

4 个文蛤群体鲜味物质比较分析

王超^{1,2}, 陈爱华¹, 姚国兴¹, 曹奕¹, 吴杨平¹, 张雨¹, 蔡永祥¹

(1. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 以江苏文蛤(*Meretrix meretrix*)为研究对象, 采集红壳色文蛤原种、黄壳色文蛤原种、红壳色文蛤选育 F₁、红壳色文蛤选育 F₂ 4 个群体, 检测其主要非挥发性鲜味物质成分单磷酸腺苷(AMP)、单磷酸鸟苷(GMP)、次黄嘌呤核苷酸(IMP)、琥珀酸、游离氨基酸、无机离子(Na⁺、K⁺、Cl⁻、PO₄³⁻)的含量, 并通过味道强度值(TAV)评价其呈味作用。鉴于核苷酸与氨基酸在呈味方面的协同效应, 采用味精当量(EUC)评价不同文蛤群体的鲜味品质。结果表明, 文蛤软体组织中 AMP、琥珀酸、谷氨酸、精氨酸、丙氨酸、Na⁺、K⁺、Cl⁻的 TAV 值大于 1, 是文蛤鲜味的主要贡献者; 红壳色文蛤原种的鲜味强度最大(4.92 g/100g), 其子代红壳色文蛤 F₁(4.08 g/100g)、红壳色文蛤 F₂(4.09 g/100g)稍有降低, 但仍显著高于黄壳色文蛤原种(3.34 g/100g)(*P*<0.05), 表明江苏红壳色文蛤在鲜味品质方面具有相对稳定的较高品质。

关键词: 文蛤(*Meretrix meretrix*); 红壳色; 黄壳色; 选育; 鲜味物质

中图分类号: S917.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)09-0045-08

doi: 10.11759/hyxx20151225003

文蛤(*Meretrix meretrix*)隶属于软体动物门(Mollusca)、瓣鳃纲(Lamellibranchia)、帘蛤目(Veneroidea)、帘蛤科(Veneridae)、文蛤属, 是我国重要的海产经济贝类之一。文蛤营养丰富, 肉味鲜美, 被历代帝王将相和文人墨客视为珍馐, 更受到广大百姓的喜爱, 素有“天下第一鲜”之美誉。目前关于文蛤物质成分的研究, 主要集中在常规营养物质分析^[1-3]、药用活性成分分析^[4-8]、微量元素^[9]及重金属^[10]分析方面, 为文蛤的营养品质及药用价值等提供了科学的数据。然而, 对于被人们所熟知的鲜味方面却研究较少。杨晋等^[11]通过阐述文蛤的一般营养成分、脂肪酸组成、游离氨基酸、无机离子等, 分析了文蛤中营养成分对风味的贡献。陈德慰等^[12]研究了广西北部湾牡蛎(*Crassostrea rivularis*)、文蛤、波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)3 种贝类的呈味核苷酸、糖原等的含量, 并比较了三者之间的差异。而针对文蛤的鲜味物质分析及不同壳色及其选育后代文蛤的鲜味物质差异比较则未见报道。

在贝类研究中发现, 壳色是一种可稳定遗传的表型性状^[13]。文蛤自然群体以黄壳色居多, 但红壳色文蛤因其鲜艳的色彩而备受消费者的青睐。据报道, 红壳色文蛤在日本市场的售价远高于其他壳色文蛤, 但在自然界的存量只有 1%~3%^[14]。因此, 江苏省文蛤良种场已开展红壳色文蛤育种研究^[15-16]。文章通过对江苏文蛤红、黄两种壳色以及红壳色文蛤自繁

选育 F₁、F₂ 的主要非挥发性鲜味物质成分单磷酸腺苷(adenosine monophosphate, AMP)、单磷酸鸟苷(guanosine monophosphate, GMP)、次黄嘌呤核苷酸(hypoxanthine nucleotide, IMP)、琥珀酸、游离氨基酸、无机离子(Na⁺、K⁺、Cl⁻、PO₄³⁻)的含量进行定量检测, 分析两种壳色文蛤及红壳色选育子代的鲜味品质差异, 以期为文蛤良种选育及文蛤在调味产品开发方面的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料及主要仪器

试验文蛤样品于 2015 年 9 月 12 日取自江苏省文蛤良种场保种及选育的江苏南通文蛤, 其中红、黄

收稿日期: 2015-12-25; 修回日期: 2016-04-06

基金项目: 江苏省科技厅重点研发项目 (BE2015324), 江苏省水产三新工程项目(D2014-16); 江苏省属公益类科研院所能力提升项目 (BM2015017); 江苏省水产良种保种和亲本更新项目(BZ2015, 2016); 南通市农业科技创新项目(HL2014007)

[Foundation: Key Research and development Project of Jiangsu Science and Technology Department, No. BE2015324; Aquatic Three Innovations Project of Jiangsu Province, No. D2014-16; Jiangsu Provincial Public Scientific Research Institution Ability Enhancement Project, No. BM2015017; Aquatic Breed Conservation and Parent Update Project of Jiangsu Province, No. BZ2015, 2016; Agriculture Science and Technology Innovation Project of Nantong, No. HL2014007]

作者简介: 王超(1990-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 从事贝类增殖学研究, E-mail: wangchao7198@163.com; 陈爱华, 通信作者, 研究员, 电话: 0513-85228272, E-mail: chenah540540@aliyun.com

2种壳色文蛤原种为2012年10月从南通自然海区采集,之后与选育的红壳色文蛤 $F_1(2010)$ 、 $F_2(2011)$ 群体在同等条件下养殖。4个文蛤群体各取15个,规格如下:红壳色文蛤原种: (5.55 ± 0.51) cm、黄壳色文蛤原种: (5.54 ± 0.76) cm、红壳色文蛤 F_1 : (4.82 ± 0.38) cm、红壳色文蛤 F_2 : (4.08 ± 0.50) cm。在蓄水池中暂养2 d,清洗后运至实验室手工去壳,取软体部分,绞碎匀浆, -20°C 储藏备用。

主要仪器: Agilent 1260 高效液相色谱仪、Agilent 1100 高效液相色谱仪、Spectr AA-220/220Z 型原子吸收分光光度计、UV2100 型紫外可见分光光度计。

1.2 试验方法

1.2.1 游离氨基酸的测定

精确称取 5.00 g 样品,加入 25 mL 5% 的三氯乙酸,超声提取 50 min,过滤,取 1 mL 液体, 4°C 、10000 r/min 条件下离心 10 min,取样 0.4 mL, Agilent 1100 高效液相色谱仪测定氨基酸组成和含量。色谱条件:安捷伦 250 mm \times 4.6 mm 色谱柱,柱温 40°C ,流速 1.0 mL/min。流动相 A: 20 mmol 醋酸钠;流动相 B: 20 mmol 醋酸钠:甲醇:乙腈=1:2:2(V/V)。检测波长: 338 nm。

1.2.2 核苷酸的测定

精确称取 5.00 g 样品,加入 20 mL 8% 的冷高氯酸溶液均质匀浆,在冷水环境下超声提取 5 min, 4°C 、10000 r/min 条件下离心 20 min,取上清液,沉淀物重复提取一次,合并上清液。用 1 mol/L 和 5 mol/L 的氢氧化钾溶液调节 pH 至 6.5~6.8, 4°C 下静置 30 min 以沉淀高氯酸钾, 4°C 、10000 r/min 条件下离心 10 min,将上清液用水定容至 25 mL,取 1 mL 待用, Agilent 1260 高效液相色谱仪测定。HPLC 色谱条件: Diamonsil C18 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm),柱温: 30°C ,流动相: 甲醇/水/磷酸(5:95:0.05),流速: 0.8 mL/min,进样量: 5 μL ,检测波长: 254 nm。

1.2.3 琥珀酸的测定

精确称取 3.00 g 样品,加入 20 mL 蒸馏水,超声提取 25 min, 4°C 静置 30 min 左右, 4°C 、10000 r/min 条件下离心 10 min。保留上清液并定容至 25 mL,取 1 mL 待用, Agilent 1260 高效液相色谱仪测定。HPLC 色谱条件: Diamonsil C18 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm),柱温: 30°C ,流动相: 甲醇/水/磷酸(5:95:0.05),流速: 0.8 mL/min,进样量: 5 μL ,检测波长: 210 nm。

1.2.4 无机离子的测定

Na^+ 、 K^+ 的测定: 火焰发射光谱法(GB/T 5009.91-2003)。

Cl^- 的测定: 硝酸银沉淀法(GB/T 12457-2008)。

PO_4^{3-} 的测定: 钼蓝比色法(GB/T 5009.87-2003)。

以上实验的高效液相色谱及原子吸收光谱送江南大学食品科学与技术国家重点实验室检测。

1.3 数据分析方法

1.3.1 味道强度值与味精当量

味道强度值(Taste Activity Value, TAV): 呈味物质在样品中的含量与其味道阈值的比值。当 TAV>1 时,该呈味物质对样品的呈味有贡献,其值越大贡献越大,反之亦然。

味精当量(Equivalent Umami Concentration, EUC): EUC 表示呈味核苷酸与鲜味氨基酸混合物协同作用产生的鲜味强度相当于产生相同鲜味强度所需单一味精的量。

公式 1: $EUC = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j)$

式中: EUC 为味精当量(g/100g); a_i 为鲜味氨基酸(Asp 或 Glu)的量(g/100g); b_i 为鲜味氨基酸对谷氨酸钠(MSG)的相对鲜度系数(Glu 为 1; Asp 为 0.077); a_j 为呈味核苷酸(5'-AMP、5'-IMP、5'-GMP)的量(g/100g); b_j 为呈味核苷酸对 IMP 的相对鲜度系数(5'-AMP 为 0.18、5'-IMP 为 1、5'-GMP 为 2.3); 1218 是协同作用常数。

1.3.2 统计分析

每组数据平行测定 3 次,采用 SPSS21.0 软件进行单因素方差分析,并用 Duncan 法进行多重比较,结果用平均值 \pm 标准偏差表示,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 游离氨基酸

如表 1 所示,红壳色文蛤原种的游离氨基酸总量最高(416.82 mg/100g),其次是红壳色文蛤 $F_1(373.17)$ mg/100g)、红壳色文蛤 $F_2(368.03)$ mg/100g),黄壳色文蛤原种最低(363.19 mg/100g)。在检测的 17 种游离氨基酸中, Glu 是呈鲜味氨基酸,其含量最高,且具有较低的味道阈值,在 4 种文蛤中平均 TAV 值达到 3.16,表明 Glu 对文蛤的鲜味具有重要贡献。Asp、Gly、Ala 是呈鲜甜味氨基酸,三者中 Ala 含量最高,平均 TAV 值达到 1 以上,是文蛤鲜味的主要贡献者,Asp、Gly 由于味道阈值较高,导致 TAV

值偏低,未能表现出直接呈鲜味作用。可见文蛤中直接呈鲜味的氨基酸为 Glu、Ala,此二者在红壳色文蛤原种及其 F₁、F₂ 中的含量均显著高于黄壳色文蛤原种,其中,红壳色文蛤原种的 Glu 含量最高,红壳色文蛤 F₂ 的 Ala 含量最高。4 种文蛤鲜味氨基酸总量(Asp、Glu、Gly、Ala)均占总游离氨基酸量的 50% 以上,红壳色文蛤原种及其 F₁、F₂ 的鲜味氨基酸量显著高于黄壳色文蛤原种,红壳色文蛤原种显著高于红壳色文蛤 F₁、F₂,红壳色文蛤 F₁、F₂ 之间差异

不显著。

Arg 是带有微甜的苦味氨基酸,其苦味可被氯化钠、谷氨酸钠或 AMP 掩饰。Arg 具有提鲜作用^[17],并能够赋予海鲜一个适宜的整体风味。如表 1 所示,Arg 的含量仅次于 Glu,其平均 TAV 值为 1.32,对文蛤的鲜味具有明显增强作用。Ser、Thr、Cys、Pro 是甜味氨基酸,His、Tyr、Val、Met、Phe、Ile、Leu、Lys 是苦味氨基酸,但它们的 TAV 值均小于 1,对文蛤的呈味作用并不明显。

表 1 4 种文蛤的游离氨基酸含量和 TAV 值(以湿重计)

Tab. 1 Content and TAV of free amino acids in the four types of *Meretrix meretrix* (wet weight basis)

游离氨基酸	呈味特性	含量 (mg/100g)				味道阈值 (mg/100g)	TAV			
		红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂		红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂
天冬氨酸 Asp	鲜甜	26.04±1.52 ^{ab}	28.37±1.55 ^a	25.93±1.29 ^{ab}	24.08±1.70 ^b	100	0.26	0.28	0.26	0.24
谷氨酸 Glu	鲜	100.13±2.27 ^a	86.12±3.17 ^b	96.21±2.83 ^a	99.70±2.34 ^a	30	3.34	2.87	3.21	3.23
丝氨酸 Ser	甜	3.13±0.45 ^a	2.35±0.31 ^b	2.22±0.18 ^b	2.25±0.16 ^b	150	0.02	0.02	0.01	0.02
组氨酸 His	苦	6.33±0.18 ^a	5.01±0.21 ^b	4.96±0.29 ^b	4.54±0.22 ^c	20	0.32	0.25	0.25	0.23
甘氨酸 Gly	鲜甜	34.21±0.41 ^b	37.85±1.44 ^a	26.81±2.24 ^c	22.41±1.45 ^d	130	0.26	0.29	0.21	0.17
苏氨酸 Thr	甜	13.92±0.77 ^a	11.47±0.73 ^b	12.18±0.54 ^b	11.15±0.78 ^b	260	0.05	0.04	0.05	0.04
精氨酸 Arg	苦	70.90±1.73 ^a	64.55±1.22 ^b	64.66±0.88 ^b	63.05±0.80 ^b	50	1.42	1.29	1.29	1.26
丙氨酸 Ala	鲜甜	61.43±0.77 ^b	51.30±2.14 ^c	60.41±1.11 ^b	66.76±1.24 ^a	60	1.02	0.86	1.01	1.11
酪氨酸 Tyr	苦	10.56±0.44 ^a	8.67±0.70 ^b	9.29±0.66 ^b	9.13±0.50 ^b	—	—	—	—	—
半胱氨酸 Cys	甜	1.11±0.13 ^a	0.65±0.07 ^b	0.70±0.07 ^b	0.71±0.04 ^b	—	—	—	—	—
缬氨酸 Val	苦	10.94±0.78 ^a	8.84±0.41 ^b	9.83±0.72 ^a	9.05±0.10 ^b	40	0.27	0.22	0.25	0.23
甲硫氨酸 Met	苦	7.23±0.41 ^a	6.07±0.23 ^b	6.73±0.28 ^a	5.77±0.35 ^b	30	0.24	0.20	0.22	0.19
苯丙氨酸 Phe	苦	9.83±0.12 ^a	6.91±0.33 ^c	8.04±0.14 ^b	8.04±0.12 ^b	90	0.11	0.08	0.09	0.09
异亮氨酸 Ile	苦	13.67±0.21 ^a	10.03±0.16 ^c	11.91±0.45 ^b	11.45±0.36 ^b	90	0.15	0.11	0.13	0.13
亮氨酸 Leu	苦	12.98±0.11 ^a	9.43±0.28 ^c	10.84±0.68 ^b	10.07±0.47 ^{bc}	190	0.07	0.05	0.06	0.05
赖氨酸 Lys	苦	24.12±1.58 ^a	16.38±2.09 ^b	15.46±0.73 ^b	14.58±0.82 ^b	50	0.48	0.33	0.31	0.29
脯氨酸 Pro	甜	10.28±0.27 ^a	7.85±0.17 ^b	7.99±0.16 ^b	7.31±0.06 ^c	300	0.03	0.03	0.03	0.02
ΣUAA		221.81±3.46 ^a	203.64±1.68 ^c	209.37±3.61 ^b	212.95±0.92 ^b					
ΣFAA		416.82±3.84 ^a	361.85±5.62 ^c	374.17±5.06 ^b	370.03±2.29 ^b					

注: FAA: 游离氨基酸; UAA: 鲜味氨基酸(Asp、Glu、Gly、Ala); a, b, c, d 代表群体间显著性差异(P<0.05)

2.2 呈味核苷酸与味精当量

游离氨基酸和呈味核苷酸是水产品的主要鲜味物质,同时,二者之间的协同效应可显著增加鲜味。由表 2 可知,4 种文蛤均检测出 AMP、GMP、IMP,其中 AMP 的含量最高,TAV>1,是主要呈味核苷酸,而红壳色文蛤的含量显著高于黄壳色文蛤,红壳色文蛤 F₁ 含量最高(61.21 mg/100g)。GMP 和 IMP 本身具有强烈的鲜味,但含量较低,TAV<1,直接呈味作用不明显,在红壳色文蛤原种中的含量显著高于其他 3

种文蛤。另外,AMP 和 IMP 之间具有协同作用,当存在较低浓度的 IMP 时,AMP 的鲜味和甜味得到增强^[18]。

表 3 用 EUC 来表示 4 种文蛤的呈味氨基酸和呈味核苷酸的协同增鲜作用。EUC 值从高到低依次为红壳色文蛤原种(4.92 g/100g)、红壳色文蛤 F₂(4.09 g/100g)、红壳色文蛤 F₁(4.08 g/100g)、黄壳色文蛤原种(3.34 g/100g)。红壳色文蛤原种及其 F₁、F₂ 的 EUC 显著高于黄壳色文蛤原种,其中红壳色文蛤原种显著高于红壳色文蛤 F₁、F₂,红壳色文蛤 F₁、F₂ 之间没有显著性差异。从味精当量来看,红壳色文蛤原种

表 2 4 种文蛤的呈味核苷酸含量和 TAV 值(以湿重计)

Tab. 2 Content and TAV of tasty nucleotides in the four types of *Meretrix meretrix* (wet weight basis)

核苷酸	含量(mg/100g)				味道阈值 (mg/100g)	TAV			
	红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂		红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂
AMP	54.88±2.34 ^b	50.52±2.25 ^c	61.21±2.25 ^a	56.24±2.57 ^b	50.00	1.10	1.01	1.22	1.12
GMP	9.12±0.24 ^a	7.37±0.43 ^b	7.76±0.48 ^b	7.60±0.32 ^b	12.50	0.73	0.59	0.62	0.61
IMP	7.85±0.23 ^a	4.19±0.23 ^c	4.43±0.23 ^{bc}	4.65±0.26 ^b	25.00	0.31	0.17	0.18	0.19

注: a, b, c 代表群体间显著性差异($P<0.05$)

表 3 4 种文蛤的味精当量(以湿重计)

Tab. 3 EUC of the four types of *Meretrix meretrix* (wet weight basis)

EUC 参数	含量(mg/100g)			
	红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂
Asp	26.04±1.52 ^{ab}	28.37±1.55 ^a	25.93±1.29 ^{ab}	24.08±1.70 ^b
Glu	100.13±2.27 ^a	86.12±3.17 ^b	96.21±2.83 ^a	99.70±2.34 ^a
AMP	54.88±2.34 ^b	50.52±2.25 ^c	61.21±2.25 ^a	56.24±2.57 ^b
GMP	9.12±0.24 ^a	7.37±0.43 ^b	7.76±0.48 ^b	7.60±0.32 ^b
IMP	7.85±0.23 ^a	4.19±0.23 ^c	4.43±0.23 ^{bc}	4.65±0.26 ^b
EUC(g/100g)	4.92±0.21 ^a	3.34±0.30 ^c	4.08±0.036 ^b	4.09±0.26 ^b

注: a, b, c 代表群体间显著性差异($P<0.05$)

的鲜味度最高, 其选育子代鲜味虽有所下降, 但仍显著高于黄壳色文蛤原种, 表明红壳色文蛤的鲜味品质优于黄壳色文蛤, 且具有相对稳定的遗传特征。

2.3 琥珀酸与无机离子

琥珀酸是食品中的强力鲜味剂, 大量存在于海产贝类中, 是贝类特征滋味形成的主要有机酸。由表 4 可知, 黄壳色文蛤原种琥珀酸含量最高(139.47 mg/100g), 其次是红壳色文蛤原种(105.10 mg/100g), 红壳色 F₁(86.36 mg/100g)、F₂(72.36 mg/100g)含量相对较低。黄壳色文蛤的琥珀酸含量显著高于红壳色文蛤, 红壳色文蛤选育后 F₁、F₂ 含量下降。琥珀酸在 4 种文蛤中的 TAV 值较高, 对文蛤的特征滋味形成具有重要贡献。

无机离子是海产品中必不可少的辅助呈味成分, Na⁺的减缺导致贝类甜味、咸味、鲜味和特征风味的明显劣化, K⁺的减缺将导致贝类的鲜味和风味降低, 而 Cl⁻的减缺使合成浸出物几乎无味, PO₄³⁻对呈味起

修饰作用, 其缺失使甜味、咸味、鲜味均稍有下降。由表 5 可知, Na⁺平均含量为 492.31 mg/100g, K⁺平均含量为 172.25 mg/100g, Cl⁻平均含量为 565.54 mg/100g, PO₄³⁻平均含量为 103.30 mg/100g。四种无机离子含量丰富, 其中 Na⁺、K⁺、Cl⁻的 TAV>1, PO₄³⁻的 TAV 值也接近 1, 不会因缺失造成文蛤的鲜味下降。

3 讨论

3.1 文蛤的主要非挥发性鲜味物质组成

大量研究表明, 鲜味同酸、甜、苦、咸一样, 属基本味感之一^[19-20], 鲜味物质是能产生这种味感的物质。海产品又称“海鲜”, 鲜味物质丰富, 其中氨基酸、核苷酸、有机酸是其鲜味形成的共同物质基础。另外, 鱼、虾、蟹、贝等不同海产品还含有呈现不同特征的其他辅助呈味物质, 各类鲜味物质的构成及相互作用形成它们特有的滋味。海产贝类味道鲜美, 风味独特, 历来受到国内外研究者的重视。有研究表

表 4 4 种文蛤的琥珀酸含量和 TAV 值(以湿重计)

Tab. 4 Content and TAV of succinic acid in the four types of *Meretrix meretrix* (wet weight basis)

有机酸	含量(mg/100g)				味道阈值 (mg/100g)	TAV			
	红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂		红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂
琥珀酸	105.10±12.06 ^b	139.47±9.30 ^a	86.36±2.71 ^c	72.36±2.07 ^c	10.60	9.92	13.16	8.15	6.83

注: a, b, c, d 代表群体间显著性差异($P<0.05$)

表 5 4 种文蛤的无机离子含量和 TAV 值(以湿重计)

Tab. 5 Content and TAV of inorganic ions in the four types of *Meretrix meretrix* (wet weight basis)

无机离子	含量(mg/100g)				味道阈值 (mg/100g)	TAV			
	红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂		红壳色原种	黄壳色原种	红壳色 F ₁	红壳色 F ₂
Na ⁺	426.70±14.38 ^c	534.43±12.15 ^a	541.95±10.48 ^a	466.17±10.07 ^b	180	2.37	2.97	3.01	2.59
K ⁺	178.24±1.49 ^a	156.69±1.41 ^b	177.48±1.42 ^a	176.57±1.06 ^a	130	1.37	1.21	1.37	1.36
Cl ⁻	583.76±5.59 ^b	501.73±4.02 ^d	557.65±4.53 ^c	619.02±5.59 ^a	266	2.19	1.87	2.17	2.33
PO ₄ ³⁻	126.04±1.85 ^a	91.49±1.70 ^c	116.09±3.38 ^b	79.58±3.97 ^d	130	0.97	0.70	0.89	0.61

注: a, b, c, d 代表群体间显著性差异(P<0.05)

明, 菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的特征滋味由 AMP、Glu、Gly、Arg、琥珀酸等特征风味及 Na⁺、K⁺、Cl⁻等无机成分辅助作用构成^[21]。扇贝(Pectinidae)的有效鲜味成分为 AMP、Glu、Ala、Arg、Gly、Na⁺、K⁺、Cl⁻^[22]。该研究中, 检测到文蛤软体组织含有鲜味核苷酸 AMP、GMP、IMP, 鲜味氨基酸 Asp、Glu、Ala、Gly、Arg 等, 辅助呈味离子 Na⁺、K⁺、Cl⁻、PO₄³⁻以及特征滋味成分琥珀酸。其中, AMP、琥珀酸、Glu、Ala、Arg、Na⁺、K⁺、Cl⁻的味道强度值大于 1, 对文蛤鲜味起主要贡献作用, 是文蛤的有效鲜味成分。

该研究所检测文蛤四种无机离子含量与杨晋等^[11]的研究结果在同一水平, 主要呈鲜味游离氨基酸 Asp、Glu、Gly、Arg 等与陈德慰等^[12]的研究结果处于同一水平, 文蛤中琥珀酸的含量则未见报道。关于呈味核苷酸, 陈德慰等^[12]在文蛤中仅检测到 AMP (14.8 mg/100g), 与该研究存在一定的差异。一方面可能是文蛤生长环境以及采样季节不同造成的; 另

一方面, 前者在样品处理中去除内脏, 而该研究考虑到人们对文蛤的食用习惯保留了全部软体组织, 可能提高了相关物质及催化酶的含量, 使结果产生差异。另外, 该研究在 4 种文蛤中均检测到 IMP 的存在。动物被宰杀后, 体内的分解代谢仍会继续, 肌肉中 ATP 的降解过程如图 1 所示, 若按途径 A 降解容易积累 IMP, 按途径 B 降解容易积累 AMP。一般认为, 贝类和章鱼等软体动物按途径 B 分解 ATP^[21], 因此在贝类中不会积累 IMP。但在冰藏牡蛎^[23]、冰藏缢蛭(*Sinonovacula constricta*)^[24]的研究中发现有 IMP 的积累, 刘云等^[25]在长牡蛎(*Ostrea gigas*)、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、中国蛤蜊(*Mactra chinensis*)中也检测到 IMP。刘亚等^[26]通过研究认为, 马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)同时存在着 A、B 两条途径。从以上研究可推测贝类 ATP 的降解可能存在着 A、B 两条途径, 是否存在 A 途径主要取决于腺苷酸脱氨酶的活性。该研究中文蛤积累了大量 AMP 与少量 IMP, 表明文蛤 ATP 的降解以 B 途径为主, A 途径为辅。

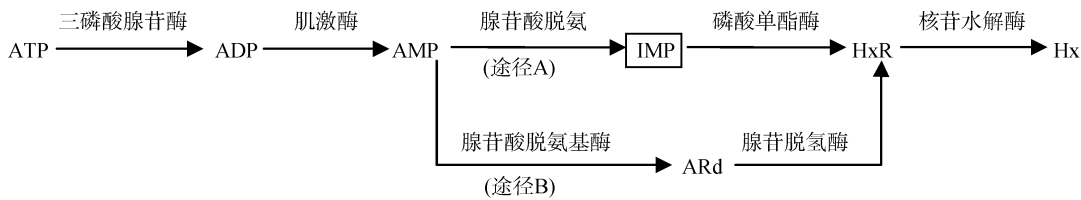


图 1 肌苷酸产生机制

Fig. 1 Formation mechanism of inosinic acid

注: ATP, 三磷酸腺苷; ADP, 二磷酸腺苷; AMP, 一磷酸腺苷; IMP, 次黄嘌呤核苷酸; HxR, 肌苷(次黄嘌呤核苷); AdR, 腺嘌呤核苷酸; Hx, 次黄嘌呤

3.2 4 种文蛤鲜味差异比较

文蛤的主要鲜味氨基酸 Glu、Ala 以及主要呈味核苷酸 AMP 在红壳色文蛤中的含量显著高于黄壳色文蛤, 而琥珀酸的含量则为黄壳色文蛤显著高于红壳色文蛤。结合味精当量分析, 江苏红壳色文蛤原种鲜味最优、其次是红壳色文蛤 F₁、F₂, 江苏黄壳色文蛤原种鲜味强度相对较低, 但黄壳色文蛤在琥珀酸

特征性滋味上强于红壳色文蛤。4 种文蛤的平均 EUC 值为 4.11 g/100g, 高于波纹巴非蛤(2.7 g/100g)和牡蛎(3.2 g/100g)^[12], 鲜味度和中华绒螯蟹(4.29 g/100g)^[27]几乎相当, 其中江苏红壳色文蛤原种的 EUC 为 4.92 g/100g, 超过中国对虾(4.59 g/100g)^[28]。经过选育, 红壳色文蛤 F₁ 鲜度有所下降, F₂ 趋于稳定, 但仍显著高于黄壳色文蛤(P<0.05), 表明通过红壳色文蛤选育能够得到

优于黄壳色文蛤的鲜味性状。该研究中红壳色文蛤原种与黄壳色文蛤原种均为自然海区采集后保种养殖,生活环境基本一致,其差异可排除环境因素,关于物质积累与壳色形成的关系还有待进一步研究。而红壳色文蛤 F_1 、 F_2 自繁育以来一直处于人工养殖状态。摄食饵料、养殖密度等条件与自然海区相比均呈现劣势,可能是其鲜味物质积累低于红壳色文蛤原种的原因。

综上所述,文蛤是一种味道鲜美的海产品。基于红壳色文蛤的较高鲜味度、红壳色文蛤在自然界的低存量及较高的市场价值,该研究认为江苏红壳色文蛤选育具有广阔的应用前景。在调味品开发方面,江苏红壳色文蛤在鲜味氨基酸、核苷酸的制备上具有优势,而贝类特征性滋味成分琥珀酸的制备则选用黄壳色文蛤最佳。

参考文献:

- [1] 张安国,李太武,苏秀榕,等.不同地理种群文蛤的营养成分研究[J].水产科学,2006,25(2):79-81.
Zhang Anguo, Li Taiwu, Su Xiurong, et al. The nutritive contents in various populations of clam *Meretrix meretrix*[J]. Fisheries Science, 2006, 25(2): 79-81.
- [2] 陈爱辉,封功能,王爱民.江苏文蛤种群营养成分分析[J].安徽农业科学,2008,36(7):2782-2800.
Chen Aihui, Feng Gongneng, Wang Aimin. Nutritional components analysis of *Meretrix meretrix* Linnaeus populations in Jiangsu Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(7): 2782-2800.
- [3] 顾向飞,董迎辉,韩姚姚,等.3种壳色花纹文蛤常规营养成分分析与评价[J].动物营养学报,2014,26(11):1-8.
Gu Xiangfei, Dong Yinghui, Han Yaoyao, et al. Analysis and evaluation of general nutritive components of clams(*Meretrix meretrix*) with three kinds of shell colors and decorative patterns[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(11): 1-8.
- [4] Schmeer M R. Growth-Inhibiting agents from mercuraria extracts: chemical and biological properties[J]. Science, 1964, 144(3617): 413-414.
- [5] 肖湘,陈贤裕.文蛤活性蛋白的分离及体外抗氧化作用[J].中国海洋药物杂志,2007,26(6):24-27.
Xiao Xiang, Chen Xianyu. Isolation and antioxidation of bioactive proteins from *Meretrix meretrix*[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2007, 26(6): 24-27.
- [6] Karnjanapapum S, Benjakul S, Kishimmura H, et al. Chemical compositions and nutritional value of Asian hard clam (*Meretrix lusoria*) from the coast of Andaman Sea[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 4138-4145.
- [7] 杜正彩,侯小涛,黄庆,等.文蛤化学成分与药理作用研究进展[J].安徽农业科学,2014,42(2):439-441.
Du Zhengcai, Hou Xiaotao, Huang Qing, et al. Process of research on chemical constituents and pharmacological effects of *Meretrix meretrix*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(2): 439-441.
- [8] 严小丹,钱建瑛,许泓瑜,等.文蛤不同极性提取物对糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J].中国海洋药物,2015,34(5):71-76.
Yan Xiaodan, Qian Jianying, Xu Hongyu, et al. Hypoglycemic effect of different extracts from *Meretrix meretrix* in diabetic mice[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2015, 34(5): 71-76.
- [9] 凌云,万夕和,王李宝,等.南黄海沿岸滩涂文蛤中痕量硒的周年变化探讨[J].海洋科学,2014,38(1):39-43.
Lin Yun, Wan Xihe, Wang Libao, et al. Annual variation of trace selenium content in *Meretrix meretrix* in the South Yellow Sea tidal flats[J]. Marine Sciences, 2014, 38(1): 39-43.
- [10] 母清林,王晓华,余运勇,等.浙江近岸海域贝类中重金属和贝毒污染状况研究[J].海洋科学,2013,37(1):87-91.
Mu Qinglin, Wang Xiaohua, She Yunyong, et al. Contamination status of heavy metals and shellfish poisoning in the shellfish samples of Zhejiang coastal areas[J]. Marine Sciences, 2013, 37(1): 87-91.
- [11] 杨晋,陶宁萍,王锡昌,等.文蛤的营养成分及其对风味的影响[J].中国食物与营养,2007,2007(5):43-45.
Yang Jin, Tao Ningping, Wang Xichang, et al. Nutrient composition of *Meretrix meretrix* and its impact on the flavor[J]. Food and Nutrition in China, 2007, 2007(5): 43-45.
- [12] 陈德慰,苏键,刘小玲,等.广西北部湾3种贝类中主要呈味物质的测定及呈味作用评价[J].食品科学,2012,33(10):165-168.
Chen Dewei, Su Jian, Liu Xiaoling, et al. Taste evaluation of non-volatile taste compounds in bivalve mollusks from Beibu Gulf, Guangxi[J]. Food Science, 2012, 33(10): 165-168.
- [13] 朱东丽,林志华,董迎辉,等.文蛤遗传标记研究进展[J].海洋科学,2009,33(10):119-123.
Zhu Dongli, Lin Zhihua, Dong Yinghui, et al. Advances in the studies on genetic markers of *Meretrix meretrix*[J]. Marine Sciences, 2009, 33(10): 119-123.
- [14] 吴杨平,陈爱华,姚国兴,等.3个不同地理群体红壳色文蛤杂交的配合力分析[J].海洋渔业,2014,36(4):314-319.
Wu Yangping, Chen Aihua, Yao Guoxing, et al. Combining ability analysis on diallel cross from three different red *Meretrix meretrix* populations[J]. Marine

- Fisheries, 2014, 36(4): 314-319.
- [15] 张雨, 陈爱华, 姚国兴, 等. 文蛤红壳色选育子代 2 种壳色群体生长与消化酶活性的比较[J]. 江苏农业科学, 2012, 40 (3): 197-199.
Zhang Yu, Chen Aihua, Yao Guoxing, et al. Comparison of populations growth and digestive enzyme activity of two color offspring of red *Meretrix meretrix*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40 (3): 197-199.
- [16] 陈爱华, 姚国兴, 吴杨平, 等. 不同地理种群红壳色文蛤的杂种优势[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 180-183.
Chen Aihua, Yao Guoxing, Wu Yangping, et al. Heterosis effect of different geographic populations of red *Meretrix meretrix*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(1): 180-183.
- [17] 邓捷春, 王锡昌, 刘源. 暗纹东方鲀与红鳍东方鲀滋味成分差异研究[J]. 食品工业科技, 2010, 3(42): 106-108.
Deng Jiechun, Wang Xichang, Liu Yuan. Study on difference of taste compounds between *Fugu obscurus* and *Fugu rubripes*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 3(42): 106-108.
- [18] Bremner H A, Olley J. Nucleotide catabolism: influence on the storage life of tropical species of fish from the northwest shelf Australia[J]. Food Science, 1988, 53(1): 6-11.
- [19] Ikeda K. new seasoning[J]. Chemical Senses, 2002, 27(9): 847-849.
- [20] Ghirri A, Bignetti E. Occurrence and role of umami molecules in foods[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2012, 63 (7): 871-881.
- [21] Fuke S, Konosu S. Taste Active Components in Some Foods: A Review of Japanese Research[J]. Physiology & Behavior, 1991(49): 863-868.
- [22] 翁世兵, 孙恢礼. 海产鲜味物质及海产品特征滋味的研究进展[J]. 中国调味品, 2007, 345(11): 21-27.
Weng Shibing, Sun Huili. Marine umami substances and characteristic tastes of seafood[J]. China Condiment, 2007, 345(11): 21-27.
- [23] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of Pacific oyster during ice storage[J]. The Japanese Society of Fisheries Science, 1992, 58(11): 2125-2136.
- [24] 杨文鸽, 徐大伦, 孙翠玲, 等. 缢蛏冰藏保活期间呈味物质的变化[J]. 中国食品学报, 2009, 9(3): 181-186.
Yang Wenge, Xu Dalun, Sun Cuiling, et al. Changes of Taste Components in *Sinonovacula Constricta* During Iced Storage-Keeping Alive[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2009, 9(3): 181-186.
- [25] 刘云, 宫向红, 徐英江, 等. 烟台近海 3 种贝类中呈味核苷酸和氨基酸的测定及比较分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 351-360.
Liu Yun, Gong Xianghong, Xu Yingjiang, et al. Determination and comparative analysis of flavor-enhancing nucleotides and amino acids in three common shellfish from offshore Yantai[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 351-360.
- [26] 刘亚, 章超桦, 陆子锋. 高效液相色谱法检测水产品中的 ATP 关联化合物[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 137-141.
Liu Ya, Zhang Chaohua, Lu Zifeng. Detection of ATP Related compounds of sea food by HPLC[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(6): 137-141.
- [27] 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.
- [28] 陈丽花. 中国对虾风味成分的分析及其天然仿真风味料的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008: 20-27.
Chen Lihua. Analysis of flavor components of *Penaeus chinensis* and preparation of its naturas imitation flavoring[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008: 20-27.

Comparison and analysis of umami substances of four *Meretrix meretrix* populations

WANG Chao^{1,2}, CHEN Ai-hua¹, YAO Guo-xing¹, CAO Yi¹, WU Yang-ping¹,
ZHANG Yu¹, CAI Yong-xiang¹

(1. Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong 226007, China; 2. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Dec. 25, 2015

Key words: *Meretrix meretrix*; red shell color; yellow shell color; breeding; umami substances

Abstract: This study evaluated protospecies populations of *Meretrix meretrix*, collected from Jiangsu province, with red shell color and yellow shell color and F₁ and F₂ populations with red shell color to detect the primary non-volatile flavor substance components. Contents of nucleotides (AMP, GMP, IMP), succinic acid, free amino acids, inorganic ions (Na⁺, K⁺, Cl⁻, PO₄³⁻) were determined and their flavor roles were evaluated by taste intensity value (TAV). Because of the synergies between nucleotides and amino acids in terms of flavor, equivalent umami concentration (EUC) was used to evaluate the quality of flavor of different *M. meretrix* populations. Results showed that the TAV of AMP, succinic acid, Glu, Arg, Ala, Na⁺, K⁺, and Cl⁻ was greater than 1; thus, they were the major flavor contributors in *M. meretrix*; protospecies populations with red shell color had the maximum flavor intensity (4.92 g·100 g⁻¹), followed by their progeny F₁ (4.08 g·100 g⁻¹) and F₂ (4.09 g·100 g⁻¹) whose TAVs were slightly lower but still significantly higher than that of protospecies populations with yellow shell color (3.34 g·100 g⁻¹)(*P* < 0.05), indicating that *M. meretrix* populations with red shell color from Jiangsu have a relatively stable high quality in terms of flavor. This study provides a theoretical basis for breeding and application in the development of seasoning products of *M. meretrix*.

(本文编辑: 康亦兼)