

● 农产品深加工系列 ●



稻谷加工与综合利用

主编 朱永义



中国轻工业出版社

农产品深加工系列

稻谷加工与综合利用

主 编 朱永义

副主编 阮少兰

编 委 周显青 郑学玲

 中国轻工业出版社

（北京）

图书在版编目 (CIP) 数据

稻谷加工与综合利用/朱永义主编. —北京: 中国轻工业出版社, 1999. 8

(农产品深加工系列)

ISBN 7-5019-2540-2

I. 稻… II. 朱… III. ①稻谷-粮食加工②稻谷-粮食副产品-综合利用 IV. ①S37②TS212.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 21426 号

责任编辑: 白洁 责任终审: 滕炎福 封面设计: 达冠桂仁图文设计公司
版式设计: 赵益东 责任校对: 方敏 责任监印: 胡兵

*

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>

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 11.25

字 数: 292 千字 插页: 1 印数: 1-3000

书 号: ISBN 7-5019-2540-2/TS·1541 定价: 27.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

前 言

民以食为天。古人云：“安民之本，必资于食，安谷则昌，绝谷则危”。全球约有一半左右人口以大米为主食。据统计，人们每年直接消费大米约3.4亿t，但尚有大量食用品质较差的大米及稻谷加工过程中的副产品未得到充分利用，可见碾米工业将是一个永不衰落的行业。

《稻谷加工与综合利用》是在收集近几年国外碾米工业大量科技成果与文献资料的基础上，结合作者多年来教学、科研与生产实践经验编写而成的。本书着重阐述稻谷、成品米及副产品的理化特性、加工品质、营养品质等基础理论，结合国情介绍大米及副产品增值利用的新技术。本书还紧密结合当前我国碾米工业的现状与国外发展动态，详尽论述了稻谷加工全过程的新工艺、新设备。

本书共分八章，编写分工如下：朱永义编写第五、六、七章；阮少兰编写第三、四章；周显青编写第一章第一、二节，第二章；郑学玲编写第一章第三节、第八章。

本书在编写中，承蒙许多专家、学者提供宝贵资料，谨致深厚谢意。

本书的编写得到了郑州粮食学院院长陈肇镇教授，王录民、黄伟俊、卞科等有关专家的指导和帮助，在此一并致谢。

如果本书能对教学、科研与生产起到一定作用，则是编者所衷心希望的。由于水平有限，本书缺点与错误在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 稻谷、成品米和副产品	(1)
第一节 稻谷	(1)
一、稻谷分类及其籽粒形态结构	(1)
二、稻谷的物理特性	(7)
三、稻谷的化学特性	(11)
四、稻谷加工过程中营养成分的损失	(15)
第二节 净谷与在制品	(16)
一、净谷	(16)
二、砻下物	(16)
三、谷糙混合物	(17)
四、糙米	(17)
第三节 成品米	(20)
一、大米的分类与质量标准	(20)
二、大米的营养成分	(21)
三、大米的食用品质	(31)
四、大米陈化	(38)
第二章 稻谷清理	(43)
第一节 概述	(43)
一、杂质的种类	(43)
二、清理的目的与要求	(44)

三、清理工艺效果的评定	(44)
第二节 清理的基本方法与原理	(46)
一、风选	(46)
二、筛选	(53)
三、密度分选	(74)
四、磁选	(89)
第三章 砻谷及砻下物分离	(97)
第一节 概述	(97)
第二节 砻谷	(98)
一、砻谷的基本方法与原理	(98)
二、典型砻谷设备	(100)
三、砻谷工艺效果的评定	(111)
四、影响胶辊砻谷机工艺效果的因素	(113)
第三节 稻壳分离与收集	(116)
一、稻壳分离	(116)
二、稻壳收集	(117)
第四节 谷糙分离	(119)
一、谷糙分离的基本方法与原理	(119)
二、典型谷糙分离设备	(121)
三、谷糙分离工艺效果的评定	(136)
四、影响谷糙分离设备工艺效果的因素	(137)
第四章 碾米	(141)
第一节 概述	(141)
一、碾米的目的与要求	(141)
二、碾米工艺效果的评定	(142)
第二节 碾米的基本方法与原理	(145)
一、碾米的方法	(145)

二、碾米的基本原理.....	(146)
第三节 典型碾米设备.....	(153)
一、铁辊碾米机.....	(153)
二、NS 型螺旋槽砂辊碾米机	(155)
三、NF·14 型旋筛喷风碾米机	(158)
四、丰收 1 号碾米机组.....	(161)
五、MNML 系列立式双辊碾米机	(164)
六、DSRD 型立式砂辊碾米机	(166)
第四节 影响碾米工艺效果的因素.....	(168)
一、糙米的工艺品质.....	(168)
二、碾米机的结构与工作参数.....	(169)
三、碾白道数和出糠比例.....	(174)
四、流量.....	(175)
第五章 成品处理及副产品整理.....	(176)
第一节 成品处理.....	(176)
一、擦米.....	(176)
二、凉米.....	(178)
三、白米分级.....	(181)
四、抛光.....	(187)
五、色选.....	(192)
第二节 副产品整理.....	(198)
一、KXF 型糠粳分离器	(199)
二、KXS 型糠粳分离小方筛	(200)
三、MKXG·63 型高速糠粳分离筛	(203)
第六章 工艺流程设计.....	(205)
第一节 概述.....	(205)
一、工艺流程设计的重要性.....	(205)

二、工艺流程设计的要求与依据·····	(207)
第二节 设计步骤与方法·····	(208)
一、资料的收集与整理·····	(208)
二、原粮接收、贮存与发放的设计·····	(209)
三、确定工序·····	(213)
四、选择设备·····	(219)
五、组合工艺流程·····	(221)
六、流量、设备数量及仓容的计算·····	(230)
七、绘制工艺流程图·····	(235)
八、编写设计说明书·····	(236)
第三节 工艺流程举例·····	(237)
一、日产100t大米厂工艺流程·····	(237)
二、日处理120t稻谷工艺流程·····	(237)
三、以糙米为原料的工艺流程·····	(239)
第七章 特种米与米制品生产工艺·····	(241)
第一节 特种米生产工艺·····	(241)
一、蒸谷米生产工艺·····	(241)
二、不淘洗米生产工艺·····	(246)
三、强化米生产工艺·····	(251)
四、留胚米生产工艺·····	(258)
五、配米生产工艺·····	(259)
第二节 米制品生产工艺·····	(261)
一、方便米饭生产工艺·····	(261)
二、方便米粥生产工艺·····	(269)
三、米粉生产工艺·····	(270)
第八章 副产品的综合利用·····	(274)
第一节 稻壳的综合利用·····	(274)

一、稻壳的理化特性·····	(274)
二、稻壳的综合利用·····	(278)
第二节 米糠的综合利用·····	(293)
一、米糠的化学组成·····	(293)
二、米糠的稳定化·····	(297)
三、米糠蛋白和纤维的分离方法·····	(299)
四、米糠的综合利用·····	(300)
第三节 胚芽的综合利用·····	(321)
第四节 碎米的综合利用·····	(322)
一、生产高蛋白米粉·····	(322)
二、制饮料·····	(323)
三、制麦芽糖醇·····	(324)
附录 ·····	(327)
附录一 我国稻谷的分类与质量标准·····	(327)
附录二 我国糙米的分类与质量标准·····	(329)
附录三 我国大米的分类与质量标准·····	(332)
附录四 蒸谷米(出口)质量标准·····	(337)
附录五 不淘洗米(晚粳)试行质量标准·····	(337)
附录六 日本大米质量标准·····	(338)
附录七 美国大米质量标准·····	(338)
附录八 泰国大米质量标准·····	(340)
附录九 设备图形符号·····	(342)
主要参考文献 ·····	(346)

第一章 稻谷、成品米和副产品

了解稻谷、净谷、在制品、成品米及副产品的物理及化学特性，对于充分、合理地利用稻谷资源和开发新产品等，都是至关重要的。本章主要介绍稻谷、净谷、在制品、成品米及副产品的物理及化学性质。

第一节 稻 谷

一、稻谷分类及其籽粒形态结构

(一) 稻谷分类

稻谷是我国的主要粮食作物之一，具有悠久的种植历史且种植面积大。经数千年的种植与选育，全国稻谷品种繁多，据不完全统计，全国稻谷品种达4~5万个。

据中国国家标准局1986年5月6日发布的粮食、油料和食用植物油国家标准(GB1350—86)，稻谷按粒形和粒质可分为籼稻、粳稻、糯稻三类，其质量标准见附录。

籼稻籽粒细而长，呈长椭圆形或细长形，米粒强度小，耐压性能差。籼稻在加工时容易产生碎米，出米率较低。用籼稻米制成的米饭胀性较大，粘性较小。粳稻籽粒短而阔，较厚，呈椭圆形或卵圆形，米粒强度大，耐压性能好。粳稻在加工时不易产生碎米，出米率较高。用粳稻米制成的米饭胀性较小，粘性较大。

根据粒质和收获季节的不同，籼稻和粳稻又可分为早稻谷和晚稻谷二类。就同一类型的稻谷而言，一般情况下，早稻谷米粒腹白大，角质粒少，品质比晚稻谷差。早稻谷米质疏松，耐压性差，加工时易产生碎米；出米率较低。而晚稻谷米质坚实，耐压性好，加工时碎米较少，出米率较高。就米饭的食味而言，早稻谷比晚稻谷差，就稻谷的品质而言，晚籼稻谷的品质则优于早粳稻谷。

糯稻谷米粒呈乳白色，不透明或半透明，粘性大，按其粒形可分为粳糯稻谷（稻粒一般呈长椭圆形或细长形）和粳糯稻谷（稻粒一般呈椭圆形）。

纳入国家标准的籼稻谷、粳稻谷和糯稻谷，都是指水稻而言。其实，除水稻以外，还有生长期需水量较少的陆稻，又称旱稻。陆稻抗旱性强，成熟早，米粒结构疏松，品质不好，色泽暗淡，食味较差，产量也较低，播种面积一直较少，故未纳入国家标准中。

（二）稻谷籽粒的形态结构

稻谷籽粒的外形结构如图 1-1 所示，它主要由颖（稻壳）和颖果（糙米）两部分组成。

1 颖

稻谷的颖由内颖、外颖、护颖和颖尖（颖尖伸长为芒）四部分组成。外颖比内颖略长而大；内、外颖沿边缘卷起成钩状，互相钩合包住颖果，起保护颖果的作用。砉谷机脱下来的颖壳称为稻壳或大糠、砉糠。

颖的表面生有针状或钩状茸毛，茸毛的疏密和长短因品种而异，有的品种颖面光滑无毛。一般籼稻的茸毛稀而短，散生于颖面上。粳稻的茸毛多，密集于棱上，且从基部到顶部逐渐增多，顶部的茸毛也比基部的长。因此，粳稻的表面一般比籼稻粗糙。颖的厚度为 $25\sim 30\mu\text{m}$ ，粳稻颖的质量占谷粒质量的 18% 左右，籼稻颖的质量占谷粒质量的 20% 左右。颖的厚薄和质量与稻谷的类型、品种、栽培及生长条件、成熟及饱满程度等因素有关。一般

1

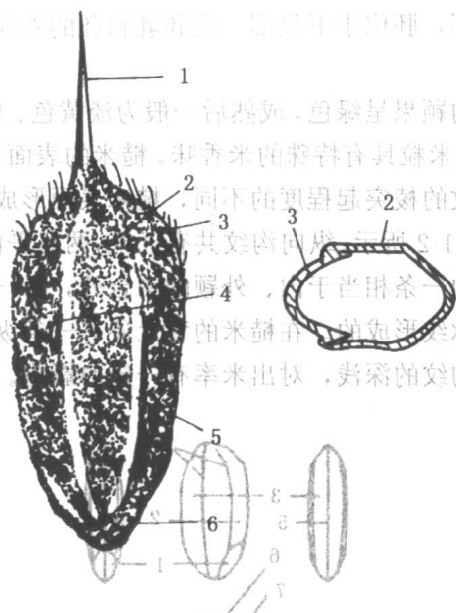
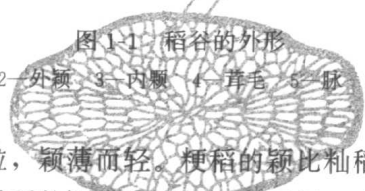


图 1-1 稻谷的外形

1—芒 2—外颖 3—内颖 4—茸毛 5—脉 6—护颖



成熟、饱满的谷粒，颖薄而轻。梗稻的颖比籼稻的薄，而且结构疏松，易脱除。早稻的颖比晚稻的颖薄而轻。未成熟的谷粒，其颖富于弹性和韧性，不易脱除。

内、外颖基部的外侧各生有护颖一枚，托住稻谷籽粒，起保护作用。护颖长度为外颖的 $1/5 \sim 1/4$ 。

内、外颖都具有纵向脉纹，外颖有五条，内颖有三条。外颖的尖端生有芒，内颖一般不生芒。由一般梗稻有芒者居多数，而籼稻太多无芒。即使有芒，也多是短芒。有芒稻谷容重小，流动性差，而且米饭胀性较小，而粘性较大。不同品种，穗着出更式系由2个颖果组成，其颖壳与颖面成角为锐角时，颖面较

稻谷脱去内、外颖后便是颖果（即糙米）。内颖所包裹的一侧

(没有胚的一侧)称为颖果的背部,外颖所包裹的一侧(有胚的一侧)称为腹部,胚位于下腹部。在胚乳和胚的外面紧密地包裹着一皮层。

未成熟的颖果呈绿色,成熟后一般为淡黄色、灰白色及红、紫等色。新鲜的米粒具有特殊的米香味。糙米的表面平滑而有光泽,随着稻壳脉纹的棱突起程度的不同,糙米表面形成或深或浅的纵向沟纹,如图 1-2 所示。纵向沟纹共有五条,两扁平面上各有两条,其中较明显的一条相当于内、外颖的钩合处,另一条为外颖上最明显的一条脉纹形成的。在糙米的背上还有一条纵向沟纹,称为背沟。颖果沟纹的深浅,对出米率有一定的影响。

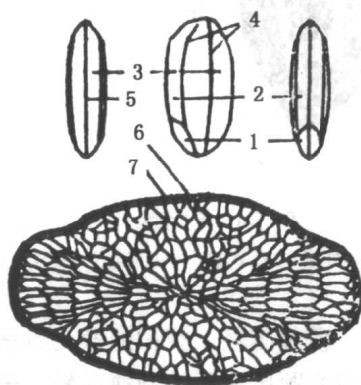


图 1-2 颖果

1—胚 2—腹部 3—背部 4—小沟
5—背沟 6—胚乳 7—皮层

一般,颖壳与糙米之间的结合很松,尤其是当稻谷的水分较低时,几乎没有结合力。另外,稻谷内、外颖结合线顶端的结合力更比较薄弱,同时,在稻谷的两端及颖壳和颖果之间皆有一定的间隙。这都成为受力而破裂的薄弱点,也是利于脱壳的内在条件。

颖果由果皮、种皮、珠心层、糊粉层（外胚乳）、胚乳、胚等几部分组成，如图 1-3 所示。

(1) 果皮 果皮是由子房壁老化干缩而成的一薄层，厚度约为 $10\mu\text{m}$ 。果皮又可分为外果皮、中果皮、内果皮（叶绿层管状细胞）。籽粒未成熟时，由于叶绿层中尚有叶绿素，米粒呈绿色；籽粒成熟后叶绿素消化、黄化或淡化成玻璃色。果皮中含有较多纤维素，由粗糙的矩形细胞组成。果皮占整个谷粒重的 $1\%\sim 2\%$ 。

(2) 种皮 种皮在果皮的内侧，由较小的细胞组成，细胞构造不明显，厚度极薄，只有 $2\mu\text{m}$ 左右。有些稻谷的种皮内常含色素，使糙米呈现不同的颜色。

(3) 珠心层 珠心层位于种皮和糊粉层之间的折光带，极薄，为 $1\sim 2\mu\text{m}$ ，无明显的细胞结构。

(4) 糊粉层（外胚乳） 糊粉层为胚乳的最外层，有 $1\sim 5$ 层细胞，与胚乳结合紧密，是由胚乳分化而成的，主要由含氮化合物组成，富含蛋白（类球蛋白和植酸盐）、脂肪和维生素等。糊粉层中磷、镁、钾的含量也较高。稻谷中糊粉层厚薄及其位置与稻谷品种及环境等因素有关。糊粉层厚度为 $20\sim 40\mu\text{m}$ ，而且糙米中

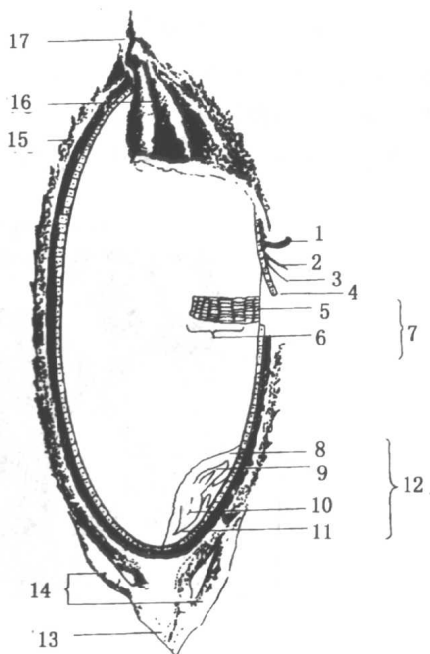


图 1-3 稻谷的结构

- 1—果皮 2—种皮 3—珠心 4—糊粉层
5—次糊粉层 6—含淀粉胚乳 7—胚乳 8—
盾片 9—胚芽 10—胚根 11—外胚层
12—种胚 13—小穗轴 14—护颖 15—内颖
16—外颖 17—芒

背部糊粉层比腹部厚，其质量约占糙米的 4%~6%。

(5) 胚乳 胚乳细胞为薄皮细胞，是富含复合淀粉粒的淀粉体。其最外两层细胞（次糊粉层）富含蛋白质和脂类，所含淀粉体和淀粉粒的颗粒比内部胚乳的小。淀粉粒为多面体形状，而蛋白质多以球形分布于胚乳中。胚乳次糊粉层结构如图 1-4 所示。

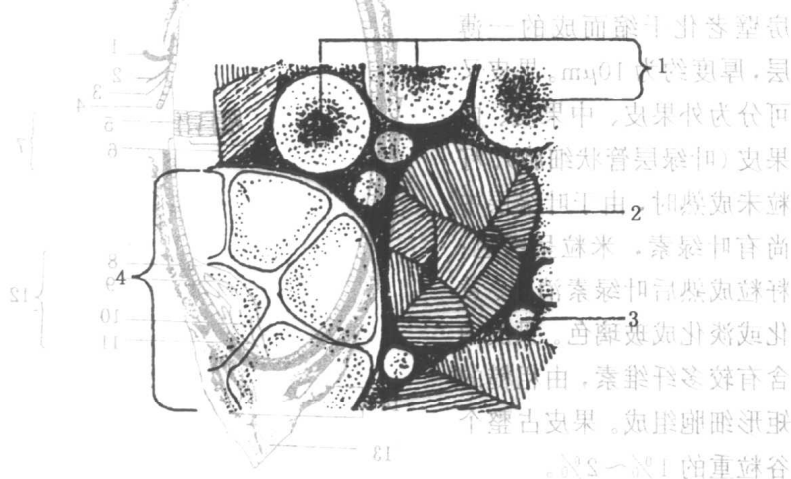


图 1-4 胚乳次糊粉层中各种形状蛋白质和复合淀粉粒示意图

1—大球形 2—结晶状 3—小球形 4—复合淀粉粒

胚乳占颖果质量的 90% 左右。胚乳主要由淀粉细胞构成，淀粉细胞的间隙填充储藏蛋白。填充蛋白愈多，胚乳结构则愈紧密而坚硬，使米粒呈半透明状，截面光滑平整，因此称这种结构为角质胚乳。若填充蛋白较少，胚乳结构则疏松，米粒不透明，断面粗糙呈粉状，那么称这种结构为粉质胚乳。

(6) 胚 胚位于颖果的下腹部，其富含脂肪、蛋白及维生素等。由于胚中含有大量易氧化酸败的脂肪，所以带胚的米粒不易储藏。胚与胚乳连结不紧密，在碾制过程中，胚容易脱落。

(三) 稻谷籽粒各组成部分的质量百分比 稻谷籽粒各组成部分占整个籽粒的质量百分比，一般是颖为

18%~20%，果皮为1.2%~1.5%，糊粉层为4%~6%，胚乳为66%~70%，胚为2%~3.5%。实际上，稻谷籽粒各组成部分的质量百分比，随稻谷的类型、品种、土壤、气候及栽培条件等的不同而变动很大。

二、稻谷的物理特性

稻谷的物理特性主要指稻谷在加工过程中反映出来的多种物理属性，如稻谷的色泽、气味、粒形、粒度、均匀度、密度、粒重、谷壳率、出糙率以及散落性、静止角和自动分级等，这些都与稻谷加工有着密切的关系，因此，全面了解稻谷的物理特性是非常重要的。

（一）稻谷的气味与色泽

1. 气味

稻谷具有特有的香味，无不良气味。如气味不正常，说明谷粒变质或吸附了其他有异味的气体。如果稻谷在流通过程中吸附了异味或发热霉变，便常带有霉味、酸味甚至苦味。陈稻谷的气味远比新稻谷差，这是由于稻谷陈化的结果。

2. 色泽

稻谷的表面状态是指稻谷的色泽和表面粗糙程度等。稻谷颜色多为土黄色，糙米颜色多为蜡白色或灰白色，无论是稻谷还是糙米均富光泽。一般陈稻谷的色泽较为暗淡。

由于病虫害的侵蚀和储藏与处理不当等原因，常引起稻谷固有颜色的改变，这不仅使稻谷失去原有的正常光泽（色泽变得灰暗），而且米质也变差。

（二）稻谷的粒形、粒度与均匀度

1. 粒形及粒度

稻谷粒形，因其类型、品种和生长条件的不同而有很大差异。稻谷的粒形常用长度、宽度和厚度三个尺寸来表示。谷粒基部到顶端的距离为粒长，腹背之间的距离为粒宽，两侧之间的距离为

粒厚。粒度常用粒长、粒宽、粒厚的变化范围或平均值来表示。测量稻谷籽粒粒度有两种不同的方法，一种是逐粒尺量，另一种是筛析。筛析法测定的结果没有逐粒尺量法精确，但操作十分简便，比较适用于实际测定工作。

稻谷粒形按粒长与粒宽的比例分为三类：长宽比大于3的为细长粒形，长宽比小于3而大于2的为长粒形，长宽比小于2的为短粒形。我国稻谷籽粒大小如表1-1所示。

表 1-1 我国稻谷籽粒大小

类 型	长/mm	宽/mm	厚/mm	长宽比
糯稻谷	8.0	3.2	2.1	2.50
籼稻谷	8.1	3.2	2.0	2.53
粳稻谷	7.4	3.4	2.3	2.18

2. 均匀度

均匀度是籽粒的粒形和粒度等一致的程度。稻谷的粒度可用粒度曲线表示，均匀度则可根据粒度曲线进行判断。粒度曲线中粒数最多而又相邻的两组谷粒的百分数之和在80%以上的为高度整齐，70%~80%之间的为中等整齐，低于70%的为不整齐。

稻谷的粒度，不仅与稻谷的类型、品种等有关，而且与生长环境及种植技术等有关。另外，由于在收获及流通过程中，没有严格按类型、品种及品质进行分装分储，而造成稻谷品种混杂，籽粒大小不匀。在稻谷加工过程中，粒度相差悬殊势必造成清理困难，砻谷和碾米操作难以掌握，导致大米精度不匀，出米率降低。因此，对于品种混杂而且粒度相差悬殊的稻谷，最好先把大粒稻谷与小粒稻谷分开，然后再分别加工，这就是所谓的“分级加工”。