

立体混养和单养模式下凡纳滨对虾肌肉营养成分的分析与评价

黄薇, 杨明, 陆根海, 袁新程, 曹祥德, 施永海

Analysis and evaluation of muscle nutrient components of *Litopenaeus vannamei* in multistory culture mode and monoculture mode

HUANG Wei, YANG Ming, LU Genhai, YUAN Xincheng, CAO Xiangde, SHI Yonghai

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210803542>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

大棚养殖和露天养殖模式下不同生长阶段凡纳滨对虾肌肉营养成分比较

Comparison of nutritional component of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages

上海海洋大学学报. 2019, 28(4): 491 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180902392>

人工繁殖条件下日本鳗鲡鱼卵营养成分分析及评价

Nutritional analysis and evaluation of eggs from the artificially induced maturation *Anguilla japonica*

上海海洋大学学报. 2019, 28(2): 190 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180502313>

暗纹东方立体种养模式和单养模式的水质变化及养殖能效比较

Comparative analysis of water quality changes and cultural efficiencies between multistory culture model and traditional monoculture model of obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 789 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603090>

澳洲淡水龙虾受精卵到仔虾营养物质变化分析

Analysis of change of nutrients from fertilized eggs to newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus*

上海海洋大学学报. 2023, 32(2): 348 <https://doi.org/10.12024/jsou.20220203718>

3种抗冻剂处理对凡纳滨对虾冻融循环期间品质及营养变化影响

Effects of three antifreeze agents on quality and nutrition of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during freezing and thawing cycles

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 922 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200903176>

文章编号: 1674-5566(2023)02-0309-09

DOI:10.12024/jsou.20210803542

立体混养和单养模式下凡纳滨对虾肌肉营养成分的分析与评价

黄薇, 杨明, 陆根海, 袁新程, 曹祥德, 施永海

(上海市水产研究所, 上海市水产技术推广站, 上海 200433)

摘要: 为了解暗纹东方鲀、凡纳滨对虾和空心菜立体混养模式以及凡纳滨对虾单养模式对凡纳滨对虾肌肉营养成分的影响, 采用生化分析方法对两种模式下养成的凡纳滨对虾肌肉进行营养成分测定, 并对营养品质进行分析和比较。结果显示: 立体混养模式下凡纳滨对虾肌肉中的水分、粗蛋白和粗灰分含量与单养模式下的无显著差异, 而粗脂肪含量(0.80%)则显著低于单养组的(1.02%)。在检测出的 18 种氨基酸中, 立体混养模式下极显著高于单养模式的有 3 种, 显著高于单养模式的有 3 种, 显著低于单养模式的有 2 种, 无差异的有 10 种。立体混养模式下的氨基酸总量(TAA)、必需氨基酸(EAA)、非必需氨基酸(NEAA)含量(分别为 86.08%、31.19%、44.17%)高于单养模式(分别为 82.76%、30.11%、43.00%), 鲜味氨基酸(DAA)含量(33.51%)显著高于单养模式(31.44%), 半必需氨基酸(HEAA)含量(10.71%)极显著高于单养模式(9.65%); 立体混养模式的必需氨基酸指数(EAAI)和支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值(F 值, 分别为 72.65 和 2.13)与单养模式(分别为 72.46 和 2.14)差异不大。立体混养模式下的饱和脂肪酸(Σ SFA)和单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)(分别为 32.70% 和 24.70%)相对百分含量高于单养模式(分别为 32.40% 和 24.33%), 而立体混养模式下的多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)和 EPA + DHA(分别为 42.61% 和 8.84%)相对百分含量则稍低于单养模式(分别为 43.27% 和 10.82%), 但两者差异不显著。研究表明, 两种养殖模式下的凡纳滨对虾肌肉营养成分差异不明显, 但立体混养模式下养成的凡纳滨对虾个体大, 肉味更鲜美, 且立体混养模式生态环保与经济效益兼顾, 符合国家低碳绿色发展要求, 因此值得大力推广。

关键词: 凡纳滨对虾; 养殖; 肌肉; 营养成分; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: S 968.22 **文献标志码:** A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 俗名南美白对虾, 是中国主要养殖虾类品种, 其产量占养殖虾类的 70% 以上。暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*) 肌肉细嫩鲜美, 是长江中下游地区民众喜爱的水产珍品。近年来, 随着人们生活水平的提高, 民众对养殖水产品也由量向质的要求转变, 同时配合国家生态环保绿色发展需要, 进一步促进了水产养殖模式的改变, 即以单养高密度养殖模式向立体高效养殖模式转变。我单位自 2018 年起开展了凡纳滨对虾、暗纹东方鲀和空心菜立体养殖模式试验, 凡纳滨对虾喜欢在水体底层栖息、可摄食鱼类残饵, 暗纹东方鲀在水体中上层活动、可捕食体弱病残的病死虾, 空心菜种

植在水体表层, 但根系发达, 可以吸收水体中的氮磷, 达到立体种养、环境友好、低碳高效、生态防病的效果^[1-2]。通过养殖试验发现: 鱼虾菜立体混养模式下, 暗纹东方鲀单位产量为 3 645 kg/hm², 平均体质量为 0.32 kg/尾, 凡纳滨对虾单位产量为 1 725 kg/hm², 平均规格为 17.54 g/尾, 暗纹东方鲀和凡纳滨对虾合计每公顷产量为 5 370 kg; 单养模式下, 凡纳滨对虾单位产量为 5 070 kg/hm², 平均规格为 14.71 g/尾^[1]。试验表明凡纳滨对虾和暗纹东方鲀立体混养模式不仅单位面积产值高, 利润也高, 并可有效地减轻养殖池塘的生态负载, 提高养殖能效^[1-2]。

虾类的养殖方式、品种、规格等影响着其肌

收稿日期: 2021-08-26 修回日期: 2022-06-20

基金项目: 上海长江口主要经济水生动物人工繁育工程技术研究中心项目(13DZ2251800); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科创字[2018]第 2-8 号); 上海市现代农业产业技术体系(沪农科产字[2022]第 5 号); 上海市农业领军人才项目(沪委农办 2018-60 号); 上海领军人才项目(沪人社专 2021-67 号)

作者简介: 黄薇(1967—), 女, 推广研究员, 研究方向为水产养殖工程。E-mail: rose-hwsh@163.com

通信作者: 施永海, E-mail: yonghais@163.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

肉营养成分和品质^[3]。那么,单养模式的凡纳滨对虾和与暗纹东方鲀、空心菜立体混养模式的凡纳滨对虾在肌肉营养成分和品质上有何差异?本试验分析比较两种养殖模式下该虾肌肉营养成分,可为凡纳滨对虾高品质养殖提供科学有效的参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用凡纳滨对虾取自位于上海市郊青浦莲盛的上海市水产研究所青浦科研基地,为两种

模式下养成的虾,即单养模式养成的凡纳滨对虾以及与暗纹东方鲀、空心菜立体混养模式养成的凡纳滨对虾。

凡纳滨对虾为购进的淡化苗,初始体长0.7 cm,经淡化、标粗后放入池塘进行单养和立体混养。凡纳滨对虾单养模式的放养密度为46.5万尾/hm²,投喂饲料为虾商业颗粒饲料,饲料中常规营养成分、氨基酸和脂肪酸组成与含量见表1~3,每天投喂2次,分别为清晨和黄昏,养殖过程中不换水,仅少量添加水^[1]。

表1 配合饲料中常规营养成分含量(风干基础)

Tab.1 Content of common nutrient components in formulated feed (air-dry basis) %

饲料 Formulated feed	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash
鳗鱼配合饲料 Formulated feed for <i>Anguilla japonica</i>	5.28	50.97	5.00	12.27
凡纳滨对虾配合饲料 Formulated feed for <i>Litopenaeus vannamei</i>	8.78	43.13	4.55	10.18

表2 配合饲料中氨基酸组成与含量(干质量基础)

Tab.2 Composition and content of amino acids in formulated feed (dry mass basis) %

氨基酸 Amino acid	凡纳滨对虾配合饲料 Formulated feed for <i>Litopenaeus vannamei</i>	鳗鱼配合饲料 Formulated feed for <i>Anguilla japonica</i>
天门冬氨酸 Asp [◇]	4.16	4.48
苏氨酸 Thr [*]	1.71	2.00
丝氨酸 Ser	1.83	1.96
谷氨酸 Glu [◇]	6.89	6.51
甘氨酸 Gly [◇]	2.37	2.93
丙氨酸 Ala [◇]	2.36	2.85
胱氨酸 Cys	0.49	0.51
缬氨酸 Val [*]	2.20	2.36
蛋氨酸 Met [*]	0.79	1.13
异亮氨酸 Ile [*]	1.82	0.04
亮氨酸 Leu [*]	3.48	3.70
酪氨酸 Tyr	1.38	1.50
苯丙氨酸 Phe [*]	1.94	1.98
赖氨酸 Lys [*]	2.89	3.60
组氨酸 His [*]	1.16	1.47
精氨酸 Arg [*]	2.61	2.97
脯氨酸 Pro	2.01	1.93
色氨酸 Trp [*]	0.53	0.46
氨基酸总量 ΣTAA	40.62	42.38
必需氨基酸总量 ΣEAA	19.13	19.71
非必需氨基酸总量 ΣNEAA	21.49	22.67
鲜味氨基酸总量 ΣDAA	15.78	16.77
必需氨基酸总量/氨基酸总量 ΣEAA/ΣTAA	47.10	46.51
必需氨基酸总量/非必需氨基酸总量 ΣEAA/ΣNEAA	89.02	86.94
鲜味氨基酸总量/氨基酸总量 ΣDAA/ΣTAA	38.85	39.57

注:◇. 鲜味氨基酸;*. 必需氨基酸。

Notes:◇. Delicious amino acid (DAA);*. Essential amino acid (EAA).

表 3 配合饲料中脂肪酸组成与含量
Tab.3 Composition and content of fatty acid
in formulated feed %

脂肪酸 Fatty acid	凡纳滨对虾配合饲料 Formulated feed for <i>Litopenaeus vannamei</i>	鳗鱼配合饲料 Formulated feed for <i>Anguilla japonica</i>
C12:0	0.09	0
C14:0	4.17	3.75
C15:0	0.57	0.34
C16:0	20.71	16.43
C17:0	0.56	0.36
C18:0	4.80	4.70
C20:0	0.54	0.50
C22:0	0.25	0.25
C23:0	0.92	0.59
C24:0	0.18	0.16
C16:1	4.71	3.75
C17:1	0.23	0.12
C18:1n9t	0.18	0.05
C18:1n9c	19.35	26.07
C20:1n9	0.24	0.23
C22:1n9	0.15	0.16
C24:1n9	0.32	0.34
C18:2n6c	22.10	21.85
C20:2	1.22	1.18
C22:2	0.33	0.41
C18:3n6	0.16	0.17
C18:3n3	2.74	3.57
C20:3n6	0.82	0.83
C20:3n3	0.17	0.18
C20:5n3(EPA)	6.15	6.03
C22:5n3(DPA)	0.86	1.06
C22:6n3(DHA)	7.45	6.90
ΣSFA	32.70	27.08
ΣMUFA	25.18	30.72
ΣPUFA	41.84	42.01
EPA + DHA	13.60	12.93
ΣSFA/ΣUFA	0.49	0.37

注:SFA. 饱和脂肪酸; MUFA. 单不饱和脂肪酸; PUFA. 多不饱和脂肪酸; EPA. 二十碳五烯酸; DPA. 二十二碳五烯酸; DHA. 二十二碳六烯酸; UFA. 不饱和脂肪酸。

Notes: SFA. Saturated fatty acids; MUFA. Monounsaturated fatty acids; PUFA. Polyunsaturated fatty acids; EPA. Eicosapentaenoic acid; DPA. Docosa-pentaenoic acid; DHA. Docosahexaenoic acid; UFA. Unsaturated fatty acids.

凡纳滨对虾、暗纹东方鲀、空心菜立体混养模式下,凡纳滨对虾的放养密度为 18 万尾/hm²;暗纹东方鲀为本单位奉贤五四基地繁殖越冬后的 1⁺ 龄鱼种,放养体质量为 160 g/尾,密度为 1.2 万尾/hm²;空心菜种植面积约占池塘的 20% 左右,采用挂种方式。每天早晨和晚上各投喂 1 次鳗鱼粉状配合饲料,饲料中常规营养成分、氨基酸和脂肪酸组成及含量见表 1~3,傍晚增投虾饲料 1 次。在养殖过程中换水 3 次,每次 60%^[1]。

1.2 试验取样

在单养池塘和立体混养池塘中各随机捕捞 50 头虾,经测量,单养模式下虾的平均体长为 (11.42 ± 0.08) cm,体质量为 (17.71 ± 3.45) g, n = 50; 立体混养模式下,虾的平均体长为 (12.46 ± 0.41) cm,体质量为 (21.75 ± 2.42) g, n = 50。将两种模式下捕捞上来的虾各随机平均分成 3 个样本,擦干取肌肉,在冰浴条件下制作成 6 个样本,放置在 -80 °C 冰箱里冷冻保存。检测时经真空冷冻干燥至恒重,再将每个冻干样本分成 2 份,一份用于常规营养成分的检测,另一份用于氨基酸和脂肪酸的检测。

1.3 检测营养成分的方法

水分含量的检测依照 105 °C 烘干法 (GB/T 5009.3—2003);粗灰分含量的检测按照 550 °C 灼烧法 (GB/T 5009.4—2003);粗蛋白含量的检测按照凯氏定氮法 (GB/T 6432—1994);粗脂肪含量的检测按照氯仿-甲醇法;前处理样品先按照 GB/T 18246—2000 中的碱水解法,色氨酸含量采用反相高效液相色谱法检测;前处理样品先按照 GB/T 18246—2000 中的盐酸水解法,检测除色氨酸外的 17 种氨基酸含量使用日立 L-8900 型氨基酸全自动分析仪 (日本日立高新技术公司);检测脂肪酸含量按照 GB 5009.168—2016 法使用 Agilent 6890 型气相色谱仪 (美国安捷伦科技公司) 峰面积归一法。

1.4 评价营养品质的方法

根据粮农组织/世卫组织提出的人体必需氨基酸均衡模式以及全鸡蛋蛋白模式,采用 AAS、CS、EAAI 等指标来评价两种模式下的对虾肌肉营养品质^[4-7]。计算公式^[6-7]:

$$A_{AS} = \frac{a}{A_{(FAO/WHO)}} \times 100 \quad (1)$$

$$C_S = \frac{a}{A_{Egg}} \times 100 \quad (2)$$

$$E_{AAI} = \sqrt[n]{\frac{100A}{A_E} \times \frac{100B}{B_E} \times \frac{100C}{C_E} \times \cdots \times \frac{100H}{H_E}} \quad (3)$$

式中:a 表示样品中某种氨基酸质量分数,mg/g N; A_(FAO/WHO) 表示 FAO/WHO 模式中同种氨基酸质量分数,mg/g N; A_{Egg} 表示鸡蛋蛋白质中同种氨基酸质量分数,mg/g N; n 为比较的必需氨基酸数; A、B、C、…、H 表示南美白对虾肌肉中的必需氨基酸质量分数,mg/g N; A_E、B_E、C_E、…、H_E 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸质量分数,mg/g N。

F 值为支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值。计算公式^[7]：

$$F = \frac{A_{(\text{Val} + \text{Leu} + \text{Ile})}}{A_{(\text{Phe} + \text{Tyr})}} \quad (4)$$

式中： $A_{(\text{Val} + \text{Leu} + \text{Ile})}$ 为缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸含量之和，mg/g； $A_{(\text{Phe} + \text{Tyr})}$ 为苯丙氨酸、酪氨酸含量之和，mg/g。

1.5 数据处理和统计

采用独立样本 t 检验比较两模式之间的差异，先采用 Levene's test 进行方差齐性检验；方差不齐时，用 2-Independent-Samples 中的 Mean-Whitney U 作两模式间进一步的比较。数据使用平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示， $P < 0.05$ 表示

差异显著。

2 结果与分析

2.1 常规营养成分

两种养殖模式下，凡纳滨对虾肌肉的水分为立体混养模式 [(77.17 \pm 0.18)%] 高于单养模式 [(74.96 \pm 1.68)%]，但两者差异不显著 ($P > 0.05$)；粗脂肪为立体混养模式 [(0.80 \pm 0.03)%] 低于单养模式 [(1.02 \pm 0.09)%]，且两者存在显著性差异 ($P < 0.05$)；粗蛋白和粗灰分为单养模式稍高于立体混养模式 ($P > 0.05$)。见表 4。

表 4 两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中常规营养成分对比 (占鲜质量比)

Tab. 4 Comparison of common nutrient components in muscle of *L. vannamei* in two culture modes (fresh mass basis)

养殖模式 Culture model	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash
立体混养模式 Multistory culture model	77.17 \pm 0.18 ^a	21.38 \pm 0.17 ^a	0.80 \pm 0.03 ^a	1.39 \pm 0.01 ^a
单养模式 Monoculture model	74.96 \pm 1.68 ^a	22.40 \pm 1.65 ^a	1.02 \pm 0.09 ^b	1.40 \pm 0.14 ^a

注：同列数据上标注不同的小写字母表示两组间存在显著差异 ($P < 0.05$)。

Notes: Different lowercase letters in the superscript of the same column data indicated that there was significant difference between groups ($P < 0.05$).

2.2 氨基酸组成

由表 5 可见，无论是单养模式还是立体混养模式，凡纳滨对虾肌肉干样中均检测出了 18 种常见的氨基酸，且谷氨酸含量最高，其中，有 10 种在两模式间差异不显著，有 5 种在两模式间差异显著，有 3 种分别是色氨酸、甘氨酸和精氨酸在两模式间差异极显著，且均是立体混养模式明显高于单养模式 ($P < 0.01$)。此外，两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉干样中 TAA、EAA、NEAA、EAA/TAA、EAA/NEAA 组间差异不显著 ($P > 0.05$)，DAA 和 DAA/TAA 组间差异显著 ($P < 0.05$)，HEAA 组间差异极显著 ($P < 0.01$)，且均是立体混养模式高于单养模式。

表 5 检测结果还显示：单养模式和立体混养模式凡纳滨对虾肌肉干样中 TAA 超过 82%，立体混养模式更是高达 86.08%；立体混养模式和

单养模式 EAA/TAA 的值分别为 36.24% 和 36.38%，但 EAA/NEAA 的值分别为 70.61% 和 70.05%，远高于 FAO/WHO 模式中对 EAA/NEAA 的要求 (60% 以上)。

2.3 营养品质评价

表 5 中 EAA 根据要求折算后与 FAO/WHO 制定的相关评价进行比较，分别计算出单养和立体混养情况下凡纳滨对虾肌肉的 AAS、CS、EAAI 和 F 值，结果见表 6。AAS 分值表明，立体混养模式和单养模式的第一限制性氨基酸分别为缬氨酸和色氨酸、第二限制性氨基酸分别为苏氨酸和缬氨酸；而根据 CS 标准，色氨酸是立体混养模式和单养模式的第一限制性氨基酸、(蛋氨酸 + 胱氨酸) 是第二限制性氨基酸；立体混养模式和单养模式的 EAAI 分别为 72.65 和 72.46， F 值分别为 2.13 和 2.14。

表 5 两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉氨基酸组成与含量(干物质基础)

Tab.5 Comparison of amino acid composition and content in muscle of *L. vannamei* in two culture modes (dry mass basis)

n = 3, %

氨基酸 Amino acids	立体混养模式 Multistory culture model	单养模式 Monoculture model
色氨酸 Trp*	0.82 ± 0.03 ^A	0.70 ± 0.03 ^B
天门冬氨酸 Asp [◇]	8.43 ± 0.17 ^a	8.10 ± 0.16 ^a
苏氨酸 Thr*	3.22 ± 0.07 ^a	3.07 ± 0.03 ^b
丝氨酸 Ser	3.18 ± 0.04 ^a	3.02 ± 0.08 ^b
谷氨酸 Glu [◇]	13.23 ± 0.19 ^a	12.67 ± 0.43 ^a
甘氨酸 Gly [◇]	7.03 ± 0.19 ^A	5.57 ± 0.16 ^B
丙氨酸 Ala [◇]	4.81 ± 0.11 ^a	5.10 ± 0.01 ^b
胱氨酸 Cys	1.12 ± 0.03 ^a	1.10 ± 0.18 ^a
缬氨酸 Val*	3.76 ± 0.10 ^a	3.68 ± 0.01 ^a
蛋氨酸 Met*	2.39 ± 0.07 ^a	2.25 ± 0.04 ^b
异亮氨酸 Ile*	3.58 ± 0.10 ^a	3.45 ± 0.02 ^a
亮氨酸 Leu*	6.77 ± 0.21 ^a	6.49 ± 0.04 ^a
酪氨酸 Tyr	3.08 ± 0.05 ^a	2.98 ± 0.01 ^a
苯丙氨酸 Phe*	3.53 ± 0.10 ^a	3.39 ± 0.02 ^a
赖氨酸 Lys*	7.13 ± 0.20 ^a	7.07 ± 0.16 ^a
组氨酸 His**	1.77 ± 0.05 ^a	1.74 ± 0.03 ^a
精氨酸 Arg**	8.94 ± 0.26 ^A	7.91 ± 0.11 ^B
脯氨酸 Pro	3.28 ± 0.13 ^a	4.45 ± 0.44 ^b
氨基酸总量 TAA	86.08 ± 1.99 ^a	82.76 ± 0.99 ^a
必需氨基酸 EAA	31.19 ± 0.86 ^a	30.11 ± 0.20 ^a
半必需氨基酸 HEAA	10.71 ± 0.30 ^A	9.65 ± 0.10 ^B
非必需氨基酸 NEAA	44.17 ± 0.87 ^a	43.00 ± 1.01 ^a
鲜味氨基酸 DAA	33.51 ± 0.66 ^a	31.44 ± 0.55 ^b
必需氨基酸/氨基酸总量 EAA/TAA	36.24 ± 0.20 ^a	36.38 ± 0.40 ^a
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA	70.61 ± 0.82 ^a	70.05 ± 1.61 ^a
鲜味氨基酸/氨基酸总量 DAA/TAA	38.93 ± 0.26 ^a	37.99 ± 0.39 ^b

注:◇鲜味氨基酸; *必需氨基酸; **人体半必需氨基酸; 同行数据上标不同小写字母的表示组间存在显著性差异($P < 0.05$), 上标不同大写字母的表示组间存在极显著性差异($P < 0.01$)。

Notes: ◇ Delicious amino acid (DAA); * Essential amino acid (EAA); ** Half-essential amino acid of human (HEAA); Different lowercase letters in the superscript of the same line data indicated that there was significant difference between groups ($P < 0.05$), and different uppercase letters indicated that there was extremely significant difference between groups ($P < 0.01$).

表 6 两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉营养品质对比

Tab.6 Comparison of nutritional quality in muscle of *L. vannamei* in two culture modes

必需氨基酸 EAA	氨基酸 Amino acid		FAO/WHO 标准模式 FAO/WHO standard/ (mg/g)	全鸡蛋 蛋白模式 Whole egg standard/ (mg/g)	立体混养模式 Multistory culture model		单养模式 Monoculture model	
	立体混养 Multistory culture model/ (mg/g)	单养 Monoculture model/ (mg/g)			氨基酸 评分 AAS	化学 评分 CS	氨基酸 评分 AAS	化学 评分 CS
Ile	238.93	241.15	250	331	0.96	0.72	0.96	0.73
Leu	452.05	453.88	440	534	1.03	0.85	1.03	0.85
Lys	475.64	494.27	340	441	1.40	1.08	1.45	1.12
Thr	214.68	214.84	250	292	0.86*	0.74	0.86	0.74
Val	250.94	257.24	310	411	0.81 [△]	0.61	0.83*	0.63
Trp	54.73	49.18	60	99	0.91	0.55 [△]	0.82 [△]	0.50 [△]
Met + Cys	234.48	234.67	220	386	1.07	0.61*	1.07	0.61*
Phe + Tyr	441.15	445.03	380	565	1.16	0.78	1.17	0.79
EAAI	72.65	72.46						
F	2.13	2.14						

注:第一限制性氨基酸用“△”表示;第二限制性氨基酸用“*”表示。

Notes: “△” is the first limited amino acid; “*” is the second limited amino acid.

2.4 脂肪酸组成和含量

立体混养和单养情况下凡纳滨对虾肌肉中都检测到饱和脂肪酸(SFA)7种和单不饱和脂肪酸(MUFA)4种,但立体混养模式的高不饱和脂肪酸(PUFA)有10种,而单养模式只有9种(其中C20:3n3未检出),见表7。

表7 两种养殖模式下凡纳滨对虾脂肪酸组成和含量对比

Tab.7 Comparison of fatty acid composition and content in muscle of *L. vannamei* in two culture modes $n=3, \%$

脂肪酸 Fatty acids	立体混养 Multistory culture model	单养 Monoculture model
C14:0	1.06 ± 0.20 ^a	0.92 ± 0.23 ^a
C15:0	1.23 ± 0.67 ^a	0.47 ± 0.02 ^a
C16:0	19.77 ± 1.35 ^a	21.16 ± 0.78 ^a
C17:0	1.32 ± 0.73 ^a	1.61 ± 0.84 ^a
C18:0	6.72 ± 1.06 ^a	7.47 ± 1.31 ^a
C20:0	2.29 ± 3.20 ^a	0.41 ± 0.07 ^a
C22:0	0.29 ± 0.25 ^a	0.37 ± 0.07 ^a
C16:1	2.44 ± 0.32 ^a	2.29 ± 0.46 ^a
C17:1	0.37 ± 0.09 ^a	0.09 ± 0.15 ^b
C18:1n9c	21.12 ± 3.49 ^a	21.40 ± 3.05 ^a
C20:1n9	0.77 ± 0.35 ^a	0.56 ± 0.08 ^a
C20:2	0.55 ± 0.51 ^a	0.97 ± 0.28 ^a
C18:2n6c	24.47 ± 5.71 ^a	25.14 ± 4.54 ^a
C18:3n3	3.38 ± 0.64 ^a	3.33 ± 0.70 ^a
C18:3n6	0.59 ± 0.32 ^a	0.31 ± 0.06 ^a
C20:3n3	0.14 ± 0.25	未检出
C20:3n6	0.47 ± 0.68 ^a	0.33 ± 0.05 ^a
C20:4n6	2.27 ± 0.95 ^a	2.06 ± 0.92 ^a
C20:5n3 (EPA)	5.04 ± 2.35 ^a	5.89 ± 2.69 ^a
C22:5n3	1.90 ± 2.73 ^a	0.32 ± 0.09 ^a
C22:6n3 (DHA)	3.80 ± 1.80 ^a	4.93 ± 2.34 ^a
ΣSFA	32.70 ± 3.39 ^a	32.40 ± 1.65 ^a
ΣMUFA	24.70 ± 3.54 ^a	24.33 ± 3.29 ^a
ΣPUFA	42.61 ± 0.64 ^a	43.27 ± 2.44 ^a
EPA + DHA	8.84 ± 4.14 ^a	10.82 ± 5.02 ^a
n-3 PUFA/n-6 PUFA	0.50 ± 0.16 ^a	0.54 ± 0.23 ^a
ΣSFA/ΣUFA	0.49 ± 0.07 ^a	0.48 ± 0.04 ^a

ΣSFA、ΣMUFA、ΣPUFA在两种养殖模式间的差异不显著。立体混养模式的ΣSFA(32.70%)略高于单养模式(32.40%, $P > 0.05$),其中:以C16:0的含量最高,分别占ΣSFA的60.46%(立体混养模式)和65.31%(单养模式);其次为C18:0,立体混养模式为6.72%,单养模式为7.47%;C22:0则含量较少。ΣMUFA也是立体混养模式的(24.70%)略高于单养模式(24.33%, $P > 0.05$),其中C17:1含量立体混养模式(0.37%)显著高于单养模式(0.09%, $P < 0.05$)。

ΣPUFA则是单养模式(43.27%)略高于立体混养模式(42.61%, $P > 0.05$)。

两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中的EPA + DHA无显著性差异($P > 0.05$),其中,立体混养模式为8.84%,单养模式为10.82%;立体混养模式和单养模式的n-3 PUFA/n-6 PUFA分别为0.50和0.54,差异不显著($P > 0.05$);ΣSFA/ΣUFA在两组间的差异也不大($P > 0.05$),立体混养模式为0.49,单养模式为0.48。

3 讨论

3.1 凡纳滨对虾肌肉中常规营养成分对比分析

在不同的养殖模式下,水产动物肌肉营养成分的含量与其生存的空间环境、摄食的饲料等密切相关,特别是摄食饲料的影响最为明显^[3,7-8]。本研究中,立体混养模式凡纳滨对虾肌肉的常规营养成分除水分含量高于单养模式外,粗蛋白、粗灰分和粗脂肪含量均比单养模式低,且粗脂肪含量两者间差异显著。立体混养模式是早晚各投喂1次鳗鱼粉状饲料,傍晚再投1次虾饲料^[1],根据表1,鳗鱼粉状饲料的粗蛋白、粗灰分和粗脂肪都是高于虾饲料的,根据林建伟等^[9]和胡园等^[10]的研究,凡纳滨对虾吃了蛋白质含量高的饲料能促进其体内蛋白和粗灰分的富集^[9-10],但立体混养模式养成的凡纳滨对虾相关营养成分却比单养模式低,这可能是因为在立体混养模式下,凡纳滨对虾要与暗纹东方鲀争食,还会受暗纹东方鲀的追逐,增加了其能量的损耗,特别是作为能量主要储存物质的脂类,造成其粗脂肪含量显著低于单养模式,这与段亚飞等^[3]开展的凡纳滨对虾网箱养殖情况相类似,也与施永海等^[11]对哈氏仿对虾的研究结果相一致:虾类捕食活动量越大则能量消耗越大(尤其是能量储存物质脂类的消耗),直接造成虾肌肉中脂肪含量的降低。

3.2 氨基酸含量的对比分析

评判食品营养价值高低的主要指标之一是氨基酸的构成,其中蛋白质的鲜美程度与游离鲜味氨基酸的总量成一定的正相关^[12]。一般来说,游离的鲜味氨基酸含量呈鲜味特征更加直接也更具说服力,然而蛋白质中的非游离鲜味氨基酸含量的多少也能说明呈鲜味特征的趋势。本研究中,两种养殖模式下,凡纳滨对虾肌肉中的

TAA、EAA、HEAA、NEAA、DAA、EAA/NEAA、DAA/TAA 均是立体混养模式高于单养模式,特别是 HEAA,两模式间差异极显著,即立体混养模式显著高于单养模式,DAA 和 DAA/TAA 也存在显著性差异,也是立体混养模式高于单养模式,而 EAA/TAA 则是单养模式略高于立体混养模式,但两模式间差异不明显。

两种养殖模式下,DAA 以 Glu 和 Asp 含量最高,EAA 中以 Lys 的含量最高,这与马林等^[7]的研究相一致;HEAA 以 Arg 含量最高,且立体混养模式极显著高于单养模式,这与段亚飞等^[3]对网箱养殖凡纳滨对虾的精氨酸含量比池塘养殖的显著高的研究结果相一致。Asp 和 Glu 为呈鲜味的特征氨基酸,Gly 和 Ala 为呈甘味的特征氨基酸^[13-14]。根据投喂饲料的氨基酸组成和含量分析(表 2),鳊鱼粉状配合饲料中的 Asp、Gly 和 Ala 含量均高于凡纳滨对虾配合饲料,鳊鱼粉状配合饲料中的 TAA (42.38%) 和 DAA (16.77%) 也都高于凡纳滨对虾配合饲料中的 TAA (40.62%) 和 DAA (15.78%)。在对虾和暗纹东方鲀混养时,对虾除了摄食虾饲料外,还会摄食到饲养暗纹东方鲀时投喂的鳊鱼粉状饲料,从而使立体混养模式的凡纳滨对虾肌肉中氨基酸含量更高,肉味更鲜美。这与段亚飞等^[3]开展的深水网箱养殖和池塘养殖研究中凡纳滨对虾网箱养殖的鲜美程度优于池塘养殖的研究结果相类似,说明不同的养殖模式,水质条件较好的,有利于鲜味氨基酸的转化,提高凡纳滨对虾肌肉的鲜美度。

EAAI 是食品营养评判的常用指标之一^[15]。从表 6 可见,立体混养模式 EAAI 为 72.65 略高于单养模式(72.46),*F* 值立体混养模式为 2.13,单养模式为 2.14,说明两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中的必需氨基酸含量差异不大。

3.3 脂肪酸构成和含量的比较分析

本研究中,立体混养模式凡纳滨对虾肌肉中的 Σ SFA、 Σ MUFA、 Σ SFA/ Σ UFA 稍高于单养模式,但两者差异不显著。饲料中的脂肪在对虾的生长发育进程中为其供给充足的必需脂肪酸^[16]。饲料脂肪酸的组成明显影响对虾肌肉脂肪酸的构成^[10,17]。在饲料中添加富含 PUFA (尤其是 EPA 和 DHA) 的脂肪源,可增加养殖虾类的品质^[18]。单养模式所摄食的凡纳滨对虾配合饲料中的 EPA 和 DHA 的含量高于鳊鱼粉状配合饲料

中的,故而造成单养模式凡纳滨对虾肌肉中的 Σ PUFA、EPA 和 DHA 高于立体混养模式。此外,单养模式 C20:3n3 未检出,立体混养模式 C20:3n3 含量为 0.14%;n-3 PUFA/n-6 PUFA 也是单养模式稍高于立体混养模式。

4 结论

虽然立体混养模式下养成的凡纳滨对虾肌肉中的高不饱和脂肪酸、EPA + DHA 略低于单养模式的,但其肌肉具有低脂肪特性,更加符合现代人对低脂的需求;此外,立体混养模式下养成的凡纳滨对虾肌肉中的氨基酸总量高于单养模式的,特别是鲜味氨基酸总量,使得其虾肉味道更加美味可口。因此,在营养品质不下降的基础上,立体混养模式下养成的凡纳滨对虾具有个体大、味道更鲜美的特点,同时,立体混养模式兼顾生态环保与经济效益,符合国家低碳绿色发展要求,是一种值得大力推广的生态健康养殖模式。

参考文献:

- [1] 陆根海,曹祥德,施永海,等.暗纹东方鲀、南美白对虾和空心菜立体种养模式初探[J].水产科技情报,2020,47(4):193-196.
LU G H, CAO X D, SHI Y H, et al. A preliminary study on polyculture of puffer fish (*Takifugu fasciatus*) with white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*) [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2020, 47(4): 193-196.
- [2] 施永海,谢永德,徐嘉波,等.暗纹东方鲀立体种养模式和单养模式的水质变化及养殖能效比较[J].上海海洋大学学报,2021,30(5):789-799.
SHI Y H, XIE Y D, XU J B, et al. Comparative analysis of water quality changes and cultural efficiencies between multistory culture model and traditional monoculture model of obscure puffer (*Takifugu obscurus*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(5): 789-799.
- [3] 段亚飞,黄忠,林黑着,等.深水网箱和池塘养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的比较分析[J].南方水产科学,2017,13(2):93-100.
DUAN Y F, HUANG Z, LIN H Z, et al. Comparative analysis of muscle nutrient composition between floating-cage cultured and pond-cultured Pacific white shrimps (*Litopenaeus vannamei*) [J]. South China Fisheries Science, 2017, 13(2): 93-100.
- [4] FAO/WHO. Energy and protein requirements [R]. Rome: FAO, 1973: 40-73.
- [5] 桥本芳郎. 养鱼饲料学 [M]. 蔡完其,译. 北京: 农业出版社, 1980: 114-115.

- YOSHIRO M. Feed for fish culture[M]. CAI W Q, Trans. Beijing: Agricultural Publishing House, 1980: 114-115.
- [6] 冀德伟, 张敏, 闫茂仓, 等. 4种饵料对选育中间养成阶段的凡纳滨对虾投喂效果分析[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(2): 266-275.
- JI D W, ZHANG M, YAN M C, et al. Effects of four diets on the growth performance in *Litopenaeus vannamei* during the middle stage of selective breeding[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(2): 266-275.
- [7] 马林, 姜巨峰, 吴会民, 等. 池塘循环水养殖5种品系南美白对虾肌肉营养成分分析与评价[J]. 渔业现代化, 2018, 45(5): 36-44.
- MA L, JIANG J F, WU H M, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of 5 strains of *Penaeus vannamei* cultured in circulating water in ponds[J]. Fishery Modernization, 2018, 45(5): 36-44.
- [8] 施永海, 张根玉, 张海明, 等. 配合饲料和活饵料喂养刀鲚肌肉营养品质分析与比较[J]. 动物营养学报, 2014, 26(2): 427-436.
- SHI Y H, ZHANG G Y, ZHANG H M, et al. Analysis and comparison of nutritional quality of muscle from *Coilia nasus* fed formulated feed and live feed[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(2): 427-436.
- [9] 林建伟, 张春晓, 孙云章, 等. 鸡肉粉完全替代鱼粉饲料中补充晶体氨基酸对凡纳滨对虾生长性能、体成分、血浆及肌肉游离氨基酸含量的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(6): 1709-1721.
- LIN J W, ZHANG C X, SUN Y Z, et al. Effects of complete replacement of fish meal with poultry by-product meal and supplemented with crystalline amino acids in diets on growth performance, body composition, plasma and muscle free amino acid contents of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(6): 1709-1721.
- [10] 胡园, 陈琛, 曾国权, 等. 不同饲料对冬棚养殖凡纳滨对虾生长及全虾营养成分的影响[J]. 养殖与饲料, 2016(7): 38-43.
- HU Y, CHEN C, ZENG G Q, et al. Effects of different feed on growth performance and whole-body nutritional components of *Litopenaeus vannamei* raised in over-wintering greenhouse ponds[J]. Animals Breeding and Feed, 2016(7): 38-43.
- [11] 施永海, 张根玉, 刘永士, 等. 野生及养殖哈氏仿对虾肌肉营养成分的分析与比较[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 768-776.
- SHI Y H, ZHANG G Y, LIU Y S, et al. Comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured sword prawn (*Parapenaeopsis hardwickii*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 768-776.
- [12] 黄薇, 张忠华, 施永海, 等. 养殖斑尾复虾虎鱼肌肉营养成分的分析和评价[J]. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2866-2873.
- HUANG W, ZHANG Z H, SHI Y H, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of cultured *Synechogobius ommaturus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(9): 2866-2873.
- [13] 吉红, 孙海涛, 单世涛. 池塘与网箱养殖匙吻鲟肌肉营养成分及品质评价[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 261-267.
- JI H, SUN H T, SHAN S T. Evaluation of nutrient components and nutritive quality of muscle between pond-and cage-reared paddlefish (*Polyodon spathula*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 261-267.
- [14] 唐雪, 徐钢春, 徐跑, 等. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析[J]. 动物营养学报, 2011, 23(3): 514-520.
- TANG X, XU G C, XU P, et al. A comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured *Coilia nasus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(3): 514-520.
- [15] 许星鸿, 刘翔, 阎斌伦, 等. 日本对虾肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 297-301.
- XU X H, LIU X, YAN B L, et al. Nutritional component analysis and quality evaluation of *Penaeus japonicus*[J]. Food Science, 2011, 32(13): 297-301.
- [16] 黄凯, 吴宏玉, 朱定贵, 等. 饲料脂肪水平对凡纳滨对虾生长、肌肉和肝胰腺脂肪酸组成的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(5): 249-255.
- HUANG K, WU H Y, ZHU D G, et al. Effects of dietary lipid levels on growth and fatty acid composition in hepatopancreas and muscle of pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(5): 249-255.
- [17] 季文娟. 野生及人工养殖的中国对虾(*Penaeus chinensis*)的脂肪酸组成的分析及比较研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 16-20.
- JI W J. A comparative studies on fatty acid compositions of wild and cultured shrimp (*Penaeus chinensis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(1): 16-20.
- [18] 张强. 人工养殖对虾与野生对虾脂肪酸的组成分析和测定[J]. 分析化学, 1997, 25(9): 1027-1030.
- ZHANG Q. Composition analysis and determination of fatty acids in cultured and wild prawns[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1997, 25(9): 1027-1030.

Analysis and evaluation of muscle nutrient components of *Litopenaeus vannamei* in multistory culture mode and monoculture mode

HUANG Wei, YANG Ming, LU Genhai, YUAN Xincheng, CAO Xiangde, SHI Yonghai

(Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China)

Abstract: In order to study the differences of muscle nutritional components of *Litopenaeus vannamei* in multistory culture mode (*Takifugu obscurus* + *L. vannamei* + *Ipomoea aquatica*) and monoculture mode, biochemical analysis method was used to analyze and compare the nutritional components of *L. vannamei* in these two culture modes. The results showed that the moisture, crude protein, and crude ash contents of shrimp muscle from multistory culture mode were 77.17%, 21.38% and 1.39%, respectively, which did not differ from monoculture model (74.96%, 22.40% and 1.40%, respectively), but the content of crude fat of the monoculture mode (1.02%) was significantly higher than that of the multistory culture mode (0.80%). 18 kinds of amino acids have been detected in *L. vannamei* muscle from two culture modes. Among the detected amino acids, 3 kinds of amino acids (tryptophan, glycine, and arginine) of the multistory culture mode were observed to be significantly higher than those of the monoculture mode. In addition, the significantly higher values of threonine, serine and methionine were found in multistory culture mode when compared to the monoculture mode. However, contents of alanine and proline in *L. vannamei* from multistory culture mode were significantly lower than those of the monoculture mode. The other 10 kinds of amino acids between the monoculture model and the multistory culture model did not differ significantly. The contents of total amino acids (TAA), essential amino acids (EAA) and non-essential amino acids (NEAA) in *L. vannamei* muscle of the multistory culture model (86.08%, 31.19% and 44.17%) were slightly higher than those of the monoculture model (82.76%, 30.11% and 43.00%), but not differing significantly between two culture modes. The content of delicious amino acids (DAA) in *L. vannamei* muscle of the multistory culture mode (33.51%) was significantly higher than that of the monoculture mode (31.44%). Similarly, the content of half-essential amino acid (HEAA) (10.71%) of the multistory culture model was significantly higher than that of the monoculture mode (9.65%). No significant differences were observed in the essential amino acid index (EAAI) and the ratio of branched chain amino acids to aromatic amino acids (F-value) between the monoculture mode (72.46, 2.14) and the multistory culture mode (72.65, 2.13). The proportion of saturated fatty acids (Σ SFA), monounsaturated fatty acids (Σ MUFA) in *L. vannamei* muscle of the multistory culture mode (32.70%, 24.70%) were found to be higher than those of the monoculture mode (32.40%, 24.33%), but no significant differences were noted. In contrast, the multistory culture model reported lower values in the proportion of polyunsaturated fatty acids (Σ PUFA) and EPA + DHA (42.61%, 8.84%) when compared to the monoculture mode (43.27%, 10.82%), but no statistically significant differences were observed. The results indicated that no significant differences in main common nutrient components in *L. vannamei* muscle were found between the two modes, but positive effects have been observed in growth performance in multistory culture mode as shrimp individuals can reach a bigger commercial size and the meat is more delicious according to amino acid analysis. Moreover, the multistory culture mode has the advantages of both ecological and economic benefits as it meets the requirements of low-carbon and green development, so it is worth promoting.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; culture; muscle; nutritional component; amino acid; fatty acid