

Transgenic Technology—A Revolution of Crop Breeding Methodology

Wenxue Wang^{1*}, Guang Zhu¹, Xiangcheng Li¹, Zhanwang Zhu^{1#}, Chunbao Gao^{1,2}

¹Food Crops Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Hubei Key Laboratory of Food Crop Germplasm and Genetic Improvement/Wheat Disease Biology Research Station on Central China, Ministry of Agriculture, China/Hubei Engineering and Technology Research Center of Wheat, Wuhan Hubei

²Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry, Jingzhou Hubei
Email: 1323886792@qq.com, #zhuzhanwang@163.com

Received: Nov. 15th, 2019; accepted: Nov. 29th, 2019; published: Dec. 6th, 2019

Abstract

Transgenic crops are plants used in agriculture, the DNA of which has been modified using genetic engineering techniques to produce new elite traits. Transgenic technology is a revolution of crop breeding methodology. Through 40 years' development, transgenic crops have been widely adopted. This cutting age technology has made great contribution to the society and economy. The author reviewed the short history of transgenic crops and the traits of different crops have been modified by this technology. The challenges of transgenic crop commercialization in China were also discussed.

Keywords

Gene Transformation, Plant Breeding, Bio-Safety

转基因技术——作物育种方法的一次革命

王文学^{1*}, 朱光¹, 李想成¹, 朱展望^{1#}, 高春保^{1,2}

¹湖北省农业科学院粮食作物研究所/粮食作物种质创新与遗传改良湖北省重点实验室/农业部华中地区小麦病害生物学科学观测实验站/湖北省小麦工程技术研究中心, 湖北 武汉

²主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心, 湖北 荆州
Email: 1323886792@qq.com, #zhuzhanwang@163.com

收稿日期: 2019年11月15日; 录用日期: 2019年11月29日; 发布日期: 2019年12月6日

*第一作者。

#通讯作者。

摘要

作物转基因育种技术是指利用基因工程在原有作物的基因组中加入其它生物的遗传物质,从而培育新的优良性状的作物品种的一种技术。转基因技术是作物育种方法的一次革命。经过40年的发展,转基因作物如今已被广泛应用,在人类社会经济发展中做出了巨大贡献。本文回顾了作物转基因育种的简短历史,就当前转基因育种的主要目标性状进行了叙述,并对我国转基因作物商业化面临的挑战进行了分析。

关键词

转基因, 作物育种, 生物安全

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作物育种学科仅有近百年的历史,传统的作物育种是以孟德尔遗传规律为基础,一般用人工杂交方法,重组优异基因或者导入外源基因,以实现农作物特定性状的遗传改良。转基因技术育种,是指利用基因工程的办法,将其它生物遗传物质转入原有作物,从而培育新的优良性状的作物品种。大多数情况下,转基因的目的是为了引入原作物中不存在的新的性状。比如在粮食作物中引入对某种病害、害虫或逆境的抗性等。相对于传统作物育种,转基因技术能够在物种间进行遗传物质的转移,而传统育种只能在物种内或者利用远缘杂交的方法在近缘种属内进行基因重组。转基因技术所利用的基因一般是经过详细研究的基因,功能清楚,后代表型可以预期。

作物转基因育种始于上世纪80年代,经过40年的发展,已育成多种作物的转基因品种,并在生产中广泛应用。2015年,全球转基因作物品种栽培面积达到了1.8亿 hm^2 ,比1996年增长了100倍[1]。在美国,到2014年,93%的玉米、94%的大豆和96%的棉花种植的是转基因品种。据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)报告,自从1996年转基因作物商业化以来,截止2014年,转基因作物使得作物产量提高22%,化学农药使用率降低37%,农民增收68%[2],为全球带来了可观的经济社会效益。

转基因技术是作物育种方法的一次重要革命,给作物育种学科带来了翻天覆地的变化。本文将回顾作物转基因育种的简短历史,就当前转基因育种的主要目标性状进行叙述,并对我国转基因作物商业化面临的挑战进行分析。

2. 作物转基因育种的历史

2.1. 转基因作物的研究简史

1982年,全球首例转基因作物——转基因烟草诞生[3]。1986年,首批转基因植物被批准进入田间试验。1987年,全球首家转基因烟草研发公司Plant Genetic Systems成立,通过向烟草转入苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)蛋白基因创制抗虫烟草品种。1994年,美国首次允许转基因作物的销售,这是一个转基因西红柿品种Flavr Savr[4],该品种较普通转基因品种更耐保存,美国食品与药物管理委员会在审评报告中指出,该品种和常规育种选育的西红柿一样安全。1994年,欧盟批准了抗除草剂转基因

烟草,使之成为欧洲市场上销售的第一个转基因作物。1995年,美国批准了 Bt 马铃薯,转基因油菜、Bt 玉米、抗除草剂转基因棉花、Bt 棉花、抗草甘膦转基因大豆、抗病毒西葫芦、转基因耐保存西红柿等一批转基因作物品种。此后,在世界范围内,转基因作物开始了大规模商业化应用。在 2000 年,富含维生素 A 的转基因黄金大米培育成功,该品种可以在水稻的胚乳中合成 β -胡萝卜素(维生素 A 的前体) [5],这在普通的水稻品种中是无法做到的。但直到现在都没有进行商业化应用。至今国际上已有 30 个国家批准数千例转基因植物进入田间试验。2013 年,最早进行转基因作物研究的 3 个研究小组的负责人 Robert Fraley、Marc Van Montagu 和 Mary-Dell Chilton 被授予了世界粮食奖,以表彰他们在改良粮食品质、提高粮食产量和有效供给方面做出的突出贡献。

2.2. 转基因作物的生产现状

美国转基因玉米品种种植面积从 1996 年的 4% 增长到了 2014 年的 93% [6]。截止 2014 年,在全球范围内,在 28 个国家种植多达 1.8 亿公顷的转基因作物。目前生产上应用的转基因作物主要有玉米、大豆、油菜、棉花、甘蔗、西红柿、西葫芦、茄子、甜椒、苜蓿和番木瓜等。2014 年,转基因作物种植面积最大的国家依次是美国、巴西、阿根廷、印度和加拿大。

由于公众的反对、对转基因作物安全的疑虑以及政府的严格监管,在很多国家,转基因作物的应用依然有限。比如在欧洲的许多国家 [7]。在 2015 年,全球范围内 38 个国家禁止转基因作物的种植,其中 19 个是欧洲国家。

最近几年,转基因作物在发展中国家发展迅速 [8]。截止 2013 年,发展中国家大约种植全球 54% 的转基因作物。其中巴西增长最快,2013 年巴西种植 4.03 千万公顷转基因作物,而在 2012 年这个数字是 3.68 万公顷。印度自 2002 年起开始种植转基因棉花,至 2013 年,种植面积已达 1.1 千万公顷。据 2013 年 ISAAA 报告,自 1994 年以来,全球 35 个国家及欧盟共批准 2833 项转基因释放申请,包含 28 种作物的 336 个转基因事件。

3. 转基因技术改良的主要性状

目前种植的或正在研究的转基因作物,在很多性状上得到了改良。包括保存时间、营养性状、病虫害抗性、除草剂抗性和病虫害抗性等,另外还有通过转基因技术生产特用的产品比如生物柴油、药品等,转基因植物在污染的生物修复中也得到应用。

3.1. 保存时间的延长

在美国被批准上市的第一个转基因作物就是耐保存的转基因西红柿。但现在市场上已无销售。2014 年 11 月,USDA 批准了可以避免表皮擦伤的转基因马铃薯。2015 年 USDA 批准了一个转基因苹果品种 Arctic。这也是美国第一次批准转基因苹果在市场上销售。这个苹果品种的多酚氧化酶的表达较低,可以避免苹果切开后由于多酚物质的氧化而褐化。这个性状被转入到苹果品种 Granny Smith 和 Golden Delicious 中。

3.2. 营养性状的改良

1) 食用油品质的改良

一些转基因大豆的脂肪酸组成得到改良。转基因技术可对脂肪酸脱氢酶基因进行修饰或调控,进而改变大豆中脂肪酸不饱和度和长度,或改变脂肪酸在三酰甘油酯的位置分布,调整特定脂肪酸成分。也可以在大豆中过表达或抑制自身基因表达,调控某种脂肪酸合成途径,以改变某种脂肪酸的含量;或直接导入新基因使得大豆获得原本不能合成的脂肪酸成分 [9]。一种转基因芥菜可以在植株中合成较高含量

的与鱼的脂肪酸相似的脂肪酸[10]。

2) 富含维生素 A

国际水稻所培育的黄金大米在籽粒中富含维生素 A 的前体 β -胡萝卜素,目的是为了在维生素 A 缺乏症患者较多的地区提高人们食物中的维生素来源,进而克服该病症[11]。但遗憾的是,到目前为止,该水稻品种没有在任何国家获得商业化应用。一种富含维生素的转基因玉米品种的籽粒中维生素 A 的含量可以提高 169 倍、维生素 C 的含量可以提高 6 倍,叶酸的含量是普通玉米的 2 倍[12]。昆士兰技术大学的科研人员研究的一种转基因香蕉品种的维生素 A 的含量比普通品种高 10 倍。

3) 降低毒素含量

美国的 BioCassava Plus 项目正在研究的一种转基因木薯的氰糖苷含量显著降低,并在蛋白质含量和其它营养性状上也得到了明显的改良,包括锌、铁和维生素 A 的含量等[13]。J R Simplot 公司培育的转基因马铃薯 2014 年在美国获批。该品种可以有效降低马铃薯表皮的擦伤,在炒制的过程中产生的酰胺量也显著降低。该品种是通过 RNA 干扰的方法降低有害蛋白的表达(<https://simplotfoods.com>)。

3.3. 除草剂抗性

从 1983 年第一例抗除草剂转基因烟草问世以来,到目前已有近 300 种植物通过转基因技术先后培育出抗除草剂品种[14]。所针对的除草剂有草甘膦、2, 4-D、草铵膦、莠去津、溴苯腈、咪唑啉酮和磺酰脲类等。从 1999 年到 2005 年单一的抗除草剂性状占总转基因作物的面积保持在 70%以上,2006 至 2008 年在 60%以上;抗(耐)除草剂和抗虫及其它复合性状在 1999~2003 年间保持在 7%~8%,从 2005 年一直呈上升的趋势,到 2008 年达到了 22%,这就意味着抗(耐)除草剂转基因作物达转基因作物总种植面积的 80%。在抗除草剂转基因作物中,抗草甘膦大豆一直占主导地位,其次为玉米、油菜和棉花[15]。

3.4. 抗病虫性状的改良

截止目前,在烟草、玉米、水稻以及其它一些作物上都成功应用了 Bt 蛋白基因[16]。Bt 在芽孢形成过程中,菌体可产生具有生物活性的蛋白质晶体,这种晶体能在某类昆虫体内活化,形成毒性蛋白,并结合昆虫中肠上皮细胞的特异受体,导致昆虫肠穿孔而死[17]。目前,转 Bt 马铃薯、棉花和玉米已经在世界范围内广泛种植,并产生了很好的经济效益。转 Bt 基因抗虫棉最早于 1996 年在美国获准进行商业化生产,随后澳大利亚、中国、墨西哥、南非、哥伦比亚、印度等国家开始引进和推广。至 2009 年,在美国,转基因棉花种植面积已达美国棉花总种植面积的 88%,其中 Bt 抗虫棉的种植面积达 65%以上。我国于 1997 年开始种植转基因抗虫棉,并迅速进行了大面积普及和推广,截至 2012 年, Bt 基因抗虫棉在我国的种植面积已达到我国棉花种植面积的 75%以上。Bt 基因抗虫棉的大面积应用有效控制了棉铃虫等鳞翅目害虫的危害,大大降低了农药的施用,提高了棉花单位面积产量和效益,在棉花生产和环境保护上发挥了重要作用[18] [19]。Bt 转基因的产生和发展,为提高作物产量、减少农药施用做出了巨大贡献[20]。据统计,在 1996 到 2005 年间,由于 Bt 抗虫作物的应用,使得美国杀虫剂的施用减少了 19.4%。

抗环斑病毒转基因番木瓜品种的培育是转基因技术在作物育种的又一成功应用。番木瓜环斑病毒 (PRSV)通过蚜虫进行传播,是番木瓜的主要病害[21]。而番木瓜栽培品种中缺乏抗源,而用杂交方法导入野生番木瓜中抗病基因存在较大技术难度,用转基因技术培育抗病番木瓜可以解决这一问题[22] [23]。美国科学家培育的夏威夷转基因番木瓜的优良品系对我国华南地区 4 个 PRSV 株系、我国台湾以及泰国等亚洲国家的 PRSV 株系不具有抗性。华南农业大学利用基因工程的技术手段,将 PRSV 的复制酶基因转入番木瓜,培育出了高抗 PRSV 的番木瓜品系“华农 1 号”[24]。该品种得到广泛种植,成为我国转基因作物育种的成功案例[25]。

随着生物科学与技术的发展,人们对生物遗传信息的逐渐破解,可供用于转基因育种的目的基因将越来越多,同时,可以改良的作物性状也越来越多。相信在不久的将来,科学家可就主要农作物的产量、品质和抗性等主要性状的控制基因进行操作,使得转基因技术向更为广阔的领域发展。

4. 中国转基因作物商业化面临的挑战和应对策略

4.1. 中国转基因作物商业化面临的挑战

在经过近 10 年的全面生物安全评价之后,中国农业部于 2009 年向两个转基因水稻品种(华恢 1 号何 Bt-汕优 63)和一个植酸酶转基因玉米品种(BVLA430101)颁发了生物安全证书。转基因水稻获得生物安全证书被认为是水稻转基因育种的一个里程碑,很多研究机构纷纷加入转基因水稻的研发,如福建农林科学院、浙江大学和华中农业大学。然而,至安全证书颁发的 7 年之后,转基因水稻和玉米仍然没有进入商业化应用。公众的强烈反对是导致它们迟迟未走向市场化的主要原因。目前,我国转基因育种处于一个两难境地,一方面,政府在转基因技术研究方面投入了大量资金;另一方面,产品的消费者——公众出于安全的考虑还没有做好接受转基因的准备[26]。

安全性是消费者在接受一项新技术衍生出的产品时的首要关切,而食品安全又是公众最关切的话题[27]。环境安全问题也是转基因作物释放前应进行慎重评价的一个重要项目[28]。另外,还须对转基因作物进行社会经济和伦理方面的考量。因此,在回应公众关切方面,政府和科学家还需付出更加卓绝的努力。

4.2. 应对策略

转基因作物更好地商业化应用取决于公众的接受和政府的合理监管两个方面。目前,所有官方批准商业化应用的转基因作物均通过了严格的生物安全评价,但公众依然忧心忡忡,这是因为很多技术的细节对于公众来说很难理解。公众通常不能通过正确的渠道获得科学的可以理解的信息,这样一来,就十分容易被误导。但公众是最终的消费者,没有他们的支持和消费,转基因作物生产出来的产品也不会有市场[29]。因此,对公众进行转基因技术的科普对于推动转基因作物的商业化应用来说非常重要。此外,在实行严格地生物安全监管的同时,我们应对现行的生物安全监管条款进行修订。

在中国推动转基因商业化仍将面临重重困难。但,面临不断增长的粮食需求,我们别无选择。中国应采取合理的符合我国国情的转基因生物安全策略[30] [31],并与世界其它国家一道分享转基因技术为人类带来的红利。

5. 展望

转基因作为一种生物技术,被作物育种家作为一种方法和手段使用,目的是更快更好地培育出符合社会经济发展需求的作物新品种。随着转基因技术自身的进步,该项技术变得更易于被育种家掌握和使用,为其在作物育种领域发挥作用提供支撑。此外,随着功能基因组学的迅猛发展,越来越多基因的功能及调控网络被分子生物学家解析,这为转基因技术育种提供了更为丰富的基因来源。重要的是,作物育种的产物是提供给社会大众消费的,转基因技术的使用需要大众的理解和接收,这需要政府、科学家、媒体一道积极做好转基因技术的科普工作,为转基因技术在作物育种中的利用创造良好的舆论环境,使之更好地造福于人类。

基金项目

国家重点研发计划项目(2017YFD0100802);湖北省技术创新专项(2018ABA085);湖北省技术创新专

项(2016AHB022); 国家小麦产业技术体系武汉综合试验站(CARS-03); 湖北省农业科技创新中心资助项目。

参考文献

- [1] ISAAA (2015) Annual Report Executive Summary, 20th Anniversary (1996 to 2015) of the Global Commercialization of Biotech Crops and Biotech Crop Highlights in 2015 ISAAA Brief.
- [2] Klümper, W. and Qaim, M. (2014) A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. *PLoS ONE*, **9**, e111629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111629>
- [3] Fraley, R.T., Rogers, S.G., Horsch, R.B., et al. (1983) Expression of Bacterial Genes in Plant Cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **80**, 4803-4807. <https://doi.org/10.1073/pnas.80.15.4803>
- [4] Bruening, G. and Lyons, J.M. (2000) The Case of the FLAVR SAVR tomato. *California Agriculture*, **54**, 6-7. <https://doi.org/10.3733/ca.v054n04p6>
- [5] Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., et al. (2000) Engineering the Provitamin A (Beta-Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice Endosperm. *Science*, **287**, 303-305. <https://doi.org/10.1126/science.287.5451.303>
- [6] James, C. (2014) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. ISAAA Brief No. 49. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Ithaca, New York.
- [7] Bernardo, R. (2016) Bandwagons I, too, Have Known. *Theoretical and Applied Genetics*, **129**, 2323-2332. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2772-5>
- [8] 孙雷心. 2013 年全球转基因作物商业化发展态势[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1110.
- [9] 蔡一荣, 李望丰, 刘立侠. 大豆品质改良的基因工程育种概况[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 369-374.
- [10] Ruiz-Lopez, N., Haslam, R.P., Napier, J.A. and Sayanova, O. (2014) Successful High-Level Accumulation of Fish Oil Omega-3 Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids in a Transgenic Oilseed Crop. *Plant Journal*, **77**, 198-208. <https://doi.org/10.1111/tpj.12378>
- [11] Nayar, A. (2011) Grants Aim to Fight Malnutrition. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/news.2011.233>
- [12] Naqvi, S., Zhu, C., Farre, G., et al. (2009) Transgenic Multivitamin Corn through Bio Fortification of Endosperm with Three Vitamins Representing Three Distinct Metabolic Pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **19**, 7762-7767. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901412106>
- [13] Sayre, R., Beeching, J.R., Cahoon, E.B., et al. (2011) The BioCassava plus Program: Bio Fortification of Cassava for Sub-Saharan Africa. *Annual Review of Plant Biology*, **62**, 251-272. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103751>
- [14] 苏少泉. 抗除草剂作物的过去、现在与未来[J]. 世界农药, 2006, 28(2): 1-4.
- [15] 强胜, 宋小玲, 戴伟民. 抗除草剂转基因作物面临的机遇与挑战及其发展策略[J]. 作物生物技术学报, 2010, 18(1): 114-125.
- [16] Vaeck, M., Reynaerts, A., Höfte, H., et al. (1987) Transgenic Plants Protected from Insect Attack. *Nature*, **328**, 33-37. <https://doi.org/10.1038/328033a0>
- [17] Chattopadhyay, A., Bhatnagar, N.B. and Bhatnagar, R. (2004) Bacterial Insecticidal Toxins. *Critical Reviews in Microbiology*, **30**, 33-54. <https://doi.org/10.1080/10408410490270712>
- [18] 王立国, 李菲, 刘勤红. 转 Bt 基因抗虫棉的生物安全性研究进展[J]. 山东农业科学, 2014, 46(7): 150-156.
- [19] 孙璇, 马燕斌, 等. 转基因抗虫棉花基因类型基本原理研究进展[J]. 山西农业科学, 2016, 44(1): 115-118.
- [20] 王继磊, 刘迪秋, 丁元明. Bt 转基因抗虫植物研究进展[J]. 生物学杂志, 2010, 27(4): 75-78.
- [21] Jensen, D.D. (1949) Papaya Virus Diseases with Special Reference to Papaya Ringspot. *Phytopathology*, **39**, 191-211.
- [22] Gonsalves, D. (1998) Control of Papaya Ringspot Virus in Papaya: A Case Study. *Annual Review of Phytopathology*, **36**, 415-437. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.415>
- [23] Gonsalves, D. (2006) Transgenic Papaya: Development, Release, Impact, and Challenges. *Advances in Virus Research*, **67**, 317-354. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(06\)67009-7](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(06)67009-7)
- [24] 蔡建和, 范怀忠. 华南番木瓜病毒病及环斑病毒株系的调查鉴定[J]. 华南农业大学学报, 1994, 15(4): 13-17.
- [25] 李世访. 抗病毒转基因番木瓜及其安全性问题[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 59-63.
- [26] Lu, B.R. (2016) Challenges of Transgenic Crop Commercialization in China. *Nature Plants*, **2**, 16077. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.77>

-
- [27] Lu, B.R. (2008) Transgene Escapes from GM Crops and Potential Biosafety Consequences. *Collection of Biosafety Reviews*, No. 4, 66-141.
- [28] Yang, X., Li, L., Cai, X., *et al.* (2015) Efficacy of Insect-Resistance Bt/CpTI Transgenes in F5-F7 Generations of Rice Crop-Weed Hybrid Progeny: Implications for Assessing Ecological Impact of Transgene Flow. *Science Bulletin*, **60**, 1563-1571. <https://doi.org/10.1007/s11434-015-0885-x>
- [29] 邓家琼. 转基因农业生物技术的产业化、政策与启示[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2008, 8(5): 36-41.
- [30] 肖显静, 陆群峰. 国家农业转基因生物安全政策合理性分析[J]. 公共管理学报, 2008, 5(1): 91-99.
- [31] 肖肖. 欧盟食品安全预警原则研究[J]. 中国动物检疫, 2004, 21(12): 3-6.