

同位素景观图谱

——通过同位素制图认知地球物质移动、
格局及其过程

〔美〕贾森·B·韦斯特

〔美〕加布里埃尔·J·鲍恩

〔美〕托德·M·道森

〔美〕凯文·P·杜

主编

林光辉 等译

ISOSCAPES: Understanding
Movement, Pattern, and Process on
Earth through Isotope Mapping



科学出版社

同位素景观图谱

——通过同位素制图认知地球物质移动、
格局及其过程

(美) 贾森·B. 韦斯特 (美) 加布里埃尔·J. 鲍恩 主编
(美) 托德·E. 道森 (美) 凯文·P. 杜

林光辉 等 译

科学出版社

北京

图字: 01-2014-1162 号

内 容 简 介

同位素景观图谱(isoscapes)是指运用地理信息系统(GIS)表征不同物质同位素比值大尺度时空变化格局的一种方法,现已成为稳定同位素生态学、同位素水文学等研究领域广泛应用的新方法。本书是依据一次国际学术研讨会的内容编写而成的全球第一部同位素景观图谱的专著,涉及从区域和全球尺度上的同位素数据收集、监测方法和数据整合分析,到区域和全球尺度上碳、氮、氢和氧同位素景观图谱的构建,再到如何利用同位素景观图谱开展动物在陆地-海洋环境间的迁移、污染物的追踪、食品产地溯源、考古与古生态重建,以及法医调查取证等不同领域的研究。

本书图文并茂、专业水平高、应用前景大,是一本具有很高使用价值的同位素景观图谱研究参考书,可供利用稳定同位素技术开展生态学、环境科学、食品科学以及法医学等领域研究的人员参考。

Translation form English language edition: *Isoscapes*

By Jason B. West, Gabriel J. Bowen, Todd E. Dawson and Kevin P. Tu

Copyright © Springer Science+Business Media B.V. 2010

All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

同位素景观图谱:通过同位素制图认知地球物质移动、格局及其过程/
(美)贾森·B.韦斯特(Jason B. West)等主编;林光辉等译. —北京:
科学出版社, 2018. 3

书名原文: *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on
Earth through Isotope Mapping*
ISBN 978-7-03-037219-2

I. ①同… II. ①贾… ②林… III. ①同位素地质学 IV. ①P597

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 032900 号

责任编辑:朱 丽 杨新改 / 责任校对:韩 杨
责任印制:肖 兴 / 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.sciencep.com>

天津市新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018 年 3 月第一次印刷 印张: 26 1/2

字数: 530 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《同位素景观图谱——通过同位素制图认知地球 物质移动、格局及其过程》译者名单

主 译 林光辉

副主译 郭婕敏 刘忠方 韦莉莉

翻译人员 (按姓氏汉语拼音排序, 括弧内为参与主要翻译的章节):

陈 卉 (第 9 章)

冯建祥 (第 13 章)

郭婕敏 (著者序言、第 5、14 章等章)

贺 林 (第 19 章)

洪华荣 (第 7 章)

洪秋芸 (著者序言、各章图表等)

黄 茜 (第 16 章)

黄敏参 (第 8 章)

贾 岱 (第 10 章)

李 蕊 (第 20 章)

刘忠方 (第 7 章)

卢伟志 (第 6 章)

彭容豪 (第 11 章)

王参谋 (第 4 章)

王黎明 (第 1 章)

吴 浩 (第 3 章)

阎光宇 (第 2 章)

晏 婷 (第 15 章)

杨 翼 (第 17 章)

俞 乐 (第 18 章)

臧震宇 (第 12 章)

郑陈娟 (第 5 章、各章图表)

译者序

同位素 (isotopes) 是指某一元素质子数相同但中子数不同的一种原子形式, 如碳元素有 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C 三种同位素, 而景观图谱 (landscape graphic structure model) 是指运用图形思维方式 [如地理信息系统 (GIS)] 研究景观格局与过程的一种方法, 如山地垂直带图谱、特殊景观形态结构图谱和景观地球化学图谱。两者的有机结合就创造出一个新的名词 isoscapes (即同位素景观图谱)。该词是由在美国犹他大学 Jim Ehleringer 教授做博士后的 Jason West 博士最先提出并通过扔硬币确定的, 之后由他和另一位几乎同时在犹他大学开展博士后研究的 Gabriel Bowen 博士 (合作导师为 Thure E. Cerling) 共同推进, 并发展起来成为稳定同位素生态学、同位素水文学等研究领域广泛应用的新方法。当时他们分别在生物系 James R. Ehleringer 教授 (2016 年成为美国科学院院士) 和地质学与地理学系的 Thure E. Cerling 教授 (2001 年成为美国科学院院士) 的实验室从事研发基于物质同位素组成信息的历史重建和物质起源的工作, 采集各类系统同位素空间变异的信息、开发和评估描述及预测模型, 并建立制图的新方法和开发处理未知量的推理方法。他们的开拓性工作产生了一系列可以用于理解地球不同生物在景观尺度上的移动、城市的水源变化, 以及各类产品特别是食品、毒品和假钞的地理来源等复杂问题的同位素组成差异空间分布图谱。他们称之为 isotope landscapes, 简称 isoscapes。正如这两位原创作者指出的那样: isoscapes 不仅仅只是一个新名词, 更代表着新的研究思路或手段, 通过对不同类型同位素景观图谱研究的拓展, 可促进对不同学科共性的认识, 从而推动稳定同位素生态学、同位素水文学等交叉学科的发展。

我是 2008 年第一次接触到“同位素景观图谱”的概念和应用前景的。那年在美国自然科学基金资助的协调研究网络 BASIN (Biogeosphere Atmosphere Stable Isotope Network) 支持下, 我应邀参加了 West, Bowen 和后来成为本书另外两位主编——美国加利福尼亚大学伯克利分校 Todd Dawson 教授和 Kevin Tu 博士共同在美国加利福尼亚州风景秀丽的海边城市圣巴巴拉 (Santa Barbara) 组织举行的一次专题会议。该会议集结了全球多个领域的研究者就有关同位素景观研究的科学问题、研究方法、数据结果、分析方法和结果分析进行了深度探讨。会后, 由 West、Bowen、Dawson 和 Tu 四位主编组织有关特邀报告人及其合作者撰写了

相关章节,于2010年年底由 Springer 出版了专著 *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth through Isotope Mapping*。本书包含了空间可表征同位素数据的收集和利用、同位素景观制图的理论和方法、同位素景观图谱的多学科应用等三大部分。涉及内容十分丰富,从区域和全球尺度上的同位素数据收集、监测新方法和数据整合分析到区域和全球尺度上碳、氮、氢和氧同位素景观图谱的构建再到如何利用同位素景观图谱开展动物在陆地-海洋环境间的迁移、污染物的标记追踪、考古与古生态重建,以及法医调查取证等不同领域的研究。该书图文并茂、内容新颖实用、专业水平高、技术性强,是一本非常有用的同位素景观研究现状和未来研究展望的参考书。2011年初,我拿到该新作时就极力推荐给我的同事、研究生和博士后阅读、参考。

由于书中引入和介绍与同位素景观图谱相关的众多新概念、新方法和新研究领域,加上各章节由不同国家、不同领域的专家编写,语言风格和写法斐然不同,给我们阅读原著带来很大的困难,相信其他读者也会遇到类似的挑战。鉴于此,从2011年春季开始,先后组织我在厦门大学和清华大学指导的部分正在学习或应用稳定同位素技术开展生态学研究的研究生、博士后及科研助理逐章翻译了原著,并多次组织关于翻译格式和标准研讨会、译稿修稿会和提交稿校对会,力争译文在忠实原文的含义基础上做到字句通顺、客观易懂,为读者奉献出一部高质量的译作。在翻译过程中,陈卉等众多研究生、彭容豪等博士后和俞乐等清华大学地球系统科学研究中心(现为地球系统科学系)的同事积极参与相关章节的翻译和相互修改;郭婕敏、刘忠方、韦莉莉等同事花费大量的时间逐句阅读和校正译文和原文;洪秋芸、郑陈娟等科研助理认真地修改检查了文字表达或重画图表等;在购买原著版权、译稿修改和封面设计等方面得到科学出版社朱丽编辑的大力协助和指导;本书的出版也获得科技部国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2013CB9556601)、国家海洋局海洋公益性行业科研专项项目(201305021)和深圳市科技创新委员会基础研究(学科布局)项目(JCYJ20150529164918736)的经费支持,在此一并致谢。

虽然原著已出版多年,但书中介绍的概念、研究范例和技术方法对今天仍有很重要的参考价值,因此本译著可作为在我国生态学、水文学、食品科学、环境科学、法医学等领域从事稳定同位素技术研发和应用研究的科研人员、技术员和行业管理官员的一部工具型参考书。

林光辉

2017年10月11日于清华大学

序 言

本书的前提和背景

自发现同位素以及具备可以精确测量同位素丰度细小差别的仪器以来,科研人员们一直致力于量化和理解自然系统同位素比值的时空分布差异。地球系统过程的大量信息很有可能记录在同位素数据中,这一观点推动着对同位素的研究。同位素为一系列系统过程研究提供了进一步的认识,包括大气降水、地表水以及地下水的起源和混合,人类移动,植被和大气间碳循环以及大气污染的追踪(Friedman 1953; Clayton et al. 1966; Zimmermann and Cegla 1973; Adar and Neuman 1988; Martinelli et al. 1991; Rozanski et al. 1991; Farquhar et al. 1993)。同位素分析工具的不断进步,特别是连续进样同位素比率质谱技术,以及如激光分析技术等其他新分析方法的产生(如 Metzger 1978; Preston and Owens 1983; Marshall and Whiteway 1985; Jensen 1991; Lis et al. 2008)极大地丰富了轻稳定同位素数据量,而放射性同位素(Wölfl 1987; Southon et al. 2004)和放射成因重稳定同位素(Capo et al. 1998; Barnett-Johnson et al. 2005)测量技术的改进也增加此类数据的数据量。另外,依附地球观测仪器所获取的大量空间可表征同位素数据集(Justice et al. 1998; Njoku et al. 2003)以及计算机和软件的发展,特别是地理信息系统(Goodchild 2003),为各个学科领域对探索同位素比值的空间差异和应用不断地提供了新的研究工具。

在此背景下,本书的两位主编 West 和 Bowen 在 Jim Ehleringer 和 Thure Cerling 的实验室从事研发基于物质同位素组成信息的历史重建和物质起源的工作。其工作涉及采集各类系统同位素空间变异的信息、开发和评估描述及预测模型、建立制图的新方法和开发处理未知量的推理方法,在此过程中,产生了可以整合这一系列工作的一种通用工具和一系列想法。无论是理解人类在景观尺度上的移动、城市的水源变化以及毒品或假钞的地理来源,这些研究的一个主要共性是需要创建目标物质的同位素组成差异空间分布的图谱。我们称之为“同位素景观图谱”(isotope landscapes),简称 isoscapes。这不仅仅只是一个新名词,更代表着通过对同位素景观图谱研究的拓展,促进对不同学科共性的认识,从而推动科

学的发展。也许之前并没有意识到利用同位素景观来研究植物和动物生态学、地质学、大气科学、人类学、法医学和微生物学间存在共性。但我们相信这些科学问题、模型研发和测试、模型产品和所得出的结论之间存在一定的共性。正是这些共性推动着不同领域和交叉领域间的互动和新认知的形成。

为了促进这种多学科多领域交叉互动，我们拟定了这样一次会议，旨在总结同位素景观在各个领域和交叉学科的研究进展。会议的对象主要是对同位素景观感兴趣的不同领域的研究者和学生，参与者的研究背景和学科多样性有利于不同学科领域间的交流和一系列新的想法和见解的产生，从而为同位素景观相关研究人员搭建一个平台。这个想法得到了由美国自然科学基金资助的协调研究网络BASIN (Biogeosphere Atmosphere Stable Isotope Network) 的大力支持，该网络为2008年举行的同位素景观会议提供了大量的资金和会议组织资助，另外，此次会议也得到了同位素景观研究的一主要分支——动物迁徙研究网络(MIGRATE)的资金资助。

2008年4月我们与本书的另外两位主编(Dawson 和 Tu)在美国加利福尼亚州风景秀丽的海边城市圣巴巴拉(Santa Barbara)举行了一次会议，集结了多个领域的研究者就有关同位素景观研究的科学问题、研究方法、数据结果、分析方法和结果分析进行了深度探讨(图1展示了参会者的领域组成)。此次会议设有多个议题，各个议题都有许多人员参与，其中81位参会者做了墙报展示，部分墙报展

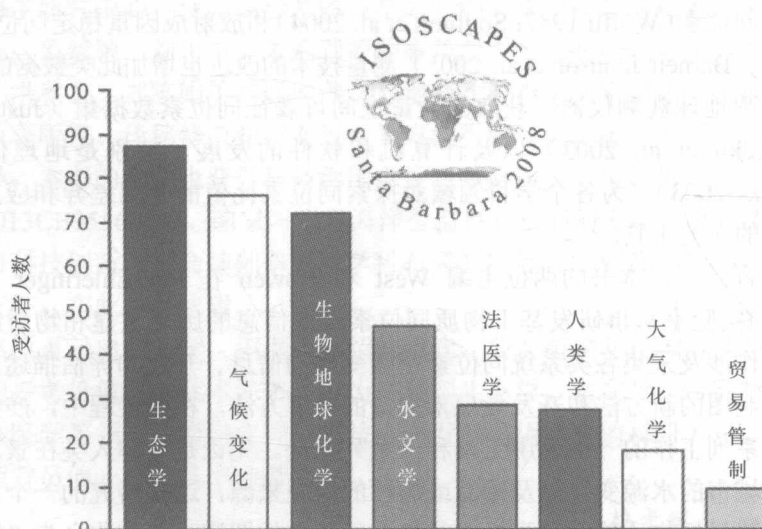


图1 2008年关于同位素景观图谱大会参会者的研究领域

(统计124位参会者主要研究1个或多个领域)

示结果在 *Journal of Geochemical Exploration* 专刊发表。本书主编 Bowen 整合了会议期间交流产生的想法,也已在 *Eos* 发表 (Bowen et al. 2009)。

本书的各章节由此次会议的各位特邀报告人及其合作者撰写,可作为同位素景观研究现状和未来研究展望的参考书。本书依据主题主要分为三篇:第一篇为空间可表征同位素数据的收集和利用;第二篇为同位素景观制图的理论和方法;第三篇为同位素景观图谱的多学科应用。第一篇包括 6 章,主要阐述地理信息明确的同位素数据的进展和前景。主要内容包括不同研究机构组织如研究组、国内和国际组织等在区域和全球尺度上的同位素数据收集以及后续的数据整合。集中讨论大气组分、降水和其他地表水的同位素研究,包括利用遥感仪器、激光光谱等同位素数据收集的新方法。第二篇介绍有关同位素景观模型的理论和方法,包括区域和全球尺度上的降水同位素景观,植物碳、氢和氧同位素景观,土壤和植物氮同位素景观以及利用这些空间可表征的同位素数据推断物质来源需要考虑的统计因素。第三篇阐述有关利用同位素景观的一系列其他研究和同位素景观的优势。内容包括利用同位素景观图谱对现代和古代动物在陆地和海洋环境间的活动、考古、现在法医重建、大尺度水文系统的进一步理解和利用植物作为污染的生物标记物的研究。这三篇内容涵盖了如何利用同位素景观图谱,通过必要的有效的数据整合、多学科间数据的量化分析和应用解决一系列科学问题。

同位素入门知识概述

对于那些不熟悉同位素术语及检测方法的读者,我们在此做了一个同位素入门知识的概述。读者可以参考 Robert Criss (1999) 和 Zachary Sharp (2007) 的专著了解更多的内容。

同位素是具有独特原子质量的元素(或核素),即某一元素质子数相同但中子数不同的一种原子形式。稳定同位素是指某元素中不发生放射性衰变的同位素,而放射性同位素是指那些衰变时具有不同半衰期及衰变产物的同位素。本书主要关注多种轻元素的稳定同位素,如碳元素的两种同位素 ^{13}C 和 ^{12}C 。本书涉及元素的同位素平均丰度如表 1 所示。

稳定同位素丰度是稀少同位素与常见同位素的比值与某一标准对应比值的相对差,一般用 delta (δ) 值表示:

$$\delta = \frac{R_{\text{样品}} - R_{\text{标准}}}{R_{\text{标准}}} \quad (1)$$

式中, R 是样品和标准物中重(稀少)同位素与轻(常见)同位素的摩尔比(如 ^{13}C 与 ^{12}C 的比值)。 δ 值非常小,通常以千分比(‰)为单位。

表 1 同位素景观图谱中常用稳定同位素的平均丰度和放射性同位素的半衰期（Criss 1999；Fowler 1990）。虚线将“轻”同位素和“重”同位素区分开。随着对其他“重”元素分馏效应及丰度研究的增加，这些“重”元素将来会更有用途

元素	同位素	平均丰度（原子比，%）	半衰期（年）
氢	¹ H	99.985	12.3
	² H	0.015	
	³ H	—	
碳	¹² C	98.90	5730
	¹³ C	1.10	
	¹⁴ C	—	
氮	¹⁵ N	99.63	
	¹⁴ N	0.37	
氧	¹⁶ O	99.76	
	¹⁷ O	0.04	
	¹⁸ O	0.20	
硫	³² S	95.02	
	³³ S	0.75	
	³⁴ S	4.21	
	³⁶ S	0.02	
铷	⁸⁵ Rb	72	4.88×10 ¹⁰
	⁸⁷ Rb	28	
锶	⁸⁴ Sr	0.6	
	⁸⁶ Sr	10	
	⁸⁷ Sr	7	
	⁸⁸ Sr	83	

译者注：这些材料可以从国际原子能组织（IAEA）或美国国家标准与技术研究院（NIST）购买，常作为实验室校准修正未知物测量数据的参考物质。

为了确保计算的 δ 值可追溯到国际统一标准，需采用公认的国际通用标准物，包括用于氢和氧同位素（SMOW 尺度）测定的维也纳标准平均海水（Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW）（等同于美国国家标准与技术研究院的 NIST RM #8535）和标准南极氢降水（Standard Light Antarctic Precipitation, SLAP）（等同于美国国家标准与技术研究院的 NIST RM #8537），用于碳同位素（PDB 尺度）测定的 NBS 19 石灰岩（等同于美国国家标准与技术研究院的 NIST RM #8544）和 L-SVEC -碳酸锂（NIST RM #8545），用于氮同位素（AIR-N₂ 尺度）测定的大气氮，以及硫同位素（VCDT 尺度）测定的 IAEA-S-1-硫化银（等同于美国国家标准与技术研究院的 NIST RM #8554）。

有时一个微小过程（如蒸发）的不太满意的结果及一系列过程的最终结果（如纤维素形成）都会造成物质的同位素组成变化，这个变化可用分馏系数表示，其定义为

$$\alpha_{A-B} = \frac{R_A}{R_B} \quad (2)$$

式中， R_A 和 R_B 是两种物质的同位素比值。分馏常常简单地表述一种物质（如液体）的 δ 值和相对物质（如气体）的 δ 值的简单相减：

$$\Delta_{A-B} = \delta_A - \delta_B \quad (3)$$

当物质 A 和物质 B 的同位素比率差异很小（如 $<10\%$ ）时，所谓的“大 δ ”是 α 的一个合理近似值：

$$\Delta_{A-B} \approx 10^3 \ln \alpha_{A-B} \quad (4)$$

同样的， ε 定义为

$$\varepsilon = (\alpha - 1)10^3 \quad (5)$$

当 A 和 B 之间的差异($\ln \alpha$)相对很小， ε 和 Δ 相似且同样约等于 10^3 。由于放射性同位素地球化学领域对 ε 的定义不同，Sharp (2007) 建议不要使用 ε 。

放射性碳稳定同位素物质参照草酸标准物 (OX_1) 用类似的方法表示，但去除了质量相关的分馏效应，并考虑了 1950 年以来草酸标准物的放射性衰变。由于大气核武器测试引入了额外的 ^{14}C 进入大气，可将放射性碳同位素用公式 (6) 表示：

$$\Delta^{14}\text{C} = \left[\frac{\left(\frac{^{14}\text{C}}{^{22}\text{C}} \right)_{\text{样品}(-25\%)}}{0.95 \times \left(\frac{^{14}\text{C}}{^{22}\text{C}} \right)_{\text{OX}_1(-19\%, 1950)}} - 1 \right] \times 1000 \quad (6)$$

本书中所讨论的大部分稳定同位素比率数据都是通过同位素比率质谱仪测定得到的，这些仪器能够高精度地测量大气中重同位素和氢同位素的比率。这些仪器经常和其他外围设备联用，且这些设备能够使气体发生物理变化，从而将气体与液体及固体物质分开，然后用氦气作为运载气体将气体输送到质谱仪进行测定（即所谓的连续流方法），具体可查阅 Dawson 和 Brooks (2001) 以及 Sharp (2007) 的论文。放射性同位素碳 (^{14}C) 通常使用加速质谱仪 (AMS) 测定，测定前需采用离线预处理方法确保测定的准确性。

读者可参考 de Groot (2004, 2008) 的文献了解更多稳定同位素方法学信息和参考 Tuniz (2001) 及其所附参考文献获取加速质谱分析方法的其他信息。

参 考 文 献

- Adar EM, Neuman SP(1988)Estimation of spatial recharge distribution using environmental isotopes and hydrochemical data. 2. Application to Aravaipa Valley in southern Arizona, USA. *J Hydrol* 97:279-302
- Barnett-Johnson R, Ramos FC, Grimes CB, MacFarlane RB(2005)Validation of Sr isotopes in otoliths by laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MCICPMS): opening avenues in fisheries science applications. *Can J Fish Aquat Sci* 62:2425-2430
- Bowen GJ, West JB, Vaughn BH, Dawson TE, Ehleringer JR, Fogel ML, Hobson K, Hoogewerff J, Kendall C, Lai C-T, Miller CC, Noone D, Schwarcz H, Still CJ(2009)Isoscapes to address large-scale Earth science challenges. *Eos, Trans, Am Geophys Union* 90:109-116
- Capo RC, Stewart BW, Chadwick OA(1998)Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma* 82:197-225
- Clayton RN, Friedman I, Graf DL, Mayeda TK, Meents WF, Shimp NF(1966)Origin of saline formation waters. 1. Isotopic composition. *J Geophys Res* 71:3869
- Criss RE(1999)Principles of stable isotope distribution. Oxford University Press, New York
- Dawson TE, Brooks PD(2001)Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. In: Unkovich M, McNeill L, Pate J, Gibbs J(eds)The application of stable isotope techniques to study biological processes and the functioning of ecosystems. Kluwer, Dordrecht
- de Groot P(2004)Handbook of stable isotope analytical techniques, volume I. Elsevier, Amsterdam
- de Groot P(2008)Handbook of stable isotope analytical techniques, volume II. Elsevier, Amsterdam
- Farquhar GD, Lloyd J, Taylor JA, Flanagan LB, Syvertsen JP, Hubick KT, Wong SC, Ehleringer JR(1993)Vegetation effects on the isotope composition of oxygen in atmospheric CO₂. *Nature* 363:439-443
- Fowler CMR(1990)The solid earth: an introduction to global geophysics. Cambridge University Press, Cambridge
- Friedman I(1953)Deuterium content of natural waters and other substances. *Geochim Cosmochim Acta* 4:89-103
- Goodchild ME(2003)Geographic information science and systems for environmental management. *Ann Rev Env Res* 28:493-519
- Jensen ES(1991)Evaluation of automated-analysis of N-15 and total N in plant-material and soil. *Plant Soil* 133:83-92
- Justice CO, Vermote E, Townshend JRG, Defries R, Roy DP, Hall DK, Salomonson VV, Privette JL, Riggs G, Strahler A, Lucht W, Myneni RB, Knyazikhin Y, Running SW, Nemani RR, Wan ZM, Huete AR, van Leeuwen W, Wolfe RE, Giglio L, Muller JP, Lewis P, Barnsley MJ(1998)The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 36:1228-1249
- Lis G, Wassenaar LI, Hendry MJ(2008)High-precision laser spectroscopy D/H and O-18/O-16 measurements of microliter natural water samples. *Anal Chem* 80:287-293
- Marshall R, Whiteway J(1985)Automation of an interface between a nitrogen analyser and an isotope ratio mass spectrometer. *Analyst* 110:867-871
- Martinelli LA, Devol AH, Victoria RL, Richey JE(1991)Stable carbon isotope variation in C₃ and C₄

- plants along the Amazon River. *Nature* 353:57-59
- Metzger J(1978)Schnelle Simultanbestimmung von Stickstoff-15 und Gesamtstickstoff durch direkte Kopplung von Massenspektrometer und automatischer Elementaranalyse. *Fresenius Z Anal Chem* 292:44-45
- Njoku EG, Jackson TJ, Lakshmi V, Chan TK, Nghiem SV(2003)Soil moisture retrieval from AMSR-E. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 41:215-229
- Preston T, Owens N(1983)Interfacing an automatic elemental analyser with an isotope ratio mass spectrometer: the potential for fully automated total nitrogen and nitrogen-15 analysis. *Analyst* 108:971-977
- Rozanski K, Gonfiantini R, Araguasaraguas L(1991)Tritium in the global atmosphere – distribution patterns and recent trends. *J Phys G: Nucl Part Phys* 17:S523-S536
- Sharp Z(2007)Principles of stable isotope geochemistry. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ
- Southon J, Santos G, Druffel-Rodriguez K, Druffel E, Trumbore S, Xu XM, Griffin S, Ali S, Mazon M(2004)The Keck Carbon Cycle AMS laboratory, University of California, Irvine: initial operation and a background surprise. *Radiocarbon* 46:41-49
- Tuniz C(2001)Accelerator mass spectrometry: ultra-sensitive analysis for global science. *Rad Phys Chem* 61:317-322
- Werner RA, Brand WA(2001)Referencing strategies and techniques in stable isotope analysis. *Rapid Commun Mass Spectrom* 15:501-519
- Wölfl W(1987)Advances in accelerator mass spectrometry. *Nucl Instr Methods Phys Res B: Beam Interact Mater Atoms* 29:1-13
- Zimmermann U, Cegla U(1973)Isotope content(D, O-18)of human blood-changes induced by change of location. *Naturwissenschaften* 60:243-246

致 谢

感谢本著作所有作者的辛勤工作和无私奉献，也感谢为本著作的修改提出宝贵建议的编辑们。特别感谢 Tamara Welschot 和 Judith Terpos 为本著作顺利出版所付出的辛苦工作，以及给予的鼓励和耐心的帮助。同时也感谢副主编 Kathy Kincade 在本著作撰写最后阶段在内容文字修改上给予的帮助。非常感谢 Bowen 与 West 主持的国家科学基金会项目（编号：0743543）提供的部分经费支持。

在此特别感谢 2008 年同位素图谱会议的所有参与者，感谢你们在会议上对本著作内容的热烈讨论，以及为该著作的创作出谋划策。这些宝贵建议无疑给作者们在创作本著作时带来了巨大帮助。Mike Goodchild 和 Phaedon Kyriakidis 在本次会议上给予的指导建议，使得本次会议内容更加丰富多彩，感谢他们所给予的无私奉献。非常感谢 Chris Still 和 Maria Murphy 提供的指导以及圣巴巴拉当地给予的帮助。感谢 Kevin Simonin, Sara Bagusjas 和 Park Williams 对会议组织、安排方面的帮助，以及 Mar Monte 酒店为会议提供的场所。我们也非常感谢国家生态观测站网络（NEON）的 Rebecca Hufft Kao, Michael Keller 和 Hank Loescher 参加此次会议，以及就同位素空间变异认识与 NEON 项目的关联方面开展的讨论。本次会议也得到国家科学基金会的两个科研网络协调项目的资金支持，分别是 BASIN（由 Todd Dawson 主持，项目编号：0743543）和 MIGRATE（由 Jeff Kelly 主持，项目编号：0541740）。本著作中所叙述的所有成果、结论以及建议仅代表作者们的观点，与国家科学基金会无关。

主要作者与联系信息

主编

Jason B. West

Department of Ecosystem Science and Management
Texas AgriLife Research
Texas A&M University System
Uvalde, TX, USA
jbwest@tamu.edu

Gabriel J. Bowen

Department of Earth and Atmospheric Sciences
Purdue Climate Change Research Center
Purdue University
West Lafayette, IN, USA
jbowen@purdue.edu

Todd E. Dawson

Department of Integrative Biology
Center for Stable Isotope Biogeochemistry
University of California
Berkeley, CA, USA
tdawson@berkeley.edu

Kevin P. Tu

Department of Integrative Biology
University of California
Berkeley, CA, USA
kevinptu@gmail.com

各章作者

Pradeep K Aggarwal

Isotope Hydrology Section, International Atomic Energy Agency,
Vienna, Austria
P.Aggarwal@iaea.org

David Aurióles

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico
Nacional, La Paz Baja California Sur, 23060 Mexico

daurioles@hotmail.com

Rachel Barnett-Johnson

Institute of Marine Sciences, University of California Santa Cruz,
100 Schaffer Road, Santa Cruz, CA 95060, USA
Barnett-Johnson@biology.ucsc.edu

Gabriel J. Bowen

Department of Earth and Atmospheric Sciences, Purdue Climate
Change Research Center, Purdue University, West Lafayette,
IN 47907, USA
gabe@purdue.edu

Thure E. Cerling

Department of Biology, University of Utah, 257 S 1400 E, Salt Lake City,
UT 84112, USA
thure.cerling@utah.edu

Lesley A. Chesson

IsoForensics Inc., 423 Wakara Way, Suite 205, Salt Lake City,
UT 84108, USA
lesley@isoforensics.com

Todd E. Dawson

Center for Stable Isotope Biogeochemistry, Department of Integrative Biology,
University of California, Berkeley, CA 94720, USA
tdawson@berkeley.edu

Paul Dostie

Mammoth Lakes Police Department, 568 Old Mammoth Road,
Mammoth Lakes, CA 93546, USA
pdostie@mammothlakespd.org

James R. Ehleringer

Department of Biology, University of Utah, Salt Lake City, UT, USA
ehleringer@biology.utah.edu and
IsoForensics Inc., Salt Lake City, UT, USA
jim@isoforensics.com

Candice U. Evans

UCB 450 INSTAAR, University of Colorado, Boulder,
CO 80309, USA
Candice.evans@colorado.edu

Balázs M. Fekete

Global Water Center of the CUNY Environmental Crossroads Initiative,
The City College of New York at the City University of New York,
160 Convent Avenue, New York, NY 10031, USA
bfekete@ccny.cuny.edu

John J. Gibson

Alberta Research Council, University of Victoria, Vancouver Island
Technology Park, 3 - 4476 Markham St., Victoria, BC, Canada V8Z 7X8
jjgibson@uvic.ca

Brittany S. Graham

Department of Oceanography, University of Hawai'i, Honolulu, HI 96822, USA
Stable Isotopes in Nature Laboratory (SINLAB), Canadian Rivers Institute,
University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada E3B 5A3
grahamb@unb.ca

Nancy E. Grulke

Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, Riverside, CA
ngrulke@fs.fed.us

Brent R. Helliker

Department of Biology, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA
helliker@sas.upenn.edu

MaryKay Herzenach

Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Colorado,
Boulder, CO
marykay.herzenach@colorado.edu

Keith A. Hobson

Environment Canada, 11 Innovation Blvd., Saskatoon, SK, S7N 3H5, Canada
Keith.Hobson@ec.gc.ca

James W.C. White

CB 450 INSTAAR, University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA
James.white@colorado.edu

Jocelyn Turnbull

National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Lab,
325 Broadway, Boulder, CO, 80305-3337, USA
Jocelyn.Turnbull@noaa.gov