

藻密度手工监测实验室间比对研究

蔡琨¹, 李娣¹, 陈瑜², 沈丽娟³, 朱冰川⁴, 许浩⁵, 姜晟¹, 李旭文¹

(1. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省苏州环境监测中心, 江苏 苏州 215000; 3. 江苏省常州环境监测中心, 江苏 常州 213000; 4. 江苏省无锡环境监测中心, 江苏 无锡 214000; 5. 南京皓安环境监测有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:为研究不同实验室藻密度监测数据的可靠性,现场采集了藻密度样品,处理为现场平行样和实验室前处理后平行样2种,分别由5家实验室的6名技术人员开展检测分析。参考相关技术规范要求,结合其他领域相似工作的成功应用案例,采用Z比分数法对分析结果开展藻密度实验室间比对。结果表明,数据的相对偏差均符合技术规范要求;对藻密度进行数据直接比对和对数转换后比对,各实验室对现场平行样和实验室前处理后平行样的检测结果均为合格;分析方法原理导致藻密度手工监测的绝对数值偏差较大,对当前的太湖水华预警工作适用性不高。

关键词:藻密度;水华预警;实验室间比对;手工监测;太湖

中图分类号:X835

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2022)04-0042-05

Research of Interlaboratory Comparison for Manual Monitoring of Algae Cell Density

CAI Kun¹, LI Di¹, CHEN Yu², SHEN Li-juan³, ZHU Bing-chuan⁴, XU Hao⁵, JIANG Sheng¹, LI Xu-wen¹

(1. Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210019, China; 2. Jiangsu Suzhou Environmental Monitoring Center, Suzhou, Jiangsu 215000, China; 3. Jiangsu Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou, Jiangsu 213000, China; 4. Jiangsu Wuxi Environmental Monitoring Center, Wuxi, Jiangsu 214000, China; 5. Nanjing Hoan Environmental Monitoring Co., Ltd, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: Field parallel and after laboratory pretreatment parallel samples of algae cell density were collected and processed to study the reliability in different laboratories. Six technicians from five laboratories analyzed the samples independently. Refer to relevant technical specifications and the successful application cases in similar situations in other fields, the Z-score method is used to compare and evaluate the analyses among laboratories. The results showed that the relative deviation of the data was in line with the technical specifications. The test results of field parallel and after laboratory pretreatment parallel samples from each laboratory were qualified when compared directly to algal density data or logarithmic conversion. The principle of the algae density analysis method leads to large absolute figure deviation of manual monitoring, which means manual monitoring of algae is not suitable for the bloom warning of Taihu Lake.

Key words: Algae cell density; Algal bloom warning; Interlaboratory comparison; Manual monitoring; Taihu Lake

0 前言

藻类(浮游植物)不但是水生态系统的初级生产者,而且是水中溶解氧的主要供应者^[1],藻类过量繁殖时产生的水华,其夜晚呼吸作用及分解消亡时会大量消耗水中溶解氧,影响其他水生生物生存,在湖泊水体中甚至会形成湖泛。因此藻类的群

落结构和数量显著影响着水生态系统中的能量和物质的传递^[2],决定了水生态系统的结构和功能,因此藻类是水生态系统中的重要指示生物^[3]。

藻密度(藻类的细胞密度)一直是我国重点湖库水华预警启动的核心依据之一。根据《重点湖库水华预警工作机制(试行)》(环办水体函

收稿日期:2021-08-10;修订日期:2021-10-29

基金项目:江苏省环境监测科研基金资助项目(2010);江苏省生态环境科研课题基金资助项目(2020008)

作者简介:蔡琨(1988—),男,工程师,硕士,主要从事水环境生物监测与评价工作。

[2019]876号)^[4],2020年,太湖、巢湖、滇池、洱海和丹江口水库等5个重点湖库水华预警系统启动。在湖库区,当水华面积占比达到预警值,且藻密度或叶绿素a浓度也达到预警值时,启动预警工作;在集中式饮用水水源地,当平均藻密度或平均叶绿素a浓度达到阈值时,启动预警,阈值依据荧光法在线监测数据而制定。2021年该文件进行修订,微调了预警条件和预警值,调整不影响本研究的适用性讨论。

藻密度的测定方法主要包括显微镜人工计数法、荧光法、光密度法和流式细胞仪法等。其中显微镜人工计数是最基础的技术,在微生物、小型水生生物监测分析中应用广泛,具有直接、直观、准确等优势,不但可以准确测定藻密度,也是藻类分类鉴定的基础^[5-6]。由于显微镜人工计数存在分析周期长、对人员专业水平要求高等问题,为更好地满足监测需求,荧光法、光密度法、流式细胞仪法等也陆续被开发并应用到浮游藻密度及生物量测算中^[7],其中荧光法因其简便、快捷的特点,在藻密度监测中应用最为广泛^[8-9]。

为进一步加强监测数据的直观性、科学性和准确性,提升全国藻类监测能力和服务管理应用水平,2020年,生态环境部和中国环境监测总站要求,除使用浮标站、便携式仪器等快速监测(荧光法)的藻密度结果外,试点应用藻密度手工监测(显微镜人工计数法)数据结果,将其一并纳入监测预警体系中。

2020年5月,太湖某水域藻密度自动监测数据正常,但试点的手工监测结果达到阈值,触发水华预警。上述情况表明,在按工作机制程序开展预警工作的同时,各相关监测单位也急需对藻密度手工监测的能力水平开展比对研究,以确保监测数据的科学性和准确性。

1 研究方法

1.1 样品来源及制备

触发预警当天,在触发预警水域的岸边,依据《水和废水监测分析方法(第四版)》及相关文献^[3,5]中样品采集及前处理方法开展样品制备,制备过程中依据相关文件开展质量控制和质量保证措施,确保样品的均一性。

利用有机玻璃采水器,现场平行采集水面下0.5 m处水样5瓶(各1 L)。现场采样时,避开水

面有明显藻类堆积的区域,采样时发现采样点水体中存在较多肉眼可见的藻类悬浮颗粒。

水样采集后添加鲁哥氏液进行固定,并立即在实验室中同时进行静置沉淀。采样后的第2天,静置沉淀满24 h,用虹吸法去除上清液,将样品定容至40 mL,制备获得5瓶各40 mL样品。其中1瓶混匀后平均分成4份,每份10 mL,作为前处理完成后的平行样品,全部标记为样品1,另4瓶标记为样品2,作为现场采集的平行样品。将1瓶样品1和1瓶样品2作为1组样品(图1)。

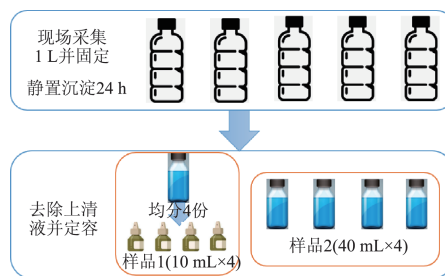


图1 样品制备过程示意

1.2 样品分配及送达

采样后的第3天,分别将1组样品送至环太湖的江苏省苏州环境监测中心(以下简称“苏州”)、江苏省无锡环境监测中心(以下简称“无锡”)和江苏省常州环境监测中心实验室(以下简称“常州”),剩余1组样品送至江苏省环境监测中心实验室(以下简称“省中心”),以上实验室全部具备CMA(中国计量认证)浮游植物检测资质能力。4家实验室同时得到标记为样品1和样品2的2个藻类样品。

1.3 样品分析

样品分析前,考虑到4个实验室全部为环境监测系统内的实验室,单次分析仅需要不到0.5 mL样品,因此又邀请了具备CMA浮游植物检测资质的南京皓安环境监测有限公司(以下简称“皓安”)共同参与本次分析比对。由于待测试样品数量有限,该公司的2名技术人员均在江苏省环境监测中心实验室中,使用已经检定合格的移液枪、显微镜等仪器设备,独立开展分析工作。环境监测系统内的4个实验室分别由1名人员开展样品分析工作,即共有6名分析人员同时独立对样品进行分析。苏州、无锡和常州分析的是独立样品;省中心及皓安公司共3人,分析的是同1组样品。皓安公司的

2 名人员持有内部颁发的浮游植物检测上岗证,其余 4 家实验室的 4 名分析人员,均持有国家颁发的浮游植物检测上岗证。

样品分析过程中,6 名人员均按相关规范^[10]等文件要求,将样品充分摇晃均匀后,取 0.1 mL 置于浮游生物计数框中制成玻片,在显微镜下对藻类细胞进行计数。计数方法由分析人员根据实际情况自行选取,采取行格法、对角线法、视野法及其他方法抽样计数或全片计数均不作要求。每个样品分别镜检 2 张玻片,2 次计数结果的相对偏差应 ≤ 15%,相对偏差计算公式为:相对偏差 = (高值 - 低值) / (高值 + 低值) × 100%,否则进行第 3 片计数,取其中数值相近 2 片的平均值,按公式(1)进行换算,得到样品藻密度的最终检测结果。

$$N = \frac{A}{A_c} \cdot \frac{V_s}{V_0 V_a} \cdot n \quad (1)$$

式中: N ——藻密度,个/L(单位中“个”代表细胞个数); A ——计数框面积, mm^2 ; A_c ——计数面积, mm^2 ; V_0 ——水样浓缩前体积,L; V_s ——水样浓缩后体积,mL; V_a ——计数框容积,mL; n ——浮游植物计数细胞数,个。

1.4 比对方法

现行关于实验室间比对的规范、标准等主要针对化学测量方法,由于显微镜人工计数分析方法的特殊性,对于浮游植物分析等生物指标检测目前暂无完全适用的比对方法和评价标准。同样,在显微镜人工计数应用较多的卫生领域也没有比较完善的科学质量保证与考核办法^[11]。通过在“中国知网”(www.cnki.net)以“浮游植物 + 比对”“藻 + 比对”“藻密度 + 对比”等关键词进行检索,均未检索到开展多家实验室藻密度比对的相关研究文献;以“微生物 + 比对”为关键词进行检索,发现卫生领域开展过类似比对工作^[12-13],但由于相关研究中的比对数据值与本研究中的藻密度相比,相差 4 ~ 6 个数量级,方法对本研究的适用性存疑。

根据检测方法实际,使用《环境监测分析方法标准制订技术导则》(HJ 168—2020)^[14]中精密度确定方法,并参考国家计量技术规范《化学量测量比对》(JJF 1117.1—2012)^[15]和《能力验证结果的统计处理和评价指南》(CNAS-GL002:2018)^[16],对实验室间比对结果进行评价。由于浮游植物密度无标准样品,分析过程几乎完全依靠人工肉眼观察,使用的仪器设备主要是对个体进行光

学放大作用的显微镜,无不确定度相关指标值,无可靠的重复性标准偏差、复现性标准偏差等,结合相关研究应用的成功案例^[12-13,17-18],采用 Z 比分数法(Z-score)进行比对并对结果进行评价^[15-16]。考虑到参加本次比对的实验室(即样本数据)较少,利用经典统计法,比对参考值采用多组实验分析结果的算术平均数,比对结果分散度采用比对的标准偏差^[19]。Z 比分数计算方法见式(2)。

$$Z = (x - x_0) / s \quad (2)$$

式中: Z ——Z 比分数值; x ——参加比对实验室的测量结果; x_0 ——比对参考值; s ——比对结果的分散度。当 $|Z| \leq 2$,表明参加比对实验室的结果为合格;当 $2 < |Z| < 3$,判定为可疑;当 $|Z| \geq 3$,判定为不合格^[15-16]。

2 比对结果

2.1 样品监测分析结果

将 6 组检测结果视为独立实验室数据样本进行比对,具体监测分析结果见表 1。

表 1 各单位监测分析结果

样品	实验室	藻密度 / (10^4 个 · L ⁻¹)
样品 1	省中心	50 415
	皓安 1	45 755
	皓安 2	42 437
	无锡	50 482
	苏州	64 000
样品 2	常州	39 281
	省中心	77 943
	皓安 1	67 333
	皓安 2	76 400
	无锡	51 450
	苏州	62 208
	常州	38 249

由表 1 可见,样品 1 的藻密度为 $39\ 281 \times 10^4 \sim 64\ 000 \times 10^4$ 个/L,平均值为 $48\ 728 \times 10^4$ 个/L;样品 2 的藻密度为 $38\ 249 \times 10^4 \sim 77\ 943 \times 10^4$ 个/L,平均值为 $62\ 264 \times 10^4$ 个/L。样品 1 与样品 2 平均藻密度绝对差值为 $13\ 536 \times 10^4$ 个/L,相对偏差为 12.2%。参考每个样品镜检 2 张玻片,2 次计数结果的相对偏差 ≤ 15% 的要求,将样品 1 和样品 2 各实验室结果的均值视为一个样品的 2 次计数,则分析结果达到技术规范要求。

2.2 数据结果直接比对

各实验室间,样品1的标准偏差为 $8\ 681 \times 10^4$ 个/L,实验室间相对标准偏差(即变异系数 C.V)为 17.8%;样品2的标准偏差为 $15\ 264 \times 10^4$ 个/L,实验室间相对标准偏差为 24.5%。样品1的标准偏差远小于样品2,相对标准偏差比样品2低 6.7%。

各单位 Z 比分数计算结果见表 2。由表 2 可见,样品 1 各实验室的 Z 比分数范围为 $-1.09 \sim 1.76$,样品 2 为 $-1.57 \sim 1.03$, $|Z|$ 均 ≤ 2 ,表明参加比对实验室的样品 1 和样品 2 分析结果均为合格。各实验室 $|Z|$ 的均值,样品 1 比样品 2 低 0.05。

样品 2 分析结果的离散程度、评价结果的 $|Z|$ 的均值均高于样品 1,说明现场采样的随机误差可能大于实验室分析过程中的随机和系统误差。

表 2 各实验室 Z 比分数计算结果

样品	实验室	藻密度/ (10^4 个·L $^{-1}$)	Z	藻密度对 数值(log)	Z
样品 1	省中心	50 415	0.19	8.703	0.28
	皓安 1	45 755	-0.34	8.660	-0.30
	皓安 2	42 437	-0.72	8.628	-0.73
	无锡	50 482	0.20	8.703	0.28
	苏州	64 000	1.76	8.806	1.67
	常州	39 281	-1.09	8.594	-1.19
样品 2	省中心	77 943	1.03	8.892	0.94
	皓安 1	67 333	0.33	8.828	0.39
	皓安 2	76 400	0.93	8.883	0.86
	无锡	51 450	-0.71	8.711	-0.60
	苏州	62 208	0.00	8.794	0.10
	常州	38 249	-1.57	8.583	-1.69

2.3 数据结果对数转化后比对

蓝藻又称蓝细菌,藻类与微生物相似,也存在对数生长期,参考微生物数据分析方法,将浮游植物分析结果对数转化后进行比对分析^[12]。

各实验室分析得到的样品 1 藻密度对数范围为 8.594~8.806,平均值为 8.682;样品 2 藻密度对数范围为 8.583~8.892,平均值为 8.782。样品 1 与样品 2 藻密度对数均值的绝对差值为 0.1,相对偏差为 6.8%。

各实验室间,样品 1 标准偏差为 0.074,实验室间相对标准偏差为 0.9%;样品 2 标准偏差为 0.118,实验室间相对标准偏差为 1.3%。

由表 2 可见,样品 1 各实验室的 Z 比分数范围为 $-1.19 \sim 1.67$,样品 2 为 $-1.69 \sim 0.94$, $|Z|$ 均 ≤ 2 ,表明参加比对实验室的样品 1 和样品 2 分析结

果均为合格。各单位 $|Z|$ 的均值,样品 1 比样品 2 低 0.02。样品 2 分析结果的离散程度、评价结果的 $|Z|$ 的均值也均高于样品 1。

3 讨论

3.1 评价方法的适用性和可靠性

本研究使用的《HJ 168—2020》,明确了 1 组测定结果精密度的确定方法,但并无参比实验室数据结果是否合格的评价标准约定;《JJF 1117.1—2012》的适用范围仅为“化学量测量比对”,不包含生物相关数据的比对。本研究参考上述标准规范进行评价,因此可能存在一定缺陷。

在参考《JJF 1117.1—2012》进行评价时,仅能通过多家实验室分析结果的算术平均数作为比对参考值,无不确定度相关指标值,无可靠的重复性标准偏差、复现性标准偏差等,仅能采用 Z 比分数对各实验室比对结果进行评价,无法采用 En 值(评价比对结果的基本方式,应用最为广泛,技术规范建议优先采用)、CD 值、Z Δ 值等方法。而在采用 Z 比分数进行评价时,由于本次比对实验室仅 5 家,数据量偏小,无法使用稳健统计法,但算术平均数易受单个结果(特别是极值)影响,参考值的代表性方面也可能受到不小的影响。

不确定适用的评价标准规范、分析方法特殊性、参考值的代表性等,可能导致本研究评价结果的科学性、准确性和可靠性受到一定影响。

3.2 比对结果的普适性

由于本研究需要快速取得比对结果,因此仅在 1 个点位平行采集了 1 组比对样品,分析结果显示,比对样品的藻密度约 $40\ 000 \times 10^4 \sim 60\ 000 \times 10^4$ 个/L,处于极高位。本研究比对结果仅能代表各实验室对高密度区间浮游植物样品分析结果的一致性,并不能扩展说明其对于不同密度样品的分析能力均合格。

在后续研究中,将进一步开展深入的比对研究,补充实验内容,设置如多个不同密度梯度的藻类平行样品开展分析比对,并由尽可能多的实验室对这些不同密度梯度的样品开展检测分析,以更好地说明各实验室分析结果的合格性。

3.3 藻密度手工监测结果偏差较大的原因分析

藻密度手工监测结果偏差较大,主要源于监测分析技术方法。通常藻密度样品采集后,需要静置沉淀 24~48 h,但即便沉淀 48 h,由于不同藻类密

度不同、沉降速度不同,同时虹吸去除上清液时,对底部扰动也存在差异,浓缩后的藻样与实际情况已经存在少许偏差;在显微制片时,通过摇动混匀浓缩定容后的 40 mL 样品,取 0.1 mL 样品制片进行分析,由于部分藻类存在聚集成团的特性,同时摇动并不能完全保证均匀,制片的随机性对结果存在不小的影响;在显微镜镜检时,由于计数量太大,计数规范和相关文献均说明,可以对计数框中的网格按行格法、对角线法或视野法等进行抽样计数,在实际计数时,由于藻类排列不规则且总数较高,个别细胞重复计数或计数遗漏现象难以避免。经各分析步骤的不断抽样,显微镜中计数时的偏差会被放大数万倍甚至数十万倍,这直接导致了最终监测数据的偏差较大。现行的相关技术规范,通过重复计数等质控手段有效将偏差范围限定在了可接受的范围内。

虽然手工监测的偏差数值偏高,并不意味着分析计数方法不适用于藻类监测,主要有 2 个方面的原因:(1)藻密度手工监测虽然数量偏差的绝对量动辄数十万、数百万甚至更高,但是对数亿、数十亿的群落总数而言,偏差的比例仍然在可接受的范围内,且手工监测数据最主要的应用场景是监测藻类的群落多样性,数量(密度)上的偏差对于诸如物种数、生物多样性指数等的影响有限;(2)抽样计数对于动辄数千万、数亿的个体数而言,是十分必要的,否则样品分析时长将呈指数级增长,监测分析结果也毫无时效性可言。

3.4 藻密度手工分析对水华预警的适用性

2020 年,根据重点湖(库)水华预警等级启动阈值^[4],太湖湖区藻细胞密度达 $3\ 000 \times 10^4$ 个/L,且全湖水华面积占比达[20%,40%)时,就应启动Ⅲ级(黄色)预警;达到 $5\ 000 \times 10^4$ 个/L,且全湖水华面积占比达[40%,60%)时,启动Ⅱ级(橙色)预警;达到 $8\ 000 \times 10^4$ 个/L,且全湖水华面积占比 $\geq 60\%$ 时,启动最高的Ⅰ级(红色)预警。太湖集中式饮用水水源地要求更为严格,只要藻密度达 $3\ 000 \times 10^4$, $4\ 000 \times 10^4$ 和 $6\ 000 \times 10^4$ 个/L,即启动Ⅲ级(黄色)、Ⅱ级(橙色)和Ⅰ级(红色)预警。

在本研究中,平行采集的样品 1 和样品 2 绝对差值是Ⅰ级预警阈值的 1.69 倍;分析结果评价为合格的 5 家不同实验室的分析数据,样品 1 标准偏差($8\ 681 \times 10^4$ 个/L)已超过Ⅰ级预警阈值,样品 2 标准偏差($15\ 264 \times 10^4$ 个/L)是Ⅰ级预警阈值的

1.91 倍。即便考虑到本研究中比对样品的藻密度处于高位,放大了相对标准偏差的数值,笔者仍然认为,藻密度手工分析方法的随机误差和系统误差相较预警阈值来说都偏大,藻密度手工分析方法对当前条件下的太湖水华预警工作的适用性不高。

4 结论

(1)由江苏省 5 家实验室的 6 名技术人员对藻密度进行手工比对监测。2 个平行样品的 6 组手工监测分析结果表明,2 个样品的相对偏差为 12.2%,若将 2 个样品视为同 1 个样品的 2 次计数分析,则结果达到技术规范要求。

(2)将 2 个平行样品的实际数据结果直接进行比对,各实验室的 Z 比分数分别为 $-1.09 \sim 1.76$ 和 $-1.57 \sim 1.03$, $|Z|$ 均 ≤ 2 ,表明参加比对的 5 家实验室对 2 个样品的分析结果均为合格。实际数据结果对数转化后进行比对,各实验室的 Z 比分数分别为 $-1.19 \sim 1.67$ 和 $-1.69 \sim 0.94$, $|Z|$ 均 ≤ 2 ,表明参加比对的 5 家实验室对 2 个样品的分析结果均为合格。

(3)藻密度手工监测因分析方法原理导致偏差较大,但分析方法对于藻类群落监测仍是合适的,绝对数值的偏差对于反映群落结构和多样性情况的影响有限。

(4)藻密度手工分析方法的随机误差和系统误差相较当前湖库水华预警阈值来说都偏大,藻密度手工分析方法对当前条件下的太湖水华预警工作的适用性不高。

[参考文献]

- [1] PAUL G F, RICHARD T B, VICTOR S. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production[J]. Science, 1998, 281(5374): 200-206.
- [2] 季相星,姜毅,王普力. 2015—2018 年海州湾及邻近海域浮游植物群落结构特征[J]. 环境监控与预警, 2021, 13(1): 47-51.
- [3] 李继影,徐恒省,翁建中,等. 阳澄湖浮游植物调查与水质评价[J]. 环境监控与预警, 2011, 3(2): 30-32.
- [4] 生态环境部办公厅. 重点湖库水华预警工作机制(试行)(环办水体函[2019]876号)[Z]. 2019.
- [5] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京:科学出版社,1991: 426.

(下转第 65 页)

- 社,2012.
- [9] 陈克红,张晴,刘展新,等. 高压密封消解-流动注射同时测定海水中总氮和总磷[J]. 环境监控与预警,2020,12(2):41-44.
- [10] 夏首先. 水中总氮、总磷的联合消解测定[J]. 水资源保护,1998(1):17-19.
- [11] 王继国,冯莉霞,史晓慧. 总氮总磷联合测定方法研究[J]. 化工环保,1995,15(6):367-370.
- [12] LIN K N, PEI J X, LI P C, et al. Simultaneous determination of total dissolved nitrogen and total dissolved phosphorus in natural waters with an on-line UV and thermal digestion[J]. Talanta the International Journal of Pure & Applied Analytical Chemistry, 2018,185:419-426.
- [13] 刘辉利,纪锐琳. 地表水总氮总磷联合消解测定方法的研究[J]. 干旱环境监测,2005,19(2):65-67,79.
- [14] 李琳,包俊金,潘莹. 过硫酸钠测定水中总氮的可行性探究[J]. 环境科学导刊,2021,40(6):89-93.
- [15] 师培. 用过硫酸钠消解测定水中总磷的方法研究[J]. 环境科学与管理,2007,32(10):160-161,178.
- [16] 曾兴宇,刘静,周东星. 紫外消解流动注射光度法测定海水养殖废水中总氮、总磷[J]. 化学分析计量,2015,24(3):4.
- 栏目编辑 周立平

.....

(上接第46页)

- [6] HALLEGRAEFF G M, HARA Y. Taxonomy of harmful marine raphidophytes[M]//HALLEGRAEFF G M, ANDERSON D M, CEREBELLA A D, et al. Manual on harmful marine microalgae. Paris: UNESCO,1995:365-371.
- [7] 钱奎梅,刘霞,陈宇炜. 淡水浮游植物计数与定量方法[J]. 湖泊科学,2015,27(5):767-775.
- [8] 陈纬栋,王崇,胡晓芳,等. 应用荧光分析技术检测蓝藻生物量[J]. 净水技术,2010,29(6):80-84.
- [9] 杨晓冬. 浅析荧光法测定蓝藻生物量的可行性[J]. 环境科学导刊,2011,30(5):89-91.
- [10] 中国环境监测总站. 湖库水生态环境质量监测技术指南(试行)(总站水字[2014]124号)[Z]. 2014.
- [11] 沈鑫烽,吴怡春,褚美芬,等. 以项目为引导的医学检验技术综合实训课程构建[J]. 中国高等医学教育,2015,4(4):65-66.
- [12] 张晓,钱乐,武利平,等. 2018年全国156家CDC生活饮用水中总大肠菌群实验室间比对结果评价[J]. 现代预防医学,2020,47(11):2070-2074.
- [13] 陆娟. 一次实验室间比对试验结果分析[J]. 现代预防医学,2013,40(14):2700-2702.
- [14] 环境保护部. 环境监测分析方法标准制订技术导则: HJ 168—2020[S]. 北京:中国环境出版社,2020.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局. 化学量测量比对:JJF 1117.1—2012[S]. 北京:中国计量出版社,2012.
- [16] 中国合格评定国家认可委员会. 能力验证结果的统计处理和能力评价指南:CNAS—GL002[S/OL]. [2018-03-01]. <https://www.cnas.org.cn/rkgf/sysrk/rkzn/2018/03/889120.shtml>.
- [17] 李晶,项新华,张河战. 实验室比对统计分析方法的比较[J]. 中国药学杂志,2016,51(2):139-143.
- [18] 陈彬,郑晶,黄晓蓉,等. 微生物检测实验室间比对试验结果分析[J]. 现代测量与实验室管理,2013,21(1):50-53.
- [19] 符颖操,罗茜. 实验室间比对结果分析统计方法的探讨[J]. 理化检验(物理分册),2006,42(6):295-299.