

学术前沿研究

粳稻品质形成基础

吕文彦◎主 编



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

学术前沿研究

辽宁省教育厅高校科技专著出版基金资助

粳稻品质形成基础

吕文彦◎主 编



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP) 数据

粳稻品质形成基础/吕文彦主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2011.6
(学术前沿研究)
ISBN 978-7-303-12256-1

I. ①粳… II. ①吕… III. ①粳稻—粮食品质—形成—研究 IV. ①S511.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 049822 号

策划编辑: 姚斯研

责任编辑: 姚斯研

美术编辑: 毛 佳

装帧设计: 天之赋设计室

责任校对: 李 菡

责任印制: 李 啸

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

主要编纂人员

主 编 吕文彦

副主编 邵国军

编著者(按姓氏笔划排序)

马莲菊	邓喜龙	冯章丽	吕文彦
刘 琳	刘 威	刘 涛	孙振东
李兴涛	杨宏楠	张 城	张 鉴
邵国军	武 翠	呼 楠	金 芳
高 燕	曹 萍	常海龙	崔鑫福
程海涛			

前言

我自 1992 年攻读硕士研究生以来，就一直围绕稻米品质进行基础研究。不仅相继完成了硕士、博士论文，并以此为主要内容持续指导多名硕士研究生，协助指导两名博士研究生，为本科生开设了稻米品质专题的有关课程。2004 年公派到日本留学一年，其间接触了日本大量相关的研究资料，还在日本农林省谷类特性研究室使用较多先进的仪器，专门进行了两个月的稻米品质研究。本书的图表有很大一部分是在这一期间收集、充实的。十几年的研究、考察和教学略有积累，着意对相关资料进行挖掘整理，总结成书，以飨读者。

该书编译结合，即是我们课题组十几年有关研究结果的总结，也介绍了国内外关联研究进展。全部编著者，围绕自己的研究题目完成章节内容，力求反映相应部分的最新进展。全书主体内容分为稻米品质形成概述、稻米品质形成的发育与遗传学基础和稻米品质形成的生理与生物化学基础 3 篇计 9 章的内容，其中第一部分有关日本稻米品质研究的内容，早在 20 世纪 80 年代，徐庆国先生就曾在《国外农学——水稻》上撰文介绍，上海科技出版社也出版了蒋澎炎先生翻译的星川清亲《解剖图说 水稻的生长》，这些内容是经典之作，加之现代科学和印刷技术的发展，日本農文協 1995 年出版的《農業技術大系 作物編》和 2002 年社团法人日本精米工业会和株式会社 kett 科学研究所共著的《rice museum ライスミュージアム お米の品質評価テキスト》第三版中又刊载了相关内容的大量精美图片，这些进展，国内研究者了解并不全面，所以，本书结合这些进展又将之包含进来。本书正文最后一节是课题组对稻米品质改良的一点拙见。近几年，我国陆续发布了一些新版本的稻谷、大米及

稻米品质测定等方面的相关国家标准，为了便于读者查阅，作为本书的附录，一并加以收录。

该书主要特点体现在：第一，通俗性与理论性相结合。本书内容既包含了适合一般生产者了解稻米品质内涵、标准、进行简单品质试验的方法介绍，又以较大篇幅介绍了国内外稻米品质领域的关联研究进展，可以为研究者提供参考。第二，涉及领域较为广泛。本书从稻米品质的基本概念入手，内容涉及稻米品质形态学、遗传、生理生化等多个领域。第三，以粳稻为主，兼顾全面。本书虽名《粳稻品质形成基础》，但一些遗传、生理内容，如两段灌浆特点、特种稻米的成分等，籼粳亚种并无区别，所以，有些大量借鉴了籼稻的研究结果，这使得本书更加丰富和全面。

值本书完成之际，感谢引我进入稻米品质研究领域、并持续指导我的研究的恩师曹炳晨教授。曹老师听说我要写一册书后，对我多加鼓励，并对书稿的内容、句读提出了建议。感谢我留学日本时的指导老师——东京大学作物生产学科作物学研究室的大杉立教授，他不但为我在东京大学的研究提供了非常便利的条件，而且安排我到农林水产省食品综合研究所谷类特性研究室工作两个月，并在我撰写书稿期间，帮助我进行有关资料的收集。感谢中国工程院院士陈温福教授，陈院士百忙之中阅读了本书初稿，对书稿的编撰体系、内容格式等提出了很多建设性的建议。

该书的系列研究，先后得到辽宁省自然科学基金、辽宁省教育厅科研基金和国家自然科学基金的支持。

本书编辑时间仓促，一些结论未及仔细推敲，可能有失偏颇。参考、收录其他学者的研究结果并不充分，我们虽尽最大努力注明了大部分参考文献的出处，但是一些参考文献是多年积累的结果，可能只有文献作者而没能查到文献出处，或者只有文献内容，而无法准确标明文献出处。我们在对有关文献信息及作者表示由衷感谢的同时，也深表歉意。

全体编著人员尚缺经验，文笔水平也不高，言不达意甚至谬误之处在所难免，以上诸多不足，恳请读者多加以斧正，以便再版时一并充实提高。

吕文彦

2011年元月

目 录

第 1 篇 稻米品质形成概述

第 1 章 稻米品质的范畴及测定方法	(2)
1.1 水稻颖果的组织结构和化学成分	(2)
1.1.1 水稻颖果的组织构造	(2)
1.1.2 糙米的化学成分	(4)
1.1.3 糙米中淀粉、蛋白质、脂质的存在状态	(6)
1.2 食用稻米品质评价内容及其影响因素	(7)
1.2.1 加工品质	(8)
1.2.2 外观品质	(9)
1.2.3 理化品质	(15)
1.2.4 食味	(21)
1.2.5 营养品质	(21)
1.3 我国食用稻米品质标准	(21)
1.4 稻米品质测定方法	(22)
1.4.1 粳稻米糊化温度的测定	(22)
1.4.2 稻米胶稠度的单粒测定法	(24)
1.4.3 直链淀粉含量的测定	(25)
1.4.4 食味及相关性状测定	(27)

1.4.5	米饭质地的测定	(30)
1.4.6	米饭结构的测定	(32)
第2章	稻米品质形成的研究进展	(33)
2.1	胚乳淀粉合成与稻米品质	(33)
2.1.1	胚乳淀粉合成概述	(33)
2.1.2	淀粉合成与稻米品质关系概述	(34)
2.2	水稻灌浆特性及其与稻米品质的关系	(34)
2.2.1	水稻的灌浆特性	(34)
2.2.2	水稻灌浆与稻米品质的关系	(38)
2.3	水稻籽粒充实特性及其与稻米品质的关系	(40)
2.3.1	籽粒充实的概述	(40)
2.3.2	籽粒灌浆与籽粒充实	(41)
2.3.3	籽粒充实与稻米品质的关系	(41)
2.4	影响稻米品质的环境因素	(42)
2.4.1	灌浆成熟期气温对稻米品质的影响	(42)
2.4.2	其他生态因素对稻米品质的影响	(44)
2.5	农艺措施与稻米品质	(45)
2.5.1	施肥对稻米品质的影响	(45)
2.5.2	灌溉对稻米品质的影响	(47)
2.5.3	施用除草剂对稻米品质的影响	(48)
2.5.4	收获时间和方法对稻米品质的影响	(48)
2.5.5	贮藏因素对稻米品质的影响	(49)
2.5.6	插秧因素对稻米品质的影响	(49)

第2篇 稻米品质形成的发育与遗传学基础

第3章	稻米外观品质与蒸煮品质的形成	(52)
3.1	胚乳组织的形态发生	(52)
3.1.1	糙米的发育	(52)
3.1.2	胚乳组织的形态建构	(55)
3.2	灌浆过程米饭质地的变化	(57)
3.3	碾磨及淘洗过程的形态学	(57)
3.4	浸泡与煮饭过程饭粒形态的变化	(58)

3.4.1	浸泡与米粒形态变化	(58)
3.4.2	煮饭与饭结构变化	(59)
3.4.3	淀粉粒及淀粉体的变化	(62)
第4章	籽粒充实度变异及其与稻米品质关系	(63)
4.1	籽粒充实状况	(63)
4.1.1	粒数和粒重的穗位构成分析	(63)
4.1.2	不同充实度籽粒构成	(64)
4.1.3	籽粒充实与千粒重的关系	(65)
4.1.4	籽粒充实率差异	(67)
4.1.5	粒位间籽粒充实率差异分类	(68)
4.2	籽粒充实率与植株农艺性状的关系	(69)
4.2.1	植株农艺性状比较	(69)
4.2.2	粒位间籽粒充实率与植株产量性状的相关性	(70)
4.3	籽粒充实与稻米品质的关系	(71)
4.3.1	籽粒充实与糙米品质的关系	(71)
4.3.2	籽粒充实率与粒形的关系	(75)
4.3.3	充实度对稻米理化品质的影响	(77)
4.3.4	充实度对稻米食味品质的影响	(78)
第5章	水稻籽粒厚度变异及其与稻米品质关系	(82)
5.1	籽粒的充实状况	(82)
5.1.1	不同粒厚分级的籽粒重百分比比较	(83)
5.1.2	不同粒厚分级的籽粒千粒重比较	(84)
5.2	籽粒充实度与产量性状	(85)
5.2.1	籽粒充实度与着粒密度的聚类分析	(85)
5.2.2	充实度与产量性状的相关性	(87)
5.3	籽粒充实度与稻米品质	(87)
5.3.1	粒厚分级与碾磨品质的关系	(87)
5.3.2	粒厚分级与外观品质的关系	(88)
5.3.3	籽粒充实度与蒸煮品质的关系	(90)
5.3.4	籽粒充实度与食味品质、营养品质的关系	(91)
5.3.5	稻米淀粉黏滞谱特征的比较	(92)

第 6 章 水稻灌浆速率与稻米品质关系的遗传分析	(94)
6.1 水稻灌浆速率的遗传	(95)
6.1.1 灌浆速率的非条件遗传分析	(95)
6.1.2 灌浆速率的条件遗传分析	(96)
6.1.3 灌浆速率遗传效应预测	(99)
6.2 稻米品质的遗传	(100)
6.2.1 稻米品质性状及粒重的遗传特点	(100)
6.2.2 稻米品质杂种优势分析	(105)
6.2.3 杂交后代表现的亲子相关分析	(106)
6.3 不同粒位单粒重与稻米品质分析	(108)
6.3.1 单粒重、碾磨品质与蒸煮食味品质	(108)
6.3.2 外观品质	(108)
6.4 灌浆与稻米品质的关系	(109)
6.4.1 水稻灌浆特性与碾磨品质的相关	(109)
6.4.2 水稻灌浆特性与外观品质的相关	(110)
6.4.3 水稻灌浆特性与蒸煮品质的相关	(111)
第 7 章 稻米品质稳定性及相关性的研究	(112)
7.1 稻米品质分析	(114)
7.1.1 不同年份稻米品质性状分析	(114)
7.1.2 年份间稻米品质比较	(115)
7.2 品质性状的稳定性和适应性分析	(115)
7.2.1 品质性状变异来源的比较	(116)
7.2.2 品质性状的稳定性差异	(116)
7.2.3 品质性状稳定性的聚类分析	(119)

第 3 篇 稻米品质形成的生理与生物化学基础

第 8 章 稻米品质形成的生理学	(122)
8.1 糙米鲜重、干重含水量的动态变化概况	(122)
8.2 不同类型品种灌浆动态及其与品质的关系	(123)
8.2.1 灌浆动态	(123)
8.2.2 灌浆特性与稻米品质的相关	(131)
8.2.3 极端温度天气与稻米品质关系	(132)

第9章 稻米品质形成的生物化学	(134)
9.1 灌浆过程生理指标及生化物质的变化	(134)
9.1.1 淀粉含量动态分析	(134)
9.1.2 酶的活性分析	(134)
9.1.3 蛋白质与自由氨基酸	(135)
9.1.4 脂质	(135)
9.2 生理生化指标与灌浆及品质的关系	(137)
9.2.1 酶活性与灌浆速率及淀粉含量的相关分析	(137)
9.2.2 酶活性与稻米品质的相关分析	(137)
展 望	(139)
1 关于北方粳稻稻米品质改良目标	(139)
2 北方粳稻稻米品质改良的途径	(140)
2.1 干预灌浆特性提高稻米品质	(141)
2.2 诱变技术是创造稻米品质突变体的有效途径	(142)
2.3 生物技术育种是改良稻米品质的必然趋势	(142)
本研究培养的研究生及其学位论文	(144)
本研究发表的有关稻米品质论文	(145)
附录 几个稻谷、稻米及稻米品质测定的国家标准	(148)
GB 1350—1999 稻谷	(148)
GB/T 17891—1999 优质稻谷	(152)
GB 1354—2009 大米	(157)
GB/T 5495—2008 粮油检验 稻谷出糙率检验	(165)
GB/T 21499—2008/ISO6646:2000 大米 稻谷和糙米潜在出米率的测定	(167)
GB/T 21719—2008 稻谷整精米率检验法	(174)
GB/T 15682—2008 粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法	(177)
GB/T 22294—2008 粮油检验 大米胶稠度的测定	(187)
GB/T 15683—2008 大米 直链淀粉含量的测定	(192)
GB/T 24852—2010 大米及米粉糊化特性测定快速黏度仪法	(198)
主要参考文献	(203)

第 1 篇 稻米品质形成概述

第 1 章

稻米品质的范畴及测定方法

1.1 水稻颖果的组织结构和化学成分

1.1.1 水稻颖果的组织构造

从植物学上讲，水稻的果实是颖果，由谷壳和糙米两部分组成(图 1.1-1)。谷壳包括内颖、外颖和护颖。部分品种外颖颖尖延伸为芒。谷壳色泽主要有秆黄、黄、橙黄、褐斑秆黄、褐、赤褐、紫褐、紫黑、银灰褐等，是区别品种的重要特征之一。

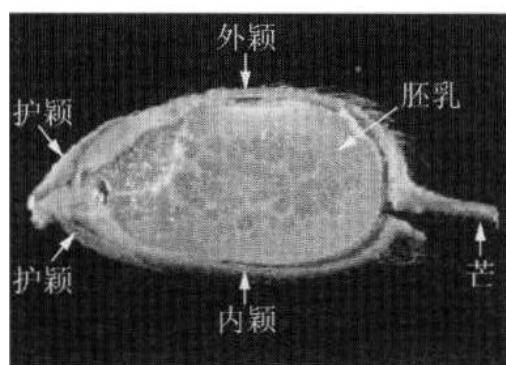


图 1.1-1 水稻颖果构成

(参农业技术大系，1995)

颖果去掉谷壳后的剩余部分称为糙米，也就是植物学上的种子。粳型糙米一般呈阔卵形(图 1.1-2)。糙米由于直链淀粉含量的多少或胚乳中胚乳的有无而表现出不同特征，如日本酿造用酒米的糙米(图 1.1-3 左)比常见糙米(图 1.1-3 右)有较大心白，干燥后的糯米呈乳白色不透明的状

态(图 1.1-3 中)等。从断面结构看,糙米由果皮、种皮、糊粉层、胚乳和胚组成(图 1.1-4、图 1.1-5),最外层为果皮,含有数层细胞,厚约 10 μm 。果皮在米粒发育初期含有叶绿素,成熟时叶绿素消失。种皮在果皮内侧,为一层结构紧密、角质化的细胞。一些品种的果皮和种皮细胞内含大量花青色素(红色素、黑色素等),其积累的多聚寡糖使糙米呈现不同的颜色,如红米、褐米、紫米、黑米等,但迄今未发现胚乳细胞含有色

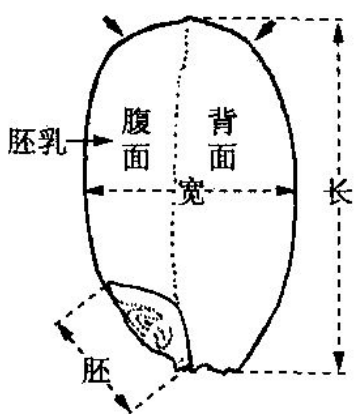


图 1.1-2 成熟糙米的纵断面
(星川, 1975)

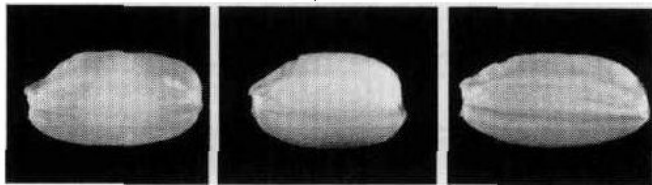


图 1.1-3 不同糙米的外在形态
由左至右分别是酒米、糯米、普通糙米
(参《农业技术大系》, 1995)

素的品种。种皮内侧为结构较疏松的珠心细胞层,其下是由数层细胞构成的糊粉层。糊粉层层数和厚薄因品种类型和着生部位而不同,粗大或短粒品种较厚,细长粒较薄;籽粒背部较厚,腹部或靠近胚部较薄。果

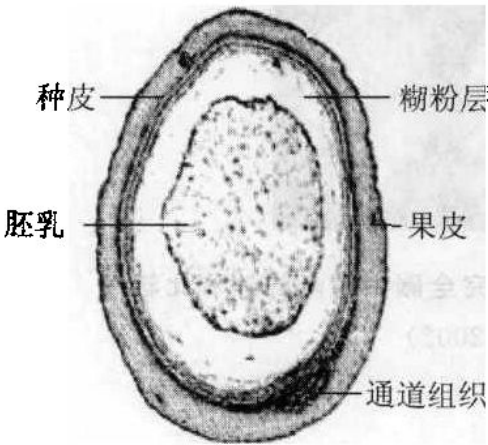


图 1.1-4 整粒糙米的横断面

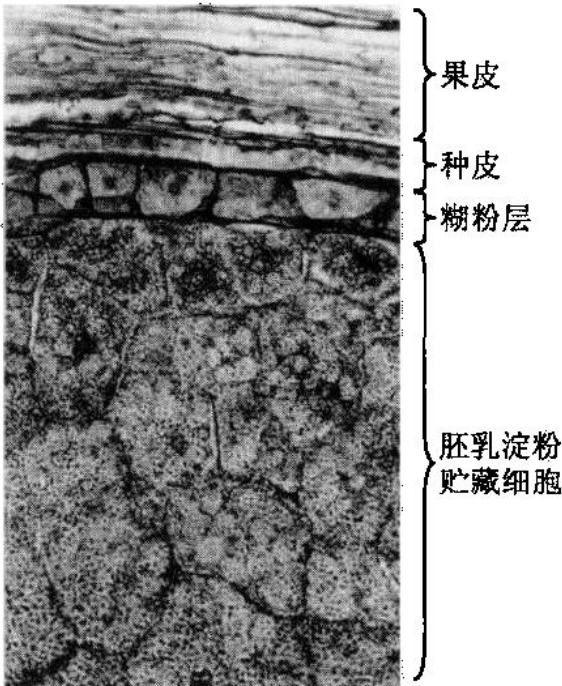


图 1.1-5 糙米的横断面
(自粒中至边缘)

皮、种皮和糊粉层合称为糠层，包围着胚和胚乳。种胚位于米粒腹面基部。胚乳是由众多薄壁细胞构成。胚乳细胞群呈规则的放射状排列，细胞的形状与数量因位置而不同，一般长轴方向长而多，短轴方向短而少。如上所述的各组分厚度及质量百分数总结如表 1. 1-1 所示。

表 1. 1-1 稻谷籽粒各组成部分的厚度和质量百分数

生物学结构	厚度(μm)	质量(干重%)
谷壳	24~30	16~20
果皮	7~10	1.2~1.5
种皮	3~4	
糊粉层	11~29	4~6
胚		2.0~3.5
胚乳		66~72

(参《稻米深加工》，2004)

一般食用精米是由糙米碾磨掉周围 10% 的重量而成，称为完全碾精。完全碾精时，糠层的果皮、种皮、糊粉层以及胚被碾去，精米呈半透明(图 1. 1-6 右)。根据稻谷各部分组成百分比(表 1. 1-1)可以计算，完全碾精时一般精米比率占干重的 70% 左右。若碾精程度不够，如分别去掉糙米的 5%、7% 即五分碾精和七分碾精(图 1. 1-6)，则会在米粒表面残存糠层。若米粒腹部、中心或边侧部位在发育期间淀粉粒等物质充实度不高，结构疏松，则呈白色不透明状，谓之垩白。凡垩白大的籽粒，外观不佳，米质疏松，加工时易碎裂。剔除破碎粒的精米称为整精米。

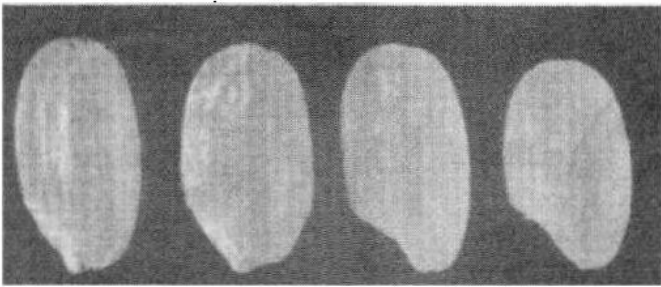


图 1. 1-6 糙米与五分碾精、七分碾精、完全碾精精米的外观比较
(日本精米工业会等，2002)

1. 1. 2 糙米的化学成分

普通糙米的化学成分构成与含量因品种、栽培条件等原因而存在不

同，精米中化学物质含量又与碾精程度存在密切关系。无论稻谷还是精米，碳水化合物都是最主要的组成成分。精白米碳水化合物占干重的比例在 90% 左右，然后依次是蛋白质、脂质、灰分，无机物和维生素的含量均较少(见表 1.1-2)。

表 1.1-2 100g 不同状态稻产品可食用部分的化学成分

食品名			糙米	五分碾精	七分碾精	精白米	胚芽精米	
废弃率			0	0	0	0	0	
能量		kJ	1 469	1 477	1 490	1 490	1 481	
水分		g	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	
蛋白质			7.4	7.1	6.9	6.8	7	
脂质			3	2	1.7	1.3	2	
灰分			1.3	0.9	0.8	0.6	0.7	
碳水化 合物	糖质		71.8	73.9	74.7	75.5	74.4	
	纤维		1	0.6	0.4	0.3	0.4	
维生素	A	视黄醇	μg	0	0	0	0	0
		胡萝卜素	μg	0	0	0	0	0
		A 效价	UI	0	0	0	0	0
	B ₁		mg	0.54	0.39	0.32	0.12	0.3
	B ₂			0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
	烟酸			4.5	3.5	2.4	1.4	2.2
	C			0	0	0	0	0
	无机质	钠		mg	2	2	2	2
钾		250	170		140	110	140	
钙		10	8		7	6	7	
磷		300	220		190	140	160	
铁		1.1	0.8		0.7	0.5	0.5	

(参《米の科学》，1995)

分析表 1.1-2，可以得出：①糙米的营养一般要优于精白米，但含有较多、较粗糙的纤维素类多糖；②稻米中含有较多的热量、蛋白质、糖质、烟酸及钾、磷，但维生素 A、C、D、视黄醇、钙、铁较缺乏，粗纤维亦较缺乏。

即使同一种成分，其含量也因品种、栽培条件、气象因素等而存在差异。平宏和等(1979)在糙米碾精率为 92%±0.5%的条件下，测定了日本宫城县 3 个品种、9 个点次糙米与精米除淀粉外的化学成分含量，平均值如表 1.1-3 所示，该值能大体反映粳米主要化学成分的稳定含量。

表 1.1-3 糙米与精米的化学成分组成

	蛋白 质	粗 脂肪	结合 脂肪	全 脂肪	灰分	磷	钾	镁
	g/100 g, 干重				mg/100 g, 干重			
糙米	7.95	2.75	1.06	3.81	1.47	343	269	135
精米	7.26	0.96	0.94	1.91	0.72	178	121.3	63.3

平宏和等，1979。

一些具有特异性状或特殊用途的水稻品种，如香稻、色稻，其糙米具有一些特殊的化学成分。香稻的茎、叶、花和籽粒中均有香味，研究表明，香米含有 114 种挥发性化合物。与普通大米中包含的挥发性物质比较，香米中的 4-乙烯基苯酚、己醇和己醛含量较高，而吡嗪含量较低。众多研究表明 2-乙酰-1-吡咯啉是其散发香味的主要物质(赵则胜，1995)。糙米的颜色主要是由花色素苷产生的，其成分主要是花色素，可以分为 3 类：第一类是天竺葵素，呈现红色；第二类是花青素类，呈现西洋红色；第三类为翠雀素类，颜色为蓝和紫。三类花色素的差别在于侧酚环中羟基数目，随着羟基数目的增加，颜色由红向蓝变化，因而糙米也有黑、红等颜色。

1.1.3 糙米中淀粉、蛋白质、脂质的存在状态

成熟细胞内含有大量淀粉体，淀粉体内部包含若干个淀粉粒，单个淀粉粒的大小大约 1/300~1/200 mm，多数淀粉体包含数个到数十个单淀粉粒，在胚乳表层部一般是较小的淀粉体，但在胚乳内部也能看到包含 100 个以上单个淀粉粒的淀粉体。淀粉体一般呈具角的多面体形状，但因在胚乳中的位置不同而稍有些区别。淀粉体的形状、淀粉粒的大小因品种、栽培等因素而稍有不同。这些差异并不能作为食味差异的指标，但是在精白米表层分布较多易糊化的小淀粉体，这对于形成粒形良好的饭粒有重要意义。

淀粉的基本构成单位是 D-葡萄糖，其中直链淀粉是由 D-葡萄糖脱水得到的糖苷通过 α-D-1,4 糖苷键形成的线性长链，存在极少量的 β