



Statistical Aspects of
the Microbiological Examination of Foods

食品微生物检测统计学

原著第三版

(英) B. 贾维斯 (Basil Jarvis) 编
李业鹏 姜勇 雷质文 等译



非外借



化学工业出版社

Statistical Aspects of
the Microbiological Examination of Foods

食品微生物检测统计学

原著第三版

(英) B. 贾维斯 (Basil Jarvis) 编
李业鹏 姜勇 雷质文 等译



化学工业出版社

Statistical Aspects of the Microbiological Examination of Foods, Third Edition

Basil Jarvis

ISBN: 9780128039731

Copyright © 2016 Elsevier B. V. All rights reserved.

Authorized Chinese translation published by Chemical Industry Press.

《食品微生物检测统计学》(原著第三版)(李业鹏 姜勇 雷质文 等译)

ISBN: 9787122344663

Copyright © Elsevier B. V. and Chemical Industry Press. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier B. V. and Chemical Industry Press (other than as may be noted herein).

Online resources are not available with this reprint.

This edition of Drinking Water Security for Engineers, Planners, and Managers is published by Chemical Industry Press under arrangement with Elsevier B. V.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本版由 Elsevier B. V. 授权化学工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版发行。

本版仅限在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受民事及刑事法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

注意

本书涉及领域的知识和实践标准在不断变化。新的研究和经验拓展我们的理解,因此须对研究方法、专业实践或医疗方法作出调整。从业者和研究人员必须始终依靠自身经验和知识来评估和使用本书中提到的所有信息、方法、化合物或本书中描述的实验。在使用这些信息或方法时,他们应注意自身和他人安全,包括注意他们负有专业责任的当事人的安全。在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对因产品责任、疏忽或其他人身或财产伤害及/或损失承担责任,亦不对由于使用或操作文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身或财产伤害及/或损失承担责任。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2018-7108

图书在版编目(CIP)数据

食品微生物检测统计学/(英)B. 贾维斯(Basil Jarvis)编;李业鹏等译.

—北京:化学工业出版社,2019.

书名原文:Statistical Aspects of the Microbiological Examination of Foods

ISBN 978-7-122-34466-3

I. ①食… II. ①B… ②李… III. ①食品微生物-食品检验-应用统计学 IV. ①TS207.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 086907 号

责任编辑:傅四周 赵玉清

文字编辑:向东

责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

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 装:北京新华印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张17½ 字数395千字 2019年7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:98.00元

版权所有 违者必究

译者名单

(按姓名汉语拼音排序)

- 蔡 兰 诺安实力可商品检验(上海)有限公司
蔡 颖 汕头国际旅行卫生保健中心
崔生辉 中国食品药品检定研究院
崔学文 四川省食品药品检验检测院
范汉龙 无限极(中国)有限公司
傅博强 中国计量科学研究院
姜 勇 圣元营养食品有限公司
句立言 哈尔滨市疾病预防控制中心
雷质文 青岛海关技术中心
李燕俊 国家食品安全风险评估中心
李业鹏 国家食品安全风险评估中心
郦 娟 武汉食品化妆品检验所
林双庆 厦门海关技术中心
凌 莉 广州海关技术中心
刘 宁 临沂金锣文瑞食品有限公司
刘胜勤 广州市番禺区华鑫科技有限公司
刘新亮 哈尔滨海关技术中心
刘 茵 诺安实力可商品检验(青岛)有限公司
卢行安 中国检验检疫科学研究院
吕敬章 深圳海关食检中心
马 弋 湖北省食品质量安全监督检验研究院
孟 云 3M 中国有限公司
苗 丽 郑州海关技术中心
彭小莉 厦门海关技术中心
王金玲 沈阳海关技术中心
王 晶 中国计量科学研究院
吴孝槐 中国合格评定国家认可中心
徐文泱 湖南省食品质量监督检验研究院
杨 滔 湖南省食品质量监督检验研究院
杨文奇 沈阳市食品药品检验所
杨昕霆 瑞士哈美顿博纳图斯股份公司
曾晓琼 广东省食品检验所
钟文涛 湖南省产商品质量监督检验研究院

译者序

笔者所在单位按照 ISO 17043《合格评定 能力验证通用要求》进行运作，是中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可的能力验证合格提供者（CNAS PT0011），技术能力包括食品微生物领域。2011年7月，原中国合格评定国家认可委员会（CNAS）能力验证处召集部分全国食品行业专家到北京开会，研讨 ISO/TS 2111—2010《食品和动物饲料中微生物学-能力验证特定要求和指南》国内转化事宜。研读 ISO/TS 2111—2010，眼前一亮，犹如打开一扇窗户，了解到国际标准化组织（ISO）关于食品微生物检测能力验证/实验室间比对运作的专业要求，特别是食品微生物检测能力验证/实验室间比对的能力评价方式，让食品微生物检测能力验证/实验室间比对执行人员豁然开朗，可以不必参考或模仿其他领域的要求或指南，来运作食品微生物检测能力验证/实验室间比对。

然而，ISO/TS 2111—2010 中大量的统计学内容，让人望而却步，望洋兴叹。为了深入理解和执行 ISO/TS 2111—2010，CNAS 能力验证处吴孝槐博士推荐研读巴希尔·贾维斯（Basil Jarvis）教授的专著“Statistical Aspects of the Microbiological Examination of Foods”（第二版），该书共分为十四章，从基本统计学概念入手，再循序渐进至食品微生物检验抽样、样品制备、计数、方法学、测量不确定度、风险评估等方方面面的统计学原理及其实际应用。该书并非纯粹的理论书籍，正如其上一版副标题所表述的那样反映的是工业微生物学的进展，更多的是结合实际情况举例加以深入浅出的阐述，便于读者理解和运用。该书行文严谨流畅，结构紧凑，学术思想鲜明，本身也是一部值得借鉴的英文科学著作。

值得高兴的是，吴孝槐博士将 ISO/TS 2111—2010 的精髓写入原 CNAS-CL57:2015《能力验证提供者认可准则在微生物领域的应用说明》（现为 CNAS-CL03-A001:2018《能力验证提供者认可准则在微生物领域的应用说明》）；汗颜的是，笔者一直将巴希尔·贾维斯教授的大作束之高阁。

2017年6月，笔者主持编著《食品微生物实验室质量管理》（第二版），同时笔者申报的认证认可行业标准《食品微生物检测结果质量保证指南》（计划编号：2017RB086）获得立项。一方面，无论是编书，还是制标，微生物检测结果统计是绕不开的内容。另一方面，在实际工作中，食品微生物抽样、定量检测、测量不确定度评估、过程质量控制、能力评价、数据有效性评估、结果符合性评定以及风险分析等方面，均离不开数理统计，业界处理方式和结果差强人意，遗憾的是我国尚无一本关于食品微生物检测统计方面的专著。

2017年8月15日，打算联络国内专家将巴希尔·贾维斯教授的专著“Statistical Aspects of the Microbiological Examination of Foods”（第二版）翻译出来，吴孝槐博士给予了鼓励和支持。笔者在微信群发出邀请，来自高校、官方技术机构和食品生产企业 30 多

人报名，成立中文翻译团队。笔者和圣元营养食品有限公司姜勇高工进行翻译分工过程中，发现该专著已修订为第三版，于是马上调整，与时俱进。感谢原国家食品质量监督检验中心杨昕霆高工购买并分享该书电子版，感谢中国检验检疫科学技术研究院卢行安研究员惠赠该书纸质版，感谢国家食品安全风险评估中心李业鹏研究员和李燕俊研究员协调筹集出版经费，感谢化学工业出版社联系获得原著中文翻译版权。

说了算，定了办。就这样，一群来自不同行业专家，平均年龄不到 40 岁的，有的不曾谋面，充满激情，怀揣梦想，毅然决然担负起中文翻译和译稿审核工作，不忘初心，笃定前行。2018 年 10 月 23 日，金秋送爽，丹桂飘香，翻译团队在北京欢聚一堂，分享成果，梳理细节，雕琢作品，感谢化学工业出版社相关编辑精心策划，匠心编辑。

中文译本《食品微生物检测统计学》（第三版）一书将在 2019 年出版。该书章节与原著完全一致，具有较高的学术性和实用性，将极大地方便大专院校、研究机构、食品检测机构科研技术人员了解最新的理论知识，汲取学术成果，必将促进我国食品微生物检测能力和食品安全监管水平进一步提高。

本书可以用作海关、卫健委、农业农村部、食药系统、高等院校、食品生产企业等部门从事食品、食品添加剂、饮品、动物饲料、食品加工机械、食品包装以及食品加工环境样品等微生物检测和管理人员学习培训及日常工作参考书，也可作为高等院校食品卫生专业的教材，同时对食品微生物实验室的认可工作和质量管理方面亦有专业性参考价值。

由于翻译人员都是利用业余时间辛勤笔耕，加上译者水平有限，本书难免出现不足之处，恳请专家、老师、同行和广大读者批评指正。

雷质文

2019 年 4 月

原版序言

作为一名细菌学毕业生，在我的第一份工作中，经理给我留下了深刻的印象：在应用微生物学的工作中，他都能正确使用统计分析。因此，在他的坚持下，我参加了伦敦大学一门关于统计学在医学研究中应用的业余课程。遗憾的是，这门课程是由数学专家讲授的，他没有意识到复杂的数学概念往往会令非数学专业学生“失去兴趣”！在个人计算机和电子计算器可用之前，统计计算是手动完成的，有时使用机械计算器辅助。即使现在只需要几分钟的简单计算，那时往往需要几天几夜才能完成。尽管如此，在我后续的职业生涯中，我一直保持着使用统计学的兴趣。

在 20 世纪 70 年代初，我有幸与已故的 Eric Steiner 博士一起共事，这位化学家在统计学应用上具有相当丰富的知识和经验，他开拓了我的眼界，使我更广泛地了解统计方法。我也很荣幸曾经得到英国皇家统计学会 (Royal Statistical Society) 第一任女性主席 Stella Cunliffe 女士的指导。几年来，我在各种课程上讲授了应用微生物学的统计特征，其中包括我在英国萨里大学设立的、由世界卫生组织赞助的食品微生物学课程。在此期间，我意识到许多微生物学家对基本统计概念缺乏了解，并且完全缺乏合适的出版物作参考。在 20 世纪 90 年代初，我为当时的英国农业食品和渔业部 (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, MAFF) 编写了一份关于微生物统计特征的报告。正是在这种背景下，本书的第一版应运而生了。

本书旨在帮助从事食品、饮料和其他相关行业的微生物学家和其他相关人员，也适用于食品微生物学的在校本科生和研究生。随着对定量微生物学的愈加重视，了解食品微生物学中相关统计学变得越来越重要。

本书不是由专业统计学家撰写的，而是由微生物学家撰写的，真诚希望本书能够帮助到未来的应用微生物学家。在过去的两三年间，通过与各种组织的同行进行探讨，我们在微生物学方法和微生物学数据统计分析方面取得了一些进展。一些涉及风险分析日益增长的重要性，特别是需要理解食品中高离散致病微生物分布的统计学意义，另一些则涉及欧洲和美国在微生物方法确认程序中的变化，还有一些与微生物测量不确定度的评估方法有关。

当出版商问我本书是否修订时，我也正好在考虑是否需要修订这本书。在编辑和修订本书时，我收到了好多国家同行的宝贵意见和建议。我特别感谢 AOAC “微生物方法最佳实践” 主席工作组成员和 ISO 统计工作组 (TC34/SC9/WG2) 成员，特别是 Peter Wilrich 教授 (柏林自由大学) 和 Bertrand Lombard 博士 (安塞斯, 巴黎, 法国)，我们就不同主题进行了许多有益的讨论。特别感谢 Alan Hedges 博士 (布里斯托大学医学院) 和 Janet E. L. Corry 博士 (布里斯托大学兽医学院) 对第二版和本书稿的反馈

和建议；感谢 Andreas Kiermeier 博士（澳大利亚）惠赠的粮农组织/世卫组织（FAO/WHO）用于制定抽样方案的电子表格；感谢 AOAC 的 Sharon Brunelle 博士再次提供了有关方法确认的章节内容。所有的疏漏与不妥之处由本人承担。感谢学术出版社（Academic Press）编辑提供的帮助，特别是 Halima Williams。还要感谢许多作者和出版商，他们授权我重新发表已在其他文献发表的表格和图片。这些获得许可的详细内容引用在后文中。

最后，感谢我的妻子、我的家人和我们的朋友们，在本书修订期间，持续给予我支持和包容。

Basil Jarvis

英国赫尔福德郡，怀河畔罗斯厄普顿教区

2015 年 12 月

表 3-1 一些连续分布和离散分布函数	13
表 3-2 频率组数据排列	14
表 3-3 $m=10$ 、 $N=1000$ 的单一数值 ($x=0\sim 24$) 泊松分布	23
表 3-4 准确度为 95% 置信区间的泊松分布	23
表 3-5 $\bar{x}=2.4175$ 、 $N=400$ 、 $k=3.84$ 时, x 特定值从 $0\sim 10$ 的负二项分布	28
表 3-6 函数转换	34
表 4-1 χ^2 检验泊松分布的“拟合度”	39
表 4-2 源自负二项分布的被转换计数值的预期方差	47
表 4-3 估计 \hat{k} 值的方法要点	49
表 5-1 某批次样本在不同总体真实缺陷率及不同样本量条件下检出 0 个、1 个或 2 个缺陷单元的频率	57
表 5-2 包含 0 个、1 个、2 个、3 个、4 个或 5 个边缘缺陷单元的 20 个样本单元中检测到 0 个、1 个或 2 个缺陷单元的可能频次	60
表 5-3 使用 Wilson 法估计来自不同分布的缺陷率的 95% 置信区间 (CLs)	61
表 5-4 可接受抽样——基于属性的缺陷比例单一抽样计划	63
表 5-5 计数抽样的标准计划——用于常规检测的单一抽样计划 (主表)	64
表 5-6 计数抽样的标准计划——用于常规检测的二次抽样计划 (主表)	65
表 5-7 通过不同抽样方案得到 95% 可接受率 (AQL) 和 90% 拒绝率 (RQL) 的产品中缺陷品百分率	65
表 5-8 $N=\infty$, $n=10$, $c_1=0$ 或 2 , $c_2=0$ 时, 三级抽样方案中的可接受概率	68
表 5-9 三级抽样方案的可接受概率 ($N=\infty$, $c_2=0$, $c_1=$ 可接受的边缘缺陷样本数)	69
表 5-10 满足 AQL=95% (*), RQL=10% (**) 及 $c_2=0$ 条件下三级抽样方案的接受概率	70
表 5-11 采用非中心 t 分布计算的 K 值, 用于设置计量抽样的规范	74
表 5-12 随机数字表	76
表 6-1 样品质量对已称量样品变异系数的影响	80
表 6-2 移取标称 9mL 稀释液的误差	81
表 6-3 全程使用一支移液管和每次移液使用随机抽取的不同移液管两种不同情况下各种稀释倍数下的误差	83
表 6-4 使用不同移液管移取稀释液体积的误差	83
表 6-5 系列稀释中每一步使用不同的移液管 [方法 (a)] 和使用相同的移液管 [方法 (b)] 稀释和取样方差	87
表 6-6 某次系列稀释操作中协方差的相关系数	87

表 6-7	采用标准平板计数方法的菌落计数方差的计算实例	88
表 7-1	不同自由度 (ν) 下, 置信度为 95% ($1-\alpha = 0.95$) 和 99% ($1-\alpha = 0.99$), 双侧 t 分布的分位数	100
表 7-2	假定符合泊松级数, 菌落计数 95% 置信区间的近似值和“准确”值	103
表 7-3	6 名实验员菌落计数的效率百分比	105
表 7-4	菌落计数方法的误差来源	107
表 7-5	菌落计数基于泊松分布的近似置信区间 (CI), 假设抽样误差为 5%, 稀释误差为 5.5% (稀释至 10^{-6})	108
表 7-6	各种冷冻蔬菜中需氧菌落总数的 95% 置信区间	109
表 8-1	多管系列稀释中预期的比率	112
表 8-2	单管系列稀释中各接种水平发生“跳跃”的 95% 概率	114
表 8-3	稀释法测定微生物浓度的 K 值表	117
表 8-4	Moran 检验的期望 T 值 T_{exp} 和标准误差 SE_T	119
表 8-5	$\lg \hat{m}$ 的标准误差和 95% 置信区间因子	121
表 8-6	$3 \times 1\text{g}$ (mL)、 $3 \times 0.1\text{g}$ (mL)、 $3 \times 0.01\text{g}$ (mL) 接种量的 MPN 表	122
表 8-7	$5 \times 1\text{g}$ (mL)、 $5 \times 0.1\text{g}$ (mL)、 $5 \times 0.01\text{g}$ (mL) 接种量的 MPN 表	123
表 8-8	用于质量控制的多管检验的 MPN 估计值 (假定每个相关稀释度/管接种 0.5mL)	126
表 8-9	最大不良品率 (25g 检测单位) 的单侧置信区间上限 (假定目标微生物随机分布, 且没有阳性检出)	128
表 8-10	在鉴定培养基平板中一定数量的“典型”菌落中挑选到至少一个目标菌的概率 (基于超几何分布)	134
表 9-1	血细胞计数板计数方格中对照和测试细胞的双变量频数分布	136
表 9-2	每个显微镜视野计算的细胞数的置信区间以及集聚明显时对应的负二项系数 k 值	137
表 11-1	肉类样品中肠杆菌科菌落计数的实验室间研究数据排序	157
表 11-2	剔除实验室 5 数据后的肠杆菌科菌落计数及实验室排序	158
表 11-3	利用 Dixon 检验确认表 11-2 中的数据	159
表 11-4	以单元格格式 (Cell Format) 表示的方差分析数据列表	160
表 11-5	四因素全嵌套实验的方差分析表 (10 个实验室, 2 名分析人员和 2 个样品, 每个样品重复测试 2 次)	161
表 11-6	需氧微生物菌落计数 ($\lg\text{CFU/g}$) 的数据 (10 个实验室, 每个实验室 2 名分析人员, 每人均对 2 个样品各重复分析 2 次)	161
表 11-7	四因素全嵌套实验的方差分析表 (无数据剔除)	162
表 11-8	离群值对均值和中位值的影响	163
表 11-9	采用 RobStat 程序进行数据排序以分析样品内和样品间的标准偏差	164
表 11-10	基于 RobStat 分析的表 11-9 中数据的组内 (重复性) SD、组间 SD 及再现	164

	性 SD	
表 11-11	针对样品、分析人员和实验室的组间和组内 SD 的 RobStat 稳健估计	165
表 11-12	5 个实验室的 2 个平行样品的菌落计数结果 (以 lg CFU/g 表示)、均值以及平行样品计数结果与均值之差	166
表 11-13	方差的绝对差值	166
表 11-14	测定平均值的绝对差值	167
表 11-15	基于 10 组菌落计数数据对的实验室内期间再现性计算程序	169
表 11-16	Wilrich 和 Wilrich (2009) 使用 Excel 电子表格的截图	171
表 11-17	三种样品基质的 LOD 测定结果截图	172
表 12-1	进口冷冻熟对虾每批抽取 5 个样品的 24 组菌落计数值的平均值、标准偏差和范围	186
表 12-2	控制图公式中的一些常数	187
表 12-3	在入境口岸取样的 82 批进口冷冻熟对虾样本的需氧菌落计数结果	190
表 12-4	在乳制品厂对一个关键控制点 (CCP) 进行 ATP “卫生测试”, 使用平方根函数、自然对数 (ln) 和以 10 为底的对数 (lg) 转换前后的数值	195
表 12-5	表 12-4 中数据的统计量	197
表 12-6	用于得出 ATP 测定水平对 ATP 目标水平 (50RLU) 的累积和控制图的数据的电子表格布局	199
表 12-7	导出累积和信号值的数据布局	201
表 12-8	移动窗平均值	203
表 12-9	加工厂经过处理的鸡群中抽取 30 个拭子样本, 弯曲杆菌阳性的阳性发生率数据	205
表 12-10	在瓶装饮料中明显腐败和酵母污染的发生率	208
表 13-1	需要手工进行 DNA 制备的 mericon [®] 单核细胞增生李斯特氏菌致病菌检测试剂盒的 POD 结果——假定结果与确认结果的比较	219
表 13-2	需要手工进行 DNA 制备的 mericon [®] 单核细胞增生李斯特氏菌致病菌检测试剂盒的 POD 结果——mericon 方法与参考方法的比较	219
表 13-3	需要手工进行 DNA 制备的 mericon [®] 单核细胞增生李斯特氏菌致病菌检测试剂盒的 RLOD 结果	221
表 13-4	需要手工进行 DNA 制备的 mericon [®] 单核细胞增生李斯特氏菌致病菌检测试剂盒的灵敏度研究结果概要	221
表 13-5	需要手工进行 DNA 制备的 mericon [®] 单核细胞增生李斯特氏菌致病菌检测试剂盒的相对准确度 (AC)、相对灵敏度 (SE)、假阳性率 (FP) 和可接受限 (AL)	222
表 13-6	AOAC 单一实验室定量基质研究: Compact Dry EC 与 ISO 16649-2——大肠埃希氏菌	225
表 13-7	AOAC 单一实验室定量基质研究: Compact Dry EC 与 ISO 4832——大肠埃希氏菌	226

表 13-8	Compact Dry ETC 正确度研究中的差值平均值 (\bar{D})、差值的标准偏差 (S_D) 和 \bar{D} 的置信限值	230
表 14-1	风险评估、控制和管理的阶段	238

- 图 2-1 两家工厂生产的牛肉香肠在 30°C 下测定的菌落数的频率分布 4
- 图 3-1 数据的频率分布直方图[例 3-1 (1) 1mL (1cm³) 移液管的结果变化]。平均值为 0.984g, 标准偏差为 0.028g; (a) 的组距是 0.005g; (b) 和(c) 的组距是 0.010g 11
- 图 3-2 平均数为 12.77、方差为 24.02 的细菌显微计数频率分布[例 3-1 (2) 显微镜下计数的细菌数变化]。(a) 组距= 1; (b) 组距= 3 12
- 图 3-3 帕斯卡三角。从一系列的试验中得到的二项式结果直观视图, 例如抛硬币试验。在单次试验中, 有两种可能的结果: 头像或是数字, 出现哪一种的概率都是相等的 ($p = 0.5$)。在两次试验中, 有 4 种可能的结果: 出现两个头像 ($p = 0.25$), 出现一个头像和一个数字 ($p = 0.5$) 或者两个数字 ($p = 0.25$)。在三次试验中, 有 8 种可能的结果, 四次试验中有 16 种可能的结果, 以此类推。应该注意的是, 一行中的每个值是相邻上一行的值之和。这些数字可以通过增加额外的试验数据来扩展 15
- 图 3-4 在方程式 $(p + q)^n$ 中不同 p 和 n 值的二项概率分布 18
- 图 3-5 方程 $f(X) = (1/\sqrt{2\pi\sigma^2}) e^{- (X-\mu)^2/\sigma^2}$ 绘制的正态 (高斯) 分布曲线, 式中, μ 为方差 (σ^2) 的总体平均值 21
- 图 3-6 负二项频率分布中细菌细胞数/视野的期望值 (曲线) 和观察值 (柱形图) 29
- 图 3-7 $k = 3.0$, 不同均值 (μ), 基于扩展方程式 $(q - p)^{-k}$ 的负二项分布 30
- 图 3-8 当 $\mu = 10$ 且 $k = 1.9 \sim 1000$ 时, 基于扩展方程式 $(q - p)^{-k}$ 的负二项分布 31
- 图 3-9 $\lambda = 1 \sim 20$ 的泊松分布系列。每个计数的频率用总数的百分比表示 32
- 图 3-10 细菌细胞/视野的显微计数频率分布 (a) 和转换后的数值 (b), 转换 (b, i) 33
采用公式 $\lg(x + k/2)$ 进行转换, 转换 (b, ii) 采用公式 $\lg(x + 1)$ 进行转换, 其中 x 是细菌细胞/视野的实际数值
- 图 4-1 空间分布的三种类型: (a) 随机分布; (b) 规则分布 (上图是理想状态, 下图是正常状态); (c) 集群分布 36
- 图 4-2 集群分布的不同类型: (a) 小细胞簇; (b) 大细胞簇, 个体随机分布于每个细胞簇; (c) 大细胞簇, 个体均匀分布于每个细胞簇 37
- 图 4-3 泊松分布中 c 的 95% 置信限。 c 为小样本量 (n) 的一个计数或平均值 ($\bar{x} = m$), 其中 $nm < 30$ 38
- 图 4-4 5% 显著性水平的 χ^2 值。如果 χ^2 值位于显著性水平上分位点和下分位点之间, 在 95% 的概率水平 ($P > 0.05$) 服从泊松分布 41
- 图 4-5 四个样本模板 (A, B, C 和 D), 集群分布以及规则分布的细胞簇。样方面积 D 比 A 大 16 倍, C 比 A 大 9 倍, B 比 A 大 4 倍 50
- 图 4-6 统计量 T 和 U 的标准误差 ($n = 100$)。当 $n \neq 100$ 时, 标准误差 = 标准误差 51

$$(n=100) \times 10/\sqrt{n}$$

- 图 5-1 显示上限 (a) ($\alpha = 0.05$) 和下限 (b) ($\beta = 0.10$) 的正态分布曲线。用于设置接受质量限和拒绝质量限的预期百分位数。请注意, 95% 的累积分布位于 α 值的左侧, 90% 的累积分布位于 β 值的右侧 62
- 图 5-2 用于食品微生物标准的典型计数抽样计划的操作特性 (OC) 曲线。这里 n 是被测样本数量, c 是可接受的测试结果不满意的样本数量。注意, 随着 n 值增大, c 值减小, 图中曲线的坡度增加 71
- 图 5-3 $n=10, c_1=2, c_2=0$ 时 (数据来自表 5-8) 三级计数抽样方案的操作特性 (OC) 曲面图。这里 n 是被测样本量, c_1 是可接受的边缘缺陷品数量, c_2 是允许的缺陷品数量。OC 图的右侧为 $n=10, c_2=0, 0\%$ 边缘缺陷率时二级采样方案的值。OC 图的左侧为 $n=10, c_1=2, 0\%$ 缺陷率时二级采样方案的值。其他曲线是根据不同的缺陷率和边缘缺陷率绘制的。曲面显示了缺陷率和边缘缺陷率的不同组合下的接受 (或拒绝) 概率 72
- 图 5-4 计量抽样——标准图形中拒绝和可接受的标准。(a) 拒绝: K^+ 大于 K , 故拒绝概率 (对应于 K^+ 线的右侧) 增大 ($>50\%$)。 (b) 接受: K^- 小于 K , 故可接受概率 (对应于 K^- 线的左侧) 增大 ($>50\%$) 73
- 图 7-1 使用螺旋平板系统, 生牛奶中的细菌菌落在琼脂平板上的分布图。其中, (a) 和 (b) 分别为低数量、中等数量的菌落, 可手动或者使用自动计数系统进行计数; (c) 为中-高等数量菌落, 适合使用自动计数系统; (d) 为不可接受的高数量菌落。平板 (b) 和 (c) 计数的典型方法是将平板划分为几个区域, 然后对每个区域分别进行计数 95
- 图 7-2 肉毒梭菌 (\circ, \square) 和产气荚膜梭菌 (\bullet, \blacksquare) 菌落计数控制图: 分别采用“悬滴”计数法 (\circ, \bullet) 和试管计数法 (\square, \blacksquare), 20 个平行计数/测试。图中 3 条直线分别显示 P 值为 0.025、0.50 和 0.975 时 χ^2 分布限值, 用于评估分散度指数检验结果; χ^2 值在 $P=0.025$ 以上或者在 $P=0.975$ 以下者, 可认为是“失控”的 97
- 图 7-3 食品样本悬滴计数法的菌落计数控制图; 说明同图 7-2 98
- 图 7-4 食品样本螺旋平板法的菌落计数控制图 (自由度为 3); 说明同图 7-2 99
- 图 8-1 预期剂量-反应曲线图。不同接种量 (m) 下的生长概率 (即阳性反应) 113
- 图 8-2 2 个单稀释度水平下的多管检验结果的概率分布曲线, 其中 $n=10$ 个平行检验, $S=6$ (\blacksquare) 或 4 (\blacktriangle) 个无菌结果, 使用公式: $\{n! / [S! (n-S)!]\} e^{-VmS} (1 - e^{-Vm})^{n-S}$ 推导出各概率值。当出现 6 个无菌结果时, 样品中微生物浓度的最大似然值约 0.5 活细胞/mL; 出现 4 个无菌结果时, 样品中微生物浓度的最大似然值约 0.9 活细胞/mL 116
- 图 8-3 2 倍和 10 倍稀释的 MPN 值标准误差的变化曲线 121
- 图 8-4 前增菌培养 (----) 和选择性增菌培养 (——) 阶段活沙门氏菌数量变化, 以 131

及经特定时间培养后转种沙门氏菌数量不少于 1 个的概率的理论示意图

- 图 9-1 番茄制品中真菌甲壳素的 lg 方差与 lg 平均值图 (Jarvis, 1977)。回归方程: $y = 2.7867x - 3.04$; $r = 0.91$; 标准误差 $r = 0.354$ 139
- 图 9-2 阻抗法的“检测时间”曲线图。假定最终细胞密度为 10^8 个细胞/mL, N_0 是初始细胞数 140
- 图 9-3 由阻抗法分析的食物样本的 lg 方差与 lg 平均检测时间。回归方程: $y = 2.59x - 1.638$; $r = 0.72$; 标准误差 $r = 0.189$ 140
- 图 9-4 在 qPCR 试验中, 随着 DNA 水平的增加, 荧光反应增加。高浓度的 DNA 只需要较少的循环次数 (C_T) 就能达到可检出荧光强度的水平, 反之亦然。在检测到足够的 DNA 复制之前可能出现微弱的荧光, 因此, 通常预先设定荧光阈值来记录实验中有效的 C_T 值 (这里是指曲线拐点上方的水平线) 143
- 图 9-5 空肠弯曲菌 (■) 和大肠杆菌 (●) 纯培养后梯度稀释的细胞平均数 (lgCFU/mL) 与 C_T 值之间的关系。回归方程: 空肠弯曲菌: $y = 53.34 - 4.86x$, $R^2 = 0.98$; 大肠杆菌: $y = 43.57 - 4.25x$, $R^2 = 0.97$ 。未显示 95% CI 和趋势曲线 143
- 图 10-1 测试结果的正确度、准确度、精密度和不确定度之间的关系 (AMC, 2003)。以一组打靶射击图来说明。左下角的射击既不正确也不集中。如果只提高正确度但不提高精密度, 则只会不脱靶 (见左上角); 如果只提高精密度但不提高正确度, 则会得到一组较集中的结果, 但却离靶心有些距离 (即误差, 见右下角)。如果正确度和精密度均得到提高 (如提高准确度且降低不确定度), 则会得到一组围绕靶心的密集射击点 147
- 图 11-1 标准需氧菌菌落计数法的主要变异来源因果分析图 (鱼骨图) 154
- 图 11-2 一组实验室间研究数据的统计结果以及频次图、框图和正态性图。尽管有证据表明, 数据存在峰度和正偏斜, 但经过对数转换的数据依然服从“正态分布”。框图显示存在潜在的低水平离群值 (+) 和显著的高水平离群值 (o) 156
- 图 11-3 例 11-9 基质测定中的检出率 (POD) 响应曲线 [采用 Wirich 和 Wilrich (2009) 电子表格]。(a) 巴氏杀菌乳; (b) 肉丸; (c) 冷冻蔬菜。注意: 图中的图例是指 POD, 而非特定概率下的检出限 (如, LOD_{50}) 174
- 图 11-4 显示图 11-3 中的冷冻蔬菜 (□)、肉丸 (△) 和巴氏灭菌乳 (▲) 的 POD 曲线、“完美”曲线及其置信限范围 174
- 图 12-1 产品温度变化趋势的假想图。A—完美受控 (从未在实践中出现); B—在一定范围内正常波动; C—温度持续下降; D—温度持续上升 181
- 图 12-2 Shewhart 描述过程方法的示意图 182
- 图 12-3 受控或者符合规范吗? (a) 在控制限内受控; (b) 受控但一部分超过控制限; (c) 在控制限内但由于偏态非受控; (d) 双峰分布, 部分数据在控制限内 183

- 图 12-4 平均菌落计数值 (\bar{x}) 的统计控制图 (以 lgCFU/g 表示), 对前 24 批进口 188
冷冻熟对虾进行重复检测。重虚线 (-----) 表示 99% 控制限的上限值
(UCL) 和下限值 (LCL)。轻虚线 (·····) 表示在中心线附近的 ± 1 倍标
准偏差和 ± 2 倍标准偏差的上下控制限
- 图 12-5 菌落计数范围 (R) 的统计控制图 (以 lgCFU/g 表示), 根据 24 批进口冷冻熟对虾 189
样品重复检测结果
- 图 12-6 24 批进口冷冻熟对虾重复检测的标准偏差统计控制图 (s) (以 lgCFU/g 表示) 189
- 图 12-7 入境口岸抽样的 80 批进口冷冻熟对虾重复检测的平均菌落计数 (\bar{x}) 统计控制图 193
(lgCFU/g)。控制限从批次样本 3~ 24 的数据推导出, 忽略了批次样本 1、2
的数据
- 图 12-8 入境口岸抽样的 80 批进口冷冻熟对虾重复检测的菌落计数 (lgCFU/g) 范 194
围 (R) 的统计控制图。控制限从批次样本 3~ 24 的数据推导出, 忽略了批
次样本 1、2 的数据
- 图 12-9 未转化和 ln 转化的数据分布图、“箱线”图和正态性图, 数据来源于对乳品灌 198
装机芯轴的 ATP 测定 (相对光单位 RLU)
- 图 12-10 乳品灌装机芯轴卫生测试的 ATP 数据的单点图 198
- 图 12-11 乳品灌装机芯轴卫生测试的 CUSUM 图和 ATP 数据 (以 lnRLU 形式表示), 200
覆盖在 lnRLU 单点图上, 显示了可接受的上控制限
- 图 12-12 从乳品灌装机的芯轴上进行的卫生测试得到的 ATP 数据的累积和信号图 202
(以 lnRLU 表示)
- 图 12-13 移动窗方法。来自表 12-8 的肠杆菌科计数值 (lgCFU/g) 表示为: A. 204
日平均值 (•---•); B. 超过 5d 后的移动平均计数值 (■—■); 注意: 移
动平均值从第 9 天逐渐增加, 表明一种逐步恶化的趋势, 在第 17 天达到临
界限值
- 图 12-14 通过商业工厂按顺序加工的家禽中弯曲杆菌的检出率 np 属性控制图。最初 206
的 8 个鸡群被认为是未污染弯曲杆菌的群, 但其余的鸡群在检测之前是未
知的。注意: 总体的阳性检测平均数是每 30 个样品 10.3。用虚线表示平
均值 (Avg)、上控制限 (UCL) 和下控制限 (LCL)。对于子组 1~ 20,
Avg= 10.3; UCL= 18.1; LCL= 2.5; n= 30
- 图 12-15 在家禽加工厂的弯曲杆菌阳性检测数量的属性 np 控制图。平均值和 UCL 208
(虚线) 由“camp-ve”的前 8 群数据推导出, 平均阳性检测数量为 1, 上控
制限为 5。注意: 在所有未知的鸡群中, 污染的发生率高于上控制限
- 图 12-16 多个 np 控制图显示变质瓶装苹果酒的发生率 (——) 和已证实污染酵母但 209
未变质产品 (----) 的发生率。箭头表示热浪的开始
- 图 12-17 苹果酒的实际产品变质发生率 (——) 与冷藏参考样品低水平酵母污染的发 210
生率 (----) 比较

图 12-18	在产品腐败调查中使用的简化“因果关系”(鱼骨)图的例子	210
图 13-1	定性和定量微生物分析的一般步骤	213
图 13-2	配对和非配对研究设计的示例。(a) 具有共同测试部分的配对研究设计; (b) 具有共同测试部分的配对研究设计, 但每种方法的第二步增菌不同; (c) 非配对研究设计, 每种方法使用不同的测试部分	216
图 13-3	Nissui Compact Dry TC 方法确认的汇总生肉菌落数据图	224
图 13-4	Nissui Compact Dry ETC 方法确认的准确度概述图的 2 个例子:(a) 新鲜农产品; (b) 鱼制品。有关详细信息, 请参见例 13-4	229
图 13-5	对于所有类别的组合 Nissui Compact Dry ETC 对 NMKL-68 结果的散点图	230
图 13-6	所有食品类别的 Compact Dry ETC 和 NMKL-68 方法比较的偏差评估 Bland - Altman 图	231
图 14-1	熟肉制品菌落计数的频率分布图, 用“正态”分布曲线覆盖并显示 95% 分位点 (φ) 为 3.49lgCFU/g	240
图 14-2	用于推导给定食品标准的微生物学调查结果分布图。M 是绝对限值 (M), 其设定与给定致病菌的最低污染水平 (MSL) 或最低感染剂量 (MID) 相 关; m 是在 95% 分位点水平 (φ) 以上距离 (λ) 处设置的可接收目标 值。菌落计数在 x 轴上绘制为 lgCFU/g 或 lgCFU/mL	241
图 14-3	概率分布图, 假定微生物计数 (——) 的平均值为 1.6lgCFU/g, SD 为 0.60; 批次接受率 (----), 使用 $n=5$ 、 $m=3.0\lg\text{CFU/g}$ 的计量抽样 方案	243
图 14-4	测量不确定度对与标准限值 5.0lgCFU/cm ² 相关的平均值 (■) 的意义。 四种情况下, 平均计数值为 $A=4.0\lg\text{CFU/cm}^2$, $B=4.6\lg\text{CFU/cm}^2$, $C=5.4\lg\text{CFU/cm}^2$ 和 $D=6.0\lg\text{CFU/cm}^2$, 附带基于扩展测量不确定度值 $\pm 0.5\lg\text{CFU/cm}^2$ 的置信区间的上下限	246
图 14-5	平均可接受计数为 1CFU 的抽样方案 ($n=5$, $c=0$) 的操作特性曲线。这些 曲线说明了接受某一产品的概率的差异, 假设与细胞的随机分布相比, 不 同的频率分布描述了显著过度分散的微生物计数 (差异 1000CFU)。这些分 布曲线是泊松分布 (——)、泊松-对数正态分布 (.....)、对数正态分布 (-----)、负二项式分布 (——) 和 γ 分布 (----)	248