

Food

高等学校规划教材

A Series of Food Science
& Technology Textbooks

食品科技
系列

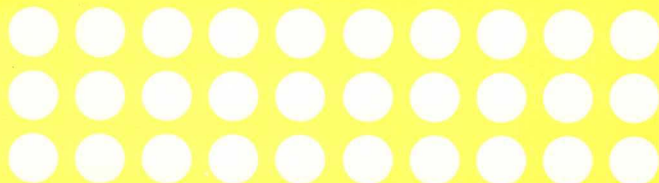


食品科学与工程 专业实验

丁利君 等编



学工业出版社



Food

高等学校规划教材

A Series of Food Science
& Technology Textbooks

食品科技
系列

食品科学与工程 专业实验

丁利君 等编



化学工业出版社

·北京·

《食品科学与工程专业实验》分为绪论、食品微生物实验、食品化学与分析实验、食品工程原理实验、食品专业综合实验、食品专业创新实验六章，包含了食品科学与工程专业的主要实验内容。书中介绍的实验均已在教学实践中采用过，具有较好的教学效果。

《食品科学与工程专业实验》可作为高等学校食品及相关专业的本科生教材，也可作为高等职业院校食品类专业的实践指导书，还可供食品类专业的实验技术指导教师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品科学与工程专业实验/丁利君等编. —北京:
化学工业出版社, 2019. 2
ISBN 978-7-122-33338-4

I. ①食… II. ①丁… III. ①食品科学-实验-教材
②食品工程学-实验-教材 IV. ①TS201-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 270358 号

责任编辑: 徐雅妮 马泽林
责任校对: 王鹏飞

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京京华铭诚工贸有限公司
装 订: 三河市振勇印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 12³/₄ 字数 319 千字 2019 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元 版权所有 违者必究

《食品科学与工程专业实验》编写人员

(按姓氏笔画排序)

丁利君 于泓鹏 刘 丹 孙建霞

吴克刚 吴雅红 陈 林 姜 燕

柴向华 陶志华 樊黎生

前言

全面推进素质教育，着力培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的人才，已成为当今食品科学与工程专业本科教育的主题。实验教学是对理论教学的继续、补充扩展与深化，能有效提高高校学生的专业素质和实验技能，有利于培养学生的创新能力。

《食品科学与工程专业实验》的特点有两个：一是对食品科学与工程专业实验教学内容进行整合和拓展，目的是培养出优秀的应用型、创新型人才以满足食品行业发展的需要；二是把教改成果应用到食品科学与工程专业的实践教学中，使教材具有实用性、科学性、系统性和创新性。

本书的编写人员，都是长期从事食品科学与工程专业实验教学的一线教师，由各位教师分工合作，共同完成了教材的编写。第一章绪论由丁利君教授负责编写；第二章食品微生物实验由吴雅红副教授负责编写；第三章食品化学和分析实验，樊黎生副教授、于泓鹏副教授负责编写食品分析实验内容，柴向华副教授负责编写食品化学实验内容；第四章食品工程原理实验由刘丹副教授负责编写；第五章食品专业综合实验由丁利君教授、陈林副教授、吴雅红副教授、樊黎生副教授等共同编写；第六章食品专业创新实验由吴克刚教授、孙建霞副教授、陶志华副教授、姜燕副教授等共同完成。

在本书的编写过程中，得到了刘晓丽副教授和段雪娟老师的大力支持，在此深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2019年1月

目 录

第一章 绪论 / 1

第二章 食品微生物实验 / 10

实验一 普通光学显微镜的构造和使用	11	实验七 微生物细胞大小的测定	23
实验二 放线菌形态及菌落特征的观察	16	实验八 微生物显微计数——血球计数板法	25
实验三 酵母菌形态及菌落特征的观察	17	实验九 器皿的包扎与灭菌	27
实验四 霉菌形态及菌落特征的观察 ...	18	实验十 培养基的制备	31
实验五 细菌的简单染色与形态观察 ...	20	实验十一 微生物的稀释平板计数与划线分离	33
实验六 革兰染色法	22	实验十二 菌种保藏	36

第三章 食品化学与分析实验 / 41

第一部分 食品主要成分分析

实验一 水分含量的测定	41	实验十 氨基酸总量的测定	62
实验二 总灰分的测定	44	实验十一 维生素 C 含量的测定	65
实验三 总酸度的测定	45	实验十二 氯化钠的测定	69
实验四 有效酸度——pH 值的测定 ...	46	实验十三 碘含量的测定	72
实验五 挥发酸的测定	48	实验十四 硒的测定	73
实验六 脂肪的测定	49	实验十五 亚硝酸盐的测定	75
实验七 还原糖的测定	52	实验十六 多酚类物质总量的测定	77
实验八 总糖的测定	55	实验十七 黄酮类化合物含量的测定 ...	78
实验九 蛋白质的测定	56	实验十八 膳食纤维含量的测定	79

第二部分 食品加工与贮藏中的分析检测

实验一 食品水分活度的测定	82	实验六 脂肪氧化的过氧化值及酸价的测定	91
实验二 美拉德反应初始阶段的测定 ...	86	实验七 蛋白质的功能性质 (一)	93
实验三 美拉德反应	87	实验八 蛋白质的功能性质 (二)	95
实验四 淀粉糊化及酶法制备淀粉糖浆及其葡萄糖值的测定	88	实验九 蔬菜加工中护色实验与水果酶促褐变的防止	96
实验五 豆类淀粉和薯类淀粉的老化 ...	90		

实验十	番茄红素直接测定法	97	测定	99
实验十一	酚酶的提取及其活力测定 ...	98	实验十三	叶绿素的分离及含量
实验十二	水果皮颜色和淀粉白度的		测定	101

第四章 食品工程原理实验 / 103

实验一	伯努利方程实验	103	实验五	空气-蒸汽给热系数的测定 ...	116
实验二	雷诺实验	106	实验六	精馏实验	121
实验三	流体流动阻力的测定	108	实验七	吸收实验	125
实验四	数字型恒压过滤常数的测定 ...	111	实验八	干燥实验	127

第五章 食品专业综合实验 / 130

实验一	糖水罐头、果酱的加工及其 质量控制	131	实验九	鸡精的制备及其质量控制	148
实验二	香蕉果汁的加工及其酶法 澄清	134	实验十	面包制作	154
实验三	泡菜的制作及其亚硝酸盐 含量的分析	135	实验十一	面包的质量标准和感官 评定	156
实验四	内酯豆腐的制作	137	实验十二	蛋糕制作	159
实验五	腐竹的制作	140	实验十三	蛋糕的质量感官评价	161
实验六	酸奶的制作	141	实验十四	韧性饼干的制作	163
实验七	蛋黄酱的制作	143	实验十五	桃酥的制作	164
实验八	奶油冰淇淋的生产工艺与 配方	145	实验十六	曲奇饼干的制作	165
			实验十七	米酒制作	167
			实验十八	果胶的提取及柠檬味果冻的 制备	169

第六章 食品专业创新实验 / 171

创新实验报告范例 / 174

附录 / 180

附录 1	拓展实验	180	标定	188	
附录 2	大肠菌群测定的操作细则	180	附录 7	常用洗涤液的配制	191
附录 3	常用染色液的配制	182	附录 8	常用指示剂的配制方法与 pH	
附录 4	常用培养基的配制	183		范围的颜色变化	191
附录 5	实验室常用试剂的配制	185	附录 9	常用酸、碱的浓度表	192
附录 6	标准滴定溶液的配制及		附录 10	实验报告格式范例	193

参考文献 / 194

第一章 绪论

一、食品科学与工程专业实验的目的与要求

食品科学与工程专业实验是配合食品科学与工程专业（以下简称食品专业）理论教学而设置的实验课，是教学中的实践环节，是学习掌握食品专业知识的重要手段。食品专业实验不同于基础课实验，专业实验都是按理论课程的需要以及生产产品的要求而设置的，实验结果可以直接用于或指导工程计算和设计。通过实验可以达到以下教学目的：

- (1) 配合理论教学，通过实验进一步学习、掌握和运用学过的基本理论知识。
- (2) 运用学过的食品微生物、食品分析、食品化学、食品工艺学等理论知识，分析实验过程中的各种现象和问题，培养训练学生分析问题和解决问题的能力。
- (3) 了解食品专业研究的基本内容，学习常用实验仪器的使用，使学生掌握食品专业实验的基本方法，并通过实验操作训练学生的实验技能，通过设计型综合实验、创新实验，提高学生的合作精神、创新能力和综合素质。
- (4) 应用计算机软件进行实验数据的分析处理，编写报告，培养训练学生实际计算和组织报告的能力。
- (5) 通过实验培养学生良好的学习作风和工作作风，以严谨、科学、求实的精神对待科学实验与开发研究工作。

食品科学与工程专业实验的教学要求如下。

1. 实验前的准备工作

实验前必须认真预习实验教材的有关章节，仔细了解所做实验的目的、要求、方法和基本原理。在全面预习的基础上写出预习报告，内容包括：目的、原理、实验方案及预习中的问题，并准备好实验记录表格。

进入实验室后，要对实验需要的试剂、仪器等做细致的了解，并认真思考实验操作步骤、测量内容与测定数据的方法。对实验预期的结果、可能发生的故障和排除方法，做一些初步的分析和估计。

实验开始前，小组成员应进行适当分工，明确要求，以便实验中协调工作。

2. 实验操作、观察与记录

在实验过程中，应全神贯注并精心操作，要仔细观察所发生的各种现象，这有助于对实验过程、结果的分析和理解。

实验中要认真仔细地测定数据，将数据记录在规定的表格中。对数据要判断其合理性，

在实验过程中如遇数据重复性差或规律性差等情况,应分析实验中的问题,找出原因加以解决。

做完实验后,要对数据进行初步检查,查看数据的规律性,有无遗漏或记错,一经发现应及时补正。实验记录应请指导教师检查,指导教师审核通过后再停止实验并将实验仪器、试剂等恢复到实验前的状态。实验记录是处理、总结实验结果的依据。实验应按实验内容预先制作记录表格,在实验过程中认真做好实验记录,并在实验中逐渐养成良好的记录习惯。记录应仔细认真,整齐清楚。要注意保存原始记录,以便核对。

3. 实验报告

实验结束后,应及时处理数据,按实验要求认真完成报告的整理编写工作。实验报告是实验工作的总结,完成实验报告也是对学生工作能力的培养,因此要求学生各自独立完成这项工作。

实验报告应包括以下内容:实验题目、实验目的或任务、实验基本原理、实验设备及流程(绘制简图)、简要操作说明、原始数据记录、数据整理方法及计算示例、实验结果(可以用列表、图形曲线或经验公式表示)、分析讨论。实验报告应力求简明,条理分析清楚,文字书写工整,标点符号使用正确。图表要整齐地放在适当位置,实验报告要装订成册。实验报告中应写出学生姓名、班级、实验日期、同组人和指导教师姓名。实验报告应在指定时间交给指导教师批阅。

二、食品科学与工程专业实验的安全知识

食品科学与工程专业的实验室存在较多的安全风险,如危险品使用、实验操作、高温高压设备使用、废液收集处理等过程均存在危险因素。实验室中不仅有各种具有潜在危险的仪器设备,室内往往还相对集中地存放了一定量的危险物品。常年与这些危险仪器设备、危险物品相伴,稍有不慎就有可能引发灼伤、火灾、爆炸、中毒、辐射、电击等各种安全事故。每一个进入实验室的实验人员都必须高度重视实验室的安全问题,牢固树立“安全第一”的思想,尽量减少或避免实验室安全事故的发生。

1. 电器使用安全

注意安全用电极为重要,对电器设备必须采取安全措施,操作者必须严格遵守下列操作规定。

- (1) 进入实验室时,必须清楚总电闸、分电闸所在位置,并能够正确开启。
- (2) 使用仪器时,应注意仪表的规格,所用的规格应满足实验要求(如交流或直流电表、规格等),同时在使用时要注意读数是否有连续性。
- (3) 一切仪器应按说明书装接适当的电源,需要接地的一定要接地。
- (4) 实验时不要随意接触连线处,不得随意拉拖电线、电机,搅拌器转动时,注意勿使衣服、头发、手等卷入。
- (5) 电器设备维修时应停电作业。对使用高压电、大电流的实验,至少要有2~3人进行操作。若电源为三相,则三相电源的中性点要接地,这样一旦触电时可降低接触电压;接三相电动机时要注意正转方向是否符合,否则要切断电源,对调相线。
- (6) 仪器发生故障时应及时切断电源。
- (7) 实验结束后,关闭仪器和总电闸。

2. 化学试剂使用安全

一切试剂瓶上都应粘贴标签;使用化学试剂后应立即盖好盖子并把试剂瓶放回原处;用

牛角勺取固体试剂或用量筒量取液体试剂时，必须擦洗干净。在天平上称量固体试剂时，应少取试剂，并逐渐加到天平托盘上以免浪费。特别注意具有腐蚀性、有毒和危险化学品试剂的使用，具体要求如下。

(1) 强酸对皮肤有腐蚀作用，且会损坏衣物，应特别小心；稀释硫酸时不可把水注入酸中，只能在搅拌下将浓硫酸缓缓倒入水中。

(2) 量取浓酸或类似液体时，只能用量筒，不能用移液管量取。

(3) 盛酸瓶用完后，应立即用水将盛酸瓶冲洗干净。

(4) 若酸溅到了身体的某个部位，应用大量水冲洗。

(5) 浓氨水及浓硝酸瓶启盖时应特别小心，最好以布或纸覆盖后再启盖。若在炎热的夏天必须先以冷水冷却。

(6) 氢氧化钠、氢氧化钾、碳酸钠、碳酸钾等碱性试剂的贮瓶，不可用玻璃塞，只能用橡胶塞或软木塞。

(7) 大多数有机化合物有毒且易燃、易爆、易挥发，所以要注意实验室的通风。

(8) 使用有毒的化学试剂或在操作中可能产生有毒气体的实验，必须在通风橱内进行。

(9) 金属汞是一种剧毒的物质，吸入其蒸气会中毒，可溶性的汞化合物会产生严重的急性中毒，故使用汞时不能把汞溅泼。如发现汞洒落应立即用硬纸片铲起（注意不要用扫帚清扫，避免加速汞的挥发），不要沾水。收好后开窗通气。当汞滴散在缝隙中或滴散得十分细小时，可取适量硫黄粉覆盖，使之产生化学反应形成固体硫化汞，3~4h后清扫。

(10) 易燃和易爆的化学药品应贮存在远离建筑物的地方，贮存室内要备有灭火装置。易燃液体在实验室只能用瓶盛装且不得超过 1L，否则应用金属类容器盛装，使用时周围不应有明火。蒸馏易燃液体时，不要用明火直接加热，装料不得超过体积的 2/3，加热不可太快以避免局部过热。易燃物质如酒精、苯、甲苯、乙醚、丙酮等在实验桌上临时使用或暂时放置，都不能超过 500mL，并应远离电炉和一切热源。在明火附近不得用可燃性热溶剂清洗仪器，应用没有自燃危险的清洗剂洗涤，或移到没有明火的地方洗涤。乙醚长期存放后，常会生成过氧化物，故蒸馏乙醚时不能完全蒸干，应剩余 1/5 体积的乙醚，以免爆炸。避免金属钠和水接触，钠必须存放在无水的煤油中。

3. 机械设备使用安全

由机械设备产生的危险主要是机械危险，在操作过程中要加以注意，机械危险介绍如下。

(1) 卷绕和绞缠 做回转运动的机械部件在运动的情况下，将人的头发、饰物（如项链）、肥大衣袖或下摆卷绕和绞缠引起的伤害。

(2) 挤压、剪切和冲撞 做往复直线运动的零部件，如相向运动的两部件之间、运动件与静止部分之间由于安全距离不够产生的夹紧，零部件直线运动造成的冲撞等。

(3) 切割、戳扎、擦伤和碰撞 机械设备尖棱、立角、锐边，粗糙表面（如砂轮、毛坯），机械结构上的凸出、悬挂部分等产生的危险，无论物体是处于运动还是静止的状态，都可能引起伤害。

4. 实验室安全事故处理

在实验操作过程中，总会不可避免地发生危险事故，如火灾、触电、中毒及其他意外事故。为了及时防止事故进一步扩大，在紧急情况下，应采取果断、有效的措施。

(1) 割伤 取出伤口中的玻璃碎片或其他固体物，然后抹上红药水并包扎。

(2) 烫伤 切勿用水冲洗，轻伤涂以烫伤油膏、玉树油、鞣酸油膏或黄色的苦味酸溶

液；重伤涂以烫伤油膏后立即去医院治疗。

(3) 试剂灼伤 被酸或碱灼伤，应立即用大量水冲洗，然后相应地用饱和碳酸氢钠溶液或2%醋酸溶液洗，最后再用水洗。严重时要消毒，拭干后涂抹烫伤油膏。

(4) 酸或碱溅入眼内 立即用大量水冲洗，然后用1%碳酸氢钠溶液或硼酸溶液冲洗，最后再用水洗。溴水溅入眼内的处理方法与此相同。

(5) 吸入刺激性或有毒气体 立即到室外呼吸新鲜空气。如遇昏迷休克、虚脱或呼吸机能不全者，可进行人工呼吸，可能时给予氧气和浓茶、咖啡等。

(6) 毒物进入口内 对于强酸或强碱，先饮大量水，然后相应服用氢氧化铝膏、鸡蛋白或醋、酸果汁，再用牛奶灌注。对于刺激剂及神经性毒物，先用适量牛奶或鸡蛋白使之立即冲淡缓和，再内服15%~25%硫酸铜溶液，随后用手指伸入咽喉部促使呕吐，然后立即送往医院。

(7) 触电 应立即拉下电闸，切断电源，使触电者脱离电源。或戴上橡胶手套穿上胶底鞋（或脚踏干燥木板）绝缘后将触电者从电源上拉开。将触电者移至适当地方，解开衣服，必要时进行人工呼吸及体外心脏按压，并立即找医生处理。

(8) 火灾 一旦发生了火灾，应保持沉着镇静，要切断电源、熄灭所有加热设备、移出附近的可燃物；关闭通风装置，减少空气流通，防止火势蔓延；尽快拨打“119”求救。要根据起因和火势选用适当的方法，一般的小火用湿布、石棉布或沙子覆盖燃烧物即可熄灭。

火势较大时应根据具体情况采用下列灭火器：

① 四氯化碳灭火器 用于扑灭电器内或电器附近着火，但不能在狭小的、通风不良的室内使用（因为四氯化碳在高温时将生成剧毒的光气）。使用时只需开启开关，四氯化碳即会从喷嘴喷出。

② 二氧化碳灭火器 适用性较广，使用时应注意，一只手提灭火器，另一只手应握在喇叭筒把手上，而不能握在喇叭筒上（否则易被冻伤）。

③ 泡沫灭火器 火势大时使用，非大火通常不用，因事后处理较麻烦。使用时将筒身颠倒即可喷出大量二氧化碳泡沫。

无论使用何种灭火器，皆应从火的四周开始向中心扑灭。若身上的衣服着火，切勿奔跑，赶快脱下衣服；或用厚的外衣包裹使火熄灭；或用石棉布覆盖着火处；或就地卧倒打滚；或打开附近的自来水冲淋使火熄灭。严重者应躺在地上（以免火焰着向头部）用防火毯紧紧包住直至火熄灭。烧伤较重者，立即送往医院。若个人力量无法有效阻止事故的进一步发生，应该立即拨打“119”。

5. 实验室环保操作规范

要注意实验室的环境，按实验室环保操作规范操作。

(1) 处理废液、废物时，一般要戴上防护眼镜和橡胶手套。有时要穿防毒服装。处理有刺激性和挥发性废液时，要戴上防毒面具在通风橱内进行。

(2) 接触过有毒物质的器皿、滤纸等要收集后集中处理。

(3) 废液应根据物质性质的不同分别集中在废液桶内，贴上标签，以便处理。在集中废液时要注意，有些废液不可以混合，如过氧化物与有机物、盐酸等挥发性酸与不挥发性酸、铵盐及挥发性胺与碱等。

(4) 实验室内严禁吃食物，离开实验室要洗手，如面部或身体被污染必须清洗。

(5) 实验室内要采用通风、排毒、隔离等安全环保防范措施。

三、实验数据测量及有效数字的读取

实验研究是学科建立和发展的基础。在实验研究过程中需要测量实验数据，并对其进行分析、计算，整理成图表、公式或经验模型。为了保证实验结果的可靠性和准确性，必须正确测量、处理和分析这些数据。

1. 实验数据的测量

测量是用实验的方法获得被测量量值的过程。按照测量对象和测量结果的关系分类，可将测量分为直接测量或间接测量。直接测量就是用测量工具或测量仪器直接给出被测几何量或物理量的量值过程。如用温度计测量温度、用尺子测量长度等均为直接测量。直接测量是实现物理量测量的基础，在实验过程中应用十分广泛。而通过直接测量和必要的数学运算才能得到被测量量值，这种测量称为间接测量。如平衡常数的测量，需要测量平衡时的温度、压力和组分浓度后，通过计算才能得到。实验需进行大量的数据测量工作，正确测量实验数据直接关系到实验结果的可靠性。

2. 数据的读取

(1) 有效数据的读取 实验数据的测量有直接测量和间接测量两种方法。直接测量值的有效数字的位数取决于测量仪器的精度。测量时，一般有效数字的位数可保留到测量仪器的最小刻度后一位，为估计数字。例如温度计的最小分度为 1°C 时，其有效数字可取至小数点后一位，如 20.6°C 最后一位数字为估值，其余数字为准确数，有效数字为 3 位。通常测量某一参数，可估计到最小分度的十分位。在实验过程中，有些物理量难以直接测量时，可采用间接测量法测量。通过间接测量得到的有效数字的位数与其相关的直接测量的有效数字有关，其取舍方法服从有效数字的计算规则。

(2) 数据读取注意事项 对于稳态过程实验，一定要达到稳态的条件下才可读取数据，否则读取的数据与其他数据不具有真实的对应关系。而对于非稳态过程实验，则应按实验过程规划好读取数据的时间，读取同一瞬时值。

在数据读取时，应注意仪表指示的量程、分度单位等，按正确的方法读取数据。通常在一定的条件下要读取两次以上，以达到自检的目的。记录实验数据时，应字迹清楚，避免涂改，并注明单位。对所读取的数据运用所学的知识，分析判断其趋势是否正确。若测量数据明显不合理，应分析原因，及时采取措施改正。此外，要根据事先拟定的测量数据表，检查是否有漏读数据。

3. 有效数字及其运算规则

在科学与工程中，该用几位有效数字来表示测量或计算结果，总是以一定位数的数字来表示，不是意味着一个数值中小数点后面位数越多越准确。实验中，从测量仪表上所读取数值的位数是有限的，其最后一位数字往往是仪表精度所决定的估计数字。即一般应读到测量仪表最小刻度的十分之一位。数值准确度大小由有效数字位数来决定。

一个数据，其中除了起定位作用的“0”外，其他数都是有效数字。如 0.0037 只有 2 位有效数字，而 370.0 则有 4 位有效数字。一般要求测试数据有效数字为 4 位。要注意有效数字不一定是可靠数字。如测流体阻力所用的 U 形管压差计，最小刻度是 1mm，但我们可以读到 0.1mm，如 342.4mmHg。又如二等标准温度计最小刻度为 0.1°C ，我们可以读到 0.01°C ，如 15.16°C 。此时有效数字为 4 位，而可靠数字只有 3 位，最后一位是不可靠的，称为可疑数字。记录测量数值时只保留一位可疑数字。

为了清楚地表示数值的精度，明确读出有效数字位数，常用指数的形式表示，即写成一

个小数与相应 10 的整数幂的乘积。这种以 10 的整数幂来记数的方法称为科学记数法。

如 75200: 有效数字为 4 位时, 记为 7.520×10^5 ; 有效数字为 3 位时, 记为 7.52×10^5 ; 有效数字为 2 位时, 记为 7.5×10^5 ; 又如 0.00478: 有效数字为 4 位时, 记为 4.780×10^{-3} ; 有效数字为 3 位时, 记为 4.78×10^{-3} ; 有效数字为 2 位时, 记为 4.8×10^{-3} 。

有效数字运算规则:

(1) 记录测量数值时, 只保留一位可疑数字。

(2) 当有效数字位数确定后, 其余数字一律舍入。舍入办法是“四舍六入”, 即末位有效数字后边第一位小于 5, 则舍弃不计; 大于 5, 则在前一位数上增 1; 等于 5, 若前一位为奇数, 则进 1 为偶数, 前一位为偶数, 则舍弃不计。这种舍入原则可简述为: “小则舍, 大则入, 正好等于奇变偶”。如保留 4 位有效数字: $3.71729 \rightarrow 3.717$, $5.14285 \rightarrow 5.143$, $7.62356 \rightarrow 7.624$, $9.37656 \rightarrow 9.376$ 。

(3) 在加减计算中, 各数所保留的位数, 应与各数中小数点后位数最少的相同。例如将 24.65、0.0082、1.632 三个数字相加时, 应写为 $24.65 + 0.01 + 1.63 = 26.29$ 。

(4) 在乘除运算中, 各数所保留的位数, 以各数中有效数字位数最少的那个数为准; 其结果的有效数字位数亦应与原来各数中有效数字最少的那个数相同。例如将 0.0121、25.64、1.05782 三个数字相乘时, 应写为 $0.0121 \times 25.6 \times 1.06 = 0.328$ 。

上例说明, 虽然这三个数的乘积为 0.3281823, 但只应取其积为 0.328。

(5) 在对数计算中, 所取对数位数应与真数有效数字位数相同。

四、实验数据误差分析和数据处理

由于实验方法和实验设备的不完善, 周围环境的影响, 人的观察力以及测量程序等的限制, 实验观测值和真值之间, 总是存在一定的差异。人们常用绝对误差、相对误差或有效数字来说明一个近似值的准确程度。为了评定实验数据的精确度或误差, 认清误差的来源及其影响, 需要对实验的误差进行分析和讨论。由此可以判定哪些因素主要影响实验精确度, 从而在以后的实验中, 进一步改进实验方案, 缩小实验观测值和真值之间的差值, 提高实验的精确度。

1. 真值与平均值

测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段。通过测量和实验能使人们对事物获得定量的概念和发现事物的规律性。科学上很多新的发现和突破都是以实验测量为基础的。测量就是用实验的方法, 将被测物理量与所选用作为标准的同类量进行比较, 从而确定它的大小。

真值是待测物理量客观存在的确定值, 也称理论值或定义值。通常真值是无法测得的。在实验中, 当测量的次数无限多时, 根据误差的分布定律, 正负误差的出现概率相等。再经过细致的消除系统误差, 将测量值加以平均, 可以获得非常接近于真值的数值。但是实际上实验测量的次数总是有限的。用有限测量值求得的平均值只能是近似真值, 常用的平均值有下列几种。

(1) 算术平均值 算术平均值是最常见的一种平均值。

设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为各次实验的测量值, n 代表测量次数, 则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

(2) 几何平均值 几何平均值是将一组 n 个测量值连乘并开 n 次方求得的平均值。即

$$\bar{x}_{\text{几}} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}$$

(3) 均方根平均值 均方根平均值是将 n 个测量值的平方相加, 除 n 并开根号。即

$$\bar{x}_{\text{均}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

(4) 对数平均值 在化学反应、热量和质量传递中, 其分布曲线多具有对数的特性, 在这种情况下表征平均值常用对数平均值。

设两个量 x_1 、 x_2 , 其对数平均值为

$$\bar{x}_{\text{对}} = \frac{x_1 - x_2}{\ln x_1 - \ln x_2} = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}}$$

应指出, 变量的对数平均值总小于算术平均值。当 $x_1/x_2 \leq 2$ 时, 可以用算术平均值代替对数平均值。

当 $x_1/x_2 = 2$ 时, $|(\bar{x}_{\text{对}} - \bar{x})|/\bar{x}_{\text{对}} = 3.97\%$, 即 $x_1/x_2 \leq 2$, 引起的误差不超过 3.97% 。

以上介绍各平均值的目的是要从一组测定值中找出最接近真值的那个值。在科学研究中, 数据的分布较多属于正态分布, 所以通常采用算术平均值。

2. 误差的分类

根据误差的性质和产生的原因, 一般将误差分为三类。

(1) 系统误差 系统误差是指在测量和实验中未发觉或未确认的因素所引起的误差, 而这些因素影响结果永远朝一个方向偏移, 其大小及符号在同一组实验测定中完全相同, 当实验条件确定, 系统误差就获得一个客观上的恒定值。当改变实验条件时, 就能发现系统误差的变化规律。

系统误差产生的原因: 测量仪器不良, 如刻度不准, 仪表零点未校正或标准表本身存在偏差等; 周围环境的改变, 如温度、压力、湿度等偏离校准值; 实验人员的习惯和偏向, 如读数偏高或偏低等引起的误差。针对仪器的缺点、外界条件变化影响的大小、人为的偏向, 待分别加以校正后, 系统误差是可以清除的。

(2) 偶然误差 在已消除系统误差的一切量值的观测中, 所测数据仍在末一位或末两位数字上有差别, 而且它们的绝对值和符号的变化, 时大时小, 时正时负, 没有确定的规律, 这类误差称为偶然误差或随机误差。偶然误差产生的原因不明, 因此无法控制和补偿。但是, 倘若对某一量值作足够多次的等精度测量后, 就会发现偶然误差完全服从统计规律, 误差的大小或正负的出现完全由概率决定。因此, 随着测量次数的增加, 随机误差的算术平均值趋近于零, 所以多次测量结果的算术平均值将更接近于真值。

(3) 过失误差 过失误差是一种显然与事实不符的误差, 它往往是由实验人员粗心大意、过度疲劳和操作不正确等原因引起的。此类误差无规则可寻, 只要加强责任感、多方警惕、细心操作, 过失误差是可以避免的。

3. 精密度、准确度和精确度

(1) 精密度 测量中所测得数值重现性的程度, 称为精密度。它反映偶然误差的影响程度, 精密度高就表示偶然误差小。

(2) 准确度 测量值与真值的偏移程度, 称为准确度。它反映系统误差的影响程度, 准

确度高就表示系统误差小。

(3) 精确度(精度) 反映测量结果与真实值接近程度的量,称为精确度(也称精度)。它与误差大小相对应,测量的精度越高,其测量误差就越小。精度应包括精密度和准确度两层含义。在一组测量中,精密度高的准确度不一定高,准确度高的精密度也不一定高,但精确度高,则精密度和准确度都高。

4. 误差的表示方法

利用任何量具或仪器进行测量时,总存在误差,测量结果总不可能准确地等于被测量的真值,而只是它的近似值。测量的质量高低以测量精确度作指标,根据测量误差的大小来估计测量的精确度。测量结果的误差愈小,则认为测量就愈精确。

(1) 绝对误差 测量值 X 和真值 A_0 之差为绝对误差,通常称为误差。记为

$$D = X - A_0$$

由于真值 A_0 一般无法求得,因而上式只有理论意义。常用高一级标准仪器的示值作为实际值 A 以代替真值 A_0 。由于高一级标准仪器也存在较小的误差,因而 A 不等于 A_0 ,但总比 X 更接近于 A_0 。 X 与 A 之差称为仪器的示值绝对误差。记为

$$d = X - A$$

d 的相反数称为修正值,记为

$$C = -d = A - X$$

通过检定,可以由高一级标准仪器给出被检仪器的修正值 C 。利用修正值便可以求出该仪器的实际值 A 。即

$$A = X + C$$

(2) 相对误差 衡量某一测量值的准确程度,一般用相对误差来表示。示值绝对误差 d 与被测量的实际值 A 比值的百分数称为实际相对误差。记为

$$\delta_A = \frac{d}{A} \times 100\%$$

以仪器的测量值 X 代替实际值 A 的相对误差称为示值相对误差。记为

$$\delta_X = \frac{d}{X} \times 100\%$$

一般来说,除了某些理论分析外,用示值相对误差较为适宜。

(3) 引用误差(允许误差) 为了计算和划分仪表精确度等级,提出引用误差概念。其定义为仪表的示值绝对误差与量程范围之比的百分数。

$$\delta_{引} = \frac{\text{示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{d}{X_n} \times 100\%$$

式中, d ——示值绝对误差; X_n ——标尺上限值—标尺下限值。

(4) 算术平均误差 算术平均误差是各个测量点误差绝对值的平均值。

$$\delta_{平} = \frac{\sum |d_i|}{n} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

式中, n ——测量次数; d_i ——第 i 次测量的误差。

(5) 标准误差 亦称为均方根误差。其定义为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}}$$

上式适用于无限测量的场合。实际测量工作中,测量次数是有限的,则改用下式

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}}$$

标准误差不是一个具体的误差， σ 的大小只说明在一定条件下等精度测量集合所属的每一个测量值对其算术平均值的分散程度， σ 的值愈小则说明每一次测量值对其算术平均值分散度就愈小，测量的精度就愈高，反之精度就愈低。

5. 测量仪表精度等级

测量仪表的精度等级是用最大测量引用误差来标明的。它等于仪表中的最大示值绝对误差与仪表的量程范围之比的百分数。

$$\delta_{\max} = \frac{\text{最大示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{d_{\max}}{X_n} \times 100\%$$

式中， $\delta_{\max}$ ——仪表的最大测量引用误差； $d_{\max}$ ——仪表的最大示值绝对误差； X_n ——标尺上限值—标尺下限值。

通常情况下是用标准仪表校验较低级的仪表。所以，最大示值绝对误差就是被校表与标准表之间的最大绝对误差。

测量仪表的精度等级是国家统一规定的，把允许误差中的百分号去掉，剩下的数字就称为仪表的精度等级。仪表的精度等级常以圆圈内的数字标明在仪表的面板上。例如某台压力计的允许误差为 1.5%，这台压力计电工仪表的精度等级就是 1.5，通常简称 1.5 级仪表。

第二章

食品微生物实验

食品微生物实验是食品微生物学的基础性实验实训课程。通过食品微生物实验课程的学习,学生进一步掌握食品微生物检验的基本原理、仪器设备的使用及检验方法和技术,学习解决食品工程问题所需的基础知识和方法,并能将其应用于解决复杂的食品工程问题。通过实验,提高学生分析问题和解决问题的能力,为学生将来从事微生物学和相关学科的教学、科研与生产研究奠定基础,为后续专业实验打下基础。本章主要介绍显微镜的构造和使用、培养基的制备包扎灭菌、各种微生物的形态观察、细菌染色、微生物细胞测量、菌种保藏等基础微生物实验。在后续的拓展实验中,增设了环境因子对微生物生长的影响和微生物的生理生化实验。

在食品微生物实验教学安排中,特别注重基本理论和基本知识的系统性学习和操作。要求学生在实验前认真预习,实验中严格按照微生物检验的基本程序,保证操作的正确性。在巩固基础知识的同时,培养学生的观察能力、思考能力、分析问题和解决问题的能力。要求学生实事求是、严肃认真、勤俭节约、爱护公物。食品微生物实验开展时的注意事项如下。

1. 实验前认真预习,了解实验目的、原理和方法,熟悉实验的基本程序。
2. 要保持实验室的整洁,实验中不得大声说笑打闹,不许随意走动。
3. 一定要按实验操作规程进行,防止感染等意外的发生。如有意外,要立即报告老师,及时处理,不可隐瞒。
4. 实验中,切勿将乙醚、酒精等易燃试剂接近火源,以免发生危险。如遇火险,要先关掉火源,再用湿布或沙土掩盖灭火。必要时用灭火器灭火。
5. 使用显微镜等贵重仪器时,要求细心操作,特别爱护;对实验材料、试剂要力求节约,用完放回原处。
6. 实验过程中要认真观察,做好实验记录,根据所学的知识分析实验结果。如遇异常现象,要认真查找原因。
7. 凡是实验用过的菌种以及带有活菌的各种器皿,都应该先高压灭菌后才能洗涤。制片上的活菌标本,应先浸泡于5%的石炭酸溶液中30~60min,再行洗涤。
8. 每次实验需要进行培养的材料,各组标明组别和处理方法,放于老师指定的位置进行培养。实验室所有的菌种、物品、试剂等,未经老师许可,不得携带出实验室。
9. 实验完成后,应将实验所用的仪器、用具等洗净,按要求放好,做好实验室的清洁工作。