

| 生 | 命 | 科 | 学 | 前 | 沿 |

生物营养强化 农产品开发和应用

〔美〕 G.S.巴纽埃洛斯 林治庆 编著
尹雪斌 李 飞 译
刘 颖 周守标

Development and Uses of
Biofortified Agricultural Products



科学出版社

www.sciencep.com

生物营养强化农产品 开发和应用

Development and Uses of Biofortified Agricultural Products

〔美〕 G. S. 巴纽埃洛斯 林治庆 编著

尹雪斌 李 飞 刘 颖 周守标 译

科 学 出 版 社

北 京

图字: 01-2010-3687 号

内 容 简 介

我国农业历经了从高产到无公害,再到绿色有机的发展阶段。但是,安全仅是对食品要求的一个方面,在中国科学院农业领域战略研究组编撰的《中国至2050年农业科技发展路线图》中,食品的营养化和功能化已被提上日程,代表了我国未来农业发展的新方向。

本书从生物营养强化的概念出发,寻求目前世界上普遍存在的营养失衡的解决之道。本书的撰稿人均是活跃在农产品生物营养强化领域有经验的科学家。他们从缺乏现象最为普遍的硒、铁、锌、碘出发,着力于通过品种选育、肥料施用、农艺管理以及现代基因工程等技术手段来改善或解决这个问题,对改善我国民众的微量营养水平和提高我国有关研究、实践均有着非常重要的启发意义。

本书适合生命科学、农学等相关方向的研究人员参考使用。

Development and Uses of Biofortified Agricultural Products. Copyright © 2009 by CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. All Rights Reserved. Authorized translation from English language edition published by Garland Science, part of Taylor & Francis Group LLC.

图书在版编目(CIP)数据

生物营养强化农产品开发和应用 / (美) 巴纽埃洛斯(Bañuelos, G. S.). 林治庆编著; 尹雪斌等译. —北京: 科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-029334-3

I. ①生… II. ①巴…②林…③尹… III. ①营养(生物)-研究 IV. ①Q493

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 208549 号

责任编辑: 李 晓 孙 青 / 责任校对: 朱光兰

责任印制: 钱玉芬 / 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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年11月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010年11月第一次印刷 印张: 17 3/4

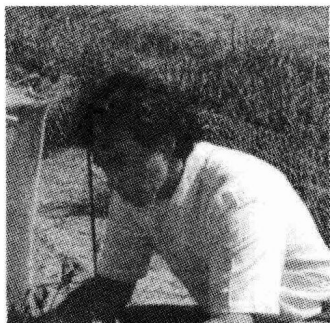
印数: 1-2 000 字数: 330 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

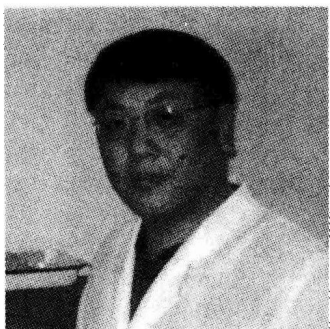
原书主编简介

巴纽埃洛斯(Gary S. Bañuelos)是美国农业部位于加利福尼亚州 Parlier 的农



业研究站水资源管理室的一位植物土壤学家,同时也是加州州立大学弗雷斯诺分校的兼职教授。Bañuelos 博士起先在德国跟随 Marschner 教授研究受 1986 年切尔诺贝利核泄漏事件污染的放射性蔬菜,从而开始了他的“绿色技术”生涯。Bañuelos 被植物吸收污染物却仍然存活的能力所吸引,其研究主要集中在加利福尼亚充满硒和硼的高盐度土壤与水源的植物修复上。他的植物修复方法并不局限于作物的选择,还考虑榨油作物

的轮作、灌溉和排水系统的管理,土壤中的自然化学转化过程,新生的生物营养强化和生物基产品的生产(如生物燃料、富硒饲料、有机肥料和除草剂),而且他还致力于创造一个管理美国和世界其他地区的微量元素的可持续绿色战略。以 Bañuelos 博士为第一作者的关于植物修复的技术论文多达 105 篇。他在加州州立大学获得了文科德语学士和理科作物科学学士双学位,在加州理工大学取得了理科国际农学硕士学位。他的植物生物学学位由德国图宾根大学授予,农业/植物营养学博士学位则是在他作为德国霍恩海姆大学国家科学基金学者时获得的。



林治庆(Zhi-Qing Lin)博士是南伊利诺伊爱德华兹维尔大学环境科学专业的专业主任,同时也是生命科学系的副教授。林博士从 1986 年师从中国科学院的黄会一教授,开始他在植物技术方面的研究,并于 1996 年在加州大学伯克利分校跟随 Norman Terry 教授进一步深造。他主要研究环境中微量元素的生物地球化学,特别集中在生物积累、转化和挥发过程。他以作者或者合著者身份发表的期刊文章、文献综述、会议论文和书稿章节已超过 40 篇。林博士 1983 年在辽宁大学环境生物专业获得了理学学士学位,1986 年在中国科学院获得污染生态理学硕士学位(导师黄会一教授),1996 年在美国麦基尔大学获得环境学博士学位(导师 Peter Schuepp 教授)。

原书撰稿人

Mark G. M. Aarts

Laboratory of Genetics

Wageningen University

Wageningen, The Netherlands

mark.aarts@wur.nl

Manila, Philippines

Andrew C. Chang

University of California-Riverside

Riverside, California

Majid Afyuni

Isfahan University of Technology (IUT)

Isfahan, Iran

Chi Chang

Agriculture and Agri-Food Canada

Lethbridge Research Centre

Lethbridge, Alberta, Canada

Arden B. Andersen

Crossroads Healing Arts

Goshen, Indiana

drandersen@optihealthguide.com

Chien-Yi Chen

School of Medical Imaging and

Radiological Sciences

Chung Shan Medical University

Taiwan, Republic of China

ccy@csmu.edu.tw

Gary S. Bañuelos

USDA-ARS Water Management

Research Unit

Parlier, California

gary.banuelos@ars.usda.gov

Juan Du

State Key Laboratory of Plant Cell and

Chromosome Engineering

Institute of Genetics and Developmental

Biology

Chinese Academy of Sciences

Beijing, China

Mônica Batista Benke

Agriculture and Agri-Food Canada

Lethbridge Research Centre

Lethbridge, Alberta, Canada

Stefan Storcksdieck genannt Bonsmann

European Food Information Council

Brussels, Belgium

Gloria S. Cabuslay

International Rice Research Institute

Mingsheng Fan

Key Laboratory of Plant-Soil

Interactions, MOE

Key Laboratory of Plant Nutrition, MOA

Department of Plant Nutrition, China

Agricultural University
Beijing, China

Emmanuel Frossard
Institute of Plant Sciences
ETH Zurich
Zurich, Switzerland

Xiaopeng Gao
Department of Soil Science
University of Manitoba
Winnipeg, Manitoba
gaox@cc.umanitoba.ca

Yusuf Genc
Molecular Plant Breeding Cooperative
Research Centre
Glen Osmond
South Australia, Australia

Robin Graham
School of Agriculture, Food and Wine
University of Adelaide
Glen Osmond
South Australia, Australia

Glenn B. Gregorio
Plant Breeding, Genetics and
Biotechnology Division
International Rice Research Institute
Manila, Philippines
g.gregorio@cgiar.org

Xiying Hao
Agriculture and Agri-Food Canada
Lethbridge, Alberta, Canada
haoxy@agr.gc.ca

Ellis Hoffand
Department of Soil Quality
Wageningen University
Wageningen, The Netherlands

Tin Htut
Department of Agricultural Planning
Ministry of Agriculture and Irrigation
Nay Pyi Taw, Myanmar

Guangming Huo
Department of Life Sciences
Nanjing Xiaozhuang College
Nanjing, China

Richard F. Hurrell
Institute of Food Science and Nutrition
Zurich, Switzerland
richard.hurrell@ilw.agrl.ethz.ch

Wen Jiang
China Agricultural University
College of Resources and
Environmental Science
Beijing, China
and
Chinese Academy of Agricultural Sciences
Institute of Crop Science
Beijing, China

Amir Khoshgoftarmansh
Isfahan University of Technology (IUT)
Isfahan, Iran

Pulugurtha Bharadwaja Kirti
Department of Plant Sciences
University of Hyderabad

Hyderabad, India

Thomas W. Kuyper

Department of Soil Quality
Wageningen University
Wageningen, The Netherlands

Jianfen Liang

China Agricultural University
College of Food Science and Nutritional
Engineering
Beijing, China

Zhi-Qing Lin

Environmental Sciences Program and
Department of Biological Sciences
Southern Illinois
University-Edwardsville
Edwardsville, Illinois
zhlin@siue.edu

Hong-Qing Ling

State Key Laboratory of Plant Cell and
Chromosome Engineering
Institute of Genetics and Developmental
Biology
Chinese Academy of Sciences
Beijing, China
hqling@genetics.ac.cn

Graham Lyons

School of Agriculture, Food and Wine
University of Adelaide
Glen Osmond
South Australia, Australia
graham.lyons@adelaide.edu.au

Antonio Eduardo Furtini Neto

Universidade Federal de Lavras
Lavras, Brazil

Nadella Nirupa

Department of Plant Sciences
University of Hyderabad
Hyderabad, India

Bernd Nowack

Swiss Federal Institute of Material
Sciences (Empa)
St. Gallen, Switzerland

Majeti Narasimha Vara Prasad

Department of Plant Sciences
University of Hyderabad
Hyderabad, India
prasad_mnv@yahoo.com

Rainer Schulin

Institute of Terrestrial Ecosystems
ETH Zurich
Zurich, Switzerland
schulin@env.ethz.ch

Francisco Nildo da Silva

Universidade Federal Rural do
Semi-Árido
Costa e Silva
Mossoró, Brazil
fnildos@yahoo.com

Maja Slingerland

Crop and Weed Ecology Group
Wageningen University
Wageningen, The Netherlands

maja.slingerland@wur.nl

Tjeerd-Jan Stomph

Crop and Weed Ecology Group
Wageningen University
Wageningen, the Netherlands

Ning Wang

State Key Laboratory of Plant Cell and
Chromosome Engineering
Institute of Genetics and Developmental
Biology
Chinese Academy of Sciences
Beijing, China

Yutao Wang

Greenhouse and Processing Crops
Research Center
Agriculture and Agri-Food Canada
Harrow, Ontario, Canada
and
Institute of Agricultural Resources and
Regional Planning
Chinese Academy of Agricultural
Sciences
Beijing, China

Jian Wu

Institute of Vegetables and Flowers
Chinese Academy of Agricultural Sciences
Beijing, China

Fusuo Zhang

Key Laboratory of Plant-Soil Interac-
tions, MOE
Key Laboratory of Plant Nutrition,

MOA

Department of Plant Nutrition, China
Agricultural University
Beijing, China
zhangfs@cau.edu.cn

Liyang Zhang

Department of Life Sciences
Nanjing Xiaozhuang College
Nanjing, China

Tiequan Zhang

Greenhouse and Processing Crops
Research Center
Agriculture and Agri-Food Canada
Harrow, Ontario, Canada
zhangt@agr.gc.ca

Chunqin Zou

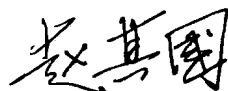
Key Laboratory of Plant-Soil Interac-
tions, MOE
Key Laboratory of Plant Nutrition,
MOA
Department of Plant Nutrition, China
Agricultural University
Beijing, China

Yuanmei Zuo

Key Laboratory of Plant-Soil
Interactions, MOE
Key Laboratory of Plant Nutrition,
MOA
Department of Plant Nutrition
China Agricultural University
Beijing, China

序

《生物营养强化农产品开发和应用》一书在 CRC 出版社出版一年后由科学出版社及时引入中国,它对于促进中国在此领域的科学研究和技术进步都是大有裨益的。这种促进主要表现在以下几个方面:首先,中国科学院农业领域战略研究组编撰的《中国至 2050 年农业科技发展路线图》将中国农业未来的发展概括为“三化”,即农产品的优质化、营养化和功能化,而该书提出的生物营养强化技术是一种新兴的、有前景的理论方法,通过这种方法可以实现农产品定量富含某些营养素或功能性物质,达到营养化和功能化的目的;其次,该书还提供了大量应用实践案例,涵盖了多个技术路径,有肥料方向、育种方向,还包括多种农产品品种、多种营养素,主要为微量矿质营养素,如硒、锌、铁等,它是对过去十几年来国际上该领域研究的较系统概述,在中国的生产实践上有参考价值;最后,该书是国际科学团队智慧的集成,研究报道来自欧洲各国、美国、澳大利亚和中国科学家小组,大量确凿的应用案例是促进中国政府宣传、发展膳食微量营养补充的重要学术基础。



2010 年 9 月 10 日

原 书 序

营养失衡现已成为导致死亡的最主要原因,值得警惕的是,每年由于营养不良与营养摄入不均衡导致的慢性疾病(如心脏病、癌症、中风和糖尿病等)而引起的死亡人数在 3000 万左右。更加令人震惊的是,一种或多种必需微量元素及维生素的不足困扰着高达 30 亿的人口(将近全世界人口的一半),并在人体健康、生育、幸福感和国家发展等方面导致了严重的后果。最近,为了应对这一全球性的健康危机,一些国家和地区实施了在饮食中进行微量元素添加和营养强化等干预手段。然而遗憾的是,这类项目往往无法惠及很多正在遭受这种困扰的国家和地区,尤其以资源稀缺的发展中国家的农村家庭和无法连续实施此类项目的国家为甚。同时,这些方法可以治疗营养失衡引起的症状,但是对于最根本的原因却无能为力。食物中的营养失衡源于我们的农业系统不能连续地提供足量的必需营养和健康促进因子。因为农产品是日常营养的主要来源,所以,农业政策和农耕系统中的问题是营养失衡的根本原因之一。但是,农业部门从来没有把维护人类健康作为一个清楚的目标,而营养和卫生部门也从来没有把农业作为一个对抗营养失衡相关疾病的有力工具。

在许多发展中国家,土壤中微量元素分布不均以及作物的吸收低下所引起的健康问题已经成为主要的公众健康问题。特别是,增加当前尚缺乏的必需微量元素(如铁、硒、锌、碘等)的生物有效性和提高植物与土壤营养具有非常大的重要性,它们在提高食品质量、改善人体健康等方面均有着重要意义。为达到这个目标,农产品的生物营养强化技术与战略必须得到发展应用,这包括研究农艺和土壤管理措施、育种、基因和分子等对微量元素的吸收、积累和生物有效性的影响。

生物营养强化是指在植物生长过程中进行营养和健康促进因子的强化过程,是农业和营养部门对付营养失衡问题的首选技术手段。最初,生物营养强化集中在培育可以生产具有高生物有效性锌、铁、维生素 A、类胡萝卜素的主食作物。但是,现在生物营养强化的概念已经扩展至利用包括土壤改良、农艺措施、种植战略在内的种种方法来提高农业系统的营养输出,并且农产品中的生物营养强化营养因子的范围也被大大拓宽了。面向人类需求,通过农业措施来增加粮食中的必需微量元素的含量是可以通过现有的技术来实现的。例如,谷物选择、农业技术、品种选育,同时还包括一些现代基因工程技术。与微量元素缺乏和饮食相关的慢性疾病影响了大量人口的生活和健康,也限制了全球很多国家的发展潜力,如果我们要一劳永逸地解决这些问题,就必须重视农业和人类健康之间的联系。随着世界

人口的增长和食物需求量的上升,开展农业系统设计研究已迫在眉睫,这不仅有利于提供足够的食物来满足温饱需求,而且可以通过提供健康的食品来减少营养缺乏和由饮食不当、食品质量低下引起的慢性疾病。为了达到这一目标,科学家们必须更好地认识以下机制。例如,农业实践、消化道微生物、营养的生物有效性之间的相互作用;根际环境的发生过程和谷物对必需微量元素的利用率;土壤改良、有机质、农艺措施(如作物系统、耕作、灌溉等)对微量元素和维生素在可食部分中积累的影响等。控制微量元素在可食部分迁移、转化的基因机制也需要更深入的研究和探索。

目前,世界上关于生物营养强化的信息已经浩如烟海,对这些信息进行深刻分析并加以综合成为出版本书的动力。本书是活跃在农产品生物营养强化领域有经验的科学家共同贡献的科学论文集锦。其中,一些国际专家在2007年7月16~17日于北京举行的“第九届国际生物地球化学与微量元素会议”中出席了名为“生物营养强化农产品的发展与应用”的专题研讨会。本书展现了一座农产品营养强化研究的金字塔。书中所收录的这些新颖研究凸显了生物营养强化农产品的重要性,同时,本书也使人类能更深入地了解那些通过生物化学、食物链转移与人的健康产生联系的微量元素营养的重要性。事实上,如果农业系统不能保持它所支撑的社会的可持续性,那么它自身就是不可持续的。

Ross M. Welch 博士

USDA-ARS 植物、土壤和营养实验室

康奈尔大学

原书致谢

本书是国际合作的产物,最初德国霍恩海姆大学的 Horst Marschner 教授向我表达了这个意向。在美国农业部农业科学研究院的支持和我辛勤的技术助理的高效、最重要的是共同编者林治庆博士夜以继日地努力下,我们和所有的撰稿人得以完成这本关于生物营养强化的专著。经费资助是这一创举得以实现的重要保障,我们的经费资助由美国加州州立大学弗雷斯诺分校(农业研究计划)、南伊利诺伊爱德华兹维尔大学(研究生院和艺术与科学学院)、巴黎经济与发展合作研究组织基金慷慨提供;技术支持则由中国科学院的朱永官教授提供。在此向他们表示最诚挚的谢意。最后,我们两个编者都非常感谢各自的家庭,在编撰本书的耗时过程中,他们一贯的耐心与支持保证了本书的顺利出版。

我们还非常感谢我们的审稿人作出的巨大贡献和努力,他们是 Michele Arienzo, Larry L. Barton, Martin R. Broadley, Rupali Datta, Danika LeDuc, Emmanuel Frossard, Suduan Gao, Yantai Gan, Cynthia Grant, Yibing Ma, Satoshi Mori, Barry Olsen, Thangavel Palaniswamy, Tommy Pflaum, Ruijun Qin, David W. Ramming, Kurt Schluz 和 Abderrahmane Tagmount。

目 录

序

原书序

原书致谢

第 1 章 植物中微量元素对人体营养的影响：生物营养强化的案例	1
1.1 引言	1
1.2 铁、锌、碘、硒与人类健康与营养强化策略	2
1.3 铁、锌、碘、硒的生物营养强化	6
1.4 结论	10
第 2 章 食物链生物营养强化及硒与植物提取物对前列腺癌风险的降低 和控制	16
2.1 引言	16
2.2 实例分析 1：小麦的硒生物营养强化	17
2.3 实例分析 2：木薯锌、硒、碘的农业生物营养强化	24
2.4 克服微量营养不良的食物系统策略	26
2.5 营养风险的降低和前列腺癌的控制	29
2.6 结论	34
第 3 章 硒在植物中的吸收和积累与其化学形态和生物转化过程	43
3.1 引言	43
3.2 土壤中硒化合物的化学行为	44
3.3 植物中硒的吸收及积累	45
3.4 硒的形态及其生物转化	46
3.5 硒的生物转化过程与其形态	49
3.6 结论	50
第 4 章 植物修复硒污染土壤和水源生产生物营养强化产品和新的农业 副产品	55
4.1 引言	55
4.2 试验地材料和研究方法	56
4.3 生产新的生物强化产品的研究结果	57
4.4 结论	64

第 5 章 通过土壤与作物管理提高粮食中的铁和锌营养	67
5.1 引言	67
5.2 农产品中的铁和锌	68
5.3 微量元素的生物营养强化策略	71
5.4 通过土壤和作物管理改善作物铁和锌营养价值	72
5.5 结论	81
第 6 章 土壤管理对锌在植物中的吸收及其生物有效性的影响	89
6.1 引言: 锌作为一种基本的微量矿物元素的作用	89
6.2 锌肥	91
6.3 氮肥和磷肥	95
6.4 根际作用和植物间交互作用	96
6.5 土壤水分状况	98
6.6 食物锌的生物可利用性的抑制和促进因素	98
6.7 锌和镉交互作用	100
6.8 结论	101
第 7 章 耕作方式与作物质量: 饲料和膳食质量的落实	107
7.1 引言	107
7.2 无机施肥	108
7.3 轮作	113
7.4 间作	115
7.5 耕作	116
7.6 灌溉	117
7.7 结论	117
第 8 章 长期施用厩肥对水、土及作物的影响: 对动物和人体的健康效应	126
8.1 引言	126
8.2 畜牧业生产及厩肥施用对水、土资源的影响	127
8.3 厩肥的施用对植物及水体的影响——对动物饲料质量的影响	130
8.4 厩肥施用对植物及水体的影响——对人体的健康效应	135
8.5 结论	137
第 9 章 低锌土壤中旱稻对锌元素的吸收机制、权衡及其育种应用	143
9.1 引言	143
9.2 研究背景	144
9.3 不同旱稻品种之间的 Zn 利用效率	144
9.4 旱稻对 Zn 的吸收机制	147
9.5 结论	154

第 10 章 富微量元素营养元素水稻的育种	160
10.1 引言	160
10.2 稻米中微量元素营养元素的遗传变异	161
10.3 微量元素营养元素密度特征的遗传配合力分析	162
10.4 富铁稻谷的基因成分	165
10.5 提高水稻微量元素营养元素含量的育种策略	166
10.6 结论	167
第 11 章 食物链上的生物营养强化:中国水稻	168
11.1 简介	168
11.2 材料和方法	170
11.3 结果	172
11.4 讨论	181
11.5 结论	185
第 12 章 豌豆铁蛋白基因在印度芥末中的表达:转化株的营养价值和氧化损伤耐受性	190
12.1 引言	190
12.2 消除营养不足并改善健康状况的策略	190
12.3 铁蛋白的作用	194
12.4 铁蛋白的基因改变——氧化应激	199
12.5 结论	201
第 13 章 策略 I 型植物铁元素吸收分子调控机制的研究进展	206
13.1 引言	206
13.2 策略 I 型植物中摄取铁元素的相关基因	207
13.3 与铁元素吸收正向调节相关的转录因子	209
13.4 CHLN:番茄中铁缺乏的反向调节物	211
13.5 策略 I 型植物铁摄取的调控模式	212
13.6 结论	212
第 14 章 生物营养强化基因的确定:拟南芥和其他植物中矿物积累基因和分子的分析	216
14.1 改善植物和植物产品的微量元素营养状况	216
14.2 植物中铁和锌稳态的分子调控	218
14.3 铁或锌矿物质稳态突变体的分离	222
14.4 利用酵母功能互补来确定铁或锌转运蛋白	224
14.5 金属超积累物种的比较基因组学	224
14.6 对自然变异的 QTL 分析	226

14.7	通过遗传修饰来进行铁或锌的生物营养强化·····	228
14.8	结论·····	230
第15章	大豆在不同磷肥处理下于巴西典型石英砂质新成土壤中对微量元素 元素的吸收·····	237
15.1	引言·····	237
15.2	材料和方法·····	238
15.3	结果与讨论·····	240
15.4	结论·····	244
第16章	中草药中微量元素的测定以及在保健医疗上的重要作用·····	247
16.1	引言·····	247
16.2	试验方法·····	248
16.3	用于利尿治疗的中草药中微量元素的组成·····	249
16.4	个案研究:人参和灵芝·····	253
16.5	结论·····	256
第17章	从田园到餐桌的展望:营养强化作为人类健康和幸福感的源泉·····	259
17.1	引言·····	259
17.2	生物和营养的联系·····	260
17.3	总结·····	261

第1章 植物中微量元素对人体营养的影响： 生物营养强化的案例

Stefan Storcksdieck, Genannt Bonsmann and Richard F. Hurrell

目录

1.1 引言	1
1.2 铁、锌、碘、硒与人类健康与营养强化策略.....	2
1.2.1 铁	2
1.2.2 锌	3
1.2.3 碘	4
1.2.4 硒	5
1.3 铁、锌、碘、硒的生物营养强化.....	6
1.3.1 铁	7
1.3.2 锌	7
1.3.3 碘	8
1.3.4 硒	9
1.4 结论.....	10
参考文献	10

1.1 引言

铁、锌、碘、硒等微量元素是人类必需的微量营养元素，它们在人体中承担着多种重要的功能。多样化的膳食是保证它们的摄入量的最佳方法。但是合理均衡的膳食并不是所有人群在所有时间都可以享有的。由于微量营养的高需求量与低质量膳食现实之间的差距，发展中国家的生育期妇女和儿童特别容易受到微量营养缺乏的伤害(FAO/WHO 2001)。许多国家已经开始实施各种营养强化和营养补充项目以缓解这样的营养缺乏。例如，巴基斯坦小麦面粉中的铁营养强化，尼日尔维生素 A 的补充，摩洛哥加碘盐的应用等；但是这些项目可能并没有深入到最需要帮助的乡村贫困地区，如最近报道的危地马拉(Imhoff-Kunsch et al. 2007)。那些主要靠耕种来维持生存的人群往往支付不起或者没有途径接触这些经过营养强化的食品。生物营养强化为提高人群的营养水平提供了一种新的方法，既可以通