

燕麦 品质与加工

胡新中 魏益民 任长忠 著



科学出版社
www.sciencep.com



胡新中，博士，副教授，现代燕麦产业技术体系岗位科学家，中国作物学会燕麦荞麦分会副秘书长，中国食品工业协会燕麦产业委员会副秘书长，《中国粮油学报》编委。以第一作者在国内外发表重要学术论文三十余篇，其中SCI、EI收录十篇。多次受邀参加国际会议并进行大会报告。目前主持农业部公益性行业项目、现代燕麦产业技术体系建设项目、人力资源与社会保障部、杨凌示范区等与燕麦有关的研究课题十余项。获三项专利。创办燕麦专业网站www.thirdstaplefood.com和中国燕麦行业网www.chinaoat.com，主编《燕麦通讯》。主要从事燕麦功能成分营养评价、品质检测、燕麦主食品加工等方面的研究和教学。

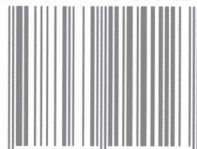


魏益民，博士，教授，博士生导师。现任中国农业科学院农产品加工研究所所长，国家现代小麦产业技术研发中心产后加工研究室主任。现为美国谷物化学师协会（AACC）会员、澳大利亚皇家化学会（RACI）会员、国际食品技术学会（IFT）会员。在粮食、植物蛋白质工程和食品安全方面做了大量的应用基础研究工作。在国内外发表重要学术论文百余篇，其中SCI、EI收录十余篇，著有《谷物品质与食品品质》《谷物品质与食品加工》《荞麦籽粒品质与加工》等研究型专著六部。



任长忠，研究员，吉林省白城市农业科学院院长、党委书记，吉林省燕麦工程技术研究中心主任。国务院特殊津贴专家，国家燕麦产业技术体系首席科学家，农业部948燕麦重大项目首席专家，农业部公益性行业科研燕麦重大专项首席专家，国际燕麦委员会委员；2005年2月至2006年2月加拿大农业部公派访问学者；获得全国五一劳动奖章、吉林省高级专家、吉林省突出贡献专家、吉林省十大科技传播人物、吉林省创业先锋等荣誉称号。获吉林省科技进步一等奖等奖项十余项；育成燕麦新品种十个、小麦新品种五个、大麦新品种一个；撰写发表研究论文二十余篇。

ISBN 978-7-03-024412-3



9 787030 244123 >

燕麦品质与加工

胡新中 魏益民 任长忠 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在对燕麦种植、营养、加工和综合利用进行分析、讨论的基础上,重点论述燕麦营养素——燕麦蛋白质、 β -葡聚糖和脂肪三大主要功能成分,以及燕麦产品加工,提出了燕麦是一种绿色和谐作物的观点及整体开发的思路。此外,书中还收集整理了国内外燕麦品质检测方法和燕麦相关法规标准,供读者参考。全书共分6章及附录,内容丰富、观点新颖、图文并茂。

本书适合农学、植物学、生态学、食品科学、营养科学、动物科学领域的师生及研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

燕麦品质与加工/胡新中,魏益民,任长忠著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-024412-3

I. 燕… II. ①胡…②魏…③任… III. ①燕麦-粮食品质②燕麦-食品加工 IV. TS211

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057426 号

责任编辑:杨震周强李晶晶/责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

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

*

2009年4月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009年4月第一次印刷 印张: 14 1/4

印数: 1—2 000 字数: 275 000

定价: 42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<长虹>)

序

燕麦在粮食分类上属于谷物 (cereal)，在生产上属于特色小宗作物，是粮草兼用作物。燕麦有耐瘠薄、耐盐碱、耐阴湿等特点，所以在高寒山区、盐碱地、沙荒地、沼泽湿地多有种植。燕麦在解决粮食安全、提高土地利用效率方面具有十分重要的作用，在营养和满足消费者的健康需要方面具有重要价值。实现燕麦种植、加工、销售的产业化时代已经到来。

《燕麦品质与加工》一书参考了大量国内外研究文献，依据作者的研究成果，考虑到现代农业产业技术体系建设的需求，为谷物品质与食品加工知识宝库增加了一本重要论著。该书属于谷物科学与技术研究领域，是基于谷物化学、人类营养学、食品科学、食品工程和作物科学的理论和方法，对燕麦的食品加工利用的系统论述和相关研究结果的总结，对了解燕麦的营养价值、保健功能、燕麦的食品加工具有十分重要的参考价值，对燕麦的产业化开发具有一定的指导意义。

该书共分 6 章。第 1 章为燕麦生产及用途，第 2 章、第 3 章和第 4 章分别介绍燕麦重要的功能成分蛋白质、 β 葡聚糖和脂肪，第 5 章论述燕麦食品加工方法和品种，第 6 章作者提出燕麦是绿色和谐作物这一新的学术观点。附录 1 增加了燕麦品质检测的内容，方便读者开展燕麦品质检测研究；附录 2 是国内外燕麦相关法规与标准，为进一步促进燕麦产业标准化、规范化提供参考。

该书比较全面客观地反映了作者的研究成果及国内外燕麦发展趋势，书中引用了国内外大量的研究文献，既能反映国际燕麦学科的发展动态，又能反映我国燕麦研究的进展情况。该书内容丰富，可以作为谷物科学方向研究生、燕麦科研工作者重要的参考资料。

燕麦品质与加工是一个涉及生产、加工和消费的系统问题，内容较为宽泛，有一些问题还在争论之中，或者还没有找到答案，这些都还有待于进一步深入研究。相信现代农业（燕麦）产业技术体系建设专项的实施，必将促进燕麦产业技术的快速发展。

中国工程院院士，研究员

2009 年 2 月 28 日

前 言

燕麦是禾本科燕麦属 (*Avena*) 草本植物, 是重要的粮饲兼用作物, 也是饲料和食品加工的重要原料。一般分为带稃型和裸粒型两大类。世界各国栽培的燕麦以带稃型为主。中国栽培的燕麦以裸粒型为主, 常称裸燕麦。关于裸燕麦的起源, 至今虽无出土文物的考证, 但有不少学者认为燕麦起源于中国。

在我国, 燕麦与高粱、谷子、黍稷、荞麦及食用豆类等同划归于杂粮。燕麦具有耐寒、抗旱、耐土地瘠薄、耐适度盐碱及农业风险系数低的优点, 北纬 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 地带是燕麦适宜种植区域。中国西北部、长城沿线都是燕麦适宜种植区, 种植面积占粮食播种面积的 0.6%, 产量占粮食总产量的 0.2%。种植区域以中西部为主, 主要分布于山西、河北、内蒙古等省、自治区。由于受传统观念、品种、产量、耕作方法、加工和饮食习惯等多种因素的限制, 燕麦通常作为杂粮和饲草作物, 长期得不到良好的发展。究其原因主要表现在五个方面: 一是专用品种缺乏, 骨干品种单一且退化严重; 二是种植分散, 耕作粗放; 三是产后加工技术含量低, 产业链条短, 效益偏低; 四是市场开拓不够, 商品化率偏低; 五是科技投入总体不足, 对其进行系统、深入研究较少。

国内外在燕麦栽培、育种、营养特性等方面进行了大量的研究。Findlay (1956) 著有《燕麦的种植与改良》, 对燕麦的农艺学特征、生产、收获、加工及利用作了综述。Kent (1966)、Matz (1969)、Hoseney (1986)、Pomeranz 和 Meloan (1987)、Pomeranz (1988) 分别针对燕麦的生产、营养成分及加工特性编辑出版了论著。Webster (1986) 编辑出版了《燕麦化学与工艺》一书, 书中囊括了以往对燕麦的研究和利用, 并展望了燕麦加工的美好前景。美国农业出版社 1992 年出版了《燕麦科学与工艺》一书, 详细介绍了燕麦的育种、种植、加工、食品与饲料用途。美国谷物化学师协会 (AACC) 2004 年出版了《食品与饲料特种谷物》, 对裸燕麦的育种、种植、加工进行了详细讨论。我国杨海鹏和孙泽民 (1989) 著有《中国燕麦》一书, 系统阐述了国内燕麦资源、栽培、育种等。1997 年, 美国食品药品监督管理局 (FDA) 认定: 燕麦可降低胆固醇, 防治心血管疾病——降低胆固醇的成分是 β -葡聚糖。这是第一个关于食品功能与疾病关系的科学论证。

国内外对于燕麦加工的研究相对较少。杂粮加工工艺和技术多为生产厂商的机密, 其研发的结果不在文献上发表, 只能从市场产品去了解加工过程。国外燕麦加工的产品形式主要是燕麦片、糕点、燕麦麸皮等, 这些不符合中国人的常规饮食习惯, 所以燕麦食品在中国主要作为特色食品在产地消费。如何开发方便、

营养、符合大众饮食习惯的燕麦方便主食产品是摆在食品科学工作者面前的严峻挑战。另外,燕麦在预防和治疗高血压、冠心病、糖尿病、肥胖症等“现代文明病”和改善亚健康状态等方面发挥着积极的作用,对提高人口健康质量,提高城市综合竞争力具有重大影响,已经成为世界营养学领域关注的热点。燕麦产业化加工能丰富食品种类,为加工企业带来经济效益。

世界上燕麦主要作为饲料作物,仅有3%加工成食品,主要为燕麦片。燕麦的加工量有限,一方面是因燕麦含油量高,不含面筋,面团成型难;脂肪酶的活性高,严重影响食品加工工艺及产品的保质期。另一方面是燕麦食品的口感较粗糙,磨粉困难,加工特性差。这也迫切需要系统地研究燕麦制粉、中式传统燕麦食品工业化开发、燕麦新型食品开发以及燕麦食品加工技术难题,为燕麦食品开发提供技术保障。

本书以裸燕麦为主要研究对象,对影响燕麦功能的主要物质(β -葡聚糖、蛋白质、脂肪)的特性与检测,燕麦的加工及利用进行了较为系统的分析研究,对世界及我国燕麦的种植及其对人类和动物的健康进行了系统的阐述,对于燕麦传统食品以及燕麦啤酒、燕麦茶、燕麦米、燕麦爆米花等新型食品的开发也进行了研究,提出了燕麦是一种绿色和谐作物的新观点。同时收集整理了国际国内燕麦品质检测方法和燕麦相关法规标准,供读者参考。

本书在撰写和出版过程中,参考和引用了国内外的一些专著和论文中的资料和图表,首先向这些作者表示感谢。闫金婷女士为实验的完成、书稿的撰写和校对付出了大量的时间和精力。加拿大农业部周坚强博士、加拿大农业部加东谷物油料作物研究中心 Veron Burrows 博士、Freageau-reid Judith 博士,西北农林科技大学宋哲民教授给予了很大的支持和鼓励。在试验研究方面,农业部公益性行业燕麦重大专项、现代燕麦产业体系建设项目、西北农林科技大学青年学术骨干人才支持项目给予了重点资助。在书稿的打印、校对过程中,西北农林科技大学欧阳韶晖、罗勤贵、郑建梅老师,研究生徐超、邢晓晖、郭庆彬、张培培、徐莹、卢为利等也付出了很多精力。科学出版社杨震、周强编辑对于本书的出版提供了诸多的建议,在此表示衷心感谢。

作者在对国内外研究资料和文献的学习思考过程中,未必全面或准确表达了原文作者的思想。加之在燕麦品质与加工理论研究与认识以及生产方面,还有许多问题尚待研究和深入探讨。所以书中不妥和欠缺之处敬请专家、读者批评和指正。

作 者

2008年10月10日

目 录

序

前言

第 1 章 燕麦生产及用途	1
1.1 引言	1
1.2 燕麦的特征特性	2
1.2.1 燕麦的穗部特征	2
1.2.2 燕麦的籽粒结构	2
1.2.3 燕麦籽粒的理化特性	6
1.3 燕麦生产概述	7
1.3.1 燕麦种植面积、产量	7
1.3.2 燕麦的抗逆性	8
1.3.3 皮燕麦与裸燕麦	16
1.3.4 燕麦品种的多样性	17
1.3.5 中国燕麦产业发展现状与问题	18
1.4 燕麦与人类健康	26
1.4.1 燕麦与人类饮食	26
1.4.2 燕麦的营养成分	27
1.4.3 燕麦与人体代谢	28
1.4.4 燕麦的健康功效	32
1.4.5 燕麦的保健价值	35
1.4.6 燕麦与动物健康	37
1.4.7 燕麦与动物抗疲劳	38
1.5 小结与展望	42
第 2 章 燕麦蛋白质	43
2.1 引言	43
2.1.1 概述	43
2.1.2 分类和提取	44
2.1.3 特性	45
2.2 燕麦蛋白质的食品应用	46
2.3 燕麦品种的蛋白质含量	48

2.4	蛋白质含量测定	50
2.4.1	凯氏定氮法测定	50
2.4.2	蛋白质光学显微镜观察	51
2.5	小结与展望	51
第3章	燕麦β-葡聚糖	53
3.1	引言	53
3.2	燕麦 β -葡聚糖的特性	53
3.2.1	β -葡聚糖的分布及存在形式	54
3.2.2	β -葡聚糖的结构	54
3.2.3	β -葡聚糖的性质	55
3.3	燕麦膳食纤维	63
3.3.1	膳食纤维的概念和分类	63
3.3.2	膳食纤维的物化特性	63
3.3.3	燕麦膳食纤维的生理功能	64
3.3.4	膳食纤维的摄入量及食物来源	65
3.3.5	燕麦膳食纤维的分离制备	66
3.3.6	燕麦膳食纤维的开发及其在食品中的应用	67
3.4	小结与展望	70
第4章	燕麦脂肪及脂肪酶抑制	72
4.1	引言	72
4.2	燕麦脂肪酶	73
4.2.1	燕麦脂肪酶特性	73
4.2.2	脂肪酶的作用	74
4.2.3	脂肪酶的测定	74
4.2.4	脂肪酶的抑制	75
4.3	燕麦脂肪酶的分布	76
4.3.1	材料与方法	77
4.3.2	燕麦品种籽粒大小及其他物理特性对酶活性的影响	79
4.3.3	酶活性在籽粒皮层分布	83
4.3.4	讨论与小结	84
4.4	裸燕麦籽粒酶活性抑制方法比较	85
4.4.1	材料与方法	85
4.4.2	不同酶活性抑制方法的效果	86
4.4.3	不同灭酶处理对于品质影响	88
4.4.4	籽粒大小和润麦水分含量对灭酶效果的影响	89

4.4.5 燕麦品种对红外灭酶效果的影响	89
4.4.6 保温时间对红外灭酶效果的影响	90
4.4.7 讨论与小结	90
4.5 燕麦米酶活性抑制方法比较	92
4.5.1 材料与方法	93
4.5.2 去皮时间对燕麦米品质的影响	94
4.5.3 不同处理的燕麦米与裸燕麦籽粒品质比较	94
4.5.4 燕麦米不同灭酶工艺的效果及对品质的影响	95
4.5.5 润麦时间对红外灭酶的影响	97
4.5.6 讨论与小结	97
4.6 灭酶后燕麦籽粒的显微结构分析	98
4.6.1 材料与方法	99
4.6.2 灭酶后燕麦籽粒电镜照片分析	100
4.6.3 不同灭酶处理 β -葡聚糖变化特点	101
4.6.4 不同灭酶处理脂肪变化特点	102
4.6.5 不同灭酶处理淀粉变化特点	103
4.6.6 结构变化与品质的关系	103
4.6.7 讨论	104
4.7 小结与展望	105
4.7.1 燕麦油脂及其生理保健功能	105
4.7.2 燕麦酶活性抑制的重要性	106
4.7.3 燕麦酶活性抑制方法研究与利用	107
4.7.4 燕麦食品开发	108
第5章 燕麦食品加工	109
5.1 燕麦食品加工概述	109
5.1.1 燕麦食品加工的特点	109
5.1.2 燕麦食品的产品形式	111
5.2 燕麦面团流变学特性及品质改良	113
5.2.1 燕麦面团流变学与加工特性	114
5.2.2 沙蒿籽和谷朊粉对燕麦食品加工品质的影响	117
5.3 中国传统燕麦食品加工	120
5.4 中式新型燕麦食品开发	122
5.4.1 燕麦混合米	122
5.4.2 燕麦专用粉	126
5.4.3 燕麦饮品	130
5.5 西式燕麦产品加工	137
5.5.1 燕麦片	137

5.5.2	膨化燕麦食品	139
5.5.3	燕麦爆米花	140
5.5.4	燕麦面包	144
5.5.5	燕麦饼干	146
5.6	燕麦深加工产品开发	150
5.6.1	燕麦蛋白	150
5.6.2	燕麦 β -葡聚糖	154
5.6.3	膳食纤维	155
5.6.4	燕麦油	155
5.6.5	燕麦综合利用的广阔前景	160
5.7	小结与展望	162
第6章	燕麦是绿色和谐作物	164
6.1	引言	164
6.2	燕麦与我国农业发展	164
6.2.1	我国农业的背景	164
6.2.2	发展燕麦的五大社会效益	165
6.2.3	燕麦是一种绿色和谐作物	170
6.3	小结与展望	177
参考文献		178
附录1	燕麦品质检测	187
一、	燕麦过氧化酶定量测定 AACC 22-80	187
二、	交联 β -葡聚糖含量测定 AACC 32-23	188
三、	总淀粉含量测定 AACC 76-13	191
四、	总膳食纤维含量测定 AACC 32-07, 32-21	194
五、	抗性淀粉测定 AACC 32-40	196
六、	蛋白质含量测定 AACC 46-10	199
七、	灰分测定 GB/T5009.4—2003	200
八、	水分测定 GB5009.3—2003	201
九、	脂肪含量(索氏抽提法) GB5512—85	204
附录2	国内外燕麦法规与标准	206
一、	国际燕麦食品标签与法规	206
二、	燕麦法典标准 CODEX STAN 201—1995	207
三、	莜麦粉 GB13360—92	209
四、	燕麦种子标准 GB4404.5—1999	211
五、	莜麦 GB13359—92	213
六、	农业行业标准绿色食品 麦类制品 NY/T1510—2007	214

第 1 章 燕麦生产及用途

1.1 引言

燕麦是一种特殊的粮、经、饲、药多用作物，在全世界五大洲 42 个国家栽培，其主产区是北半球的温带地区。在世界八大粮食作物（小麦、水稻、玉米、大豆、燕麦、大麦、高粱、谷子）中，燕麦总产量居第五位，已成为人们生活中不可或缺的营养保健食品。

我国的燕麦类型主要为裸燕麦，又称莠麦，俗称为油麦、玉麦、铃铛麦，在我国至少有两千年的栽培历史。相传在公元前几千年，莠麦就和小麦、大麦混生在一起，而我们的祖先并不认识它的价值，只是把它当作杂草除掉了。后来随着生产的发展，发现莠麦也是一种很好的粮食作物，在距今两千五百年前后便开始种植。距今两千多年前，莠麦的种植开始有了文字记载。《尔雅》称之为“薹”（音“月”），《外台》称之为“杜姥草”，西晋《博物志》称之为“燕麦”，《穆天子传》称之为“野麦”，《黄帝内经》称之为“迦师”。唐代诗人李白在诗中曾写道：“燕麦青青游子恋，河堤弱柳郁金枝。长条一拂春风去，终日飘扬无定时。”这说明，燕麦是我国的一种古老作物。据说莠麦最早起源于我国华北一带的高寒山区，山西省五寨县就是莠麦的最早发源地之一。大约在公元前 9 世纪，莠麦由山西传至内蒙古，逐步普及到我国北方的山区、丘陵区和部分平川区。

燕麦作为一种优质的粮饲兼用作物，其经济价值逐渐为人们所重视，特别是在营养、医疗保健和饲用价值上具有广阔的前景。

首先，燕麦营养价值高。在 8 种粮食作物中，燕麦蛋白质、脂肪、淀粉所释放的热量以及锌、铁、钙等元素含量均名列前茅。燕麦富含大量的水溶性膳食纤维，特别是 β 葡聚糖。燕麦维生素 E、维生素 B、尼克酸、叶酸、泛酸含量丰富。此外，燕麦粉中还含一般谷物食品中均缺少的酚类抗氧化物质皂苷。

其次，燕麦医疗保健价值高。燕麦的医疗价值和保健作用已得到了医学界和营养学界的认可。1997 年，美国食品药品监督管理局（FDA）认定：“燕麦可降低胆固醇、防止心血管疾病，降低胆固醇的主要功能成分是 β 葡聚糖。”这是第一个关于食品功能与疾病关系的科学论证，同时也肯定了燕麦的医疗保健价值。在我国，据 1981~1985 年中国农业科学院与北京市心脑血管研究中心、北京市海淀医院等 18 家医疗单位 5 轮动物试验和 3 轮共 997 例临床观察研究证明，裸燕麦能预防和治疗由高血脂引发的心脑血管疾病，且长期食用燕麦有利于糖尿病

和肥胖的控制。

最后，燕麦饲用价值高。燕麦叶、秸秆多汁柔嫩，适口性好。裸燕麦秸秆中含粗蛋白 5.2%、粗脂肪 2.2%、无氮浸出物 44.6%，均比谷草、麦草、玉米秆高出很多；难消化纤维占 28.2%，比小麦秸秆、玉米秸秆低 4.9%~16.4%，是最好的饲草之一。以上优势也使燕麦成为赛马、奶牛等草食家畜的优良饲草，因此，燕麦可成为优质的饲料来源。

本章主要论述我国燕麦的种植面积、品质状况、燕麦抗逆性和分布多样性、燕麦的形态结构与特性、燕麦营养品质、燕麦对人体健康的作用以及燕麦在我国社会主义新农村建设和农业可持续发展方面的作用。

1.2 燕麦的特征特性

完整的、成熟的燕麦籽粒能够在合适的土壤条件下萌发并长成植株。要完成这个过程，必须具备的条件：①完整的胚，保证在发芽过程中长成根和茎；②吸收能力，为发育成熟提供充足的营养储备；③代谢能力，将这些大分子的营养物质转变为可供应进行种子萌发的胚的可溶小分子；④不受过度恶劣天气影响，如干旱、冻害。因为每一种生理功能都由明确分工的器官来完成，这就需要深刻认识籽粒的形态学结构和化学结构。

1.2.1 燕麦的穗部特征

燕麦花序为圆锥花序（或复总状花序），由穗轴和各级穗分枝所组成。燕麦的小穗着生在各级穗分枝的顶端，小穗由颖壳和小花组成，小花最终会发育成种子。普通燕麦的小穗一般着生 4 朵小花，但通常结实小花只有 1 或 2 朵。

外稃和内稃呈叶状，燕麦成熟时颖果与内外稃分离。成熟的外稃呈柳叶刀的形状，它包裹着颖果和部分内稃。内稃背靠小穗轴，在花轴上位于外稃上方。小穗呈下垂或内下垂状态，有助于叶状结构的生长和分裂（形成分枝）。燕麦的果实为颖果，颖果被包在内外稃内，内外稃是由子房发育而成与颖果紧密相连的瘦长籽实壳（谷壳，占籽粒质量的 3%）。谷壳内，颖果由胚乳和胚两部分组成。胚乳在颖果中所占的比例较大，包括糊粉层（占到籽粒质量的 6%~8%）和淀粉胚乳（占籽粒质量的 50%~55%），但与其他谷物子粒不同的是燕麦颖果的腹沟在其胚的背面。燕麦子粒内外稃占其总质量的 20%~40%，果皮和种皮占籽粒质量的 3%。

1.2.2 燕麦的籽粒结构

一般籽粒按其化学成分和形态差异，可以分成皮层、胚芽和胚乳，这个分类

方法也适合于商业用途，但却不能反映其各部分基因、化学和功能差异。图 1-1 中显示的是籽粒的解剖图（左边为长度方向解剖，右下侧为纵向解剖），皮层（A）、胚乳（B）、胚（C）三部分的位置也在图 1-1 相应位置标出。

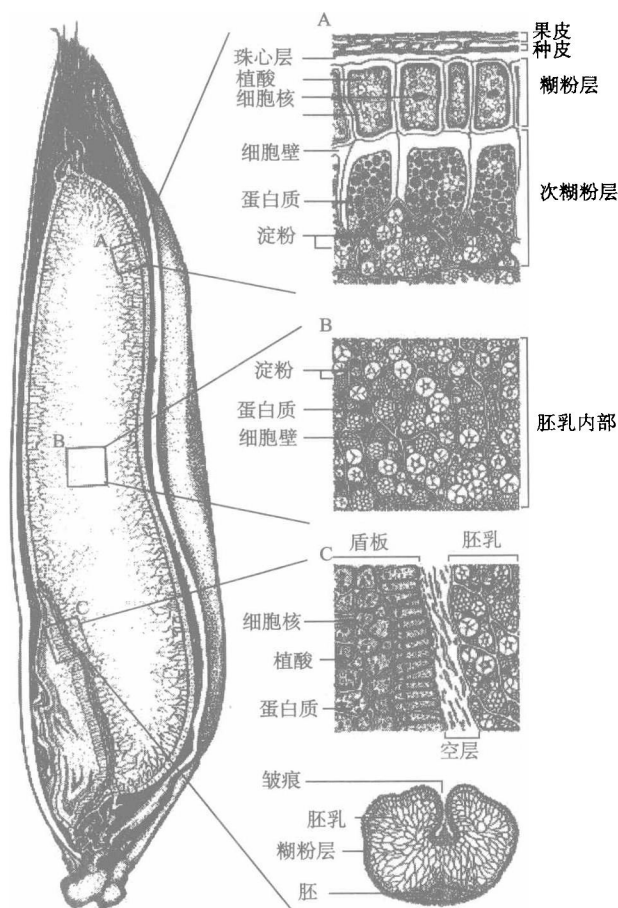


图 1-1 燕麦籽粒结构图 (Fulcher, 1986)

1. 皮层

虽然胚乳占籽粒干重的 80% 以上，但是皮层却对燕麦品种的影响最大，因此皮层对于种子萌发必不可少。萌发是指新陈代谢活动，而皮层储存有菲丁、维生素、蛋白质、脂肪等，它们是种子生命活动重要的物质，所以说皮层十分重要。

皮层是籽粒的外套，包括在籽粒成长过程中分化而成的果皮、双层表皮、珠心层等。皮层间细胞在生长过程中互相挤压，导致细胞质大量减少，只剩下主要由碳水化合物和纤维素组成的细胞壁，还包含一些与酚类化合物有关的木质素，这些成分使皮层变得坚韧、难以消化。

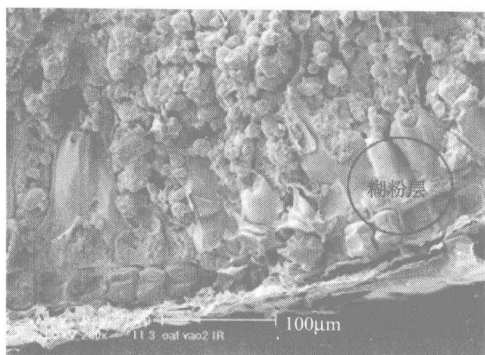


图 1-2 燕麦皮层

皮层中最主要的部分是糊粉层(图 1-2)，它紧挨珠心层，包被着胚乳和部分胚芽。糊粉层是皮层中最厚的部分，在发育和基因控制方面均与胚乳有关，位于皮层的最内层，对加工影响很大，厚度为 50~150nm。

糊粉层细胞是所有细胞中酚类化合物含量最高的组织器官。酚类化合物具有自动发荧光特性，用低倍荧光显微镜就可以观察到。关于燕麦糊粉层自动发荧光特性还不很

清楚，但小麦、大麦皮层的自动发荧光特性是因为富含阿魏酸，阿魏酸可以防止籽粒受微生物侵害及形成糊粉层细胞壁。虽然燕麦籽粒中阿魏酸含量不高，但分布高度集中。燕麦的显微结构与小麦、大麦没有显著差异，其荧光特性也可能与阿魏酸有关。

糊粉层还富含交联 $\beta(1\rightarrow3)$ -D-葡聚糖和 $\beta(1\rightarrow4)$ -D-葡聚糖。用刚果红染色后，发现它集中分布在糊粉层细胞的内侧区域内。虽然，糊粉层中 β -葡聚糖含量比在胚乳中低，但其强水合能力，使其起到了膳食纤维的作用。

糊粉层中蛋白质与胚乳中蛋白质化学结构有所不同。糊粉层蛋白质的赖氨酸、苏氨酸、丝氨酸、丙氨酸含量比胚乳中高，而谷氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸含量却低于胚乳中含量。糊粉层细胞被无数单个蛋白体包被。糊粉层中蛋白质含量很高，约占籽粒总蛋白含量的一半。糊粉层中蛋白质结构很复杂，蛋白质基质与菲丁、尼克酸、酚和糖类物互相连接。而且，糊粉层细胞也被脂肪滴包被(与在胚中情况相同)。

讨论皮层的生化作用时，不能忽略糊粉层对种子发育的贡献。糊粉层是水解酶的发源地，水解胚乳中物质供胚发育。一些酶，如脂肪酶，在成熟籽粒的皮层中就存在；而另一些酶，如 α -淀粉酶和麦芽糖酶，却在发芽过程中才合成。在种子发育过程中，分布于糊粉层的合成水解酶会受赤霉素等胚芽激素的控制。

2. 胚乳

胚乳(图 1-3)占成熟燕麦籽粒质量的 55%~70%，包含淀粉、蛋白质、脂

肪和 β -葡聚糖(胶)。与糊粉层和胚芽不同,胚乳细胞相对代谢活性低,各种酶活性均较低(除非收获时遇到雨季)。从结构和组成上看,胚乳细胞是籽粒中最简单的细胞,每个细胞均含有淀粉、蛋白质、脂肪和 β -葡聚糖。

燕麦胚乳蛋白质在氨基酸模式上与大米相同,其品质优于其他谷物蛋白质,总蛋白含量(14%~19%)也明显高于其他谷物。燕麦皮层中蛋白质含量高于其他谷物,胚乳中仅占40%~50%,而小麦胚乳中蛋白质占总蛋白质的70%~75%。小麦中球蛋白含量较少(10%),而在燕麦中球蛋白却是主要组分,约占55%,尤其在燕麦发芽过程中含量迅速上升。燕麦中也含有清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白。

在成熟的小麦和大麦胚乳中,蛋白质基质均匀分布且与淀粉相连,而燕麦胚乳蛋白质却形成一个球状体。燕麦蛋白大小差异较大,直径0.2~6.0nm,与胚乳细胞大小相当。在一些高蛋白质含量的燕麦品种中,次糊粉层细胞中主要是大蛋白体及少量淀粉,在低蛋白质含量品种中,主要是大蛋白体,但却被众多淀粉分子包围。扫描电镜发现这些大蛋白体是由许多小蛋白体聚集形成的。

小麦糊粉层中含8%~20%脂肪,胚乳中仅含0.8%~1.0%脂肪。燕麦糊粉层和胚也富含脂肪,且胚乳中脂肪含量高达6%~8%,这是燕麦与其他谷物不同之处。

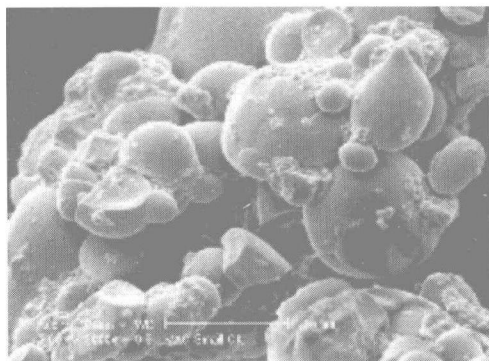


图 1-3 燕麦胚乳

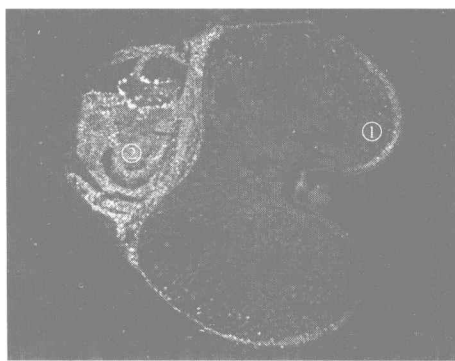


图 1-4 燕麦胚

①为糊粉层;②为胚

燕麦淀粉特性与小麦等谷物有所不同。首先是燕麦品种间淀粉含量差异较大(43%~64%),且与蛋白质含量呈负相关。燕麦淀粉具有较高的糊化特性和抗老化性质。燕麦淀粉颗粒不像小麦和大麦那样容易形成聚集,而与大米相似,以单个分子形式存在,分子直径为4~10 μ m。

越靠近糊粉层外层,脂肪、蛋白质和 β -葡聚糖含量越高,而淀粉含量变化趋