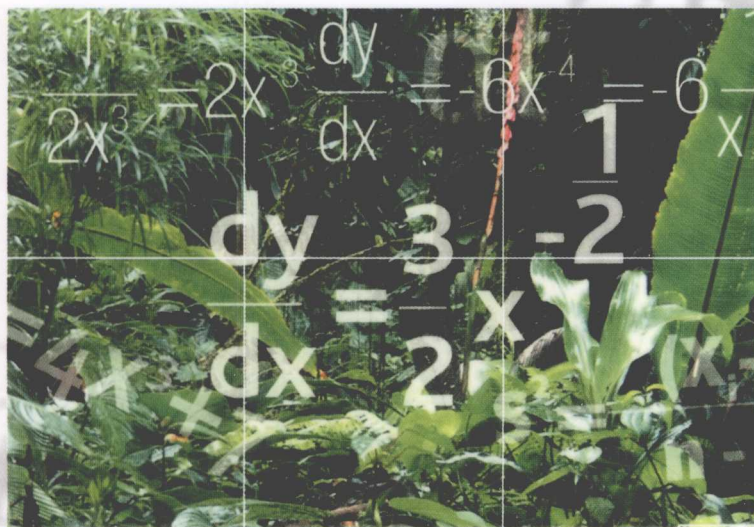


精要速览系列

Instant Notes

MATHEMATICS & STATISTICS FOR LIFE SCIENTISTS

生命科学中的 数学与统计学



· 中译版 ·

Aulay Mackenzie 编著

李春喜 译



科学出版社
www.sciencep.com



数学统计系列

Mathematics & Statistics
for Life Scientists

MATHEMATICS & STATISTICS FOR LIFE SCIENTISTS

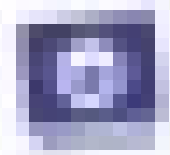
生命科学中的 数学与统计学



作者: [Name] 译者: [Name]

ISBN: [Number]

科学出版社



精要速览系列

Mathematics and Statistics for Life Scientists

生命科学中的数学与统计学
(中译版)

科学出版社
北 京

图字:01-2009-2766 号

内 容 简 介

“精要速览系列(Instant Notes Series)”丛书是国外教材“Best Seller”榜的上榜教材。该系列结构新颖,视角独特;重点明确,脉络分明;图表简明清晰;英文自然易懂,被国内多所重点院校选用作为双语教材。

全书包括 11 章,分别是数学在生命科学中的应用、度量与单位、资料处理与表示方法、数学基础知识、数学应用、变化率、微分、变化率、积分、方程、方程应用、统计学基础知识、统计检验方法的选择。

本书适合普通高等院校生命科学、医学、农学等相关专业使用,也可作为双语教学参考教材使用。

Aulay Mackenzie

Instant Notes in Mathematics and Statistics for Life Scientists

© 2005 by Taylor & Francis Group

ISBN 1-8599-6292-0

All Right Reserved. Published by arrangement with Taylor & Francis Books Ltd, 28, 4 Park Square, Milton Park, Abingdon, OX14 4RN, UK.

Licensed for sale in the Mainland of China only, booksellers found selling this title outside the Mainland of China will be liable to prosecution. Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本授权版本图书仅可在中国大陆范围内销售,中国大陆范围以外销售者将受到法律起诉。本书封面贴有 Taylor & Francis 防伪标签,未贴防伪标签属未获授权的非法行为。

图书在版编目(CIP)数据

生命科学中的数学与统计学/(英)麦肯齐(Mackenzie, A.)编著;李春喜译. —北京:科学出版社,2010.7

(精要速览系列)

ISBN 978-7-03-028200-2

I. ①生… II. ①麦…②李… III. ①数学方法-应用-生命科学-双语教学-高等学校-教材②生命科学-生物统计-双语教学-高等学校-教材 IV. ①Q1-0②Q-332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 126191 号

责任编辑:单冉东 王国华 / 责任校对:李奕萱
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

骏主印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 7 月第一次印刷 印张:8 3/4

印数:1—3 000 字数:220 000

定价:31.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

译者序

我在大学里为生物专业的本科生讲授《生物统计学》已有近 20 年了。生物专业的学生们(也包括很多老师)普遍认为学好这门课程是很有用处的,但同时又感觉这门课程比较难。为什么会出现这种情况呢?可能有两个原因:一是生物专业的学生习惯于从具体的概念出发来学习和研究各种生命现象,用抽象方法来分析研究这些问题则比较困难。因而,当遇到大量数据和统计公式时,一些学生就不知所措了。二是很多学生有“谈虎色变”的感觉。往往是听到其他同学讲生物统计学如何特别难学、如何令人困扰,自己还没有开始学习生物统计学,就首先“懵”了。其实,这种认识存在很大误区。只要正确掌握学习的方法,把抽象思维与具体观察相结合,在掌握一些统计学理论的基础上注重实际应用,学习生物统计学并不难。事实上,大多数学生在系统学习了生物统计学之后,都能够取得比较好的成绩,并改变了原来认为生物统计学难学的观点。

2009 年,科学出版社决定翻译出版英国 Taylor & Francis 公司的“精要速览系列”丛书,邀请我来翻译由英国柯彻斯特艾塞克斯大学生物科学系 Aulay Mackenzie 编著的《生命科学中的数学与统计学》这本书。仔细阅读了这本书后,我感觉到其内容十分丰富,教学理念与国内教材明显不同,其主要特点有以下几个方面。

一是内容非常丰富。不像一般的生物统计学主要是从试验设计和统计分析的角度来描述与分析生命科学研究中的具体问题,这本书的内容包含了生命科学中常用的国际单位制和数据度量与资料处理、数学基础知识和相关应用、统计学基础知识和统计检验等,其内容覆盖面远远大于国内一般的教材,十分有利于拓展学生视野、扩大学生知识面。

二是实践性非常强。这本书虽然主要是介绍数学和统计学知识的应用,但各部分内容都是从生命科学中的问题出发,引出数学和统计学方法,然后运用这些方法来解决实际问题。由于是从问题出发,容易激发学生的学习兴趣,对提高学习效果有很大帮助。

三是理念比较先进。这本书在介绍相关内容时,比较注重方法应用的实际意义。例如,在对变量进行曲线类型配置时,十分重视方程或函数的生物学意义,而不是一味强调方程的拟合度。同时,在方法运用时,注重利用现代计算手段,强调统计软件包的应用,有利于学生提高计算机应用水平和使用软件的能力。

基于以上特点,我认为把此书与国内通行的生物统计学密切结合起来,将十分有利于提高我国生物专业学生应用数学和统计学的能力,对于正确描述生物学、解析生物学问题、提高生命科学研究水平具有很好的促进作用。

本书的翻译得到了科学出版社单冉东编辑和河南师范大学王林嵩教授的大力支持,张志娟、王钰亮、贺远、张茜、赵雁岭等参与了翻译的前期工作和校对工作,在此一并表示衷心的感谢!由于译者水平有限,书中定会有译文不当或错误之处,敬请读者多加批评并提出改进建议。



2010 年 5 月

目 录

译者序	
A 数字在生命科学中的应用	1
B 度量与单位	2
B1 度量的类型	2
B2 国际单位制	4
B3 溶液的制备	8
C 资料处理与表示方法	12
C1 资料处理	12
C2 资料的表示方法	16
D 数学基础知识	19
D1 数值处理:代数学	19
D2 三角学	23
D3 指数与对数	26
E 数学应用	31
E1 pH、比尔定律和缩放比例	31
E2 生物关系的界定:函数	37
F 变化率:微分	43
F1 求解斜率和速率	43
F2 其他函数	46
G 变化率:积分	51
G1 积分与积分方法	51
G2 位置、速度和加速度	56
G3 积分方法	60
G4 曲线累积面积	69
G5 数值积分	71
H 方程	75
H1 微分方程	75
H2 差分方程	83
I 方程应用	87
I1 群体增长	87
I2 物体热量的散失	97
I3 化学动力学	99
J 统计学基础知识	105
J1 统计学概念	105
J2 试验设计	107
J3 统计检验	110
K 统计检验方法的选择	113
K1 统计模型与变异	113
K2 连续型资料的统计方法	118
K3 计数资料的统计方法	125
K4 复杂数据资料的统计方法	127
索引	129

A 数字在生命科学中的应用

要 点

数 量 化

科学研究中,对数据的解释、判断、分析和推理都离不开某些类型的测量方法。

数 学

数量、大小和形式相互之间的关系都需要用数学进行处理。

统 计 学

通过统计方法可方便地对数据集进行检测。

生物学资料

生物系统中的大量变异使数据产生“混乱”,因此检测数据类型需要严谨的分析。

数 量 化

数学和统计学在生命科学中是相当重要的,因为任何类型的科学研究都要依靠**数量化**。没有对数据的测量、计算或其他方法,几乎不可能作出相应的解释、判断、分析或者推理。因此,你最感兴趣的不管是免疫学还是珊瑚礁生态学、是营养学还是生物技术学,都需要掌握处理数据的基本方法。这本书的目的就是为读者提供一个简单易懂、容易领悟的基本工具包,帮助读者涉足所选择的研究领域。

数 学

包含代数学、几何学和微积分在内的相关学科内容,被称为**数学**。通过特殊的符号可以用来研究数字、数量、形状和空间之间的关系。

统 计 学

统计学是数学的一个分支,而不是一门单独的学科。在生命科学中,可以通过统计学方便地对大量的数据集进行检测。概括地说,数学所起的作用就是“归纳”数据的数值类型,而统计学则是用来解释这些类型的。

生物学资料

生物系统不同于工程学、物理学等其他科学,由于生物有机体发生基因变异,群体间、物种间产生巨大的差异。这就意味着**生物数据资料**存在着“杂乱无章”的状况。特别是在生态学研究,多种生物和其他环境可能会对数据集产生影响。因此,需要对生物学数据资料进行仔细的分析和严格的检测,同时,也部分由于生物学应用的需要而引出了统计学。

本书涵盖了生命科学本科生需要学习的基本内容,不过于强调其综合性。本书尽量避免对不必要的内容做过细的阐述,而是仅注重“便于理解”这个基础,但对某些领域、某些学生来说,需要比本书更宽的内容覆盖面。

统计学和数学部分的学习可以采取稍微不同的方法。对于数学而言,重要的是理解解题程序和方法,以便较好地应用。因此,这些内容是循序渐进的。相反,对于统计学来说,重要的是掌握特定的检验方法,而不过于涉及数学基础。例如,一个简单的“黑箱”方法,除非绝对必要外,它并不涉及统计检验的内在数学原理是如何运行的。这种定位能够帮助读者确定正确的检验方法,合理运用并推断结果。正如实际驾驶汽车不需要精通发动机的机械知识一样,合适、有效地进行统计检验也不需要详细了解为什么这样做。大约可做这样的假设:如果能使用统计软件完成运算,就不必坚持只有手工计算才能更好地了解这些统计检验的观点,也即不必坚持拆卸一辆小轿车的发动机可以使你成为更优秀的司机的观点一样。如果想对统计学有更深入的理解,学习较多的数学原理是很有用的。这里,假定读者是使用软件进行统计分析,因此本书不再列出概率表作为附录。

本书所涉及统计检验是最普通而又广泛应用的方法。也许你会遇到超出这些检验方法范围的情况,但这不会是经常发生的现象。一旦你掌握了本书所叙述的检验方法,任何情况下所出现的检验问题都能够得到很好的处理。此外,本书也概要介绍了多元分析方法,当你在别处遇到此类统计问题时,本书可提供解析方法的指导。

B 度量与单位

B1 度量的类型

要 点

度量方法

生命科学研究中需要使用不同的度量方法。变量可能是连续的或分类的。度量有四个层次：名义尺度、有序尺度、区间尺度和比率尺度。

准确性和精确性

准确性是度量值与真值接近的程度。精确性是在相同基准下不同重复度量彼此接近的程度。

误差

误差是一个数值与其接近数值之间的差异。

偏差

偏差是在一个方向度量值的系统失真所造成的度量误差。

有效数字

有效数字表明了度量的可靠性。它传递的是数值本身的含义，而不仅仅是数值的大小。

度量方法

在所有学科中，运用适当的度量是一项重要的技能。生命科学的数据资料来源广泛，需要使用不同的度量方法。有些变量是连续的（或公制的），可用不间断的刻度来度量（如长度、质量、温度），而计数的数据资料只能是整数并且是可分类的（也称为离散的、非连续的或非公制的）。公认的度量有四个层次：名义尺度、有序尺度、区间尺度和比率尺度。

名义尺度是把观测资料划分成没有相对级别的专属类别。例如，物种、性别、颜色和生境类型。

有序尺度是把观测资料划分成有级别的专属类别。例如，丰度表[如 DAFOR 表（占主导地位的、丰富的、常见的、偶尔的、罕见的）]用来记录的植物样方内物种的丰度和发展状况（如新生儿、少年、幼儿、成人）。

区间尺度是在连续性上界定观测值没有绝对零。例如，温度计和日历上的日期（请注意，没有绝对零是指它不说 15°C 是 5°C 的 3 倍，也不是说鸟在 5 月 8 日到达是 5 月 4 日到达的 2 倍）。

比率尺度是在连续性上界定观测值有绝对零。例如，长度、重量和大多数物理测定量。因而，对比区间尺度的度量值，可以说植物叶片 45mm 长度是 90mm 长度的一半。

准确性和精确性

进行度量时，度量的结果必须是准确的或者是精确的，甚至两者都是必须的。不幸的是，口头上经常认为准确性和精确性准度是可以互换的，但在科学运用时甄别这两个词是非常重要的。**准确性**是度量值与真值接近的程度。**精确性**是在相同基准下不同重复度量彼此接近的程度（即度量值彼此接近的程度）（图 B1.1）。即使所提供的度量仪器是非常精确的，依然可能产生偏差，重复的度量值之间也可能是不准确的。

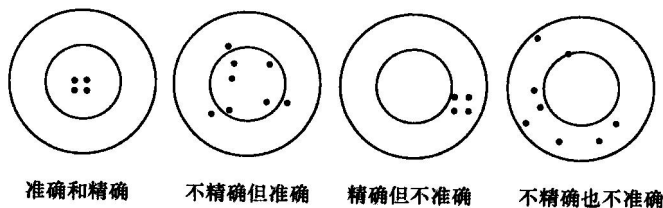


图 B1.1 准确性和精确性示意图

误差

误差是一个数值与其接近数值之间的差异。估计误差是不可能全部被消除的,但严谨的科学程序能够控制误差。估计大黄蜂的平均体长,可以取 30 个测量样本,求出这个样本的平均值。度量误差和抽样误差是产生误差的两个主要来源。度量误差是手工或使用仪器设备度量而产生的误差。抽样误差则是由在总体中选取一部分个体进行度量所产生的。还有第三种误差来源,即舍入误差,它由在某些部分或参数不精确的计算所产生的。这方面的例子将在 D3 节进行引证(见第 28 页)。

为了得到准确的结果,尽量减少各种来源的误差是非常重要的。减小度量误差可以通过严谨的标准化程序和准确的仪器来实现。通过增加样本量可降低抽样误差,大样本总是比较好的,但要花费更多时间和精力。抽样程序和样本容量的优化方案将在 K2 节中讨论。

偏差

偏差是在一个方向度量值的系统失真所造成的度量误差。偏差产生的原因,可能是仪器校准不正确,也可以是试验操作或试验准备所产生的效应,或者由于观测者预定结果并按照这种观点来解释所产生的数据(例如,由于对某些数据的忽略而达不到预定结果)。为了减少偏差的发生,应采取严谨的标准化程序校正仪器。在观测者可能产生较大偏差的试验中(例如,对不需要治疗的人使用慰安剂的麻醉试验)，“失明”(试验主体不知道处理状况)和“双目失明”(试验主体和观测者都不知道处理状况)的方法是很有用的。可以通过不同途径度量同一样本某个变量并得出一致结果的方法来检测偏差。

有效数字

经常会有这样的现象出现,所计算出的原始数字错误地指示出较高的精确度。注意,把这些数字限定到一定有效位数,使精确度降低至必要的水平即可。有效数字位数表明了度量的可靠性,是传递数字位数本身的含义,而不仅仅表明数字的大小。所以,“100kg 的三位有效数字”可表示为其精确度在 1~100kg,而“100kg 的两位有效数字”则意味着真值位于 95~105kg。同样的,“0.010 μ m 的两位有效数字”表明其数值在 0.009 5~0.010 5 μ m。

示例 1

桌子上有一小型碟片,半径为 60mm,其精确度为毫米级。由于圆的周长可通过公式 πr 给出,这里 π 是一个常数,为 3.141 592 65...,碟片的周长因此可以这样算出来: $3.141 592 65... \times 60\text{mm}$,结果就是 188.495 559 2...mm^①。由于最初的度量的精确度最接近毫米,如果要获得一个更高精确度的数值显然是没有意义的。由于度量采用的是两位有效数字,因此,碟片的周长应当被表示为 190mm(保留三位有效数字)^②。

一般性建议规则

- 对度量值的计算,其精确度应不大于最小度量精确度。
- 平均数的精确水平应该是比原始数据多一位有效数字。
- 标准差的精确水平应该是比原始数据多两位有效数字。

① 此段原文有误。正确的表述应该是:由于圆的周长可通过公式 $2\pi r$ 给出……,碟片的周长因此可以这样算出来: $3.141 592 65... \times 2 \times 60\text{mm}$,结果就是 376.991 118 4...mm。

② 此处表述应该是:碟片的周长应当被表示为 380mm(保留三位有效数字)。

B2 国际单位制

要 点

国际单位制

国际单位制(SI)是以米、千克和秒为基础的。它包括 7 个基本单位:长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度。每一个单位都有特定的符号。

用 SI 表示数值

数据资料需要辅之以适当的单位。在国际单位制中需要使用特殊的符号和间距。

SI 的偏差

在生命科学中,SI 的偏差比其他常用单位使用更广泛。

国际单位制

统一的单位系统对于数据交流、科学理解和简化计算都有很大帮助。国际单位制通常缩写为 **SI**,是国际公认的以米、千克和秒为基础的单位制。

SI 系统由七个基本单位和两个辅助单位组成(表 B2.1),这些单位都有特定的缩写形式。这些基本单位可以结合起来构成复合单位,表 B2.2 给出了常用的复合单位特殊符号(表 B2.2)。

表 B2.1 基本和辅助的 SI 单位

度量值	SI 单位名称	符号
基本单位		
长度	米	m
质量	千克	kg
物质的量	摩[尔]	mol
时间	秒	s
电流	安[培]	A
温度	开[尔文]	K(注:不是°K)
发光强度	坎[德拉]	cd
辅助单位		
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表 B2.2 部分重要的 SI 导出单位

度量值	单位名称	符号	基本的表示形式	导出单位的另外表示形式
力	牛[顿]	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$
能量	焦[耳]	J	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
压强	帕[斯卡]	Pa	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
功率	瓦[特]	W	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$	$\text{J} \cdot \text{s}^{-2}$
放射性	贝[勒尔]	Bq	s^{-1}	
光通量	流[明]	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$	
光照度	勒[克斯]	lx	$\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}	
酶活性	卡特	Kat	$\text{mol 酶作用物} \cdot \text{s}^{-1}$	
电压	伏[特]	V	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$	$\text{W} \cdot \text{A}^{-1}$
电阻	欧[姆]	Ω	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-3}$	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$
电导	西[门子]	S	$\text{s}^3 \cdot \text{A}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{A} \cdot \text{V}^{-1}$ 或者 Ω^{-1}

用前缀标识 10^3 的倍数,用来表示很大或者很小的数值(表 B2.3)。

表 B2.3 SI 中使用的前缀

倍数	前缀	符号
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	mi-	μ
10^{-9}	cro	n
10^{-12}	nano	p
10^{-15}	pico	f
10^{-18}	fem-	a
10^3	to	k
10^6	atto	M
10^9	kilo	G
10^{12}	mega	T
10^{15}	giga	P
10^{18}	tera	E
	peta	
	exa	

用 SI 表示数值

当用 SI 表示数据时,总是需要带上适当的单位(除特殊情况下,如 pH 和无量纲的比率)。

SI 采用了特别的空格和符号。例如,度量值为 302cm(精确到 cm)应表述 3.02m。请注意:

- 在数量和单位之间有一个空格;
- 缩写后面不加点;
- 这些单位总是单数形式。

像 3.02m、3.02m. 和 3.02ms 都是不正确的。

对于复合单位,例如,如果动物的移动速度记为 1.56 米每秒,其正确的表示是 $1.56\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。请注意:

- 分离符号间有一个空格;
- 用负的幂指数,而不是斜线(/)^①。

1.56ms^{-1} 和 1.56m/s 都是不正确的。

在 SI 中,使用前缀表示 10^3 的倍数,这样,数字均可表示在 0.1~1 000。所以,度量 6 241m 应该表示成 6.241km。注意在前缀和单位符号之间没有空格。

SI 的偏差

在生命科学中,经常会用到 SI 的导出单位,如容积、浓度、温度、时间和光照单位就经常遇到。

严格地说,体积的 SI 单位是立方米,即 m^3 。然而,升(l 或 L)和毫升(ml 或 mL)仍然在许多试验室被普遍地使用。在计算时,将升换成 SI 单位也许更加方便:1 升 = $1 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 。

关于浓度的详细内容将在 B3 节中进行深入的探讨。

温度的 SI 单位是开[尔文](K),但在日常生活中很少使用,生命科学领域里更常用的是摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。摄氏度的刻度间隔是与开氏温度一样的(即开氏温度上升 1K 等于摄氏温度上升 1°C),但其零点是在 273.15K,即在标准大气压下纯冰的熔点[标准温度和压力(STP)分别是 293.15K 和 0.101 325MPa]。

在 SI 中,时间的基本单位是秒(s),它在许多地方都可能用得到。然而,较长的时间尺度可能是更好的,如小时(h)、天(d)和年(a)在某些情况下可能更为合适。

发光强度(光照)的 SI 基本单位是坎[德拉](cd),导出单位是流[明]和勒[克斯]。

① 用斜线(/)表示也是正确的。由于用负的幂指数表示更符合国际发展趋势,因此,尽可能使用负的幂指数表示法。

与基本单位比较,这些单位都不很精确。这些单位是来自人眼对光的反应(来自 1923 年 52 个美军士兵所组成的样本)。作为光源,会有不同的光谱特性和生物感受器(如眼睛、皮肤、植物叶绿体),同时会有不同的光敏性,但在进行与人类视力没有太大关系的研究时,坎[德拉]的价值是有限的。因此,在表示光照的能量(如 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)和光照密度(如 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)时都是比较合适的,在涉及光谱分析方面具有特殊的价值。

在非 SI 和 SI 单位间进行转换是很有必要的。例如,可与旧文献的结果进行相互比较。表 B2.4 给出了一系列的转换关系。

表 B2.4 SI 转换关系表

参数	SI 单位	缩写	转换系数	反转换系数
面积				
英亩(acre)	→平方米	m^2	$4.046\,86 \times 10^3$	$0.247\,105 \times 10^{-3}$
公顷(hm ²)	→平方米	m^2	10×10^3	0.1×10^{-3}
平方英尺(ft ²)	→平方米	m^2	0.092 903	10.763 9
平方英寸(in ²)	→平方米	m^2	645.16×10^{-6}	$1.550\,00 \times 10^3$
平方码(yd ²)	→平方米	m^2	0.836 127	1.195 99
能量				
尔格(erg)	→焦[耳]	J	0.1×10^{-6}	10×10^6
千瓦·时(kW·h)	→焦[耳]	J	3.6×10^6	$0.277\,778 \times 10^{-6}$
长度				
埃(Å)	→米	m	0.1×10^{-9}	10×10^9
英尺(ft)	→米	m	0.304 8	3.280 84
英寸(in)	→米	m	25.4×10^{-3}	39.370 1
英里(mile)	→米	m	$1.609\,34 \times 10^3$	$0.621\,373 \times 10^{-3}$
码(yd)	→米	m	0.914 4	1.093 61
质量				
盎司(oz)	→千克	kg	$28.349\,5 \times 10^{-3}$	35.274 0
磅(lb)	→千克	kg	0.453 592	2.204 62
石	→千克	kg	6.350 29	0.157 473
担(cwt)	→千克	kg	50.802 4	$19.684\,1 \times 10^{-3}$
英吨(long ton)	→千克	kg	$1.016\,05 \times 10^3$	$0.984\,203 \times 10^{-3}$
压力				
大气压(atm)	→帕[斯卡]	Pa	101 325	$9.869\,23 \times 10^{-6}$
巴(bar)	→帕[斯卡]	Pa	100 000	10×10^{-6}
毫米汞柱(mmHg)	→帕[斯卡]	Pa	133.322	$7.500\,64 \times 10^{-3}$
托(Torr)	→帕[斯卡]	Pa	133.322	$7.500\,64 \times 10^{-3}$
放射性				
居里(Ci)	→贝勒尔	Bq	37×10^9	$27.027\,0 \times 10^{-12}$
温度				
摄氏度(°C)	→开[尔文]	K	$\text{K} - 273.15$	$^{\circ}\text{C} + 273.15$
华氏度(°F)	→开[尔文]	K	$(\text{K} \times 9/5) - 459.67$	$(^{\circ}\text{F} + 459.67) \times 5/9$
体积				
立方英尺(ft ³)	→立方米	m^3	0.028 316 8	35.314 7
立方英寸(in ³)	→立方米	m^3	$16.387\,1 \times 10^{-6}$	$61.023\,6 \times 10^3$
立方码(yd ³)	→立方米	m^3	0.764 555	1.307 95
英国品脱(pt)	→立方米	m^3	$0.568\,261 \times 10^{-3}$	1 759.75
美国品脱(liq pt)	→立方米	m^3	$0.473\,176 \times 10^{-3}$	2 113.38
英国担(gal)	→立方米	m^3	$4.546\,09 \times 10^{-3}$	219.969
美国担(gal)	→立方米	m^3	$3.785\,41 \times 10^{-3}$	264.172

从非 SI 转换成 SI,可用旧单位乘以转换系数。

示例 1

把平方英寸转换成平方米:

$$1\,452\text{in}^2 = 1\,452 \times (645.16 \times 10^{-6}) = 0.936\,77\text{m}^2$$

从 SI 单位转换成非 SI 单位,需要乘以反转换系数。

示例 2

把千克转换成盎司:

$$2.314\text{ kg} = 2.314 \times 35.274\,0 = 81.624\,0\text{oz}$$

B3 溶液的制备

要 点

浓度和 SI

物质质量的 SI 单位是摩尔[尔](mol),但也常用非 SI 形式 molar(摩尔[尔])来表示。

溶液的制备

计算化学物质的相对分子质量,转换为标准单位,计算出所需浓度化学物质的质量,然后加水到所需的容量。

浓度的其他
度量形式

其他非 SI 度量包括质量摩尔浓度、标准浓度和百分比浓度。

贮备溶液

通常会准备一些浓缩的贮备溶液,如缓冲溶液,可以利用它来制备其他浓度的溶液。

连续稀释

由贮备溶液按固定的稀释比例稀释获得溶液的方法。常见的连续稀释方法有两种,即二倍稀释和十倍稀释。

浓度和 SI

在科学实验室里,经常需要配制已知浓度的化学溶液。表示物质质量的 SI 单位是摩尔[尔](mol)。这样,浓度的 SI 导出单位就是 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。但是非 SI 的形式 molar(M)溶解量(1M 相当于 1mol 物质溶在 1L 水中的浓度)的使用也是很普遍的。普遍使用的还有“毫摩尔[尔]”(mM)。鉴于在 SI 中“M”表示的前缀 mega,这样就可能造成一些混乱,所以需要慎重使用。 $1\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ 浓度的溶液相当于 1M 溶解量, $1\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 也即 1mM。

有些定义是很有用的。摩尔[尔](mol)是 SI 中物质质量的单位。1mol 化合物的质量(克数)等于其相对分子质量。1mol 化合物含有 6.022×10^{23} 个分子(这个数字被称为阿伏伽德罗常量)。摩尔[尔]还可以用来表示原子和离子的量。

相对分子质量是一个分子中所有相对原子质量[如元素周期表所示(图 B3.1)]的总和。

原子序数																	
元素符号																	
相对原子质量																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.008	2 He 4.003	3 Li 6.941	4 Be 9.012	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98.91	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm 146.9	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 174.9	72 Hf 178.5
87 Fr 223.0	88 Ra 226.0	89 Ac 227.0	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np 237.0	94 Pu 244.1	95 Am 243.1	96 Cm 247.1	97 Bk 247.1	98 Cf 251.1	99 Es 252.0	100 Fm 257.1	101 Md 258.1	102 No 259.1	103 Lr 260.1	104 Rf 261.1
101 Db 262.1	102 Sg 263.1	103 Bh 264.1	104 Hs 265.1	105 Mt 268	106 Uun 269	107 Uuu 272	108 Uub 277	109 Uut 281	110 Uuq 285	111 Uuh 289	112 Uus 293	113 Uuq 297	114 Uuh 301	115 Uus 305	116 Uub 309	117 Uut 313	118 Uuq 317

图 B3.1 元素周期表

物质的量浓度是溶液浓度的度量指标,表示方式是摩尔[尔]每升($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。因此,溶解于 1L 水的化合物的物质的量浓度定义为 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (也称为“1 摩尔[尔]溶解量”)。

溶质是能够溶解在液体中的物质。溶剂是一种溶解其他物质的液体。除非另有说明,在生命科学中,假定溶剂就是水。

溶液的制备

制备一定容量和浓度的溶液:

- 根据需要转换为标准单位:用 L 表示容积,用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示浓度。
- 计算化学药品的相对分子质量。
- 计算给定浓度所需化学药品的质量(克数):

$$\text{化学药品的质量} = \text{容积} \times \text{相对分子质量} \times \text{浓度}$$

- 接下来是理论或实践的做法:

理论的方法是在化学物质里加水到所需的容积。

实际的方法是:称量化学药品,放到一个烧杯(或其他容器)中,然后加溶液总量 80% 的水。彻底溶解(如有必要,使用磁力搅拌器并加热)。如有需要,调节 pH,然后用容量瓶或量桶定容到准确的容积。

在实验室实际工作中,往往难以准确地称量出质量比较小的物质,特别是如果化学组成是大的晶体或黏性物质。在这种情况下,下列方法也许是适当的:①转换成大容积;②准备浓度更高的贮备溶液然后稀释(参见下文的稀释部分);③首先称量,然后计算所需的水以得到所需的浓度(见示例 2)。

示例 1

配制 50mL $5\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液需要多少克 NaOH?

- (1) 转换成标准单位:容积 = 0.050L, 浓度 = $5 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。
- (2) 氢氧化钠的相对分子质量是 $22.99 + 16.00 + 1.008 = 39.998$ 。
- (3) 需要的质量是 $0.050 \times 39.998 \times 5 \times 10^{-3} = 9.999 \times 10^{-3} \text{g}$ (保留四位有效数字)。

示例 2

利用 0.481g 无水 CuSO_4 配制 $10\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 溶液的容积是多少? (“无水”系指没有任何水分子结合在结晶体上)

- (1) 转换为标准单位:浓度 = $1 \times 10^{-2} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。
- (2) CuSO_4 的相对分子质量是 $63.55 + 32.07 + (16.0 \times 4) = 159.62$ 。
- (3) 其公式是

$$\text{化学品质量} = \text{容积} \times \text{相对分子质量} \times \text{浓度}$$

这里,质量单位为 g,容积为 L,浓度为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,方程的两边同时除以相对分子质量 $\times$ 浓度,可变换(见 D1 节更多关于公式变换)为

$$\text{容积} = \frac{\text{化学品质量}}{\text{相对分子质量} \times \text{浓度}}$$

因此

$$\text{容积} = \frac{0.481}{159.62 \times (1 \times 10^{-2})} = 0.3013$$

这样,硫酸铜加所制成溶液量是 0.3013 L。

浓度的其他
度量形式

以下是不如物质的量浓度常用的度量方法:

质量摩尔浓度可表示为摩尔[尔]每千克溶剂($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)溶液的浓度,是不依赖于温度的度量浓度的方法,只偶尔使用。

当量浓度:一个当量(1N)浓度的溶液相当于每升溶液中含有 1 克当量的溶质($\text{g EW} \cdot \text{L}^{-1}$)。1N 相当于相对分子质量除以化合价(替代为 H 离子或其等价态)。如 HCl(盐酸)的化合价是 1,NaCl(氯化钠)也一样,而 H_2SO_4 (硫酸)的化合价是 2, H_3PO_4 (磷酸)的化合价是 3。1g $\text{EW} \cdot \text{L}^{-1}$ 可看做含有 1mol 溶质的“反应单位”。目前,当量浓度和当量都是相当过时的术语,但偶尔也可能会遇到。

溶质的计算公式是,配制 v 升 c 当量浓度的溶液需要溶质 m (克数)是

$$m = \nu \times (\text{g EW}) = \nu \times \frac{\text{相对分子质量}}{\text{化合价}}$$

示例 3

1. 5L 水中需要加入多少克 NaCl 才能获得 2N 的溶液?

(1) 计算相对分子质量: $23 + 35.5 = 58.5$ 。

(2) 推导出价态: 化合价 = 1。

(3) 得出公式: $m = 1.5 \times 2 \times (58.5/1) = 175.5\text{g}$ 。

还有三种百分比溶液: 质量/质量、质量/容积和容积/容积^①。所有的百分比都是每 100 份溶液的溶质的量。注意不是 100 份溶剂的量。

质量/质量也称为百分比组成或 %w/w, 它是溶液总质量中含有溶质的百分数。这里的百分数是指 100g 溶液中溶质的克数。

示例 4

10%w/w NaOH 溶液可由称量 10g NaOH 溶解在 90g 水 (=90mL 水, 假设水的密度是 $1.0\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 中得到。

质量/容积也称为百分比浓度或 %w/V, 它是溶液总容积中含溶质的百分数。这里的百分数是 100mL 溶液中溶质的克数。将一定的溶质加到水中, 然后用容量瓶定容, 就可很容易地获得 %w/V 溶液。

示例 5

10%w/V NaOH 溶液可由称量 10g NaOH 溶解在 100g 溶液中得到。

质积/容积也称为百分比浓度或 %V/V, 它是溶液总容积中含有溶质容积的百分数 %V/V。这里的百分数是指 100mL 溶液中溶质的毫升数。

示例 6

10%V/V 乙醇溶液是指 100mL 溶液中含有 10mL 的乙醇。除非另有说明, 溶剂指的是水。

贮备溶液

通常需要配制高浓度的贮备溶液, 以制备其他溶液。有些试验计划需要一系列浓度的溶液, 可以通过连续稀释方法很简单地得到所需的溶液。

如果把一些溶剂加到已知浓度和容积的溶液中, 最后会得到容积较大但浓度较低的溶液。直观来说, 这是一个比例关系: 如果容积增加一倍, 浓度将减少一半。其重要公式是: $c_1 V_1 = c_2 V_2$ 。这里, c_1 和 c_2 分别是初始浓度和最终浓度; V_1 和 V_2 分别是初始容积和最终容积。

通常, 我们想知道获得预期的浓度和容积需要在贮备溶液中加入多少水 (或其他溶剂)。如果变换一下上述公式, 就可以计算出所需贮备溶液的容量。

示例 7

有 0.01M 的贮备溶液 ($= 0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) KCl, 怎样才能配制出 50mL 3mM ($= 3\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 的溶液? 不管使用 SI 还是非 SI 单位, 都要确保所使用的单位是一致的。请记住转换前缀。

• 列出各部分的值。在进行计算时, 始终保持使用同一单位。

初始浓度 $= 0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

最终容积 $= 50\text{mL} = 5 \times 10^{-3}\text{L}$

最终浓度 $= 3\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 10^{-3}\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

^① 质量/质量、质量/容积、容积/容积分别称为质量分数、质量体积浓度、体积分数, 相应的, %w/w、%w/V、%V/V 已经废止。但因本书是译书, 为尊重原书写法, 本书仍保留此种写法。

• 套用公式

$$V = \frac{(3 \times 10^{-3}) \times (5 \times 10^{-3})}{0.01}$$

其中, V 的单位是 L。因此, 需要的贮备溶液是 0.001 5L (=1.5mL)。

• 计算出所需水的容积:

$$\begin{aligned} \text{所需的水的容积} &= \text{最终容积} - \text{初始容积} \\ &= 50 - 1.5 = 48.5 \end{aligned}$$

• 因此, 所需的水的容积是 48.5mL。

连续稀释

连续稀释的基本原则是, 由贮备溶液开始, 按照固定的比例进行稀释, 然后取一等份稀释溶液, 再按照相同的比例稀释, 等等。常见的形式有两种: 二倍稀释和十倍稀释。

对于二倍稀释, 就是在贮备溶液里加入相同容积的水, 搅拌, 然后取出一半转移到另一支容器中, 再加入等容积的水, 以此类推。浓度依次是原始的浓度的 1、1/2、1/4、1/8 等。

对于十倍稀释, 取 1 份容积的贮备溶液加入 9 份容积的水, 彻底混匀, 如此重复这一过程。浓度依次是原始浓度的 1、1/10、1/100、1/1 000 等。

练习 1

试进行关于准备化学溶液的练习。用合适的单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或者 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示答案。

(1) 下列各小题的物质的量浓度是多少?

i. 将 5.84g NaCl 加入 5L 水中;

ii. 将 240g 葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)加入 1 203mL 水中。

(2) 要获得 0.55 物质的量浓度的溶液, 需要在 3 000L 水中加入多少粗盐(含有 83.1% 的 NaCl 和 16.9% 的不溶杂质)?

(3) 75mL 20% w/V 硝酸锌溶液的三分之一中加入到 150mL 蒸馏水中, 得到的溶液浓度是多少?

答案 1

(1) 由相对分子质量(M)确定物质的量浓度:

i. $M = 22.99 + 35.45 = 58.44$

$$5.84\text{g} \equiv 0.1\text{mol}, 0.1\text{mol}/5\text{L} = 20\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

ii. $M = (6 \times 12.011) + (12 \times 1.007) + (6 \times 16) = 180.15$

$$240\text{g} \equiv 1.332\text{mol}, 1.332\text{mol}/1\,203\text{mL} = 1.107\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) $0.55\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 3\,000\text{L} = 1\,650\text{mol}$, 质量是 $(1\,650 \times 58.44) = 96\,426\text{g}$ 。这是 83.1% 的纯盐质量。这样, 粗盐的质量就是 $(100/83.1) \times 96\,426\text{g} = 0.116\text{t}$ 。(3) 通过分子式 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 和相对分子质量 M 为 189.38 可以得出其物质的量浓度。该物质 20% 的溶液物质的量浓度是 $(1\,000/189.38) \times 20\% = 1.056\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 因此 25mL 这样的溶液含有 0.026 4mol $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, 175mL 混合后的溶液的物质的量浓度就是 $0.1508\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ [等于 $(1\,000/189.38) \times 2.857\%$]。