

Lab Math

A Handbook of Measurements, Calculations,
and Other Quantitative Skills

for Use at the Bench

生物实验室数学

[美] 达尼·斯潘塞·亚当斯 (Dany Spencer Adams) 编著

翟俊辉 王效义 等译

杨瑞馥 审校



化学工业出版社
生物·医药出版分社

Lab Math

A Handbook of Measurements, Calculations,
and Other Quantitative Skills
for Use at the Bench

生物实验室数学

[美] 达尼·斯潘塞·亚当斯 (Dany Spencer Adams) 编著

翟俊辉 王效义 等译

杨瑞馥 审校



化学工业出版社
生物·医药出版分社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

生物实验室数学/[美] 亚当斯 (Adams, D. S.) 编著;
翟俊辉等译. —北京: 化学工业出版社, 2008. 1
(生物实验室系列)

书名原文: Lab Math: A Handbook of Measurements, Calculations, and
Other Quantitative Skills for Use at the Bench
ISBN 978-7-122-01638-6

I. 生… II. ①亚…②翟… III. 生物-实验室-生物
数学-手册 IV. Q-332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192313 号

Lab Math: A Handbook of Measurements, Calculations, and Other Quantitative
Skills for Use at the Bench
ISBN 0-87969-634-6

Copyright ©2003 by Cold Spring Harbor Laboratory Press. All rights reserved.
Authorized translation from the English language edition published by Cold
Spring Harbor Laboratory Press.

本书中文简体字版由 Cold Spring Harbor Laboratory Press 出版公司授权化
学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2004-4905

责任编辑: 李 丽 郎红旗 周 旭
责任校对: 战河红

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 生物·医药出版分社
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 15¼ 字数 246 千字 2008 年 2 月北京第 1 版 第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 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: 37.00 元

版权所有 违者必究

生物实验室系列

陆续出版的书目如下

- 发酵工程实验技术 (2004 年 3 月)
- 生物化学实验技术 (2005 年 5 月重印)
- 拟南芥实验手册 [影印] (2004 年 5 月)
- 现代生物科学仪器分析入门 (2005 年 6 月重印)
- 转基因动物技术手册 [译] (2004 年 9 月)
- RNAi——基因沉默指南 [译] (2004 年 10 月)
- PCR 最新技术原理、方法及应用 (2005 年 1 月)
- 生物安全柜应用指南 (2005 年 3 月)
- 分子生物学实验参考手册 [译] (2005 年 6 月)
- DNA 分子标记技术在植物研究中的应用 (2005 年 6 月)
- 流式细胞术原理与科研应用简明手册 [译] (2005 年 7 月)
- 医学微生物学实验技术 (2006 年 1 月)
- 小鼠胚胎操作实验手册 (第三版) [译] (2006 年 1 月)
- 植物分子生物技术应用手册 (2006 年 2 月)
- 分子生物学与蛋白质化学实验方法 [译] (2006 年 2 月)
- PCR 技术实验指南 (第二版) [译] (2006 年 3 月)
- 植物细胞工程实验技术 (2006 年 4 月)
- 生物安全实验室建设 (2006 年 4 月)
- 人肿瘤细胞培养 [译] (2006 年 5 月)
- 细胞生物学实验技术 (2006 年 6 月)
- 组织工程方法 [译] (2006 年 6 月)
- 免疫组织化学实验技术及应用 (2006 年 6 月)
- 生物芯片技术应用详解 (2006 年 9 月)
- 现代实验动物学技术 (2007 年 1 月)
- 蛋白质与蛋白质组学实验指南 [译] (2006 年 10 月)
- 核酸分子杂交技术 (2007 年 7 月)
- 现代发育生物学实验指南 (2007 年 6 月)
- 冰冻显微免疫标记技术 (2007 年 10 月)
- RNA 分离与鉴定实验指南——RNA 研究方法 (2007 年 12 月)
- 分子克隆实验指南精编版 (2008 年 1 月)
- 基因表达分析手册 [译]
- 蛋白质纯化实验指南 [译]
- 生物实验室数学 [译]

本书参译人员

主 译 翟俊辉 王效义
审 校 杨瑞馥
参加翻译人员 (按姓氏笔画排列)

王效义	毕玉晶	刘海洪
杜宗敏	李 蓓	李雅玥
邱景富	陈泽良	周 蕾
周冬生	庞 昕	秦 琬
谭亚芳	翟俊辉	

出版者的话

21 世纪是生命科学的世纪，这已成为人们的共识。

生命科学随着人类对自身和自然的认识、探索而萌芽，随着人类生产和科学实践的进步而发展。现代生命科学包括生物学、医学、农学等传统学科领域，以及生物学、生物技术与环境科学乃至社会科学等其他学科相互渗透、交叉而产生的新型学科体系。20 世纪后叶现代生物科学尤其是分子生物学取得了一系列突破性成就，使得生命科学在自然科学体系中的位置发生了革命性的变化，成为 21 世纪的带头学科。人们对生命科学也寄予了无限的期望，希望能够解决人类社会所面临的人口膨胀、资源匮乏、疾病危害、环境污染和生态破坏等一系列重大问题。

回顾生命科学的发展历程，实验技术一直起着非常重要的促进作用。如 17 世纪 Leeuwenhoek 等人发明并应用显微镜技术，直接催生了“细胞学说”的建立和发展；1973 年 Cohn 和 Boyer 完成了 DNA 体外重组实验，标志着基因工程的肇始；1988 年 Kary Mullis 发明的 PCR 技术甚至使生命科学产生了飞跃性的发展。可以说，生命科学无时无刻离不开实验，实验是开启神奇的生命王国大门的钥匙。没有实验技术的不断进步，也就没有生命科学今天的巨大发展；同时，生命科学的发展又对实验技术提出了更高的要求，进一步刺激了后者的不断进步。生命科学正是在“实验催生和验证着基础理论，理论指导和发展了实验技术”的不断循环中从必然王国走向自由王国。

工欲善其事，必先利其器。为了有助于生命科学工作者更多地了解相关实验技术和仪器设备，更好地设计实验方案，更有效地开展实验过程，更合理地处理实验结果，化学工业出版社组织出版了“生物实验室系列图书”。系列图书在整体规划的基础上，本着“经典、前沿、实用，理论与技术并重”的原则组织编写，分批出版。

在题材上，系列图书涵盖综合实验技术和单项实验技术两个方面。其中综合实验技术既有以实验目的为题，如“蛋白质化学分析技术”，内容纵向覆盖多项实验技术；也有以某一生命学科领域的综合实验技术为题，如“发酵工程实验技术”、“生物化学实验技术”等。而单项实验技术则以深入介绍某一专项技术及其应用为主，在阐述其基本原理的基础上，横向介绍该项技术在多个领域的应用，如“双向电泳技术”、“流式细胞术”等。

在内容上，系列图书主要有以下两个显著特点。一是强调先进性——除了系统介绍常用和经典实验技术以外，特别突出了当前该领域实验手段的新理论、新技术、新发展，为国内专业人员起到借鉴和引导作用。二是强调可操作性——对于每一项实验技术，系统介绍其原理方法、设备仪器和实验过程，让读者明了实验的目的、方案设计以及具体步骤和结果处理，以期起到实验指南的作用。

本系列图书坚持质量为先，开拓国内和国际两个出版资源。一方面，约请国内相关领域兼具理论造诣和丰富实验室工作经验的专家学者编著；另一方面，时刻关注国际生命科学前沿领域和先进技术的进展，及时引进（翻译或影印）国外知名出版社的权威力作。

“生物实验室系列图书”的读者对象设定为国内从事生命科学及生物技术和相关领域（如医学、药学、农学）的专业研究人员，企业或公司的生产、研发、管理技术人员，以及高校相关专业的教师、研究生等。

我们殷切希望“生物实验室系列图书”的出版能够服务于我国生命科学的发展需要，同时热忱欢迎从事和关心生命科学的广大科技人员不仅对已出版图书提供宝贵意见和建议，也能对系列图书的后续题目设计贡献良策或推荐作者，以便我们能够集思广益，将这一系列图书沿着可持续发展的方向不断丰富品种，推陈出新。

谨向所有关心和热爱生命科学，为生命科学的发展孜孜以求的科学工作者致以崇高的敬意！

祝愿我国的科技事业如生命之树根深叶茂，欣欣向荣！

化学工业出版社
生物·医药出版分社

前 言

这是一本有关数字的书，在实验室时会阅读、依赖、发现和报告这些数字。本书面向三类读者。第一类读者是对数学运用自如的人，他们会发现本书集提示条和参考文献于一身是非常有用的，这类读者可能会将本书放在工作台的书架上；第二类读者正好处于中等水平，他们想知道怎样立刻完成某个数学计算，例如为配制某一摩尔浓度的溶液而计算溶质的量，这类读者会将本书摊开放在工作台上；第三类读者拥有充足的时间并想知道数字和方程式的来源，他们可能会将本书放在办公桌上（很可能会有第四类读者，他们仅仅浏览本书中的漫画）。根据情况不同，我热情鼓励所有读者加入到以上三类读者的行列。

因为疲于向学生解释怎样转换单位、计算摩尔浓度、产生溶液配方、使用 pH 计、校准目镜测微尺等，所以我开始撰写和收集这本书涉及的相关内容。我相信您肯定会有自己的这类信息清单。我曾经贴一些字条来提醒自己那些不易记住的事情，例如每毫升溶液中加入多少克溶质才能配出 10% 的溶液。我估计您实验室内到处也会贴一些这样的字条。有关使用数字过程中的“怎么办”和“捷径”方面的文字在不断增加，而且很快同事们开始告诉我他们无法想起来或厌倦于施教的主题，我开始应邀增加新的内容。这些信息增长如此之快，以致最终我正编写中的《细胞生物学实验指导》一书中无法容纳，因此我干脆按照“实验计算参考手册”的方式来组织这些材料，这样《生物实验室数学》很快应运而生。尽管总的来讲，我曾经认为它应该命名为“我希望我能够从代数、几何、生物学入门、物理学和化学中记住什么？”当我得到教授们的请求——他们开始要求在自己的实验室和课堂上使用该小册子时，我认为就到了该公开发表它的时候了。当我发现了 Kathy Barker 的《At the Bench》一书时，我决定选择同一家出版社 Cold Spring Harbor Laboratory Press（冷泉港实验室出版社）；幸运的是，他们同意了。

本书第 1 章是数字本身和一些常见类型测量的基本知识。这一章与其他每个章节都有紧密的联系，熟悉了第 1 章的信息将会使理解所有的数字变得更容易，在本章上花点时间将会为今后节省难得的时间。第 2 章涵盖了描述生物学基础学科化学的有关数字。像第 1 章一样，如果现在学习了这一章包含的基础，将会节省时间并加快以后实验的步伐。第 3 章描述了怎样校准和

正确使用生物实验室的常见设备。我推荐本章的两点用途：第一，确保设备的正确使用，并且在适当时候，实行并提出校准；第二，让实验室新来人员阅读有关设备的章节作为培训的开始。第 4 章给出了制备溶液的方法和捷径。以做教师的经验而言，我感到这是本书最有用的一章。第 5 章和第 6 章包含了分子生物学中应用的方法。第 7 章包含了统计学入门和怎样交流数字数据的建议。第 8 章含有参考表和图，这些表和图可能见于您的其他参考书中，但是您现在知道首先应该看哪一本书了。本书同样含有“即填即用 (plug and chug)”式的空白方程表格用于一些常见的数字计算。这些表格可直接复制到实验室记录本上。

冷泉港实验室出版社的工作人员，特别是 Dave Crotty、Beth Nickerson、Judy Cuddihy、Joan Ebert、Dotty Brown、Susan Schaefer 和 Mala Mazzullo 都十分优秀，感谢他们的技巧、智慧和无尽的善意。许多人浏览了不同章节并提出了有益的批评和意见，我诚挚地感谢每个人。本人十分感激 the Friday Harbor Laboratories 的 Helen Riaboff Whiteley Center。在那里三周的协作研究使我专注于写出本书的第一稿。我无法想象是否还会有比这更好或更漂亮的工作场所。我得感谢 Smith College 的学生们，他们是本书早期版本某些章节的试验读者。他们非常乐意告诉我哪些是最好的，同时也一样高兴地告诉我错误的地方。同事、朋友和家人给了我极大的支持和鼓励。特别要提及的是 Melanie Adams、Jeanne Powell、Rachel Fink 和 Steven Beeber，他们每个人均以不同的方式给予我帮助。最后，我要感谢教师们最重要的贡献，特别是 Jonesy Wagner、Margot Gumport、Michael Sturm、Yves Volel、M. A. R. Koehl、Tom Daniel 和 Garry Odell，感谢你们所做的所有事情，而且尤其让我欣慰的是，我最终了解到女孩子们也喜欢上了数学。

达尼·斯潘塞·亚当斯
马萨诸塞州波士顿 Forsyth 研究院

什么是你最喜欢的诀窍/技巧?

尽管我已竭力使本书尽可能完美实用，但我知道仍然还有很多未录入本书的其他捷径、技巧、方程式和解释。由于忽视了它们的存在而造成了一些遗漏，我诚恳地邀请您提交您的评论、您喜欢的数学方法或您想要补充的主题。

请在您的建议中写上如下内容：

- ① 您希望分享或想得到解释或推论的窍门/技巧/方程/事例。
- ② 原因（如果可能）。
- ③ 全面实践的范例（如果可行）。
- ④ 有关为什么要补充到《生物实验室数学》的简短解释。
- ⑤ 您的联络信息。

请将您的意见和建议发至 LabMath@cshl.edu 来帮助我将第二版《生物实验室数学》做得更好。

提前感谢您的参与。

致 谢

以下人员给了我极大支持，包括提出主题、阅读草稿，在他们实验室和课堂上实际使用了本书的早期版本，预先订购图书、提供食物和工作场所，并且在我需要时使我振作。

James R. Adams

Deborah L. Chapman

Stacey Combes

The Forsyth Institute

David Grosof

Jennifer Innes

Sandra Laney

Michael Levin

Michelle Lizotte-Waniewski

Helen McBride

Mary Murphy

Patricia Parsons-Wingter

Jennifer Pinkham

Lori Saunders

Abby Silvan

Ulrike Spaete

Starbucks

Christine White-Ziegler



“看，亲爱的——又一个数学焦虑症的悲剧病例！”

目 录

第 1 章 实验室里的数字和测量	1
1.1 关于数字型数据	1
1.2 报告测量结果	2
1.3 科学计数法	4
1.4 有效数字实战	8
1.5 量纲和单位	11
1.6 方程式	14
1.7 测量基本性质	19
1.8 测量衍生性质	25
1.9 参考资料	31
 第 2 章 化学里的数字	 32
2.1 物质	32
2.2 元素周期表	36
2.3 离子	38
2.4 放射性	46
2.5 参考资料	49
 第 3 章 测量、计数及其他定量检测中使用的设备	 50
3.1 测定时需慎重考虑的因素	50
3.2 测量液体（体积的测量）	52
3.3 称量干化学物质（重量或质量）	54
3.4 用显微镜计数和测量	56
3.5 细胞计数（数量）	63
3.6 用分光光度测定法测定浓度	68
3.7 应用离心机分离样品组分	70
3.8 测量放射活性——核衰变	73
3.9 参考资料	74

第 4 章 溶液的配制	75
4.1 关于溶液	75
4.2 试剂瓶标签上的数字	78
4.3 摩尔和物质的量浓度	79
4.4 用干化学试剂配制溶液	80
4.5 配制水合化合物的溶液	82
4.6 储存液配制	84
4.7 系列稀释	86
4.8 将溶液配方转换成浓度	94
4.9 pH	96
4.10 参考资料	102
第 5 章 DNA 和 RNA	104
5.1 关于 DNA 和 RNA 的介绍	104
5.2 根据 DNA 寡核苷酸的序列计算其相对分子质量	106
5.3 DNA 浓度的计算	108
5.4 用分光光度测定法测定核苷酸和核酸的浓度	109
5.5 计算每皮摩尔线性 DNA 末端个数	119
5.6 预测 PCR 产物中靶基因序列的复制数	122
5.7 测定 DNA 片段的长度	124
5.8 计算从凝胶回收 DNA 片段的含量	126
5.9 测定溶解温度	128
5.10 放射标记探针的比活	132
5.11 参考资料	134
第 6 章 蛋白质	136
6.1 关于蛋白质	136
6.2 蛋白质分子量的测定	137
6.3 蛋白质的浓度	142
6.4 定量分析蛋白质活性	146
6.5 反应速率	147
6.6 荧光共振能量转移	151
6.7 参考资料	155

第 7 章 统计与报告：数据资料的收集、解释与表示	156
7.1 简介	156
7.2 什么是统计学	156
7.3 什么是统计量	158
7.4 描述性统计量与统计推论	158
7.5 开始前的最后核对：本章能够帮助你吗？	161
7.6 关于统计学	161
7.7 实验设计 I：样本量与研究对象分配	168
7.8 实验设计 II：统计量选择	172
7.9 数据资料描述：描述性统计量	174
7.10 数据资料解释：统计推论	179
7.11 统计推论：关系	184
7.12 报告数字型数据资料	186
7.13 文字、表格或图形	188
7.14 参考资料	190
 第 8 章 参考表和方程	 192
8.1 参考表	192
8.2 源自几何学、代数学及三角学的实用方程	196
8.3 即填即用	210
 索引	 220

第 1 章 实验室里的数字和测量

科学家总是离不开计算和测量。因此，如果你从事科学研究的话就不可避免地要与数字打交道，这会有助于您自如地阅读和处理数字型数据。不幸的是，许多人不能得心应手地运用数字。实际上，与数字打交道的念头已足以让人忧虑了，更不用说那些整页整页的烦琐计算了——它们通常只是带来一些渺茫的希望，如同变魔术般偶然获得正确答案。更糟糕的是，如果与数字打交道，就意味着正在与不确定性打交道，除此别无他途，因为没有一种测量装置是完美无缺的——所有的测量都包含一些误差。这意味着我们必须自如地应对这些不确定性——即描述你所得数据的数字。幸运的是，与数字型数据打交道有一些简捷的方法可以减少误差，纠正不确定性的偏差；这些方法对于良好的科研工作都是至关重要的，并且代表着一定的意义。为帮助读者理解数字型数据的采集、分析和报告，本章解释了为什么科学家用他们的方式来记录数字。

1.1 关于数字型数据

量纲 (dimension)：某事物的性质或物理特征。一共有 7 个基本（基础）量纲：物质的量 (N)、长度 (L)、质量 (M)、时间 (T)、温度 (Θ)、电流 (A) 和发光强度 (J)。其他量纲，如浓度、体积和电压等都从 7 种基本量纲衍化而来。如括号中所示，量纲符号是大写罗马字母（温度符号例外，是大写的希腊字母 Θ ）。这些符号实际上很少使用（参见第 8 章，SI 单位表）。

方程式 (equation)：在数学和本书中，方程式是表明左边表达量等于右边表达量的陈述。在化学中，方程式用于描述化学反应。

量值 (magnitude)：测量的大小或数值。测量通常同时具有量值和量纲，如孵箱内的温度可能是在 37°C ，其中量值是 37，量纲是温度（ $^{\circ}\text{C}$ 是单位，见下述）。

尾数 (mantissa)：“尾数”这个词代表多个意思。在本书中，尾数是将数字以科学计数法记录成 10 的某些指数幂后剩下的数字，例如在数字 $6.02 \times$

10^{23} 中, 6.02 就是尾数。在其他书中, “mantissa” 也用来代表 x 轴 (y 轴被称为纵坐标); 在本书中, 坐标轴被称作 x 轴和 y 轴。计算机程序员也使用 “mantissa” 这个字。

数量级 (order of magnitude): 该术语表明数字的相对大小并且经常用于两个数字的比较。例如, “同一数量级” 意味着两个数字基本相同; “不同数量级” 意味着它们有很大差别。它有时特指数字提取公因数后 10 的幂: 7.8×10^5 比 7.8×10^3 大两个数量级。

有效数字 (significant digit): 一个数 (number) 中的数字 (digit) 包含了数值有意义的信息, 但不是数量级。科学计数法是报告有效数字之正确数的最佳方法。尾数里的数字就是有效数字的个数 (见下述, 有多少位有效数字)。

单位 (unit): 量纲的公认标准。国际单位制 (SI) 是目前的标准并且在本书通篇使用。7 种基本量纲的 SI 单位是: 摩尔 (mol) 表示物质的量、米 (m) 表示长度、千克 (kg) 表示质量、秒 (s) 表示时间、开 (Kelvin, K) 表示温度、安 (A) 表示电流、坎 (candelas, cd) 表示发光强度。如括号中所示, 单位符号使用小写罗马字母, K 和 A 的表示除外, K 和 A 之所以用大写字母是因为这两个单位是以人名字命名的 (参见第 8 章, SI 单位表)。

单分数 (unit fraction): 分子与分母相等的分数 (因此它的量值是 1), 但是其单位不同。例如, 1in (英寸)/2.54cm 是单分数, 1000mm/100cm 也一样。单分数在单位转换中十分有用, 因为它们能描述出不同单位之间的关系, 它们是换算因数。

1.2 报告测量结果

科学家报告测量结果的方法能够告诉我们的不仅仅是一个数值, 而且还有很多有关测量的东西, 请看下面的数字:

$$4.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

该数值报告成 0.0450, 但是在该表达式中还有更多的信息, 它包含的不仅有测量不确定性的信息, 同时也有测量了什么的信息。

1.2.1 测量到什么: 单位

测量单位能够告诉我们测量的是什么, 有时单位包含了有关测定值量值的信息。在本例中, 单位是米 (m)。这就意味着测量的是长度, 因为量纲长度公认单位是米。该值也可以报告成 45.0 毫米 (mm), 其中 “米” 单位之前的前缀 “毫” 提供了有关测定值量值的信息。