

## 压载水处理系统型式认可中添加剂对试验水体特征的影响

刘然, 王琼, 王慧芳, 袁林, 吴惠仙

## Effects of additives on water body features in type approval of Ballast Water Management Systems

LIU Ran, WANG Qiong, WANG Huifang, YUAN Lin, WU Huixian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210103273>

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### [基于SRA法的中韩船舶压载水生物入侵风险研究](#)

Research on biological invasion risk from ships' ballast water of China-Korea course based on SRA model

上海海洋大学学报. 2018, 27(3): 407 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180210008>

#### [船舶压载水港口接收处理设施应用研究](#)

Research on application of ballast water port reception facility

上海海洋大学学报. 2018, 27(3): 401 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170110004>

#### [基于国际公约要求的压载水生物检测技术](#)

Detection technology of organisms in ballast water based on international convention

上海海洋大学学报. 2018, 27(3): 460 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171210006>

#### [压载水转移外来物种区域化生态风险管理研究](#)

Study on regional ecosystem risk management of non-indigenous species transfer via ballast water

上海海洋大学学报. 2018, 27(3): 416 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171110009>

#### [国际船舶压载水管理及《公约》生效后检验检疫监管措施的思考和建议](#)

Thoughts and suggestions on the management of international ships' ballast water and the measures of inspection and quarantine supervision after the ratification of the Convention

上海海洋大学学报. 2018, 27(3): 447 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171220002>

文章编号: 1674-5566(2022)01-0191-10

DOI:10.12024/jsou.20210103273

## 压载水处理系统型式认可中添加剂对试验水体特征的影响

刘 然<sup>1,2</sup>, 王 琼<sup>1,2</sup>, 王慧芳<sup>3</sup>, 袁 林<sup>1,2</sup>, 吴惠仙<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 港航生态安全研究中心, 上海 201306;  
3. 中国船级社上海规范研究所, 上海 200135)

**摘 要:** 随着《船舶压载水和沉积物控制与管理国际公约》在中国生效, 有效控制船舶压载水的排放显得尤为重要。然而, 现有航运船舶排放的压载水往往难以达到公约中的 D-2 标准。为确保船舶压载水处理设备 (BWMS) 处理结果的生物有效性, 国际海事组织 (IMO) 重新修订了《压载水管理系统型式认可导则》, 导则明确了 BWMS 型式认可试验水体水质特征标准。由于天然水域水质特征存在极大差异, 而水质条件对 BWMS 的生物有效性存在极大的影响, 故添加剂常被用于 BWMS 型式认可岸基试验水体调配以满足上述标准。通过研究 BWMS 型式认可试验中添加剂对 3 种盐度的试验源水水体特征的影响, 对常用的添加剂进行水体特征贡献率评估, 为 BWMS 型式认可试验水体的配制筛选稳定有效的添加剂, 继而为提升船舶压载水处理工艺以确保压载水排放满足 D-2 标准符合性提供依据。结果表明: 木质素磺酸钙、玉米淀粉和高岭土可在淡水、半咸水和海水试验中稳定提升试验水体中的相关水质指标, 更适用于 BWMS 型式认可试验水体的配制。

**关键词:** 压载水; 添加剂; 溶解有机碳; 颗粒有机碳; 总悬浮物

**中图分类号:** U 698.7; U 664.92 **文献标志码:** A

船舶压载水是指为控制船舶的纵倾、横倾、吃水、稳定性和应力而在船上加装的水及其悬浮物, 是航运船舶安全航行的重要保证<sup>[1-2]</sup>。世界各地的水生生物可通过船舶压载水对目的港的生态系统造成外来物种入侵等生态污染问题<sup>[3-11]</sup>。为解决这些问题, 国际海事组织 (IMO) 于 2004 年通过了《船舶压载水和沉积物控制与管理国际公约》<sup>[12]</sup> (以下简称《公约》)。该《公约》已于 2017 年 9 月 8 日正式生效<sup>[13]</sup>, 并于 2019 年 1 月 22 日起对中国正式生效。《公约》规定装载压载水保持安全航行条件的船舶应配备压载水管理系统 (BWMS)。为确保 BWMS 能够在淡水、半咸水和海水这 3 种常见的天然水域中保持有效的处理效能, IMO 在《压载水管理系统型式认可导则》(简称 G8 导则) 中对 BWMS 岸基型式认可的试验水体水质指标设定了最低要求, 并规定只有通过该导则型式认可的 BWMS 才能进行实船安装<sup>[14-15]</sup>。

由于全球各地的水体特征存在显著差异, 开展 BWMS 型式认可岸基试验的基地难以直接提供同时符合 G8 导则规定的淡水、半咸水和海水试验源水, 因此需要利用添加剂进行调配以满足 G8 导则对试验水体中溶解有机碳 (DOC)、颗粒有机碳 (POC) 和总悬浮物 (TSS) 的浓度要求。BWMS 型式认可岸基试验的试验水体是保证公平公正评估 BWMS 处理能力及其生物有效性的重要基础, 试验水体的调配将直接影响 BWMS 的处理结果。由于试验水体的来源不同, 尽管部分学者<sup>[16-21]</sup>对 BWMS 型式认可岸基试验中 BWMS 的处理效率进行了一些研究, 但仍缺少 BWMS 型式认可岸基试验水体中添加剂选用的相关数据及研究。此外, IMO 对试验水体添加剂的筛选程序尚不成熟, 这使得检测机构在开展 BWMS 型式认可岸基试验时所使用的添加剂往往存在差别<sup>[3]</sup>。

本研究旨在通过实验配制 BWMS 型式认可

收稿日期: 2021-01-16 修回日期: 2021-03-08

基金项目: 上海市科委科研计划项目 (19DZ2292500); 国家重点研发计划 (2019YFC0810904); 工信部“船舶压载水管理系统实船符合性验证研究”项目 (工信部装函[2019]360 号)

作者简介: 刘 然 (1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为船舶压载水检测生态学。E-mail: 11192647695@qq.com

通信作者: 吴惠仙, E-mail: hxwu@shou.edu.cn

岸基试验水体,初步评估 9 种常见的添加剂(木质素磺酸钙、葡萄糖、无水乙酸钠、无水柠檬酸、柠檬酸钠、蔗糖、壳聚糖、玉米淀粉和高岭土)在 3 种不同盐度测试水体中对 DOC、POC 和 TSS 的贡献率,筛选出稳定有效的、贡献率明显的水体添加剂,并进一步对比添加剂对 BWMS 型式认可有效性的影响,为 BWMS 型式认可岸基试验的科学配水提供依据,同时也为 BWMS 的技术提升与产品升级换代提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验水的准备

依据 G8 导则对 BWMS 型式认可岸基试验水体特征的要求(表 1),以淡水、半咸水和海水等 3 个盐度范围的试验源水为研究对象,选择上海滴水湖支流的自然水作为淡水水源(<1 PSU)、上海海洋山港的港口近岸海水作为半咸水水源(10~20 PSU)、通过在半咸水水源中添加 110 PSU 的液体盐卤(上海固荃水产有限公司)配制海水水源(28~36 PSU)准备试验用水,半咸水及海水在使用前静置沉淀。

### 1.2 添加剂的选用

选用木质素磺酸钙(工业级,华燕化工有限

公司,中国上海)、葡萄糖(分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司,中国上海)、玉米淀粉(食品级,泰州市一鼎食品有限公司,中国江苏)、无水柠檬酸(分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司,中国上海)、柠檬酸钠(分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司,中国上海)、壳聚糖(分析纯,上海柯灵斯试剂有限公司,中国上海)、蔗糖(分析纯,上海柯灵斯试剂有限公司,中国上海)、乙酸钠(分析纯,上海柯灵斯试剂有限公司,中国上海)和高岭土(一级品,倍墨实业,中国浙江)作为 BWMS 型式认可岸基试验源水调配的添加剂。以提升 5 mg/L 碳浓度为标准,对上述添加剂进行质量换算和添加以满足 G8 导则要求并进行各添加剂的贡献率比较。其中,高岭土不含碳元素,按照提升 50 mg/L TSS 的标准进行添加。实验前向 5 L 的锥形瓶中添加 2 L 源水,分别加入木质素磺酸钙、葡萄糖、无水乙酸钠、无水柠檬酸、柠檬酸钠、蔗糖、壳聚糖、玉米淀粉和高岭土各 22.0、25.0、34.2、26.7、35.8、23.8、24.3、22.5 和 100.0 mg(表 2),混匀后进行水质指标的检测。

表 1 IMO 对 BWMS 型式认可岸基试验水体特征要求

Tab.1 The water quality requirements for BWMS type approval test of IMO

水质生物指标 Water quality and biological indicators	半咸水 Brackish water	海水 Sea water	淡水 Fresh water
溶解有机碳 Dissolved organic carbon/(mg/L)	>5	>1	>5
颗粒有机碳 Particulate organic carbon/(mg/L)	>5	>1	>5
总悬浮物 Total suspended solids/(mg/L)	>50	>1	>50
盐度 Salinity (PSU)	10~20	28~36	<1
温度 Temperature/°C	-	-	-
≥50 μm 生物 ≥50 μm organisms/(ind./m <sup>3</sup> )		105~106; 3 门 5 种	
10~50 μm 生物 10~50 μm organisms/(cells/mL)		103~104; 3 门 5 种	

表 2 实验水体中有机碳的理论增加浓度

Tab.2 The concentration of organic carbon in test water after adding additives

添加剂 Additives	化学分子式 Chemical formula	摩尔质量 Molar mass		添加量 Additive amount/ mg	体积 Volume/ L	增加碳浓度 Increased carbon concentration/ (mg/L)
		总摩尔质量 Total Molar mass	总碳 C			
木质素磺酸钙 Calcium lignosulfonate	C <sub>20</sub> H <sub>24</sub> CaO <sub>10</sub> S <sub>2</sub>	528	240	22.0	2	5
葡萄糖 Glucose	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180	72	25.0	2	5
乙酸钠 Sodium acetate	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NaO <sub>2</sub>	82	24	34.2	2	5
无水柠檬酸 Anhydrous citric acid	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192	72	26.7	2	5
柠檬酸钠 Trisodium citrate dihydrate	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	258	72	35.8	2	5
蔗糖 Sucrose	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	342	144	23.8	2	5
壳聚糖 Chitosan	(C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	175	72	24.3	2	5
玉米淀粉 Corn starch	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	162	72	22.5	2	5
高岭土 Kaolin	2SiO <sub>2</sub> ·Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Si <sub>2</sub> O	258	-	100	2	0

### 1.3 水质指标的检测

TOC 和 DOC 含量采用总有机碳分析仪法 (TOC-VCPH; 日本岛津公司, 日本东京) 进行测定<sup>[22]</sup>; POC 含量采用分光光度法测定<sup>[23]</sup>; TSS 含量采用悬浮物重量法测定<sup>[24]</sup>; 紫外透过率 (UVT) 采用分光光度法 (UV-3200, 上海美普达仪器有限公司, 中国上海) 测定, 过膜前数据通过直接测量未处理水样获得, 过膜后数据通过将水样进行过膜 (Whatman, 0.45  $\mu\text{m}$ , 47 mm) 抽滤处理后获得。所有试验水体均设置 3 组平行。采用 Prism 8.0 进行 one-way ANOVA 分析及处理数据作图。根据实际测量值与理论值的比值计算贡献率, 计算公式如下:

$$C = 100 \times (N_2 - N_1) / N_1 \quad (1)$$

式中:  $C$  为贡献率, %;  $N_1$  为加入添加剂后水体中各指标的实际测量值;  $N_2$  为源水水体中各指标的实际测量值;  $N_1$  为加入添加剂后水体中各指标的理论值。

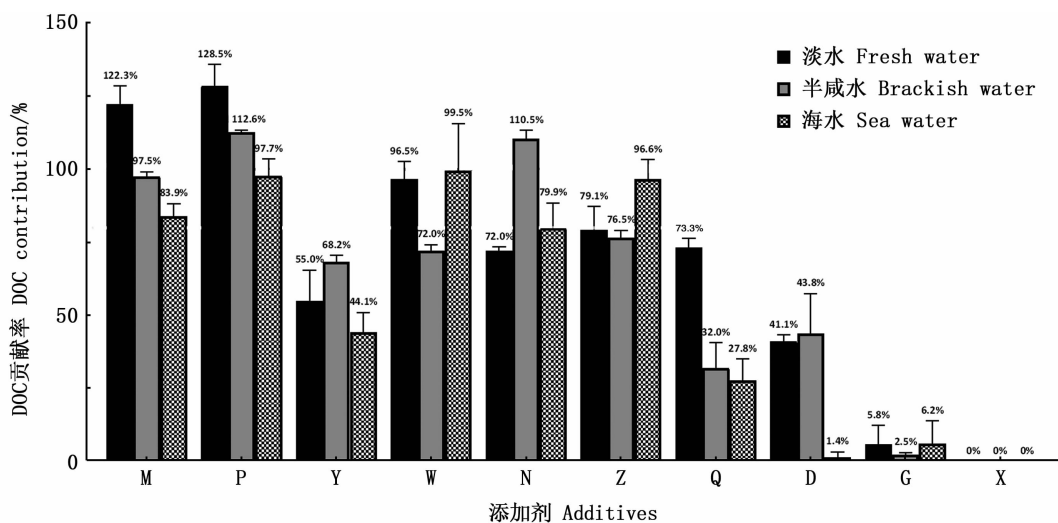
总残余氧化剂 (TRO) 含量采用 N,N-二乙基-1,4-苯二胺 (DPD) 分光光度法测定<sup>[24]</sup>, 以 TRO 浓度 8 mg/L 为试验水体的目标, 通过添加次氯酸钠溶液以进行 TRO 消耗的动态检测。在加入

次氯酸钠后的第 0、5、30、60 分钟测定 TRO 含量, 结果取其平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 添加剂对水体 DOC 的影响

各添加剂在不同盐度试验水体中对 DOC 的贡献率均不相同 (图 1)。淡水试验水体中, 无添加剂的源水水体中 DOC 的贡献率为 0, 添加剂对 DOC 的贡献率范围为 5.8% ~ 128.5%; 半咸水试验水体中, 无添加剂的源水水体中 DOC 的贡献率为 0, 添加剂对 DOC 的贡献率范围为 2.5% ~ 112.6%; 海水试验水体中, 无添加剂的源水水体中 DOC 的贡献率为 0, 添加剂对 DOC 的贡献率范围为 6.2% ~ 99.5%。其中: 木质素磺酸钙、葡萄糖和壳聚糖提高淡水 DOC 的贡献显著高于其在半咸水和海水中的贡献率; 而无水柠檬酸和蔗糖对海水的 DOC 贡献率要显著高于其在淡水和半咸水水体中的贡献率; 柠檬酸钠和无水乙酸钠对半咸水体中 DOC 贡献率高于淡水和海水水体中的结果。实验结果表明, 木质素磺酸钙和葡萄糖对 3 种盐度的试验水体提高 DOC 的贡献率最为有效和稳定, 均高达 80% 以上。



M. 木质素磺酸钙; P. 葡萄糖; Y. 无水乙酸钠; W. 无水柠檬酸; N. 柠檬酸钠; Z. 蔗糖; Q. 壳聚糖; D. 玉米淀粉; G. 高岭土; X. 源水。

M. Calcium lignosulfonate; P. Glucose; Y. Sodium acetate; W. Anhydrous citric acid; N. Trisodiumcitrate dihydrate; Z. Sucrose; Q. Chitosan; D. Corn starch; G. Kaolin; X. Source water.

图 1 DOC 添加剂利用率的比较

Fig. 1 Comparison of DOC additive utilization

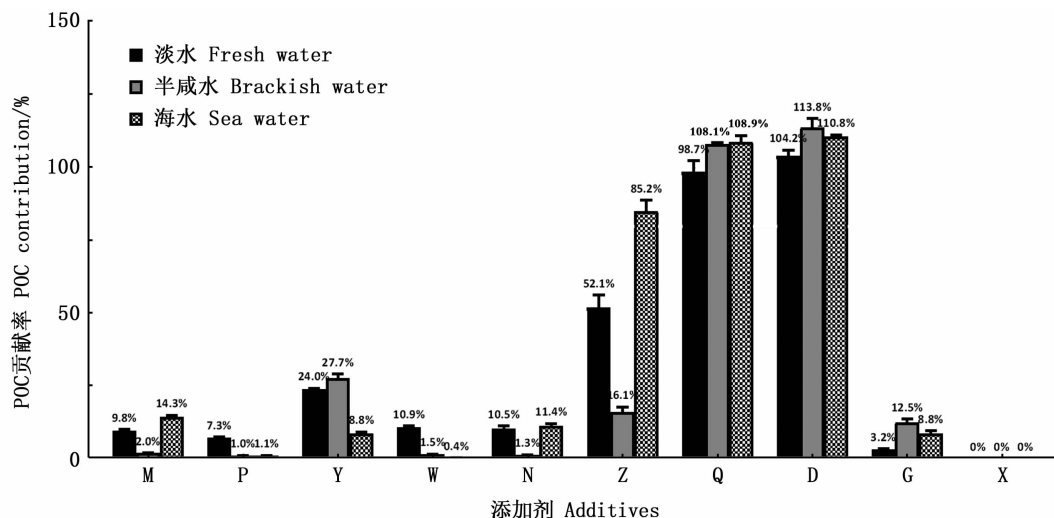
### 2.2 添加剂对水体 POC 的影响

无添加剂的源水水体中 POC 的贡献率为 0,

各添加剂对淡水试验水体 POC 的贡献率差异显著, 最低为 3.2%, 最高可达 104.2%; 对半咸水试

验水体 POC 的贡献率范围为 1.0% ~ 113.8%; 对海水试验水体 POC 的贡献率范围为 0.4% ~ 110.8% (图 2)。实验结果表明,木质素磺酸钙、葡萄糖、无水乙酸钠、无水柠檬酸、高岭土以及柠檬酸钠等添加剂对提升试验水体的 POC 效果均不明显,贡献率仅为 0.4% ~ 27.7%。蔗糖、壳聚糖和玉米淀粉对试验水体 POC 均有较好的提升,

其中玉米淀粉在 3 种盐度的水体中对 POC 的贡献率最高,均可超 100%。壳聚糖对 POC 的贡献率也较为稳定,其在海水中的 POC 贡献率高于半咸水和淡水。尽管蔗糖对海水水体 POC 的贡献率可达 80% 以上,但其对淡水和半咸水的 POC 贡献值差别较大,均未达到 80%。



M. 木质素磺酸钙; P. 葡萄糖; Y. 无水乙酸钠; W. 无水柠檬酸; N. 柠檬酸钠; Z. 蔗糖; Q. 壳聚糖; D. 玉米淀粉; G. 高岭土; X. 源水。

M. Calcium lignosulfonate; P. Glucose; Y. Sodium acetate; W. Anhydrous citric acid; N. Trisodium citrate dihydrate; Z. Sucrose; Q. Chitosan; D. Corn starch; G. Kaolin; X. Source water.

图 2 POC 添加剂利用率的比较

Fig. 2 Comparison of POC additive utilization

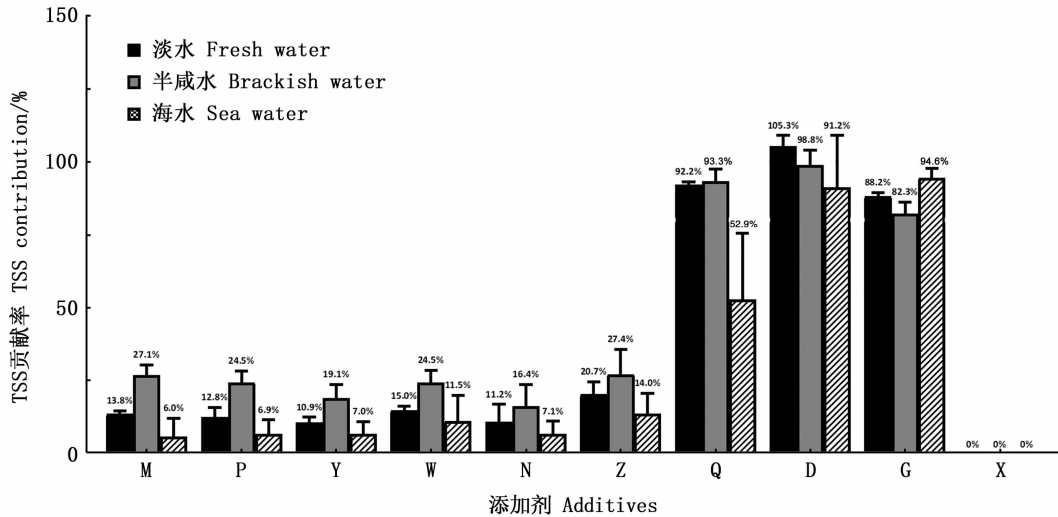
### 2.3 添加剂对水体 TSS 的影响

各添加剂对不同水体 TSS 的贡献率存在较大差异(图 3)。玉米淀粉和高岭土对不同盐度的水体 TSS 贡献率均超过 80%,在提高水体 TSS 方面具有显著效果。其中:玉米淀粉对淡水 TSS 的贡献率超过 100%,高于半咸水和海水;高岭土对海水 TSS 的贡献率最大,为 94.6%,略高于淡水和半咸水。壳聚糖在淡水和半咸水中表现出较高的 TSS 贡献率,均超过 80%,但对海水 TSS 贡献不显著。无添加剂的源水水体中 TSS 的贡献率为 0,其余添加剂对不同盐度水体的 TSS 贡献率均较低,未超过 30%,并表现出一定的规律,对不同盐度水体 TSS 的贡献程度均为半咸水 > 淡水 > 海水。

### 2.4 添加剂对水体 TRO 消耗的影响

在有效添加剂(木质素磺酸钙、葡萄糖、壳聚

糖、玉米淀粉和高岭土)中,不同添加剂对水体 TRO 消耗的影响差异较为显著(图 4)。在淡水组中,木质素磺酸钙和葡萄糖对水体中 TRO 消耗量及速率均大于源水水体,而另 3 种添加剂对 TRO 的消耗影响较小,添加前后 TRO 消耗量未发生明显变化;在半咸水组中,木质素磺酸钙对水体中 TRO 的消耗量和消耗速率均高于其他添加剂,玉米淀粉对 TRO 消耗有一定的抑制效果,其余添加剂对 TRO 消耗的影响不大;在海水组中,与源水相比,木质素磺酸钙和葡萄糖可显著提升水体的 TRO 消耗量,其余添加剂对水体 TRO 消耗的影响较小。实验结果表明,与源水相比,木质素磺酸钙和葡萄糖可显著促进淡水和海水试验水体的 TRO 消耗,其中木质素磺酸钙对半咸水试验水体的 TRO 消耗影响更为显著。



M. 木质素磺酸钙; P. 葡萄糖; Y. 无水乙酸钠; W. 无水柠檬酸; N. 柠檬酸钠; Z. 蔗糖; Q. 壳聚糖; D. 玉米淀粉; G. 高岭土; X. 源水。

M. Calcium lignosulfonate; P. Glucose; Y. Sodium acetate; W. Anhydrous citric acid; N. Trisodium citrate dihydrate; Z. Sucrose; Q. Chitosan; D. Corn starch; G. Kaolin; X. Source water.

图3 TSS 添加剂利用率的比较

Fig. 3 Comparison of TSS additive utilization

2.5 添加剂对水体 UVT 的影响

不同盐度的 3 种源水经过膜处理前后的 UVT 基本相同,无明显差别(图 5)。在 3 组实验中,添加木质素磺酸钙的水体 UVT 在过膜前后均出现不同程度的降低,减小范围为 0.02% ~ 16.70%。与源水比较,添加壳聚糖和高岭土的 3 种水体 UVT 在过膜前发生降低,过膜处理后水体 UVT 与源水无差异。上述结果显示,除木质素磺酸钠可降低水体 UVT 外,其他添加剂对 3 种盐度的水体影响较小。

3 讨论

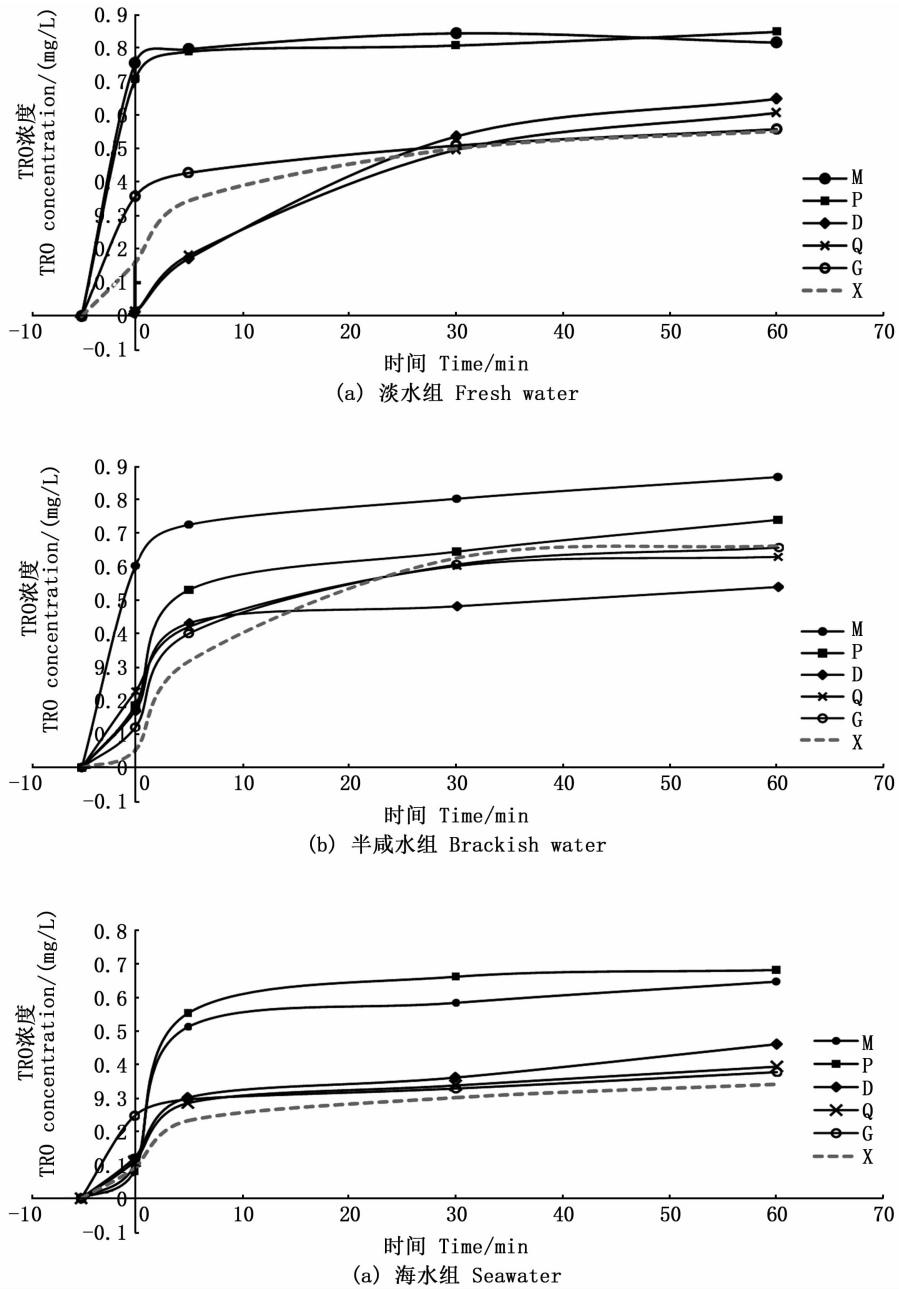
受化学性质和水体盐度的影响,各添加剂对水体的 DOC、POC 和 TSS 增加量和贡献率不同。本研究结果显示,在淡水、半咸水和海水等 3 种不同盐度的水体中,木质素磺酸钙和葡萄糖对 DOC 的贡献率均在 80% 以上,玉米淀粉和壳聚糖对 POC 的贡献率均在 80% 以上,玉米淀粉和高岭土对 TSS 的贡献率均在 80% 以上,3 组化合物可作为有效稳定的添加剂用于提升水体的 DOC、POC 和 TSS,并应用于 BWMS 型式认可岸基试验的水体调配。

3.1 水质指标对 BWMS 型式认可有效性的影响

DOC 对 BWMS 型式认可有效性的影响主要体现在应用电解法的压载水管理系统上,该工艺通过电解海水产生氧化剂进行生物灭活以达到处理效果。DOC 可与水体中的 TRO 发生化学反应,故 DOC 含量升高可导致压载水中 TRO 消耗速率增快,削弱对水体生物的灭活效果,从而影响压载水处理系统的处理效率。

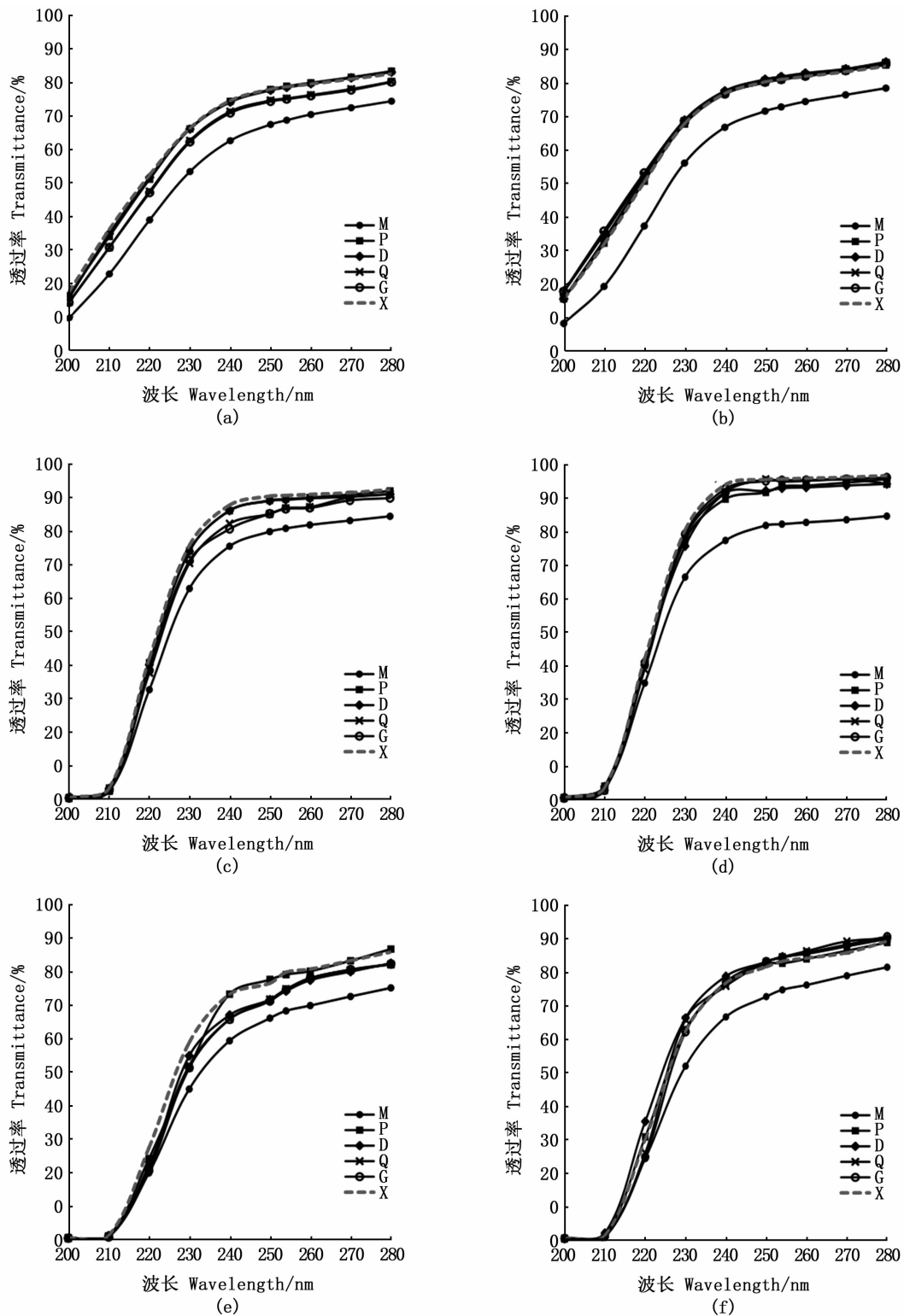
POC 和 TSS 参数对 BWMS 型式认可有效性的影响主要体现在处理原理为紫外辐射的压载水管理系统上。该工艺采用波长为 253.7 nm 的紫外线对压载水进行照射,紫外线可被水中微生物吸收并破坏生物体内的核酸结构,从而在分子层面上使生物失活。POC 作为一种悬浮物,可提升水体中的 TSS,在一定程度上降低水体透光度,进而影响到生物对紫外线的吸收,降低 BWMS 处理生物的有效性。

此外,受分子结构和盐度的影响,不同添加剂在水体中溶解状态、悬浮效果和对光的吸收效果存在差异,可引起各水质指标的变化,进而影响到 BWMS 型式认可的有效性。



M. 木质素磺酸钙; P. 葡萄糖; Q. 壳聚糖; D. 玉米淀粉; G. 高岭土; X. 源水。  
 M. Calcium lignosulfonate; P. Glucose; Q. Chitosan; D. Corn starch; G. Kaolin; X. Source water.

图4 添加剂对 TRO 消耗的比较  
 Fig. 4 Comparison of additives to TRO consumption



M. 木质素磺酸钙; P. 葡萄糖; Q. 壳聚糖; D. 玉米淀粉; G. 高岭土; X. 源水; a. 淡水组-过膜前; b. 淡水组-过膜后; c. 半咸水组-过膜前; d. 半咸水组-过膜后; e. 海水组-过膜前; f. 海水组-过膜后。

M. Calcium lignosulfonate; P. Glucose; Q. Chitosan; D. Corn starch; G. Kaolin; X. Source water; a. Fresh water-Untreated samples; b. Fresh water-Treated samples; c. Brackish water- Untreated samples; d. Brackish water- Treated samples; e. Seawater- Untreated samples; f. Seawater-Treated samples.

图 5 添加剂对 UVT 的影响  
 Fig.5 Effect of additives on UVT



### 3.2 添加剂对 BWMS 型式认可试验水体的影响

葡萄糖是一种可大批量生产的食品添加剂<sup>[25]</sup>,被韩国的 TF (KOMERI)用于增加 BWMS 型式认可岸基试验测试水的 DOC 含量,该物质溶解后透明无色;但葡萄糖的添加会影响试验水体微生物的代谢,使水体中生物密度发生变化<sup>[3]</sup>,将对 BWMS 型式认可试验的有效性产生影响。木质素是一种含有苯环结构的天然高分子<sup>[26-27]</sup>,在工业上可大批量生产;但是,木质素溶解后可吸收紫外线,降低试验水体的紫外透光率,从而影响采用紫外工艺的 BWMS 的处理效率。同时,随着水体中的 DOC 含量的增加,TR0 的消耗也会加快,从而影响到采用电解工艺的 BWMS 的处理效率<sup>[22]</sup>。鉴于木质素磺酸钙可降低水体透明度,在对主要采用电解工艺和紫外工艺的 BWMS 进行型式认可试验时,应尽量减少木质素磺酸钙的使用量。

壳聚糖是一种可降解的化学物质,被广泛应用于食品添加剂等领域,可有效稳定地提高水体 POC<sup>[21]</sup>。玉米淀粉是一种可以大批量购买使用的食品添加剂,相较于其他淀粉(小麦淀粉、绿豆淀粉、红薯淀粉和马铃薯淀粉)而言,该物质粒径小、粗蛋白含量高、不易糊化<sup>[28-29]</sup>。考虑到玉米淀粉对 POC 和 TSS 较高的贡献率,在对主要采用紫外工艺的 BWMS 进行型式认可时,应尽量减少玉米淀粉的使用,避免对水体的紫外线透过率带来不利影响。

高岭土是一种可大量生产获得的黏土矿物,在工业上有着广泛的应用,通过添加该物质可有效提高水体的总悬浮物指标<sup>[30-32]</sup>。考虑到高岭土会对试验水体的 UVT 产生影响,在实际试验中需通过与玉米淀粉共同使用以减少高岭土的添加量。

#### 参考文献:

- [1] IMO. International convention for the control and management of ships' ballast water and sediments, 2004[Z]. 2014.
- [2] WERSCHKUN B, BANERJI S, BASURKO O C, et al. Emerging risks from ballast water treatment; the run-up to the international ballast water management convention [J]. *Chemosphere*, 2014, 112:256-266.
- [3] UNCTAD. Review of maritime transport 2017[Z]. Geneva: United Nations Publication, 2017.
- [4] CARLTON J T. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water [J].

- Oceanography and Marine Biology, 1985, 23:313-371.
- [5] WILLIAMS R J, GRIFFITHS F B, VANDERWALE J, et al. Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of non-indigenous marine species [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1988, 26(4):409-420.
- [6] 王琼, 王飞飞, 边佳胤, 等. 上海港到港船舶压载水沉积物细菌群落多样性 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(3): 344-349.
- WANG Q, WANG F F, BIAN J Y, et al. Bacterial diversity of ship ballast water sediment in Shanghai Port [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(3): 344-349.
- [7] 叶海新, 刘亮, 李金杰, 等. 中国近岸海域船舶压载水浮游植物特征分析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(3): 380-385.
- YE H X, LIU L, LI J J, et al. Phytoplankton study of ship ballast water based on high seas exchange [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(3): 380-385.
- [8] 杨逸凡, 薛俊增, 刘亮, 等. "21 世纪海上丝绸之路"航线船舶压载水浮游植物群落特征 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(3): 336-343.
- YANG Y F, XUE J Z, LIU L, et al. Phytoplankton community characteristics of ship ballast water on the 21st-Century Maritime Silk Road [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(3): 336-343.
- [9] 李倩, 王晓媛, 吴惠仙. 船舶压载水与沉积物细菌多样性比较分析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(3): 386-391.
- LI Q, WANG X Y, WU H X. Comparative analysis of bacterial diversity in ship ballast water and sediments [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(3): 386-391.
- [10] 魏勇, 汪亭玉. 关于船舶压载水管理现状的调查与分析 [J]. *海洋开发与管理*, 2014, 31(2):78-83.
- WEI Y, WANG T Y. Investigation and analysis of the current situation of ship ballast water management. *Ocean Development and Management*, 2014, 31(2):78-83.
- [11] 张驰, 薛俊增, 邵于豪, 等. 船舶压载水浮游植物采样技术的比较 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(3): 420-424.
- ZHANG C, XUE J Z, SHAO Y H, et al. Effects of different sampling methods on the assessment of biomass quantity in ballast water [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(3): 420-424.
- [12] 《国际船舶压载水及其沉积物控制和管理公约》[J]. 船舶标准化工程师, 2013, 46(6): 46-48.
- International convention for the control and management of ships' ballast water and sediments [J]. *Ship Standardization Engineer*, 2013, 46(6): 46-48.
- [13] 吴惠仙, 边佳胤, 王飞飞, 等. 中国大陆到港船舶压载水生物研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(3): 455-459.
- WU H X, BIAN J Y, WANG F F, et al. Research of

- organisms in ballast water of ships arriving in the mainland of China[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(3): 455-459.
- [14] IMO. MEPC. 174 (58), Guidelines for approval of Ballast Water Management Systems (G8)[S]. 2014.
- [15] International Maritime Organization (IMO), Code for approval of ballast water management systems (BWMS CODE), Resolution MEPC. 300(72)[S]. 2018.
- [16] LEE J, SHON M B, CHA H G, et al. The impact of adding organic carbon on the concentrations of total residual oxidants and disinfection by-products in approval tests for ballast water management systems[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 605-606:852-859.
- [17] PERRINS J C, COOPER W J, VAN LEEUWEN J H, et al. Ozonation of seawater from different locations: formation and decay of total residual oxidant-implications for ballast water treatment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52(9): 1023-1033.
- [18] DUAN D X, LIU G Z, YAO P, et al. The effects of organic compounds on inactivation efficacy of *Artemiasalina* by neutral electrolyzed water[J]. *Ocean Engineering*, 2016, 125:31-37.
- [19] CHA H G, SEO M H, LEE H Y, et al. Enhancing the efficacy of electrolytic chlorination for ballast water treatment by adding carbon dioxide[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 95(1):315-323.
- [20] DELACROIX S, VOGELANG C, TOBIESE A, et al. Disinfection by-products and ecotoxicity of ballast water after oxidative treatment-results and experiences from seven years of full-scale testing of ballast water management systems[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 73(1):24-36.
- [21] 丁慧, 王海涛, 于青, 等. 一种压载水中颗粒有机碳的添加方法: 中国, 200910249737.6[P]. 2010-12-01.  
DING H, WANG H T, YU Q, et al. The invention relates to a method for adding particulate organic carbon in ballast water: CN, 200910249737.6[P]. 2010-12-01.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 17378.4—2007 海洋监测规范第4部分:海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB 17378.4 - 2007 The specification for marine monitoring-Part 4: Seawater analysis [S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [23] 宁修仁, 孙松. 海湾生态系统观测方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 46-48.
- NING X R, SUN S. Bay ecosystem observation methods [M]. Beijing: China Environmental Press, 2005: 46-48.
- [24] 环境保护部. HJ 585—2010 水质游离氯和总氯的测定 N, N-二乙基-1,4-苯二胺滴定法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.  
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 585-2010 Water quality-Determination of free chlorine and total chlorine-Titrimetric method using N, N-diethy-1, 4-phenylenediamine [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2010.
- [25] ZAKZESKI J, BRUIJNINCX P C A, JONGERIUS A L, et al. The catalytic valorization of lignin for the production of renewable chemicals [J]. *Chemical Reviews*, 2010, 110(6): 3552-3599.
- [26] 田学锋, 龚方红. 木质素磺酸钙提纯木质素及其表征[J]. *广东化工*, 2017, 44(19): 85-87.  
TIAN X F, GONG F H. Experimental study on extraction and characterization of lignin from calcium lignosulfonate [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2017, 44(19): 85-87.
- [27] Korea Institute of Ocean Science and Technology (KTR). Comparative studies on additives for preparation of challenge water[J]. *South Korea Institute of Ocean Science and Technology*, 2016, 11.
- [28] 蒲华寅, 王乐, 黄峻榕, 等. 超高压处理对玉米淀粉结构及糊化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(1): 24-28, 108.  
PU H Y, WANG L, HUANG J R, et al. Effects of ultra high pressure on structure and pasting properties of corn starch [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(1): 24-28, 108.
- [29] 熊小青, 车瑞彬, 李利民, 等. 氯化钠对5种不同植物来源淀粉糊特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(2): 50-55.  
XIONG X Q, CHE R B, LI L M, et al. Effect of sodium chloride on pasting properties of starch from five different plant sources[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(2): 50-55.
- [30] HU Y, LIU X. Chemical composition and surface property of kaolins[J]. *Minerals Engineering*, 2003, 16(11): 1279-1284.
- [31] WAN L, ZHANG Z F, ZHANG Z R, et al. Effect of kaolin chemical composition on synthesis of  $\beta'$ -sialon powder[J]. *Advances in Applied Ceramics: Structural, Functional and Bioceramics*, 2005, 104(2): 89-91.
- [32] EKOSSE G. The Makoro kaolin deposit, southeastern Botswana: its genesis and possible industrial applications[J]. *Applied Clay Science*, 2000, 16(5/6): 301-320.

## Effects of additives on water body features in type approval of Ballast Water Management Systems

LIU Ran<sup>1,2</sup>, WANG Qiong<sup>1,2</sup>, WANG Huifang<sup>3</sup>, YUAN Lin<sup>1,2</sup>, WU Huixian<sup>1,2</sup>

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Centre for Research on the Ecological Security of Ports and Shipping, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Rules & Research Institute, China Classification Society, Shanghai 200135, China)

**Abstract:** International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments has entered into force in China, and it is very important to control the discharge of ballast water. However, the discharge of ballast water is difficult to meet the Convention's standards. In order to ensure the effectiveness of the treatment results of Ballast Water Management System (BWMS), IMO has revised the standards for water quality characteristics of Guidelines for Type Approval (G8). Due to the differences of water quality characteristics in various natural water areas, additives are often used in water synthesis for BWMS type approval inland-based test to meet the water quality characteristics standards. The effect of additives on the water quality characteristics of fresh water, brackish water and sea water in the type approval test of BWMS is focused on, and stable and effective additives for the synthesis methods of the type approval test water for BWMS. The results showed that the synthesis method of source nature water with calcium lignosulphonate, glucose, corn starch, chitosan and kaolin was possible to improve the water to satisfy the requirement of IMO.

**Key words:** ballast water; additive; dissolved organic carbon; particulate organic carbon; total suspended solid