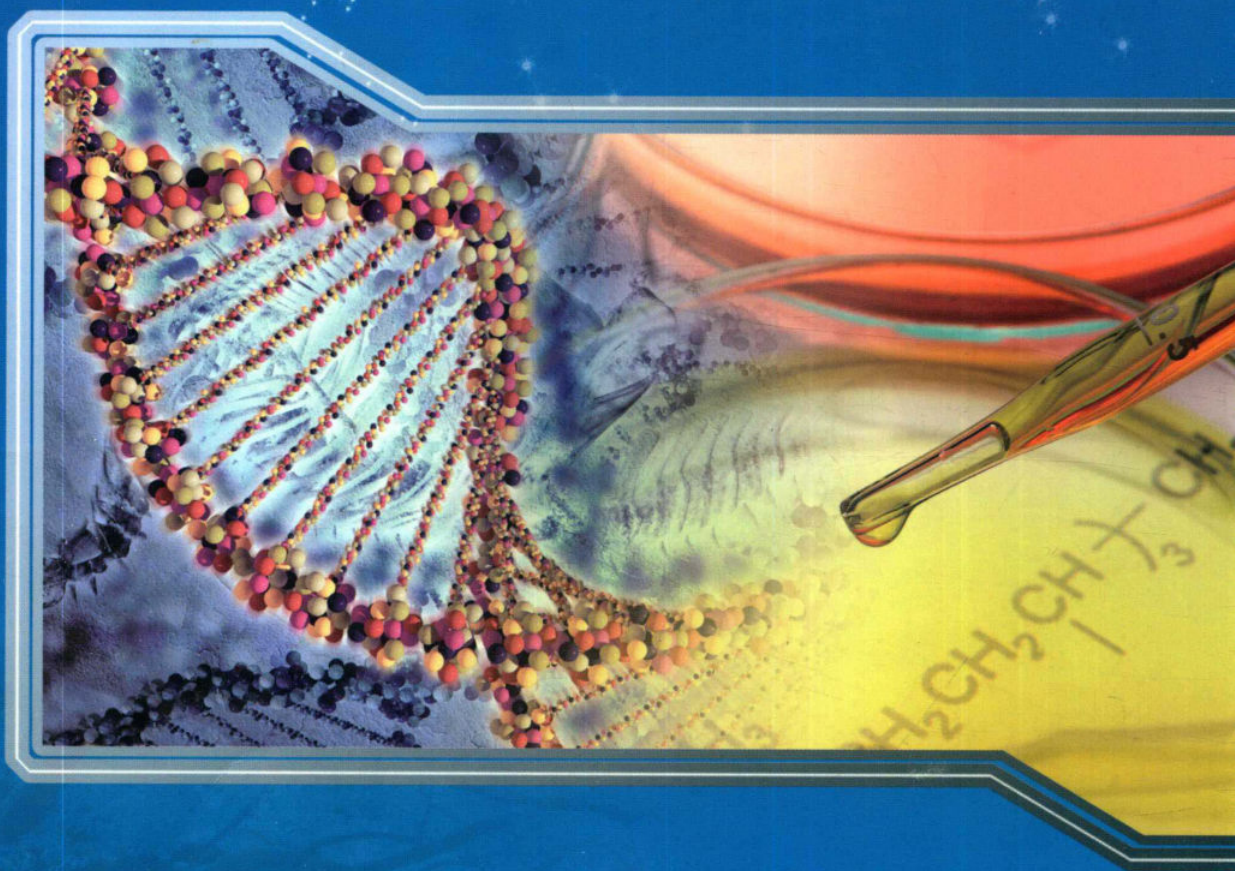


高等医学院校实验系列规划教材

# 医学生物化学实验与习题指导

YIXUE SHENGWUHUAXUE SHIYAN YU XITI ZHIDAO

主编 夏俊 段巧玲



中国科学技术大学出版社

高等医学院校实验系列规划教材

# 医学生物化学实验与习题指导

YIXUE SHENGWUHUAXUE SHIYAN YU XITI ZHIDAO

主 编 夏 俊 段巧玲

副主编 杨清玲 郭 侯

中国科学技术大学出版社

## 内 容 简 介

实验教学是医学教学的重要组成部分,是培养学生创新能力的主要部分。生物化学是生物医学的前沿学科,也是各医学专业的基础学科。本书根据高等医学院校各专业的培养目标及教学实际需要编写而成,共分两大部分:第1部分为医学生物化学实验,内容包括医学生物化学实验基本知识、医学生物化学实验基本原理、医学生物化学实验操作和综合性实验;第2部分是以生物化学理论课教学内容为依据,参考本学科历年经典试题进行编写的生物化学习题指导,有助于读者对理论知识的理解与记忆。

本书内容丰富,知识性和针对性强,突出实用性,可作为高等医学院校临床医学、预防医学、精神医学、口腔医学、医学检验、医学影像、药学、护理学、生物科学、制药工程等专业教学和参考用书使用。

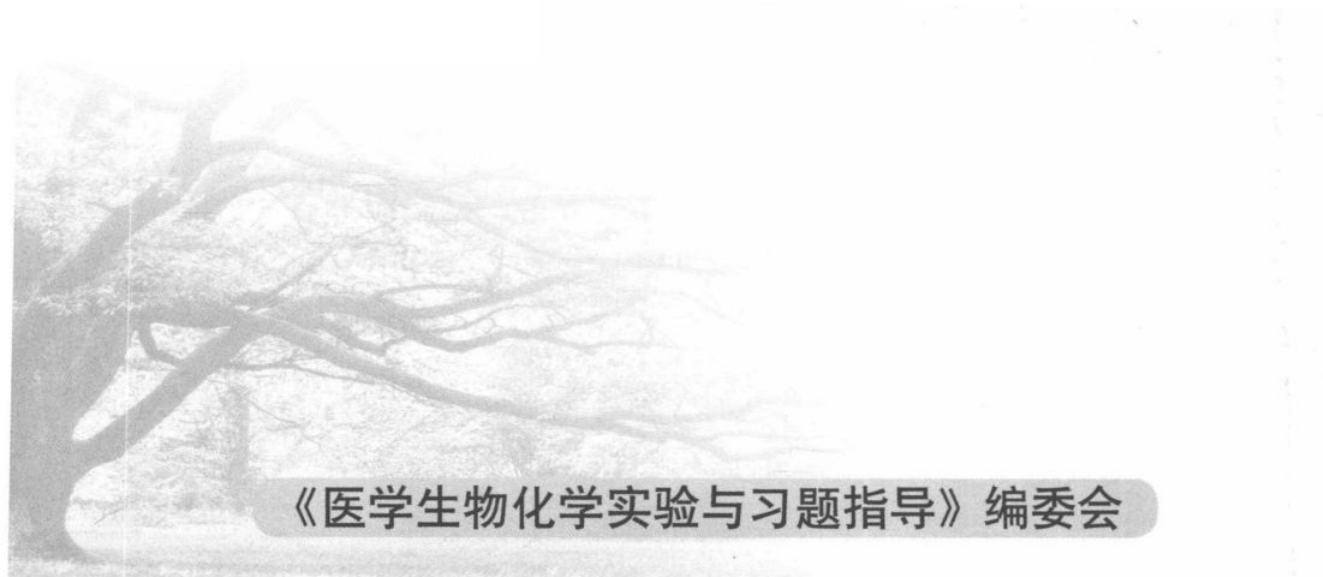
### 图书在版编目(CIP)数据

医学生物化学实验与习题指导/夏俊,段巧玲主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.8  
ISBN 978-7-312-04017-7

I. 医… II. ①夏… ②段… III. 医用化学—生物化学—实验—医学院校—教学参考资料 IV. Q5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 139904 号

出版 中国科学技术大学出版社  
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026  
<http://press.ustc.edu.cn>  
印刷 合肥市宏基印刷有限公司  
发行 中国科学技术大学出版社  
经销 全国新华书店  
开本 787 mm×1092 mm 1/16  
印张 25.25  
插页 3  
字数 672 千  
版次 2016 年 8 月第 1 版  
印次 2016 年 8 月第 1 次印刷  
定价 40.00 元



《医学生物化学实验与习题指导》编委会

主 编

夏 俊 段巧玲

副主编

杨清玲 郭 侯

编 委 (以姓氏笔画为序)

马 佳 石 莹 石玉荣 白长存

吕静竹 朱光能 刘 辉 连超群

张 丹 张玉心 张晓洁 武文娟

杨 琦 杨 滢 杨清玲 周继红

段巧玲 耿 建 夏 俊 郭 侯

黄 桦 梅传忠

# 前 言

生物化学是 21 世纪生命科学的前沿学科,也是一门实验性较强的学科。生物化学实验是生物化学教学的重要组成部分。随着科学技术的发展,生物化学新的研究方法层出不穷,实验技术不断进步。通过实验课教学,可以加强学生对基本知识的学习和把握,促进学生实验技能及综合素质的提高,培养学生初步的科研能力。

为了适应时代的发展,更好地满足教学工作的需要,不断提高实验课的教学质量,我们组织教研室全体教师,在使用自编多个版本的《医用生物化学实验》讲义和《生物化学习题集》的基础上,根据医学院校各专业的培养目标,结合多年教学实践经验并参考其他生物化学理论及实验教材和生物化学学习指导等材料,经归纳整理、充实更新,编写了这本《医用生物化学实验与习题指导》。本书既可作为高等医学院校生物化学实验教学教材,又可作为学生在学习生物化学理论课时的课后复习及预测自评材料,使学生达到熟练掌握所学知识的目的;也可供综合性院校生物、农林等专业的老师与学生选择使用。

本书由两部分组成:第 1 部分为医学生物化学实验,共分为 4 篇。第 1 篇为医学生物化学实验基本知识,介绍实验基本要求、实验记录与实验报告书写、常用仪器使用及实验样品制备方法。第 2 篇为医学生物化学实验基本原理,着重介绍生物化学实验中常用的分光光度技术、离心技术、电泳技术、层析技术及生物大分子制备技术。第 3 篇为医学生物化学实验操作,包括基础生物化学实验和临床生物化学实验,前者与理论课教学内容相配合,注重基本技术、基本操作和基本技能的训练;后者与临床工作紧密联系,选择在疾病诊疗上常用的生物化学实验,以满足学生毕业后从事临床医学工作的要求。第 4 篇为综合性实验,每个实验都含有多种实验技术,有一定的难度,主要是培养学生分析问题和解决问题的能力、创新思维及科学素养,为学生科研工作的开展和进一步深造打下良好的基础。第 2 部分是生物化学习题指导,以生物化学理论课教学内容为依据,参考我校历年考核试题进行编写。习题中包括单项选择题、不定项选择题、填空题、判断题、名词解释和问答题,每章后附有参考答案。本书的最后是附录部分,其内容为常用试剂配制和国内外生物医学常用数据库网站等,供读者查阅。

本书由长期从事生物化学教学的一线教师编写,是这些教师多年教学实践经验的积累。在此,感谢陈昌杰教授和陈治文教授对本书编写工作给予的大力支持和指导,同时感谢中国科学技术大学出版社对本书的出版给予的帮助。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请同行专家和读者批评指正以便再版时修改完善。

编 者

2016 年 5 月

# 目 录

前言 .....	( i )
----------	-------

## 第 1 部分 医学生物化学实验

### 第 1 篇 医学生物化学实验基本知识

第 1 章 实验基本要求 .....	( 3 )
1.1 实验室规则 .....	( 3 )
1.2 实验室安全防护 .....	( 3 )
1.3 化学药品的使用与储藏 .....	( 5 )
第 2 章 实验数据处理与实验报告 .....	( 7 )
2.1 实验误差与数据处理 .....	( 7 )
2.2 实验记录与报告 .....	( 10 )
第 3 章 常用仪器使用 .....	( 11 )
3.1 电子分析天平 .....	( 11 )
3.2 紫外/可见分光光度计 .....	( 11 )
3.3 离心机 .....	( 12 )
3.4 酸度计 .....	( 13 )
3.5 恒温箱 .....	( 14 )
3.6 电热恒温水浴槽 .....	( 14 )
3.7 计量仪器 .....	( 15 )
3.8 玻璃仪器的洗涤 .....	( 17 )
第 4 章 实验样品的制备 .....	( 18 )
4.1 血液样品 .....	( 19 )
4.2 尿液样品 .....	( 19 )
4.3 组织样品 .....	( 20 )

### 第 2 篇 医学生物化学实验基本原理

第 5 章 分光光度技术 .....	( 21 )
5.1 分光分析原理 .....	( 21 )
5.2 朗伯-比尔定律 .....	( 25 )
5.3 紫外-可见分光光度计 .....	( 28 )

第 6 章 离心技术 .....	( 29 )
6.1 离心技术的基本原理 .....	( 30 )
6.2 离心分离的方法 .....	( 31 )
6.3 离心机的类型 .....	( 33 )
6.4 离心操作的注意事项 .....	( 33 )
第 7 章 电泳技术 .....	( 34 )
7.1 电泳技术的基本原理 .....	( 35 )
7.2 影响电泳分离的主要因素 .....	( 36 )
7.3 电泳技术的应用 .....	( 37 )
7.4 电泳中蛋白质的检测、鉴定与回收 .....	( 46 )
第 8 章 层析技术 .....	( 47 )
8.1 层析技术的基本原理 .....	( 47 )
8.2 层析方法的分类 .....	( 48 )
8.3 常用的层析方法 .....	( 49 )
第 9 章 生物大分子制备技术 .....	( 54 )
9.1 材料的选择和预处理 .....	( 54 )
9.2 细胞的分离和破碎 .....	( 54 )
9.3 生物大分子的分离纯化 .....	( 57 )
9.4 冷冻干燥 .....	( 61 )
9.5 样品保存 .....	( 62 )

### 第 3 篇 医学生物化学实验操作

第 10 章 基础生物化学实验 .....	( 63 )
实验 1 铜的比色测定 .....	( 63 )
实验 2 双缩脲法测蛋白质含量 .....	( 64 )
实验 3 Lowry 法测蛋白质含量 .....	( 65 )
实验 4 考马斯亮蓝 G-250 法测蛋白质含量 .....	( 67 )
实验 5 紫外分光光度法测蛋白质含量 .....	( 69 )
实验 6 血清蛋白质醋酸纤维素薄膜电泳 .....	( 70 )
实验 7 DNA 琼脂糖凝胶电泳 .....	( 73 )
实验 8 聚丙烯酰胺凝胶电泳分离蛋白质 .....	( 75 )
实验 9 血清(浆)脂蛋白聚丙烯酰胺凝胶盘状电泳 .....	( 77 )
实验 10 肝组织中核酸的分离和核酸组分的鉴定 .....	( 80 )
实验 11 酵母 RNA 的提取及组分鉴定 .....	( 83 )
实验 12 酪氨酸酶的催化作用 .....	( 86 )
实验 13 琥珀酸脱氢酶的作用及其竞争性抑制 .....	( 87 )
实验 14 酵母蔗糖酶米氏常数 $K_m$ 的测定 .....	( 89 )

实验 15	氨基酸的薄层层析 .....	(92)
实验 16	氨基移换作用 .....	(95)
实验 17	凝胶柱层析分离血红蛋白与核黄素 .....	(97)
第 11 章	临床生物化学实验 .....	(100)
实验 18	碘-淀粉比色法测定血清淀粉酶 .....	(100)
实验 19	电泳法测定血清乳酸脱氢酶同工酶 .....	(102)
实验 20	赖氏法测定血清丙氨酸氨基转移酶 .....	(105)
实验 21	邻甲苯胺法测定血清(浆)葡萄糖 .....	(108)
实验 22	葡萄糖氧化酶法测定血清(浆)葡萄糖 .....	(110)
实验 23	胆固醇氧化酶法测定血清总胆固醇 .....	(112)
实验 24	血清(浆)脂蛋白琼脂糖凝胶电泳 .....	(114)
<b>第 4 篇 综合性实验</b>		
第 12 章	碱性磷酸酶的分离纯化及动力学分析 .....	(117)
实验 25	动物肝组织中碱性磷酸酶的分离纯化 .....	(117)
实验 26	碱性磷酸酶的活性测定 .....	(119)
实验 27	碱性磷酸酶的米氏常数测定 .....	(122)
实验 28	影响酶促反应的因素——温度、pH .....	(125)
第 13 章	人乙醛脱氢酶 2 多态性分析 .....	(128)
实验 29	基因组 DNA 抽提及 DNA 质量检测 .....	(128)
实验 30	聚合酶链反应-扩增片段长度多态性(PCR-APLP)分析 .....	(131)
第 14 章	绿色荧光蛋白过表达载体转染细胞及蛋白定量检测 .....	(132)
实验 31	细胞转染绿色荧光蛋白实验 .....	(133)
实验 32	细胞蛋白质提取 .....	(135)
实验 33	BCA 法测定蛋白浓度 .....	(136)
实验 34	Western Blot 法检测 GFP 蛋白表达 .....	(138)
第 15 章	基于病案分析的综合性实验 .....	(140)
实验 35	糖尿病病案分析的综合性实验 .....	(140)
实验 36	高脂蛋白血症病案分析的综合性实验 .....	(141)
实验 37	肝脏疾病病案分析的综合性实验 .....	(143)

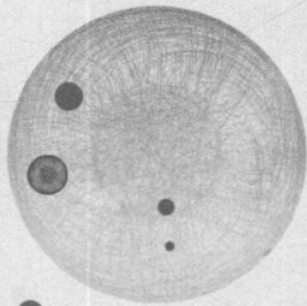
## 第 2 部分 生物化学习题指导

第 1 章	蛋白质的结构与功能 .....	(147)
第 2 章	核酸的结构与功能 .....	(159)
第 3 章	酶 .....	(172)
第 4 章	聚糖的结构与功能 .....	(189)
第 5 章	维生素与无机盐 .....	(194)

第 6 章 糖代谢 .....	(202)
第 7 章 脂类代谢 .....	(222)
第 8 章 生物氧化 .....	(238)
第 9 章 氨基酸代谢 .....	(246)
第 10 章 核苷酸代谢 .....	(257)
第 11 章 非营养物质代谢 .....	(265)
第 12 章 物质代谢相互联系及其调节 .....	(272)
第 13 章 真核基因与基因组 .....	(277)
第 14 章 DNA 的生物合成 .....	(279)
第 15 章 DNA 损伤与修复 .....	(290)
第 16 章 RNA 的生物合成 .....	(295)
第 17 章 蛋白质的生物合成 .....	(306)
第 18 章 基因表达调控 .....	(319)
第 19 章 细胞信号转导 .....	(334)
第 20 章 常用分子生物学技术 .....	(343)
第 21 章 重组 DNA 技术 .....	(349)
第 22 章 组学与医学 .....	(356)
第 23 章 癌基因、肿瘤抑制基因与生长因子 .....	(359)
第 24 章 疾病相关基因的鉴定与基因功能研究 .....	(366)
第 25 章 基因诊断与基因治疗 .....	(371)
参考文献 .....	(381)
附录 .....	(382)
附录 A 常用缓冲液的配制 .....	(382)
附录 B 酸、碱、盐及有机溶剂的基本数据 .....	(386)
附录 C 层析法常用数据表及性质 .....	(389)
附录 D 生物医学常用数据库网站 .....	(393)

部分示意图彩图对照

第1章 医学生物化学实验基本知识



## 第1部分

## 医学生物化学实验



# 第 1 篇 医学生物化学实验基本知识

## 第 1 章 实验基本要求

### 1.1 实验室规则

(1) 自觉遵守课堂纪律,维护课堂秩序,不迟到,不早退,不大声谈笑。

(2) 实验前认真预习实验内容,熟悉本次实验的目的和要求、基本原理、操作步骤和实验技能。思考实验内容与当前的课堂学习是否有关,是否需要复习或预习相关理论。

(3) 实验时必须听从指导老师的安排,抓住重点,严格按照操作规程进行实验,并注意与实验组同学的配合。

(4) 随时记录实验数据和实验现象。实验结束时,实验记录必须送交指导老师审阅后方可离开实验室。实验报告应在下次实验课前交给指导老师。

(5) 精心爱护各种实验用仪器。随时保持仪器的清洁。如发生故障,应立即停止使用并报告指导老师。

(6) 仪器、试剂用后要放回原处。多取的试剂不能重新倒回原试剂瓶内。试剂瓶的瓶塞要随开随盖,不得混用。

(7) 实验结束后,应将仪器电源切断。将试剂、实验用品摆放整齐,应与同学进实验室前一样。如有损坏必须说明原因,经指导老师同意后方可补领。

(8) 实验过程中要保持台面、地面、水槽内及室内整洁。含强酸、强碱及有毒的废液应倒入废液缸。

(9) 完成实验报告并按时上交。

(10) 离开实验室前应检查水、电、门窗,严防发生事故。

### 1.2 实验室安全防护

#### 1.2.1 一般要求

在生物化学实验中,经常接触到有腐蚀性、易燃、易爆和毒性很强的化学试剂及有潜在危害性的生物材料,经常要用到水、电,因此,安全操作至关重要。

(1) 熟悉实验室水阀门、电闸门所在位置。离开实验室时,一定要检查水阀、电闸、门窗是否关好。

(2) 熟悉如何处理着火事故。在可燃液体燃着时,应立刻转移着火区内的所有可燃物质。

酒精及其他可溶于水的液体着火时,可用水灭火;乙醚、甲苯等有机溶剂着火时,应该用石棉布或砂土扑灭。

(3) 了解化学试剂的警告标志(见图 1.1)。

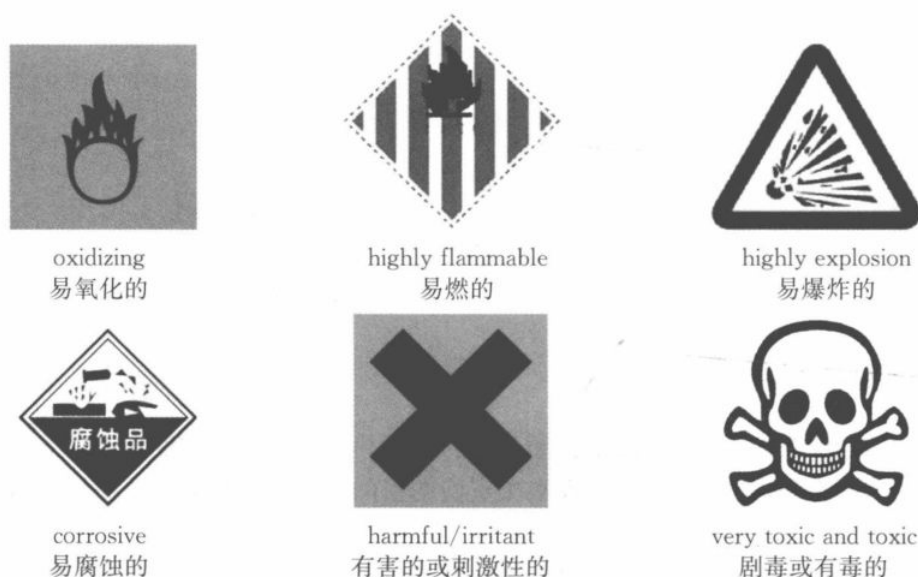


图 1.1 化学试剂的警告标志

(4) 实验过程中凡遇到会产生烟雾、有毒性或腐蚀性气体的操作,应在通风橱中进行。

(5) 使用毒性物质和致癌物质,必须根据试剂瓶上标签的说明严格操作,安全称量、转移和保管。操作时应戴手套,必要时戴口罩或防毒面具,并在通风橱中进行。沾过有毒物、致癌物的容器应单独清洗、处理。

(6) 废液,特别是强酸、强碱,不能直接倒入水槽内,应先稀释,然后倒入水槽,再用大量自来水冲洗水槽及下水道。

(7) 生物材料如微生物、动物组织和血液都可能存在细菌和病毒感染的潜在性危险,因此处理各种生物材料必须谨慎、小心,做完实验后必须用肥皂、洗涤剂或消毒液洗净双手。

(8) 进行遗传重组的实验应根据有关规定加强生物安全的防护措施。

## 1.2.2 应急处理

在生物化学实验中,如发生受伤事故,应立即采取适当急救措施:

(1) 酸、碱等化学试剂溅入眼内,先用自来水或蒸馏水冲洗眼部,若溅入碱类物质则可再用 2% 硼酸液冲洗,然后滴入 1~2 滴油性护眼液以保护眼睛;若溅入酸类物质则可再用 5% 碳酸氢钠溶液仔细冲洗。

(2) 酚触及皮肤引起灼伤,可用酒精洗涤。

(3) 皮肤不慎被强酸、溴水、氯气等物质灼伤时,应用大量自来水冲洗,然后再用 5% 的碳酸氢钠溶液洗涤。

(4) 如不慎被玻璃割伤或遭受其他机械损伤,首先检查伤口内有无玻璃等异物,然后用硼酸水洗净,再涂擦碘酒或红药水,必要时用纱布包扎。如伤口较大或较深,应立即在伤口上部和下部扎紧血管止血,并送医院治疗。

(5) 轻度烫伤时一般可涂上苦味酸软膏。如伤口处红痛(一级灼伤),可涂医用橄榄油;如

皮肤起泡(二级灼伤),不要弄破水泡,防止感染;如烫伤皮肤呈棕色或黑色(三级灼伤),应用干燥无菌的消毒纱布轻轻包扎好,并送医院治疗。

(6) 水银温度计不慎破损,应立即将散落水银回收,防止汞挥发。

### 1.3 化学药品的使用与储藏

#### 1.3.1 危险化学药品的安全防护

在生化实验课上,指导老师有责任告诉同学使用化学试剂时可能存在的危险及有关防护措施(见表 1.1)。

表 1.1 几种常用的危险化学试剂的防护措施

化学试剂	潜在危险	防护措施
十二烷基磺酸钠(SDS)	刺激性、有毒	戴手套
浓硫酸	高腐蚀性	戴手套
浓盐酸	高腐蚀性、强刺激性	使用通风橱、戴手套
氢氧化钠	高腐蚀性、强刺激性	使用通风橱、戴手套
苯酚	剧毒、灼伤、可致癌	使用通风橱、戴手套
氯仿	挥发性、有毒、刺激性、腐蚀性、可致癌	使用通风橱、戴手套
巯基乙醇	挥发性、有毒、强刺激性、腐蚀性	使用通风橱、戴手套

#### 1.3.2 溶液配制

溶液常以摩尔浓度(如 mol/L 或 mmol/L)或质量浓度(g/L 或 mg/L)配制。

##### 1. 溶液配制的一般步骤

- (1) 确定配制试剂所需浓度。
- (2) 确定配制溶液的体积。
- (3) 查出所用试剂的相对分子质量( $M_r$ ),即各组成元素的原子量之和,可在瓶子的标签上查到。如果所用试剂含有结晶水,在计算所需试剂时,应把结晶水计算在内。
- (4) 算出要配置的溶液中所需要的试剂的质量。
- (5) 准确称取所需的试剂。如果所称试剂的量太少而无法保证精确,可采用加大溶液的体积、配制母液后稀释等方法。
- (6) 把试剂放在烧瓶中或容量瓶中,加水到所需刻度线以下。如果有试剂附在称量纸或托盘上,要用水冲洗下来。
- (7) 必要时可加热、搅拌,使试剂彻底溶解。
- (8) 必要时在冷却后测量并调节 pH。
- (9) 定容至所需体积。如果浓度要求精确,用容量瓶定容,否则用量筒定容。加水定容时使凹液面达到刻度线并与之相切。为了精确起见,定容时用水冲洗原烧杯,并将洗液加在容量瓶中。
- (10) 将溶液转移到试剂瓶或锥形瓶中,贴上标签。

## 2. 溶液配制注意事项

(1) 配制试剂所用的玻璃器皿都要清洗干净。挪动干净的玻璃器皿时,不要使手指接触到器皿内部。

(2) 配制溶液时,应根据实验要求选择不同纯度等级的试剂。

(3) 用蒸馏水或去离子水配制溶液,搅拌,使试剂充分溶解。对于难溶的试剂可能要加热促溶,但只有确定所用温度不会破坏试剂理化性质时才能这样做。在加热时可用搅拌加热器使溶质溶解,待溶液冷却后才能测量体积或 pH。

(4) 不要用滤纸称量试剂。

(5) 配好的试剂应贴上标签,写明试剂名称、浓度、配制日期及配制人。

(6) 试剂使用后要用原瓶塞盖紧,瓶塞不要随便乱放,以免污染其他物品和桌面。

(7) 有些试剂极易变质,需要特殊保存。变质后的试剂不能继续使用。

### 1.3.3 溶液的混匀与过滤

#### 1. 溶液的混匀

样品与试剂的混匀是保证化学反应充分进行的一种有效措施。为使反应体系内各物质迅速地互相接触,必须借助外加机械的作用。混匀时须防止容器内液体溅出或被污染。严禁用手指直接堵塞试管口或锥形瓶口振摇。混匀的方式大致有以下几种,可随使用的器皿和液体容量而选用。

(1) 旋转混匀法。用手持容器,使溶液作离心旋转,适用于未盛满液体的大试管或小口器皿,如锥形瓶。旋转试管时最好用手腕旋转。

(2) 指弹混匀法。左手持试管上端,用右手指轻轻弹动试管下部,使管内溶液作旋涡运动。

(3) 倒转混匀法。适用于有塞量筒和容量瓶、试管内容物的混匀。一般试管内容物的混匀可用聚乙烯等薄膜封口,再用手按住管口倒转混匀。

(4) 吸管混匀法。用吸量管将溶液反复吸放数次,使溶液充分混匀。

(5) 玻璃棒搅动法。适用于烧杯内容物的混匀,如固体试剂的溶解和混匀。

(6) 甩动混匀法。右手持试管上部,轻轻甩动振摇试管,即可混匀。

(7) 电磁搅拌混匀法。把烧杯放置在电磁搅拌机上,在烧杯内放入封闭于玻璃或塑料管中的小铁棒,利用磁力使小铁棒旋转以达到混匀杯中液体的目的,适用于酸碱自动滴定、pH 梯度滴定等。

(8) 振荡器混匀法。利用振荡器使容器中的内容物振荡,达到混匀的目的。

#### 2. 过滤

过滤是分离沉淀和滤液的一种方法,可用于收集滤液,收集或洗涤沉淀。生化实验的过滤操作与化学实验中的操作相同,应注意以下几点。

(1) 制备血滤液等实验的过滤,要用干滤纸而不能用水把滤纸弄湿,因为湿滤纸会影响血液稀释的体积。

(2) 折叠滤纸与漏斗壁要完全吻合,不留缝隙。一般采用平折法(即对折后再对折)。

(3) 向漏斗中加溶液时最好使用玻璃棒引流,倒入速度不要太快,不得使液面超过滤纸上缘。

(4) 组织匀浆等较粗样品的过滤可用脱脂棉或纱布代替滤纸,有时可用离心沉淀法代替过滤法。

### 1.3.4 药品和溶液的储藏

不稳定的化学试剂必须保存在冰箱或冰柜内。容易潮解的试剂必须保存在干燥器内。见光易变色、分解或氧化的试剂应避光保存。所有储藏的溶液都要标明试剂名称、浓度、配制日期、配制人和有关危险的警告。

(石莹)

## 第2章 实验数据处理与实验报告

### 2.1 实验误差与数据处理

#### 2.1.1 实验误差

在进行定量分析实验的测定过程中,由于采用的分析方法不同,使用仪器、所用试剂和其他人为因素的影响,不可能使测定的数据与客观存在的真实值完全相同。真实值与测定值之间的差别叫作误差。通常用准确度和精密度评价测量误差的大小。

准确度是指实验分析结果与真实值接近的程度,通常以绝对误差  $\Delta N$  的大小来表示,  $\Delta N$  值越小,准确度越高。误差还可以用相对误差来表示。

$$\text{绝对误差 } \Delta N = N - N'$$

$$\text{相对误差}(\%) = \frac{\Delta N}{N'} \times 100\%$$

式中,  $N$  为测定值,  $N'$  为真实值。

从上面两个表达式可以看出:用相对误差表示分析结果的准确度比较合理,它反映了误差值在整个结果的真实值中所占的比例。

但是在实际工作中,真实值是不可能知道的,因此,分析结果的准确度无法求出,而只能用精确度来评价分析结果。精确度是指在相同条件下,进行多次测定后所得数据相近的程度。精确度一般用偏差表示,偏差分为绝对偏差和相对偏差。

$$\text{绝对偏差} = \text{个别测定值} - \text{算术平均值} \quad (\text{不计正负})$$

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{绝对偏差}}{\text{算术平均值}} \times 100\%$$

与误差的表示方法一样,用相对偏差来表示实验的精确度比用绝对偏差更有意义。

在实验中,对某一样品进行多次平行测定,测得其算术平均值作为该样品的分析结果。而结果的精确度则用平均绝对偏差和平均相对偏差来表示。

$$\text{平均绝对偏差} = \frac{\text{个别测定值的绝对偏差之和}}{\text{测定次数}}$$

$$\text{平均相对偏差} = \frac{\text{平均绝对偏差}}{\text{算术平均值}}$$

在分析实验中,当只作两次平行测定时,结果的精确度表示方法如下。

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{二次分析结果的差值}}{\text{二次分析结果的平均值}} \times 100\%$$

应该指出,误差和偏差具有不同的含义。前者以真实值为标准,后者以平均值为标准。由于物质的真实值不可能知道,我们在实际工作中得到的结果只能是多次分析后得到的相对正确的平均值,而其精确度则只能以偏差来表示。分析结果表示为

算术平均值±平均绝对偏差

还要指出,用精确度来评价分析结果是有一定局限性的。分析结果的精确度很高(即平均相对偏差很小),并不一定说明实验的准确度也很高。如果分析过程中存在系统误差,可能并不影响每次测定数值之间的重合程度,即不影响精确度;但分析结果却必然偏离真实值,也就是分析的准确度不高。

### 2.1.2 误差产生的原因及校正

误差产生的原因很多,根据误差的性质和来源,一般可分为系统误差和偶然误差两类。

系统误差与分析结果的准确度有关,它是由分析过程中某些经常发生的原因所造成的,对分析结果的影响较稳定,在重复测定时常重复出现。误差的大小与正负往往可以估计出来,因而可以设法减小或校正。系统误差主要来源于以下几个方面。

(1) 方法误差。由于分析方法本身所造成。例如,滴定反应中等摩尔反应终点和滴定终点不完全吻合,重量分析中沉淀物少量溶解或吸附杂质等。

(2) 仪器误差。因仪器精密程度不够所造成。例如,天平、量器、比色皿不符合要求等。

(3) 试剂误差。来源于试剂或溶剂的不纯。

(4) 操作误差。由于每个人在实际操作过程中,手法、对颜色的判断不同等而造成。

减小系统误差常采取的措施如下。

(1) 空白实验。为了消除由试剂等原因引起的误差,可在不加样品的情况下,按与样品测定完全相同的操作程序,在完全相同的条件下进行分析,所得的结果为空白值。将样品分析的结果扣除空白值,可以得到比较准确的结果。

(2) 回收率测定。取一标准物质(其中组分及含量都已知)与待测的未知样品同时作平行测定。测得的标准物质质量与所取样品量之比的百分率就是回收率,可以用来表达某些分析过程的系统误差(系统误差越大,回收率就越低)。通过下式则可对样品测量值进行校正。

$$\text{被测样品的实际含量} = \frac{\text{样品的分析结果}}{\text{回收率}}$$

(3) 校正仪器。对测量仪器进行校正以减少误差。

偶然误差与分析结果的精确度有关,来源于难以预料的因素,或是由于取样不均匀,或是由于测定过程中某些不易控制的外界因素的影响。

为了减小偶然误差,一般采取的措施如下。

(1) 平均取样。动植物新鲜组织可制成匀浆;细菌可制成悬液并打散摇匀后取一定体积的菌液;对于极不均匀的固体样品,应先粉碎、混匀再取样。

(2) 多次取样。根据偶然误差的规律,多次取样平行测定,然后取其算术平均值就可以减少偶然误差了。

除以上两大类误差外,还有因操作事故引起的“过失误差”,如加错试剂、读错刻度、反应溶液溅出等。这时可能出现一个很大的“误差值”,在计算算术平均值时,该值应弃去。

### 2.1.3 有效数字

在生物化学实验的定量分析中,记录数据和进行计算时应注意有效数字的取舍。