

藜麦生产与应用

〔印度〕阿图尔·博汗格瓦 希尔皮·斯利瓦斯塔瓦 著

任贵兴 叶全宝 等译



Quinoa

Botany, Production and Uses



科学出版社

中央级公益性科研院所基本科研业务费（2014JB02-003）

山西亿隆藜麦开发有限公司研究基金
吉林博大东方藜麦发展有限公司研究基金
资助

藜麦生产与应用

Quinoa: Botany, Production and Uses

〔印度〕阿图尔·博汗格瓦，希尔皮·斯利瓦斯塔瓦 著

任贵兴 叶全宝 等译

科学出版社

北 京

图字 01-2014-5559

内 容 简 介

本书旨在为藜麦的生产和应用做一个全面的介绍。本书分 4 个部分, 共 14 章。第一部分介绍了藜麦的历史、驯化和分布。第二部分基于形态学、细胞学和基因组学论述了藜麦的分类学地位。第三部分主要讲藜麦的植物学特性和农业生产技术, 包括植物学特性、生产与田间管理、抗逆性、病虫害、育种及分子生物学。第四部分阐述了藜麦的营养价值, 并详细介绍了它的营养成分。

本书适合科研机构、高等院校和行业协会的学者和研究人员, 作物栽培专家, 科技政策研究人员, 农业、食品行业企业的决策管理人员, 以及对未充分利用作物关注者阅读。

A. Bhargava and S. Srivastava

The Quinoa: Botany, Production and Uses

This Translation of The Quinoa: Botany, Production and Uses is published by arrangement with CABI.

图书在版编目 (CIP) 数据

藜麦生产与应用 / (印) 博汗格瓦 (Bhargava, A.), (印) 斯利瓦斯塔瓦 (Srivastava, S.) 著. 任贵兴等译. —北京: 科学出版社, 2014.11

书名原文: Quinoa: botany, production and uses

ISBN 978-7-03-042333-7

I. 藜… II. ①博… ②斯… ③任… III. ①麦类作物-栽培技术 IV. ①S512.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 252379 号

责任编辑: 刘 畅 / 责任校对: 邹慧卿
责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 迷底书装

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

北京源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 11 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2014 年 11 月第一次印刷 印张: 16 1/2

字数: 332 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

翻译人员

译者 （按姓氏笔画排序）

于晓娜 么 杨 石振兴 叶全宝

任贵兴 刘三才 刘 浩 李 怡

杨修仕 吴 丽 金 轲 高文杰

桑 伟

校稿 （按姓氏笔画排序）

么 杨 朱志华 李进才 李 怡 杨久斌

杨修仕

前言

20 世纪 60 年代，以墨西哥西北部地区小麦改良品种在试验田产量急剧增加为标志，兴起了“绿色革命”。由美国科学家 Norman Borlaug 领导的绿色革命，使世界上很多地区扭转了农业生产亏损状况，并开始发展集约化农业。集约化农业投入了大量农业机械、劳动力和高产品种，并增加了化肥和农药的使用，使很多粮食进口国，在绿色革命之后成为了粮食出口国。绿色革命改变了农业生产方式，对于需增加粮食产量的国家来说功不可没。

但是，从其他领域来看，绿色革命不仅是失败的，并且产生了很大负面影响，化肥农药的大量使用使土壤不堪重负，农业生态系统变得脆弱，栽培的作物品种单一不利于生物多样性和世界粮食安全的发展。因此，人们不得不寻找新的农业生产方式来替代这场绿色革命的集约化生产方式，且迫切需要增加栽培作物的多样性以保证粮食和农业安全，需要从密集输入型农业向环境友好型和可持续发展型农业转变，需要关注如何利用农业边际土地增加粮食产量。而未被充分利用作物则是解决这些难题的关键。

未被充分利用作物是指曾经被大规模用作粮食，但目前的栽培和利用程度显著低于其应当被利用程度的作物。未被充分利用作物对世界各地食品发展具有重要意义，它们能很好地适应贫瘠土地，提供大宗粮食作物所缺乏的宝贵营养，被广泛地运用于传统医学膳食。未被充分利用作物是当地经济的重要来源，同时也是世界文化遗产的重要组成部分。这些作物还是生物胁迫和非生物胁迫育种抗性基因的重要来源，可用于普通作物的遗传改良。最近，一种未被充分利用作物——藜麦受到了广泛关注，藜麦对多种环境胁迫具有良好适应性，并能解决普遍存在的粮食营养不良问题。

藜麦（*Chenopodium quinoa*）是南美洲安第斯山脉地区的重要作物，在南美洲、北美洲、欧洲和亚洲等多地环境条件下都可以生长繁殖。藜麦籽实富含蛋白质及人体必需氨基酸、维生素、碳水化合物、矿物质和天然抗氧化剂，是人类的

重要食物资源，并有巨大工业应用潜力。藜麦抗逆性强，在恶劣的生态条件下也能生产高蛋白质含量种子，对世界各地农业系统多样性发展具有重要意义，因此也备受全世界关注。

目前，整个南美洲西部地区推行藜麦商业化种植，主要面向玻利维亚、智利、厄瓜多尔和秘鲁的国内市场，以及出口日本、澳大利亚、欧洲和北美洲。南美洲的藜麦生产国已经不能满足不断增加的藜麦市场需求，在欧洲、亚洲和非洲的引种试验证明这些地区也非常适合藜麦栽培。随着藜麦市场的不断壮大，以及来自欧洲、亚洲政府和行业国际组织的支持，藜麦消费需求不断增加，未被充分利用的藜麦势必会成为 21 世纪的重要工业原料和粮食作物，联合国粮食及农业组织（FAO）将藜麦评为 21 世纪具有保护粮食安全使命的作物之一。

本书首次对藜麦的特性、生产与应用作了全面阐述，旨在为世界各地关心藜麦的研究人员提供参考。本书分为 4 部分，14 章。第一部分介绍了藜麦的历史、驯化和分布。第二部分基于形态学、细胞学和基因组学理论论述了藜麦的分类地位。第三部分阐述了藜麦的植物学特性和栽培管理技术，包括植物学特性、抗逆性、生产与田间管理、病虫害、育种及分子生物学研究。第四部分叙述了藜麦的营养价值和经济特性。

本书章节详细，格式简洁，易于阅读。本书的考证工作全面而翔实，从藜麦的目前状况追溯到它的起源，既有对藜麦经典著作的科学总结，又有对最新研究进展的论述。本书有助于激发有关学者与专家、生产者与研究人员对藜麦的广泛兴趣，使他们更加注重开发这一未得到充分利用的作物。

致谢

首先，作者对世界各地的藜麦研究人员表示衷心感谢，是他们宝贵的工作让我们能够完成关于藜麦这个优良作物的著作。

非常感谢 Francisco Fuentes 博士对本书编写做出的贡献，他在多方面全力支持我们，并与 Enrique Martinez 博士和 Didier Bazile 博士一起为本书提供了很多精致图片。同时，对 Ángel Mujica 博士、Andrés Zurita-Silva 博士、Pablo Olgufn M 表示衷心感谢。感谢上述研究人员同意我们分享他们宝贵的研究成果。

我们荣幸而自豪地表达对爱德大学北方邦勒克瑙校区研究院副院长（之前是勒克瑙国家植物研究所遗传与育种部副主任）Deepak Ohri 教授的衷心谢意和崇敬，感谢他建设性的指导意见，以及在我们研究藜麦过程中提供的不懈支持。正是 Deepak 教授传授藜麦知识给我（Atul Bhargava），并激发我对藜麦的兴趣。

我们很荣幸地表达对勒克瑙国家植物研究所遗传与育种部资深科学家 Sudhir Shukla 博士的深切谢意，是他的悉心指导，精神上的鼓励和支持成就了这一作品。Shukla 博士对研究的热爱和积极态度感染和激励我们战胜各种困难完成了这一著作。

就个人而言，要感谢我们的兄弟（Akhilesh Bhargava）、弟妹（Meenakshi Bhargava）和侄女（Anushka Sharma）在这本书创作时展现的非凡耐心和毅力。在我们超负荷的工作中，家庭支持是我们幸福的源泉。

感谢爱德大学的同事和朋友 Ajay Kumar Singh 先生、Prachi Srivastava 博士和 Rachna Chaturvedi 博士，感谢他们在各方面的鼓励、支持和陪伴。感谢 Ajay Kumar Singh 先生与我们同甘共苦共同完成这部作品。感谢爱德大学勒克瑙校区语言学校的讲师 Kajal Srivastava 博士为我们仔细核查了英文稿件，并提出了修改意见。感谢 Santosh Kumar Pal 先生和 Rita Pal 女士对图表重绘和为提高其清晰度付出的辛勤工作。

感谢编辑（CABI, UK）Sreepat Jain 博士和助理编辑（CABI, UK）Alexandra

Lainsbury 在初稿准备时给予的支持和指导，他们的热情鼓舞促使我们将文字以最好的艺术形式呈现给读者。

Atul Bhargava

Shilpi Srivastava

译者序

藜麦 (*Chenopodium quinoa*) 原产于南美洲安第斯山地区, 在当地已有约 7000 年的栽培历史。藜麦种植范围广泛, 能够适应多种极端气候, 在恶劣气候条件下也能产生高蛋白质含量的籽实, 是未来农业生态系统适应环境变化的重要作物。近年来, 藜麦被成功引种到欧洲、亚洲、北美洲和非洲, 由于经济和文化等原因, 尚未被充分利用。因此, 需要建立一个联合农民和科学家的国际平台, 来充分开发利用藜麦, 使其成为 21 世纪的重要工业原料和粮食作物, 在未来农业发展中充分发挥作用。

我国人口基数大, 近年来随着人口的不断增长及购买力的逐步提升, 粮食需求与日俱增, 发展高营养低成本的食物及农作物是解决粮食供求问题的一个重要途径。目前我国人民以小麦和水稻作为主食, 饮食中缺乏蛋白质及矿物质成分。藜麦属于假谷物, 富含营养和功能成分, 蛋白质含量高于传统谷物, 必需和非必需氨基酸组成合理, 维生素、矿物质、异黄酮及脂类化合物含量较高, 能缓解由于蛋白质-能量不足和微量元素缺乏所造成的营养不良。

藜麦, 这个未被充分利用的作物, 能有效保持农业生态系统多样性、促进环境和谐、减少世界多地区的营养不良, 引起了国际组织、各国政府、相关行业和研究人员的高度重视。但我国对藜麦的生产与应用还十分陌生, 目前依然没有针对藜麦的相关研究与系统总结。“*Quinoa: Botany, Production and Uses*” 一书首次对全世界藜麦的研究、生产与应用做了系统全面阐述, 该书的编译出版, 可以为藜麦营养健康价值的系统研究及科学利用提供重要指导, 激发各界人士对藜麦的兴趣与关注, 推动藜麦在我国的发展。

在本书即将出版之际, 感谢朱志华研究员、刘三才研究员, 博士研究生么杨、杨修仕、吴丽, 硕士研究生李怡、于晓娜、刘浩、桑伟等为本书翻译付出的辛勤劳动, 感谢高文杰董事长为本书索引翻译所做的工作。感谢国际种质资源研究所 (IPGRI) 东亚办事处主任周明德研究员、原中国农业科学院

作物品种资源研究所国外引种研究室主任佟大香研究员为本书翻译做的指导。感谢朱志华研究员、李进才教授、么杨博士、杨修仕博士和李怡女士为本书校对所做的大量工作。同时。感谢科学出版社吴美丽编辑、刘畅编辑不辞辛劳为本书出版所做的贡献。



2014 年春于北京

目录

前言

致谢

译者序

第一部分 简介和历史	1
1 引言	3
2 驯化和栽培史	17
3 分布	34
第二部分 系统发育与分类	47
4 分类	49
5 细胞与基因	61
第三部分 植物学特性和农业生产技术	77
6 植物学特性	79
7 生产与田间管理	92
8 抗逆性	104
9 病虫害	126
10 育种	144
11 分子生物学	164
第四部分 组分、经济和市场营销	181
12 化学特性	183
13 皂苷	210
14 从生产到消费的透明度——藜麦产业链的新挑战	230
索引	236

第一部分

简介和历史

- 1 引言
- 2 驯化和栽培史
- 3 分布

1 引言

人类历史上曾经有 7000 多种植物应用于农作物生产 (FAO, 1998)。但是现在只有 150 个植物物种用于栽培, 其中有 12 种作物为人类提供了近 75% 的食品, 而超过世界 50% 的食物来源于其中 4 种作物 (Bermejo and León, 1994)。Prescott-Allen 和 Prescott-Allen (1990) 的研究表明, 人类 75% 的营养来自于 7 种植物, 95% 的营养来自于 30 种植物。这些广泛应用的作物被集中种植, 并依赖于农业机械化、劳动力、高产品种、化学肥料及杀虫剂等持续投入 (Bhargava *et al.*, 2008, 2012), 这些不断增加的投入对生态环境产生了无法承受的压力。另外, 现代农业生产强化了具有同源性和单一性的作物种植, 导致了农业生物多样性的减少和由病原菌感染引起的产量损失。当代农业生产急需从高投入型向环境可持续发展型逐渐转变, 传统农业生产方式和现代农业生产方式的有机结合或许是解决农业生产可持续性和农业生态稳定性的一个最佳选择 (Bhargava *et al.*, 2008)。这就需要通过在边缘化地区种植那些具有多样化用途和有很大潜力的作物来提高生产 (Partap *et al.*, 1998)。

对少数主要作物的重视制约了全球粮食安全所依赖的物种数量, 由不可预见的胁迫因素和病虫害导致的减产可引起灾难性后果 (Prescott-Allen and Prescott-Allen, 1990)。近 30 年来, 对未被充分利用作物进行了广泛研究与开发, 一系列旨在促进农业领域未被充分利用作物生产的重大项目已在发达国家和发展中国家实施, 这些物种被作为替代性作物或新产品。

1.1 未被充分利用作物

未被充分利用或称被忽视的作物通常是一些本土的古老物种, 在某种程度上它们目前仍然只是在一些地区和国家被应用, 但它们具有扩大粮食来源的潜力

(Mayes *et al.*, 2011)。许多未被充分利用作物曾一度被广泛种植, 后由于农艺、遗传、经济和文化等因素被废弃 (Hammer *et al.*, 2001)。例如, 在相同农业生产环境下, 这些作物与其他作物相比没有显现出优势, 因此生产者和消费者就会很少利用这些作物。用来形容未被充分利用作物的术语有: 基因单一、被遗弃、未被充分利用、被忽视、丢失、欠使用、本土、次要、传统、被遗忘、替换性、新生、有前景、欠开发等 (Padulosi and Hoeschle-Zeledon, 2004)。未被充分利用作物通常被视作“新作物”, 并不是因为它们的“新”, 而是因为它们还没有被农业科学研究人员和商业团体应用于开辟新市场。未被充分利用作物的主要特点如下:

- 在局部地区消费和生产体系中举足轻重;
- 高度适应小区域和边缘地区农业生态环境;
- 以生态型和地方品种为代表;
- 借助于乡土知识种植和利用;
- 无保障甚至没有种子供应系统;
- 很少被保存在异地种质库;
- 被政策制定者所忽略, 被排除在研究和开发之外。

此外, 被忽视、未被充分利用作物的许多重要和常见基本信息有限, 也阻碍了它们的可持续发展 (Hammer *et al.*, 2001)。

许多野生和未被充分利用的植物具有广泛应用潜力, 有助于粮食安全、农业生物多样性和生产效益的增长 (Vietmeyer, 1986; Anthony *et al.*, 1995)。被忽视和未被充分利用作物是当地经济收益的重要来源, 同时也是世界上社会传统文化遗产的一部分 (IAEA, 2004)。此外, 这些未被充分利用作物还是抗逆育种中抗性基因的重要来源, 被用于作物遗传改良。与主要作物相比, 未被充分利用作物的投入需求少, 有助于农业生产可持续性发展。在环境条件恶劣地区, 主要作物的栽培受到限制, 通过种植未被充分利用作物可以提高粮食产量, 增加餐桌主食营养, 相对提高贫困人口的食物购买力, 直接减少饥饿 (Mayes *et al.*, 2011)。

1.2 未被充分利用的藜属植物

由于一些藜属植物在不良自然条件下能良好生长 (Bhargava *et al.*, 2003, 2006a; Jacobsen *et al.*, 2003a), 并对土壤投入需求极小, 在众多未被充分利用作物中, 藜属植物 (苋科) 最具有发展前景。与繁殖、种子传播及发芽率等相关的综合性改良, 使藜属植物可生长于被破坏的栖息地 (Williams and Harper, 1965; Dostalek, 1987)。在农业生产注重农业边缘化地区的发展过程中, 藜属植物作为富含营养的粮食作物和经济作物发挥了重要作用。

藜属植物 (*Chenopodium* spp.) 通常被称为“昆诺阿藜”, 大约有 250 种 (Giusti,

1970), 其中包括草本、多年生半灌木和乔木, 大多是集群的一年生植物 (Wilson, 1990)。一些常见的物种如藜麦 (*C. quinoa*)、苍白茎藜 (*C. pallidicaule*)、伯兰德氏藜 (*C. berlandieri* ssp. *nuttalliae*)、土荆芥 (*C. ambrosioides*)、墙生藜 (*C. murale*)、苋色藜 (*C. amaranticolor*)。藜属植物作为叶菜和次要粮食作物在世界各地已种植了几个世纪 (Risi and Galwey, 1984), 虽然只有藜麦、苍白茎藜、伯兰德氏藜 3 个物种有种植报道 (Heiser and Nelson, 1974; Wilson, 1980; Bhargava *et al.*, 2006a, 2007), 但许多其他种的叶片和嫩茎实际常作为粮食和饲料使用 (Tanaka, 1976; Kunkel, 1984; Partap, 1990; Moerman, 1998; Partap *et al.*, 1998)。藜属植物叶片价廉, 富含蛋白质、类胡萝卜素和维生素 C (Koziol, 1992; Prakash *et al.*, 1993; Bhargava *et al.*, 2006a), 其蛋白质中氨基酸均衡, 赖氨酸 (5.1%~6.4%) 和甲硫氨酸 (0.4%~1.0%) 含量较高 (Prakash and Pal, 1998; Bhargava *et al.*, 2006a)。

1.3 藜麦

在美洲的所有作物中, 尽管藜麦籽实富含蛋白质, 并具有生产潜力, 但尚没有被充分利用。虽然藜麦叶片可以作为菜用, 但它主要是一种粮食作物, 其收获和消费方式与谷物类似 (Maughan *et al.*, 2007)。藜麦并非是一种真正的谷物, 确切地说是一种双子叶植物的假谷物, 而谷物都是单子叶植物 (Valencia-Chamorro, 2003)。近 20 年以来, 藜麦从一种被忽视、仅当地农民食用的粮食作物, 转变成玻利维亚和秘鲁这两个安第斯国家的主要出口粮食 (Jellen *et al.*, 2011)。藜麦在发达国家有机食品市场上所呈现出的卓越性, 使得科学家越来越多地关注其独特的营养价值及对非生物胁迫的潜在抗性机制。

藜麦原产于安第斯山脉地区, 在当地已有约 7000 年的种植历史 (Garcia, 2003)。藜麦在当地语言中有多种称谓, 奇布查人 (波哥大) 称它为 “suba” 或者 “supha”, Tiahuancoas 人 (玻利维亚) 称它为 “jupha”, 阿塔卡马沙漠的土著人则把它叫作 “dahue” (Pulgar-Vidal, 1954)。León (1964) 认为 “quinoa” 和 “quinua” 是玻利维亚、秘鲁、厄瓜多尔、阿根廷和智利对藜麦的称谓。从公元前 3000 年开始, 这一作物就是安第斯山脉地区的重要粮食作物 (Tapia, 1982), 同时也在印加帝国粮食作物中占有仅次于玉米的显著地位 (Cusack, 1984)。但是, 自 1532 年西班牙人征服了该地区以来, 土豆和大麦等作物占据了主要地位, 藜麦退居其后 (Bhargava *et al.*, 2006a)。之后, 随着安第斯山脉地区绿色革命的相继失败和干旱对作物危害的加剧, 藜麦等本土作物再次被广泛种植, 这是因为藜麦即使在恶劣环境条件下也不会大量减产 (Cusack, 1984)。在 19 世纪 70 年代中期, 藜麦特殊的营养特性被发现, 并受到越来越多消费者的喜爱 (Maughan *et al.*, 2007)。

安第斯国家设立了规模不大、但卓有成效的育种项目，一些新品种被研发和应用。许多安第斯国家建立了国家级藜麦种质库，收集多样化的地方品种，以防止这一物种的遗传资源流失，最大的种质库在玻利维亚和秘鲁 (Maughan *et al.*, 2007)。

藜麦在南美洲地区的种植范围极广 (尤其在安第斯山脉地区及其周围)，从哥伦比亚内的北纬 20° 到智利的南纬 40°，从海平面到海拔 3800m 的地区均可种植 (Risi and Galwey, 1989)。近年来，它被引进到欧洲、北美洲、亚洲和非洲。许多欧洲国家是 1993 年发起的“藜麦：欧共体农业多元化的多用途作物”这一项目的成员国 (Bhargava *et al.*, 2006a)。在美国和欧洲的试验得到了良好结果，显示了其作为粮食和饲料作物的潜力 (Mujica *et al.*, 2001; Casini, 2002; Jacobsen, 2003; Bhargava *et al.*, 2006a)。

1.3.1 藜麦营养的重要性

从古代印加帝国时期开始，人们便认识到藜麦优异的营养特性，不仅发展中国家，发达国家也意识到了其营养价值的重要性。藜麦比大部分谷类作物具有更高的营养价值，含有优质的蛋白质和大量碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质，外胚乳、胚和胚乳是其种子储藏养分的 3 个区域 (Prego *et al.*, 1998)。

藜麦籽实的平均蛋白质含量为 12%~23% (González *et al.*, 1989; Koziol, 1992; Ruales and Nair, 1994a, 1994b; Ando *et al.*, 2002; Karyotis *et al.*, 2003; Abugoch, 2009)，远高于大麦、水稻和玉米，与小麦相当 (USDA, 2005; Abugoch, 2009)。此外，必需氨基酸组成合理，含有多种氨基酸，赖氨酸 (5.1%~6.4%) 和甲硫氨酸 (0.4%~1.0%) 含量较高 (Prakash and Pal, 1998; Bhargava *et al.*, 2003, 2006a; Abugoch, 2009)。在联合国粮食及农业组织和世界卫生组织 (WHO) 等推荐的成人营养蛋白质来源中，藜麦蛋白质能提供大约 180% 的组氨酸，274% 的异亮氨酸，338% 的赖氨酸，212% 的甲硫氨酸和半胱氨酸，320% 的苯丙氨酸和酪氨酸，331% 的苏氨酸，228% 的色氨酸，以及 323% 的缬氨酸 (Vega-Gálvez *et al.*, 2010)。淀粉是藜麦籽实中最重要的碳水化合物，占其干重的 58.1%~64.2% (Repo-Carrasco *et al.*, 2003)，由直链淀粉和支链淀粉组成。其中支链淀粉含量为 3%~20%，直链淀粉比例非常低 (Abugoch, 2009)。藜麦淀粉高度分支，最小聚合度为 4600 个葡萄糖单位，最大为 161 000 个葡萄糖单位，平均为 70 000 个葡萄糖单位 (Praznik *et al.*, 1999)。藜麦淀粉颗粒为直径 2 μ m 的多边形状，小于普通谷物淀粉 (Vega-Gálvez *et al.*, 2010)。藜麦的总膳食纤维与谷物相近 (7%~9.7%)，可溶性纤维含量为 1.3%~6.1% (Ranhotra *et al.*, 1993; USDA, 2005)。

藜麦籽实的灰分含量 (3.4%) 高于水稻 (0.5%)、小麦 (1.8%) 及其他传统禾谷类作物 (Cardozo and Tapia, 1979)。藜麦籽实富含大量矿质营养，如钙、铁、