

杂交水稻品质育种学

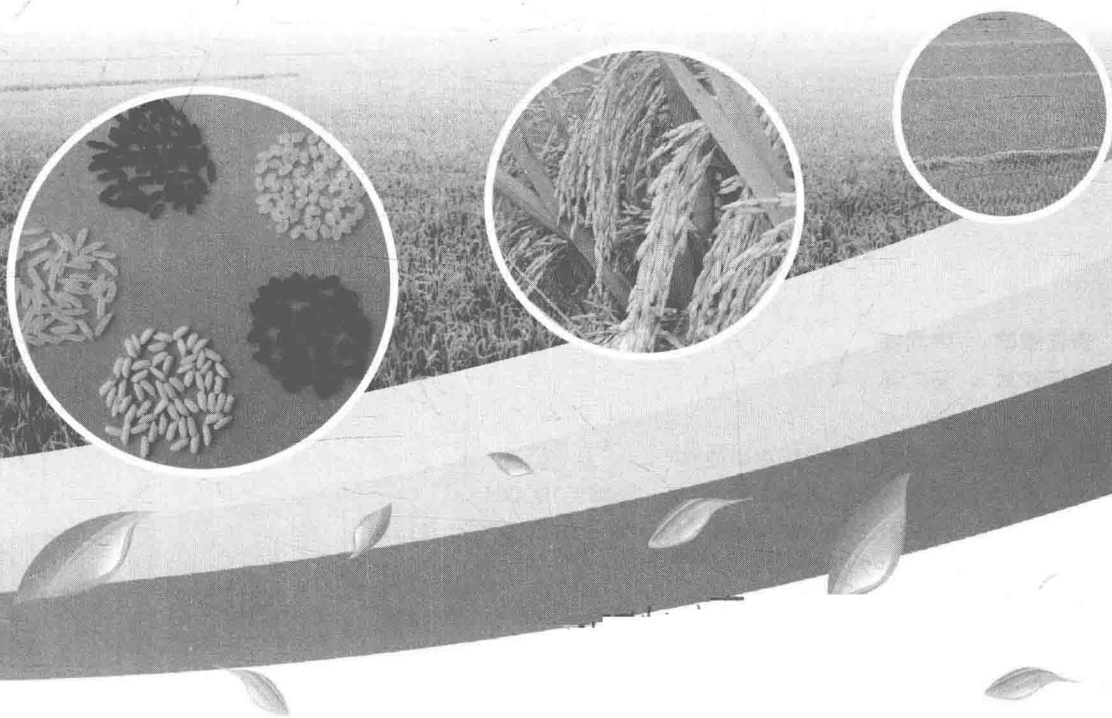
◎ 钟海明 主编



中国农业科学技术出版社

杂交水稻品质育种学

◎ 钟海明 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

杂交水稻品质育种学 / 钟海明主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2016. 5

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2581 - 6

I. ①杂… II. ①钟… III. ①杂交 - 水稻 - 品质育种
IV. ①S511.038

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 076153 号

责任编辑 张国锋

责任校对 马广洋

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 787mm × 1 092mm 1/16

印 张 17.25

字 数 440 千字

版 次 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价 68.00 元

—— 版权所有 · 翻印必究 ——

基金项目

两系杂交水稻优良亲本创制及其组合选育研究 (20142BBF60070)

江西现代农业科研协同创新专项 (JXXTCX2015001—002—03)

国家水稻产业技术体系 (CARS—01) 暨江西省水稻产业技术体系专项 (JXARS—02—10)

《杂交水稻品质育种学》

编写人员名单

主 编 钟海明

副 主 编 柳美南

编写人员

钟海明 柳美南 颜春龙 陈锦桥

王可可 刘平安 李 勤 赖 丹

陈慧珍 唐 杰

前 言

杂交水稻是我国 20 世纪最伟大的科学技术成就之一，被誉为我国的第二次绿色革命。杂交水稻的推广应用，使我国近 14 亿人口摆脱了饥饿，吃上了饱饭，为我国全面进入小康社会提供了粮食安全保障。

随着我国全面推进小康社会建设，人民的生活水平不断得到提高，人们对主食稻米的要求也越来越高。不仅要求口味好，而且要求看相好；不仅要求品质优良，而且要求品质多样，以满足多种多样的消费需求。这就为杂交水稻育种提出了新的要求，同时也是水稻育种工作者的动力。

我国杂交水稻的研究始于 20 世纪 60 年代，70 年代便取得成功并应用于生产。目前，杂交水稻研究正如火如荼，“三系”与“两系”齐头并进，超级杂交水稻研究方兴未艾，杂交水稻的研究应用已走向了世界。同时，也创造了一系列的理论成果，在理论指导下，产量不断提高、品质不断优化。

杂交水稻研究已经成为一门完整的学科，包括育种理论与技术、繁制理论与技术、栽培理论与技术等方面，前辈们已经著有《杂交水稻育种栽培学》《杂交水稻学》《杂交水稻繁制学》等一系列著作，指导着杂交水稻研究不断深入地向前发展。随着稻米品质在杂交水稻育种中的地位越来越重要，我们编著了《杂交水稻品质育种学》一书，希望能起到抛砖引玉的作用；但愿本书的出版对杂交水稻的品质育种有所帮助。

本书引用的国内外参考文献达 426 篇，在此，对参考文献的作者们表示衷心感谢！由于篇幅的限制，本书仅注明了其中的 198 篇，我们对未注明的 228 篇参考文献的作者们表示深深的歉意！

本书定稿后，江西省萍乡市农业科学研究所所长刘建萍同志对部分内容提出了宝贵意见；中国发明与专利杂志社主编金克勇同志对本书的出版给予了大力支持，在此，我们一并致谢！由于作者水平有限，疏漏和欠妥之处在所难免，恳请广大读者和同仁批评指正。

编 者

2015 年 12 月 21 日

于江西省萍乡市农业科学研究所

目 录

第一章 稻谷和稻米	1
第一节 稻谷的形态结构	1
一、谷壳	2
二、糙米	2
第二节 稻米的主要化学成分	4
一、碳水化合物	4
二、含氮物质	5
三、脂类	6
四、维生素	6
五、矿物质	6
六、主要化学成分在稻米中的分布	7
第三节 水稻品种间化学成分含量的差异	11
一、品种间直链淀粉含量的差异	12
二、品种间蛋白质含量的差异	15
三、品种间氨基酸含量的差异	18
四、品种间维生素、矿物质含量的差异	21
第四节 稻米的特殊成分	24
一、稻米的色素	24
二、稻米的挥发性物质	25
第二章 稻米品质形成	27
第一节 胚乳组织的形态建成	27
第二节 物质在胚乳内的累积	29
一、贮藏物质向谷粒内运输	29
二、物质在胚乳内的累积	30
第三节 胚乳组织中的淀粉粒	34
一、淀粉粒的累积	34
二、淀粉粒的发育	35
三、淀粉粒的性质	35
四、淀粉粒的结构与稻米品质	35

第四节 胚乳组织中的蛋白质	37
一、蛋白粒的发育	37
二、糊粉粒	38
第五节 米粒成熟	38
一、稻米品质与灌浆特性	38
二、米粒成熟的田间表现	42
第三章 稻米品质性状	43
第一节 稻米品质概述	43
第二节 稻米的碾米品质	43
第三节 稻米的外观品质	46
一、粒形	46
二、垩白粒率、垩白大小、垩白度	48
三、透明度	49
四、白度	49
五、阴糯米率	49
第四节 稻米的蒸煮食味品质	49
一、概述	49
二、直链淀粉含量	50
三、糊化温度	51
四、胶稠度	52
五、米粒延伸性	57
六、香味	57
七、米饭质地与食味	58
第五节 稻米的营养品质	60
第四章 稻米品质评价与测定	62
第一节 稻米品质的分级与评价	62
一、我国对稻米品质分级评价的探索	62
二、食用稻品种品质标准 (NY/T-593-2002, NY/T-594-2002)	63
第二节 碾米品质测定	66
一、样品处理	67
二、糙米率测定	67
三、精米率测定	67
四、整精米率测定	68
第三节 外观品质测定	68
一、长宽比测定及粒型评定	68
二、垩白测定	69
三、透明度测定	69
四、油分测定	70
五、白度测定	70

六、阴糯米率测定	70
第四节 蒸煮食味品质测定	70
一、直接品尝	70
二、总淀粉含量测定	72
三、直链淀粉含量测定	73
四、胶稠度测定	74
五、糊化温度测定 (碱消化法)	75
六、米粒延伸性测定	76
七、香味快速测定	76
第五节 营养品质测定	76
一、稻米粗蛋白质测定	76
二、赖氨酸测定	78
第五章 稻米品质性状的遗传	81
第一节 稻米品质性状的遗传特征	81
一、世代特征	81
二、倍性特征	81
三、分离特征	81
四、遗传控制特征	81
五、遗传表达特征	82
第二节 稻米品质性状的遗传表现	82
一、碾米品质的遗传表现	82
二、外观品质的遗传表现	83
三、蒸煮食味品质的遗传表现	89
四、营养品质的遗传表现	100
五、其他品质性状的遗传	102
第三节 稻米品质性状的遗传相关	104
一、稻米品质性状之间的相关性	104
二、稻米品质性状与农艺性状之间的相关性	111
第四节 稻米品质性状的杂种优势	114
一、杂种优势的基本概念	114
二、品质性状杂种优势的表现	115
第五节 稻米品质性状的细胞质遗传效应	127
一、籼型杂交稻米品质性状的细胞质遗传效应	127
二、粳型杂交稻米品质性状的细胞质遗传效应	127
三、籼粳交杂交稻米品质性状的细胞质遗传效应	129
第六章 稻米品质的影响因素	130
第一节 主要杂交水稻的稻米品质	130
一、杂交水稻稻米品质的表现特征	130
二、主要杂交水稻品质表现	131

三、杂交水稻稻米品质的现状及改良成效·····	139
第二节 杂交水稻稻米品质性状的配合力·····	145
一、籼型杂交水稻亲本的配合力·····	146
二、粳型杂交亲本的配合力·····	147
第三节 气象因素对稻米品质的重要影响·····	148
一、温度的作用·····	149
二、光照的作用·····	151
第四节 栽培管理对稻米品质的影响·····	155
一、肥料对稻米品质的影响·····	155
二、水分及土壤类型对稻米品质的影响·····	158
三、影响稻米品质的其他因素·····	159
第七章 “三系”不育系的品质改良·····	162
第一节 主要不育系资源类型·····	162
一、野败型·····	162
二、矮败型·····	162
三、冈型·····	163
四、D 型·····	164
五、红莲型·····	165
六、印尼水田谷型·····	166
七、BT 型·····	166
八、滇一型、滇三型·····	167
第二节 生产上的主要不育系及其品质表现·····	168
一、不育系的生产要求·····	168
二、生产上应用的主要不育系·····	168
第三节 “三系”不育系品质改良进展·····	172
一、丝苗 A·····	172
二、Y 华农 A·····	172
三、T98A·····	173
四、德山 A·····	173
五、宜香 I A·····	174
六、美 A·····	174
七、D702A·····	174
八、湘 8A·····	175
九、803A·····	175
十、粤丰 A·····	176
十一、金山 A-1·····	176
十二、中浙 A·····	176
十三、玉香 A·····	177
十四、Q1A·····	177

十五、619A	178
十六、D62wxA	178
十七、辐糯 2A	178
十八、糯 9A	178
十九、黑糯不育系 186A	179
二十、双九 A	179
二十一、爱知香 A	180
二十二、嘉 60A	180
二十三、绍糯 9714A	180
第四节 “三系”不育材料的获得途径	181
一、自然突变	181
二、种间杂交	181
三、籼粳杂交	182
四、地理上远距离的或不同生态类型品种间杂交	182
第五节 保持系的品质改良及优质不育系的转育	183
一、优良保持系的基本条件	183
二、保持系品质的改良方法	184
三、“三系”优质不育系的转育	186
第八章 “两系”不育系的品质改良	189
第一节 光温敏核不育系的选育指标	189
第二节 光温敏核不育材料的来源	189
一、自然突变	189
二、远缘杂交	190
三、人工诱变	190
第三节 光温敏核不育系育性转换稳定性鉴定	190
一、鉴定原则	191
二、鉴定方法	191
第四节 主要光温敏核不育系	193
一、培矮 64S	193
二、2301S	193
三、贺 S	194
四、康 201S	194
五、广占 63S	195
六、GD-1S	195
七、芷 139S	196
八、1892S	197
九、Y58S	197
十、P88S	197
十一、株 1S	198

十二、108S	198
十三、明糯 S-1	198
十四、荃香糯 S	199
十五、明香 10S	199
第五节 优质光温敏核不育系的选育	199
一、亲本的选择	199
二、优质光温敏核不育系的选育途径	200
三、优质实用光温敏核不育系育性转换起点温度的加压筛选	204
第九章 恢复系品质性状的遗传改良	207
第一节 主要恢复系及其品质评价	207
一、三系杂交水稻主要恢复系及其品质表现	207
二、两系杂交水稻主要恢复系	214
三、杂交水稻恢复系品质存在的主要问题	216
第二节 恢复系恢复基因的遗传	217
一、三系杂交水稻恢复系的恢复基因	217
二、光温敏核不育水稻育性恢复的遗传特点	223
第三节 三系杂交水稻优质恢复系的选育	224
一、测交筛选	224
二、杂交选育	225
三、辐射诱变	232
第四节 两系杂交水稻优质恢复系的选育	233
一、基本原理	233
二、选育方法	233
三、优质两系恢复系的选育技术	233
第十章 不同品质特征杂交水稻的配组	235
第一节 杂交水稻配组品质性状表现的一般规律	235
一、粒型	235
二、垩白	235
三、糙米率	236
四、精米率	236
五、整精米率	236
六、直链淀粉含量	236
七、胶稠度	236
八、糊化温度	236
九、蛋白质含量	236
十、氨基酸含量	237
十一、脂肪含量	237
第二节 优质杂交水稻组合配组亲本选择原则	237
一、优质原则	237

二、选择具有等位基因的不育系和恢复系配组·····	237
三、根据性状互补原则,适当选择不育系和恢复系·····	237
四、根据品质性状杂种优势的表现及配合力来选择配组的不育系和恢复系·····	238
第三节 优质食用杂交水稻组合的配组·····	238
第四节 高直链淀粉含量杂交水稻的选配·····	239
第五节 高蛋白质含量杂交水稻的配组·····	240
第六节 香型杂交水稻的配组·····	241
第七节 糯性杂交水稻的配组·····	242
第八节 有色稻米杂交水稻的配组·····	243
第九节 功能型杂交水稻的配组·····	244
第十一章 问题与展望·····	246
第一节 杂交水稻品质的现状·····	246
第二节 品质改良前景展望·····	246
一、降低垩白粒率和垩白度,是杂交水稻品质改良的重点·····	246
二、培育具有等位基因的不育系和恢复系·····	247
三、培育一系杂交水稻·····	247
四、功能型杂交水稻的研究及应用·····	247
五、个性化栽培技术配套研究,确保优良的品质性状能够得到充分表达·····	247
附表 英文缩写中文对照·····	249
参考文献·····	251

第一章 稻谷和稻米

水稻生产的目的收获物是稻谷，但人类食用的部分是稻米。去掉稻谷外层的谷壳，内面是一粒糙米，糙米经过精碾后成为供人们食用的精米。本章重点介绍稻谷的结构和稻米的化学成分。

第一节 稻谷的形态结构

通常所说的水稻种子——稻谷，从植物学的角度看，它是水稻的果实，叫颖果，是含有单粒种子的果实。成熟的稻谷，种皮和果皮紧密地粘合在一起，两者不易分开，稻谷结构主要有谷壳、糙米、胚乳和胚（图1-1）。

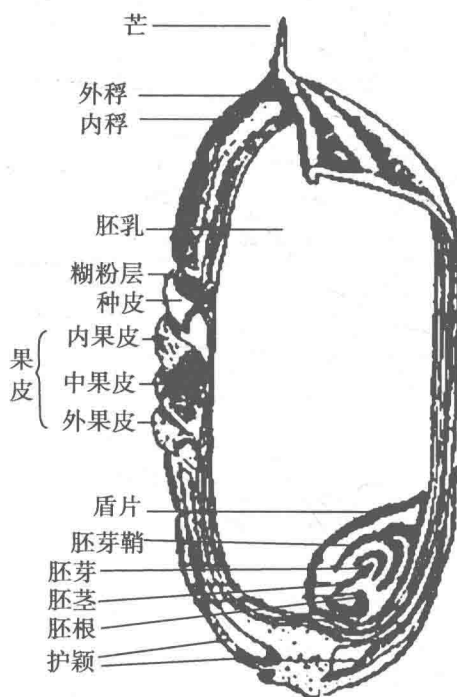


图1-1 稻谷的形态结构

一、谷壳

稻谷的外壳俗称谷壳，植物学上叫颖，包括外颖、内颖、护颖和颖尖。外颖和内颖也称为外稃和内稃，表面生有茸毛，不同类型的水稻品种外稃和内稃上茸毛的希密、长短有差异。外稃上有5条脉，内稃上有3条脉；外稃的尖端叫颖尖，颖尖延伸形成芒。内稃和外稃由钩状结构组合在一起。成熟的谷壳细胞含有大量的纤维素和硅，高度木质化，质地粗糙而坚硬，干燥时表现为质脆、易于破裂。一般籼稻的谷壳较厚，组织紧密；粳稻的谷壳较薄，组织疏松。谷壳是谷粒的保护组织，保护谷粒不受外界湿、热、虫、菌的侵入，所以籼稻比粳稻更耐贮藏，而糙米率则粳稻大于籼稻。谷壳重量占整个谷粒重量的18%~22%。

稻谷颖的颜色和特征，是鉴别品种的重要依据之一。内外稃有淡黄、黄、金黄、赤褐、黑褐、黄褐、紫黑等色泽；护颖有黄、赤、赤褐、紫等颜色；而芒的颜色又有黄、浅红、褐红、紫褐等。

二、糙米

稻谷的谷壳去掉之后，就是糙米，也叫颖果。糙米是由果皮、种皮、糊粉层、胚和胚乳组成。果皮占1%~2%；种皮加糊粉层占4%~6%；胚占2%~3%；胚乳是糙米的主要部分，占89%~94%。在显微镜下可以看到，在果皮和种皮的表面上有1层表皮细胞，紧接着有6~7层薄壁细胞，糙米表皮是由子房表皮发育而来的，薄壁细胞相当于中果皮。成熟的糙米中果皮薄壁细胞已经死亡，组织崩坏而成海绵状（图1-2），其下有1层排列整齐的横细胞，壁较厚。横细胞下面是管细胞，这些细胞在子房的成熟初期排列紧密，在成熟过程中，各细胞按糙米的纵向伸长，成为细长的带状。以上表皮细胞、中果皮、横细胞和管细胞组成糙米的果皮。

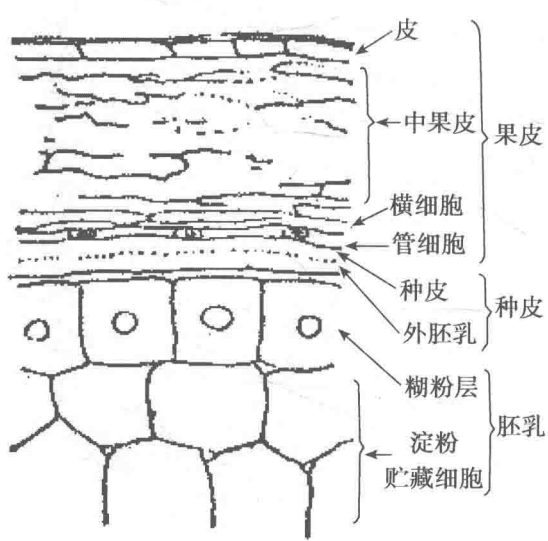


图1-2 果皮和种皮

种皮是与果皮紧密粘连的薄膜，是由子房、内胚珠的珠被发育而来的，糙米成熟后，各细胞崩坏成一致的膜状组织，破裂了的细胞残骸遗留组织内。在种皮下面是外胚乳膜，这是

一层几乎与种皮粘连的薄膜，是由子房珠心组织的表皮发育而来的，在成熟的米粒中，难以与种皮分开，因而一般将两者合称为种皮。

糙米的果皮和种皮合称为籽实皮。糙米经过碾精以后成为精米。籽实皮厚的，糠多而精米率低；籽实皮薄的糠少而精米率高。籽实皮的厚薄，不同品种间存在差异，同时也与土肥条件有关。种植于砂土上的水稻，其稻米的籽实皮较薄，施氮过多则籽实皮较厚。

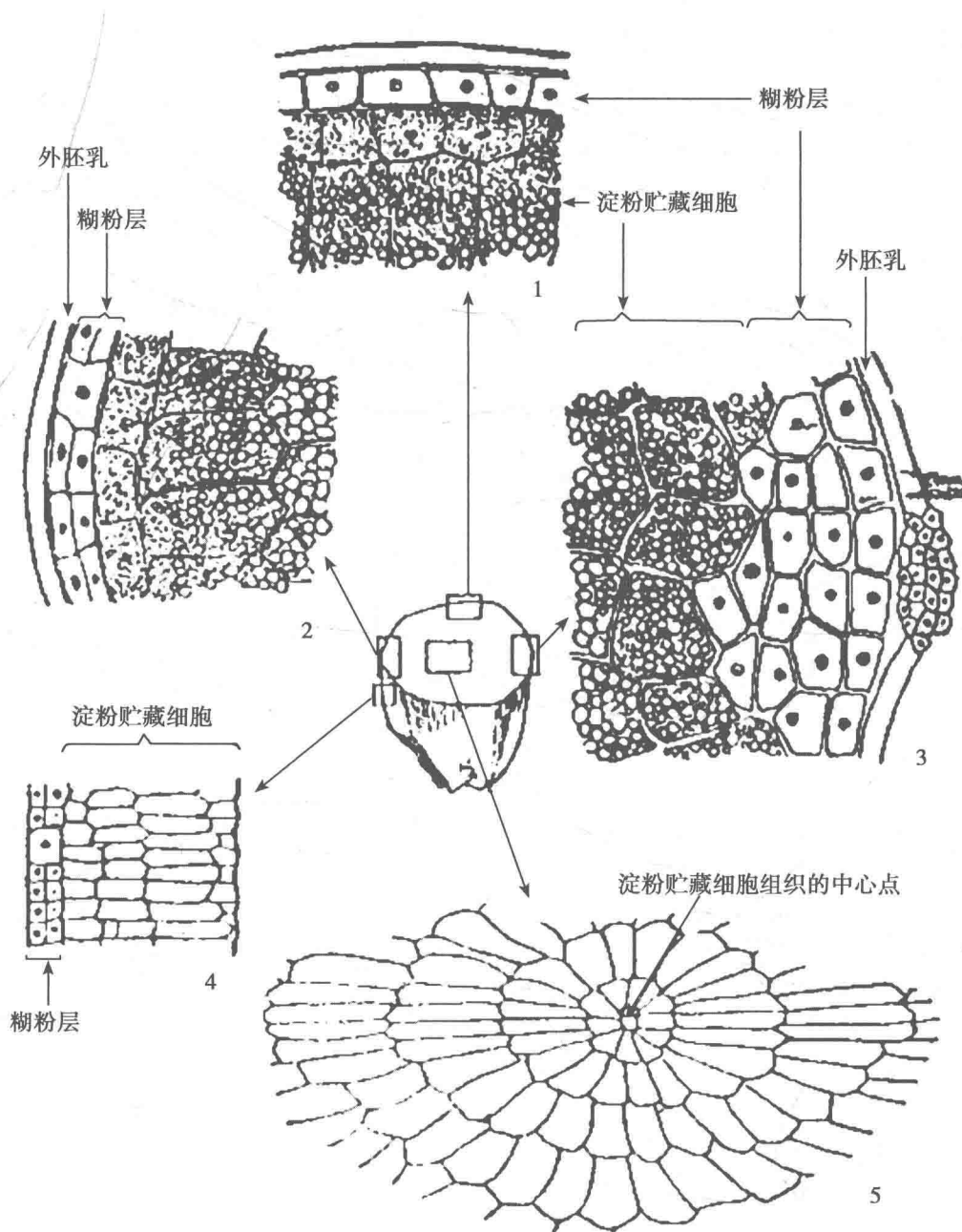


图 1-3 胚乳横切面

1. 侧部；2. 腹部；3. 背部；4. 一部分腹部的纵切面；5. 中心部

胚极小，位于米粒腹部的下端，包括胚芽、胚根、胚茎和子叶等组成部分。胚芽被1个圆筒形的胚芽鞘所保护，胚根则包裹于一团软组织即胚根鞘中。胚茎极短，连接胚芽和胚根。胚芽鞘包被于盾片和在外胚叶之中，胚芽鞘的维管束与盾片的侧部相融合。胚与胚乳连接不是很紧密，精碾时容易脱落。加工精度高的大米实际只剩下胚乳。

胚乳的外表面包裹着糊粉层，内部是淀粉贮藏的薄壁细胞（图1-3）。糊粉层是由糊粉细胞组成的，它的侧面有1层（图1-3-1），腹部有1~2层（图1-3-2），背面特别是与输导组织相连接的部分则有5~6层（图1-3-3）。而与胚连接的部分，即盾片内侧却没有糊粉层，这就导致了糙米在精碾时皮糠脱落不均一。糊粉细胞是一些近似立方体的小型细胞，细胞中贮藏着蛋白质、糊粉粒、脂肪酶等，但不含淀粉粒。糊粉细胞的内侧有1层细胞称为亚糊粉层，形状与糊粉细胞相似，细胞内也含蛋白质、脂肪等，亚糊粉层中贮藏有淀粉，但没有内部细胞多。

在糊粉层的内部是淀粉贮藏组织。连接糊粉层的细胞比糊粉细胞稍大，且越进入内部组织细胞越大，图1-3-4是胚乳纵切面图，胚乳的横切面图见图1-3-5。各细胞中充满着淀粉粒，且越是在胚乳组织里面细胞，其中的淀粉粒越大。在淀粉粒的小间隙中贮藏有蛋白质。如果空隙间充满了蛋白质，胚乳即成为半透明坚硬状外貌；要是在胚乳的发育过程中，这些胚乳的某个部位没有充分蓄积淀粉和蛋白质，则就会形成不透明的垩白、背白或心白。

第二节 稻米的主要化学成分

化学成分是构成稻米的基础物质，稻米中各种化学成分在质和量上的差异，对其适口性和营养价值都有很大的影响。稻米中的主要化学成分可归纳为五大类：碳水化合物、含氮物质、脂类、维生素和矿物质。

一、碳水化合物

碳水化合物是稻米中的主要化学成分，是人体所需热量的最主要来源。碳水化合物也称为糖类，是由碳、氢、氧3种化学元素组成的。由1个糖分子构成的糖叫单糖，如葡萄糖、果糖等；由2个糖分子构成的糖叫双糖，如麦芽糖、蔗糖等；由3个糖分子构成的糖叫三糖；如棉子糖等；由多个糖分子构成的糖叫多糖，如淀粉、纤维素等。多糖不溶于水，而其他糖则具有水溶性，具有水溶性的糖叫做可溶性糖。在可溶性糖中，如葡萄糖、果糖、麦芽糖等具有还原能力，生物化学上将这些糖称为“还原糖”，而没有还原能力的则称为“非还原糖”，如蔗糖、棉子糖等。还原糖和非还原糖的总量叫做“全糖”。稻米中的还原糖几乎全部是葡萄糖，非还原糖很少，主要是棉子糖。

淀粉是稻米中的主要化学物质，占稻米中化学物总量的84%。淀粉是葡萄糖的聚合物，由多个葡萄糖分子链接而成。淀粉主要存在于稻米的胚乳细胞中，以多棱颗粒状形式存在。一般籽粒中央的胚乳细胞内首先形成淀粉粒，从发育到受精后15d直径可达30~40 μm ，而位于籽粒边缘的胚乳细胞内的淀粉粒则较小，直径一般只有10~20 μm 。水稻胚乳细胞内的淀粉粒都是以复粒形式积累，每一粒中有许多近似菱形或多角形的淀粉粒紧密地堆积在一起，整个多粒淀粉粒由1层膜包裹着，呈椭圆形。

稻米中的淀粉经热水处理后，可分为性质不同的2种成分：一种是可溶解的部分，称为