

· 前沿评述 ·

# 食品生产企业周边空气中的异味监测

胡冠九, 陈素兰, 高占啟, 王荟, 朱冰清, 王骏飞

(国家环境保护地表水环境有机污染物监测分析重点实验室, 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

**摘要:** 简述了食品生产企业产生的异味无机物、有机物的种类, 指出其异味主要来源于食品加工、原料贮存以及废物处理等环节, 分析了异味物质的产生机理。介绍了空气中异味物质的监测方法包括, 嗅辨法、气相色谱-质谱联用法、傅里叶红外光谱法以及气相色谱/气相色谱-质谱与嗅闻联用法等, 及其适用性, 以及测定结果的评价方法。

**关键词:** 食品企业; 空气; 异味监测

中图分类号: X830; X512

文献标志码: B

文章编号: 1674-6732(2016)05-0001-05

## Odor Monitoring in the Ambient Air around Food Industry

HU Guan-jiu, CHEN Su-lan, GAO Zhan-qi, WANG Hui, ZHU Bing-qing, WANG Jun-fei

(State Environmental Protection Key Laboratory of Monitoring and Analysis for Organic Pollutants in Surface Water, Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**Abstract:** The odor inorganic and organic compounds from food industry were introduced, and the main odor sources including food processing, raw materials storage, and waste treatment were pointed out. The reactions leading to odor compounds were analyzed. The monitoring methods for odor in air, such as olfactometry, gas chromatography-mass spectrometry, Fourier infrared spectroscopy, and gas chromatography/ gas chromatography-mass spectrometry combined with olfactometry were introduced, as well as the suitability and the evaluation method of the determination result.

**Key words:** Food industry; Air; Odor monitoring

“气味”是指以空气为介质, 人的嗅觉器官对挥发性物质物理性能的嗅觉感知<sup>[1]</sup>。而“异味”是人的感觉器官(鼻、舌和口)所感知的令人讨厌或异常的气味, 这令人讨厌的异常气味和气味量因人而异<sup>[2-3]</sup>, 臭气或异常浓郁的香气都可能是异味。环保工作中定义的“恶臭”与“异味”类似, 指一切刺激嗅觉器官引起人们不愉快及损坏生活环境的气体物质<sup>[4]</sup>。异味分子在嗅觉细胞表面活性高, 刺激性强, 具有较强的嗅觉污染力, 虽浓度达标, 往往还能被人的感官捕捉到, 即具有低污染浓度、高臭气强度的特性<sup>[5]</sup>。随着生活质量的提高和环境意识的增强, 人们对异味所带来的污染更加敏感, 因此异味作为环境公害之一已受到广泛关注。

目前国内外对环境空气中异味的研究主要集中在垃圾处理场<sup>[6-8]</sup>、污水处理厂<sup>[9]</sup>、石油炼化工厂<sup>[10-11]</sup>及制药厂<sup>[12]</sup>等行业, 恶臭污染物优先控制的筛选研究也多集中在上述行业<sup>[13]</sup>, 关于食品加

工业产生的异味研究相对较少。对食品本身的气味(食品风味)物质研究较多<sup>[14-15]</sup>, 对食品生产时所排放的、对周边环境有影响的异味物质研究很少, 我国“恶臭污染物的排放标准”中也仅控制氨、三甲胺、甲硫醇等8种污染物<sup>[4]</sup>。迄今, 国内对食品加工业产生的异味污染的排放特征、标志性化合物及来源研究十分有限, 有些异味引起公众反感, 但食品企业认为自己生产、排放的不是像化工厂那样的有毒物质, 也不承认有“异味”污染, 这导致政府管理部门无法进行有针对性的污染控制, 直接影响对此类异味的环境监管。

现通过文献调研, 综述了食品企业异味物质种类、产生机理及其相关监测方法, 旨在为了解食品

收稿日期: 2016-06-24; 修订日期: 2016-07-18

基金项目: 江苏省环保科研课题基金资助项目(2015024)

作者简介: 胡冠九(1969—), 女, 研究员级高工, 博士, 主要从事环境监测科研及管理工作。

加工业异味污染特征、针对性控制这类异味的产生提供技术支撑。

## 1 食品生产企业产生的主要异味物质

从物质种类来看,食品企业产生的异味通常源于食品加工时各种低浓度有机、无机混合物,典型的异味物质包括醛类、酮类、内酯类、醇类、酸类、酯类、氨、胺类、吡嗪类、硫化物、硫醇类等,这些都无毒且容易生物降解。在某些食品加工过程中,还会产生较难降解的挥发性有机物<sup>[16]</sup>。

从产生环节上分,异味可能产生于食品的物理加工过程(如食品的烹煮、加热、干燥或熏制等),也可能源于企业原材料、食品以及废品贮存时因微生物活动产生的腐败<sup>[17]</sup>,还可能源于企业的污水、废气处理过程<sup>[5]</sup>。

## 2 食品生产行业异味物质的产生机理

### 2.1 化学反应

不同的化学反应产生不同的挥发性物质,其中有些物质具明显的异味。

在加热或贮藏过程中,食品中的还原糖和含氮基化合物(主要是氨基酸和蛋白质)之间的梅拉德(Maillard)反应会产生呋喃、糠醛、呋喃酮和碳酰基化合物,它们与其他活性物质如胺类、氨基酸、硫化氢、硫醇、氨、醛类进一步反应后会产生杂环类如吡嗪、噻吩、噻唑、2-糠基硫醇,以及其他杂环硫化物<sup>[18-21]</sup>。

氨基酸及肽的热解会形成醛类、烃类、腈类和胺类<sup>[16]</sup>;当糖加热到极高温时会有焦糖味,形成许多其他有气味的物质,如呋喃衍生物、羰基化合物、醇类、脂肪烃和芳香烃<sup>[21-22]</sup>。

在半胱氨酸的斯特雷克(Strecker)降解过程中,会生成硫化氢、氨气和乙醛<sup>[23]</sup>,蛋氨酸的Strecker降解则生成含硫物质如甲硫基丙醛、甲硫醇、2-丙烯醛<sup>[24]</sup>;亮氨酸的Strecker降解生成异戊醛、3-甲基丁醛<sup>[21,25]</sup>。

硫胺素(维生素B<sub>1</sub>)的热解产生具强烈香味的物质,包括呋喃、硫醇、巯基呋喃、噻吩、噻唑以及脂肪链的含硫化合物<sup>[26]</sup>;多元不饱和脂肪酸的热氧化产生很多挥发性物质,包括烷烃、烯烃、醛类、酮类、醇类、酯类和酸类<sup>[16]</sup>。

脂肪食品在加热、冷藏、再加热的过程中,细胞膜上磷脂的自动氧化,以及一些蛋白质和含硫杂环物质

的降解,会生成短链饱和或不饱和的醛、酮、醇类,继续反应形成醛类、酮类、酸类、醇类、烃类、内酯和酯类,产生热异味(WOF),如硫化味、酸败味、苦味、亚麻仔油味、湿纸板味等,热异味产生程度的衡量指标有戊醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、戊醇、1-辛烯-3-醇、2,3-辛二酮、2-戊基呋喃和2-庚酮等。随着脂源性挥发性物质的不断增加,一些含二硫键及以上的硫化物如二甲基二硫、二甲基三硫在贮藏过程中逐渐减少,生成硫化氢等小分子含硫物质<sup>[27-28]</sup>。

### 2.2 微生物反应

食品中许多挥发性物质还可能来源于微生物作用。醋酸、氨基酸、脂肪酸和酮酸等原物质在微生物(真菌、酵母、细菌)作用下,通过德诺约生物合成(de novo biosynthesis),生成初级和次级代谢产物-挥发性物质。源自微生物的挥发性物质是许多物质的混合物,指示着腐败,但有些也是发酵食品的风味物质,包括低浓度的酸、醇、醛、酯、酮、内酯、吡嗪、胺、含硫物质以及萜类化合物等<sup>[16,29]</sup>。

## 3 食品企业相关环境空气中异味物质的监测

空气中的异味物质监测,通常有嗅辨法(包括人工法和电子鼻法)、仪器分析法等,可用便携式或在线仪器现场监测,如傅立叶红外法、便携式气相色谱-质谱法等。也可以使用吸附剂、苏码罐、采样袋等采集样品后,送实验室用嗅辨法、气相色谱-质谱法、气相色谱-嗅闻-质谱联用法、液相色谱法、分光光度法等分析。无论哪种监测方式,需要保证样品的完整性,减少异味物质的损失,避免储存样品介质之间的化学或物理反应<sup>[30]</sup>。

目前环境空气中异味的监测标准方法很少,而针对食品企业排放异味的监测方法更少。《恶臭污染物排放标准》<sup>[4]</sup>中指定的分析方法有嗅辨法测定恶臭<sup>[31]</sup>,气相色谱法测定硫化氢、甲硫醇、甲硫醚和二甲二硫<sup>[32]</sup>、三甲胺<sup>[33]</sup>,以及分光光度法测定二硫化碳<sup>[34]</sup>、氨<sup>[35]</sup>等。

现行国家标准方法中,还有高效液相色谱法测定醛、酮类<sup>[36]</sup>、气相色谱-质谱法测定挥发性有机物<sup>[37-38]</sup>。其中醛、酮类等极性化合物在直接采样分析时,会在样品采集、进样分析等环节发生吸附或反应,且往往有拖尾、灵敏度低等现象,测定难度大。因此,在对醛、酮类异味物质进行针对性测定时,通常在吸附管采样过程中,就使得醛、酮类与2,4-二硝基苯肼(DNPH)反应生成相应的腙类衍

生物,后者具有较好的色谱学行为,适合于液相色谱分析<sup>[36]</sup>。

用仪器法测定多组分气味样品时,在定性方面,可与标准谱库(质谱数据库、红外光谱库等)中的物质进行结构相似度匹配对比,结合出峰保留时间(有标准样品作比较时)、企业生产特征等进行人工解析,最终对各组分进行定性;在定量方面,由于气味样品可能包含几十甚至上百种挥发性有机物,很难通过标准样品逐一进行绝对定量,可通过峰面积归一化法计算化合物的相对含量来进行定量<sup>[14]</sup>。

虽然食品本身的异味检测不同于食品企业生产时周边环境空气的异味监测,非食品行业产生的异味物质也不完全等同于食品行业的异味物质,但由于食品行业周边环境异味监测的研究很少,可借鉴食品中异味物质的监测方法,以及其他非食品行业周边空气中异味物质的测定方法,为供食品企业周边环境异味物质的监测参考。

### 3.1 嗅辨法

嗅辨法检测得到的是臭气气味的大小<sup>[31]</sup>,或是否有气味的定性描述<sup>[39]</sup>。臭气气味的大小(又称臭气浓度)用于环境空气监测,即用无臭的清洁空气对臭气样品连续稀释至嗅辨员阈值时的稀释倍数,是根据人工嗅觉器官试验法对臭气气味的大小予以数量化表示的指标<sup>[31]</sup>,不能反映臭气的类型以及引起臭气的物质种类;另一种嗅辨法用于判断是否“有异味”,如检测纺织品时,在洁净、无异常气味的环境中,操作者嗅闻纺织品试样所带有的气味,如检测出有霉味、高沸程石油味(如汽油、煤油味)、鱼腥味、芳香烃气味中的一种或几种,则判为“有异味”,否则判为“无异味”<sup>[39]</sup>,这种嗅辨法不能指示异味的强度以及何种物质引起的异味。

电子鼻是90年代发展起来的分析、识别和检测复杂气味和挥发性成分的仪器,其利用嗅觉传感器阵列,将吸附气味分子产生的信号经各种方法加工处理与传输,处理后的信号经模式识别系统对气味做出判断,从而对样品进行定性或定量分析<sup>[40-41]</sup>。其模拟的是人和动物的鼻子,“闻到”的是目标的整体信息,不能得到被测样品中异味成分的定性和定量结果<sup>[42]</sup>。

### 3.2 气相色谱-质谱联用法

气相色谱-质谱联用法(GC-MS)是常用的异味物质监测方法,可对混合物组分逐一定性、定

量监测,根据所测的组分浓度、特性及其嗅阈值,人工判断该组分是否是样品异味的贡献者。

孙代华等<sup>[43]</sup>使用便携式GC-MS仪,对有异味投诉的居民区进行监测,测出有苯乙烯及其他苯系物等物质,通过对企业生产所需原料及产品、中间体,可能产生的污染物等进行分析,最终锁定污染源是某石化企业。

吴传东等<sup>[44]</sup>将气体样品采集于Tedlar袋中,用固相微萃取纤维富集、GC-MS法分析了生活垃圾填埋场的气体,共检出异味污染物组分42种,包括含氧有机物、含氮化合物、含硫化合物、芳香族化合物、卤代物、烷烃和萜烯等7类。

肖洋等<sup>[45]</sup>将便携式GC-MS法与嗅辨法相结合,调查了淄博市7座工业园的化工企业,定性和定量分析了空气中引起异味的有机化合物,检测出2-甲基-4-羟基环丁酮、1,3,5-环辛三烯、1,3-二甲基环己胺、二甲基咪喃、二甲基乙酰胺、甲胺、戊醇、乙醛、苯乙烯等特征污染物。

陈功等<sup>[14]</sup>运用SPME/MS-GC法,分析自然发酵泡菜、老盐水发酵泡菜和直投式功能菌剂发酵泡菜的风味成分,检测出3种泡菜样品中的风味成分有30多种,其中乙醇、乙醛、苧烯、乙酸乙酯占挥发性成分总量的75%以上,影响泡菜的主体风味物质为二甲基硫化物、烯类、醛类。

叶少文<sup>[29]</sup>采用GC-MS法,测定出异味蛋白粉中的3种挥发性成分:戊醛、戊醇和己醛,指出其是蛋白粉因产生脂肪酸腐败而产生异味的来源。

近年来发展起来的、灵敏度更高的环境空气中挥发性有机物的监测方法,虽然目标化合物不尽是异味物质,也可作为借鉴。如空气样品以不锈钢罐采样,经冷阱浓缩、热解析后进入GC-MS仪分析<sup>[38]</sup>,可测定67种挥发性有机物,当取样量为400 mL时,方法检出限为0.2~2.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。又如吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法可分析35种挥发性有机物<sup>[37]</sup>,当采样体积为2 L时,方法检出限为0.3~1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

### 3.3 傅立叶红外光谱法

傅里叶红外光谱仪是基于对干涉后的红外光进行傅里叶变换的原理而开发的红外光谱仪,可对样品中的异味成分进行定性、定量分析。

关胜等<sup>[46]</sup>应用便携式傅立叶红外气体分析仪对某化工园区环境空气进行了现场监测,检测出了丙烯腈、氯乙烯、二氯乙烷、甲烷4项特征因子,并

指出前3项污染因子是该化工园区内某厂的目标污染因子,甲烷则是该化工园区西南方向5 km的垃圾填埋场的目标污染因子。

潘光等<sup>[47]</sup>利用傅立叶红外光谱仪对鱼粉生产过程中及采取治理措施后恶臭污染物的排放进行了现场连续监测,主要测出硫化氢、氨、三甲胺、甲硫醇、甲硫醚等组分。

### 3.4 气相色谱/气相色谱-质谱与嗅闻联用法

气相色谱-嗅闻法(GC-O)是在气相色谱仪末端添加一个分流装置,使流出色谱柱的化合物一部分进入GC检测器,另一部分分流进入气味检测器,感官员对GC流出的各个组分进行嗅闻,从而对嗅闻到的挥发性化合物的气味特征和气味强度进行评价<sup>[48-49]</sup>。

刘笑生等<sup>[50]</sup>采用溶剂辅助风味蒸发系统和同时蒸馏提取技术分离并提取金华火腿风味成分,通过气相色谱-嗅闻-质谱仪(GC-O-MS)对气味物质进行分析,共检测并嗅闻到48种气味活性化合物,在已鉴定出的45种气味物质中,包括醛类12种,醇类2种,酸类10种,酮类4种,酯与内酯类6种,硫醚类3种,含苯化合物6种,其他类物质2种。对脂肪气味贡献度较大的10种关键性化合物分别是己醛、庚醛、二异丙基二硫醚、辛醛、反-2-辛烯醛、3-甲基丁酸、反-2,4-癸二烯醛、 $\gamma$ -癸内酯、 $\gamma$ -十一内酯和苯乙酸。GC-O嗅闻结果表明油脂味、酸味和水果味是构成金华火腿皮下脂肪特征风味的主体气味类型,表现在气味化合物中主要为直链醛类,小分子酸类和内酯类物质。

邱寿宽等<sup>[51]</sup>对已产生异味的绿豆挂面进行GC-MS和GC-O分析,鉴定出其主要由油脂氧化产物,即86.9%的1-己醇和0.64%的2-庚醇。

王锡昌等<sup>[38]</sup>采用Mono Trap作为固相萃取整体捕集剂,提取阳澄湖大闸蟹的挥发性成分并用GC-MS测定,得到9大类76种挥发性物质,同时,用GC-O及直接强度法分析挥发性物质,共嗅闻到17种气味特征,在76种挥发性物质中,筛选出56种具有气味特征的嗅感物质,其中三甲胺(鱼腥味)、(Z)-4-庚烯醛(油脂味)、2,5-二甲基吡嗪(糯米味)、(E,E)-3,5-辛烯-2-酮(番茄味)和(Z)-4-癸烯醛(番茄味)对阳澄湖大闸蟹的典型风味贡献显著。

## 4 异味物质的评价

用嗅辨法得到的臭气浓度,可用《恶臭污染物排放标准》<sup>[41]</sup>进行“超标”与否的评价;用仪器分析法定性、定量出具体的异味物质<sup>[52]</sup>,如属于上述标准中所控制的8种物质,也可以对照该标准进行“超标”与否的评价。对于多数无评价标准的异味物质,采用相对气味活度值(ROAV)评价某异味物质对样品总体气味的贡献。设对样品气味贡献最大的组分的ROAV=100,按下式计算:

$$ROAV_i \approx \frac{C_{ri}}{C_{rstan}} \times \frac{T_{stan}}{T_i} \times 100$$

式中: $C_{ri}$ 和 $T_i$ ——异味组分的相对含量,%;气味阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;  $C_{rstan}$ 和 $T_{stan}$ ——对样品整体气味贡献最大组分的相对含量,%;气味阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

$ROAV_i \geq 1$ 的物质可能对总体气味有直接影响,在一定范围内,其值越大说明该物质对总体气味贡献越大; $0.1 \leq ROAV_i < 1$ 的物质对整体气味也有比较重要的贡献<sup>[14,53-54]</sup>。

## 5 结语

食品企业加工、贮存以及废物处理过程中,都会因化学或微生物反应产生各种挥发性异味物质,如醛类、酮类、内酯类、醇类、酸类、酯类、氨、胺类、吡嗪类、噻吩、噻唑、糠醛、硫化物、硫醇类等,目前针对食品企业生产时周边环境空气的异味研究较少,在监测技术上,可采用嗅辨法检测异味的大小、或定性描述是否有气味,采用气相色谱-质谱联用法或傅里叶红外光谱法定性、定量异味样品,进而人工判断某组分是否对样品异味有贡献,还可采用气相色谱或气相色谱-质谱与嗅闻联用法联用技术,鉴别异味成分,并评价气味特征和气味强度。

### [参考文献]

- [1] 张凌紫. 基于主观感受的汽车车内气味评价[J]. 汽车实用技术, 2014, 39(11): 15-17.
- [2] 李德亮, 张婷. 鱼体异味的产生原因与控制方法研究进展[J]. 现代农业科技, 2011, 18(5): 318-319.
- [3] 高维全, 何勇, 韩冀彭, 等. 纺织品异味的来源及检测标准[J]. 上海纺织科技, 2009, 37(4): 47-48.
- [4] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 恶臭污染物排放标准: GB 14554-93[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [5] 张润斌, 李辉. 天津顶益国际食品有限公司项目恶臭因子评价[J]. 工程设计与应用研究, 2008, 3: 29-33.
- [6] 闫风越, 邹克华, 李伟芳, 等. 垃圾填埋场恶臭气体的指纹谱[J]. 环境化学, 2013, 32(5): 854-859.

- [7] WU C, LIU J, YAN L, et al. Assessment of odor activity value coefficient and odor contribution based on binary interaction effects in waste disposal plant[J]. *Atmos Environ*, 2015, 103: 231–237.
- [8] 路鹏, 苏昭辉, 王亘, 等. 填埋场大气中化合物分析与恶臭指示物筛选[J]. *环境科学*, 2011, 32(4): 936–942.
- [9] 唐小东, 王伯光, 赵德骏, 等. 城市污水处理厂的挥发性恶臭有机物组成及来源[J]. *中国环境科学*, 2011, 31(4): 576–583.
- [10] 翟增秀, 邹克华, 李伟芳, 等. 石油炼化行业恶臭气体成分谱研究[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(3): 253–258.
- [11] 闰松, 尹天亚, 单广波, 等. 炼油企业污水处理厂恶臭污染分布特征及规律[J]. *环境监测管理与技术*, 2010, 22(4): 61–62.
- [12] 翟增秀, 张君, 闫凤越, 等. 生物制药企业恶臭污染物的排放特征[J]. *城市环境与城市生态*, 2013, 26(3): 19–21.
- [13] 李伟芳. 国内恶臭污染物优先控制的筛选研究[J]. *上海环境科学*, 2012, 31(1): 1–4.
- [14] 陈功, 张其圣, 余文华, 等. 四川泡菜挥发性成分及主体风味物质的研究(二)[J]. *中国酿造*, 2010, 29(12): 19–23.
- [15] 王夫杰, 鲁绯, 赵俊平, 等. 酱油风味及其检测方法的研究进展[J]. *中国酿造*, 2010, 8(1): 1–5.
- [16] RAPPERT S, MÜLLER R. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries[J]. *Waste Manage.*, 2005, 25: 887–907.
- [17] ÓAFSDÓTTIR G, HÖGNADÓTTIR A, MARTINSDÓTTIR E, et al. Application of an electronic nose to predict total volatile bases in Capelin[J]. *J. Agric. Food Chem*, 2000, 48: 2353–2359.
- [18] VAUTHEY S, MILO C, FROSSARD P, et al. Structure fluids as microreactors for flavor formation by the maillard reaction [J]. *J. Agric. Food Chem*, 2000, 48: 4808–4816.
- [19] NEGRONI M, D'AGOSTINA A, ALNOLDI A. Effects of olive, canola, and sunflower oils on the formation of volatiles from the Maillard reaction of lysine with xylose and glucose[J]. *J. Agric. Food Chem*, 2001, 49: 439–445.
- [20] 吕大鹏. 果葡糖浆生产过程中形成的异味物探讨[J]. *淀粉与淀粉糖*, 2012(3): 19–22.
- [21] 叶晓蕾. 果葡糖浆中异味化合物的形成机理及其影响因素研究[J]. *现代农业科技*, 2012, 40(7): 337–339.
- [22] FAGERSON I S. Thermal degradation of carbohydrate[J]. *J. Agric. Food Chem*, 1969, 17: 747–750.
- [23] KOBAYASHI N, FUJIMAKI M. Formation of mercaptoacetaldehyde, hydrogen sulfide and acetaldehyde by boiling cysteine and carboxyl compounds[J]. *Agric. Biol. Chem*, 1965, 29: 698–699.
- [24] SCHUTTE L. Precursors of sulfur-containing flavor compounds [J]. *CRC Crit. Rev. Food Technol*, 1974(4): 457–505.
- [25] IGLESIAS J, GALLARDO J M, MEDINA I. Determination of carbonyl compounds in fish species samples with solid-phase microextraction with on-fibre derivatization [J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(3): 771–778.
- [26] HARTMAN G J, CARLIN J T, SCHEIDE J D, et al. Volatile compounds from the thermal degradation of thiamin at high and low moisture levels[J]. *J. Agric. Food Chem*, 1984, 32: 1015–1018.
- [27] ROBARDS K, KERR A F, PATSALIDES E. Rancidity and its measurement in edible oils and snack foods. A review[J]. *Analyst*, 1988, 113: 213–224.
- [28] 黄业传, 曾画艳. 肉制品冷藏过程中热异味的产生及影响因素[J]. *肉类研究*, 2011, 25(8): 19–22.
- [29] 叶少文. 关于灌装蛋白质粉产生异味的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(8): 3139–3144.
- [30] HUDSON N, AYOKO G A. Odour sampling 1: Physical chemistry considerations [J]. *Bioresource Technol*, 2008, 99: 3982–3992.
- [31] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法: GB/T 14675—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [32] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 空气质量 硫化氢、甲硫醇、甲硫醚和二硫化物的测定 气相色谱法: GB/T 14678—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [33] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 空气质量 三甲胺的测定 气相色谱法: GB/T 14676—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [34] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 空气质量 二硫化碳的测定 二甲胺分光光度法: GB/T 14680—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [35] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 空气质量 氨的测定 次氯酸钠—水杨酸分光光度法: GB/T 14679—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [36] 环境保护部. 空气 醛、酮类化合物的测定 高效液相色谱法: HJ 683—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [37] 环境保护部. 环境空气的测定 吸附管采样—热脱附/气相色谱—质谱法: HJ 644—2013 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [38] 王锡昌, 吴娜, 顾赛麒, 等. MMSE—GC—MS/GC—O 法鉴定熟制阳澄湖大闸蟹关键嗅感物质[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(4): 245–254.
- [39] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 国家纺织产品基本安全技术规范: GB 18401—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [40] 彭莲, 李硕, 闫永红, 等. 金银花气味与化学成分的相关性分析[J]. *中国中药杂志*, 2014, 39(22): 4383–4388.
- [41] 杨诗龙, 吴娜, 袁星, 等. 中药“气味”鉴别的现状与思考[J]. *世界科学技术—中医药现代化*, 2014, 16(9): 1876–1879.
- [42] 蒋德云, 张弓, 王延好. 电子鼻对花生异味测定的初步研究 [J]. *安徽农业大学学报*, 2003, 30(4): 459–461.
- [43] 孙代华, 闰莹, 顾珊珊. 便携式 GC—MS 在快速查找污染源中的应用[J]. *北方环境*, 2013, 25(6): 39–41.
- [44] 吴传东, 刘杰民, 周鹏, 等. 垃圾填埋场覆膜与暴露作业区异味污染特征[J]. *环境化学*, 2015, 34(10): 1955–1957.
- [45] 肖洋, 王新娟, 韩伟. 工业城市有机化工异味应急监测快速溯源[J]. *中国环境监测*, 2015, 21(2): 126–129.

水体,蓝藻为优势种的可能性较大;蓝藻密度低的水体,绿藻、硅藻等其他藻种为优势种的可能性较大。上文根据蓝藻密度将样品进行分类分析后,相关性均显著提升,蓝藻被激发的荧光强度与其他藻种的差异性,是造成在使用统一校准标准的情况下蓝藻高密度样本区的偏差要高于蓝藻低密度样本区的偏差的主要原因。

对 YSI6600V2 叶绿素 a 系统进行校正,建议先根据 YSI6600V2 测得蓝藻密度的不同(1 000 万  $L^{-1}$  为界效果最好),对样本进行分类,再对 YSI6600V2 方法与实验室方法测得的叶绿素 a 结果分别进行回归分析,将得到的 2 个回归方程分别应用到蓝藻高密度样本的叶绿素 a 校正与蓝藻低密度样本的叶绿素 a 校正。

在具体的水体样本中,藻类的种群构成不能简单地以 YSI6600V2 测得的蓝藻密度来区分,这需要实验室镜检的分析结果。现根据蓝藻密度来估算水体中优势种的构成,从而对 YSI6600V2 方法测定的叶绿素 a 结果进行校准只是大致估算,有着一定的局限性。

### 3 结论

(1) 通过对 YSI6600V2 和实验室分光光度法 2 种方法测定的叶绿素 a 值进行回归分析,YSI6600V2 测定值多数偏低,相关性较差且不显著。在利用 YSI6600V2 测得的蓝藻密度将样本分为 2 类后,相关性显著且得到大幅度提升;

(2) 依据 YSI6600V2 测定叶绿素 a 和蓝藻密度的荧光法原理,分析了荧光法测定叶绿素 a 和蓝藻密度的生物光学机理和测定蓝藻叶绿素 a 的局限性;

(3) 基于比对分析结果,以及荧光法测定叶绿

素 a 和蓝藻密度的原理,提出利用蓝藻密度对样本进行分类后,再分别进行叶绿素 a 的校正;

(4) 以蓝藻密度来区分水体中藻类种群构成,并依此对 YSI6600V2 测得的叶绿素 a 浓度进行分组校正只是大致估算,还需要结合藻类镜检结果进行精确分析与验证。

### [参考文献]

- [1] 黄昌春,李云梅,王桥,等.铜绿微囊藻和斜生栅藻生物光学模型[J].湖泊科学,2010,22(3):357-366.
- [2] 陈宇炜,高锡云.浮游植物叶绿素 a 含量测定方法的比较测定[J].湖泊科学,2000,12(2):185-188.
- [3] 王建,王骥.浮游植物叶绿素与脱镁叶绿素的测定方法[J].武汉植物学研究,1984,2(2):321-328.
- [4] HALLEGRAEFF G M. Pigment diversity, biomass and species diversity of phytoplankton of three Dutch lakes[J]. Rotterdam: Bronder - offset,1976:167-177.
- [5] 林少君,贺立静,黄沛生,等.浮游植物中叶绿素 a 提取方法的比较与改进[J].生态科学,2005,24(1):9-11.
- [6] 张军毅,陆敏,叶凉,等.夏季梅梁湖蓝绿藻密度和叶绿素的时空分布特征[J].长江流域资源与环境,2010,19(1):97-100.
- [7] 丁建清,张军毅.YSI6600V26600 传感器在太湖蓝藻预警工作中的应用[J].环境监测管理与技术,2011,23(1):67-70.
- [8] 翁建中,王亚超,李继影,等.荧光技术在太湖蓝藻水华预警监测中的应用[J].中国环境监测,2009,25(4):23-26.
- [9] 丁薇,揣小明,钱新,等.洋水水库蓝藻水华爆发预测影响因素研究[J].环境监控与预警,2011,3(4):1-5.
- [10] 宋晓兰,段学花,吕伟民,等.江阴地区主要内河叶绿素 a 动态特征及其环境因子的相关分析[J].环境监控与预警,2012,4(3):40-44.
- [11] BAKER N R. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008,59:89-113.

栏目编辑 周立平

(上接第 5 页)

- [46] 关胜,何富生.傅立叶红外分析仪在化工区空气异味监测中的应用[J].广州化工,2012,40(18):102-103.
- [47] 潘光,李恒庆,宋毅倩,等.鱼粉行业恶臭污染物产生与成分分析探讨[J].中国环境管理干部学院学报,2009,19(4):88-91.
- [48] RUSH S M. Methods for gas chromatography - olfactometry: a review[J]. Biomol Eng, 2001,17:121-128.
- [49] 戴玄吏,汤佳峰,章霖之.“湖泛”恶臭物质分析及来源浅析[J].环境监控与预警,2010,2(3):43-45.
- [50] 刘笑生,刘建斌,刘梦雅,等. SAFE 与 SDE 法对金华火腿皮下脂肪气味活性物质研究[J].食品科学技术学报,2014,32

(1):40-46.

- [51] 邱寿宽,孙英,王春娥,等.绿豆挂面保质期提升及异味分析[J].粮食加工,2015,45(6):44-46,50.
- [52] 环境保护部.环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法:HJ 759—2015[S].北京:中国环境科学出版社,2015.
- [53] 李小林,陈诚,清源,等.会东县不同品种块菌挥发性香气成分的 GC/MS 分析[J].食品科学,2015,36(18):132-136.
- [54] 郭莲秀,丁桂英,马芳,等.恶臭气体环境污染损害评估方法初探[J].环境监控与预警,2015,7(5):61-64.

栏目编辑 李文峻