

# 转基因植物基因漂移研究

陈兴玲<sup>1</sup>, 胡建军<sup>2\*</sup>, 赵楠木<sup>3</sup>

(1. 沈阳农业大学林学院, 辽宁沈阳110161; 2. 中国林业科学院林业研究所, 北京100091; 3. 吉林省农业技术推广总站, 吉林长春130000)

**摘要** 基因漂移是转基因植物生态安全性评价的研究重点。综述了转基因植物基因漂移的研究进展, 分析了降低外源基因飘移频率的措施, 提出了未来的研究方向。

**关键词** 转基因植物; 基因漂移; 生态安全

**中图分类号** Q78 **文献标识码** A **文章编号** 0517- 6611(2007)10- 02851- 02

20世纪50年代脱氧核糖核酸的发现, 解开了生命遗传之谜, 开创了生命科学的新时代, 同时也掀起了转基因育种研究的热潮。据统计, 目前转基因研究至少在35科120种植物中获得成功, 涉及抗虫、抗病、抗除草剂、抗逆境、品质改良、改变农艺性状, 以及调控生长发育以提高产量潜力等方面。随着基因工程研究的不断深入, 大批转基因植物获得田间释放, 栽培转基因作物的国家也不断增加。1996~2006年转基因作物商业栽培面积扩大了50倍; 截至2005年, 全球栽培转基因作物的国家达到了21个。

在转基因植物大面积商品化的同时, 其生态安全性问题成为争论的焦点。包括转基因植物的杂草化、基因漂移风险、抗性适应、食(饲)品安全、过敏源的安全性等。其中, 转基因植物基因漂移问题是目前的研究重点。转基因植物基因漂移是指外源基因通过花粉授精杂交、种子传播等途径在种群之间扩散的过程<sup>[1]</sup>。根据目前的研究, 推测基因漂移可能产生的不良影响包括: 转基因植物基因与非转基因近缘种杂交, 使外源基因转移至这些植物, 产生具有抗病虫或抗除草剂的杂草或“超级杂草”, 从而再次大量应用化学农药, 重蹈污染环境的覆辙; 随着转基因植物不断释放, 大量外源基因漂移进入野生植物基因库, 进而扩散, 产生远交衰退、遗传同化、生物入侵等危害, 从而影响物种多样性, 造成生态失衡等问题。为此, 笔者就转基因植物基因漂移的研究进展、降低外源基因漂移频率的措施加以综述, 为转基因植物生态安全性评价研究奠定基础。

## 1 转基因作物基因漂移的研究

花粉传播是转基因植物外源基因漂移的主要途径。植物花粉可以借助风、昆虫、鸟、野生动物和流水或在运输过程中发生转移。开花植物中普遍存在通过花粉传播发生花粉污染的问题。近年来对转基因植物的研究证实, 油菜、甘蔗、莴苣、向日葵、草莓、马铃薯、玉米、棉花和水稻、谷子等转基因植物均可通过花粉传播使外源基因发生向相关近缘种或杂草的自发基因转移。在对转基因植物基因漂移的研究中, 需要关注的问题有转基因植物花粉的数量、生命力及扩散形式等生态学和生物学特征; 转基因植物和接受种花期是否相遇; 杂交是否亲和; 两者的空间距离; 转基因植物的种植面积; 杂交后代和子代的可育性以及繁殖能力等。

### 1.1 转基因作物与接受种杂交亲和性的研究 转基因作物

与接受种的杂交亲和性是外源基因发生转移的前提条件, 只有两者能够杂交, 外源基因才有可能通过花粉的传播产生漂移。目前, 杂交亲和性的研究主要集中在比较容易发生基因漂移的水稻、油菜等作物上。宋小玲等研究表明, 转bar基因水稻与稗草、药用野生稻、无芒稗、诸葛菜杂交不亲和, 与杂草稻杂交亲和<sup>[2-5]</sup>。宋小玲等对3种类型转基因油菜与野芥菜杂交亲和性研究表明, 甘蓝型油菜和芥菜型油菜与野芥菜的亲和性指数高达10.0以上, 而白菜型油菜和野芥菜的亲和性指数小于0.2<sup>[6]</sup>。浦惠明等研究表明, 转基因油菜与十字花科杂草芥菜、碎米荠、播娘蒿、诸葛菜、风花菜和遏蓝菜杂交高度不亲和, 而与野芥菜以及芸薹属6个种甘蓝、黑芥、埃芥、芥菜型油菜、白菜型油菜和甘蓝型油菜表现杂交亲和<sup>[7-8]</sup>。宋小玲等采用荧光显微镜技术研究转基因作物与接受种杂交不亲和性的主要机理时发现, 杂交不亲和主要表现为花粉在柱头上不能正常萌发、不能穿过柱头、不能进入胚囊完成受精等<sup>[2-5]</sup>。

**1.2 转基因作物花粉传播规律** 转基因作物花粉传播距离是基因漂移研究的主要内容。根据花粉传播的最远距离, 可以确定适宜的隔离带, 以降低转基因花粉对近缘种或杂草的污染。近年来, 国内外学者对此开展了广泛的研究。研究表明, 棉花、高粱、粟、马铃薯、油菜、甜菜、向日葵、西瓜、芥菜和拟南芥等转基因作物的花粉传播距离为10~1000m。如, 转基因甜菜花粉最远传播距离超过200m<sup>[9]</sup>, 而转基因玉米和谷子的花粉仅能随风传播60m<sup>[10-11]</sup>。同种作物在不同的试验中, 花粉传播距离也会有所不同。汪越胜等研究认为, 转基因小麦基因漂移距离在3m以内<sup>[12]</sup>; 而吕爱枝等的研究表明, 小麦花粉的最远有效传播距离可达20m<sup>[13]</sup>。张宝红等研究认为, 转基因棉花花粉最远传播距离可达50m<sup>[14]</sup>; 而沈法富等研究表明, 转B基因陆地棉花粉最远传播距离为36m; 转Bt基因海岛棉花粉最远传播距离可达72m<sup>[15]</sup>。

转基因作物基因漂移频率的变化趋势是备受关注的焦点。几乎所有研究都证实, 随着转基因作物种植区与接受种之间距离的增加, 杂交频率不断降低。Ilmonen等研究发现, 当转基因作物种植区与接受种之间的距离为0m时, 油料作物品种间的天然杂交率为6.3%; 两者间的距离为100m和360m时, 杂交率分别为0.5%和0.3%; 两者间的距离为1500m时, 杂交率为0<sup>[16]</sup>。Lavigne等研究发现, 转基因油菜花粉的授精机率随距离增加呈指数下降<sup>[17]</sup>。在转基因谷子、棉花、不结球白菜、小麦、油菜、马铃薯等作物中, 研究者们都得出随着距离的增加, 基因漂移频率不断降低的结

作者简介 陈兴玲(1978-), 女, 吉林集安人, 在读硕士, 研究实习员, 从事林木遗传育种研究。

收稿日期 2007-01-07

论<sup>[11,15,18-19]</sup>。

**1.3 转基因作物花粉传播的影响因素** 不同转基因作物花粉传播的规律各不相同,这主要与转基因作物的生物学传粉特性(如传粉途径、开花散粉期等)、转基因作物种植面积、气候和环境条件等密切相关。Scheffler 等对转基因油菜的研究发现,当释放面积只有 75 m<sup>2</sup> 时,47 m 处基因漂移频率为 0.000 33%;当释放面积为 400 m<sup>2</sup> 时,200 m 处的基因漂移频率为 0.015 6%,400 m 处仍可检测到转基因花粉<sup>[20-21]</sup>。Timmons 等研究发现,当转基因油菜面积达 10 hm<sup>2</sup> 时,360 m 处花粉密度降为释放地边缘花粉密度的 10%,在 1.5 km 处仍记数到 22 粒/m<sup>3</sup> 的花粉<sup>[22]</sup>。可见,转基因植物释放面积大小是花粉传播距离的一个重要影响因素。王天宇等研究表明,气候条件中影响基因漂移频率可见的主要因素是风,在试验条件下顺、逆风基因漂移的频率相差 2 倍多<sup>[11]</sup>。

**1.4 转基因作物杂交后代的可育性及繁殖能力** 转基因植物与非转基因近缘种形成的杂交种必须与野生亲本不断回交,外源基因才能在野生种群中保存下来,才能说在真正意义上发生了基因漂移。国内外学者对转基因油菜与近缘杂草、野生型萝卜、野生芥菜等的杂交、回交后代育性的分析表明,随着世代的增加,植株的可育性不断增加<sup>[23-26]</sup>。对转基因小麦与野生山羊草的杂交、回交的研究,也得出了同样的结论。由此可见,通过不断回交,转基因作物中外源基因可以进入野生近缘种的遗传背景,从而造成基因漂移。

## 2 控制花粉传播方法的研究

通过花粉传播产生基因漂移是自然界普遍存在的事实。多年的研究表明,转基因植物的基因漂移是现实存在的,在转基因作物大面积商品化的形势下,要完全阻断基因漂移是不现实的。尽管如此,人们还是可以通过一些措施来降低花粉传播频率,控制外源基因漂移。其具体策略主要有以下几种: 物理隔离。物理隔离包括距离隔离、转基因植物的去雄、调整播种时间使花期不遇、种植非转基因植物作为隔离带、应用与近缘种杂交不亲和的优良品种等手段。 雄性不育基因工程育种技术。雄性不育技术可以阻止异交,目前有多个绒毡层特异表达的启动子可以利用。该项技术已在烟草中证实,且相关的抗除草剂油菜已进行商业化应用。 母系遗传法。又称细胞质遗传法。叶绿体(植物中)或线粒体(动物中)遗传转化是除细胞核转化外另一种最具潜力的转化方式。绝大多数植物的叶绿体遗传方式为母系遗传,不通过花粉传递,可避免外源基因通过花粉扩散到其他作物或杂草中去。母系遗传法目前已在烟草和西红柿中得到证实。

种子不育法。可以阻止异交或种子落粒引起的外源基因扩散。其中 RBF 技术已在转基因烟草中得到证实。 染色体组特异性选择法。染色体不亲和法,在授粉后阻止 DNA 重组。 转基因遗传调控。是指利用遗传工程技术调控转基因作物对杂草的选择。如抗落粒基因对杂草有害而对水稻、油菜等作物是中性或有利的;矮化基因对杂草不利,使它们无法再与作物竞争阳光。

## 3 展望

对转基因植物基因漂移及其应用后可能产生的风险和潜在生态后果的研究已经广泛开展,但大部分是针对一些基

础性的研究,如杂交是否亲和、基因漂移距离、影响花粉传播的因素等。在传统育种及生产中,花粉污染、基因漂移等问题已经在实验中得到普遍证实,而转基因植物基因漂移的种种危害目前尚处于猜测阶段,并没有在实验中得到证实。在转基因植物的生态安全性评价中,应该以转基因植物的释放环境为研究对象,长期调查研究生物多样性等生态指标,评价转基因植物对生态环境的影响。另外,目前的研究主要集中在转基因植物雄株通过花粉传播产生的基因漂移上,而转基因植物雌株却很少被关注。由于转基因植物雌株可作为其野生近缘种花粉的受体形成杂交种,这些杂交种在适宜的条件下再与野生亲本不断回交,可使外源基因进入野生近缘种的遗传背景,从而造成基因漂移<sup>[27]</sup>。因此,转基因植物雌株的基因漂移问题也应该成为研究的一个主要内容。可以相信,随着花粉和种子发育分子生物学的深入研究和生物技术的不断完善和发展,一定能有效控制外源基因的扩散,降低转基因植物的生态风险。

## 参考文献

- [1] 张永军,吴孔明,彭于发,等.转基因植物的生态风险[J].生态学报,2002,22(11):1953-1959.
- [2] 宋小玲,强胜,刘琳莉,等.通过转bar 基因水稻与稗草杂交的亲性和研究评价基因漂移[J].中国农业科学,2002,35(10):1228-1231.
- [3] 宋小玲,强胜,刘琳莉,等.药用野生稻和转bar 基因水稻花粉杂交的基因漂移[J].南京农业大学学报,2002,25(3):5-8.
- [4] 刘琳莉,强胜,宋小玲.用<sup>32</sup>P 标记花粉放射自显影技术研究转基因水稻与几个野生近缘种的可交配性[J].核技术,2004,27(8):617-619.
- [5] 刘琳莉,强胜,宋小玲,等.用荧光显微镜技术观察药用野生稻 (*Glycyrrhiza officinalis* Will) 和转基因水稻的不亲和性[J].中国农业科学,2004,37(4):469-472.
- [6] 宋小玲,强胜.三种类型油菜和野芥菜杂交亲和性及F<sub>1</sub> 的适合度[J].应用与环境生物学报,2003,9(4):357-361.
- [7] 浦惠明,戚存扣,张洁夫,等.转基因抗除草剂油菜对近缘作物的基因漂移[J].生态学报,2005,25(3):582-588.
- [8] 浦惠明,戚存扣,张洁夫,等.转基因抗除草剂油菜对十字花科杂草的基因漂移[J].生态学报,2005,25(4):911-917.
- [9] SAEGLITZ C, POHL M, BARISCH D. Monitoring gene flow from transgenic sugar beet using cytoplasmic male-sterile bait plants [J]. *Mol. Ecol.*, 2000, 9(12):2035-2040.
- [10] LOSEY J E, RAYOR L S, CARTER M. Transgenic pollen harms monarch larvae [J]. *Nature*, 1999, 399:214.
- [11] 王天宇,赵治海,闰洪波.谷子抗除草剂基因从栽培种向其近缘野生种漂移的研究[J].作物学报,2001,27(6):681-687.
- [12] 汪越胜,覃建兵,李克秀,等.转基因小麦环境释放中基因漂移研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2004,32(12):91-93.
- [13] 吕爱枝,赵和,王天宇,等.转基因小麦目标基因通过花粉漂流的可能性研究[J].华北农学报,2002,17(3):1-6.
- [14] 张宝红,郭腾龙.转基因棉花基因花粉散布频率及距离的研究[J].应用与环境生物学报,2000,6(1):39-42.
- [15] 沈法富,张学坤.转基因棉花的 B 基因流[J].遗传学报,2001,28(6):562-567.
- [16] TIMMONS A M, CHARIERS Y M, CRAWFORD J W, et al. Risks from transgenic crops [J]. *Nature*, 1996, 380(11):487.
- [17] LAUGNE C, KLEIN E K, VALLEE P, et al. A pollen dispersal experiment with transgenic oilseed rape [J]. *Theoret. Appl. Genetics*, 1998, 96(6):886-896.
- [18] 张长青,吕群燕.抗 2,4-D 转基因棉花基因漂流频率的研究[J].中国农业科学,1997,30(1):92-93.
- [19] 刘凡,王国英,赵泓,等.转基因不结球白菜实验地中外源基因流动及在不同作物中的自然渗入[J].应用与环境生物学报,2004,10(6):686-690.
- [20] SCHEFFLER J A, PARKINSON R, DALE P J. Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. *Trans Res*, 1993(2):356-364.
- [21] SCHEFFLER J A, PARKINSON R, DALE P J. Evaluating the effectiveness of isolation distances for field plots of oilseed rape (*Brassica napus*) using a herbi-

( 上接第2852 页)

- icide-resistance transgene as a selectable marker[J]. *Plant Breeding*, 1995, 114: 317 - 321.
- [22] TIMMONS A M, BRIEN E T, CHARTERS Y M, et al. Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp [J]. *Oleifera Euphytica*, 1995, 85: 417 - 423.
- [23] JORGENSEN R B, ANDERSEN B. Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B. campestris* (Brassicaceae): a risk of growing genetically modified oilseed rape[J]. *American J of Botany*, 1994, 81( 12) : 1620 - 1626.
- [24] MIKKESENT R, ANDERSEN B, JORGENSEN J H. The risk of crop transgene spread[J]. *Nature*, 1996, 380: 31.
- [25] CHEVRE A M, EBER F, ARANGER A, et al. Gene flow from transgenic crops [J]. *Nature*, 1997, 389: 924.
- [26] CHEVRE A M, EBER F, BARANGER A, et al. Characterization of backcross generations obtained under field conditions from oilseed rape-wild radish  $F_1$  interspecific hybrids: an assessment of transgene dispersal [J]. *Theor Appl Genet*, 1998, 97: 90 - 98.
- [27] 孟祥兵, 贾寿华, 李学涛. 遗传修饰工程体的生态安全性[J]. *生命的化学*, 2002, 22(2) : 169 - 172.