温度、流速对中国蛤蜊吐沙净化的影响及效果评价方法研究

陈文超[1,4], 杜以帅[1,3], 刘金虎[2], 孙建明[1,3], 邱天龙[1,3]

(1. 中国科学院海洋研究所 实验海洋生物学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋研究所 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)

摘要: 本研究在实验室条件下, 以定量化口感测试和解剖法为评价方法, 探讨不同温度和水流流速对中国蛤蜊吐沙净化的影响, 并比较分析了两种评价方法可行性。实验设定了 4 个温度梯度分别为 14、18、22、26 ℃和 5 个流速梯度分别为 20、40、80、160、320 L/h, 结果表明不同温度和流速对吐沙净化的影响不同, 14 ℃和 18 ℃时, 流速对吐沙净化无显著性影响(P>0.05), 22 ℃和 26 ℃时, 流速对吐沙净化有显著性影响(P<0.05); 14 ℃时, 各流速的净化效果均不理想, 18、22 和 26 ℃时, 流速 40 L/h 下吐沙 4~8 h 可达到较好净化效果。2 种评价方法比较的结果表明, 定量化口感测试评价方法能够较为准确地反映贝类泥沙净化效果, 可以作为贝类泥沙净化效果的评价方法; 通过解剖法获得贝类体内残余泥沙进行粒径分析, 易受到非泥沙颗粒物的干扰, 不能准确地反映贝类体内泥沙粒径与含量, 采用该方法作为吐沙净化评价方法时应做进一步优化。

关键词: 中国蛤蜊; 吐沙净化; 定量化口感测试; 温度; 流速

中图分类号: S984.3+1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-3096(2022)06-0032-10

DOI: 10.11759/hykx20210506001

中国蛤蜊(*Mactra Chinensis*)俗称黄蚬子, 隶属软体动物门、蛤蜊科, 是一种具有重要经济价值的养殖贝类, 广泛分布于我国黄渤海潮间带中下区的细砂滩至水深 60 m的浅海区[1]。中国蛤蜊营埋栖生活, 运动或摄食过程中会将底质泥沙带入体内, 在食用时会产生“牙碜”感。因此, 中国蛤蜊在收获后有必要对其进行吐沙净化。环境因子是影响贝类吐沙净化效果的重要因素[2-5]。温度、盐度等环境因子对贝类吐沙的影响规律已有较多研究[2-5], 但关于中国蛤蜊吐沙净化的适宜环境因子及其影响规律尚未阐明, 且不同贝类净化的适宜环境参数存在差异, 因此有必要对中国蛤蜊开展相关研究。吐沙净化效果大多以口感测试、解剖观察、灰分测定、相对吐沙量和排遗速率等为评价方法[2-11]。姚兴存等[2]以口感测试和灰分测定为评价方法, 发现文蛤(*Meretrix meretrix*)在温度 20~25 ℃条件下经海水、淡水净化 15 h 便可达到口感无沙的要求。杨凤等[3]以口感测试和排遗速率为评价方法, 发现毛蚶(*Scapharca subcrenata*)在温度 20 ℃、盐度 25 条件下净化 6 h 便可达到口感无沙的要求。王李宝等[4]以酸不溶性灰分为评价方法, 发现四角蛤蜊(*Mactra quadrangularis*)在流水条件下吐沙 8 h 便可达到很好的净化效果。评价方法的选择影响吐沙净化效率的判断。口感测试是最简单直接的评价方法, 根据“牙碜”感有无判断贝类体内泥沙有无。泥沙作为“牙碜”感产生的刺激物, 泥沙粒径和泥沙量影响“牙碜”感的有无和强弱, 能否通过贝类体内颗粒物粒径分析评价净化效果尚未明确。

本研究以定量化口感测试和解剖法为评价方法, 建立和完善口感测试评价方法的量化依据, 比较分析两种评价方法可行性, 同时探讨不同温度和流速对中国蛤蜊吐沙净化的影响, 为建立中国蛤蜊吐沙净化工艺技术提供基础。

收稿日期: 2021-05-06; 修回日期: 2021-06-25

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); 广西科技重大专项(桂科 AA17204094-3); 国家自然科学基金(31702392)

[Foundation: The National Key Research and Development Program of China, No. 2019YFD0900701; Science and Technology Major Project of Guangxi, Guike No. AA17204094-3; and the National Natural Science Foundation of China, No. 31702392]

作者简介: 陈文超(1996—), 男(汉族), 硕士研究生, 贝类净化, E-mail: 1173807822@qq.com; 邱天龙(1985—), 通信作者, 男(汉族), 博士, 主要从事水产工业化养殖工艺技术研究与装备研发, E-mail: oceanman@qdio.ac.cn.

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验用中国蛤蜊于 2020 年 7 月 12 日采自山东烟台海阳市丁字湾东侧海滩, 6 h 内带回实验室。清洗、去除表面杂质并剔除死亡和破损个体, 选用规格整齐的中国蛤蜊进行实验。中国蛤蜊壳长 34.06±2.23 mm, 壳高 24.85±1.82 mm, 质量 7.54±1.58 g(n=50)。

1.2 实验仪器

实验用贝类净化设施为上升流式循环水养殖系统, 具有控温、调节流速、过滤、泡沫分离除污和紫外灭菌功能(图 1)。实验用系统共 8 套, 每套系统有 6 个上升流式养殖容器, 养殖容器为锥底柱状, 内径 80 mm, 养殖水体自流速计以上至出水口 2.7 L。

粒径分析使用 BT-9300ST 激光粒度分布仪(丹东百特仪器有限公司; 检测限 0.05~1 500 μm)。



图 1 上升流式贝类净化实验装置

Fig. 1 Experimental upwelling culture system for shellfish depuration

1.3 实验方法

实验开始前随机取 160 个中国蛤蜊, 其中 100 个依照表 1 进行口感测试, 10 个使用解剖取样方法进行初始粒径分析, 50 个使用静置暂养吐沙方法进行初始粒径分析。

将剩余中国蛤蜊随机分成 40 组, 每组约 80 粒, 分别装入网孔为 11 mm×11 mm 的网兜中, 再放入柱状上升流养殖容器。实验盐度统一设 30, 实验温度设 14、18、22、26 ℃共 4 个梯度, 每个温度梯度使用 2 套系统, 每个温度下设 20、40、80、160、320 L/h 共 5 个流速梯度。实验过程均未投喂、未曝气, 采用室内自然光照。实验开始后的第 4、8、12、16 和 20 h 分别从每个处理组中取出 10 个中国蛤蜊, 其中 5 个进行口感测试, 5 个通过解剖取样方法获得颗粒物进行粒径分析。

1.4 数据分析方法

1.4.1 定量化口感测试

口感测试是最简单直接的评价方法, 也是最常用的评价方法, 但是缺乏统一的量化标准。多次口感测试预实验发现, 咀嚼次数(咀嚼第几次产生泥沙感)可以反映泥沙量, 即咀嚼次数越小表示泥沙量越大, 泥沙感的强烈程度可以反映泥沙粒径, 即泥沙感越强烈表示泥沙粒径越大。本研究口感测试评价小组由 8 人组成, 通过品尝不同粒径的泥沙、含不同粒径泥沙的中国蛤蜊以及不同含沙量的中国蛤蜊(蒸熟), 建立泥沙感等级划分和评分方法(见表 1)。评价小组实验发现, 如样品咀嚼 10 次无泥沙感, 其后咀嚼将不再会产生泥沙感。因此, 以 10 次为判断口感的临界咀嚼次数, 即咀嚼 10 次便可完成口感测试。

表 1 口感测试评分方法

Tab. 1 Taste test scoring method

等级	评定方法	评分
A	无“牙碜”感觉, 无不适感, 不影响食用	10
B	有“牙碜”感觉, 有轻微不适感, 影响食用	0~9
C	有“牙碜”感觉, 有强烈不适感, 严重影响食用	0

注: B 等级得分=咀嚼次数–1; 咀嚼次数为咀嚼第几次时产生泥沙感。

1.4.2 粒径分析

用于初始粒径分析的中国蛤蜊体内泥沙采用解剖取样方法和静水暂养吐沙 2 种方法获得。实验过程中中国蛤蜊体内泥沙采用解剖取样方法获得。

解剖取样时, 使用移液枪吸取 1 mL 蒸馏水, 利用水流的冲力将中国蛤蜊体内颗粒物冲刷进水样瓶中。为确保中国蛤蜊体内颗粒物全部冲刷进水样瓶, 重复此操作 5 次, 最终每个中国蛤蜊可获得约 5 mL 含颗粒物的水样, 每个重复组可获得 25 mL 含颗粒物水样, 然后把 2 个重复组水样混合均匀。最后使用激光粒度分布仪对 50 mL 含颗粒物的水样进行粒径分析。

静水暂养吐沙是将 50 个外壳清洗后的中国蛤蜊放置于 20 L 养殖槽中换水充气培养, 每天换水前将

养殖槽中排出的颗粒物收集 1 次，直至养殖槽内再无颗粒物出现，最后将收集的所有颗粒物均匀混合，采用静置方法浓缩，使用激光粒度分布仪进行粒径分析。

1.4.3 数据处理

使用 Excel、SPSS17.0 统计软件对所采集的数据进行作图及 Kruskal-Wailis 单因素方差分析，以 $P<0.05$ 作为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同温度下流速的净化效果

中国蛤蜊初始口感测试等级评价中，A 等级 0%、B 等级 5%、C 等级 95%，即初始含沙率为 100%，初始评分为 0.30±1.14 分。

在温度 14 ℃时，各流速实验组的口感测试得分无显著性差异($P>0.05$)，各流速实验组吐沙净化的效果并不理想(见图 2、表 2)。在温度 18 ℃时，各流速实验组的口感测试得分无显著性差异($P>0.05$)，流速 20、40 和 320 L/h 下净化 8 h 可达到较好的净化效果；流速 160 L/h 下净化 20 h 可达到较好净化效果(见图 3、表 2)。在温度 22 ℃时，各流速实验组的口感测试得分有显著性差异($P<0.05$)，净化 16 h 后 80 L/h 的口感测试得分显著高于 160 L/h，净化 20 h 后 20 L/h 的口感测试得分显著高于 40 L/h，其他组间无显著性差异；流速 20 L/h 和 40 L/h 净化 8 h 可达到较好的净化效果；流速 80 L/h 下净化 12 h 可达到

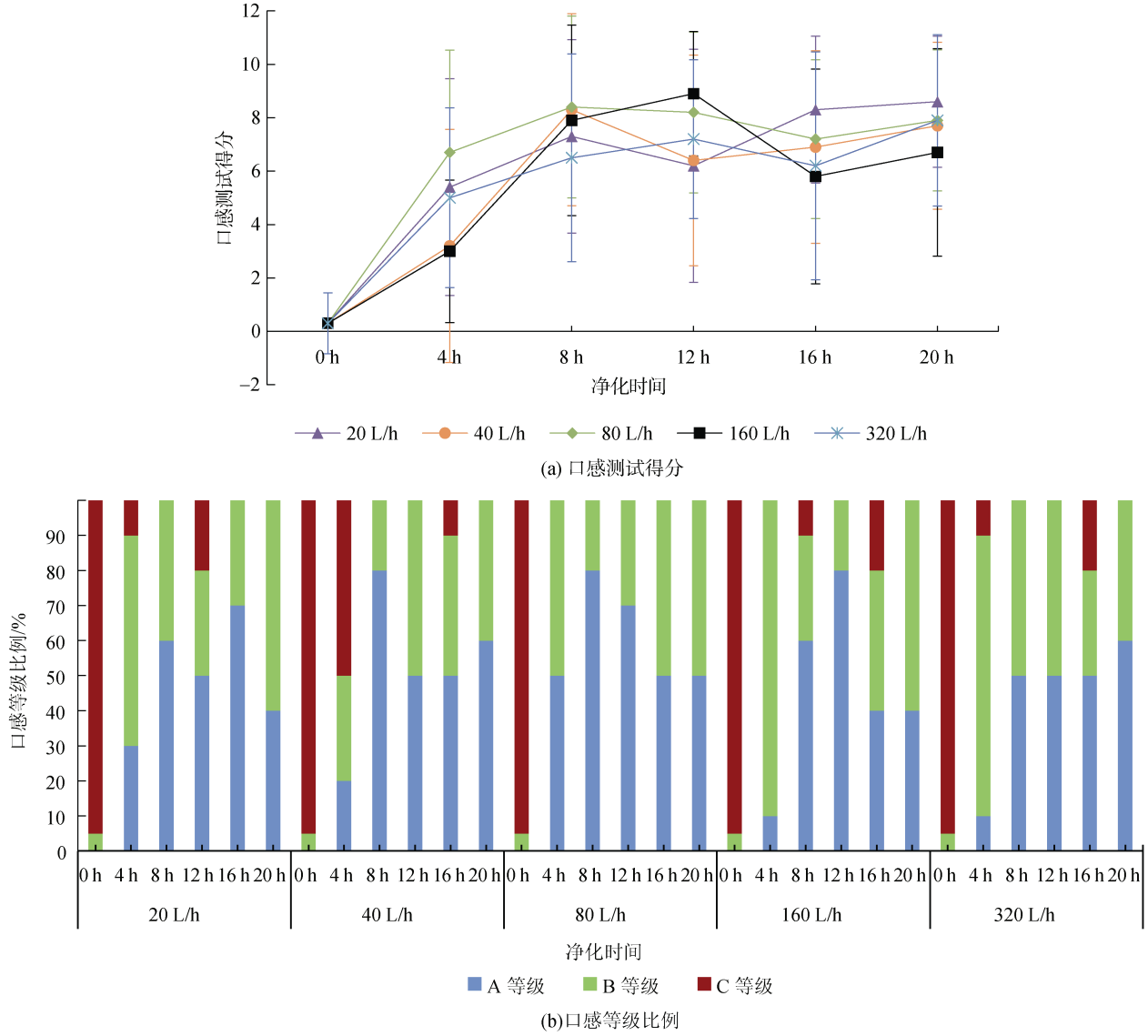


图 2 14℃下各流速不同时间口感测试得分和口感等级比例图

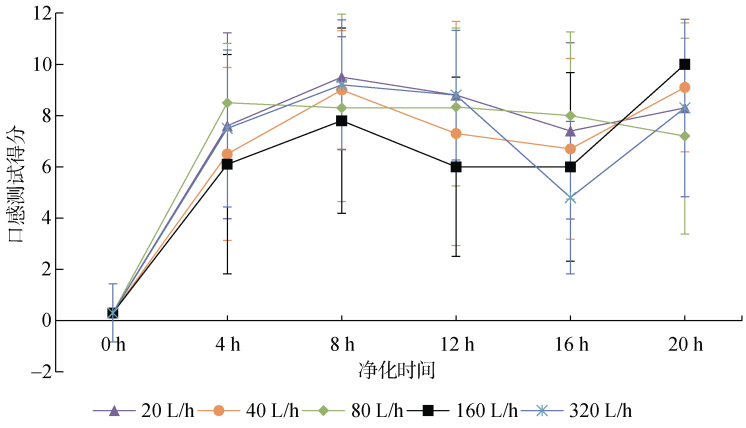
Fig. 2 Taste test scores and grade scale at different depuration time and flow velocity at 14 ℃

表 2　不同温度和流速下口感测试得分和口感等级所需最短净化时间(单位: h)

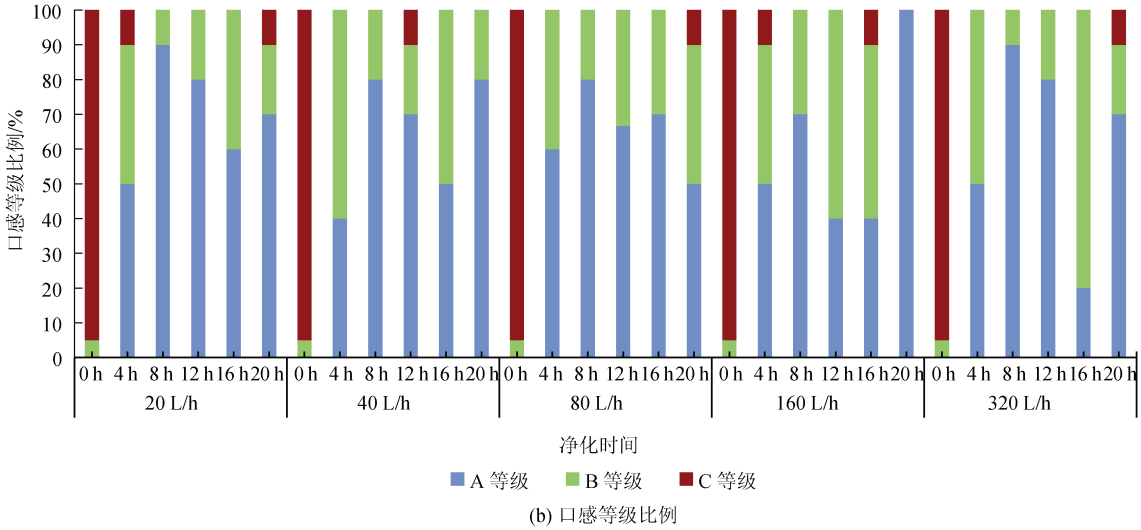
Tab. 2　The shortest depuration time required for taste test scores and grade scale under different temperatures and flow velocities (Unit: h)

温度/℃	口感等级	流速 20 L/h	流速 40 L/h	流速 80 L/h	流速 160 L/h	流速 320 L/h
14	口感测试得分≥9 分	—	—	—	—	—
	A 等级占比≥80%	—	8	8	12	—
	A 等级占比≥90%	—	—	—	—	—
18	口感测试得分≥9 分	8	8	—	20	8
	A 等级占比≥80%	8	8	8	20	8
	A 等级占比≥90%	8	—	—	—	8
22	口感测试得分≥9 分	8	8	12	—	—
	A 等级占比≥80%	8	8	8	12	8
	A 等级占比≥90%	8	12	12	—	—
26	口感测试得分≥9 分	—	4	12	12	—
	A 等级占比≥80%	12	4	8	8	16
	A 等级占比≥90%	—	—	12	12	—

注: 表中所示为口感测试得分≥9 分、A 等级占比≥80%和 A 等级占比≥90%所需最短净化时间; —表示实验周期内未达 9 分或 A 等级占比不达 80%。



(a) 口感测试得分



(b) 口感等级比例

图 3　18℃下各流速不同时间口感测试得分和口感等级比例图

Fig. 3　Taste test scores and grade scale at different depuration time and flow velocity at 18 ℃

较好净化效果(见图 4、表 2)。在温度 26 ℃时，各流速实验组的口感测试得分有显著性差异(P<0.05)，净化 4 h 后 20 L/h 和 40 L/h 的口感测试得分显著高于 80 L/h；流速 40 L/h 下净化 4 h 可达到较好净化效果；流速 80 L/h 和 160 L/h 下净化 12 h 可达到较好的净化效果(见图 5、表 2)。

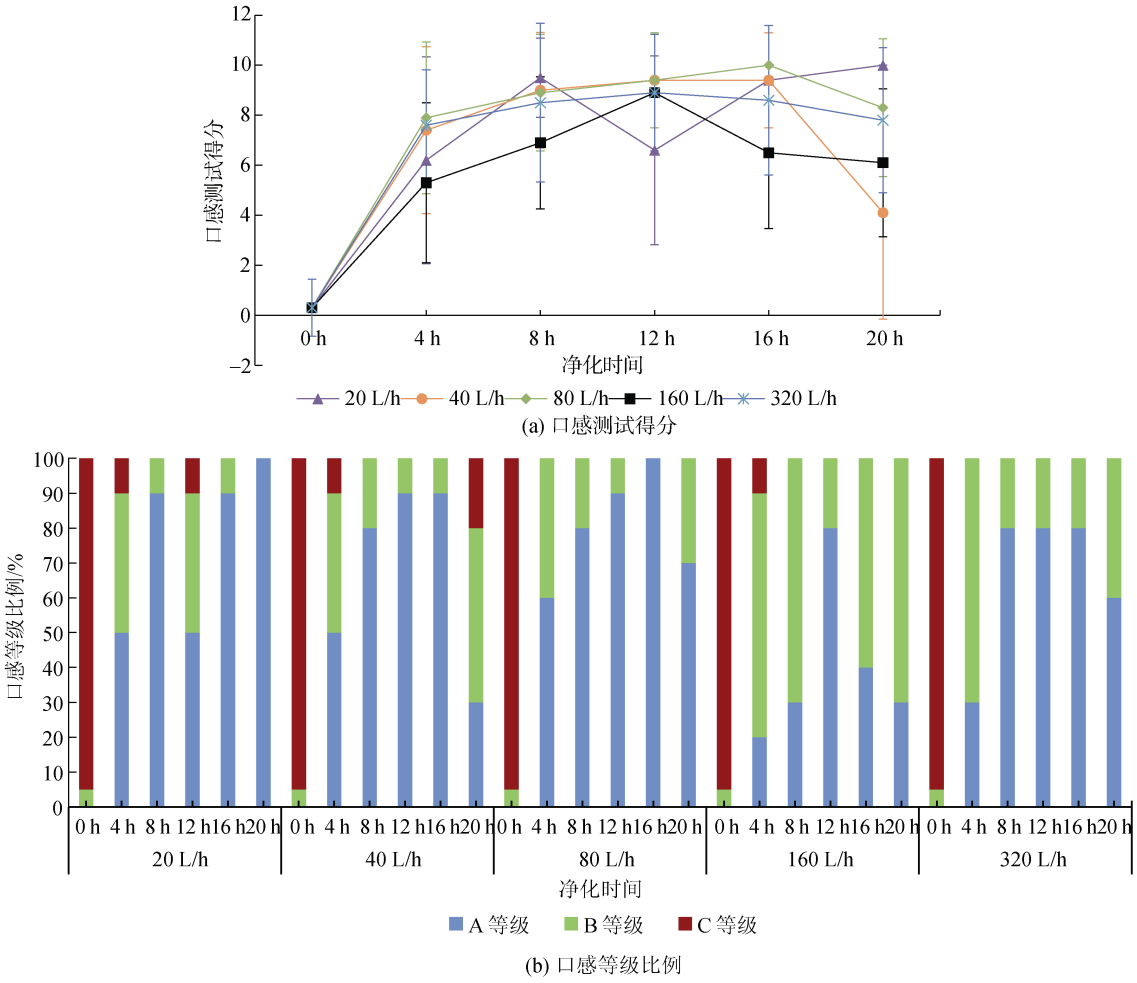


图 4　22℃下各流速不同时间口感测试得分和口感等级比例图

Fig. 4　Taste test scores and grade scale at different depuration time and flow velocity at 22 ℃

2.2　基于解剖法的粒径分析评价方法

采用静水暂养吐沙获得的泥沙进行初始粒径分析所得结果如图 6a 所示，颗粒物的粒径范围为 1.99~343.90 μm，根据 GB/T 12763.8-2007 海洋调查规范 第 8 部分 海洋地质地球物理调查简分法[6]对颗粒物粒径分级，黏土(0~4 μm)约占 1.25%，细粉砂(4~16 μm)约占 6.82%，粗粉砂(16~63 μm)约占 32.63%，细砂(63~250 μm)57.60%，中砂(250~500 μm)约占 1.70%。颗粒物体积平均粒径为 89.37 μm，D50 为 76.67 μm，D90 为 180.1 μm。采用解剖取样获得的泥沙进行粒径分析所得结果如图 6b 所示，颗粒物的粒径范围为 2.25~210.5 μm，黏土约占 1.13%，细粉砂约占 4.86%，粗粉砂约占 26.02%，细砂 67.99%。颗粒物体积平均粒径为 87.47 μm，D50 为 85.66 μm，D90 为 150.5 μm。

由表 3 可知，各实验组的 D90 粒径并非单调升高或单调降低的，均出现了波动。由图 7 可知，基于解剖法获得的 D90 粒径与口感测试得分并无较好的相关性，说明在口感测试评价时应综合口感测试得分和等级划分评判其含沙率和泥沙粒径。在 100 组粒径分析样品中有 16 组低于仪器检出限未获得数据，有 12 组的粒径分析结果超出了初始粒径分析的最大值，可能是因为在样品中混有蛤蜊组织碎屑或粪便等干扰物。在本实验中，受样本量及仪器检测工艺限制较难获得全部可靠数据。可见，基于解剖法获得泥沙样本进行粒径分析以评价吐沙净化效果的方法可信度不高。

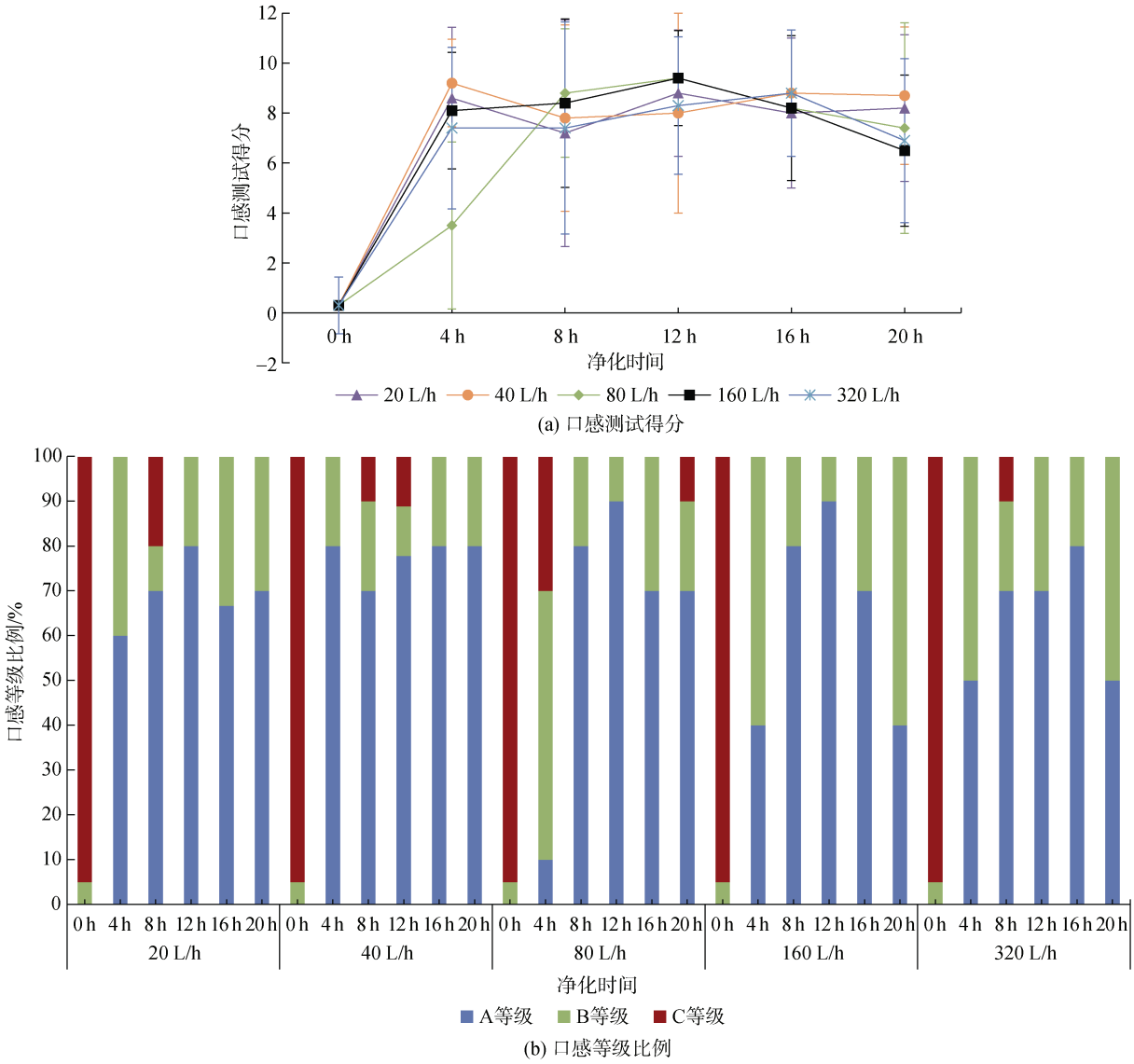


图 5　26℃下各流速不同时间口感测试得分和口感等级比例图

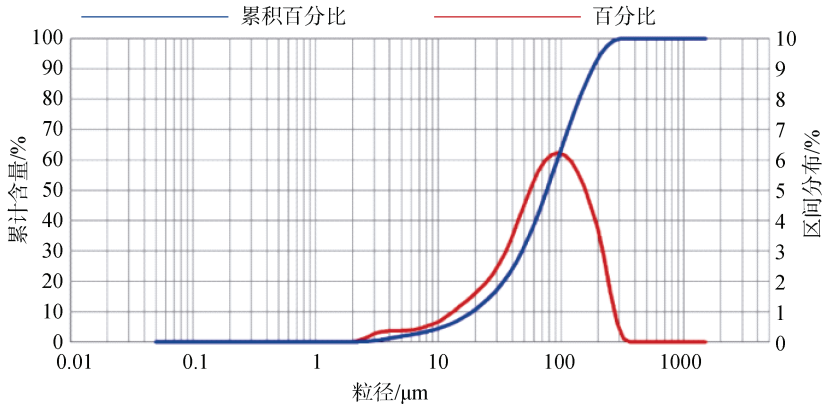
Fig. 5　Taste test scores and grade scale at different depuration time and flow velocity at 26 ℃

3　讨论

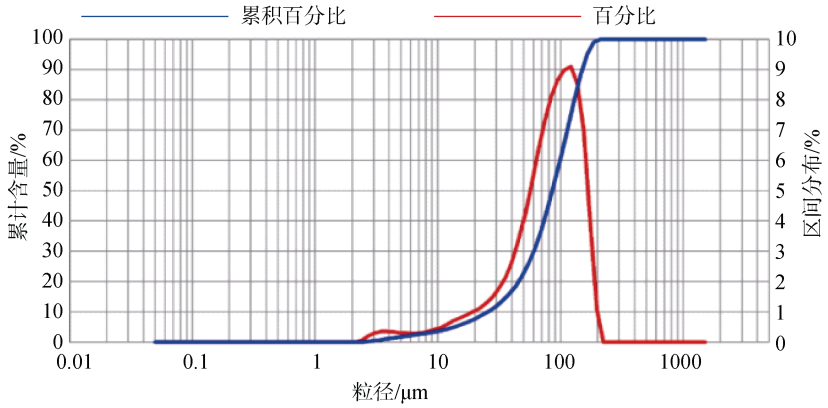
3.1　吐沙净化评价方法

吐沙净化的现有评价方法主要有口感测试、解剖观察、灰分测定、相对吐沙量、排遗速率、比重法和超声检测法等[4-11]。口感测试方法是利用测试者感官对有无泥沙进行定性判别，无法反映泥沙含量及食用时泥沙感强烈程度。解剖观察是通过肉眼或显微镜观察贝类体内泥沙等颗粒物进行评价，可评价出颗粒物有无、粒径及其在贝类体内的分布情况。灰分测定是用吐沙前后的灰分差值代表贝类排出的颗粒物[4]。相对吐沙量和排遗速率是通过测定贝类排出的颗粒物来评价[7-11]，但其并不能准确表示贝类体内的颗粒物水平。比重法和超声检测法是利用匀浆静置和振荡将贝肉与泥沙分离，可以实现贝类体内泥沙的准确定量[12-13]。

本研究对口感测试和解剖法进行优化，比较了2 种方法用于贝类吐沙净化效果评价的可行性。口感测试是最简单直接的评价方法，针对其无法实现量化评价的缺点，本文将咀嚼次数、口感等级和口感得分引入到口感测试中，利用咀嚼次数量化口感测试得分(0~10)反映泥沙量的多少，利用口感等级(A、B和 C)反映泥沙感的强烈程度，提高了口感测试的科学性和准确性，建立了定量化的口感测试评价方法。



(a) 静水暂养吐沙获得的泥沙初始粒径分布



(b) 解剖取样获得的泥沙初始粒径分布

图 6　静水暂养吐沙和解剖取样分别获得的中国蛤蜊体内泥沙初始粒径分布图

Fig. 6　Initial particle size distributions of clam (*Mactra Chinensis*) obtained from temporary depuration in still water and anatomical sampling, respectively

表 3　不同温度、流速和时间下中国蛤蜊体内颗粒物 D90 粒径(单位: μm)

Tab. 3　D90 particle size of clam (*Mactra Chinensis*) under different temperatures, flow velocities, and depuration time (Unit: μm)

温度/℃	流速/(L·h^{-1})	4 h	8 h	12 h	16 h	20 h
14	20	134.3	159.1	181	153.7	407.8*
	40	60.87	288.4	262	105.4	355.9*
	80	101.4	95.27	—	140	989.70*
	160	164.9	126.6	111.7	932.80*	292.4
	320	91.13	99.59	216.9	140.7	951.80*
18	20	980.40*	383.9*	98.72	117.1	—
	40	93.74	—	98.16	69.93	243.8
	80	144.5	—	212.3	143.5	331.7
	160	—	464.50*	144.9	96.4	279.7
	320	169.5	243.9	93.62	—	283.4
22	20	—	110.5	515.40*	68.71	—
	40	146	46.6	183.4	218.1	—
	80	929*	—	114.5	188.4	585*
	160	118.9	—	151.1	134.3	246.7
	320	283.6	149.8	160.2	97.66	—

续表

温度/℃	流速/(L·h^{-1})	4 h	8 h	12 h	16 h	20 h
26	20	59.56	254.4	164.9	150.4	111.6
	40	94.01	—	93.03	185	322.5
	80	—	157.8	—	10.88	—
	160	134.7	251.1	65.21	113.3	109.8
	320	129	357.7*	66.32	39.56	72.86

注: —表示未获得 D90 数据; *表示 D90 超出初始粒径最大值 343.90; D90 指累积百分比为 90%时的粒径

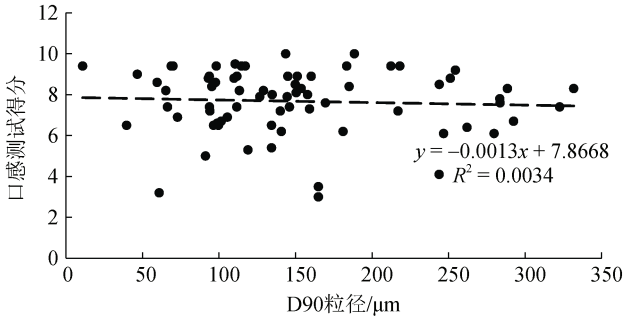


图 7　D90 粒径与口感测试得分

Fig. 7　D90 particle size and taste test score

本研究选用同时满足口感测试得分≥9 分和 A 等级占比≥80%作为取得较好贝类吐沙净化效果的分界点, 该分界点的选择是否恰当有待市场的检验和确定。结果分析显示, 优化后的口感测试评价方法可用于吐沙净化的效果评价, 并能较好地实现净化效果的量化分析。

借助激光粒度分析仪对解剖法获得泥沙进行粒径分析, 意图建立精准的泥沙粒径分布特征, 以定量化评价净化效果。结果分析表明, D90 粒径与口感测试得分的相关性不显著, 未能建立很好的定量化的评价方法。这主要是因为贝类体内颗粒物较难准确分离, 采用激光粒度分析仪进行粒径分析时, 易受到蛤蜊体内有机碎屑等污染物的影响, 不能准确地反映贝类体内泥沙粒径与含量。因此, 通过解剖法获得贝类体内残余泥沙进行粒径分析, 易受到非泥沙颗粒物的干扰, 在未对该方法进行进一步优化的条件下, 不适宜作为吐沙净化的评价方法。

3.2　温度和流速对吐沙净化的影响

温度是影响贝类吐沙净化的重要因素。本研究发现中国蛤蜊在温度 18、22 和 26 ℃下吐沙 4~8 h 可达到较好净化效果, 吐沙净化效果随温度的升高而先升后降, 在温度 22 ℃左右达到最好。已有研究表明, 在温度 13~28 ℃范围内, 中国蛤蜊的代谢随温度的升高而先升后降, 在温度 23℃左右耗氧率最大[14], 据此推测中国蛤蜊在 22 ℃时净化效果最好可能是因为该温度下中国蛤蜊代谢最为旺盛。花蛤(*Ruditapes philippinarum*)、毛蚶和大竹蛏(*Solen grandis*)等也存在类似现象, 在温度 15~30 ℃范围内, 其吐沙净化效果随温度的升高而先升后降, 均在温度 20 ℃左右达到最好, 这一温度同样接近其代谢最为旺盛的温度[3, 11, 15-18]。可见, 温度主要通过影响贝类的代谢, 继而影响吐沙净化效果。

流速是影响贝类吐沙净化的重要因素。本文发现在不同温度下流速对吐沙净化的影响各不相同。在温度 14 ℃和 18 ℃下, 改变流速不足以显著影响中国蛤蜊吐沙净化。这可能是因为在此温度范围内贝类的代谢水平相对较低[14], 改变流速不足以抵消温度的影响。在温度 22 ℃和 26 ℃时, 流速对中国蛤蜊吐沙净化有显著性影响, 这可能是因为在适宜温度下贝类的代谢能力受流速的影响较大。综合考虑吐沙净化的时效, 在温度 18、22 和 26 ℃时, 中国蛤蜊在流速 40 L/h 下经过 4~8 h 吐沙可达到较好的净化效果。本实验采用贝类上升流培育系统进行贝类净化实验研究, 在实验过程中发现, 在贝类堆放 20~25 cm 条件下, 高流速上升流无法将贝类排出的泥沙等颗粒物带走, 实现贝类和污染物分离, 导致贝类口感测试得分出现了先增后降的现象。因此, 在贝类净化系统设计中还应考虑设计适宜的流场, 以实现贝类与污染物及时分离, 避免二次污染。

4　结论

本研究通过对口感测试评分方法进行量化, 能够较为准确地反映贝类泥沙净化效果, 可以作为贝类泥沙净化效果的评价方法; 通过解剖法获得贝类体内残余泥沙进行粒径分析, 易受到非泥沙颗粒物的干扰, 不能准确地反映贝类体内泥沙粒径与含量,

采用该方法作为吐沙净化评价方法时应做进一步优化。不同温度下流速对吐沙净化的影响不同; 14 ℃和18 ℃时, 流速对吐沙净化无显著性影响(P>0.05), 22 ℃和 26 ℃时, 流速对吐沙净化有显著性影响(P<0.05); 14 ℃时, 各流速的净化效果均不理想; 18、22和 26 ℃时, 流速 40 L/h 下经 4~8 h 可达到较好净化效果。

参考文献:

[1] 齐钟彦. 中国经济软体动物[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
QI Zhongyan. Economic mollusk of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998.

[2] 姚兴存, 许峰, 喻旭东. 文蛤的吐沙与全壳原汁即食产品的研发[J]. 食品工业科技, 2008, 29(11): 189-191.
YAO Xingcun, XU Feng, YU Xudong. Study on processing technology of hard clam purification and canned product[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(11): 189-191.

[3] 杨凤, 刘丹, 于倩, 等. 环境因子对毛蚶排遗和泥沙净化的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(6): 523-527.
YANG Feng, LIU Dan, YU Qian, et al. Influences of environmental factors on excrement and sand purification in blood clamp *Scapharca subcrenata*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 27(6): 523-527.

[4] 王李宝, 沈辉, 万夕和, 等. 四角蛤蜊吐沙工艺的初步研究[J]. 中国水产, 2009(9): 56-57.
WANG Libao, SHEN Hui, WAN Xihe, et al. Preliminary study on sand depuration technology of clam *Mactra venerformis Reeve*[J]. China Fisheries, 2009(9): 56-57.

[5] LEE R, LOOATELLI A, ABABOUCH L. Bivalve depuration: fundamental and practical aspects[M]//FAO, Fisheries Technical Paper. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 2008: 1-139.

[6] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范 第 8 部分: 海洋地质地球物理调查 GB/T 12763.7-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey—Part 8: Marine geology and geophysics survey GB/T 12763.7-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.

[7] 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.

[8] 陶晶, 杨瑞金, 张文斌, 等. 牡蛎净化工艺的研究[J]. 食品科技, 2008(7): 108-112.
TAO Jing, YANG Ruijin, ZHANG Wenbin, et al. Purification technique of fresh oysters[J]. Food Science and Technology, 2008(7): 108-112.

[9] 徐根峰, 杨瑞, 金闻芳. 青蛤净化工艺研究[J]. 食品工业科技, 2006 (3): 114-117.
XU Genfeng, YANG Rui, JIN Wenfang. Study on the depuration technology of clams *Cyclina sinensis*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006(3): 114-117.

[10] 水柏年. 环境因子对菲律宾蛤仔吐出杂物的影响[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(6): 446-451.
SHUI Bonian. Influences of environmental factors on waste discharging by Japanese carpet shell *Ruditapes philippinarum*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2007, 22 (6): 446-451.

[11] 宋松伟, 李丹, 王天麒, 等. 盐度、温度、充气对大竹蛏排遗速率和含沙率的影响[J]. 水产养殖, 2016, 37(4): 27-31.
SONG Songwei, LI Dan, WANG Tianqi, et al. Influences of salinity, temperature and aeration on excrement rate and sand amount of *Solen grandis Dunker*[J]. Journal of Aquaculture, 2016, 37(4): 27-31.

[12] 福建省质量技术监督局. 净化海水贝类: DB35/575-2004[S]. 福州: 福建省质量技术监督局, 2004.
Fujian province bureau of quality and technical supervision. Sea shellfish for depuration: DB35/575-2004[S]. Fuzhou: Fujian province bureau of quality and technical supervision, 2004.

[13] 荆圆圆, 刘广斌, 孙铭, 等. 文蛤含沙量超声检测法的建立及初步应用[J]. 广西科学院学报, 2020, 36(4): 406-410.
JING Yuanyuan, LIU Guangbin, SUN Ming, et al. Establishment and preliminary application of a ultrasonic testing method for sand content of *Meretrix meretrix*[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(4): 406-410.

[14] 王雅倩, 赵文, 程芳晋, 等. 体重和温度对中国蛤蜊耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(6): 544-548.
WANG Yaqian, ZHAO Wen, CHENG Fangjin, et al. Effects of body weight and temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in clam *Mactra chinensis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2009, 24(6): 544-548.

[15] 王冲, 孙同秋, 曾海祥, 等. 温度、盐度和规格对毛蚶滤水率的影响[J]. 水产学杂志, 2018, 31(6): 30-35.
WANG Chong, SUN Tongqiu, ZENG Haixiang, et al.

Effects of temperature, salinity and size on filtration rate of ark shell *scapharca subcrenata*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2018, 31(6): 30-35.

[16] 张雨, 陈爱华, 吴杨平, 等. 大竹蛏 *Solen grandis* 耗氧率及排氨率响应面法分析[J]. 水产学杂志, 2021, 34(2): 65-70.
ZHANG Yu, CHEN Aihua, WU Yangping, et al. Response surface analysis of oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of razor clam *Solen grandis*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2021, 34(2): 65-70.

[17] 王沛东. 基于花蛤生物学特性研究的吐沙机设计及仿真[D]. 保定: 河北农业大学, 2021.
WANG Peidong. Design and simulation of san-spiting machine based on biological characteristics of Clams[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2021.

[18] 董波, 薛钦昭, 李军. 温度对菲律宾蛤仔滤食率、清滤率和吸收率的影响[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(1): 37-42.
DONG Bo, XUE Qinzhao, LI Jun. The effect of temperature on the filtration rate, clearance rate and absorption efficiency of manila clam, *Ruditapes philippinarum*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2000, 21(1): 37-42.

Study of the evaluation method and suitable flow velocity and temperature parameters of Chinese clam (*Mactra chinensis*) for sand depuration

CHEN Wen-chao[1, 4], DU Yi-shuai[1, 3], LIU Jin-hu[2], SUN Jian-ming[1, 3], QIU Tian-long[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)

Received: May 6, 2021
Key words: *Mactra chinensis*; sand depuration; quantitative taste test; temperature; flow velocity

Abstract: In this study, under laboratory conditions, quantitative taste tests and anatomical sampling were used as evaluation methods to explore the effects of different temperatures and flow velocities on the sand depuration of Chinese clam (*Mactra chinensis*). The feasibility of the two evaluation methods was compared and analyzed. Four temperature gradients (i.e., 14 ℃, 18 ℃, 22 ℃, and 26 ℃) and five flow velocity gradients (i.e., 20, 40, 80, 160, and 320 L/h) were utilized in this experiment. Results showed that flow velocity and temperature have different effects on sand depuration. At 14 ℃ and 18 ℃, the flow velocity had no significant effect on sand depuration (P>0.05). At 22℃ and 26 ℃, the flow velocity had a significant effect on sand depuration (P<0.05). At 14 ℃, the depuration effect of each flow velocity was not ideal. At 18 ℃, 22 ℃, and 26 ℃, the flow velocity of 40 L/h had a good depuration effect after 4–8 h. The comparison of the two evaluation methods showed that the quantitative taste tests described the sand depuration effect more accurately and can be used as an evaluation method for the sand depuration effect of shellfish. Size analysis of particles obtained through anatomical sampling is susceptible to interference from non-sand particles and cannot accurately reflect the size and content of sand in shellfish. Without further optimization of this method, it is unsuitable as an evaluation method for the sand depuration effect.

(本文编辑: 赵卫红)