

贝类净化技术研究现状与展望

邱天龙^{1,3}, 陈文超^{1,4}, 祁剑飞⁵, 刘金虎², 董逸², 孙建明^{1,3}

(1. 中国科学院海洋研究所 中国科学院实验海洋生物学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071; 4. 中国科学院大学, 北京 100049; 5. 福建省水产研究所 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013)

摘要: 随着养殖水域环境问题日益凸显, 贝类食品安全问题越来越受到重视, 贝类在进入流通环节前进行净化将成为不可缺少的处理环节。本文从贝类净化工艺类型、净化用水处理技术, 以及贝类净化对风味的影响等方面对当前国内外研究进展进行了总结梳理, 并提出下一步贝类净化应重点解决的问题, 为深入开展贝类净化相关研究提供参考。

关键词: 贝类净化; 风味; 品质提升; 水处理技术; 重金属

中图分类号: S984.3+1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2021)03-0134-09

DOI: 10.11759/hyxx20200809001

牡蛎、蛤等贝类是我国重要的水产养殖物种。据统计, 2018年我国海水贝类养殖面积为124万公顷, 占海水养殖面积的60.7%, 海水养殖贝类产量达1443.9万吨, 占海水养殖总量的71%^[1]。近年来, 随着我国城市化、工业化进程加快以及养殖业的快速发展, 大量陆源污染物及养殖投放物排入近海, 对贝类养殖海域的安全构成威胁。贝类迁移能力差, 且多为滤食性, 一旦其养殖环境遭受污染, 有害物质不仅附着于贝类体表, 还会通过滤食和呼吸等方式蓄积进入贝类体内, 对人类健康构成潜在风险。当前, 影响贝类品质的主要有害物质包括泥沙、致病细菌、病毒、生物毒素和重金属等。壳表及外套腔内的泥沙会影响贝类的口感, 壳表的泥沙可通过冲洗等方式洗净, 而外套腔内的泥沙只能通过净化处理的方式去除。生物毒素、病毒和致病细菌容易引起人类食物中毒、肠道疾病等安全问题。贝类重金属超标会对人体造成暂时或持久性损伤^[2]。除上述污染物外, 石油烃、抗生素、农药等持久性有机污染物(POPs)也是影响贝类食用安全的污染物种类, 然而POPs具有显著地生物与环境持久性特征, 能够长期稳定地留在贝类体内, 难以被降解、分解或脱除。目前关于贝类体内POPs净化的技术方法研究相对较少, 本文中不做介绍。自20世纪以来, 世界各地报道了多起由贝类传播的肠道病毒引起疾病爆发事件。20世纪50年代中期, 由贝类传播的甲型肝炎首次在瑞典报道; 1989年上海有30万人因食用甲型肝炎病毒(Hepatitis

virus, HAV)污染的毛蚶而患病; 2001年西班牙爆发因食用斧蛤(*Coquina clam*)造成的甲肝病毒事件, 导致183人感染; 2007年, 我国沿海省市主要养殖区内贝类均受到了肠道病毒不同程度的污染^[3-4]。近几年, 贝类中毒的食品安全事件频发, 有的甚至引起死亡。2017年, 福建多地发生疑似青蛤贝类毒素中毒事件。2019年5月, 唐山市曹妃甸七人因食用海虹等贝类中毒, 一人死亡。因食品安全问题, 中国扇贝自1997年7月开始在长达19年时间里被欧盟禁止进入^[5]。2010年, 广东市民经常食用的生蚝中, 铜元素和镉元素分别超标740倍和90倍。因此, 贝类净化是降低致病风险最重要的一道屏障, 其重要性不言而喻。

1 贝类净化

要获得食用安全的贝类, 最简便的方法就是到无污染的洁净海域去养殖或捕捞, 但这类海域很有限。因此, 我们可在轻度或中度污染的海域进行养殖

收稿日期: 2020-08-09; 修回日期: 2020-09-04

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”项目课题(2019YFD0900701); 国家自然科学基金(31702392); 山东省重点研发计划项目(2019GHY112004)

[Foundation: The work is supported by the National Key Research and Development Program of China, No. 2019YFD0900701; the National Natural Science Foundation of China, No. 31702392 and the Key Research and Development Program of Shandong Province, No. 2019GHY112004]

作者简介: 邱天龙(1985—), 男(汉族), 博士, 主要从事水产工业化养殖工艺与装备研发, E-mail: oceanman@qdio.ac.cn; 孙建明, 通信作者, 男(汉族), 研究员, 博士生导师, 主要从事水产工业化养殖工艺与装备研发, E-mail: sjmqd@qdio.ac.cn

或捕捞,然后再对获得的贝类进行短期的净化处理。贝类净化是将贝类放在洁净的海水中,通过其正常的摄食行为和代谢活动,减少体内的污染物,最终获得可安全食用的贝类^[6]。净化可处理中、轻度污染的贝类,能将贝类体内的生物、化学和物理等危害降低到可安全食用水平。

1.1 贝类净化模式

贝类净化的关键是洁净海水的获取,主要的获取方式有两种:从无污染的海域直接获得;通过过滤、杀菌和灭毒等处理中、轻度污染海水间接获取。通常我们所说的贝类净化属于后者,即在净化厂中用处理过的洁净海水进行贝类净化。根据养殖模式以及对净化用水人为干扰程度的不同,贝类净化主要可分为海区暂养净化、流水净化和循环水净化三类。

1.1.1 海区暂养净化

海区暂养净化是将贝类转移到与养殖或被捕捞水域温、盐条件相差不大的洁净自然海域中进行暂养,在保证贝类鲜活度的同时,达到贝类净化的目的^[7]。如自然感染创伤弧菌(*Vibrio vulnificus*) $10^3 \sim 10^4$ MPN/g 的美洲牡蛎(*C. virginica*),在未污染的近海域暂养净化 7~17 天后弧菌浓度可以降到 10 MPN/g 以下,暂养净化 17~49 天后则降到 0.23~2.6 MPN/g^[8];暂养净化过程中,牡蛎的死亡率低于 6%。牡蛎在洁净的海水中暂养 17 天,可使诺如病毒(*Norovirus*)从 2 900 copies/g 降到 492 copies/g^[9]。暂养净化虽然可以去除贝体内的致病菌和病毒等污染物,但劳动强度大、时间长,经济效益较差,且该方式存在因贝类暂养净化而污染洁净海域的潜在风险^[6]。

1.1.2 流水净化

流水净化通常在室内设施中进行,是将被污染的贝类放在流动(或间歇性换水)的洁净海水中,通过海水的流动把贝体排出的污染物不断带走,从而达到贝类净化的目的。当净化设施临近安全可靠的海水来源时,流水净化模式是首选。如建于马萨诸塞州波特市的美国最早的贝类净化工厂和缅因州的多处贝类净化工厂均使用流水净化模式,其水源经曝气和紫外杀菌后用于贝类净化,每个批次净化完成后,将水进行更换,平均每天可净化约 1.8 立方的双壳贝类^[10]。

1.1.3 循环水净化

原理与流水净化模式类似,不同的是海水在循环使用前需经过净化处理,以降低海水中贝类代谢产物的浓度,包括氨氮、亚硝酸盐、细菌、重金属等

污染物。相比于流水净化,循环水净化可以避免海水中突然出现的有毒有害化学物质的无意引入。但循环水净化对系统设计要求高,管理不当有可能会积累有毒代谢产物,如氨、粪便等^[11]。循环水净化系统通常包括物理过滤装置与设备、泡沫浮选污物设备、生物净化器、重金属去除装置、水体消毒灭菌设备等。尽管循环水净化系统造价较高,系统管理较为复杂,但由于其可控性强、稳定性好、节水环保,选址相对灵活,因而是贝类净化技术的发展趋势。

1.2 贝类净化工艺

贝类净化相关研究关注的污染物主要有四类:泥沙、微生物、重金属和贝类毒素,每种污染物的净化处理工艺简述如下。

1.2.1 泥沙去除

贝类主要生长在滩涂浅海,在进行正常生理活动的时候,会有部分泥沙滞留在贝类体内,直接食用既影响口感也不卫生,上市前需对泥沙进行去除。泥沙去除通常可在较短的时间内完成,且工艺相对简单。如在流水净化设施或循环水系统内,通过投喂三角褐指藻、金藻、扁藻等鲜活饵料,文蛤、青蛤、菲律宾蛤仔、泥蚶、牡蛎等双壳贝类基本都可在 10 小时内完成泥沙净化过程^[12-13]。

1.2.2 微生物去除

利用消毒灭菌后的洁净水体养殖贝类,通过贝类自身的呼吸和摄食活动将细菌等微生物排出体外,是去除微生物的主要净化工艺。当前用于贝类净化水体消毒灭菌的工艺主要有紫外线、氯制剂、臭氧,或其组合使用。

紫外线主要是通过辐射损伤和破坏核酸的功能使贝类排出的微生物(细菌、病毒、芽孢等病原体)死亡,从而达到消毒灭菌的目的。大量研究表明,紫外线对细菌等微生物具有良好的净化效果。紫外线循环水净化 36 h 可将长牡蛎(*C. gigas*)体内大肠杆菌(*E. coli*)含量从 3.67×10^3 MPN/g 降到 10.1 MPN/g^[14],净化 5 天可以使副溶血性弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)数减少 3 个对数值^[15]。紫外线对海水中病毒同样有很好的灭杀效果。经剂量为 263 mJ/(cm²·h)紫外线照射 120 h,海水中甲型肝炎病毒(HAV)和人腺病毒(HAdV2)分别下降了 3.5 和 5 个对数值^[16]。然而,紫外线对贝类体内的病毒去除并不理想,要想去除贝体内病毒,必须破坏贝类与病毒的稳定联系^[17]。

氯制剂利用其强氧化性,损坏细胞膜,并影响多

种酶系统,从而使细菌和病毒死亡。1914年,Johnstone首次使用氯净化贝类,经氯净化后,贻贝中的细菌水平显著降低^[11]。海水中二氧化氯浓度为8 ppm时,菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)经24 h净化,体内大肠菌群数从42 MPN/g下降到2.3 MPN/g^[18]。在30 ppm的含氯电解水中,长牡蛎经4 h净化,体内副溶血性弧菌和创伤弧菌分别显著减少了13.5 MPN/g和11.2 MPN/g;含氯过高对贝类是致死的,当电解水中氯含量达50 ppm,长牡蛎12 h后全部死亡^[19]。近几年,有效成分为氯制剂的微酸性电解水(pH 5.0~6.5)也普遍应用于养殖水处理,如感染副溶血弧菌的虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)经微酸性电解水处理8 min弧菌数可由1 100 MPN/g以上降至28 MPN/g^[20]。

臭氧具有强氧化性,能有效地杀灭细菌及病毒。紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)经臭氧(50 mg/h)消毒的海水净化44 h后,大肠杆菌、霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)和副溶血弧菌数分别减少了99.8%、90%和85.1%^[21]。人工感染大肠杆菌的长牡蛎经48 h臭氧(0.1~0.2 mg/L)消毒海水净化,大肠杆菌数降低了2~3个对数值^[22]。泥蚶(*Tegillarca granosa*)经0.4 mg/L臭氧含量的海水净化24 h后,大肠菌群数从15 MPN/g降到0.3 MPN/g以下^[12]。臭氧含量过高会影响贝类的滤水和存活,进而影响净化效率。当海水中臭氧浓度超过0.5 mg/L或臭氧用于处理循环使用的海水时,海水中产生的氧化物会对贝类产生毒性^[22],当氧化物的含量超过4.5 mg/L时,薄壳蛤的滤水能力会被抑制^[23]。然而,臭氧对贝类体内的病毒和腹泻性贝类毒素的净化效果并不理想^[24]。此外,臭氧还会和海水中的溴离子发生反应,形成毒性很强的溴化物,因此,在用臭氧进行消毒时应注意消除溴的危害^[22]。

当臭氧与紫外线组合使用时,水中的臭氧被紫外线激活,最终产生氧化性极强的羟基自由基,对细菌、病毒等微生物的灭活能力远大于单独采用一种方式。对毛蚶(*A. lischke*)接种约1 000 MPN/g的大肠杆菌,降低相同数量级的该菌,用臭氧净化所需时间是臭氧-紫外联用净化所需时间的四倍^[25]。当紫外与氯制剂组合使用时,氯制剂有助于核酸暴露,从而实现细菌病毒的高效杀灭^[26]。如感染伤寒沙门氏菌(*S. typhimurium*) 1.5×10^4 CFU/g的牡蛎经紫外线-氯制剂净化12 h后可完全去除^[27]。

1.2.3 重金属去除

在众多污染物中,重金属污染物具有分布广、残

留时间久、多形态间转化及生物毒性强等特性,是贝类体内较难去除的一类污染物。因贝类自身无有效的重金属生物代谢机制,通常通过加入如下几种脱除剂以协助机体内重金属的脱除。

EDTA类脱除剂进入贝类体内后,直接与重金属离子形成络合物,继而把络合物排出体外。研究发现,被重金属污染的紫贻贝(*Mytilus edulis*)经80 mg/L EDTA净化3天,镉去除率27.7%;经160 mg/L EDTA-CaNa₂净化6天,镉去除率超过40%^[28]。然而,过高EDTA类脱除剂可能影响贝类体内的离子平衡,从而影响其脱除镉的效果^[28-29]。

壳聚糖类脱除剂对镉等重金属也有很好的去除效果,且不会影响贝肉营养成分及其他生命必需元素。研究表明,利用壳聚糖与大型海藻结合的方法能有效去除福建牡蛎(*C. angulata*)体内的镉和铅,经14天净化后,两者蓄积量分别由0.88 μg/g和8.49 μg/g降至0.58 μg/g和0.33 μg/g的食品安全国家标准以内^[2, 30]。镉污染的栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)经壳寡糖钙配合物(COS-Ca)净化3天,机体内镉从138.3 μg/g降至74.7 μg/g,脱除率达46%^[31]。壳聚糖类脱除剂进入机体后,其分子内-OH、-HN₂、-COOH等基团能够与金属硫蛋白(MT)竞争重金属离子,产生稳定配位作用,形成不溶性复合物并排出体外^[32]。

硒化物类脱除剂能够直接作用于贝类的抗氧化系统与免疫系统,显著提高机体内源保护酶活性,清除重金属毒性作用产生的氧化产物,对重金属毒性起到拮抗作用,加快重金属的解毒与排出,也是一类应用较多的重金属脱除剂^[33]。研究发现,紫贻贝经硒化卡拉胶(60 mg/L)净化6天后,体内镉含量从29.94 μg/g降至18.60 μg/g,脱除率达38%^[28]。

新型重金属脱除剂的筛选和制备是当前脱除剂研究的热点。Yang^[34]等提出利用含锆螯合树脂(Zr(IV)-loaded chelating resin)去除贝肉酶解液中砷的方法;姚茹^[35]等认为向水体中投放微生物制剂可以促进重金属的排除。Fiorati^[36]等研究发现纤维素基纳米海绵可有效去除海水中的镉、铬、铜等离子,且不影响贝类活力。

此外,重金属的脱除效率与重金属的类型直接相关,镉和铜是当前研究的主要目标脱除元素,其他重金属的相关研究表明,长牡蛎体内镉的去除速度快于铜和锌;在波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)体内,镉、铜、钴也比锌、锰、铅等元素消失得快^[37]。重

金属脱除率的差异性主要取决于重金属元素的生物半衰期,以及脱除剂的理化性质。

1.2.4 贝类毒素的净化

与微生物、重金属等危害因素类似,活体贝类中贝类毒素的含量也可以利用贝类净化技术得以降低。人工感染贝类毒素 dcSTX 和 dcNEO 0.5mg/kg 以上的紫贻贝,经过 10 天紫外消毒水净化,dcSTX 和 dcNEO 的脱除率分别达 23.4%和 57.8%^[38]。人工感染 3.24 mg/kg 麻痹性贝类毒素(PSP)的文蛤,经强化投喂结合臭氧消毒水净化 15 天毒素脱除率可达 47.2%^[39]。近江牡蛎(*C. ariakesis*)经添加 0.05 g/L 壳聚糖海水净化 7 天,体内 PSP 含量从 9.07 MU/g 降低到 1.41 MU/g^[40]。Ana C. Braga 认为酸化条件下有助于贝类毒素的去除,升温条件下不利于贝类毒素的去除^[38]。

然而,另有多项研究表明调控温度、盐度、投饵等因素对贝类毒素的去除过程影响甚微^[41-43]。贝类一旦染上毒素,其组织将毒素排出需要很长时间,有些贝类甚至需要数年才能完全排出毒素^[44]。因此,综合考虑净化成本和净化作用的有限性,获取无毒素贝类的最佳方法是选择安全的海域进行养殖生产,并做好收获前的安全检测,只捕捞无毒贝类^[45]。

1.3 贝类净化环境参数

贝类净化最适的环境条件并不等同于最适生长条件。根据去除目标污染物的不同,贝类净化往往需要选择使净化效率最高的环境参数。温度、盐度、水流速度是容易实现人工调控且对贝类净化效率影响较大的环境因子。

1.3.1 温度

温度是影响贝类净化效率的主要环境因子。在长牡蛎去除病毒(MS2 phages)的净化过程中,当温度低于 16℃时,7~11 天才能降低一个对数值;当温度高于 20℃时,3~4 天即可下降一个对数值^[46]。在去除细菌的净化过程中,当温度为 7~15℃时,长牡蛎净化 5 天后,副溶血性弧菌数减少 3 个对数值,牡蛎存活率 100%^[15]。当净化温度高于 23℃时,美洲牡蛎体内的创伤弧菌经过 5 天后含量不降反增^[47]。可见,温度偏高利于去除病毒,而温度偏低利于去除细菌,因而净化时应根据要去除的目标污染物,选择合适的净化温度。

1.3.2 盐度

盐度变化导致的渗透压变化会直接影响贝类的

摄食代谢等生理过程。一般净化用水的盐度值是贝类生活海域盐度值的±20%之内。盐度偏高有助于牡蛎的摄食活动,能加速净化过程,盐度偏低会抑制牡蛎净化过程;当盐度低于 7.4 时,牡蛎的摄食活动似乎停止了^[11, 24]。在净化长牡蛎中的副溶血性弧菌时,盐度为 20~30 时的净化效果要好于盐度为 10 时的净化效果,净化效果与牡蛎倍性及大小无关^[48]。

1.3.3 水流速度

净化过程中,贝类体内的污染物会随着排泄物排出,如果不及时处理这些排泄物,很可能对贝类造成二次污染。水流速度过大会使沉降的排泄物再悬浮,同时也会使杀菌系统没有足够的时间去杀灭水体中的有害物质^[6];水流速度过小容易造成水体乏氧和摄食减弱,影响贝类代谢速率,造成效率低下。净化长牡蛎中的大肠杆菌时,水交换率 5 次/h 的净化效率最高,显著优于 1 次/h^[14]。净化近江牡蛎,水交换率 4 次/h 在 1 天内把大肠菌群从 13.4 MPN/g 降到 3 MPN/g 以下,优于 2 次/h 和 8 次/h^[49]。水流的选择应有利于污物的排出和水体的净化消毒,同时还需兼顾贝类的摄食和呼吸代谢活动,使其有利于净化的要求。

2 贝类净化与风味

贝肉的风味主要由挥发性香气和滋味共同组成。不饱和醇和醛等物质是产生挥发性香气的主要成分,水溶性低分子量游离氨基酸、核苷酸、无机离子等是影响滋味的主要成分^[50]。贝类净化过程中的投喂活动和消毒灭菌工艺,以及去除重金属添加的脱除剂等都会在一定程度上影响贝类体内各种风味物质含量,进而影响贝类风味。

2.1 净化对风味的影响

紫外线净化不会产生化学残留物^[51],且紫外线并非直接作用于贝类,因此认为紫外线对贝类风味的影响较小。

氯制剂本身就带有特别的化学味道,且作用时易产生有毒的氯胺,因此氯制剂净化的贝类一般会有化学味道且口感差^[11]。但也有人认为使用浓度为 8 ppm 的二氧化氯净化后的菲律宾蛤仔风味要比未净化的更清鲜^[18]。因此氯制剂净化时可能存在阈值,超过阈值便会对贝类风味产生不良影响。

臭氧具有高反应活性,难以预测臭氧会与贝类的风味物质发生何种反应。如臭氧用量控制不当可能会产生不良气味,导致食物的颜色、口感和味道的

退化^[52]。水体中过量残存臭氧会与蛋白质发生反应,导致肽键断裂和一系列氨基酸侧链修饰,从而导致牡蛎肉质松软,降低品质^[53]。

贝类净化时的水质参数也会影响贝类风味,最有代表性的是盐度。贝体内脂质组成直接影响贝类的肉质和口感。研究表明,低盐度条件利于缢蛏(*Sinonovacula constricta*)体内脂质的积累,而高盐度条件能够降低脂质含量^[54]。

2.2 贝类风味改良研究

通过投喂营养成分不同的饵料可以影响贝类的风味。如投喂微绿球藻会提高贝体内 3-羟基-1-辛烯醇、戊二酮和 2-戊烯醛等的含量,从而使贝类产生类似植物的芳香和果香;投喂假微型海链藻会提高贝体内 3-甲基-正丁醛等的含量,使贝类产生甜香、坚果香和清香味;青岛大扁藻和球等鞭金藻通过影响贝体内二甲基硫的含量,可能是缢蛏风味的重要呈味成分^[55]。

盐度还可以影响呈味氨基酸的组成和含量,从而影响贝类风味。如湛江东海岛的盐度年变化为 23~27,此地养殖的香港牡蛎(*C. hongkongensis*)中鲜、甜味呈味氨基酸含量显著高于其他三个低盐度养殖区^[56]。Ran^[54]等发现随着盐度的增加,缢蛏中甾醇和十八碳以下的多不饱和脂肪酸含量均呈下降趋势,而 EPA 和 DHA 等二十碳以上的多不饱和脂肪酸含量呈增长趋势。将生长在自然海区(盐度为 23)的缢蛏在低盐度 13 下培养 5 天后,其体内脂质含量显著性升高,随后转移到高盐度 23 环境下培养 15 天,脂质含量则降回高盐度培养时的水平;高盐度同时还提高了 EPA 和 DHA 等不饱和脂肪酸的含量^[54]。

因此,将适宜生活在低盐海区的贝类转移到高盐水域进行暂养或净化,配合提升风味的饵料,有望实现短期内改善贝类的营养价值和风味的目的。

3 研究工作展望

随着人们对食品安全和品质的要求越来越高,贝类净化的关注度也越来越高。我国贝类净化起步较晚,与国际水平仍有一些距离。近几年,污染物的类型越来越多,也给贝类净化提出了新的要求。目前我国针对不同的贝类并没有成套科学的净化工艺,且净化的工艺参数缺乏量化依据。因此,针对不同生境类型的贝类、不同污染物及环境参数,需重点开展以下几方面的基础性研究工作。

3.1 开展贝类重金属脱除机理与技术研究

贝类毒素和 POPs 无法通过短期净化排除食用风险,一般不具有净化的商业价值。在具有净化价值的几类污染物中,净化效率从高到低依次为泥沙、大肠杆菌、弧菌、病毒和重金属,可见,重金属是最难去除的一类污染物。然而当重金属初始污染水平高于一定阈值时,由于净化周期延长,也将失去净化的商业价值。因此,研究贝体内重金属的代谢机制,构建轻度重金属污染贝类高效净化技术是产业发展的迫切需要。

3.2 兼顾风味保持与品质提升的净化工艺研究

贝类净化使用的消毒灭菌水,以及净化期间投喂的饵料都会影响贝类净化后的风味品质,查明净化工艺对与贝类风味的影响,构建兼顾风味保持与品质提升的新工艺、新技术、新装置是贝类净化必须解决的一项技术难题。

3.3 贝类净化专用人工饵料的研发

尽管不投喂也能达到部分贝类净化指标,但是进行投喂能够显著提高净化效率。研发贝类人工饵料,是贝类净化、品质提升,以及贝类室内养殖需要解决的关键技术问题。

3.4 开展对生物毒素的净化研究

贝类毒素不会使贝体发生肉眼可见的变化,通过颜色和气味不能判断其是否已染毒。煎炒、水煮、高温、高压等常用的烹饪方法也不能完全破坏贝类毒素。目前只有少量研究针对生物毒素的净化,亟需开展相关基础研究,建立有效的食品安全控制方法。

3.5 建立差异化的贝类净化标准

不同食用类型贝类的净化要求不同,如生食贝类与烹食贝类对大肠杆菌类微生物的要求差别较大;不同底质类型生长的贝类含有的污染物差别较大,如中国蛤蜊、青蛤等埋栖贝类影响品质的污染物主要是泥沙等固型颗粒物,牡蛎、扇贝等吊养贝类则更多关注的是细菌含量和风味。因此,应建立以目标污染物和市场需求为导向的差异化、标准化的贝类净化工艺和技术标准。

参考文献:

[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[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Fisheries and Fisheries Administration, Nation Fishes Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019.
- [2] 叶挺, 赵明明, 郑怀平, 等. 利用大型海藻净化养殖牡蛎体内重金属的研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(31): 160-164.
Ye Ting, Zhao Mingming, Zheng Huaiping, et al. Removing heavy metals in cultured oysters with macroalgae[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(31): 160-164.
- [3] Richards G P. Shellfish-associated enteric virus illness: Virus localization, disease outbreaks and prevention[M]// Goyal S M, Cannon J L. Viruses in Foods Second Edition. USA: Springer Nature, 2016: 185-207.
- [4] 明红霞, 樊景凤, 吴利军, 等. 我国沿海主要经济贝类中典型人类肠道病毒的污染分布[J]. 微生物学报, 2014, 54(1): 69-79.
Ming Hongxia, Fan Jingfeng, Wu Lijun, et al. Contamination of typical human enteric viruses in economic shellfish along the Chinese coast[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2014, 54(1): 69-79.
- [5] 商务部驻大连特派员办事处. 我国扇贝类产品遭禁 19 年后重获欧盟复关 大连水产品出口迎来新机遇[OL]. 2016-03-17. <http://dltb.mofcom.gov.cn/article/g/i/201603/20160301277039.shtml>.
Ministry of Commerce of the People's Republic of China Special Commissioner's Office in Dalian. My country's scallop products have been banned for 19 years and regained EU customs clearance. Dalian aquatic product exports usher in new opportunities[OL]. 2016-03-17. <http://dltb.mofcom.gov.cn/article/g/i/201603/20160301277039.shtml>.
- [6] Lee R, Lovatelli A, Ababouch L. Bivalve depuration: fundamental and practical aspects[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2008: 1-139.
- [7] 陈辅利, 高光智, 巩晓东, 等. 金贝广场贝类暂养净化的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(1): 90-94.
Chen Fuli, Gao Guangzhi, Gong Xiaodong, et al. The preliminary research of shellfish and aquaculture purification of Jinbei[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2006, 21(1): 90-94.
- [8] Motes M L, Depaola A. Offshore suspension relaying to reduce levels of *Vibrio vulnificus* in oysters (*Crassostrea virginica*)[J]. Applied and environmental microbiology, 1996, 62(10): 3875-3877.
- [9] Doré B, Keaveney S, Flannery J, et al. Management of health risks associated with oysters harvested from a norovirus contaminated area, Ireland, February-March 2010[J]. European Communicable Disease Bulletin, 2010, 15(19): pii/19567.
- [10] Somerset I J. Molluscan shellfish depuration[M]. U S: CRC Press, 1991: 25-29.
- [11] Schneider K R, Cevallos J, Rodrick G E. Shellfish Safety and Quality[M]. North America: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 2009: 509-541.
- [12] 陈坚, 柯爱英, 洪小括. 泥蚶与牡蛎净化工艺优化初探[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(1): 132-138.
Chen Jian, Ke Aiying, Hong Xiaokuo. Preliminary studies of shellfishes (*Tegillarca granosa* and *Ostrea plicatula*) purification technique[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(1): 132-138.
- [13] 刘保忠, 张涛, 杨红生, 等. 一种滩涂埋栖性贝类生物净化方法: 中国, CN1539269[P]. 2004-10-27.
Liu Baozhong, Zhang Tao, Yang Hongsheng, et al. Biological depuration method for buried shellfish in tidal flat: China, CN1539269[P]. 2004-10-27.
- [14] 慕翠敏, 孔令峰, 于红, 等. 太平洋牡蛎中大肠杆菌净化的实验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(s1): 83-86.
Mu Cuimin, Kong Lingfeng, Yu Hong, et al. Effects of different factors on depuration of *Escherichia coli* from *Crassostrea gigas*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(s1): 83-86.
- [15] Phuvasate S, Chen M H, Su Y C. Reductions of *Vibrio parahaemolyticus* in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) by depuration at various temperatures[J]. Food Microbiol, 2012, 31(1): 51-56.
- [16] de Abreu Corrêa A, Souza D S M, Moresco V, et al. Stability of human enteric viruses in seawater samples from mollusc depuration tanks coupled with ultraviolet irradiation[J]. Journal of applied microbiology, 2012, 113(6): 1554-1563.
- [17] Ciulli S, Volpe E, Pagliarani A, et al. A preliminary study on a novel sea water disinfection process by a peroxy-acid compound to complement and improve the microbial depuration of clams (*Ruditapes philippinarum*)[J]. Food Control, 2017, 80: 226-235.
- [18] 许永安, 廖登远, 章超桦, 等. 菲律宾蛤仔净化技术研究[J]. 渔业现代化, 2007, 34(4): 9-12.
Xu Yongan, Liao Dengyuan, Zhang Chaoye, et al. Study on depuration technology of *Ruditapes philippinarum*[J]. Fishery Modernization, 2007, 34(4): 9-12.
- [19] Ren T, SU Y C. Effects of electrolyzed oxidizing water treatment on reducing *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in raw oysters[J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(8): 1829-1834.
- [20] 李国威, 傅润泽, 沈建, 等. 微酸性电解水对活品虾夷扇贝存活率的影响及杀菌效果[J]. 渔业现代化, 2016,

- 43(1): 68-74.
- Li Guowei, Fu Runze, Shen Jian, et al. The effects of slightly acidic electrolyzed water on the disinfection and survival rate of live Japanese scallop (*Patinopecten yessoensis*)[J]. Fishery Modernization, 2016, 43(1): 68-74.
- [21] Croci L, Suffredini E, Cozzi L, et al. Effects of depuration of molluscs experimentally contaminated with *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* O1 and *Vibrio parahaemolyticus*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2002, 92(3): 460-465.
- [22] 乔庆林, 蔡友琼, 徐捷, 等. 采用臭氧系统净化太平洋牡蛎中的大肠杆菌[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(5): 72-75.
- Qiao Qinglin, Cai Youqiong, Xu Jie, et al. A study on ozone system depuration for *E. coli* in Pacific Oyster[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(5): 72-75.
- [23] Blogoslawski W J, Stewart M E, Hurst J W, et al. Ozone detoxification of paralytic shellfish poison in the softshell clam (*Mya arenaria*)[J]. Toxicon, 1979, 17(6): 650-654.
- [24] Su Y C, Liu C C. Seafood Processing: Technology, Quality and Safety[M]. John Wiley and Sons, Ltd, UK: John Wiley and Sons, Ltd, 2014: 9-28.
- [25] 王艳, 周培根, 徐文达, 等. 臭氧—紫外组合法净化贝类研究[J]. 水产科学, 2004, 23(5): 31-33.
- Wang Yan, Zhou Peigen, Xu Wenda, et al. Shellfish depuration by integrated O₃-UV method[J]. Fisheries Science, 2004, 23(5): 31-33.
- [26] de Abreu Corrêa A, Rigotto C, Moresco V, et al. The depuration dynamics of oysters (*Crassostrea gigas*) artificially contaminated with hepatitis A virus and human adenovirus[J]. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 2012, 107(1): 11-17.
- [27] de Abreu Corrêa A, Albarnaz J D, Moresco V, et al. Depuration dynamics of oysters (*Crassostrea gigas*) artificially contaminated by *Salmonella enterica* serovar Typhimurium[J]. Marine Environmental Research, 2007, 63(5): 479-489.
- [28] 房传栋, 张宾, 吕丹丹, 等. 不同脱除剂对暂养紫贻贝体内重金属 Cd²⁺的脱除效果[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 44-48.
- Fang Chuandong, Zhang Bin, Lü Dandan, et al. Depuration of cadmium from cultured mussels (*Mytilus edulis*) by different removal reagent[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 44-48.
- [29] Yang C, Liu Q K, Meng X H, et al. Depuration of cadmium from *Chlamys farreri* by ZnSO₄, EDTA-Na₂ and sodium citrate in short time[J]. Chemosphere, 2020, 244: 1-7.
- [30] 国家食品药品监督管理总局. GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京: 2017-03-17.
- National Medical Products Administration. GB 2762-2017 Food safety national standard contaminant limits in food[S]. Beijing: 2017-03-17.
- [31] 朱常龙, 汪东风, 孙继鹏, 等. 壳寡糖配合物对扇贝产品中镉的脱除作用[J]. 农产品加工(创新版), 2010, (7): 10-13, 20.
- Zhu Changlong, Wang Dongfeng, Sun Jipeng, et al. The removal of Cadmium from *Chlamys farreri* by chitosan oligosaccharide complexes with Ca and Mg[J]. Innovative Edition of Farm Products Processing, 2010, (7): 10-13, 20.
- [32] Wu F C, Tseng R L, Juang R S. A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbents for selected heavy metals[J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91(4): 798-806.
- [33] Campo V L, Kawano D F, Jr Dilson B d S, et al. Carra-genans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 77(2): 167-180.
- [34] Yang X M, Dai W J, Sun H L, et al. Arsenic Removal from *Pinctada martensii* Enzymatic Hydrolysate by Using Zr(IV)-Loaded Chelating Resin[J]. Journal of Ocean University of China, 2013, 12(3): 392-396.
- [35] 姚茹, 孔韶锋, 黎祖福. 微生态制剂在牡蛎净化中的应用[J]. 海洋与渔业, 2014, (10): 68-70.
- Yao Ru, Kong Shaofeng, Li Zufu. Application of Micro-ecological agent in the depuration of oysters[J]. Ocean and Fishery, 2014, (10): 68-70.
- [36] Fiorati A, Grassi G, Graziano A, et al. Eco-design of nanostructured cellulose sponges for sea-water decontamination from heavy metal ions[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 246: 119009.
- [37] El-gamal M. The effect of depuration on heavy metals, petroleum hydrocarbons, and microbial contamination levels in *Paphia undulata* (Bivalvia: Veneridae)[J]. Czech Journal of Animal Science, 2011, 56(8): 345-354.
- [38] Braga Ana C, Camacho C, Marques A, et al. Combined effects of warming and acidification on accumulation and elimination dynamics of paralytic shellfish toxins in mussels *Mytilus galloprovincialis*[J]. Environmental research, 2018, 164: 647-654.
- [39] 沈和定, 付金花, 冉福. 麻痹性贝毒在文蛤体内的累积及净化技术研究[J]. 海洋科学, 2011, 35(7): 45-50.
- Shen Heding, Fu Jinhua, Ran Fu. Accumulation and detoxification of paralytic shellfish poison (PSP) in hard clam *Meretrix meretrix*[J]. Marine Sciences, 2011, 35(7): 45-50.
- [40] Xie W C, Liu X L, Yang X H, et al. Accumulation and depuration of paralytic shellfish poisoning toxins in the oyster *Ostrea rivularis* Gould-Chitosan facilitates the

- toxin depuration[J]. Food Control, 2013, 30(2): 446-452.
- [41] Duinker A, Bergslien M, Strand Ø, et al. The effect of size and age on depuration rates of diarrhetic shellfish toxins (DST) in mussels (*Mytilus edulis* L.)[J]. Harmful Algae, 2007, 6(2): 288-300.
- [42] Blanco J, Fernández M L, Míguez A, et al. Okadaic acid depuration in the mussel *Mytilus galloprovincialis*: One- and two-compartment models and the effect of environmental conditions[J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 176: 153-163.
- [43] Madenwald N. Effect of water temperature on the rate of loss of paralytic shellfish poison from the butter clam, *Saxidomus giganteus*[M]//Anderson D M, White A W and Baden D G. Toxic Dinoflagellates. New York: Elsevier-North Holland, 1985: 479-484.
- [44] Fernández M L, Shumway S, Blanco J. Manual on harmful marine microalgae[M]. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Unesco, 2004: 663.
- [45] Hégaret H, Wikfors G H, Shumway S E. Shellfish Safety and Quality[M]. North America: Woodhead Publishing Limited, 2009: 43-80.
- [46] Pommepuy M, Caprais M P, Saux J C L, et al. Evaluation of viral shellfish depuration in a semi-professional tank[M]//Villalba A, Reguera B, Romalde JL et al. Molluscan shellfish safety. Conselleria de Pesca e Assuntos Marítimos da Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Santiago de Compostela, Spain, 2003: 485-499.
- [47] Tamplin M L, Capers G M. Persistence of *Vibrio vulnificus* in tissues of Gulf Coast oysters, *Crassostrea virginica*, exposed to seawater disinfected with UV light[J]. Applied and environmental microbiology, 1992, 58(5): 1506-1510.
- [48] Phuvasate S, Su Y C. Impact of water salinity and types of oysters on depuration for reducing *Vibrio parahaemolyticus* in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*)[J]. Food Control, 2013, 32(2): 569-573.
- [49] 林清, 马庆涛, 李春晓, 等. 臭氧—紫外线组合对净化近江牡蛎大肠菌群及细菌总数的灭菌效果[J]. 热带生物学报, 2017, 8(4): 404-408, 423.
Lin Qing, Ma Qingtao, Li Chunxiao, et al. Effect of combined ozone -ultraviolet on the total colony count and the coliform group in *Crassostrea rivularis*[J]. Journal of Tropical Biology, 2017, 8(4): 404-408, 423.
- [50] 章超桦, 解万翠. 水产风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 92-117.
Zhang Chaoye, Xie Wancui. Fisheries flavor chemistry[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2012: 92-117.
- [51] Wang W, Li M, Li Y B. Intervention strategies for reducing *Vibrio parahaemolyticus* in seafood: A review[J]. Journal of Food Science, 2014, 80(1): R10-R19.
- [52] Khadre M A, Yousef A E, Kim J - G. Microbiological aspects of ozone applications in food: A review[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(9): 1242-1252.
- [53] Pardío-Sedas V. Processing and impact on active components in food[M]. San Diego: Academic Press, 2015: 455-461.
- [54] Ran Z S, Chen H, Ran Y, et al. Fatty acid and sterol changes in razor clam *Sinonovacula constricta* (Lamarck 1818) reared at different salinities[J]. Aquaculture, 2017, 473: 493-500.
- [55] 周率, 冉照收, 徐继林, 等. 不同微藻对缢蛏稚贝肉质风味的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 173-178.
Zhou Lü, Ran Zhaoshou, Xu Jilin, et al. Effects of different dietary microalgae on flavor compounds of juvenile *Sinonovacula constricta*[J]. Food Science, 2017, 38(6): 173-178.
- [56] 丁丹勇, 李长玲, 黄翔鹤, 等. 不同养殖区香港牡蛎营养成分的分析与评价[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(5): 91-95.
Ding Danyong, Li Changling, Huang Xianghao, et al. Analysis and evaluation of nutritive components of *Crassostrea hongkongensis* from different cultural areas[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(5): 91-95.

Research status and prospects of shellfish depuration technology

QIU Tian-long^{1, 3}, CHEN Wen-chao^{1, 4}, QI Jian-fei⁵, LIU Jin-hu², DONG Yi²,
SUN Jian-ming^{1, 3}

(1. CAS Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. CAS Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. Fisheries Research Institute of Fujian, Key laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China)

Received: Aug. 9, 2020

Key words: shellfish depuration; flavor; quality improvement; water treatment technology; heavy metals

Abstract: With the increasingly prominent environmental problems in aquaculture waters, the food safety of shellfish has been attracting widespread attention. It is predicted that shellfish depuration before circulation in the market will become an indispensable processing step. This article summarizes the current research progress on the types of shellfish depuration, water treatment technology, effect of shellfish depuration on flavor, etc., both home and abroad and provides a reference for further research on shellfish depuration.

(本文编辑: 赵卫红)