

# 谷物品质与食品加工

——小麦籽粒品质与食品加工

魏 益 民 著

中国农业科学技术出版社

# 谷物品质与食品加工

——小麦籽粒品质与食品加工

魏益民 著

中国农业科学技术出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

谷物品质与食品加工 / 魏益民著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2005. 6  
ISBN 7 - 80167 - 758 - 7

I. 谷... II. 魏... III. ①小麦 - 粮食品质 - 分析②面粉制食品 - 食品加工  
IV. TS211

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 009457 号

**责任编辑:** 崔改泵

**责任校对:** 马丽萍

**出版发行:** 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 - 68975144; 010 - 68919703; 010 - 62121228

**经 销 者:** 新华书店北京发行所

**印 刷 者:** 北京佳信达艺术印刷有限公司

**开 本:** 787mm × 1092mm 1/16

**印 张:** 16

**字 数:** 399 千字

**版 次:** 2005 年 6 月第 1 版

**印 次:** 2005 年 6 月第 1 次印刷

**印 数:** 1 ~ 1000 册

**定 价:** 60.00 元

版权所有 · 翻印必究

# 序

小麦是我国的第二大粮食作物，是中国居民日常生活的主要食物来源，在粮食储备和食品安全方面也占有十分重要的地位。

近10年来，我国的小麦育种工作者已选育出了一批优质专用小麦品种，从而缓解了国内市场对专用小麦的需求，并在优质小麦生产区划，生产与加工体系建设方面取得了一定进展。但相比之下，我国对中国传统食品对小麦品质的要求，中国传统食品品质与小麦籽粒品质的关系，甚至在优质小麦标准的制定方面基础研究不够，还不能很好的指导优质小麦生产和食品加工。

作者曾跟随赵洪璋院士从事小麦育种，后留学原联邦德国，专门从事小麦品质评价与利用方面的研究。20世纪90年代初回国后，一直从事小麦品质与食品加工方面的研究，发表了多篇有较高水平的研究论文，取得了数项科研成果和奖励。特别是作者领导的学者群体，一直活跃在国内谷物化学研究的前沿，在国际上也有一定的影响。

本书是作者继《谷物品质与食品品质——小麦籽粒品质与食品品质》出版之后，继续以陕西关中及黄淮冬麦区的小麦品种为材料，对我国小麦磨粉品质，蛋白质特性（特别是麦谷蛋白溶胀指数）、淀粉特性与食品加工品质，小麦籽粒品质与啤酒酿造，营养强化（特别是苜蓿粉添加）与小麦食品加工等问题，进行了系统和全面的总结，是一部小麦品质和加工利用方面不多的研究论著。本书的出版将会对我国谷物化学研究，小麦品质育种与加工利用，中国传统食品的产业化开发产生一定的影响。

中国工程院院士

卢良恕 研究员

2004年3月25日

# 序

谷物品质是作物研究的基本内容，品种改良的主要目标，农业标准制定的重要依据和食品加工的理论基础。食品加工要依据加工原料的特性制定最佳工艺流程，尽可能制作出消费者称心满意的食品。因此，谷物品质研究是制定食品加工工艺路线和制作优质食品的物质基础和科学依据。

《谷物品质与食品加工——小麦籽粒品质与食品加工》一书，是作者及所领导的学者群体继《谷物品质与食品品质——小麦籽粒品质与食品品质》一书出版之后著述的又一本专论。作者以陕西关中及黄淮冬麦区的小麦品种为材料，根据自己近十年来所进行的科学研究，对我国小麦磨粉品质，蛋白质特性（特别是麦谷蛋白溶胀指数）及淀粉特性与食品加工品质，小麦籽粒品质与啤酒酿造，营养强化（特别是苜蓿粉添加）与小麦食品加工等问题，进行了系统和全面的总结。前三章主要结合我国传统食品面条加工品质进行论述，后两章则涉及用小麦作原料酿造啤酒的技术与质量要求和食品加工的新动向、新领域，颇有自己的特色和创意。

该书对我国小麦品质改良、食品加工标准制定具有较高的理论指导价值，对调整产业结构、发展农产品加工业、促进农业产业化、增加农民收入也有现实的参考意义。

中国科学院院士  
庄巧生 研究员  
2004年3月23日

# 前 言

小麦是中国的第二大粮食作物，1999~2001年平均播种面积为27 624千公顷，总产量为10 458万吨，年均消费量为11 596万吨。全国小麦主要产区(1999~2001)依次为河南、山东、河北、江苏、安徽、四川、陕西、新疆、甘肃、湖北，占全国小麦总产量的84%，仅河南、山东、河北三省的总产量就占全国总产量的50%。从2001年起，全国小麦总产量已连续3年跌至10 000万吨以下，开始居于玉米总产量之后，出现了消费量大于总产量，依靠国内库存和进口补充的现象。

有关小麦籽粒品质与食品加工及产品品质的研究是小麦化学和加工技术研究的重要内容，是谷物科学和加工技术研究的重点领域，也是谷物化学家比较关注的科学与技术问题。

第二次世界大战结束以来，各国科学家就小麦品质改良、优质品种推广、加工工艺改进、小麦制品、区域小麦消费特点等，以及生物技术在小麦品种改良中的应用做了大量的研究工作，推动了全世界范围内的小麦生产，产生了举世瞩目的绿色革命。

近20年来，谷物化学技术与小麦品质改良技术的结合，生物技术的应用与深入研究，加快了小麦品质改良的步伐。主要小麦输出国对小麦消费国生活习惯、消费特点的关注和研究使亚洲国家的传统小麦制品成为谷物化学家、食品科学家研究的又一个热点，形成了大量的研究论文、食品品质标准、食品配方及相关的研究和评价方法。

20世纪80年代以前，我国的小麦育种工作者在小麦高产、稳产、抗逆品种选育方面取得了显著的成就，在小麦品质改良与食品加工方面也做过一些探索性的工作。20世纪80年代以后，小麦品质育种和优质资源筛选被列入国家科技攻关项目，在小麦主产省区开始了小麦原材料品质评价、小麦品质改良、小麦新品种的食品品质评价工作，出现了小麦育种工作者、粮食加工技术人员及食品科技工作者之间的合作研究与交流，推动了我国小麦品质改良及食品加工研究。近10年来，我国的小麦育种工作者已选育出了一批优质小麦品种、专用小麦品种，且绝大多数已用于生产，从而缓解了国内市场对强

筋小麦和弱筋小麦的需求。目前,就我国小麦育种工作者、食品科技工作者和工程技术人员的研究结果和技术手段来说,完全可以满足国内优质小麦生产、加工、市场的需求,对优质小麦的生产区划,优质小麦生产与加工体系建设也都进行了一定的试验或尝试。但相比之下,我国对中国自有的传统小麦食品、小麦食品品质与小麦品种籽粒品质的关系,传统小麦食品对小麦籽粒品质的要求,以及传统小麦食品加工工艺和评价标准方面还存在着许多问题,甚至落后于西方国家的研究工作,或盲目照搬或套用西方国家的研究结果或标准。

《谷物品质与食品加工——小麦籽粒品质与食品加工》一书是作者在继《谷物品质与食品品质——小麦籽粒品质与食品品质》一书出版之后,作者对所领导的研究群体在小麦籽粒特性与制粉、蛋白质及淀粉的性质与食品加工、籽粒品质与小麦啤酒酿造、小麦制品的营养强化等方面研究结果的系统总结和理论完善。作者希望通过《谷物品质与食品加工——小麦籽粒品质与食品加工》一书的出版,加深小麦育种工作者、粮食加工技术人员、食品科技工作者及食品科学与工程专业的学生及研究生对小麦籽粒品质与食品加工之间关系的理解,增进学科之间的彼此了解和合作,加快小麦生产、收贮、加工及中国传统食品加工工业化的快速发展,促进小麦产业链的完善和延伸,增加农民收入。

参与本书撰写、整理、试验过程的成员有欧阳韶晖、罗勤贵、胡新中、王春、梁灵、郭波莉、常敬华、师俊玲、张波、张国权,他(她)们为本书的研究内容,书稿整理做出了自己的努力和贡献。一同工作多年,大家互敬互勉,让人终生难忘。

本书的研究结果由于受材料、手段、研究方法、食品种类及作者水平的限制,不可避免地会存在一些观点、结论方面的问题或不足;作者对国内外研究资料的整理和加工也未必全面系统,或未完全表达原文作者的思想,衷心地希望读者在阅读本书的过程中给予批评和指正。

作 者

2004年2月2日于北京

# 目 录

第一章 小麦的磨粉品质	1
第一节 小麦磨粉品质的研究进展	1
一、小麦品质性状及其分类	1
二、小麦籽粒物理特性	2
三、小麦的磨粉品质性状	6
第二节 材料与方法	9
一、试验材料	9
二、试验方法	10
第三节 结果分析	11
一、1999/2000 年度参试小麦品种 (品系) 的籽粒物理性状和磨粉品质	11
二、2000/2001 年度参试小麦品种 (品系) 籽粒物理性状和磨粉品质	16
三、关中部分小麦品种 (品系) 磨粉品质的年际变化	19
四、籽粒性状与磨粉品质性状的相关性	20
第四节 讨论与结论	22
一、讨论	22
二、结论	24
参考文献	24
第二章 小麦谷蛋白溶胀指数与食品加工品质	37
第一节 小麦籽粒谷蛋白研究概述	37
一、小麦籽粒蛋白质	37
二、面筋蛋白	38
三、谷蛋白的测定及谷蛋白与加工品质的关系	40
四、谷蛋白溶胀指数 (SIG)	48
第二节 材料与方法	50
一、试验材料	50
二、分析方法	50
三、试验方法	50
四、数据分析方法	52
第三节 小麦蛋白质组分及其与面条品质的关系	53
一、材料与方法	53



二、结果与分析 .....	54
三、小结 .....	57
第四节 影响谷蛋白溶胀指数测定的因素分析 .....	57
一、材料与方法 .....	57
二、结果与分析 .....	58
三、讨论与小结 .....	63
第五节 谷蛋白溶胀指数与蛋白质品质及面团特性的关系 .....	63
一、材料与方法 .....	64
二、结果与讨论 .....	64
三、讨论与小结 .....	67
第六节 谷蛋白溶胀指数与面条品质的关系 .....	67
一、材料与方法 .....	68
二、结果与分析 .....	68
三、小结 .....	70
第七节 讨论与结论 .....	71
一、讨论 .....	71
二、结论 .....	74
参考文献 .....	75
<b>第三章 小麦籽粒淀粉性质的研究 .....</b>	<b>82</b>
第一节 小麦籽粒淀粉的性质 .....	82
一、小麦籽粒淀粉理化特性 .....	83
二、小麦淀粉的糊化特性 .....	85
三、小麦淀粉的遗传特性 .....	88
四、小麦淀粉凝胶特性 .....	89
五、小麦淀粉与食品品质的关系 .....	89
第二节 材料与方法 .....	90
一、材料 .....	90
二、样品处理及测定方法 .....	91
三、数据处理方法 .....	92
第三节 结果与分析 .....	92
一、小麦品种(系)籽粒淀粉理化特性 .....	92
二、小麦品种(系)籽粒淀粉糊化特性 .....	99
三、小麦品种(系)淀粉凝胶质构特性 .....	112
四、小麦籽粒淀粉性状相关分析 .....	115
五、小麦品种(系)淀粉性状聚类分析 .....	119
第四节 结论与分析 .....	120
一、小麦品种(系)籽粒淀粉理化特性 .....	120
二、小麦品种(系)籽粒淀粉糊化特性 .....	121
三、小麦品种(系)籽粒淀粉凝胶质构特性 .....	121

四、小麦品种(系)籽粒淀粉特性相关性 .....	121
五、小麦品种(系)籽粒淀粉特性聚类分析 .....	122
参考文献 .....	123
<b>第四章 小麦籽粒品质与小麦啤酒质量关系的研究 .....</b>	<b>139</b>
<b>第一节 啤酒及小麦啤酒 .....</b>	<b>139</b>
一、啤酒及小麦啤酒的发展状况 .....	139
二、啤酒及小麦啤酒对原粮品质要求 .....	142
三、麦芽特性与啤酒质量的关系 .....	144
四、麦芽品质及评价 .....	148
五、啤酒及小麦啤酒的评价 .....	151
<b>第二节 材料与方法 .....</b>	<b>152</b>
一、试验材料 .....	152
二、试验方法 .....	153
<b>第三节 结果分析 .....</b>	<b>155</b>
一、小麦品种籽粒品质、麦芽品质及啤酒品质基本性状 .....	155
二、小麦与大麦籽粒品质、麦芽品质及啤酒酿造品质性状比较 .....	158
三、小麦品种籽粒品质、麦芽品质及酿造品质分析 .....	160
四、籽粒品质、麦芽品质及啤酒酿造品质之间的相关关系 .....	170
五、籽粒品质、麦芽品质、啤酒酿造品质之间的逐步回归关系 .....	175
六、优质啤酒小麦品种籽粒品质、麦芽品质特点 .....	180
<b>第四节 讨论和结论 .....</b>	<b>182</b>
一、讨论 .....	182
二、结论 .....	186
参考文献 .....	187
<b>第五章 苜蓿营养强化面粉加工特性的研究 .....</b>	<b>199</b>
<b>第一节 面团、面粉的研究概况及苜蓿食用价值的研究进展 .....</b>	<b>199</b>
一、面团的化学键及结构 .....	199
二、面粉成分及特性 .....	202
三、全麦粉和复合粉的研究 .....	205
四、苜蓿食用价值的研究进展 .....	205
<b>第二节 试验材料与方法 .....</b>	<b>210</b>
一、材料 .....	210
二、试验方法 .....	211
<b>第三节 样品的理化特性 .....</b>	<b>214</b>
一、营养成分 .....	214
二、蛋白质组分 .....	215
<b>第四节 苜蓿粉对面团流变学及烘焙特性的影响 .....</b>	<b>215</b>
一、材料和方法 .....	216
二、结果与分析 .....	216

---

三、小结·····	220
第五节 苜蓿粉对面条品质的影响·····	220
一、材料和方法·····	220
二、结果与分析·····	221
三、小结·····	224
第六节 苜蓿粉对面条感官品质的影响·····	224
一、材料和方法·····	225
二、结果与分析·····	225
三、小结·····	226
第七节 苜蓿粉对淀粉糊化特性及膨化食品品质的影响·····	228
一、材料与方 法·····	229
二、结果与分析·····	229
三、小结·····	232
第八节 讨论与结论·····	234
一、讨论·····	234
二、结论·····	238
参考文献·····	239

# 第一章 小麦的磨粉品质

小麦在全球除南极洲以外的所有大陆均有种植，常年种植面积约 2.3 亿  $\text{hm}^2$ ，占世界谷物面积的 32%；小麦的总产量约为 5.7 亿 t，占世界谷物总产量的 31% 左右，是世界上分布范围和种植面积最广，总产量最高的粮食作物。小麦提供了全世界约 35% 人口的主要食物，由小麦提供的蛋白质数量等于肉、蛋、奶等畜产品蛋白质数量的总和（Hanson et al., 1982）。

小麦由于易长期储存，是世界上食品安全、战略储备和谷物贸易的最主要的粮食种类。小麦面粉加水后形成面筋，可以制作花色品种繁多的面制食品，如面包、馒头、包子等用酵母发面的烘烤或蒸制食品；蛋糕、饼干等化学发面的烘烤食品；不用发面的面条、通心粉等面制食品；油饼、油条等油炸食品。在国外，小麦也越来越多地用作饲料、淀粉、谷朊粉等非直接食用食品的制造。

中国小麦的常年种植面积约 2 700 万  $\text{hm}^2$ ，总产量 1.1 亿 t，在总产量上仅次于水稻、玉米，是我国北方人民的主要粮食。近年来，随着城乡居民消费结构的变化，中国小麦生产出现了一些新的特点：一是随着果品、蔬菜、畜产品和水产品消费的增加，小麦的直接食用消费逐渐下降；二是小麦面粉在我国南方的消费量稳步上升；三是随着粮价的变动，很多地区依据效益调整了小麦种植面积；四是对优质专用小麦需求大幅度上升。因为面制食品工业（主要是方便面业、挂面业和糕饼业）需求的拉动，预计到 2005 年，我国优质专用小麦的需求量将达 1 000 万 t 以上，而目前市场缺口较大。

## 第一节 小麦磨粉品质的研究进展

### 一、小麦品质性状及其分类

小麦品质是小麦对某种特定用途的满足程度（Vetter, 1987；杨建设等, 1992）。根据特定用途的不同，可以将小麦品质性状分为营养品质性状和加工品质性状。其加工品质性状又可分为磨粉（一次加工）品质和食品（二次加工）品质。国内外多数学者将小麦籽粒的物理特性划分为磨粉品质（milling quality）；将与食品加工关系密切的粉质参数、拉伸参数、糊化参数等划分为食品品质（food-making quality）。

小麦营养品质包括各种营养成分的含量，以及各种营养成分是否全面和平衡。特别是

小麦籽粒蛋白质含量及蛋白质中各种必需氨基酸的平衡程度,尤其是赖氨酸含量。小麦的蛋白质属于半完全蛋白,其氨基酸种类齐全,但含量很不平衡。赖氨酸是小麦的第一限制性氨基酸。赖氨酸在小麦籽粒中的含量以占籽粒干重的百分率表示时,随蛋白质含量增加而增加;以占蛋白质的百分率表示时,随蛋白质含量增加而减少。这可能是高蛋白的小麦中醇溶蛋白含量较高,而醇溶蛋白中赖氨酸含量较少的缘故。小麦品种间的赖氨酸含量变异较小,故改良潜力不大(Johnson et al., 1973)。

关于小麦的加工品质的研究报道较多。一般认为,小麦中蛋白质的质量决定着小麦的食品加工品质(Kosmolak et al., 1980; Lagudah et al., 1987)。根据 Osborne (1905)建立的谷物蛋白质组分分类法,小麦蛋白质主要为清蛋白(Albumin,溶于水)、球蛋白(Globulin,溶于2%中性食盐溶液)、醇溶蛋白(Gliadin,溶于70%乙醇溶液)和谷蛋白(Glutenin,溶于稀酸或稀碱)等四种。前两种又称可溶性蛋白,含较多的赖氨酸、色氨酸和蛋氨酸,营养价值好;后两种是小麦的贮藏蛋白,赖氨酸含量较低,但贮藏蛋白是形成小麦面筋的主要成分,对加工品质有极为重要的影响。

小麦中面筋的存在是决定小麦独特的加工特性的主要因素。湿面筋含量与面团吸水率、面团形成时间、稳定时间、面包体积、面包纹理结构等密切相关(Dong et al., 1992; 李志西等, 1997)。

由 Zeleny 1947 年提出的沉淀值是面筋含量与质量的综合反映(Atkins 1965; 王光瑞等, 1985; 王肇慈等, 1988; 张彩英等, 1989; 李志西等, 1998)。沉淀值与小麦蛋白质组分含量有关:清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白与沉淀值相关性很小,麦谷蛋白与沉淀值呈极显著正相关。沉淀值与高分子量谷蛋白亚基组成的变异有密切关系,具有优质亚基 5 + 10、1 或 2\* 的品种往往具有较高的沉淀值和优良的烘烤品质(马传喜等, 1993; 赵和等, 1994)。根据沉淀值的毫升数可将小麦品质由优到劣分为大于 50ml、49 ~ 35ml、34 ~ 20ml、小于 20ml 等四个级别(李宗智, 1991)。

面团流变学特性是面团物理性能的表现,与食品加工过程中面团的滚揉、发酵以及机械加工直接相关,能够很好地反映面粉的加工品质,预测面粉的烘烤品质。常用德国布拉本德粉质仪(Farinograph)、拉伸仪(Extensograph),黏度仪(Viscograph)和法国肖邦吹泡示功仪(Alveograph)等测定面团的流变学特性。

## 二、小麦籽粒物理特性

### (一) 小麦籽粒形状与颗粒尺寸

不同小麦品种的籽粒之间存在物理和化学性质的差异,同一品种的各个籽粒之间理化性质亦有差异。最近的研究认为,这种差异主要受到谷物成熟期光合作用比率的影响,土壤、水分、温度、光照、湿度、肥料等因素均影响籽粒性状(Posner et al., 1997; 崔金梅等, 2000)。

作为粉粒体,小麦颗粒具有大小不一致、形状不规则的特点。小麦籽粒一般为近似的椭球体,腹面有腹沟。其外观轮廓有椭圆形、近圆形、卵圆形等多种。同一品种内籽粒长轴(长度)和短轴(厚度)的变异较大,不同品种间籽粒形状变异更大。Cambell 等(1999)认为籽粒长、宽的遗传力均高,控制长和宽的基因分别位于 1B、2B、2D、3B、7B 和 1A、2A、2B、2DL、3DL 染色体上。Marshall (1984) 用简单几何模型分析表明,

不同大小和形状的籽粒体积及其比表面积不同,因此出粉率有一定差异;长籽粒出粉率低,圆籽粒出粉率高。籽粒大小比形状对出粉率的影响大。Kelfkens等(1989)研究认为籽粒容积、容重和厚度与磨粉特性呈显著的正相关。Berman等(1996)用小麦形状分析法(Image analysis)在早代预测品系的出粉率,具体做法是将小麦籽粒长轴、短轴和胚乳体积与容重结合起来,作为推测的依据。这种方法的优点是节约人力,节省时间,减少了分析成本,更重要的是这种方法对籽粒没有破坏,故对育种工作的早代选择十分有利。

小麦颗粒的尺寸分布可以用下列方法测定。200g小麦放置于一套三层泰勒(Tyler)标准筛的最上层(7号、9号和12号)。这套筛子被安装在Ro-tap振动筛上筛理60s。Ro-tap振动筛有旋转和振动动作,使颗粒可以最大限度地穿过筛孔。称重后求得每层筛的筛上物,然后乘以相应的系数,就可以计算得到指示出粉率的一个数据。这里的系数是通过对照制粉系统进行多元回归得到的,以颗粒尺寸为自变量,实际出粉率为因变量而得之(Posner et al., 1997)。不同制粉系统(或面粉厂)有自己特有的系数,该系数与磨粉技术参数有关。

饱满的小麦籽粒有较大的胚乳比例。数据显示,在生长期的最后15d内,颗粒的重量增长两倍半(Bailey, 1915)。胚乳在籽粒中的比例急剧上升,而种皮和胚的比例下降。这一数据也指示了在小麦成熟期间如果缺水或处于其他的不利条件下,胚乳的比例会低于成熟完好的籽粒。虽然不同大小的小麦籽粒其皮层厚度并无明显差异,但皮层占籽粒的比例却有明显的差异。小颗粒的胚乳、胚(胚芽和盾片)和外皮(种皮、果皮和糊粉层)分别占籽粒的81.0%、3.5%和15.5%;大颗粒的三部分分别为83.5%、2.5%和14.0%(Kent, 1966)。因此,小麦样品籽粒越小,出粉率越低。小籽粒小麦按同样的出粉率制得的面粉,其灰分含量显著高于大粒小麦面粉。

Li等(1987)研究了不同大小的小麦籽粒在磨粉过程中的表现,以阐明籽粒尺寸对润麦过程中吸水性及皮磨出粉情况的影响,以及磨粉系统中籽粒尺寸与中路物料分布的关系,不同大小的小麦制得面粉的流变学特性等。结果显示,籽粒越小,其容重和千粒重越小。圆度(Pearling value)过去被认为是与出粉率有关的性状(形状越接近圆形,出粉率越高)。但籽粒越小,圆度有上升的趋势,这说明只有在类似的小麦之间,圆度才有可比性。不同大小的小麦籽粒在润水的情况下,其吸水性有很大的差异。籽粒尺寸与吸水量呈负相关关系。

## (二) 小麦的单籽粒测定系统

小麦的单籽粒鉴定法(Single kernel wheat characterization system,缩写为SKWCS)是近年来发展起来的测定方法。瑞典波通(Perten)仪器公司开发了Perten DA 4100型单籽粒谷物测定仪。Sabumbaga等(1993)用SKWCS法测定了8个美国硬红冬小麦样品容重、籽粒大小、单粒重、圆度、近红外硬度(NIR hardness)和损伤淀粉等性状,结果认为SKWCS法和传统方法测定结果呈极显著正相关。如单籽粒硬度与损伤淀粉和NIR硬度相关显著,但这些指标单独与出粉率、面粉灰分和面粉颜色无关。作为上述指标的综合反映,容重与出粉率等磨粉品质性状呈显著相关。魏益民等(1999)通过对13个小麦品种(系)的单籽粒性状分析认为:品种间籽粒含水量的变异远小于品种内的变异;品种内单籽粒重量的变化大于品种间的变异,单籽粒重量的变异较突出;籽粒宽度与籽粒重量之间具有显著的正相关,个别品种籽粒宽度的变异系数较高。

### (三) 千粒重和单粒重

千粒重取决于籽粒大小与胚乳密度。从制粉角度看,千粒重大的小麦种皮百分率低,易于取得高出粉率。千粒重是重要的农艺性状,是产量的三大构成因素之一,遗传符合加性、显性模型,遗传力较高。粒重受多基因控制。Marshall等(1986)研究认为:同一地点同一品种的籽粒大小与出粉率呈显著相关;同一地点不同品种的籽粒大小与磨粉品质无相关关系。

魏益民等(1999)认为单籽粒重量品种间变异较小,品种内变异较大,单籽粒重量变异主要与麦粒在穗上的位置有关。小偃6号种内单籽粒重量变异较小。整齐一致的小麦不仅出粉率高,而且还可以提高磨粉效率,减少功耗。从制粉工业考虑,每穗的小穗数要多,而小穗结实小花数以不超过3个为好,这样可以协调产量与磨粉品质间的矛盾。

### (四) 容重

单位体积小麦的重量称为容重,容重是中国目前小麦收购和仓储定级的主要指标之一。在国外,容重亦是小麦商业定价的主要依据。如美国小麦分为5级,除容重外,不同级别之间其杂质含量、不完善籽粒、异种粮粒等指标亦不相同;在加拿大,则以容重和蛋白质为定价的依据。

容重是衡量小麦籽粒特性的一个综合性状,受到籽粒形状、大小、饱满程度、整齐度、胚乳质地、腹沟状况、水分、杂质和种皮百分率等诸多因素的影响。多数研究将容重视为重要的籽粒群体性状,如Holas等(1989)将容重列为决定小麦品质的最重要的三个性状之一(其他两个性状为籽粒灰分和硬度)。容重受多基因控制,与2B、2DL、4DL和7AL有关,其中2B染色体较为重要(Campbell et al., 1999)。容重高的小麦是否易于取得高出粉率,尚存争议。Cherles等(1996)认为,容重与出粉率的关系取决于品种、种植地点和年份等因素,只有在品种和环境条件一致的情况下容重与出粉率呈正相关。

### (五) 硬度和角质率

小麦硬度被定义为破坏籽粒所受到的阻力,即破坏籽粒所需要的力(Anjum, 1975)。

小麦籽粒硬度主要是由籽粒中淀粉与蛋白质的黏接以及淀粉颗粒之间基质的连续性所造成的,具有遗传性(Yamazak et al., 1980; Bakhella et al., 1990; 郭刚等, 1996)。育种工作常用角质率来判断小麦籽粒硬度。在正常收获、干燥的小麦中,籽粒硬度与角质率之间一般存在着正相关关系,但也有例外的情况(Domeranz, 1988)。

角质与粉质相对立。粉质粒是由于籽粒内部颗粒之间疏松,从而使射入籽粒的光产生衍射和散射,呈现出不透明的外观。快速干燥可提高角质率,缓慢干燥易产生粉质粒(郭刚等, 1996)。角质率受小麦栽培、生长和干燥条件等外界环境因素影响。

与角质率不同,硬度的遗传力很高,受一个主效基因和一些修饰基因的控制。硬度基因位于5D染色体的短臂上,同时5AS和5DL有控制硬度的微效基因(Symes et al., 1965; Morrison et al., 1989)。硬度的早代选择是有效的。李鸿恩等(1995)通过对中国2万余份小麦样本的普查,认为中国从南向北,从东向西,小麦硬度有逐渐增加的趋势。郭刚等(1996)认为我国软硬质小麦基本上各占一半。魏益民等(1999)指出陕西关中地区的小麦品种大多为硬质麦。

从磨粉角度来看,硬度决定磨粉能耗、润麦加水量、出粉率、颗粒大小分布以及破损淀粉的多少,而破损淀粉的多少又直接影响面制食品的制作品质。一般硬度高的小麦蛋白

质含量和湿面筋含量高, 适宜于面包等高筋类食品的制作。赵仁勇等(2003)研究了硬度和水分调节对小麦研磨特性的影响。用硬麦获得的麦心、麦渣的数量显著高于软麦, 特别是大粒度的麦渣心的数量。软、硬麦所磨得的小粒度麦渣心的数量相当; 硬麦在皮磨系统的出粉率低于软麦, 而总出粉率高于软麦; 硬麦的细麸皮和次粉的出粉率和软麦基本一致, 而粗麸皮的出率显著低于软麦。

硬度的测定方法有角质率法、研磨时间法、研磨细度法、NIR法等, 近年又发展了单籽粒测定法。

#### (六) 种皮颜色

白粒小麦种皮颜色较浅, 增加出粉率时对面粉颜色影响较小, 受到我国制粉业者的偏爱。而在国外, 由于红小麦多具有抗穗发芽的特性, 故红皮小麦的分布较广。Metzger等(1970)研究认为, 红粒基因对白粒基因为显性, 三个部分同源基因R1、R2和R3分别位于3D、3A、3B染色体的长臂上, 籽粒颜色也受微效基因的影响。粒色遗传具有加性效应, 遗传力很高, 同时受环境影响。降雨、土壤条件、病虫害等都将导致粒色变化。

除目测法之外, 测定籽粒颜色的方法主要有NaOH浸泡法、色度仪测定法(Colorimeter)、反射法(Measuring Reflectance)、近红外法(Near-infrared Reflectance)等。

#### (七) 其他籽粒品质性状

与籽粒品质有关的其他性状还有水分含量、杂质、不完善籽粒率、发芽率等。这些性状多受产中及产后环境因素的影响, 但个别性状仍具有遗传性。

水分是商品小麦贮藏性能的重要指标, 根据储粮时的安全水分界限, 国家标准规定, 小麦商品的水分含量不应高于12.5%。另外, 水分含量也是润麦工序中各工艺参数的主要依据。

杂质和不完善籽粒主要来自小麦收获后晾晒、碾打、运输和贮存过程。小麦成熟期遇雨, 产生发芽籽粒, 也是不完善籽粒的重要来源。杂质与不完善籽粒的增加, 会严重影响储粮安全, 降低小麦的使用价值, 减少面粉厂的经济收益。因此, 杂质和不完善粒是重要的商品粮品质性状。中国小麦标准规定, 杂质和不完善籽粒的含量应分别不高于1%和6%。而根据笔者对陕西关中东部部分粮仓的调查, 取样的17个点中仅有1个点的杂质低于1%, 最多的杂质含量竟达5%以上(欧阳韶晖等, 1998)。

发芽率是小麦生命体征的体现。唐兴芳等(1995)研究发现, 商品小麦的发芽率与小麦的许多品质性状都有显著的相关性, 尤其是与面制食品的总评分呈极显著的正相关。这一报道的意义在于, 可以在小麦未磨粉前通过预测得知面粉的食品评分, 因此对面粉企业极有意义。

#### (八) 籽粒品质性状间的相关性

李宗智(1990)研究了冬小麦若干品质性状的遗传及相关性, 指出籽粒品质性状之间, 除容重与干、湿面筋含量之间有显著正相关, 角质率与干面筋呈显著正相关以外, 其他籽粒物理特性之间不相关。但角质率与粉质参数之间相关显著。另外, 沉淀值、伯尔辛克值与抽穗期、株高、千粒重等农艺性状之间无显著相关。沉淀值与粉质参数呈极显著相关。作为结论, 李宗智认为提高沉淀值、伯尔辛克值、角质率、容重和出粉率有助于协调小麦营养品质、加工品质、高产和稳产性之间的关系。舒卫国等(1996)研究认为籽粒



物理性状之间相关性不明显,仅硬度与吸水率呈正相关,容重与粗蛋白含量呈显著正相关,千粒重与清蛋白含量呈显著正相关,与干、湿面筋含量呈显著负相关。郭波莉(2001)认为,千粒重、灰分与面包、面条、馒头品质呈负相关,容重、硬度、出粉率与面包、面条品质及馒头的弹性呈正相关,与馒头的外观形状呈负相关。唐兴芳(1995)认为杂质含量与容重呈负相关,发芽率与馒头、面包品质呈显著正相关。

### 三、小麦的磨粉品质性状

小麦磨粉被认为是一种技艺。磨粉业者已经积累了很多世代的制粉经验。在过去,制粉技艺是通过师徒传授来继承的。时至今日,磨粉师的技艺仍是制粉过程中所必需的。例如,磨辊的松紧程度、筛子中的粉流和筛网的调节等,仍需要经验的判断。在今天,众多的学科应用到制粉工业中,如机械学、化学、工程学、空气动力学、计算机控制、经济学和管理学等。未来的磨粉师将会成为一个很独特领域的专门人才,他们将需要多个学科的信息和知识。

制粉过程的任务是要将小麦胚乳尽可能有效地、经济地从小麦籽粒中分离出来。制粉工厂一般按照工艺流程分为麦路(粮食清理)和粉路(小麦的碾磨和筛理)两大部分。小麦原料影响着工艺过程,从而在不同地区的磨粉工厂一般会形成一种适合本地小麦的制粉工艺过程。但对于所有磨粉厂而言,出粉率高、面粉灰分低,白度好,且加工过程消耗能量少的小麦,总是受到欢迎。

#### (一) 出粉率

出粉率是磨粉业中最重要的技术经济指标,也是小麦最重要的磨粉品质性状。出粉率是一个综合性状。遗传基础、栽培条件、降雨和光热资源等因素都对其产生影响。种皮厚度、腹沟深浅、籽粒的大小和形状、种皮和胚乳的结合程度、水分、硬度、千粒重、容重等诸多性状都与出粉率有关。因此,出粉率能够综合反映小麦的籽粒性状,在科学研究和生产上均有重要价值。澳大利亚政府将全国小麦出粉率提高1%,作为一个重要的育种目标。

出粉率取决于两个因素,一是胚乳占小麦籽粒的比例,二是胚乳与其他成分分离的难易程度(Moss et al., 1997)。前者与籽粒形状、皮层厚度、腹沟深浅和宽度、胚的大小等籽粒物理性状有关,后者与籽粒含水量、硬度和密度有关。小麦理论出粉率(Potential flour yield)为82%~83%,现代磨粉厂的等级粉(Grade flour)综合出粉率为70%~77%。小麦中控制出粉率的基因位于3A、7D和5A染色体上,可分别解释出粉率变异的22%、19%和19%(Parker et al., 1999)。用高世代品系算得的出粉率遗传力较高,用早代材料求得的遗传力较低。出粉率倾向于低亲遗传。有研究表明控制麸皮和胚乳分离的基因有4个以上。O'Brien(1993)用10g小样本测定早代材料出粉率,结果表明:黄色素的遗传力中等偏上,而出粉率的遗传力较低,说明小样本方法适用于面粉颜色的早代选择,用于出粉率的选择还有待深入研究。有研究表明,利用印度圆粒小麦改良出粉率很有前途。澳大利亚以印度圆粒小麦为亲本,曾获得出粉率达85%的材料,但印度圆粒小麦籽粒小,应选择大粒材料与之杂交。

Cox等研究了1919年至1988年70年间美国硬红冬小麦品种的遗传改良,认为出粉率无明显变化,Souza等研究1911年至1990年间美国太平洋沿岸西北麦区硬红春小麦的品质变异,得到相似的结论。中国学者对小麦品质演变的研究一致认为,近年来我国小麦出