

荞麦

遗传改良及资源化利用

潘建刚 咸 丰 编著



中国农业科学技术出版社

荞麦

遗传改良及资源化利用

潘建刚 咸丰 编著

180101

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

荞麦遗传改良及资源化利用 / 潘建刚, 咸丰编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-5116-2004-0

I. ①荞… II. ①潘…②咸… III. ①荞麦-遗传改良-高等学校-教材②荞麦-粮食加工-高等学校-教材 IV. ①S517

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 039705 号

责任编辑 张国锋
责任校对 贾海霞

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010)82106636(编辑室) (010)82109702(发行部)
(010)82109709(读者服务部)
传 真 (010)82106631
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 850mm × 1 168mm 1/32
印 张 7.125
字 数 220 千字
版 次 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷
定 价 26.00 元

版权所有·翻印必究

前 言

荞麦是蓼科 (Polygonaceae) 荞麦属 (*Fagopyrum* Mill) 的一年生草本双子叶植物, 素有“粗粮之王”之称。它富含蛋白质、脂肪、矿物质和维生素, 且含量均高于禾谷类作物。此外, 它还含有其他粮食作物所不及的黄酮类化合物, 因而是一种难得的药食两用作物。据《本草纲目》一书记载: “荞麦可实胃、益气力、续精神, 做饭食可压丹石毒”, 也可“降气宽肺、磨积泄滞、清热肿风痛, 降除白浊白带, 脾积泄泻”。由此可见, 荞麦具有较高的营养价值和药用价值。随着现代科学技术水平的发展, 人们对荞麦潜在价值的认识也日益深刻, 故国际植物遗传资源研究所将其列为“未被充分利用的作物”之一, 而荞麦作为食品和保健品的开发也如火如荼。

基于近年来荞麦研究的快速发展, 本书从荞麦遗传改良及其资源化利用的角度, 对目前荞麦的 5 个主要研究领域进行了介绍, 包括: 荞麦的概述, 荞麦的遗传多样性研究, 荞麦的育种, 荞麦的生物活性物质及荞麦产

品深加工。在荞麦理论研究与实践应用方面，较为全面地涵盖了荞麦遗传改良及其资源化应用的主要领域。书中还较为系统地介绍了相关领域的新进展、新方法，以期为广大荞麦产业从事者提供一定的理论参考，最终为推动荞麦产业的发展作出应有的贡献。

本书的出版得到了“2010年度内蒙古科技大学创新基金（内蒙古地区荞麦药用有效成分的提取纯化研究（2010NC054））”的资助以及“国家自然科学基金项目（31360126）”和“国家自然科学基金项目（2013MS0513）”的支持，在此致以衷心感谢！

鉴于编者水平有限，书中难免存在错漏或不当之处，敬请相关专家和读者批评指正。

编者

2015年1月

目 录

第一章 荞麦的概述	1
第一节 荞麦的种类与分布	1
第二节 荞麦的起源地与栽培荞麦的祖先	4
第三节 荞麦种质资源的收集与保存现状	6
第二章 荞麦的遗传多样性	8
第一节 荞麦的遗传多样性概念与研究意义	8
第二节 荞麦的遗传多样性	9
一、荞麦的形态学标记	10
二、荞麦的细胞学标记	11
三、荞麦的生化标记	13
四、荞麦的分子标记	13
第三章 荞麦的育种	18
第一节 荞麦的育种目标	18
一、育种目标要主次得当,具体明确	19
二、要根据当地的栽培条件、自然条件以及经济需要 来定	19
三、制定育种目标要注意品种的搭配问题	19
四、对育种目标要有预见性	19
第二节 荞麦的育种方法	20
一、荞麦的单株混合选择	20

二、荞麦的集团混合选择	22
三、荞麦的杂交育种	22
四、荞麦的诱变育种	31
五、荞麦的多倍体育种	41
六、荞麦的基因工程育种	43
第四章 荞麦的生物活性物质	47
第一节 荞麦的黄酮类化合物	47
一、荞麦黄酮类物质的来源	47
二、荞麦黄酮类化合物的概述	47
三、荞麦黄酮类化合物的提取方法	53
四、荞麦黄酮类化合物的分离纯化方法	74
五、荞麦黄酮类化合物的分析方法	78
六、荞麦黄酮类化合物在医学中的应用	83
七、荞麦黄酮类化合物在食品中的应用	86
八、荞麦黄酮类化合物的分子代谢调节机制	88
九、甜荞黄酮类化合物含量的比较	104
十、中国荞麦黄酮类化合物的研究展望	107
第二节 荞麦膳食纤维	108
一、荞麦膳食纤维的定义与分类	108
二、荞麦膳食纤维的组成与结构	111
三、荞麦膳食纤维的物理特性	114
四、荞麦膳食纤维的功能与作用	118
五、荞麦膳食纤维的提取方法	121
六、荞麦壳的研究	125
七、荞麦壳膳食纤维的提取	127
八、荞麦膳食纤维的应用	140

九、现阶段中国开发荞麦膳食纤维的必要性	142
第三节 淀粉	143
一、淀粉的组成与性质	143
二、荞麦籽粒淀粉的研究	144
三、淀粉黏度特性与作物品质的关系	146
四、淀粉黏度特性影响因素的研究	147
五、异源细胞质改良作物淀粉品质的可行性研究	149
第四节 荞麦蛋白质	163
一、荞麦蛋白质的分离	164
二、荞麦蛋白质的分离纯化和定量分析	167
三、荞麦蛋白质的结构	170
四、荞麦蛋白质的氨基酸组成与营养评价	178
五、荞麦籽粒品质的影响因素研究	180
第五节 荞麦戊聚糖	184
一、荞麦戊聚糖的概念	184
二、荞麦戊聚糖的结构与分类	184
三、荞麦戊聚糖含量的测定方法	185
四、荞麦戊聚糖的理化特性	186
五、荞麦戊聚糖对谷物品质性状的影响	188
六、荞麦戊聚糖的营养功能	192
七、戊聚糖的遗传学与栽培生理调控研究	192
八、荞麦籽粒戊聚糖含量的变异	194
九、荞麦异源细胞质改良戊聚糖含量的可能性	194
第五章 荞麦产品深加工	201
第一节 荞麦面食制品开发	201
一、荞麦面包制作	201

二、荞麦脆片制作	203
三、荞麦馒头制作	204
四、荞麦米线制作	206
五、荞麦蛋糕制作	208
第二节 荞麦保健品开发	210
一、荞麦药用保健品	210
二、荞麦饮料	210
三、荞麦醋	213
四、荞麦酒	215
参考文献	216

第一章 荞麦的概述

第一节 荞麦的种类与分布

荞麦 (*Fagopyrum*) 是一年生草本双子叶植物, 属于蓼科 (*Polygonaceae*) 荞麦属 (*Fagopyrum* Mill), 在全世界有着广泛分布。据最新报道, 全世界荞麦属有 23 个种、2 个亚种和 3 个变种, 而中国是世界上拥有最多荞麦种类的国家, 包括 25 个种、2 个亚种和 2 个变种 (表 1-1), 且主要分布在西北、华北、东北以及西南地区的云南、贵州、四川一带高寒山区。

表 1-1 中国分布的荞麦属物种、亚种和变种分类

序号	种	亚种或变种
1	<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench (甜荞)	ssp. ancestrale Ohnishi (甜荞祖先种)
2	<i>F. tataricum</i> (L.) Gaerth (苦荞)	ssp. potanini Batalin (苦荞祖先种)
3	<i>F. callianthum</i> Ohnishi	
4	<i>F. capillatum</i> Ohnishi	
5	<i>Fagopyrum caudatum</i> (Sam.) A. J. Li (尾叶野荞麦)	
6	<i>F. crispatifolium</i> J. L. Liu (皱叶野荞麦)	
7	<i>F. cymosum</i> (Trev.) Meisn (金荞麦)	
8	<i>F. densovillosum</i> J. L. Liu (密毛野荞麦)	
9	<i>F. gilesii</i> (Hemsl.) Hedberg (岩野荞麦)	
10	<i>F. gracilipedoides</i> Ohsako et Ohnishi (纤梗野荞麦)	

(续表)

序号	种	亚种或变种
11	<i>F. gracilipes</i> (Hemsl.) Dammer ex Diels (细柄野荞麦)	Var. <i>odontopterum</i> (Gross) Sam. (齿翅野荞麦)
12	<i>F. homotropicum</i> Ohnishi	
13	<i>F. jinshaenes</i> Ohsako et Ohnishi (金沙野荞麦)	
14	<i>F. leptopodum</i> (Diels) Hedberg (小野荞麦)	var. <i>grossii</i> (Levl.) Sam. (疏穗小野荞麦)
15	<i>F. liangshanensis</i> j. L. Liu (凉山荞麦)	
16	<i>F. lineare</i> (Sam.) Haraldson (线叶野荞麦)	
17	<i>F. macrocarpum</i> Ohsako & Ohnishi	
18	<i>F. megaspartanum</i> Q-F Chen (大野荞麦)	
19	<i>F. pleioramosum</i> Ohnishi	
20	<i>F. pilus</i> Q-F Chen (毛野荞麦)	
21	<i>F. polychromofolium</i> A. H. Wang, M. Z. Xia, J. L. Liu & P. Yang (花叶野荞麦)	
22	<i>F. rubifolium</i> Ohsako & Ohnishi	
23	<i>F. statice</i> (Tevl.) H. Gross (抽葶野荞麦)	
24	<i>F. urophyllum</i> (Bur. Et. Franch.) H. Gross (硬枝万年荞)	
25	<i>F. zuogonggenes</i> Q-F Chen (左贡野荞麦)	

甜荞 (*F. esculentum* M) 是普通栽培种, 一年生草本植物, 其花柱异长, 花柄上有一个节, 果实突出花被 1/2 以上。

苦荞 (*F. tataricum*) 也属于普通栽培种, 同样是一年生草本植物。与甜荞相比, 它的花柱等长, 果实上有纵沟, 株型除少数属中间型外, 大部分为紧凑型, 属于雌雄蕊同花、自花授粉作物, 而甜荞则是异花授粉作物。

金荞麦 (*F. cymosum*) 是多年生, 包括四倍体和二倍体两种, 是花柱异长的异花授粉物种。与甜荞花的结构相同, 雌蕊有三叉柱头。四倍体的种子粒小, 茎基部呈葡萄状茎; 二倍体的种子粒大, 鳞状茎代替了葡萄状茎。在亚洲、美洲、欧洲等都有分布, 在中国主产于陕西、浙江、江苏、湖南、湖北等省, 华东一带也可栽培。

硬枝万年荞麦 (*F. vropnllum*): 该种为二倍体, 亦是花柱异长的异花授粉物种。它由短雌蕊和长雌蕊组成群体, 以种子和茎秆繁殖, 广泛分布于中国南部, 属多年生野生荞。

抽葶野生荞麦 (*F. sfafice*): 该种为两倍体, 叶长在基部。分布在中国贵州、云南等地, 属多年生野生荞。

细柄野荞麦 (*F. gracilipes*) 是一年生完全自花授粉的小草本杂草, 广泛分布于中国南部, 多见于荞麦、豌豆、玉米和其他作物田中, 花柱同长, 高 20 ~ 60cm。其籽粒较小, 无翅形结构, 花序不紧凑。目前, 发现云南摩哈仑地区植株的染色体数目为四倍体 ($2n=32$), 其他群体的染色体数目仍然未知。该种有两个变种, 其中之一就是细柄野荞麦, 另一个变种被命名为齿翅野荞麦, 因为其籽粒的每一边缘都有一个齿形翅状结构。

皱叶野荞麦 (*Fagopyrum crispatifolium*) 是一年生草本植物, 是刘建林等在中国四川省凉山州普格县螺髻山镇发现的一个野生荞麦居群, 茎平卧或直立, 高 45 ~ 88.5cm, 中下部或基部多分枝, 它与细柄野荞麦 *F. gracilipes* (Hemsl.) Damm. & Diels 很相似, 但是其叶缘皱波状, 具不规则波状圆齿、小圆齿或圆齿, 叶片表面泡状突起, 聚伞花序密集与之相区别。

线叶野荞麦 (*F. Lineare*) 是一年生小草本, 花白色或粉色, 花柱等长, 无明显柄, 有无数变种。

小野荞麦 (*F. leptopodum*) 是生长在中国南部山区的小型草本, 高 5 ~ 30cm, 花柱异长, 染色体为两倍体。在云南大理, 道路两旁和房屋周围随处可见。

岩野荞麦 (*F. gilesii*) 是一年生草本植物, 花茎、枝条上叶很少, 负花枝头不从叶腋生出, 花序集中成头状。

荞麦作为中国的古老作物, 已经有 2000 多年的栽培历史, 其栽培类型主要有两种, 分别是甜荞 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 和苦荞 (*F. tataricuni* (L.) Gaerth)。甜荞属异花授粉植物, 花朵为粉红色或白色 (图 1-1), 籽粒三棱形, 黑色或黑灰色, 在各国栽培较为广泛, 主产国和主要利用国有中国、俄罗斯、韩国、



图 1-1 红花荞麦 (a) 和白花荞麦 (b)

日本、不丹、白俄罗斯、尼泊尔、印度、匈牙利、波兰和斯洛文尼亚等，法国、意大利、美国和加拿大也是重要生产国；苦荞是自花授粉植物，花朵黄绿色，籽粒较小，外壳厚而坚硬，略有苦味，苦荞主要在中国，以及与中国毗邻的不丹、尼泊尔、锡金等国家有零星种植。在中国，秦岭、淮河、巴山一线（称秦淮线）是甜荞和苦荞栽培的过渡区，秦巴山区以北是甜荞主产区，多种植甜荞，苦荞零星分散种植，中国甜荞生产区主要集中在陕西、宁夏、内蒙古、甘肃、山西等省（区）。秦巴山区以南是苦荞主产区，尤其是贵州、云南、四川 3 省毗邻的高山丘陵地带，大面积种植苦荞，中国苦荞的产量和种植面积均居世界第一，而且单产一般高于甜荞。

第二节 荞麦的起源地与栽培荞麦的祖先

关于荞麦起源中心的问题是荞麦研究的焦点之一，对此不同的学者观点不一。瑞士植物分类学家 Candolle（1883 年）提出中国北部黑龙江流域或者西伯利亚是栽培荞麦的起源地，而 Nakao（1960 年）则认为紧靠喜马拉雅山脉的中国西南地区应当是栽培荞麦的起源地。早在 20 世纪初，前苏联的瓦维洛夫认为荞麦起源于中国。他的世界作物八大起源中心学说的第一个中心是“栽培植

物的中国起源中心”，该学说认为“中国的中部、西部山区及其毗邻的地区是世界第一个最大的独立的农业发源地及栽培植物起源地”，在其农作物品种清单中就发现有苦荞和甜荞麦的记载。此外，云南野生型甜荞的发现以及荞麦在云南栽培历史的研究，均支持 Nakao 的观点。叶能干等通过研究观察中国西南地区的荞麦属植物，认为荞麦属植物的分化和传播中心是我国的西南部，它也可能是荞麦属的起源地。因此大部分人都接受栽培荞麦起源于中国西南部的这一观点，但是关于栽培甜荞和苦荞各自具体的起源地，仍存在争议。

陈庆富（2001 年）认为，中国西南部较寒冷的川西高原、青藏高原和云贵高原等较高海拔地区则可能是苦荞的起源地。赵佐成（2002 年）、Tusji（2001 年）和 Sheng MaoYin（2011 年）所作相关研究表明：中国云南西北地区或西藏自治区（全书称西藏）东部可能是栽培苦荞的起源地，而且金沙江流域是苦荞麦及其近缘种的起源中心和分布中心。王安虎认为栽培苦荞的地理起源中心是中国，云南西北地区可能是栽培苦荞的初生起源中心，四川南部与中部、西藏东部、云南滇中和滇西地区可能是次生起源中心。而栽培甜荞可能起源于中国西南部较温暖的地区，Konishi 和 Ohnishi（2007 年）认为，甜荞的祖先主要分布在澜沧江流域以及金沙江流域。

关于栽培荞麦的祖先种问题，到目前为止主要有 4 种观点。第一种观点认为，多年生花柱异长的金荞是栽培荞麦的祖先，而且金荞、苦荞和甜荞在分类学上关系较近，形态学研究支持这种观点。第二种观点认为，金荞和甜荞中发育良好的蜜腺和花柱异长等特征应该是进化特征，并且认为可能存在花柱同长的原始种，苦荞和甜荞是由该原始种进化而来。然而到目前为止，还没有发现这种原始种。第三种观点认为，金荞、苦荞和甜荞亲缘性较远，金荞并不是栽培荞麦的祖先，而野生的甜荞则可能是其祖先。陈庆富等发现毛野荞（*F. Pilus*）（ $2n = 2x = 16$ ）与苦荞、大野荞（*F. megaspartanium*）（ $2n = 2x = 16$ ）与甜荞分别在形态学、染色体核型、同工酶上相似，而且彼此可杂交性

较高,因此基于对大粒组荞麦的系统研究,他提出了新的观点:栽培苦荞的祖先种可能是毛野荞,栽培甜荞的祖先种可能是大野荞(2001年,2008年)。显然,要解决对栽培荞麦的起源地和栽培荞麦的祖先种问题上存在的争议,需要对更多的荞麦资源进行深入系统的研究。

第三节 荞麦种质资源的收集与保存现状

国际上有组织的关于荞麦种质资源的收集工作从20世纪80年代开始,由国际植物遗传资源委员会(International Board for Plant Genetic Resources,简称IBPGR)资助,一些国家在喜马拉雅山地区考察收集荞麦资源。其中,尼泊尔、不丹分别收集了304份和48份;印度国家植物遗传资源局收集500余份;国家农业研究中心收集了500余份;日本在其国内收集了约200份甜荞资源,并在IBPGR资助下从尼泊尔、巴基斯坦和其他国家收集了138份;朝鲜收集了95份地方荞麦品种,并从加拿大、日本、美国引进146份荞麦资源。前苏联的瓦维洛夫研究所保存荞麦资源2100份,德国的布拉斯克维保存62份,美国的国家种子贮藏研究室保存132份,前南斯拉夫的莱古布加拿保存36份,日本共保存638份等。

中国是荞麦的发源地,从 18°N 到 53°N ,海拔几十米到4400多米的广阔地区几乎都有栽培,生态条件的多样化造就了荞麦品种的多种类型,资源极为丰富。早在20世纪50年代中国就开始了收集荞麦种质资源的工作,先后从全国各地以及国外收集到荞麦资源3085份。其中包括:2869份地方品种,6份育成品种,138份野生品种。同时从国外引进荞麦种质资源约80份,其中约20份甜荞,60份苦荞,但多在1970年前后丢失。1979年中国开始再次大规模地开展荞麦种质资源的收集、整理、评价和保存工作。直至2012年,经收集整理、鉴定分析并进行编目后贮存于国家种质资源库中的荞麦品种有2785份,其中苦荞资源为879份。这些收集到的各种荞麦种质资源经过农艺性状的鉴定、数据整理和编目后,一般保存在长期库(-20°C)和中期库($<5^{\circ}\text{C}$, RH40%)中,表1-2

是部分长期保存库的种质资源统计结果，共 2 282 份，其中甜荞 1 528 份，苦荞 754 份。

表 1-2 部分中国荞麦种质资源“编目”与长期保存情况统计

省（区）	编目			长期保存		
	甜荞	苦荞	合计	甜荞	苦荞	合计
黑龙江	24		24			
吉林	164		164	94		94
辽宁	74	1	75	74	1	75
内蒙古	289	8	297	287	8	295
河北	124		124	101		101
北京	42	98	140	8	43	51
山西	283	113	396	204	104	308
宁夏	16	9	25			
陕西	205	93	298	204	93	297
甘肃	112	94	206	104	91	195
青海	41	45	86	39	45	84
新疆	30		30	24		24
安徽	85	5	90	85	5	90
湖北	75	35	110	71	35	106
江西	84	2	86	57	2	59
湖南	9	4	13	9	4	13
四川	39	171	210	34	146	180
贵州	29	68	97	23	54	77
云南	58	131	189	52	117	169
广西	58	6	64	58	6	64
总计	1 821	883	2 704	1 528	754	2 282

第二章 荞麦的遗传多样性

第一节 荞麦的遗传多样性概念与研究意义

生物多样性是指一定范围内种类繁多的有机体（如微生物、植物、动物）有规律地结合从而形成的稳定的生态综合体。这种多样性不仅包括数以百万计的微生物、植物、动物的物种多样性，而且还包括物种的遗传与变异的多样性，以及生态系统的多样性。所以生物多样性是一个深层次的概念，表现在4个层次上：物种多样性、遗传多样性、景观多样性、生态系统多样性。在4个层次中，遗传多样性是生物多样性的核心，是其他3种多样性的基础，是极其重要的组成部分，因为遗传多样性决定了一个物种的稳定性和进化潜力，而且物种的生态价值和经济价值也依赖于物种特有的基因组成。因此，要想保护物种多样性最终是要保护物种的遗传多样性。

广义地讲，地球上所有生物所携带的遗传信息的总和就是遗传多样性。但是其狭义的定义仅指种内个体之间或者一个群体内不同个体之间的遗传变异总和。遗传多样性可以在不同水平上体现：细胞和组织水平、个体水平、群体水平以及分子水平。对于存在于自然界中的绝大多数有性生殖的物种而言，种群其实就是由具有不完全一致的遗传结构或基因型的众多个体组成。而生物体内遗传物质发生变化而造成的变异是可以遗传给后代的，从而导致生物体内在不同水平上表现出遗传多样性。

关于遗传多样性问题的研究在理论价值与实际中具有非常重要的意义。首先，物种的遗传多样性大小是物种适应生存环境条件和