

亚麻籽

深加工技术

任广跃 朱文学 主编

张振山 刘丽莉 副主编



化学工业出版社

亚麻籽 深加工技术

任广跃 朱文学 主编

张振山 刘丽莉 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

亚麻籽是全球第七大油料作物，是一种营养成分高、黏度大、吸水性强、乳化效果好的天然植物胶，可在食品、化工、高档化妆品等领域作为增稠剂、黏合剂、乳化剂和发泡剂使用。本书主要包括概述、亚麻籽油制备技术、亚麻籽油功能产品的开发、亚麻蛋白的开发与利用、亚麻籽胶的开发与利用、亚麻木脂素的开发与利用、亚麻籽的脱毒、亚麻籽壳仁分离共8章，系统地探讨了亚麻籽的深加工技术问题，对亚麻籽的综合开发利用具有重要的指导意义。

本书可作为油料加工企业职工的技术培训教材，也可作为农林、食品、化工等专业高校师生的学习、研究指导用书，还可供从事亚麻籽领域相关科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

亚麻籽深加工技术/任广跃，朱文学主编. —北京：化学工业出版社，2015.6

ISBN 978-7-122-23351-6

I. ①亚… II. ①任…②朱… III. ①亚麻-籽粒-加工
IV. ①S563.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 053844 号

责任编辑：魏 巍 赵玉清

文字编辑：张春娥

责任校对：王 静

装帧设计：关 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市胜利装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张22 字数407千字 2015年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：88.00 元

版权所有 违者必究

前言

亚麻籽又称胡麻子，是亚麻科、亚麻属一年生或多年生草本植物亚麻的种子，是最古老的作物之一。近年来，经研究和临床试验，证实亚麻籽有降低胆固醇、减低心脏负荷、促进细胞健康、促进大脑发育、改善关节炎、减轻哮喘、减轻过敏反应、改善肾功能、提升抗压力、改善女性经前综合征及减肥等功效。此外，亚麻籽油富含 α -亚麻酸， α -亚麻酸是 ω -3系列脂肪酸的母体，是必需脂肪酸，人体不能合成，只能通过食物补充。 ω -3系列脂肪酸属于多不饱和脂肪酸，对人体有多种生理保健功能。人体只有摄入 α -亚麻酸，才能在体内合成EPA和DHA（深海鱼油的主要成分）。缺乏 α -亚麻酸将影响人体的正常发育和健康，导致各种疾病的发生。适量食用亚麻籽油是补充亚麻酸的最有效方法。

随着亚麻籽种植业的发展，亚麻籽深加工技术在亚麻籽产业中的地位日益突出，如从亚麻籽中提取亚麻籽油、亚麻蛋白、亚麻籽胶、亚麻木脂素等功能性成分。亚麻籽产业链的发展迫切需要一部对实际生产加工具有明确指导作用的技术专著。

亚麻籽深加工技术实用性很强，辐射面很宽，属于交叉性应用学科，既属于生命科学的范畴，又涉及工程技术领域，同时还与环境工程、食品工业、农业科学等有密切的关系。本书的编写坚持科学研究与推广普及二者有机融合，在内容上充分考虑亚麻籽生产加工的实用性，紧密结合市场和生产企业的实际需求。

全书共分八章，由河南科技大学任广跃、朱文学主编，河南工业大学张振山、河南科技大学刘丽莉为副主编。全书具体分工如下：第一章、第二章由河南科技大学任广跃编写，第三章由河南科技大学刘丽莉、段续编写；第四章由河南科技大学刘丽莉、朱文学编写；第五章由河南科技大学陈俊亮编写；第六章由河南工业大学张振山、河南科技大学任广跃编写；第七章由河南科技大学尤晓颜编写；第八章由河南科技大学毛爱霞、任广跃编写；全书由任广跃、朱文学教授统稿定稿。本书除获得河南科技大学学术著作出版基金资助外，还获河南省重大科技专项（121199110110）的支持。在本书的撰写过程中也得到了河南科技大学食品与生物工程学院同事和河南科技大学科技处领导的大力支持和帮助，在此一并表示

由衷的谢意!

本书可作为广大亚麻籽加工企业职工的技术培训教材，可供农、林、食品专业的大专院校师生学习参考，还可供从事与亚麻籽产业相关的科技人员参考。

限于编者水平，书中不免有疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

2015年2月

目 录

▶ 第一章 概述 1

第一节 亚麻籽的分类和分布	2
第二节 亚麻籽的结构和成分	6
第三节 亚麻籽开发的现状和前景	8
一、亚麻籽油	8
二、亚麻胶	10
三、亚麻蛋白	11

▶ 第二章 亚麻籽油的制备技术 13

第一节 亚麻籽压榨法制油	13
一、生产原理	13
二、生产工艺	14
三、国内外相关研究	17
第二节 亚麻籽浸出法制油	19
一、基本原理	19
二、浸出法制油工艺分类	20
三、浸出设备	21
四、浸出法制油技术与工艺设计概要	23
五、溶剂选择	27
六、影响浸出效果的因素	30
七、国内外相关研究	32
第三节 亚麻籽超临界法制油	33
一、超临界流体的定义	33
二、超临界萃取的原理	33

三、超临界 CO ₂ 流体的特点	35
四、超临界流体萃取的基本流程	35
五、超临界 CO ₂ 萃取亚麻籽油的工艺	36
六、国内外相关研究	37
第四节 亚麻籽超声波辅助制油	38
一、超声波辅助提取原理	38
二、超声波辅助提取特点	39
三、国内外相关研究	39
第五节 亚麻籽水酶法制油	40
一、水酶法的定义	40
二、水酶法基本原理	40
三、水酶法的工艺特点	41
四、国内外相关研究	41
第六节 亚麻籽的其他制油方法	42
一、膜分离技术	42
二、微波辅助提取技术	43

▶ 第三章 亚麻籽油功能产品的开发

45

第一节 亚麻籽油胶囊的制备	45
一、概述	45
二、微胶囊技术	46
三、油脂的微胶囊技术	47
四、亚麻籽油微胶囊的制备实例	58
第二节 亚麻籽油粉末油脂的制备	59
一、亚麻籽油粉末油脂简介	59
二、粉末油脂的制备方法	60
三、粉末油脂在食品工业中的应用	70
第三节 亚麻籽油中亚麻酸的提取	73
一、亚麻酸简介	73
二、亚麻酸的生理功效	74
三、亚麻酸的提取	74
四、展望	88
第四节 亚麻籽油冷饮的开发	89

一、概述	89
二、亚麻籽油在冷饮中的应用	91
三、亚麻籽油在冰激凌中的应用及作用	92
四、亚麻籽油在雪糕加工中的应用	100
五、亚麻籽油在酸乳中的应用	102
六、亚麻籽油在冷饮中的优势及应用前景	103
第五节 含亚麻籽油糕点的开发	103
一、糕点概述	103
二、亚麻籽油在糕点中的应用	106
三、酥类糕点的加工工艺	109
四、其他糕点的加工工艺	113
五、糕点中油脂卫生质量分析	116

▶ 第四章 亚麻蛋白的开发与利用

118

第一节 亚麻蛋白营养特性	118
一、引言	118
二、亚麻蛋白的蛋白质分级组	119
三、亚麻蛋白的制取	120
四、亚麻蛋白功能特性的研究	121
五、亚麻蛋白的研究进展	126
六、亚麻蛋白制品	127
七、亚麻蛋白与人体健康密切相关	128
八、亚麻籽及其饼粕中的亚麻蛋白	131
九、亚麻蛋白在食品行业应用中的功能特性	132
第二节 亚麻蛋白制备及纯化	136
一、蛋白质提取与制备原理	136
二、植物蛋白的提取技术	137
三、植物蛋白的分离纯化技术	141
四、亚麻饼粕蛋白提取工艺	144
第三节 亚麻蛋白的应用	148
一、引言	148
二、亚麻籽蛋白在火腿制品中的应用	148
三、面包中的应用	149

四、低脂午餐肉的应用	151
五、乳化肠中的应用	151
六、果冻中的应用	152
七、盐水火腿中的应用	153
八、亚麻籽蛋白乳饮料的应用	154
九、肉类制品的应用	154
十、亚麻籽蛋白在粮食加工中的应用	157
十一、亚麻籽蛋白粉在糖果中的应用	157
十二、亚麻籽蛋白在蛋糕加工中的应用	158
十三、亚麻籽蛋白在冰激凌中的应用	158
十四、医药工业中的应用	158
十五、亚麻籽蛋白在畜禽饲料中的应用	159
十六、亚麻籽蛋白在洗发水中的应用	161
十七、展望	162

► 第五章 亚麻籽胶的开发与利用

163

第一节 亚麻籽胶的特性	163
一、引言	163
二、亚麻籽胶的组成与结构	165
三、亚麻籽胶的物理性质	166
四、亚麻籽胶的化学性质	166
五、亚麻籽胶的功能性质	167
第二节 亚麻籽胶的制备及纯化	177
一、引言	177
二、亚麻籽胶提取原料的选择	178
三、亚麻胶的浸提	179
四、亚麻胶的分离与浓缩	193
五、亚麻胶的干燥	193
第三节 亚麻籽胶的应用	197
一、引言	197
二、亚麻胶在肉制品中的应用	198
三、亚麻胶在乳制品中的应用	205
四、亚麻胶在淀粉制品中的应用	209

五、亚麻胶在面制品中的应用	213
六、亚麻胶在其他食品中的应用	213
七、亚麻籽胶在其他工业中的应用	213

▶ 第六章 亚麻木脂素的开发与利用 215

第一节 亚麻木脂素的营养及功能特性	215
一、植物雌激素简介	215
二、亚麻籽木脂素的组成、结构及其含量	216
三、亚麻木脂素在人体内的代谢	219
四、植物雌激素的药理活性	225
五、亚麻木脂素的功能特性	225
第二节 亚麻木脂素的制备及纯化	230
一、植物有效成分常用提取方法	230
二、植物有效成分常用分离方法	235
三、亚麻木脂素的制备	241
四、亚麻木脂素的纯化	249
五、亚麻木脂素的检测	253
第三节 亚麻木脂素稳定化的研究	257
一、添加稳定剂	257
二、微胶囊化	258
第四节 亚麻木脂素的应用	264
一、亚麻木脂素在食品中的应用	264
二、亚麻木脂素在临床医学中的应用	264
三、亚麻木脂素在化妆品中的应用	265

▶ 第七章 亚麻籽的脱毒 266

第一节 亚麻籽毒素成分	266
一、引言	266
二、生氰糖苷的组成、含量及结构特性	266
三、生氰糖苷的理化性质	267
四、生氰糖苷的代谢	269
五、生氰糖苷的致毒作用	269

六、生氰糖苷的生物合成	270
七、转基因生氰植物的应用研究	271
八、生氰植物分布	272
第二节 亚麻籽毒素检测	274
一、引言	274
二、生氰糖苷的定性检测	275
三、生氰糖苷的定量检测	276
第三节 亚麻籽脱毒工艺	295
一、亚麻籽脱毒工艺的研究进展	295
二、亚麻籽脱毒的主要工艺方法	298

▶ 第八章 亚麻籽壳仁分离 324

第一节 亚麻籽壳仁分离方法	324
一、引言	324
二、亚麻籽脱壳技术及研究现状分析	325
第二节 亚麻籽壳仁分离工艺及其装置	327
一、引言	327
二、亚麻籽脱皮工艺及装置	327

▶ 参考文献 336

第一章

概 述

亚麻籽 (flaxseed 或 linseed) 又称胡麻子, 是亚麻科、亚麻属一年生或多年生草本植物亚麻的种子 (图1-1)。亚麻是世界上最古老的作物之一。国际上现在通常认为亚麻原产于波斯湾、黑海及里海等地区, 在埃及、印度和西欧各国均有悠久的栽培历史。这一点可以从 5000 年前古埃及木乃伊所用亚麻织成的衣料及古牌上所绘的图形得到证明。

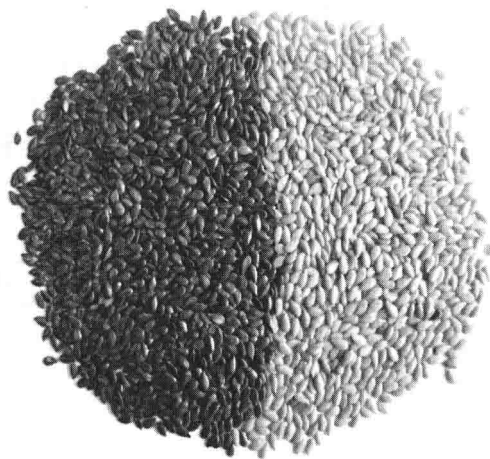


图 1-1 亚麻籽

亚麻在我国最早出现在汉代, 由特使张骞于公元前 2 世纪从西域带回, 并在陕西、山西等地种植。初始亚麻籽主要作药用, 公元 11 世纪苏颂《图经本草》中载: “亚麻籽出兖州, 味甘, 微温, 无毒……治大风疾。”说亚麻仁有养血祛风、补益肝肾的功效, 用来治疗病后虚弱、眩晕、便秘等症。又据《滇南本草》所载, 亚麻的根“大补元气, 乌须黑发”, 茎“治关风痛”, 叶“治病邪入窍, 口不能言”。之后, 人们又对亚麻进行了多种开发利用, 16 世纪, 在

《方土记》一书中曾这样评价亚麻的用途：“亚麻籽可榨油，油色青绿，燃灯甚明，入蔬香美，秸可作薪，粕可肥田。”由此可见，当时人们对亚麻的应用已非常普遍。20世纪初期，当时的清政府从日本引进了由俄国培育的纤维亚麻品种，并在东北进行了种植，与棉花、羊毛相比，亚麻纤维柔软性和弹性不足，但强力高，而特殊的纺织技术可将亚麻纤维纺成高织纱并织成精美的织物，从此，亚麻开始在我国用于棉纺织业。

第一节 亚麻籽的分类和分布

亚麻的品种较多，大致可分为3类：油用亚麻、纤维用亚麻和油纤两用亚麻，其种子均可榨油。油用亚麻结籽多，含油高，每株结蒴果40~100个，纤维用亚麻结蒴果1~10个，油纤两用亚麻结蒴果10~40个。亚麻籽是亚麻蒴果内的种子，每个蒴果含种子6~10粒。油用亚麻，又称胡麻，种子中富含油脂，通常作为油料作物栽培。纤维用亚麻，即通常所说的亚麻，茎秆中富含纺织行业所需的高品质纤维，通常作为麻类栽培。油用亚麻和纤维用亚麻在我国均有大量种植。根据种植面积和产量的统计，油用亚麻是我国5大油料作物之一，而纤维用亚麻是我国4大麻类之一。亚麻在生物学特性方面喜欢凉爽湿润气候，耐寒、怕高温，因此亚麻在我国主要分布于东北、华北以及西北地区。其中，东北主要种植纤维用亚麻；西北和华北以种植油用亚麻为主。2000—2008年中国亚麻的种植面积和产量如表1-1所示。

表 1-1 中国亚麻的种植面积和产量（2000—2008年）

年份	油用亚麻		纤维用亚麻	
	种植面积/ 10^3hm^2	总产量/t	种植面积/ 10^3hm^2	总产量/t
2008	339.9	268 301	66.7	283 908
2007	353.9	368 853	86.6	414 771
2006	397.6	362 136	157.7	694 604
2005	413.6	425 987	152.9	669 241
2004	448.7	450 497	155.1	464 746
2003	452.8	408 906	138.5	524 281
2002	402.2	252 645	141.3	345 175
2001	497.87	343 748	96.22	214 377
2000	551.62	403 534	53.70	169 628

在世界范围内，亚麻籽平均年产量为240万吨左右，居世界油料产量的第七位，1960年以来，油用亚麻的收获面积逐渐减少，1964年收获面积为 $8.05 \times$

10⁶ hm²，到了2004年降为2.52×10⁶ hm²，降低了69%。20世纪60年代世界总产量在3.5×10⁶ t左右波动，其中最高为1970年的4.23×10⁶ t，进入70年代后产量始终在2.5×10⁶ t上下波动，显示了世界对亚麻籽的稳定需求（见图1-2）。

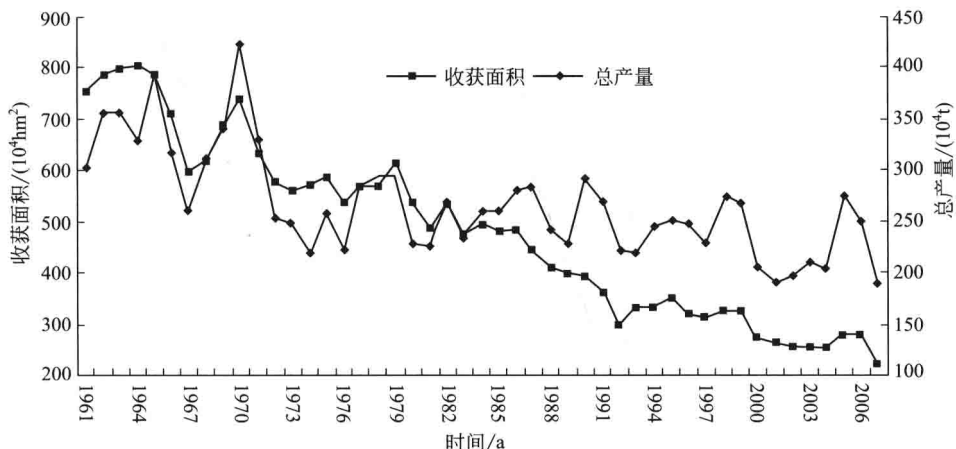


图 1-2 1961—2007 年世界亚麻籽收获面积和产量变化

亚麻籽主产区为加拿大、阿根廷、美国、中国、印度等国家。20世纪60年代美国的产量名列世界第一，加拿大和印度紧随其后；进入70年代，美国的产量明显降低，加拿大成为世界第一生产国，印度第二；20世纪80年代中期以后，中国的产量明显增加，超过印度成为世界第二生产国，美国生产萎缩落到世界第四；进入21世纪后，由于人们发现了亚麻籽的各种新价值，美国的亚麻籽生产迅速恢复超越印度成为世界第三生产国（见图1-3）。2007年加拿大和中国的亚麻籽产量合计占到世界的60%（见表1-2）。

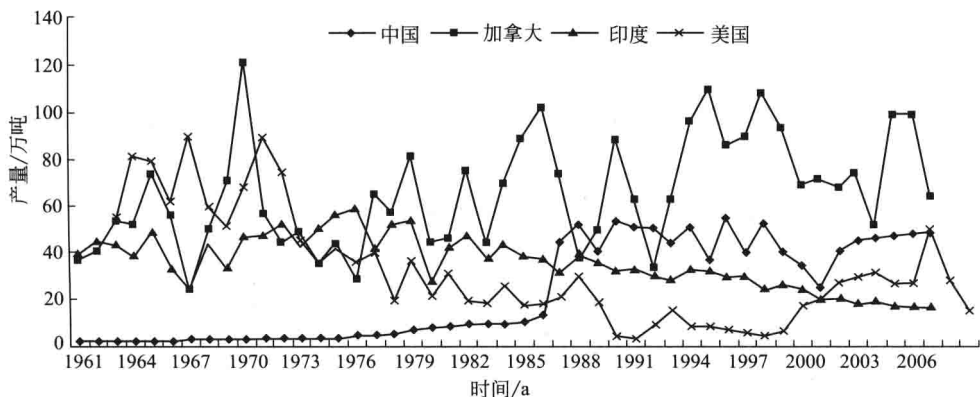


图 1-3 1961—2007 年中国、美国、加拿大、印度亚麻籽产量变化

表 1-2 2007 年亚麻籽生产世界排名前五位的国家

国家	产量/t	产量占世界比例/%	收获面积/hm ²	收获面积占世界比例/%	单产/(kg/hm ²)
加拿大	633500	33.79	524000	24.01	1208.9
中国	480000	25.60	480000	22.00	1000
印度	167000	8.91	426000	19.52	392
美国	149963	8.00	141235	6.47	1061.8
埃塞俄比亚	67000	3.57	100000	4.58	670

注：所有原始数据均来源于 FAO。

亚麻生产受经济因素的影响很大，包括与粮食作物的比价等。20 世纪 60 年代以来，国内亚麻籽价格总体趋势是上升的，在 1997 年达到最高（2200 元/t），随后价格迅速下降，到 1999 年的 1533 元/t，以后价格逐年回升，到 2005 年达到 2040 元/t，接近历史最高水平（见图 1-4），这与近几年国内总产量的波动相一致。世界粮食价格自 2004 年不断提高，特别是 2007 年上涨迅猛，对油用亚麻生产冲击较大。

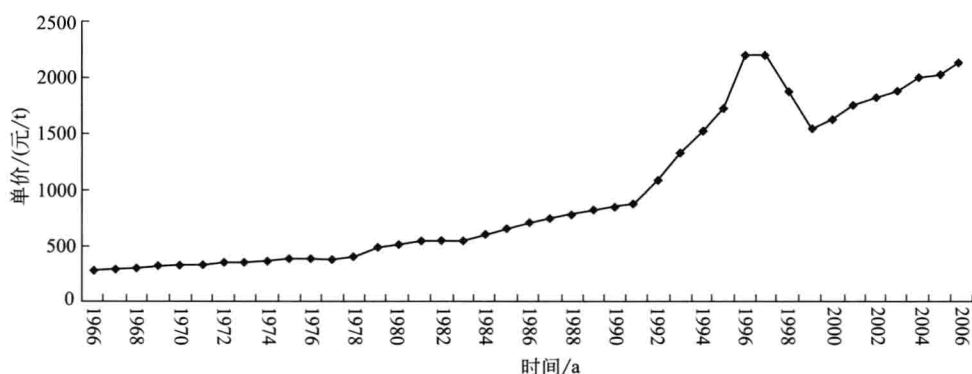


图 1-4 1966—2006 年国内亚麻籽价格变化

随着品种改良和栽培技术的不断进步，过去半个世纪世界亚麻籽单产不断提高。亚麻籽世界平均产量由 20 世纪 60 年代的每公顷 450kg，到 2005 年达到 850kg，单产提高一倍多，其中 20 世纪 80 年代后单产提高迅速，平均每年提高 10.6kg（见图 1-5）。中国、美国、加拿大三国 20 世纪 60 年代单产水平接近，但在随后的几十年间加拿大单产稳步提高，期间波动较小，90 年代单产达到最高值 1300kg，进入 2000 年后稍有回落（在 1200kg 左右）。美国与加拿大情况相似，但增长速率明显不及加拿大，同样也是在 90 年代出现了最高的单产 1200kg，并稳定至今。中国的单产水平在波动中有所提高，2007 年单产已超过世界平均水平达到 1000kg（见图 1-5、表 1-2）。目前埃及的亚麻

籽单产位居世界首位（2004—2007 年平均 1757.4kg/hm²），其次是英国（1702.3kg/hm²）、瑞典（1631.4kg/hm²）、德国（1404.1kg/hm²）、加拿大（1204.5kg/hm²）。亚麻在埃及有数千年的种植历史，其育成的品种优良，适应当地气候，栽培手段先进，可保证其单产较高。由于世界单产的持续提高，在种植面积有所降低的同时，保证了世界亚麻籽产量的稳定。

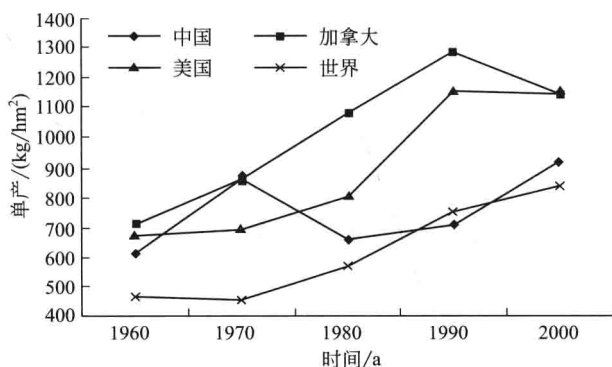


图 1-5 不同年代三个国家的单产变化

2006 年，亚麻籽主要净出口国是加拿大、俄罗斯联邦、乌克兰、英国和阿根廷，而主要净进口国是比利时、美国、德国、中国和意大利；亚麻油主要出口国是比利时、美国、加拿大、阿根廷和乌克兰，而主要进口国是荷兰、中国、日本、意大利和埃塞俄比亚（见表 1-3）。美国作为世界第四大生产国，仍然大量进口亚麻籽，占年产量的 70%，除了本国消费外，大量出口亚麻油；比利时本国产量有限，但是其加工能力很强，大量进口亚麻籽加工后出口亚麻油。中国作为世界第二的生产国，仍然要进口亚麻籽，同时大量进口亚麻油才能满足国内的需求，说明国内油用亚麻供不应求，有进一步发展油用亚麻生产的必要。日本亚麻油年进口量与中国相当，主要从加拿大进口。如果中国亚麻籽生产供过于求时，这应该是中国的潜在出口市场。

表 1-3 2006 年世界亚麻籽和亚麻油主要进出口国

单位：t

国家	进口量	国家	出口量
亚麻籽			
比利时	419871	加拿大	642266
美国	100249	俄联邦	39842
德国	70919	乌克兰	24180
中国	32954	英国	16928
意大利	20831	阿根廷	11039

续表

国家	进口量	国家	出口量
亚麻油			
荷兰	18362	比利时	65180
中国	10223	美国	38578
日本	10042	加拿大	9073
意大利	8937	阿根廷	5256
埃塞俄比亚	7401	乌克兰	2651

第二節 亚麻籽的结构和成分

亚麻籽由表皮、胚乳和子叶三部分组成。亚麻籽的横截面结构如图 1-6 所示。

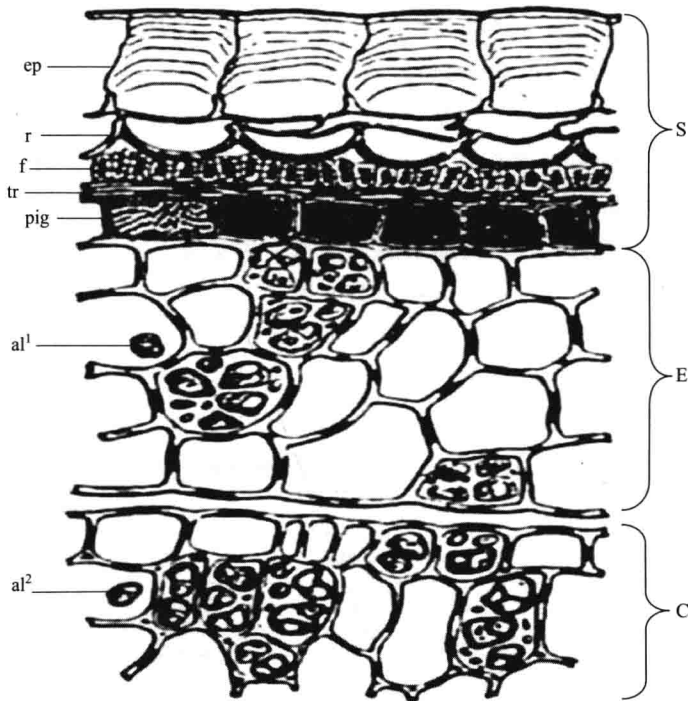


图 1-6 亚麻籽横截面结构 (×300)

S—种子；ep—表皮；r—周边细胞；f—纵向纤维；tr—横向纤维；pig—色素细胞；E—胚乳；al¹—胚乳中的糊粉粒；C—子叶；al²—子叶中的糊粉粒