

生物育种产业化面临的机遇与政策保障

解伟 刘春明

(北京大学现代农业学院, 北京 100871)

摘要: 随着中国转基因玉米和大豆产业化试点的推进, 间接食用转基因农产品在中国大范围产业化种植到了关键时刻。为有序推进生物育种产业化进程, 本文在回顾全球和中国转基因作物产业化历史的基础上, 着重分析了中国生物育种产业化遇到的两大机遇: 一是中国转基因农产品的持续进口和间接食用在下游加工业和群众中积累了一定的消费基础; 二是过去这些年中国转基因技术的研发和技术储备已为转基因作物产业化做出了良好准备。最后, 本文从充分利用现有群众消费基础、进一步释放技术储备潜力、更加严格地做好全流程监管等方面, 提出有序推进生物育种产业化的政策建议。

关键词: 生物育种产业化; 转基因政策; 生物育种监管

DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2022-0808

Commercialization of Biological Breeding in China: Opportunities and Policy Issues

XIE Wei LIU Chun-ming

(School of Advanced Agricultural Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: Along with the pilot projects on cultivating genetically modified (GM) maize and soybean in China, the large-scale commercialization of GM crops has reached a critical moment in the country. To orderly promote the commercialization of GM crops in China, this study first reviews the global and China's history of the commercialization of GM crops. Second, it analyzes two major opportunities of commercializing GM crops in China: 1) The increasing import and indirect consumption of GM crops in China have improved the acceptance of downstream processing industries and consumers to GM crops; 2) China's R&D investment and technical reserves of GM technology over the last decades have made excellent foundation for the country's commercialization of GM crops. Finally, this study proposes improving consumers' awareness of GM crops, making the best use of the technical reserves of GM technology, and strengthening the supervision to the whole process of commercializing GM crops to extend the cultivating area of GM soybean and maize in China.

Key words: biological breeding commercialization; policy of genetically modified crops; supervision biological breeding

1 全球转基因作物产业化进程及概况

全球转基因作物播种面积从1996年的170万公顷到2019年的1.9亿公顷, 增长了112倍^[1]。以2019年为例, 全球种植的主要转基因作物是大豆、玉米和棉花, 合计1.8亿公顷(与当年中国所有作物播种面积1.7亿公顷大致相当), 占当年所有转基因作物播种面积的94%^[1]。转基因大豆约占全球大豆总种植面积的74%、转基因玉米约占全球玉米总

种植面积的31%、转基因棉花约占全球棉花总种植面积的79%、转基因油菜约占全球油菜总种植面积的27%^[1]。这些转基因作物主要在全球29个国家种植, 此外, 还有43个国家虽然不允许种植转基因作物但允许进口转基因农产品。美国、巴西、阿根廷是转基因作物播种面积排名前三的国家, 也是中国进口农产品(尤其是大豆)最主要的3个来源国, 这3个国家转基因作物播种面积占全球转基因作物

收稿日期: 2022-06-30

作者简介: 解伟, 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 农业经济管理; E-mail: xiewei.ccap@pku.edu.cn

通讯作者: 刘春明, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 植物种子发育; E-mail: liuchunming@pku.edu.cn

播种面积的 78%^[1]。

2 中国转基因作物产业化概况

中国在转基因安全生产证书发放方面，有如下几个具有里程碑意义的时点。1997 年首次发放了抗虫转基因棉花、延熟番茄生物安全生产证书，1999 年发放了花色改变的转基因矮牵牛花和抗病毒的转基因甜椒生物安全生产证书，2006 年发放了抗虫杨树、抗病毒木瓜生物安全生产证书，2009 年发放了抗虫水稻、植酸酶玉米安全生产证书。由于诸多原因，之后的 10 年处于停滞时期。2014 年，中国提出了转基因技术产业化发展的“三步走”战略，即从“非食用”（如转基因抗虫棉花）到“间接食用”（如转基因玉米和大豆），再到“直接食用”（如转基因水稻和小麦）逐渐产业化发展目标。2019 年以来陆续发放了耐除草剂玉米、双抗玉米和耐除草剂大豆生物安全生产证书。但是，2009 年之前，中国主要是“非食用”转基因农产品的产业化，之后转基因生物新品种产业化的脚步开始放缓。2004 年巴西转基因作物的种植面积超越中国，2006 年印度转基因作物的种植面积超越中国，2011 年中国转基因作物种植面积约为印度的 37%^[1]。

截至目前，中国除抗虫转基因棉花和抗病毒木瓜外，其他转基因作物并没有产业化生产。2019 年中国抗虫转基因棉花和抗病毒木瓜的播种面积达到 320 万公顷，其中抗虫棉播种面积占 99% 以上，抗病毒木瓜播种面积很小^[1]。

3 中国生物育种产业化面对的机遇

3.1 转基因农产品消费基础

中国需要用占世界 9% 的耕地、5% 的水资源养活世界 20% 的人口，充分利用国内外两个市场、两种资源对确保中国粮食安全意义重大。21 世纪以来，随着人民肉蛋奶消费的增加，油脂和饲料粮需求不断增加，中国大豆和玉米等主要饲料作物的进口呈现持续增加态势，而进口的大豆和玉米主要均是转基因产品。有研究表明，如果中国不进口玉米和大豆（以 2015 年贸易估算），需增加 23% 的耕地面积以及 11% 的灌溉用水^[2]。21 世纪初中国加入 WTO 以来，对于大豆采取了 3% 的低关税政策，国内外价格整合程度非常高，中国的大豆进口从 2004 年的

2 000 余万吨增加到 2020 年超过 1 亿吨，而国产大豆基本稳定在 1 000–1 600 万吨左右，自给率徘徊在 10%–20% 之间^[3]。对于玉米，中国采用的是进口配额制度（即 720 万吨以内征收 1% 的进口关税，超过 720 万吨征收 65% 的进口关税）。即便如此，随着近年来中国畜产品需求快速增加以及下游深加工行业的发展，玉米短缺压力增大，中国玉米在 2021 年已经远突破进口配额，进口量达近 3 000 万吨^[3]。

除棉花外，中国尚不允许种植大宗转基因农作物，但对于间接食用的转基因玉米和大豆允许进口。近年来中国对转基因和非转基因玉米、大豆执行无差异的关税制度。以大豆为例，2015 年中国从国外进口大豆 8 169 万吨，从美国、巴西和阿根廷分别进口了 4 008 万吨、2 841 万吨、944 万吨，占总进口大豆的 95%^[4]，而当年在这 3 个国家，转基因大豆的播种面积比例分别达到 94%、94% 和 86%^[1]。2019 年中国从国外进口大豆 8 858 万吨，分别从美国、巴西和阿根廷各进口了 5 768 万吨、1 701 万吨、879 万吨，占中国进口总大豆的 97%^[5]，而当年这 3 个国家转基因大豆的播种面积比例分别达到了 100%、98%、100%^[1]，也就是说中国进口的大豆绝大部分是转基因大豆（图 1）。

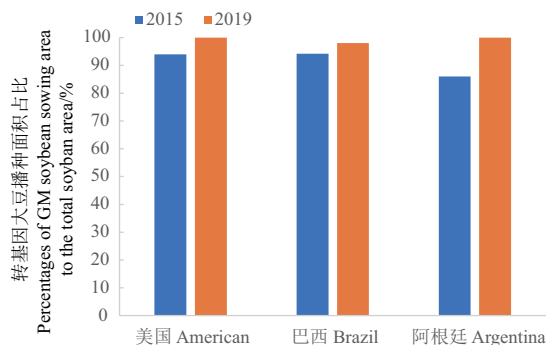


图 1 中国大豆主要进口来源国转基因大豆播种面积占比

Fig. 1 Percentages of GM soybean sowing areas to the total soybean sowing areas in main exporting countries to China

中国国产玉米和进口玉米总供给中有 60% 左右用作饲料，其余主要用作深加工、直接食用等，而进口的转基因玉米主要用作饲料；中国国产大豆和进口大豆总供给中 80% 以上作为油料用作加工食用

油, 副产品豆粕作为蛋白饲料供畜牧业使用^[6]。国产大豆单产低、总产量比较小, 主要用作豆腐、豆芽等直接食用。随着中国转基因玉米和转基因大豆使用比例的不提高, 一定程度积累了下游企业和消费者对转基因产品的接受程度, 尤其是以转基因大豆作为原料的食用油和以转基因大豆作为饲料的畜产品在群众中具有一定的消费基础。

3.2 中国转基因技术研发及技术储备

中国转基因生物技术的研究始于 20 世纪 80 年代后期, 1986–2003 年中国农业生物技术投资每隔 5 年便翻一番^[7], 年均增长 16%^[8]。2008 年政府启动的“转基因生物新品种重大培育专项”使中国农业生物技术研发投入进一步提速, 研究表明, 转基因专项启动后中国 2005–2010 年农业生物技术投资年均增长率更是高达 39.9%, 远高于同期其他领域经费增长率 (22.2%)^[9]。转基因专项在 2008–2020 年期间累计投入约 240 亿元, 用于五大类作物 (主要包括水稻、小麦、玉米、棉花、大豆) 和三大类饲养动物 (猪、牛、羊) 转基因新品种的研发。

转基因重大专项科研投资取得了显著成果。2011–2015 年平均每年基因克隆的数量 (483 个), 是 2008–2010 年 (247 个) 的近两倍, 平均每年专利申请数和授权数分别是 2008–2010 年的 3 倍和 7 倍^[10], 而且转基因重大专项的研发成果质量也不断提高。例如, 在 2014–2015 年转基因水稻高水

平文章发表方面, 中国科学家在 *Science*, *Nature* 和 *Cell* 三大期刊发表的水稻相关研究成果占该领域的 69%^[10], 这使中国转基因技术研发水平处于发展中国家前列, 为中国推进间接食用的转基因品种产业化做出了充足技术储备。基于对“转基因生物新品种重大培育专项”成果的梳理, 表 1 总结了转基因玉米、大豆技术先进性和与可产业化距离。表 1 显示, 中国自主研发的抗虫、抗除草剂、抗虫抗除草剂 (双抗) 和抗旱转基因玉米新品种已经达到世界先进水平, 转基因植酸酶玉米技术先进性也处于世界前沿水平。在转基因玉米产业化方面, 多个耐除草剂、抗虫抗除草剂双抗转基因玉米已经获得安全生产证书, 做好了产业化的准备; 抗虫转基因玉米与可产业化距离处于中等水平, 抗旱转基因玉米新品种与可产业化距离较远。中国自主研发的耐除草剂、抗病转基因大豆技术达到世界先进水平, 抗虫转基因大豆技术水平处于世界前沿位置。在转基因大豆产业化方面, 有望最先实现产业化的是耐除草剂转基因大豆, 多个新品种获得安全生产证书。

2019 年以来, 中国农业农村部为多个转基因玉米和大豆制品颁发了安全生产证书, 为间接食用的转基因作物产业化做准备。2019 年所颁发的安全生产证书, 包括 2 个转基因玉米品种 (北京大北农生物技术有限公司的抗虫耐除草剂玉米 DBN9936, 杭州瑞丰生物科技有限公司和浙江大学的抗虫耐除草

表 1 中国转基因玉米、大豆技术先进性和与可产业化距离

Table 1 Technology levels and distances to commercialization of China's GM maize and soybean

作物 Crops	转基因性状 Traits of GM	技术先进性 Technology advancement level	与可产业化距离 Distance to commercialization	已获得安全生产证书的品种 Approved safety certificate
玉米 Maize	抗虫 Insect resistance	高 High	中等 Medium	无 None
	抗虫耐除草剂 Stacked traits	高 High	近 Near	DBN9936、瑞丰 125 DBN9936, Ruifeng 125
	耐除草剂 Herbicide tolerance	高 High	近 Near	DBN9858、nCX-1
	抗旱 Drought resistance	高 High	远 Far	无 None
	植酸酶 Phytase	中等 Medium	近 Near	BVLA430101
大豆 Soybean	耐除草剂 Herbicide tolerance	高 High	近 Near	SHZD3201、中黄 6106 SHZD3201, Zhonghuang6106
	抗虫 Insect resistance	中等 Medium	远 Far	无 None
	抗病 Disease resistance	高 High	远 Far	无 None

注: 来源: 基于对“转基因生物新品种重大培育专项”成果的梳理

Note: Source: Based on the re-analysis of the outcomes of National GM Variety Development Special Program

剂玉米瑞丰 125) 和 1 个转基因大豆品种 (上海交通大学的耐除草剂大豆 SHZD3201)。2020 年农业农村部为转基因玉米和大豆各颁发了 1 项安全生产证书, 分别为北京大北农生物技术有限公司的耐除草剂玉米 DBN9858、中国农业科学院作物科学研究所的耐除草剂大豆中黄 6106。2022 年, 杭州瑞丰的耐除草剂转基因玉米品种 nCX-1 获得了安全生产证书。

2021 年以来, 为了解决草地贪夜蛾虫害和草害等重大问题, 农业农村部组织开展了转基因大豆和玉米在部分地区产业化试点工作。参加试点的耐除草剂大豆和抗虫耐除草剂玉米均已获得生产应用安全证书, 经过了近 10 年的食用安全和环境安全评价。中国加快了转基因玉米和大豆新品安全生产证书的颁发以及在部分地区开展的试点, 为间接食用的转基因作物产业化做了全面准备。

4 未来生物育种产业化的政策建议

转基因技术是全球应用范围最广、发展速度最快、产生影响最大的现代生物技术。2020 年中央经济工作会议和 2021 年中央一号文件明确要求, 尊重科学、严格监管, 有序推进生物育种产业化应用。为确保转基因玉米和大豆在中国从获批安全生产证书到部分区域试点、再到全面推广有序推进, 基于前文分析, 提出如下三条政策建议:

首先, 充分利用我国消费者对转基因农产品已有的消费基础, 进一步提高民众对转基因农产品的认知、夯实群众基础, 为转基因玉米和大豆产业化提供良好的宣传氛围。转基因玉米和大豆产业化是中国实现转基因技术产业化“三步走”战略中的关键一步, 将使中国转基因作物产业化从“非食用”向“间接食用”(如转基因玉米和大豆)转变, 需要良好的宣传氛围, 让大众明白只是允许进口转基因农产品而不允许生产转基因农产品相当于掩耳盗铃。中国农产品加工企业已有采用转基因进口大豆加工油脂、饲料并生产畜产品的经验, 大众在消费转基因大豆加工而成的油脂、畜产品等方面具有一定的消费基础, 在此基础上, 建议增加对转基因作物全球生产进展、发达国家转基因农产品消费、中国转基因作物历程、转基因农作物的性状优势、中国粮食安全压力、转基因作物产业化经济账等的宣传,

共同为转基因作物产业化创造良好的市场环境。

其次, 充分利用中国在转基因作物研发方面积累的技术储备, 加快推广转基因玉米和大豆产业化的步伐, 形成从“研发”到“生产”、到“进一步研发”、再到“进一步提高生产”的良性循环。中国在转基因生物新品种技术研发方面投入巨大, 在抗虫转基因玉米、耐除草剂转基因大豆等研发方面处于全球领先水平, 相关技术储备为产业化做好了准备。若只投资研发而产业化步伐较慢, 不仅是对前期大量研发投入的一种浪费而且新技术也无法产生效益, 不利于鼓舞科学家研发新的转基因生物新品种。为此, 对于已经完成生产性试验并递交安全生产证书申请的转基因新品种, 建议加快审批, 形成有梯队的转基因技术储备; 对于试点中的转基因玉米和大豆品种, 建议总结经验与问题; 建议进一步完善转基因品种的审定程序, 探索确保安全前提下更为高效的转基因品种审定制度; 在全球疫情和战争等影响下, 粮食危机风险增大, 国内保障粮食安全压力增加, 在这些背景下, 建议尽快开展转基因玉米和大豆大田风险评价、尽快启动转基因玉米和大豆在中国主产区全面推广种植。

第三, 更加严格地对转基因作物产业化全流程进行监管, 提前研判各类风险、提前做好各种预案, 珍惜转基因农产品在中国已有的消费基础, 释放转基因生物新品种技术储备潜力, 切实做到有序推进。在当下转基因玉米和大豆由试点向大规模产业化种植的关键过渡时期, 转基因玉米和大豆在产业化过程中, 一旦出现负面信息, 势必功亏一篑, 严重影响我国转基因作物产业化的进程。为此, 建议在转基因作物产业化种植的种子繁育、试点、田间生产、产后加工和市场流通等过程中, 要建立全流程监管转基因作物产业化的相关政策和制度。不仅要重视种子繁育和田间生产环节的法律法规建设, 也要重视产前种子销售市场、产后加工和市场流通环节的法律法规建设, 要提前研判各个环节可能出现的风险, 提前制定各类预案措施, 确保转基因技术有序产业化。

参考文献

- [1] ISAAA. Brief 55: Global status of commercialized biotech/GM

- crops: 2019 [EB/OL]. New York: ISAAA, 2020. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/default.asp>. 2022-08-30.
- [2] Ali T, Huang JK, Wang JX, et al. Global footprints of water and land resources through China's food trade [J]. *Glob Food Secur*, 2017, 12: 139-145.
- [3] 国家统计局. 2022 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook 2022 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2022.
- [4] 农业部农产品贸易办公室、农业部农业贸易促进中心 [编]. 2016 中国农产品贸易发展报告 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
Products trade office and agricultural trade promotion center of the Ministry of Agriculture [Edit]. 2016 China agricultural trade development report [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2016.
- [5] 农业农村部国际合作司、农业农村部农业贸易促进中心 [编]. 2020 中国农产品贸易发展报告 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
Department of international cooperation and agricultural trade promotion center of ministry of agriculture and rural affairs [Edit]. 2020 China agricultural trade development report [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.
- [6] Xie W, Ali T, Cui Q, et al. Economic impacts of commercializing insect-resistant GM maize in China [J]. *China Agric Econ Rev*, 2017, 9 (3): 340-354.
- [7] Huang JK, Hu RF, Rozelle S, et al. Insect-resistant GM rice in farmers' fields: assessing productivity and health effects in China [J]. *Science*, 2005, 308 (5722): 688-690.
- [8] 黄季焜, 胡瑞法, 陈瑞剑. 转基因生物技术的经济影响 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Huang JK, Hu RF, Chen RJ. The economics of GM technology [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [9] 蔡金阳, 胡瑞法, 黄季焜, 等. 中国农业转基因技术投资、研发能力及进展 [J]. *中国农村经济*, 2016 (6): 61-70.
Cai JY, Hu RF, Huang JK, et al. The investment, research capacity and progress in Chinese agricultural biotechnology [J]. *Chin Rural Econ*, 2016 (6): 61-70.
- [10] Cai JY, Hu RF, Huang JK, et al. Innovations in genetically modified agricultural technologies in China's public sector [J]. *China Agric Econ Rev*, 2017, 9 (2): 317-330.

(责任编辑 李楠)