DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260306001
引用格式: 方长玲, 汤云瑜, 李思曼, 等. 不同养殖模式下凡纳滨对虾营养成分比较分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(16): 182–189.
Fang Changling, Tang Yunyu, Li Siman, et al. Comparative analysis of nutritional components in *Litopenaeus vannamei* under different culture modes [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(16): 182–189. (in Chinese with English abstract).

不同养殖模式下凡纳滨对虾营养成分比较分析

方长玲[1], 汤云瑜[1], 李思曼[1], 娄晓祎[1*], 徐崇凌[2], 史永富[1], 黄冬梅[1]

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部水产品质量安全控制重点实验室, 上海 200090;
2. 南昌大学生命科学学院, 南昌 330031)

摘 要: 目的 明确养殖环境对凡纳滨对虾品质的影响, 系统比较海水与淡水(大棚、露天)养殖模式下其品质差异。**方法** 采用感官评价、常规营养成分测定、氨基酸核苷酸测定、脂肪酸测定及质构仪质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)等方法开展研究。**结果** 海水养殖对虾感官总分 8.35, 显著高于淡水组(5.83 和 5.94), 土腥味极弱且鲜味、甜味更突出; 其粗蛋白质含量(22.5 g/100 g)显著高于两种模式下的淡水对虾(21.0 g/100 g 和 21.4 g/100 g), 脂肪含量无显著差异; 海水养殖对虾的鲜味氨基酸总量(7.11 g/100 g)和肌苷酸含量(75.52 mg/100 g)均最高, 单不饱和脂肪酸占比显著较高, 而淡水养殖对虾的 n-3 族多不饱和脂肪酸总量更高。质构方面, 海水对虾硬度(16.85 N)、弹性(0.89)和咀嚼性(2.69 mJ)均优于淡水对虾, 而淡水养殖对虾内聚性更高。**结论** 海水养殖对虾在感官、营养及质构上综合表现更优, 淡水对虾在特定脂肪酸上有优势, 研究为对虾养殖模式选择、饲料优化及产业品质提升提供理论与实践依据。

关键词: 凡纳滨对虾; 养殖模式; 品质特性; 感官评价; 营养成分; 质构特性
中图分类号: TS254.1 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)16–0182–08

Comparative analysis of nutritional components in *Litopenaeus vannamei* under different culture modes

FANG Chang-Ling[1], TANG Yun-Yu[1], LI Si-Man[1], LOU Xiao-Yi[1*], XU Chong-Ling[2], SHI Yong-Fu[1], HUANG Dong-Mei[1]

(1. *Key Laboratory of Control of Quality and Safety for Aquatic Products*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *East China Sea Fishery Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Shanghai* 200090, *China*; 2. *School of Life Sciences*, *Nanchang University*, *Nanchang* 330031, *China*)

ABSTRACT: Objective To clarify the influence of the culture environment on the quality of *Litopenaeus vannamei*, and systematically compare the quality differences between seawater and freshwater (greenhouse, open-air) culture modes. **Methods** In this study, analyses were performed using sensory evaluation, conventional nutritional composition detection, amino acid and nucleotide analysis, fatty acid determination and texture profile analysis (TPA).

收稿日期: 2026-03-06
基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2022TD02)
第一作者: 方长玲(1988—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: fangcl@ecsf.ac.cn
***通信作者:** 娄晓祎(1990—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: huoxingmayi@126.com

Results　The total sensory score of seawater-cultured shrimp was 8.35, which was significantly higher than that of the freshwater groups (5.83 and 5.94), with an extremely weak earthy flavor and more prominent umami and sweetness. The crude protein content (22.5 g/100 g) was found to be significantly higher than that of freshwater shrimp under the two modes (21.0 g/100 g and 21.4 g/100 g), while no significant difference was observed in fat content. The total umami amino acid content (7.11 g/100 g) and inosine monophosphate content (75.52 mg/100 g) of seawater-cultured shrimp were measured as the highest, and the proportion of monounsaturated fatty acids was determined to be significantly higher, whereas the total amount of n-3 polyunsaturated fatty acids in freshwater-cultured shrimp was observed to be higher. In terms of texture, superior hardness (16.85 N), springiness (0.89) and chewiness (2.69 mJ) were recorded in seawater shrimp compared to freshwater shrimp, while higher cohesiveness was exhibited by freshwater-cultured shrimp. **Conclusion**　Superior comprehensive performance in sensory properties, nutrition and texture is demonstrated by seawater-cultured shrimp, whereas advantages in specific fatty acids are held by freshwater shrimp. This study provides a theoretical and practical basis for the selection of shrimp culture modes, feed optimization and quality improvement in the industry.

KEY WORDS: *Litopenaeus vannamei*; culture mode; quality characteristics; sensory evaluation; nutritional composition; texture properties

0　引　言

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)又名南美白对虾, 是全球水产养殖领域的核心支柱品种之一。其凭借卓越的盐度适应性(0.5%~40.0%)、快速的生长速率、抗病力强、高效的饲料转化率及优良的肉质, 与斑节对虾、中国对虾并称为“世界三大养殖虾类”[1–3]。自 1988 年引入中国以来, 其养殖规模迅速扩张, 形成海水与淡水养殖并举的产业格局。据 2024 年统计数据, 全国凡纳滨对虾年养殖总产量高达 237 万吨, 其中海水养殖产量 153 万吨, 占比 64.6%; 淡水养殖产量 84 万吨, 占比 35.4%[4]。养殖模式也日趋多样化, 涵盖海水池塘、淡水大棚、露天池塘及工厂化循环水系统等。

随着产业规模扩大与居民消费水平提升, 市场对凡纳滨对虾的需求已从“追求产量”转向“关注品质”[5]。消费者不再仅满足于产品的可获得性, 而是更加重视其风味、营养、安全及质地等综合品质属性[6], 这一转变推动对虾养殖产业从“量的扩张”向“质的提升”转型。然而, 当前对虾品质评价体系仍滞后于市场消费需求, 现有研究多集中于基础营养成分与常规安全指标检测, 针对“食用品质”的系统性研究明显不足[7–8]。具体而言, 风味轮廓方面, 不同养殖模式因水体环境、饲料组成及养殖应激条件的差异, 可能影响呈味氨基酸、核苷酸等风味前体物质的积累, 进而导致对虾风味特性存在差异, 但相关系统比较研究仍较为欠缺[9]; 质构特性方面, 尽管质构仪可客观测定硬度、弹性等关键参数, 但其在水产领域的应用, 尤其在不同养殖模式对虾的系统比较中尚未得到普及[10]; 此外, 现有研究多为单一指标分析, 缺乏将营养成分、风味物质、感官评价与物性测定相结合的综合评价框架, 难以全面揭示养殖模式对虾品质的影响机制[7,11]。李红艳等[12]对比分析了盐田养殖与淡水养殖凡纳滨对虾的营养、滋味及质构特性, 发现高盐环境可显著提升对虾肌肉蛋白、呈味氨基酸及矿质元素含量, 同时改善肉质弹性与细嫩度, 为本研究不同盐度养殖模式下的品质差异分析提供了重要参考。因此, 构建一套多维度、系统化的凡纳滨对虾品质评价体系, 对准确反映产品品质特性、科学指导养殖生产、提升产业经济效益具有重要的现实意义。

基于此, 本研究选取上海及周边地区海水、淡水大棚、淡水露天 3 种典型养殖模式的凡纳滨对虾为研究对象, 系统分析其基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、核苷酸组成, 并融合感官评定与质构仪检测结果, 全面评估不同养殖模式下凡纳滨对虾的品质差异, 旨在为优化对虾养殖模式、提升产品质量、推动产业高质量发展提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

分别从南通市如东县海水养殖池塘、上海崇明淡水大棚池塘、淡水露天池塘采集凡纳滨对虾样品, 采样时间为 2025 年 9 月, 养殖周期约 105 d。3 种养殖模式的主要区别为: 海水养殖盐度 26‰~30‰, 采用室外土池养殖, 为自然海水盐度环境; 淡水大棚养殖为温室大棚封闭养殖, 水温稳定、受外界天气影响小; 淡水露天养殖为室外土池开放式养殖, 受光照、气温及降雨等自然条件影响较大。所有样品养殖周期一致, 均采用市售主流对虾配合饲料投喂, 饲料主要营养组成相近, 可排除饲料配方差异对实验结果的显著影响。取样时选取规格一致、体长与体质量相近、体表洁净、色泽鲜亮、活力强且健康无损伤的成虾, 确保

组间具有良好的可比性。其中海水虾平均体长(11.65±0.54) cm, 平均体质量(13.28±0.85) g; 淡水虾平均体长(10.89±0.76) cm, 平均体质量(11.85±1.78) g。样品采集与制备过程中严格采取防污染措施, 将凡纳滨对虾随机分为两组: 一组鲜虾用于感官评价和质构分析; 另一组经去头、去壳后, 采用组织粉碎机均质化, 装入洁净容器于–18 ℃以下冷冻保存, 待测前自然解冻。

混合氨基酸标准品(纯度≥99%, 北京曼哈格生物科技有限公司); 核苷酸标准品(纯度≥98%, 天津阿尔塔科技公司); 37 种脂肪酸甲酯混合标准品(纯度≥99%, 美国色谱科公司); 乙酰氯(上海麦克林生化科技有限公司); 甲醇、三氯甲烷、正己烷(色谱纯, 美国 J.T. Baker 公司); 氯化钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、高氯酸、浓盐酸、氢氧化钾、三氯乙酸、氯仿、乙醚(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 甲苯(色谱纯, 美国 TEDIA 有限公司); 异辛烷、石油醚、正庚烷(上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

DHG-9145A 型电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); MIULAB 多管漩涡混合仪(杭州米欧仪器有限公司); SGM·M10/10 马弗炉[西格马(上海)高温电炉有限公司]; SXT-06 脂肪测定仪(上海洪纪仪器设备有限公司); Foss Kjeltec^{TM} 8420 全自动定氮仪(丹麦福斯分析仪器公司); Chromaster 5510 全功能氨基酸分析仪(日本日立高新技术公司); Agilent 1100 液相色谱仪、Agilent 7890A 气相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司); TMS-PRO 研究型食品物性分析仪(美国 FTC 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 感官评价分析

感官评价小组由 8 名经筛选与培训的评价员组成(男性 4 名、女性 4 名), 所有评价员均具备食品感官评价基础, 经对虾风味识别、强度标尺、盲评流程统一培训, 一致性检验合格。鲜虾经初步筛选后, 将不同养殖模式的凡纳滨对虾样品沸水煮制 3 min, 捞出后立即由感官评价小组进行口感分析。参考文献[13–15]的方法, 感官评价小组从对虾的鲜味、甜味、土腥味及总体感官 4 个方面评定其品质, 记录并统计评分结果。感官评价标准见表 1。

1.3.2 常规营养成分的测定

水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》采用烘干恒重法测定; 粗灰分参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》采用 550 ℃马弗炉高温灰化法测定; 粗脂肪参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》采用索氏提取法测定; 粗蛋白质参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》采用凯氏定氮法测定。

1.3.3 氨基酸的测定

参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》, 采用酸水解法测定氨基酸含量。测定原理: 采用 6 mol/L 盐酸水解样品, 通过氨基酸分析仪测定样品中各类氨基酸的含量。

1.3.4 核苷酸的测定

参照 GB 5413.40—2016《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中核苷酸的测定》测定呈味核苷酸含量。测定原理: 样品经高氯酸溶液水解后, 用氢氧化钾溶液调节 pH, 采用高效液相色谱外标法测定样品中呈味核苷酸的含量。

1.3.5 脂肪酸的测定

参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》采用外标法测定凡纳滨对虾中 37 种脂肪酸的含量。测定原理: 采用氯仿-甲醇法提取样品中的脂肪, 经硫酸-甲醇溶液甲酯化净化后, 通过气相色谱法测定各类脂肪酸的含量。

1.3.6 虾肉组织质构分析

取鲜虾去壳, 选取虾仁第三腹节中央位置, 采用质构仪质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)模式进行测定[15], 使用平底柱探头 TA41。测定条件: 触发力 1.5 N, 压缩距离为 3 mm, 测试前速率为 60 mm/min, 两次压缩恢复时间为 3 s。每批样品平行测定 10 次。

表 1 凡纳滨对虾感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for *Litopenaeus vannamei*

感官评价指标	0~3	4~6	7~10
鲜味	鲜味微弱或几乎无, 口感平淡, 无鲜爽感	鲜味中等, 能感知基础鲜味, 有轻微回味, 无明显异味	鲜味极突出, 呈味自然浓郁, 回味持久, 能清晰感知虾肉本身的鲜爽风味, 无杂味
甜味	无甜味或微甜, 口感清淡	甜味中等, 口感清淡, 与整体风味适配	甜味清爽自然, 与鲜味协调搭配, 口感温润, 回味清甜, 无甜腻感
土腥味	有一定的土腥味, 掩盖虾肉本味, 口感欠佳	有轻微土腥味, 口感略有影响, 但可正常食用	无任何土腥味, 口感洁净, 能凸显虾肉本身的纯正风味
总体感官	口感较差, 虾肉质地异常, 有明显异味	口感中等, 虾肉质地尚可, 鲜甜味平淡, 无明显异味	口感极佳, 虾肉质地适中, 鲜甜味协调, 无任何异味

测定质构指标包括硬度、弹性、内聚性、胶黏性与咀嚼性, 其中硬度为第一次压缩的峰值力(单位: N); 弹性为第二次压缩的恢复高度与第一次压缩的变形量比值(无量纲); 内聚性为虾肉抵抗二次压缩、保持结构完整的能力(无量纲); 胶黏性为克服半固态食品表面黏附力所需的力(单位: N); 咀嚼性为将固体虾肉咀嚼至可吞咽状态所需的能量(单位: mJ)。

1.4　数据处理

采用 Excel 2016 和 SPSS 31.0 对数据进行统计和方差分析, 结果以平均值±标准偏差表示, 采用 Origin 2025 进行作图, 采用单因素方差进行显著性分析, $P<0.05$ 表示数据统计学差异显著。

2　结果与分析

2.1　感官评价结果分析

不同养殖模式下凡纳滨对虾的感官评价结果见表 2, 不同养殖模式对感官品质各维度的影响存在差异。

表 2　不同养殖模式下凡纳滨对虾感官评价得分(n=8)
Table 2　Sensory evaluation scores of *Litopenaeus vannamei* under different culture modes (n=8)

感官评价指标	淡水大棚对虾	淡水露天对虾	海水对虾
鲜味	7.50±0.80^{a}	7.65±0.75^{a}	8.93±0.90^{b}
甜味	2.42±0.51^{a}	2.43±0.35^{a}	3.08±0.79^{b}
土腥味	5.58±0.90^{b}	4.86±0.58^{ab}	0±0^{a}
总体感官	5.83±0.94^{a}	5.94±0.82^{a}	8.35±0.65^{b}

注: 同行不同字母表示差异显著($P<0.05$), 表 3、6 同。

在 4 项感官评分指标中, 海水养殖对虾的总体感官得分(8.35)显著高于淡水大棚(5.83)和淡水露天养殖对虾(5.94) ($P<0.05$), 表明海水养殖对虾在整体接受度上具有明显优势。具体而言, 海水养殖对虾鲜味得分(8.93)显著高于两种淡水对虾(7.50 和 7.65) ($P<0.05$), 甜味得分(3.08)同样显著高于淡水组(2.42 和 2.43) ($P<0.05$), 而土腥味得分仅为 0, 低于淡水大棚(5.58)和淡水露天养殖对虾(4.86), 表明确实存在养殖环境对风味轮廓的显著调控作用。该结果与刘利平等[16]以及 Houle 等[17]提出的淡水养殖环境中底质腐殖质积累易导致颤藻、放线菌滋生, 产生土腥味物质的结论高度一致, 本研究进一步通过具体感官评分量化了这种差异, 证实海水环境可有效弱化对虾土腥味, 强化鲜味与甜味。

2.2　常规营养成分结果分析

不同养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中水分、粗灰分、粗蛋白和粗脂肪的含量测定结果见表 3。由表 3 可知, 水分、粗灰分及粗脂肪含量在 3 种养殖模式(淡水大棚、淡水露天和海水养殖)之间均未呈现显著差异, 表明养殖方式对虾体的含水量、矿物质沉积以及脂肪积累未产生明显影响; 而粗蛋白质含量则呈现不同趋势, 淡水大棚养殖和淡水露天养殖对虾中粗蛋白质含量平均值分别为 21.4 g/100 g、21.0 g/100 g, 两种淡水养殖对虾之间无显著差异($P>0.05$), 均显著低于海水养殖对虾中蛋白质含量(22.5 g/100 g) ($P<0.05$)。该结果与张高静等[18]的结果一致, 本研究进一步明确了不同养殖模式对蛋白质积累的影响, 为精准营养调控提供了依据。

与其他甲壳类相比, 凡纳滨对虾肌肉中蛋白质含量高于日本囊对虾(17.74 g/100 g)[19]、锯缘青蟹(15.57~17.42 g/100 g)[20], 也显著高于我国常见的淡水鱼类, 如草鱼(16.60%)和鳜鱼(17.56%)[21], 表明凡纳滨对虾属于高蛋白低脂肪的优质虾类, 契合当下消费者对健康食品的诉求。现代人的饮食多以高热量、高脂肪食物为主, 长期摄入这类食物容易引发脂肪堆积, 进而诱发多种健康问题。而食用这种低脂肪、高蛋白的虾肉, 能够有效改善血脂代谢、降低脂蛋白水平, 同时减少高脂饮食带来的疾病风险[22]。

表 3　不同养殖模式下凡纳滨对虾常规营养成分比较分析(%, n=3)
Table 3　Comparative analysis of routine nutritional components of *Litopenaeus vannamei* under different culture modes (%, n=3)

常规成分	淡水大棚对虾	淡水露天对虾	海水对虾
水分	75.78±0.59^{a}	76.22±0.64^{a}	74.36±0.45^{a}
粗灰分	1.22±0.11^{a}	1.23±0.15^{a}	1.28±0.09^{a}
粗脂肪	1.02±0.18^{a}	0.92±0.15^{a}	0.99±0.17^{a}
粗蛋白质	21.40±1.96^{a}	21.00±2.66^{a}	22.50±2.13^{b}

2.3　对虾肌肉氨基酸含量分析

表 4 呈现了不同养殖模式下凡纳滨对虾肌肉的氨基酸构成, 该对虾含有丰富且齐全的氨基酸种类, 共检出 16 种。由于酸水解过程会破坏色氨酸, 其余必需氨基酸均有检出, 其中海水养殖对虾肌肉中的谷氨酸、蛋氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸及脯氨酸含量, 均明显高于淡水养殖对虾。此外, 淡水露天养殖环境下的对虾, 在苏氨酸、异亮氨酸和酪氨酸的含量上, 要高于大棚养殖的对虾。

虾肉的风味特征主要由肌肉中鲜味氨基酸的构成及含量水平主导, 其中以谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸及丙氨酸最为关键[18]。分析显示, 海水养殖的凡纳滨对虾肌肉中含有更为丰富的鲜味氨基酸, 其含量(7.11 g/100 g)不仅超越了淡水大棚养殖, 也高于淡水露天养殖, 赋予了海水养殖对虾更为鲜美的口感。谷氨酸是含量居首的氨基酸, 不仅鲜味最为突出, 还能参与多种生理活性物质的合成过程, 并在大脑、肌肉、肝脏等组织中起到解毒功效[23–24]。

2.4　核苷酸含量结果分析

表 5 显示了凡纳滨对虾在不同养殖环境(淡水大棚养

殖、淡水露天养殖、海水养殖)下肌肉中核苷酸的含量, 呈味核苷酸主要有尿苷酸、鸟苷酸、肌苷酸、腺苷酸[25]。结果显示, 淡水大棚养殖和淡水露天养殖的凡纳滨对虾在二磷酸腺苷、三磷酸腺苷、胞嘧啶核苷酸、鸟苷酸、尿苷酸、次黄嘌呤核苷和次黄嘌呤等核苷酸含量上差异不显著(P>0.05), 而海水养殖的凡纳滨对虾则表现出腺苷酸和鸟苷酸含量显著增加, 同时三磷酸腺苷和次黄嘌呤核苷含量相对较低的特点, 尤其是肌苷酸含量在所有养殖环境中均为最高, 达到 75.52 mg/100 g, 肌苷酸直接决定肌肉的鲜味特性, 用于评价肉品鲜味的重要指标[19]。海水养殖对虾腺苷酸和肌苷酸含量显著高于淡水大棚和露天养殖对虾(P<0.05), 海水养殖对虾腺苷酸含量(65.74 mg/100 g)显著高于淡水大棚(38.16 mg/100 g)和淡水露天养殖对虾(37.75 mg/100 g)。该结果与王士稳等[25]得出的海水养殖凡纳滨对虾呈味核苷酸(肌苷酸、腺苷酸)及鲜味氨基酸含量高于淡水个体的结论完全吻合, 且本研究补充了具体数值差异, 解释了海水对虾鲜味更突出的分子机制, 即呈味核苷酸与鲜味氨基酸的双重高积累。

2.5 脂肪酸含量结果分析

脂肪不仅是机体获取能量的关键途径之一, 而且是构成细胞膜结构并维持其功能不可或缺的基石。在人体生长发育的过程中, 不饱和脂肪酸扮演着至关重要的角色, 它们对于调节血脂水平、预防心血管疾病具有深远的意义[26]。此外, 不饱和脂肪酸能够有效促进血脂代谢的正面调整, 显著降低低密度脂蛋白胆固醇的氧化敏感性, 这一作用机制对于维护血管内皮健康、缓解血液高凝状态至关重要, 进而为心血管系统提供了坚实的保护屏障[27]。凡纳滨对虾肌肉中共检测到 27 种脂肪酸, 其中棕榈酸(C16:0)、硬脂

表 4 不同养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中氨基酸含量(g/100 g, n=3)

Table 4 Amino acid content in muscle of *Litopenaeus vannamei* under different culture modes (g/100 g, n=3)

项目	名称	淡水大棚对虾	淡水露天对虾	海水对虾
必需氨基酸	苏氨酸	0.79±0.04	0.83±0.03	0.80±0.08
	缬氨酸	0.87±0.02	0.80±0.04	0.92±0.05
	蛋氨酸	0.55±0.03	0.54±0.05	0.58±0.09
	异亮氨酸	0.76±0.10	0.92±0.08	0.82±0.12
	亮氨酸	1.43±0.03	1.47±0.04	1.58±0.02
	苯丙氨酸	0.62±0.06	0.65±0.01	0.71±0.05
	组氨酸	0.53±0.04	0.57±0.04	0.59±0.05
半必需氨基酸	赖氨酸	1.66±0.08	1.61±0.10	1.75±0.06
	精氨酸	1.16±0.07	0.95±0.05	1.11±0.02
非必需氨基酸	天冬氨酸*	1.45±0.05	1.42±0.08	1.56±0.10
	丝氨酸	0.69±0.05	0.70±0.03	0.78±0.08
	谷氨酸*	2.68±0.08	2.65±0.13	3.03±0.15
	甘氨酸*	1.25±0.06	1.16±0.05	1.27±0.08
	丙氨酸*	1.13±0.11	1.03±0.09	1.25±0.08
	脯氨酸	0.88±0.05	0.90±0.04	1.00±0.06
	酪氨酸	0.58±0.05	0.59±0.08	0.64±0.09
必需氨基酸总量		5.55±0.30	5.77±0.29	6.00±0.31
氨基酸总量		17.02±0.64	16.78±0.73	18.40±0.93
鲜味氨基酸含量		6.51±0.15	6.26±0.30	7.11±0.30

注: *为鲜味氨基酸。

表 5 不同养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中核苷酸含量(mg/100 g, n=3)

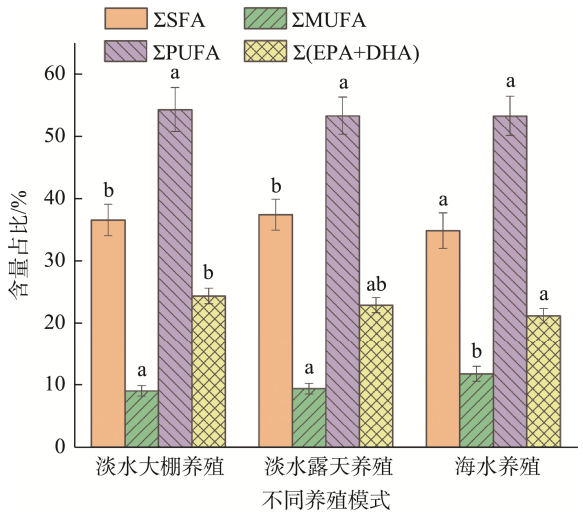
Table 5 Nucleotide content in muscle of *Litopenaeus vannamei* under different culture modes (mg/100 g, n=3)

不同模式	二磷酸腺苷	腺苷酸	三磷酸腺苷	胞嘧啶核苷酸	鸟苷酸	尿苷酸	肌苷酸	次黄嘌呤核苷	次黄嘌呤
淡水大棚对虾	10.31±0.25^a	38.16±1.41^a	2.39±0.29^b	0.94±0.06^b	2.77±0.25^a	2.32±0.19^a	63.58±2.01^a	11.44±0.97^b	4.48±0.38^b
淡水露天对虾	10.25±0.24^a	37.75±1.49^a	2.39±0.31^b	0.93±0.08^b	2.70±0.26^a	2.23±0.17^a	62.49±1.89^a	11.26±1.01^b	4.45±0.65^b
海水对虾	10.61±0.28^a	65.74±1.08^b	0.81±0.12^a	0.57±0.02^a	6.64±0.52^b	2.35±0.23^a	75.52±2.48^b	7.43±0.95^a	2.38±0.32^a

注: 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

酸(C18:0)、油酸(C18:1n9c)、亚油酸(C18:2n6c)、二十碳五烯酸(C20:5n3, eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(C22:6n3, docosahexaenoic acid, DHA)是主要脂肪酸, 在淡水大棚养殖对虾中占脂肪酸总量的 85.58%, 在淡水露天养殖中占 81.46%, 在海水养殖中占 80.62%。

通过对不同养殖模式下的凡纳滨对虾中脂肪酸含量进行分析发现(图 1), 淡水大棚养殖、淡水露天养殖和海水养殖对虾肌肉中均含有丰富的不饱和脂肪酸, 分别为 63.39%、62.77%和 65.08%, 均高于 SFA, 说明凡纳滨对虾肌肉的脂肪酸组成以不饱和脂肪酸为主。高含量的 PUFA 能显著地增加香味, 同时在一定程度上也反映肌肉的多汁性[28]。不饱和脂肪酸中, PUFA 占比相对较高, 且尤为富含 EPA 与 DHA, 二者总含量介于 22.1%~23.38%之间。EPA 和 DHA 对人体细胞膜功能及基因表达具有关键作用, 不仅能助力儿童智力发育, 还对心血管疾病、老年性痴呆有改善效果, 同时还具备良好的抑癌功效[29–30]。海水与淡水养殖对虾的肌肉脂肪酸组成仍存在一定差异。海水养殖对虾肌肉中 MUFA 占比显著高于两种淡水养殖对虾(P<0.05), SFA 占比显著低于淡水组(P<0.05); 反映 n-3 功能性脂肪酸的 EPA+DHA 总含量海水组显著低于淡水组, 但 3 组总 PUFA 无显著差异。该结果与彭永兴等[31]关于淡水养殖对虾 n-3 系列脂肪酸合成能力更强的结论一致, 本研究进一步明确了 n-3 PUFA 的具体含量范围, 为不同养殖模式下饲料脂肪源的选择提供了更精准的参考。因此, 配制海水虾饲料时, 需添加富含 EPA 和 DHA 的鱼油, 以满足其对必需脂肪酸的需求; 而配制淡水对虾饲料时, 则可选用价格更为经济、富含 α-亚麻酸的植物油, 进而降低饲料成本。



注: 饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA); 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA); 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)。

图 1　不同养殖模式下凡纳滨对虾肌肉中脂肪酸含量对比

Fig.1　Comparison of fatty acid content in muscle of *Litopenaeus vannamei* under different culture modes

2.6　对虾肌肉质构结果分析

质构特性是用以表征水产品品质变化的一项重要物理指标。常见的质构参数包括硬度、弹性、内聚性及咀嚼性等, 其中硬度和弹性对于鲜度的判别尤为关键[15,32]。质构特性分析结果表明, 不同养殖环境对其质构品质具有显著影响(表 6)。由对虾质构分析结果可知, 海水对虾在硬度(16.85 N)与弹性(0.89)两项核心指标上均显著高于两种淡水养殖对虾(P<0.05), 预示着其肌肉组织更为紧实, 具备更优的咀嚼韧性。两种淡水对虾(大棚与露天)在这些参数上无统计学显著差异(P>0.05)。然而, 在内聚性方面, 淡水对虾(0.22~0.24)则显著高于海水对虾(0.18) (P<0.05), 表明其内部组织结构的结合力更强, 质地可能更为致密。作为硬度与内聚性的乘积, 胶黏性在淡水露天对虾中最高(3.55 N), 海水对虾显著最低(3.02 N) (P<0.05)。最终, 在综合反映咀嚼所需能量的咀嚼性参数上, 海水对虾(2.69 mJ)显著最高, 这与其较高的硬度和弹性直接相关。综上所述, 对虾质构数据清晰地揭示了海水养殖对虾在关键质构属性上优于淡水养殖对虾, 尤其在体现口感的硬度和弹性方面差异显著。该结果与 Sui 等[15]海水甲壳类因肌肉纤维更粗、排列更紧密, 硬度与弹性显著高于淡水个体的研究结果相符, 本研究通过 TPA 模式测定的具体质构参数, 量化了海水对虾肉质紧实、咀嚼感更佳的优势, 为口感评价提供了客观数据支撑。

表 6　不同养殖模式下凡纳滨对虾肌肉质构分析(n=10)

Table 6　Texture analysis of muscle of *Litopenaeus vannamei* under different culture modes (n=10)

质构特性	淡水大棚对虾	淡水露天对虾	海水对虾
硬度/N	14.52±0.39^{a}	14.78±0.24^{a}	16.85±0.45^{b}
弹性	0.75±0.06^{a}	0.78±0.05^{a}	0.89±0.09^{b}
内聚性	0.22±0.02^{b}	0.24±0.04^{b}	0.18±0.03^{a}
胶黏性/N	3.19±0.22^{b}	3.55±0.18^{b}	3.02±0.24^{a}
咀嚼性/mJ	2.39±0.11^{a}	2.41±0.04^{a}	2.69±0.13^{b}

3　结　论

本研究采用了感官评价、常规营养成分检测、氨基酸与核苷酸分析、脂肪酸测定及 TPA 的方法, 对比分析海水、淡水大棚及淡水露天养殖模式下凡纳滨对虾品质差异。结果表明, 海水养殖对虾感官总分(8.35)显著高于淡水大棚组(5.83)与淡水露天组(5.94), 土腥味极弱且鲜甜味更突出, 粗蛋白含量(22.5 g/100 g)高于两种淡水对虾(21.0 g/100 g、21.4 g/100 g), 鲜味氨基酸总量(7.11 g/100 g)、肌苷酸含量(75.52 mg/100 g)及 MUFA 占比均为 3 组最高, 硬度(16.85 N)、弹性(0.89)与咀嚼性(2.69 mJ)也更优; 淡水养殖对虾 n-3 PUFA 总量更高且内聚性较强, 且淡水大棚与露天模式对品质的

影响无显著差异。本研究与先前相关研究一致证实海水养殖对虾综合品质更优、淡水养殖对虾 n-3 PUFA 含量更高，不同之处在于新增两种淡水养殖模式的对比，补充了淡水养殖模式细分领域的研究数据。总之，海水养殖对虾的综合品质更优，而淡水养殖对虾在功能性脂肪酸上具备独特价值。本研究为凡纳滨对虾养殖模式选择、饲料配方优化及产业品质提升提供了理论依据与实践支撑。

参考文献

[1] Zainuddin Z, Aslamyah S, Nur K U, et al. Substitution of sweet potato flour and corn starch to the growth, survival rate, feed conversion ratio and body chemical composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* [J]. AACL Bioflux, 2020, 13(5): 2497–2508.

[2] Liu Zhenyang, Liu Qiumei, Zhang Di, et al. Comparison of the proximate composition and nutritional profile of byproducts and edible parts of five species of shrimp [J]. Foods, 2021, 10(11): 2603.

[3] 王林薇, 程曦, 甘宏宽, 等. 盐度和亚硝酸盐氮慢性胁迫对凡纳滨对虾生长、抗氧化及免疫的影响[J]. 南方农业学报, 2024, 55(4): 1194–1206.
Wang Linwei, Cheng Xi, Gan Hongkuan, et al. Effects of chronic salinity and nitrite nitrogen stress on growth, antioxidation and immunity of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55(4): 1194–1206.

[4] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会编制. 中国渔业统计年鉴-2025[M]. 北京: 中国农业出版社, 2025: 1–159.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2025 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2025: 1–159.

[5] Petrescu D C, Vermeir I, Petrescu-Mag R M. Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: a cross-national perspective [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 17(1): 169.

[6] 王二朋, 高志峰. 食品质量属性及其消费偏好的研究综述与展望[J]. 世界农业, 2020(7): 17–24.
Wang Erpeng, Gao Zhifeng. Review and prospect of food quality attributes and their consumption preferences [J]. World Agriculture, 2020(7): 17–24.

[7] Chang Liti, Fang Mingchi. Establishment of the flavor quality standard for white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by instrumental and sensory approaches [J]. ACS Food Science & Technology, 2024, 4(12): 3016–3024.

[8] Huang Zhihai, Guan Weiliang, Lyu Xiamin, et al. Impacts of long-time transportation on whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle quality and underlying biochemical mechanisms [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(15): 7590–7599.

[9] Shi Jian, Xiao Naiyong, Yin Mingyu, et al. Comparison of non-volatile compounds of *Penaeus vannemei* with different drying treatments *via* multidimensional infrared spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2024, 458: 140233.

[10] Luo Yi, Lv Haoran, Lin Huimin, et al. Effect of replacing phosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality and microbial diversity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage [J]. LWT, 2025, 224: 117812.

[11] 王福双, 李蕾蕾, 王素英. 低温贮藏南美白对虾品质综合评价体系的构建[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 328–331, 339.
Wang Fushuang, Li Leilei, Wang Suying. Comprehensive evaluation system established for the quality of *Penaeus vannamei* during low-temperature storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(13): 328–331, 339.

[12] 李红艳, 刘振鲁, 刘天红, 等. 凡纳滨对虾营养、滋味及质构特性分析与评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(8): 19–30.
Li Hongyan, Liu Zhenlu, Liu Tianhong, et al. Analysis and evaluation of nutrition, flavor and texture characteristics of *Penaeus vannamei* cultured in salt fields [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 19–30.

[13] 周莹, 吉宏武, 张泽伟, 等. 虾青素对热风干制凡纳滨对虾香气特性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(1): 95–102.
Zhou Ying, Ji Hongwu, Zhang Zewei, et al. Effect of astaxanthin on aroma characteristics of hot-air-dried *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2023, 43(1): 95–102.

[14] 贺子倩, 游恩卓, 吴志康, 等. 盐焗虾的工艺优化及智能感官评价[J]. 食品工业, 2024, 45(4): 58–63.
He Ziqian, You Enzhuo, Wu Zhikang, et al. Process optimization and intelligent sensory evaluation of salt-baked shrimp [J]. The Food Industry, 2024, 45(4): 58–63.

[15] Sui Xiaole, Zhao Ya, Zhang Xin, et al. Hydrocolloid coating pretreatment makes explosion puffing drying applicable in protein-rich foods–a case study of scallop adductors [J]. Drying Technology, 2022, 40(1): 50–64.

[16] 刘利平, 李慷, 闫莉. 水产动物体内土腥味物质的来源、检测及其防控与去除的研究进展[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 813–829.
Liu Liping, Li Kang, Yan Li. Sources, determination, prevention and elimination of off-flavour compounds in aquatic animals [J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 813–829.

[17] Houle S, Schrader K K, Le François N R, et al. Geosmin causes off-flavour in Arctic charr in recirculating aquaculture systems: geosmin is the dominant off-flavour compound in RAS [J]. Aquaculture Research, 2011, 42(3): 360–365.

[18] 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 Gaojing, Han Liping, Sun Jianfeng, 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.

[19] 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 Xinghong, Liu Xiang, Yan Binlun, et al. Nutritional component analysis and quality evaluation of *Penaeus japonicus* [J]. Food Science, 2011, 32(13): 297–301.

[20] Lu Jianxue, Gong Yangyang, Huang Yanqing, et al. Nutritional analysis and quality evaluation in muscle of crucifix crab *Charybdis* feriatus from three wild populations [J]. Journal of Food Research, 2014, 3(2): 27.

[21] 刘立维, 梁旭方. 饲料组分对草鱼代谢的影响及鳜和草鱼蛋白利用的比较[C]//第九届世界华人鱼虾营养学术研讨会论文摘要集, 厦门: 第九届世界华人鱼虾营养学术研讨会组委会, 2013: 147.
Liu Liwei, Liang Xufang. Effects of dietary components on grass carp metabolism and comparison of protein utilization between mandarin fish

and grass carp [C]//Proceedings of the 9th World Chinese Symposium on Nutrition of Fish and Shellfish, Xiamen: Organizing Committee of the 9th World Chinese Symposium on Nutrition of Fish and Shellfish, 2013: 147.

[22] Mo Qiaoling, Deng Xinquan, Zhou Ziyu, et al. High-fat diet and metabolic diseases: a comparative analysis of sex-dependent responses and mechanisms [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2025, 26(10): 4777.

[23] Qin Yingchao, Zhou Jiayi, Zhu Min, et al. *L*-glutamate requires *β*-catenin signalling through Frizzled7 to stimulate porcine intestinal stem cell expansion [J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2022, 79(10): 523.

[24] 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 Juan. Comparison of nutritional compositions in muscles of *Penaeus chinensis*, *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus* japonicuss Bate [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(6): 146–150.

[25] 王士稳, 梁萌青, 林洪, 等. 海水和淡水养殖凡纳滨对虾呈味物质的比较分析[J]. 海洋水产研究, 2006(5): 79–84.
Wang Shiwen, Liang Mengqing, Lin Hong, et al. The comparison of sensory components between maricultured and freshwater cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Marine Fisheries Research, 2006(5): 79–84.

[26] Aggarwal R, Bhatt D L, Steg P G, et al. Cardiovascular outcomes with icosapent ethyl by baseline low-density lipoprotein cholesterol: a secondary analysis of the REDUCE-IT randomized trial [J]. Journal of the American Heart Association, 2025, 14(5): e038656.

[27] Masic U, Yeomans M R. Umami flavor enhances appetite but also increases satiety [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2014, 100(2): 532–538.

[28] Takahashi H, Rikimaru K, Kiyohara R, et al. Effect of arachidonic acid-enriched oil diet supplementation on the taste of broiler meat [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2012, 25(6): 845–851.

[29] Janubova M, Gbelcová H, Konarikova K, et al. DHA and EPA are able to affect the development of stress-induced senescence [J]. Austin Medical Sciences, 2022, 7(1): 1–6.

[30] Tian Ailing, Xu Lirong, Szeto I M, et al. Effects of different proportions of DHA and ARA on cognitive development in infants: a meta-analysis [J]. Nutrients, 2025, 17(6): 1091.

[31] 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.
Peng Yongxing, Xu Xiang, Cheng Yulong, et al. Comparative analysis of nutrients in muscles of Pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured in seawater and freshwater [J]. Fisheries Science, 2013, 32(8): 435–440.

[32] 沈敏, 熊英, 王颖, 等. 高盐养殖对凡纳滨对虾肌肉品质的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2020, 10(2): 38–43.
Shen Min, Xiong Ying, Wang Ying, et al. Effects of high-salinity on muscle flavor and texture in *Litopenaeus vannamei* [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2020, 10(2): 38–43.

(责任编辑: 安香玉　曹岱琳)