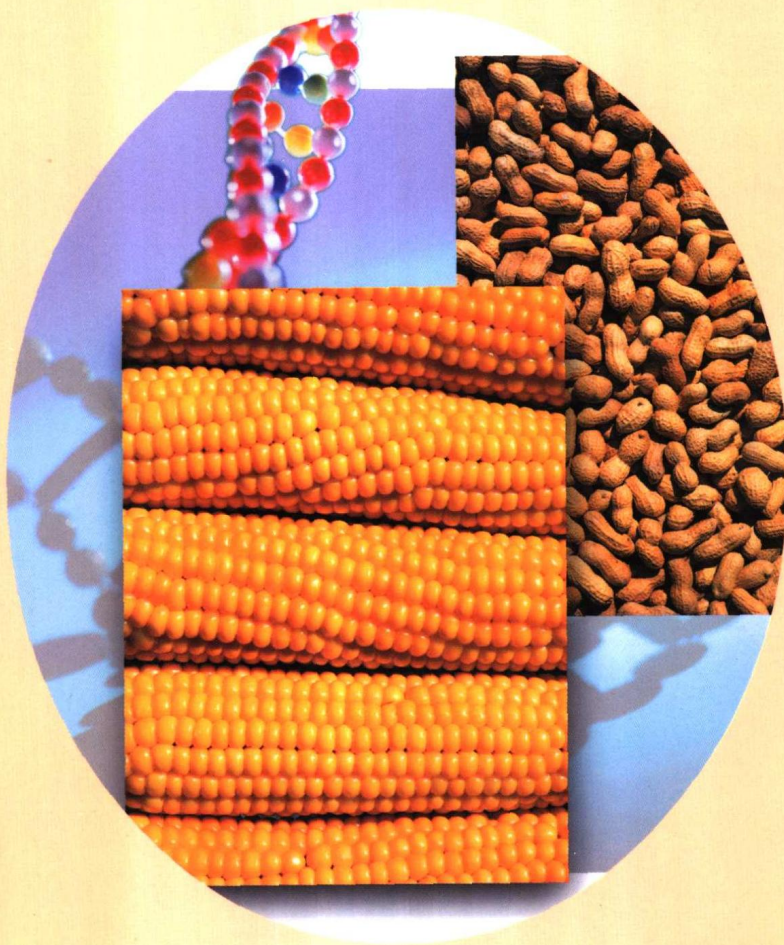


· 高等学校专业教材 ·

谷物科学原理

周惠明 主编

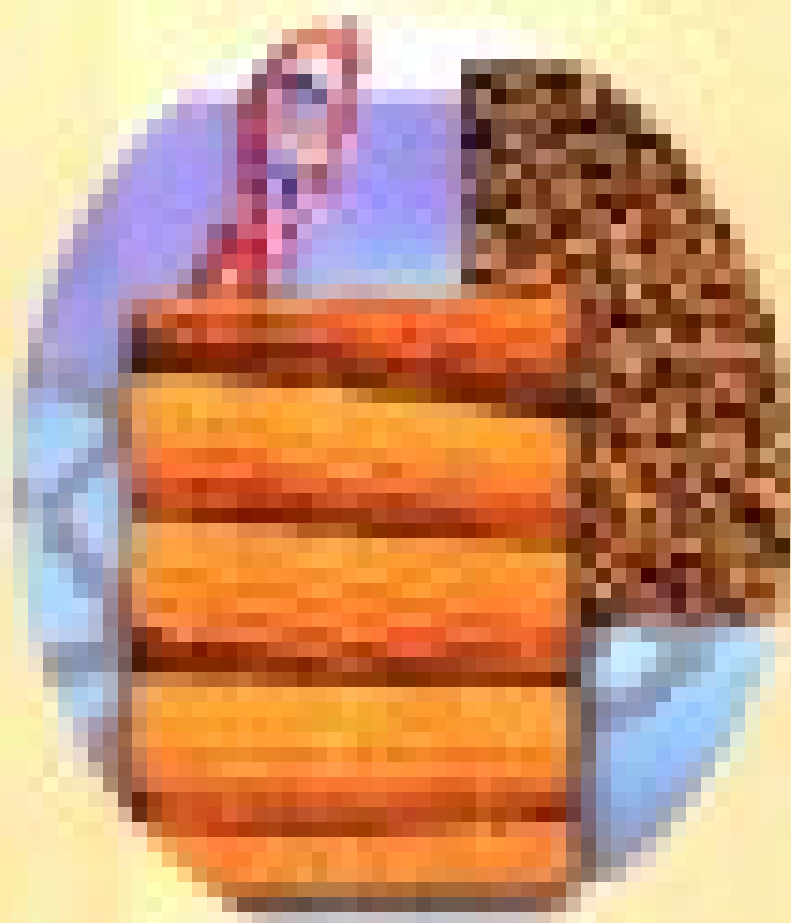


 中国轻工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

谷物科学原理

第二版 王宗



中国轻工业出版社

高等学校专业教材

谷物科学原理

周惠明 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

谷物科学原理/周惠明主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2003. 1

高等学校专业教材

ISBN 7-5019-3817-2

I. 谷… II. 周… III. 谷物-研究 IV. S51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 084164 号

责任编辑: 张彦

策划编辑: 李亦兵 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 杨焰龙

版式设计: 丁夕 责任校对: 李靖 责任监印: 吴京一

*

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.25

字 数: 534 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3817-2/TS·2273

定 价: 40.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

编写说明

谷物科学是食品科学领域中十分重要的内容,与人们的日常生活有密切的联系。谷物科学是一门古老又年轻的科学,随着科学技术的发展,谷物科学也取得了巨大的进步。食品科学与工程专业的学生了解谷物科学的基本原理,对于扩大他们的知识面,加深对食品的理解是十分重要的。

《谷物科学原理》是根据全国高等学校食品科学与工程专业教材编写委员会会议精神,为适应本科专业目录调整,重新制定食品科学与工程专业教学计划需要而编写的一本教材。

本书的第一章、第二章、第三章、第四章由钱海峰(江南大学)编写;第五章由赵学伟(国家粮食储备局郑州科学研究设计院)编写;第六章由卞科(郑州工程学院)编写;第七章由周惠明(江南大学)编写;第八章由姜元荣(江南大学)编写;第九章、第十章由陈正行(江南大学)编写。

本书的编写过程中,参考和引用了已出版的各种教材和教学参考书中的有关资料,在此一并表示感谢。

《谷物科学原理》是一本新编的教材,需要在教学实践中不断丰富和完善。由于编写时间比较紧,书中难免存在错误和疏漏,敬请读者批评指正。

周惠明
江南大学

目 录

第一章 谷物的生产与构造	(1)
第一节 稻谷.....	(2)
第二节 小麦.....	(3)
第三节 玉米.....	(8)
第四节 大麦.....	(9)
第五节 高粱	(11)
第六节 粟	(13)
第七节 燕麦	(15)
复习题	(16)
参考文献	(16)
第二章 谷物淀粉	(17)
第一节 谷物淀粉概述	(17)
第二节 淀粉粒的结构	(18)
第三节 谷物淀粉的性质	(22)
一、淀粉的分子结构	(22)
二、淀粉的物理性质	(26)
三、淀粉的化学性质	(30)
第四节 淀粉转化	(30)
一、淀粉转化糖	(30)
二、淀粉发酵制品	(36)
三、淀粉改性	(37)
复习题	(46)
参考文献	(46)
第三章 谷物蛋白质	(47)
第一节 蛋白质分子的组成	(47)
一、蛋白质的元素组成	(47)
二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸	(47)
三、氨基酸的分类	(47)
第二节 蛋白质的结构及其功能	(50)
一、蛋白质的一级结构	(50)
二、蛋白质的空间结构	(50)
三、蛋白质的结构与功能的关系	(53)
第三节 蛋白质的理化性质	(53)
一、蛋白质的胶体性质	(54)
二、蛋白质的两性电离和等电点	(54)

三、蛋白质的变性	(54)
四、蛋白质的沉淀	(55)
五、蛋白质的呈色反应	(56)
第四节 蛋白质的分类	(57)
一、简单蛋白质	(57)
二、结合蛋白质	(58)
第五节 蛋白质的分离、提纯和鉴定	(59)
第六节 谷物蛋白质	(60)
一、小麦蛋白质	(60)
二、其他谷物的蛋白质	(63)
复习题	(67)
参考文献	(68)
第四章 谷物的其他成分	(69)
第一节 非淀粉多糖	(69)
一、纤维素	(69)
二、半纤维素和戊聚糖	(70)
三、低聚糖	(72)
四、果胶物质	(73)
第二节 脂类	(74)
一、脂类的一般概念	(74)
二、油脂	(74)
三、蜡	(79)
四、磷脂	(80)
五、其他脂类	(84)
六、小麦粉中的脂类与烘焙品质的关系	(87)
第三节 酶类	(88)
一、淀粉酶	(88)
二、蛋白酶	(89)
三、酯酶	(90)
第四节 维生素	(91)
一、维生素的分类和命名	(91)
二、脂溶性维生素的化学特点和生理功能	(92)
三、水溶性维生素的化学特点和生理功能	(94)
第五节 矿物质	(97)
一、谷物中的灰分	(97)
二、谷物中矿物质元素的种类和存在状态	(98)
三、矿物质元素的生理功能	(99)
复习题	(99)
参考文献	(99)

第五章 谷物干燥	(101)
第一节 谷物干燥原理	(101)
一、谷物中的水分	(101)
二、湿空气特性	(102)
三、热量传递过程	(105)
四、谷物的薄层干燥	(106)
五、谷物的冷却	(111)
六、谷物的缓苏	(111)
第二节 谷物干燥特性	(112)
一、谷物的物理特性	(113)
二、谷物的热特性	(116)
第三节 谷物干燥方法	(121)
一、对流干燥法	(121)
二、传导干燥法	(125)
三、辐射干燥法	(126)
四、组合干燥法	(127)
五、谷物冷却的几种形式	(127)
第四节 谷物干燥机	(129)
一、固定床通风干燥机	(129)
二、低温通风干燥仓	(130)
三、高温连续干燥机	(133)
四、循环干燥机	(138)
五、流化床干燥机	(138)
六、转筒干燥机	(140)
七、谷物烘后裂纹	(140)
八、干燥系统供热设备	(145)
九、谷物干燥系统	(147)
复习题	(147)
参考文献	(148)
第六章 谷物安全贮藏	(149)
第一节 谷物贮藏概述	(149)
一、发达国家粮食贮藏简介	(149)
二、中国的粮食贮藏技术研究进展	(150)
三、贮藏技术发展趋势	(151)
第二节 粮食贮藏生态系统	(152)
第三节 谷物贮藏过程中的变化	(154)
一、影响谷物贮藏稳定性的主要因素	(154)
二、谷物贮藏过程中主要组分的变化	(159)
三、微生物所引起的粮食发热与霉变	(162)
四、由贮粮害虫所引起的粮食品质变化	(167)

第四节 谷物贮藏技术	(167)
一、机械通风	(167)
二、适时密闭	(172)
三、低温贮藏技术	(173)
四、气调贮粮技术	(177)
五、缺氧贮藏技术	(180)
六、“双低”贮粮技术	(182)
第五节 小麦和小麦粉的贮藏	(182)
一、小麦的贮藏特性	(182)
二、小麦的贮藏方法	(183)
三、小麦粉的贮藏特性	(184)
四、小麦粉的贮藏方法	(185)
第六节 稻谷和大米的贮藏	(185)
一、稻谷的贮藏特性	(185)
二、稻谷的贮藏方法	(187)
三、大米的贮藏	(188)
四、糙米的贮藏	(190)
第七节 玉米的贮藏	(191)
一、玉米的贮藏特性	(192)
二、玉米的贮藏方法	(193)
复习题	(194)
参考文献	(194)
第七章 谷物干法加工	(196)
第一节 脱壳碾米	(196)
一、概述	(196)
二、搓撕脱壳	(197)
三、选糙	(202)
四、擦离碾白和研削碾白	(207)
五、稻谷加工的产品和副产品	(213)
第二节 多道研磨制粉	(217)
一、小麦水分调节	(217)
二、选择性粉碎	(224)
三、逐道研磨	(228)
四、麦路与粉路	(230)
五、通用小麦粉与专用小麦粉	(242)
第三节 其他谷物加工	(250)
一、玉米制粉	(250)
二、燕麦压片	(255)
三、大麦脱壳精碾	(256)
复习题	(256)

参考文献	(257)
第八章 谷物湿法加工	(258)
第一节 玉米淀粉的生产	(258)
一、原料的选择与清理	(258)
二、玉米浸泡	(258)
三、玉米籽粒的破碎和胚芽的分离洗涤	(260)
四、纤维的分离和洗涤	(261)
五、淀粉与蛋白质的分离	(262)
六、淀粉的洗涤精制	(263)
七、淀粉的干燥	(263)
第二节 小麦面筋蛋白与小麦淀粉的生产	(264)
一、小麦面筋蛋白	(264)
二、小麦淀粉	(265)
三、谷朊粉和小麦淀粉的生产工艺	(265)
四、小麦面筋粉的干燥	(267)
第三节 米粉的加工	(267)
一、水磨糯米粉的加工	(268)
二、米淀粉的加工	(268)
三、水磨糯米粉与米淀粉的用途	(269)
复习题	(269)
参考文献	(269)
第九章 谷物加工副产品的利用	(270)
第一节 植物化学素	(270)
一、类胡萝卜素	(270)
二、生物黄酮	(270)
三、纤维素	(271)
四、燕麦的 β -葡聚糖	(273)
五、三磷酸肌醇	(275)
第二节 稻谷加工副产品的利用	(276)
一、稻谷加工的副产品	(276)
二、米糠和米胚的性质	(277)
三、米糠的利用	(284)
四、米胚的利用	(290)
五、碎米的利用	(290)
六、发芽糙米	(292)
第三节 小麦加工副产品的利用	(293)
一、小麦加工副产品	(293)
二、小麦胚的利用	(293)
三、麦麸和次粉的利用	(297)
第四节 玉米加工副产品的利用	(300)

一、玉米加工的副产品	(300)
二、玉米胚的利用	(300)
三、玉米皮的利用	(302)
四、玉米浆的利用	(303)
五、玉米蛋白粉的利用	(305)
复习题	(308)
参考文献	(308)
第十章 谷物中功能性成分的提取与分离方法	(309)
第一节 生物细胞破碎	(309)
一、机械破碎方法	(310)
二、物理破碎方法	(311)
三、化学破碎方法	(311)
四、酶学破碎方法	(312)
第二节 色谱分离技术	(312)
一、吸附色谱	(313)
二、分配色谱	(316)
三、离子交换色谱	(325)
四、凝胶色谱	(328)
五、亲和色谱	(331)
第三节 离心分离	(333)
一、离心机的种类与用途	(333)
二、离心方法的选择	(334)
三、离心条件的确定	(335)
第四节 超临界流体萃取	(337)
一、基本原理和方法	(337)
二、超临界流体萃取的应用	(340)
第五节 膜分离技术	(340)
一、膜	(341)
二、膜分离技术的类型和特性	(341)
三、膜分离的优点	(344)
复习题	(344)
参考文献	(345)

第一章 谷物的生产与构造

禾谷类作物都属于单子叶的禾本科(gramineae)植物,生产干的单种果实,这类果实就是“颖果”,通常称为“籽粒”,具有外果皮、果皮、种皮、胚乳、胚等基本结构,各结构之间的联系也大致相同。禾谷类果实的基本构造分为皮层、胚和胚乳三部分。

果皮和种皮合称皮层。

果皮由子房壁发育而成,一般分三层,即外果皮、中果皮和内果皮。但稻谷、小麦、玉米等果皮分化均不明显,外果皮通常由一层或两层表皮细胞所组成,常有茸毛和气孔,可依茸毛的有无和多少来确定品种。如硬粒小麦,上端无茸毛或不明显,而普通小麦茸毛很长。中果皮大多数只有一薄层,内果皮一层至数层不等。果皮有颜色,是由于花青素或其他杂色体存在导致的。未成熟的果实中含大量叶绿素。

种皮由一层或两层珠被发育而成,外珠被发育成外种皮,内珠被发育成内种皮。外种皮革质、坚韧、质厚;内种皮多呈薄膜状。禾谷类果实的种皮只留有一层细胞,故不易查清楚或只留有痕迹。在种皮细胞中不含细胞质,所以这种细胞是无生命的。

在种皮上留有脐,禾谷类作物的脐很小。

胚是种子的最主要部分,是受精卵发育而成的。各类种子的胚形状各异,但基本器官大体是相同的。胚可分为胚芽、胚茎(轴)、胚根和子叶四部分。

(1)胚芽。胚芽也称幼芽,是叶和茎的原始体,位于胚茎的上端。它的顶端是茎的生长点。胚芽在萌发前分化程度不同,有的在生长点基部形成一片或数片初生叶,有的只是一团分生细胞。禾本科植物的胚芽由3~5片胚叶所组成,着生在最外部的一片呈圆筒状,称为芽鞘。

(2)胚茎。胚茎又称胚轴,是连接胚芽和胚根的部分。在种子发芽前大都不明显,它位于子叶着生点以下,因此也称下胚轴。胚茎与胚根的界限,从外观上看不清楚,只有通过解剖才能看出。禾本科籽粒在发芽时,胚芽显著生长,下胚轴仍然很短,籽粒则遗留在土中。

(3)胚根。胚根又称幼根,在下胚轴下面,为植物未发育的初生根,有一条或多条。在胚根中已经能区分出初生根的构造,在根尖有分生细胞,当种子萌发时这些分生细胞很快分化而产生根部的次生根组织。禾本科植物的胚根外包着两层薄壁组织,称为胚根鞘。当种子萌发时,胚根突出根鞘而伸入土中。

(4)子叶。子叶即种胚的幼叶。禾本科植物只有一片子叶,称内子叶或单子叶、子叶盘、值片。子叶在发芽时能分泌酶,分解并吸收胚乳中的养料,以供胚利用。

每粒种子通常只有一个胚,但有时也有多胚现象,这种现象在禾本科较普遍。禾谷类籽粒的胚呈扁平型,很小,位于胚乳的侧面或背面的基部。如稻谷、小麦、玉米等。

由极细胞受精后直接发育成的胚乳称为内胚乳;由珠心层直接发育成的胚乳称为外胚乳。禾本科类籽粒的胚乳较发达。胚乳中贮藏着营养物质,主要由淀粉构成,所以禾本科作物一般被作为主食,如稻谷(rice)、小麦(wheat)、玉米(corn, maize)、大麦(barley)、高粱(sorghum)、粟(foxtail millet)、燕麦(oat)等。

第一节 稻 谷

目前的栽培稻绝大多数属于禾本科稻属(*Oryza*),普通栽培稻亚属(*Oryza Sativa* L),谷粒长4~7mm,分布极广。

普通栽培稻可分为籼稻和粳稻两个亚种。籼稻粒形细长而稍扁平,稃毛短而稀,一般无芒,即使有芒也很短,稻壳较薄,腹白较大,耐压性差,易折断,加工时碎米多,米质胀性较大而黏性较弱,并且与野生稻易杂交结实。粳稻则粒形短而宽厚,稃毛长而密,芒较长,稻壳较厚,腹白和心白较小或者完全没有,耐压性强,加工时不易产生碎米,故出米率高,米质胀性较小而黏性较强。

无论籼稻还是粳稻,根据其淀粉性质的不同,可分为糯稻和非糯稻两类,非糯稻又称黏稻,含直链淀粉10%~30%,色较深,呈半透明的角质状态,米质硬而脆,一般作主食之用。糯稻淀粉几乎全部为支链淀粉,色乳白,不透明,呈蜡状,米质较疏松,产量一般较低,适宜做糕点和酿酒之用。根据其生长期的长短不同,可以分为早稻、中稻和晚稻。另外,根据栽种地区土壤水分的不同,又可分为水稻和旱稻等。

稻谷是我国重要的粮食作物,它高产、稳产,适应性强,经济价值高。稻谷在我国国民经济中占极其重要的地位。

稻谷在收获时,黏附着稻壳,稻壳约占毛稻质量的20%,它是由花被(外稃和内稃)形成的,稻壳含有丰富的纤维素(25%)、木质素(30%)、戊聚糖(15%)和灰分(21%),灰分中含有大约95%的二氧化硅。

除去稻壳以后的稻谷称为糙米,它包括果皮、种皮、外胚乳、胚乳和胚等部分,在其中,胚乳占了米粒的最大部分,包括糊粉层和淀粉细胞。

通常,稻谷胚乳是硬质和半透明的,但是也有不透明的栽培品系,某些稻谷品种有不透明的区域(称为腹白),是由胚乳中的空气间隙所引起的,薄壁胚乳细胞紧紧地挤在一起,具有多角形的复粒淀粉(即一粒大的淀粉粒由许多小的淀粉粒所组成)和蛋白质,靠近糊粉层的胚乳细胞中的蛋白质比靠近胚乳中心细胞中的蛋白质多得多,多角形的复粒淀粉可能是在籽粒发育期内,由淀粉粒受压复合而成,在禾谷类作物中,稻谷和燕麦是仅有的两种具有复合淀粉粒结构的谷物,单个的稻谷淀粉颗粒是很小的,其直径仅为2~4 μm 。

糊粉层由排列整齐的近乎方形的厚壁细胞组成。糊粉层细胞比较大,胞腔中充满着微小的粒状物质,称做糊粉粒,其中含有蛋白质、脂肪、维生素和有机磷酸盐。淀粉细胞由横向排列的长形薄壁细胞组成。其细胞比糊粉层细胞更大,而且愈进入组织内部,细胞愈大。其纵向长度几乎相等,只是横向伸长。胞腔中充满着一定形状的淀粉粒,越是深入胚乳组织内部的细胞,其中淀粉粒越大。淀粉粒的间隙中,充满着一种类蛋白质的物质,如果此类物质多,淀粉粒挤得紧密,则胚乳组织透明而坚实,为角质胚乳,如果此类物质少,淀粉粒之间有空隙,则胚乳组织松散而呈粉状,为粉质胚乳。米粒的腹白和心白就是胚乳的粉质部分。

将稻谷经过一定的处理后制成横切片或纵切片,固定染色后在显微镜下观察,可以看出稻谷籽粒各部分的详细结构,如图1-1所示。

糙米碾白时,米粒的果皮、种皮、外胚乳和糊粉层等被剥离而成为米糠,果皮种皮称为外糠层,外胚乳和糊粉层称为内糠层。

糙米出糠率的大小取决于米糠层的厚度和糠层的表面积。在加工同一精度的大米时,品

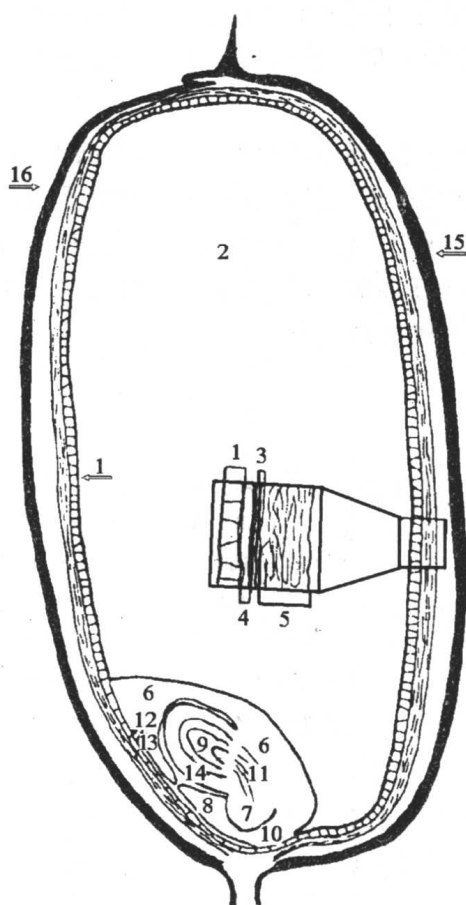


图 1-1 稻谷颖果的纵剖面示意图

1—糊粉层 2—胚乳 3—种皮 4—珠心层 5—果皮 6—盾片 7—胚根 8—外胚叶 9—胚芽
10—胚根鞘 11—中胚轴 12—腹鳞 13—侧鳞 14—胚芽鞘 15—外稃 16—内稃

质优良的品种及成熟而饱满的稻谷,因其纵沟较浅,糠层较薄,表面积相对减小,出糠率较低,出米率较高。此外,腹白和心白多的稻谷,结构疏松,硬度低,加工时易出碎米,品质较差,耐贮性差。有爆腰的稻谷,加工时碎米多。爆腰率与稻谷的晒干程度有关,稻谷晒得过干,爆腰率高,影响米的品质。

碾米时,除糠层被碾去外,大部分的胚也被碾下来。加工高精度的白米时,胚几乎全部脱落,进到米糠中。从理论上讲,白米应当是纯胚乳,但实际上,糠层和胚都不会完全被碾去。因此,根据米粒留皮的程度和留胚的多少可以判断大米的精度。大米的精度愈高,除去的糠层和糊粉层就愈多。糠层和糊粉层中含有极丰富的维生素和蛋白质。从营养角度看,不宜追求过高的加工精度。

第二节 小 麦

小麦属于禾本科大麦族小麦属,是越年生(冬小麦)或一年生(春小麦)草本植物。小麦喜温燥,耐寒力较强,又因其种类(冬、春麦)不同而适应范围较广,在各种土壤中均能栽培。小麦

是我国主要粮食作物之一,全国各地都有分布,种植面积仅次于水稻。世界上半数以上的人口以小麦作为主要食物,全世界栽培小麦的面积超过任何其他作物。小麦籽粒中含有蛋白质、脂肪、淀粉等营养物质,其蛋白质的含量一般约为 12% 左右,最高可达 25%。就营养价值来说,小麦高于稻米。

小麦籽粒为不带内外稃的颖果,其构成和纵横剖面如图 1-2、图 1-3 所示。麦粒平均长 8mm,重 35mg。麦粒大小随栽培品种及其在麦穗上的位置不同而呈现较大的差异,麦粒背面(有胚的一面)呈圆形,腹面(与胚相对的一面)有一条纵向腹沟,腹沟几乎有整个麦粒那么长,深度接近麦粒中心,两颊可能相互接触,这样就会掩盖腹沟的深度,腹沟不仅影响制粉时的出粉率,而且为微生物和灰尘提供藏匿的场所。

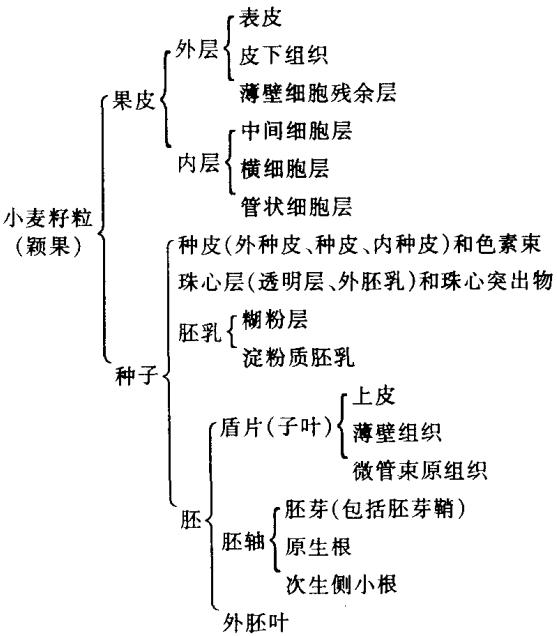


图 1-2 小麦籽粒的构成

小麦按籽粒质地可分为软质小麦和硬质小麦。籽粒横断面有一半或一半以上透明的为硬质小麦,籽粒横断面有一半以上不透明的为软质小麦。硬质小麦蛋白质含量较高,结构紧密,筋力好;软质小麦蛋白质含量较低,组织疏松,筋力较差。硬质小麦出粉率高,营养价值也较高,烤制面包品质好,但粉色较差。

影响小麦出粉率的因素是多方面的。一般籽粒大而饱满(即干粒重大)的小麦出粉率高。此外,皮层厚薄与出粉率密切相关,皮薄的小麦出粉率高于皮厚的小麦。

果皮包住整个种子,有若干层组织(图 1-4)。外果皮常称为表皮(beeswing)。外果皮的最内层由薄壁细胞的残余所组成,由于它们缺乏连续的细胞结构,从而形成一个分割的自然面。当它们裂解的时候,表皮即可脱掉。除去这几层,则有利于水分进入果皮内。

内果皮由中间细胞、横细胞和管状细胞组成。中间细胞和管状细胞都不完全覆盖整个籽粒。横细胞呈长圆柱形(约 $125\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$),其长轴垂直于麦粒的长轴。横细胞之间结构紧密,胞间隙小或没有。管状细胞的大小和形状与横细胞相同,但它们的长轴平行于麦粒的长轴。管状细胞之间不是板结相连,因此有许多胞间隙。整个果皮大约占籽粒的 5%,约含蛋白质 6%,灰分 2.0%,纤维素 20%,脂肪 0.5%,其余是戊聚糖。

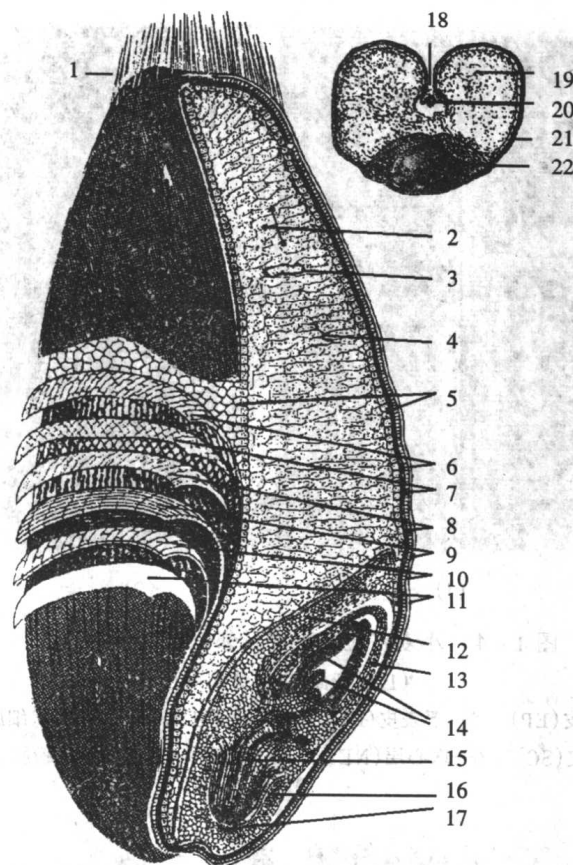


图 1-3 小麦籽粒的纵切面及横切面示意图

1—茸毛 2—胚乳 3—淀粉细胞（淀粉粒充填于蛋白质间质之间） 4—细胞的纤维壁 5—糊粉细胞层（属胚乳的一部分，与糠层分离） 6—珠心层 7—种皮 8—管状细胞 9—横细胞 10—皮下组织 11—表皮层 12—盾片 13—胚芽鞘 14—胚芽 15—初生根 16—胚根鞘 17—根冠 18—腹沟 19—胚乳 20—色素束 21—皮层 22—胚

种皮的外侧与管状细胞紧连，而内侧则与珠心层紧连。种皮由三层组成：较厚的外表皮；色素层（决定小麦颜色）；较薄的内表皮。白皮小麦的种皮只有两层压扁的纤维细胞层，含色素少或不含色素。种皮的厚度为 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 不等。珠心层（或称透明层）厚约 $7 \mu\text{m}$ ，紧夹在种皮和糊粉层之间。

糊粉层一般只有一层细胞厚，完全包围着整个麦粒，既覆盖着淀粉质胚乳，又覆盖着胚芽，从植物学的观点看，糊粉层是胚乳的外层。然而，制粉时，糊粉层随同珠心层、种皮和果皮一同被除去，而成为麸皮。糊粉细胞是厚壁细胞，基本上呈长方形，无淀粉（图 1-5）。细胞的平均厚度约为 $50 \mu\text{m}$ ，细胞壁厚 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ ，细胞壁中含有大量的纤维素。糊粉细胞包括一个大核和大量的糊粉粒。糊粉粒的结构和成分是复杂的。糊粉层含有相当高的灰分、蛋白质、总磷、植酸盐、脂肪和尼克酸。此外，糊粉层中的硫胺素和核黄素含量也高于皮层的其他部分，酶活性也高。包住胚部的糊粉细胞有所不同，是薄壁细胞，可能不含糊粉粒。胚部糊粉层的厚度平均约为 $13 \mu\text{m}$ ，或小于其他部位糊粉层厚度的 $1/3$ 。

小麦胚占籽粒的 $2.5\% \sim 3.5\%$ 。如图 1-2 所示，胚由两个主要部分组成：胚轴（不育根和茎）和盾片。盾片的功能是作为储备器官。胚含有相当高的蛋白质（ 25% ）、糖（ 18% ）、脂肪（胚轴含脂肪 16% ，盾片含脂肪 32% ）和灰分（ 5% ）。胚不含淀粉，但含有较高的 B 族维生

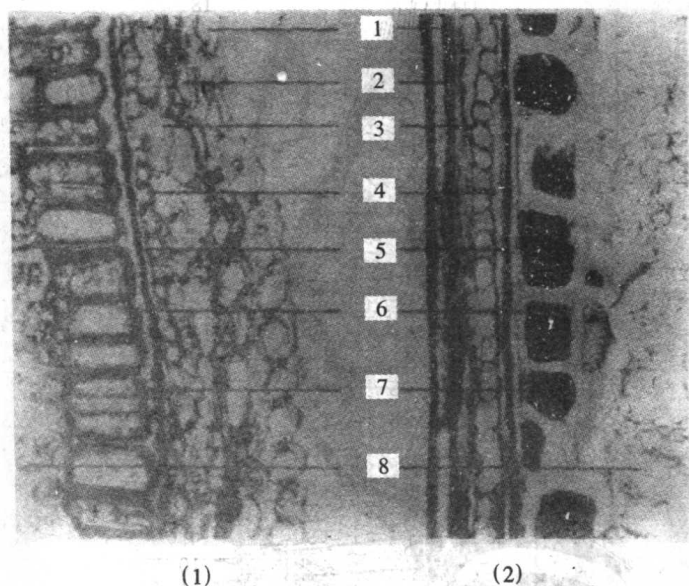


图 1-4 小麦籽粒的果皮及邻近组织的剖面图

(1)横切面 (2)纵切面

- 1—外表皮(EP) 2—下表皮(HP) 3—横细胞(CC) 4—管状细胞(TC)
5—种皮(SC) 6—珠心层(NE) 7—糊粉层(AL) 8—淀粉胚乳(E)

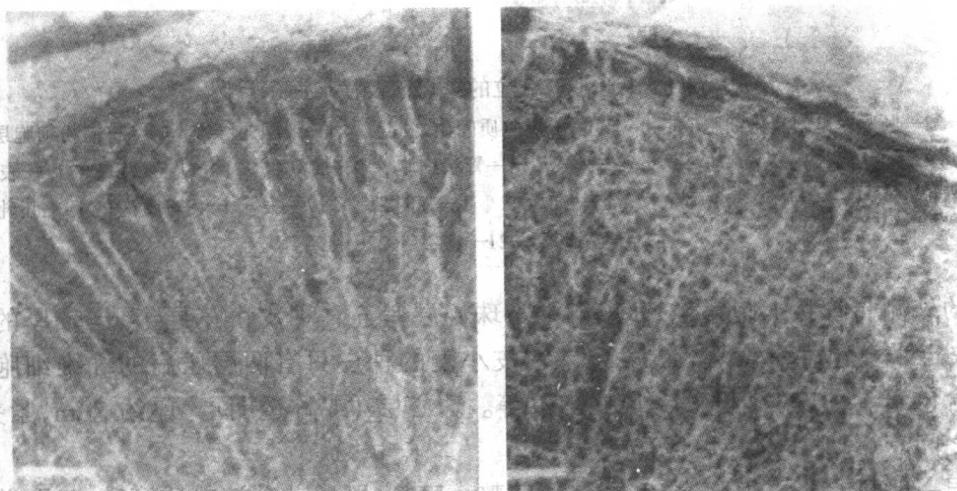


图 1-5 冬小麦切面扫描电子显微镜图

(1)硬质冬小麦:细胞壁破损 (2)软质冬小麦:细胞破损

胚中维生素 E(总生育酚)含量很高,其值可达 500mg/kg;糖类主要是蔗糖和棉籽糖。

淀粉胚乳不包括糊粉层,由三类细胞组成:边缘细胞、棱柱形细胞和中心细胞。淀粉细胞的大小、形状及在籽粒中的位置各异。边缘细胞是糊粉层下面的第一层细胞,一般较小,各方向的直径相等,大小为 $150\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 。中心细胞在棱柱形细胞里面,它们的大小和形状都较其他细胞不规则得多。