

# 食品风味物质分离分析技术进展

王鲁峰, 张韵, 徐晓云, 潘思轶<sup>\*</sup> (华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

**摘要** 简述了食品中风味物质的特点, 综述了顶空、固相微萃取、同时蒸馏萃取、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取、气质联用、液质联用、气相嗅觉测量和电子鼻常用的几种分离分析食品中风味物质方法的研究进展。

**关键词** 风味; 物质分离分析; 技术; 进展

**中图分类号** TS201.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)02-00463-03

## Development of Food Flavor Isolation and Analysis Techniques

WANG Lu-feng et al (College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070)

**Abstract** The characters of flavor substances in food were introduced briefly. The study progress of method of extracting and analyzing flavor substances in food by Headspace, SPME, SDE, SCDE, GC-MS, HPLC-MS and GC-O and so on was summarized.

**Key words** Flavor substance; Substances isolation and analysis; Technology; Progress

风味作为食品的三大功能之一——感官功能的重要组成部分, 在近年来的科学研究中, 越来越受到重视。但因其浓度极低、挥发性高、组分复杂等原因, 对其的研究在很大程度上取决于相关科学仪器的发展程度。20 世纪 60 年代以前, 人们对风味物质的认识还只能靠味觉、嗅觉等生理器官。近年来, 以顶空固相微萃取、GC/MS 为代表的新仪器的出现为风味物质的分析研究提供了越来越多的解决方案。

### 1 食品风味物质的特点

风味物质一般具有以下特征<sup>[1]</sup>: ①存在浓度低, 阈值低,

可达 10<sup>-12</sup> g/L; ②组分数量众多与结构复杂, 一种食品或样品中可以分离出几十到几百种风味物质; ③挥发性高, 多有味道; ④稳定性差以及与食品其他组分间存在动态平衡。因此, 食品风味成分的合成、提取分离、分析以及控制释放都具有较大难度, 采用传统宏观的分离分析方法远远不够。

### 2 常见分离分析方法

20 世纪 60 年代, 风味物质分离分析技术取得了长足的进步, 各国相继开发研制出了多种方法和仪器。目前常见的分离分析方法如表 1 所示。

表 1 常见分离分析方法

Table 1 Common methods of extracting and analysis

中文名称	英文简称	英文全称	所属类别
Chinese name	Abbreviation of English	Full English name	Category
传统蒸馏、萃取	-	Distillation & Extraction	提取
顶空	Head space	Headspace	提取
固相微萃取	SPME	Solid phase microextraction	提取
同时蒸馏萃取	SDE	Simultaneous distillation extraction	提取
超临界 CO <sub>2</sub> 萃取	SCDE	Supercritical carbon dioxide extraction	提取
气质联用	GC-MS	Gas chromatography-mass spectrum	分析
气相嗅觉测量	GC-O	Gas chromatography-olfactometry	分析
液质联用	HPLC-MS	High performance liquid chromatography-mass spectrum	分析
电子鼻	-	Electronic nose	分析

**2.1 同时蒸馏萃取** 同时蒸馏萃取是指通过同时加热样品和有机溶剂至沸腾的方法使风味物质溶入溶剂中。它是把样品的浆液置于一圆底烧瓶中, 连接于仪器一侧, 以另一烧瓶盛装溶剂, 连接于仪器另一侧, 两瓶分别水浴加热, 水蒸气和溶剂蒸气同时在仪器中被冷凝下来, 水和溶剂不相混溶, 在仪器 U 形管中被分离开, 分别流向两侧的烧瓶中, 结果蒸馏和提取同时进行, 只需要少量溶剂就可提取大量样品, 香气成分得到浓缩。同时蒸馏萃取作为一种前处理技术, 同固相微萃取、顶空等相比, 具有良好的重复性和较高的萃取量, 而且操作简便、定性定量效果好, 是一种行之有效的预处理方法。但由于香精组分复杂, 当蒸馏温度过高时, 样品可能发生水解、氧化、酯化或热分解, 同时高沸点的组分也难以随

水蒸气一起蒸出来, 所以对香精香料挥发性成分的检验不是很全面。

SDE 法目前多被用在肉类中挥发成分的分析上, 比如意大利的腊肠、中国的火腿。王林祥等使用 SDE 方法研究了酱油风味, HEMF、4-乙烯基愈创木酚在国内酱油风味研究中首次被检出<sup>[2]</sup>。乔发东等采用 SDE 法对宣威火腿加工过程中产生的风味物质进行了分析, 认为挥发性化合物的相对总含量在 6 月龄时最高, 醛类对其风味产生有重要贡献<sup>[3]</sup>。要萍等也对宣威火腿进行了类似研究, 共分析出 27 种醛类物质<sup>[4]</sup>。

**2.2 顶空** 顶空气相色谱法是顶空法和气相色谱法的巧妙组合, 它将风味物质纳入气相色谱领域, 大大扩展了气相色谱的应用范围。

目前固相微萃取 (SPME)、蒸馏-乙酸乙酯萃取 (DEE) 常和顶空法一起配合使用。其中 SPME 是 20 世纪 90 年代刚

**基金项目** 浙江省苏泊尔家电制造有限公司资助项目。

**作者简介** 王鲁峰 (1983 -), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 研究方向: 食品科学。\* 通讯作者。

**收稿日期** 2008-10-31

出现的一种新的前处理方法,发展迅速。相比之下,SPME 和 DEE 能分析出更多的醛、酯和醇等挥发性物质,但操作不如顶空,尤其是 SHS 法方便,简单。

顶空分为静态顶空 (SHS) 和动态顶空 (DHS) 2 种情况,后者是在前者的基础上改进发展而来的,又名吹扫捕集。

**2.2.1 静态顶空 (SHS)。**静态法是将样品置于有一定顶端空间的密闭容器中,在一定温度下两相达到动态平衡后,取蒸气相进行色谱分析的方法。现在取样一般采用 SPME 法 (图 1),即固相萃取 (Solid phase microextraction)。SPME 是 20 世纪 80 年代末在固相萃取的基础上发展起来的一种新型分离技术,是一种快速的萃取方法,但其萃取物质有较强的选择性<sup>[5]</sup>。操作时将 SPME 萃取头插入顶空样品瓶中,调整并固定萃取头在顶空体积中的位置,在特定萃取温度下顶空萃取一定时间后取出,迅速进行后续气相色谱/质谱联用仪进行分析鉴定。窦洪亮等首次利用 SPME,结合 GC-MS、GC-O 对绿茶和绿茶鲜汁饮料香气进行了比较分析,能有效地鉴别和确认绿茶和绿茶鲜汁饮料中香味化合物的类别、香味强度及其对总体香气的贡献<sup>[6]</sup>。Gillian Fitzgerald 等使用 SPME-GC 方法分析了威士忌挥发成分的特征,并给出了优化的试验条件<sup>[7]</sup>。王丽霞等对使用固相萃取方法提取果汁香气的影响因素和条件进行了优化,得到了较理想的结果<sup>[8]</sup>。

SPME 的核心部分在纤维探头 (Fiber) 材料,目前多使用的是 PA、PDMS、CAR/PDMS、DVB/CAR/PDMS 4 种材料,其中 DVB/CAR/PDMS 能萃取出的挥发成分最多,PA 萃取的最少。即使同一种萃取头,其萃取效果也受很多因素影响。提高萃取温度可以缩短萃取时间,调节 pH 值可以改变分子在溶液中的溶解度,添加氯化钠等盐类可以提高萃取效率<sup>[9]</sup>。

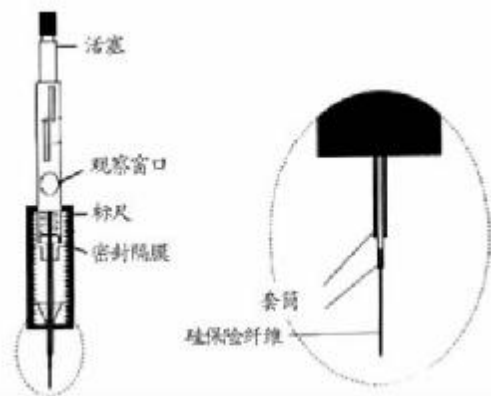


图 1 SPME 结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of SPME structure

**2.2.2 动态顶空 (DHS)。**简单地说, DHS 是通过惰性气体吹扫将样品中的欲测定物质几乎全部萃取出来并浓缩在吸附阱中,然后再热解吸进行气相色谱的分析方法。它包括:吹扫、吸附、热解吸、烘烤 4 个阶段。

图 2 所示为最常见的氮气吹扫捕集示意图,将密闭系统中顶端空间与液相、呈热力学平衡的气相用惰性气体吹洗到富集系统中,使蒸气相中的待测组分被富集或浓缩,然后用适当的方法解吸此富集或浓缩物。富集或浓缩常用吸附法和低温法。

低温吹扫捕集仪器工作原理可分为准备阶段、冷预阶

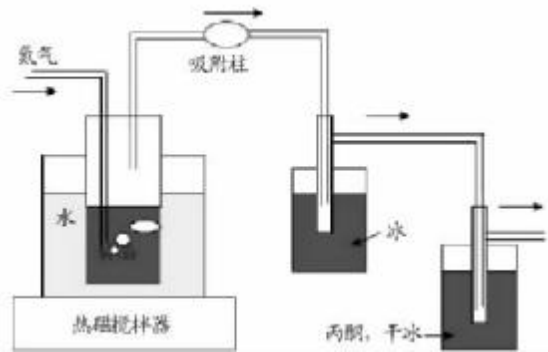


图 2 氮气吹扫捕集示意图

Fig. 2 Diagram of nitrogen purge and trap

段、吹扫阶段、进样阶段和反吹阶段 5 个部分。在准备和预冷阶段,吹扫气氮气从热解吸管和冷阱毛细管间进入,无反应时,吹扫气直接经冷阱毛细管进入色谱柱清扫,有反应时,吹扫气分两路同时清扫管路,一路经热解吸管和水冷凝器排出,一路经冷阱毛细管进入色谱柱排出,打开液氮阀,使冷阱预冷至捕集时所需温度,吹扫开始后,氮气作为吹扫气将挥发物从吹扫瓶中吹出,经水冷凝器和解吸管进入冷阱中的毛细管,将挥发物全部低温捕集在冷阱中,吹扫结束后,冷阱快速升温至 200 °C,挥发物按沸点顺序进入气相色谱毛细管中分离,最后被火焰光度检测器 (FID) 检测。在反吹阶段,吹扫气从热解吸管和冷阱毛细管间进入,一路经热解吸管和水冷凝器,一路经冷阱毛细管柱进入色谱柱,直至整个分析过程结束<sup>[7]</sup>。样品处理时一般在其中加入饱和食盐水,以提高风味物质的溢出速度。

Yuan Liu 等对比研究了不同萃取方法下南京酱板鸭的风味物质,结果显示,SPME 和 SDE 法可以互补使用,并且均比吹扫捕集要好<sup>[10]</sup>。

**2.3 超临界 CO<sub>2</sub> 高压萃取法** 超临界 CO<sub>2</sub> 技术是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型分离技术,它是利用压力和温度对超临界 CO<sub>2</sub> 流体溶解能力的影响而进行物质分离的。其基本原理是:当 CO<sub>2</sub> 超过其临界点时 (31.05 °C, 7.38 MPa), 就会成为同时具有气体和液体属性的超临界液体。粘度近似气体而密度与液体相仿,具有优异的扩散性质,可通过分子间的相互作用和扩散作用溶解大量物质。不同物质由于在 CO<sub>2</sub> 中的溶解度不同或同一物质在不同的压力和温度下溶解状况不同,因而这种提取分离过程具有较高的选择性。萃取完成后,通过减压或改变温度,CO<sub>2</sub> 重新变成气体,剩下的馏分便是所需的组分。

该方法的特点是:①萃取能力强,提取率高;②临界温度低,适用于热敏性物料的提取分离;③提取时间快,效率高,操作便于控制;④无溶剂残留,安全性高;⑤CO<sub>2</sub> 可循环使用,成本低。这种分离技术尤其适用于从香料、花、草本植物、树叶、种子和根中提取精油。卢晓旭等用超临界 CO<sub>2</sub> 提取了黄皮核的风味物质并用 GC-MS 进行分析,发现主要成分是酰胺类,烯萜类和有机酸酯类<sup>[12]</sup>。

**2.4 气质联用** 气相色谱和质谱的联用 GC-MS 是目前主流的分析设备,一般和顶空装置、SPME 和 SDE 等前处理装置联用实现食品风味物质的快速分离分析。国内常见的 GC-MS 装置有安捷伦 5890/5970、5971A 系列、6890/5973 系

列、Finnigan MAT4600 气-质联用仪、TRACEMS 型气-质联用仪和 Shimadzu 5050 等。GC-MS 是 GC 与 MS 一体化的装置,检测化合物是什么(定性)和多少(定量)的精密分析仪器。GC 通过将气化的样品进入到色谱柱内进行分离,分离之后的化合物进入 MS 内进行检测。华中农业大学的乔宇等使用固相微萃取气质联用结合嗅觉检测法鉴定了血橙汁中的香气活性化合物<sup>[12]</sup>。回瑞华等进行了紫丁香叶挥发性化学成分季节性变化的 GC/MS 研究,结果表明,紫丁香叶挥发油成分和含量在不同季节有很大的变化,5 月份紫丁香叶的挥发油中主要成分为萜类化合物,而 6、7 月份紫丁香叶的挥发油中主要成分为青叶醇、绿叶烯和香叶芳樟醇<sup>[13]</sup>。周海燕等使用 SDE 再结合 GC-MS 对锦橙和官川果汁香气成分进行了大量的比较研究,锦橙和官川蜜柑果汁香气成分的种类和含量差别明显<sup>[14]</sup>。黄友如等通用 GC-MS 证明经乙醇处理后的大豆分离蛋白,其风味已得到了明显的改善<sup>[15]</sup>。

**2.5 气相嗅觉测量(GC-O)** GC/O 英文文献上一般写作 GC-olfactometry dilution analysis。GC/O 气味检测法的原理是在气相色谱柱末端安装分流口,分流样品到 FID 检测器/气味检测仪,国外也有学者将流量的一半进入 FID,一半进入 Olfactometer。将经过前处理的样品像使用 GC 一样从进样口进样注入,而嗅闻人员在气味仪的出口处用鼻子进行检测,然后记录他们在气体流出物中所闻到的香味。这样就可以由 GC/O 得到嗅闻人员对他们所感觉到的香味进行定性的描述信息。他们常用一个词或一组词以及图片的形式来描述他们的感觉。色谱峰/气味的相应关系也由嗅闻人员来确定<sup>[16]</sup>。嗅闻人员一般要求 2 人以上,并经过至少 50 h 以上的相关培训,能够记录流出的风味成分的保持时间,描述其风味特点等。GC/O 检测流程如图 3 所示。

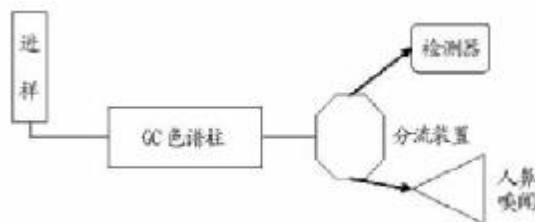


图 3 GC-O 示意图

Fig. 3 GC-O schematic diagram

检测食品中气味物质的强度是 GC/O 的重要任务,它使人们能根据不同成分的香味强度或对总体香气的贡献来对它们进行排序。检测方法主要分为 2 种:①稀释法,也叫 AEDA (Aroma extract dilution analysis, 芳香萃取物稀释分析),通过逐步用溶剂来稀释挥发性组分,如以 1:3、1:9、1:27 的比例来逐步稀释,每次稀释后的样品再由 GC/O 来分析,直到 GC/O 不再检测到这种香味物质的存在则停止稀释;②强度法,芳香萃取物只注射 1 次,闻香师使用可变电阻器的移动,记录气味随时间变化的强度。

1987 年,德国 W. Grosch 教授及其研究小组通过对 Charm Analysis 的改进,发明了 AEDA 方法。①将香气提取物原液分别在两种不同极性的气相色谱柱(如极性的 DB-Wax 柱以及非极性的 DB-5 柱)上进行 GC/O 分析。一般将香气提取物原液在极性的 DB-Wax (或 DB-FFAP) 柱上进行

系列稀释吸闻,即 AEDA,找出所嗅出的气味活性化合物 (Odor-active compounds) 对所测食品的香气贡献程度,再将香气提取物原液在非极性的 DB-5 柱上进行 GC-O 分析。②根据公式,计算出每种嗅出物的 RI 值(在极性 DB-Wax 柱以及非极性的 DB-5 柱),根据有关资料,判断出每种化合物为何物。③在气质联机 (GC-MS) 上进行验证以及定量分析。选择几种该食品最有代表性的香气化合物组成标准溶液或模型系统 (Standard solution or model system),看看是否符合该食品的香气感觉,并在气相色谱上进行验证(所推断的化合物的 RI 值是否与标准化合物的 RI 值相符)。为了消除人的个体差异,该技术需要至少 3 人 (3 panelists) 的结果进行综合<sup>[17]</sup>。MICHAEL C. QIAN 使用 GC/O 和 AEDA 分析了我国的五粮液、剑南春和洋河大曲等名酒,研究认为酯类尤其是乙酸酯类是这些中国酒中的最重要的风味物质<sup>[18]</sup>。田怀香等通过 GC/O 法将金华火腿中的风味物质精简为 22 种比较重要的化合物<sup>[19]</sup>。

**2.6 电子鼻** 人类对人工嗅觉的研究,最早可追溯到 1961 年<sup>[20]</sup>。当时 Moncrieff 制成了一种机械式的气味检测装置。1964 年 Wilkens 和 Hatman 基于气味分子在电极上发生氧化还原反应的原理,建立了第一个人工嗅觉系统(也称电子鼻)。与气相色谱仪等普通化学分析仪器不同,电子鼻得到的不是被测样品中某种或某几种成分的定性和定量结果,而是样品中挥发成分的整体信息(指纹数据),它可以根据不同的气味测定不同的信号,还可以将这些信号与经训练后建立的数据库中的信号加以比较,进行判断识别,因而具有类似鼻子的功能<sup>[21]</sup>。

目前电子鼻应用较多的是果实的成熟度、新鲜度的鉴别、烟草的鉴别<sup>[22]</sup>。乔宇等首次在橙汁的鉴别中使用了电子鼻;张晓华等利用快速气相色谱 (GC-Flash) 型电子鼻对不同贮藏时间红星苹果的香气进行检测,并用传统的理化指标法进行了验证,结果表明基于化学计量学的电子鼻技术是一种新的检测和分析产品质量的好方法<sup>[23]</sup>。

食品风味物质因其固有的特点对分离分析技术提出了较高的要求,同时当前技术的进步也让研究的难度有所下降,促进了食品风味研究的发展。

#### 参考文献

- [1] 刘亚琼,朱运平,乔支红. 食品风味物质分离技术研究进展[J]. 食品研究与开发,2006,27(6):181-183
- [2] 王林祥,刘杨岷,王建新. 酱油风味成分的分离与鉴定[J]. 中国调味品,2005,1(1):45-47
- [3] 乔发东,马长伟. 宣威火腿加工过程中挥发性风味化合物分析[J]. 食品研究与开发,2006,27(3):24-26
- [4] 要萍,乔发东,闫红,等. 宣威火腿挥发性风味成分的分离与鉴定[J]. 食品科学,2004,25(2):146-150
- [5] SUSAN E EBELER, MICHAEL B TERRIEN, CHRISTIAN E BUTZKE. Analysis of brandy aroma by solid-phase microextraction and liquid-liquid extraction[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80: 625-630.
- [6] 窦宏亮,李春美,顾海峰,等. 采用 HS-SPME/GC-MS/GC-Olfactometry/RI 对绿茶和绿茶鲜汁饮料香气的比较分析[J]. 茶叶科学,2007,27(1):51-60.
- [7] GILLIAN FITZGERALD, KEVIN J JAMES, KEVIN MACNAMARA. Characterisation of whiskeys using solid-phase microextraction with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 896: 351-359.

实验室水平。

目前,关于光合细菌产氢主要存在以下几个问题。

(1) 影响光合细菌产氢的因素有很多,但各因素之间的相互作用以及产氢机制仍然有待进一步探索。

(2) 目前的研究仍停留在实验室阶段,要实现产业化有许多问题亟待解决,如廉价电子供体、反应器设计、大型培养的最适化等。

(3) 菌株本身的筛选。如何利用基因工程和诱变等手段筛选获得高效产氢菌株,使菌株的吸氢酶缺失,提高菌株的太阳能利用率等。

(4) 混合培养制氢技术是最具实际应用意义的产氢模式之一。新的分子微生态技术,为研究特定条件下微生物之间相互作用的基本方式、过程和机理提供了强有力的工具,对于混合培养制氢技术的研究具有重要的指导意义。

随着能源危机的进一步持续,美、德和日本等国相继制订了氢能发展规划。我国也把光合生物产氢研究纳入国家“863”计划和“973”计划。随着其研究及相关学科的迅速发展,光合生物产氢技术作为一种极具潜力的生物产氢技术必将走向应用化。

参考文献

[1] 吴永强,陈秉俭,仇哲. 浑球红假单胞菌在暗处发酵生长时的固氮酶、吸氢酶以及放氢机制的研究[J]. 微生物学通报,1991,18(2):71-75.

[2] 张明,史家梁. 光合细菌光合产氢机理研究进展[J]. 应用与环境生物学报,1999,5(S1):25-29.

[3] 刘如林,梁凤来,刁虎欣,等. 光合细菌及其应用[M]. 北京:中国农业科技出版社,1991.

[4] 丁福臣,易玉峰. 制氢储氢技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.

[5] 朱核光,史家梁. 生物产氢技术研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(1):98-104.

[6] 曾定. 固氮生物学[M]. 厦门:厦门大学出版社,1987.

[7] 吴永强,宋鸿遇. 光合细菌固氮分子生物学研究进展[J]. 植物生理学通讯,1991,27(3):161-168.

[8] GEST H. Energy conversion and generation of reducing power in bacterial photosynthesis[J]. Arch Microbial Physiol,1972,7:241-282.

[9] ASHOK K, KUMAR H D. Tungsten-induced inactivation of molybdoenzymes in Anabaena[J]. Enzymology,1980,613(1):244-248.

[10] ZHANG Y P, BURRIS R, LUDDEN P, et al. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense* [J]. Protein Structure and Molecular Enzymology, 1982,700(2):213-216.

[11] 吴永强,陈秉俭,朱美珍. 丙酮酸对浑球红假单胞菌突变株(GOGAT-Ni)固氮酶活性的调节[J]. 植物生理学报,1993,18(3):285-292.

[12] 计亮年,黄锦汪,莫庭焕,等. 生物无机化学导论[M]. 广州:中山大学出版社,1992.

[13] OOSHIMA H, TAKAKUWA S, KATSUDA T, et al. Production of hydrogen by a hydrogenase-deficient mutant of *Rhodobacter capsulatus* [J]. Fermentation and Bioengineering,1998,85(5):470-475.

[14] PIERRARD J, WILLISON J C, VIGNAIS P M, et al. Site-directed mutagenesis of the target arginine for ADP-ribosylation of nitrogenase component II in *Rhodobacter capsulatus* [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications,1993,192(3):1223-1229

[15] HUSTADE E, STEINBUCHER A, SCHLEGEL H G. Relationship between the photoproduction of hydrogen and the accumulation of PHB in non-sulfur bacteria [J]. Appl Microbiol Biotechnol,1993,39:87-94

[16] VASLYEVA L, MIYAKE M, KHATIPPOV E, et al. Enhanced hydrogen production by a mutant of *Rhodobacter sphaeroides* having an altered light-harvesting system [J]. Bioscience and Bioengineering, 1999,87(5):619-624.

[17] 刘双江,杨惠芳,周培瑾. 固定化光合细菌处理豆制品废水产氢研究[J]. 环境科学,1995,16(1):42-44.

[18] ZHU H G, SUZUKI T, TSYGANKOV A A, et al. Hydrogen production from tofu wastewater by *Rhodobacter sphaeroides* immobilized in agar gels [J]. Hydrogen Energy,1999,24:305-310.

[19] 袁权. 能源化学进展[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[20] HOEKEMA S, BIJMANS M, JANSSEN M, et al. A pneumatically agitated flat-panel photobioreactor with gas re-circulation: anaerobic photo-heterotrophic cultivation of a purple non-sulfur bacterium [J]. Hydrogen Energy,2002,27(11/12):1331-1338.

[21] NCI EROGLU, KADIR ASLAN, UFUK GUNDUZ, et al. Substrate consumption rates for hydrogen production by *Rhodobacter sphaeroides* in a column photobioreactor [J]. Progress in Industrial Microbiology,1999,35:103-113.

[22] MIYAKE J, MAO X Y, KAWMURA S, et al. Hydrogen photoproduction from glucose by a co-culture of a photosynthetic bacteria and *Clustidium butyricum* [J]. Ferment Technol,1984,62(6):531-535

[23] ZHU H G, MIYAKEL J, TSYGANKOV A A, et al. Hydrogen production from highly concentrated organic wastewater by photosynthetic bacteria [J]. Appl Microbiol Biotechnol,1985,23:147-151.

[24] ZHU H G, MIYAKE J, TSYGANKOV A A, et al. Hydrogen production from highly concentrated organic waste water by photosynthetic bacteria and anaerobic bacteria [J]. Water Treatment,1995,10:61-68.

(上接第 465 页)

[8] 王丽霞,钟海雁,袁列江. 固相微萃取法提取果汁香气的影响因素及萃取条件的优化[J]. 安徽农业科学,2006,34(15):3787-3788.

[9] 张岚,李连元,李淑敏,等. 固相微萃取检验技术应用及影响因素分析[J]. 中国公共卫生,2005,21(6):746-747.

[10] LIU Y, XU X L, ZHOU G H. Comparative study of volatile compounds in traditional Chinese Nanjing marinated duck by different extraction techniques [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42:543-550.

[11] 卢晓旭,曲翔,黄雪松. GC-MS 法分析黄皮核超临界二氧化碳提取物的风味成分[J]. 中国调味品,2007(11):62-64.

[12] 乔宇,谢笔钧,柴倩. 血橙果实香气成分的气相色谱-质谱分析[J]. 质谱学报,2008,29(1):1-4.

[13] 回瑞华,侯冬岩,李铁纯,等. 紫丁香叶挥发性化学成分季节性变化的 GC/MS 研究[J]. 质谱学报,2008,29(1):18-21.

[14] 周海燕,乔宇,潘思秩. 锦橙和官川果汁香气成分比较研究[J]. 食品科学,2007,28(1):291-295.

[15] 黄友如,裘爱泳,华欲飞,等. 大豆分离蛋白风味物质的气相色谱-质

谱分析[J]. 分析化学,2005,33(3):389-391.

[16] 夏玲君,宋焕禄. 香味检测技术——GC/O 的应用[J]. 分析与检测,2006,32(1):83-88

[17] 宋焕禄. 食品风味分析技术研究进展[J]. 北京工商大学学报:自然科学版,2006,24(1):1-4.

[18] FAN W L, QIAN M C. Characterization of aroma compounds of chinese “Wuliangye” and “Jiannanchun” liquors by aroma extract dilution analysis [J]. Agricultural and Food Chemistry,2006,54:2695-2704.

[19] 田怀香,王璋,许时婴. GC-O 法鉴别金华火腿中的风味活性物质[J]. 食品发酵与工业,2004,30(12):117-119.

[20] GARDNER J W, BARTLETT N. A brief history of electronic nose [J]. Sensors and Actuators B,1994(18/19):211-220.

[21] 刘亨利,胡国清. 电子鼻的应用综述[J]. 传感器世界,2007,13(8):6-9.

[22] 高大启,吴守一. 人工嗅觉研究进展及其在食品香气评定中的应用展望[J]. 农业机械学报,1998,29(4):167-169.

[23] 张晓华,常伟. 电子鼻技术对苹果贮藏期的研究[J]. 现代科学仪器,2007(6):120-123