

臭味层次分析法(FPA)评价饮用水臭味的人为影响因素

杨一琼¹, 蔡云龙², 陈国光³, 高乃云¹

(1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 上海市自来水市南有限公司, 上海 200002; 3. 上海市供水调度监测中心, 上海 200002)

摘要 通过嗅觉测试簿辨识、阈值及强度等级评价等几项培训来验证臭味层次分析法(FPA)测定嗅觉能力与性别、年龄、生活习惯等之间的关系及影响程度。结果表明 20~30 岁人群 100%符合筛选标准,且一半以上嗅觉测试达到优秀。女性嗅觉比男性灵敏,女性 MIB(土霉味)平均嗅阈值低至 2.77 ng/L,但男性对生活中常见臭味更为敏感。此外符合嗅觉测试簿标准的 20~30 岁及 40~50 岁人群的嗅觉辨识度和强度等级评价精确度较高,但总体嗅觉辨识度及灵敏度随年龄增长而下降。

关键词 臭味层次分析法(FPA) 饮用水 臭阈值 臭味检测员

中图分类号: TU991.21 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2011)04-0013-05

Human Interference Factors on Odor Evaluation for Drinking Water Quality Applied with Flavor Profile Analysis (FPA)

Yang Yiqiong¹, Cai Yunlong², Chen Guoguang³, Gao Naiyun¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Shanghai Municipal Waterworks South Co., Ltd., Shanghai 200002, China;
3. Shanghai Municipal Center of Water Dispatching and Quality Monitoring, Shanghai 200002, China)

Abstract Through targeting the content of FPA such as the sense of smell identification test book, threshold and intensity level, the relationship and the interrelationship between olfactory evaluation capacities and sex, age, living habits were analyzed. The result shows that 100% 20 to 30-year-old group is in line with the selecting criteria, and more than half of them achieve excellence in the sense of smell test. Women's sense of smell is more sensitive than men's, whose average threshold values of MIB is as low as 2.77 ng/L, while male is more sensitive to common odor in life. In addition, the olfactory identification and intensity of 20 to 30 overall and 40 to 50 year-old group in line with the standard olfactory test book rate higher precision, but the degree of olfactory identification and sensitivity decline with age overall.

Key words flavor profile analysis (FPA) drinking water odor threshold concentration odor analytical panelist

饮用水中的臭味问题不仅是一个普遍性的问题,还是一个敏感性的问题,同时还是水质管理中的一个难题。近年来居民有关自来水臭味问题的投诉日益增多,供水区域内多次发生臭味问题^[1]。自 2007 年 5 月无锡太湖蓝藻暴发导致城区大范围的

自来水发臭事件后,饮用水中的臭味问题起了更广泛的关注^[2-3]。

由于水中臭味问题异常复杂,各地往往因成因不同,所造成的臭味种类差别较大,比如一些化合物在极低浓度条件下即能产生严重的臭味。水厂化验人员由于未经系统培训臭和味的检测能力有限,不能及时、快速地反映水质问题,往往在居民发现并投诉后才发觉自来水的异臭味问题。

我国在饮用水中臭味问题方面的研究起步较晚,与国外存在一定差距,国内学者及供水行业将主要的目光和精力都致力于饮用水臭味物质去除技术的研究,对臭味物质的评价及识别反而研究甚少。目前实施的国家生活饮用水标准检验方法,对臭和

[收稿日期] 2011-02-25

[基金项目] 国家科技重大专项“饮用水源与饮用水水质标准支撑技术研究”(2009ZX07419-002)子课题“饮用水水源水质标准研究”(2009ZX07419-002-3)

[作者简介] 杨一琼(1984-),女,博士研究生,研究方向为水处理理论与技术。电话:021-65988120;

E-mail: yangyiqiong@hotmail.com.

[通讯作者] 蔡云龙 电话:021-63219351;

E-mail: yunlongcai163@163.com.

味采用六级强度描述法,缺少对臭味定量描述与规定,对出厂水水质进行评价依据往往不充分。我国部分发达地区采用国际上通用的臭味层次分析法(flavor profile analysis, FPA),对各供水单位的水质分析人员进行了饮用水中臭味的识别鉴定技术培训,甄选出专业的饮用水臭味检测员。

1 臭味层次分析法(FPA)

FPA最初应用于食品行业,1981年开始被美国水行业采用。首先被美国南加利福尼亚^[4]应用。美国《水与废水标准检验法》第17版已将FPA作为标准法^[5]。该法由一个臭味检测员小组来对水样的臭味进行评价,最后将各个臭味检测员的结果综合得出嗅觉种类和强度(以0、2、4、6、8、10、12七级来表征强度的大小,0表示无味水样,2~12则分别由非常弱到最强)的共识值。这种方法要求对臭味检测员进行严格的筛选和系统的培训,经常用专门的有臭物来校正其对臭味的反应,因此能给出比较可靠的、有用的臭味信息,并据此粗略推测水中大致的致臭化合物。

FPA法每组需要有4名以上的臭味检测员,每个臭味检测员都需经过特定而严格的训练课程,才能对异臭味进行具有重现性的描述。培训内容包括嗅觉辨识测试、不同水样辨识、标准溶液练习、臭味阈值测试、臭味强度训练和臭味强度进阶训练。

与现行的六级描述法和阈值臭味数(TON)法相比,FPA法可对水中的不同臭味种类进行分析,能达到定性及定量的程度;水样无需稀释,从而具有较好的重现性,操作简单易行,可为水厂实际运行提供更为可靠的感官分析手段。

2 FPA法臭味检测员的基本要求

上海市供水行业各单位254名水质检测人员及一线工作人员参与FPA法培训,其中男性占44.5%,女性占55.5%。按照年龄分布包括20~30、30~40、40~50及50岁以上人群,比例分别为27.7%、35.2%、29.3%和7.8%。臭检员必须避免外来气味的刺激,如避免检验前吃食物、喝饮料及抽烟,或用过香皂、香水、修脸剂。保证检验人员不患感冒或对测试厌烦。在他们出现疲劳之前,限制检验次数,并在无气味的房间经常休息。保持在检臭实验室不分散注意力,不受气流及气味的干扰。不让检验人员制备试样或知道试样的稀释浓度。

FPA法一般使用4~6个臭味检测员,每个臭味

检测员的嗅觉灵敏度不同,即使同一个嗅觉检测员其每天的嗅觉灵敏度也是变化的^[6]。因而,每天在进行臭味评价前需接受标准样品测试及校正,以保证每个臭味检测员当天有适宜的工作状态。

3 结果与讨论

3.1 嗅觉测试簿辨识测试

利用嗅觉测试簿(University of Pennsylvania smell identification test, UPSIT)对参与测试成员进行筛选,以确定测试员是否对相应味道具有足够的敏感性,答对25题及以上者为初步筛选标准,答对35题及以上者达到优秀标准。

嗅觉测试簿一组共有四小本,每一本均包含10种气味,总计四十道题选择。测试员以无香味铅笔刮取气味片,闻测后,选择适当的选项并用无臭铅笔记录闻测答案。

年龄对嗅觉测试簿结果的影响见图1。结果表明:不符合筛选标准的年龄层绝大部分在40岁以上,而20~30岁人群100%符合筛选标准,其中一半以上嗅觉测试达到优秀。随年龄的不断增长,正确率随之下降。值得注意的是,答对30题以上者,30~40岁人群所占比重最大,20~30岁次之。

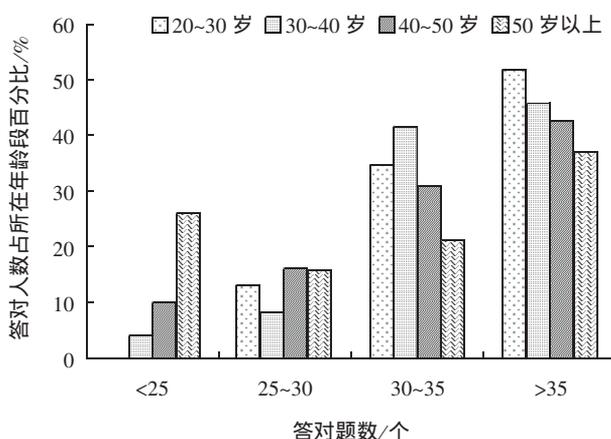


图1 年龄对嗅觉测试簿结果的影响

Fig.1 Influence of Age on UPSIT

从性别角度来看,男性不符合标准的比例居多(如图2所示)。在符合嗅觉标准的人群中,女性正确率均高于男性。这表明,由于男性较女性多工作在外部或相对较差的环境、且承受各方面压力较大,再加上香烟、酒精等刺激,导致臭味辨识灵敏度没有女性高。

图3综合了性别及年龄因素对嗅觉测试簿结果的影响。从图3可知,不符合筛选标准的多为40岁

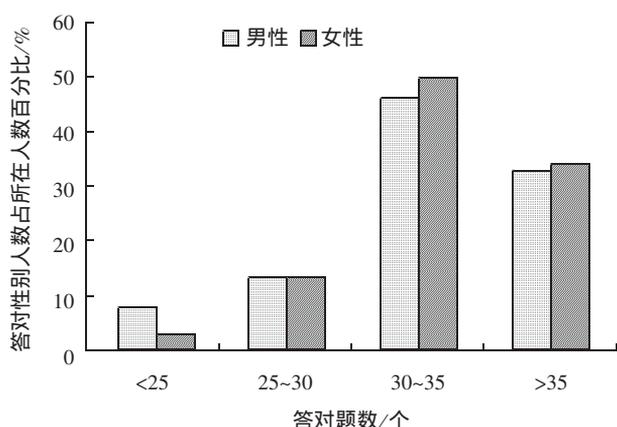


图2 性别对嗅觉测试簿结果的影响
Fig.2 Influence of Gender on UPSIT

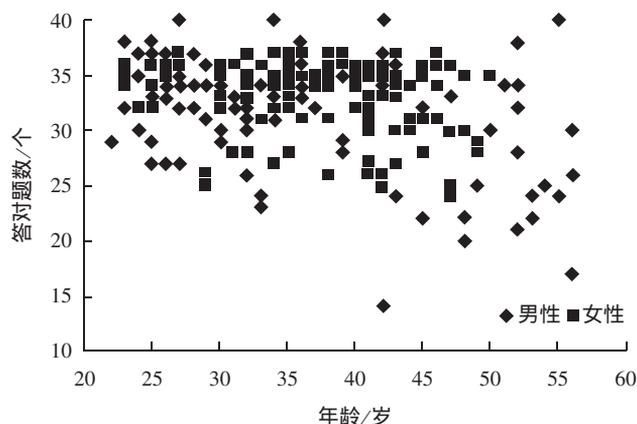


图3 性别、年龄对嗅觉测试簿结果的影响
Fig.3 Influence of Gender and Age on UPSIT

以上人群,且多为男性,达到优秀标准的人群依次为30~40岁女性、20~30岁男性、40~50岁女性、30~40岁男性、40~50岁男性、20~30岁女性和50岁以上群体。可见,年龄较大者、青年女性的臭味辨识灵敏度相对较低。

3.2 阈值测试

阈值测试是通过把水样用无臭水不断稀释,检测人群能够闻到的臭味下限,以确定产生臭味的该物质的臭阈值。选取饮用水中常见的土霉味(2-methylisoborneol, MIB)、腥臭味(dimethyl trisulfide, DMTS)物质以及日常生活中常见的黄瓜味(trans,2-cis,6-nonadienal)和莴苣味(hexanal)物质作为标准样品来测定。

性别对臭阈值的影响见表1。从表1可知,性别对臭阈值影响非常大。女性对饮用水中常见异味非常敏感,尤其对土霉味,其臭阈值远远低于国家参考标准以及国际标准(10 ng/L)^[7]。性别对腥臭味物质臭阈值的影响差别不大,但是对日常生活中常见

味道差异显著。女性因从事家务活动多、日常生活常见味道对其嗅觉记忆影响大而导致对黄瓜味、莴苣味的臭阈值远远高于男性。这表明,男女之间的嗅觉差异与臭味特性有很大关系。

表1 性别对阈值的影响

Tab.1 Influence of Gender on Odor Threshold Concentration

阈值	MIB /(ng·L ⁻¹)	DMTS /(ng·L ⁻¹)	trans,2-cis,6-nonadienal /(ng·L ⁻¹)	hexanal /(μg·L ⁻¹)
男性	4.08	46.79	138.22	1.98
女性	2.77	44.18	196.39	2.17

表2为年龄对阈值的影响。结果表明:嗅觉灵敏度基本遵循随年龄段增加而逐渐降低的规律。但对于给人清新愉悦感的黄瓜味物质(trans,2-cis,6-nonadienal)则是50岁以上者臭阈值最低,30~40岁青壮年臭阈值最高。

表2 年龄对阈值的影响

Tab.2 Influence of Age on Odor Threshold Concentration

阈值	MIB /(ng·L ⁻¹)	DMTS /(ng·L ⁻¹)	trans,2-cis,6-nonadienal /(ng·L ⁻¹)	hexanal /(μg·L ⁻¹)
20~30岁	2.71	33.7	164.4	0.98
30~40岁	2.85	46.5	184.9	1.97
40~50岁	4.27	51.9	170.6	2.79
50岁以上	4.09	53.1	68.5	2.77

表3综合了性别及年龄对臭阈值影响。从中可知对于饮用水中常见异味,20~40岁女性和20~30岁男性相对其他人群嗅觉灵敏度较高;而对于日常生活中常见味道而言,20~30岁男性及50岁以上女性较为敏感。

表3 性别和年龄对阈值的影响

Tab.3 Influence of Gender and Age on Odor Threshold Concentration

阈值	MIB /(ng·L ⁻¹)	DMTS /(ng·L ⁻¹)	trans,2-cis,6-nonadienal /(ng·L ⁻¹)	hexanal /(μg·L ⁻¹)	
20~30岁	男性	2.74	34.2	145.6	0.81
	女性	2.64	32.7	239.7	1.39
30~40岁	男性	3.27	59.5	142.7	1.88
	女性	2.61	39.2	207.7	2.13
40~50岁	男性	7.74	56.2	146.3	3.63
	女性	3.05	50.5	180.9	2.55
50岁以上	男性	4.63	39.3	77	3.13
	女性	1.8	99.5	34.3	0.88

3.3 臭味强度等级评价

该测试旨在培训臭味检测员确定不同浓度标准品的强度。配置一组已知强度为0(无臭水)、2、4、6、8、10、12的标准系列。然后根据标准系列来定位另外六种不同强度盲样的强度等级。分别记下相应的臭味强度,最后经讨论取得共识的平均强度值。本次测试采用土霉味物质(MIB)和黄瓜味物质(trans,2-cis,6-nonadienal)作为标准样品,分别分析性别、年龄对臭味强度等级评价的影响。

水中的臭味强度和臭味物质浓度关系符合 Weber-Fechner 公式:

$$S=A\log C+B \quad (1)$$

式中 S ——臭味强度
 C ——臭味物质浓度
 $A、B$ ——斜率及截距

Weber-Fechner 公式表明臭味强度值应与浓度对数值呈线性关系,测试样品土霉味物质(MIB)和黄瓜味物质(trans,2-cis,6-nonadienal)的强度值及浓度关系标准曲线见图4、图5。

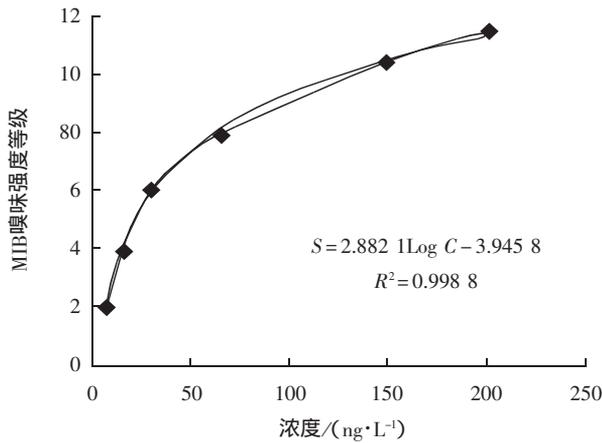


图4 土霉味物质标准曲线
Fig.4 Standard Curve of MIB

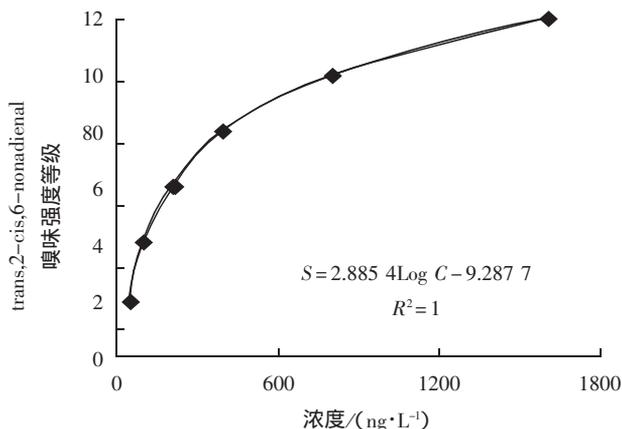


图5 黄瓜味物质标准曲线
Fig.5 Standard Curve of Trans,2-cis,6-nonadienal

不同性别的臭味检测员测得的不同浓度臭味物质与臭味强度的结果见图6和图7。由图6、图7得到, $S_{MIB,男}=2.456\log C-4.6644, R^2=0.942$, $S_{MIB,女}=2.5079\log C-4.7375, R^2=0.9427$; $S_{trans,2-cis,6-nonadienal,男}=2.5093\log C-7.2353, R^2=0.9923$, $S_{trans,2-cis,6-nonadienal,女}=1.994\log C-4.2351, R^2=0.9156$ 。可见,男性和女性均对土霉味物质较为敏感,但男性对黄瓜味物质强度等级评价远远精确于女性。

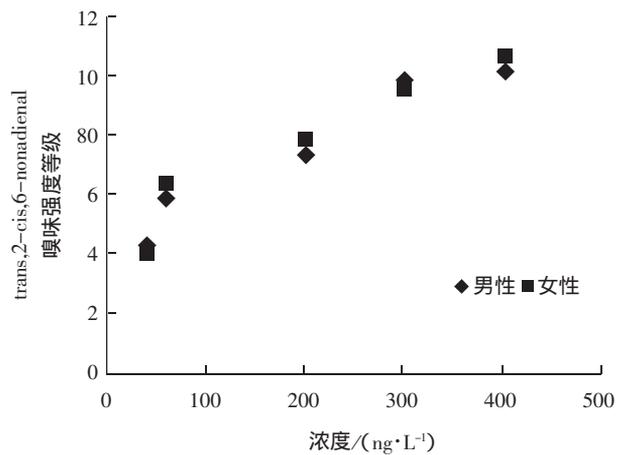


图6 性别对土霉味强度等级评价影响
Fig.6 Influence of Gender on Intensity of MIB

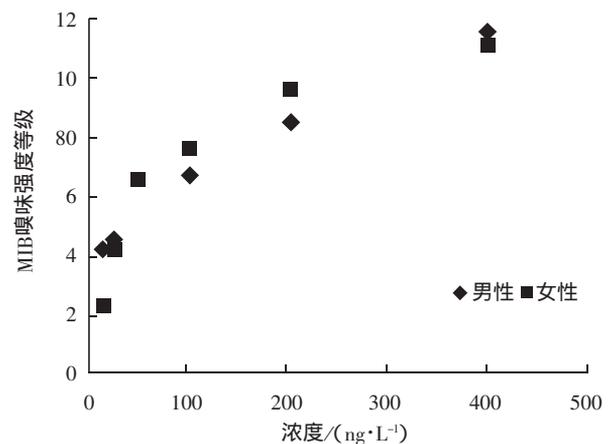


图7 性别对黄瓜味强度等级评价影响
Fig.7 Influence of Gender on Intensity of Trans,2-cis,6-nonadienal

不同年龄段臭检员测得的不同臭味物质与臭味强度的关系见图8和图9。从图8、图9可知, $S_{MIB,20-30岁}=2.2429\log C-3.5241, R^2=0.9636$, $S_{MIB,30-40岁}=2.1855\log C-3.078, R^2=0.9274$, $S_{MIB,40-50岁}=2.2029\log C-3.1743, R^2=0.9594$, $S_{MIB,50岁以上}=2.4992\log C-4.5985, R^2=0.9331$; $S_{trans,2-cis,6-nonadienal,20-30岁}=2.2588\log C-5.6843, R^2=0.9616$, $S_{trans,2-cis,6-nonadienal,30-40岁}=2.2712\log C-5.8708, R^2=0.8348$, $S_{trans,2-cis,6-nonadienal,40-50岁}=2.03631\log C-4.5278, R^2=0.8941$ 。(下转第65页)

- Australia[J]. *Water Resources Research*,1977,13(1):197-202.
- [19] 陈莹.高速公路路面径流污染特性的探讨[J].交通部上海船舶运输科学研究所学报,2004,27(1):41-45.
- [20] 孟莹莹,张书函,陈建刚,等.基于污染负荷控制的屋面初期径流弃除量探讨[J].中国给水排水,2010,26(7):40-42.
- [21] He W., Wallinder I.O., Leygraf C. A laboratory study of copper

- and zinc runoff during first flush and steady-state conditions[J]. *Corrosion Science*,2001,43:127-146.
- [22] Barco J., Papiri S., Stenstrom. M.K. First flush in a combined sewer system[J]. *Chemosphere*,2008,71:827-833.

(上接第 16 页) $S_{\text{trans-2-cis-6-nonadienal}, 50 \text{ 岁以上}} = 2.061 \text{Log}C - 4.634$ $R^2 = 0.6378$ 。从中可以看出对于土霉味物质和黄瓜味物质, 20~30 岁人群评价均表现为最高准确率, 其次为 40~50 岁, 30~40 岁及 50 岁以上人群的评价准确率相对较低。

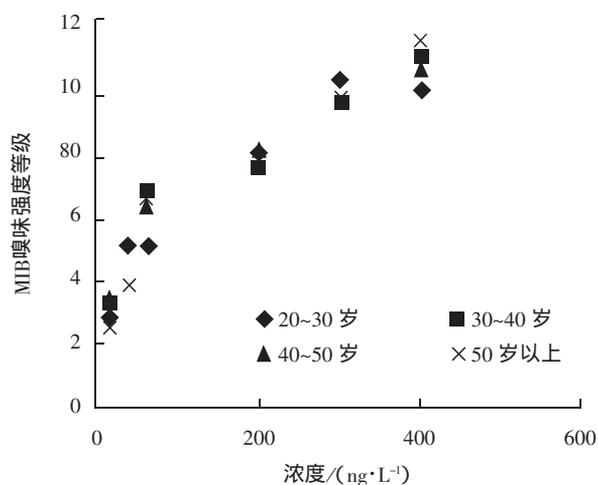


图 8 年龄对土霉味强度等级评价影响
Fig.8 Influence of Age on intensity of MID

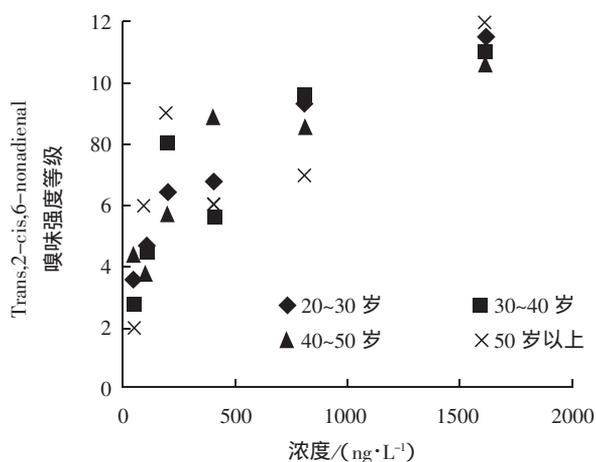


图 9 年龄对黄瓜味强度等级评价影响
Fig.9 Influence of Age on Intensity of Trans,2-cis,6-nonadienal

4 结论

(1) 通过 FPA 法中嗅觉测试簿辨识、臭阈值及强度等级评价等几方面分析, 嗅觉能力与性别、年龄、生活习惯等之间存在着较为密切的关系。女性对臭味的嗅觉灵敏度比男性高, 且符合嗅觉测试簿标准的 20~40 岁及 40~50 岁人群嗅觉辨识度和强度等级评价精确度较高。

(2) 人们对臭味的评价, 基于个体差异性、嗅觉疲劳性、臭阈值变动性、环境变化等因素影响, 对臭味辨识度和灵敏度也会因人、因时、因地而异, 筛选臭味检测员时应结合当地水质及人群生活习惯等特点, 每一个臭味检测小组保证上述各年龄层男女均各有一名, 以确保测试结果的公正和合理。

(3) 测试结果偏高将增大企业治理臭味的投入, 偏低将不能保障饮用水水质安全及用户口感, 因此需定期对臭检员进行臭味标准物质强度等级校正。

参考文献

- [1] 王海亮,周云,孙坚伟,等.二次供水常见水质问题及防治技术[J]. *净水技术*,2010,29(4):71-74.
- [2] 方爱红,黄银芝,钱瑾.浅谈太湖蓝藻暴发的原因、危害及其预防治理[J].*净水技术*,2008,27(3):70-72.
- [3] 江苏省环保厅.江苏推出太湖流域排污权使用与交易细则[J].*净水技术*,2009,28(1):34.
- [4] Morran J, Marchesan M. Taste and odour testing: how valuable is training[J]. *Water Sci. Technol.*,2004,49(9):69-74.
- [5] Dietrich A M, Mirlohi S, Dacosta W F, *et al.* Flavor profile analysis and GC/MS detection of phenolic iodinated disinfection byproducts in drinking water for the USA space program[J].*Water Sci. Technol.*,1999,40(6):45-51.
- [6] 耿静,宁晓宇,王连生.嗅辩员候选人的嗅觉特性及嗅辩测试程序的改进[J].*城市环境与城市生态*,2008, 21(1):34-40.
- [7] Hu T L, Chiang P C. Odorous compounds from a cyanobacterium in a water purification plant in Central Taiwan[J]. *Water Res.*, 1996,30(10):2522-2525.