



## 盐碱水和海水养殖条件下的拟穴青蟹生长和营养成分比较分析

方伟<sup>1</sup>, 刘磊<sup>1\*</sup>, 常雯<sup>2</sup>, 刘志国<sup>2</sup>, 杨建新<sup>2</sup>,  
刘晓<sup>1</sup>, 母昌考<sup>1</sup>, 王春琳<sup>1</sup>

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315832;

2. 东营市海洋发展研究院, 山东 东营 257091)

**摘要:** 为探究不同水体条件下拟穴青蟹的生长和营养成分差异, 实验测定了黄河三角洲海水 (DY)、盐碱水 (ZD) 及三门海水 (SM) 的水质离子组成, 采用阿廖金分类法进行养殖水体分类; 测量形态指标并计算肥满度, 利用独立样本 *t*-检验 (*t*-Test) 方法比较 3 种水体中养殖 90 和 140 日龄拟穴青蟹的生长; 测定肝胰腺和肌肉氨基酸及脂肪酸含量, 应用主成分分析和聚类分析方法分析各组拟穴青蟹氨基酸和脂肪酸的组成。结果显示, ZD 组养殖水体碱度显著高于 SM 组, 与 DY 组无显著差异; 3 个组 90 日龄拟穴青蟹肥满度在 0.54~0.89, ZD、DY 组拟穴青蟹肥满度显著高于 SM 组, 140 日龄拟穴青蟹肥满度的组间差异不显著; 共测出 20 种氨基酸和 26 种脂肪酸, 3 个组拟穴青蟹的肝胰腺和肌肉总氨基酸含量 (TAA) 分别为 3.94~6.87 和 9.73~12.42 g/100 g, SM 组均为最高; 3 组拟穴青蟹的肝胰腺和肌肉总不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸含量 (TUFA/TFA) 比值分别为 59.68%~68.80% 和 70.08%~73.79%, 其中, ZD 组拟穴青蟹肝胰腺中 C20:5n-3 (EPA) 含量为各组最高; 主成分分析和聚类分析分别显示, ZD 组的拟穴青蟹的氨基酸与脂肪酸含量与其他组区分较为明显, 但差异不显著, 各组拟穴青蟹的肌肉、肝胰腺氨基酸和脂肪酸含量的聚类结果均相似。研究表明, 与正常海水相比, 盐碱水养殖拟穴青蟹的生长速度、肥满度及氨基酸和脂肪酸含量差异不大, 部分指标占优, 为保证养殖拟穴青蟹的生长速度和产量, 可在盐碱水中适量补充  $Mg^{2+}$  和  $K^+$ 。

**关键词:** 拟穴青蟹; 盐碱水; 生长; 氨基酸; 脂肪酸

**中图分类号:** S 968.25

**文献标志码:** A

拟穴青蟹 (*Scylla paramamosain*) 隶属于十足目 (Decapoda) 梭子蟹科 (Portunidae) 青蟹属 (*Scylla*), 是肉食性、广盐性和广温性海洋经济甲壳动物, 具有生长快、适应性强、肉质鲜美和营养丰富的特点, 广受民众喜爱, 经济价值高, 是我国东南沿海地区重要的海水养殖蟹类, 2020 年养殖产量

超过 15.94 万 t<sup>[1]</sup>。目前拟穴青蟹的主要消费市场集中在江浙以南地区, 北方食用蟹类多以三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 和中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 为主, 近年来, 随着人民对拟穴青蟹的认知和生活水平提高, 对拟穴青蟹需求呈现上升趋势, 开拓北方拟穴青蟹养殖产业及市

收稿日期: 2021-07-19 修回日期: 2021-10-26

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0900405); 浙江省“三农六方”科技协作计划 (2021SNLF029)

第一作者: 方伟 (照片), 从事拟穴青蟹健康养殖技术研究, E-mail: 737619783@qq.com

通信作者: 刘磊, 从事海水蟹类遗传育种与健康养殖研究, E-mail: liulei1@nbu.edu.cn



场具有巨大潜力和商业价值。

我国约有 0.46 亿  $\text{hm}^2$  的低洼盐碱水域资源, 仅辽东湾、渤海湾、莱州湾和江苏、浙江等沿海地区形成的滨海盐碱水面积约为 211.4 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2-3]</sup>。研究表明, 这些盐碱地区可采用地下卤水、地下盐水以及地表半咸水分别混合淡水进行水产养殖<sup>[4-7]</sup>。天然盐碱水主要有氯化物型、硫酸盐型和碳酸盐型等类型。盐碱水中的主要离子  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  被认为在一定程度上影响水生动物的生长和存活<sup>[8-12]</sup>, 其中  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  等能与强酸发生中和作用的物质总量, 称为碳酸盐碱度。由于盐碱水的高盐碱度、高 pH 及复杂的离子组成, 常规养殖品种难以生存和形成养殖产量。因此, 盐碱水养殖品种选择不仅要考虑其经济价值、市场前景等方面, 还必需充分掌握其对盐碱水的适应性、生长规律和养成品质<sup>[13-14]</sup>。目前, 适用于盐碱水域养殖的品种主要包括尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)、凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)、脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) 等, 拟穴青蟹具有较强的盐碱耐受能力, 以黄河口为代表的北方滨海盐碱水域已有利用盐碱水池塘成功养殖拟穴青蟹的报道<sup>[15]</sup>, 但对盐碱水拟穴青蟹生长规律和营养品质评价的相关研究极少。

甲壳类动物蜕壳及生长过程中需要吸收大量的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等元素来满足生理需要,  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  等常量元素对甲壳类动物的生长发育起着至关重要的作用<sup>[5,16-17]</sup>, 其中,  $\text{Ca}^{2+}$  会直接参与甲壳动物的甲壳钙化, 并影响甲壳动物蜕壳、存活及生长。研究发现, 拟穴青蟹蜕壳前后体内的  $\text{Mg}^{2+}$  含量差异不显著, 而  $\text{Ca}^{2+}$  含量差异显著<sup>[18]</sup>。盐碱水与正常海水在离子组成及含量上的不同会直接导致养殖水产品营养成分上的差异。盐碱水养殖的尼罗罗非鱼肌肉的营养价值显著高于淡水养殖<sup>[6]</sup>, 相较于普通养殖水体, 滨海盐碱水养殖的杂交青虾 (*Macrobrachium nipponense*)“太湖 1 号”营养成分丰富且均衡, 满足 FAO/WHO 的标准<sup>[7]</sup>。因此, 对盐碱水和普通海水养殖拟穴青蟹可食用部分营养成分比较分析可以为盐碱水拟穴青蟹养殖、新品种培育和推广提供关键参考。

实验选择山东黄河三角洲典型滨海盐碱水域和浙江台州三门县拟穴青蟹海水主养区为实验地点, 设置台州三门县海水 (SM)、黄河三角洲盐碱水 (ZD) 和黄河三角洲海水 (DY) 3 个实验组进行养

殖对比实验。首先, 通过测定各实验组水质离子组成和不同日龄拟穴青蟹形态生长参数, 分析盐碱水拟穴青蟹生长特点, 比较海水和盐碱水养殖环境对拟穴青蟹生长发育的影响。然后, 采用 OPA FMOC 法和 GC/FID 法分别测定各实验组拟穴青蟹肌肉和肝胰腺中氨基酸和脂肪酸组成及含量, 并利用主成分分析 (PCA) 和聚类分析方法进行比较分析, 从营养品质和风味指标角度分析比较海水和盐碱水养殖拟穴青蟹品质差异, 为拟穴青蟹北方沿海和盐碱水域大规模养殖推广和新品种培育提供数据支持和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2020 年 5 月 1 日—9 月 30 日, 于山东省东营市垦利区黄河口镇正大桑田 (东营) 农业发展有限公司 (ZD 位于  $119^{\circ}17'04.66''\text{N}$ ,  $37^{\circ}73'82.29''\text{E}$ )、东营市东八路养殖户 (DY 位于  $118^{\circ}98'41.51''\text{N}$ ,  $37^{\circ}73'21.87''\text{E}$ ) 和浙江省台州市三门县 (SM 位于  $29^{\circ}06'16.81''\text{N}$ ,  $121^{\circ}23'44.45''\text{E}$ ) 的养殖塘中进行实验。

实验共设置 3 个组, 分别 SM 组 ( $n=4\ 000$ )、ZD 组 ( $n=4\ 000$ ) 和 DY 组 ( $n=4\ 000$ ), 每组设置 3 个平行, 每个池塘为  $0.67\ \text{hm}^2$ 。3 个实验组所放养幼蟹均从三门县购得, 规格统一, 平均体质量为  $(0.054\pm 0.008)\ \text{g}$ 。

SM 和 DY 组养殖用水为当地正常海水, ZD 组养殖用水主要为盐碱地地下渗水。养殖池塘水深为 1.5~1.8 m。养殖期间的池塘管理措施: 池塘中央均设有增氧机用于增氧, 养殖池塘定期更换 30% 的海水或盐碱水, 水温 18~31  $^{\circ}\text{C}$ , 溶解氧不低于 6.0 mg/L, pH 为 7.3~8.0, 氨氮低于 0.5 mg/L, 亚硝酸盐低于 0.05 mg/L。5 月 1 日—6 月 1 日, 不进行投喂; 6 月 2 日—9 月 17 日, 每天 8:00 和 16:00 向池塘内混合投喂通威集团有限公司的凡纳滨对虾配合饲料 (粗蛋白  $\geq 40\%$ , 粗脂肪  $\geq 5.0\%$ ) 和冰鲜饵料 (或蓝蛤), 配合饲料投喂量约占总投喂量的 25%, 总投喂量约占拟穴青蟹体质量的 2%。

在 2020 年 7 月 29 日和 9 月 17 日采用下网捕捞的方式进行采样, 每个处理组采集 10 只拟穴青蟹测量 90 和 140 日龄拟穴青蟹的生长指标, 并在各养殖塘中取 500 mL 水样, 随机取样 3 只拟穴青蟹, 用于实验分析。

## 1.2 实验方法

**水质分析** 实验测定养殖塘的水化指标主要包括盐度和 pH 以及碳酸盐总碱度 (SL 83-1994)、 $\text{Na}^+$ (GB/T 11904-1989)、 $\text{K}^+$ (HJ 776-2015)、 $\text{Ca}^{2+}$ (HJ 776-2015)、 $\text{Mg}^{2+}$ (HJ 776-2015)、 $\text{Cl}^-$ (GB/T 11896-1989) 和  $\text{SO}_4^{2-}$ (HJ 84-2016)。其中, 以离子质量浓度总和作为盐度; 分别用盐度计和 pH 计测量水体盐度和 pH; 采用火焰原子吸收分光光度法测定  $\text{C}(\text{K}^+)$ ; 采用电感耦合等离子体发射光谱法测定  $\text{C}(\text{Na}^+)$ 、 $\text{C}(\text{Ca}^{2+})$  和  $\text{C}(\text{Mg}^{2+})$ ; 按酸碱滴定法测定碳酸盐碱度、 $\text{C}(\text{CO}_3^{2-})$  及  $\text{C}(\text{HCO}_3^-)$ ; 采用硝酸银滴定法测定  $\text{C}(\text{Cl}^-)$ ; 采用离子色谱法  $\text{C}(\text{SO}_4^{2-})$ 。

**生长指标测定** 用游标卡尺 (0.02 mm) 测量每只拟穴青蟹的头胸甲长 (mm)、头胸甲高 (mm)、全甲宽 (mm) 和甲宽 (mm), 用电子天平称量 (0.01 g) 体质量。将拟穴青蟹置于冰上麻醉后, 取肌肉和肝胰腺存储于  $-80\text{ }^\circ\text{C}$  冰箱, 用于后续分析。

**肥满度** 按以下公式计算拟穴青蟹肥满度 ( $K$ )<sup>[19]</sup>:

$$K=W/L^3$$

式中,  $K$  为肥满度,  $W$  为体质量 (g),  $L$  为头胸甲长 (cm)。

**氨基酸和脂肪酸测定** 样品前处理。分别取拟穴青蟹肌肉和肝胰腺, 置于冷冻干燥机中冻干,  $4\text{ }^\circ\text{C}$  保存, 用于后续氨基酸和脂肪酸测定。

**氨基酸含量测定。** 采用 SYKAM 氨基酸专用分析仪 (OPA-FMOC 柱前衍生化)<sup>[20]</sup>。参考苏建坤等<sup>[21]</sup> 对游离氨基酸的测定方法, 分别称取 1 900 mg 拟穴青蟹肌肉和肝胰腺冻干样品, 依次加入 15、10 和 10 mL 混合溶剂 (氯仿/甲醇 = 2/1), 振荡, 提取 3 次, 过滤、合并滤液。再加入 2 mL 0.5 mol/L 氢氧化钠甲醇溶液,  $60\text{ }^\circ\text{C}$  水浴 30 min。冷却, 加 2 mL 25% 三氟化硼甲醇溶液,  $60\text{ }^\circ\text{C}$  水浴 20 min。冷却, 加 2 mL 正己烷和 2 mL 饱和氯化钠溶液, 振荡萃取, 静置分层。取上层 GC 分析。

**脂肪酸含量测定。** 采用气相色谱仪 (GC-FID) 测定肌肉和肝胰腺冻干样品中脂肪酸含量。分别称取 1 000 mg 肌肉和肝胰腺冻干样品于 10 mL 容量瓶中, 用 5% 的三氯乙酸溶液混匀并定容。超声 20 min 后, 静置 30 min 后再超声 25 min。放置 2 h 后, 用两层滤纸过滤。取滤液 1 mL 于 1.5 mL 的离心管中, 10 000 r/min 离心 10 min。取上清液上机测定游离氨基酸的含量。采集到的质谱图利

用计算机谱库进行检索, 鉴定样品中的挥发性成分, 并用峰面积归一化法分析各成分的相对含量<sup>[22]</sup>。

**OPA 条件。** ODS HYPERSIL 色谱柱 (250 mm × 4.6 mm × 0.5 μm); 流动相 A 为混合液 A: 称取 6.5 g 结晶乙酸钠于 1 000 mL 烧杯中, 加入 1 000 mL 水搅拌至所有结晶水溶解, 再加入 225 μL 三乙胺, 搅拌并滴加 5% 的醋酸, 将 pH 调到 7.20±0.05, 加入 5 mL 四氢呋喃, 混合后备用; 流动相 B 为混合液 B: 取 6.5 g 乙酸钠结晶于 500 mL 烧杯中, 加入 200 mL 水搅拌至所有结晶溶解; 滴加 2% 醋酸将 pH 调到 7.20±0.05; 将此溶液与 400 mL 乙腈和 400 mL 甲醇, 混合后备用; 流速为 1.0 mL/min; 紫外检测波长: 荧光发射波长 (Emission, Em) 338 nm, 荧光激发波长 (Excitation, Ex) 262 nm; 柱温为  $40\text{ }^\circ\text{C}$ 。

**GC 条件。** DB-WAX 30 m I.D.0.32 mm 色谱柱; 载气为  $\text{N}_2$ , 流速为 3 mL/min; 燃气为  $\text{H}_2$ , 流速为 40 mL/min; 进样温度为  $250\text{ }^\circ\text{C}$ ; 程序升温:  $100\text{ }^\circ\text{C}$ (3 min)- $180\text{ }^\circ\text{C}$ (1 min)/ $10\text{ }^\circ\text{C}$ - $240\text{ }^\circ\text{C}$ /3  $^\circ\text{C}$ (9 min); 分流比为 1 : 10; 进样量为 0.6 μL。

**主成分分析** 采用主成分分析 (Principal components analysis) 正交变换方法, 将 20 种氨基酸和 26 种脂肪酸转化为 3 个可以反应原始变量绝大部分信息的综合变量, 转换后的综合变量之间互不相关, 且能够反应不同实验组之间氨基酸和脂肪酸含量和组成的差异程度。

**数据处理** 采用阿廖金分类法<sup>[22]</sup> 对实验水体进行分类。采用 SPSS 26.0 软件进行数据统计分析, 独立样本  $t$ -检验 ( $t$ -Test) 进行组间比较, 描述性统计值使用平均值±标准误 (mean±SE) 表示,  $P < 0.05$  为具有显著性差异。采用 SIMCA-P<sup>+</sup> 软件 (V12.0, Umetrics, 瑞典) 对数据进行多变量数据分析, 使用氨基酸及脂肪酸平均值进行主成分分析 (PCA)。采用 R 4.1.0 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2020) 中的 ggplot2 进行热图可视化分析<sup>[23]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 水质分析

拟穴青蟹能适应的水体盐度范围为 5~33, pH 为 7.5~8.9<sup>[24]</sup>。ZD 组养殖用水由地下渗水与淡水混合, 盐度显著低于 SM 组 ( $P < 0.05$ ), 但仍属于正常养殖盐度范围; 而 DY 和 ZD 组碳酸盐碱度显著高于 SM 组 ( $P < 0.05$ ) (表 1)。离子质量浓度

表 1 不同实验组养殖用水水质指标

Tab. 1 Water quality of rearing water in different groups

实验组 groups	碱度/(mmol/L) alkalinity	盐度 salinity	pH	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	离子质量浓度/(mg/L) ion concentration						盐碱水类型 water type
						K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
DY	2.90 <sup>a</sup>	22.40 <sup>ab</sup>	8.40	1 : 3.57	24.67	287.00 <sup>a</sup>	4.18×10 <sup>3ab</sup>	215.00 <sup>ab</sup>	769.00	1.49×10 <sup>4</sup>	1.60×10 <sup>3</sup>	Cl <sub>III</sub> <sup>Na</sup>
ZD	2.37 <sup>a</sup>	10.30 <sup>b</sup>	8.83	1 : 2.13	133.67	31.42 <sup>b</sup>	2.48×10 <sup>3b</sup>	164.23 <sup>b</sup>	350.00	5.08×10 <sup>3</sup>	472.67	Cl <sub>III</sub> <sup>Na</sup>
SM	0.90 <sup>b</sup>	25.00 <sup>a</sup>	8.10	1 : 3.33	27.23	282.00 <sup>a</sup>	4.53×10 <sup>3a</sup>	242.00 <sup>a</sup>	801.00	1.40×10 <sup>4</sup>	1.60×10 <sup>3</sup>	Cl <sub>III</sub> <sup>Na</sup>

注: 同一列不同上标字母表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ )

Notes: Different superscript letters within each column represent significant differences between groups ( $P < 0.05$ )

中, ZD 组的 K<sup>+</sup>质量浓度显著低于 DY 和 SM 组 ( $P < 0.05$ ), ZD 组 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>质量浓度低于 DY 和 SM 组, 与 SM 组差异显著 ( $P < 0.05$ ); 而 ZD 组的 Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子质量浓度低于 DY 和 SM 组 ( $P > 0.05$ ), 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 1)。

根据阿廖金分类法<sup>[25]</sup>, DY、ZD 组水体碳酸盐碱度显著高于 SM 组 ( $P < 0.05$ ), 而 DY、SM 组水体盐度显著高于 ZD 组 ( $P < 0.05$ ), 各水体中含量最多的阴离子均为 Cl<sup>-</sup>且主要阳离子均为 Na<sup>+</sup>, 同时 Cl<sup>-</sup>含量也均大于 Na<sup>+</sup>, 故判断 DY、ZD 及 SM 组养殖水体类型均为 Cl<sub>III</sub><sup>Na</sup> 型。3 个水体中, ZD 组的离子组成如 K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量均低于 DY、SM 组。本实验中 ZD 组离子比例结构比值<sup>[26]</sup>Mg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup>为 3 个组中最低、离子比例结构比值 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>为 3 个组中最高 (表 1)。

## 2.2 生长指标

90 日龄时, DY 组拟穴青蟹体质量 (72.65±

2.52) g, ZD 组拟穴青蟹体质量 (62.61±3.02) g, SM 组拟穴青蟹体质量 (60.39±1.59) g, 其中, ZD 组拟穴青蟹体质量大于 SM 组但不显著 ( $P > 0.05$ ), DY 组拟穴青蟹体质量显著大于 SM 组 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。ZD 组拟穴青蟹头胸甲高 (40.81±4.38) mm, DY 组拟穴青蟹头胸甲高为 (28.27±0.53) mm, SM 组拟穴青蟹头胸甲高为 (27.98±0.36) mm, 其中, DY 组头胸甲高大于 SM 组但不显著 ( $P > 0.05$ ), ZD 组头胸甲高显著大于 SM 组 ( $P < 0.05$ )。3 个实验组拟穴青蟹的头胸甲长、全甲宽及甲宽数据无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 其中, ZD 组拟穴青蟹全甲宽和甲宽数值高于其余 2 组 (表 2)。

140 日龄时, DY 组拟穴青蟹头胸甲高 (40.61±0.3) mm, ZD 组拟穴青蟹头胸甲高 (39.37±1.51) mm, SM 组拟穴青蟹头胸甲高 (38.08±0.58) mm, 其中, ZD 组拟穴青蟹头胸甲高大于 SM 组, 但不显著 ( $P > 0.05$ ), DY 组拟穴青蟹头胸甲高显著大于 SM 组 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。各实验组拟穴青蟹的体质量、

表 2 不同实验组拟穴青蟹 90 日龄生长指标 ( $n=10$ )

Tab. 2 The 90th day growth data of mud crabs in different groups

组别 groups	体质量/g body weight	头胸甲长/mm carapace length	头胸甲高/mm carapace height	全甲宽/mm full carapace width	甲宽/mm carapace width
DY	72.65±2.52 <sup>a</sup>	48.84±0.83	28.27±0.53 <sup>b</sup>	71.20±0.95	43.53±0.54
ZD	62.61±3.02 <sup>ab</sup>	44.62±1.91	40.81±4.38 <sup>a</sup>	72.18±1.71	44.23±1.41
SM	60.39±1.59 <sup>b</sup>	48.05±0.38	27.98±0.36 <sup>b</sup>	70.69±0.65	43.19±0.45

注: 同一列不同上标字母表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 下同

Notes: Different superscript letters within each column represent significant differences between groups ( $P < 0.05$ ); the same below

表 3 不同实验组拟穴青蟹 140 日龄生长指标 ( $n=10$ )

Tab. 3 The 140th day growth data of mud crabs in different groups

组别 groups	体质量/g body weight	头胸甲长/mm carapace length	头胸甲高/mm carapace height	全甲宽/mm full carapace width	甲宽/mm carapace width
DY	183.91±5.63	65.71±0.51	40.61±0.30 <sup>a</sup>	95.16±0.68	56.00±0.49
ZD	179.43±16.80	69.55±2.08	39.37±1.51 <sup>ab</sup>	96.43±2.73	57.53±1.70
SM	157.96±5.89	68.48±0.84	38.08±0.58 <sup>b</sup>	94.62±1.53	59.14±0.83

头胸甲长、全甲宽及甲宽均无显著差异 ( $P>0.05$ ), 但 3 个组中 ZD 组拟穴青蟹的头胸甲长及全甲宽均最高, SM 组拟穴青蟹甲宽数值最高。90 日龄时, ZD 和 DY 组拟穴青蟹肥满度显著高于 SM 组 ( $P<0.05$ ), 其中 ZD 组拟穴青蟹肥满度数值最高; 而 140 日龄时, 3 组拟穴青蟹肥满度无显著差异 ( $P>0.05$ ), 其中, ZD 组拟穴青蟹肥满度低于 DY 和 SM 组 (表 4)。

### 2.3 盐碱水和海水养殖拟穴青蟹游离氨基酸的组成与含量分析

3 个实验组拟穴青蟹氨基酸含量较为丰富, 含有 20 种常见的游离氨基酸。肝胰腺总游离氨基

表 4 不同时间各组拟穴青蟹肥满度 ( $n=10$ )

Tab. 4 The plumpness of mud crabs in different groups

时间/d time	DY	ZD	SM
90日龄	0.63±0.02 <sup>b</sup>	0.89±0.17 <sup>b</sup>	0.54±0.01 <sup>a</sup>
140日龄	0.53±0.05	0.49±0.01	0.51±0.01

酸 (TAA) 的平均含量为 5.12 g/100 g, 肌肉 TAA 的平均含量为 11.38 g/100 g。肝胰腺中最多的 6 种氨基酸为谷氨酸、甘氨酸、精氨酸、丙氨酸、亮氨酸以及赖氨酸, 肌肉中最多的 6 种氨基酸为谷氨酸、谷氨酰胺、甘氨酸、精氨酸、丙氨酸以及脯氨酸 (表 5)。3 个实验组拟穴青蟹肌肉氨基酸中, ZD 组的拟穴青蟹肌肉精氨酸和谷氨酰胺含量最高,

表 5 不同实验组拟穴青蟹肝胰腺和肌肉组织中的氨基酸组成与含量 ( $n=3$ )

Tab. 5 Amino acids composition and content in hepatopancreas and muscle tissues of *S. paramamosain* in different groups

氨基酸 amino acids	肝胰腺中氨基酸含量/(g/100g) amino acid content in hepatopancreas			肌肉中氨基酸含量/(g/100g) amino acid content in muscle		
	DY	ZD	SM	DY	ZD	SM
缬氨酸 Val <sup>#</sup>	0.17±0.05	0.29±0.04	0.13±0.03	0.13±0.01	0.12±0.01	0.08±0.01
异亮氨酸 Ile <sup>#</sup>	0.13±0.04	0.21±0.04	0.11±0.02	0.06±0.05	0.07±0.01	0.05±0.01
亮氨酸 Leu <sup>#</sup>	0.30±0.07	0.48±0.05	0.29±0.07	0.14±0.01	0.13±0.02	0.11±0.02
蛋氨酸 Met <sup>#</sup>	0.09±0.02	0.13±0.03	0.06±0.01	0.18±0.05	0.07±0.01	0.07±0.02
苯丙氨酸 Phe <sup>#</sup>	0.17±0.05	0.28±0.03	0.18±0.04	0.07±0.01	0.08±0.02	0.06±0.01
色氨酸 Trp <sup>#</sup>	0.05±0.01	0.09±0.02	0.03±0.01	0.02±0.00	0.03±0.01	0.01±0.00
赖氨酸 Lys <sup>#</sup>	0.48±0.06	0.57±0.02	0.36±0.09	0.28±0.02	0.31±0.05	0.16±0.05
苏氨酸 Thr <sup>#</sup>	0.13±0.05	0.22±0.02	0.11±0.03	0.11±0.01	0.08±0.01	0.06±0.02
天冬氨酸 Asp <sup>*</sup>	0.06±0.01	0.10±0.01	0.06±0.02	0.10±0.00	0.11±0.01	0.19±0.05
丙氨酸 Ala <sup>*</sup>	0.37±0.06	0.46±0.04	0.34±0.03	1.09±0.17	1.01±0.08	1.133±0.244
谷氨酸 Glu <sup>*</sup>	0.42±0.08	0.58±0.07	0.51±0.10	0.27±0.02	0.40±0.05	0.45±0.02
脯氨酸 Pro <sup>*</sup>	0.33±0.07	0.32±0.04	0.23±0.03	1.59±0.08	1.51±0.20	0.65±0.17
丝氨酸 Ser <sup>*</sup>	0.11±0.03	0.17±0.01	0.08±0.02	0.08±0.01	0.04±0.00	0.05±0.01
甘氨酸 Gly <sup>*</sup>	0.56±0.24	0.98±0.06	0.48±0.12	3.56±0.24	3.56±0.25	3.47±0.24
酪氨酸 Tyr	0.21±0.06	0.42±0.08	0.24±0.04	0.13±0.02	0.15±0.03	0.10±0.01
组氨酸 His	0.08±0.02	0.13±0.00	0.08±0.02	0.13±0.00	0.08±0.02	0.08±0.01
精氨酸 Arg	0.52±0.07	0.80±0.07	0.42±0.03	2.78±0.09 <sup>ab</sup>	3.36±0.11 <sup>a</sup>	2.45±0.13 <sup>b</sup>
谷氨酰胺 Gln	0.21±0.05	0.51±0.07	0.18±0.06	1.12±0.14 <sup>ab</sup>	1.20±0.09 <sup>a</sup>	0.49±0.04 <sup>b</sup>
天冬酰胺 Asn	0.10±0.03	0.10±0.05	0.04±0.01	0.15±0.03 <sup>a</sup>	0.10±0.03 <sup>ab</sup>	0.02±0.01 <sup>b</sup>
半胱氨酸 Cys	0.06±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01	0.03±0.01	0.06±0.02
TAA	4.56±0.97	6.87±0.40	3.94±0.64	12.00±0.49	12.42±0.11	9.73±0.34
TFAA	1.52±0.30	2.27±0.24	1.26±0.30	0.99±0.08	0.89±0.12	0.59±0.08
TEAA	1.86±0.47	2.61±0.21	1.70±0.30	6.68±0.37	6.62±0.20	5.93±0.23
TFAA/TAA	33.41±0.02	33.07±0.02	32.09±0.03	8.24±0.01	7.16±0.01	6.07±0.01

注: <sup>#</sup> 代表必需氨基酸, <sup>\*</sup> 代表风味氨基酸, 数值以 mean±SE 表示; TAA 表示总游离氨基酸, TFAA 表示总风味氨基酸, TEAA 表示总必需氨基酸, TFAA/TAA 表示总风味氨基酸与总游离氨基酸的比值, TEAA/TAA 表示总必需氨基酸与总游离氨基酸的比值  
Notes: <sup>#</sup> stands for essential amino acids, <sup>\*</sup> stands for flavor amino acids, the value is expressed by  $\bar{x} \pm SE$ ; TAA represents total free amino acids, TFAA represents total flavor amino acids, TEAA represents total essential amino acids, TFAA/TAA represents the ratio of total flavor amino acids to total free amino acids, and TEAA/TAA represents the ratio of total essential amino acids to total free amino acids

分别为  $(3.36 \pm 0.11)$  g/100 g 和  $(1.20 \pm 0.09)$  g/100 g, 且 ZD 组显著高于 SM 组 ( $P < 0.05$ )。各组拟穴青蟹肝胰腺 TAA 含量在 3.94~6.87 g/100 g, 不同组间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但 DY 组及 ZD 组拟穴青蟹肝胰腺的 TAA 含量均大于 SM 组, 且 ZD 组拟穴青蟹总氨基酸含量最高, 为  $(6.87 \pm 0.40)$  g/100 g; 各实验组拟穴青蟹肌肉 TAA 含量在 9.73~12.42 g/100 g ( $P > 0.05$ ), DY 及 ZD 组 TAA 含量均高于 SM 组, ZD 组 TAA 含量最高, 为  $(12.42 \pm 0.11)$  g/100 g (表 5)。

3 个实验组拟穴青蟹肝胰腺组织含有各种氨基酸的含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但 ZD 组的缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、赖氨酸、苏氨酸等必需氨基酸以及天冬氨酸、丙氨酸、谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸等风味氨基酸含量均为最高。3 个实验组拟穴青蟹的肌肉组织中, ZD 组的精氨酸含量显著高于 SM 组 ( $P < 0.05$ ), 其余氨基酸含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

3 个实验组中, 拟穴青蟹肝胰腺的风味氨基酸 (TFAA) 含量在总游离氨基酸中占比 (TFAA/TAA) 为 32.09%~33.41%, ZD 组拟穴青蟹肝胰腺的风味氨基酸含量最高, 为  $(2.61 \pm 0.21)$  g/100 g, 但各组之间拟穴青蟹肝胰腺 TFAA 含量无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 1-a); 肌肉的风味氨基酸含量在总游离氨基酸中占比 (TFAA/TAA) 为 6.07%~8.24%, DY 组肌肉的 TFAA 含量最高, 为  $(6.68 \pm 0.37)$  g/100 g,

但各组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 1-b)。3 个实验组拟穴青蟹肝胰腺的风味氨基酸含量高于肌肉的风味氨基酸含量, 必需氨基酸 (TEAA) 含量中, 肌肉组织高于肝胰腺组织。3 个实验组拟穴青蟹肝胰腺的必需氨基酸占总游离氨基酸比例 (TEAA/TAA) 为 38.00%~43.18%, SM 组肝胰腺的必需氨基酸含量占比最高, 但 ZD 组肝胰腺的必需氨基酸总量最高, 为  $(2.27 \pm 0.24)$  g/100 g (图 1-a); 肌肉的必需氨基酸占总游离氨基酸比例 (TEAA/TAA) 为 53.30%~60.99%, SM 组肌肉的必需氨基酸含量占比最高, 与 DY 组无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但与 ZD 组存在显著差异 ( $P < 0.05$ ) (图 1-b)。

## 2.4 盐碱水和海水养殖拟穴青蟹脂肪酸的组成分析

3 个实验组拟穴青蟹肝胰腺及肌肉中均检测出 26 种脂肪酸, 主要由 8 种饱和脂肪酸 (SFA)、6 种单不饱和脂肪酸 (MUFA) 及 12 种多不饱和脂肪酸 (PUFA) 组成, 拟穴青蟹肝胰腺组织中 3 种脂肪酸占总脂肪酸含量的比例分别为 31.20%~40.32%、25.38%~34.26%、32.88%~43.42%, 拟穴青蟹肌肉组织中 3 种脂肪酸占总脂肪酸含量的比例分别为 26.21%~29.92%、18.50%~24.48% 和 49.31%~53.43%。其中, 肝胰腺组织中含量较高的脂肪酸包括 C16:0(棕榈油酸) 和 C18:1(油酸); 肌肉组织中含量较高的脂肪酸包括 C16:0(棕榈

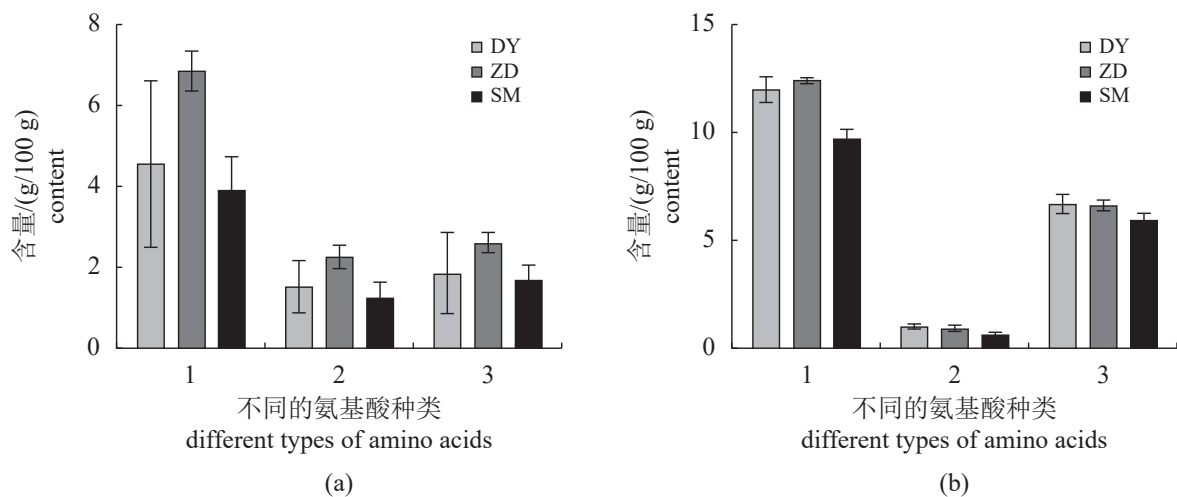


图 1 不同实验组拟穴青蟹肝胰腺和肌肉的氨基酸组成

(a) 不同组拟穴青蟹肝胰腺的氨基酸含量, (b) 不同组拟穴青蟹肌肉的氨基酸含量; 1. TAA, 2. TFAA, 3. TEAA; 下同

Fig. 1 Amino acids composition of hepatopancreas and muscle in different groups

(a) the amino acid content of the hepatopancreas of *S. paramamosain* in different groups, (b) the amino acid content of the muscle of *S. paramamosain* in different groups; 1. TAA, 2. TFAA, 3. TEAA; the same below

表 6 不同实验组拟穴青蟹肝胰腺及肌肉脂肪酸组成与含量 ( $n=3$ )Tab. 6 Fatty acids composition and content of hepatopancreas and muscle of *S. paramamosain* in different groups

脂肪酸 fatty acid	肝胰腺中脂肪酸含量/% fatty acid content in hepatopancreas			肌肉中脂肪酸含量/% fatty acid content in muscle		
	DY	ZD	SM	DY	ZD	SM
C12:0	0.07±0.00	0.053±0.012	0.06±0.02	0.05±0.01	0.06±0.02	0.04±0.01
C14:0	3.25±0.35	1.10±0.20	2.90±0.05	0.96±0.08	1.16±0.25	1.19±0.11
C14:1	0.33±0.05	0.21±0.02	0.30±0.09	0.08±0.01	0.36±0.05	0.27±0.05
C15:0	0.78±0.06 <sup>ab</sup>	0.57±0.09 <sup>b</sup>	3.07±1.26 <sup>a</sup>	0.41±0.05	0.34±0.03	1.28±0.27
C16:0	20.67±1.08	19.29±1.91	24.55±0.59	15.36±0.47	15.42±1.25	16.61±0.89
C16:1	8.49±0.62	2.89±0.67	7.00±1.44	4.22±0.36	1.58±0.11	4.64±0.74
C17:0	0.90±0.11	1.13±0.07	2.08±0.51	0.93±0.03	1.06±0.07	1.92±0.34
C17:1	0.97±0.05	0.60±0.12	1.15±0.27	0.75±0.04	0.46±0.04	1.32±0.33
C18:0	6.46±0.70	7.90±0.47	6.68±0.56	8.35±0.22	9.72±0.10	8.50±0.32
C18:1	21.71±0.71	19.92±3.40	11.70±2.02	17.9±1.23 <sup>a</sup>	15.32±0.85 <sup>ab</sup>	11.21±0.80 <sup>b</sup>
C18:2	1.08±0.11 <sup>b</sup>	13.09±0.65 <sup>a</sup>	3.41±1.08 <sup>ab</sup>	1.05±0.13 <sup>b</sup>	11.70±0.24 <sup>a</sup>	2.64±0.29 <sup>ab</sup>
C18:3n6	0.24±0.02	0.32±0.03	0.40±0.06	0.12±0.00	0.19±0.02	0.25±0.04
C18:3n3	0.65±0.05	1.15±0.24	1.93±0.64	0.44±0.02 <sup>b</sup>	0.81±0.09 <sup>ab</sup>	1.55±0.33 <sup>a</sup>
C18:4	0.39±0.05	0.28±0.07	0.50±0.15	0.16±0.00	0.18±0.02	0.25±0.06
C20:0	0.35±0.01	0.52±0.04	0.56±0.03	0.11±0.01	0.09±0.01	0.17±0.02
C20:1	2.49±0.08 <sup>ab</sup>	1.34±0.27 <sup>b</sup>	6.12±1.19 <sup>a</sup>	1.27±0.10 <sup>ab</sup>	0.68±0.06 <sup>b</sup>	2.06±0.12 <sup>a</sup>
C20:2	0.69±0.07	1.28±0.02	1.05±0.13	0.71±0.02	1.13±0.08	0.98±0.09
C20:3	0.12±0.01 <sup>b</sup>	0.16±0.02 <sup>ab</sup>	0.48±0.12 <sup>a</sup>	0.08±0.02 <sup>b</sup>	0.14±0.00 <sup>ab</sup>	0.24±0.04 <sup>a</sup>
C20:4	3.84±0.95	7.80±3.20	5.56±0.24	5.78±0.50	5.60±0.62	7.74±0.72
C20:5	7.80±0.70	8.50±1.48	8.16±1.19	17.90±1.51	16.72±1.15	20.52±1.29
C22:0	0.26±0.01	0.65±0.07	0.41±0.06	0.05±0.01	0.22±0.01	0.22±0.08
C22:1	0.27±0.06	0.42±0.11	0.54±0.07	0.25±0.03	0.09±0.01	0.24±0.05
C22:3	1.18±0.10	0.92±0.29	1.87±0.25	0.66±0.05	0.32±0.04	0.90±0.13
C22:4	0.98±0.10	0.63±0.14	1.24±0.07	0.75±0.04 <sup>ab</sup>	0.62±0.04 <sup>b</sup>	1.12±0.16 <sup>a</sup>
C22:5	1.78±0.10	1.44±0.24	1.63±0.31	1.41±0.02	1.63±0.23	2.22±0.54
C22:6	14.27±0.60	7.85±0.34	6.65±2.19	20.25±0.14	14.39±0.68	11.93±1.68
TSFA	32.73±0.63	31.20±1.53	40.32±2.22	26.21±1.88	28.08±5.02	29.92±1.07
TMUFA	34.26±0.89	25.38±0.97	26.80±4.02	24.48±1.71	18.50±0.33	19.74±1.70
TPUFA	33.01±1.46	43.42±0.69	32.88±4.58	49.31±2.49	53.43±4.92	50.34±1.28
TUFA	67.27±0.63	68.80±1.53	59.68±2.22	73.79±1.88	71.93±5.02	70.08±1.07

注: TSFA. 总饱和脂肪酸, TMUFA. 总单不饱和脂肪酸, TPUFA. 总多不饱和脂肪酸, TUFA. 总不饱和脂肪酸

Notes: TSFA. total saturated fatty acids, TMUFA. total monounsaturated fatty acids, TPUFA. total polyunsaturated fatty acids, TUFA total unsaturated fatty acids

油酸)、C18:1(油酸)、C20:5(EPA)和C22:6(DHA)(表6)。

各个实验组拟穴青蟹多不饱和脂肪酸种类较多、含量丰富,尤其EPA和DHA含量较高,其在肝胰腺组织中占总脂肪酸含量的比例分别为7.80%~8.50%、6.65%~14.27%(图2-a),在肌肉组织中占总脂肪酸含量的比例分别为16.72%~20.52%、11.93%~20.25%(图2-b)。肝胰腺组织中,SM组拟穴青蟹的C20:3含量显著高于DY组、C15:0和C20:1含量显著高于ZD组,ZD组拟穴青蟹的

C18:2含量显著高于DY组,并且ZD组拟穴青蟹的EPA含量最高,为8.50%±1.48%,DY组拟穴青蟹的DHA含量最高,为14.27%±0.60%(图2-a);肌肉组织中,DY组拟穴青蟹的C18:1含量显著高于SM组,ZD组拟穴青蟹的C18:2含量显著高于DY组,SM组拟穴青蟹的C18:3n3和C20:3含量显著高于DY组,SM组拟穴青蟹的C20:1和C22:4含量显著高于ZD组,SM组拟穴青蟹的EPA含量最高,为20.52%±1.29%,DY组拟穴青蟹的DHA含量最高,为20.25%±0.14%(图2-b)。

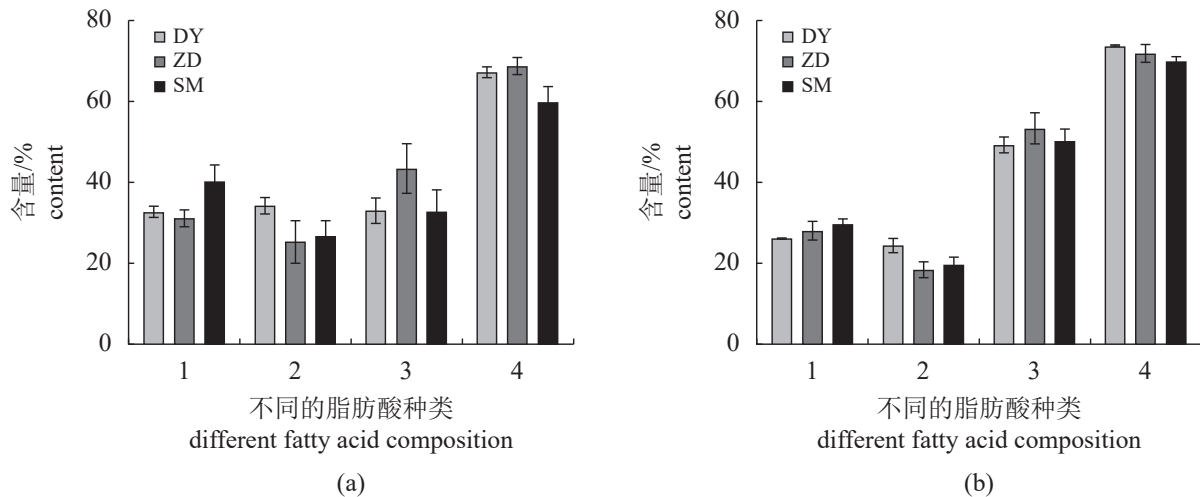


图2 不同实验组拟穴青蟹肝胰腺和肌肉的脂肪酸组成

(a) 不同组拟穴青蟹肝胰腺的脂肪酸组成, (b) 不同组拟穴青蟹肌肉的脂肪酸组成; 1. TSFA, 2. TMUFA, 3. TPUFA, 4. TUFA

Fig. 2 Fatty acids composition of hepatopancreas and muscle in different groups

(a) the fatty acid composition of the hepatopancreas of *S. paramamosain* in different groups, (b) the fatty acid composition of the muscle of *S. paramamosain* in different groups; 1. TSFA, 2. TMUFA, 3. TPUFA, 4. TUFA

## 2.5 基于氨基酸和脂肪酸含量的盐碱水和海水养殖拟穴青蟹主成分分析

所有实验组的3个独立重复样本均处于置信区间内。从样本的聚集程度来看,3个组拟穴青蟹样本分布区域较明显,其中肌肉氨基酸PCA得分图与肝胰腺氨基酸PCA得分图显示一致,主要表现为肝胰腺PCA得分图中3个群体区分不明显,肌肉氨基酸PCA得分图中,ZD组与SM组分别位于PC1的左右两侧,两个群体区分明显,ZD组与SM组拟穴青蟹在肌肉氨基酸组成含量上趋异程度较大;肝胰腺和肌肉脂肪酸PCA得分图中ZD组与SM组分别位于PC2的上下两侧,ZD组与SM组拟穴青蟹在可食用部分的脂肪酸组成含量上趋异程度较大,肝胰腺脂肪酸PCA得分图中DY组与ZD组分别位于PC2的上下两侧,DY与ZD组拟穴青蟹在肝胰腺的脂肪酸组成含量上趋异程度较大,肌肉脂肪酸PCA得分图中DY组与ZD组分别位于PC1得分图的左右两侧,DY与ZD组拟穴青蟹在肌肉的脂肪酸组成含量上趋异程度较大(图3)。

## 2.6 基于主要的必需氨基酸和多不饱和脂肪酸含量的盐碱水和海水养殖拟穴青蟹聚类分析

不同组拟穴青蟹的必需氨基酸和多不饱和脂肪酸含量聚类热图显示,拟穴青蟹肝胰腺组织中含量最高的必需氨基酸是赖氨酸,其次是异亮氨酸(图4-a);拟穴青蟹肌肉组织中含量最高的必需

氨基酸是赖氨酸,ZD和DY组拟穴青蟹肝胰腺中的赖氨酸和高氨酸含量高于SM组,ZD和DY组拟穴青蟹肌肉中的赖氨酸含量高于SM组(图4-b)。拟穴青蟹肝胰腺组织中含量最高的多不饱和脂肪酸是C22:6其次是C20:5(图4-c);肌肉组织中含量最高的多不饱和脂肪酸是C20:5,其次是C22:6,而DY组肝胰腺中DHA含量高于其他2组,SM组肌肉中的EPA含量高于其他2组(图4-d)。

## 3 讨论

### 3.1 黄河三角洲盐碱水、海水和三门海水离子结构组成特点及其对拟穴青蟹生长的影响

盐碱地渗水既不同于自然海水,也不同于地下水,是一类水质较为复杂、生态环境非常脆弱的水体,且不同地区盐碱水中的离子差异也非常明显。黄河三角洲是我国土壤盐渍化现象较为严重的地区之一,三角洲地区地势低洼,地下水水位浅且易沉积重碳酸盐和碳酸盐物质,同时也是硫酸盐和氯化物的累积带<sup>[27]</sup>。黄河中游地区是黄河沉积物的来源区,有超过90%的黄河沉积物来源于此<sup>[28]</sup>,包括Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等,这也是导致黄河三角洲水体碱度偏高的原因。

盐碱地渗水的化学特性,主要表现在碱度较高,缓冲性能差,与海水相比水中离子比例失调,有些离子缺乏或者严重缺乏,是影响养殖生物生长的重要因素<sup>[6,29]</sup>。黄河三角洲正常海水(DY组)



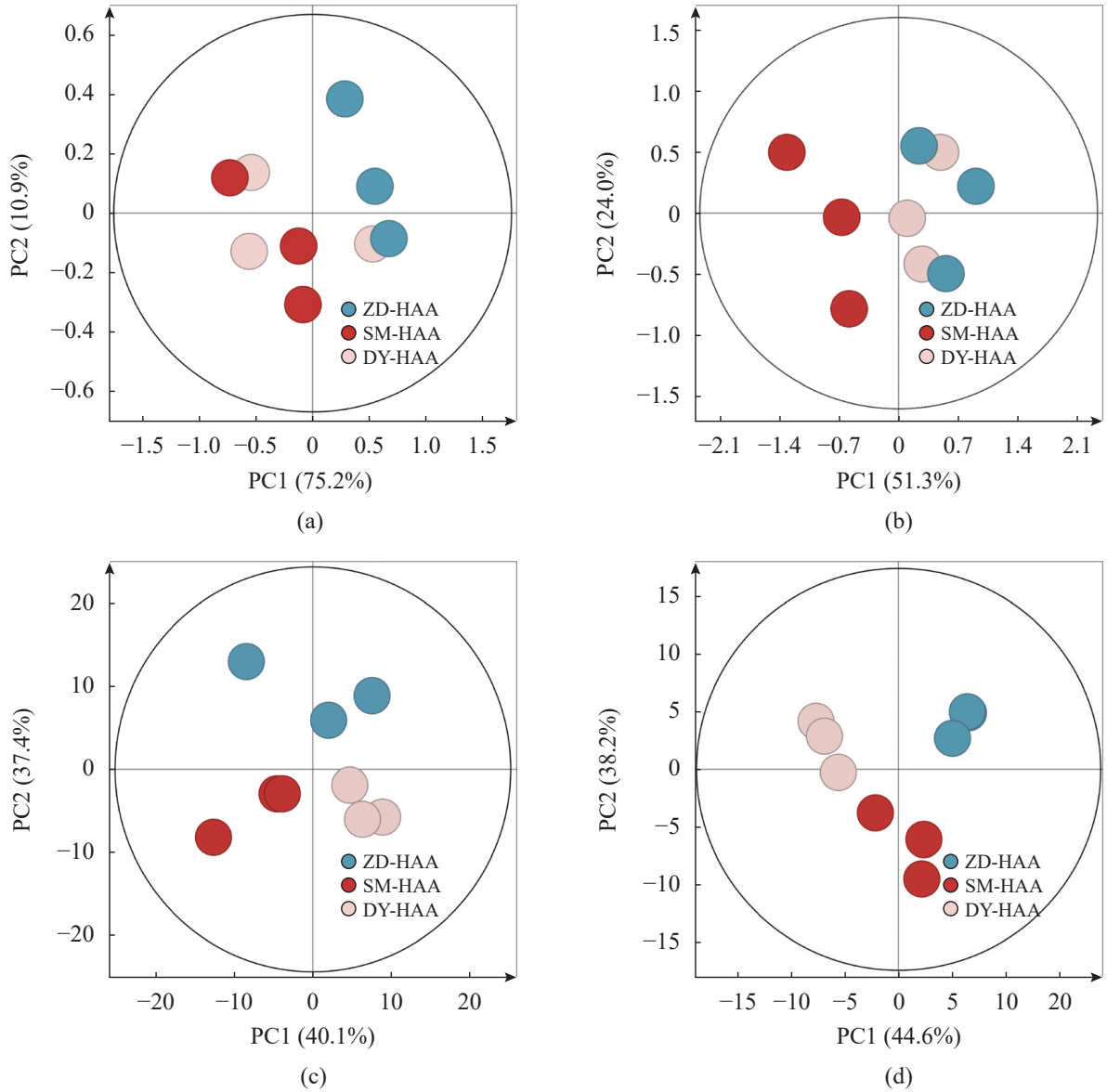


图 3 不同实验组拟穴青蟹肝胰腺和肌肉的氨基酸及脂肪酸 PCA 得分图

(a) 不同实验组青蟹肝胰腺氨基酸 PCA 得分图, (b) 不同实验组青蟹肌肉氨基酸 PCA 得分图, (c) 不同实验组青蟹肝胰腺脂肪酸 PCA 得分图, (d) 不同实验组青蟹肌肉脂肪酸 PCA 得分图; DY-HAA、ZD-HAA、SM-HAA 分别为 DY、ZD 及 SM 组肝胰腺氨基酸得分; DY-MAA、ZD-MAA、SM-MAA 分别为 DY、ZD 及 SM 组肌肉氨基酸得分; DY-HFA、ZD-HFA、SM-HFA 分别为 DY、ZD 及 SM 组肝胰腺脂肪酸得分; DY-MFA、ZD-MFA、SM-MFA 为 DY、ZD 及 SM 组肌肉脂肪酸得分

Fig. 3 PCA scores of amino and fatty acids in the muscle and hepatopancreas of different groups

(a) the amino acid PCA score of the hepatopancreas of *S. paramamosain* in different groups, (b) the amino acid PCA score of *S. paramamosain* muscle of the different groups, (c) the fatty acid PCA score of the hepatopancreas of *S. paramamosain* in different groups, (d) the fatty acid PCA score of the muscle of *S. paramamosain* in different groups; DY-HAA, ZD-HAA, SM-HAA indicate the hepatopancreas amino acids scores of DY, ZD and SM groups, respectively; DY-MAA, ZD-MAA, SM-MAA indicate muscle amino acids scores of DY, ZD and SM groups, respectively; DY-HFA, ZD-HFA, SM-HFA mean the hepatopancreas fatty acids scores of DY, ZD and SM groups, respectively; DY-MFA, ZD-MFA, SM-MFA mean muscle fatty acids scores of DY, ZD and SM groups, respectively

中各离子质量浓度与三门正常海水池塘 (SM 组) 均无显著差异, 黄河三角洲盐碱地池塘 (ZD 组) 的 K<sup>+</sup>质量浓度显著低于 DY 组和 SM 组。ZD 组 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>的离子质量浓度显著低于 SM 组, 与 DY 组无显著差异。研究表明, 甲壳类动物因为

其特殊的生理构造, 生长过程中需要吸收大量的 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等来满足生长需要, 如养殖水体中 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等缺乏, 可能会影响养殖甲壳类动物的产量<sup>[6,29-30]</sup>。本研究中, ZD 组养殖拟穴青蟹肥满度与 SM 组养殖拟穴青蟹差异不显著, 生长速度也

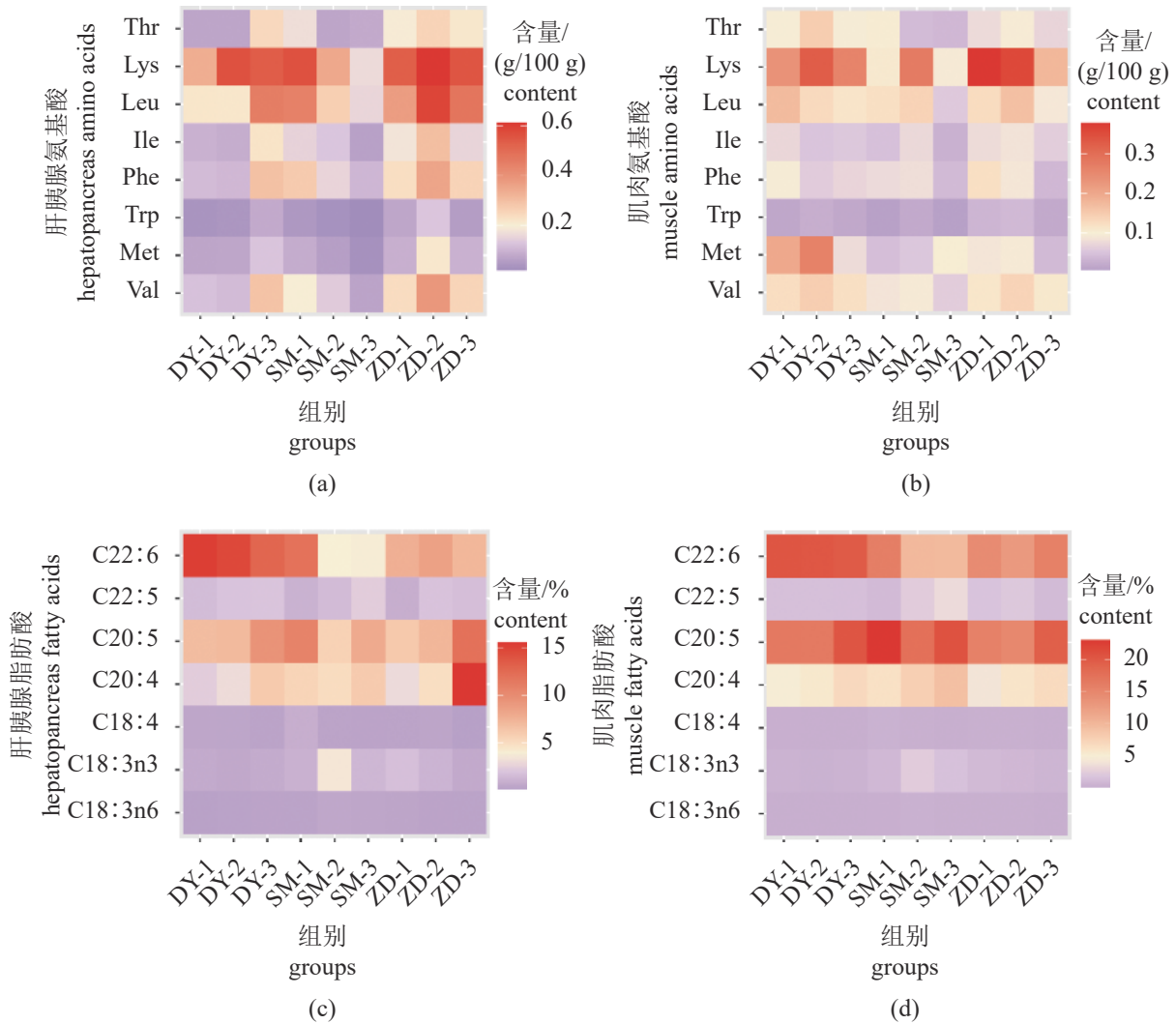


图 4 不同实验组拟穴青蟹肌肉和肝胰腺的必需氨基酸和脂肪酸的聚类热图

(a) 不同组拟穴青蟹肝胰腺的氨基酸热图, (b) 不同组拟穴青蟹肌肉的氨基酸热图, (c) 不同组拟穴青蟹肝胰腺的脂肪酸热图, (d) 不同组拟穴青蟹肌肉的脂肪酸热图; DY-1、DY-2、DY-3 表示 DY 组的 3 个平行样品; SM-1、SM-2、SM-3 表示 SM 组的 3 个平行样品; ZD-1、ZD-2、ZD-3 表示 ZD 组的 3 个平行样品

Fig. 4 Heat map of essential amino acids and fatty acids in the muscle and hepatopancreas in different groups

(a) the amino acid heat map of the hepatopancreas of *S. paramamosain* in different groups, (b) the amino acid heat map of the muscle of *S. paramamosain* in different groups, (c) the fatty acid heat map of the hepatopancreas of *S. paramamosain* in different groups, (d) the fatty acid heat map of *S. paramamosain* muscle in different groups; DY-1, DY-2, DY-3 represent three samples of DY group; SM-1, SM-2, SM-3 represent three samples of SM group; ZD-1, ZD-2, ZD-3 represents three samples of the ZD group

无显著性差异, 说明黄河口养殖水体中较低的  $Ca^{2+}$  含量对拟穴青蟹生长影响不大。我们发现黄河口养殖拟穴青蟹与三门拟穴青蟹相比甲壳更薄、硬度更小, 更方便破壳食用, 可能与盐碱水较低的  $Ca^{2+}$  含量影响拟穴青蟹甲壳中碳酸钙等硬度成分的形成有关, 但尚无数据支持, 需要后续进一步研究。

甲壳动物生长不仅受  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等离子含量影响, 还与其离子比例紧密相关。DY 组及 SM 组钙镁离子比例分别为 1 : 3.6 和 1 : 3.3, ZD 组的

钙镁离子比为 1 : 2.1。研究表明, 凡纳滨对虾养殖用水的钙镁离子比例控制在 1 : 2.5 至 1 : 5 时, 其存活率和生长率等显著高于对照组<sup>[9,31]</sup>。另外, ZD 组  $Na^+/K^+$  高于 DY 组和 SM 组, ZD 组养殖拟穴青蟹饱满度低于其他 2 组, 与凡纳滨对虾养殖中低钠钾比的实验组体质量、特定生长率和增重率<sup>[8]</sup> 都低于对照组的研究结果一致, 据此推断, 水体中阳离子含量及离子比例结构  $Na^+/K^+$  的比值可能导致不同组拟穴青蟹生长发育产生差异。

因此, 在黄河口盐碱水拟穴青蟹养殖过程中

适量补充  $Mg^{2+}$  和  $K^+$ , 将有助于增加拟穴青蟹饱满度, 进一步促进拟穴青蟹的生长与发育, 保证养殖产量。

### 3.2 盐碱水和海水养殖拟穴青蟹肌肉、肝胰腺中氨基酸和脂肪酸组成与含量比较分析

蟹类的营养价值主要由氨基酸、脂肪酸等营养物质决定<sup>[32-34]</sup>。DY、ZD、SM 3 组拟穴青蟹的肌肉、肝胰腺中均测得 20 种氨基酸和 26 种脂肪酸。拟穴青蟹游离氨基酸含量较多, 含有赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸 8 种人体必需氨基酸<sup>[32]</sup>。本研究中, ZD 组拟穴青蟹精氨酸含量显著高于其他 2 组, 这与不同地理群体拟穴青蟹肌肉氨基酸和脂肪酸的比较分析结果<sup>[35]</sup> 相一致。3 个组的拟穴青蟹总游离氨基酸 (TAA) 无显著差异, SM 组的拟穴青蟹总必需氨基酸比总游离氨基酸 (TEAA/TAA) 显著高于 ZD 组, 与拟穴青蟹不同地理群体营养物质比较中 3 个门群体必需氨基酸含量最高的研究结果一致<sup>[34]</sup>。SM 组肌肉 TEAA/TAA 显著高于 ZD 组, 与 DY 组无显著差异, 与不同产地三疣梭子蟹肌肉氨基酸的检测结果一致<sup>[36]</sup>。由此可见, 盐碱水养殖拟穴青蟹与普通海水相比, 在由氨基酸贡献的营养上差异不大。

脂肪酸中最重要的是 PUFAs, PUFA 中最主要的饱和脂肪酸是  $\omega$ -3 和  $\omega$ -6 脂肪酸, 这些脂肪酸作用于人类机体的许多生化和生理过程, 是评价食物中营养价值的主要指标。与其他海洋生物相比, 甲壳动物的  $\omega$ -3 PUFA 远高于其他水生生物, 且蟹类也高于虾类<sup>[37-38]</sup>。本研究中, ZD 组与 SM 组和 DY 组拟穴青蟹各类脂肪酸含量差异不大, 其中, 饱和脂肪酸 (UFAs) 占 TSFA 的 50% 以上, 肌肉中约 70%, 肝胰腺中约 60%<sup>[39]</sup>。另外, SFA 主要是棕榈酸 (C16:0) 和硬脂酸 (C18:0), MUFAs 以油酸 (C18:1n-9) 和棕榈油酸 (C16:1) 为主<sup>[39-43]</sup>。本研究中, 3 个组中肌肉及肝胰腺的二十二碳六烯酸 (DHA, 22:6n-3) 和二十碳五烯酸 (EPA, 20:5n-3) 含量均无显著差异, 与三疣梭子蟹不同群体的 DHA 及 EPA 含量测定结果基本一致<sup>[41]</sup>。SM 组肌肉脂肪酸 C18:3n3 显著高于 DY 组, 与 ZD 组无显著差异, 3 个组在 PUFA、TSFA、MUFA 含量上均无显著差异, 这与野生、养殖和“科甬一号”三疣梭子蟹群体的脂肪酸分析结果<sup>[41]</sup> 一致。综上所述, 盐碱水池塘养殖拟穴青蟹能够提供与正

常海水养殖拟穴青蟹相同的不饱和脂肪酸, 营养丰富。

### 3.3 黄河三角洲盐碱水、海水和三门海水拟穴青蟹氨基酸和脂肪酸含量主成分分析与聚类分析

主成分分析是多变量数据分析的重要方法之一, 通过分析可以发现观测变量与检测变量, 以及观测变量之间、检测变量之间的相似性与差异性关系<sup>[44]</sup>。本研究利用主成分分析法分析各实验组拟穴青蟹之间氨基酸和脂肪酸含量的总体差异, 可更直观地观察到 DY 与 ZD 组拟穴青蟹分别在肝胰腺和肌肉脂肪酸组成与含量上存在的显著差异。3 个组拟穴青蟹肌肉和肝胰腺中氨基酸和脂肪酸含量上存在一定区分, 尤其是 ZD 组与其他 2 组区分较为明显。聚类分析结果表明, 3 个组拟穴青蟹肌肉和肝胰腺中必需氨基酸和不饱和脂肪酸组成相同, 且均含有丰富的 DHA 和 EPA, 具有较高的脂肪酸营养价值。而水产动物的营养成分主要受环境中温度、盐度等多方面影响<sup>[45-46]</sup>, 除了养殖水体中离子组成与含量不同外, 黄河三角洲和三门地区不同的海水养殖环境中微生物和活体饵料等都可能对营养成分产生差异, 还需进一步探究。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 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. 中国渔业统计年鉴 2021[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.  
Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [2] 李彬, 王志春, 孙志高, 等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158.  
Li B, Wang Z C, Sun Z G, et al. Resources and sustainable resource exploitation of salinized land in China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(2): 154-158 (in Chinese).
- [3] Jia H X. Soil salinization control and sustainable agriculture in North-West endoland region of China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(6): 1063-

- 1068.
- [4] 臧维玲, 江敏, 戴习林, 等. 中华绒螯蟹育苗用水中  $Mg^{2+}$  与  $Ca^{2+}$  含量及  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  对出苗率的影响[J]. 水产学报, 1998, 22(2): 111-116.
- Zang W L, Jiang M, Dai X L, *et al.* Effects of  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  contents and  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  on survival rates of *Eriocheir sinensis* reared in mixed water[J]. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(2): 111-116 (in Chinese).
- [5] Saoud I P, Davis D A, Rouse D B. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture[J]. *Aquaculture*, 2003, 217(1-4): 373-383.
- [6] 程亚美, 赵金良, 唐首杰, 等. 盐碱水和淡水养殖模式下尼罗罗非鱼肌肉品质比较[J]. 河南农业科学, 2019, 48(4): 125-134.
- Cheng Y M, Zhao J L, Tang S J, *et al.* Comparison on meat quality of Nile tilapia cultured in saline-alkaline water and freshwater culture modes[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2019, 48(4): 125-134 (in Chinese).
- [7] 刘肖莲, 姜巨峰, 吴会民, 等. 滨海型盐碱水域杂交青虾“太湖1号”肌肉营养成分分析[J]. 渔业现代化, 2017, 44(5): 67-72.
- Liu X L, Jiang J F, Wu H M, *et al.* Analysis of nutritional components in the muscle of hybrid oriental river prawn “Taihu No. 1” cultured in coastal saline-alkaline pond[J]. *Fishery Modernization*, 2017, 44(5): 67-72 (in Chinese).
- [8] 臧维玲, 戴习林, 张建达, 等. 罗氏沼虾育苗用水中  $Mg^{2+}$  与  $Ca^{2+}$  含量及  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  对出苗率的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 552-557.
- Zang W L, Dai X L, Zhang J D, *et al.* Effects of  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  contents on survival rates of *Macrobrachium rosenbergii* larvae reared in mixed water[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, 26(5): 552-557 (in Chinese).
- [9] 陈昌生, 纪德华, 王兴标, 等.  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  对凡纳滨对虾存活及生长的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 413-418.
- Chen C S, Ji D H, Wang X B, *et al.* Effects of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  on survival and growth of *Penaeus vannamei*[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(4): 413-418 (in Chinese).
- [10] Roy L A, Davis D A, Saoud I P, *et al.* Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters[J]. *Aquaculture*, 2007, 262(2-4): 461-469.
- [11] 刘丽静. 盐碱地渗水养殖凡纳滨对虾离子浓度及比例的确 定 [D]. 保定: 河北大学, 2007.
- Liu L J. Studies on optimal ionic concentration and proportion of the brackish water from saline-alkali area for culturing *Litopenaeus vannamei*[D]. Baoding: Hebei University, 2007 (in Chinese).
- [12] 潘鲁青, 刘志, 姜令绪. 盐度、pH变化对凡纳滨对虾鳃丝  $Na^+/K^+$ -ATPase活力的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(5): 787-790.
- Pan L Q, Liu Z, Jiang L X. The effect of salinity and pH changes on Gill  $Na^+-K^+$ -ATPase activity of *Litopenaeus vannamei*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2004, 34(5): 787-790 (in Chinese).
- [13] 常玉梅, 闫浩, 苏宝锋, 等. 低盐碱池塘养殖雅罗鱼及其杂交种肌肉营养成分分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 332-340.
- Chang Y M, Yan H, Su B F, *et al.* Analysis of muscular nutritional composition in farmed *Leuciscus* spp. and their hybrids in a low saline-alkaline pond[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 332-340 (in Chinese).
- [14] 常玉梅, 何强, 孙言春, 等. 碳酸盐碱度胁迫下瓦式雅罗鱼血浆游离氨基酸水平的变化[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 117-124.
- Chang Y M, He Q, Sun Y C, *et al.* Changes in plasma free amino acid levels in *Leuciscus waleckii* exposed to different environmental alkalinity levels[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 117-124 (in Chinese).
- [15] 黄经献, 赵炳然, 张传涛, 等. 拟穴青蟹北方地区室内越冬技术研究[J]. 科学养鱼, 2021(3): 61-62.
- Huang J X, Zhao B R, Zhang C T, *et al.* Study on the indoor overwintering techniques of *Scylla paramamosain* in northern region of China[J]. *Scientific Fish Farming*, 2021(3): 61-62 (in Chinese).
- [16] 岳立芳, 廖永岩, 刘家良, 等. 海水钙浓度对远海梭子蟹软壳持续时间与形态变化的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(3): 90-95.
- Yue L F, Liao Y Y, Liu J L, *et al.* The effects of the calcium concentration in seawater on the exoskeletal calcification of the *Portunus pelagicus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2011, 31(3): 90-95 (in Chinese).
- [17] 谢达祥, 陈晓汉, 黄均, 等.  $Ca^{2+}$ 与 $Mg^{2+}$ 浓度对凡纳滨对虾糠虾幼体育成仔虾成活率和生长的影响[J]. 西南农

- 业学报, 2007, 20(4): 787-794.
- Xie D X, Chen X H, Huang J, *et al.* Effect of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentration on the survival rate and growth of *Litopenaeus vannamei* from the Mysis to the postlarva[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 20(4): 787-794 (in Chinese).
- [18] 周冬仁, 林锋, 孙博奕, 等. 基于ICP-MS的拟穴青蟹蜕壳期前后蟹肉 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 浓度变化研究[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(12): 114-116.
- Zhou D R, Lin F, Sun B Y, *et al.* Study on  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  concentration in crab meat before and after molting stage of *Scylla paramamosain* by ICP-MS[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(12): 114-116 (in Chinese).
- [19] 朱清顺, 李跃华, 柏如法. 中华绒螯蟹种质特性研究——江苏主要产区养殖河蟹生物学特性的比较[J]. *水产养殖*, 2006, 27(3): 7-10.
- Zhu Q S, Li Y H, Bai R F. Study on the idioplasm characteristic of *Eriocheir sinensis*-Comparative analysis on biological characteristics for cultivation crab in Jiangsu main production area[J]. *Journal of Aquaculture*, 2006, 27(3): 7-10 (in Chinese).
- [20] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [21] 苏建坤, 王雪, 卢建秋, 等. OPA-FMOC在线衍生化法测定氨基酸的含量[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2012, 18(15): 135-138.
- Su J K, Wang X, Lu J Q, *et al.* Determination of amino acids with OPA-FMOC by on-line derivatization[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2012, 18(15): 135-138 (in Chinese).
- [22] 刘南南, 郑福平, 张玉玉, 等. SAFE-GC-MS分析酸牛奶挥发性成分[J]. *食品科学*, 2014, 35(22): 150-153.
- Liu N N, Zheng F P, Zhang Y Y, *et al.* Analysis of volatiles in yogurt by solvent-assisted flavor evaporation and gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2014, 35(22): 150-153 (in Chinese).
- [23] Wilkinson L. ggplot2: Elegant graphics for data analysis by WICKHAM, H.[J]. *Biometrics*, 2011, 67(2): 678-679.
- [24] 黄海涛. 温度、盐度、溶解氧、氨氮、亚硝酸盐氮对拟穴青蟹蜕壳的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
- Huang H T. Effects of temperature, salinity, dissolved oxygen, Ammonia-N and Nitrite-N on the molting of *Scylla paramamosain*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2011 (in Chinese).
- [25] 寇文杰. 地下水化学分类方法的思考[J]. *西部资源*, 2012(5): 108-109.
- Kou W J. Groundwater chemical classification methods of thinking[J]. *Western Resources*, 2012(5): 108-109 (in Chinese).
- [26] 杨富亿, 李秀军, 杨欣乔, 等. 凡纳滨对虾对东北碳酸盐类盐碱水的驯化适应[J]. *淡水渔业*, 2006, 36(4): 17-21.
- Yang F Y, Li X J, Yang X Q, *et al.* Acclimation adaptation of *Litopenaeus vannamei* to carbonate saline-alkali water in Northeast China[J]. *Freshwater Fisheries*, 2006, 36(4): 17-21 (in Chinese).
- [27] 魏博娴. 中国盐碱土的分布与成因分析[J]. *水土保持应用技术*, 2012(6): 27-28.
- Wei B X. Analysis on the distribution and cause of formation of saline-alkaline soil in China[J]. *Technology of Soil and Water Conservation*, 2012(6): 27-28 (in Chinese).
- [28] 任美镠, 史运良. 黄河输沙及其对渤海、黄海沉积作用的影响[J]. *地理科学*, 1986, 6(1): 1-12,101.
- Ren M E, Shi Y L. Sediment discharge of the Yellow River and its effect on sedimentation of the Bohai and Yellow Sea[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1986, 6(1): 1-12,101 (in Chinese).
- [29] 成永旭, 王武, 谭玉钧, 等. 盐度及钙镁离子对中华绒螯蟹大眼幼体育成III仔蟹的成活率和生长的影响[J]. *水产学报*, 1997, 21(1): 84-88.
- Cheng Y X, Wang W, Tan Y J, *et al.* Effects of the ambient salinity and the ambient  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  concentration on the survival and growth of *Eriocheir sinensis*, from the megalopa to the juvenile[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1997, 21(1): 84-88 (in Chinese).
- [30] 戴习林, 张立田, 臧维玲, 等.  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及风味的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(6): 914-921.
- Dai X L, Zhang L T, Zang W L, *et al.* Effect of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and salinity on survival, growth and shrimp taste of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(6): 914-921 (in Chinese).
- [31] 刘存歧, 刘丽静, 张亚娟, 等. 基于卤水的养殖用水中 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 对凡纳滨对虾生长及体内SOD和AKP的影响[J]. *水产科学*, 2007, 26(2): 67-69.
- Liu C Q, Liu L J, Zhang Y J, *et al.* Effects of  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  in brine water from saltworks on growth and activities of

- AKP and SOD in white legged shrimp[J]. *Fisheries Science*, 2007, 26(2): 67-69 (in Chinese).
- [32] Latyshev N A, Kasyanov S P, Kharlamenko V I, *et al.* Lipids and of fatty acids of edible crabs of the North-western Pacific[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(3): 657-661.
- [33] 卜俊芝. 三种海蟹营养和风味成分的研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.  
Bu J Z. Study on nutrition and flavor components of three kinds of sea crabs[J]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012 (in Chinese).
- [34] 徐善良, 张薇, 严小军, 等. 野生与养殖三疣梭子蟹营养品质分析及比较[J]. *动物营养学报*, 2009, 21(5): 695-702.  
Xu S L, Zhang W, Yan X J, *et al.* Analysis and comparison of nutritional quality between wild and cultured *Portunus trituberculatus*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(5): 695-702 (in Chinese).
- [35] 李永亮, 赵欢欢, 李荣华, 等. 拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)六个地理群体肌肉氨基酸和脂肪酸的比较分析[J]. *海洋与湖沼*, 2019, 50(2): 465-472.  
Li Y L, Zhao H H, Li R H, *et al.* Comparison of amino acid and fatty acid composition in *Scylla paramamosain* from six different wild populations[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, 50(2): 465-472 (in Chinese).
- [36] 郭亚男. 不同产地三疣梭子蟹肌肉营养成分和风味物质差异研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.  
Guo Y N. Study on the differences in nutritional and flavor compounds of in muscles of *Portunus trituberculatus* from diverse producing area[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020 (in Chinese).
- [37] Zlatanos S, Laskaridis K, Sagredos A. Determination of proximate composition, fatty acid content and amino acid profile of five lesser-common sea organisms from the Mediterranean Sea[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44(8): 1590-1594.
- [38] Zlatanos S, Laskaridis K, Feist C, *et al.* Proximate composition, fatty acid analysis and protein digestibility-corrected amino acid score of three Mediterranean cephalopods[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2006, 50(10): 967-970.
- [39] Jiang K J, Zhang F Y, Pi Y, *et al.* Amino acid, fatty acid, and metal compositions in edible parts of three cultured economic crabs: *Scylla paramamosain*, *Portunus trituberculatus*, and *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(1): 73-86.
- [40] Muskiet F A J, van Goor S A, Kuipers R S, *et al.* Long-chain polyunsaturated fatty acids in maternal and infant nutrition[J]. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 2006, 75(3): 135-144.
- [41] 刘磊, 王春琳, 母昌考, 等. 野生、养殖和“科甬1号”群体三疣梭子蟹营养和风味品质比较分析[J]. *食品科学*, 2017, 38(20): 55-62.  
Liu L, Wang C L, Mu C K, *et al.* Comparative analysis of flavor and nutritional qualities of wild, “Keyong No. 1” and aquacultural populations of *Portunus trituberculatus*[J]. *Food Science*, 2017, 38(20): 55-62 (in Chinese).
- [42] Zhao F, Zhuang P, Song C, *et al.* Amino acid and fatty acid compositions and nutritional quality of muscle in the pomfret, *Pampus punctatissimus*[J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(2): 224-227.
- [43] Naczek M, Williams J, Brennan K, *et al.* Compositional characteristics of green crab (*Carcinus maenas*)[J]. *Food Chemistry*, 2004, 88(3): 429-434.
- [44] 阿基业, 何骏, 孙润彬. 代谢组学数据处理——主成分分析十个要点问题[J]. *药科学报*, 2018, 53(6): 929-937.  
A J Y, He J, Sun R B. Multivariate statistical analysis for metabolomic data: The key points in principal component analysis[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2018, 53(6): 929-937 (in Chinese).
- [45] 万玉美, 赵春龙, 崔兆进, 等. 鱼礁区与池塘养殖刺参体壁营养成分的分析及评价[J]. *大连海洋大学学报*, 2015, 30(2): 190-195.  
Wan Y M, Zhao C L, Cui Z J, *et al.* Analysis and evaluation of nutrient components in body walls of sea cucumber *Apostichopus japonicus* farmed in reefs and ponds[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2015, 30(2): 190-195 (in Chinese).
- [46] 周彦锋, 徐东坡, 单俊峰, 等. 3个地理群体大银鱼营养成分的分析与评价[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(5): 734-740.  
Zhou Y F, Xu D P, Shan J F, *et al.* An analysis and evaluation of nutritional components of *Protosalanx hyalocranius* Abbott from three wild populations[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(5): 734-740 (in Chinese).

## Comparative analysis of growth and nutritional components of *Scylla paramamosain* cultured in saline-alkali water and marine water

FANG Wei<sup>1</sup>, LIU Lei<sup>1\*</sup>, CHANG Wen<sup>2</sup>, LIU Zhiguo<sup>2</sup>, YANG Jianxin<sup>2</sup>, LIU Xiao<sup>1</sup>,  
MU Changkao<sup>1</sup>, WANG Chunlin<sup>1</sup>

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2. Dongying Marine Development and Fisheries Research Academy, Dongying 257091, China)

**Abstract:** To explore the differences of growth and nutrient composition for *Scylla paramamosain* under different water conditions, Aleken classification method was used to classify the aquaculture water of the Yellow River Delta group (DY), saline-alkali group (ZD) and Sanmen group based on the ion composition; The *t*-test method was used to compare the growth of *S. paramamosain* in 3 groups by measuring the morphological indicators and calculating the condition factor. The amino and fatty acid content of hepatopancreas and muscle were measured, and principal component analysis and cluster analysis were used to analyze the amino acid and fatty acid composition of each group of *S. paramamosain*. The results showed that the fatness of the 90-day-old crabs in 3 groups was between 0.54 and 0.89, ZD and DY groups were significantly higher than the SM group, while the 140-day-old crabs had no significant difference in the fatness between 3 groups. 20 kinds of amino acids and 26 kinds of fatty acids were detected. The total amino acid contents (TAA) of the hepatopancreas and muscle of 3 groups of crabs were 3.94-6.87 and 9.73-12.42 g/100 g, respectively, and the SM group was the highest. The ratio of total unsaturated fatty acid content of hepatopancreas and muscle of *S. paramamosain* to total fatty acid content (TUFA/TFA) was 59.68%-68.80% and 70.08%-73.79%, respectively. Among others, the content of C20:5n-3 (EPA) in hepatopancreas of the ZD group was the highest in each group; the results of principal component analysis and cluster analysis respectively showed that the ZD group is distinct from other groups in amino and fatty acids content, but not significantly, while the cluster analysis results of the amino and fatty acid contents were similar in each group. This study showed that compared with normal seawater, the growth rate, plumpness, amino and fatty acids contents of *S. paramamosain* in saline-alkali aquaculture were not much different, and some indicators were dominant. To ensure the growth rate and aquaculture production, appropriate supplementation of Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> in the breeding process can be used in saline-alkali water aquaculture of *S. paramamosain*. This study provides a reference for the breeding and the cultivation of *S. paramamosain* in saline-alkali water aquaculture.

**Key words:** *Scylla paramamosain*; alkali-saline water; growth; amino acids; fatty acids

**Corresponding author:** LIU Lei. E-mail: liulei1@nbu.edu.cn

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2019YFD0900405); SNLF Program of Zhejiang (2021SNLF029)