方式对鱼粉氨基酸指标的影响

当干燥温度低于 100℃时，随着温度上升，必需氨基酸总量上升，当干燥温度超过 100℃后下降。干燥温度为 100℃时，鱼粉的必需氨基酸含量最高。这是由于采用较低烘干温度时，一些大分子的蛋白质或胺类被鱼体内的蛋白酶分解为小分子的氨基酸。当烘干温度逐渐升高，这些蛋白酶逐渐失去活性，不能分解蛋白质，且温度过高也导致氨基酸被破坏。在必需氨基酸中 His, Lys, Val, Met 受干燥温度影响大，当干燥温度超过 120℃后，这 4 种氨基酸明显被破坏，这与张磊^[16]的研究结果相似，可得出在干燥加工中，这 4 种氨基酸最容易被破坏。

3.4 不同干燥方式对鱼粉脂肪酸指标的影响

干燥温度在 80℃时，鱼粉的脂肪酸组成与宋永康等^[17]关于脂肪酸最佳组成的结果最接近，EPA 和 DHA 含量也最高。干燥温度提高到 150℃鱼粉中 PUFA 被氧化，导致了 PUFA 含量下降。

3.5 不同干燥方式对鱼粉新鲜度指标的影响

肉、鱼类样品浸液在弱碱性下能与水蒸汽一起蒸馏出来的总氮量被称为 VBN，其中包括氨和低级胺类，是酶和细菌分解蛋白质、氨基酸等其他含氮化合物所产生的分解代谢产物，VBN 主要在鱼粉储存、运输过程中产生，也是腐败鱼粉恶臭的主要来源^[18]。本试验中 VBN 随着温度的升高而降低。因为 VBN 的沸点低，干燥过程中，VBN 会挥发^[19]。温度越高使 VBN 含量越低，且当处理温度越高鱼粉中的酶逐渐失活，微生物越来越少，导致烘干温度高的鱼粉的 VBN 较低。郭伶等^[15]的研究表明采用 90~100℃烘干的鱼粉 VBN 较 110~120℃的鱼粉 VBN 低，该结果与本试验结果不同，可能与加工

环境以及样品烘干后存放的时间有关。

刘娟萍等^[20]研究表明在较低温度下对红鱼粉进行加热，酸价略有升高；随着温度的升高酸价降低，120℃时最低。周厚源等^[21]研究表明温度在 60~90℃时烤翅成品酸价无差异，而 100℃条件下酸价明显低于 60℃。郭善广等^[22]发现随着温度的升高广式香肠的酸价有下降的趋势，较高温度烘烤(56~60℃)可有效抑制酸价。本试验中酸价随着温度升高而降低，与上述研究结果一致。当在较低温度下烘干时脂肪酸在脂肪水解酶和脂肪酶的作用下水解成脂肪酸，导致酸价较高；当温度逐渐升高，脂肪酸在高温作用下开始挥发，导致酸价逐渐降低；此外干燥温度的逐渐升高脂肪水解酶和脂肪酶钝化或失活，导致酸价随温度升高而降低。

3.6 不同干燥方式后鱼粉的等级评价

参照 GB/T 19164-2003 鱼粉理化指标分类，本实验中 60℃干燥加工鱼粉粗脂肪，VBN 及酸价含量较高，冷冻干燥鱼粉 VBN 及酸价含量较高，这两种鱼粉按照分级标准为三级鱼粉；80℃干燥加工鱼粉蛋白、脂肪、灰分含量及 Met 与 Lys 含量均已达到国标一级鱼粉标准，但 VBN 及酸价含量高于标准，可以定性为二级鱼粉；100, 120 与 150℃干燥加工的鱼粉可以达到国标对一级鱼粉的定义。

4 结论

综上，当鱼粉采用 100℃干燥时，可以在不破坏氨基酸及脂肪酸组成的前提下提高鱼粉的新鲜度。这一研究结果对指导鱼粉干燥工艺具有实用价值，但需要结合实际生产加工步骤进一步研究。

参考文献:

- [1] 麦康森. 转变增长方式是我国水产养殖持续发展的必由之路[J]. 渔业信息与战略, 2012, 27(1):1-6.
- [2] 程传龙. 不同品质的鱼粉对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010.
- [3] 周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3):404-410.
- [4] 孔燕. 2014 年中国鱼粉市场分析及 2015 年展望[J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(2):72-75.
- [5] 叶继丹. 鱼粉质量的探讨[J]. 饲料博览, 1994(6):12-14.
- [6] 冯幼, 许合金, 刘定, 等. 不同原料及生产工艺对鱼粉品质的影响[J]. 饲料与畜牧, 2014(2):13-15.
- [7] 刘娟花. 鱼粉加工工艺研究进展[J]. 广东饲料, 2013,

- 22(5):29-31.
- [8] 柳旭东. 不同加工温度的蛋白饲料及其对水产动物的影响[J]. 饲料博览(技术版), 2008(2):39-40.
- [9] 陈勇, 王燕华, 张丽英, 等. 饲料和动物组织中总脂肪酸含量的快速测定[J]. 中国饲料, 2000(21):28-29.
- [10] 张稳, 谢奉军, 金敏, 等. 饲料中 n-3 高不饱和脂肪酸含量对三疣梭子蟹幼蟹生长性能及脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(5):1254-1264.
- [11] 周飘苹, 金敏, 吴文俊, 等. 不同养殖模式、投喂不同饵料及不同品系大黄鱼营养成分比较[J]. 动物营养学报, 2014, 26(4):969-980.
- [12] 梁瑞兰, 熊伟东. 鱼粉挥发性盐基氮的测定[J]. 饲料与畜牧, 2007(12):52-53.
- [13] 李昊帮, 张旭. 饲料酸价测定方法的研究与改进[J]. 饲料广角, 2013(19):38-39.
- [14] 全晶晶, 侯云丹, 黄健, 等. 加工温度对鲑鱼挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(8):221-228.
- [15] 郭伶. 不同加工工艺对鱼粉质量影响的研究[J]. 饲料研究, 2014(13):23-26.
- [16] 张磊. 鱼粉特性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [17] 宋永康, 林虬, 陈人弼, 等. 鱼粉脂肪酸组成的分析研究[J]. 台湾海峡, 2004, 23(1):88-93.
- [18] 杨尚霖, 韩帅娟, 柏雪, 等. 鱼粉中挥发性盐基氮与组胺含量的相关性研究[J]. 饲料广角, 2013(7):38-39.
- [19] 唐森, 李军生, 胡金鑫, 等. 鱼粉新鲜度评价方法的研究进展[J]. 中国饲料, 2014(24):13-15.
- [20] 刘娟萍, 过世东, 王恩力. 甲鱼饲料中红鱼粉的酸价改良[J]. 粮食与饲料工业, 2007(1):33-35.
- [21] 周厚源, 李汁生, 阮征, 等. 热风温度对湿腌肉鸡翅根干燥动力学及成品品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1):91-97.
- [22] 郭善广, 白福玉, 蒋爱民, 等. 广式腊肠主要配料及烘烤工艺对酸价的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6):79-82.

Effect of different drying methods on the freshness and nutritive value of fish meal

LI Yi, HUANG Wen-wen, ZHOU Qi-cun*

(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effect of different drying methods on the freshness and nutritive value of fish meal. The different drying temperatures were 60, 80, 100, 120 and 150 °C respectively, and freeze drying was used as a control treatment. The result indicated that moisture, lipid and ash contents in fish meal were significantly influenced by the drying methods ($P<0.05$), while protein content in fish meal was not significantly affected by the drying methods ($P>0.05$). Highest lipid content in fish meal was observed at 60 °C drying temperature; the lipid contents decreased significantly when the drying temperature was over 120 °C, the lipid content dried by freeze method in fish meal was similar with those at 80 °C drying temperature. The amino acids in fish meal were significantly affected by the different drying methods, the highest total amino acids content in fish meal was observed at 100 °C drying methods, especially, lysine, methionine and valine contents at 100 °C dry method were higher than those at other drying temperatures, the highest histidine content was observed at 80 °C drying temperature among all treatments. Moreover, the highest lysine content was observed at freeze drying. The highest saturated fatty acids and mono-unsaturated fatty acids were observed at 150 °C drying temperature, the highest PUFA, EPA and DHA were found at 80 °C drying temperature. VBN and acid value were significantly influenced by the different drying methods ($P<0.05$), VBN and acid value decreased significantly when the drying temperature increased from 60 to 150 °C, while the highest VBN and acid value were observed at freeze drying methods. These results indicate that high temperature hot air treatment can improve the freshness of fish meal, but when the drying temperature exceeds 100 °C, the nutritional value of fish meal was destroyed.

Key words: fish meal; drying method; nutritive value; freshness

(责任编辑 韩 超)