



小麦矮秆基因

李杏普 兰素缺 李孟军◎著



 中国农业出版社

国家科学技术学术著作出版基金

小麦矮秆基因

李杏普 兰素缺 李孟军 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

小麦矮秆基因/李杏普, 兰素缺, 李孟军著. —北京:
中国农业出版社, 2009. 10
ISBN 978-7-109-13517-8

I. 小… II. ①李…②兰…③李… III. 小麦—基因—研
究 IV. S512.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 156451 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张 利 赵立山

北京中科印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

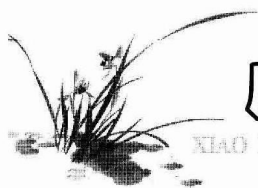
2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 12.25

字数: 223 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 80.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



序

XIAO MAI AI GAN JI YIN

随着小麦生产条件的不断改善，小麦品种倒伏始终是造成减产的重要因素。因此，如何降低株高和提高植株的抗倒伏性是小麦育种和种质资源工作者热衷的研究课题。自 20 世纪 60 年代农林 10 号矮秆基因 *Rht1* 和 *Rht2* 应用于小麦育种和生产以来，小麦的株高降低了 30~40cm，小麦单产由原来的 100~200kg 提高到 400~500kg，矮秆基因在提高小麦抗倒伏能力和保障小麦产量中发挥了重要作用。

矮秆基因的成功利用引发了世界第一次“绿色革命”，自此小麦矮化育种成为世界性的主攻方向，矮秆基因的发掘、创新和研究利用取得了长足的进展。目前世界上已发现小麦矮秆基因约 25 个。大批矮秆、半矮秆品种的问世，使世界小麦产量显著提高。矮秆基因的创新、鉴定和遗传研究也由原来的个体水平或细胞水平发展到了与分子水平相结合。但到目前为止，国内外未见有关“小麦矮秆基因”的专著出版。本书作者在近 20 年的试验研究基础上，参阅了国、内外大量文献，编著了《小麦矮秆基因》一书，是有重要意义的。本书系统总结了小麦矮化育种的现状和发展、矮源和矮秆基因创新利用、不同矮秆基因对小麦生物学特性的作用、矮秆基因的分子鉴定、克隆及其遗传研究等有关研究的

发展和现状。同时，还积极引入现代研究的新思想、新见解、新方法和新结果。因此，这是一本具有较大学术价值和应用价值的专著。

本书作者由具有 20 多年小麦种质资源研究经验的研究员和具有博士学位的中青年组成，科研素质较高。本书不仅为世界小麦育种和矮秆基因研究介绍了一些新的矮秆基因资源，而且为改良高产小麦品种提供了可参考利用的矮秆基因标记引物及 DNA 电泳图谱。本书的出版定会对小麦种质资源研究和育种工作者及大、中专院校的师生们有所帮助。

董玉琛

2009 年 3 月



前言

矮秆小麦的遗传改良

在小麦由中、低产向高产转变的过程中，生产上遇到的首要问题是因生产条件的改善而引起倒伏的问题。品种秆高和秆软是小麦倒伏减产的主要原因。自 20 世纪 60 年代农林 10 号矮秆基因 *Rht1* 和 *Rht2* 应用于小麦育种和生产以来，小麦的株高由 100cm 以上降至目前的 70cm 左右，小麦产量由原来的 100~200kg 提高到目前的 500kg 左右。矮秆基因在降低小麦品种株高、提高抗倒伏能力和保障小麦产量中发挥了举足轻重的作用。在目前高产向超高产育种转变的实践中，矮秆基因和高光效的有机结合是小麦资源创新和高产育种工作者的主攻目标，矮秆基因克隆可为快速改造优质品种秆高倒伏问题奠定物质基础。因此，小麦矮秆基因发掘、创新和育种价值研究对小麦育种和提高小麦产量具有深远意义。

小麦矮化育种的发起人国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 的 Borlaug N. E. 博士以及不同国家的农业科学家诸如 M. D. Gale、M. J. Pinthus、A. J. Worland、贾继增和辛志勇等多年来致力于小麦矮秆基因和矮源的发掘和研究。目前世界上已发现的小麦矮秆基因主要包括三大类型：①草丛矮基因；②独秆发育受阻基因；③矮秆基因 (*Rht*)，共计约 25 个基因。对小麦不同矮秆基因的鉴定、遗传分析

以及利用等专项研究，国内外各类期刊多有报道，但全面系统的研究还很缺乏。英国剑桥大学的 M. D. Gale 等在《Progress in Plant Breeding》一书中，用较大的篇幅（约 1 万字）从小麦矮生性遗传、矮秆基因的多重效应和矮秆基因的互作 3 个方面，对 1985 年以前的矮秆基因研究进行了综合论述。这是目前国内外报道的关于小麦矮秆基因研究的篇幅最长的文献。

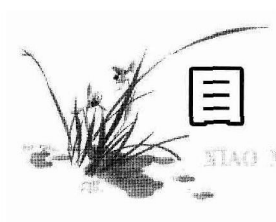
近 20 年来小麦矮化育种和矮秆基因的发掘、研究取得了长足的进展。随着育种或资源创新技术的不断发展，新的矮秆基因不断被发现和利用。在矮秆基因的鉴定方面，也由原来的细胞水平发展到了分子水平。矮秆基因的分子鉴定、定位和克隆技术已成功地应用于小麦资源和育种研究中。但到目前为止，国内外未见有关小麦矮秆基因的专著出版。我们在近 20 年的试验研究中，先后获得“小麦不同矮秆基因的引进、鉴定和应用”、“矮秆基因对小麦高产、优质育种的作用及其机理研究”和“小麦矮秆基因发掘、定位及其育种价值研究”等项目立项资助，对小麦矮秆基因资源的鉴定、创新、育种价值、遗传以及矮秆基因的分子鉴定等进行了较全面系统的试验研究。在此基础上，我们借鉴国内外有关最新研究成果，博采众家之长，尽量体现矮秆基因研究的新颖性、系统性和学术性的统一，编著了《小麦矮秆基因》一书。主要章节有：小麦矮化育种，小麦矮源和矮秆基因，小麦矮秆基因鉴定和染色体定位，小麦矮秆基因及其互作对小麦生物学特征、特性的影响，小麦矮秆基因的分子遗传、克隆、矮秆资源创新及其生物学特性鉴定等。

本书执笔人员分工如下：内容提要、前言、目录和第 1、2、4、8 章，李杏普；第 3 章，兰素缺、李杏普；第 5 章，兰素缺；第 6、7 章，李孟军。编写本书的目的是为小麦遗传研究与资源研究人员、育种工作者和相关专业师生提供参考资料。由于我们的研究工作和掌握的资料有限，本书难免有不足和纰漏之处，恳请同行专家批评指正。

在此感谢董玉琛院士为此书作序，感谢 M. D. Gale 博士、F. J. Worland 提供作者 4 套小麦近等基因系以及一些矮秆基因研究的方法和参考资料，感谢刘广田教授和张相歧教授为本书部分章节审稿。感谢辛志勇研究员、李立会博士、贾继增研究员以及在本课题工作过的全体工作人员和本课题硕士研究生康苏花等对本课题研究和材料整理的大力支持与帮助。

作 者

2009 年 3 月



目 录

XIAO MIAO KE GAN DI YIN

序

前言

1 小麦矮化育种	1
1.1 矮化育种的意义	1
1.2 矮化育种研究的发展和现状	2
2 小麦矮源和矮秆基因	5
2.1 世界主要小麦矮源	5
2.1.1 显性矮源	5
2.1.2 隐性矮源	6
2.2 中国小麦育种利用的主要矮源	7
2.3 小麦矮秆基因	7
2.3.1 草丛矮基因	7
2.3.2 独秆基因	8
2.3.3 矮秆基因 (<i>Rht</i> 基因)	8
3 小麦矮秆基因鉴定和染色体定位	12
3.1 矮秆基因的鉴定方法	12
3.1.1 系谱追踪法	13
3.1.2 单体分析法	13
3.1.3 测交分析法	13
3.1.4 赤霉酸 (GA_3) 鉴定法	13
3.1.5 培育近等位基因系或诱导加倍单倍体品系	14
3.1.6 分子标记鉴定技术	14

3.2 矮秆基因的多途径鉴定结果	16
3.2.1 <i>Rht</i> 矮秆基因的 GA_3 等生物化学鉴定	16
3.2.2 不同矮秆基因的分子标记引物筛选和染色体定位	30
3.2.3 不同种质的矮秆基因分子鉴定及其分布规律	37
4 小麦矮秆基因及其互作对小麦生物学特征、特性的影响及其作用机理研究	49
4.1 试验材料和方法	49
4.1.1 试验材料	49
4.1.2 种植和调查方法	50
4.1.3 品质分析方法	51
4.1.4 水培试验方法	51
4.1.5 盆栽试验方法	51
4.1.6 不同生态类型区试验方法	51
4.2 <i>Rht-B1b</i> 、 <i>Rht-D1b</i> 、 <i>Rht-B1c</i> 矮秆基因的育种价值研究	52
4.2.1 <i>Rht</i> 基因对小麦营养器官生长特征、特性的作用	52
4.2.2 <i>Rht-B1b</i> 、 <i>Rht-D1b</i> 、 <i>Rht-B1c</i> 矮秆基因对产量性状的作用	57
4.2.3 <i>Rht</i> 基因对小麦生育期的影响	64
4.3 <i>Rht8</i> 、 <i>Rht-D1c</i> 、 <i>Rht12</i> 诸矮秆基因的育种价值研究	65
4.3.1 <i>Rht8</i> 、 <i>Rht-D1c</i> 、 <i>Rht12</i> 诸矮秆基因对小麦营养器官生长特征、特性的影响 ...	65
4.3.2 <i>Rht8</i> 、 <i>Rht-D1c</i> 、 <i>Rht12</i> 诸矮秆基因对产量性状的影响	69
4.3.3 <i>Rht8</i> 、 <i>Rht-D1c</i> 、 <i>Rht12</i> 诸矮秆基因对生育期的影响	70
4.3.4 小结与讨论	70
4.4 矮秆基因及其互作对小麦生长发育特征、特性的影响总结	71
4.5 <i>Rht</i> 矮秆基因对小麦产量性状的作用机理研究	72
4.6 矮秆基因对小麦品质性状的作用	74
4.6.1 以冬麦品种 MERCIA 为背景的近等基因系之间品质的差异	74
4.6.2 以冬麦品种 MER 为背景的近等基因系之间的品质性状的差异	75
4.6.3 以春麦品种 April Bearded 为背景的不同基因系品质性状的差异	77
4.6.4 小结与讨论	78
4.7 不同生态类型区不同矮秆基因的作用	79
4.7.1 不同 <i>Rht</i> 基因在冬麦区不同条件下的表现	79
4.7.2 不同 <i>Rht</i> 基因在春麦试验区中的遗传差异	82

4.8 在模拟气候室不同 <i>Rht</i> 近等基因系营养性状的异同	84
4.8.1 水培试验	84
4.8.2 盆栽试验	86
4.8.3 小结与讨论	88
4.9 <i>Rht</i> 基因对抗旱性的影响	89
5 小麦矮秆基因遗传研究	91
5.1 试验材料和方法	91
5.1.1 试验材料	91
5.1.2 试验方法	91
5.2 矮秆基因遗传力及遗传效应分析	92
5.3 矮秆基因杂种优势分析	93
5.4 主要矮源的农艺性状配合力分析	95
5.5 不同矮秆基因互作农艺性状的遗传力及遗传效应	96
5.6 不同矮秆基因互作农艺性状的杂种优势研究	100
6 小麦矮秆基因克隆	110
6.1 小麦基因克隆技术	110
6.1.1 蛋白质部分氨基酸序列已知基因的克隆技术	110
6.1.2 已知基因表达序列标签的克隆技术	110
6.1.3 小麦基因的图位克隆	111
6.2 小麦矮秆基因的克隆	112
6.2.1 <i>Rht-B1b</i> 和 <i>Rht-D1b</i> 矮秆基因的克隆	112
6.2.2 矮败小麦的创制及 <i>Rht-D1c</i> 矮秆基因的克隆	113
6.2.3 <i>Rht-B1c</i> 矮秆基因的克隆	114
6.3 矮秆基因克隆存在问题和的发展趋势	114
7 小麦矮秆基因种质资源创新	116
7.1 小麦矮秆基因种质资源创新方法	116
7.1.1 利用自然的基因突变进行小麦矮秆种质资源创新	117
7.1.2 通过种内杂交进行小麦矮秆种质资源创新	117
7.1.3 通过远缘杂交进行小麦矮秆种质资源创新	117
7.1.4 通过物理和化学诱变进行小麦矮秆种质资源创新	118
7.1.5 利用基因工程手段进行小麦矮秆种质资源创新	119

7.2 小麦矮秆基因种质资源的创新目标	119
7.2.1 以遗传学工具材料为主要目标的种质创新	119
7.2.2 以育种亲本材料为主要目标的种质创新	120
7.3 小麦矮秆基因种质资源创新的发展方向	121
7.3.1 加强现有矮秆基因的研究	121
7.3.2 改良现有矮源	121
7.3.3 继续探索、鉴定和利用新的矮秆资源	122
8 不同矮秆基因种质资源的生物学特性鉴定	123
8.1 矮秆基因资源的生物学特性鉴定方法	123
8.1.1 抗旱性鉴定	123
8.1.2 耐盐性鉴定	124
8.1.3 抗寒性鉴定	124
8.1.4 抗病性鉴定	124
8.1.5 抗蚜虫鉴定	126
8.1.6 品质鉴定	126
8.1.7 农艺性状和产量构成因素的测定	126
8.2 不同矮秆基因资源的生物学特征、特性鉴定	126
主要参考文献	173



1 小麦矮化育种

自 20 世纪 60 年代国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 的 Borlaug N. E. 博士发起的世界第一次“绿色革命”农林 10 号矮秆基因被广泛用于小麦育种以来, 小麦矮化育种成为世界范围内势不可挡的趋势。矮秆基因的研究被越来越多的育种专家重视, 先后鉴定出 25 个以上矮秆基因, 并应用部分矮秆基因培育出大批丰产潜力大的矮秆、半矮秆品种, 尤其是国际玉米小麦改良中心培育出大批高产、适应性广的矮秆、半矮秆品种。这些矮秆、半矮秆品种的广泛利用, 15 年内使世界小麦产量增加了 2 倍。我国小麦矮化育种研究早在 20 世纪 50 年代后期就已开始, 先后育成一系列半矮秆新品种, 这与世界上 20 世纪 60 年代掀起的培育和推广矮秆、半矮秆小麦品种热潮的时间几乎是同步的 (王永和, 1996)。到目前为止, 育成的大部分新品种为矮秆、半矮秆, 并且大面积应用于小麦生产, 使我国小麦产量大幅度提高, 在国民经济的发展中发挥了举足轻重的作用。本章就矮化育种的意义和发展进行了概述, 以便进一步提高读者对矮秆基因研究重要性的认识。

1.1 矮化育种的意义

在小麦由中、低产量向高产转变的过程中, 生产上遇到的首要问题是因生产条件的改善而引起倒伏的问题。过去生产上沿用的中、高秆品种在高产水肥条件下出现严重的倒伏而减产。自 20 世纪 60 年代世界第一次“绿色革命”以来, 国际玉米小麦改良中心培育出大批的矮秆、半矮秆品种在亚、非、拉美三大洲种植面积已达 0.3 亿 hm^2 。到 1979 年, 美国共育出矮秆、半矮秆品种 95 个, 每公顷产量最高达 9 750kg。矮化育种使世界小麦生产和农业经济繁荣和发展步入新台阶。

我国 1970 年育成第一个大面积推广的矮秆品种矮丰 3 号, 株高 75cm。其后,

我国育成的大部分新品种为矮秆、半矮秆品种，在小麦生产上发挥了巨大的作用。从我国各地品种更换的情况来看，植株性状变化的主要表现之一就是株高由高变矮。在小麦品种的 5 次更换中株高由第一次的 120cm 左右降到了第五次的 80cm 左右，并表现大穗、大粒、秆粗、秆硬趋势，从而有效地提高了品种的耐水肥、抗倒伏能力，确保了高产、稳产。由于作物轮作、间作套种的面积迅速扩大，小麦生产上对品种的要求更高，即矮秆、秆硬、大穗、早熟、丰产。

研究表明，矮化育种能够提高收获指数和光能利用率。收获指数与籽粒产量呈显著正相关，随着小麦产量的提高，收获指数已从过去的 30%~50% 提高到了现在的 40%~50%，Austin (1980) 设想在保持生物学产量的前提下，如能降低茎秆和叶鞘干重（即降低株高）可望把收获指数提高到 60%，从而大幅度提高籽粒产量，同时，通过矮秆和其他农艺性状之间的协调发展（这需要高水平的育种材料和方法）可提高植株的光合效率。澳大利亚 Donald (1986) 认为，高光效小麦的理想株型首先应是植株矮壮、抗倒伏、根系发达、独秆、少而小的直立叶片、旗叶短宽、穗有芒而大，能获得较高的单株生产力。意大利 B. M. Marinai 的研究表明，株高和穗长为独立遗传，而穗长与结实小穗数存在一定相关性。因此，将矮秆与大穗多实结合起来，同时加强其他农艺性状的选择，即可获得理想株型的矮秆品种，这在育种实践中已得到证明。因此，在高水肥条件下获得较高生物学产量的同时，通过矮化育种提高经济系数和光合效率，即可获得较高的籽粒产量，从而可以实现小麦产量的更大突破。

实践证明，植株较高的小麦品种，相对茎秆较软，无法克服由于高水肥造成的倒伏减产问题。因此，小麦适度的矮化育种和高光效结合以及克服或打破早衰和矮秆基因的不良连锁关系，是小麦超高产育种之急需，也是目前提高小麦单产的重要措施。这对促进中国或世界经济和社会的发展具有深远的现实意义。

1.2 矮化育种研究的发展和现状

1873 年日本农民开始种植矮秆小麦，矮秆基因的发现和利用最早始于 19 世纪日本的地方品种赤小麦（Akagomugi）和达摩（Daruma）。1916 年育种家 Strampelli 利用赤小麦参加杂交在意大利育成矮秆小麦品种矮粒多（赵洪璋等，1991）。1935 年日本从达摩矮源的杂交后代中育成了著名的农林 10 号。美国 20 世纪 40 年代引进农林 10 号，育成了高产品种 Gaines 和 Nugains；20 世纪 70 年代英国 J. A. Repert 从美国华盛顿选育的农林 10 号衍生系中育成最早的高产品种 Maris-Fundin 和 Hobbit。1962 年，世界玉米小麦改良中心利用农林 10 号育成的丰产性强、适应性广、株高 65~85cm、叶片直立的墨西哥小麦 Pitic62、Penjamo62 等第

一批矮秆春小麦，在中美、中东、南亚、南美、北非等地广为种植。1964 年利用智利小麦沃格尔系的衍生后代，1974 年育成了半矮秆冬小麦品种 Fundin，随后又育成 Hobbit、Norman、Avelon 等半矮秆高产品种，推广面积达 4 000 万 hm^2 以上。

国外有关矮源和矮秆基因的研究较早，但由于株高受外界环境条件及自身的遗传背景影响较大，进展迟缓。自从 1975 年 Gale 等研究发现 GA_3 敏感性可作为矮秆基因的标记性状以来，使得矮秆基因及矮源的研究取得了突破性进展。总的看来，目前对矮秆基因的研究还很不够，很多研究领域还是空白，研究的内容大都集中在 *Rht-B1b* (*Rht1*)、*Rht-D1b* (*Rht2*)、*Rht-B1c* (*Rht3*)、*Rht8*、*Rht9*、*Rht-D1c* (*Rht10*)、*Rht12* 矮秆基因。许多学者已深入研究了不同矮秆基因对提高小麦产量及改良其农艺性状的作用 (Law et al., 1978; Masanori et al., 1991; Pinthus et al., 1990; Pinthus et al., 1983; Snape et al., 1984; Youssefian et al., 1992)，为小麦矮化育种提供了亲本选配的理论依据。

我国的矮化育种始于 1958 年，利用水源 86 育成矮秆品种咸农 39，进而在 1970 年育成矮丰 3 号 (株高 $< 74\text{cm}$) 等品种，其中矮丰 3 号已推广近 70 万 hm^2 ，在我国小麦矮化育种中起了重要作用。利用赤小麦矮秆基因选育成功的高产小麦品种还有郑州 741、郑州 761、豫麦 16 等。我国以 N. P. F. P 独秆为矮源选育成功了大穗丰产品种陇春矮丰 3 号。利用赤小麦矮秆基因的衍生系 (或品种) 通过杂交选育出了一些综合性状好的新矮源，如山东农学院 20 世纪 70 年代初育成的 6609 矮秆材料 (丰 3//碧 1/阿玛)，利用 6609 选育的品种累计推广面积达 555.6 万 hm^2 。来源于我国西藏的大拇指矮 (Tom Thumb) 和西安市农业科学研究所选育的矮变 1 号分别具有显性 *Rht-B1c* 和 *Rht-D1c* 基因，但材料成熟晚，生产上很少利用。在河北省 31 份定名的小麦品种中，已鉴定并追踪出 21 份品种的矮秆基因的来源。冀麦 1 号、2 号、5 号、6 号、9 号、13 号、14 号、17 号、22 号、23 号和 29 号等 11 份品种为对 GA_3 敏感型，其矮秆基因来源于赤小麦，具有 *Rht8* 和 *Rht9* 两个隐性矮秆基因；冀麦 7 号、10 号、11 号、15 号、18 号、20 号、25 号、31 号等 8 份品种来源于农林 10 号血统，具有对 GA_3 不敏感的 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 两个隐性半矮秆基因；冀麦 19 号、28 号来源于郑引 1 号具有对 GA_3 为弱的不敏感型基因 *Rht-B1d*。浙江省农业科学院在浙麦 1 号/大拇指矮后代中选育出株高 80cm 左右的钱江 2 号品种，到 1990 年已种植 2 万多 hm^2 。

笔者在对矮秆基因鉴定、研究的基础上，向国内外近百个小麦研究单位提供了携带有 *Rht* 矮秆基因的品种或品系。目前已在国外的河北、山东、河南、北京、陕西和山西等地的小麦研究单位应用。据笔者 2003 年的不完全统计，育种单位已利用携带有 *Rht* 矮秆基因的品种或品系培育出新品种 (系) 100 余个，其中

河北省育成 52 个，其他省（自治区、直辖市）育成品种 40 余个，累计推广面积 333.3hm²，在新品种培育和小麦生产中发挥了重要的作用。

目前，小麦高产育种徘徊不前，超高产育种是世界小麦育种家主攻方向。20 世纪 80 年代已有单产 9 000kg/hm² 的小麦品种的报道，然而至今，大面积稳定超 9 000kg/hm² 的小麦品种尚未见报道。20 多年来小麦单产没有实质性的突破，因此，矮秆基因对超高产育种利用价值的研究迫在眉睫。尽管在矮化育种中，不是越矮越好，但矮秆、抗倒伏和高光效小麦资源的创新以及小麦矮秆基因的有效、快速利用研究，始终是小麦遗传研究、小麦资源研究和超高产育种研究的主要目标。



2 小麦矮源和矮秆基因

自从 1873 年日本农民发现地方矮秆品种 Daruma 以后,世界上相继出现了 5~6 个矮源品种,之后科学家对其所含的矮秆基因进行了遗传鉴定分析,目前定名的矮秆基因有 25 个之多(嵇怡等, 2006),其中,在生产中有利用价值的不超过 10 个。矮秆基因的不断发现和成功的开发利用,为小麦产量的提高奠定了物质和理论基础。本章总结了现有的世界上主要小麦矮源和矮秆基因的基本情况。

2.1 世界主要小麦矮源

2.1.1 显性矮源

(1) 中国西藏的大拇指矮(Tom Thumb)小麦品种,属天然变异材料,携带 *Rht-B1c* (*Rht3*) 矮秆基因,利用价值较大。

(2) 美国小麦品种 Marfed 的 EMS 诱变体 Marfed. M, 携带 *Rht5* 矮秆基因,在生产上无利用价值。

(3) 陕西西安的矮秆早小麦品种的天然变异系矮变 1 号,携带 *Rht-D1c* (*Rht10*) 矮秆基因。

(4) 用 X 射线诱导冬小麦品种 Karcagi522 产生的诱变体 Karcagi522M7K, 降秆作用很强,降秆 46%, 接近完全显性,携带 *Rht12* 矮秆基因。

(5) 矮秆硬粒小麦诱变体 Castelporziano, 初始矮源为 Capelli, 降秆作用为 30%, 携带 *Rht14* 半显性矮秆基因。

(6) 硬粒小麦 Edmore 的 EMS 诱变体 EdmoreM1, 对 GA_3 反应不敏感,携带 *Rht16* 半显性矮秆基因。

(7) 硬粒小麦 Anhinga 的诱变体 Vcaro, 对 GA_3 反应不敏感,用于硬粒小麦