

转基因植物的基因漂流风险*

樊龙江** 周雪平 胡秉民 石春海 吴建国 (浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310029)

【摘要】 讨论了近 10 年有关转基因植物基因漂流方面的 5 个主要研究领域:转基因进入相关植物野生种或近缘种中的实证性研究、以花粉为媒体的基因漂流特性研究、基因漂流实验和风险评价方法研究、基因漂流风险安全性评价标准的争论和基因漂流的长期生态效应研究,提出了目前应进一步开展的研究课题。

关键词 转基因植物 风险评价 基因漂流 生态风险 风险管理

文章编号 1001-9332(2001)04-0630-03 **中图分类号** S336 **文献标识码** A

Gene dispersal risk of transgenic plants. FAN Longjiang, ZHOU Xueping and HU Bingmin, SHI Chunhai and WU Jianguo (Zhejiang University, Hangzhou 310029). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, 12(4): 630 ~ 632.

Gene flow is a key problem and top topic in risk assessment and management of transgenic plants. Five major study areas of gene dispersal in transgenic plants were reviewed in this paper, which include gene flow from transgenic plant to its wild species, characteristics of gene flow based on pollen, methods of doing experiment and risk assessment for gene flow, safety standards of risk assessment of transgenic plants, and long-term ecological impact of gene flow in the future. Some areas needed to be studied further were also proposed.

Key words Transgenic plant, Risk assessment, Gene flow, Ecological risk, Risk management.

1 引言

基因漂流是转基因植物可能引起的生态问题的主要风险之一,所以基因漂流问题一直是转基因植物生态风险评价和管理的关键问题和研究热点。基因漂流(gene flow/dispersal)是指基因通过花粉授精杂交等途径在种群之间扩散的过程。转基因植物基因(包括转基因)漂流的途径大致有两个:一是通过转基因植物的种子或组织扩散到新的生境中,并生存下来;二是通过花粉向同种或近缘种非转基因植物转移。可能存在的第三条漂流途径是非同种生物间,如植物与微生物(细菌、真菌、病毒等)间在自然界中发生基因转移,但这条途径至今还未得到证实^[18]。转基因通过上述途径发生漂流所造成的风险是多方面的,归纳起来主要包括两类:一是转基因转移到其它植物体内而造成的环境危害;二是转基因植物自身及其后代对环境造成危害^[19]。第一类风险主要包括:1)导致产生超级杂草。转基因作物近年来迅速商品化,大量转基因作物在环境中释放。释放的转基因通过花粉转移到转基因作物野生种或近缘种中,使这些物种(一般为杂草)含有了这些抗病等基因而成为超级杂草。有些转基因植物自身也可能变成杂草,如甘蔗、水稻、马铃薯、油菜、向日葵、燕麦等作物,导入某一基因后可能获得杂草的生物学特性而趋于杂草化,因为它们本身就是具有杂草特性的近缘种,不少性状与这些杂草化的祖先是共同的,遗传上一旦有某些改变(如插入转基因),就可能变成杂草^[21]。当然,这是涉及转基因植物的遗传稳定性问题。2)对自然基因库(gene pool)的影响。转基因进入野生植物的基因库,进而扩散开来,并随着转基因植物不断释放,大量转基因进入基因库,从而影响基因库的遗传结构,给今后育种者和生物多样性造成危害^[21]。第二类风险主要包括^[15,19,21]:1)转基因植物对作物生态系统,乃至自然生态系统的直接影响。2)对生物多样性的影响。有些转基因植物基因是以前植物体中不存在的,是从其它生物体中转化

而来,有些转基因植物则可能是新类型植物,这些植物或转基因在环境中释放,可能造成生物多样性的毁灭性损失。

2 转基因植物研究进展与评价

2.1 转基因进入相关植物野生种或近缘种中的实证性研究

目前植物遗传工程者们已把转基因的对象瞄准了世界上大多数作物,同时森林和观赏植物也进入他们的视野。国外在抗除草剂转基因作物方面倾注了巨大的人力和物力,一方面是因为要求使用抗除草剂的作物范围扩大了,另外一方面是因为新型除草剂的开发费用太高。这就造成植物(作物)去适应化学除草剂更合算经济,而不是象过去一样不断开发除草剂产品来适应作物的需要^[19]。据统计,世界上已有 90 种转基因植物被批准进行田间释放或商品化,我国从 1997 年开始农业生物基因工程安全管理评价和申报工作以来,已受理了 120 余份申请,批准了近 100 项转基因动植物和微生物产品进行中间试验或环境释放,4 种转基因作物允许商品化生产。在这些产品中,抗病虫转基因植物占有较大比例,例如农业部第一年(1997 年)受理的 55 份申请就有 35 份为抗病虫转基因植物^[2]。又如澳大利亚,1988 ~ 1997 年间进入田间试验的抗病虫转基因植物占转基因植物总数的 43.05%,而农业/品质性状和耐除草剂转基因植物分别占 26.5%^[13]。

随着转基因植物的大量释放,不断有研究证实这些不同来源的转基因通过花粉向相关植物野生种或近缘种转移的事实。现已证实在油菜、甘蔗、莴苣、向日葵、草莓、马铃薯和禾谷类作物中均可以发生向相关近缘杂草的自发基因转移^[6,7,12]。例如研究比较多的转基因油菜(*Brassica napus*),已证实在自然条件下,通过花粉或种子传递,转基因可转入几个近缘野生种中,如

* 国家自然科学基金资助项目(39870499)。

** 通讯联系人。

1999-03-23 收稿,1999-06-14 接受。

野生萝卜 (*Raphanus raphanistrum*)、白芥 (*Sinapis alba*) 和芜菁 (*B. rapa*) 中^[5,6]。该领域是转基因植物基因漂流风险的一个重要研究内容, 它的研究结果为风险评价提供最直接的依据。

2.2 以花粉为媒体的基因漂流特性研究

花粉通过风、昆虫(蜂、蚜虫等)、鸟、水和一些野生动物等传播漂流导致的基因漂流是基因漂流的一个主要且复杂的途径。大量研究集中在现有转基因植物花粉飘飞距离、花粉量、不同传媒体等方面^[10]。研究以在田间试验为主, 较典型的试验是在同一块田块中分别种植转基因植物和非转基因同种植物, 观测转基因漂流的范围、数量等^[20,25]。如张长青等^[25]研究表明, 在距抗 2,4-D 转基因棉花 1、5、10、20、50m 处的抗性株率(即抗性基因 *tfda* 通过花粉传播的漂流频率)分别为 11.2、0.61、0.16、0.09 和 0.03%, 100m 和 150m 处的传粉率均为零。Lavigne^[20]等研究了转基因油菜在大田中花粉的飘散距离, 结果表明, 约一半的花粉落在 3m 以内, 而花粉的授精几率则随距离增加呈指数下降。Whitton 等^[23]研究了在自然野生向日葵种群内, 含有栽培种基因的野生向日葵经过 5 代杂交后的基因遗传情况, 证实了栽培种基因可在野生植物种群中保存下来。Hokanson^[16]等则研究了转基因植物花粉与非转基因同种植物花粉受授杂交特性的差异性。有人还探索了模型模拟技术在自然种群中转基因植物基因漂流、竞争等方面应用的可能性, 以及预测其对未来生态环境的影响等^[3,22]。该方面研究虽刚起步, 但有较好的研究前景。Gray 等^[14]提出了一个在叶绿体染色体上转入抗除草剂基因的技术, 可避免转基因向野生种中转移, 从而切断转基因“逃逸之路”。这一建议一经提出, 就遭到质疑^[8]。但不管最终结果到底如何, 该研究至少为我们的思路开启了一扇窗: 1) 主动而不是被动地解决基因漂流风险; 2) 用遗传工程技术来解决其自身所带来的问题。

2.3 基因漂流实验和风险评价方法研究

经过 10 余年的研究, 一批针对转基因植物安全性评价的实验和评价方法被发展了起来。Kjellsson 等^[18,19]总结了 1985~1995 年间研究开发的 77 种方法。这些方法绝大多数均与基因漂流有关。随着研究的深入, 还会有新方法不断被提出和应用, 如叶绿体转基因方法。Kjellsson 作为一名生态学家, 从生态学的角度, 总结、提出了转基因植物安全评价的流程图和分层次(即基因、染色体水平、个体水平、种群水平和生态系统水平)评价的内容和方法。不同层次评价的重点有所不同。如种群水平, 评价内容包括: 种群动力学和修复能力、花粉飘飞特性、转基因杂交渗入、遗传稳定性、遗传多样性、遗传漂变 (genetic drift) 等, 生态系统水平则包括侵入能力、生物多样性、群落结构等。当然, 生态系统可分为农田生态系统和自然生态系统, 它们评价的内容也有所不同, 各有侧重。所有上述这些评价的内容均与基因漂流紧密相关。对于转基因植物风险评价的程序和方法, 有关国际组织(如联合国、经合组织、世界银行、卫生组织等)均制订了建议方案, 并正在努力协调世界范围(包括各有关国家)的统一法规、现行的程序和方法, 如一事一论程序 (case-by-case procedure)、分步实施程序 (step-by-step procedure)、同质性 (familiarity) 分析、风险分级、基因漂流频率、杂草化、侵入能力等评价内容^[9,19]。但对于转基因植物安全性的理解和认识, 对安全释放的标准等的争论由来已久, 统一法规并非易事。

2.4 基因漂流风险安全性评价标准的争论

转基因植物风险安全性评价的标准一直存在争议^[19]。应该说, 人们在转基因植物最初环境释放时非常慎重, 一个转基因

植物的释放需经过复杂的试验和严格的评价。随着时间的推移, 相关经验不断积累, 对于安全性评价的标准形成了两个截然不同的观点。一个观点认为我们对转基因植物的风险还知之甚少, 特别是长期生态效应我们还不得而知, 所以对其在环境中的释放必须经过严格细致的评价; 另一个观点是转基因植物与传统育种方法选育的作物品种是相同的, 可能造成的风险不是一种新风险, 是本来就存在的。同时, 认为对转基因植物的种种限制将阻碍生物技术的发展。这两种观点都有其各自的依据, 有其各自的追随者。

第一种观点持有者认为, 转基因植物的风险评价主要是根据小范围的大田释放和育种者自己提供的数据, 结论是否具有普遍性? 转基因植物商品化生产时间还很短, 大面积长时间(即大尺度)释放造成的生态效应不可预知等等; 虽然转基因植物至今还未造成什么大的生态等方面灾难, 但并不意味着它没有风险。Ford^[12]在近期的《Nature》杂志上疾呼: 转基因的风险不是小得不值得评价。他例举了甘蔗的基因漂流风险问题。持有另一个观点者主要是根据传统育种方法育成的抗病品种情况和历史上一些进化生物学事例来佐证转基因植物的风险, 即进行所谓同质性比较。新西兰科学家 Conner 是这一观点的积极倡导者。他在其《Genetically Engineered Crops, Environmental & Foods Safety Issues》一书中就基因漂流可能造成的直接和间接风险——做了反驳^[6]。他认为人们夸大了转基因植物的危害, 忽视了一些研究结论的限制条件等等, 如抗病转基因作物有没有可能造成生态失衡问题。他认为这种因抗病转基因作物引起的现存食物链和自然、农业生态系统的失衡不是一个新风险, 过去 100 年来具有新抗性的新品种不断释放, 并未造成生态失衡。典型的例子是 50 年前, 新西兰的豌豆受到 2 种真菌和 3 种病毒的严重危害, 后经品种选育成功地解除了 3 种病毒病害的危害。现在虽然 2 种真菌病害还继续严重危害着豌豆, 但至今还没有产生新的病害来填补因病毒病害消失而造成的生态真空 (ecological gap)。同时他还否认产生超级病害的可能性。对于转基因转移到杂草中的问题, 他认为这不是转基因作物所特有的难题, 在过去传统方法育成的品种中都存在, 所造成的生态危害微乎其微, 但认为对于抗除草剂基因漂流问题应特别小心处理(如防止产生恶性杂草等)。美国学者 Doyle 和 Persley 是这一观点的追随者, 美国已将转基因植物风险评价的程序和标准, 特别是对于田间试验的要求大大简化了^[9]。当然, 他们的做法遭到了一些包括本国在内的科学家的反对^[17]。可以预见, 这种争论还将持续下去。

2.5 基因漂流的长期生态效应研究

面对转基因植物风险评价的种种争论, 人们更多地把目光转向了转基因植物的长期、二次效应 (secondary impacts) 和对生态系统遗传、种群结构等的影响上^[3,4,19,22]。对于转基因植物和其可能成为有害新物种在生态系统中的侵入能力是人们关注的一个热点。对于具有高生长率、大生物量 (biomass accumulation) 和高繁殖率的侵入者来说, 具有潜在生态风险。侵入者可能成为某一生态区域的优势物种而导致生态失衡^[19,21]。

该领域的研究肯定会成为今后转基因植物风险评价研究的一个主要内容, 但研究手段还有待进一步开拓, 如对转基因植物的基因漂流进行长期监测(包括漂流途径、数量、生态效应等)和模型模拟技术等^[10]。

3 展 望

近年来, 有关转基因作物及转基因食品的安全性在国际上

引起广泛争议,斑蝶试验、凝集素马铃薯喂养小鼠试验、终结者技术(Terminator technology)等使争议不断升级。争议同样也波及到了世界转基因作物主要生产国——美国。2000年4月美国国会基础研究委员会主席史密斯发表了一份“机遇之源:植物基因组和农业生物技术的意义、安全性和监督状况”报告,对转基因作物及其食品的安全性进行全面的评估,对转基因逃逸风险的评估结论为用生物技术改良的新品种变成杂草或转基因逃逸的风险,与用传统育种方法育成的品种或引进的品种相同,在很少的情况下,可发生转基因作物与野生种的杂交,必须满足许多条件;同时认为作物的抗性基因杂草群体中存留是不可能的,可通过田间管理等措施来防范^[11]。

Wolfenbarger等^[24]讨论了涉及入侵危害、对非目标有益生物(从蝴蝶、甲虫到土壤微生物)的影响。表明转基因植物的利弊取决于作物被改造的特征及其与生态系统其它部分复杂的关系^[24]。这与Abelson等^[1]的文章形成鲜明对比。

Wolfenbarger对由于基因漂流所引起的入侵危害(Risk of invasiveness)进行了重点论述。他们认为在非农业生态系统(即自然种群中)中有关转基因漂流转移和潜在的生态后果的研究尚处于空白;由于生物入侵的复杂性,简单的结实率和存活能力的比较难以准确预测入侵的可能性,这些都使入侵危害的生态评价困难重重。

据此,作者认为今后应积极开展以下几个方面的研究:1)对商业化大面积释放转基因作物进行基因漂流的长期监测研究,可采用建立国家级和省级转基因逃逸地理信息系统的办法来进行。监测的对象除了农田生态系统外,应重点放在自然生态系统中,特别是与转基因作物近缘的野生种群。2)发展转基因漂流检测和分析的新方法。检测方法应方便、准确、快速,特别应适于野外或田间操作;分析方法可涉及模型模拟等方法,如动力学模型、随机模型的应用等。3)各种转基因作物的基因漂流转移情况。现在转基因作物种类越来越多,而目前研究比较多的作物是转基因油菜,另外还有马铃薯、甘蔗等,对其它转基因作物的情况研究较少,如我国已大面积种植的转基因棉花以及南方主要作物水稻等。

参考文献

- Abelson PH, Hines PJ. 1999. The plant revolution. *Science*, **285**:367 ~ 368
- Agricultural Ministry of China. 1998. A decision to strengthen the risk management of agricultural biotechnology (Abstract). *Biotechnol Information* (生物技术通报), (2):31 ~ 34 (in Chinese)
- Andow DA. 1994. Community response to transgenic plant release: using mathematical theory to predict effects of transgenic plants. *Molec Ecol*, **3**(1):65 ~ 70
- Bartsch D, Schmidt M. 1997. Influence of sugar beet breeding on populations of *Beta vulgaris* ssp. *maritima* in Italy. *J Veget Sci*, **8**(1):81 ~ 84
- Chen X-F(陈晓峰), Li D-M(李典谟), Dai X-F(戴小枫). 1997. Risk assessment of transgenic organism. *World Environ* (世界环境), (1):29 ~ 31 (in Chinese)
- Chevre AM, Eber E, Renard M. 1997. Transgenic rape and environmental hazards. *Biofutur*, (172):44 ~ 48
- Conner AJ. 1997. Genetically Engineered Crops: Environmental & Food Safety Issues. The Royal Society of New Zealand, Miscellaneous Series, **39**:10 ~ 14
- Daniell H, Varma S, Stewart CN *et al.* 1998. Chloroplast-transgenic plants: panacea-no! gene containment-yes! *Nature-Biotechnol*, **16**(7):602
- Doyle JJ, Persley GJ. 1996. Enabling the safe use of biotechnology: principles and practice. ESD Studies and Monographs Series No. 10, The World Bank, Washington D. C.
- Fan L-J(樊龙江), Zhou X-P(周雪平), Hu B-M(胡秉民). 1999. The dispersal of inserted genes of transgenic plants—a review. In: 21 Century-oriented Research on Ecology. Beijing: China Environmental Science Press. 50 ~ 53 (in Chinese)
- Fan L-J(樊龙江), Zhou X-P(周雪平). 2001. The Risks of Transgenic Crops: Debates and Fact. Beijing: China Agricultural Press. 152 ~ 155 (in Chinese)
- Ford LB. 1998. Transgenic risk is not too low to be tested. *Nature*, **394**(6695):715
- Galloway MK, Faragher A. 1998. Trends in field testing and commercialization of transgenic organisms in Australia. *Austr Biotechnol*, **8**(1):23 ~ 24
- Gray AJ, Raybould AF, Daniell H. 1998. Reducing transgene escape routes. *Nature*, **392**(6678):653 ~ 654
- Harding K, Harris PS. 1997. Risk assessment of the release of genetically modified plants: a review. *Agro Food Indus Hi Tech*, **8**(6):8 ~ 13
- Hokanson SC, Hancock JF, Grumet R. 1997. Direct comparison of pollen-mediated movement of native and engineered genes. *Euphytica*, **96**(3):397 ~ 403
- Huttner SL, Miller HI. 1997. USDA regulation of field trials of recombinant-DNA-modified plants: reforms leave severe flaws. *Trends in Biotechnol*, **15**(10):387 ~ 389
- Kjellson G, Simonsen V. 1994. Methods for risk assessment of transgenic plants. Competition, establishment and ecosystem effects. Basel: Birkhauser
- Kjellson G, Simonsen V, Ammann K. 1997. Methods for risk assessment of transgenic plants. Pollination, gene-transfer and population impacts. Basel: Birkhauser. 1 ~ 2, 83 ~ 196, 221 ~ 236
- Lavigne C, Klein EK, Vallee P *et al.* 1998. A pollen-dispersal experiment with transgenic oilseed rape. Estimation of the average pollen dispersal of an individual plant within a field. *Theoret Appl Genetics*, **96**(6 ~ 7):886 ~ 896
- Qian Y-Q(钱迎倩). 1998. Problems and suggestions on transgenic crops. *News S & T* (农业科技要闻), (29):1 ~ 5 (in Chinese)
- Raamsdonk LR, Schouten HJ, Van Raamsdonk LWD. 1997. Gene flow and establishment of transgenes in natural plant population. *Acta Bot Neerlandica*, **46**(1):69 ~ 84
- Whitton J, Wolf DE, Arias DM *et al.* 1997. The persistence of cultivar alleles in wild populations of sunflowers five generations after hybridization. *Theoret Appl Genetics*, **95**(1 ~ 2):33 ~ 40
- Wolfenbarger LL, Phifer PR. 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, **290**:2088 ~ 2093
- Zhang C-Q(张长青), Lu Q-Y(吕群燕), Wang Z-X(王志兴) *et al.* 1997. Frequency of 2,4-D resistant gene flow of transgenic cotton. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **30**(1):92 ~ 93 (in Chinese)

作者简介 樊龙江,男,1966年生,博士,副教授,主要从事生态遗传学、作物遗传改良及生物技术研究,发表论文10余篇。
Tel: , E-mail: fanlj@mail. hz. zj. cn