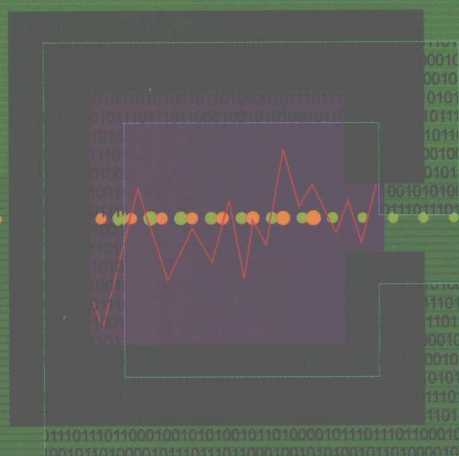


农产品无损检测技术与 数据分析方法

邹小波 赵杰文 编著



中国轻工业出版社

农产品无损检测技术与数据分析方法

邹小波 赵杰文 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农产品无损检测技术与数据分析方法 / 邹小波, 赵杰文
编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-5019-6132-0

I. 农… II. ①邹… ②赵… III. 农产品 - 食品检验:
无损检验 IV. TS207.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 142414 号

责任编辑: 涂润林 责任终审: 劳国强 封面设计: 迪彩传媒
版式设计: 王超男 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司印刷

经 销: 各地新华书店

版 次: 2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 850 × 1168 1/32 印张: 11.375

字 数: 305 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6132-0/S · 015 定价: 35.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010 - 65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010 - 85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

70761K5X101ZBW

前 言

农产品的品质是关系到人民生命安全和国民经济发展的重大问题。在农产品的国际贸易中,世界各国都把品质问题放在首位,并把品质检测作为抵御外来竞争的一种手段。由于我国农产品品质往往达不到出口国的技术指标,导致国内农产品出口企业屡屡受挫于其它国家的“技术壁垒”和“绿色壁垒”。解决农产品的品质问题需要从生产和检测两方面来努力。因此,农产品品质的检测成为当前科学研究热点之一,其中农产品无损检测是一个很具有挑战性的课题。

农产品无损检测研究属于多学科交叉领域,各种新的检测技术和方法不断涌现。为了便于我国相关技术人员对这些新技术和新方法的消化、吸收和应用,促进我国农产品无损检测科研水平和技术水平的提高,作者总结多年来在本领域的研究成果和工作经验,并汇集国内外相关研究的最新成果,撰写成此书。书中很多内容是编著者在承担国家科研项目期间的研究成果。

本书共分11章,主要由两方面内容组成。第一章到第六章介绍了一些农产品无损检测的技术,如人工嗅觉与人工味觉检测技术、嗅觉可视化技术、高光谱图像检测技术、CT检测技术、磁共振成像(MRI)技术和多传感器信息融合检测技术。这些技术大都是首次和农业工程领域的人员见面,有很好的前瞻性。书中不仅系统地阐述了这些技术的原理和发展概况,并结合应用实例讲述了如何将这些技术应用到农产品品质检测中。第七章到第十一章为数据处理新方法和编著者多年应用这些方法研究农产品无损检测的总结和体会,如区间偏最小二乘法、小波分析、独立分量分析、支持向量机和混合遗传算法等。近些年来,随着计算机技术和传感技术的发展,研究者很容易从一些仪器上获得大量的数据,怎样对这些数

据进行处理并提取有用的信息是一个难点。这几章的内容可以为那些从事该方面研究的人员提供参考。书中不但从理论上介绍这些数据处理新方法的原理,而且都有应用实例说明这些新方法的处理效果,并进一步对这些处理方法的 Matlab 软件实现和软件包的使用进行了介绍。

由于本书内容涉猎面广,作者水平有限,不妥和错误之处在所难免,敬请广大读者批评和指正。

编著者

2007 年 8 月于江苏大学

目 录

第一章 人工嗅觉与人工味觉检测技术

第一节 概述	1
一、生物嗅觉与生物味觉	2
二、人工嗅觉与人工味觉	5
第二节 人工嗅觉与人工味觉的传感器阵列及模式识别	9
一、人工嗅觉与人工味觉传感器及传感器阵列	9
二、人工嗅觉与人工味觉的模式识别	15
第三节 人工嗅觉与人工味觉技术在食品检测中的应用	24
一、人工嗅觉在食品检测中的应用	25
二、人工味觉在食品检测中的应用	30
参考文献	33

第二章 嗅觉可视化技术

第一节 概述	35
一、嗅觉可视化传感器材料	36
二、嗅觉可视化传感器阵列	39
第二节 嗅觉可视化系统的实现	43
一、检测装置	43
二、数据处理	49
第三节 嗅觉可视化技术的应用研究	57
一、嗅觉可视化技术在分子识别中的应用研究	58
二、嗅觉可视化技术在酒类区分中的研究	60

参考文献	64
------------	----

第三章 高光谱图像检测技术

第一节 光谱分析技术和计算机视觉技术	68
一、光与光谱	68
二、光谱分析技术	73
三、计算机视觉技术	77
第二节 高光谱图像检测技术的基本原理	81
一、概述	81
二、高光谱图像的获取	84
三、高光谱图像的信息处理技术	87
四、高光谱图像检测技术的前景	91
第三节 高光谱图像检测技术在农产品品质评定中的应用	92
一、高光谱图像检测技术在农产品品质评定中的应用现状	92
二、基于高光谱图像的水果表面缺陷、污染检测实例	95
参考文献	98

第四章 CT 检测技术

第一节 CT 检测原理	102
一、概述	102
二、X 射线在所测物体中的衰减和衰减系数	103
三、一些基本概念	105
四、CT 的成像原理	111
第二节 CT 机的工作原理和基本结构	116
一、CT 机的工作原理	116
二、CT 机的基本结构	118
第三节 CT 检测技术在农产品无损检测中的应用	124

一、在检测农产品内部缺陷和异物方面的应用	124
二、在检测农产品品质指标方面的应用	126
三、检测水果内部品质的应用实例	127
参考文献	130

第五章 磁共振成像技术

第一节 磁共振成像基本原理	133
一、磁共振成像原理入门	133
二、弛豫	137
三、加权成像	138
第二节 磁共振成像检测的实现	139
一、磁共振成像机系统	139
二、磁共振成像扫描序列	141
三、成像的主要指标	142
四、生物组织 MR 信号特征	143
第三节 磁共振成像在农产品无损检测中的应用	145
一、研究农产品中水分的分布及其流动性	145
二、研究农产品的玻璃态转变	146
三、研究果蔬的成熟度和损伤程度	147
四、研究农产品中的油脂	148
五、面团搅拌过程的 MR 图像检测实例	149
参考文献	151

第六章 多传感器信息融合检测技术

第一节 多传感器信息融合检测原理	154
一、多传感器信息融合的一般概念	154
二、多传感器信息融合的结构	156

三、多传感器信息融合技术的不同层次	158
四、多传感器信息融合技术研究和发展的方向	161
第二节 多传感器信息融合的数据处理	163
一、贝叶斯方法	163
二、D-S 证据推理方法	165
三、模糊集理论	167
四、神经网络法	168
第三节 多传感器信息融合检测技术在农产品品质评定中的应用	169
一、基于多传感器信息融合检测技术的农产品品质评定研究概况	169
二、多传感器信息融合方法在农产品品质无损检测中应用的一般步骤	171
三、基于计算机视觉、电子鼻、近红外光谱三技术融合检测系统在苹果品质评定中的研究实例	176
参考文献	192

第七章 区间偏最小二乘法

第一节 区间偏最小二乘法基础知识	197
一、偏最小二乘法 (PLS) 的一些基本概念	197
二、常用的变量选择方法	199
三、区间偏最小二乘法 (interval PLS-iPLS) 的算法	200
四、软件的实现	203
第二节 区间偏最小二乘筛选法在苹果糖度近红外光谱检测中的应用	207
一、试验数据	208
二、常规区间偏最小二乘法	209

三、联合子区间法	212
四、向前/向后区间偏最小二乘筛选法 (FiPLS/BiPLS)	215
参考文献	220

第八章 小波分析

第一节 小波分析基础知识	224
一、小波和小波变换	224
二、多分辨率分析与 Mallat 算法	229
三、小波包分析	230
四、常用的小波函数及小波的选择	232
第二节 小波分析在农产品无损检测中的应用研究	235
一、基于小波分析的农产品图像处理	236
二、小波分析在近红外光谱信号处理中的应用	246
三、小波分析在传感器信号处理中的应用	251
参考文献	258

第九章 独立分量分析方法

第一节 独立分量分析基础知识	261
一、ICA 的概述	261
二、ICA 的学习算法概述	270
三、独立分量分析与传统统计方法的关系	273
四、独立分量分析算法的研究趋势	275
第二节 独立分量分析在农产品无损检测信号处理 中的应用	276
一、ICA 在农产品无损检测信号处理中的应用概况	277
二、FastICA 算法及其实现	280
三、ICA 在近红外光谱噪声分离中的应用实例	285

参考文献	290
------	-----

第十章 支持向量机

第一节 支持向量机的原理	296
一、经验风险最小化 (Empirical Risk Minimization)	296
二、结构风险最小化 (Structural Risk Minimization)	299
三、构造支持向量机	300
第二节 支持向量机在农产品无损检测中的应用	307
一、支持向量机的模型选择和应用概况	307
二、支持向量机的算法实现与软件	309
三、支持向量机在不同种类苹果识别中的应用实例	315
参考文献	318

第十一章 混合遗传算法

第一节 标准遗传算法	323
一、遗传算法概述	323
二、遗传算法的基本要素	324
三、遗传算法的特点	326
四、遗传算法研究的新动向	326
第二节 混合遗传算法	328
一、混合遗传算法 (HGA) 的概述	328
二、遗传特征参数法	329
三、遗传偏最小二乘方法 (GA-PLS)	335
四、遗传神经网络	342
参考文献	351

第一章 人工嗅觉与人工味觉检测技术

第一节 概 述

现实生活中,酒类、茶叶、卷烟等食品的质量是靠人类自身的嗅觉和味觉来进行判断的。这类工作通常需要训练有素、经验丰富的专家来进行。人工鉴别带有很大的主观性,判断结果随着年龄、性别、识别能力及语言文字表达能力的不同存在相当大的个体差异。即使是同一人员也随其身体状态、情绪变化的不同产生不同的结果。嗅觉鉴别是一种吸入的过程,而味觉鉴别是品尝过程,因此长期工作将对身体健康有一定影响,某些难闻、难喝或令鉴别人员特别敏感的食品,往往得不到仔细的品尝而造成结果出现偏差。另外,人工鉴别的时间不能太长,否则敏感度易减退,甚至丧失殆尽。而化学分析方法如色谱法等得到的结果与人的感官感受如茉莉香、玫瑰香、酸、甜、苦、辣等之间还存在很大距离,其试样前处理、实验本身的耗时性又是许多场合所不允许的。因此,要求有一种客观准确的鉴别方法来代替人工品尝食品是人们多年来的期望。随着生命科学和人工智能的研究进展,人们试图模仿动物及人类的嗅觉和味觉功能研制出人工嗅觉系统——电子鼻和人工味觉系统——电子舌的想法正在逐步变为现实。

人工嗅觉和人工味觉技术是近年来发展起来的新颖的食品分析、识别和检测的技术。它们与普通化学分析方法(如色谱法、光谱法、毛细管电泳法)等不同,得到的不是被测样品中某种或某几种成分的定性定量结果,而是样品的整体信息,也称“指纹”数据。它们模拟人和动物的鼻子和舌头,得到的是目标的整体信息。它们不仅可以根据各种不同的食品测到不同的信号,而且可以将这些信号与经学习建立的数据库中的信号加以比较,进行识

别判断。因而它们具有的类似鼻子和舌头的功能,可用于识别食品的气味和味道,鉴别产品真伪,控制从原料到产品的整个生产过程的工艺,从而使产品质量得到保证。人工嗅觉和人工味觉是涉及传感器融合技术、计算机技术和应用数学以及食品科学等学科的综合性技术。人工嗅觉和人工味觉技术可为农产品、食品行业提供一种新的产品质量检测方法与装置。许多发达国家已把生物嗅觉和味觉的模仿技术——人工嗅觉和人工味觉技术列入优先发展的研究课题。

一、生物嗅觉与生物味觉

人工嗅觉和人工味觉又称电子鼻和电子舌,其工作原理建立在模拟生物的嗅觉和味觉形成过程的基础上。化学物质引起的感觉不是化学物质本身固有的,而是化学物质与感觉器官反应后出现的。比如说,味觉可看成由味觉物质与味蕾的感受膜的物理、化学反应引起的。人类有三种主要的化学感受,它们是味觉、嗅觉和叉神经感觉。味觉通常用来辨别进入口中的不挥发的化学物质,嗅觉是用来辨别易挥发的物质,叉神经的感受体分布在黏膜和皮肤上,它们对挥发与不挥发的化学物质都有反应,更重要的是能区别刺激及化学反应的种类。在香味感觉过程中三个化学感受系统都参与其中,但嗅觉起的作用远远超过了其它两种感觉。人工嗅觉和人工味觉的基本思想就包含了这些反应的人工再现。我们首先介绍一下生物嗅觉与生物味觉。

(一) 生物嗅觉

嗅感是挥发性物质散发出的气体分子与鼻腔内嗅觉神经反应所引起的刺激感,是一种生理反应,这种生理反应的传导过程如图1-1所示。这个过程大致可分为三个阶段:首先,信号产生阶段。玫瑰花的芳香物分子经空气扩散到达鼻腔后,被嗅觉小胞中的嗅细胞吸附到其表面上,呈负电性的嗅细胞表面的部分电荷发生改变,产生电流,使神经末梢受到刺激而兴奋;其次,信号传递与预处理阶段。兴奋信号在嗅球中经进行一系列加工放大后输入大脑;最

后, 大脑识别阶段。大脑把输入的信号与经验进行比较后作出识别判断, 这是咖啡、玫瑰的香味, 还是其它的气味。大脑的判断识别功能是由孩提时代起在不断与外界接触的过程中学习、记忆、积累、总结而形成的。费里曼通过对神经解剖学、神经生理学和神经行为的各个水平的实验研究, 确证嗅觉神经网络中的每个神经元都参与嗅觉感知, 认为人和动物在吸气期间, 气味会在鼻腔的嗅觉细胞阵列上形成特定的空间分布, 随后嗅觉系统以抽象的方式直接完成分类。当吸入熟悉的气味时, 脑电波比以前变得更为有序, 形成一种特殊的空间模式。当不熟悉的气味输入时, 嗅觉系统的脑电波就表现出低幅混沌状态, 低幅混沌状态等价于一种“我不知道”的状态。

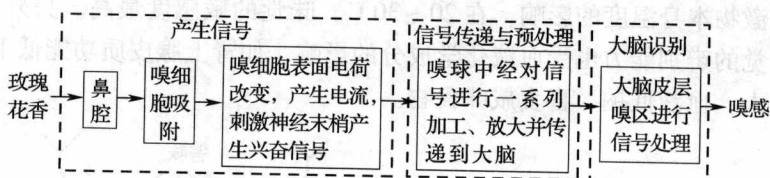


图 1-1 人的嗅觉产生过程框图

生理研究表明, 人的一个鼻腔中约有 5000 万个嗅细胞, 单个嗅细胞的生存期一般只有 22d 左右, 其灵敏度不高, 选择性差, 至今尚未发现只对一种化学成分有反应的嗅细胞。正是靠后继的神经信号处理系统将整个嗅觉系统的选择性、灵敏度、重复性等性能大大提高, 并能排除信号漂移。这说明, 人的嗅觉系统对气味的识别能力是由大量性能彼此重叠的嗅细胞、嗅球中经和大脑共同作用的结果, 大脑和嗅球中经在其中起关键的作用。一般来讲, 从气味分子被嗅细胞表面吸附到产生嗅觉反应仅需 $0.2 \sim 0.3s$ 。

气味可以是单一的也可以是复合的, 单一的气味是由一种有气味的物质的分子形成的, 而复合气味则是由许多种 (有可能是上百种) 不同的气味分子混合而成的。实际上自然产生的气味都是复合的, 单一气味是人造的。分子的大小、形状和极性决定了气味

的性质。人的嗅觉能够分辨出的气味大约 10000 种，但是，对嗅觉感受气味的具体过程尚未彻底弄清，还需更深入的研究。

（二）生物味觉

味觉的感受器是味蕾，主要分布在舌背部表面和舌缘，口腔和咽部黏膜的表面也有零散的味蕾存在。儿童的味蕾较成人多，老年时因味蕾萎缩而逐渐减少。每一个味蕾由味觉细胞和支持细胞组成（图 1-2）。人的舌面上约有 50 万个香蕉形的味觉细胞，味觉细胞顶端有纤毛，称为味毛，从味蕾表面的孔伸出，是味觉感受的关键部位。舌表面不同区域对不同味刺激的敏感程度不一样，如图 1-3 所示。一般是舌尖部位对甜味比较敏感，舌两侧对酸味和咸味较敏感，而软腭和舌根部位对苦味较敏感。味觉的敏感度往往受食物或刺激物本身温度的影响，在 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，味觉的敏感度最高。另外，味觉的辨别能力也受血液化学成分的影响，如肾上腺皮质功能低下的人，血液低钠，喜食咸味食物。

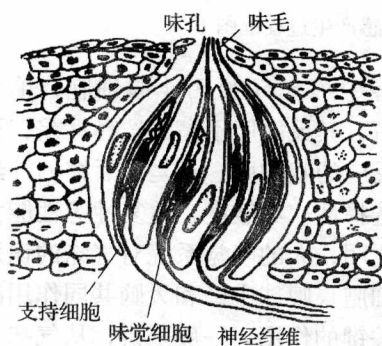


图 1-2 味蕾的结构

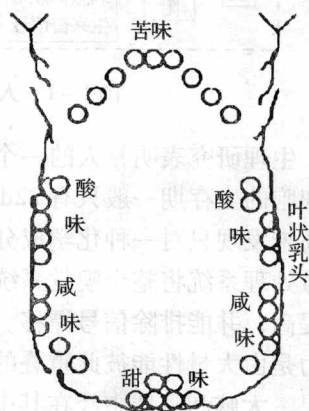


图 1-3 各种味道在舌上最敏感部位示意图

和嗅感形成相似，味感的形成过程也可分为三个阶段：① 舌头表面味蕾上的味觉细胞的生物膜感受味觉物质并形成生物电信号；② 该生物电信号经神经纤维传至大脑；③ 大脑识别。众多的

味道是由四种基本的味觉组合而成的,就是甜、咸、酸和苦。国外有的学者将基本的味觉定为甜、咸、酸、苦和鲜五种,近年来又引入了涩和辣味。通常酸味由氢离子引起的,比如盐酸、氨基酸、柠檬酸等;咸味主要是由 NaCl 引起的;甜味主要是由蔗糖、葡萄糖等引起的;苦味是由奎宁、咖啡因等引起的;鲜味是由海藻中的谷氨酸单钠 (MSG)、鱼和肉中的肌苷酸二钠 (IMP)、蘑菇中的鸟苷酸二钠 (GMP) 等引起的。不同物质的味道与它们的分子结构有关,如无机酸中的 H^+ 是引起酸感的关键因素,但有机酸的味道也与它们带负电的酸根有关;甜味的引起与葡萄糖的主体结构有关;而奎宁及一些有毒植物的生物碱的结构能引起典型的苦味。味刺激物质必须具有一定的水溶性,能吸附于味觉细胞膜表面上,与味觉细胞的生物膜反应,才能产生味感。该生物膜的主要成分是脂质、蛋白质和无机离子,还有少量的糖和核酸。对不同的味感,该生物膜中参与反应的成分不同。实验表明:当产生酸、咸、苦的味感时,味觉细胞的生物膜中参与反应的成分都是脂质,而味觉细胞的生物膜中的蛋白质有可能参与了产生苦味的反应;当产生甜和鲜的味感时,味觉细胞的生物膜中参与反应的成分只是蛋白质。

二、人工嗅觉与人工味觉

(一) 人工嗅觉简介

1. 人工嗅觉系统

人工嗅觉模拟生物的嗅觉器官,因而其工作原理与嗅觉形成相似,气味分子被人工嗅觉中的传感器阵列吸附,产生信号。信号经处理加工与传输,再经模式识别系统作出判断。典型的人工嗅觉系统 (Artificial Olfactory System, AOS) 由传感器阵列、数据处理分析系统及支持部件——微处理机和接口电路等组成,如图 1-4 所示。气体传感器阵列由多个相互间性能有所重叠的气体传感器构成,在功能上相当于彼此重叠的人的嗅觉感受细胞。与单个气体传感器相比,气体传感器阵列不仅检测范围更宽,而且其灵敏度、可靠性都有很大的提高。气体传感器阵列产生的信号传送到数据处理

分析系统, 先进行预处理(滤波、变换、放大和特征提取等), 再通过模式识别实现气体组分分析。数据处理分析系统相当于人的嗅觉形成过程中的第二和第三阶段, 起着人的嗅球中经和大脑的作用, 具有分析、判断、智能解释的功能。数据处理分析系统由A/D转换数据采集、阵列数据预处理器、数据处理器、智能解释器和知识库组成。

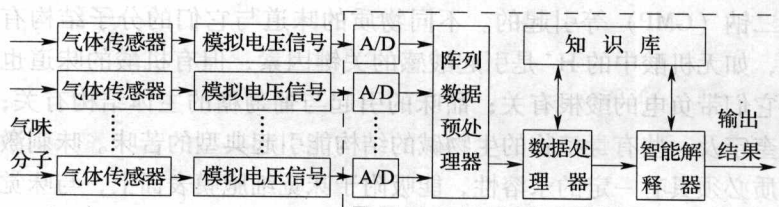


图 1-4 电子嗅觉系统结构图

被测嗅觉的强度既可用每个传感器的输出的绝对电压、电阻或电导等信号来表示, 也可用相对信号值(如归一化的电阻或电导值)来表示。传感器阵列输出的信号经专用软件采集、加工、处理后与经“人为学习、训练”后得到的已知信息进行比较、识别, 最后得出定量的质量因子, 由该质量因子来判断被测样品的类别、真伪、优劣、合格与否等。

人工嗅觉系统 AOS (同样, 对于人工味觉系统 ATS) 采用的识别方法主要包括统计模式识别(如线性分类、局部最小方差、主元素分析等)和人工神经网络模式识别。统计方法要求有已知的响应特性解析式, 而且常常须进行线性化处理。由于嗅觉传感器阵列的响应机理较为复杂, 给响应特性的近似及线性化处理带来相当大的困难, 难以建立精确数学模型, 从而限制了它的识别精度。人工神经网络则可以处理较复杂的非线性问题, 且能抑制漂移和减少误差, 故自 20 世纪 80 年代以来, 一直得到较广泛的应用。

2. 人工嗅觉研究进展

人们对人工嗅觉系统的研究, 最早起始于 1961 年, 当时 Moncrieff 制成了一种机械式的气味检测装置。1964 年 Wilkensch 和