



华夏英才基金学术文库

许为钢 胡琳 张磊 著
王会伟 董海滨

小麦种质资源

研究、创新与利用



科学出版社



华夏英才基金学术文库

小麦种质资源研究、创新与利用

许为钢 胡 琳 张 磊 王会伟 董海滨 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书较系统地介绍了国内外小麦种质资源研究领域的进展。首先总述了小麦种质资源的收集、保存、鉴定与评价情况;其次分述了小麦优异种质资源发掘、品质特性、抗病特性、抗逆特性等方面的研究进展;最后介绍了小麦种质资源的创新与利用,并对小麦品种特异性和一致性的分子检测方法进行了探讨。本书针对我国小麦品种遗传改良研究工作中的品质、抗性、产量等关键问题介绍小麦种质资源评价、创新与利用研究情况,以期为我国小麦品种遗传改良提供理论、材料、技术、方法和经验支撑。本书的主要论点、资料均来源于权威书刊和近几年重要期刊的学术论文,具有较强的时效性和先进性。

本书适合从事农作物种质资源、遗传改良和现代农业技术等方面的专业科技人员和大中专农业院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

小麦种质资源研究、创新与利用/许为钢等著. —北京:科学出版社,2012
(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-034754-1

I. ①小… II. ①许… III. ①小麦-种质资源-研究 IV. ①S512.102.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 123400 号

责任编辑:王海光 孙 青 / 责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

· 北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 6 月 第一次印刷 印张: 16 1/2

字数: 323 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

小麦是我国最重要的农作物之一,近年来种植面积稳定在 3.5 亿亩左右,我国小麦亩产由 1949 年的 42.80kg 增至 2011 年的 324.98kg,总产由 1949 年的 0.138 亿 t 增至 2011 年的 1.179 亿 t,60 多年来单产及总产均增长了数倍,为保障国家粮食安全作出了重要贡献。

在提高小麦生产水平的诸多因素中,优良小麦新品种的选育和利用是最主要的技术支撑之一。种质资源是农作物遗传改良的物质基础,种质资源的研究、创新与利用是选育小麦优良新品种的基础保障工作,优异特性种质资源的发掘和利用将为育成突破性品种提供必备的物质条件,国内外小麦育种所取得的各次跨越性进展无不与优异种质资源的发现、创新与利用密切相关。例如,‘农林 10 号’中的 *Rht1*、*Rht2* 和‘赤小麦’中的 *Rht8*、*Rht9* 等矮秆基因被誉为“绿色革命”基因,带动了全球小麦产量的跨越式提升。我国 20 世纪八九十年代小麦产量实现大幅度提高的主要原因就是源自黑麦 1RS 染色体的小麦 1BL/1RS 易位系材料的利用,其贡献了小麦抗白粉病基因 *Pm8*、抗条锈病基因 *Yr9*,同时也引入了优良的丰产、抗逆特性。因此,种质资源是小麦遗传改良研究的“创新源”、“原动力”和“助推器”,直接决定着小麦遗传改良研究的发展速度与创新水平。

我国小麦种质资源研究始于 20 世纪 40 年代,经过几代科学家的共同努力,我国小麦种质资源研究取得了长足进步,在小麦种质资源生态类型与生态区域划分,种质资源的收集、保存、评价与创新,主要农艺性状的演变等方面取得了一系列重大科研成果,国家种质资源库现收集保存的小麦种质资源达 4.5 万余份,居世界第二。我国对现有种质资源进行了抗病性、抗逆性、品质特性等利用价值评价研究,编制了《全国小麦品种资源目录(1980)》、《中国小麦遗传资源目录(1976—1986、1987—1993)》、《中国小麦品种志(1961—1982、1983—1993)》、《中国小麦品种资源的系谱及其特点》和《中国小麦品种改良及系谱分析》等一系列著作,使我国跃居世界种质资源研究大国行列。

20 世纪 90 年代以来,现代生物技术蓬勃发展,在科技部、农业部、国家自然科学基金委员会等部门的科研项目的支持下,我国小麦种质资源研究进入了新的阶段,分子生物学、分子遗传学、分子细胞遗传学、生物信息学等高新技术与常规种质资源研究手段不断结合,引领种质资源研究进入分子时代,在产量、品质、主要病害抗性、抗逆性、株型等重要性状基因资源的挖掘与遗传作图,重要性状基因的利用状况与利用方式,优异种质资源的创新与利用等方面取得了重要突破,使得我国正

由“种质资源大国”向“种质资源强国”快速迈进,并有力推动了我国小麦遗传改良研究的发展。

作者长期从事小麦种质资源创新,小麦遗传改良原理、技术与方法,以及小麦新品种选育等方面的研究。从20世纪90年代开始,开展了小麦种质资源收集、鉴定、评价与遗传多样性分析,优异基因资源挖掘与分子标记开发,小麦品种重要性状基因利用状况及利用价值评价,以及优异种质资源的创新等研究工作。本书在结合上述研究工作的基础上,较为系统地介绍了国内外相关领域的研究进展。全书共分七章。第一章概述了国内外小麦种质资源收集、鉴定与评价进展;第二章介绍了我国小麦地方品种遗传多样性研究及优异基因资源发掘的研究成果;第三章详述了我国小麦品质特性的分类及相对重要性,高分子质量及低分子质量麦谷蛋白亚基的品质效应,优质亚基分子标记开发及黄淮麦区小麦高分子质量及低分子质量麦谷蛋白亚基的组成研究进展;第四章详述了国内外小麦品种白粉病抗性,抗白粉病基因在小麦品种中的利用状况,抗白粉病新基因的发掘及分子标记开发等方面的研究进展;第五章详述了国内外小麦品种条锈病抗性,抗条锈病基因在小麦品种中的利用状况,抗条锈病新基因发掘及分子标记开发等方面的研究进展;第六章讨论了小麦耐光抑制特性的生理生化基础及种质筛选问题;第七章介绍了国内外利用分子标记技术检测小麦品种特异性和一致性的研究进展。

本书为河南省农业科学院小麦研究中心长期以来在小麦种质资源创新、研究与利用方面的研究成果综合展示,并参阅、引用了大量国内外小麦种质资源相关研究的文献,在此向所有参与本书的研究者和文献原作者表示感谢。此外,本书的出版得到了华夏英才基金和科学出版社的大力支持,在此一并致谢。

由于小麦种质资源研究进展迅速,研究成果更新较快,且著者水平和时间有限,疏漏在所难免,欢迎读者批评指正。

著者

2012年4月于河南省农业科学院

目 录

前言

第一章 小麦种质资源收集、鉴定与评价	1
第一节 小麦种质资源收集、鉴定与评价的重要性	1
第二节 小麦种质资源的分类	2
一、小麦属的分类	2
二、小麦属的种	3
三、小麦的近缘种属	11
第三节 小麦种质资源收集概况	16
一、世界小麦种质资源收集概况	16
二、中国小麦种质资源收集概况	17
第四节 小麦种质资源鉴定与评价的方法	18
一、小麦农艺性状鉴定与评价	18
二、小麦抗病性的鉴定与评价	21
三、小麦抗虫性的鉴定与评价	28
四、小麦抗逆性的鉴定与评价	29
五、小麦品质性状的测定	33
六、小麦品质性状的评价标准	41
参考文献	42
第二章 小麦品种遗传多样性及优异基因资源发掘	45
第一节 小麦品种遗传多样性的特征及意义	45
第二节 小麦选育品种遗传多样性及优异基因资源发掘	46
一、小麦选育品种遗传多样性	46
二、小麦选育品种优异基因资源发掘	60
第三节 小麦地方品种遗传多样性及优异基因资源发掘	65
一、小麦地方品种遗传多样性	65
二、小麦地方品种优异基因资源发掘	74
第四节 小麦选育品种与地方品种遗传多样性比较	78
一、农艺性状比较分析	78
二、生理生化水平比较分析	78
三、分子水平比较分析	80

参考文献	80
第三章 小麦品质特性	85
第一节 小麦品质评价的指标	85
一、小麦籽粒品质	85
二、小麦磨粉品质	86
三、面粉理化特性	87
四、面团流变学特性	88
第二节 小麦品质特性的分类及相对重要性	88
一、小麦品种品质特性表现	89
二、品质特性的相关性和相对重要性	95
第三节 小麦高分子质量及低分子质量麦谷蛋白亚基的品质效应	102
一、高分子质量麦谷蛋白亚基	102
二、低分子质量麦谷蛋白亚基	107
三、高分子质量麦谷蛋白亚基的品质效应	110
四、低分子质量麦谷蛋白亚基的品质效应	132
第四节 黄淮麦区小麦品种高低分子质量麦谷蛋白亚基的组成	146
一、黄淮麦区小麦品种高分子质量麦谷蛋白亚基的组成分析	146
二、黄淮麦区小麦品种低分子质量麦谷蛋白亚基 Glu A3 和 Glu B3 的组成分析	149
参考文献	150
第四章 小麦白粉病抗性及抗性新基因发掘	155
第一节 小麦种质资源白粉病抗性抗病机理	156
一、小麦种质资源白粉病抗性评价	156
二、小麦白粉病抗性的抗病机理	157
第二节 小麦白粉病抗性基因来源及其利用状况	160
一、小麦白粉病质量抗性基因研究	160
二、小麦白粉病抗性基因的评价及利用状况	168
三、小麦白粉病质量抗性基因的分子标记	171
四、小麦白粉病数量抗性基因及其分子标记	174
第三节 小麦白粉病抗性新基因的发掘与分子标记开发	176
一、小麦白粉病抗病新基因 <i>PmHnK</i> 的发掘及分子标记的开发	176
二、其他抗病新基因的定位	182
参考文献	183
第五章 小麦条锈病抗性及抗性新基因的发掘	192
第一节 小麦种质资源的条锈病抗性遗传及抗病机制	193

一、主效抗性	194
二、微效抗性	195
三、小麦抗条锈病机制	198
第二节 小麦抗条锈病基因来源及其利用状况	199
一、已知抗条锈病基因的来源	199
二、小麦抗条锈病基因的利用状况	202
第三节 小麦抗条锈病基因遗传作图与分子标记开发	204
参考文献	209
第六章 小麦耐光抑制特性及种质筛选	214
第一节 小麦耐光抑制特性的生理生化基础	214
一、光抑制的作用部位	214
二、光氧化物质的产生	215
三、光抑制的防御机制	216
四、植物光抑制的研究方法	218
五、小麦光抑制特性研究进展	224
第二节 小麦耐光抑制种质的筛选	226
一、不同小麦品种间的耐光抑制特性	226
二、小麦耐光抑制种质的筛选	228
参考文献	229
第七章 小麦品种特异性和一致性的分子检测	233
第一节 国内外 DUS 测试研究现状	233
一、国外 DUS 测试研究现状	233
二、我国 DUS 测试研究现状	236
第二节 小麦品种特异性和一致性的测试内容和方法	237
一、小麦品种特异性和一致性的测试内容	237
二、小麦品种特异性和一致性的测试方法	238
第三节 河南省小麦品种特异性和一致性检测体系的构建	242
参考文献	254

第一章 小麦种质资源收集、鉴定与评价

第一节 小麦种质资源收集、鉴定与评价的重要性

小麦(*Triticum aestivum* L.)是世界范围内广泛种植的主要粮食作物之一。中国不仅是小麦产量最大的国家,而且也是消费量最大的国家,近年来种植面积稳定在3.5亿亩^①左右,约占粮食作物面积的27%,总产约1.179亿t,其产量占我国粮食总产量的22%,承担着我国一半以上人口的主食供给,全国年消费量约1.05亿t,占全球消费量的20%左右,其生产能力及供需状况直接关系到国家粮食安全、国民经济发展、社会稳定和人民生活的改善等重大战略问题。

新中国成立以来,我国各大麦区经历了6~8次大规模的品种更新换代,每一次品种更新都使产量提高了10%左右(肖世和,2006),而小麦育种的每一次突破,产量的每一次飞跃都与优异种质资源和特定优异基因的发现和利用有关。例如,‘农林10号’中的*Rht1*、*Rht2*和‘赤小麦’中的*Rht8*、*Rht9*等矮秆基因的研究和利用,使小麦育种产生了阶段性变革,大幅度提高了小麦产量(曹亚萍,2008)。1BL/1RS小麦-黑麦易位系和代换系的应用,由于携带有抗条锈、叶锈、秆锈和白粉病的基因(*Yr9*、*Lr26*、*Sr31*和*Pm8*),同时具有良好的丰产性和适应性,使得我国20世纪八九十年代小麦产量水平实现大幅度提高(周阳等,2004)。因此,种质资源是小麦遗传改良研究的“创新源”、“原动力”和“助推器”,直接决定着小麦遗传改良研究的发展速度与创新水平。

小麦种质资源是小麦新品种选育的物质基础,稀有特异种质对育种成效具有决定性的作用。新中国成立以来,我国种质资源工作者对小麦的遗传多样性开展了大量的研究工作,引进、创造和筛选出一批综合性状优良的小麦种质资源,极大地丰富了小麦品种改良的亲本材料,为小麦遗传改良作出了很大的贡献。但由于在同一生态区域内人类活动的趋同性,在小麦品种改良中方向近乎相同的人为定向选择,特别是在培育高产、优质、抗病等新品种过程中频繁使用一些相同的亲本,导致现代栽培小麦遗传背景日益狭窄、多样性丧失,这不仅严重妨碍了小麦品种遗传改良进度的加快,而且还会降低育成品种对不良环境的抵抗能力,这已成为现代小麦育种难以突破的“瓶颈”。因此,进一步加强小麦种质资源的收集、鉴定和评

^① 1亩≈667m²,后同。

价,对种质资源遗传多样性进行更为深入的分析研究,明确重要农艺性状关键基因在小麦遗传改良中的利用状况,探索重要农艺性状优异基因的利用方式,有针对性地拓宽育种材料的遗传基础,将为小麦品种的遗传改良提供更加坚实的物质基础,对推动小麦遗传改良及生产发展具有重大意义。

第二节 小麦种质资源的分类

一、小麦属的分类

小麦广泛分布于世界各地,由于长期的人工选择和自然选择,形成了大量的物种。分类学上将具有“复穗状花序,穗轴节生有小穗,并且染色体为7的倍数”的物种集合称为小麦族(*Triticii*)。小麦族有350~450个种,按照基因组的差异分为20多个属(董玉琛和郑殿升,2000)。小麦属内有A、B、D、G 4种染色体组。二倍体种皆具A染色体组。四倍体种有AB染色体组和AG染色体组两大类,其中具AB染色体的种是由乌拉尔图小麦与拟斯卑尔脱(或其他)山羊草经天然杂交和染色体加倍而来,包括野生二粒小麦、栽培二粒小麦、科尔希二粒小麦、伊斯帕汗二粒小麦、圆锥小麦、硬粒小麦、东方小麦、波兰小麦、埃塞俄比亚小麦和波斯小麦;具AG染色体组的种是由野生一粒小麦和拟斯卑尔脱(或其他)山羊草经天然杂交和染色体加倍而来,包括阿拉拉特小麦和提莫非维小麦。六倍体种有ABD染色体组和AAG染色体组两大类,其中具ABD染色体组的种是由具AB染色体组的四倍体种与粗山羊草经天然杂交和染色体加倍而来,包括马卡小麦、斯卑尔脱小麦、瓦维洛夫小麦、云南小麦、普通小麦、密穗小麦、印度圆粒小麦和新疆小麦。我国学者董玉琛和郑殿升(2000)根据形态分类与染色体组分类,将小麦属分为5系23个种,并将中国特有的云南小麦、新疆小麦和西藏半野生小麦划分为普通小麦的3个亚种,详见表1-1。

表 1-1 小麦属分类

系	染色体组	类型	种	
			学名	中文名
一粒系 Einkorn	A	野生	<i>T. urartu</i> Thum.	乌拉尔图小麦
		野生	<i>T. boeoticum</i> Boiss.	野生一粒小麦
		带皮	<i>T. monococcum</i> L.	栽培一粒小麦
二粒系 Emmer	AB	野生	<i>T. dicoccoides</i> Koern.	野生二粒小麦
		带皮	<i>T. dicoccum</i> Schuebl.	栽培二粒小麦
		带皮	<i>T. paleocolchicum</i> Men.	科尔希二粒小麦
		带皮	<i>T. ispahanicum</i> Heslot.	伊斯帕汗二粒小麦
		裸粒	<i>T. carthlicum</i> Nevski.	波斯小麦
		裸粒	<i>T. turgidum</i> L.	圆锥小麦

续表

系	染色体组	类型	种	
			学名	中文名
二粒系 Emmer	AB	裸粒	<i>T. durum</i> Desf.	硬粒小麦
		裸粒	<i>T. turanicum</i> Jakubz.	东方小麦
		裸粒	<i>T. polonicum</i> L.	波兰小麦
		裸粒	<i>T. aethiopicum</i> Jakubz.	埃塞俄比亚小麦
普通系 Dinkel	ABD	带皮	<i>T. spelta</i> L.	斯卑尔脱小麦
		带皮	<i>T. macha</i> Dek. et men.	马卡小麦
		带皮	<i>T. vavilovi</i> Jakubz.	瓦维洛夫小麦
			<i>T. sphaerococcum</i> Perc.	印度圆粒小麦
		裸粒	<i>T. compactum</i> Host.	密穗小麦
		裸粒	<i>T. sphaerococcum</i> Perc.	印度圆粒小麦
		裸粒	<i>T. aestivum</i> L.	普通小麦
提莫非维系 Timopheevii	AG	野生	<i>T. araraticum</i> Jakubz.	阿拉拉特小麦
		带皮	<i>T. timopheevii</i> Zhuk.	提莫非维小麦
茹科夫斯基系 Zhukovskyi	AAG	带皮	<i>T. zhukovskyi</i> Men. et Er.	茹科夫斯基小麦

资料来源:董玉琛和郑殿升(2000)。

二、小麦属的种

全世界小麦属共发现 27 个种(亚种),中国小麦有 9 个种,主要包括普通小麦、密穗小麦、圆锥小麦、硬粒小麦、波兰小麦、东方小麦、云南小麦、新疆小麦和西藏半野生小麦(郑殿升,1989)。除辛斯卡娅小麦、伊斯帕汗二粒小麦和密利提奈小麦外,中国在现代先后从国外引进了其他 15 个种(亚种),至此中国现保存小麦属 24 个种(董玉琛和郑殿升,2000)。

(一) 乌拉尔图小麦

乌拉尔图小麦是二倍体带皮野生种,染色体数 $2n=14$,染色体组为 AA,分布于土耳其东部、叙利亚、伊拉克、伊朗西部、亚美尼亚、黎巴嫩和外高加索地区,外形与野生一粒小麦相似,有 6 个变种。冬性,成株的叶片有茸毛。穗扁平,短而窄,侧面宽于正面。穗轴脆弱,成熟时小穗自然脱落。每小穗有两个芒,芒与穗轴平行,多数结实 1 粒。护颖脊明显。成熟时内颖纵裂为两片。籽粒带皮(稃),难脱粒;蛋白质含量较高,可达 20% 以上,易与野生一粒小麦杂交。

(二) 野生一粒小麦

野生一粒小麦是二倍体带皮野生种,分为单芒野生一粒小麦和双芒野生一粒小麦两种,染色体数 $2n=14$,染色体组为 AA,分布于欧洲东南部、小亚细亚、地中海沿岸到外高加索及伊朗地区。已划分出 90 个变种,与栽培一粒小麦性状相似。大多数为冬性,春性很少,茎秆细,穗小而扁平,每小穗具 2 朵花。小穗基部有茸毛,易断穗,折断方式为上节位,成熟时内颖纵裂为两片。籽粒带皮,两侧扁平,两端稍尖,粒色有红、青等多种。籽粒蛋白质含量可高达 23%~30%。

(三) 栽培一粒小麦

栽培一粒小麦是二倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=14$,染色体组为 AA,已知有 18 个变种。现今在南斯拉夫、阿尔巴尼亚、瑞士、土耳其、摩洛哥和前苏联外高加索地区的贫瘠山区有零星栽培。株高 60~120cm,植株有粗硬茸毛,抗倒伏性较强。叶片有粗硬茸毛。穗长 4~9cm,小穗具芒,结实一粒;有的类型为 2 芒 2 粒。护颖脊明显,成熟时内颖纵裂为两片。籽粒两侧扁平,带皮(稃),两端稍尖,难脱粒。多为春性,抗病性强。籽粒蛋白质含量一般为 23%~25%,有些类型可达 28%左右。

(四) 辛斯卡娅小麦

辛斯卡娅小麦是在塔吉克斯坦(位于高加索)搜集的野生一粒小麦材料中发现的,为裸粒栽培种,是栽培一粒小麦自然突变体。染色体数 $2n=14$,染色体组为 AA,它与栽培一粒小麦的主要区别在于籽粒不带皮,护颖较宽,颖嘴延长为尖的芒状体。春性,幼苗直立。株高 80cm 左右,茎秆有弹性,抗倒伏。叶片不宽,覆满粗硬茸毛。穗扁平,长度 6cm 左右,无芒或短芒,每穗约有 25 个小穗。每小穗多数结实 1 粒,护颖脊明显。穗轴易断,高抗多种真菌病害。

(五) 野生二粒小麦

野生二粒小麦是四倍体带皮野生种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,主要分布在地中海东岸地区,包括以色列、约旦、黎巴嫩、叙利亚、土耳其东部、伊拉克北部、伊朗西部地区,尤其是以色列地区作为野生二粒小麦的起源中心和遗传多样性中心最具代表性。多为冬性,幼苗多数匍匐,少数近直立。株高 80~90cm,茎秆较脆,易倒伏,穗下茎节间为髓所填充。穗长 9cm 左右,具粗长芒,芒粗糙并具发达的齿。护颖质硬,颖脊明显。穗轴节片周围有密毛,小穗基部有长毛。穗轴脆,易逐节自然断落。每小穗有 2~3 朵花,具 2 芒,结实 2 粒。子粒带皮(难脱粒),两端稍尖,硬质,细长,红色或浅红色。籽粒大,蛋白质含量高达 20%~27%。

(六) 栽培二粒小麦

栽培二粒小麦是四倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB, 目前已知有 76 个变种,主要分布在外高加索、塔吉克斯坦、俄罗斯伏尔加河流域、巴尔干半岛、西班牙、土耳其、伊朗、也门、印度、摩洛哥、埃塞俄比亚等广大地区。以春性为主,幼苗多数直立,叶片着生茸毛。株高 90~120cm,抗倒伏性不强。穗窄而扁平,长 8~10cm,侧面宽于正面;小穗排列紧密,多具长芒,颖脊明显,穗轴较脆易断。小穗排列紧密,每小穗结实两粒,多具长芒。穗轴易断,成熟时触压小穗断落,籽粒带皮,较长,硬质,红色。抗锈病、白粉病和散黑穗病,适应性强,是带皮(稃)小麦在小麦育种中应用较多的种。

(七) 科尔希二粒小麦

科尔希二粒小麦是四倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB, 原产于格鲁吉亚西部,为原始栽培种。冬性,幼苗匍匐,分蘖多。茎秆高而壮,叶和茎节均有长毛;穗扁平,小穗排列很密,穗轴呈曲折状,芒细软而短。穗长 7~8cm,侧面宽于正面,每穗 30~40 个小穗,小穗密度 D 为 40~50。穗轴易折断。小穗基部及穗轴两侧有茸毛,每小穗结实 2 粒,护颖椭圆形,紧包小穗,成熟时难脱粒,颖脊明显。籽粒带皮(稃),椭圆形,红色,半硬质,蛋白质含量较高。

(八) 伊斯帕汗二粒小麦

伊斯帕汗二粒小麦是四倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB, 1957 年在伊朗发现。伊斯帕汗二粒小麦有单芒和双芒两个变种。春性,幼苗直立,分蘖较少。叶片具稀长茸毛,株高 90~100cm,茎较细,茎节有短毛。穗长 9~10cm,穗纺锤形,小穗 20~22 个,每小穗 2~3 朵花,小穗基部无茸毛。护颖、外颖和内颖均为长披针形,护颖白色,颖脊明显,颖嘴钝,颖无肩或只有一小侧齿,内颖较外颖短 $1/4 \sim 1/3$ 。种子带皮(稃),难脱粒。粒长、红色、硬质。种子休眠期短,收获前易在穗上发芽。

(九) 波斯小麦

波斯小麦是四倍体裸粒栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,起源于亚美尼亚,主要分布于前苏联外高加索、达格斯坦地区、格鲁吉亚和土耳其东北部。波斯小麦有 20 个变种,大多数分布于亚美尼亚和格鲁吉亚,还有少部分分布于奥赛梯苏和小亚细亚等地。多为春性,幼苗多直立,个别匍匐,茎秆细,易倒伏。穗轴细,为普通小麦的 $1/3 \sim 1/2$,柔韧不易折断,茸毛少或无毛。护颖光滑,基部稍宽,颖脊短而不明显;颖嘴延长呈芒状,外颖具细软的长芒。每小穗 3~5 朵花,结实

2~4粒。籽粒较小,千粒重 20~28g,多为半硬质。不同变种籽粒有白色、红色或浅红色,颖壳有白色、红色等多种颜色,部分变种具护颖茸毛。

(十) 圆锥小麦

圆锥小麦是四倍体裸粒栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,主要分布在小亚细亚、地中海沿岸各国,包括西班牙、葡萄牙、法国、意大利及英国南部等地。西班牙被认为是圆锥小麦类型最多的国家。圆锥小麦类型较丰富,已划分出 82 个变种。冬性或春性,春性为主,秆粗而高。穗大,多花,多实,每小穗 5~7 朵花,结实 3~5 粒,芒粗硬,长度超过穗子,芒色有黑、白两种,穗茎节间上部为髓质所填充。穗型有分枝、不分枝两种。分枝型籽粒较小,不分枝型籽粒较大。叶片、茎秆和穗部均具蜡质。穗有短而凸的护颖。叶较短窄,色黑蓝绿色,常具软毛,特别是抽穗时常呈显著的蓝绿色。粒色有白、红两种,软粒,粉质,面筋含量低。

(十一) 硬粒小麦

硬粒小麦是四倍体栽培小麦,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,主要分布在沿地中海的北非、南欧、中东等地区及前苏联、加拿大、美国、阿根廷、澳大利亚、印度等国的部分地区。多数为春性,株高 80~150cm。茎秆坚韧不易倒伏,穗下茎节间为薄壁组织填充。穗多为长方形,侧面略宽于正面,穗长约 10cm。护颖长形,脊明显直至基部。外颖具长芒,芒长超过穗长,无芒类型少。小穗排列较紧密,每小穗 2~5 朵花,结实 2~4 粒。穗轴不易断折,籽粒不易脱落。小穗基部无茸毛。籽粒长椭圆形,角质,较坚硬,多为琥珀色,千粒重一般 40g 以上,最高可达 70~75g。蛋白质和湿面筋含量高,蛋白质含量一般在 15% 左右,湿面筋含量 36% 左右。

(十二) 东方小麦

东方小麦是四倍体裸粒栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,有 21 个变种。主要分布在阿富汗、伊朗、巴基斯坦、土耳其、伊拉克、叙利亚、阿塞拜疆、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦等地,1940 年以前在我国新疆伊犁、塔城地区有零星种植。春性或弱冬性,芽鞘白色,幼苗直立或半直立。株高 100~130cm,分蘖较少,叶片长而披垂并被茸毛。穗纺锤形,具长芒,每小穗 3~5 朵花,结实 3~4 粒,小穗密度 D 为 15~20,穗轴坚韧不易折断。护颖狭长形,有茸毛,颖嘴锐,颖脊明显。护颖和内颖、外颖均长,内外颖几乎等长,一般 1.2~1.5cm,外颖具芒。籽粒大而长,长度为 1.0~1.2cm,白色,硬质,千粒重达 60g 以上。

(十三) 波兰小麦

波兰小麦是四倍体裸粒栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,有 46 个变种,主要分布于地中海沿岸和埃塞俄比亚,多与硬粒小麦混生。在土耳其、伊朗、中国等地也有少量种植。春性,幼苗直立,分蘖力差,叶色绿或浅绿,株高 120~160cm。叶片长而披垂,大部分品种具细软长芒。穗较长,且小穗排列松散,穗轴坚韧不易折断。小穗基部具明显颖托。颖壳多为白色,颖脊明显。籽粒易脱粒但不易落粒,粒长大,硬质,千粒重 70g 左右,蛋白质含量高,有的品种高达 28%。

(十四) 埃塞俄比亚小麦

埃塞俄比亚小麦是四倍体裸粒栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AABB,分布于埃塞俄比亚和也门。埃塞俄比亚小麦已划分出 204 个变种。春性,分蘖力差,叶片有微毛。株高 90cm 左右,抗倒伏。穗子小,穗长 7~9cm,丰产性差。籽粒大小中等,有不少紫粒品种;籽粒蛋白质含量较高,可达 25%。对温度要求不高,成熟早。

(十五) 斯卑尔脱小麦

斯卑尔脱小麦是六倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=42$,染色体组为 AABBDD,有 60 个变种,主要在德国、瑞典、瑞士、比利时、意大利、美国及加拿大等国家种植。冬性或春性,幼苗叶片较窄,株高 100~120cm,成株叶片几乎无毛。茎秆较抗倒伏。叶耳大,有茸毛。穗长 10~15cm,每穗有 16~23 小穗,小穗排列稀,小穗密度 D 为 14~22,穗横断面为方形或长方形。穗轴的小穗着生处宽,多为空心,脆弱,成熟或脱粒时从此处断落,断穗方式为下位节。护颖较硬,颖肩方形,颖嘴短而钝。外颖有芒或无芒。籽粒带皮,极难脱粒,硬质,长形,两端稍尖,冠毛明显。

(十六) 马卡小麦

马卡小麦是六倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=42$,染色体组为 AABBDD,原产于格鲁吉亚西部,为当地的地方种,生产上早已不再种植。马卡小麦有密穗类型(D 为 35~37)和稀穗类型(D 为 24~28),其变种数分别为 5 和 10。冬性,分蘖力强,植株高大,抗倒伏。茎秆中空壁薄,穗长 8~10cm,有芒或无芒。穗轴具刚毛,易断穗。穗子侧面比正面宽 1.5~2 倍,籽粒带皮。颖厚韧,带有一些野生品种旱生型特征:厚颖和木质化的下皮。难脱粒,具显著的脊由基部直达颖尖,每小穗结实 2 粒,千粒重低(25g 左右),半硬质。

(十七) 瓦维洛夫小麦

瓦维洛夫小麦是六倍体带皮栽培种, 染色体数 $2n = 42$, 染色体组为 AABBDD, 原产于亚美尼亚。冬性, 中熟或晚熟。株高 70~90cm, 茎坚硬, 较抗倒伏, 分蘖力弱。穗无芒, 灰褐色, 穗长 12cm 左右, 每穗有小穗 17 个左右; 穗分枝有两种表现形式: 基部小穗形成复小穗, 这种属穗分枝; 另一种是小穗轴延长, 形成多花, 形似分枝, 这是假分枝。穗轴易折断, 折断方式为上节位。护颖较硬, 有毛和刺, 颖壳有茸毛。籽粒带皮, 难脱粒, 白色, 软质, 千粒重 30g 左右, 蛋白质含量可达 17%。

(十八) 密穗小麦

密穗小麦是六倍体裸粒栽培种, 染色体数 $2n = 42$, 染色体组为 AABBDD, 据董玉琛等汇集, 全世界共有密穗小麦变种 145 个, 其中土耳其居第一位, 有 74 个, 其次是前苏联, 有 57 个, 阿富汗有 48 个, 美国和澳大利亚也有少量, 中国有密穗小麦变种 37 个。目前我国栽培的密穗小麦变种有 35 个, 中国的甘肃、云南、新疆、山西、陕西、贵州、四川、浙江、青海、西藏等省(自治区)均有种植, 其中甘肃和云南较多。密穗小麦有冬性、弱冬性和春性等类型。密穗小麦植物学形态的主要特点是穗短而宽, 穗长度约为其宽度的 2.5 倍, 呈棍棒形或橄榄形, 侧面比正面宽。小穗排列极紧密, 一般 D 为 35 以上, 有的着生与穗轴呈直角。护颖短, 长度短于或等于外颖, 颖脊仅上部明显, 有毛或无毛。外颖有长芒、短芒或无芒。子粒短圆形, 多为粉质, 蛋白质含量较低。

(十九) 印度圆粒小麦

印度圆粒小麦是六倍体裸粒栽培种, 染色体数 $2n = 42$, 染色体组为 AABBDD, 是印度西北部(旁遮普)狭窄地区的土著种, 曾在印度和巴基斯坦灌溉地上栽培。印度圆粒小麦仅有 17 个变种。春性, 早熟, 耐热, 对土壤条件要求不高。叶片短, 上举挺直。植株高度 60~90cm, 茎秆不粗但坚韧, 抗倒伏力强。穗纺锤形, 横断面常为正方形, 穗短小, 小穗密度 D 为 35 左右, 每穗具 14~20 个小穗, 每小穗有 6~7 朵花, 可结实 3~4 粒。护颖圆形, 内外颖短而圆。外颖无芒或具短芒、长芒, 颖壳白色或红色, 有毛或无毛。籽粒圆形而小, 红色或白色, 千粒重 25g 左右, 一般为半硬质, 有的蛋白质含量 20% 以上。

(二十) 普通小麦

普通小麦是六倍体裸粒栽培种, 染色体数 $2n = 42$, 染色体组为 AABBDD, 起源于小亚细亚, 分布于世界各产麦区。中国的普通小麦分布于全国各地, 种植面

积约为小麦总面积的 98%。分为冬播和春播两大类型。秆直立,丛生,具 6~7 节,株高 60~100cm,径 5~7mm。叶鞘松弛包茎,叶片长披针形。穗状花序直立,长 5~15cm(芒除外),宽 1~1.5cm;小穗含 3~9 朵小花;颖卵圆形,长 6~8mm,主脉背面上部具脊,顶端延伸为长约 1mm 的齿,侧脉的背脊及顶齿均不明显;外稃长圆状披针形,长 8~10mm,顶端具芒或无芒;内稃与外稃几等长。穗形有纺锤形、长方形、圆锥形、棍棒形、椭圆形、分枝形 6 类。芒分为完全无芒、顶芒、微芒、短芒、长芒、勾曲芒、短曲芒、芒拳曲和长曲芒。粒色分白色(包括黄色和冰糖色)、红色、紫色、黑色、绿色、蓝色。

(二十一) 阿拉拉特小麦

阿拉拉特小麦是四倍体带皮野生种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AAGG,已知有 10 个变种,分布于亚美尼亚、阿塞拜疆、纳希契凡、伊朗西北部、伊拉克北部及土耳其东部。一年或两年生,冬性,春化阶段和光照阶段均长,晚熟。株高 30~120cm,上覆蜡质。分蘖与叶片数多,叶片和叶鞘具刚毛。穗茎上部为髓所填充。穗较窄扁,穗轴节间较长,穗长 5~10cm,具 12~18 个小穗,小穗较疏,较窄。护颖有毛。穗轴自然断落,折断方式为上节位。小穗基部及穗轴两侧有茸毛,每小穗具双芒,芒长 12~15cm。每小穗有 2~3 朵花,结实 2 粒,籽粒带皮,难脱粒。籽粒红色、有棱、硬质,冠毛多,蛋白质含量高。

(二十二) 提莫菲维小麦

提莫菲维小麦是四倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AAGG,已知有 7 个变种,分布于伊拉克、美国佐治亚州、阿根廷、匈牙利、澳大利亚、塞尔维亚。春性,极晚熟。幼苗直立,株高 140~155cm,分蘖与叶片较多。茎节、叶片、叶鞘均具有粗硬茸毛;穗扁平、短、宽,侧面宽于正面,有茸毛,具柔软的芒,小穗着生紧密,密度 D 为 40~50。成熟时穗轴易折断,折断方式为上节位。护颖白色、椭圆形、较坚硬,颖脊及侧齿明显,颖嘴锐。小穗基部有茸毛。每小穗 3~4 朵花,一般结实 2 粒。籽粒带皮(稃),较难脱粒,粒较长,蛋白质含量 19%~22%。

(二十三) 密利提奈小麦

密利提奈小麦是四倍体带皮栽培种,染色体数 $2n=28$,染色体组为 AAGG,原产于格鲁吉亚和亚美尼亚。春性,幼苗直立,株高 140~155cm,叶片、叶鞘及茎节具粗硬茸毛。分蘖多,茎中空。穗扁平、短宽,小穗着生极密,小穗密度 D 为 40~50,穗长 3~5cm。小穗基部有茸毛。每小穗 3~5 朵花,结实 2~3 粒。护颖较软,长椭圆形,黑褐色,有短茸毛。颖脊明显,颖嘴延长 0.5~1.5cm。易脱粒,籽粒为长椭圆形,红色、硬质。