

半微量凯氏法测定植株中全氮及测量不确定度评定

刘丽敏, 顾重武, 曾燕燕 (浙江省河海测绘院, 浙江杭州 310010)

摘要 [目的]测定植株中全氮并对测量不确定度进行评定。[方法]以浓 H_2SO_4 和 H_2O_2 为消煮液, 采用优化后的升温程序, 用半微量凯氏法测定植株中全氮。[结果]通过对植株样品和标准植株样的测定及不确定度评定可知, 测定数据可靠, 结果准确合理。[结论]测定过程中的不确定度主要来源于盐酸标准溶液和试样测定重复性, 为实验室准确快速测定植株中全氮提供参考。

关键词 半微量凯氏法; 全氮; 不确定度评定; 植株

中图分类号 S-3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)34-0007-03

Determination of Total Nitrogen in Plant Samples by Semimicro-Kjeldahl Method and Uncertainty Evaluation of Measurement Results LIU Li-min, GU Chong-wu, ZENG Yan-yan (Zhejiang Surveying Institute of Estuary and Coast, Hangzhou, Zhejiang 310010)

Abstract [Objective] Total nitrogen in plant was measured by semimicro-kjeldahl method and the uncertainty of measurement results was evaluated. [Method] Total nitrogen was measured with concentrated sulfuric acid and hydrogen peroxide as boiling liquid at the optimized heating program. [Result] The uncertainty of measurement of plant samples and standard plant samples showed that the data was reasonable and the results were accurate and reliable. [Conclusion] Main sources of the total uncertainty came from the hydrochloric acid standard solution, titration process and repetitive titration. It could be reference for laboratory accurate and rapid determination of total nitrogen in plant.

Key words Semimicro-Kejeldahl method; Total nitrogen; Uncertainty evaluation; Plant

氮是植物必需的营养元素, 是植物体内蛋白质、核酸等的主要成分, 在植物的生命活动中占有重要地位, 被称为植物的生命元素^[1]。准确测定植物中全氮含量对于研究植物从土壤中摄取氮的数量、施用氮肥效应、植物吸收氮与其他营养元素之间的关系等都具有重要意义。

土壤全氮和植株全氮的测定方法都是采用半微量凯氏法^[2-3], 消解过程中所用试剂不同。植株采用浓硫酸(H_2SO_4)和过氧化氢(H_2O_2)为消解液, 消解后的样品溶液可同时用来测定其中的氮、磷、钾含量。由于土壤和植株中氮的重要性, 应对其测量不确定度进行评定, 以控制氮的实验室分析误差, 保证检测数据的准确度, 为更合理地分析氮含量提供技术依据。目前, 土壤全氮测定的不确定度评定已有文献报道^[4-6], 但关于植株中全氮的测定不确定度的研究鲜见报道。植株全氮的消解过程比较烦琐, 笔者通过对消解过程中炉温、升温速率、时间等条件的探索, 对升温程序进行了优化, 大大缩短了消解时间, 通过对有证标准植株样进行全氮测定, 验证了样品消解的完全性和可靠性, 并按照测量不确定度的评定步骤^[7]对植株中全氮测量的不确定度进行了分析评定。

1 材料与方 法

1.1 主要仪器与试剂 自动定氮仪(SKD-800, 上海沛欧公司); 红外智能消化炉(SKD-08S2, 上海沛欧公司); 电子分析天平(Sartorius BSA224S); 基准无水碳酸钠(Na_2CO_3); 浓盐酸(HCl, 优级纯); 浓硫酸(H_2SO_4 , 优级纯); 过氧化氢(H_2O_2 , $\geq 30\%$, 优级纯); 氢氧化钠(NaOH, 分析纯); 二次水(18 M Ω 以上)。

1.2 检测方法 称取过 0.25 mm 筛的风干植株样品约 0.3 g

(精确到 0.000 1 g) 至 300 mL 消化管中, 加少量去离子水润湿样品, 10 min 后加入 8 mL 浓硫酸, 轻轻摇匀, 在管口放置 1 个弯径小漏斗。将消化管置于消化炉中, 接好管路, 按表 1 升温程序进行消解至溶液呈棕褐色, 冷却, 滴加过氧化氢直至溶液清亮无色, 继续加热至过氧化氢除尽。

表 1 升温程序

Table 1 Temperature raising procedure

时间 Time min	温度 Temperature// $^{\circ}C$	备注 Note
10	160	样品脱水、预反应
5	220	样品碳化
5	350	进一步反应, 样品呈棕褐色
40	400	滴加过氧化氢直至样品无色透明或清亮色

将消解完成冷却至室温的消解液定容至 100 mL, 取 10 mL 进行全氮测定。由仪器完成稀释、中和碱化、蒸馏、过量的硼酸收集氨气, 然后用盐酸标准溶液进行滴定, 并进行空白试验。根据盐酸标准溶液的消耗量计算样品中全氮含量。

1.3 数学模型 测定植株中全氮的数学模型:

$$W = \frac{c \times (V - V_0) \times 0.014 \times D \times 10^3}{m \times (1 - f)}$$

式中, W 为植株中全氮含量(g/kg); V 为样品消耗标准酸溶液的体积(mL); V_0 为空白消耗标准酸溶液的体积(mL); D 为分取倍数, 定容体积与分取体积之比; c 为 HCl 标准滴定溶液浓度(mol/L); m 为称取植株样质量(g); 0.014 为氮的摩尔质量(kg/mol); f 为试样水分含量。

2 标准不确定度的评定

2.1 样品称量导致的相对标准不确定度 $u_{rel(m)}$ 称量约 0.3 g (精确到 0.000 1 g) 样品, 根据检定证书, 称量用的万分之一电子天平的灵敏度为 0.1 mg, 按矩形分布, $k = \sqrt{3}$, 采用减量法, 分量应计算 2 次, 则

基金项目 浙江省科技计划项目(2016F5002)。

作者简介 刘丽敏(1979—), 女, 河南周口人, 工程师, 硕士, 从事环境、农业检测研究。

收稿日期 2017-10-11

$$u(m) = \sqrt{2 \times \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.082(\text{mg})$$

$$u_{\text{rel}}(m) = \frac{u(m)}{m} = \frac{0.082}{0.3 \times 10^3} = 0.00027$$

2.2 盐酸标准溶液浓度引入的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(c)$

2.2.1 盐酸标准溶液的配制。盐酸标准溶液配制参照 GB/T 601—2016 标准^[8],用前将 0.1 mol/L 盐酸溶液用去离子水稀释 10 倍成 0.01 mol/L 盐酸标准溶液。实验室的环境温度在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, 水的体积膨胀系数引入的不确定度可忽略不计。

(1) 移液管引入的不确定度。用 10 mL 刻度移液管移取 9.0 mL 浓盐酸于 1 000 mL 容量瓶中, 10 mL A 类刻度移液管的允差为 ± 0.05 mL^[9]。按矩形分布, 得到

$$u(10) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(10) = \frac{0.029}{9.0} = 0.0032$$

(2) 容量瓶引入的不确定度。将盐酸溶液定容至 1 000 mL, 1 000 mL 的 A 类容量瓶的允差为 ± 0.40 mL。按三角分布, 得到

$$u(1000) = \frac{0.40}{\sqrt{6}} = 0.1632(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(1000) = \frac{0.1632}{1000} = 0.00016$$

因此, 盐酸标准溶液的配制引入的标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(c_{\text{HCl}}) = \sqrt{u^2(10) + u^2(1000)} = 0.0032$$

2.2.2 标定过程引入的不确定度。主要包括以下 4 个方面。

(1) 基准物质纯度。供应商标注的无水 Na_2CO_3 纯度为 99.95%, 误差为 0.05%, 半宽为 0.0005。按矩形分布, 标准不确定度为:

$$u(p) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.00029$$

$$u_{\text{rel}}(p) = \frac{0.00029}{1.0000} = 0.00029$$

(2) 减量法称量基准物质。用万分之一天平称取 0.20007 g 无水碳酸钠, 采用减量法, 则

$$u(m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}) = \sqrt{2 \times \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.082(\text{mg})$$

$$u_{\text{rel}}(m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}) = \frac{0.082}{0.20007 \times 10^3} = 0.00041$$

(3) 标定消耗盐酸体积的不确定度。标定过程中用到 50 mL 酸式滴定管和 50 mL A 类滴定管, 容量允差为 ± 0.05 mL, 按矩形分布, 则

$$u(50) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0289(\text{mL})$$

由于标定试验全过程在室温 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下进行, 不再考虑温度对滴定体积的影响; 根据实践经验, 肉眼判断终点引入的标准不确定度:

$$u(v_{\text{indl}}) = 0.030(\text{mL})$$

滴定空白引入的标准不确定度为:

$$u(v_0) = \sqrt{u^2(50) + u^2(v_{\text{indl}})} = 0.0416(\text{mL})$$

同上, 滴定碳酸钠溶液引入的标准不确定度为: $u(v_2) = 0.0416(\text{mL})$ 。

标定过程中消耗盐酸体积 Δv 的相对标准不确定度:

$$\Delta v = v_2 - v_0$$

$$u(\Delta v) = \sqrt{u^2(v_0) + u^2(v_2)} = 0.0589(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(\Delta v) = \frac{u(\Delta v)}{\Delta v} = \frac{0.0589}{37.19} = 0.00158$$

(4) 标定过程重复滴定的不确定度。对空白和碳酸钠标准溶液分别进行 3 次滴定, v_0 分别为 0.03、0.02、0.02 mL, v 分别为 37.21、37.20、37.23 mL。由于滴定次数较少, 采用极差法计算标准不确定度。极差 $R = 0.03$ mL, 极差系数 $C = 1.69$, 则

$$u(\text{rep}) = \frac{0.03}{\sqrt{3} \times 1.69} = 0.0102(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(\text{rep}) = 0.00027$$

标定过程中的不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(\text{标}) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(p) + u_{\text{rel}}^2(m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}) + u_{\text{rel}}^2(\Delta v) + u_{\text{rel}}^2(\text{rep})} = 0.0017$$

2.2.3 将 0.10 mol/L 稀释盐酸标准溶液稀释至 0.01 mol/L 引入的标准不确定度。稀释过程中使用 20 mL 单标线 A 类移液管和 200 mL A 级容量瓶各 1 次。20 mL A 级单标线移液管, 容量允差为 ± 0.03 mL; 200 mL A 级容量瓶, 容量允差为 ± 0.15 mL, 则

$$u(20) = \frac{0.03}{\sqrt{6}} = 0.0122(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(20) = 0.00061$$

$$u(200) = \frac{0.15}{\sqrt{6}} = 0.0612(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(200) = 0.00031$$

$$u_{\text{rel}}(c_{\text{稀}}) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(20) + u_{\text{rel}}^2(200)} = 0.00068$$

综上, 盐酸标准溶液浓度引入的相对标准不确定度:

$$u_{\text{rel}}(c) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(c_{\text{HCl}}) + u_{\text{rel}}^2(\text{标}) + u_{\text{rel}}^2(c_{\text{稀}})} = 0.0037$$

2.3 测量试样重复性引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(W_{\text{rep}})$ 测定次数 $n = 10$, 采用贝塞尔法计算测量重复性的不确定度。10 次全氮含量测定结果见表 2.3。测量重复性引入的标准不确定度, 植株样品为:

$$u(W_{\text{rep}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}{n(n-1)}} = 0.0730(\text{g/kg})$$

$$u_{\text{rel}}(W_{\text{rep}}) = \frac{0.0730}{20.38} = 0.0036$$

标准植株样为:

$$u(W_{\text{rep}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}{n(n-1)}} = 0.1612(\text{g/kg})$$

表 2 样品全氮测定数据($n=10$)Table 2 The data of total nitrogen in plant sample ($n=10$)

测定次数 Test number	样品质量 Sample quality//g	V_0 mL	V_1 mL	W g/kg
1	0.300 9	0.34	4.46	20.39
2	0.297 4	0.34	4.34	20.03
3	0.305 5	0.34	4.55	20.52
4	0.305 2	0.34	4.50	20.30
5	0.302 8	0.34	4.54	20.65
6	0.303 5	0.34	4.56	20.70
7	0.304 3	0.34	4.44	20.06
8	0.305 1	0.34	4.54	20.50
9	0.298 7	0.34	4.44	20.44
10	0.299 4	0.34	4.40	20.19
平均值 Average				20.38
RSD//%				1.1

注:标准溶液浓度 $C_{\text{HCl}}=0.010\ 2\ \text{mol/L}$;空白试验消耗标准溶液平均体积 $V_0=0.34\ \text{mL}$;水分含量 $f=0.04$

Note:The standard solution concentration was $C_{\text{HCl}}=0.010\ 2\ \text{mol/L}$;the average volume of consumed standard solution for blank test was $V_0=0.34\ \text{mL}$;the water content was $f=0.04$

表 3 标准植株样(GSB-30)全氮测定数据($n=10$)Table 3 The data of total nitrogen in standard plant samples (GSB-30) ($n=10$)

测定次数 Test number	样品质量 Sample quality//g	V_0 mL	V_1 mL	W g/kg
1	0.290 8	0.36	8.20	38.50
2	0.292 6	0.36	8.00	37.29
3	0.296 5	0.36	8.00	36.80
4	0.299 2	0.36	8.34	38.09
5	0.296 2	0.36	8.30	38.28
6	0.301 1	0.36	8.38	38.04
7	0.297 3	0.36	8.31	38.18
8	0.294 5	0.36	8.24	38.21
9	0.297 8	0.36	8.27	37.93
10	0.300 2	0.36	8.37	38.10
平均值 Average				37.94
标准值 Standard values				37.00 ± 1.85

注:标准溶液浓度 $C_{\text{HCl}}=0.010\ 2\ \text{mol/L}$;空白试验消耗标准溶液平均体积 $V_0=0.36\ \text{mL}$

Note:The standard solution concentration was $C_{\text{HCl}}=0.010\ 2\ \text{mol/L}$;the average volume of consumed standard solution for blank test was $V_0=0.36\ \text{mL}$

$$u_{\text{rel}}(W_{\text{rep}}) = \frac{0.161\ 2}{37.94} = 0.004\ 2$$

2.4 消解后的样品定容与分取引入的不确定度 $u_{\text{rel}}(D)$ 将消解好的样品定容至 100 mL,再移取 10 mL 进行蒸馏滴定。该过程中使用 10 mL 单标线 A 类移液管和 100 mL A 级容量瓶各移取 1 次。10 mL A 级单标线移液管的容量允差为 ±0.02 mL;100 mL A 级容量瓶的容量允差为 ±0.10 mL,则

$$u(10) = \frac{0.02}{\sqrt{6}} = 0.008\ 2(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(10) = 0.000\ 82$$

$$u(100) = \frac{0.10}{\sqrt{6}} = 0.040\ 8(\text{mL})$$

$$u_{\text{rel}}(100) = 0.000\ 41$$

$$u_{\text{rel}}(D) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(10) + u_{\text{rel}}^2(100)} = 0.000\ 92$$

2.5 将风干样换算烘干样引入的不确定度 $u_{\text{rel}}(f)$ 用万分之一天平分 3 次称取,第 1 次称烘干后坩埚重,第 2 次将坩埚清零再称取 5.00 g 左右的植株样。第 3 次称烘干后的坩埚和样品的总重。采用减量法,即 2 次称量,分量应计算 2 次,则

$$u(f) = \sqrt{6 \times \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.588(\text{mg})$$

$$u_{\text{rel}}(f) = \frac{0.588}{5\ 000} = 0.000\ 12$$

2.6 合成标准不确定度 植株全氮含量的合成相对标准不确定度计算如下:

$$u_{\text{rel}}(W) =$$

$$\sqrt{u_{\text{rel}}^2(m) + u_{\text{rel}}^2(c) + u_{\text{rel}}^2(W_{\text{rep}}) + u_{\text{rel}}^2(D) + u_{\text{rel}}^2(f)}$$

$$= 0.005\ 2$$

$$u(W) = u_{\text{rel}}(W) \times W = 0.106\ 0(\text{g/kg})$$

标准植株样全氮含量的合成相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(W) =$$

$$\sqrt{u_{\text{rel}}^2(m) + u_{\text{rel}}^2(c) + u_{\text{rel}}^2(W_{\text{rep}}) + u_{\text{rel}}^2(D) + u_{\text{rel}}^2(f)}$$

$$= 0.005\ 7$$

$$u(W) = u_{\text{rel}}(W) \times W = 0.216\ 2(\text{g/kg})$$

2.7 扩展不确定度 取置信概率 $P=95\%$,包含因子 $k=2$ 。因此扩展不确定度为:

$$\text{植株样品 } u(W) = 2 \times 0.106\ 0 = 0.212\ 0(\text{g/kg})$$

$$\text{标准植株样 } u(W) = 2 \times 0.216\ 2 = 0.432\ 4(\text{g/kg})$$

2.8 不确定度报告 植株样品中全氮含量结果报告为: $(20.38 \pm 0.21)\ \text{g/kg}$, $k=2$;标准植株样中全氮含量结果报告为: $(37.94 \pm 0.43)\ \text{g/kg}$, $k=2$ 。

3 结论

半微量凯氏滴定法测定植株中全氮,采用优化后的消解程序,大大缩短了消解时间,提高了消解效率,降低了消解过程中物料的损失。测定过程中不确定度分量的分析评定表明,测量结果的不确定度主要来自盐酸标准溶液浓度,其次是试样的重复性试验。因此,在实际检测中应特别注意盐酸标准溶液的配制、标定及试样的滴定,以达到准确测定的目的。植株样品和标准植株样的测定结果表明,测定中氮的实验室内分析误差控制较好,消解、蒸馏和滴定过程中的操作完全达到检测标准的要求,方法精密度和准确度良好,用于测定植株中的全氮,数据可靠,结果合理,可为实验室测定植株中的全氮及操作过程中需要注意的事项提供技术依据。

参考文献

- [1] 陆景陵. 植物营养学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 23-25.
- [2] 环境保护部. 土壤质量 全氮的测定 凯氏法: HJ 717—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
- [3] 中华人民共和国农业部. 植株全氮含量测定 自动定氮仪法: NY/T 2419—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [4] 白金峰, 胡外英, 张勤, 等. 半微量凯氏法测定土壤全氮量的不确定度评定 [J]. 岩矿测试, 2007, 26(1): 40-44.

建方面取得了一定进展,如配种金鱼藻、黑藻、苦草等沉水植物和浮叶植物睡莲可以抑制浮游植物生长、加速营养物的周转和提高水体生物多样性与自净能力^[23]。

近年来,国内一些高校和科研院所开始对河道水生植物多样性恢复技术进行了探索研究,一些环保企业也开始尝试将该技术应用于河道的生态治理中。截至目前,我国在该技术应用方面已初步形成了一些具有指导性的设计模式和关键技术参数。例如在植物来源方面要尽量选择本地常见水生植物;在植物组配方面需要以顶水植物为主、沉水植物为辅,结合少量漂浮植物^[24]。

与此同时,水生动物多样性修复技术也引起了我国研究者的重视,目前在物种选择、群落配置等方面也形成了比较一致的技术应用原则:①遵循从低等向高等的进化缩影修复原则进行群落配置,避免群落系统不稳定;②在水体沉水植物多样性修复以后,并在水体现存物种调查的基础上进行;③首先修复水生昆虫、杂食性虾类和滤食性、碎屑食性为主的水生动物,在群落稳定以后,再适当配置肉食性鱼类;④水生动物应尽量选取广氧性的土著鱼类;⑤在种植沉水植物的河道,不宜投放草食性鱼类。但总体而言,目前我国对河道水生生态多样性修复技术的研究和应用刚刚起步,工程实践还缺乏科学理论的支撑,并存在较大的盲目性和随意性。

4 结论

(1)河道修复技术依靠单一的物理、化学修复技术难以达到持久有效的治理效果,因此应加强对水质强化净化与水生生态修复技术的综合研究与创新,为水生态形成良好的修复系统提供技术支持。

(2)水质强化净化与水生生态修复技术被认为是有广阔前景的环境修复技术,充分发挥该技术的优势关键在于对不同植物、微生物、动物污染物最佳去除作用的基础研究。

(3)水生植物多样性修复的研究应用较多,目前已初步形成了一些具有指导性的设计模式和关键技术参数;水生动物多样性修复技术则在物种选择、群落配置等方面形成较一致的技术应用原则。

参考文献

[1] 耿雷华,刘恒,钟华平,等.健康河流的评价指标和评价标准[J].水利学报,2006,37(3):253-258.

(上接第9页)

[5] 郝冠军.土壤全氮半微量凯氏法测定的不确定度评定[J].上海农业学报,2014,30(4):101-106.

[6] 高一亮,黎小鹏,邓桂添,等.全自动开始定氮仪测定土壤全氮含量不确定度的评定[J].现代农业科技,2015(10):221-222.

[7] 江苏省计量科学研究院.测量不确定度评定与表示:JJF1059.1—2012

[2] 刘丽,赵振国.河流生态服务价值与修复目标体系研究进展[J].安徽农业科学,2012,40(7):4197-4201.

[3] 王文君,黄道明.国内外河流生态修复研究进展[J].水生态学杂志,2012,33(4):142-146.

[4] 李明传.水环境生态修复国内外研究进展[J].中国水利,2007(11):25-27.

[5] 李继洲,程南宁,陈清锦.污染水体的生物修复技术研究进展[J].环境污染治理技术与设备,2005,6(1):25-30.

[6] SULLIVAN T J, MCMARTIN B, CHARLES D F. Re-examination of the role of landscape change in the acidification of lakes in the Adirondack Mountains, New York[J]. Science of the total environment, 1996, 183(3): 231-248.

[7] 阮俊安,谢作晃.河道修复技术进展总结[J].科技风,2014(11):234.

[8] 黄志金.河道治理中的生态修复技术浅析[J].黑龙江科技信息,2011(30):150.

[9] 谷勇峰,李梅,陈淑芬,等.城市河道生态修复技术研究进展[J].环境科学与管理,2013,38(4):25-29,46.

[10] 连秋华.浅谈苏州河市区段底泥疏浚方案[J].上海水务,2002,23(2):15-17.

[11] 彭喜花,于鹤鹏.城市河道水体修复技术研究综述[J].环境保护与循环经济,2011,31(2):55-58.

[12] 孙从军,张明旭.河道曝气技术在河流污染治理中的应用[J].环境保护,2001(4):12-15.

[13] WHIPPLE W, YU S L. Alternative oxygenation possibilities for large polluted rivers[J]. Water resources research, 1971, 7(3): 566-579.

[14] WHALEN P J, TOOTH L A, KOEBEL J W, et al. Kissimmee River restoration: A case study [J]. Water science & technology, 2002, 45(11): 55-62.

[15] RYDIN E, WELCH E B. Aluminum dose required to inactivate phosphate in lake sediments[J]. Water research, 1998, 32(10): 2969-2976.

[16] 李朝晖,秦建桥.南方城市受污染河道的生态修复技术研究现状与展望[J].安徽农业科学,2014,42(24):8319-8322.

[17] HAGGARD B E, MOORE P A Jr, DELAUNE P B. Phosphorus flux from bottom sediments in Lake Eucha, Oklahoma[J]. Journal of environmental quality, 2005, 34(2): 724-728.

[18] 李大成,吕锡武,纪荣平.受污染湖泊的生态修复[J].电力科技与环保,2006,22(1):47-49.

[19] GREEN F B, BERNSTONE L S, LUNDQUIST T J, et al. Advanced integrated wastewater pond systems for nitrogen removal[J]. Water science & technology, 1996, 33(7): 207-217.

[20] 伍亮,成水平.城市景观河道生态修复研究进展[J].安徽农业科学,2012,40(34):16790-16792,16814.

[21] 赵勋,陈煜初,周世荣.“水下森林”构建施工技术[J].浙江园林,2016(1):80-82.

[22] 李红兵,乔俊莲.生物膜法废水处理技术的探讨[J].江苏环境科技,1997(4):1-4.

[23] NAKAMURA K, TSUKIDATE M, SHIMATANI Y. Characteristic of ecosystem of an artificial vegetated floating island[M]//BREBBIA C A. Ecosystems and sustainable development. Southampton: Computational Mechanics Publications, 1996: 171-181.

[24] 高吉喜,叶春,杜娟,等.水生植物对面源污水净化效率研究[J].中国环境科学,1997,17(3):247-251.

[S].北京:中国计量出版社,2013.

[8] 中国石油和化学工业联合会.化学试剂 标准滴定溶液的制备:GB/T 601—2016 [S].北京:国家质量技术监督检验检疫总局,2016.

[9] 河南省计量科学研究院.常用玻璃量器检定规程:JJG 196—2006 [S].北京:中国计量出版社,2007.

科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据,只需强调或阐述其重要发现及趋势。