

海水浴场水质监测与评价研究进展

张微微, 王菊英, 王 燕, 张志锋, 曲 玲

(国家海洋环境监测中心 大连 116023)

摘 要: 海水浴场监测工作的开展对于加强滨海旅游区环境管理, 保障公众安全和健康起到了重要作用。尽管多年来海水浴场监测工作处于不断完善和发展过程中, 但也存在研究基础薄弱等问题。文章在介绍国际相关标准的基础上, 分析了我国海水浴场监测与评价体系发展现状与不足, 对未来研究方向和管理目标予以展望。

关 键 词: 海水浴场; 水质监测; 评价

海水浴场是与地方海洋经济发展和人民群众生活密切相关的海洋功能区, 我国开展海水浴场的监测、评价与预报工作已有 10 余年。该项工作的开展对于加强滨海旅游区环境管理, 保障公众安全和健康, 进而促进滨海旅游业的发展起到了重要作用; 同时也满足了公众的环境状况知情权, 为公众滨海旅游出行和休闲娱乐提供了指导。一般而言, 国外在确定海水浴场监测评价标准及管理程序前进行了大量的研究, 目前已有多个国家或组织建立了较为成熟的监测评价体系或管理模式。我国海水浴场水质研究和监测评价工作起步较晚, 但世界卫生组织 (WHO) 和发达国家在该领域的成功经验对我国海水浴场监测指标的选择、标准阈值的确定起到了很好的借鉴作用。本文在简要介绍国际上海水浴场监测与评价与评价体系的基础上, 比较分析了我国海水浴场水质研究现状, 并提出了进一步开展相关研究和完善管理方法的建议。

1 海水浴场水质监测评价体系

1.1 水质监测指标

1.1.1 物理化学要素

游泳者直接接触受化学物质污染的水体, 化学物质可通过呼吸道、眼睛和皮肤进入人体, 刺激皮肤和黏膜。尤其在沉积物悬浮或受到干扰的水域, 增加了人体直接接触的风险^[1]。评估疾病风险应考虑接触频率、范围和暴露程度

等。一般设定的监测指标包括 pH 值、溶解氧、无机污染物和有机污染物等。pH 值只有在极低或极高值时对游泳者具有直接影响。对皮肤的干扰主要表现为刺激皮肤或导致皮炎。低溶解氧对游泳者没有直接影响, 但是会影响微生物活动和不同金属的氧化状态, 以及影响到水体的感官质量。无机污染物通过皮肤接触摄取和吸收的很少, 而皮肤吸收是从水中摄取有机污染物的主要方式。世界卫生组织推荐根据《饮用水水质标准》^[2] 确定化学污染物健康风险阈值, 建议评价其污染状况时, 综合考虑风、流、潮汐等对污染物浓度的影响。

1.1.2 感观质量

海水浴场感观质量是评价水体是否适宜游泳的重要指标。海水浴场水体不应出现可见油膜、浮沫、漂浮垃圾和大量聚集的藻类, 没有令人厌恶的颜色和气味, 不会出现令人不愉快的水生生物^[3]。海水浴场水体的感觉质量监测指标一般包括透明度、气味和颜色、漂浮物等。清澈的水体能使游泳者估计水深, 看到水下危险并且察觉到可能被困的游泳者; 石油可在水体表面形成油膜, 释放出气味和毒性物质; 漂浮垃圾等则会影响海洋景观及水质卫生。

1.1.3 藻类

大型藻和赤潮的爆发可导致海水变色、透明度降低、泡沫浮渣增加, 海藻残体降解后产生的腐臭气味等会影响到海水浴场水质质量, 影响海滨旅游的美学价值。有毒海藻的大量出现则可能对人体造成负面影响, 主要是由于游

泳等活动中皮肤直接接触有毒藻类，摄入或吸入含有有毒藻类海水等而致病。如，在蓝藻的某些种属（如大林氏藻，*Lyngbyamajuscula*）爆发的水域游泳，通过皮肤接触海浪而吸入海水或藻类浮渣，可能会引起游泳者的严重发热。游泳者接触海洋细菌藻类后，会导致海洋细菌性皮炎（游泳者“发痒”或“海藻皮炎”）的皮肤炎症。游泳者在接触悬浮藻类后皮肤瘙痒，在 3~8 h 内出现皮肤发红，然后形成水泡和皮肤深度脱落，日本、美国夏威夷和澳大利亚等地曾报道发生过蓝藻皮炎^[4]。

1.1.4 粪便污染

水体受粪便污染的程度是海水浴场水质评价最重要的内容。浴场水体的粪便污染源于污水直接排放、污染物河流输入、降雨对地表的

冲刷和游泳者污染等途径^[5]。水体的污染程度受排污口类型、污水处理厂的污水处理效率、污水来源地区人口密度、丰/枯水期河流流速、沙滩人数和游泳者密度、水体稀释能力等条件的影响。

被粪便污染的水体中所含可导致肠胃感染的致病微生物，会通过呼吸系统、眼睛和皮肤等途径进入人体并致病。患者情况与病原微生物种类和数量、患者与水体接触情况、个体易感性以及免疫能力有关^[6]。世界卫生组织研究发现，海水中的肠球菌（*enterococcus*）浓度与游泳者胃肠病症（GI）和急性呼吸病症（AF-RI）发生率之间呈现出较好的剂量—反应关系，因此，指示微生物阈值是根据人体患病风险来确定的。

表 1 世界卫生组织建议的海水浴场微生物指标阈值

类别	肠球菌（个/100ml，95 th ）	风险评估
A	<40	<1% 肠胃疾病风险，0.3% 急性发热性呼吸道感染风险
B	40~200	1%~5% 肠胃疾病风险，0.3%~1.9% 急性发热性呼吸道感染风险
C	201~ 500	5%~10% 肠胃疾病风险，1.9%~3.9% 急性发热性呼吸道感染风险
D	> 500	>10% 肠胃疾病风险，>3.9% 急性发热性呼吸道感染风险

在实际监测时，很难检测全部病原微生物，一般用指示微生物表示水体受粪便污染的程度，不同的国家、地区和组织推荐使用的指示微生物种类和标准不同。最常使用的是总大肠杆菌（*total coliform*）、粪大肠菌群（*facal coliform*）和肠球菌等。上述细菌虽然非直接致病菌，但可以指示病原体的存在状况。

目前，国际上推荐肠球菌作为娱乐用海水的指示微生物，主要是基于以下原因^[7]：

（1）流行病学研究显示，海水中粪大肠菌群密度与游泳者发病率之间的相关关系不如肠球菌，使用粪大肠菌群指示致病微生物可能低估致病风险。

（2）粪大肠菌群的消亡速率较病原生物快。有研究显示，海水中粪大肠杆菌随着太阳辐射的增强而迅速消亡，而肠球菌在海水中的环境适应能力强，受太阳辐射的影响较小，能更好地指示一定时间段内水体受粪便污染的程度。

（3）粪大肠菌群除了存在于人和哺乳动物

的粪便以外，可以在污水中迅速繁殖，如，在污水处理厂和造纸厂废水环境中。肠球菌随污水的处理可以迅速消亡，可以用于指示水质变化的原因是否源于雨水径流。

1.2 评价体系

1.2.1 世界卫生组织

世界卫生组织于 2003 年公布了《娱乐用水环境评价指南》^[1]，旨在为各国娱乐水体环境管理提供指导。该指南全面系统，详细介绍了与浴场环境相关的潜在风险或危险，包括物理性危险、紫外线损伤，高温与低温、粪便污染、藻类、危险水生生物、海滩砂污染、化学物质和感官质量等。

水质评价包括 5 个不同阶段。第一阶段，浴场开放前开展初步调查，以确定水质要素是否存在显著的空间变化。采样时间则尽可能考虑当地污水排放和浴场使用情况（如在下午或游泳者人数最高峰时间采样）；第二阶段，根据

初步调查结果，评价浴场水质的空间变化；第三阶段，如果没有明显空间变化，根据微生物学要素的调查结果对浴场进行初步分类，评价等级分为 4 级（详见表 1）；第四阶段，如果水质空间变化显著，加大采样频率；第五阶段，如果后续监测评价结果持续为“很好”或“很差”，降低监测频率。

1.2.2 欧盟

欧盟海水浴场水质指标于 1976 年进入欧洲环境立法，即浴场水质委员会指令（76/160/EEC，1976.a）^[8]，要求检测 19 种污染物和常规要素。随着流行病学研究的深入和管理方法的完善，2002 年对该指令进行修订，新的提案（CEC，2002）^[9]有 3 个主要目标，即简化浴场水质监测指标、提供管理信息、简化水质监控程序。修订的指令提出根据微生物指标和感官质量将海滩分为“优”、“良”、“差”3 个等级。在泳季结束后，收集最近 3 年的数据做出评价。根据 3 年的数据做出的评价，意味着评价结果不易受恶劣天气或突发事件的影响。如果 3 年期间内水质一直较好，可降低采样频率而节省监测经费。2006 年，欧盟对 2002 年提案的海水浴场水质分类系统进一步简化（2006/7/EC）^[10]。评价指标只有埃希氏菌和肠球菌两项。虽然欧盟于 2002 年和 2006 年分别提案了新的浴场水质标准，但 76/160/EEC 指令将于 2014 年

末被新指令代替。

1.2.3 “蓝旗”评价体系

“蓝旗”评价体系于 1985 年始于法国，由非政府、非盈利性组织—欧洲环境教育基金（FEE）运营，目的是鼓励当地政府为公众和游客提供清洁和安全的海滩。该评价体系是自愿参与的，满足评价标准的海滩会被授予蓝旗，可作为当地的旅游标志之一。1998 年开始在欧洲以外区域实施该评价体系。2013 年，48 个国家的 3580 个海滩和游艇码头被授予了蓝旗。如今蓝旗评价体制已经为公众、环境标识决策者和经营者广泛认可。蓝旗标准每 5 年修订更新一次，最新的标准于 2013 年修订。蓝旗标准包括 29 个指标^[11]，涵盖水质、环境教育与信息、环境管理、安全与服务等 4 个方面。尽管不受法律的约束，一些国家通过环境事务和旅游部门发起蓝旗竞选活动，以更好地管理海洋环境和海洋资源。

1.2.4 美国

20 世纪 70 年代末至 80 年代初，美国环境保护署对海水浴场中的总大肠杆菌、粪大肠菌群、埃希氏菌和肠球菌进行了研究，于 1986 年公布了《微生物环境水质标准—1986》^[12]。建议使用肠球菌指示海水浴场水质状况，肠球菌阈值的确定是基于每 1 000 个游泳者的 19 人的肠胃疾病发病率的流行病学调查结果。

表 2 美国娱乐用水水质标准（US EPA，1986）

指示生物	每 1 000 个游泳者患肠胃炎的比例	月几何均值	单个样品最大允许值（MPN/ml）			
		指示密度：几何平均数的稳定状态	指定海滩	一般使用	较少使用	很少使用
淡水						
肠球菌	8	33	61	78	107	151
埃希氏菌	8	126	235	298	409	575
海水						
肠球菌	19	35	104	158	276	501

注：月几何均值，即 30 天内不少于 5 次采样的几何平均值；单个样品最大允许值不应该超出规定的置信极限（CL）：指定海滩，75% CL；一般使用的浴场，82% CL；较少使用的浴场，90% CL；很少使用的浴场：95% CL。

美国环境保护署建议建立沙滩分类与评价名录并定期更新。高优先级的海滩在泳季至少每周监测一次，中优先级和低优先级的海滩可

适当减少监测频率。确定优先监测海滩时考虑浴场所在地区降雨量、潜在污染源、游客密度、污水处理系统、公众建议等因素。

在沿海州政府的管理实践中,降雨可作为浴场关闭与否的一项依据^[13]。如在美国加利福尼亚州,24 小时降水量达到 3 mm 以上时,通常会加大采样频率,并发出关闭浴场 3 天的警告。在新泽西州,如果 24 小时降水量达到 3 mm 以上,通常会关闭海滩,如果 48 小时降水量达 70 mm 以上,将开展持续采样,并延长浴场关闭时间^[14]。

1.2.5 加拿大

加拿大于 1992 年发布了《加拿大娱乐用水水质指南》^[3]。并于 2012 年进行了修订。监测指标包括指示微生物、水生病原体、蓝藻、化学物质、温度、透明度、pH 值、浑浊度、石油和脂、水生植物、感官质量和令人厌恶的生物等。

对水质管理和评价采用综合分析的方法:
① 环境健康评价:泳季开始前进行年度评价,以识别潜在污染源和物理危险;
② 流行病学调查:建立浴场潜在危险或疾病调查机制,进行全面的流行病学研究;
③ 指示微生物监测:即常规监测,根据水体使用情况确定监测指标和采样频率;
④ 病原生物实验:如果出现疾病报告,进行病原微生物调查,出现不能确定的可疑疾病,用指示微生物表征连续的健康风险。

1.2.6 澳大利亚

2006 年,澳大利亚国家健康与医疗委员会发布了《娱乐用水风险管理指南》^[15]。该指南提出了三个水平的监测与管理模式,根据模式水平处理各种主要风险:
① 监测模式(绿色水平):定期监测水体状况,包括微生物、透明度和颜色、pH 值、水温、有毒化学物质、表层油膜、令人厌恶的生物等;
② 警报模式(黄色水平):要求调查导致污染物水平上升的原因,增加的采样频率,进而更加准确评估对娱乐水体使用者造成的风险;
③ 行动模式(红色水平):要求当地政府和卫生部门警告公众水体不合适娱乐活动。

2 我国现有监测体系存在的不足

2.1 基础研究亟待加强

国际上,海水浴场指示微生物指标选择及其标准阈值是在开展大量流行病学研究的基础

上确定的。根据游泳者肠胃疾病发生情况,结合接触频率、范围和暴露程度等,量化水体中微生物含量与浴场使用者的健康风险之间的关系^[16]。从致病微生物所导致疾病的可接受的概率,推定水质微生物指标所允许存在的最大浓度作为指导浓度,并确定为水质标准。但我国海水浴场水质标准的阈值主要参考欧盟、世界卫生组织、美国的相关标准,缺少针对我国游泳者与水质健康风险之间关系的研究。

2.2 缺少水质成因调查与研究

污染物陆源输入是导致水质变差的主要原因。一些国家和地区通常在水质出现恶化时通过加大采样频率跟踪水质变化过程,确定导致水质变化原因。但目前国内海水浴场的评价工作仍停留在就监测数据进行评价,未能开展水质变化原因的深入分析。缺少对微生物学指标的时空变化趋势和变化规律的研究,陆源污染对海水浴场水质的影响程度、影响范围、作用时间等仍不清楚,制约了客观评价水质状况。

2.3 水质预测缺乏科学依据

水质监测并不能完全保护游泳者健康。一方面,目前采用指示微生物(如粪大肠菌群和肠球菌)表征水体受粪便污染程度,而微生物的实验室培养需 24~72 h。在实验室培养阶段,浴场水质已经发生变化,检测结果的获得具有滞后性;另一方面,目前我国海水浴场的采样频率为每周两次,如果出现强降雨等导致水质变差的情况,无法获得非采样日期水质信息。受上述两方面因素的制约,水质信息的发布存在不确定性和滞后性。时间上的滞后通常使管理者无法及时告知公众采取预防措施。因此,部分国家根据降雨情况作为是否关闭浴场的依据。由于不同浴场地形、潮流状况、污染源状况不同,降雨水质影响程度不同^[17],降雨与水质关系需要在科学研究基础上确定。目前国内对海水浴场预报主要根据降雨情况采用主观经验判断法进行水质预报,水质预测缺乏科学依据。

2.4 部分代表性浴场未纳入监测与评价体系

纳入国家监测方案的海水浴场仍为开展监测业务之初确定。随着社会经济快速发展,海

洋功能区划也处在不断调整与变化中, 部分利用率较高的海水浴场和度假区未纳入监测与评价体系。受地方旅游经济发展、城市旅游品牌需求的影响, 部分水质一般或较差的海水浴场和度假区也未能纳入到国家监测方案中。目前开展监测的浴场不能完全代表全国海水浴场综合环境状况。

2.5 监测评价工作与监督管理脱节

尽管我国已经开展多年的海水浴场环境监测工作, 但多数海水浴场和度假区管理部门仅在浴场标识牌上公布水温、浪高和潮汐等信息, 而实质上尚未建立海水浴场的水质咨询/关闭制度。其原因之一是监测评价工作与监督管理脱节; 此外, 水质预报的不确定性和滞后性也制约了管理部门做出及时关闭浴场的决策。

3 建议与对策

3.1 加强基础研究

开展流行病学调查以及加强海水浴场水质标准的基础研究, 是客观准确评估水质状况的基础。相关研究主要应包括: ① 开展针对我国游泳者全面的流行病学研究, 以确定适用于我国实际环境状况的海水浴场水质指标及其标准阈值; ② 开展病原微生物指标的研究, 研究水质评价指标在环境中的变化规律, 以及不同污染来源的污染物对水质的影响程度及其变化规律, 以不断完善目前的监测方案; ③ 普查海水浴场周边排污口分布状况, 对水质较差的海水浴场和度假区深入开展水质成因调查分析, 进而为政府管理部门的管理决策提供依据。

3.2 推进海水浴场水质预报工作

水质预测模型可以整合多种环境因素, 预测未来数日水质的变化, 可以为管理部门做出是否关闭海水浴场和度假区的决定提供决策信息。在未来的研究中应进一步开展水质预测模型的研究, 逐步建立起针对主要海水浴场的水质预测模型, 推进业务化应用。

3.3 建立分级监视监测方案

建立全国范围内海水浴场排序名单, 根据水质现状、历史监测数据、周边污染源状况、

污水处理设施情况、海水浴场和度假区使用率、当地滨海旅游业状况、人口分布、公众意见等, 结合海洋功能区划和政府管理部门意见, 识别需要优先监测和进行污染管理的海水浴场。建立海水浴场分级监视监测方案, 以切实保护公众健康与安全。

3.4 深入与管理部门的合作, 建立信息共享服务平台

建立应急报告机制, 加强海水浴场营运部门与监督管理部门之间的有效沟通, 高效利用监测数据与评价信息, 将海水浴场水质监测信息及时反馈至浴场管理者, 建立信息共享服务平台, 逐步推动海水浴场水质咨询/关闭制度的建立。

参考文献

[1] WHO. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, Coastal and fresh waters [M]. Geneva: World Health Organization, 2003.

[2] WHO. Guidelines for drinking—water quality, 2nd ed. Addendum to Volume 1. Recommendations [M]. Geneva: World Health Organization, 1998.

[3] National Health and Welfare, Canada, Guidelines for Canadian Recreational Water Quality[M]. Ottawa, Ottawa: Health and Welfare Canada, 1992.

[4] OSBORNE N J, SHAW G R, WEBB P M. Health effects of recreational exposure to Moreton Bay, Australia waters during a *Lyngby* bloom [J]. *Environment International*, 2007, 33(3): 309—314.

[5] BARTRAM J, REES G. Monitoring bathing waters: a practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes [M]. Geneva: World Health Organization, 2002.

[6] WHO. Bathing Water Quality and Human Health; Faecal Pollution. Geneva: World Health Organization, 2001.

[7] PRÜSS A. A review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water [J]. *International Journal of Epidemiology*, 1998, 27: 1—9.

[8] European Communities, Commission of the European Communities, Bathing Water Directive of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water

[S]. Brussels; European Communities, 1976.

[9] European Communities. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning the quality of bathing water[S]. Brussels; European Communities, 2002.

[10] European Communities. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC[S]. Brussels; European Communities,2006.

[11] Foundation for Environmental Education, Awards for Improving the Coastal Environment; The example of the Blue Flag. Denmark, 2006.

[12] US EPA. Ambient Water Quality Criteria for Bacteria—1986[M]. Washington, DC; United States Environmental Protection Agency. Washington, DC. US. 1986.

[13] US EPA. National beach guidance and required performance criteria for grants[M]. Washington, DC; United States Environmental Protection Agency Office of Water,2002.

[14] WYMER L J. Statistical Framework for Recreational Water Quality Criteria and Monitoring, US Environmental Protection Agency. John Wiley & Sons Inc. , Hoboken, NJ, USA. 182—183.

[15] NHMRC. Guidelines for Managing Risks in Recreational Water[M]. Canberra; National Health and Medical Research Council, Australian Government, 2005.

[16] 穆贵强,李江宇,樊景凤. 海水浴场微生物指标与卫生学水质评价研究进展[J]. 海洋环境科学. 2012,31(6);939—944.

[17] ZhangWeiwei, Wang Juying, Fan Jingfeng, et al. Effects of rainfall on microbial Water Quality on Qingdao No. 1 Bathing Beach, China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, 66 (1): 185—190.

(上接第 98 页) 溢油应急监测方法体系。

参考文献

[1] 国家海洋局北海分局. 渤海海洋环境公报[R]. 2008—2009.

[2] 国家海洋局北海分局. 北海区海洋环境公报[R]. 2010—2011.

[3] 国家海洋局北海分局. 大连 7.16 溢油事件海洋环境影响评价报告[R]. 2010.

[4] 国家海洋局. 蓬莱 19—3 油田溢油联合调查组暗语事故调查处理报告[R]. 2012.

[5] Shoreline assessment job aid [M]. NOAA, 2007.

[6] Shoreline assessment manual [M]. NOAA. 2000.

[7] Surveying sites polluted by oil [M]. Cedre, 2006.

[8] Sampling and monitoring of marine oil spills—technical information paper [M]. ITOPF, 2012.

[9] Recognition of oil on shorelines [M]. ITOPF, 2012.

[10] Mediterranean guidelines on oiled shoreline assessment [M]. REPEC, 2009.

[11] GODON A,ROBILLIARD,PAUL D,et al. Ephemeral data collection guidance manual,with emphasis on oil spill NRDAS[C] // 1997 International Oil Spill Conference,1997;1029—1030.