

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*

李永亮^{1,2} 赵欢欢¹ 李荣华^{1,2} 王春琳^{1,2}^① 母昌考^{1,2} 宋微微¹ 叶央芳^{1,2}

(1. 宁波大学 应用海洋生物学教育部重点实验室 宁波 315211; 2. 浙江海洋高效健康养殖协同创新中心 宁波 315211)

摘要 本文对广西钦州(Gq)、福建霞浦(Fx)、浙江温州(Zw)、浙江三门(Zs)、浙江宁海(Zn)、浙江慈溪(Zc)等 6 个野生群体拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)肌肉进行了氨基酸及脂肪酸分析。共测定出 19 种游离氨基酸和 26 种脂肪酸。氨基酸含量在 80.94—191.39mg/g 之间, Gq 为最高; 总脂肪酸含量在 7.97—11.38mg/g 之间, Zn 为最高。主要氨基酸为甘氨酸和精氨酸; 主要脂肪酸为 C20:5n3(EPA), 占总脂肪酸含量的平均值为(22.47±5.84)%。各群体风味氨基酸和多不饱和脂肪酸含量丰富, 占总氨基酸比例(TDAA/TFAA)和总脂肪酸比例(PUFA/TFA)分别为(53.62±5.43)%和(59.27±5.29)%。Zs 群体的必需氨基酸含量及 C22:6n3(DHA)均为最高。主成分分析结果表明: 各群体的氨基酸与脂肪酸组成与含量相似性与地理距离分布具有一定的相关性, 特别是 Gq 群体, 在氨基酸与脂肪酸的分类中与其他群体区分比较明显。各群体风味氨基酸和多不饱和脂肪酸的聚类分析结果均表明: Zw、Zc 与 Gq 群体较为接近, 具有较强的甜味; Fx、Zn 与 Zs 群体较为接近, 具有较强的香味及不饱和脂肪酸营养价值。

关键词 拟穴青蟹; 群体; 游离氨基酸; 脂肪酸

中图分类号 Q523; S917 doi: 10.11693/hyhz20181100282

拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)隶属甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、梭子蟹科(Portunidae), 是东南沿海重要的海洋经济蟹类之一, 主要分布在我国海南、广西、广东、福建、浙江和台湾等沿海水域(林琪等, 2007), 2017 年海水养殖产量近 15.20 万吨, 海洋捕捞产量近 7.95 万吨(农业农村部渔业渔政管理局等, 2018)。拟穴青蟹具有生长快速、个体体壮、肉味鲜美等特点, 深受广大消费者的喜爱。

畜禽及水产品是人类蛋白质、氨基酸等的重要来源。近年来, 围绕蟹类营养价值的开发开展了诸多研究, 如三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) (汪倩等, 2013; Jiang *et al.*, 2014)、拟穴青蟹(*S. paramamosain*) (Meng *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2014)、

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*) (付娜等, 2014a, b; Jiang *et al.*, 2014; 何杰等, 2016)、黄道蟹(*Cancer pagurus*) (Skonberg *et al.*, 2002; Barrento *et al.*, 2010)、锯缘青蟹(*Scylla serrata*) (Sreelakshmi *et al.*, 2016)和紫螯青蟹(*Scylla tranquebarica*) (Sreelakshmi *et al.*, 2016)等, 为海洋蟹类的养殖发展、市场推广及产品加工提供了一定的基础资料。

本文通过采用液质联用(LC-MS)外标法和气质联用(GC-MS)外标法对我国东南沿海拟穴青蟹六个野生群体的肌肉进行游离氨基酸和脂肪酸成分测定, 从营养组成角度对拟穴青蟹 6 个野生群体进行差异比较, 以期对拟穴青蟹市场推广、品种选育及资源保护提供参考。

* 浙江省农业重大科技专项, 2016C02055-8 号; 现代农业产业技术体系专项, CARS-48 号; 宁波市科技富民项目, 2016C10037 号; 宁波大学王宽诚幸福基金资助。李永亮, 硕士研究生, E-mail: 1419165010@qq.com

通信作者: 王春琳, 博士生导师, 教授, E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

收稿日期: 2018-11-29, 收修改稿日期: 2019-01-05

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

根据林琪等(2007)研究的青蟹形态学特征, 本次实验所用拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)的 6 个野生群体于 2016 年 10 月分别采集自广西钦州(Gq)、福建霞浦(Fx)、浙江温州(Zw)、浙江三门(Zs)、浙江宁海(Zn)、浙江慈溪(Zc)附近海域, 各群体样本数为 30 只, 一共 180 个样本(平均体重为 193.75g)皆活体运回实验室。各群体样本采购地点见表 1。活体称量其体重,

然后冰浴取肌肉组织, 每 10 个个体随机混合为一个样品, 每个个体取 2.0g, 冷冻干燥后捣碎混匀待测。每个群体 30 个个体, 设置为 3 个重复。

JX5001 电子天平, 上海浦春计量仪器有限公司; Labconco 6L 冻干机系统, 美国 Labconco 公司; GC-MS 7890B-5977A 气质联用仪, 安捷伦公司, 色谱柱: DB-23(30m×320μm×0.25μm); LC-20AD 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; 5500 Q TRAP LC-MS/MS 液相色谱质谱联用仪美国 AB 公司, 色谱柱, BEH C18 1.7μm 100×2.1mm。

表 1 拟穴青蟹 6 个群体采样信息

Tab.1 Sampling information of *S. paramamosain* from six populations

群体	采样点	纬度(N)	经度(E)	个体数
Gq	龙门港	21°42'58"	108°35'52"	30
Fx	沙江村	26°46'42"	119°58'40"	30
Zw	月光码头	28°01'35"	120°38'37"	30
Zs	健跳港	29°02'01"	121°37'39"	30
Zn	青山港	29°13'12"	121°33'16"	30
Zc	周巷镇	30°17'40"	121°03'34"	30

1.2 实验方法

1.2.1 氨基酸测定 称取 100mg 蟹粉加入 1mL 乙腈水 1 : 1 超声提取 30min。离心取上清, 用 9 倍乙腈沉淀蛋白, 离心取上清。上清液用乙腈水 3 : 1 稀释 100 倍, 上机检测。

1.2.2 脂肪酸测定 称取一定质量蟹肉, 加 2mL 正己烷, 50°C 振摇 30min。加 3mL KOH 甲醇溶液(0.4mol/L), 50°C 振摇 30min。再加 1mL 水, 2mL 正己烷, 常温振摇 20min。静置分层取上层, 气质进样检测。

1.2.3 统计分析 采用 SPSS19.0 统计软件进行统计分析, 数据以平均值±标准偏差(mean±SD) ($n=3$) 的形式表示, 利用单因素方差分析(one-way ANOVA)和差异显著性检验, 采用 Duncan 多重比较法检验组间差异($P=0.05$)。采用 SIMCA-P11.0 对各群体氨基酸和脂肪酸进行主成分分析(PCA)。采用 SPSS 欧氏最短距离法及 R 软件(v.3.0.0)进行群体间风味氨基酸与多不饱和脂肪酸的相似性比较。

2 结果与分析

2.1 游离氨基酸的组成分析

六个拟穴青蟹群体氨基酸含量较为丰富, 含有 19 种常见游离氨基酸(表 2)。氨基酸总量(TFAA)的平均含量为(136.1±41.46)mg/g。最多的六种氨基酸均为

甘氨酸、精氨酸、谷氨酰胺、丙氨酸、脯氨酸和谷氨酸, 其中三门群体的精氨酸含量高于甘氨酸, 而另外五个群体的甘氨酸含量高于精氨酸。各群体之间总游离氨基酸含量在 80.94—191.39mg/g 之间, 不同群体存在显著差异($P<0.05$), 钦州群体(191.39±21.15)mg/g 含量最高。六个群体的必需氨基酸占总游离氨基酸含量(TEAA/TFAA)在 4.19—7.74%之间, 三门群体必需氨基酸含量(9.14±0.63)mg/g 最高, 但各群体差异不显著($P>0.05$)。六个群体的拟穴青蟹肌肉风味氨基酸含量较高, 风味氨基酸占总游离氨基酸比例(TDAA/TFAA)平均值为(53.62±5.43)%, 钦州群体风味氨基酸含量(98.75±9.82)mg/g 最高, 其次为慈溪群体(89.07±11.78)mg/g。

2.2 脂肪酸的组成分析

六个群体青蟹肌肉中共检测出 26 种脂肪酸(表 3), 总脂肪酸含量在 7.97—11.38mg/g 之间, 宁海群体含量最高。主要由 11 种饱和脂肪酸(SFA)、9 种单不饱和脂肪酸(MUFA)及 6 种多不饱和脂肪酸(PUFA)组成, 占总脂肪酸含量比例分别为 23.30%—33.41%、13.99%—17.44%、51.01%—62.46%。C20:5n3(EPA)是 6 个群体含量最多的脂肪酸, 占总脂肪酸含量的平均值为(22.47±5.84)%。此外, C22:6n3(DHA)、C18:0(硬脂酸)、C16:0(棕榈油酸)、C20:4n6(ARA)等几种脂肪酸的含量也相对较高。

表 2 不同地理群体拟穴青蟹的氨基酸组成与含量(mg/g 干质量)
Tab.2 Amino acid compositions and contents (mg/g DW) of *S. paramamosain* from different populations

检测物质	Fx	Zn	Gq	Zw	Zc	Zs
Val [#]	1.12±0.82 ^a	0.96±0.12 ^a	1.61±0.27 ^a	1.08±0.27 ^a	1.58±0.38 ^a	1.46±0.15 ^a
Ile [#]	0.53±0.4 ^{ab}	0.53±0.1 ^{ab}	0.76±0.11 ^b	0.37±0.1 ^a	0.59±0.19 ^{ab}	0.79±0.05 ^b
Leu [#]	1.06±0.78 ^a	1.12±0.12 ^a	1.07±0.09 ^a	0.73±0.15 ^a	0.97±0.23 ^a	1.25±0.03 ^a
Met [#]	0.82±0.62 ^a	0.77±0.06 ^a	0.83±0.29 ^a	0.65±0.25 ^a	1.28±0.41 ^a	0.84±0.07 ^a
Phe [#]	0.51±0.34 ^a	0.76±0.1 ^a	0.50±0.03 ^a	0.54±0.09 ^a	0.7±0.16 ^a	0.80±0.03 ^a
Trp [#]	0.15±0.07 ^a	0.37±0.11 ^c	0.16±0.02 ^a	0.2±0.05 ^{ab}	0.27±0.03 ^{bc}	0.24±0.01 ^{ab}
Lys [#]	1.60±0.91 ^{abc}	0.86±0.3 ^a	1.73±0.13 ^{abc}	1.10±0.3 ^{ab}	1.77±0.5 ^{bc}	2.35±0.18 ^c
Thr [#]	1.06±0.46 ^{ab}	0.82±0.05 ^a	1.39±0.22 ^b	0.75±0.18 ^a	1.30±0.14 ^b	1.38±0.13 ^b
Asp [*]	0.17±0.02 ^{ab}	N.D. ^a	0.26±0.07 ^c	0.32±0.1 ^c	0.27±0.08 ^c	0.24±0.04 ^{bc}
Ala [*]	8.51±3.27 ^{ab}	6.09±0.72 ^a	17.18±3.9 ^d	10.97±2.85 ^{bc}	13.79±1.51 ^{cd}	11.31±1.19 ^{bc}
Glu [*]	2.51±0.76 ^b	1.86±0.22 ^a	4.34±0.15 ^d	1.86±0.5 ^a	2.60±0.34 ^b	3.31±0.45 ^c
Pro [*]	7.49±2.65 ^a	8.55±1.12 ^{ab}	17.36±4.15 ^c	16.50±3.88 ^c	24.1±3.56 ^d	13.5±0.96 ^{bc}
Ser [*]	0.52±0.2 ^a	0.61±0.27 ^a	0.45±0.05 ^a	0.50±0.09 ^a	0.63±0.09 ^a	0.59±0.07 ^a
Gly [*]	35.01±14.21 ^{ab}	28.49±1.3 ^a	59.17±3.09 ^{bc}	50.37±13.5 ^c	47.68±8.32 ^{bc}	39.18±3.86 ^{ab}
Arg	30.35±8.54 ^b	16.43±5.62 ^a	49.99±2.06 ^c	32.53±7.64 ^b	39.98±3.54 ^{bc}	40.64±3.72 ^{bc}
His	0.86±0.48 ^{ab}	0.89±0.05 ^{ab}	1.29±0.17 ^b	0.70±0.19 ^a	1.23±0.32 ^b	1.27±0.12 ^b
Tyr	0.85±0.48 ^a	1.28±0.13 ^{ab}	1.26±0.2 ^{ab}	0.91±0.28 ^a	1.42±0.67 ^{ab}	1.70±0.12 ^b
Asp	0.25±0.05 ^{ab}	0.21±0.03 ^a	0.43±0.08 ^c	0.20±0.08 ^a	0.27±0.07 ^{ab}	0.36±0.03 ^{bc}
Gln	14.83±4.21 ^a	10.27±0.76 ^a	31.66±10.96 ^c	11.23±4.24 ^a	17.91±3.1 ^{ab}	25.29±2.61 ^{bc}
TFAA	107.94±36.89 ^{ab}	80.94±7.25 ^a	191.39±21.15 ^d	131.68±33.37 ^{bc}	158.13±13.78 ^{cd}	146.53±13.61 ^{bc}
TDAA	54.15±21.13 ^a	45.61±1.71 ^a	98.75±9.82 ^c	80.52±20.65 ^{bc}	89.07±11.78 ^{bc}	68.13±6.53 ^{ab}
TEAA	6.65±4.31 ^a	6.24±0.48 ^a	8.02±0.93 ^a	5.59±1.39 ^a	8.24±1.81 ^a	9.14±0.63 ^a
TDAA/TFAA	49.64±2.8 ^{ab}	56.54±3.25 ^c	51.65±1.57 ^b	61.15±1.23 ^d	56.23±3.71 ^c	46.49±0.64 ^a
TEAA/TFAA	5.85±1.99 ^{ab}	7.74±0.89 ^b	4.19±0.14 ^a	4.24±0.19 ^a	5.26±1.37 ^a	6.25±0.17 ^{ab}

注: *代表风味氨基酸; #代表必需氨基酸; 同行数据上标不同小写字母代表差异显著性为 $P < 0.05$, N.D 表示未检测出。下同

拟穴青蟹各群体多不饱和脂肪酸种类较多、含量丰富, 尤以 EPA 和 DHA 较为突出, 占总脂肪酸含量比例分别为 20.17—26.19%、12.48—14.82%。宁海群体 EPA 含量最高, 三门次之。C22:6n3(DHA)以三门群体含量最高, 宁海次之。各群体 ω 3-PUFA 与 ω 6-PUFA 比值(ω 3/ ω 6)为 2.14—3.75, 其中, 三门群体 ω 3/ ω 6 值 (3.75 ± 0.07) 显著高于其他群体, 宁海 (3.04 ± 0.38) 次之。

2.3 基于氨基酸和脂肪酸含量对拟穴青蟹不同地理群体的主成分分析

拟穴青蟹六个地理群体氨基酸与脂肪酸组成与含量的主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)见图 1。从氨基酸得分图(图 1a)可以看出, 所有群体的样本均处于置信区间内, 样本分布相对集中, 样本间界限清晰, 主要分为两类: 霞浦、温州和宁海群体分布在 PC1 左侧负值区域, 且霞浦和温州群体距离较近, 表明这两个群体在氨基酸的组成与含量

上具有更多的相似性; 慈溪、三门和钦州群体分布在 PC1 右侧正值区域, 表明这 3 个群体的氨基酸组成与含量具有更多的相似性, 其中钦州群体与慈溪、三门群体区分比较明显。

脂肪酸得分图(图 1b)表明所有群体的样本均处于置信区间内, 样本间区分较为明显, 主要分为三类: 分布在 PC1 右侧正值区域的霞浦、三门和宁海群体较为接近, 分布在 PC1 左侧负值区域的慈溪和温州最为接近, 钦州群体与前两类距离较远, 分布在 PC2 下方负值区域, 单独为一类。

2.4 基于风味氨基酸和多不饱和脂肪酸含量对拟穴青蟹不同地理群体的分析

六个群体风味氨基酸聚类热图(图 2)及多不饱和脂肪酸聚类热图(图 3)显示: 甘氨酸(Gly)是拟穴青蟹含量最多的风味氨基酸, 其次是脯氨酸(Pro)和丙氨酸(Ala); 拟穴青蟹含量最多的多不饱和脂肪酸是 EPA(C20:5n3)、DHA(C22:6n3)和 ARA(C20:4n6)。

表 3 不同地理群体拟穴青蟹的脂肪酸组成与含量(mg/g 干质量)
Tab.3 Fatty acid compositions and contents (mg/g DW) of *S. paramamosain* from different populations

检测物质	Fx	Zn	Gq	Zw	Zc	Zs
C12:0	0.01±0 ^{abc}	0.01±0.01 ^c	0±0 ^{ab}	0±0 ^a	0±0 ^a	0.01±0 ^{bc}
C13:0	0±0 ^a	0.01±0.01 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a
C14:0	0.09±0.05 ^{ab}	0.13±0.08 ^b	0.04±0.01 ^a	0.04±0 ^a	0.05±0.01 ^{ab}	0.12±0.03 ^{ab}
C15:0	0.08±0.02 ^b	0.08±0.02 ^b	0.04±0.01 ^a	0.06±0.01 ^{ab}	0.06±0.01 ^b	0.06±0.01 ^{ab}
C16:0	1.01±0.13 ^{bc}	1.12±0.13 ^c	0.83±0.07 ^b	0.59±0.02 ^a	0.64±0.05 ^a	1.06±0.15 ^c
C17:0	0.19±0.05 ^{ab}	0.24±0.05 ^b	0.17±0.03 ^{ab}	0.16±0.01 ^{ab}	0.14±0.01 ^a	0.19±0.04 ^{ab}
C18:0	1.84±0.35 ^b	1.90±0.22 ^b	1.64±0.2 ^b	0.97±0.06 ^a	0.90±0.1 ^a	1.79±0.28 ^b
C20:0	0.02±0 ^{bc}	0.03±0 ^{cd}	0.02±0 ^b	0.01±0 ^a	0.01±0 ^a	0.03±0 ^d
C21:0	0.02±0 ^b	0.02±0 ^b	0.02±0 ^b	0±0 ^a	0±0 ^a	0.02±0 ^b
C22:0	0.03±0 ^b	0.03±0 ^b	0.03±0 ^b	N.D. ^a	N.D. ^a	0.03±0 ^b
C24:0	0.10±0.01 ^{ab}	0.1±0.01 ^{abc}	0.09±0.01 ^a	0.13±0.01 ^c	0.12±0.01 ^{bc}	0.10±0.01 ^{ab}
C15:1	0.02±0.01 ^b	0.03±0 ^c	0.02±0 ^b	N.D. ^a	N.D. ^a	0.02±0 ^b
C16:1	0.52±0.11 ^{cd}	0.50±0.03 ^{bcd}	0.37±0.06 ^{ab}	0.26±0.08 ^a	0.45±0.07 ^{bc}	0.60±0.08 ^d
C17:1	0.12±0.04 ^a	0.12±0.05 ^a	0.06±0.02 ^a	0.07±0.02 ^a	0.07±0.02 ^a	0.09±0.02 ^a
C18:1n9c	0.88±0.17 ^a	0.95±0.13 ^{ab}	0.89±0.11 ^a	0.75±0.02 ^a	0.69±0.13 ^a	1.17±0.2 ^b
C20:1	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	0.13±0.01 ^b	0.12±0.02 ^b	N.D. ^a
C22:1n9	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	N.D. ^a
C18:2n6c	0.23±0.05 ^a	0.44±0.13 ^{bcd}	0.46±0.07 ^{cd}	0.52±0.08 ^d	0.34±0.1 ^{abc}	0.30±0.07 ^{ab}
C18:3n6	0.01±0.01 ^b	0.01±0 ^b	0.01±0 ^b	0.01±0 ^a	0.01±0 ^b	0.01±0 ^b
C20:3n6	0.02±0 ^a	0.03±0.01 ^a	0.02±0 ^a	0.02±0.01 ^a	0.03±0 ^a	0.02±0 ^a
C20:4n6	1.04±0.22 ^a	1.02±0.2 ^a	0.92±0.1 ^a	1.06±0.04 ^a	1.11±0.22 ^a	0.81±0.15 ^a
C20:2	0.07±0.02 ^a	0.16±0.02 ^c	0.10±0.01 ^b	0.13±0.01 ^{bc}	0.10±0.01 ^b	0.12±0.02 ^b
C18:3n3	0.08±0.02 ^a	0.13±0.03 ^b	0.13±0.02 ^b	0.12±0.01 ^b	0.10±0.03 ^{ab}	0.11±0.03 ^{ab}
C20:3n3	0.03±0 ^a	0.04±0.01 ^a	0.30±0.49 ^a	0.02±0 ^a	0.02±0.01 ^a	0.04±0 ^a
C20:5n3	2.42±0.52 ^{abc}	2.72±0.29 ^c	1.87±0.2 ^a	2.23±0.22 ^{abc}	1.99±0.16 ^{ab}	2.51±0.44 ^{bc}
C22:6n3	1.37±0.33 ^{ab}	1.59±0.18 ^b	1.28±0.14 ^{ab}	1.19±0.18 ^{ab}	1.00±0.25 ^a	1.60±0.3 ^b
TFA	10.19±2.04 ^{abc}	11.38±1.51 ^c	9.31±1.4 ^{abc}	8.48±0.45 ^{ab}	7.97±0.75 ^a	10.8±1.85 ^{bc}
TSFA	3.39±0.63 ^b	3.66±0.47 ^b	2.88±0.33 ^b	1.98±0.12 ^a	1.93±0.18 ^a	3.40±0.54 ^b
TMUFA	1.53±0.31 ^{ab}	1.59±0.19 ^{ab}	1.34±0.17 ^a	1.21±0.06 ^a	1.34±0.21 ^a	1.88±0.29 ^b
TPUFA	5.26±1.15 ^a	6.13±0.85 ^a	5.10±0.92 ^a	5.3±0.29 ^a	4.70±0.37 ^a	5.52±1.02 ^a
TUFA	6.80±1.45 ^a	7.72±1.03 ^a	6.44±1.09 ^a	6.51±0.33 ^a	6.04±0.57 ^a	7.40±1.31 ^a
ω3-PUFA	3.89±0.86 ^{ab}	4.47±0.5 ^b	3.58±0.83 ^{ab}	3.56±0.39 ^{ab}	3.11±0.35 ^a	4.26±0.77 ^{ab}
ω6-PUFA	1.31±0.28 ^a	1.50±0.34 ^a	1.41±0.14 ^a	1.61±0.13 ^a	1.49±0.27 ^a	1.14±0.23 ^a
ω3/ω6	2.98±0.15 ^b	3.04±0.38 ^b	2.53±0.47 ^{ab}	2.23±0.4 ^a	2.14±0.48 ^a	3.75±0.07 ^c
TSFA/TFA	33.41±0.02 ^b	32.17±0 ^b	31±0.02 ^b	23.3±0 ^a	24.23±0 ^a	31.55±0.01 ^b
TMUFA/TFA	15.06±0 ^a	13.99±0 ^a	14.42±0.01 ^a	14.24±0 ^a	16.74±0.01 ^b	17.44±0 ^b
TPUFA/TFA	51.53±0.02 ^{ab}	53.84±0 ^{bc}	54.58±0.02 ^c	62.46±0.01 ^c	59.03±0.01 ^d	51.01±0.01 ^a
TUFA/TFA	66.59±0.02 ^a	67.83±0 ^a	69±0.02 ^a	76.7±0 ^b	75.77±0 ^b	68.45±0.01 ^a
EPA/TFA	23.72±0.01 ^{bc}	23.96±0.01 ^{bc}	20.17±0.01 ^a	26.19±0.01 ^c	25.02±0.02 ^{bc}	23.26±0 ^b
DHA/TFA	13.34±0.01 ^a	13.96±0 ^a	13.83±0.01 ^a	14.01±0.01 ^a	12.48±0.02 ^a	14.82±0 ^a

注: TSFA 表示饱和脂肪酸总量

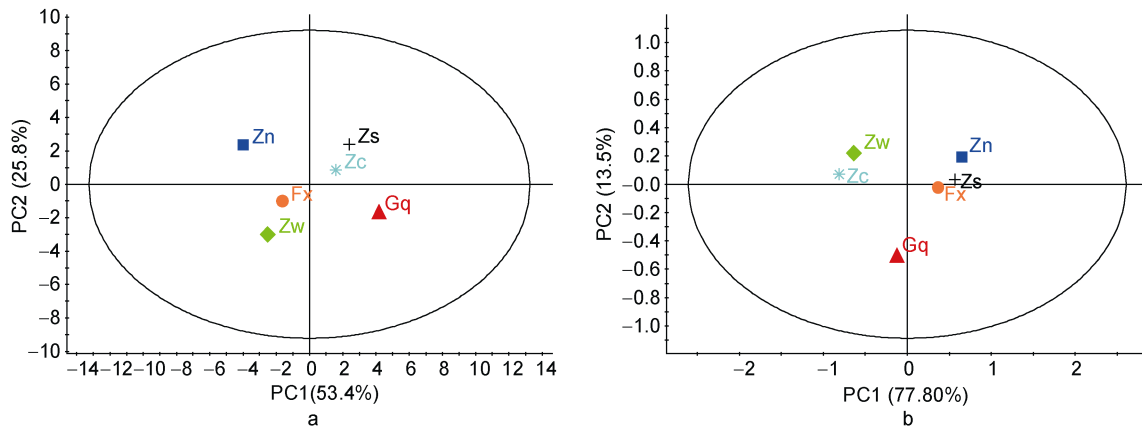


图 1 基于氨基酸含量(a)和脂肪酸含量(b)的拟穴青蟹不同地理群体的 PCA 得分图

Fig.1 PCA scores plot of six different populations of *S. paramamosain* based on the amino acids (a) and fatty acids (b) contents

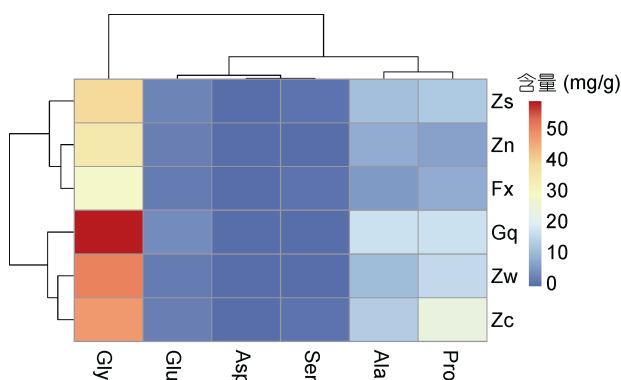


图 2 基于风味氨基酸含量对拟穴青蟹不同地理群体的聚类热图分析

Fig.2 Heatmap of flavor amino acids in six different populations of *S. paramamosain*

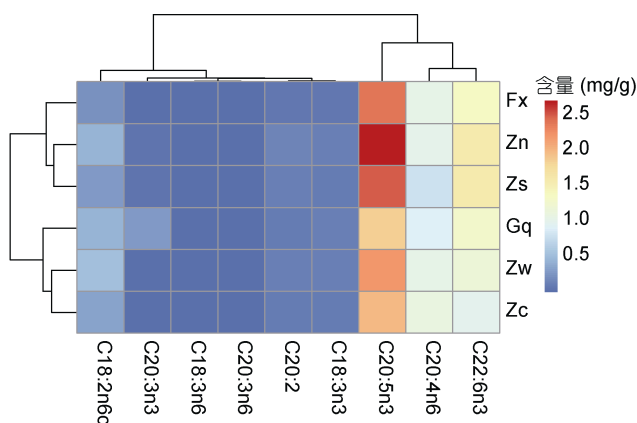


图 3 基于多不饱和脂肪酸含量的拟穴青蟹不同地理群体的聚类热图分析

Fig.3 Heatmap of polyunsaturated fatty acids in six different populations of *S. paramamosain*

根据六个群体风味氨基酸和多不饱和脂肪酸的

组成含量,采用欧氏最短距离法构建聚类图(图 4)。风味氨基酸组成与含量的聚类结果分为两支(图 4a):分别为霞浦、宁海与三门群体聚为一支,温州、慈溪与钦州群体聚为一支。这表明从风味氨基酸含量角度,霞浦、宁海与三门群体风味氨基酸组成与含量较为接近,温州、慈溪与钦州群体风味氨基酸组成含量较为接近。

多不饱和脂肪酸组成与含量的聚类结果与风味氨基酸较为一致,也分为同样的两支(图 4b):表明宁海、三门与霞浦群体多不饱和脂肪酸含量较为接近,温州、慈溪和钦州群体多不饱和脂肪酸含量较为接近。但宁海与三门这两个群体的多不饱和脂肪酸相似性比风味氨基酸相似性更为接近。

3 讨论

3.1 拟穴青蟹氨基酸和脂肪酸营养分析

不同氨基酸分类及组成的研究表明,拟穴青蟹游离氨基酸含量较多,风味氨基酸含量丰富,是一种营养丰富、味道鲜美的海产品。拟穴青蟹含有赖氨酸、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,以甘氨酸和精氨酸含量为最多,六个群体中,三门群体必需氨基酸含量最高。有研究表明,精氨酸有促进伤口愈合、免疫调节、促进肠道发育等多种生理功能,是合成肌酸和 NO 的原料,可提高肌肉力量和训练时的泵血感(屈爱静等, 2011; 徐鑫等, 2015),甘氨酸对多种原因引起的肝损害有明显的保护作用(李旭宏等, 2003)。肉品味道的鲜美程度与肌肉中风味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸)的组成和含量有关(Rabie *et al.*, 2014)。六个群体的拟穴青蟹肌

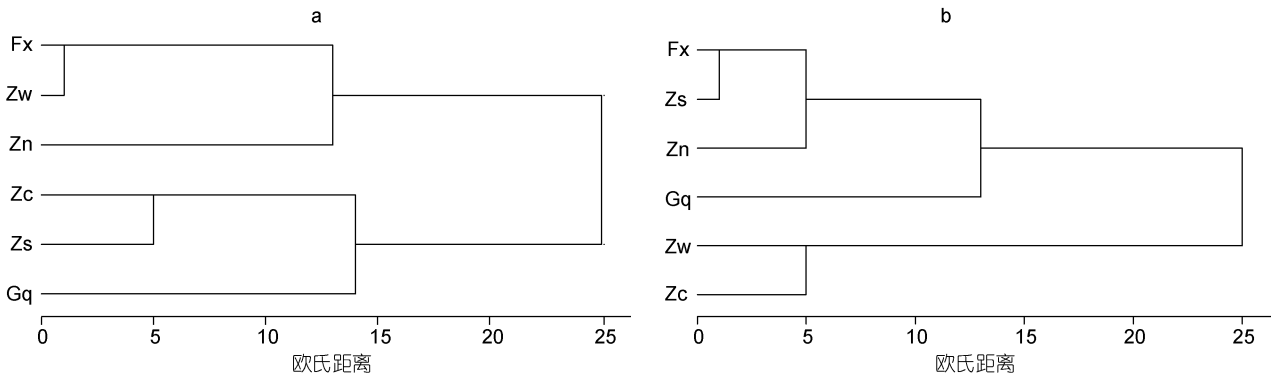


图4 基于风味氨基酸含量(a)和多不饱和脂肪酸含量(b)的拟穴青蟹不同地理群体的聚类树形图

Fig.4 Cluster tree of six different populations of *S. paramamosain* based on the flavor amino acids (a) and polyunsaturated fatty acids (b) contents

肉风味氨基酸含量较高, 占总游离氨基酸比例的平均值为 $(53.62 \pm 5.43)\%$, 略高于三疣梭子蟹和中华绒螯蟹等海洋蟹类(Jiang *et al.*, 2014), 也高于缢蛏、兰蛤、贻贝等海产贝类(李来好等, 1999; 吴海歌等, 2001; 林叶等, 2006)。有研究表明谷氨酸是三疣梭子蟹组织中含量最高的氨基酸, 是鲜味主要贡献者, 其次是甘氨酸和丙氨酸, 是甜味主要贡献者(刘磊等, 2017)。本实验中, 甘氨酸(Gly)是拟穴青蟹含量最多的风味氨基酸, 其次是脯氨酸(Pro)和丙氨酸(Ala), 均是甜味的主要贡献者(Van Den Dool *et al.*, 1963; 付娜等, 2014a, b)。

相比畜禽等大型肉用动物, 海洋蟹类多不饱和脂肪酸(PUFA)含量较高, 脂肪酸营养价值更高(汪倩, 2012)。本研究结果表明, 拟穴青蟹脂肪酸组成以多不饱和脂肪酸(PUFA)含量最多, 占总脂肪酸(TUFA/TFA)的 $51.01\%—62.46\%$, 含量最多的多不饱和脂肪酸是EPA(C20:5n3), DHA(C22:6n3)等 ω 3-PUFA。高含量的多不饱和脂肪酸也能显著增加香味, 同时在一定程度上反映了肌肉的多汁性(孙玉明等, 1993)。与其他蟹类相比, 拟穴青蟹肌肉的PUFA含量远高于黄道蟹、中国对虾、南美白对虾、斑节对虾等经济甲壳动物(Barrento *et al.*, 2010; 王娟, 2013), 也远高于大黄鱼、带鱼、银鲳等经济鱼类(Xu *et al.*, 2013)。拟穴青蟹不同群体的 ω 3-PUFA与 ω 6-PUFA比值(ω 3/ ω 6)为2.14—3.75, 高于FAO/WHO (Food and Agriculture Organization, 1994)推荐值(建议饮食中 ω 3/ ω 6的比例至少在0.1—0.2左右), 而 ω 3/ ω 6值(2.14—3.75)越高, 具有的营养价值越高(Çelik *et al.*, 2004), 本研究发现, 三门群体 ω 3/ ω 6值 (3.75 ± 0.07) 显著高于其他群体, 具有相对较高的脂肪酸营养价值。

3.2 拟穴青蟹不同群体差异比较

肌肉中风味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸)组成和含量影响肉品味的鲜美程度(Rabie *et al.*, 2014)。而脂肪是加热生成香气成分不可缺少的物质, 高含量的多不饱和脂肪酸能显著增加香味, 同时一定程度上反映肌肉的多汁性(孙玉明等, 1993)。各群体风味氨基酸和多不饱和脂肪酸的聚类分析结果均表明: Zw、Zc与Gq群体较为接近, Fx、Zn与Zs群体较为接近, 表明这几个群体具有比较相近的氨基酸及脂肪酸组成及含量。风味氨基酸聚类热图(图2)显示, Zw、Zc与Gq群体三种主要风味氨基酸(Gly、Ala和Pro)总含量显著高于另外3个群体, 具有相对较强的清甜味道; 而Fx、Zn与Zs群体则具有较高的多不饱和脂肪酸含量(图3), 与另外3个群体相比具有较强的香味及多汁性, 同时, 这三个群体EPA和DHA含量也高于另外三个群体, 具有较高的脂肪酸营养价值。水产动物的营养成分主要受环境(温度、盐度、饵料种类与丰度等)和遗传因素(基因结构、发育阶段等)等多方影响(罗少杰等, 2016)。主成分分析结果表明各群体的氨基酸与脂肪酸组成与含量相似性与地理距离分布具有一定的相关性, 特别是广西钦州群体, 在氨基酸与脂肪酸的分类中与其他群体区分比较明显。东海及南海海域不同的环境及饵料生物来源可能是造成营养成分差别的原因之一, 对拟穴青蟹不同群体栖息地环境、遗传背景和营养组成的关系, 还需进一步研究。

4 结论

综上, 六个野生群体的拟穴青蟹肌肉的游离氨基酸和脂肪酸种类丰富, 均富含对人体有益的EPA、

DHA 和增加肉质益味的风味氨基酸及不饱和脂肪酸, 味道鲜美, 且具有较高的营养价值和保健作用。其中部分群体的营养指标表现出显著的优势: 钦州群体总游离氨基酸及风味氨基酸含量较高; 宁海和三门群体含有较高的 EPA 和 DHA; 三门群体必需氨基酸含量高于其他群体, $\omega 3/\omega 6$ 值显著高于其他群体。各群体的氨基酸与脂肪酸组成与含量相似性与地理距离分布具有一定的相关性, 特别是钦州群体, 在氨基酸与脂肪酸的分类中与其他群体区分比较明显。各群体风味氨基酸和多不饱和脂肪酸的聚类分析结果均表明: Zw、Zc 与 Gq 群体较为接近, 具有较强的甜味; Fx、Zn 与 Zs 群体较为接近, 具有较强的香味及不饱和脂肪酸营养价值。这些营养品质呈现的多样性, 可为拟穴青蟹资源的市场推广、品种选育及资源保护提供参考。

参 考 文 献

- 王 娟, 2013. 中国对虾、南美白对虾和斑节对虾肌肉营养成分的比较. 食品科技, 38(6): 146—150
- 付 娜, 王锡昌, 2014a. 电子舌分析和感官评价在游离氨基酸对中华绒螯蟹整体滋味贡献评价中的研究. 食品工业科技, 35(20): 91—96
- 付 娜, 王锡昌, 汤辰婧等, 2014b. 气相色谱法分析中华绒螯蟹 4 个部位中总脂肪酸和游离脂肪酸含量与组成. 食品工业科技, 35(13): 305—311
- 刘 磊, 王春琳, 母昌考等, 2017. 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. 食品科学, 38(20): 55—62
- 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, 2018. 中国渔业统计年鉴 第二部分: 生产. 北京: 中国农业出版社, 15—45
- 孙玉明, 罗 朋, 1993. 畜禽肉品的理化特性. 见: 孙玉明, 罗朋. 畜禽肉品学. 济南: 山东科学技术出版社, 175—196
- 李旭宏, 龚建平, 2003. 甘氨酸对肝脏保护作用的研究进展. 国外医学·消化系统疾病分册, 23(6): 341—344
- 李来好, 刁石强, 陈培基等, 1999. 南海珍珠贝肉的营养成分分析与评价. 水产学报, 23(4): 392—397
- 吴海歌, 刘发义, 李光友, 2001. 兰蛤营养成分的研究. 黄渤海海洋, 19(3): 82—86
- 何 杰, 吴旭干, 龙晓文等, 2016. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)野生和养殖蟹种对池塘养殖成蟹可食率和营养品质的影响研究. 海洋与湖沼, 47(1): 140—150
- 汪 倩, 2012. DHA/EPA 和 HUFA 对三疣梭子蟹营养品质的影响. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, 20—30
- 汪 倩, 吴旭干, 楼 宝等, 2013. 三疣梭子蟹不同部位肌肉主要营养成分分析. 营养学报, 35(3): 310—312
- 林 叶, 苏秀榕, 孙 蓓等, 2006. 不同种群缢蛏氨基酸及脂肪酸比较研究. 食品科学, 27(12): 675—678
- 林 琪, 李少菁, 黎中宝等, 2007. 中国东南沿海青蟹属(*Scylla*)的种类组成. 水产学报, 31(2): 211—219
- 罗少杰, 杨创业, 王庆恒等, 2016. 光裸星虫 4 个野生群体的营养成分分析与品质评价. 广东海洋大学学报, 36(1): 25—30
- 屈爱静, 郭素丽, 王 伟, 2011. 精氨酸与心血管疾病及其运动干预的研究进展. 当代体育科技, 1(5): 9—10, 12
- 徐 鑫, 李吕木, 吴 东, 2015. 精氨酸的研究进展. 饲料博览, (3): 15—20
- Barrento S, Marques A, Teixeira B *et al*, 2010. Chemical composition, cholesterol, fatty acid and amino acid in two populations of brown crab *Cancer pagurus*: Ecological and human health implications. Journal of Food Composition and Analysis, 23(7): 716—725
- Çelik M, Türeli C, Çelik M *et al*, 2004. Fatty acid composition of the blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) in the north eastern Mediterranean. Food Chemistry, 88(2): 271—273
- Food and Agriculture Organization, 1994. Fats and oils in human nutrition: Report of a joint expert consultation. Rome: FAO
- Jiang KJ, Zhang FY, Pi Y *et al*, 2014. Amino acid, fatty acid, and metal compositions in edible parts of three cultured economic crabs: *Scylla paramamosain*, *Portunus trituberculatus*, and *Eriocheir sinensis*. Journal of Aquatic Food Product Technology, 23(1): 73—86
- Meng F T, Gao H N, Tang X M *et al*, 2017. Biochemical composition of pond-cultured vs. wild gravid female mud crab *Scylla paramamosain* in Hainan, China: evaluating the nutritional value of cultured mud crab. Journal of Shellfish Research, 36(2): 445—452
- Rabie M A, Peres C, Malcata F X, 2014. Evolution of amino acids and biogenic amines throughout storage in sausages made of horse, beef and turkey meats. Meat Science, 96(1): 82—87
- Skonberg D I, Perkins B L, 2002. Nutrient composition of green crab (*Carcinus maenus*) leg meat and claw meat. Food Chemistry, 77(4): 401—404
- Sreelakshmi KR, Manjusha L, Vartak VR *et al*, 2016. Variation in proximate composition and fatty acid profiles of mud crab meat with regard to sex and body parts. Indian Journal of Fisheries, 63(2): 147—150
- Van Den Dool H, Kratz P D, 1963. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. Journal of Chromatography A, 11: 463—471
- Xu X H, Liu X, 2013. Nutritional Composition of muscles from 8 species of economic fishes. Food Science, 34(21): 75—82

COMPARISON OF AMINO ACID AND FATTY ACID COMPOSITION IN *SCYLLA PARAMAMOSAIN* FROM SIX DIFFERENT WILD POPULATIONS

LI Yong-Liang^{1,2}, ZHAO Huan-Huan¹, LI Rong-Hua^{1,2}, WANG Chun-Lin^{1,2}, MU Chang-Kao^{1,2},
SONG Wei-Wei¹, YE Yang-Fang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China;
2. Collaborative Innovation Center for Zhejiang Marine High-efficiency and Healthy Aquaculture, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract In this study, we analyzed the amino acid composition and fatty acid composition of *Scylla paramamosain* collected from six different wild populations: Qinzhou, Guangxi Province (Gq); Xiapu, Fujian Province (Fx); Wenzhou, Zhejiang Province (Zw); Sanmen, Zhejiang Province (Zs); Ninghai, Zhejiang Province (Zn); Cixi, Zhejiang Province (Zc). A total of 19 free amino acids and 26 fatty acids were identified from 6 populations. The amino acid content ranged from 80.94—191.39mg/g, the highest amino acid content was detected in Gq population; the total fatty acid content ranged from 7.97—11.38mg/g, the highest fatty acid content was detected in Zn population. The main amino acids were glycine and arginine, and the main fatty acid was C20:5n3 (EPA), which accounted for (22.47±5.84)% of total fatty acids. There were abundant flavor amino acids and polyunsaturated fatty acids in all the populations, which accounted for (53.62±5.43)% of the total free amino acids (TDAA/TFAA) and (59.27±5.29)% of the total fatty acids (PUFA/TFA). The highest essential amino acid contents and C22:6n3 (DHA) were found in the Zs population. Principal component analysis showed that the composition and content of amino acids and fatty acids were correlated with geographical distribution of these populations; especially in Gq population, the similarities of amino acids and fatty acids were more distinct from other populations. The results of cluster analysis of flavor amino acids and polyunsaturated fatty acids showed that Zw, Zc and Gq populations were grouped in a clade and had strong sweetness, while Fx, Zn and Zs populations were grouped in another clade and had strong aroma and nutritional value of unsaturated fatty acids.

Key words *Scylla paramamosain*; populations; free amino acids; fatty acids