

# 禾本科作物遗传改良的研究现状及发展趋势

贾宏汝 黄群策\* (郑州大学物理工程学院离子束生物工程河南省重点实验室, 河南郑州450052)

**摘要** 综述了目前在禾本科作物遗传改良的研究领域内的研究现状、所面临的主要问题和未来的发展趋势。

**关键词** 禾本科作物; 遗传改良; 主要问题; 技术途径

中图分类号 S5.032 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)28-08837-03

## Research Status and Development Trend of Genetic Improvement in Gramineous Crops

JIA Hongru et al (Provincial Key Laboratory of Ion Beam Bioengineering, College of Physical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450052)

**Abstract** The research status, major problems and future development trend in the research field of genetic improvement in gramineous crops at present were summarized.

**Key words** Gramineous crops; Genetic improvement; Major problems; Technological approach

在被子植物中,禾本科(Gramineae)植物是具有庞大物种数目和物种多样性的大科之一。禾本科植物在分类上属单子叶植物纲,鸭趾草亚纲(Commelinidae),莎草目(Cyperales),其中包括500多个属8000多个物种,它们广泛分布在全球各地的不同生态条件下。由于禾本科植物的生存环境多种多样和物种类型千变万化,其生物学特点也表现出明显的多样性。随着人类对禾本科植物认识的不断加深,对其进行遗传改良的研究范围也不断扩大。

因我国人口数量不断增加而耕地面积的不断减少,人们对生活质量的需求急剧上升,未来的粮食紧缺问题已引起有识之士的高度关注。由于禾本科作物是人类生命活动赖以生存的粮食基础,其中水稻、小麦、玉米和高粱等重要的农作物更是维持着地球上庞大人口的生存。当今世界上种植禾本科作物的农田占70%,人类食物中65%以上的能量和50%以上的蛋白都来自于禾本科作物<sup>[1]</sup>。禾本科作物的产量潜力和质量好坏关系到人类的生存和发展,因此,禾本科作物的遗传改良现状及其发展趋势值得关注。

### 1 研究现状

追溯到约一万年以前,现代禾本科作物的遗传改良与人类对野生植物的驯化和原始农业的起源密切相关。随着人类对野生植物的精细筛选和对植物生长条件的改善栽培,现代新的栽培品种不断形成。人们不仅从远古时代开始定居并学习耕种,并逐渐积累了植物改良的实践经验,而且将这门知识系统化,并加入了新的科技手段,使其不断发展。从人类的发展史来看,早在5000多年前,人类为了生存而不自觉地开始了野生植物的驯化活动,由此而形成了当今数量如此庞大的各种农家品种。在我国古代所形成的择取精华的植物育种技术对现代遗传育种技术的建立有深远的影响。研究者经过近半个世纪利用现代生物技术对各种栽培作物进行有效的遗传改良,已使人类的育种技术和育种水平达到相当高的程度。国内外生物遗传改良的历史经验已充分证明,生物体新材料的发现、生物体遗传改良新方法的建立和研究新思路的提出,都有可能使生物遗传改良的水平得到明显

提高,从而能进一步有效挖掘其增产潜力和实用价值。19世纪中叶后,自然科学(如化学、进化论、遗传学和生理学等)研究成果及其试验方法逐渐被应用于生物体遗传改良的研究领域,这促进了禾本科作物的遗传改良研究由传统的经验水平向现代的技术水平发生质变,进而促使了生物体遗传改良理论的建立。

现代禾本科作物都是从野生植物进化而来,达尔文以前的进化学说强调单一的进化因素,如布丰强调环境直接有发生生物的遗传改变,拉马克强调人、物内的自我改进力量,瓦格勒(M. Wagner)则强调环境隔离因素。达尔文在《物种起源》一书中兼容并蓄,概括出生物进化的三个基本因素,即变异、遗传和选择,自然选择理论是其核心,而自然选择的基础是生物的变异和遗传。变异和遗传是生物进化的内因和基础,选择决定着生物进化的发展方向<sup>[2]</sup>。孟德尔定律在二十世纪初被重新发现后,其遗传学的两大定律促使了禾本科作物的遗传改良研究迈向了新台阶。W.L.约翰逊提出的纯系学说不仅为纯系育种奠定了理论基础,也为区分遗传性变异和非遗传性变异找到了理论依据。

禾本科作物的遗传改良离不开遗传学理论的指导。在近代于禾本科作物遗传改良的研究领域内存在着两大学派,即孟德尔学派和米丘林学派。被称之为遗传学之父的孟德尔第一个科学地将遗传现象与遗传物质联系起来,认为生物体性状的遗传有其物质基础,并首次提出了“遗传因子”的概念。研究者后来用“基因”一词代替了“遗传因子”的概念。米丘林强调指出,生物学的基本原则是生物体与生活条件的有机统一,生物体对其生活条件表现出高度的选择性和适应性,而生活条件对生物体的个体发育和遗传变异则起着主导作用。遗传性是生物体的基本特性之一,在个体发育过程中遗传性也在不断发展,这种获得的性状可以遗传下去。人类通过控制生物体的生活条件,或者进行有性杂交或无性杂交,以及利用人工驯化方法可动摇和改变生物体的遗传性,由此可望实现通过定向选择达到定向培育的目的。孟德尔学派的研究者从生物体的个体角度强调其被研究个体的生长、发育和繁殖特点,而米丘林学派的研究者则是从生物体系统发育角度强调生物体的环境效应在遗传改良中的作用。现代生物进化理论将两者统一起来,认为生物体的表现型不仅由个体的基因型决定,而且与个体所处的环境条件密切

基金项目 国家“十五”科技攻关项目(2001BA302B)。

作者简介 贾宏汝(1981-),女,河南驻马店人,硕士研究生,研究方向:细胞发育生物学研究。\* 通讯作者。

收稿日期 2007-05-25

相关,即生物体所表现出来的特征特性是特定基因型在特定环境条件下充分表达的结果。

禾谷类作物遗传改良的基础是物种内的种质资源,而其遗传改良的关键环节涉及到4个主要方面,即千方百计地创造出遗传性变异、敏锐地筛选出优良的基因型或突变体、快速而高效地获得遗传性稳定的纯合个体和不失时机地繁殖出可满足生产需求的品种。人类已进行过大量研究并在生产上大面积栽培的3大禾谷类作物水稻、小麦和玉米分别属于稻亚科的稻属、早熟禾亚科的小麦属和黍亚科的玉蜀黍属<sup>[3]</sup>。除此外,研究者对黑麦属的黑麦、小黑麦属的六倍体小黑麦和八倍体小黑麦、大麦属的4种栽培大麦(栽培二棱皮大麦、栽培四棱裸粒大麦、栽培六棱裸粒大麦和四倍体大麦)、燕麦属的燕麦和莜麦、薏苡属的薏苡、高粱属的高粱、甘蔗属的甘蔗、狗尾草属的谷子和狼尾草属的御谷等禾谷类作物都进行过有效的遗传改良并对其潜在价值进行过深入的探索<sup>[4]</sup>。在目前各种农作物的遗传改良已取得明显成效而其产量水平相当高的前提下,进一步挖掘其遗传改良潜力的难度相当大。尽管如此,在新的形势下水稻、小麦和玉米新育种目标的确定促进了禾谷类作物遗传改良水平的进一步提高,也正在为人类从根本上解决人口不断增加与可耕地不断减少的矛盾探索新的研究途径。

现代禾谷类作物遗传改良的成就主要表现在4个方面。

在遗传改良理论上建立了以进化论和遗传学为基础的理论体系。在这个理论体系中包括纯系理论、杂交育种理论、杂种优势理论、生物技术理论和远缘杂交理论等;在筛选方法上由传统的随机性筛选转变为现代的目标性筛选。在禾谷类作物遗传改良中,根据具体的育种目标,通过采用特定的育种技术,研究者不断追求的育种效果就是通过定向变异达到定向筛选;在遗传改良的效果上通过形态改良和优良基因型筛选有效挖掘了禾谷类作物的产量潜力。水稻的产量由农家品种的 $200\text{ kg/hm}^2$ 左右转变为现代品种的 $450\text{ kg/hm}^2$ 左右,增加了一倍多<sup>[5]</sup>。杂交水稻的培育成功导致水稻产量迈上更高的台阶。在超前性研究上,通过生物技术的应用促使禾谷类作物遗传改良的范围得到进一步拓展。即由品种间遗传物质的交流筛选新品种向亚种间或物种间遗传物质的交流筛选新品种或新作物,由此研究者掀起了超高产育种和固定杂种优势的新的研究热潮<sup>[6]</sup>。

在禾谷类作物遗传改良的研究领域内,水稻育种的成就特别引人注目。在经历了20世纪60年代的水稻矮化育种后,20世纪70年代初期我国已完成“三系”杂交水稻配套并于中期成功地将籼型杂交水稻在生产中推广应用,由此标志着我国水稻遗传改良的研究工作已步入世界前列。20世纪90年代中期我国学者提出的超级稻育种战略设想和两系杂交稻在生产上的试种成功使国际上同行专家感到震惊和钦佩。从水稻育种的发展进程来看,水稻育种方法的创新主要围绕着两个方面展开研究,即如何更有效地创造出丰富多彩的遗传性变异群体和怎样更准确筛选出具有实用价值的优良基因型。目前,我国水稻遗传改良的研究主要面临着两大难题,即怎样通过更有效的遗传改良方法和途径在现有的产量水平上进一步实质性地提高水稻的单位面积产量(即更有

效地挖掘其杂种优势效应)和简化水稻杂种优势利用的程序(即固定其杂种优势效应)。尽管我国水稻遗传改良的水平一直处于世界领先地位,在此基础上进一步挖掘水稻的增产潜力则有赖于不断探索出新的育种途径,需解决一系列基础理论问题、应用基础问题和建立新的育种技术路线以及寻找新的具有实用价值的种质资源。20世纪90年代我国学者提出的超级稻育种的基本技术思路主要是采取有效的技术措施,进一步探讨综合利用形态改良技术、杂种优势利用技术和现代生物技术,创建适合于超级杂交稻形态生理特点和有利于发挥优异潜在性能的水稻栽培技术体系。经有关专家论证后已确定,在我国长江流域超级稻的产量指标为 $10.5\sim 12.0\text{ t/hm}^2$ ,即超级稻比目前生产上推广应用的杂交水稻在产量上要增加20%以上。

除此外,有些研究者主张在染色体组多倍化水平探索水稻的遗传改良潜力<sup>[7]</sup>。从植物物种进化的系统发育进程来看,染色体组的倍性变化在很大程度上有助于物种的发展和升级,而染色体组的多倍化是自然界产生新物种的重要途径之一<sup>[8]</sup>。根据近年来水稻分子生物学的研究结果,目前我们在生产上栽培的普通栽培稻(*O. sativa* L)是二倍体物种( $2n=2x=24$ ),它携带AA染色体组,其基因组在主要的农作物基因组中为最小,其染色体也较小(其基因组约为 $3\times 10^5\text{ kb}$ )。普通栽培稻的基因组是普通小麦的基因组的1/40,是大麦的基因组的1/10。从物种倍性水平的进化程度、染色体组的最佳数目和染色体形态大小的适宜性来看,利用现代生物技术以普通栽培稻为基础对其进行遗传改良,虽然是水稻育种中超前的育种目标,但成功的可能性很大,实用性很强。适当增加水稻的基因组(其中包括同源基因组和异源基因组),提高其染色体组的倍性水平,促进物种升级和新物种形成,不仅可进一步大幅度挖掘水稻的增产潜力,还可增大其变异范围,增强其适应性,建立新的水稻生产模式<sup>[9]</sup>。前人的研究结果已证实,在稻属(*Oryza*)植物内存在着24个物种,其中有7个物种是异源四倍体物种,即斑点野生稻(*O. purpurata*)和小粒野生稻(*O. minuta*)携带BBCC染色体组,高秆野生稻(*O. alta*)、大颖野生稻(*O. grandiglumis*)和阔叶野生稻(*O. latifolia*)携带CCDD染色体组,长颖野生稻(*O. longiglumis*)和马来野生稻(*O. atidleyi*)携带HHJJ染色体组。由此可见,在稻属内已存在着一些异源多倍体物种,这是在自然条件下稻属植物经过严格的自然选择、长期的进化发展和不断的演变适应后所得到的结果。基于这一认识,目前越来越多的研究者热心于通过无融合生殖方式固定农作物的杂种优势,以便简化农作物杂种优势的利用程序和提高农作物的育种水平<sup>[10]</sup>。

## 2 主要问题

在禾本科作物遗传改良的4个基本的关键环节中,根据育种目标,以特定的种质资源为基础千方百计地创造出遗传性变异群体尤为重要。从目前的现状来看,在禾本科作物遗传改良领域内所面临的主要问题涉及到两个方面,即促进学科发展的应用基础问题和满足生产需要的应用问题。在禾本科作物遗传改良的应用基础问题中主要涉及到7个方面,即如何更有效地从定向变异达到定向改良的目的、杂种优势机理、雄性不育

的机理、雌性不育的机理、无融合生殖的潜在价值、染色体组多倍化的遗传变异规律和新物种形成的机理。

在禾本科作物遗传改良的应用问题中主要涉及到3个方面,即进一步挖掘现有作物的产量潜力、简化杂种优势利用的技术程序和开发新的作物资源。目前,禾本科作物遗传改良的育种目标主要集中在产量性状和品质性状上。高产是禾本科作物遗传改良的基本要求,如何挖掘产量潜力和改进产品品质是禾本科作物遗传改良的关键。在进行遗传改良时要根据当地自然与栽培条件,分析现有品种的特征、特性,以此为基础分析限制生产发展的主要问题,明确几代改良的主要目标性状,选育出能克服现有品种的缺点、保持其优点的新品种。怎样通过有效的方法和途径在现有的产量水平上进一步提高单位面积产量和简化禾本科作物杂种优势利用的程序是有待解决的两大攻关难题<sup>[11]</sup>。从现代禾本科作物遗传改良的发展进程看,各国研究者所面对的主要问题是种质资源的遗传基础较窄,缺乏良好的基因资源。基于目前的现状,一些研究者主张遗传改良方法的创新主要应从一个环节上开展,即如何更有效地在生物群体内创造出丰富多彩的遗传变异个体<sup>[12]</sup>。在禾本科作物育种中利用物理诱变源或化学诱变剂使育种材料发生遗传性变异,进而在诱变后代群体中筛选出具有优良基因型的新种质或新品种,这已成为一种新的育种方法<sup>[13]</sup>。

生物体杂种优势是生物界存在的一种普遍现象。继20世纪20年代玉米等异花授粉作物的杂种优势在生产上的利用获得成功,水稻等自花授粉作物的杂种优势利用在20世纪70年代后取得了更加引人注目的成就。在杂交水稻超高产育种途径的探索中,其育种方法可分为三系法、两系法和一系法三个战略发展阶段;利用杂种优势的效应可分为从利用品种间优势效应到利用亚种间优势效应再到利用种间远缘杂种优势效应三个发展阶段。简化杂种优势利用的技术程序已成为禾本科作物遗传改良领域内值得探索的问题。通过无融合生殖方式固定禾本科作物杂种优势以便简化其杂种优势的技术程序已引起了一些研究者的兴趣和关注<sup>[14]</sup>。

禾本科植物的物种数目多达8 000多个,种质资源十分丰富,但已被开发利用的物种数目还相当少。禾本科作物新种质资源的开发主要涉及到在禾本科植物内寻找新的基因资源,进一步挖掘其潜在的利用价值。杂草是农业生态系统中对农作物的生长和产量产生重要影响的伴生植物。杂草具有耐不良环境、生长快、繁殖力强等优良特性,它们是重要的生物资源,在作物遗传改良中的潜在价值不容忽视。在实际的研究中,可利用杂草的优良基因作为农作物遗传改良的基因供体;利用其有用成分开发中医药;利用植物他感效应进行害虫生物防治;可开发成观赏植物;可作为先锋物种进行生态恢复、改良环境、促进养分循环、保护土壤微生物等。

### 3 展望

人类近代生物体遗传改良的历史经验已充分证明,生物体新材料的发现、生物体遗传改良新方法的建立和研究生物体新思路的提出,都有可能使改良生物体的遗传操作水平得到明显提高,从而能有效挖掘其潜在的实用价值<sup>[15]</sup>。从生物体遗传改良的发展进程来看,研究方法的创新主要围绕着

两个方面展开研究,即如何更有效地在生物体群体内创造出丰富多彩的遗传性变异个体和怎样更准确地筛选出有实用价值的优良基因型。禾本科植物遗传改良的一个显著特征就是利用现代生物技术创造出特异性种质资源,在此基础上筛选出优良的基因型个体并尽快获得遗传性稳定群体。

禾本科植物是最有经济价值的一种植物,其物种数目较多,物种类型丰富多彩,潜在的利用价值还有待于进一步挖掘。利用现代生物技术加速禾本科植物遗传改良步伐的技术途径主要包括6个方面,即利用植物细胞工程技术在染色体组水平促进其物种升级、利用植物组织培养技术筛选无性系变异后代、在植物远缘杂交中利用幼胚拯救技术保留物种间远缘杂交后代的基因型、利用细胞工程技术完成异源遗传物质的交流和转移、利用分子标记技术提高对目标性状的筛选效率和利用特定的诱变源创造出丰富多彩的变异后代<sup>[16]</sup>。从植物物种的系统进化来看,染色体组的多倍化和异源基因组的有效结合是促进物种快速进化的主要动力,由此会提高其生长势、增强其适应性和加大其增产潜力。从植物物种的进化途径与其染色体组的关系来看,染色体组的多倍化是新物种形成的主要途径之一,而人工诱变方法的不断成熟促进了新物种形成的速度。利用幼胚拯救技术可提高植物远缘杂交的效率,进而保留物种间远缘杂交后代群体内更多的基因型<sup>[17]</sup>。植物遗传工程技术与植物细胞工程技术的有机结合将有助于异源遗传物质的交流和转移,由此将有望创造出更多的优良基因型后代。利用分子标记技术将有助于使禾本科植物的遗传改良通过定向变异达到定向改良的目的。利用特定的诱变源使禾本科植物的基因型由保守性向可塑性转变将有助于创造出无穷无尽的突变体,由此为目标性状的筛选提供了物质基础,特别是近年来不断完善的离子束生物工程技术在禾本科植物遗传改良中的有效利用将为禾本科植物的开发利用提供一条新途径<sup>[18]</sup>。

### 参考文献

- [1] 韩建国,樊奋成,李枫. 禾本科植物的起源、进化及分布[J]. 植物学通报,1996,13(1):9-13.
- [2] 胡延吉. 植物育种学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [3] 潘家驹. 作物育种学总论[M]. 北京:农业出版社,1994.
- [4] 孙敏,郭媛. 小黑麦生物学特性、营养价值及利用前景[J]. 山西农业大学学报,2003(3):201-203.
- [5] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种[J]. 杂交水稻,2001,16(1):1-3.
- [6] 袁隆平. 杂交水稻选育的回顾、现状与展望[J]. 中国稻米,1999(1):3-6.
- [7] 黄群策,孙敬三. 植物多倍性在作物育种中的展望[J]. 科技导报,1997(7):53-55.
- [8] 鲍文奎. 高产四倍体水稻无性系[J]. 中国农业科学,1985,18(6):64-66.
- [9] 路易斯. 多倍体在植物和动物中的地位(中译本)[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1984.
- [10] 黄群策. 被子植物的无融合生殖[M]. 福州:福建科学技术出版社,2000.
- [11] 中国农学会. 21世纪世界水稻遗传育种展望[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [12] 黄群策,秦广雍. 离子束生物技术改良同源四倍体水稻的设想[J]. 郑州大学学报,2003,35(4):31-36.
- [13] 谢慧波,黄群策. 禾谷类作物多倍化研究进展[J]. 河南农业科学,2006(2):15-20.
- [14] 黄群策. 杂交水稻超高产育种途径的探索[J]. 科学中国人,2000(8):44.
- [15] 黄群策,李玉峰. 离子束生物技术在水稻育种中的应用前景[J]. 杂交水稻,2002,17(5):5-8.
- [16] 黄群策. 超低能离子束生物工程的前景 Q// 万建民,刘录祥. 2005年

( 上接 第8839 页)

全国作物生物技术与诱变技术学术研讨会论文摘要集武夷山,2005.

[17] 颜昌敬. 植物组织培养手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社,1990.

[18] YUZ L, YANG J B, WU Y J, et al .Transferring GUS gene into intrat rice cells by lowenergy ion beam[J] . Nuclear Instruments and Methods in Physics Research , 1993( 80/ 81) :1328 - 1331 .