

主要农作物转基因飘流频率和距离的数据调研与分析

I. 背景、调研目的及所考虑的问题

王志兴, 王旭静, 贾士荣

(中国农业科学院生物技术研究所, 北京 100081)

摘要:转基因飘流及其可能引起的环境和食品潜在风险是公众关注的热点之一。对 2010 年前主要农作物转基因飘流的数据和信息进行了调研与分析,特别是对一定允许阈值下的基因飘流距离进行了归纳。在分别报道各种作物的基因飘流数据前,对调研的背景、目的及所考虑的问题进行了讨论,基于科学分析,建议采用分类管理和阈值管理的原则来控制转基因飘流的风险。

关键词:主要农作物;基因飘流频率和距离;允许阈值

doi:10.3969/j.issn.1008-0864.2011.03.04

中图分类号:Q788 文献标识码:A 文章编号:1008-0864(2011)03-0026-04

Data Survey and Analysis of the Transgene Flow Frequencies and Distances in Major Crops I. The Background, Aim and General Consideration

WANG Zhi-xing, WANG Xu-jing, JIA Shi-rong

(Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Transgene flow's potential risk on environment and food is one of the hot spots that major public concerned. The data and information on transgene flow in major crops published internationally until 2010 have been surveyed and analyzed. The distances of transgene flow at certain threshold level for different major crops are particularly defined. In this article, the background, aim and general consideration for this survey were discussed. On the scientific basis, the principle of classification management and threshold management are proposed to control the risk of transgene flow.

Key words: major crops; frequency and distance of transgene flow; threshold level

1 调研背景、目的与依据

随着以分子生物学为基础的基因工程技术的兴起,转基因作物(genetically modified crops, GMC)技术及产业化迅猛发展,成为迄今所有农业技术中发展最快的一种技术^[1]。据国际生物技术应用服务组织 ISAAA 2010 年数据,GMC 全世界的推广面积已经从 1996 年的 170 万 hm^2 猛增至 2010 年的 1.48 亿 hm^2 ,15 年(1996-2010)间增长了 87 倍;种植国家从 1996 年的 6 个增加

到 2010 年的 29 个;1996-2009 年期间在全球产生了大约 650 亿美元的经济收益。值得指出的是,GMC 15 年累积种植面积首次超过 10 亿 hm^2 ,相当于美国或中国国土的总面积^[2]。尽管 1998 年起国际上引发了对转基因作物环境和食品安全性的争论,此后全球 GMC 的种植面积每年仍以两位数的速度增长,说明全球 GMC 商业化的发展趋势不可逆转。

在科技界和公众关注的 GMC 安全性问题中,热点之一是转基因飘流(transgene flow)及其可能引起的环境和食品潜在风险。花粉扩散介导的同

收稿日期:2011-03-12;接受日期:2011-04-26

基金项目:国家转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08012-019B)资助。

作者简介:王志兴,研究员,博士,主要从事植物基因工程与转基因生物安全研究。Tel:010-82106102; E-mail:wangcotton@126.com。通讯作者:贾士荣,研究员,主要从事生物安全研究。E-mail:srjia@126.com

物种间的受精结实和有性可交配物种间的异交结实是基因飘流的根本途径。所以花粉扩散和基因飘流是一个历来普遍存在的自然现象,并非从转基因作物才开始。转基因如果不改变作物的开花和生殖生物学特性,其基因飘流与非转基因作物没有本质上的区别^[3]。事实上,从进化角度讲,基因飘流还是物种进化的动力,如果没有基因飘流,就不会有今天这样数量繁多的植物种类。众所周知,栽培稻来自于普通野生稻,异源六倍体栽培小麦的 ABD 三个基因组分别来自相关的野生种,栽培玉米的祖先为大刍草(teosinte),欧洲型油菜的 AC 基因组是白菜 A 基因组和甘蓝 C 基因组的复合种,这些作物的进化都是天然异交或人为杂交中基因流动和重组的结果。

诚然基因飘流对物种进化有正面的影响,但转基因的基因来源已超越了本物种的范围,可来自植物、动物或微生物,打破了原有物种隔离的界限。一个异源基因转入到一个新的遗传背景中会产生何种影响,需要做科学的潜在风险分析。因此,在考察转基因飘流的风险中应当根据作物种类(自交、异交、常异交、不育系等)、基因来源及其所提供的性状(改变农艺性状、药用、工业用或其他特殊用途等)、以及转基因作物释放的环境(有无有性可交配的野生种和近源种)来区别对待,体现分类管理的原则。显然,异交作物的基因飘流风险会大于自交或严格自交的作物,药用和工业用等特殊用途的转基因作物的环境释放有可能通过基因飘流进入食物链,其风险会明显高于一般农艺性状改良的转基因作物,GMC 释放环境中是否存在有性可交配的近缘和野生种也与风险程度密切相关。如果经科学分析确有潜在风险,应重点考察转基因飘流的风险种类、程度和相应的控制措施,尽可能使风险降到最低,因此有必要在风险控制中引入阈值管理的原则。允许阈值是指在风险可控的前提下,在阈值距离上的基因飘流频率小于某一指定值,如 $< 0.1\%$,意即在阈值距离上和阈值距离之外,1000 株中由于基因飘流而引起的杂株均少于 1 株。需要设定允许阈值的理由有两点:

一是理论上零风险是不存在或不可能做到的。除非采取某些特殊的生物学限控措施(如无融合生殖、孤雌生殖和闭花受精等),基因飘流不可能根本杜绝。花粉扩散和基因飘流的基本规律

是基因飘流率随距离增加而呈负指数曲线下降,到达斜渐近线(asymptotes)后(此时的基因飘流率一般已小于 0.1%),距离增加对降低基因飘流的效果就越来越不明显^[4],若要求更高的阈值如 0.01% ,会大大增加所需的隔离距离,从而产生更大的成本风险并增大操作的难度。

二是实践上阈值管理是一个普遍通行的原则。在农业生产中,历来对育种、繁种、制种和生产用种都采用了阈值管理的办法。如对种子的纯度常分为育种家精选种子(select)、原原种或基础种(foundation)、原种或注册种(registered)和良种或生产用种(certified)四个等级。国家标准中对水稻不育系繁殖和杂交稻制种的种子纯度的要求是:亲本纯度 $\geq 99\%$,生产用 F_1 杂种纯度 $\geq 96\%$ ^[5]。

目前生产上控制基因飘流最简单易行的措施是距离隔离和花期隔离。历史上许多研究者用形态标记等手段研究了不同作物的异交率,获得了很多数据,为在常规良种繁育和杂交制种中保证品种纯度、制定相应的隔离距离提供了参考。根据这些数据,各国政府在转基因作物研发初期提出了不同作物的隔离距离要求,在 1996 年我国首次出台的农业转基因生物安全管理条例中,曾参考了当时国外提出的隔离距离和我国育种繁种中为保持品种纯度设置隔离距离的经验,分别提出了不同作物的参考隔离距离,如水稻 100 m,玉米 300 m,大豆 100 m,棉花 150 m,油菜 1 000 m 等^[6]。

随着转基因作物的问世和应用,使得人们可以用更精确、更简便的基因标记(如除草剂抗性标记)来研究各种植物的基因飘流距离和频率,近年来已积累了不同作物在不同国家和不同环境条件下基因飘流的大量数据。因此,非常有必要对这些数据进行收集、整理、归纳和分析。鉴于此,本课题组与有关专家一起,以我国主要农作物为对象,调研了 2010 年前国内外发表文献中的基因飘流数据,特别是在一定允许阈值下的基因飘流距离,将以系列报道的形成对这些数据予以整理、分析,以期为后续的基因飘流研究提供参考。

2 调研作物对象的选择

调研作物对象的选择是基于两方面考虑:一

是我国已在进行中间试验、环境释放、生产性试验和商业化生产的转基因作物；二是国内外已进行了较多的转基因飘流研究，积累了相对较多的数据。主要对象分别为水稻、小麦、玉米、大豆、棉花、油菜和禾本科牧草。

3 调研中重点考虑的相关问题

由于生物学因素和物理因素是影响基因飘流的决定因子，因此在考察基因飘流频率和距离时，必须重点关注这两方面的因素。在调研原始文献中，特别注意了以下问题：

第一、作物的开花和生殖生物学特性。如自交、异交，还是常异交；传粉方式为风媒、虫媒，还是风媒加虫媒，花期、花时是否相遇及相遇的程度；花粉量及花粉寿命；柱头生活力、外露率和接受花粉的能力；各种不同受体如栽培品种、不育系、相关野生种的异交结实率；有性繁殖、无融合生殖，还是营养繁殖等。

第二、试验地点及气候条件。不同区域的气候条件差别很大，开花期的温度、湿度、晴雨、风向和风速等均会大大影响基因飘流的频率和距离；是一年一地的试验结果，还是多年多点重复试验的结果，后者的可靠性显然大于前者。

第三、田间试验设计。是同心圆设计还是方形或长方形设计；供体和受体面积的大小；取样分析的样本量大小等等。小面积小样本的数据一般代表性较差，常常不能用于分析转基因作物大规模商业化后的风险，较大面积、模拟生产实际的试验，甚至景观范围的转基因飘流数据，有可能用于分析转基因作物商业化后能否与非转基因作物共存的问题。

第四、杂种建立居群的能力和生存竞争性。包括种间杂交率、杂种后代的育性和回交能力，能否建立自然居群及其生存竞争性等。

第五、最大基因飘流率、最远飘流距离及允许阈值的设置。包括相邻种植时的最大基因飘流频率，最远的基因飘流距离及在此距离上的基因飘流率，基因飘流率随距离增加而降低的斜率，是否有急剧降低的拐点，即斜渐近线出现的拐点等。

为尽可能减少基因飘流，在讨论隔离距离时采用0.1%的允许阈值。这是因为：①在常规良种繁育和杂交制种中均允许有一定的不纯率，生

产原原种要求的纯度一般为99.9%，将基因飘流允许阈值设为0.1%可以满足生产原原种的要求。②在现行欧盟对转基因农产品的标识制度中允许阈值为0.9%，超过0.9%需要标识，小于0.9%则不需要标识。如采用基因飘流允许阈值为0.1%，则在允许阈值距离外的农产品中的转基因成分显然已低于0.9%。

第六、不同国家对作物育种、制种和繁殖的隔离距离要求。常规育种和良种繁育中长期积累的对隔离距离的要求，以及过去用不同形态标记做试验所获得的异交率数据，对设置转基因作物的隔离距离具有有益的参考价值，因此在调研中对不同国家的相关数据也进行了收集。

第七、转基因与非转基因作物的共存。转基因作物大规模商业化后，提出了转基因与非转基因作物能否共存、如何共存的问题。近年来如抗虫、抗除草剂转基因玉米商业化后，已积累了不少在大面积上研究转基因飘流数据，证明转基因与非转基因作物是可以共存的^[7,8]。在本调研中专门列出了这方面的数据，以期为研究转基因与非转基因作物如何共存提供参考。

第八、其他需要特别描述和说明的问题。染色体倍性、花器构造、闭花受精、传粉昆虫的种类和群体大小、种子大小和传播能力、花期是否遇特殊气候条件、检测方法及其可信度及有性可交配种的分布范围等都是需要特别描述和说明的问题。

针对上述问题，首先统一设计了一个详细表格，录入各文献中所报道的有关数据和信息，包括受体和供体名称、不同距离上的基因飘流频率、田间试验设计、试验地点、国别、面积及年限、检测和统计方法、主要气象因素以及文献出处等。在此详表的基础上，归纳总结了一个简表，主要显示相邻种植时的最大基因飘流频率和最远飘流距离以及小于1%和0.1%允许阈值下的飘流距离，用于相对判断不同作物基因飘流的风险大小。因篇幅所限，本系列文章仅列出了简表，读者如对详表有兴趣，可索要随寄。

最后需要说明的是，在讨论不同作物的隔离距离时，出于安全和成本两方面考虑，选用了0.1%的允许阈值，而不是1%或0.01%，前面已经提到，选用0.1%允许阈值还可达到原原种的纯度和国际贸易的要求。还要强调的是，这一允

许阈值主要考虑的对象是指改变一般农艺性状的转基因作物,对于药用、工业用及其他特殊用途的转基因作物其风险控制和安全监管应另行考虑。

参 考 文 献

[1] James C. 2007 年全球转基因作物商业化发展态势——从 1996 年到 2007 年的第一个 12 年[J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28(2):1-10.

[2] James C. 2010 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势[J]. 中国生物工程杂志, 2011, 31(3):1-12.

[3] 贾士荣. 转基因作物的环境风险分析研究进展[J]. 中国农业科学, 2004, 37(2):175-187.

[4] Jia S R, Wang F, Shi L, *et al.*. Transgene flow to hybrid rice and its male-sterile lines[J]. *Transgenic Res.*, 2007, 16(4): 491-501.

[5] 农业部. GB 4404.1-1996 粮食作物种子第一部分:禾谷类[S]. 北京:中国标准出版社,1996.

[6] 农业部. 农业生物基因工程安全管理实施办法(修正)[Z]. 中华人民共和国农业部第 7 号令,1996.

[7] Brookes G, Barfoot P, Mele E, *et al.*. Genetically modified maize: pollen movement and crop coexistence [R]. *PG Economics*, 2004.

[8] Weekes R, Allnut T, Boffey C, *et al.*. A study of crop-to-crop gene flow using farm scale sites of fodder maize (*Zea mays* L.) in the UK[J]. *Transgenic Res.*, 2007,16:203-211.

第十二届全国植物基因组大会

为充分展示植物基因组研究领域的重大进展,推动我国植物基因组学研究的深入和农业生物技术产业的快速发展,定于 2011 年 8 月 19 ~ 21 日(18 日报到,22 日考察)在河南省安阳市召开第十二届全国植物基因组学大会。会议将邀请国内外植物基因组学研究领域知名科学家作学术研究报告。诚挚邀请国内外从事相关研究的专家学者和研究生们参加本次大会。

一、会议组织:

主办单位:中国遗传学会植物遗传与基因组学专业委员会
承办单位:中国农业科学院棉花研究所

二、会议时间、地点:

2011 年 8 月 18 ~ 21 日,河南省安阳市

三、会议主题:

1. 测序及新技术;

- 2. 功能基因组学;
- 3. 蛋白质组学、代谢组学及生物信息学;
- 4. 转基因技术;
- 5. 基因组多样性;
- 6. 基因组学辅助育种。

四、联系方式:

联系人:王晓辉
电 话:0372-2562208
15836302858
邮 箱:wangxh@cricaas.com.cn;
wywxhwqq@126.com;
sugercandy00@hotmail.com
地 址:河南省安阳市黄河大道 38 号
中国农业科学院棉花研究所
邮 编:455000