

文章编号: 1674-7054(2016)04-0417-05

海上吊养和循环水养殖的马氏珠母贝 软体部矿物元素含量比较

李 乐 郑 兴 宋仲辉 顾志峰 王爱民

(海南大学 海洋学院/热带生物资源教育部重点实验室/海南省热带水生生物技术重点实验室, 海口 570228)

摘 要: 采用直接干燥法测定海上吊笼养殖和循环水养殖的马氏珠母贝软体部鲜肉含水量,用湿法消解软体部干肉后,分别用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定其钙(Ca)、镁(Mg)、锌(Zn)、铁(Fe)、铬(Cr)元素含量和用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定其硒(Se)、铜(Cu)、锰(Mn)、镍(Ni)、钒(V)、钼(Mo)、镉(Cd)、钴(Co)元素含量。结果表明:相同养殖时间不同养殖模式下,马氏珠母贝鲜肉水分含量及13种元素含量除了元素钴(Co)和硒(Se)外,其他都存在显著差异($P < 0.05$);循环水养殖模式下,元素Mg、Ca、Zn、Fe、Cr、Cu的含量高于海上吊笼养殖模式,而元素Mn、Cd、Mo、V、Ni的含量则低于海上吊笼养殖模式;元素Co和Se在2种养殖模式下无明显差异。

关键词: 马氏珠母贝; 养殖模式; 矿物元素

中图分类号: S 967.9; O 657.3 文献标志码: A DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.2016.04.002

马氏珠母贝(*Pinctada fucata martensii*),又称合浦珠母贝,在我国主要分布于广西、广东、海南等省区,是我国生产海水珍珠的主要养殖贝类^[1]。由于养殖环境的污染和破坏,以及淡水珍珠的生产和加工工艺的快速进步,马氏珠母贝海水珍珠养殖产业面临着巨大的危机^[2-3]。近年来,马氏珠母贝蛋白质含量高、营养成分丰富,激起了许多国内学者研究马氏珠母贝药用和食用价值的兴趣,将其作为保健食品进行开发利用已成为当前研究马氏珠母贝的热点之一^[4-7]。贝类具有富集水体中金属或微量元素的能力^[8-9],富集程度与养殖环境、贝的种类、养殖时间长短等因素相关。一般而言,在相同养殖环境下,贝类养殖时间越长,其富集量越大。过量的金属或微量元素对人体是有害的,甚至会致人死亡。因而将贝类作为食用性产品进行生产时,养殖者应充分进行综合质量安全管理^[10-11],正确评估其各种元素、尤其是有害的重金属元素的含量。随着海洋环境污染的不断加剧,以传统养殖方式进行生产的海产品,常被检测出重金属含量超标^[12]。食用性海产品养殖需要建立绿色、健康、安全、可持续的生产模式。循环水养殖模式是环保、绿色的养殖方式,可生产出安全的水产品^[13-14]。循环水养殖技术在贝类养殖中应用较少^[15],目前,循环水模式养殖马氏珠母贝的矿物元素安全性评估鲜见报道。因此,笔者以马氏珠母贝为研究对象,比较分析海上吊笼养殖与室内循环水养殖生产的马氏珠母贝软体部中相关矿物元素含量的差异,以期阐明循环水养殖模式是否可以提高马氏珠母贝食用安全性。

1 材料与方法

1.1 实验材料 以2012年开始吊养于海南省三亚市蜈支洲岛海域的马氏珠母贝为实验贝,2014年12月,挑选2龄贝分别在原海域和海南大学海洋学院循环水养殖系统养殖90 d。取马氏珠母贝的软体部为

收稿日期: 2016-08-26

基金项目: 国际科技合作专项(2013DFA31780); 国家自然科学基金(2012AA10A414 A1366003)

作者简介: 李乐(1991-),男,海南大学海洋学院2014级硕士研究生。E-mail: 962625285@qq.com

通信作者: 王爱民(1961-),男,教授,研究方向: 贝类遗传育种及健康养殖。E-mail: aimwang@163.com

实验材料 实验中循环水养殖系统所用水取自三亚市蜈支洲岛养殖区,用水车运输至海南大学海洋学院后经原水处理系统处理后进入循环水养殖系统中使用,海水盐度为 31。

1.2 实验材料预处理方法 取 2 种养殖模式下养殖 90 d 后的马氏珠母贝软体部,用蒸馏水洗净后沥干,作为鲜质量测定样品,随后放入烘箱中 105 °C 干燥至恒重,作为干质量测定样品,最后将软体部干肉粉碎、取 0.25 g 软体部干肉粉进行 25 mL 体系湿法消解处理^[16],作为元素测定样品待用。

1.3 测定方法

(1) 水分测定:采用直接干燥法^[17]测定水分。

(2) 软体部的中元素测定:消解处理好的待测样品,用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定样品中的钙(Ca)、镁(Mg)、锌(Zn)、铁(Fe)、铬(Cr)元素含量;用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定样品中的硒(Se)、铜(Cu)、锰(Mn)、镍(Ni)、钒(V)、钼(Mo)、镉(Cd)、钴(Co)含量^[16],然后分别计算出 13 种元素其在干物质中的含量。

1.4 数据处理 实验数据采用 DPS14.5 统计软件处理,分析不同养殖模式下马氏珠母贝软体部矿物元素含量的差异。

2 结果与分析

2.1 不同养殖模式下马氏珠母贝软体部含水量以及常量矿物元素和微量矿物元素的总含量 从表 1 可知,海上吊笼养殖的马氏珠母贝软体部含水量为(88.92 ± 0.51)%,循环水养殖的含水量为(89.21 ± 0.62)%,两者差异不显著($P > 0.05$);海上吊笼养殖的马氏珠母贝软体部的常量矿物元素总含量为 10 399.66 mg · kg⁻¹,循环水养殖的总含量为 17 675.67 mg · kg⁻¹,2 种养殖模式的马氏珠母贝软体部的常量矿物元素总含量差异极显著($P < 0.01$);2 种养殖模式的微量矿物元素总含量差异极显著($P < 0.01$),海上吊笼养殖的微量矿物元素总含量为 1 512.073 mg · kg⁻¹,循环水养殖的微量元素总含量为 3 094.752 mg · kg⁻¹,循环水养殖的高出海上吊笼养殖的 1 582.679 mg · kg⁻¹。

表 1 不同养殖方式下马氏珠母贝软体部水分、常量矿物元素、微量矿物元素总含量

Tab. 1 The total content of water, major and trace mineral elements in the tissue of *Pinctada martensii* from different aquaculture methods

含量	养殖模式 aquaculture methods	
	海上吊笼养殖模式 Sea cage aquaculture	循环水养殖模式 Re-circulating aquaculture
水分/%	88.92 ± 0.51 a	89.21 ± 0.62 a
常量矿物元素/(mg · kg ⁻¹) Major elements	10 399.66 A	17 675.67 B
微量矿物元素/(mg · kg ⁻¹) Trace elements	1 512.073 A	3 094.752 B

注: DW 干质量;采用 LSD 单因素方差分析方法,其中大写的不同字母 A, B 表示有极显著性差异($P < 0.01$),不同的小写字母表示有显著性差异,相同字母表示无显著性差异($P > 0.05$),下同

Noted: DW—dry weight. Difference was examined by using LSD single factor analysis. Uppercase letters indicate statistical significance. Different uppercase letters mean highly significant difference ($P < 0.01$). Different lowercase letters indicate significant difference and the same letters mean no significant difference ($P > 0.05$), similarly here in after

2.2 不同养殖模式下马氏珠母贝软体部的常量矿物元素 Mg 和 Ca 的含量 贝类含有多种常量元素,但其中 Mg 和 Ca 的含量较丰富,尤其是珍珠贝中含量更丰富,且对其生长发育有重要意义,因此,对这 2 种常量元素进行了检测。从表 2 可知,不同养殖模式下,马氏珠母贝软体部的 Mg 和 Ca 的含量都存在极显著差异($P < 0.01$)。海上吊笼养殖、循环水养殖的 Mg 含量分别为(6 784.00 ± 27.46) (10 840.00 ± 95.04) mg · kg⁻¹,循环水养殖的比海上吊笼养殖的高 4 056.0 mg · kg⁻¹; Ca 的含量分别为(3 615.66 ± 7.67) (6 835.67 ± 60.35) mg · kg⁻¹,循环水养殖的比海上吊笼养殖的高 3 220.01 mg · kg⁻¹。

表 2 不同养殖方式下马氏珠母贝软体部常量矿物元素组成及含量

Tab.2 The composition and content of major mineral elements in the tissue of Pinctada martensii from different aquaculture methods

含量 /(mg · kg ⁻¹ DW)	养殖模式	
	aquaculture methods	
	海上吊笼养殖模式	循环水养殖模式
	Sea cage aquaculture	Re-circulating aquaculture
Mg	6 784.00 ± 27.46 A	10 840.00 ± 95.04 B
Ca	3 615.66 ± 7.67 A	6 835.67 ± 60.35 B

2.3 不同养殖模式下马氏珠母贝软体部微量矿物元素组成及含量 从表 3 可见,实验所得马氏珠母贝软体部微量元素由锌(Zn)、铁(Fe)、铬(Cr)、硒(Se)、铜(Cu)、锰(Mn)、镍(Ni)、钒(V)、钼(Mo)、镉(Cd)、钴(Co) 组成。2 种不同养殖模式下,元素钴、硒不存在显著性差异($P>0.05$) ,海上吊笼养殖及循环水养殖元素钴含量分别为(0.263 ± 0.003) 、(0.276 ± 0.007) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,硒含量分别为(6.50 ± 0.12) 、(6.31 ± 0.03) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。元素锰、铬、镍存在显著性差异($0.01 < P < 0.05$) ,海上吊笼养殖及循环水养殖元素铬含量分别为(9.64 ± 0.03) 、(12.7 ± 0.22) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖高于海上吊笼养殖 $3.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素锰含量分别为(25.77 ± 0.12) 、(19.97 ± 0.08) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖低于海上吊笼养殖 $5.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素镍含量分别为(1.09 ± 0.01) 、(0.756 ± 0.03) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖低于海上吊笼养殖 $0.334 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。元素锌、铁、镉、钼、铜、钒存在极显著性差异($P < 0.01$) ,海上吊笼养殖及循环水养殖元素锌含量分别为(765.10 ± 81.56) 、($1\,671.33 \pm 11.05$) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖高于海上吊笼养殖 $906.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素铁含量分别为(676.00 ± 3.46) 、($1\,359.3 \pm 10.72$) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖高于海上吊笼养殖 $683.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素铜含量分别为(4.80 ± 0.58) 、(21.07 ± 0.13) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖高于海上吊笼养殖 $16.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素镉含量分别为(12.31 ± 0.09) 、(0.11 ± 0.02) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖低于海上吊笼养殖 $12.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素钼含量分别为(6.03 ± 0.07) 、(1.67 ± 0.03) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖低于海上吊笼养殖 $4.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;元素钒含量分别为(4.57 ± 0.03) 、(1.26 ± 0.03) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,循环水养殖低于海上吊笼养殖 $3.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 3 不同养殖方式下马氏珠母贝软体部微量矿物元素组成及含量

Tab.3 The composition and content of trace mineral elements in the tissue of Pinctada martensii from different aquaculture methods

含量 /(mg · kg ⁻¹ DW)	养殖模式	
	aquaculture methods	
	海上吊笼养殖模式	循环水养殖模式
	Sea cage aquaculture	Re-circulating aquaculture
Zn	765.10 ± 81.56 A	1 671.33 ± 11.05 B
Fe	676.00 ± 3.46 A	1 359.3 ± 10.72 B
Mn	25.77 ± 0.12 a	19.97 ± 0.08 b
Cd	12.31 ± 0.09 A	0.11 ± 0.02 B
Cr	9.64 ± 0.03 a	12.7 ± 0.22 b
Se	6.50 ± 0.12 a	6.31 ± 0.03 a
Mo	6.03 ± 0.07 A	1.67 ± 0.03 B
Cu	4.80 ± 0.58 A	21.07 ± 0.13 B
V	4.57 ± 0.03 A	1.26 ± 0.03 B
Ni	1.09 ± 0.01 a	0.756 ± 0.03 b
Co	0.263 ± 0.003 a	0.276 ± 0.007 a

3 讨 论

人体内的微量元素含量虽然很低,却与人体的生长发育、生殖等生理活动密切相关,其中必需微量元素有铁、铜、锌、锰、铬、钼、钴、钒、镍、锡、氟、碘、硒、硅 14 种^[18-20]。将不同养殖模式下马氏珠母贝软体部的矿物元素含量与牡蛎^[21]、翡翠贻贝^[21]进行比较后发现,循环水及海上吊笼养殖的马氏珠母贝钙含量明显高于牡蛎、翡翠贻贝,循环水马氏珠母贝含量最高,其后依次为海上吊笼马氏珠母贝、牡蛎($2\,710\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、翡翠贻贝($1\,120\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);铁含量趋势与钙含量一致,含量由高至低分别为循环水马氏珠母贝、海上吊笼马氏珠母贝、牡蛎($388\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、翡翠贻贝($100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);锌在牡蛎中含量最高($5\,520\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),其后依次为循环水养殖的马氏珠母贝、海上吊笼养殖的马氏珠母贝、翡翠贻贝($49.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);硒在海上吊笼养殖的马氏珠母贝中含量最高,其后依次为循环水养殖的马氏珠母贝、牡蛎($3.18\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、翡翠贻贝($1.04\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);铜在牡蛎中含量最高($891\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),其后依次为循环水养殖的马氏珠母贝、海上吊笼养殖的马氏珠母贝、翡翠贻贝($1.57\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);锰在海上吊笼养殖的马氏珠母贝中含量最高,其后依次为牡蛎($23.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、循环水养殖的马氏珠母贝、翡翠贻贝($5.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。钙是人体生长发育、健康维持不可或缺营养素之一,缺乏则会引起种种障碍^[22];铁参与体内各种生理生化反应,在生物酶中起关键作用^[23];锌可维持机体正常发育、提高白细胞功能、促进 DNA 及蛋白质合成等^[24-26];硒与人体与抗癌、抗衰老、抗毒性、治疗溃疡性疾病、增强创伤组织再生能力等密切相关^[27-29];铜可保持体内器官形态和结缔组织成熟,锰对于骨骼发育和繁殖有促进作用^[30-33]。循环水养殖模式所产马氏珠母贝可作为上述对人体有益矿物元素的有效可靠食物补充来源。

本研究结果显示,马氏珠母贝较其他贝类更富含部分人体所必需微量元素,可满足机体正常生长发育、繁衍的需求。循环水养殖所产马氏珠母贝软体部中大部分元素高于海上吊笼养殖,出现该差异现象的原因可能在于循环水养殖模式以大量的珊瑚石、贝壳砂等天然矿化物材料为水处理滤料,该材料可逐步释放矿物元素,贝体能持续吸收。循环水养殖模式所产马氏珠母贝软体部中对人体有害元素含量明显低于海上吊笼养殖模式,如元素 Ni、Cd、Pb^[34-35],其原因可能在于目前海洋环境条件污染情况愈来愈严重,海上吊笼养殖直接的接触环境是海洋^[12,36],循环水养殖模式水质则要求安全、洁净,具有严格水质控制要求,原水需经过超精密物理过滤、紫外杀菌、重金属离子络合分离等高标准预处理。

结果表明,通过循环式养殖模式进行马氏珠母贝的养殖可得到更为绿色、健康、安全、富含人体有益矿物养元素的马氏珠母贝产品。

参考文献:

- [1] 邓陈茂,童银洪,符韶. 马氏珠母贝的研究进展[J]. 现代农业科技, 2009(2): 204-206.
- [2] 曹占旺,王大鹏,甘西. 马氏珠母贝及海水珍珠的研究进展[J]. 广西农业科学, 2009(12): 1618-1622.
- [3] 李权昆,倪民军,陈万灵. 海水珍珠产业化发展方向与对策[J]. 资源开发与市场, 2006(4): 349-352.
- [4] 刘媛,王健,孙剑峰,等. 我国海洋贝类资源的利用现状和发展趋势[J]. 现代食品科技, 2013(3): 673-677.
- [5] 张自然. 醒酒功能性食品及其醒酒机理研究进展[J]. 钦州学院学报, 2012(3): 66-69.
- [6] 章超桦,吴红棉,洪鹏志,等. 马氏珠母贝肉的营养成分及其游离氨基酸组成[J]. 水产学报, 2000(2): 180-184.
- [7] 刁石强,李来好,陈培基,等. 马氏珍珠贝肉营养成分分析及评价[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2000(1): 42-46.
- [8] 张少娜. 经济贝类对重金属的生物富集动力学特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
- [9] 郭远明,刘琴,顾捷,等. 4 种海洋贝类对水体中 Pb 的富集规律[J]. 海洋学研究, 2013(1): 78-84.
- [10] 刘桂荣. 扇贝中重金属残留及食用风险分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [11] 李颖洁. 加强水产品质量安全管理提高水产品国际竞争力的研究[D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2002.
- [12] Maanan M. Heavy metal concentrations in marine mollusks from the Moroccan coastal region[J]. Environmental Pollution, 2008, 153(1): 176-183.
- [13] 黄志涛,董登攀,宋协法,等. 基于物质平衡原理的贝类循环水养殖系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014(12): 208-215.
- [14] 申玉春,熊邦喜,叶富良,等. 虾-鱼-贝-藻生态优化养殖及其水质生物调控技术研究[J]. 生态学杂志, 2005(6):

613-618.

- [15] 黄志涛. 彩虹贝循环水养殖系统的设计与实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学 2013.
- [16] 刘娟花, 胡世伟, 李世杰, 等. 插核手术对马氏珠母贝中矿物元素的影响[J]. 湖北农业科学 2011(5): 1012-1014.
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京, 中国标准出版社 2010.
- [18] 夏敏. 必需微量元素与人体健康[J]. 广东微量元素科学 2003(1): 11-16.
- [19] 范娟娟, 豆淑艳. 微量元素与人体健康[J]. 河南科技 2014(15): 59.
- [20] 葛亚龙, 唐志华. 微量元素与人体健康[J]. 饮料工业 2013(3): 4-6.
- [21] 王光亚. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京医学出版社 2009.
- [22] 刘颖, 蒯士安. 钙与人体健康[J]. 国外医学(卫生学分册) 1997(1): 31-35.
- [23] 赵凤泽, 沈刚哲, 姜英子. 中药微量元素的研究近况与展望[J]. 广东微量元素科学 2002(3): 24-30.
- [24] 赵谋明, 宁正祥. 食品生物化学[M]. 广州: 华南理工大学出版社 1997.
- [25] Portip G R, Maiolif. Effect of micronutrient status on natural killer cell immune function in healthy free living subjects aged ≥ 90 y[J]. Am J Clinical Nutr 2000 71(2): 590-598.
- [26] 梅光泉. 中草药中的微量元素[J]. 微量元素与健康研究 1994(2): 25-26.
- [27] 谢宗墉. 海洋水产品营养与保健[M]. 青岛: 海洋大学出版社 1991.
- [28] 廖鲁兴, 李巧云. 硒与体内酶活性及其它元素分布的关系[J]. 国外医学(医学地理分册) 1995(2): 53-55.
- [29] Je S. Selenium and the Prevention of cancer Part II: Mechanisms for the carcinostatic activity of Se compounds[J]. The Bulletin of Selenium Tellurium Development Association 2001(10): 1-12.
- [30] 李青仁, 王月梅, 李晓波. 钒的生物学功能及与疾病的关系[J]. 微量元素与健康研究 2007(2): 65-66.
- [31] 施秀芳. 微量元素铬的营养生物化学研究进展[J]. 中国药理学杂志 2006(3): 167-170.
- [32] 张立. 微量元素与健康[J]. 中外健康文摘 2012 9(14): 34-35.
- [33] 李亚杰, 藏伟儒, 于北辰. 再述微量元素与健康的研究—从微量元素看食品安全[J]. 医学动物防制 2005 21(11): 830-831.
- [34] 杨荣芳. 动物营养必需微量元素镍的生理功能[J]. 饲料博览 2009(4): 30-32.
- [35] 刘莉莉, 林岚, 殷霄, 等. 镉毒性研究进展[J]. 中国职业医学 2012(5): 445-447.
- [36] Storelli M M. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: Estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs) [J]. Food and Chemical Toxicology 2008 46(8): 2782-2788.

Analysis of Mineral Elements in the Soft Tissue of *Pinctada martensii* from Sea Cage Aquaculture and Re-circulating Aquaculture

LI Le, ZHENG Xing, SONG Zhonghui, GU Zhifeng, WANG Aimin

(Ocean College, Hainan University/Ministry of Education Key Laboratory of Tropical Bio-resources/Hainan

Key Laboratory of Tropical Hydrobiological Technology, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: *Pinctada martensii*, cultured in two different culture methods: sea cage aquaculture and re-circulating aquaculture were collected to determine the water content in their soft tissue by using direct-drying method, and their mineral elements (Ca, Mg, Zn, Fe, Cr, Se, Cu, Mn, Ni, V, Mo, Cd and Co) by using ICP-AES and ICP-MS after processed by wet digestion method. The results show the 13 mineral elements in the soft tissue of *P. martensii* cultured for the same period of time but under different culture methods were significantly different ($P < 0.05$), except Co and Se. *P. martensii* had a higher content of Mg, Ca, Zn, Fe, Cr, Cu in the soft tissue under re-circulating aquaculture than under the sea cage aquaculture, but a lower content of Mn, Cd, Mo, V and Ni. No obvious significance was observed in mineral elements Co and Se under the two culture methods.

Keywords: *Pinctada martensii*; aquaculture method; mineral elements