



普通高等教育“十三五”规划教材

食品保藏 技术实验

EXPERIMENT OF FOOD
PRESERVATION TECHNOLOGY



王 瑞 巴良杰 主编




中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

普通高等教育“十三五”规划教材

食品保藏技术实验

王瑞 巴良杰 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品保藏技术实验 / 王瑞, 巴良杰主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2019. 6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5184-2153-4

I. ①食… II. ①王… ②巴… III. ①食品保鲜 - 高等学校 - 教材 ②食品贮藏 - 高等学校 - 教材 IV. ①TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 238458 号

责任编辑: 江 娟 靳雅帅 责任终审: 劳国强 整体设计: 锋尚设计
策划编辑: 江 娟 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 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: 三河市国英印务有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2019 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 12.5

字 数: 275 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-2153-4 定价: 48.00 元

邮购电话: 010-65241695

发行电话: 010-85119835 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

171580J1X101HBW

编委会名单

主 编：王瑞（贵阳学院教授）

巴良杰（贵阳学院副教授）

副主编：罗冬兰（贵阳学院）

曹森（贵阳学院）

参 编：（按照拼音顺序排名）

陈建业（华南农业大学）

李露露（贵州省茶叶研究所）

雷霁卿（贵阳学院）

李江阔 [国家农产品保鲜工程技术研究中心（天津）]

吉宁（贵阳学院）

马超（贵阳学院）

吴文能（贵阳学院）

张家臣（遵义师范学院）

前 言

我国的食物资源十分丰富，是全球最大的食物生产和消费国家之一。食物行业是衔接第一、第二、第三产业的战略性和全局性产业，也是衔接农业、工业和服务业的关键产业。大力发展食物产业，能够快速带动相关产业的迅速发展，解决大量的农村剩余劳动力，增加就业机会，有效地促进高效农业的快速健康发展。对解决“三农”问题有着十分重要的意义。

随着食物产业的快速发展以及原料的日趋丰富，食物在保藏过程中不耐保藏、保鲜技术落后等问题日益突出，造成食物在保藏过程腐败、变质，严重影响了食物的商品价值，造成较大的经济损失。因此，对食物进行保藏技术的研究就显得尤为重要。伴随着人们生活水平的不断提高和新需求不断增加，食物保藏技术的新方法也不断产生，并且随着生物基因技术、食物微生物、机械、化工、材料学等多门学科发展而快速发展。

食物保藏实验是农产品贮藏加工、食物科学与工程和食物质量与安全等专业的专业课程之一，是一门重要的实践教学课程。由于我国各个设有食物保藏专业的单位实验条件差异比较大，在内容编写上，本教材力求较高的适用性，以便不同使用院校选择其适宜的实验。在实验层次设计上，本教材按照创新人才实验教学体系的要求设计了3个层次的实验设计，即理论验证性实验（28个）、综合设计性实验（7个）和研究设计性实验（10个）。理论验证性实验是一些课堂教学内容验证性实验；综合设计性实验就是通过多理论知识的融合，以培养学生动手能力、主动学习能力为目的的实验；研究设计性实验是以加深对理论、实验教学的理解、认识、拓宽为目的的实验。本教材的编者结合在长期的教学、科研过程中积累的经验，借鉴了食物科学、植物生理学等领域中同类实验的优点，参考了近年来国内外相关专业实验新技术和新方法，综合了果品、蔬菜、粮食、油类、畜产品、乳产品、水产品等食物的保藏实验技术，将食物保藏常用的品质指标与各种食物的保藏实验及食物保藏验证性、综合性和探索性实验有机融合为一体，突出了食物实验教学的知识性、系统性和实用性。

本教材可作为高等院校食物、园艺等食物保藏相关专业本科生实验教学教材，也可以作为相关教学和科学人员的参考书。

参加本教材编写的人员多数是多年从事食物保藏课程教学的老师。编写过程中，得到了各位编者的大力支持，也得到参编单位相关领导的重视和支持，在此，谨向参与、关心、支持本教材编写和出版付出辛苦劳动的各位领导和老师表示感谢。

由于书中食物种类多、技术方法多、涉及知识面较广、参编人员水平有限，所以，本教材编写过程中难免会出现错误和纰漏，敬请各位同仁和读者给予批评和指正。

编者
2019年3月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 食品保藏常用品质指标测定	6
实验一 食品色泽的测定	6
实验二 食品气味的测定	8
实验三 食品香气的测定	11
实验四 食品质地的测定	13
第三章 食品理论验证性实验	16
实验五 呼吸强度的测定	16
实验六 乙烯释放量的测定	20
实验七 可溶性固形物含量的测定	22
实验八 还原糖含量的测定	23
实验九 可滴定酸含量的测定	29
实验十 过氧化氢酶活性的测定	31
实验十一 果蔬叶绿素含量的测定	34
实验十二 花色苷含量的测定	37
实验十三 食品还原型谷胱甘肽含量的测定	39
实验十四 多酚含量的测定	42
实验十五 抗坏血酸含量的测定	44
实验十六 丙二醛含量的测定	52
实验十七 果胶酶活性的测定	55
实验十八 超氧化物歧化酶活性的测定	61
实验十九 过氧化物酶活性的测定	67
实验二十 多酚氧化酶活性的测定	70
实验二十一 总黄酮含量的测定	72
实验二十二 总抗氧化活性的测定	76
实验二十三 淀粉含量及淀粉酶活性的测定	82
实验二十四 纤维素含量及纤维素酶活性的测定	91
实验二十五 脂氧合酶活性的测定	97
实验二十六 苯丙氨酸解氨酶活性的测定	99
实验二十七 几丁质酶活性的测定	102
实验二十八 游离脯氨酸含量的测定	105
实验二十九 食品单宁物质含量的测定	107
实验三十 果蔬细胞膜渗透率的测定	111
实验三十一 食品中挥发性盐基氮的测定	112
实验三十二 食品中菌落总数的测定	118

第四章 食品综合设计性实验	122
实验三十三 壳聚糖对柑橘贮藏有机酸的影响	122
实验三十四 不同的贮藏条件对谷物粉贮藏过程脂肪酸值的影响	124
实验三十五 不同臭氧浓度对柑橘青霉菌活性的影响	127
实验三十六 不同冷冻方式对肉贮藏期持水力的影响	129
实验三十七 包装材料对气调包装冷鲜肉贮藏期品质的影响	132
实验三十八 香辛料对水产品保鲜效果的研究	134
实验三十九 不同涂膜剂对蛋保鲜效果的影响	137
第五章 食品研究设计性实验	141
实验四十 不同自发气调包装对番茄贮藏生理及品质的影响	141
实验四十一 不同浓度 1-MCP 对猕猴桃货架生理和品质的影响	143
实验四十二 香蕉的人工催熟实验	147
实验四十三 辐照对腊肉货架品质的影响	149
实验四十四 超高压处理对鲜牛乳货架品质的影响	151
实验四十五 温度对茶叶保存过程中香气成分组分的影响	154
实验四十六 电子鼻对牛肉保鲜效果判定研究	155
实验四十七 近红外光谱对果蔬质地无损检测	157
实验四十八 模拟运输振动条件对蓝莓生理及品质的影响	161
实验四十九 果蔬贮藏期致腐真菌分离、纯化及分子生物学鉴定	164
附录一 数据表	170
附录二 实验数据处理和生物统计分析相关知识	184
参考文献	187

第一章 绪 论

一、食品保藏实验的目的与要求

食品保藏是指将可食性农产品、半成品食品和加工性食品等在贮藏、运输、销售以及消费过程中保鲜保质的理论与实践，它既包括生鲜和鲜活食品贮运保鲜，也包括食品原材料、半成品和成品食品的贮运保质。食品保藏主要是研究食品在贮运过程中物理特性、化学特性和生物特性的变化规律，这些变化规律对食品品质及其贮藏性的影响，以及控制食品品质变化应采取的相应技术措施的一门科学。它是一门涉及多学科的应用技术学科，是食品科学的一个重要组成部分，并且与动植物生理学及生物化学、生物学、有机化学、食品化学、食品微生物学、植物病理学、食品工艺学等学科都有密切联系。它研究的主要内容是食品在保藏过程中品质稳定性和贮藏技术，即研究各类食品的贮藏性能和各种贮藏技术原理、生产可行性和卫生安全性、食品在贮运过程中品质的变化以及影响品质变化的主要因素和控制方法、根据贮运原理和食品贮藏性能选择适当的贮藏方法和技术等。因此，食品保藏是食品专业学生必修的专业基础课。

一般来说，食品保藏的教学分为两个部分，课程理论教学部分和实验教学部分，二者所占的总教学课时的比例大约为2:1。实验教学是食品保藏教学的重要组成部分，是高等院校培养高素质合格人才的重要实践环节，是学生巩固和加深理解理论知识，加强学生动手能力，锻炼在实践中发现问题、分析问题和解决问题的能力，提高教学质量的重要方法途径。在培养学生的实践、研究、创新能力和综合素质上，实现学校制定的专业培养目标等方面有着不可替代的独特作用。

本着提高学生的实践、研究、创新能力和综合素质的目标，要求学生在理解基本实验原理的基础上，通过操作实验来加深理解，同时培养学生的动手能力，掌握一些仪器的使用方法和维护事项。除了掌握一些基本、简单仪器（如离心机、pH计、糖度计、色差计、恒温培养箱等）的使用外，我们希望通过实践过程，使学生掌握一些更先进仪器（如质构仪、电子鼻、气相色谱仪、紫外可见分光光度计、自动凯氏定氮仪、气体浓度测定仪、PCR仪、凝胶成像仪等）的使用和维护，只有这样才能使学生跟上时代发展的脚步，适应科技的快速发展。

掌握仪器的使用方法和维护是最基本的要求，我们的目的是培养学生的科研能力和兴趣，让学生不再是仅仅以完成课程学习任务为目的来学习，真正培养学生的自主性，在培养学生基本实验能力的基础上，同时希望通过一些探索性实验来培养学生的科研热情，以探索的心态来学习，最终使学生具有综合设计实验的能力。所以本书主要从食品保藏学实验室基本仪器的使用与维护、理论验证性实验、综合设计性实验、研究设计性实验四个方面来编写，要求学生从观察在特定实验条件下的实验结果并进行理论解释，发展到认识因素与指标之间的动态变化关系并进行理论解释，然后要求学生进行多因素变化、多指标观察并进行结果分析与讨论。用循序渐进的方式，培养学生独立思考、独立操作、理论联系

实际和融会贯通的能力，最终使得学生的创新能力和综合素质提高。

二、现代食品保藏教学实验体系

2017年2月以来，教育部积极推进新工科建设，先后形成了“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”，并发布了《关于开展新工科研究与实践的通知》《关于推进新工科研究与实践项目的通知》，全力探索形成领跑全球工程教育的中国模式、中国经验、助力高等教育强国建设。为了更好地贯彻教育部发布的文件，结合食品保藏实验教学课程目前的现状，为推进食品保藏实验教学内容与实验模式的改革与创新，培养具有创新能力、动手能力，符合新世纪要求的高素质人才，结合和参考当前实验课程改革的最新成果，我们提出了现代食品保藏教学实验体系，其组成部分和功能如下。

（一）理论验证性实验

理论验证性实验实际就是保持原来食品保藏实验课程中与食品保藏理论教学紧密的一些简单的课堂教学内容验证性实验。如“呼吸强度的测定”“硬度的测定”“还原糖含量的测定”“果胶酶活性的测定”“食品菌落总数的测定”等。这部分实验的目的是让学生对课堂理论教学的主要知识点有一个更为直观的认识和理解。在实验过程中，由实验教学教师准备所有实验条件，学生按照规定的实验路线进行操作，观察在特定的实验条件下的实验结果并进行理论解释。每个理论验证性实验一般安排2~4学时，各小组进行完全相同的实验内容。

（二）综合设计性实验

综合设计性实验是以提高学生自身能力、加强理论知识融合、培养合作精神、培养创新和自主学习能力的实验。如“采前钙处理对猕猴桃采后货架期硬度的影响”“贮藏方式对蛋糕品质的影响”“不同贮藏温度对卤制肉中脂肪氧化进程的影响”“香辛料对水产品保鲜效果的研究”等。这部分实验要求学生进行不同实验处理之间的比较，实验结果具有可变性，需要学生自己通过实验得出结果。在实验过程中，实验教师只起到辅助作用，主要是为学生提供和维护好实验条件，实验前准备、具体实验设计、操作、结果分析与表达、讨论均由学生自己独立完成。必要时，教师给予一定的指导帮助，尤其在实验具体设计方面。每个综合实验的课时一般安排8~10学时，有些特殊的实验可以适当延长，学生也可以在课余时间进行，形成类似开放实验。

（三）研究设计性实验

研究设计性实验以提高学生自身实验设计能力，加强多门学科之间的融合运用、培养团结协作能力、实验创新能力和自主动手实验能力。如“贮藏温度对果蔬呼吸强度、乙烯生成速率、硬度、色泽的影响”“不同抗氧化剂及包装材料对烘焙食品贮藏期品质的影响”“果蔬腐烂致病菌分离、纯化及分子生物学鉴定”“海虾冰温贮藏过程中腐败微生物的变化规律影响”“模拟运输振动条件对蓝莓生理及品质的影响”等。这部分实验要求学生进行多因素、多处理变化，多指标观察与测定，多种实验数据统计与处理知识的运用。研究设计性实验的任务与目的可由学生自己设计，指导教师加以辅导补充。实验过程中，从实验材料、试剂的准备到结果分析，全部以学生亲自动手为主，实验教师加以指导，完成实验条件提供和仪器设施维护。每个研究性实验一般安排16

~30学时,有些特殊的实验可以适当地延长,学生也可以在课余时间进行,形成类似毕业论文实验。

三、食品保藏实验室的安全防护

食品保藏实验室的安全防护主要体现在防火、防灼伤、防爆炸以及防毒四个方面,让学生掌握一些基本常识是必要的。

(一) 防火

(1) 由于食品保藏实验室存放很多易燃药品(例如,无水乙醇、丙酮、乙醚等),实验室应该禁止吸烟以及尽量避免使用明火。同时实验室应该配多种相应的灭火器装置,万一不小心着火,应该根据着火材料的不同,选择相应的灭火器材,立即采取适当的灭火措施。

(2) 金属钠、钾、铝粉、电石及金属氢化物要注意存放和使用得当,注意不能与水直接接触,以免产生剧烈的化学反应。

(3) 对于必须使用明火的实验,给酒精灯添加酒精的时候,必须先用酒精灯帽盖灭后才能添加。

(4) 对于大功率仪器使用比较多的实验,要注意避免引起电线起火,如遇到此类突发事情,要马上关闭实验室电源总闸。大功率仪器使用完毕后,一定要关闭电源,尤其是像水浴锅之类的仪器,长时间不使用,也要及时关闭电源。

(二) 防灼伤

(1) 在实验过程中,要防止酒精灯、电炉等高温热源引起的灼伤。如果需要接触,必须带防护手套。

(2) 强酸、强碱、强氧化剂等药品都灼会伤皮肤。因此,在实验过程中,不能与皮肤直接接触。如果皮肤不慎被灼伤,应该立即用自来水或蒸馏水进行冲洗,然后用50g/L的碳酸氢钠溶液洗涤,再用自来水或蒸馏水进行冲洗。尤其是当不慎溅入眼睛中时,应该立即用自来水或蒸馏水冲洗眼部,也可以采用酸碱中和原理,如用50g/L的碳酸氢钠溶液中和酸类溶液,用2%硼酸溶液来中和碱性类溶液,然后再滴1~2滴油性物质滋润眼睛。严重时,冲洗完后应该马上送医院处理。

(三) 防爆炸

(1) 挥发性易燃易爆药品应该远离火源,放在避光、低温、通风良好的地方。

(2) 使用易爆药品(例如, H_2O_2 、三硝基甲苯、高锰酸钾等)时,应该防止在拿取过程中剧烈振动或受热。使用完后要小心放回原处。

(3) 防止氢气、一氧化碳、乙烯、乙醇、丙酮、乙酸乙酯和氨气等可燃性蒸气与空气混合,而达到爆炸极限引起爆炸。

(4) 强氧化剂或还原剂必须分开存放,使用时要轻拿轻放,且一定要远离热源。

(四) 防毒

(1) 实验指导教师在实验课之前要指导学生学习和有毒药品的使用方法。

(2) 有毒有害的药品,在使用过程中必须在通风橱内添加,一定要戴手套、口罩操作,防止与皮肤直接接触。做完实验后,一定要及时洗手。

四、实验测量与误差

(一) 实验测量的定义及分类

实验测量就是借助实验仪器用某一计量单位把待测量的物理量大小表示出来。根据获得测量结果方法的不同，测量可以分为直接测量和间接测量。由仪器或量具可以直接读出测量值的测量称为直接测量；不能用直接测量的方法得到，而是利用若干个直接测定值通过一定的函数关系计算出被测量的数值的测量称为间接测量。

(二) 误差的定义及分类

绝对误差就是指测量值与真值之间的差异。可以记为：

$$\Delta N = N - N'$$

式中 N ——测量值

N' ——真值

相对误差是指绝对误差与真值之比的百分数。可以记为：

$$E = (\Delta N / N') \times 100\%$$

根据误差来源的不同，可以分为系统误差和随机误差。在相同条件下多次测量同一量时，误差大小恒定，符号总偏向一方，或误差按照某一确定的规律变化，称为系统误差。系统误差产生的原因主要有以下几个方面：仪器误差、理论和实验方法误差、实验操作人员造成的误差。产生系统误差的原因，一般情况是可以被检查到，可以通过修改、改进加以排除或减少，但是需要测量者具有丰富的实验经验。随机误差，也叫偶然误差，是指测量中出现大小、方向都难以预料，且变化方式不能预测的误差。但是可以通过多次足够的实验次数，判断出随机误差出现的统计规律，进而减小随机误差。随机误差只能减小，不能完全消除。

(三) 测量结果的评价

测量的精密度、准确度和精确度都是评价测量结果的专业术语，但是目前使用时其涵义却不尽一致。其具体含义如下。

精密度是指对同一被测量做多次重复测量时，各次测量值之间彼此接近或分散的程度，它表现了测量结果的再现性。它是对随机误差的描述，它反映随机误差对测量的影响程度。随机误差小，测量的精密度就高。精密度用偏差来表示：

绝对偏差 = 个别测量值 - 测量平均值

相对偏差 = (绝对偏差 / 测量平均值) $\times 100\%$

实际做实验时，都是有限次测量，因此实际应用中经常用到单次测得值得标准偏差 S ，其公式如下所示：

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X - X_0)^2 / (n - 1)}$$

式中 n ——测量次数

X ——每次测定结果

X_0 ——测量平均值

准确度是指被测量的总体平均值与其真值接近或偏离的程度。它是对系统误差的描述，它反映系统误差对测量的影响程度。系统误差小，测量的准确度就高。

精确度是精密度和准确度的合称，是对测量的随机误差及系统误差的综合评定。它反映随机误差和系统误差对测量的综合影响程度。只有随机误差和系统误差都非常小，才能说测量的精确度高。

(四) 误差的消除

(1) 减小实验过程产生的绝对误差 使得原始数据更接近真实值。

(2) 减小实验过程产生的随机误差 一般在实验过程中，我们可以通过增加平行实验次数来减小随机误差，提高精密密度。但是平行次数不宜过多，要切合实际，3~5次平行测定即可。

(3) 减小系统误差 用组成与试样相近的标准试样来测定，将标准值与测定结果进行比较，用统计学检验方法来确定有无系统误差；用标准方法与所选方法同时测定试样，对两种方法的测定结果进行比较，用统计学检验方法来确定有无系统误差。可通过空白实验、回收率测定（ $\text{回收率} = \frac{\text{测出的标准量}}{\text{标样加入量}} \times 100\%$ ）及仪器校正和方法来减小系统误差。

五、实验报告的撰写

验证性实验的实验报告撰写主要包括实验名称、实验目的、实验原理、实验步骤、实验结果与讨论几个部分。综合性实验和探索性实验的实验报告的撰写主要包括实验名称、实验目的、实验原理、实验设计、实验步骤、实验现象、实验结果与讨论、实验注意事项以及实验相关性分析等几个部分。综合性实验和研究性实验的实验报告的撰写要比验证性实验报告要求高，这主要是培养学生的科研能力，让学生学会设计实验、分析实验结果，充分发挥学生的主观能动性、学习能力、动手能力，提高学生对食品保藏学实验的兴趣和能力。

实验报告的撰写要求简明扼要，学生要尽量根据自己的实验操作体会来简化语言并深化理解。其中实验报告的重点是结果与讨论部分，包括对实验观察到的现象和实验结果与数据的记录、对实验数据的处理和计算、对实验现象和结果的分析讨论和对实验中所遇到问题的探讨等。另外，每个实验所列的思考题应结合自己的实验体会在实验报告中认真做出书面回答。

六、食品保藏学实验课程考试方式建议

食品保藏学实验课程主要考察两个方面的能力：一是食品保藏实验精度能力；二是针对食品保藏问题的实验设计和构思能力。可以采用以下两个考核方式相结合的考核方法。

1. 食品保藏实验能力考核

本考核方式采取教师制定实验内容与实验方法和步骤，学生进行实验操作。成绩的评定采用单个同学的测定结果与全班同学测定结果平均值的相对偏差（RDS%）来确定。一般相对偏差在 $\pm 2\%$ 以下记为优秀，相对偏差在 $\pm 2\% \sim \pm 7\%$ 记为良好，相对偏差在 $\pm 7\% \sim \pm 13\%$ 记为中等，相对偏差在 $\pm 13\% \sim \pm 17\%$ 记为合格，相对偏差在 $\pm 18\%$ 以上记为不合格。

2. 食品保藏问题的实验设计能力考核

实验教师给一个研究课题，如“化学保鲜剂1-MCP对猕猴桃采后贮藏期果实品质的影响”，让学生写出一个实验设计计划书。计划书应该包括实验研究背景、研究原理、研究内容、研究方法、研究步骤、预期结果、讨论分析等。教师根据学生的设计结果进行评判。

第二章 食品保藏常用品质指标测定

实验一 食品色泽的测定

一、实验目的要求

以果蔬为例,了解果蔬表皮颜色在整个生命活动过程中的变化规律;了解表皮颜色的表色系统,并明确数值代表的具体意义;学习和掌握运用色差仪测定表皮颜色的原理和方法。

二、实验基本原理

果蔬表面颜色是评价果蔬产品品质的重要指标之一。果蔬产品表面颜色不仅影响到消费者的第一感官判断,颜色变化还可以直接反映果蔬的新鲜度、成熟度以及内部品质的变化。研究表明,果蔬表面颜色与果蔬的硬度、糖和酸含量等内在品质特征有密切的相关性,我们可以通过对果蔬表面颜色的测定进一步推测果蔬内在品质。在果蔬采后的分级处理中,果蔬颜色是一个重要的依据指标;基于计算机视觉所获取的果蔬表面颜色特征,是实现产品的快速、无损检测分析的重要依据。

色差计是一种常见的光电积分式测色仪器,它仿照人眼感色的原理,采用能感受红、绿、蓝三种颜色的受光器,将各自所感受的光电流加以放大处理,得出各色的刺激量,从而获得这一颜色的信号。测色色差计主要包括测头、数据处理器(含显示器及打印机)、直流电源及附件四部分。测头由照明光源、滤色器、硅光电池、隔热玻璃、凸透镜导光筒、挡板、积分球等组成。当仪器内部的标准光源照射被测物体,在整个可见光波长范围内进行一次积分测量,得到透射或反射物体色的三个刺激值和色品坐标,并通过专用微机系统给出被测样品的相关色差参数值。这是一种操作简便的光学分析仪器。

常用的颜色表色系统包括孟塞尔(Munsell)表色系统、 $L^*a^*b^*$ 表色系统和 L^*C^*h 表色系统等,各个表色系统具有不同的特点。

1. 孟塞尔表色系统

孟塞尔表色系统是由美国艺术家 Munsell 于 1898 年发明,1905 年正式确立。该系统用 3000 多张色卡组成色彩空间,直接表达色彩三要素。孟塞尔表色系统色彩空间的垂直轴表示明度,最上为白色,最下为黑色,中间为一系列的中性灰色,同明度平面的颜色明度相同;每明度平面上,按照角度逐渐变化的是色相,其极坐标角度可以表示该位置的色相;色彩到垂直轴之间的距离代表的是饱和度,越靠近垂直轴饱和度越低,越靠近周边饱和度越高。

2. $L^*a^*b^*$ 表色系统

$L^*a^*b^*$ 色度空间是 1976 年国际照明委员会(CIE)推荐的均匀颜色空间,用假想的球形三维立体结构表示色彩,是用于仪器测色的表色系统,可以测定连续的、精确的色度

值。在 $L^*a^*b^*$ 表色系统中，中轴表示明度轴，上白下黑，中间为亮度不同的灰色过渡。此轴称为 L^* 轴。 L^* 称为明度指数， $L^* = 0$ 表示黑色， $L^* = 100$ 表示白色。中间有 100 个等级。色圆上有一个直角坐标，即 a^* 、 b^* 坐标方向。 $+a^*$ 方向越向外，颜色越接近纯红色； $-a^*$ 方向越向外，颜色越接近纯绿色。 $+b^*$ 方向是黄色增加， $-b^*$ 方向蓝色增加。

$L^*a^*b^*$ 表色系统中可以计算出两种色彩的色差 $\Delta E_{a^*b^*}$ ， $\Delta E_{a^*b^*} = (\Delta L^* + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ ，其中 $\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$ 、 $\Delta L^* = L_1^* - L_2^*$ 、 $\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$ ，即两点间三坐标值的差。 $\Delta E_{a^*b^*}$ 与观察感觉的关系如表 2-1 所示。

表 2-1 $\Delta E_{a^*b^*}$ 值与观察感觉的关系

$\Delta E_{a^*b^*}$ 值	感觉到的色差程度
0~0.5	极小的差异
0.5~1.5	稍小的差异
1.5~3.0	感觉到有差异
3.0~6.0	较显著差异
6.0~12.0	很明显差异
12.0 以上	不同颜色

3. L^*C^*h 表色系统

为了弥补 $L^*a^*b^*$ 表色系统中的 a^* 和 b^* 不能单独、明确表达彩度及色相，国际照明委员会又制定了 L^*C^*h 表色系统。 L^*C^*h 表色系统也是针对仪器测色的表色系统，采用与 $L^*a^*b^*$ 表色系统相同的色彩空间，可以定位连续比色的色度值。 L^* 、 C^* 、 h 三个参数与孟塞尔表色系统结构相似，可反映色彩给人的心理感受。 L^* 同样代表明度； C^* 称为饱和度，表现为对象的坐标点与纵轴之间的垂直距离，用以表示比色的饱和度； C 值越大，色彩越纯。 h 称为色相角，表现为对象的坐标点与原点连结成的直线与 a^* 轴（红色方向）之间的夹角，即 $\tan (b^*/a^*)$ ，用以表示不同的比色所得的色相。

三、实验仪器和材料

- (1) 实验仪器 色差仪、标签纸、记号笔、菜刀、菜板等。
- (2) 实验材料 猕猴桃、蓝莓、火龙果、生菜等果蔬材料。

四、实验步骤

- (1) 准备好果蔬实验材料，尽量使颜色测定的面保持平稳状态，可以使用双面胶固定于平板上。
- (2) 打开色差计，按照使用方法正确操作。
 - ① 打开电源：将电源开关打开，仪器显示操作界面或指示灯亮，表明仪器已有电源输入。
 - ② 预热：仪器通电后，仪器自动进入 10min 倒计时预热时间，使光源和光电探测器稳定。
 - ③ 调零：经预热结束后，仪器自动进入调零状态。仪器显示“调零”，此时将光学测

试头垂直放在黑色调零用的黑筒上，按下“执行”键，几秒后仪器提示调零结束，并自动转入调白操作。

④ 调白：当仪器显示“调白”时，将光学测试头放在标准白板上，按“执行”键，几秒后仪器提示调白结束，并自动转入允许测试状态。

⑤ 样品测定：当仪器显示“测试样品”时，先将测试的果蔬样品放置于光学测试头下，将测头与果蔬表面紧密接触，按“执行”开关，完成一次测试。

⑥ 选择表色参数：读取 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h 值。

⑦ 重复测定：单个样品重复测定，取其平均值。

⑧ 关机：当一批样品测色结束后，关上 POWER 开关，指示灯灭，切断电源，收好标准白板、黑筒等。

(3) 当样品测定完毕和记录好数据后，正确关机，把色差仪收藏于仪器盒中。

五、实验结果与计算

将实验结果与计算值记入表 2-2 中。

表 2-2 实验结果与计算值

测定编号	a^*	b^*	L^*	C^*	h
1					
2					
3					
4					
平均值					

六、注意事项

(1) 在使用色差仪测定果蔬表面的颜色时候要缓慢，避免光学测试面猛烈撞击果蔬造成损伤。

(2) 在潮湿的季节，使用色差仪之前，最好提前 10min 通电，开机预热。

(3) 不同品牌的色差计操作界面不同，但是使用过程主要包括“通电”“预热”“调零”“调白”和“测试”等几个步骤。

七、思考题

测定同一果实不同部位、同一种果实的不同成熟度的颜色，计算 $\Delta E_{a^*b^*}$ 值，并分析造成的原因有哪些？

实验二 食品气味的测定

一、实验目的要求

了解电子鼻的构造及工作原理，掌握电子鼻测定果蔬气味的方法。

二、实验基本原理

在食品评价中，气味是一个很重要的指标。气味是指食品给人嗅觉器官的感觉，而气味物质是指能够引起嗅觉反应的物质。引起嗅觉的气味刺激主要是具有挥发性、可溶性的有机物和一些可挥发的无机物。电子鼻是测定食品气味较为常用的设备之一，它操作相对简单、成本比较低，在食品检测行业，应用非常广泛。

电子鼻是由有选择性的电化学传感器阵列和适当的识别方法组成的仪器，能识别简单和复杂的气味。电子鼻模拟人的嗅觉对被测气体进行感知、分析和识别，其过程包含三个部分：（1）气敏传感器阵列与气味分子反应后，通过一系列物理化学变化产生电信号；（2）电信号经过电子线路，将信号放大并转换成数字信号输入计算机中进行数据处理；（3）处理后的信号通过模式识别系统，最后定性或定量地输出对气体所含成分的检测结果。

电子鼻的工作原理示意图见图 2-1。

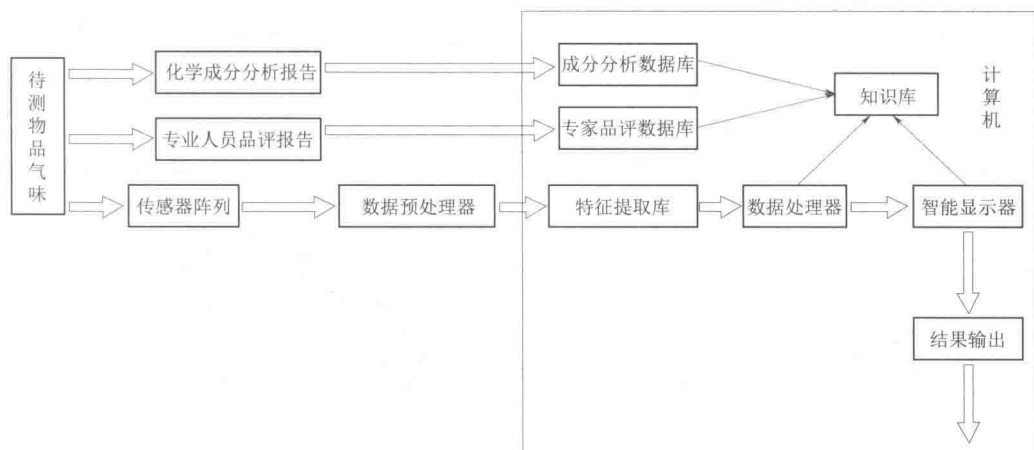


图 2-1 电子鼻的工作原理示意图

电子鼻的工作流程可简单归纳为：传感器阵列→信号预处理→神经网络和各种算法→计算机识别（气体定性定量分析）。从功能上讲，气敏传感器阵列相当于生物嗅觉系统中的大量嗅感受器细胞，神经网络和计算机识别相当于生物的大脑，其余部分则相当于嗅神经信号传递系统。

三、实验仪器、材料及试剂

（1）实验仪器 电子鼻、烧杯（200mL）、保鲜膜、电子天平、称量纸、计时器、记号笔等。

（2）实验材料 苹果、香蕉、猕猴桃、生菜等果蔬材料。

（3）实验试剂 蒸馏水。

四、实验步骤

1. 准备实验样品

将 30~50g 猕猴桃果实打浆样品置于 200mL 的烧杯中，迅速用保鲜膜封住烧杯的口，

然后用橡皮筋扎紧，转移到 25℃ 的恒温培养箱中培养 20min。如果有 n 个实验样品需要比较，那么称取的样品质量，在 25℃ 恒温培养箱中培养的时间必须一致。

2. 电子鼻的使用方法

(1) 测量电子鼻前，至少提前 1h 把实验室窗户打开，方便空气流动，加快屋内异味挥发，1h 后打开实验室空调，待温度达到 25℃ 开始连接实验仪器，开机后，打开电脑，点击电脑桌面电子鼻软件快捷方式，同时提前半个小时打开恒温培养箱，并设置为 25℃。

(2) 带软件打开，点击 Options → Search Devices → 4 PEN3 → OK。

(3) 选择 Options → Device → Settings → 参数设置。

(4) 实验开始前清洗时间设置 2000s 左右 (Zero point trim time)，待所有传感器的电阻值均达到 1.000 ± 0.050 时即可开始实验，清洗时间设置 220s 即可。

(5) 实验测定时间一般为 50s，如果测量过程中在 40 ~ 50s 时，传感器的曲线仍然没有达到平行，请将测定时间调至 80s，甚至更长，一般气味大的果蔬，如芒果需要 80s，其他 50s 即可。

(6) 当实验清洗时间设置为 220s，测试时间设置为 50s，那么每个样品从测试开始到结束，大概需要 300s。同等质量实验样品一般装入指定烧杯中，用较厚的保鲜膜封口并用橡皮筋绑定即可，需要密封 20min，密封期间放入 25℃ 培养箱中，所以当第一个样品封好后，第二个样品隔 5min 之后进行封口，这样当第一个样品测量结束时，即可立即测试第二个样品，依次类推。

(7) 选择开始测试，点击 Start manual measurement (即软件左边第四个快捷键)。

(8) 开始测试起初为清洗时间，假设 220s，待仪器经过 220s 后会进行倒计时，当倒计时出现 1 时，请快速将测试探头和石墨探头插入待测样品容器中，注意，石墨探头要更接近样品容器底部，也就是说石墨探头插入的深度要比测试探头深。当测定时间结束，一般为 50s，仪器会继续倒计时，待倒计时为 1 时，请立即将两个探头移除。

(9) 测定结束时，选择 Save current measurement file 进行保存，将数据保存至相应的文件夹中，待所有的样品测试结束，集中进行数据处理。

五、实验结果与计算

待所有实验样品测定完毕后，利用电子鼻软件 (以德国 AIRSENSE 公司 PEN3 型为例) 可以进行数据整理以及结果的统计分析。具体方法如下：

1. 选择文件 (快捷键左边第二个 Open existing measurement file) 进行查看

查看在测定时间结束时 (一般测定时间 50s，对 40 ~ 50s 进行观察)，观察 10 根传感器曲线相对平行时所在的时间，一般可以选择 45s，然后点击鼠标左键，待图中出现一条红线，查看右上方图 Analysis results 的数值，需要找到数值最大的传感器并记录，接着把同一处理的所有平行一次打开，并记录最初选择传感器的数值，当同一个指标所有的值记录完毕后，找出最接近的三个数值，记录文件编号，只对这三个数据进行处理。

2. 文件输出

(1) 点击软件左边 File → Pattern → NEW。

(2) 继续点击软件左边 File → Pattern → Edit → Add → Within Range from 44 to 46 → Pattern Name: 0 -1 → Add → 选择三个标记好的文件 → Ok → Apply → 确定。