

双台子河口两种滩涂埋栖性贝类的营养价值及安全性分析评价

张安国^{1,2*}, 邵森林¹, 赵凯³, 李晋⁴

(1. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁大连 116023;

2. 国家海洋环境监测中心, 辽宁大连 116023;

3. 盘山文蛤原种场, 辽宁盘锦 124200;

4. 辽宁省盘锦市海洋水产研究所, 辽宁盘锦 124010)

摘要: 为全面评价文蛤和四角蛤蜊的营养价值和食用安全性, 采用常规方法对这两种滩涂埋栖性贝类的一般营养成分和Cd、As、Cr及Hg等重金属含量进行了分析。结果显示, 文蛤和四角蛤蜊的粗蛋白质含量均较高, 分别为58.24和57.38 g/100 g; 灰分含量分别为18.35和25.39 g/100 g; 粗脂肪含量均较低。文蛤和四角蛤蜊氨基酸总量分别为44.87和37.20 g/100 g, 其中必需氨基酸含量分别为18.39和15.16 g/100 g, 呈味氨基酸含量分别为18.89和15.58 g/100 g。文蛤和四角蛤蜊中Cd的含量最高, Hg的含量最低。研究表明, 文蛤及四角蛤蜊均为营养价值、经济价值较高的滩涂埋栖性贝类, 且文蛤在蛋白质、氨基酸组成与含量方面更优。文蛤和四角蛤蜊中Cr、Hg符合我国《无公害食品水产品中有毒有害物质限量》等卫生要求, 而Cd、As含量超标。文蛤和四角蛤蜊中的重金属含量可能对人体存在一定的摄食健康风险。

关键词: 文蛤; 四角蛤蜊; 营养成分; 氨基酸; 重金属; 安全性评价

中图分类号: S 963

文献标志码: A

文蛤(*Meretrix meretrix*)和四角蛤蜊(*Macra veneriformis*)均属软体动物门(Mollusca), 双壳纲(Bivalvia)。文蛤在我国南北沿海均有分布, 尤以河口滩涂生境丰度较高。近年来, 随着市场需求增加, 文蛤增养殖业迅猛发展。据不完全统计, 全国文蛤养殖面积已达到 $1.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 年产量约 $6.0 \times 10^4 \text{ t}$, 出口量达 $2.0 \times 10^4 \text{ t}^{[1]}$ 。四角蛤蜊资源量也非常大, 仅辽宁其资源面积就达 $1.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占辽宁潮间带贝类资源分布总面积的28.3%, 居滩涂贝类之首, 资源量约 $8 \times 10^4 \text{ t}^{[2]}$ 。文蛤和四角蛤蜊主要栖息在潮间带滩涂及浅海泥沙中^[3], 并在河口生态系统中发挥着重要作用^[4-5]。近年来受石油开发、海洋工程、过度采捕以及增养殖活动影响, 其栖息生境重金属污染日趋严重^[6-7]。

一方面由于重金属污染源广, 残留时间长, 有蓄积性, 不易在生物物质循环和能量交换中分解, 可经食物链转移放大, 逐级富集产生严重危害^[8-10]。另一方面由于文蛤和四角蛤蜊主营滤食性生活并处于生态系统食物链底端, 很容易暴露于重金属等各种污染物中, 并且富集这些污染物。另外, 人们对贝类的品质和安全也越来越关注。因此, 进行滩涂埋栖性贝类的营养成分分析、安全性和健康风险评价对人类食用水产品安全至关重要。

目前, 尽管国内外学者对两种贝类营养成分进行了一些研究^[11-13], 但对以双台子河口为代表的典型河口的文蛤和四角蛤蜊自然种群营养成分和重金属含量的研究未见报道。因此, 测

收稿日期: 2016-06-01 修回日期: 2016-07-04

资助项目: 海洋公益性行业科研专项(201305043); 辽宁省自然科学基金(2015020598); 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室开放基金(201311); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金(201408)

通信作者: 张安国, E-mail: zhanganguo2003@163.com

定分析文蛤和四角蛤蜊等常见河口滩涂埋栖性经济贝类的营养成分和重金属含量,不仅有利于正确认识其经济价值,而且对评价其食品安全风险有重要现实意义。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验所用文蛤及四角蛤蜊个体均取自辽东湾双台子河口滩涂,在盘山文蛤原种场室内水泥

池暂养2 d,所用海水为双台子河口海域经沉淀砂滤的海水,以便排除贝类体内的泥沙。

1.2 样品处理

随机选取文蛤及四角蛤蜊各50个用数显游标卡尺(精度0.01 mm)分别测量文蛤和四角蛤蜊的壳长,壳高和壳宽、用电子天平(精度0.01 g)称量其个体湿重(表1)。开壳后取其软体部分于60℃条件下烘干,然后粉碎成粉末用于营养成分分析。所用试剂均为分析纯。

表1 文蛤和四角蛤蜊主要形态特征指标

Tab. 1 Main morphologic features of *M. meretrix* and *M. veneriformis*

种类 species	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width	湿重/g wet weight
文蛤 <i>M. meretrix</i>	59.80±17.47	51.00±14.41	29.17±8.02	67.26±50.68
四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	30.23±3.11	27.35±2.82	20.11±2.18	10.29±3.43

1.3 主要营养成分测定

水分含量用常压烘干法测定^[14];灰分含量用高温烧法测定^[14];多糖含量用苯酚硫酸法测定;蛋白质含量用微量凯氏定氮法测定;粗脂肪含量用索氏抽提法测定^[14];氨基酸含量用贝克曼System 6300氨基酸分析仪测定。

1.4 文蛤及四角蛤蜊体内重金属含量的测定

软体组织中铝(Al)、镉(Cd)、铬(Cr)及总汞(Hg)的含量参照SN/T 2208-2008来测定,无机砷(As)含量参照GB/T 5009.11-2003来测定。

1.5 文蛤及四角蛤蜊的污染指数评价

根据《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2012),采用单因子污染指数法^[15]对文蛤及四角蛤蜊重金属污染进行评价,计算公式:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中, P_i 为某种重金属的污染指数, C_i 为该重金属在贝类体内中的含量, S_i 为该重金属在样品标准中最高含量。 $P_i < 0.5$ 为未受污染, $0.5 < P_i < 1.0$ 为轻度污染, $P_i > 1.0$ 为重度污染。

1.6 健康风险评价

以世界卫生组织食品添加剂合作专家委员会(JECFA)提出的每日最大耐受摄入量(PMTDI)

为标准的健康风险评价方法^[16]。

$$MDI = C_i \times M_i$$

式中,MDI为理论最大摄入量[mg/(kg·d)]; C_i 为文蛤和四角蛤蜊中的重金属含量(mg/kg); M_i 为文蛤和四角蛤蜊的平均摄入量[(g/(人·日))],采用2006年辽宁省城乡居民膳食结构调查报告,平均水产品摄入量为44.3[(g/(人·日))]^[17],假定全部为文蛤或者四角蛤蜊。JECFA提出Cd的暂定PMTDI为0.001 mg/(kg·BW),人体体质量以60 kg计算,当MDI/BW小于PMTDI时,认为此重金属对人体不存在健康风险;反之,认为此重金属对人体存在健康风险。

2 结果

2.1 文蛤及四角蛤蜊软体组织的主要营养成分分析

文蛤和四角蛤蜊软体组织的粗蛋白质、粗脂肪、多糖和灰分含量中,粗蛋白质含量最高,分别占干重的58.24%和57.38%;灰分含量次之,分别为18.35%和25.39%;多糖含量均较高,且文蛤多糖含量是四角蛤蜊的1.5倍;文蛤和四角蛤蜊的粗脂肪含量较低,且较为接近,分别为5.93%和6.18%(表2)。

2.2 文蛤及四角蛤蜊氨基酸组成与含量比较

文蛤及四角蛤蜊均含有15种常见氨基酸,

表 2 文蛤和四角蛤蜊及其他埋栖性贝类主要营养成分比较
 Tab. 2 Comparison of nutritional components in *M. meretrix* and
M. veneriformis and other buried clams

种类 species	粗蛋白质 crude protein	粗脂肪 crude fat	多糖 polysaccharides	灰分 ash	文献 references
文蛤 <i>M. meretrix</i>	58.24±1.63	5.93±0.27	16.77±0.90	18.35±1.19	本研究 this study
四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	57.38±1.45	6.18±0.21	10.98±0.87	25.39±1.32	本研究 this study
青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>	41.02	24.08	—	20.30	[18]
泥蚶 <i>Tegillarca granosa</i>	70.84	4.28	—	11.74	[19]
西施舌 <i>Coelomactra antiquata</i>	63.19	—	—	—	[20]
美洲帘蛤 <i>Mercenaria mercenaria</i>	60.69	5.60	—	18.80	[21]
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	71.96	6.41	—	13.21	[22]
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	61.28	8.61	17.73	7.32	[23]
长竹蛏 <i>Solen strictus</i>	75.2	7.90	1.10	15.7	[24]
波纹巴非蛤 <i>Paphia undulate</i>	75.2	8.83	2.77	13.2	[24]
结蚶 <i>Tegillarca nodifera</i>	59.17	10.62	—	11.03	[25]
尖刀蛏 <i>Cultellus scalprum</i>	71.02	14.35	—	9.05	[25]
等边浅蛤 <i>Gomphina aequilatera</i>	58.11	14.98	—	10.85	[25]

其中必需氨基酸8种, 分别为甲硫氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苏氨酸、缬氨酸、赖氨酸(表3)。结果表明, 除丝氨酸、甘氨酸和组氨酸外, 其他氨基酸在文蛤体内的含量均高于四角蛤蜊。文蛤的必需氨基酸和氨基酸总量分别为18.39和44.87 g/100 g, 高于四角蛤蜊(15.16和37.20 g/100 g), 但两者必需氨基酸占氨基酸总量的比例非常接近, 分别为40.99%和40.75%。

文蛤体内的呈味氨基酸含量高于四角蛤蜊, 分别为18.89和15.58 g/100 g。其中, 谷氨酸、天门冬氨酸是呈鲜味的特征氨基酸, 文蛤和四角蛤蜊肉的呈鲜味氨基酸含量分别为13.47和10.82 g/100 g; 而甘氨酸和丙氨酸是呈甘味的特征氨基酸, 两种贝类呈甘味氨基酸的含量分别为5.41和4.76 g/100 g。

2.3 文蛤及四角蛤蜊间重金属含量比较、污染评价及健康风险评价

文蛤和四角蛤蜊体内重金属含量均表现为Cd>Cr>As>Hg, 且这4种重金属在四角蛤蜊中的含量均高于文蛤(表4)。采用单因子评价模式评价不同贝类品种中重金属蓄积程度, 结果显示,

文蛤个体中Cd、As属于重度污染, 而Cr及Hg未污染。四角蛤蜊个体中Cd、As和Cr均属于重度污染, 而Hg未污染(表5)。

通过上述分析发现, 文蛤和四角蛤蜊中Cd的含量最高, 因此选取Cd对文蛤及四角蛤蜊的健康风险评价分析。分析显示, 文蛤和四角蛤蜊中Cd的MDI/BW值分别为0.0039、0.0047 mg/(kg·BW), 均大于JECFA提出的暂定每日最大耐受摄入量(PMTDI)[0.001 mg/(kg·BW)], 可能对人体存在健康风险。由于每日摄入的水产品不可能全是文蛤或四角蛤蜊, 所以仍需要对水产品的膳食结构进行更加详细调查, 以确定其是否对人体存在健康风险。

3 讨论

3.1 文蛤及四角蛤蜊营养价值的初步评价

通过比较分析发现, 文蛤及四角蛤蜊中粗蛋白质含量高于青蛤^[18], 与结蚶^[25]、等边浅蛤^[25]接近, 但低于泥蚶^[19]、西施舌^[20]、美洲帘蛤^[21]、菲律宾蛤仔^[22-23]、波纹巴非蛤^[24]、长竹蛏^[24]和尖刀蛏^[25]等埋栖性贝类。文蛤和四角蛤蜊粗蛋白质含量均超过50%, 体现出双壳贝类共有的

表 3 文蛤和四角蛤蜊等埋栖性贝类氨基酸组成及含量

Tab. 3 Amino acid composition and levels in *M. meretrix* and *M. veneriformis* and other buried clams

氨基酸 amino acid	g/100 g, dry matter, n=3						
	文蛤 <i>M. meretrix</i>	四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	泥蚶 ^[19] <i>T. granosa</i>	西施舌 ^[20] <i>C. antiquate</i>	杂色蛤 ^[26] <i>R. variegata</i>	美洲帘蛤 ^[21] <i>M. mercenaria</i>	菲律宾蛤仔 ^[22] <i>R. philippinarum</i>
天冬氨酸 aspartic acid	4.75	4.24	6.87	5.57	4.88	5.87	5.66
丝氨酸 serine	2.13	2.22	1.30	2.44	2.01	2.6	2.06
谷氨酸 glutamine	8.72	6.58	9.38	7.80	8.39	8.91	11.0
甘氨酸 glycine	1.86	2.35	3.32	6.70	2.49	3.03	3.53
丙氨酸 alanine	3.55	2.41	4.50	5.76	3.13	4.06	3.71
组氨酸 histidine	1.28	1.30	1.29	1.02	2.70	0.9	1.05
精氨酸 arginine	4.19	2.95	4.59	4.84	4.12	4.78	1.65
甲硫氨酸 methionine*	1.24	1.04	2.01	1.80	1.25	1.15	1.32
异亮氨酸 isoleucine*	2.25	1.85	3.15	2.23	2.01	2.24	3.36
苯丙氨酸 phenylalanine*	1.80	1.63	2.57	1.82	1.63	1.67	1.90
亮氨酸 leucine*	3.91	2.92	5.16	3.86	4.29	4.85	5.51
酪氨酸 tyrosine*	1.70	1.50	2.34	1.64	2.02	1.70	1.56
苏氨酸 threonine*	2.29	1.64	2.72	2.62	2.93	2.62	3.20
缬氨酸 valine*	2.25	1.89	3.30	2.82	3.39	2.75	2.92
赖氨酸 lysine*	2.94	2.70	4.59	3.68	3.13	3.43	4.18
必需氨基酸 WEAA	18.39	15.16	25.84	20.47	21.58	214.3	25.68
总氨基酸 WTAA	44.87	37.20	57.09	54.60	52.86	524.2	57.86
必需氨基酸/总氨基酸 (WEAA/WTAA)	40.99	40.75	45.26	37.49	40.82	40.88	44.4

注: * 必须是氨基酸

Notes: * means essential amino acids

表 4 文蛤和四角蛤蜊部分重金属元素含量及其与国家水产品安全要求的比较

Tab. 4 Contents of heavy metals in *M. meretrix* and *M. veneriformis* and comparison with the national standards of aquatic products

重金属/(mg/kg) heavy metal	文蛤 <i>M. meretrix</i>	四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	菲律宾蛤仔 ^[15] <i>R. philippinarum</i>	缢蛏 ^[15] <i>S. constricta</i>	国家标准 (GB2762-2012)
镉 Cd	5.4	6.3	0.325	0.266	2.0
砷 As	0.74	2.2	1.35 ^[27]	5.68 ^[27]	0.5
铬 Cr	0.78	5.8	0.744	1.260	2.0
总汞 Hg	0.052	0.066	0.023	0.021	0.3

表 5 不同品种贝类中重金属污染指数

Tab. 5 Enrichment evaluations on heavy metals in *M. meretrix* and *M. veneriformis*

种类 species	镉 Cd	砷 As	铬 Cr	总汞 Hg
文蛤 <i>M. meretrix</i>	2.70	1.48	0.39	0.17
四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	3.15	4.40	2.90	0.22

高蛋白质含量特点, 因此, 两种贝类作为人类蛋白质来源方面是比较理想的。贝类的粗脂肪含量因种类不同而差异较大, 本实验中, 文蛤与四角蛤蜊的粗脂肪含量较为接近, 分别为 5.93%、6.18%, 两者均高于泥蚶^[19]及美洲帘蛤^[21], 但低于青蛤^[18]、菲律宾蛤仔^[22-23]、波纹巴非蛤^[24]、

长竹蛭^[24]、结蚶^[25]、等边浅蛤^[25]和尖刀蛭^[25]等埋栖性贝类(表1)。粗蛋白质和粗脂肪含量的高低是衡量肌肉营养价值高低的重要指标,文蛤和四角蛤蜊中的粗蛋白质含量较高,粗脂肪含量较低,因此,文蛤和四角蛤蜊是营养价值较高的优质滩涂埋栖性贝类。

本实验中,文蛤的灰分含量低于四角蛤蜊,且两者均高于泥蚶^[19]和菲律宾蛤仔^[22-23]、长竹蛭^[24]、波纹巴非蛤^[24]、结蚶^[25]、等边浅蛤^[25]和尖刀蛭^[25]等埋栖性贝类。另外由于灰分主要由矿物质组成,因此,食用文蛤及四角蛤蜊有助于补充人体的矿物质营养需求。本实验发现,文蛤的多糖含量高于四角蛤蜊,且高于波纹巴非蛤^[24]和长竹蛭^[24],但均低于菲律宾蛤仔^[23]。由于多糖具有增强机体免疫等功能,因此,在药物开发及营养保健品开发方面,文蛤及四角蛤蜊均具有重要的潜在开发应用价值。

3.2 文蛤及四角蛤蜊氨基酸和呈味氨基酸的比较分析

氨基酸含量和组成是评价蛋白质营养价值的依据,同时必需氨基酸的含量与组成特点是评价食物营养价值的重要指标,其决定着蛋白质营养价值。文蛤和四角蛤蜊中必需氨基酸总量占氨基酸总量的比例(EAA/TAA)分别为40.99%和40.75%,符合FAO/WHO模式中高质量蛋白质对EAA/TAA的要求(40%)。同时文蛤和四角蛤蜊的EAA/TAA明显高于西施舌(37.49%)^[20],与杂色蛤(40.82%)^[26]和美洲帘蛤(40.88%)^[27]较为接近,但明显低于泥蚶(45.26%)^[19]和菲律宾蛤仔(44.40%)^[22]。比较认为,文蛤和四角蛤蜊必需氨基酸的比例较高,也再次证明了两类属于营养价值较高的滩涂埋栖性贝类。

贝类肉质的味道主要取决于具有鲜味氨基酸的含量。谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸以及丙氨酸是4种呈味氨基酸,其组成和含量决定了样品的鲜美程度。本实验发现,文蛤体内的呈味氨基酸含量高于四角蛤蜊,且高于杂色蛤(*Ruditapes variegata*)^[26](18.89 g/100 g),但低于西施舌^[20](25.83 g/100 g)、美洲帘蛤^[21](21.87 g/100 g)和菲律宾蛤仔^[22](23.90 g/100 g)等埋栖性贝类。此外,丝氨酸也与甘味有关,通过进一步分析发现,文蛤和四角蛤蜊肉中这5种呈味氨基酸占到总氨基酸的46.8%和47.8%,高于杂色蛤^[26](35.74%)、泥蚶^[19](44.4%)、菲律宾蛤仔^[22](44.9%)和美洲帘蛤^[21]

(46.7%)等埋栖性贝类,这说明双台子河口文蛤及四角蛤蜊均具有浓厚的海鲜风味。

3.3 文蛤及四角蛤蜊安全性初步评价

不同埋栖性贝类品种对重金属的蓄积程度不同,本实验中四角蛤蜊中Cd、Cr、As、Hg的含量均高于文蛤。庞艳华等^[15]也发现,大连近岸海域菲律宾蛤仔、缢蛭(*Sinonovacula constricta*)对Pb、Cd、Hg、Cr、Cu、Zn、Mn、Ni等重金属的含量存在明显的种间差异性。葛奇伟等^[16]发现Cu在缢蛭体中的含量远远大于泥蚶,而Cd在泥蚶中的含量远远大于缢蛭。另外,文蛤和四角蛤蜊中Cd含量均超过我国食品安全国家标准食品中污染物限量,因此建议有关部门把滩涂埋栖性贝类中Cd含量作为贝类监测的重点指标,同时加强河口水质及滩涂底质环境监测和控制重金属等污染物的排放。

虽然文蛤和四角蛤蜊体内Cd含量高于我国食品安全国家标准食品中污染物限量,同时通过PMTDI健康风险评估分析发现,文蛤和四角蛤蜊中的Cd可能对人体存在一定的摄食健康风险。

4 结论

文蛤及四角蛤蜊粗蛋白质含量较高,粗脂肪含量较低,且氨基酸组成及含量较理想,呈味氨基酸含量及所占总氨基酸的比例均较高,是两种营养价值较高并具有浓厚的海鲜风味的优质滩涂埋栖性贝类,文蛤在蛋白质、氨基酸组成与含量方面更优。文蛤及四角蛤蜊中Cd的含量最高,Hg的含量最低,并且四角蛤蜊中4种重金属含量均高于文蛤。PMTDI健康风险评估结果表明,文蛤及四角蛤蜊中Cd等重金属可能对人体存在一定的摄食健康风险,应进一步加强河口海域的水质、滩涂底质滩和贝类中重金属含量的定期监测。

参考文献:

- [1] 张安国,李太武,苏秀榕,等.文蛤养殖现状及展望[J].水产科学,2005,24(2):31-33.
Zhang A G, Li T W, Su X R, et al. Current status and prospect of *Meretrix meretrix* culture[J]. Fisheries Science, 2005, 24(2): 31-33 (in Chinese).
- [2] 闫喜武,张跃环,左江鹏,等.北方沿海四角蛤蜊人工育苗技术的初步研究[J].大连水产学院学报,2008,23(5):348-352.

- Yan X W, Zhang Y H, Zuo J P, *et al.* Artificial breeding technique of clam *Macra veneriformis* in Northern coast in China[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(5): 348-352 (in Chinese).
- [3] Zhang A G, Yuan X T, Yang X L, *et al.* Temporal and spatial distributions of intertidal macrobenthos in the sand flats of the Shuangtaizi estuary, Bohai Sea in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): 172-179.
- [4] 张安国, 袁秀堂, 侯文久, 等. 文蛤的生物沉积和呼吸排泄过程及其在双台子河口水层——底栖系统中的耦合作用[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6573-6582.
- Zhang A G, Yuan X T, Hou W J, *et al.* Influence of biodeposition, respiration, and excretion of the buried clam *Meretrix meretrix* on the pelagic-benthic coupling in Shuangtaizi Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(22): 6573-6582 (in Chinese).
- [5] Zhang A G, Yuan X T, Hou W J, *et al.* Carbon, Nitrogen, and phosphorus budgets of the surf clam *Macra veneriformis* (Reeve) based on a field study in the Shuangtaizi Estuary, Bohai Sea of China[J]. Journal of Shellfish Research, 2013, 32(2): 275-284.
- [6] Yang X L, Yuan X T, Zhang A G, *et al.* Spatial distribution and sources of heavy metals and petroleum hydrocarbon in the sand flats of Shuangtaizi Estuary, Bohai Sea of China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 95(1): 503-512.
- [7] Li C, Song C W, Yin Y Y, *et al.* Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Shuangtaizi estuary, China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 98(1-2): 358-364.
- [8] Alyahya E, El-Gendy A H, Al Farraj S, *et al.* Evaluation of heavy metal pollution in the Arabian Gulf using the clam *Meretrix meretrix* Linnaeus, 1758[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2011, 214(1-4): 499-507.
- [9] Cajaraville M P, Bebianno M J, Blasco J, *et al.* The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: A practical approach[J]. Science of the Total Environment, 2000, 247(2-3): 295-311.
- [10] Funes V, Alhama J, Navas J I, *et al.* Ecotoxicological effects of metal pollution in two mollusc species from the Spanish South Atlantic littoral[J]. Environmental Pollution, 2006, 139(2): 214-223.
- [11] Gopalakrishnan S, Vijayavel K. Nutritional composition of three estuarine bivalve mussels, *Perna viridis*, *Donax cuneatus* and *Meretrix meretrix*[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2009, 60(6): 458-463.
- [12] 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 A G, Li T W, Su X R, *et al.* The nutritive contents in various populations of clam *Meretrix meretrix*[J]. Fisheries Science, 2006, 25(2): 79-81 (in Chinese).
- [13] 陶平, 许庆陵, 谭淑荣. 大连沿海几种腹足类和双壳类的营养成分分析[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 182-186.
- Tao P, Xu Q L, Tan S R. An analysis of nutritive components of some Gastropoda and Bivalvia in Dalian Coastline[J]. Journal of Liaoning Normal University (Natural Science), 2000, 23(2): 182-186 (in Chinese).
- [14] 黄伟坤, 赵国君, 赖献桐, 等. 食品化学分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979: 11-39.
- Huang W K, Zhao G J, Lai X L, *et al.* Foods chemical analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979: 11-39 (in Chinese).
- [15] 庞艳华, 隋凯, 王秋艳, 等. 大连近岸海域双壳贝类重金属污染调查与评价[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(3): 410-413.
- Pang Y H, Sui K, Wang Q Y, *et al.* Investigation and assessment on heavy metals in bivalve seashells of Dalian coastline[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(3): 410-413 (in Chinese).
- [16] 葛奇伟, 徐永健, 葛君远. 象山港养殖区缢蛏和泥蚶的 Cu、Cd、Pb 含量及其健康风险评价[J]. 环境科学学报, 2012, 32(8): 2042-2048.
- Ge Q W, Xu Y J, Ge J Y. Levels and health risks of Cu, Cd, Pb in *Sinonovacula constricta* and *Tegillarca granosa* in Xiangshan Bay[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(8): 2042-2048 (in Chinese).
- [17] 李欣, 李绥晶, 李辉, 等. 1989-2006年辽宁省成年居民膳食结构变化趋势[J]. 中华预防医学杂志, 2010, 44(12): 1115-1120.
- Li X, Li S J, Li H, *et al.* Changes of dietary pattern among adults in Liaoning province, 1989 to 2006[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2010, 44(12): 1115-1120 (in Chinese).
- [18] 顾润润, 于业绍, 蔡友琼. 青蛤的营养成分分析与评价[J]. 动物学杂志, 2006, 41(3): 70-74.
- Gu R R, Yu Y S, Cai Y Q. Analysis and evaluation of

- the nutritive composition of *Cyclina sinensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2006, 41(3): 70-74 (in Chinese).
- [19] 吴洪喜, 柴雪良, 李元中. 乐清湾泥蚶肉营养成分的分析及评价[J]. 海洋科学, 2004, 28(8): 19-22.
Wu H X, Chai X L, Li Y Z. Analysis and evaluation of nutritive composition of clam, *Tegillarca granosa* (Linnaeus) in Yueqing Bay[J]. Marine Sciences, 2004, 28(8): 19-22 (in Chinese).
- [20] 孟学平, 高如承, 董志国, 等. 西施舌营养成分分析与评价[J]. 海洋科学, 2007, 31(1): 17-22.
Meng X P, Gao R C, Dong Z G, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in edible part of *Coelomactra antiquata*[J]. Marine Sciences, 2007, 31(1): 17-22 (in Chinese).
- [21] 杨建敏, 邱盛尧, 郑小东, 等. 美洲帘蛤软体部营养成分分析及评价[J]. 水产学报, 2003, 27(5): 495-498.
Yang J M, Qiu S Y, Zheng X D, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in edible part of *Mercenaria mercenaria*[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(5): 495-498 (in Chinese).
- [22] 杨金兰, 李刘冬, 黄珂, 等. 菲律宾蛤仔全脏器的营养成分分析与评价[J]. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(2): 26-31.
Yang J L, Li L D, Huang K, *et al.* Analysis and evaluation on nutrients in whole viscera of *Ruditapes philippinarum*[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2014, 4(2): 26-31 (in Chinese).
- [23] 吴云霞, 梁健, 闫喜武, 等. 菲律宾蛤仔营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2012, 34(4): 409-410, 413.
Wu Y X, Liang J, Yan X W, *et al.* Analysis of the nutritional components of Manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2012, 34(4): 409-410, 413 (in Chinese).
- [24] 李阅兵, 孙立春, 刘承初, 等. 几种海水和淡水贝类的大宗营养成分比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 297-303.
Li Y B, Sun L C, Liu C C, *et al.* Comparison of macronutrient components of several marine and freshwater shellfish[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 297-303 (in Chinese).
- [25] 张永普, 张炯明, 方军, 等. 温州沿海3种双壳类营养成分比较分析[J]. 水产科学, 2010, 29(1): 7-10.
Zhang Y P, Zhang J M, Fang J, *et al.* Comparison of nutritive compositions among clams *Gomphina aequilatera*, *Cultellus scalprum* and *Tegillarca nodifera* found in Wenzhou coast, Zhejiang province[J]. Fisheries Science, 2010, 29(1): 7-10 (in Chinese).
- [26] 董辉, 王颀, 刘亚琼, 等. 杂色蛤软体部营养成分分析及评价[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 276-282.
Dong H, Wang J, Liu Y Q, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in edible part of *Ruditapes variegata*[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 276-282 (in Chinese).
- [27] 赵艳芳, 段元慧, 尚德荣, 等. 我国几种重要经济贝类中砷的含量及其形态特征转化规律[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 735-741.
Zhao Y F, Duan Y H, Shang D R, *et al.* Arsenic content and speciation analysis of several economic shellfishes in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 735-741 (in Chinese).

Nutritional composition and edible safety analysis of two estuarine bivalve clams, *Meretrix meretrix* and *Macra veneriformis* in Shuangtaizi Estuary

ZHANG Anguo^{1,2*}, SHAO Senlin¹, ZHAO Kai³, LI Jin⁴

(1. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. National Marine Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Dalian 116023, China;

3. Panshan Meretrix Meretrix Foundation Seed Farm, Panjin 124200, China;

4. Panjin Ocean and Fisheries Science Research Institute, Panjin 124010, China)

Abstract: In order to understand the nutrient characteristics of *Meretrix meretrix* and *Macra veneriformis*, the general nutrients (crude protein, crude fat and crude ash), amino acids, as well as heavy metals (Cd, As, Cr, and Hg) in edible part of these two clams were investigated. The results showed that the crude protein content (58.24 g/100 g) and crude fat (5.93 g/100 g) in *M. meretrix* was similar to those in *M. veneriformis* (57.38 g/100 g, and 6.18 g/100 g). The polysaccharides content in *M. meretrix* is approximately three times as high as that in *M. veneriformis*. The crude ash contents in *M. meretrix* and *M. veneriformis* were 18.35 g/100 g and 25.39 g/100 g, respectively. In dry sample, the total amino acids content was up to 44.87 g/100 g in *M. meretrix* and 37.20 g/100 g in *M. veneriformis*. Meanwhile, contents of the essential amino acids and delicious amino acids in *M. meretrix* (18.39 g/100 g, 18.89 g/100 g) were higher than those in *M. veneriformis* (15.16 g/100 g, 15.58 g/100 g). The ratio of essential amino acids content to total amino acids was close in both buried clams and more than 40%. Among four heavy metals including Cd, As, Cr, and Hg, the Cd exhibited the highest content. The content of Cd was 5.40 mg/kg in *M. meretrix* and 6.3 mg/kg in *M. veneriformis*. It was found that the contents of Cr and Hg in *M. meretrix* and *M. veneriformis* were lower than the standard for the toxic substance in the non-environmental pollution aquatic products and other limit standards. Whereas, Cd and As contents in both estuarine buried clams were higher than the standard. Based on the PMTDI health risk evaluation model, the contents of heavy metals in both buried clams posed no health risk to humans. In conclusion, the results suggest that *M. meretrix* and *M. veneriformis* are both suitable for diet and delicious additives. Furthermore, *M. meretrix* is a more ideal protein source for humans given the composition and content of protein and amino acid.

Key words: *Meretrix meretrix*; *Macra veneriformis*; nutrient composition; amino acid; heavy metals; safety analysis

Corresponding author: ZHANG Anguo. E-mail: zhanganguo2003@163.com

Funding projects: National Marine Public Welfare Research Project (201305043); Natural Science Foundation of Liaoning Province (2015020598); Key Laboratory for Ecological Environment in Coastal Areas, SOA (201311); Key Laboratory for Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation of Shandong Province (201408)