

何涓源, 余翔, 冯艳丽, 等. 德清青虾肌肉品质特性及其主成分分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 264–270. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060342

HE Juanyuan, YU Xiang, FENG Yanli, et al. Muscle Quality Characterization and Principal Component Analysis of Deqing Shrimp [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 264–270. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060342

· 分析检测 ·

德清青虾肌肉品质特性及其主成分分析

何涓源^{1,2}, 余翔^{1,2}, 冯艳丽^{1,2}, 张润峰^{1,2}, 陈利忠³, 黄昊^{1,3,*}

(1.湖北师范大学生命科学学院, 湖北黄石 435002;

2.食用野生植物保育与利用湖北省重点实验室, 湖北黄石 435002;

3.浙江恒通生物科技股份有限公司, 浙江湖州 313200)

摘要:本研究对德清青虾肌肉质构参数、常规营养成分、脂肪酸和氨基酸组分进行测定, 并采用主成分分析方法对影响肌肉品质的因素进行分析。结果表明: 德清青虾肌肉结实有弹性。肌肉内水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量分别为 73.238%、15.663%、0.8% 和 1.39%。德清青虾肌肉富含多不饱和脂肪酸组分, 占到肌肉脂肪酸总量的 37.79%, 其中 EPA 占 23.45%。德清青虾肌肉含有 17 种氨基酸, 必需氨基酸占氨基酸总量的 51.50%, 必需氨基酸与非必需氨基酸的比值为 106.20%, 符合 FAO/WHO 的理想模式。氨基酸评分 (AAS) 和化学评分 (CS) 结果显示, 第一和第二限制性氨基酸分别为缬氨酸和亮氨酸, 其中必需氨基酸指数 (EAAI) 为 75.55, 表明德清青虾肌肉中必需氨基酸含量丰富且均衡。相关性分析表明, 德清青虾肌肉粗脂肪含量与其硬度和黏性分别呈显著正相关和负相关 ($P < 0.05$)。主成分分析结果表明, 硬度、黏性、咀嚼性、弹性是影响德清青虾肌肉品质的主要因素。综上所述, 德清青虾具有较优的肌肉营养品质和质构特性, 是一种优质淡水产品。

关键词: 德清青虾, 肌肉品质, 表征, 主成分分析

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)08-0264-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060342

Muscle Quality Characterization and Principal Component Analysis of Deqing Shrimp

HE Juanyuan^{1,2}, YU Xiang^{1,2}, FENG Yanli^{1,2}, ZHANG Runfeng^{1,2}, CHEN Lizhong³, HUANG Hao^{1,3,*}

(1.College of Life Science, Hubei Normal University, Huangshi 435002, China;

2.Hubei Key Laboratory of Edible Wild Plants Conservation & Utilization, Huangshi 435002, China;

3.Zhejiang Henton Biotechnology Co., Ltd., Huzhou 313200, China)

Abstract: Texture characteristics, normal nutritional composition, fatty acids and amino acids of Deqing shrimp muscle were investigated in the present study. Then, factors affecting muscle quality of Deqing shrimp were confirmed using principal component analysis. The results indicated that the muscle of Deqing shrimp was firm-fleshed and flexible. The moisture content, crude protein, crude fat and crude ash of Deqing shrimp muscle were 73.238%, 15.663%, 0.8% and 1.39%, respectively. Deqing shrimp muscle was rich in poly-unsaturated fatty acid and the ratios of poly-unsaturated fatty acid and EPA to total fatty acid were 37.79% and 23.45%, respectively. Seventeen of common amino acids were detected in Deqing shrimp muscle. The ratios of essential amino acids to total amino acids and total essential amino acids to total nonessential amino acids were 51.5% and 106.20%, respectively, which was conform to FAO/WHO standards. According to the results of amino acid scores (AAS) and chemical score (CS), the first and second limiting amino acids were Val and Leu, respectively. The essential amino acid index was 75.55 which indicated that the essential amino acid of Deqing shrimp muscle was nutritious and well-balanced. Results of correlation analysis showed that crude fat contents was significantly

收稿日期: 2020-06-29

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究计划重点项目 (D20192502); 食用野生植物保育与利用湖北省重点实验室开放基金项目 (EWPL201807); 湖北师范大学研究生科研创新项目 (20190143)。

作者简介: 何涓源 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学, E-mail: san.kelsey@qq.com。

* 通信作者: 黄昊 (1986-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 水产养殖, E-mail: hjhuanghao@163.com。

positively and negatively correlated with hardness and gumminess, respectively ($P < 0.05$). Hardness, gumminess, chewiness and springiness were the main influencing factors on muscle quality of Deqing shrimp according to the results of principal component analysis. In summary, Deqing shrimp would be a high-quality freshwater shrimp with better muscle nutrition quality and texture properties.

Key words: deqing shrimp; muscle quality; characterization; principal component analysis

青虾学名日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*), 又称河虾, 其肉质细嫩、味道鲜美且营养丰富, 深受消费者的青睐, 是我国重要的淡水养殖虾类^[1]。浙江省德清县素有养殖青虾的传统, 至今已有 30 余年历史, 目前德清境内青虾养殖水面超过 10 万亩, 2019 年青虾产量超过 7400 吨, 约占浙江省青虾总产量的四分之一^[2], 是全国重要的优质青虾养殖基地。

随着青虾产业的蓬勃发展, 近年来众多学者围绕青虾开展了大量研究, 但主要关注在青虾遗传多样性、饲料营养和养殖技术等方面^[3-5], 而对于青虾肌肉品质的研究还未见报道。已有的对淡水虾肌肉品质的研究大多集中在克氏原螯虾^[6-8]上, 研究表明, 淡水虾的肌肉品质是对其肌肉质构属性和营养特性的总体反映, 是评判淡水虾原料质量高低的决定因素。梁洁等^[6]通过对稻田与清水养殖模式下的克氏原螯虾的相关肌肉品质指标进行检测, 确定稻田养殖的克氏原螯虾肌肉品质(营养价值和食用品质)优于清水养殖的克氏原螯虾。徐晨等^[8]对南京浦口、苏州太湖和宿迁泗洪地区的克氏原螯虾肌肉品质进行比较, 确定宿迁泗洪地区的克氏原螯虾粗蛋白含量较高, 南京浦口地区克氏原螯虾的浓郁鲜味是其肌肉内较高的呈味氨基酸含量所致。因此, 近年来围绕克氏原螯虾肌肉品质开展的大量卓有成效的研究不仅为克氏原螯虾的育种、饲料开发和养殖模式探究提供了客观数据评价, 更为后续克氏原螯虾的深加工提供了详实的数据参考, 在解决克氏原螯虾产业发展瓶颈问题的同时, 也为德清青虾产业的发展提供了借鉴, 现实意义重大。

本研究从德清青虾产业发展实际出发, 以德清县青虾主产区收集的高品质青虾为研究对象, 对其肌肉质构参数、一般营养成分、氨基酸和脂肪酸组分进行测定, 在定性、定量表征出德清青虾肉质品质的基础上, 采用 Pearson 相关性检验以及主成分分析法对影响德清青虾肉质的因素进行分析。研究结果可为建立、健全德清青虾质量标准化体系和德清青虾的进一步加工利用提供理论依据, 具有较强的理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

青虾样品 于 2019 年 2 月 24 日随机采集于德清县三合乡和钟管镇 2 处青虾专业市场, 以鲜活状态运输至实验室, 按照平均体重(5.02 ± 0.64)g, 平均体长(7.79 ± 0.12)cm 的规格筛选出 100 尾青虾作为

测定样品, 取 10 尾新鲜青虾进行质构测定, 剩余 90 尾青虾用液氮快速冻结后包装置于 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱贮藏待用; 硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、石英砂、乙酸镁、无水乙醚、甲醇、盐酸、磷酸二氢钠、氢氧化钠、三氟化硼 均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司; 马弗炉 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; K9860 全自动凯氏定氮仪 山东海能科学仪器有限公司; SF7-30 冠亚肉类水分测定仪 深圳市冠亚电子科技有限公司; 1100 高效液相色谱、7890 高效气相色谱 美国安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 肌肉质构特性测定 参照王伟^[9]的报道, 将 10 尾新鲜青虾洗净, 解剖取尾部肌肉, 使用质构仪对肌肉样品进行质地多面分析(TPA, Texture Profile Analysis), 测定指标包括硬度、粘附性、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性和剪切力等, 测定参数: p/50 探头, 测前速度 1 mm/s, 测定速度 2 mm/s, 测后速度 2 mm/s, 压缩比例为 40%。

1.2.2 肌肉中常规营养成分测定 将冷冻青虾样品置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱充分解冻 24 h, 然后解剖取出完整尾部肌肉用于营养成分测定。水分含量采用 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中直接干燥法测定; 粗灰分含量采用 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》中马弗炉灼烧法测定; 粗蛋白含量采用 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定; 粗脂肪含量采用 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定。

1.2.3 肌肉中脂肪酸和氨基酸组分测定 脂肪酸和氨基酸的测定分别按 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》和 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》中的方法。

1.2.4 营养品质评价 青虾肌肉蛋白质的氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)和必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)计算公式如下^[10]:

$$\text{AAS} = \frac{\text{样品蛋白质氨基酸含量}}{\text{评分模式氨基酸含量}} \times 100$$

$$\text{CS} = \frac{\text{样品蛋白质氨基酸含量}}{\text{鸡蛋蛋白质氨基酸含量}} \times 100$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{t(\text{赖氨酸})}{s(\text{赖氨酸})} \times \frac{t(\text{亮氨酸})}{s(\text{亮氨酸})} \times \dots \times \frac{t(\text{苏氨酸})}{s(\text{苏氨酸})}} \times 100$$

1.3 数据处理

试验数据采用 SPSS 18.0 统计软件进行数据分析, 实验结果以平均值±标准偏差来表示, 显著性检验采用 One-way ANOVA 程序进行方差分析, Duncan's 法进行多重比较, 双变量分析相关性, 采用因子分析进行主成分分析, $P < 0.05$ 为差异显著性标准。

2 结果与分析

2.1 德清青虾肌肉质构特性分析

TPA 是肉质检测中最常用的模式, 利用质构仪模拟口腔对肌肉的咀嚼过程, 通过对肌肉的重复压缩, 形成一系列测试数据来定量评价肉质特性。本研究测定的德清青虾肌肉质构特性如表 1 所示, 其硬度 1994.49 g, 剪切力 1178.01 g, 弹性 0.87 mm, 凝聚性 0.18, 黏性 355.56 g, 咀嚼性 314.54 g。目前还未见关于青虾肌肉质构特性的相关报道, 本实验将肌肉质构结果对比已报道的高品质盱眙克氏原螯虾(稻虾互动模式)质构结果, 除凝聚性相对略低外, 德清青虾肌肉的硬度、弹性和咀嚼性均高于盱眙克氏原螯虾(稻虾互动模式)。相关研究表明肌肉硬度越大, 黏性就越大, 肌肉的咀嚼性也更好^[11], 本研究结果与之相符, 说明德清青虾肌肉紧实有弹性, 具有较好的口感。

表 1 德清青虾肌肉质构特性
Table 1 Textural properties in muscle of Deqing shrimp

测定项目	德清青虾	盱眙克氏原螯虾 (稻虾互动模式) ^[12]
硬度(g)	1994.49±103.51	1410.30
剪切力(g)	1178.01±82.53	未检测
弹性(mm)	0.87±0.09	0.50
凝聚性	0.18±0.02	0.38
黏性(g)	355.56±14.88	未检测
咀嚼性(g)	314.54±19.25	249.78

2.2 德清青虾肌肉常规营养成分分析

青虾的腹部肌肉是最主要被选择的食用部位, 其常规营养成分水分含量、粗蛋白、粗脂肪和灰分不仅是肌肉组成的基本成分, 而且是评价肉质品质的重要指标^[13]。本研究测定的德清青虾肌肉常规营养成分含量如表 2 所示, 其水分含量为 73.238%, 粗蛋白 15.663%, 粗脂肪 0.8%, 灰分 1.39%, 与盱眙克氏原螯虾、澳洲淡水龙虾和凡纳滨对虾三种公认高品质水产品相比, 其水分含量略低于淡水虾(盱眙克氏原螯虾和澳洲淡水龙虾)但高于海水虾(凡纳滨对虾), 而其粗蛋白、粗脂肪和灰分含量跟淡水虾(盱眙克氏原螯虾和澳洲淡水龙虾)含量接近, 但均低于凡纳滨

对虾(25.600%、1.0%、1.80%)。彭永兴等^[14]研究表明, 海水虾的粗脂肪、粗蛋白和粗灰分含量普遍高于淡水虾, 本研究结果与之相符。以上结果表明, 与其它优质淡水水产品一样, 德清青虾肌肉具有高蛋白、低脂肪的营养特性, 是一种优质食用淡水虾产品。

表 2 德清青虾与其它水产品肌肉中常规营养成分比较(% 鲜重)

Table 2 Comparison of nutritional components in muscle between Deqing shrimp and some other aquatic (% wet weight basis)

测定项目	德清青虾	盱眙克氏原螯虾 ^[15]	澳洲淡水龙虾 ^[10]	凡纳滨对虾 ^[16]
水分含量	73.238±1.177	80.000	79.710	71.500
粗蛋白	15.663±0.932	17.700	15.910	25.600
粗脂肪	0.8±0.1	1.0	0.7	1.0
灰分	1.39±0.28	1.24	1.60	1.80

2.3 德清青虾肌肉脂肪酸组分分析

脂肪酸不仅是青虾肌肉组织重要的组成成分和功能性成分^[17], 且与产品的风味成分密切相关^[18], 因此, 对青虾肌肉内脂肪酸组分进行定性定量表征是评判青虾肉质品质高低的关键。本研究中德清青虾肌肉中共检测出 21 种具有统计意义的脂肪酸组分, 其中饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)12 种, 单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)5 种, 多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)4 种。与之对比的盱眙克氏原螯虾有 15 种脂肪酸组分, 其中 SFA 和 MUFA 均为 4 种, PUFA 有 7 种; 其次是鄱阳湖克氏原螯虾有 13 种, 其中 SFA 和 PUFA 均有 5 种, MUFA 有 3 种; 最少的是澳洲淡水龙虾有 11 种, 其中 SFA 和 MUFA 均为 4 种, PUFA 为 5 种。

在德清青虾肌肉 SFA 中含量最高是棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)。对比棕榈酸(C16:0)组分含量, 鄱阳湖克氏原螯虾(21.50%)最高, 澳洲淡水龙虾(16.10%)和德清青虾(14.53%)其次, 盱眙克氏原螯虾(12.01%)最低。而对比硬脂酸(C18:0)含量, 德清青虾(10.61%)最高, 其次是澳洲淡水龙虾(10.10%)和鄱阳湖克氏原螯虾(8.64%), 最低的是盱眙克氏原螯虾(6.61%)。在油脂营养学上一般认为棕榈酸等饱和脂肪酸的摄入会增加人体内低密度脂蛋白含量^[19], 进而引起健康隐患, 但 Senyilmaz-Tiebe 等^[20]研究证实饮食中硬脂酸(C18:0)的摄入不仅不会导致人体心血管疾病, 而且能降低血液中胆固醇含量, 降低心脏病疾病的隐患。由于德清青虾相对其它水产品, 肌肉中硬脂酸(C18:0)含量相对较高, 因此, 推断其 SFA 具有较好的油脂营养价值。虽然德清青虾ΣSFA 达到 38.78%, 高于其它三种水产品, 但换算成净含量也仅为 1.3450 g/100 g 虾肉。英国饮食指南建议饱和脂肪酸每日摄入量女性为 20 g, 男性为 30 g^[21], 据此推测, 人体每日从德清青虾中摄

表 3 德清青虾与其它水产品肌肉中脂肪酸组成比较(% 鲜重)

Table 3 Comparison of fatty acid composition in muscle between Deqing shrimp and some other aquatic (% wet weight basis)

脂肪酸	德清青虾	鄱阳湖克氏原螯虾 ^[24]	盱眙克氏原螯虾 ^[15]	澳洲淡水龙虾 ^[10]
C6:0	0.12±0.02	—	—	—
C8:0	0.11±0.01	—	—	—
C10:0	0.26±0.04	—	13.51	—
C11:0	0.19±0.10	—	—	—
C12:0	0.38±0.06	—	—	—
C13:0	0.84±0.85	—	—	—
C14:0	2.61±0.18	0.69	—	—
C15:0	0.82±0.17	—	—	—
C16:0	14.53±0.86	21.50	12.01	16.10
C17:0	1.12±0.17	—	—	1.00
C18:0	10.61±0.78	8.64	6.61	10.10
C20:0	—	—	0.75	—
C21:0	7.16±0.79	2.59	—	—
C22:0	—	0.17	—	—
C23:0	—	—	—	—
C24:0	—	—	—	—
C14:1	0.14±0.02	—	—	0.79
C16:1	5.56±0.06	2.18	3.15	1.10
C17:1	1.56±0.36	—	—	—
C18:1n7t	13.35±0.79	21.59	28.68	33.70
C20:1	—	6.50	1.35	—
C24:1	2.78±0.39	—	3.60	—
C18:2n6t	9.35±1.36	12.66	3.60	12.20
C18:3n3	3.13±0.64	1.72	0.90	—
C20:2	2.28±0.29	—	0.60	1.60
C20:3	—	0.17	3.60	—
C20:4	—	—	9.01	4.70
C20:5	23.45±2.13	9.17	10.21	12.60
C22:6	—	1.86	2.40	2.90
ΣSFA	38.78±1.59	33.59	25.83	27.20
ΣMUFA	23.44±1.63	30.27	33.18	35.59
ΣPUFA	37.79±3.05	25.58	32.74	34.00
ΣSFA:ΣMUFA:ΣPUFA	1:0.60:0.97	1:0.90:0.76	0.78:1:0.99	0.76:1:0.96

注:—表示未检出。ΣSFA为饱和脂肪酸总量,ΣMUFA为单不饱和脂肪酸总量,ΣPUFA为多不饱和脂肪酸总量。

入的饱和脂肪酸量远低于建议摄入标准,基本不存在饱和脂肪酸过量摄入的营养学隐患。

MUFA 和 PUFA 在油脂营养学上被公认是对人体健康有益的物质,美国心脏病协会认为人体适量摄入 MUFA 能够帮助人体降低血液中胆固醇含量,而 PUFA 的摄入可以改善人体血液中脂质水平,进而降低患心脏病和中风的危险^[22],检测结果显示,德清青虾的ΣMUFA 为 23.44%,低于其它 3 组水产品。在 ΣPUFA 上,德清青虾为 37.79%,高于其他三组水产品。为合理、健康地食用油脂,世界卫生组织(World health organization, WHO)/联合国粮农组织(Food and agriculture organization, FAO)对居民膳食脂肪

酸摄入推荐比例为 ΣSFA:ΣMUFA:ΣPUFA 为 1:1:1^[23]。从实验结果中可看出(见表 3),4 种水产品的三种脂肪酸含量比例均接近 1:1:1,因此均具有较高的油脂营养价值,其中最接近的是澳洲淡水龙虾和盱眙克氏原螯虾,德清青虾由于 SFA 较高, MUFA 含量较低,导致三种油脂比例稍逊于澳洲淡水龙虾和盱眙克氏原螯虾,需要后续在养殖过程中通过饲料或养殖方式的调整进一步优化其品质。

必需脂肪酸组分是人体自身不能合成而依靠从食物中摄取的重要营养成分,例如 EPA(C20:5)和 DHA(C22:6)等,研究表明这类多不饱和脂肪酸多来源于海藻、鱼、虾蟹等水产品,其中 EPA 不仅是重要的脂质营养素,而且具有降血脂、抗癌、预防心脑血管和糖尿病等疾病的功效^[25]。本研究结果显示,德清青虾肌肉内 EPA(23.45%)含量高于其它三种水产品,这表明经常摄入德清青虾等优质水产品有利于补充人体所需的必需脂肪酸组分,对保持人体健康有益。

2.4 德清青虾肌肉氨基酸组分分析

德清青虾肌肉中共检测到 17 种氨基酸组分(表 4),包括 8 种人体必需氨基酸(Essential amino acid, EAA)和 9 种非必需氨基酸(Non-essential amino acid, NEAA),9 种 NEAA 中包括 4 种鲜味氨基酸(Delicious amino acid, DAA),在对照的三种水产品中,除澳洲淡水龙虾肌肉检测出 16 种氨基酸组分(未检出胱氨酸)外,其他两组水产品中检测出氨基酸组分均为 17 种。必需氨基酸是人体自身不能合成而必须通过从外界摄入的氨基酸,对促进机体生长发育作用极大,与其它高品质水产品相比,德清青虾肌肉中ΣEAA(7.96%)最高,其次是鄱阳湖克氏原螯虾(6.68%)和澳洲淡水龙虾(6.07%),盱眙克氏原螯虾(5.81%)最低,可见德清青虾相比于其他优质水产品,必需氨基酸营养价值更高。在鲜味氨基酸含量上,鄱阳湖克氏原螯虾的鲜味氨基酸(6.50%)最高,其次是盱眙克氏原螯虾(6.14%)和澳洲淡水龙虾(5.89%),德清青虾(3.57%)含量相对较低,这可能与品种^[12]和养殖过程中的摄食情况有关。

WHO/FAO 提出蛋白质理想模式应为:ΣEAA/ΣAA 高于 40%,ΣEAA/ΣNEAA 高于 60%^[26]。四组虾的ΣEAA/ΣAA 和ΣEAA/ΣNEAA 比较中,德清青虾(51.50%、106.20%)最高,澳洲淡水龙虾(37.80%、79.03%)其次,盱眙克氏原螯虾(35.72%、69.74%)和鄱阳湖克氏原螯虾(33.91%、70.03%)最低,其中ΣEAA/ΣAA 比例只有德清青虾超过 40%的标准,且ΣEAA/ΣNEAA 更是达到了 106.2%,因此四组水产品中德清青虾的肌肉蛋白质质量最优。

对肌肉蛋白质营养品质的评价通常是由必需氨基酸的种类和比例决定,主要评价指标为氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)。

表 4 德清青虾与其它水产品肌肉中氨基酸组成比较(%鲜重)

Table 4 Comparison of amino acid composition in muscle between Deqing shrimp and some other aquatic (% wet weight basis)

氨基酸	德清青虾	鄱阳湖克氏原螯虾 ^[24]	盱眙克氏原螯虾 ^[15]	澳洲淡水龙虾 ^[10]
苏氨酸* Thr	0.73±0.01	0.72	0.67	0.66
缬氨酸* Val	0.08±0.01	0.76	0.67	0.74
蛋氨酸* Met	0.61±0.02	0.40	0.31	0.38
苯丙氨酸* Phe	0.81±0.01	0.54	0.59	0.65
异亮氨酸* Ile	1.18±0.03	0.76	0.67	0.71
亮氨酸* Leu	0.99±0.08	1.26	1.25	1.24
赖氨酸* Lys	1.26±0.30	1.33	1.28	1.29
组氨酸* His	2.25±0.27	0.91	0.37	0.40
天冬氨酸▲ Asp	2.09±0.08	1.72	1.59	1.68
谷氨酸▲ Glu	0.86±0.03	2.97	2.89	2.62
甘氨酸▲ Gly	0.36±0.01	0.89	0.74	0.68
丙氨酸▲ Ala	0.29±0.01	0.91	0.92	0.91
丝氨酸 Ser	0.11±0.01	0.67	0.69	0.67
精氨酸 Arg	2.01±0.07	2.09	1.62	1.89
酪氨酸 Tyr	0.78±0.07	0.38	0.44	0.58
胱氨酸 Cys	0.69±0.02	0.15	0.11	—
脯氨酸 Pro	0.36±0.02	0.52	0.42	0.49
氨基酸总量ΣAA	15.46±0.32	17.00	15.23	15.95
必需氨基酸总量ΣEAA	7.96±0.12	6.68	5.81	6.07
非必需氨基酸总量ΣNEAA	7.50±0.22	10.3	9.42	9.52
鲜味氨基酸总量ΣDAA	3.57±0.10	6.50	6.14	5.89
ΣEAA/ΣAA	51.50±0.01	33.91	35.72	37.80
ΣEAA/ΣNEAA	106.20±0.02	70.03	69.74	79.03

注: *表示必需氨基酸; ▲表示鲜味氨基酸; —表示未检出

德清青虾的必需氨基酸组成评价如表 5 所示, 以 AAS 和 CS 进行评分时, 德清青虾的第一、第二限制氨基酸均为 Val、Leu, 其它的 EAA 均大于 1。鄱阳湖克氏原螯虾 AAS 评分中除 Lys 大于 1 外, 其余 EAA 均小于 1, 所有 EAA 的 CS 评分均小于 1。盱眙克氏原螯虾 AAS 评分中 Leu、Lys 和 Met-Cys 大于 1, 其余小于 1, EAA 的 CS 评分中除 Lys 大于 1 外, 其余 CS 评分均小于 1。澳洲淡水龙虾 EAA 的 AAS 评分中, Met-Cys、Val 和 Thr 分为第一、二、三

限制氨基酸, EAA 的 CS 评分中除 Lys 大于 1, 其余均小于 1。4 组水产品的 EAAI 结果中, 德清青虾 (75.55%) 最高, 其次分别为澳洲淡水龙虾 (70.00%), 盱眙克氏原螯虾 (66.42%) 和鄱阳湖克氏原螯虾 (56.36%)。以上必需氨基酸评价结果均表明德清青虾含有丰富且均衡的必需氨基酸, 肌肉营养价值较高。

2.5 相关性分析及主成分分析

由表 6 可知, 青虾肌肉中水分和粗蛋白两种常规营养成分对肌肉的质构指标基本无影响 ($P>0.05$), 粗脂肪含量与硬度呈显著正相关 ($P<0.05$), 相关系数达到 0.628, 胡芬等^[27] 对淡水鱼肉质特性与营养成分的相关性分析结果与之一致。粗脂肪含量与黏性呈显著负相关 ($P<0.05$), 相关系数达到 -0.583, 研究表明肌肉的黏性与咀嚼性呈正相关^[11], 据此推测, 德清青虾较好的咀嚼性与其肌肉中较低的粗脂肪含量密切相关。

对影响青虾肌肉品质的主成分进行分析 (表 7), 从 10 项指标中提取出 3 个主成分变量来替代原来的 10 项肉质指标进行评价, 3 个主成分变量的累计方差贡献率为 82.403%, 基本能够反映出原有的变量信息。

由表 8 主成分载荷矩阵可知:

第一主成分变量 $F_1 = -0.027X_1 + 0.037X_2 - 0.152X_3 - 0.06X_4 + 0.211X_5 - 0.021X_6 + 0.19X_7 - 0.136X_8 + 0.21X_9 + 0.208X_{10}$; 代表变量为硬度、黏性、咀嚼性、弹性。

第二主成分变量 $F_2 = 0.377X_1 + 0.054X_2 + 0.146X_3 + 0.379X_4 + 0.075X_5 + 0.275X_6 + 0.063X_7 - 0.219X_8 - 0.008X_9 + 0.016X_{10}$; 代表变量为粗灰分、水分、剪切力。

第三主成分变量 $F_3 = 0.097X_1 - 0.62X_2 + 0.263X_3 + 0.126X_4 + 0.001X_5 - 0.122X_6 + 0.287X_7 + 0.345X_8 + 0.136X_9 + 0.167X_{10}$; 代表变量为凝聚性。

主成分分析结果说明影响德清青虾肌肉肉质的最主要因素是硬度、黏性和咀嚼性等质构指标和粗

表 5 德清青虾与其它水产品肌肉中必需氨基酸组成评价

Table 5 Evaluation on essential amino acid composition in muscle of Deqing shrimp and some other aquatic

项目	FAO 评分模式	鸡蛋蛋白 评分模式	含量 (mg/g N)	德清青虾		鄱阳湖克氏原螯虾 ^[24]		盱眙克氏原螯虾 ^[15]		澳洲淡水龙虾 ^[10]	
				AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
异亮氨酸 Ile	250	331	470.95	1.88	1.42	0.93	0.70	0.95	0.72	1.03	0.78
亮氨酸 Leu	440	534	395.11	0.90	0.74	0.88	0.72	1.00	0.83	1.03	0.84
赖氨酸 Lys	340	441	502.87	1.48	1.14	1.19	0.92	1.33	1.03	1.37	1.06
苏氨酸 Thr	250	292	291.35	1.17	1.00	0.88	0.76	0.94	0.80	0.96	0.82
缬氨酸 Val	410	410	31.93	0.08	0.08	0.75	0.51	0.76	0.58	0.87	0.65
蛋+胱氨酸 Met-Cys	220	387	518.84	2.36	1.34	0.55	0.31	1.66	0.94	0.63	0.36
苯丙+酪氨酸 Phe-Tyr	380	565	634.58	1.67	1.12	0.44	0.29	0.32	0.21	1.18	0.79
必需氨基酸指数EAAI				75.55		56.36		66.42		70.00	

注: *表示必需氨基酸; ▲表示鲜味氨基酸; —表示未检出。

表 6 德清青虾肌肉营养成分与质构指标相关性分析
Table 6 Correlations between nutritional components and TPA properties of Deqing shrimp muscle

营养指标	质构指标					
	硬度	剪切力	弹性	凝聚性	黏性	咀嚼性
水分	0.013	0.258	0.094	-0.193	-0.102	-0.048
粗蛋白	0.176	0.039	-0.066	-0.424	0.046	0.038
粗脂肪	0.628*	0.205	-0.373	0.523	-0.583*	-0.520

注: *表示显著相关, $P<0.05$, 表 7、表 8 同。

表 7 影响肉质的主成分
Table 7 Principal components affecting meat quality

成分	初始特征值			提取平方和		
	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
1	4.637	46.372	46.372	4.637	46.372	46.372
2	2.254	22.541	68.913	2.254	22.541	68.913
3	1.349	13.490	82.403	1.349	13.490	82.403
4	0.860	8.601	91.004			
5	0.625	6.250	97.255			
6	0.157	1.571	98.826			
7	0.086	0.861	99.687			
8	0.029	0.287	99.974			
9	0.002	0.024	99.998			
10	0.000	0.002	100.000			

表 8 影响肉质的主成分载荷矩阵
Table 8 Loading matrix of principal components affecting meat quality

指标	成分		
	1	2	3
水分 X_1	-0.027	0.377	0.097
粗蛋白 X_2	0.037	0.054	-0.620
粗脂肪 X_3	-0.152	0.146	0.263
粗灰分 X_4	-0.060	0.379	0.126
硬度 X_5	0.211	0.075	0.001
剪切力 X_6	-0.021	0.275	-0.122
弹性 X_7	0.190	0.063	0.287
凝聚性 X_8	-0.136	-0.219	0.345
黏性 X_9	0.210	-0.008	0.136
咀嚼性 X_{10}	0.208	0.016	0.167

灰分、水分等常规营养成分,而且质构指标的优先性更强,说明质构指标对德清青虾肌肉感官品质影响更大,而肌肉口感比肌肉的营养价值更能影响德清青虾肌肉的质量,决定消费者的购买意向。因此,在后续德清青虾加工过程中应充分考虑这些因素,尽可能地降低肌肉质构特性的损失,来保障产品质量,满足消费者的需求。

3 结论

德清青虾在肉质上表现为紧实有弹性,肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分等常规营养成分的含

量分别为 73.238%、15.663%、0.8% 和 1.39%,与其它品种的高品质淡水虾接近,具有高蛋白、低脂肪的营养特性。德清青虾肌肉的脂肪酸比例较均衡,硬脂酸(C18:0)、 Σ PUMA 和 EPA 的含量分别为 10.61%、37.39%、23.45%,均高于其它品种优质淡水虾,因此具有较好的油脂营养价值。德清青虾肌肉的氨基酸种类齐全,必需氨基酸含量为 7.96%,EAAI 也达到 75.55,符合 FAO/WHO 标准且优于其它品种淡水虾,是一种优质全蛋白食品。另外,德清青虾肌肉较好的咀嚼性与其肌肉内较低的粗脂肪含量密切相关,硬度、黏性和咀嚼性等质构指标对德清青虾肌肉感官品质的影响最大。综上所述,德清青虾肌肉具有较优的质构和营养特性,是一种优质淡水虾类食品,本研究为德清青虾质量管理体系建设和后续的德清青虾深加工提供了理论依据。下一步,研究团队将根据德清青虾肌肉特性,探索不同加工方式对青虾产品质量的影响,并通过集成创新开发出适合德清青虾深加工的加工工艺及装备。

参考文献

[1] 吴海虹,金碧茹,徐为民,等.青虾离水后 15 ℃ 贮藏温度下品质的变化[J].食品工业科技,2017,38(14):267-271.

[2] 丁春燕.青虾中硝基呋喃代谢物残留的检测研究[D].杭州:浙江工业大学,2019.

[3] 陈静,宋光同,何吉祥,等.安徽省 10 个日本沼虾群体遗传多样性微卫星分析[J].淡水渔业,2018,48(3):7-12.

[4] Li L, Wang W, Yusuf A, et al. Effects of dietary lipid levels on the growth, fatty acid profile and fecundity in the oriental river prawn, *Macrobrachium nipponense*[J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(5): 1893-1902.

[5] Kong Y, Ding Z, Zhang Y, et al. Types of carbohydrate in feed affect the growth performance, antioxidant capacity, immunity, and activity of digestive and carbohydrate metabolism enzymes in juvenile *Macrobrachium nipponense*[J]. *Aquaculture*, 2019, 512: 734282-734282.

[6] 梁洁,庞敏,李林静,等.稻田与清水养殖模式下小龙虾肉的营养特性比较[J].湖南农业科学,2018(5):79-81.

[7] 刘永涛,董靖,夏京津,等.不同饲料对稻田养殖克氏原螯虾肌肉质构特性和营养品质的影响[J].浙江农业学报,2019,31(12):1996-2004.

[8] 徐晨,葛庆丰,诸永志,等.不同地区小龙虾营养价值和品质的比较研究[J].肉类研究,2019,33(8):7-11.

[9] 王伟.气味、色泽、质构评价虾鲜度的研究[J].食品研究与开发,2017,38(22):176-182.

[10] 王广军,孙悦,郁二蒙,等.澳洲淡水龙虾与克氏原螯虾肌肉营养成分分析与品质评价[J].动物营养学报,2019,31(9):4339-4348.

[11] 钟鸿干,马军,姜芳燕,等.2 种养殖模式下斑石鲷肌肉营养成分及品质的比较[J].江苏农业科学,2017,45(1):155-158.

[12] 万金娟,陈友明,邵俊杰,等.盱眙地区不同养殖模式下克

- 氏原螯虾肌肉品质的比较分析[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(2): 965-972.
- [13] 问思思, 刘涛, 王丰, 等. 岷县高原鳅肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(17): 288-293.
- [14] 彭永兴, 许祥, 程玉龙, 等. 海水和淡水养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的比较[J]. *水产科学*, 2013, 32(8): 435-440.
- [15] 陈晓明, 成兆友, 赵建民. 盱眙龙虾肌肉营养成分分析与评价[J]. *食品工业科技*, 2010(7): 345-349.
- [16] 李晓, 王晓璐, 王颖, 等. 盐度对养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2020, 22(1): 130-137.
- [17] Yang Z H, Emma-Okon B, Remaley A T. Dietary marine-derived long-chain monounsaturated fatty acids and cardiovascular disease risk: A mini review[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2016, 15(1): 201-201.
- [18] 李文博, 罗玉龙, 刘畅, 等. 饲养方式对苏尼特羊肉挥发性风味成分和脂肪酸组成的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 207-213.
- [19] Siri-Tarino P W, Sun Q, Hu F B, et al. Saturated fatty acids and risk of coronary heart disease: Modulation by replacement nutrients[J]. *Current Atherosclerosis Reports*, 2010, 12(6): 384-390.
- [20] Senyilmaz-Tiebe D, Pfaff D H, Virtue S, et al. Dietary stearic acid regulates mitochondria in vivo in humans[J]. *Nature communications*, 2018, 9(1): 3129-3129.
- [21] Harika R K, Eilander A, et al. Intake of fatty acids in general populations worldwide does not meet dietary recommendations to prevent coronary heart disease: A systematic review of data from 40 countries[J]. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2013, 63(3): 229-238.
- [22] Association A H. Monounsaturated fat[EB/OL]. <https://www.heart.org/en/healthy-living/healthy-eating/eat-smart/fats/monounsaturated-fats>, 2015-06-01.
- [23] World Health Organization. Fats and oils in human nutrition: report of a joint expert consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization[J]. FAO Food and Nutrition Paper, 1995, 57: 1-147.
- [24] 易瑞恺, 胡火庚, 王尚洪. 鄱阳湖克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2013, 37(3): 255-258.
- [25] 杨敏, 魏冰, 孟橘, 等. ω -3 多不饱和脂肪酸的来源及生理功能研究进展[J]. *中国油脂*, 2019, 44(10): 110-115.
- [26] Gilani, G S. Background on international activities on protein quality assessment of foods[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108 Suppl 2: S168-182.
- [27] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 69-73.