

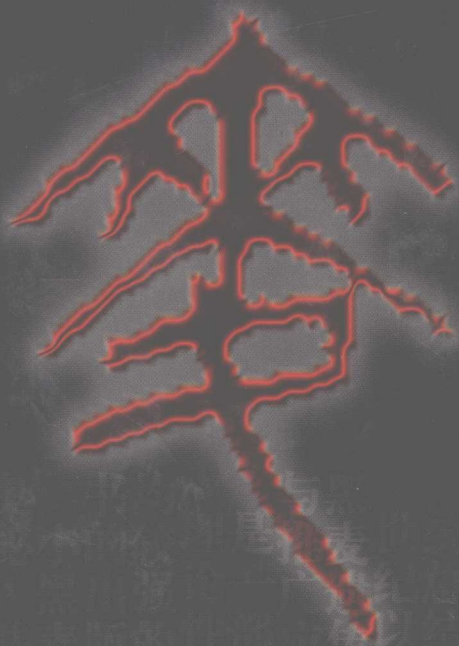
■ 孙元枢

主编

TRITICALE GENETIC BREEDING AND UTILIZATION IN CHINA

# 中国小黑麦遗传育种研究与应用

浙江科学技术出版社



8512.403.2

8512.403.2

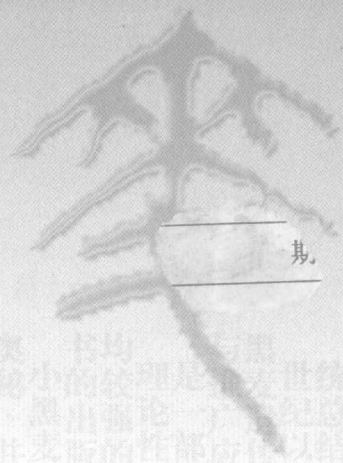
1

孙元枢 主编

TRITICALE GENETIC BREEDING AND UTILIZATION IN CHINA

# 中国小黑麦遗传育种研究与应用

浙江科学技术出版社



本书第一次系统地总结了半个世纪以来我国小黑麦遗传育种研究成果，是一部应用性、实用性较强的著作，可供从事小黑麦遗传育种工作的科研人员、农业院校师生及有关单位参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国小黑麦遗传育种研究与应用/孙元枢主编.—杭州:  
浙江科学技术出版社, 2002.12  
ISBN 7-5341-2035-7

I.中... II.孙... III.小黑麦—遗传育种—中国  
IV.S512.403.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 089598 号

TRITICALE GENETIC BREEDING AND UTILIZATION IN CHINA

中国小黑麦遗传育种研究与应用

孙元枢 主编

\*

浙江科学技术出版社出版

杭州富春印务有限公司印刷

浙江省新华书店发行

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 插页 6 字数 524 000

2002 年 12 月第 1 版

2002 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5341-2035-7/S • 254

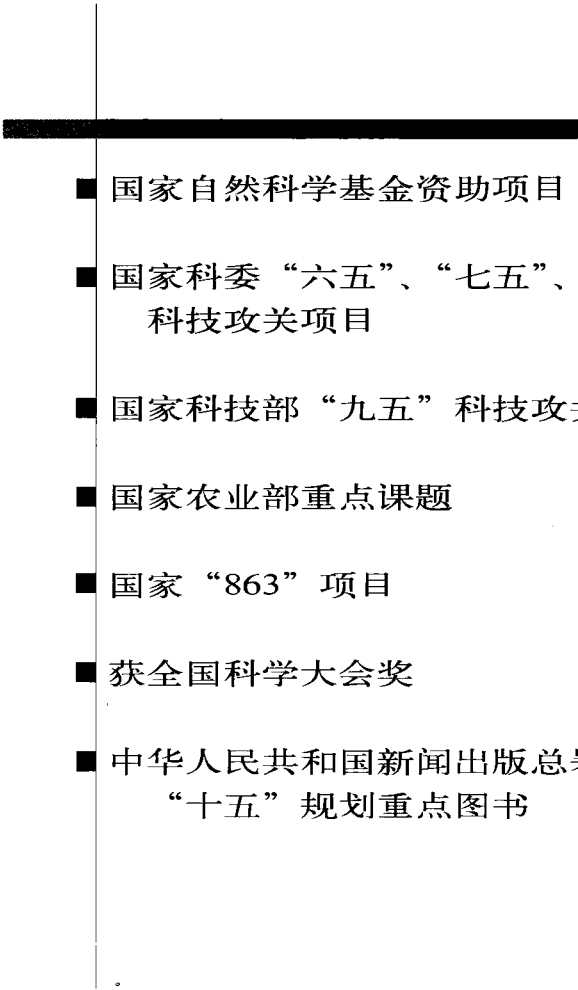
定 价: 50.00 元

封面设计 潘孝忠

责任校对 顾 均

责任编辑 章建林 林海芳

陈小兵 孙莓莓

- 
- 国家自然科学基金资助项目
  - 国家科委“六五”、“七五”、“八五”科技攻关项目
  - 国家科技部“九五”科技攻关项目
  - 国家农业部重点课题
  - 国家“863”项目
  - 获全国科学大会奖
  - 中华人民共和国新闻出版总署“十五”规划重点图书



图版1 甘肃民乐东灰山出土的小麦炭化种子



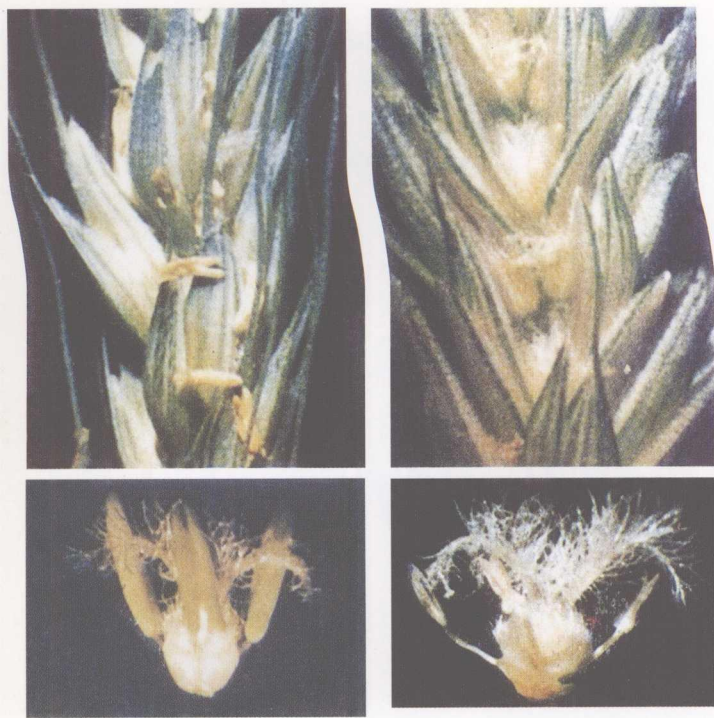
图版2 小麦、黑麦、小麦×黑麦F<sub>1</sub>和小黑麦种子



图版3 鲍文奎教授(左二)及其课题组成员



图版4 内蒙古自治区海拉尔市拉布达林农场, 小黑麦(左)和小麦(右)抗丛矮病毒病的比较

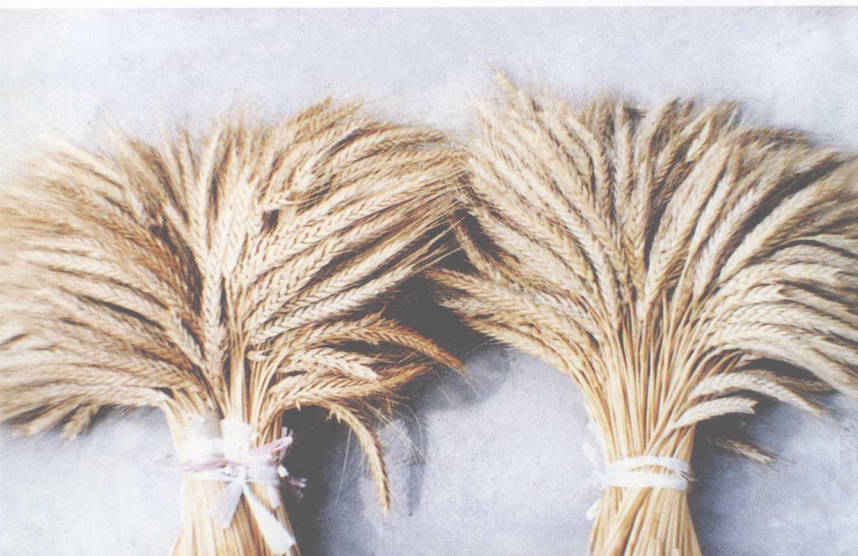


图版5 小黑麦雄性不育  
株与可育株雌蕊花药比较

(左为可育株小花, 雌、雄蕊正  
常, 自交可育; 右为不育株小  
花, 雌蕊正常, 花药干瘪, 无  
花粉, 自交不育, 异交可育。)



图版6 小黑麦轮回  
选择株高分离情况



图版7 小黑麦中饲 237  
穗部情况



图版8 小黑麦(左)与饲料大麦(右)生长比较



图版9 小黑麦(右)与饲料大麦(左)株高比较



图版10 我国研制的高温、快速93QH-3000烘干机组



图版 11 小黑麦青贮收割情况



图版 12 用小黑麦青贮饲喂奶牛



图版 13 小黑麦与小麦秸秆比较



图版 14 小黑麦  
干花和草编制品

## 本书编纂人员

主 编 孙元枢

副 主 编 武镛祥 曹连莆 谢 运

编纂人员（按姓氏笔画为序）

孔广超 朱新开 齐军仓

孙元枢 孙建勇 武镛祥

郭文善 曹连莆 彭永欣

## 序

小黑麦是在总结了普通小麦异源多倍体自然演变进化规律的基础上,通过小麦和黑麦属间杂交,应用多倍体育种和染色体工程方法人工创造的第一个新作物。

我国的小黑麦研究发轫于1951年由鲍文奎教授在四川省农业科学研究所的工作。八倍体小黑麦涉及A、B、D、R四个染色体组,遗传关系复杂,综合优良农艺性状比较难;而六倍体小黑麦的A、B、R三个染色体组相对比较稳定,因而六倍体小黑麦育种进展较快。20世纪50年代六倍体小黑麦品种选育成功并在生产上应用,世界上几乎所有小黑麦研究都转到六倍体上,惟有我国同时进行六倍体和八倍体小黑麦研究。鲍文奎先生自1955年到中国农业科学院作物育种栽培研究所主持小黑麦育种项目。经过20多年研究,选育出第一批八倍体小黑麦新品种,并于1976~1978年组织全国小黑麦协作组进行试种推广。小黑麦遗传育种与应用课题是“六五”、“七五”、“八五”、“九五”国家科技攻关项目和农业部重点项目。1998年推广面积在6.7万 $\text{hm}^2$ 以上,到1999年全国小黑麦协作组有13个省、自治区、直辖市的24个单位参加,各省、自治区、直辖市通过审定品种14个,在国内外一级刊物上发表学术论文50多篇。我国的小黑麦遗传育种研究(细胞水平)与应用在国际上处于领先水平。

人工培育的小黑麦,具有以下特点:①小黑麦保持了小麦的丰产性和优良烘烤品质,结合了黑麦的抗病、抗逆性强和营养品质好等优良性状。1978年小黑麦2号、小黑麦3号在贵州威宁高寒山区推广1.3万 $\text{hm}^2$ ,获得成功。它不仅表现在抗寒、抗病、耐瘠、适应性广等方面,而且穗大粒多,产量一般比当地小麦提高20%左右,特别是能在海拔2700m以上小麦不能正常生长的地区种植,为高寒山区增加了一个新的优质粮食作物。这是世界上八倍体小黑麦首次推广种植最广大的地区,并因此获得全国科学大会奖。②小黑麦有巨大的杂种营养生长优势,不但可作粮食、饲料,而且可在酿酒和提供能量上得到应用。随着我国农业结构的调整,畜牧业对饲料、饲草的需求迅速增长。小黑麦属间杂种生长优势强、植株高、分蘖多、茎叶生物产量高、营养品质好,特别是它的抗寒性强,能在冬春较低温度下生长,可提供冬春枯草期的青贮饲料。小黑麦籽粒的蛋白质、赖氨酸含量高,国际上主要利用籽粒作饲料。1990年我国首先把六倍体小黑麦用作奶牛青贮饲料并获成功,在1993年国际农作制度

研究协作网总结会上被承认为国际首创，并获得农业部丰收计划二等奖。小黑麦作为青贮饲料，比传统的饲料大麦青贮亩增产50%左右，蛋白质、赖氨酸含量增加30%以上，其最大的优点是可利用我国广大的冬闲田种植，有利于提高复种指数。③小黑麦的R染色体上带有许多抗病基因，如小黑麦对小麦白粉病的抗性，能够在小麦中表达和鉴定。小黑麦和小麦很容易杂交，从而可把小黑麦的抗病性转移到小麦中去。综上所述，小黑麦育种无论在植物遗传理论研究中还是在生产实践上都具有重大意义。

国际上对小黑麦育种研究也很重视，20世纪60年代，中国、美国、加拿大、苏联、法国、西班牙、葡萄牙、瑞典、瑞士、波兰、巴西等国家都开展了小黑麦育种研究。20世纪70年代，欧洲国家开始进行小黑麦品种联合试验。1985年在澳大利亚悉尼召开了第一届国际小黑麦会议，并成立国际小黑麦协会，现在每四年召开一次国际会议。

在世界发展日新月异的今天，不进则退，少进也是退。21世纪是一个充满机遇和希望、充满风险与挑战的世纪，是加快我国实现现代化农业的又一个关键性的世纪。世纪之初召开的党的十六大，是我国进入全面建设小康社会、加快社会主义现代化的新阶段召开的一次十分重要的代表大会。就是在这重要的历史时刻，《中国小黑麦遗传育种研究与应用》出版了。本书第一次系统总结了半个世纪以来的我国小黑麦遗传育种研究与推广应用成果，是一部系统性、理论性、实用性均较强的著作。本书的出版，对于激励人们进一步揭示小黑麦的生物奥秘，并进一步推广小黑麦的应用具有重要的承前启后的作用。深入研究小黑麦遗传育种，科学推广小黑麦生产，积极推进小黑麦产业化经营，实现农业发展新突破，提高农业综合效益，全面推进效益农业，对于加强农业基础地位，推进农业和农村经济结构调整，保护和提高粮食综合生产能力，增强农业市场竞争力，都具有积极的作用。相信本书的出版，能够为切实完成党的十六大提出的“统筹城乡经济社会发展，建设现代农业，发展农村经济，增加农民收入”的全面建设小康社会的重大任务作出应有的贡献。我们相信，《中国小黑麦遗传育种研究与应用》一书的出版，将会进一步推动我国在小黑麦研究领域与国际间的交流与对话，并更有力地促进和提升我国在该领域的学术地位。

卢良恕

2002年12月

# 前 言

小黑麦是由小麦和黑麦经过属间杂交，应用杂种染色体加倍和染色体工程育种方法人工培育的第一个新作物（新物种）。小黑麦不但结合了小麦的高产、优质和黑麦的抗病、抗寒、抗逆性、适应性的优点，而且还具有杂种生长优势巨大、光合作用率强和营养品质好等特点，可作为粮食、饲料、酿酒、保健食品、草编、纤维板材等的原料。同时，还可以利用其淀粉含量丰富的特点制造酒精和沼气，可作为一个长期的取之不尽的再生生物能源。目前，小黑麦已经发展成为一个粮、饲、经等综合利用的多种用途新作物。

小黑麦的育成，使人类在生产和实践中从认识自然到改造自然的过程中迈出了一大步，上了一个新台阶。人们从上万年的小麦自然演化的历程中，总结了普通小麦是由三个二倍体物种通过天然杂交和杂种染色体加倍，从二倍体演变到四倍体，再到六倍体的异源多倍体物种形成的自然规律后，能动地选取六倍体普通小麦与二倍体黑麦进行人工杂交，并对不育杂种染色体进行人工加倍，从而培育出第一个人工创造的新物种（新作物）——八倍体小黑麦。有了第一个人工创造的新作物，就可以揭示新物种形成的奥秘，创造出第二个、第三个新物种和新作物。当前，我国农业正由传统的“粮食-经济作物”二元结构向“粮食-饲料-经济作物”三元结构转变，小黑麦作为一个新的饲料作物可为调整农业结构、发展养殖业、提高土地利用率和提高农民收入，提供一个有力的新作物。

从一个新物种到一个新作物要经历生产和市场的检验，需要科研和生产的紧密结合。我国小黑麦研究始于 1951 年，由鲍文奎先生在四川农业科学研究所最早开始。1978 年我国成立全国小黑麦协作组，先后有数十个科研、院校和生产单位参加，包含了农学、遗传、育种、生理、生化、栽培、营养、畜牧、加工和经济等多学科的合作研究。20 多年来协作组的成员在艰苦的条件下，齐心协力，深入研究和开发应用，终于使这个新物种成为一个很有前途的可以应用于生产的新作物。本书的编写、出版正是对半个世纪以来我国小黑麦遗传育种研究与应用的系统总结。因而，也可以说本书是协作组全体成员多年辛勤劳动的结晶。

本书是一部反映我国小黑麦研究进展和应用的著作，与一般专著不同，它的理论性与实用性、系统性、完整性、学术性和应用性均较强，因而可以给我国农业教学、科研人员和农牧饲养户提供更多有用的方法和技术内容。

本书共分八章，第 1 章论述了人类从普通小麦长期自然演化历程中总结出的异源多倍体形成新种的规律。对于进行人工合成八倍体和六倍体小黑麦新种具有理论上和实践上的指导意义。第 2 章研究了小麦、黑麦的可杂交性，小黑麦的结实率和种子饱满度、蛋白质含量及其抗病性等主要性状的遗传，阐述了小黑麦的染色体组组成和倍性以及不同染色体间的加、减、易位和代换。由于黑麦染色体的组成和形态易与小麦染色体区别，因而为染色体工程育种和导入异源种质提供了坚实和可行的理论基础。第 3 章介绍了小黑麦的组织培养与分子标记方法。组织培养是 20 世纪新发展的生物学方法，它不仅可以快速繁殖各种植物材料，使体细胞杂种、无性系变异、细胞突变和倍性选择成为育种新途径，而且为植物基因工程中的基因转移提供适合载体，为植物学、生理学、生态学、细胞学和分子遗传学等学科的深入研究

发展创造必要条件。20 世纪 80 年代末,随着生物技术和分子遗传学的发展,利用分子标记 DNA 形式对植物进行遗传标记,绘制基因组图谱,不仅可研究作物起源、进化和遗传多样性,而且在分子标记辅助育种上可有效导入外源基因,对提高育种效率有重要作用。小黑麦是人类创造的新作物,它具有不同属的染色体组 and 不同倍性,是组织培养和分子标记研究的最先试验和应用的材料。目前国内外已成功地进行了不少研究,并且运用在人工培育的新作物的品种选育上。第 4 章阐述了小黑麦育种的方法,由于小黑麦是人工培育的属间杂种,因而本章论述了我国小麦、黑麦属间的可杂交性以及属间杂种  $F_1$  染色体加倍的方法。在小黑麦的选育方法上除了常规系谱选择外,还论述了我国首先利用小黑麦不育系进行轮回选择的新方法,这不仅针对小黑麦的结实率和种子饱满度等多基因控制的性状选择,而且对于打破与不良性状连锁,提高有利基因的频率,选育综合优良性状好的小黑麦新品种效果显著。第 5 章阐述了小黑麦的生长发育及栽培管理。本章根据小黑麦的自身生长发育规律源库流特性,结合我国各地自然环境条件、生产水平和栽培条件,按照不同应用目的,提出了不同的栽培管理措施和调制技术。特别是为适应我国农业结构的调整,发展高产优质的饲料小黑麦,本章也提出了因地制宜的栽培调控配套技术。第 6 章论述了小黑麦的营养与品质。本章从小黑麦植株和籽粒的蛋白质、碳水化合物、矿物质和维生素等营养元素和酶的含量组成特性出发,论述了对人、畜生长及健康的影响和作用,从而为小黑麦开发利用打下坚实的理论 and 物质基础。第 7 章介绍了小黑麦的开发利用。小黑麦是一个人工创造的新作物,结合了小麦和黑麦的优良特性,具有巨大的开发利用价值。本章全面阐述了小黑麦在作为粮食、饲料、食品加工、环境保护等诸方面的开发利用技术。第 8 章对我国小黑麦研究的现状 and 未来作了全面的分析与展望,并对国际上小黑麦研究的成果 and 最新进展作了介绍,对小黑麦今后的发展潜力也作了分析评估。

本书是中国小黑麦科技工作者和协作组成员共同研究的结晶,是第一部全面介绍我国小黑麦研究、开发利用成果的著作,经过全国协作组全体人员的共同努力,历时 3 年多时间完成。浙江科学技术出版社以极大热忱,组织和 support 本书的出版,使本书得以顺利问世。谨以此书为中国小黑麦研究人员向 21 世纪的到来、向党的十六大提出全面建设小康社会奋斗目标献礼,并向为小黑麦研究工作付出辛勤劳动 and 做出重大贡献的金善宝教授、鲍文奎教授、严育瑞研究员等老一辈专家致敬。

本书写作分工如下:第 1 章,孙元枢;第 2 章,孔广超、曹连莆;第 3 章第 1、2 部分,武镛祥,第 3 部分,孙元枢;第 4 章第 1、3 部分,曹连莆、孔广超、齐军仓,第 2 部分,孙元枢;第 5 章,朱新开、郭文善、彭永欣 and 孙建勇;第 6 章,孙元枢;第 7 章第 1、2、4、5、6 部分,孙元枢,第 3 部分,武镛祥;第 8 章,孙元枢;附录,孙元枢。

全书由孙元枢、曹连莆统稿,孙元枢主编,王增远、刘淑芬、陈秀珍协助完成大量技术工作,本书得到小黑麦科技研究领域许多同仁的支持 and 鼓励,在此特表谢意。

回顾全书的写作深感有许多不足之处,特别是由于编者都是科研工作者 or 农业院校教师,他们在繁忙的科研教学工作中写稿,有些内容不够深入,书中遗漏 and 不足之处,诚望读者指教。

孙元枢  
2002 年 12 月

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第1章 小黑麦的进化和分类 .....        | 1   |
| 1.1 小黑麦的研究和发展简史 .....      | 1   |
| 1.2 小麦的自然演变与进化 .....       | 7   |
| 1.3 黑麦属的分类和特性 .....        | 14  |
| 1.4 小黑麦的类型和特性 .....        | 29  |
| 1.5 小黑麦在理论和实践上的意义 .....    | 33  |
| 参考文献 .....                 | 34  |
| 第2章 小黑麦的性状表现与遗传 .....      | 38  |
| 2.1 小麦与黑麦的可杂交性 .....       | 38  |
| 2.2 结实率和饱满度 .....          | 43  |
| 2.3 株高及其与饱满度综合性状关系 .....   | 44  |
| 2.4 蛋白质含量 .....            | 46  |
| 2.5 抗病性 .....              | 50  |
| 2.6 抗逆性 .....              | 52  |
| 参考文献 .....                 | 54  |
| 第3章 小黑麦的组织培养与分子标记 .....    | 55  |
| 3.1 小黑麦的花药培养与双单倍体的应用 ..... | 55  |
| 3.2 小黑麦的组织培养和体细胞变异 .....   | 61  |
| 3.3 小黑麦的分子遗传标记 .....       | 69  |
| 参考文献 .....                 | 74  |
| 第4章 小黑麦育种 .....            | 77  |
| 4.1 小黑麦的常规系谱育种 .....       | 77  |
| 4.2 小黑麦的轮回选择育种 .....       | 91  |
| 4.3 品种区域试验与品种审定 .....      | 108 |
| 4.4 小黑麦种子生产 .....          | 115 |
| 参考文献 .....                 | 135 |
| 第5章 小黑麦的生长发育与栽培管理 .....    | 137 |
| 5.1 小黑麦的种植制度 .....         | 137 |
| 5.2 小黑麦栽培的生物学基础 .....      | 141 |
| 5.3 小黑麦生长发育对环境的需求 .....    | 159 |
| 5.4 小黑麦抗性表现 .....          | 165 |
| 5.5 小黑麦的源库流特性 .....        | 171 |
| 5.6 小黑麦饲草的优质高产栽培技术 .....   | 192 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 5.7 小黑麦籽粒（或精饲料）的优质高产栽培技术 .....  | 210 |
| 参考文献 .....                      | 227 |
| 第6章 小黑麦的营养和品质 .....             | 230 |
| 6.1 营养物质的含量和特性 .....            | 230 |
| 6.2 小黑麦的烘烤品质及其改良 .....          | 241 |
| 6.3 小黑麦营养物质对人畜的影响和作用 .....      | 244 |
| 参考文献 .....                      | 246 |
| 第7章 小黑麦的开发利用 .....              | 248 |
| 7.1 粮 食 .....                   | 248 |
| 7.2 饲 料 .....                   | 252 |
| 7.3 啤酒和饮料 .....                 | 275 |
| 7.4 保健食品 .....                  | 278 |
| 7.5 干花、草编、纤维板材 .....            | 281 |
| 参考文献 .....                      | 282 |
| 第8章 小黑麦的现状和未来 .....             | 284 |
| 8.1 我国小黑麦生产的发展 .....            | 284 |
| 8.2 世界小黑麦的发展状况 .....            | 292 |
| 8.3 小黑麦的发展潜力与市场对小黑麦的需求 .....    | 300 |
| 参考文献 .....                      | 303 |
| 附 录 我国小黑麦品种性状记载标准和品种（系）简介 ..... | 305 |
| 一、小黑麦品种的编制和性状记载标准 .....         | 305 |
| 二、小黑麦品种简介 .....                 | 309 |
| 三、小黑麦品系简介 .....                 | 318 |
| 四、小麦与黑麦杂交“桥梁”品种（系）简介 .....      | 323 |
| 五、黑麦品种简介 .....                  | 326 |
| 参考文献 .....                      | 327 |

# Contents

|           |                                                                       |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapter 1 | Triticale evolution and classification .....                          | 1   |
| 1.1       | Developing history and research progress of triticale .....           | 1   |
| 1.2       | Natural developing and evolution of triticale .....                   | 7   |
| 1.3       | Classification and characteristic of rey genome .....                 | 14  |
| 1.4       | Type and characteristic of triticale .....                            | 29  |
| 1.5       | Theoretical and practical significance of triticale .....             | 33  |
|           | References .....                                                      | 34  |
| Chapter 2 | Characters and genetics of triticale .....                            | 38  |
| 2.1       | Crossability between wheat and rye .....                              | 38  |
| 2.2       | Fertility and grain plumpness .....                                   | 43  |
| 2.3       | Relation between plant height and grain plumpness .....               | 44  |
| 2.4       | Protein content .....                                                 | 46  |
| 2.5       | Resistance to disease .....                                           | 50  |
| 2.6       | Resistance to stress .....                                            | 52  |
|           | References .....                                                      | 54  |
| Chapter3  | Tissue culture and molecular mark of triticale.....                   | 55  |
| 3.1       | Anther culture and utilization of haploid and diploid triticale ..... | 55  |
| 3.2       | Tissue culture and soma variation of triticale .....                  | 61  |
| 3.3       | Molecular genetic mark of triticale .....                             | 69  |
|           | References .....                                                      | 74  |
| Chapter 4 | Triticale breeding .....                                              | 77  |
| 4.1       | Pedigree method of breeding in triticale .....                        | 77  |
| 4.2       | Recurrent selection of breeding in triticale .....                    | 91  |
| 4.3       | Variety regionalization test and registration .....                   | 108 |
| 4.4       | Seeds production of triticale .....                                   | 115 |
|           | References .....                                                      | 135 |
| Chapter 5 | Development and management of triticale .....                         | 137 |
| 5.1       | Triticale cropping systems .....                                      | 137 |
| 5.2       | Biological basis of triticale .....                                   | 141 |
| 5.3       | Environment requirement of triticale .....                            | 159 |
| 5.4       | Resistivity of triticale .....                                        | 165 |
| 5.5       | Sources, storage and transit of triticale .....                       | 171 |
| 5.6       | Management of forage triticale .....                                  | 192 |

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7 Management of triticale in seed production .....                                               | 210 |
| References .....                                                                                   | 227 |
| Chapter 6 Nutritive quality of triticale .....                                                     | 230 |
| 6.1 Nutritive materials and content of triticale .....                                             | 230 |
| 6.2 Bake quality and improvement of triticale .....                                                | 241 |
| 6.3 Effects of nutritive materials on human and animal .....                                       | 244 |
| References .....                                                                                   | 246 |
| Chapter 7 Developing and utilization of triticale .....                                            | 248 |
| 7.1 Grain .....                                                                                    | 248 |
| 7.2 Feeds .....                                                                                    | 252 |
| 7.3 Beer and drinks .....                                                                          | 275 |
| 7.4 Health food .....                                                                              | 278 |
| 7.5 Handicraft article and cellulose plate .....                                                   | 281 |
| References .....                                                                                   | 282 |
| Chapter 8 Present situation and prospect of triticale .....                                        | 284 |
| 8.1 Triticale development in China .....                                                           | 284 |
| 8.2 Triticale development around the world .....                                                   | 292 |
| 8.3 Developing potential and prospect of triticale .....                                           | 300 |
| References .....                                                                                   | 303 |
| Appendix Brief introduction of triticale varieties (lines) and their characteristic in China ..... | 305 |
| Appendix 1 List of triticale varieties (lines) and their characteristic .....                      | 305 |
| Appendix 2 Introduction of triticale varieties .....                                               | 309 |
| Appendix 3 Introduction of triticale lines .....                                                   | 318 |
| Appendix 4 Introduction of bridge varieties in wheat and rye crossing .....                        | 323 |
| Appendix 5 Introduction of rye varieties .....                                                     | 326 |
| References .....                                                                                   | 327 |