

International Guidance Manual for
the Management of Toxic Cyanobacteria

环球水源研究联盟
澳大利亚水质研究中心

有毒蓝藻管理 国际指导手册

[澳] G. 纽科姆 主编

裴海燕 译



科学出版社

环球水源研究联盟
澳大利亚水质研究中心

有毒蓝藻管理国际指导手册

〔澳〕G. 纽科姆 主编
裴海燕 译

科学出版社

北 京

图字：01-2018-6599 号

内 容 简 介

本指导手册详细介绍了蓝藻的生长繁殖、行为特点及蓝藻毒素的释放规律，阐述了水源地蓝藻的危害识别和风险评估方法，提供了符合世界卫生组织水安全管理的蓝藻监测方案和风险管理策略，总结了水源地和水处理工艺过程中蓝藻的管理和控制措施，并运用表格和流程图的形式详细讲解了饮用水风险管理预警预案的制定及实施框架，最后本手册还介绍了娱乐用水体与蓝藻相关的健康风险管理措施。

本指导手册可为我国环保、水利、市政工程等部门从事相关工作的人员提供有益的指导或借鉴，也可供从事有毒蓝藻相关研究的科研工作者及高校微生物、生态、环境等专业的师生参考。

Copyright © 2009 by Global Water Research Coalition. All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

有毒蓝藻管理国际指导手册/(澳)盖尔·纽科姆(Gayle Newcombe)主编；
裴海燕译. —北京：科学出版社，2018.10

书名原文：International Guidance Manual for the Management of Toxic
Cyanobacteria

SBN 978-7-03-058966-8

I. ①有… II. ①盖… ②裴… III. ①蓝藻纲-藻类水华-防治-手册
IV. ①X52-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 223005 号

责任编辑：李 迪 田明霞 / 责任校对：彭 涛

责任印制：张 伟 / 封面设计：北京图阅盛世文化传媒股份公司

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 10 月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2018 年 10 月第一次印刷 印张：7 1/4

字数：146 000

定价：98.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria



Global Water
Research Coalition



Edited by: Dr Gayle Newcombe
(SA Water Corporation)

Global Water Research Coalition

Alliance House

12 Caxton Street

London SW1H 0QS

United Kingdom

Phone: + 44 207 654 5545

www.globalwaterresearchcoalition.net

译 者 序

蓝藻水华防控属全球重大环境问题，也是我国水环境面临的巨大挑战。蓝藻水华不仅会危害水体自身的生态结构和功能，更为严重的是蓝藻产生大量的蓝藻毒素，具有较高的致癌性，威胁人们的饮水健康。国际上（尤其是澳大利亚等国家）针对蓝藻水华的发生及其防控已进行了广泛而深入的研究，为了便于水源地和饮用水生产管理者和运行者使用，澳大利亚率先将这些丰富的科研成果整理成了实用性强、易使用的手册，之后南非和欧洲也出现了有毒蓝藻指导手册。2009年，澳大利亚南澳水务集团的 Gayle Newcombe 博士主笔将这 3 本地方性指导手册整合成了一本在全球范围内具有广泛应用性的国际指导手册。

然而，时至今日，我国还鲜见关于有毒蓝藻管理的手册。译者长期从事有关蓝藻水华预警防控方面的教学和科研工作，与澳大利亚同行多有交流，深感这本手册对于规范蓝藻取样、蓝藻水华预警防控等具有很好的指导作用，基于此，译者决定翻译这本手册。本手册详细介绍了蓝藻和蓝藻毒素的种类及其危害，阐述了含蓝藻水源的危害识别和风险评估方法，总结了蓝藻和蓝藻毒素的处理方法及应急预案。本手册将会给我国环保、水利、市政工程等部门从事相关工作的人员提供借鉴，此外，本手册无论对高校微生物、生态、环境等专业的教师和学生，还是对从事有毒蓝藻相关研究的科研工作者来说，都是一本十分难得的专业读物。

感谢环球水源研究联盟为在全球范围内实现更好的蓝藻管理，同意译者将 *International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria* 翻译成中文。环球水源研究联盟感谢参与编写本手册的所有组织及其所做的出色贡献，尤其是澳大利亚南澳水务集团的 Gayle Newcombe 博士，她主导了整个项目并编辑了手册。为项目开展和手册编辑提供财政支持的单位包括：环球水源研究联盟的成员——澳大利亚水研究中心（原澳大利亚水质与水处理合作研究中心）、南非水研究委员会、美国水研究基金会，以及环球水源研究联盟的合作伙伴——美国国家环境保护局和美国疾病预防控制中心。

免责声明

此项研究工作由环球水源研究联盟的成员共同资助。环球水源研究联盟及其成员不对出版物中的研究内容和观点负责。出版物中所涉及的产品并不代表被环球水源研究联盟及其成员认可。本书仅供参考。

前 言

蓝藻，也称为蓝绿藻，是一类原始的生物体。根据化石所记载的信息推测，蓝藻已存在了约 35 亿年。蓝藻能够有效利用多种环境资源，包括海洋资源和淡水资源。

蓝藻在供水系统中会导致诸多问题，这已经在全球范围内引起水资源权威部门的广泛关注。其中最值得关注的是蓝藻的代谢产物及有气味的化合物，尤其是 2-甲基异冰片、土嗅素和一系列像藻毒素、微囊藻毒素这样的有毒化合物。首次关于蓝藻致人死亡的案例发生在 1878 年的澳大利亚，自此人们认为使用含藻毒素的饮用水会对饮用者的身体健康造成一系列危害。因此，在供水和水处理过程中的蓝藻控制管理成为水行业持续关注的研究热点，在这几十年间发表了数百篇关于这一主题的期刊论文、报告和实况报道。几年前，原澳大利亚水质与水处理合作研究中心（现澳大利亚水研究中心）实施了一项研究项目，将这些丰富的知识整合成一本实用性强、易使用的手册。澳大利亚的水质管理者和运行者可以使用这本手册来帮助他们管理水源中的蓝藻。之后的几年中，南非和欧洲也出现了类似的手册。

蓝藻和蓝藻毒素的管理工作，是环球水源研究联盟优先研究的问题。2007 年，环球水源研究联盟的专家在南非举行了一场研讨会，这 3 本地方性指导手册的撰写人都参加了会议，会议期望结合他们的知识和专业技能来出版一本国际指导手册。本手册结合了 3 本地方性手册中最重要的内容，使其在全球范围内具有广泛的应用性。

手册的指导范围

国际指导手册所包含的信息能够：了解蓝藻及其产生的毒素的危害；评估特定水源发生蓝藻水华的风险；提供符合世界卫生组织水安全管理的蓝藻监测方案及风险管理策略；优化水源地和水处理厂的管理程序，以减少饮用水中有毒化合物所带来的风险。

希望这本指导手册中的信息能够为大多数想要更深入了解这一重要主题的读者提供帮助。

感谢国务院南水北调工程建设委员会办公室政策及技术研究中心资助译者及其课题组对南水北调东线湖泊蓝藻水华防控开展研究，让译者及其课题组在蓝藻生态学及生物学方面有了深入的了解，对本书的翻译起到了积极的推动作用。

感谢课题组任颖博士、韦洁琳博士、金岩博士、徐杭州博士、李红敏硕士、孙炯明硕士、张莎莎硕士等在本书翻译过程中所做的贡献。

裴海燕

2018年7月6日于山东大学

环球水源研究联盟

环球水源研究联盟（Global Water Research Coalition, GWRC）是一个进行水研究交流合作的非营利性组织，能为其成员提供水研究的相关知识和信息，致力于水源供给、废水问题及水资源的再生——城市水循环等方面的研究。环球水源研究联盟于 2002 年 4 月正式成立并签署了合作协议，于 2003 年 7 月与美国国家环境保护局签署了合作协议。环球水源研究联盟隶属于国际水协会（International Water Association, IWA）。

环球水源研究联盟的成员包括：

- Anjou Recherche——威立雅水处理研究中心（法国）
- EAWAG——瑞士联邦水科学技术协会
- KWR——水循环研究协会（荷兰）
- PUB——新加坡国家饮用水局
- SUEZ Environmental-CIRSEE——国际水环境研究中心（法国）
- Stowa——水管理应用研究基金会（荷兰）
- TZW——德国水务协会饮用水技术研究中心
- UKWIR——英国水工业研究中心水环境研究基金会（美国）
- WQRA——澳大利亚水质研究中心
- WRC——水研究委员会（南非）
- 水研究基金会（美国）
- 水资源再利用基金会（美国）
- WSAA——澳大利亚水务协会

这些组织都拥有国家级的研究项目，并致力于解决水循环不同方面的问题。他们为环球水源研究联盟提供了推动力、公信力及资金支持。每个成员都为环球水源研究联盟带来了独一无二的知识和技能。通过它的成员组织，环球水源研究联盟代表了 5 亿消费者的利益和需求。

致 谢

环球水源研究联盟感谢澳大利亚水质研究中心能够担任此项目的领导工作，也对所有成员的重要贡献表示感谢。提供资金支持的环球水源研究联盟成员有：水质处理协会（澳大利亚）、水研究委员会（南非）、水研究基金会（美国），以及我们的合作组织——美国国家环境保护局和美国疾病预防控制中心，对以上组织表示由衷的感谢。

对此项目的统筹者及本书的作者 Dr Gayle Newcombe（澳大利亚南澳水务集团）表示真挚的谢意。她的坚持不懈和专业技能促使这项工作圆满完成。

此项目的统筹者及本书的作者要特别感谢本书的评审员，感谢他们在十分紧迫的时间内完成了对本书内容全面而细致的评审。同时还要感谢为本书内容做出贡献的以下人员和团体。

评 审 员

Werner Mobius——澳大利亚南澳水务集团

Thorsten Mosisch——澳大利亚南澳水务集团

Geoff Kilmore——澳大利亚南澳水务集团

Annelie Lourens——澳大利亚南澳水务集团

Dennis Steffensen——澳大利亚南澳水务集团

Peter Baker——澳大利亚南澳水务集团

Frans Schulting——环球水源研究联盟

Mike Holmes——澳大利亚国际水务联盟

Wido Schmidt——德国水务协会饮用水技术研究中心

Gesche Gruetzmacher——德国柏林水务中心

Nick Dugan——美国国家环境保护局

Alice Fulmer——美国水研究基金会

Sue Allcock——英国水环纯水务集团

工程指导委员会成员

Dennis Steffensen——澳大利亚南澳水务集团

Lorrie Backer——美国疾病预防控制中心
Fred Hauchman——美国国家环境保护局
Alice Fulmer——美国水研究基金会
Stephanie Rinck-Pfeiffer——澳大利亚国际水务联盟
Wido Schmidt——德国水务协会饮用水技术研究中心
Frans Schulting——环球水源研究联盟

编 著 者

Gayle Newcombe（作者）——澳大利亚水质研究中心
Bill Harding——南非 DH 环境咨询有限公司
Nick Dugan——美国国家环境保护局
Gesche Gruetzmacher——德国柏林水务中心
Tom Hall——英国水研究委员会
Hein du Preez——南非兰德水务集团
Annalie Swanepoel——南非兰德水务集团
Sue Allcock——英国水环纯水务集团
Carin van Ginkel——南非水资源与环境事务部
Annatjie Moolman——南非水研究委员会
Mike Burch——澳大利亚水质研究中心
Lionel Ho——澳大利亚水质研究中心
Jenny House——澳大利亚水质研究中心
Justin Brookes——澳大利亚阿德莱德大学
Peter Baker——澳大利亚水质研究中心
Brenton Nicholson——澳大利亚水质研究中心

团体组织

GWRC——环球水源研究联盟
WQRA, Australia——澳大利亚水质研究中心
SA Water, Australia——澳大利亚南澳水务集团
United Water International, Australia——澳大利亚国际水务联盟

University of Adelaide, Australia——澳大利亚阿德莱德大学
US Environmental Protection Agency, USA——美国国家环境保护局
Centre for Disease Control, USA——美国疾病预防控制中心
Water Research Foundation, USA——美国水研究基金会
DH Environmental Consulting, South Africa——南非 DH 环境咨询有限公司
WRC, South Africa——南非水研究委员会
Rand Water, South Africa——南非兰德水务集团
WRc, United Kingdom——英国水研究委员会
Severn Trent Water, United Kingdom——英国水环纯水务集团
UKWIR, United Kingdom——英国水工业研究中心
KompetenzZentrum Wasser Berlin gGmbH, Germany——德国柏林水务中心
Veolia Water, France——法国威立雅水处理研究中心
TZW, Germany——德国水务协会饮用水技术研究中心

指导手册中用到的文件

Du Preez H.H. and Van Baalen L. (2006) Generic Management Framework for toxic blue-green algal blooms, for application by potable water suppliers. WRC Report No: TT 263/06, Water Research Commission, Pretoria, South Africa.

Du Preez H.H., Swanepoel A., Van Baalen L and Oldewage A. (2007) Cyanobacterial Incident Management Frameworks (CIMFs) for application by drinking water supplier. *Water SA* 33(5).

<http://www.wrc.org.za/>

Newcombe G, House J, Ho L, Baker P and Burch M. (2009) Management Strategies for Cyanobacteria (Blue-Green Algae) and their Toxins: A Guide for Water Utilities. Research Report No 74, CRC for Water Quality and Treatment. http://www.wqra.com.au/WQRA_publications.htm

Chorus I and Bartram J, (eds.), (1999) Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E and FN Spon, London, UK.

Burch, M.D., Harvey, F.L., Baker, P.D. and Jones, G., (2003) National Protocol for the Monitoring of Cyanobacteria and their Toxins in Surface Fresh Waters. ARMCANZ National Algal Management. Draft V6.0 for consideration LWBC, June 2003.

Brookes, J., Burch, M., Hipsey, M., Linden, L., Antenucci, J., Steffensen, D., Hobson, P., Thorne, O., Lewis, D., Rinck-Pfeiffer, S., Kaeding, U., Ramussen, P. (2008). A Practical Guide to Reservoir Management. Research Report No 67, CRC for Water Quality and Treatment. http://www.waterquality.crc.org.au/publications/report67_Practical_Guide_Reservoir_Management.pdf

Brookes J, Burch MD, Lewis D, Regel RH, Linden L and Sherman B (2008) Artificial mixing for destratification and control of cyanobacterial growth in reservoirs. Research Report No 59, CRC for Water Quality and Treatment. http://www.waterquality.crc.org.au/publications/report59_artificial_mixing_destrat.pdf

Best Practice Guidance for Management of Cyanotoxins in Water Supplies. EU project "Barriers against cyanotoxins in drinking water" ("TOXIC" EVK1-CT-2002-00107)

目 录

第 1 章 简介	1
1.1 蓝藻	1
1.2 影响蓝藻出现的因素	2
1.2.1 蓝藻对水生环境的利用	3
1.2.2 蓝藻的生长周期	4
1.3 影响蓝藻生长的因素	5
1.3.1 营养物质	5
1.3.2 光照	6
1.3.3 温度	7
1.4 蓝藻毒素	7
1.5 含蓝藻毒素的饮用水水质标准	10
第 2 章 水源的危害识别和风险评估	11
2.1 背景	11
2.2 影响蓝藻水华发生的因素	13
2.3 蓝藻生长的风险评估	13
2.3.1 底栖蓝藻	13
2.3.2 浮游蓝藻	13
2.4 蓝藻毒素产生的可能性评估	15
2.5 剩余风险	17
第 3 章 监测方案的制定与实施	18
3.1 背景	18
3.2 目测	18
3.3 采样方案设计	21

3.3.1	采样途径	22
3.3.2	采样方法	22
3.3.3	采样频率	26
3.3.4	重复采样	27
3.4	样品的运输和储存	28
3.4.1	用于蓝藻鉴定和计数的样品	28
3.4.2	用于毒性分析的样品	29
3.5	蓝藻及其毒素分析	29
3.5.1	蓝藻	29
3.5.2	蓝藻毒素	33
3.6	蓝藻生长影响因素的测定	35
3.6.1	温度	35
3.6.2	磷	35
3.6.3	塞氏盘深度	35
3.6.4	pH 和溶解氧	36
3.6.5	浊度	36
3.6.6	颗粒物	36
第 4 章	水源管理与控制	37
4.1	背景	37
4.2	物理控制	38
4.2.1	混合搅动技术	38
4.2.2	河水流量的调控	40
4.2.3	其他物理方法	40
4.3	化学控制	42
4.3.1	营养盐的化学控制	42
4.3.2	蓝藻的化学控制	43
4.4	生物控制	47

4.4.1	增加捕食压力	47
4.4.2	引入大型植物加强竞争	48
4.4.3	其他生物策略	48
4.4.4	实施引发的问题	48
4.5	其他方法	49
4.5.1	大麦秸秆	49
4.5.2	超声	49
第 5 章	水处理工艺毒素去除	50
5.1	取水口控制	50
5.2	蓝藻细胞的去除	50
5.2.1	预氧化	51
5.2.2	微过滤	51
5.2.3	河堤、慢沙生物过滤	52
5.2.4	常规处理	53
5.2.5	膜过滤	56
5.3	蓝藻毒素的去除	57
5.3.1	物理处理工艺	58
5.3.2	化学处理工艺	66
5.3.3	生物处理工艺	70
第 6 章	风险管理预案	72
6.1	背景	72
6.2	预警级别体系发展概述	72
6.3	适于饮用水生产的预警级别体系的选择和应用	73
6.3.1	基于蓝藻细胞计数的预警级别框架	73
6.3.2	主要基于蓝藻鉴别和计数的预警级别框架	76
6.3.3	主要基于叶绿素 a 浓度的预警级别框架	76
6.3.4	信息交流	79

6.3.5 信息风险管理预案的制定	79
第 7 章 娱乐用水的建议	81
7.1 背景	81
7.2 蓝藻在娱乐用水中为何成为问题?	81
7.2.1 公共健康问题	82
7.2.2 娱乐活动和接触水平	82
7.3 风险管理和响应	83
7.3.1 监测	83
7.3.2 指导性分级与措施	84
参考文献	86