

即食虾干加工过程脂质变化研究

王善宇, 刘鑫, 曹荣, 王灵昭, 杜云建

Changes in lipids of dried shrimp products during processing

WANG Shanyu, LIU Xin, CAO Rong, WANG Lingzhao, DU Yunjian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200703113>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

即食半干虾仁加工技术研究

Study on processing technology of instant high-moisture prawn flesh

南方水产科学. 2010, 6(2): 41 <https://doi.org/10.3919/j.issn.1673-2227.2010.02.007>

即食海蜇加工过程关键控制点研究

Summary of critical control points in processing of ready-to-eat jellyfish

渔业研究. 2019, 41(4): 333 <https://doi.org/10.14012/j.cnki.fjsc.2019.04.009>

带鱼腌制加工过程理化指标、微生物和生物胺的动态变化及相关性

Dynamic change and correlation of physicochemical components, microorganism and biogenic amines in hairtail(*Trichiurus lepturus*) during pickled and dried processing

水产学报. 2015, 39(10): 1577 <https://doi.org/10.11964/jfc.20150309782>

加工方式对海水虾及其制品中SO₂含量的影响

Effects of Processing Methods on the Content of Sulfur Dioxide in Shrimp and Its Products

渔业科学进展. 2018, 39(1): 144 <https://doi.org/10.11758/yykxjz.20170112001>

凡纳滨对虾虾仁在冻藏过程中品质变化研究

Study on *Penaeus vannamei* quality changes during frozen storage

南方水产科学. 2010, 6(4): 37 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-2227.2010.04.007>

即食红毛藻加工工艺研究

Study on the Processing Technology of *Bangia fusco-purpurea*

广东海洋大学学报. 2018, 38(3): 62 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2018.03.010>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0932-08

DOI:10.12024/j sou.20200703113

即食虾干加工过程脂质变化研究

王善宇^{1,2}, 刘鑫³, 曹荣², 王灵昭¹, 杜云建¹

(1. 江苏海洋大学 食品科学与工程学院, 江苏 连云港 222005; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 3. 中华人民共和国黄岛海关, 山东 青岛 266555)

摘要: 为探究即食虾干加工过程中脂质的变化情况, 以凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)为研究对象, 分别取鲜虾、煮虾、干燥2 h、干燥4 h的样品, 对总脂含量、脂质组成、脂肪酸组成、酸价(acid value, AV)、过氧化值(peroxide value, POV)、硫代巴比妥酸反应值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)进行了检测分析。结果表明, 鲜虾总脂含量为8.74 g/100 g(干基计), 在煮制和干制过程中变化不显著($P > 0.05$)。脂质组成发生明显变化, 煮后甘油三酯和游离脂肪酸的比例显著降低($P < 0.05$), 而磷脂比例显著升高($P < 0.05$)。在干制过程中, 磷脂比例呈下降趋势, 游离脂肪酸比例呈上升趋势, 而胆固醇比例相对稳定。脂肪酸组成在加工过程总体变化较小, 其中多不饱和脂肪酸在干制阶段含量有所减少, 相对地提高了饱和脂肪酸含量。虾干加工过程中, POV呈先上升后下降的变化趋势, AV在煮后急剧下降, 而干制后增加, TBARS一直上升。因此, 虾干加工过程中煮制和热风干燥会影响脂质组成的比例, 同时引起脂质的氧化分解。为即食虾干加工工艺的优化、品质控制及风味形成提供理论参考。

关键词: 凡纳滨对虾; 干制; 脂质组成; 脂质氧化; 脂肪酸

中图分类号: TS 254.3 **文献标志码:** A

虾类产品营养丰富, 味道鲜美, 深受消费者青睐。随着人们生活水平的提高, 对虾类产品的需求大幅增长。以凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)为例, 自1988年从南美洲引进我国后, 迅速发展成为最重要的虾类养殖品种之一^[1], 2019年全国总产量高达181.56万t^[2]。鲜虾易发生腐败变质, 货架期短^[3], 因此虾的加工对产业发展具有重要意义。目前虾类加工仍以冷冻品为主。即食虾干制品不仅口感好、风味独特, 而且在加工过程中有效控制了产品水分含量, 便于存贮^[4-5], 成为近几年逐渐兴起的一类虾加工产品。

水产品富含多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA), 这是其营养价值优于畜禽产品的重要原因之一。但PUFA在加工和贮藏过程中易发生氧化和分解, 这与原料脂质组成、加工条件、光照等因素密切相关。适量的脂质氧化能够

改善产品风味, 增加消费者接受度^[6], 但过度氧化会产生异味, 导致产品营养价值下降和感官品质劣化。

水产品加工和贮藏过程中的脂质变化一直是科研工作者关注的焦点, 目前已有鱼类加工贮藏过程中脂质变化的研究报道, 如: 王建辉等^[7]研究发现草鱼冷藏期间脂肪酶、脂肪氧化酶是造成脂质水解和氧化降解的主要原因; CHUNG等^[8]发现鲭鱼的脂质成分在烤制过程中会发生热降解, 造成PUFA的减少; 蔡秋杏等^[9]研究发现黄花鱼在腌制过程中脂肪氧合酶的活性可被盐抑制, 酶促反应不是引起脂肪氧化的主要原因。而有关虾类干制加工过程中脂质变化的研究报道还很少。

本文以凡纳滨对虾为研究对象, 对其干制加工各阶段的总脂含量、主要脂质组成、脂肪酸组成、脂质氧化程度进行了检测分析, 以期在即食

收稿日期: 2020-07-16 修回日期: 2020-10-16

基金项目: 山东省重大科技创新工程专项(2018SDKJ0304-2); 山东检验检疫局科技计划项目(SK201766)

作者简介: 王善宇(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工。E-mail: 1132023546@qq.com

通信作者: 王灵昭, E-mail: wanglz@jou.edu.cn

虾干加工过程中的品质控制和工艺优化提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料与试剂

鲜活凡纳滨对虾购于青岛市埠东海鲜市场,体长为(12.50 ± 0.48) cm,体质量为(15.60 ± 1.80) g,充氧保活条件下运至实验室,选取规格一致、形态完整的个体,加冰猝死,备用。

主要试剂:总胆固醇(TC)试剂盒、甘油三酯(TG)试剂盒,购于中生北控;氯仿、甲醇、硝酸、高氯酸、钼酸钠、氯化钠、无水硫酸钠、醋酸铜、吡啶、正庚烷、95%乙醇、氢氧化钠、硫氰酸钾、氯化亚铁、还原铁粉、硫酸联氨、浓硫酸、异丙醇、1,1,3,4-四乙氧基丙烷、TritonX100 等均为分析纯,购于青岛青科赛尔生物技术有限公司。

1.2 主要仪器设备

主要仪器:KQ-300V 型超声波振荡器(昆山市超声仪器有限公司);N-1001 型旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司);DS-1 型高速组织粉碎机(上海标本模型厂);CS110-4 型冷冻干燥机(上海基因科技有限公司);HH-4 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);5975C/6890 型气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司);UV-2802 型紫外/可见分光光度计(尤尼柯仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 虾干样品制备

参考工厂实际生产的工艺流程和参数:凡纳滨对虾→清洗→100 °C 煮制 5 min(食盐添加量 1.5%)→沥水、冷却→90 °C 热风烘制 4 h→成品。

分别取鲜虾、煮虾、干燥 2 h 和干燥 4 h 的样品,冻干、粉碎后进行各指标的测定。

1.3.2 水分含量测定方法

参照 GB/T 5009—2003,采用常压干燥法。

1.3.3 总脂含量测定方法

参照 VASTA^[10]的方法。称取约 10 g 虾冻干粉,加入 150 mL 氯仿-甲醇,振荡浸提 4~6 h,加入适量生理盐水,混合均匀后静置过夜。收集下层氯仿层,用无水硫酸钠过滤干燥,转移至旋蒸瓶中,旋蒸浓缩后,得到总脂样品,准确称量,即为总脂含量。

1.3.4 磷脂含量测定方法

参照 GB/T 5537—2008,采用钼蓝比色法。

取适量提取到的总脂样品,加入 20 mL 硝酸-高氯酸混合液进行湿法消化^[11],至消化液基本无色,即为消化终点。将消化好的溶液定容至 50 mL,然后采用钼蓝比色法测定总脂中的磷脂含量。

1.3.5 总胆固醇、甘油三酯含量测定

采用试剂盒测定甘油三酯和总胆固醇含量。取适量总脂样品,分别用异丙醇-TritonX100(9:1, v/m)溶液稀释成合适浓度,按说明书步骤进行操作。

1.3.6 游离脂肪酸含量测定

采用铜皂比色法^[12]。取适量总脂样品,用氯仿溶解定容至 50 mL,取一定量样液氮气吹干,加入 3 mL 正庚烷溶解,振荡 1 min 后加入 1 mL 铜试剂(5% 乙酸铜溶液,用吡啶调 pH 至 6.1),振荡 2 min,静置 10 min 后取上层有机相于 715 nm 处测定样品吸光值,以油酸为对照样品绘制标准曲线,计算总脂中的游离脂肪酸含量。

1.3.7 脂肪酸组成分析

参照楼乔明等^[13]的方法,略作改动。样品甲酯化后,采用 GC/MS 进行分析。

气相色谱条件:采用 TG-5MS 毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm),载气为氦气,恒流模式,流速 1.2 mL/min,进样口温度 290 °C,检测器温度 250 °C。

质谱条件为:EI 离子源,电离能量 70 eV,离子源温度 280 °C,质荷比扫描范围 30~400。

1.3.8 酸价(AV)测定

参照 GB 5009.229—2016^[14],采用热乙醇指示剂滴定法。

1.3.9 过氧化值(POV)测定

参照 GB/T 5009.37—2003^[15],采用比色法。

1.3.10 硫代巴比妥酸反应值(TBARS)测定

参照 GB 5009.181—2016^[16],采用分光光度法。

1.4 数据处理

实验重复 2 次,每次取 3 个平行样进行测定,结果以平均值 ± 标准偏差表示。组间差异性分析采用 *t* 检验,利用 Office Excel 作图。

2 结果

2.1 虾干加工过程中脂质组成变化情况

凡纳滨对虾鲜虾总脂含量为 8.74 g/100 g(以干基计),这与邴旭文等^[17]、李婉君^[18]的研究

结果有所不同,这种差异可能与虾的规格、养殖环境、收获季节等因素有关。鲜虾经煮制、干制后总脂含量略有下降(图1),但与鲜虾相比无显著性差异($P > 0.05$),说明在虾干加工过程中总脂含量变化不大。

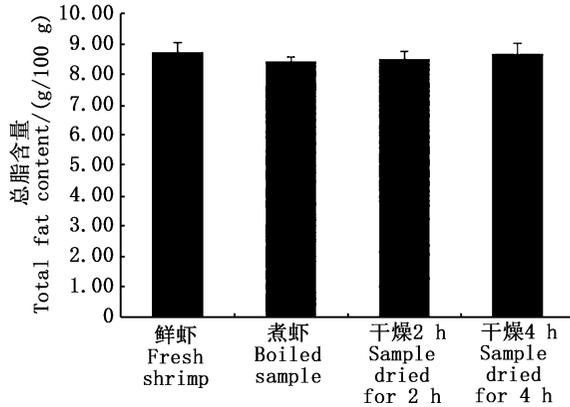


图1 虾干加工不同阶段总脂含量变化

Fig. 1 Changes in total fat content at different stages of shrimp dry processing

由图2可知:鲜虾脂质主要由磷脂、甘油三酯、游离脂肪酸和胆固醇组成,其中磷脂比例最高,为37.15%,符合水产品典型特征^[19];甘油三酯比例为20.13%,与南极磷虾^[20]、牡蛎^[21]、扇贝^[22]等海产品相比相对较低。鲜虾煮后甘油三酯和游离脂肪酸的比例显著降低($P < 0.05$),说明这两种成分在煮制加工过程中受热影响较大。磷脂比例在煮后显著上升($P < 0.05$)。在干燥2 h时,磷脂比例显著下降($P < 0.05$),且随干制时间的延长呈现下降趋势,这与在热和有氧条件下磷脂发生降解有关。干燥2 h时,游离脂肪酸的比例同样显著下降($P < 0.05$),这与游离脂肪酸在干燥阶段氧化降解生成小分子挥发性化合物有关。干燥4 h时,游离脂肪酸的比例有所上升,这可能与磷脂分解产生部分游离脂肪酸有关^[23]。胆固醇相对稳定,其比例在煮制和干燥阶段均无明显变化。

2.2 虾干加工过程脂肪酸组成变化情况

从鲜虾中共检测到26种脂肪酸,其中多不饱和脂肪酸(PUFA) > 饱和脂肪酸(SFA) > 单不饱和脂肪酸(MUFA)。饱和脂肪酸12种,以C16:0和C18:0为主;单不饱和脂肪酸7种,主要是C18:1n-9c;多不饱和脂肪酸7种,C20:5n-3(EPA)和C22:6n-3(DHA)含量较高。EPA和DHA是人和动物生长发育的必需脂肪酸,具有降

血脂、抑制血小板凝集和降血压等功效,是保健食品的重要成分,能显著降低心血管疾病发病率^[24-25]。二者的含量占鲜虾脂肪酸总量的28.47%,高于张高静等^[3](19.41%)、王娟^[26](24.69%)的研究结果,这可能与凡纳滨对虾的养殖模式、饵料、捕获季节等因素有关。

虾干加工的煮制环节对脂肪酸组成的影响不大。整个加工过程,PUFA比例总体上有所下降,以C22:6n-3变化最为明显,这与其自身具有较多的不饱和双键有关,在热和氧气作用下可降解生成多种氧化产物^[27-28],降低了虾干的营养价值。同时,不饱和脂肪酸氧化分解生成的部分醛类、酮类等小分子物质,赋予了虾干特有的风味^[29]。刘昌华等^[30]研究鲈鱼风干成熟过程中脂质变化规律,发现MUFA与PUFA在干制过程中呈上升趋势,与本实验结论一致。

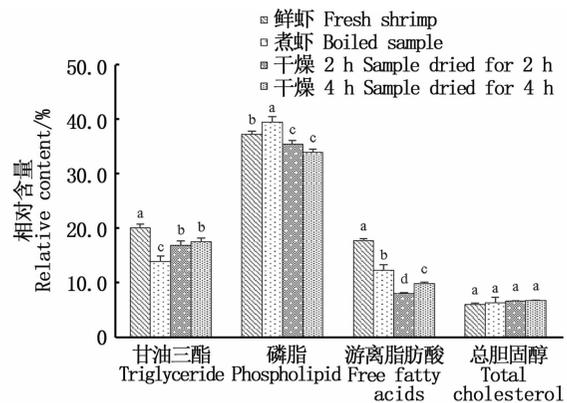


图2 虾干加工不同阶段脂质组成相对含量变化

Fig. 2 Changes in the relative content of lipid composition at different stages of shrimp dry processing

2.3 虾干加工过程中脂质氧化情况

过氧化值(POV)是评定脂质初级代谢产物氢过氧化物含量的指标。如图3所示,鲜虾的POV较低,说明脂质氧化程度较轻。煮后,POV显著升高($P < 0.05$),这与脂质受热后发生分解、氧化有关。干制过程不饱和脂肪酸发生氧化生成大量氢过氧化物,2 h时POV升高至4.6 meq/kg,之后随着干制时间的延长,氢过氧化物进一步分解,且分解速度超过了生成速度,POV随之降低^[31]。氢过氧化物不会对烤虾的风味产生直接影响,但却是重要的风味前体物质,这些中间产物氧化后会生成醛类、酮类等风味物质^[32-33]。

表 1 虾干加工过程脂肪酸组成变化(以干基计)

Tab. 1 Changes in fatty acid composition in shrimp dry processing

%

脂肪酸 Fatty acid	鲜虾 Fresh shrimp	煮虾 Boiled sample	干燥 2 h Sample dried for 2 h	干燥 4 h Sample dried for 4 h
C8:0	0.02	-	0.17	0.11
C10:0	0.01	0.01	0.11	0.07
C12:0	0.01	0.01	0.01	0.01
C14:0	0.37	0.42	0.40	0.39
C15:0	0.19	0.21	0.21	0.20
C16:0	20.91	21.39	21.68	21.83
C16:1	0.94	0.92	0.96	1.00
C17:0	0.74	0.69	0.72	0.67
C17:1	0.11	0.11	0.10	0.11
C18:0	10.62	9.92	10.50	10.06
C18:1n-9c	12.52	12.63	12.69	12.93
C18:1n-9t	0.09	0.09	0.09	0.08
C18:2n-6c	18.46	18.92	18.70	19.53
C18:2n-6t	0.81	0.85	0.89	0.75
C18:3n-3	0.55	0.50	0.50	0.52
C20:0	0.28	0.29	0.29	0.25
C20:1	0.54	0.51	0.50	0.47
C20:2	0.58	0.56	0.55	0.55
C20:4n-6	1.02	1.17	1.16	0.97
C20:5n-3	10.65	11.03	11.05	11.14
C21:0	0.06	0.05	0.05	0.05
C22:0	0.22	0.24	0.29	0.23
C22:1n-9	2.14	2.29	2.04	2.15
C22:6n-3	17.82	16.87	16.06	15.68
C24:0	0.23	0.18	0.17	0.15
C24:1	0.12	0.14	0.18	0.11
饱和脂肪酸 SFA	33.66	33.41	34.60	34.02
单不饱和脂肪酸 MUFA	16.46	16.69	16.56	16.85
多不饱和脂肪酸 PUFA	49.89	49.90	48.91	49.14

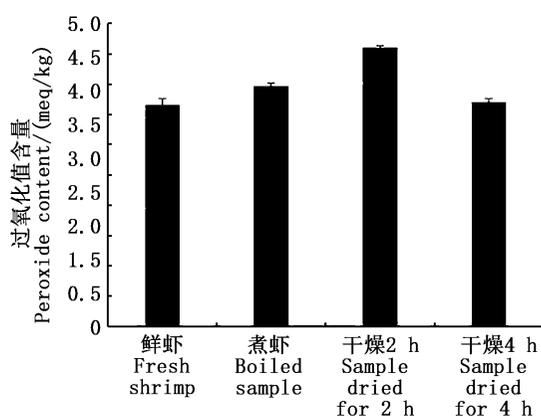
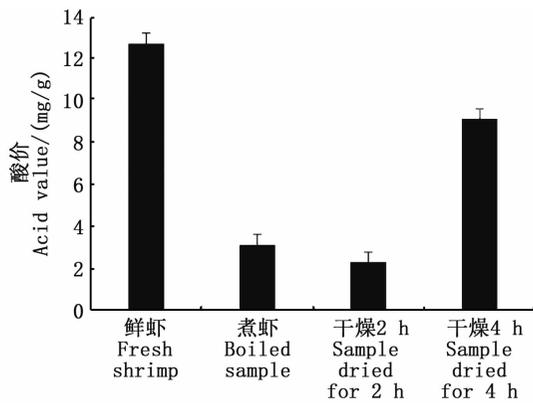


图 3 虾干加工过程中过氧化值含量变化

Fig. 3 Changes in POV during processing of dried shrimp

AV 反映的是样品中游离脂肪酸含量的多少,是衡量脂质水解程度的指标^[34-35]。如图 4 所示,虾干加工过程中 AV 呈先下降后上升趋势。鲜虾煮制后,AV 由 12.7 mg/g 降至 3.1 mg/g,与煮制过程中游离脂肪酸溶于水而损失有关,这与王欣宇等^[36]的研究结果一致。干制 4 h 时 AV 由干制 2 h 时的 2.27 mg/g 增加至 9.08 mg/g,这可能与长时间的热加工过程中甘油三酯和磷脂等发生水解生成大量游离脂肪酸有关。另外,脂质水解速度并不是匀速的,还与样品中水分含量及其状态、内源脂肪酶等因素有关^[37-38]。



图中数据以干物质基础计。

Data in the graph on a dry basis.

图4 虾干加工过程中酸价变化

Fig. 4 Changes in AV during processing of dried shrimp

TBARS 是评价脂质次级氧化程度的指标,以产生的丙二醛(MDA)含量表示^[39]。如图5所示,虾干加工过程中TBARS呈上升趋势,由初始的0.16 mg/kg上升到0.51 mg/kg。这说明在虾干加工过程中,一方面脂肪氧化产生过氧化物,另一方面过氧化物也会逐步分解生成低级的醛、酮、醇、羧酸及杂环化合物等^[40]。

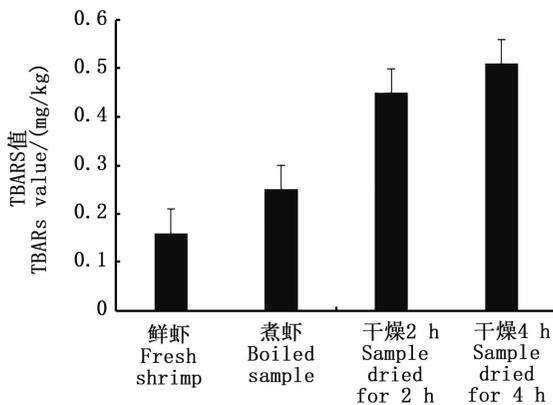


图5 虾干加工过程中TBARS变化

Fig. 5 Changes in TBARS during processing of dried shrimp

3 结论

在虾干加工过程中,总脂含量变化不大,但脂质不同组分的比例有显著变化。鲜虾煮后甘油三酯和游离脂肪酸的比例显著降低($P < 0.05$),磷脂比例显著上升($P < 0.05$)。干燥过程,磷脂比例呈下降趋势,游离脂肪酸的比例先下降

后上升。胆固醇在整个加工过程比例相对稳定。虾中的脂肪酸以多不饱和脂肪酸为主,煮制对脂肪酸组成影响不大,干制过程多不饱和脂肪酸发生氧化,总体含量有所下降。煮制和干制使虾的POV升高,干制后期POV有所降低;AV在煮制后显著降低,而干制过程中随着脂质的水解显著升高;TBARS在加工过程一直上升。因此,在虾干加工过程中煮制和热风干燥会影响脂质组分的比例,同时引起脂质的氧化分解,这对于虾干产品的营养价值和风味形成有重要意义,后续研究应重点关注。

参考文献:

- [1] 李红艳,刘天红,孙元芹,等.生态化池塘养殖模式下凡纳滨对虾与日本囊对虾营养成分的比较[J].海洋渔业,2015,37(2):135-141.
LI H Y, LIU T H, SUN Y Q, et al. A comparative study on nutritional quality in the muscle of *Litopenaeus vannamei* and *Marsupenaeus japonicus* in the marine ecological cultured-pond[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(2): 135-141.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.2019中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019:5.
Fishey and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture, National Aquatic Technology Extension Station, China Society of Fisheries. China fisheries statistical yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2019: 5.
- [3] 张高静,韩丽萍,孙剑锋,等.南美白对虾营养成分分析与评价[J].中国食品学报,2013,13(8):254-260.
ZHANG G J, HAN L P, SUN J F, et al. Analysis and evaluation of nutritive composition in *Penaeus vannamei*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(8): 254-260.
- [4] AKONOR P T, OFORI H, DZIEDZOAVE N T, et al. Drying characteristics and physical and nutritional properties of shrimp meat as affected by different traditional drying techniques[J]. International Journal of Food Science, 2016, 2016: 7879097.
- [5] 张国琛,毛志怀.水产品干燥技术的研究进展[J].农业工程学报,2004,20(4):297-300.
ZHANG G C, MAO Z H. Research advances of aquatic product drying technologies[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(4): 297-300.
- [6] 王兆明,贺稚非,李洪军.脂质和蛋白质氧化对肉品品质影响及交互氧化机制研究进展[J].食品科学,2018,39(11):295-301.
WANG Z M, HE Z F, LI H J. A review of the effect of lipid and protein oxidation on meat quality and their

- interrelationship[J]. Food Science, 2018, 39(11): 295-301.
- [7] 王建辉,刘冬敏,刘永乐,等. 冷藏期间草鱼肌肉脂质降解的影响因素分析[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 276-279.
WANG J H, LIU D M, LIU Y L, et al. Factors influencing lipid degradation of grass carp muscle during cold storage [J]. Food Science, 2013, 34(18): 276-279.
- [8] CHUNG H, CHOI A, CHO I H, et al. Changes in fatty acids and volatile components in mackerel by broiling[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2011, 113(12): 1481-1490.
- [9] 蔡秋杏,吴燕燕,李来好,等. 黄花鱼腌制加工过程的脂肪氧化分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(12): 4079-4084.
CAI Q X, WU Y Y, LI L H, et al. Lipid oxidation during processing of traditional salting fish of yellow croakers[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(12): 4079-4084.
- [10] VASTA V, PAGANO R I, LUCIANO G, et al. Effect of morning vs. afternoon grazing on intramuscular fatty acid composition in lamb[J]. Meat Science, 2012, 90(1): 93-98.
- [11] 万楚筠,黄凤洪,李文林. 抗坏血酸-钼蓝光度法测定油脂中磷脂含量的研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(4): 46-49.
WAN C Y, HUANG F H, LI W L. Determination of phospholipids in oils by ascorbic acid-molybdenum blue spectrophotometry[J]. China Oils and Fats, 2006, 31(4): 46-49.
- [12] 孙甜甜,薛长湖,薛勇,等. 南极磷虾脂质提取方法的比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 115-117, 121.
SUN T T, XUE C H, XUE Y, et al. Comparisons of the Antarctic krill lipid extraction methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 115-117, 121.
- [13] 楼乔明,杨文鸽,徐大伦,等. 多支链饱和脂肪酸质谱特征及其在海洋动物中的含量分析[J]. 核农学报, 2013, 27(3): 334-339.
LOU Q M, YANG W G, XU D L, et al. Analysis of mass spectrometry characteristics of multi-branched saturated fatty acids and contents in marine animals[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(3): 334-339.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009. 229—2016 食品安全国家标准 食品中酸价的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Ministry of Health of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB 5009. 229-2016 National food safety standard-determination of acid value in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [15] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 37—2003 食用植物油卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
Ministry of Health of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T 5009. 37-2003 Method for analysis of hygienic standard of edible oils[S]. Beijing: China Standard Press, 2004.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009. 181—2016 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
People's Republic of China, National Health and Family Planning Commission. GB 5009. 181-2016 National food safety standard-determination of malondialdehyde in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [17] 邴旭文,王进波. 池养南美蓝对虾与南美白对虾肌肉营养成分品质的比较[J]. 水生生物学报, 2006, 30(4): 453-458.
BING X W, WANG J B. A comparative study of nutritional quality in the muscle of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei* in the cultured-pond [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(4): 453-458.
- [18] 李婉君. 南极磷虾与南美白对虾营养与滋味成分比较[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
LI W J. Nutritional and flavor components analysis of Antarctic krill and white shrimp [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [19] 崔益玮,俞喜娜,李诗言,等. 虾头中磷脂提取与组学分析[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 218-225.
CUI Y W, YU X N, LI S Y, et al. Extraction and lipidomic profiling of phospholipids from shrimp heads [J]. Food Science, 2018, 39(20): 218-225.
- [20] 楼乔明,王玉明,杨文鸽,等. 南极磷虾粉脂质及脂肪酸组成分析[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1256-1262.
LOU Q M, WANG Y M, YANG W G, et al. Lipid classes and fatty acid compositions of Antarctic krill meal [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1256-1262.
- [21] 丁丹勇,李长玲,黄翔鸽,等. 不同养殖区香港牡蛎营养成分的分析与评价[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(5): 91-95.
DING D Y, LI C L, HUANG X H, et al. Analysis and evaluation of nutritive components of *Crassostrea hongkongensis* from different cultural areas [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(5): 91-95.
- [22] 王昕岑. 水产品贮藏过程中磷脂的鸟枪法分析及水解机理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
WANG X C. Shotgun lipidomics and hydrolysis mechanism of phospholipids from aquatic product during storage [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [23] 李林,王亚娜,王晓君,等. 老腊肉加工过程中脂质水解及氧化的变化研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 252-258.
LI L, WANG Y N, WANG X J, et al. Lipolysis and lipid oxidation during the process of Chinese traditional bacon development [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(8): 252-258.

- [24] 梁志强, 李传武, 欧燎原, 等. 湘华鲮肌肉营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2009, 31(4): 411-413.
LIANG Z Q, LI C W, OU L Y, et al. Evaluation of nutritive quality and analysis of the nutritive compositions in the muscle of *Sinilabeo decorus tungting* (Nichols)[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2009, 31(4): 411-413.
- [25] SAINI R K, KEUM Y S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: dietary sources, metabolism, and significance-a review[J]. Life Sciences, 2018, 203: 255-267.
- [26] 王娟. 中国对虾、南美白对虾和斑节对虾肌肉营养成分的比较[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 146-150.
WANG J. Comparison of nutritional compositions in muscles of *Penaeus chinensis*, *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus japonicus* Bate[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(6): 146-150.
- [27] 顾赛麒, 唐锦晶, 周绪霞, 等. 腌腊鱼传统日晒干制过程中品质变化与香气形成[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 36-44.
GU S Q, TANG J J, ZHOU X X, et al. Quality change and aroma formation in cured fish during traditional sun drying processing[J]. Food Science, 2019, 40(17): 36-44.
- [28] 曹松敏, 吴燕燕, 李来好, 等. 蓝圆鲂传统腌干过程中内源脂肪酶和脂质降解氧化的变化分析[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 36-42.
CAO S M, WU Y Y, LI L H, et al. Evolution of endogenous lipase activity, lipolysis and lipid oxidation during the processing of traditional dry-salted *Decapterus maruadsi* [J]. Food Science, 2017, 38(7): 36-42.
- [29] 蔡秋杏, 吴燕燕, 李来好, 等. 厦门白姑鱼腌制加工过程中的脂肪酸变化分析[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 76-81.
CAI Q X, WU Y Y, LI L H, et al. Changes in fatty acids during salting and drying of white croaker (*Argyrosomus amoyensis*) [J]. Food Science, 2015, 36(12): 76-81.
- [30] 刘昌华, 章建浩, 王艳. 鲈鱼风干成熟过程中脂质分解氧化规律[J]. 食品科学, 2012(5): 13-18.
LIU C H, ZHANG J H, WANG Y. Lipolysis and lipid oxidation in perch during curing and air drying ripening[J]. Food Science, 2012(5): 13-18.
- [31] FLORES M, ALASNIER C, ARISTOY M C, et al. Activity of aminopeptidase and lipolytic enzymes in five skeletal muscles with various oxidative patterns[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 70(1): 127-130.
- [32] 王勇勤, 郭新, 黄笠原, 等. 羊肉火腿加工过程中脂质氧化及内源抗氧化体系变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 27-31.
WANG Y Q, GUO X, HUANG L Y, et al. Changes of lipid oxidation and endogenous antioxidant system in mutton ham processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 27-31.
- [33] 高瑞昌, 袁丽, 刘伟民, 等. 热泵冷风干燥鲢鱼的挥发性盐基氮和脂质氧化品质模型[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 227-232.
GAO R C, YUAN L, LIU W M, et al. Modeling of total volatile basic nitrogen and thiobarbituric acid of silver carp dried in cold-air dryer with heat pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(23): 227-232.
- [34] 顾赛麒, 周洪鑫, 郑皓铭, 等. 干制方式对腌腊草鱼脂肪氧化和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 1-10.
GU S Q, ZHOU H X, ZHENG H M, et al. Effects of different drying methods on lipid oxidation and volatile flavor components of cured grass carp[J]. Food Science, 2018, 39(21): 1-10.
- [35] WARDHANI D H, FUCIÑOS P, VÁZQUEZ J A, et al. Inhibition kinetics of lipid oxidation of model foods by using antioxidant extract of fermented soybeans [J]. Food Chemistry, 2013, 139(1/4): 837-844.
- [36] 王欣宇, 钱佳敏, 张进杰, 等. 烹饪方式对野生与养殖青虾营养价值的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(6): 1257-1265.
WANG X Y, QIAN J M, ZHANG J J, et al. Effects of cooking methods on nutritional value of wild and cultured freshwater shrimp [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(6): 1257-1265.
- [37] 王悦齐, 吴燕燕, 李来好, 等. 抗氧化乳酸菌对发酵腌干带鱼脂肪氧化的影响及其主成分分析[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 231-238.
WANG Y Q, WU Y Y, LI L H, et al. Effect of antioxidant lactic acid bacteria on lipid hydrolysis and oxidation of dry-cured hairtail: a study using principal components analysis [J]. Food Science, 2017, 38(8): 231-238.
- [38] RUSSO A, CAPUTO S, PANTUSA M, et al. Amino acids as modulators of lipoxygenase oxidation mechanism. The identification and structural characterization of spin adducts intermediates by electron spin resonance and tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 533-538.
- [39] 曹文明, 王鑫, 包杰, 等. 油脂氧化评价研究进展[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(4): 1-5.
CAO W M, WANG X, BAO J, et al. Research progresses on lipids rancidity and oxidation evaluation[J]. Cereals & Oils, 2013, 26(4): 1-5.
- [40] 程珂萌, 周昌瑜, 潘道东, 等. 低温风干型酱鸭加工过程中脂质氧化特性[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 219-225.
CHENG K M, ZHOU C Y, PAN D D, et al. Characteristics of lipid oxidation during processing of low-temperature air-dried sauced duck[J]. Food Science, 2018, 39(12): 219-225.

Changes in lipids of dried shrimp products during processing

WANG Shanyu^{1,2}, LIU Xin³, CAO Rong², WANG Lingzhao¹, DU Yunjian¹

(1. College of Food Science and Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, Jiangsu, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, Shandong, China; 3. Huangdao Customs of China, Qingdao 266555, Shandong, China)

Abstract: In order to explore the change of lipids in the drying process of ready-to-eat shrimp, the samples of fresh shrimp, cooked, dried for 2 h and dried for 4 h were taken respectively, and the total fat content, lipid composition, fatty acid composition, acid value (AV), peroxide value (POV), thiobarbiturate acid reacting substances (TBARS) were analysed. The results showed that the total fat content of fresh shrimp was 8.74 g/100 g (on dry basis), which did not change significantly during cooking and drying ($P > 0.05$). There was a significant change in lipid composition, with a significant decrease in the ratio of triglycerides and free fatty acids after cooking ($P < 0.05$), while the proportion of phospholipids increased significantly ($P < 0.05$). In the drying process, the proportion of phospholipids showed a downward trend, the proportion of free fatty acids showed an upward trend, while the proportion of cholesterol was relatively stable. The composition of fatty acids changed less in the process, in which the content of polyunsaturated fatty acids decreased in the drying stage and the content of saturated fatty acids was increased relatively. During shrimp drying processing, POV shows a trend of first rising and then decreasing, while AV decreases sharply after cooking, while increases after drying and TBARS continues to rise. Thus, cooking and hot air drying during shrimp drying will affect the proportion of lipid components, and cause the oxidation and decomposition of lipids. The theoretical reference is provided for the optimization, quality control and flavor formation of ready-to-eat shrimp drying process.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; drying; lipid composition; lipid oxidation; fatty acid