

# 过硫酸钠同时消解养殖尾水中总氮和总磷的探索

姜琦<sup>1</sup>, 王李宝<sup>1</sup>, 黎慧<sup>1\*</sup>, 万夕和<sup>1</sup>, 史文军<sup>1</sup>, 谭海军<sup>2</sup>, 沈辉<sup>1</sup>, 乔毅<sup>1</sup>, 蒋葛<sup>1</sup>, 成婕<sup>1</sup>

(1. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226000; 2. 盐城丰悦源钓饵有限公司, 江苏 盐城 224345)

**摘要:**大部分池塘养殖尾水中总氮、总磷质量浓度偏高,测定过程中需要对样品进行稀释,耗时较长且影响准确度。实验室分析时,通常采用过硫酸钾对尾水样品进行消解,其配置过程对温度要求较高,易析出晶体,且耗时较长。而过硫酸钠易溶于水,受温度影响较小,易配制。因此,分别采用上述2种过硫酸盐消解液对样品进行消解并同时测定总氮、总磷的质量浓度,比较2种消解方式对校准曲线、加标回收率、养殖尾水实际样品测定的影响。结果表明,等质量或等物质的量的过硫酸钠消解液均能满足总氮、总磷的消解要求,且后者消解样品无须改变氢氧化钠的加入量和调整pH值,即可达到同等消解效果。因此,可采用等物质的量的过硫酸钠代替过硫酸钾同时消解养殖尾水中的总氮、总磷。

**关键词:**过硫酸钠;过硫酸钾;消解;总氮;总磷;养殖尾水

中图分类号:X832

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2022)04-0060-06

## Exploration of Sodium Persulfate for Simultaneous Digestion of Total Nitrogen and Total Phosphorus in Aquaculture Tailwater

JIANG Qi<sup>1</sup>, WANG Li-bao<sup>1</sup>, LI Hui<sup>1\*</sup>, WAN Xi-he<sup>1</sup>, SHI Wen-jun<sup>1</sup>, TAN Hai-jun<sup>2</sup>, SHEN Hui<sup>1</sup>, QIAO Yi<sup>1</sup>, JIANG Ge<sup>1</sup>, CHENG Jie<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Marine Aquatic Research Institute, Nantong, Jiangsu 226000, China; 2. Yancheng Fengyueyuan Baits Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu 224345, China)

**Abstract:** The total nitrogen and total phosphorus content of tailwater from aquaculture ponds is usually high. Thus, samples need to be diluted before measurement, which leads to an increase in measurement time and a decrease in measurement accuracy. In the laboratory, potassium persulfate is commonly used for digestion of tailwater samples. The disadvantages of potassium persulfate are that it is easy to precipitate in crystal form at low temperature and its preparation is time-consuming. On the contrary, sodium persulfate is easily soluble in water, less affected by temperature and easy to prepare. In this study, the samples were digested by two kinds of persulfate digestion solutions, respectively, and the contents of total nitrogen and total phosphorus of the digested samples were determined, so as to compare the effects of the two methods on calibration curves, standard recovery, and determination of aquaculture tailwater samples. It was found that when the mass or amount of substance is equal to potassium persulfate, the sodium persulfate digestion solution can meet the requirements of total nitrogen and total phosphorus digestion. Moreover, the amount of sodium hydroxide added, and pH need not be adjusted when using sodium persulfate digestion solution, and the digestion effect is equal to that of potassium persulfate under equal mass or equal amount of substance. In conclusion, equal amount of substance of sodium persulfate can replace potassium persulfate for digestion of total nitrogen and total phosphorus in aquaculture tailwater samples.

**Key words:** Sodium persulfate; Potassium persulfate; Digestion; Total nitrogen; Total phosphorus; Aquaculture tailwater

总氮和总磷是衡量水体富营养化的重要指标之一<sup>[1]</sup>,水产养殖尾水产出的大量氮、磷排放到环境中,会导致湖泊、河流或近岸海域的水体

产生富营养化,浮游生物大量繁殖,水中的溶解氧下降,水质恶化,鱼类及其他生物大量死亡。因此,在养殖尾水的环境监测中,建立一种及时、快

收稿日期:2022-02-22;修订日期:2022-03-23

基金项目:苏北科技专项—先导性基金资助项目(SZ-YC202114);2021年江苏省渔业生态与资源监测基金资助项目(2021-SJ-110-02)

作者简介:姜琦(1993—),女,助理工程师,硕士,从事养殖水环境监测工作。

\*通讯作者:黎慧 E-mail: xh0922@163.com

速、简便地测定总氮、总磷的方法显得尤为重要,能及时地对养殖排放现状进行分析评价,从而提出相应的治理措施,为加强尾水排放管理相关政策的制定提供数据支撑,有利于养殖环境的修复,有效保护生态环境。

目前,国家或行业标准中通常采用过硫酸钾消解法测定总氮、总磷。实际操作过程中发现,温度变化对过硫酸钾的溶解度影响较大。研究表明,20℃时,100 g水中能溶解5.3 g过硫酸钾,0℃时,100 g水中仅能溶解1.75 g<sup>[2]</sup>,低温配制时还具有配制时间过长,晶体析出现象。而过硫酸钠具有强氧化性,易溶于水,在低温配制时无晶体析出,配制过程简单,温度的变化对其溶解度影响甚微。因此,现使用过硫酸钠代替过硫酸钾,对养殖尾水中总氮、总磷同时进行消解,并从样品的消解效率、精密度分析、加标回收、实际水样的测定等方面验证其代替过硫酸钾进行消解的可行性。

## 1 方法原理

利用碱性过硫酸钾氧化法测定水中的总氮、总磷,其原理是在124℃的碱性条件下,过硫酸根分解生成氢离子和氧气,加入氢氧化钠不断中和产生的氢离子,使过硫酸根能分解完全,产生的氧可将水体中的氨氮、亚硝酸盐氮及大部分有机氮化合物氧化为硝酸盐,从而实现总氮的测定。而总磷的测定原理是在酸性或偏中性的条件下,利用过硫酸根将水样中各种含磷类化合物全部转化为正磷酸盐,从而实现总磷的测定。

用过硫酸钾-氢氧化钠混合溶液进行消解,消解反应开始时由于氢氧化钠的影响,溶液呈碱性,满足总氮消解的要求。随着消解的进行,过硫酸钾不断消耗,分解产生的氢离子可中和氢氧根离子。在某一时间点,消解体系由碱性变为酸性,满足总磷的消解条件,从而实现总氮、总磷同时消解<sup>[3-6]</sup>。

《海洋监测技术规程 第一部分:海水》(HY/T 147.1—2013)<sup>[7]</sup>中的总氮、总磷的标准曲线最高质量浓度分别为2和0.24 mg/L,而大部分池塘养殖尾水中总氮、总磷的质量浓度都远超该限值。故在实际测定过程中,需要对样品进行稀释,因此会影响测定结果的准确度。《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ 636—2012)<sup>[8]</sup>中的总氮最大测定质量浓度

为7.0 mg/L。参照该标准,现对消解方法进行了改进,以实现高质量浓度水体中的总氮、总磷同时消解的目的。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器

HIRAYAMA HVE-50型高压灭菌锅(广州华粤行仪器有限公司);Lachat 8500S2型流动注射分析仪(美国HACH公司)。

### 2.2 试剂

#### 2.2.1 标准溶液

总氮标准溶液(100 mg/L,国家有色金属及电子材料分析测试中心,编号GNM-SNO3N-002b-2013);总磷标准溶液(300 mg/L,国家有色金属及电子材料分析测试中心,编号GNM-SP-002b-2013)。

#### 2.2.2 质控样

总氮质控样(环境保护部标准样品研究所,编号GSB07-3168-2014),质量浓度及批次分别为(3.08±0.18) mg/L(批次:203266)和(2.94±0.15) mg/L(批次:203273);总磷质控样(环境保护部标准样品研究所,编号GSB07-3169-2014),质量浓度及批次分别为(0.723±0.032) mg/L(批次:203986)和(0.83±0.027) mg/L(批次:203994)。

#### 2.2.3 其他试剂

实验中所用试剂见表1。实验用水均为去离子水。

表1 实验用试剂<sup>①</sup>

试剂名称	级别	厂商
过硫酸钾	优级纯(GR)	SIGMA
过硫酸钠	优级纯(GR)	SIGMA
氢氧化钠	优级纯(GR)	SIGMA
氯化铵	优级纯(GR)	国药
磺胺	分析纯(AR)	国药
四水钼酸铵	分析纯(AR)	国药
抗坏血酸	分析纯(AR)	国药
N-(1-萘基)-乙二胺盐酸盐	优级纯(GR)	SIGMA
半水酒石酸锑钾	分析化学纯(CP)	国药
十二烷基硫酸钠	优级纯(GR)	SIGMA
硫酸	优级纯(GR)	国药
乙二胺四乙酸钠	分析纯(AR)	国药
磷酸	优级纯(GR)	国药

<sup>①</sup>“国药”为国药集团化学试剂有限公司;“SIGMA”为Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司。

## 2.3 标准曲线及质控样的配制

### 2.3.1 混合标准曲线的配制

分别量取总磷标准溶液(300 mg/L)、总氮标准溶液(100 mg/L)于 100 mL 容量瓶中,用去离子水定容,混匀。以表 2 的体积用量共配置 7 组总氮、总磷混合标准溶液。

表 2 总氮、总磷混合标准溶液配比

序号	V(总氮标准溶液)/mL	V(总磷标准溶液)/mL
1	0	0
2	0.2	0.1
3	0.5	0.2
4	1	0.3
5	3	0.5
6	7	0.8
7	10	1

### 2.3.2 质控样的配制

总氮、总磷质控样使用时打开安瓿瓶,用移液管准确吸取 10 mL,定容到 250 mL 的容量瓶中。

## 2.4 实验方法

分别量取 10 mL 以上各浓度的总氮、总磷混合标准使用溶液,于 60 mL 耐高温的安瓿玻璃瓶中,再加入 10 mL 碱性过硫酸盐溶液,混匀后盖上瓶盖。置于高压蒸汽灭菌锅中,加热至 121 ℃,30 min,冷却后上下颠倒混匀,再重复 1 次。用去离子水稀释至 30 mL。实际水样与空白样品的消解过程与标准使用液相同。

消解后的水样被过硫酸盐氧化为硝酸盐后,经镉柱还原为亚硝酸盐,在酸性介质中,亚硝酸盐与磺胺反应后与盐酸萘乙二胺偶联,生成紫红色化合物,于波长 540 nm 处测量吸光度<sup>[7]</sup>;水样中各形态的磷全部转化为正磷酸盐,水样中的正磷酸盐在酸性介质中,与钼酸铵反应后生成的化合物立即被抗坏血酸还原生成蓝色化合物,于波长 880 nm 处测量吸光度<sup>[9]</sup>。

## 3 等质量过硫酸钠与过硫酸钾的消解效果比较

### 3.1 氢氧化钠加入量对消解效果的影响

在消解样品时,若氢氧化钠质量浓度过高,会使总磷氧化不完全,若质量浓度过低,总氮氧化不完全。夏首先<sup>[10]</sup>和王继国等<sup>[11]</sup>提出,把等物质的量的过硫酸钾和氢氧化钠混合溶液作为氧化剂,开始反应时溶液呈碱性,能满足总氮的消解条件,当氢氧化钠被完全中和后,溶液逐渐呈酸性,可满足总磷的消解条件。但由于消解体系的复杂性,消解液中过硫酸盐和氢氧化钠的比例并不固定,因此,通过实验来确定氢氧化钠的最佳加入量。按《HY/T 147.1—2013》要求,在 1 L 水中加入 40 g 过硫酸盐,然后分别加入 9,11,12 和 13 g 氢氧化钠。在不同碱性过硫酸盐浓度条件下测定总氮、总磷校准曲线,总磷测定结果为(0.723 ± 0.032) mg/L,总氮测定结果为(3.08 ± 0.18) mg/L,并按上述条件测定其质控样品,测定结果见表 3。

表 3 不同氢氧化钠加入量对消解效果的影响

项目	过硫酸钾中氢氧化钠加入量/g				过硫酸钠中氢氧化钠加入量/g				
	9	11	12	13	9	11	12	13	
总氮	回归系数( $r^2$ )	0.999 8	0.999 7	0.999 9	0.999 8	0.997 0	0.999 6	0.999 8	0.999 6
	$\rho$ (质控)/(mg · L <sup>-1</sup> )	3.10	3.12	3.06	3.18	6.46	3.66	3.23	3.15
	RSD/%	5.13	10.1	4.24	2.31	38.6	15.9	4.16	17.6
总磷	回归系数( $r^2$ )	0.999 4	0.999 7	0.996 2	0.926 4	0.998 2	0.998 1	0.998 9	0.999 4
	$\rho$ (质控)/(mg · L <sup>-1</sup> )	0.718	0.777	0.647	0.953	0.710	0.727	0.673	0.667
	RSD/%	0.613	3.51	1.67	57.0	3.09	1.68	3.33	3.27

由表 3 可见,当在过硫酸钾中加入 9 g 氢氧化钠时,其总氮、总磷回归系数均能达到 0.999,质控均在误差范围内,且相对标准偏差(RSD)较小。因此,在 40 g 过硫酸钾中加入 9 g 氢氧化钠同时消解总氮、总磷效果最佳,这与《HY/T 147.1—2013》相吻合。而在 40 g 过硫酸钠中加入 11~13 g 氢氧化

钠同时消解总氮、总磷,基本能够满足总氮的消解要求,但是总磷消解效果不佳。Lin 等<sup>[12]</sup>认为,氢氧化钠、过硫酸钾的加入量,以及 pH 值等均会影响消解效果。在《HJ 636—2012》中要求每个比色管中均加入 1 mL 的盐酸(盐酸与水的体积比 = 1:9)来调整 pH 值,这可能是为了解决消解液 pH

值差异较大,导致过硫酸钠消解液不稳定的问题。

### 3.2 pH 值对测定结果的影响

实验表明,加入不同质量的氢氧化钠时,各消解液 pH 值差异较大。加入同等质量的氢氧化钠时,过硫酸钠消解后的 pH 值显著低于过硫酸钾对比组。当 pH 值在 2~3.3 时,消解后测定值较稳定;当 pH 值 <2 时,总氮、总磷测定值均不稳定;当 pH 值 >3.3 时,总磷测定值不稳定。

因此,在消解样品后用氢氧化钠将 pH 值调整

至 2~3.3。调节 pH 值后不同氢氧化钠加入量对测定结果的影响见表 4。由于在过硫酸钾中加入 12 或 13 g 氢氧化钠所配消解液在未调节 pH 值的情况下已偏碱性,达不到总磷消解的条件,故未重复测定其结果。由表 4 可见,调整 pH 值后,在过硫酸钠中加入 9~12 g 氢氧化钠已基本能满足总磷的消解,其回归系数均能达到 0.999,质控均在误差范围内,且 RSD 均 <4.5%。因此,调节 pH 值对采用过硫酸钠消解总磷有很大的影响。

表 4 调节 pH 值后不同氢氧化钠加入量对测定结果的影响

项目	过硫酸钾中氢氧化钠加入量/g		过硫酸钠中氢氧化钠加入量/g				
	9	11	9	11	12	13	
总氮	回归系数( $r^2$ )	0.999 1	0.999 9	0.998 8	0.999 8	0.999 6	0.998 8
	$\rho$ (质控)/(mg·L <sup>-1</sup> )	3.23	3.14	3.56	3.13	3.12	3.28
	RSD/%	1.15	5.13	20.2	2.89	6.81	4.51
总磷	回归系数( $r^2$ )	0.999 8	0.998 3	0.999 6	0.999 0	0.999 5	0.992 8
	$\rho$ (质控)/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.686	0.361	0.698	0.706	0.696	0.736
	RSD/%	0.503	36.4	3.39	3.16	4.48	8.16

### 3.3 小结

由以上实验结果可见,加入 11~12 g 氢氧化钠时,可采用过硫酸钠同时消解总氮、总磷。这一结果与刘辉利、纪锐琳<sup>[13]</sup>认为的联合消解氢氧化钠最佳的加入量为 12 g/L 吻合。李琳<sup>[14]</sup>、师培<sup>[15]</sup>认为,过硫酸钠可以代替过硫酸钾消解总氮,但他们均未考虑总磷的消解。而 pH 值对过硫酸钠消解总磷有很大的影响,因此,在实际测样时,需要采用氢氧化钠调节 pH 值,该方法不仅耗时长,且测定结果不如采用过硫酸钾的消解方法稳定。这可能是由于等质量过硫酸钠和过硫酸钾中的过硫酸根物质的量不同,导致其消解过程中 pH 值有所差异。因此,不能直接用等质量过硫酸钠代替过硫酸钾。综上,过硫酸盐和氢氧化钠的加入比例是同时满足总氮、总磷消解条件的关键。

## 4 等物质的量过硫酸钠与过硫酸钾的消解效果比较

### 4.1 标准曲线与质控结果比较

等质量的过硫酸钠和过硫酸钾所含的过硫酸根物质的量不同,会导致消解过程中的 pH 值有所差异。因此,分别称取 35.23 和 40 g 等物质的量的过硫酸钠和过硫酸钾,同时加入 9 g 氢氧化钠进行消解,并按上述条件测定总氮、总磷质控样,总磷

测定结果为(0.83±0.027)mg/L,总氮测定结果为(2.94±0.15)mg/L,重复 6 次实验,结果见表 5。由表 5 可见,利用等物质的量过硫酸钠消解所测标准曲线同样极具稳定性,其总氮、总磷质控实测值均在误差范围内,RSD 较小,且无须调整氢氧化钠的加入量。同时发现,当加入等物质的量过硫酸钠或过硫酸钾时,其 pH 值都在 2.15 左右,无须再调节待测样的 pH 值。因此,相较于等质量的过硫酸钠,应采用等物质的量的过硫酸钠代替过硫酸钾进行消解。

表 5 等物质的量过硫酸盐消解效果比较

项目	采用过硫酸钾测定结果		采用过硫酸钠测定结果	
	$\rho$ (平均值)/(mg·L <sup>-1</sup> )	RSD/%	$\rho$ (平均值)/(mg·L <sup>-1</sup> )	RSD/%
总氮质控样	2.96±0.05	4.88	2.94±0.07	6.65
总磷质控样	0.811±0.003	0.310	0.807±0.01	1.05

### 4.2 加标回收结果比较

选取 2 个样品,分别用等物质的量过硫酸钾和过硫酸钠进行消解,重复 6 次。总氮和总磷的加标质量浓度分别为 1 和 0.9 mg/L。1 号样品(1#)为南美白对虾养殖尾水,盐度为 11.7;2 号样品(2#)为草鱼养殖尾水,盐度为 1.17。样品测定及加标

回收结果见表 6。由表 6 可见,利用过硫酸钾、过硫酸钠测定总氮、总磷的加标回收率均 >95%,且

2 种方法的 RSD 均 <8%。经校验,2 种消解方法的加标回收率无显著差异。

表 6 过硫酸盐加标测定总磷、总氮结果

项目	采用过硫酸钾测定结果				采用过硫酸钠测定结果				
	$\rho$ (平均值)/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	RSD/%	$\rho$ (加标)/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	加标回 收率/%	$\rho$ (平均值)/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	RSD/%	$\rho$ (加标)/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	加标回 收率/%	
总磷	1# 加标前	0.906 ± 0.004	0.420	0.900	97.1	0.088 4 ± 0.01	0.792	0.900	98.7
	1# 加标后	1.78 ± 0.01	1.26			1.77 ± 0.02	1.94		
	2# 加标前	1.10 ± 0.01	1.17	0.900	95.9	1.06 ± 0.01	1.32	0.900	99.1
	2# 加标后	1.96 ± 0.05	4.54			1.95 ± 0.04	3.77		
总氮	1# 加标前	2.42 ± 0.04	4.02	1.00	96.0	2.38 ± 0.07	6.86	1.00	98.0
	1# 加标后	3.37 ± 0.07	7.45			3.35 ± 0.08	7.93		
	2# 加标前	3.50 ± 0.06	5.91	1.00	96.0	3.37 ± 0.08	7.55	1.00	101
	2# 加标后	4.46 ± 0.05	5.47			4.37 ± 0.08	7.50		

### 4.3 方法精密度

采用过硫酸钠消解方法,分别测定不同养殖品种尾水样品的总氮、总磷质量浓度,重复 6 次。曾兴宇等<sup>[16]</sup>采用不同盐度(0~40)的标准海水配制同一质量浓度的总磷、总氮混合标准使用液,测试结果表明,体系盐度的变化对化学显色反应产生的信号无影响,因此,选择不同盐度的养殖尾水进行测定。1 号养殖品种(1#)为南美白对虾,盐度为 10.8,2 号养殖品种(2#)为泥鳅,盐度为 1.03,3 号养殖品种(3#)为脊尾白虾,盐度为 17.8,样品包含淡水及海水养殖品种,测定结果见表 7。由表 7 可见,样品总氮、总磷测定结果的 RSD 都 <5.5%,表明该方法具有较好的精密度,且适用范围较广泛。

表 7 过硫酸钠消解法的精密度分析

样品	总磷测定结果		总氮测定结果	
	$\rho$ (平均值)/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	RSD/ %	$\rho$ (平均值)/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	RSD/ %
1#	0.667 ± 0.02	2.50	2.50 ± 0.05	5.40
2#	0.539 ± 0.02	1.53	3.50 ± 0.04	3.72
3#	0.555 ± 0.01	1.20	2.84 ± 0.05	5.00

## 5 结语

通过比较过硫酸钾和过硫酸钠 2 种消解液,发现相同质量的过硫酸钠与过硫酸钾所含的过硫酸根物质的量不同,会导致消解过程中产生的 pH 值有所差异,因此 2 种消解液中需要的氢氧化钠加入量也不一样。过硫酸钾中只需要加入 9 g 氢氧化钠,而过硫酸钠中需要加入 11~12 g,且需要采用

氢氧化钠调节待测样的 pH 值,才能初步得到稳定的测定结果。而采用等物质的量的过硫酸钾或过硫酸钠消解,结果表明,即使不改变氢氧化钠加入量,不调节 pH 值,也可以得到稳定的测定结果。通过对实际样品进行测定,结果表明其精密度、加标回收率等各项指标均能满足分析要求,同时解决了过硫酸钾难溶解,遇冷易析出晶体,耗时长等问题。因此,可以采用等物质的量的过硫酸钠代替过硫酸钾对养殖尾水中的总氮、总磷同时进行消解,该方法尤其适用于氮、磷浓度较高的养殖尾水样品分析。

### [参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋监测规范第 4 部分:海水分析:GB 17378.4—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [2] 蒋慧灵,臧娜,钱新明,等. 过硫酸钠和过硫酸钾的热稳定性分析[J]. 化工学报,2006,57(12):2798-2800.
- [3] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境出版社,2002:254-257.
- [4] 任华红. 水中总氮总磷联合消解测定的试验分析[J]. 黑龙江水利科技,2021,49(8):28-30.
- [5] 林云生. 流动注射分析仪同时测定水样中总氮和总磷[J]. 化工管理,2019(11):35-36.
- [6] 刘复荣,谭远友. 同步消解测定景观水中总氮总磷浓度方法的改进[J]. 环境工程,2016,34(S1):817-819.
- [7] 国家海洋局. 海洋监测技术规程第 1 部分:海水:HY/T 147.1—2013[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [8] 环境保护部. 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法:HJ 636—2012[S]. 北京:中国环境科学出版

- 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.