

分子感官科学

宋焕禄◎著



科学出版社

分子感官科学

宋焕禄 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统介绍了分子感官科学的相关概念（包括与感官有关的神经生物学、感官分析科学、气味分子、滋味分子等）、实现技术（如提取技术、分离纯化技术、检测技术、定性技术和定量技术等）和应用实例，并汇总综述了近年来应用分子感官科学所取得的最新研究成果。

本书可以作为食品科学工程专业、农产品加工专业、烹饪专业及应用化学专业等相关专业本科生、研究生的教材和参考书，同时也是食品科研人员和从业人员的一本参考书籍。

图书在版编目 (CIP) 数据

分子感官科学 / 宋焕禄著. —北京: 科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-041154-9

I. ①分… II. ①宋… III. ①食品感官评价-研究 IV. ①TS207.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 130386 号

责任编辑: 张 斌 / 责任校对: 柏连海
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 多边形数

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 400 000

定价: 52.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

食品讲究色香味形,香气、滋味是食品重要的品质指标。物质决定存在,嗅觉、味觉的感知正是由于气味物分子、滋味物分别与鼻腔上黏膜细胞蛋白受体、舌头上的味蕾作用,通过一系列的神经传递,最后经大脑加工得出的,风味化合物分子的结构与功能对嗅觉及味觉至关重要。食品风味化学就是研究食品风味(气味、滋味、触觉等)的科学,从而揭示风味物质的化学本质,为食品的加工储藏等过程中的品质控制提供科学依据。

食品感官分析是以人的感觉为基础,通过感官评价食品的各种属性后,再经统计分析而获得客观结果的试验方法,是食品科学领域的一个重要分支,简易可行,但是这种方法无法了解蕴藏在食品风味背后深刻的化学本质。德国慕尼黑理工大学分子感官科学实验室的风味化学家 Peter Schieberle 教授近年来提出了分子感官科学的概念,它的核心内容是在分子水平上定性、定量和描述风味,对食品的风味进行全面深入的剖析,后来该实验室的继任主任 Thomas Hofmann 教授应用分子感官科学技术又对食品中的滋味活性物化合物进行了一系列高水平的研究。经过多年发展,分子感官科学已成为食品风味分析中顶级的系统应用技术。

在食品中应用分子感官科学的概念,可以在分子水平上解释、预测和开发感官现象,研究食品的风味,使其由一种“混沌理论”变为一种清晰的可认知的科学理论。还可以为系统地研究食品感官的品质内涵、理化测定技术、工艺形成、消费嗜好等食品科学和消费科学等基本问题提供数据基础。

早期由于仪器检测水平有限、感官鉴评手段的不全面等因素,分子感官科学的实现面临着很大的困难。随着技术的发展和研究水平的不断深入,食品中风味分子的全面分析逐渐得以实现。但是,迄今为止,国内外还没有一本对分子感官科学进行全面系统介绍的参考书籍。因此,笔者在充分了解国内外风味分析领域发展前沿的前提下,参考了大量的国内外文献资料,结合自身多年食品风味分析方面的工作经验和科研成果,精心组织编写了本书。本书从相关概念、实现技术、应用实例等方面全面地对分子感官科学进行了构思和介绍,内容新颖、举例实用,可为食品风味研究人员和从业人员提供最前沿的研究思想和新的研究思路。

本书是北京工商大学分子感官科学实验室集体创作的结晶。本书编写分工如下:第一章,宋焕禄、刘建彬;第二章,宋焕禄;第三章,刘建彬;第四章,何聪聪、宋焕禄、刘建彬、鲁锐;第五章,刘梦娅、张亚、李泽仟;第六章,宋焕禄。

本书的出版得到了北京工商大学的经费支持,在此表示感谢。

由于作者水平有限,本书难免会有不足之处,恳请读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 分子感官科学的内涵	1
1.2 分子感官科学的实现技术	2
1.3 分子感官科学的研究进展	8
1.3.1 气味活性化合物的鉴定	8
1.3.2 滋味活性化合物的研究	12
1.4 分子感官科学的意义	13
参考文献	14
第2章 与感官有关的神经生理学	16
2.1 嗅觉的神经生理学	16
2.1.1 鼻子、受体及其与大脑的连接	16
2.1.2 嗅觉受体识别气味分子的机制	17
2.1.3 常规嗅闻 (orthonasal smelling) 与鼻后嗅闻 (retronasal smelling)	18
2.2 味觉的神经生理学	22
2.2.1 基本味觉	23
2.2.2 最新研究进展	28
参考文献	29
第3章 感官分析科学	30
3.1 感官分析条件的构建	31
3.1.1 感官鉴评人员的选择	31
3.1.2 人员的训练	32
3.1.3 标准的制定	33
3.2 感官鉴评方法	39
3.2.1 香气提取物稀释分析 (AEDA)	39
3.2.2 滋味稀释分析 (TDA)	40
3.2.3 比较滋味稀释分析 (cTDA)	45
3.2.4 重组实验	46
3.2.5 消除实验	63
3.2.6 知觉阈值, 风味活度值	69
3.2.7 人体剂量-反馈实验 (dose/response experiment)	72
3.2.8 半舌测试法 (half-tongue testing)	73
3.2.9 时间-强度实验 (time intensity experiment)	73
参考文献	74

第4章 分子的科学	76
4.1 气味分子	76
4.1.1 水果香型活性化合物	76
4.1.2 乳制品及乳香型活性化合物	101
4.1.3 肉香型活性化合物	122
4.1.4 烤制食品及烤香型化合物	134
4.1.5 酸香型活性化合物	139
4.2 滋味分子	140
4.2.1 甜味分子	140
4.2.2 酸味分子	143
4.2.3 咸味分子	144
4.2.4 苦味分子	145
4.2.5 鲜味分子	148
4.2.6 新型滋味分子	149
4.3 分子的形成	179
4.3.1 气味活性化合物的形成	180
4.3.2 滋味活性化合物的形成	182
4.4 分子的释放	184
4.4.1 基质效应	184
4.4.2 味感效应	185
4.5 分子的行为	186
参考文献	187
第5章 分子感官科学实现技术	193
5.1 气味提取物的制备	193
5.1.1 顶空制样技术	193
5.1.2 溶剂提取技术	209
5.2 气味活性化合物的检测	215
5.2.1 气相色谱 (GC)	215
5.2.2 气-质联用 (GC-MS) 技术	216
5.2.3 气相色谱-嗅闻 (GC-O) 检测技术	216
5.3 气味活性化合物的定量技术	218
5.3.1 内部标准半定量法	219
5.3.2 外部标准定量法	220
5.3.3 稳定同位素稀释分析法	221
5.4 滋味活性化合物的分离	225
5.4.1 滋味活性化合物的制备	225
5.4.2 超滤技术	225
5.4.3 凝胶色谱分离技术	226
5.4.4 高效液相色谱分离技术	227

5.5 滋味活性化合物的定性	231
5.5.1 液相色谱-质谱联用	231
5.5.2 核磁共振技术	233
5.6 滋味活性化合物的定量	234
5.6.1 糖类化合物的检测技术	234
5.6.2 有机酸的检测技术	234
5.6.3 无机呈味离子的检测技术	235
5.6.4 呈味核苷酸的检测技术	235
5.6.5 呈味氨基酸的检测技术	236
5.6.6 肽的检测技术	237
参考文献	238
第6章 分子感官科学应用实例	241
6.1 美国乡村火腿挥发成分分析	241
6.2 北京烤鸭挥发成分分析	248
6.3 牛肉香精分析	256
参考文献	260

第1章 绪 论

1.1 分子感官科学的内涵

物质决定存在，分子决定感官。但只有少数风味分子对食品的风味起着重要的作用。

食品感官科学是应用现代多学科理论与技术的交叉手段，系统研究食品感官品质的内涵、分析评价理论与方法、理化测定技术、工艺形成、消费嗜好等食品科学和消费科学基本问题的学科，是现代食品科学中最具特色的学科之一。食品感官评价是人们对食品品质（如：色香味形）的综合判断，但并不知晓是哪些分子导致了这样的结果。若是从分子层面去考虑，研究会更深入，更有意义。例如，1953年DNA双螺旋结构的提出，生物学从此发展到了分子层面的分子生物学，接着分子遗传学、分子发育学等又相继出现，在过去的60多年中已极大地影响了生命科学的研究，使之在更大的深度和广度上迅猛发展。近年来营养学也走向了营养基因组学（nutrigenomics），国际上呈现出了感官科学快速向分子感官科学发展的趋势。

分子感官科学这一概念是德国慕尼黑理工大学的风味化学家 Peter Schieberle 教授近年来提出的，他运用此概念成功地剖析了日本龟甲万酱油、法国 *Prunus ameniaca* 杏子中的关键香气化合物，为产品的生产储藏过程中的质量控制提供了科学依据。其产生的背景是气-质联用（GC-MS）技术诞生以来，各种食品中的挥发物被鉴定出来的已有8000余种，而气相色谱-嗅闻（GC-O）、香气提取物稀释分析（aroma extract dilution analysis, AEDA）、GC-MS、稳定同位素稀释分析（stable isotope dilution analysis, SIDA）等技术的结合，又进一步对食品中关键气味活性化合物进行了准确地定性定量及重要性排序；随后的香气模型（aroma model）及消除实验（omission experiments）的实施，筛选出了与食品香气轮廓非常相似的香气重组物（aroma recombine），从分子层面揭示了食品特征气味的化学本质。近年来，食品科学家应用反相液相色谱（RP-HPLC）、液相色谱-串联质谱（HPLC-MS/MS）、核磁共振（NMR）等技术，结合感官评定，对样品中的滋味活性化合物准确的定性定量分析，探索了一些食品中苦味、酸味、鲜味（umami）、浓厚味（kokumi）等分子基础，也将感官科学推向了分子层面。

分子感官科学是分析化学、感官鉴评科学多学科交叉的系统科学。它的核心内容是在分子水平上定性、定量和描述风味，精确构建食品的风味重组物（flavor recombinant）。这种“重组物”是指将最为重要的是风味化合物以精确的浓度添加重组来构建与原样品几乎相同的风味。以气味物质分析为例：在食品中气味物质提取分离分析的每一步，将仪器分析方法与人类对气味的感觉相结合，最终得到已确定成分的气味重组物，即气味化合物与人类气味受体（smell receptor，如嗅觉上皮细胞）作用，在人类大脑中形成了食品气味的印象。分子感官科学也称为感官组学（sensomics），德国食品化学研究中

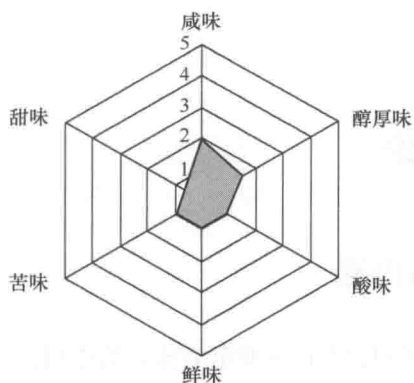


图 1-1 干酪滋味重组物（黑色）
与原样品（灰色）的感官差异

心在该领域成果突出。应用此概念和技术手段，食品风味学家成功地对干酪滋味、油菜花蜜的气味等数百种食品的滋味和气味进行了模拟（图 1-1 和图 1-2）。本概念另外一个重要内容就是对风味物质的评价，将食品中的风味特征（如气味中的蘑菇香、焦糖香等，滋味中的甜味、鲜味等）与食品中的风味物质（如气味化合物 1-辛烯-3-酮、呋喃酮等，滋味中的蔗糖、谷氨酸钠等）的映射关系建立起来。这包括风味物质的鉴定、感知阈值的确定、对整体风味的影响力的评定及它们之间交互关系的描述等。要实现这些，唯一可行的手段就是将仪器分析的方法与人类对物质的感觉结合起来。这也是应用分子感官科学的概念来分析食品，对食品感官品质进行评价的突出特点。

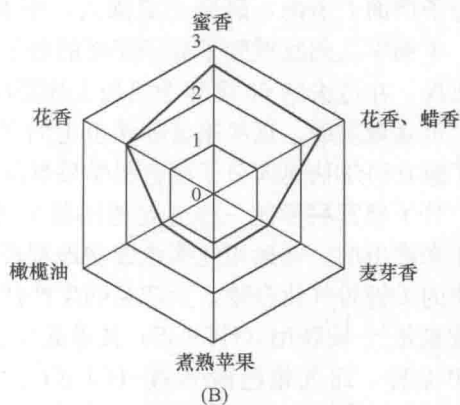
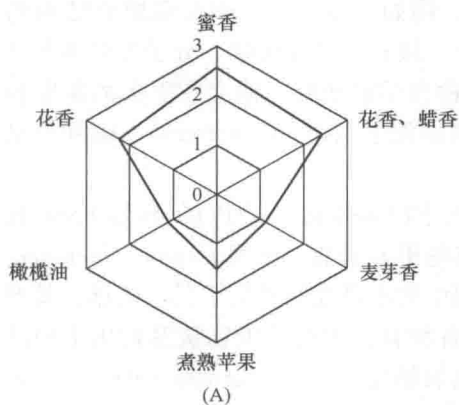


图 1-2 油菜花蜜的气味轮廓 (A) 与气味重组物 (B) 的感官比较

1.2 分子感官科学的实现技术

在过去的几十年，包括分离技术、检测技术的多种分离分析技术在食品风味物质鉴定中得到了发展和应用。如挥发性化合物的分离技术中的同时蒸馏萃取（SDE）、搅拌棒吸附萃取（SBSE）、固相微萃取（SPME）、溶剂辅助风味蒸发（SAFE）；不挥发性化合物分离技术中的超滤（UF）、凝胶过滤色谱（GFC）、高效液相色谱（HPLC）、亲水作用色谱（HILIC）等。仪器检测技术为风味活性化合物的痕量检测和定量提供了可能，尤其是气相色谱-质谱联用（GC-MS）、液相色谱-质谱联用（LC-MS）的发明和日趋成熟的应用。更有人-机结合鉴定风味化合物的典型技术——气相色谱-嗅闻（GC-O）技术的发明，是风味化合物感官介入直接鉴定技术的里程碑。其他技术如紫外光谱（UV）、红外光谱（IR）、核磁共振（NMR）等技术为复杂非挥发物的结构鉴定提供了有力的手段。这些技术可以有效地对食品中的挥发性/非挥发性物质进行定性及定量分析。

在色谱技术中，常用的定量分析方法有内标法和外标法。前者可以对所测定的化合物进行半定量分析，操作方便；后者可以相对精确定量，但操作繁琐。为了对风味活性化合物进行精确定量，分析化学家发明了一种被称为稳定同位素稀释分析（SIDA）的技术。这是应用放射性同位素（或稳定同位素）进行化学分析的一种方法，结合质谱技术，可以实现对风味化合物尤其是容易造成含量损失的挥发性气味活性化合物进行精确定量。同样是应用同位素技术，1923 年 Hevesy 发明的同位素示踪法为食品中基本化合物向风味化合物的形成路径的研究提供了可能。同位素示踪法是利用放射性核素作为示踪剂对研究对象进行标记的微量分析方法。在此基础上，风味化学家又发明了碳水化合物模块标签标记法（CAMOLA），对参与风味化合物合成的潜在化合物的碳骨架进行同位素标记，这种方法已经成为研究风味化合物形成途径的重要技术手段。有关分子感官科学涉及的分离分析技术和手段的归纳见表 1-1。

表 1-1 分子感官科学涉及的分离分析技术和手段

分离技术	同时蒸馏提取（SDE）
	搅拌棒萃取（SBSE）
	固相微萃取（SPME）
	溶剂辅助风味蒸发（SAFE）
	超滤（UF）
	凝胶过滤色谱（GFC）
	高效液相色谱（HPLC）
	气相色谱（GC）
分析技术	质谱（MS）
	紫外光谱（UV）
	核磁共振谱（NMR）
	红外光谱（IR）
	气相色谱-嗅闻（GC-O）
	稳定同位素稀释分析（SIDA）
	碳水化合物模块标签标记法（CAMOLA）
	内标法
	外标法

食品中的风味物质有着独有的、特别的性质，在众多化合物特别是挥发性化合物中，风味化合物尤其是重要的关键性风味化合物只是极少的一部分。对食品风味工作者而言，只有这些物质才是令人感兴趣的，是值得去鉴定、描述的。

橄榄油具有独特而美妙的气味，这种气味是由数种挥发性化合物组合而得到的，应用 GC-MS 技术，食品化学家从橄榄油中发现了大量的挥发性物质，包括醛类、醇类、酯类、烃类、酮类、呋喃类和其他化合物（图 1-3）。但是，这些化合物中大部分是对橄榄油的整体气味不具有贡献的（表 1-2）。

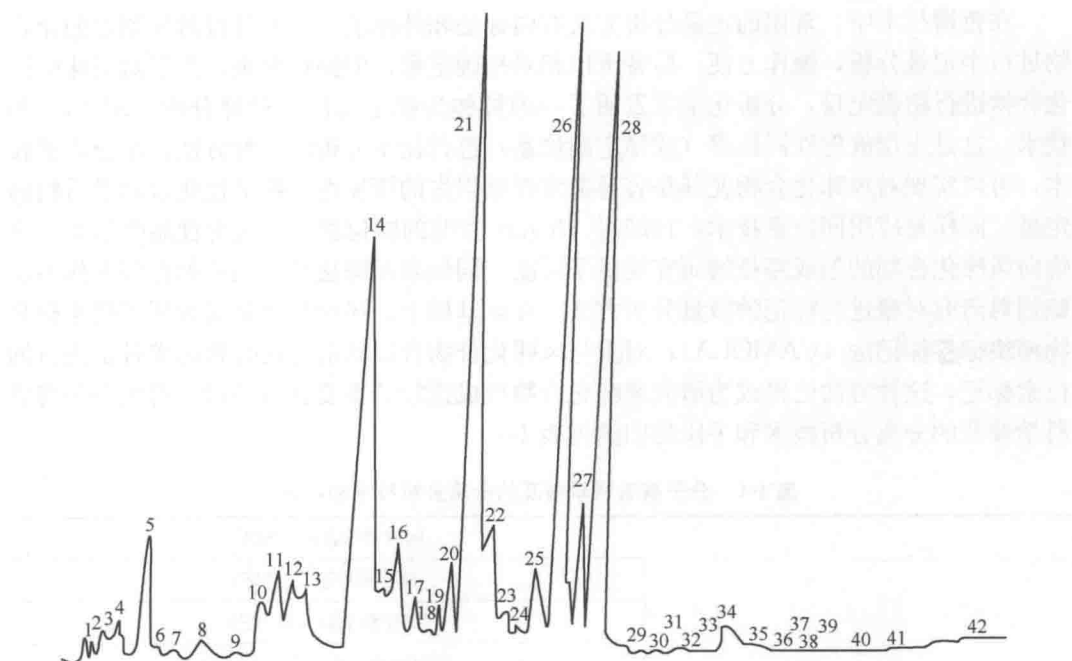


图 1-3 橄榄油 GC 色谱图

表 1-2 橄榄油 GC 峰的气味特征 (GC-O)

峰编号	气味	峰编号	气味
1	无气味	22	杂醇气息
2	无气味	23	果香
3	辛香	24	辛香
4	无气味	25	果香
5	无气味	26	无气味
6	无气味	27	无气味
7	醚样香气	28	脂香
8	无气味	29	果香
9	无气味	30	果香, 花香
10	辛香	31	果香
11	辛香	32	杏仁香
12	无气味	33	面包香
13	无气味	34	无气味
14	果香	35	果香
15	叶子香	36	无气味
16	无气味	37	无气味
17	草香	38	无气味
18	草香	39	无气味
19	橄榄香	40	熟橄榄气味
20	辛香	41	无气味
21	无气味	42	无气味

对酸奶样品的挥发性化合物进行气相色谱分析，发现 100 多种化合物，包括碳基化合物、醇类、酸类、酯类、烃类、芳香族化合物、含硫化合物和杂环化合物。但经过 GC-O 鉴定，仅有有机酸类、乙醛、双乙酰、乙偶姻及 2-丁酮对酸乳典型的气味具有贡献（表 1-3），初步被认为是该食品的重要气味活性化合物。

表 1-3 从酸乳中鉴定的挥发性化合物

化合物分类				
碳基化合物	醇类	含硫化合物	杂环化合物	芳香族化合物
乙醛	甲醇	二甲基硫醚	呋喃	苯
丙酮	乙醇	二甲基二硫醚	糠醛	甲苯
丙醛	1-丙醇	二甲基三硫醚	2-甲基呋喃	乙苯
2-羟基苯丙酮	2-丙醇	S-硫代乙酸甲酯	2-戊基呋喃	1,2-二甲苯
丁醛	1-丁醇	甲硫基丙醛	2-呋喃甲醇	1,3-二甲苯
2-丁酮	2-丁醇	四甲基硫脲	吡嗪	1,4-二甲苯
双乙酰	2-甲基-1-丙醇	含氮化合物	甲基吡嗪	苯乙烯
乙偶姻	环丁醇	N,N-二甲基甲酰胺	吡咯	丙苯
2-甲基丁醛	1-戊醇	乳酸胺	1-甲基吡咯	
3-甲基丁醛	3-戊醇	N-乙基-苯胺	2-甲基-四氢呋喃-3-酮	
2-甲基-2-丁烯醛	1-戊基-3-醇	烃类	2-甲基噻吩	
2-戊酮	3-甲基-2-丁醇	庚烷	2-甲基-四氢呋喃噻吩-3-酮	
3-戊基-2-酮	3-甲基丁醇	甲基环己烷	苯并噻唑	
2-羟基-3-戊酮	戊基-2-酮-4-醇	壬烷	甲基-2-哌啶	
2,3-戊二酮	3-甲基-3-环己烯醇	十一烷	糠醇	
己醛	2-乙基己醇		1,2-2H-2,2,4-三甲基噻啉	
2-己酮	2-丁基辛醇		2,3,-2H-1,3,3-三甲基-1H-吡啶	
3-己酮	愈创木酚		萜烯类	
庚醛	酸类		L-柠檬烯	
2-庚酮	乙酸			
3-庚酮	丙酸			
辛醛	丁酸			
3-辛酮	2-甲基丙酸			
1-辛烯-3-酮	戊酸			
1-壬烯-3-酮	异戊酸			
壬醛	己酸			
十一醛	庚酸			
2-十一酮	辛酸			
2-十二酮	壬酸			
2-十五酮	癸酸			
γ-十二内酯	苯甲酸			
δ-十二内酯	酯类			
苯甲醛	甲酸甲酯			
苯乙醛	乙酸甲酯			
	乙酸乙酯			
	丁酸乙酯			
	邻苯二甲酸酯			

食用奶油中有 230 多种挥发性化合物被发现，但是其中只有极少的化合物对奶油的整体气味具有重要的作用。经 GC-O 鉴定，也只鉴定出 18 种重要气味活性化合物（图 1-4）。

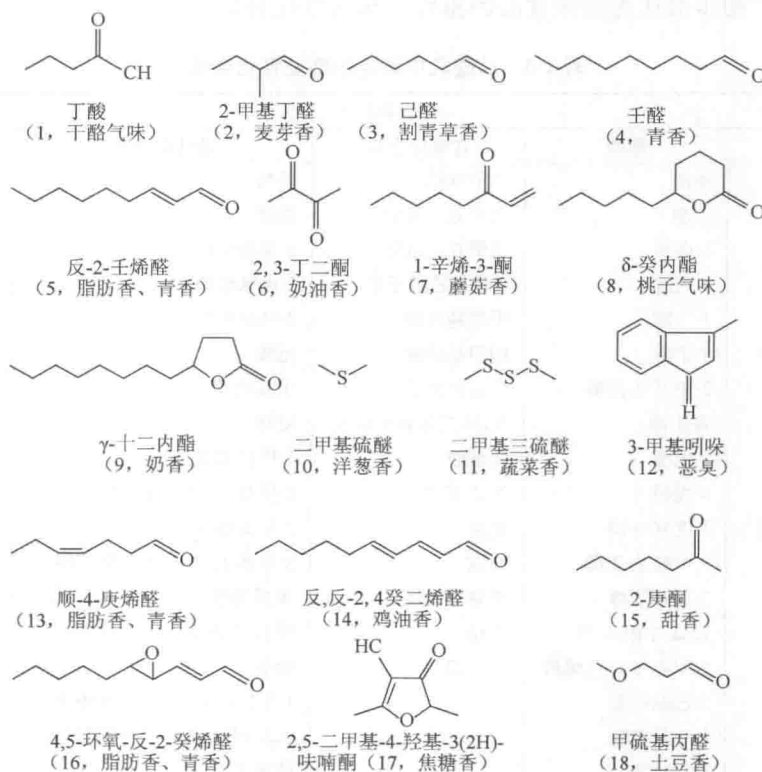


图 1-4 奶油中的关键气味活性化合物

在食品里的气味活性化合物中，有一些化合物对该食品的气味具有非常重要的贡献，以至于缺少该化合物会导致该食品整体气味轮廓发生巨大改变，这些化合物被称为关键气味活性化合物（key odor-active compounds）。前文酸奶中的有机酸类、乙醛、双乙酰、乙偶姻和 2-丁酮及食用奶油中的 18 种重要气味活性化合物都被认为是潜在的关键气味活性化合物。在气味活性化合物中，关键气味活性化合物的数量进一步大大减少（图 1-5）。

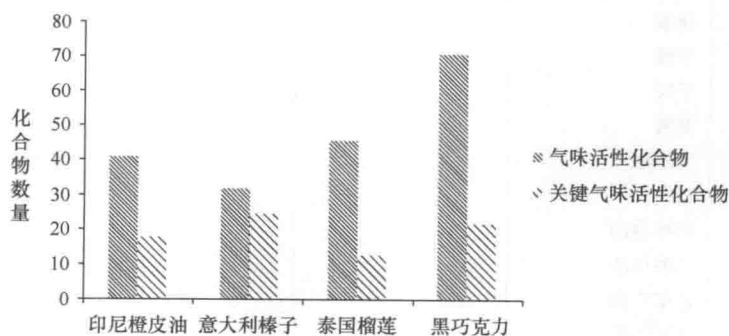


图 1-5 几种食品气味提取物的气味化合物/关键气味活性化合物数量

非挥发性化合物中，对食品滋味具有贡献的化合物占整个化合物数量的比例是非常小的。即使是同一种分子，旋光性、官能团连接位置的变化也会对该分子的滋味活性产生很大的影响。

近年来，肽类被广泛鉴定为对食品的鲜味和浓厚味具有重要的影响，多种肽类尤其是谷氨酰寡肽被鉴定为食品浓厚味的关键滋味活性化合物。然而，多个报道指出，即使是同一种谷氨酰寡肽分子，也只有 γ -L-谷氨酰寡肽对浓厚味有着关键的作用，而 α 结构的谷氨酰寡肽对浓厚味所起的作用却很小（图 1-6、表 1-4）。

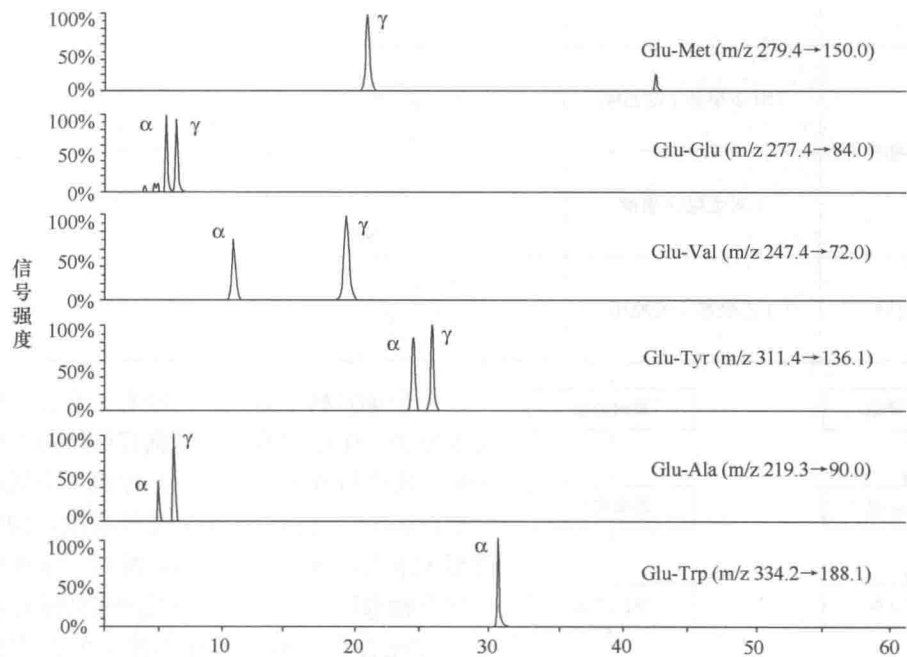


图 1-6 Gouda 干酪中 α -L-谷氨酰寡肽和 γ -L-谷氨酰寡肽的总离子流色谱图（TIC）

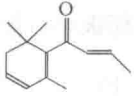
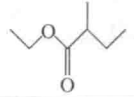
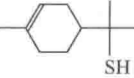
表 1-4 去除 α 或 γ -L-谷氨酰寡肽对 Gouda 干酪重组物的浓厚味和鲜味强度的影响

测试组	感官效果
缺乏 α -L-谷氨酰寡肽和 γ -L-谷氨酰寡肽	浓厚味：3.8→2.0 鲜味：2.0→1.7
缺乏 α -L-谷氨酰寡肽	浓厚味：3.8→3.6 鲜味：2.0→1.8
缺乏 γ -L-谷氨酰寡肽	浓厚味：3.8→2.3 鲜味：2.0→1.8

更为重要的是，大部分风味化合物在食品中的含量及其感官作用阈值都很低，但却对食品的品质具有非常重要的作用（表 1-5）。如气味化合物中的（E）- β -大马烯酮，在蜂蜜中的浓度只有 $6\mu\text{g/L}$ ，但其极低的嗅觉阈值（ $0.01\mu\text{g/L}$ ）使其对蜂蜜的整体气味具有非常重要的贡献；1-对孟烯-8-硫醇因具有极低的嗅觉阈值（ $0.0001\mu\text{g/L}$ ）而对葡萄柚汁的气味具有重要影响。滋味活性物质中，表儿茶素在 $800\mu\text{mol/L}$ 的浓度下对烤

可可粉提取液的苦味具有重要作用，而一系列的 γ -谷氨酰二肽在 $0.12 \sim 60.65 \mu\text{mol/kg}$ 的浓度水平下就对切达干酪的浓厚味起到了重要的作用。而且，风味物质之间有着很强的相互作用，各个物质相互协同、拮抗、变调构建了食品复杂的风味特征。

表 1-5 几种食品中关键气味活性化合物的浓度和嗅觉阈值

样品	化合物名称	结构式	浓度/ $(\mu\text{g/L})$	嗅觉阈值/ $(\mu\text{g/L})$
蜂蜜	(E)- β -大马烯酮		6	0.01
葡萄柚汁	(S)-2-甲基丁酸乙酯		3.9	0.006
	1-对孟烯-8-硫醇		0.01	0.0001
可可液	2-乙酰基-1-吡咯啉		5.9	0.1

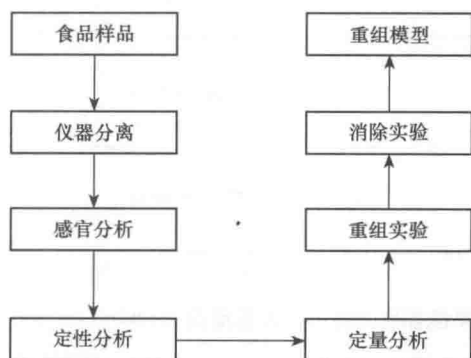


图 1-7 分子感官科学的实现

分子感官科学的概念已经有一套相对成熟的实现方法。应用仪器和人体感官结合对关键的风味化合物进行鉴定、定量后，按照各个风味化合物在食品中“自然”的浓度进行重组，构建风味模型重组物，进行消除实验，按照一定顺序对风味化合物进行一一排除，经过严密的感官鉴评实验对该化合物对整体风味的轮廓的影响进行评价。经过多轮实验后，以最少数量的化合物、最精准的含量对原食品的风味轮廓进行重构，达到透彻分析食品风味化合物组成的目的（图 1-7）。

1.3 分子感官科学的研究进展

1.3.1 气味活性化合物的鉴定

1. 对杏子的分析

应用 GC-O、AEDA、GC-MS 及 SIDA 等技术，P. Schieberle 等鉴定出 *Prunus ameniaca* 杏子中 γ -癸内酯、 β -大马烯酮、 δ -癸内酯和芳樟醇的 FD 因子（flavor dilution factor，风味稀释因子）最高。 β -紫罗酮、顺-1,5-辛二烯-3-酮、 γ -癸内酯、顺，反-2,6-壬二烯醛、芳樟醇和乙醛的 OAV（odor activity value，气味活性值）值最高（ >100 ）。图 1-8 显示了应用分子感官科学技术得出的杏子气味重组物与杏子本身的气味轮廓十分接近，即用少数关键气味物就能够很好地模拟出原样品的香气特征，从分子层面上揭示了该样品

气味的化学本质。

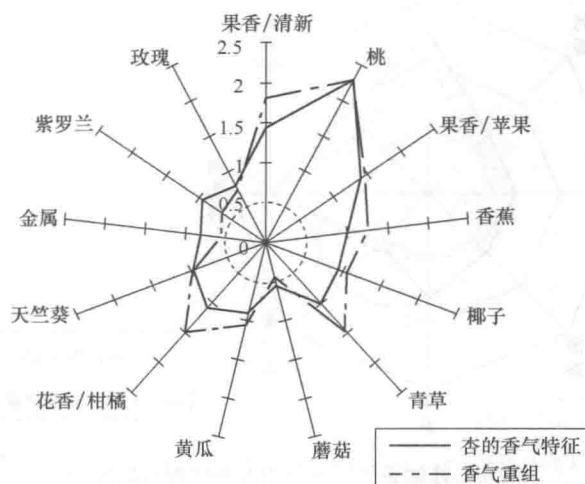


图 1-8 杏的香气特征分析及香气重组

2. 对酱油的分析

应用 GC-O、AEDA、GC-MS 及 SIDA 等技术, P. Schieberle 等对日本龟甲万酱油进行了深入分析, 鉴定出 2-苯乙醇的 FD 因子最高, 为 4096, 接下来是 3-甲硫基丙醛、4-羟基-5-乙基-2-甲基或 5-甲基-3(2H)-呋喃酮、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮和 3-羟基-4,5-二甲基-2(5H)-呋喃酮, FD 为 1024。3-羟基-4,5-二甲基-2(5H)-呋喃酮 3-甲基丁醛 (麦芽味)、3-羟基-4,5-二甲基-2(5H)-呋喃酮 (调味品味)、4-羟基-5-乙基-2-甲基或 5-甲基-3(2H)-呋喃酮 (焦糖味)、2-甲基丁醛 (麦芽味)、3-甲硫基丙醛 (煮土豆味)、乙醇 (醇味)、2-甲基丙酸乙酯 (水果味) 的 OAV 值最高 (≥ 200)。图 1-9 显示了应用分子感官科学技术得出的酱油气味重组物与酱油本身的气味轮廓十分接近。

3. 桃子、梨中关键香气成分的鉴定及相关香精的开发

用气相色谱-嗅闻 (GC-O) 技术如 Charm Analysis、核磁共振 (NMR) 技术等, 日本科研人员分别从白桃、梨 (La France) 的挥发物中鉴定出顺-6-烯- γ -十二碳内酯 [(Z)-6- γ -dodecen-4-olide] 和 3-甲基-顺-5-烯- γ -癸内酯 [3-methyl-(Z)-5- γ -dodecen-4-olide] 是白桃的关键香气成分, 而顺-2-辛烯酸乙酯 [(Z)-2-octenyl acetate] 和顺-5-辛烯酸乙酯 [(Z)-5-octenyl acetate] 则是梨的关键香气成分。根据上述研究结果, 科研人员较成功地开发了相关香精。图 1-10 和图 1-11 分别是白桃、法国梨的挥发物的 FID 和 GC-O 图谱, 稀释值 (DV) 越高则其对该食品的香气轮廓的贡献度就越大, 峰面积大的化合物则不一定稀释值高。由图可以看出 GC-O 技术对关键香气成分的确定非常重要, 从分子层面确定了这些物质的风味本质。

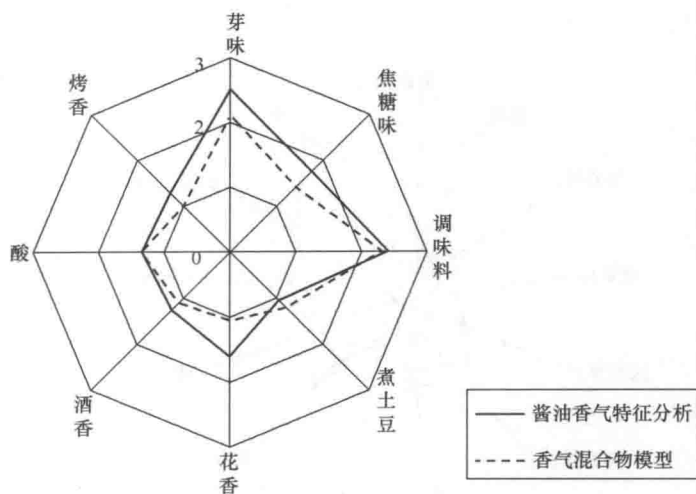


图 1-9 酱油香气特征分析及香气混合物模型

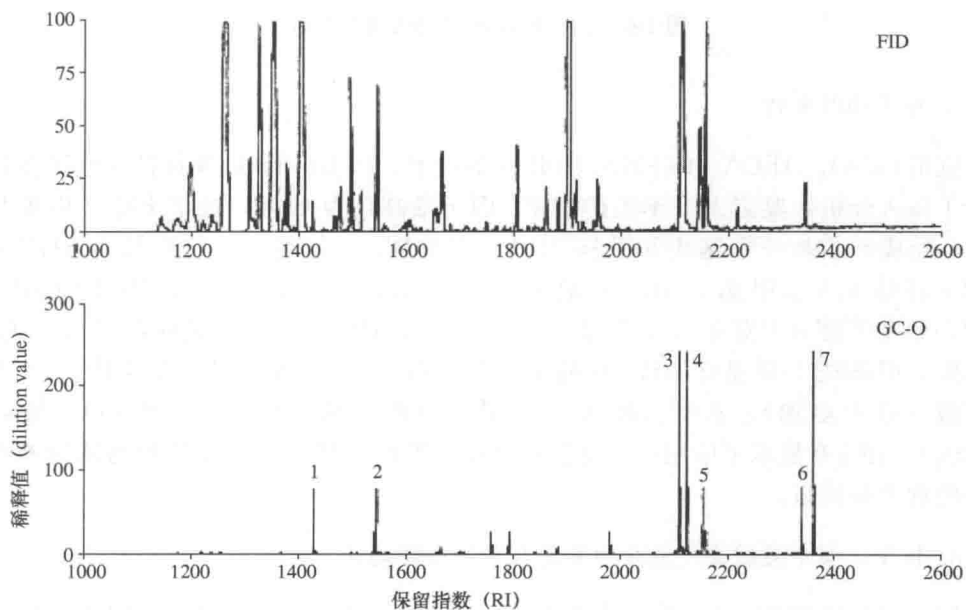


图 1-10 白梨挥发物的气相色谱及香气图谱

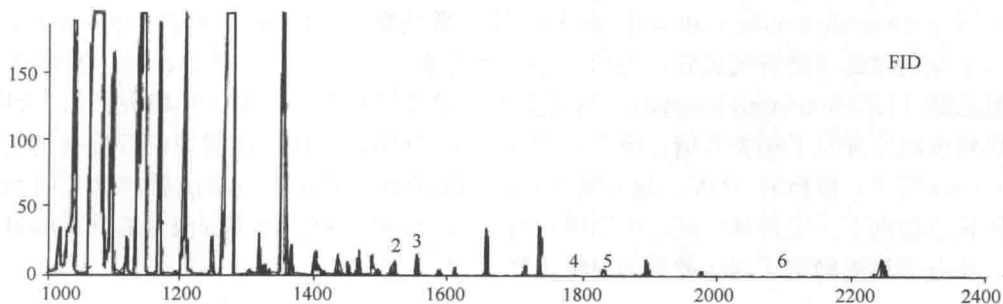


图 1-11 法国梨 (La France) 挥发物的气相色谱及香气图谱