

■ 李浪 主编

小麦面粉 品质改良与检测技术

XIAOMAI MIANFEN
PINZHI GAILIANG YU JIANCE JISHU



化学工业出版社

李浪 主编

小麦面粉 品质改良与检测技术

XIAOMAI MIANFEN

PINZHI GAILIANG YU JIANCE JISHU



化学工业出版社

北京

随着小麦品种改良的发展,小麦粉工业需要一定的方法、技术、设备使之资源优化利用,生产经济高效,产品质量标准化,品种多样化。本书从小麦品质分析、小麦品质遗传特性改良及环境对品质的影响、小麦制粉工艺品质及其改良、小麦粉品质分析、小麦粉组成成分与食品品质的关系研究、粮油食品检验分析实验室的建设与管理等方面进行了详细的介绍。

全书在详细介绍小麦面粉品质改良的理论的基础上重点突出应用性,并介绍了目前较为先进的检测技术和常用的检测设备。

本书可供有关研究人员及小麦粉工程公司、小麦粉品质改良剂厂技术人员、小麦粉厂技术人员与企业管理者参考阅读,也可作为高等院校食品工程、食品分析技术、食品科学与工程等相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

小麦面粉品质改良与检测技术/李浪主编. —北京:化学工业出版社, 2008.1
ISBN 978-7-122-01855-7

I. 小… II. 李… III. ①小麦-品种-改良-研究②面粉-食品检验 IV. S512.1 TS211.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 003134 号

责任编辑:张彦

文字编辑:俞方远

责任校对:战河红

装帧设计:韩飞

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)

印装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张23 $\frac{3}{4}$ 字数653千字 2008年4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:49.00 元

版权所有 违者必究

前言

小麦是中国的第二大粮食作物。近几年来,我国小麦品种改良取得了很大进步,优质小麦的发展非常迅速,其种植面积越来越大,产量越来越高,这是我国农业育种专家辛勤努力的结果。但能够达到国家优质小麦标准的数量还不多,优质小麦品质还不够稳定,质量参差不齐,同一品种质量差异较大。小麦品种中筋偏多,存在着“高筋不强”和“低筋不弱”的现象。再加上收购环节多品种混合,就没有了优质资源。其次多数小麦粉加工企业缺乏检测优质小麦的手段。高档小麦粉生产依赖于进口小麦,或过多地添加品质改良剂。

当前,小麦粉及其制品已成为关系国计民生的行业。在传统食品工业,它是覆盖面最大、涉及面最广、敏感度最强的战略性商品。

在2004年粮食市场全面放开后,小麦粉加工厂的数量连续几年增长,新建企业的设备更新普遍达到一个新水平,小麦粉机械设备接近世界的先进水平,小麦粉厂的区域布局也有很大改善。特别值得注意的是企业的组织化程度有所提高,集团化、现代化的速度加快,年产20万吨以上的企业,由2005年的10多家发展到近30家,企业的核心竞争力有所增强。但就全行业而言,全国有小麦粉企业2万多个,具有大品牌、大企业、大市场发展思路的骨干小麦粉厂不到100个。企业规模小、组织化程度差、科技水平低、品牌林立、覆盖面小,这是小麦粉行业的根本弱点。

2005年开始了QS认证,淘汰了一些生产设备落后的小厂,小麦粉产品质量上了一个新台阶,2006年全行业赢利。一部分企业领导便沉醉在小富即安的心态中,一部分中小企业在赢利的好形势下扩大规模。2007年上半年30%以上的小麦粉企业亏损,一是由于新建大中型小麦粉厂投产;二是由于生产能力供大于求,开工不足;三是原料价格上涨,成品小麦粉没有上涨。在此形势下于2006年4月24日召开了中国粮食行业协会小麦分会年会暨高层论坛,会上中国粮食行业协会会长提出了“立足创新,加快建设现代小麦粉加工业的步伐”的奋斗目标,为小麦粉加工业指明了前进的方向。会议指出:我们要适应时代的发展和科学的进步,立足创新,加快建设现代小麦粉加工业,用现代物质条件、现代科学技术、现代经营方式、现代发展理念,去引领改造和提升小麦粉行业,这是全行业的重要任务和正确出路。

因此,小麦粉工业需要一定的方法、技术、设备(包括检验及化验设备),使资源优化利用、生产经济高效、产品质量标准化、品种多样化。尤其是应注重产品的检测技术、检验及化验设备的正确使用,利用先进的粉质仪、拉伸仪、糊化仪、流变仪、吹泡仪、质构仪等确保产品质量稳定,开发多种新产品。本书就是基于这一目的,总结笔者多年从事食品仪器

使用、开发生产的科研经验和教学经验,再结合近年来德国、英国、法国、美国、日本等国研究的新成果编写了适合于我国现代小麦粉加工业原料采购、生产过程控制、产品质量检验、新产品开发所需的《小麦面粉品质改良与检测技术》一书,从小麦粉生产质量管理的全方位进行了论述。全书共分为六章,第一章为小麦品质分析,主要叙述了小麦籽粒品质、小麦籽粒的化学成分、小麦磨粉品质、小麦的储藏及其品质变化,详细介绍了小麦的各种物理、化学和生物特性,强调了各种物理、化学和生物特性检测方法,并对多种检测方法与仪器进行了比较和分析,就如何减少测定误差进行了介绍;第二章针对小麦品质遗传特性改良及环境对品质的影响进行了详细介绍,并通过一些典型小麦品种的遗传特性、适应的气候和土壤条件、栽培技术、田间管理等的介绍,提供一种实行扩大优质小麦种植的新思维,反映了近几年国内成功的优质小麦种植实践经验,为读者提供了比较完整的理论和应用指导;第三章主要介绍了小麦制粉工艺品质及其改良技术,为我国小麦专用粉工业生产指明了方向;第四章主要介绍了小麦粉品质分析技术,详细介绍了小麦粉的常规分析方法及操作中的注意事项、近红外快速检测技术、小麦粉中品质改良剂和营养强化剂的分析技术,还对小麦粉及其制品中违禁添加剂及有害物质分析加以详细介绍,以及小麦粉的面团流变学特性和烘焙品质与蒸煮品质分析,最后还对小麦粉的储藏特性及品质变化规律进行了介绍;第五章主要介绍了小麦粉组成成分与食品品质关系的研究方法,给从事小麦粉品质研究和面制品品质研究的人员的方法指明方向,从而少走弯路;第六章主要介绍了粮油食品检验分析实验室的建设与管理,就粮油食品检验分析实验室设计要求,实验室的水电、通风与采光设施,实验台与架、柜的设计,粮油食品检验分析实验室的室内布置,实验室管理等方面进行了详细论述。书中各章配有大量图片,特别是面团特性和食品特性的扫描电子显微镜照片,使读者有机会从微观的角度去了解面团及面食品特性的本质。

本书可供有关研究人员及小麦粉工程公司、小麦粉品质改良剂厂技术人员、小麦粉厂技术人员与企业管理者参考,也可以作为高等院校食品工程、食品分析技术、食品科学与工程相关专业的教材。

编写本书的主要人员和分工是:第一章由常共宇编写,第二章由曾实编写,第三章至第六章由李浪编写。全书由李浪统稿,河南工业大学粮油食品学院周展明教授审阅。周教授在百忙之中抽出时间精心审阅,提出了不少宝贵的意见,并规范了一些专业术语,其一丝不苟的精神使笔者深受感动,在此表示衷心感谢。

另外,本书在编写过程中征求了多家小麦粉厂对内容的要求,并得到国家粮食局标准质量中心朱之光教授、河南工业大学生物工程学院曹健教授、河南工业大学粮油食品学院王凤成、王晓曦、赵小枫、何雅蓓的大力支持,在此向他们表示诚挚的谢意!同时还要感谢加拿大农业部研究中心的付宾孝博士、美国 National MFG 公司都森教授级高级工程师。

由于编者知识水平有限,尽管在编著过程中努力追求完善,但书中难免出现错误和疏漏之处,欢迎读者提出批评和改进意见(lilang6105@126.com)。

编者

2008年1月

于河南工业大学(原郑州粮食学院)

目 录

第一章 小麦品质分析	1
第一节 小麦籽粒品质	1
一、籽粒形状	1
二、籽粒整齐度	1
三、籽粒饱满度	2
四、籽粒颜色	2
五、千粒重	2
六、角质率	3
七、硬度	4
八、容重	6
第二节 小麦籽粒的化学成分	7
一、小麦籽粒中各种化学成分的分布	7
二、水分	8
三、淀粉	8
四、可溶性糖类	10
五、蛋白质	10
六、脂质	11
七、纤维素	12
八、矿物质	12
九、维生素	13
第三节 小麦的制粉品质	13
一、小麦的散落性	13
二、自动分级性	14
三、悬浮速度	14
四、麦粒的结构力学性质	14
五、制粉试验	15
六、出粉率	16
七、沉降值	17
八、伯尔辛克值	19

九、小麦粉损伤淀粉含量测定与分析	19
第四节 小麦的储藏及其品质变化	21
一、小麦的储藏特性	21
二、小麦的储藏方法	22
三、小麦储藏期的品质变化	24
第二章 小麦品质遗传特性改良及环境对品质的影响	29
第一节 小麦品质遗传改良途径及其稳定性	30
一、系统选育	30
二、杂交育种	31
三、远缘杂交育种	33
四、诱变育种	34
五、基因工程技术育种	36
六、小麦品质遗传稳定性	38
七、现有品种系统鉴定, 大面积推广应用优质品种	39
第二节 气候条件对小麦品质的影响	42
一、温度	42
二、水分	44
三、光照	46
第三节 土壤条件对小麦品质的影响	46
一、土壤质地的影响	46
二、土壤肥力的影响	47
三、土壤营养元素的影响	48
四、微量元素与小麦品质	49
第四节 田间管理对小麦品质的影响	50
一、郑麦9023	51
二、豫麦34	52
三、8901	53
四、烟农19	54
第三章 小麦制粉工艺品质及其改良	56
第一节 小麦制粉工艺与小麦粉品质的关系	56
一、小麦制粉工艺的分类	56
二、小麦专用粉的生产与品质的关系	60
三、小麦脱皮制粉法对小麦粉品质的影响	65
四、配麦制粉与配粉对小麦粉品质的影响	68
五、小麦粉加工质量的控制措施	76
第二节 小麦粉品质的改良	87
一、小麦粉品质改良的目的	87
二、小麦粉品质改良的类型及其方法	88
三、常用小麦粉品质改良剂的应用	89
四、专用改良剂的应用配方	118
五、添加剂使用中的注意事项	120
第四章 小麦粉品质分析	122
第一节 小麦粉的一般理化性质	122
一、常规检测方法	122

二、近红外光谱检测技术·····	137
第二节 小麦粉中添加剂的分析·····	158
一、品质改良剂的分析·····	158
二、小麦粉及其制品中违禁添加剂及有害物质分析·····	169
第三节 面团流变学特性分析·····	186
一、面团揉和特性·····	186
二、面团延伸性·····	195
三、面团发酵特性·····	202
四、面团流变学特性的实例分析·····	206
五、发酵特性测定实例·····	225
第四节 小麦粉的烘焙与蒸煮品质分析·····	227
一、面包烘焙品质·····	228
二、饼干蛋糕等烘焙品质·····	237
三、馒头蒸煮品质·····	241
四、面条类品质评价·····	244
第五节 小麦粉的储藏特性及品质变化·····	254
一、小麦粉的储藏特性·····	254
二、小麦粉在储藏期间物理性质的变化·····	255
三、小麦粉在储藏期间的生物化学变化·····	256
四、小麦粉的包装与储藏方法·····	260
五、小麦粉储藏品质检测方法·····	262
六、小麦麸皮储藏·····	263
第五章 小麦粉组成成分与食品品质的关系研究·····	264
第一节 小麦粉蛋白质与食品品质的关系·····	265
一、小麦粉中蛋白质的结构组成与存在形式·····	265
二、小麦粉蛋白质与面包品质的关系·····	271
三、小麦粉蛋白质与馒头品质的关系·····	275
四、小麦粉蛋白质与面条品质的关系·····	277
五、小麦粉蛋白质与饼干品质的关系·····	279
第二节 小麦粉中淀粉与食品品质的关系·····	280
一、小麦粉中淀粉的组成与特性·····	280
二、小麦淀粉与面包品质的关系·····	284
三、小麦淀粉与馒头品质的关系·····	286
四、小麦淀粉与面条品质的关系·····	288
第三节 小麦粉中脂类与食品品质的关系·····	290
一、脂类物质对面团特性的影响·····	292
二、脂类物质与面包品质的关系·····	293
三、脂类物质与馒头品质的关系·····	296
四、脂类物质与面条品质的关系·····	296
第四节 小麦粉中的戊聚糖与食品品质的关系·····	297
一、戊聚糖的化学结构及种类·····	297
二、戊聚糖在面包烘焙中的作用·····	298
三、戊聚糖对小麦粉品质影响的作用机理·····	299
四、戊聚糖的酶解应用·····	300

第五节 小麦粉各组分及加工过程的微观结构与食品品质的关系	301
一、面包加工过程中微观结构的变化及各组分的影响	301
二、馒头加工过程中微观结构的变化及各组分的影响	313
三、面条和方便面加工过程中微观结构的变化及各组分的影响	317
第六章 粮油食品检验分析实验室的建设与管理	331
第一节 粮油食品检验分析实验室设计要求	331
一、检验分析实验室的类型	331
二、实验室的位置	331
三、建筑设计的基本参数	332
四、其他要求	333
第二节 实验室的水电、通风与采光设施	333
一、供水与排水	333
二、实验室供电	334
三、通风	336
四、照明与采光	343
第三节 实验台与架、柜的设计	343
一、普通分析实验台	344
二、专用仪器工作台	346
三、实验室常用的架、柜	347
第四节 粮油食品分析检验实验室的室内布置	347
一、实验台的布置方式	348
二、通风柜的布置方式	349
三、基本实验室及综合实验楼的平面布置形式示例	349
第五节 实验室管理	353
一、实验室规则与安全管理	353
二、仪器管理	355
三、化学试剂及危险品管理	359
四、图书资料管理	361
五、检验实验室经济管理	362
参考文献	365

第一章

第一节 小麦籽粒品质

小麦籽粒形状可分为长圆形、卵圆形、椭圆形和短圆形。长圆形籽粒中部宽，两端小而尖；卵圆形籽粒下部宽，上部小；椭圆形籽粒中部宽，两端小而圆；短圆形籽粒的长和宽相近。籽粒形状一般根据目测区分，也可借助螺旋器进行分类。籽粒形状越接近圆形，制粉越容易，出粉率也较高，但在一定程度上这种粒形往往具有籽粒较小及其他不利的性状。腹沟深的小麦籽粒皮层比例较大，且易沾染灰尘和泥沙，加工中难以清除，会降低出粉率和面粉质量。因此，从制粉的角度看，以近圆形且腹沟较浅的籽粒品质为好。

籽粒整齐度是指籽粒形状和大小的均匀一致性，可用一定大小筛孔的分级筛（电动谷物选筛）进行鉴定。小麦籽粒整齐度可分为3级：同样形状和大小籽粒占总粒数90%以上的为整齐（1级）；低于70%为不整齐（3级）；介于二者之间为中等整齐（2级）。籽粒整齐的



品种,制粉时去皮损失少,出粉率高。否则加工前需要先分级,造成耗能多,浪费时间,而且出粉率低。

三、籽粒饱满度

籽粒饱满度是衡量小麦籽粒形态品质的一个重要指标。一般用目测法将成熟干燥的小麦分为4级。一级籽粒饱满,胚乳充实,种皮光滑,腹沟浅;二级籽粒胚乳较充实,种皮略有皱褶;三级籽粒胚乳明显不充实,种皮皱褶明显;四级籽粒胚乳极不充实,且粒瘦、皮粗,明显变形。籽粒饱满度好的出粉率高,面粉品质好。

籽粒饱满度的另一种衡量方法是用千粒重表示(下文中将有详细介绍)。千粒重是以每千粒籽粒的质量(g/千粒)来反映籽粒大小和充实程度,它与小麦其他品质的关系目前尚未定论。但试验结果表明,同一品种的小麦,千粒重越大,说明籽粒饱满度越高,质量越好,但蛋白质含量降低,籽粒大而饱满,皮层相对较小,出粉率提高,麸皮量减少。但有人认为,千粒重和出粉率相关系数很小,籽粒较大品种的制粉品质不一定比籽粒较小的品种优越。前苏联一些学者甚至认为不能把千粒重作为制粉品质的一个指标。我国小麦育种专家和生产部门常用千粒重作为衡量产量的指标。国内小麦千粒重一般为34~45g/千粒之间,有的品种和地区达到60g/千粒以上,尤其以青海、西藏、新疆和宁夏等地区小麦千粒重较高。

四、籽粒颜色

小麦籽粒颜色主要分为红色、琥珀色、白色,一般取决于种皮颜色。种皮颜色主要由色素层的色素决定,对基本品质没有影响。只是红皮籽粒和白皮籽粒在出粉率及面粉色泽方面稍有差异。籽粒颜色也与生态条件有关,受环境条件的影响。一般按照籽粒颜色将小麦品种分为红粒、白粒、黄粒、红黄粒等几种类型。据有关资料统计,我国红粒小麦品种资源极其丰富,约为白粒小麦的2.5倍。

虽然小麦籽粒颜色与品质并无必然联系,但也存在一定影响。红粒小麦除出粉率和面粉白度比白粒品种低以外,其他性状,如蛋白质含量、沉降值及面筋含量等指标均高于白粒品种。对红、白粒姊妹系的比较研究表明,红粒品种比白粒品种蛋白质含量高0.1%,干面筋高0.2%~0.5%,湿面筋高0.42%~2.4%,沉降值高3.1mL。国外制粉厂一般比较喜欢红粒小麦,因为红粒小麦的残留物所产生的颜色对粉白色的面粉起调和作用,有利于降低面粉的白垩色程度。另外,由于红粒小麦的休眠期长,抗穗发芽能力较强,所以其分布远比白粒小麦广泛。美国、加拿大等主要产麦国种植的绝大多数优质小麦品种都是红粒小麦。墨西哥国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)1950~1987年培育的21个矮秆小麦品种也都是红粒小麦。我国小麦品种中,红粒小麦也比白粒小麦品种多。尽管白粒小麦品种在生产普通小麦粉时,麸皮对白度影响较小,受到国内面粉加工业和消费者欢迎,但一些白粒小麦面粉常出现白垩色,虽然面粉的白度可达到80%,但品质较差。因此,在小麦育种和面粉加工中,不能单纯追求籽粒颜色,更不能凭面粉粉色决定取舍,而要综合其他品质性状进行判断。如果红、白粒两品种的品质相近,那么根据我国现在国情和民俗可考虑选白粒品种。但种植白粒品种应注意防止穗上发芽而造成的损失。籽粒颜色一般用目测判断,要求精细的可用光学显色分类仪器分类。

五、千粒重

千粒重是指一千粒小麦的重量,用(g/千粒)表示,实际表明的是麦粒的平均重量。千粒重越大,麦粒越大且饱满。在其他条件相同时,小麦的水分高,千粒重也越大。为避免水分的影响,标明小麦千粒重的同时,应注明小麦的水分或干物质表示。我国小麦的千粒重范围是19~61.3g/千粒,平均为35.69g/千粒。



千粒重是小麦品种的遗传特性、气候因子和栽培条件综合作用的结果，它是籽粒大小和密度的函数。千粒重高的品种籽粒大，种皮所占比例小。皮层的厚度及其所占比例与出粉率密切相关，普通小麦皮层占籽粒质量的9%~13%。小麦腹沟部分的皮层占籽粒总表面积的15%~25%，因此腹沟的深度和形状与皮层所占百分率有关。此外，腹沟深处的皮层磨粉时不易去除，容易被磨碎混入小麦粉。

同一品种小麦籽粒千粒重高的饱满度和整齐度好，腹沟浅，籽粒去皮时损失少，出粉率高，同时可免去把大小籽粒分开的工序，提高制粉效率，降低能耗。为了使籽粒大而整齐，要求育种专家培育每穗小穗数多一些，而每小穗结粒不超过3个的品种。

综上所述，千粒重影响出粉率，同一品种千粒重对出粉率的影响较大，不同品种间千粒重与出粉率的相关性并不明显。通过增加饱满度来增加千粒重，可以增加出粉率；反之，仅仅增大籽粒而饱满度较低，则不会增加出粉率。

通常测定千粒重选用粒数板法和自动数粒仪法两种。

粒数板法所用设备简单。粒数板是一块铲形的木板或塑料板，其表面有50个或100个圆形或椭圆形凹槽，大小与麦粒的大小一致。测定时，将已除去杂质与不完善粒的试样倒在粒数板上，来回摇一摇，使每一凹槽中都有一粒麦粒，并将粒数板上多余的麦粒倾去，如此操作直至所需粒数为止，称量即得千粒重。

自动数粒仪快速、准确、操作简便。仪器有一个放置样品的料盘，盘上有一个螺旋上升的斜坡通道，料盘下部有震动机，通过料盘震动使粮粒螺旋上升，料盘出料口装有红外检测器，对经过出料口的粮粒进行记录，改变震动频率，可改变种子上升的速度，改变数粒速度，仪器装有红外检测灵敏度调节器，根据被计数粮粒大小设定敏感度，对大粒粮粒计数时，减小灵敏度，以便小粒粮粒不被计数，在数小粒粮粒时，应增加灵敏度，提高测量精度。LYSL-2型自动数粒仪（见图1-1）数粒直径从0.3~15mm，可数各种谷物、油料、蔬菜、草籽等。测量精度 $\leq 1/1000$ ，完全自动化，数粒结束前自减慢速度，提高数粒精度，当达到预设定粒数数量时，数粒仪自动停止。喂料盘出口装有调节装置，可调节通道宽窄，避免了大粒通过，也防止几粒粮食连靠在一起同时通过。该仪器有识别系统，小于设定粮食直径一半的小粒自动扣除，不计数，提高记数精度。该仪器还可调节并记忆100组数粒速度和籽粒大小参数，不用每次数粒时再调节。有显示屏和密封触摸键盘，输入数据显示测定结果，有RS232接口，内装打印机打印测定结果。



图1-1 LYSL-2型自动数粒仪

六、角质率

籽粒角质率反映了小麦籽粒的角质化程度。育种工作者常用角质率来判断小麦籽粒品质。在正常收获、干燥的情况下，籽粒角质率与硬度之间存在着显著的正相关关系。但值得注意的是，角质率与硬度是两个不同的概念。角质率反映种子胚乳外观上的玻璃质程度，而不是胚乳内部结构。籽粒角质程度的大小是由胚乳中空气间隙的存在与否决定的，空气间隙的存在引起光线衍射或漫反射，可使籽粒胚乳外观粉质化；相反，空气间隙的缺乏表现出籽粒角质化。蛋白质含量影响种子干燥过程空气间隙的产生，因此蛋白质含量和角质率的关系较密切。角质率还受环境条件的影响，特别是种子干燥过程影响很大。如果种子收获时未完全成熟，或经过冷冻干燥，就会完全粉质化；如果种子受潮再变干，也会失去原有透明度；



如果种子收获时已成熟干燥，它就会保持原有的透明度。

在正常情况下，角质率与蛋白质含量和出粉率正相关。因此，部分国家按角质率对小麦进行分类。通常所说的角质率是指小麦硬质粒（角质粒）所占百分率。硬质粒横断面角质化超过 70%，籽粒透明。软质粒横断面角质化小于 30%，籽粒不透明。中间型籽粒半透明，不软不硬。美国、加拿大、日本等国把硬质粒含量（角质率）在 70% 以上的小麦定为硬质小麦。

我国在新的小麦硬度国家标准中规定，取消按角质率划分小麦硬度的规定，用抗粉碎指数（PRI）评价小麦的硬度。小麦抗粉碎指数与小麦硬度等级见表 1-1。

表 1-1 小麦抗粉碎指数与小麦硬度等级

硬度等级	1	2	3	4	5
抗粉碎指数(PRI)/%	PRI<30	30≤PRI<40	40≤PRI<50	50≤PRI<60	PRI≥60

七、硬度

籽粒硬度是对小麦籽粒胚乳软硬程度的评价，它反映了胚乳的内部结构。籽粒硬度取决于蛋白质与淀粉结合的紧密程度，是由遗传控制的性状。

目前小麦硬度的测定方法有研磨法、压力法、近红外法等。

1. 研磨法

利用研磨粉碎来测定小麦硬度。一般来讲，硬质小麦研磨或粉碎后得到的颗粒较粗，流动性好，而软质小麦得到的颗粒较细，流动性差。不同硬度的小麦研磨或粉碎后得到的颗粒具有不同的粒度分布。研磨法主要有研磨细度法、研磨时间法、研磨功耗法、抗粉碎指数法等几种方法。

（1）研磨细度法 采用小型粉碎机将一定量的小麦样品粉碎，再用细小筛网筛选处理一定时间，测取筛下物（细粉）占粉碎物料的百分比。此方法通常也称为颗粒度指数法（Particle Size Index，简称 PSI）。麦粒胚乳硬度高就不易破碎，其细粉含量较少，故 PSI 值较低；胚乳硬度低则易粉碎，细粉含量多，PSI 值相对较高。

利用 Falling Numlser 公司的 3100 实验磨，磨碎 10g 样品，用 140 目筛网筛选处理 8min，测得的 PSI 值：硬麦为 20%~40%，软麦为 50%~70%。由于不同生产厂家采用的研磨及筛选设备不同，筛网孔径和筛选处理时间也有差异，故不同型号、规格的仪器所测得的 PSI 值不尽相同。因此，采用 PSI 值测取小麦硬度时，需注意所用仪器的规格型号，该仪器测得的软硬麦 PSI 值的经验范围。

研磨细度法有很好的分辨能力，测定重现性好，但测定时间较长。

（2）研磨时间法 此类硬度仪主要由立式锥形磨、天平、时间显示器及控制电路组成。其原理是：称取一定量的小麦样品送入立式锥形磨粉碎，粉碎后物料靠自重落入其下方的天平中，同时自动记录天平中的粉碎物料达到一定量时所用的时间（Ground Time，简称 GT），以秒（s）计。软麦磨碎后得到细小粉粒较多，其流动性差，不易从磨体间隙中流出，研磨时间（GT 值）长；籽粒硬度高，粉碎后大颗粒物料较多，流动性好，GT 值就小。

联邦德国的 Brabender 公司微型硬度计（Micro-Hardness Tester）测定小麦硬度的方法如下。取小麦 6g 投入磨口中，记录研磨出 4g 粉碎物料时所需要的时间（GT 值）：硬质小麦 15~25s，软质小麦 26~60s。研磨时间法在测定时所需样品数量少、测定时间短，操作简单，测定重现性也很好。

（3）研磨功耗法 该方法是使用德国 Brabender 公司生产的硬度结构仪（Hardness and Structure Tester）测定研磨籽粒时所需要的力和功。硬质麦比软质麦需要更大的功。该方法更为准确，所需仪器较复杂，要将硬度结构仪与粉质仪的测定系统相联结，且样品质量



大，一次测定需用 50g 样品，费工费时，操作繁琐。

笔者利用电子型粉质仪的测定系统联结一对小磨辊来测定小麦抗研磨切割的力，该方法准确性很高，既可对单粒小麦进行测试，又可测 10 粒小麦的平均值，该技术装置于 2000 年已获国家专利 (ZL01251832.8)。

(4) 抗粉碎指数法 抗粉碎指数法是由河南工业大学 (原郑州粮食学院) 研究并建立的一种测定小麦硬度的新方法，利用在一定的粉碎时间内，不同硬度的小麦样品粉碎后穿过筛网的粉粒质量的差异测定小麦的硬度。河南工业大学还与无锡粮食机械厂合作，成功研制出新型小麦硬度测定仪。该方法在规定时间内，小麦样品被粉碎后穿过筛网的粉粒质量占测试小麦样品质量的百分比值表示小麦的硬度，称小麦抗粉碎硬度指数 (Pulverization Resistance Index, 简称 PRI)。PRI 值越小，表明小麦硬度越大。硬麦的 PRI 值为 20%~30%，软麦的 PRI 值为 40%~50%。小麦的抗粉碎指数法与现有的各种小麦硬度测定方法相比，具有仪器价格低、快速、操作简便等优点，可用于小麦育种、品质评价、加工等硬度的测定。

采用研磨法测定小麦硬度应注意将测试样品的水分、测试环境的温度和湿度控制在相对一致的水平上。因为小麦水分的变化，将使麦皮韧性、胚乳硬度、粉碎物料的流动性及筛理性能的改变，从而导致测定值的改变，对软麦测定值的影响尤为显著。

2. 压力法

利用压力压碎或切割方法来测定小麦硬度，如压裂籽粒法、切割法等。Ogawa Seiki O. S. K 谷物硬度测试仪用于测量当一粒麦粒受压而出现裂痕时所达到的最大压力表示小麦的硬度。测试时需将麦粒侧向放置，使其两侧同时受压，从而使因腹沟引起的变异性减小到最小的程度。但是此种测量无法计算出应力的大小，因为压力作用面积是未知的。另外，小麦单颗粒之间的硬度差别较大，即使同品种、甚至同株小麦麦粒间也有差异，故此方法需要在较多的样品测试基础上，进行统计分析方能得出较准确的测试结果。因此目前使用较少。

4100 型单粒谷物特性测定仪 (Single Kernel Characterization System, 简称 SKCS4100 系统)，能在 3~4min 内对 300 个谷物籽粒的特性进行一粒一粒地检测，可测出谷物水分、硬度指数、籽粒重量、籽粒直径等指标。SKCS4100 系统能快速测出样品的均匀性，并进行统计分析，显示出平均值、标准差，并绘出直方图。SKCS4100 可将小麦快速鉴别分类，目前是美国联邦粮食监测中心 USDA 用于硬度分类的官方仪器。

3. 近红外法

近红外法 (NIR) 可以快速测定谷物的蛋白质、脂肪、水分含量等。其中 1680nm 处的反射量 NIR 值与研磨时间法的 GT 值或研磨细度法的 PSI 值都有较好的相关性。用近红外反射仪测定小麦籽粒的硬度，国内外均有应用的报道。其优点是简便、快速，可同时测几个性状。NIR 法已列入美国谷物化学家协会标准方法 (AACC 5530)，在法国也被广泛使用。NIR 值越大，籽粒硬度越高。硬麦的 NIR 值大于 75，软麦的 NIR 值小于 25。

小麦的硬度是由胚乳细胞中蛋白质基质和淀粉之间的结合强度决定的，这种结合强度受遗传控制。在硬麦中，细胞内含物之间结合紧密。软质小麦胚乳细胞内蛋白质与淀粉之间的结合很容易破裂，其淀粉粒表面黏附较多的蛋白质，而硬质小麦的淀粉粒表面该蛋白质含量少或没有。淀粉粒表面黏附的蛋白质的存在，削弱了蛋白质与淀粉之间的结合强度，有关小麦硬度的这一假设是目前谷物化学界较为接受的理论解释。

小麦硬度不同，其制粉特性存在较大差异。硬质小麦胚乳中，细胞组织内部结构紧密，相应使得细胞壁与其内容物的交界处变成薄弱点，当外力作用时，胚乳开始破裂倾向于沿着细胞壁的界面发生，逐渐增加压力 (减少磨辊轧距)，即引起纵贯细胞的碎裂。软质胚乳细胞组织内部结合不是很紧密，破裂时往往通过细胞本身。硬质小麦胚乳硬，皮薄易碎，研磨



过程中胚乳较容易与皮层分离,而将胚乳颗粒研细成粉,则需相对较多的研磨道数,心磨耗能也相对较高。硬麦的粉碎物料多为大小不等的颗粒状,散落性及流动性较好,具有良好的自动分级性能,易于筛理。软麦则胚乳细胞组织结构疏松,强度较低,其胚乳破裂时多通过细胞本身。软麦皮层较厚,韧性较大,靠近糊粉层的胚乳不易剥刮干净,麦皮上易有胚乳,因此需要加强皮磨系统对麦皮的剥刮作用,否则将导致出粉率下降。研磨后物料中,麸片较多,细小的粉粒也较多,大、中粗粒较少,且粉粒形状不规则,流动性较差,较难以筛理。当小麦水分较高时,很容易造成平筛及输送溜管的堵塞,从而导致产量下降。

硬质小麦胚乳中,淀粉牢固地嵌在蛋白质基质中,因而将胚乳磨碎成细小粉粒时,胚乳细胞破碎,很容易造成一些淀粉颗粒的损伤。而软麦胚乳中,淀粉颗粒与蛋白质基质的结合不是很紧密,当胚乳细胞破碎时,较容易脱离下来,形成细小的颗粒,因而与磨辊表面直接摩擦的机会相应减少,受损伤的概率就较小,破碎淀粉粒相对较少。硬麦小麦粉多呈细小沙砾状,软质小麦粉则是细腻的、含有许多单粒淀粉、易粘连在一起的细小粉团。

硬质小麦蛋白质含量一般较高,具有较强的亲水性能,但结构紧密,水分渗透的速度较慢,故需较高的人磨水分、较长的润麦时间才能具有较适宜的制粉性能;软麦则相对入磨水分稍低、润麦时间稍短。

小麦硬度的变化还将导致小麦制粉生产过程中研磨在制品的数量和质量的变化,对各系统物料流量和质量的平衡产生影响,进而对生产过程的稳定带来影响。因此,预知加工小麦的硬度,对确定小麦搭配比例、控制着水量和润麦时间、调整制粉工艺流程及相应的技术参数、采取相应的技术措施等方面都至关重要。硬麦的润麦时间较长,加水量较大,碾磨耗能多,压碎时形成颗粒较大、较整齐、流动性较好的粗粉,筛理效率高。而且,硬麦皮层与胚乳结合较松,胚乳较易从皮层上刮净,制成的粉麸星少、色泽好、灰分少、出粉率高。软质麦则相反,小麦粉颗粒小而不规则,麸皮率高,出粉率低,小麦粉颗粒表面较粗糙,筛理较难,麸星多,容易造成粉路堵塞。硬麦小麦粉的淀粉粒破碎较多,小麦粉越细,损伤越多,导致小麦粉吸水率增大。软麦制出的粉细,淀粉粒很少破损,吸水少,在和面和发酵时很少膨胀,不变形、易烘干,适宜制作饼干。由此可见,小麦籽粒的硬度与制粉和食品加工品质有关,其出粉特点也影响营养品质。

因此,小麦籽粒质地软硬是评价小麦加工品质和食用品质的一项重要指标,并与小麦育种和贸易价格等密切相关。硬度是国内外小麦市场分类和定价的重要依据之一,也是各国育种专家重要的育种目标之一。

八、容重

容重是小麦收购、储运、加工和贸易中分级的重要依据,也是鉴定制粉品质的一个综合指标。容重是小麦籽粒形状、整齐度、饱满度和胚乳质地的综合反映。容重大的小麦品种,籽粒整齐饱满,胚乳组织较致密。容重与籽粒大小的关系不大,但受籽粒间空隙大小的影响。容重与出粉率和小麦粉灰分含量直接相关,在一定范围内,随容重增加,小麦出粉率提高,灰分含量降低。它与出粉率相关密切,相关系数大于硬度与出粉率的相关系数(李硕碧等,1996)。等外级小麦的容重对出粉率的影响明显较等内级小麦大,随容重的减小,出粉率急剧下降。由于容重与角质率及小麦粉粉质参数相关不显著,一些研究者认为,容重与小麦粉品质有无关系尚不能定论,它的意义只能从贸易角度考虑。我国以克/升(g/L)为容重单位,国外常用英制单位为磅^①/蒲式耳^②(lb/bushel),公制单位为千克/百升(kg/

① 1lb=0.45359237kg。

② 蒲式耳(bushel,缩写bu.),在英国,1bushel=36.268L;在美国,1bushel=35.238L。1bushel油料或谷类的重量各异,即使同一种油料或谷物也因不同品种或产地有差别。



100L)。我国小麦的容重一般为 680~830g/L，容重是我国现行商品小麦收购的质量标准和定价依据。

测定容重的仪器和方法较多，但目前我国普遍采用 HGT-1000 型容重器（图 1-2）来测量小麦的容重。其操作程序如下。

① 打开外箱，先将立柱装在箱盖的立柱座上。再将标尺梁支架安装在立柱上，将标尺梁安装在支架上，使支点刀口恰好放在刀垫上。然后，将标尺上大小游锤移至零位，把排气锤放入容量筒内，再把容量筒挂在标尺梁的称钩上，用平衡螺丝调整零点使其达到平衡。

② 取下容量筒，取出排气锤，把容量筒置于筒座上，从容量筒上部的豁口中将插片插入。把排气锤放于插片上，将辅助漏斗筒（中间筒）套在容量筒上，将漏斗筒套在辅助漏斗筒上，关闭漏斗开关。

③ 将通过规定筛层的小麦样品倒入漏斗筒内，打开漏斗开关，使试样流入辅助漏斗筒内，迅速抽出插片，排气锤和试样即落入容量筒内。再将插片插入容量筒豁口内，把多余试样隔开，然后将三只筒一起取下，倒去多余试样，抽去插片，并将容量筒挂在称钩上称量，即为该小麦的容重。容重结果以 g/L 表示。双试验误差不得超过 3g/L。

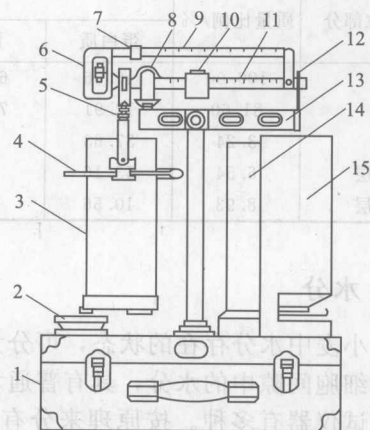


图 1-2 HGT-1000 型容重器

- 1—收装箱；2—排气锤；3—容量筒；4—插片；
5—钩；6—平衡锤；7—小游锤；8—大尺刀；
9—小标尺；10—大游锤；11—大标尺；
12—平衡止板；13—横梁支架；
14—中间筒；15—谷物筒

第二节 小麦籽粒的化学成分

小麦籽粒的化学成分主要有水分、蛋白质、糖类、脂类、维生素、矿物质等。这些成分是人体所需要的各种营养成分，它们的含量高低和平衡程度就决定了其营养品质的优劣。小麦是我国的重要粮食作物，用途广，它可以加工成许多不同属性的食品，如面包、糕点、饼干、馒头、面条、饺子等，因此，小麦的加工水平对其制品营养品质的改善和保持具有重大意义。

一、小麦籽粒中各种化学成分的分布

麦粒各部分中各种化学成分的含量相差很大，分布不平衡。研究这些特性有助于小麦及小麦粉的加工和储藏，表 1-2 为不同类型小麦整粒麦的化学成分，表 1-3 为麦粒各组成部分的化学成分（干物质）。

表 1-2 不同类型小麦整粒麦的化学成分

小麦类型		水分/%	蛋白质/%	碳水化合物/%	脂肪/%	灰分/%	纤维素/%
冬小麦	饱满籽粒	15.0	10	70.0	1.7	1.7	1.6
	中等籽粒	15.0	11	68.5	1.9	1.7	1.9
	不饱满籽粒	15.0	13.5	64.0	2.2	2.6	2.7
春小麦		15.0	13.2	66.1	2.0	1.9	1.8



表 1-3 麦粒各组成部分的化学成分(干物质)

麦粒部分	质量比例/%	各成分占麦粒部分的比例/%						
		蛋白质	淀粉	糖	纤维素	戊聚糖	脂肪	灰分
整粒	100.00	16.06	63.07	4.32	2.76	8.10	2.24	1.91
胚乳	81.60	12.91	78.92	3.54	0.15	2.72	0.68	0.45
胚	3.24	37.63	0	25.12	2.46	9.74	15.04	6.32
糊粉层	6.54	53.16	0	6.82	6.41	15.44	8.16	13.93
外皮层	8.93	10.56	0	2.59	23.73	51.43	7.46	4.78

二、水分

小麦中水分存在的状态,可分为游离水和胶体结合水。游离水也称为“自由水”,是存在于细胞间隙中的水分,具有普通水的性质。检验小麦水分时,其测定对象就为游离水。水分测试仪器有多种。按原理来分有:电加热式(如干燥箱法)、电阻式(如插包式水分仪、钳式水分仪)、电容式(如铲斗式水分仪、杯式电脑水分仪)、红外加热式(如红外线水分仪)、微波加热式(如微波水分仪)、近红外光谱式(如近红外水分仪)等。按操作方式来分有:插包式、钳式、粉碎式、铲斗式、杯式、隧道式、箱式等。总体来讲,加热式准确度高(一般误差在 $\pm 0.1\%$ 以内,不受品种的影响),但测定时间长,最快的微波加热式水分仪测定时间为3~5min;准确度其次的为电容式[受品种的影响,校正与测量为同一品种时,误差在 $\pm 0.3\%$ 以内,若为不同品种时,误差在 $\pm (0.5 \sim 0.8)\%$],其优点为测量迅速,只需10~20s;准确度最差的为电阻式(如插包式、钳式、粉碎式),受品种的影响大,校正与测量为同一品种时,误差在 $\pm 0.5\%$ 以内,若为不同品种时,误差在 $\pm (0.8 \sim 1.5)\%$ 。最近,美国农业部技术开发,由瑞典波通仪器公司生产的 Aquamatic 5100 水分测定仪,利用150MHz的无线电波测定粮食的水分,一条曲线适合所有谷物和油料作物水分、容重和温度的测定,无需校准与更新,具有较高的准确性。

胶体结合水也称为“束缚水”,与细胞中的蛋白质、糖类亲水物质结合,形成比较牢固的胶体水分,它不具有普通水的性质。

小麦具有吸潮和散湿性能,通过着水,经吸收可增加游离水的含量,水分较高时,皮层与胚乳的强度差别增加,有利于制粉,但小麦及其中间产品的散落性将变差。

未进行水分调节时,水分在麦粒各部分中分布是不均匀的,一般小麦皮层的水分低于胚乳,通过调节可使皮层的水分较高。

三、淀粉

淀粉是小麦籽粒中含量最多的成分。小麦粉烘焙与蒸煮品质除与面筋数量和质量有关外,在很大程度上取决于淀粉的性质。

淀粉占小麦籽粒的57%~67%,小麦粉的67%,占胚乳质量的70%。淀粉含量的测定方法有:酶解法、酸解法、旋光法和比色法,比色法通常采用的是蒽酮比色法和 Somogyi-Nelson 法。

小麦淀粉粒可分为透镜状的大淀粉粒和圆形的小淀粉粒两种,大淀粉粒直径25~40 μm ,在授粉后15d形成,其数量仅占总数的12%左右;小淀粉粒直径为2~10 μm ,在授粉后18~30d出现,占总量88%。两种淀粉粒的化学成分和性质基本相同。

淀粉的相对密度为1.486~1.507。干淀粉比热容为0.27,发热量为17.3kJ/g。淀粉不溶于冷水,但淀粉悬浮液遇热膨胀,糊化,发生凝胶作用,形成胶体。淀粉的分解温度为260 $^{\circ}\text{C}$ 。

淀粉是葡萄糖的自然聚合体,根据葡萄糖分子之间的连接方式的不同而分为直链淀粉和