

全球转基因作物发展演变与趋势

杨树果^{1,2}

(1. 东北农业大学 经济管理学院, 哈尔滨 150030;
2. 黑龙江八一农垦大学 经济管理学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要 从学术界的科学争论到公众的安全担忧,转基因作物一直是社会关注的热点争议话题。本研究利用国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)的数据,从转基因作物的田间试验、获准商业化、商业化种植、转基因产品进口等方面系统梳理了全球转基因作物的发展演变,旨在客观展示过去几十年来全球转基因作物发展状况,以期提供一个全球转基因作物发展演变的全局性概貌。结果表明:转基因作物的大量田间试验和严格审批都表明各国的审慎态度和生物安全制度;转基因作物面积、种类、性状以及接受转基因产品的国家的不断增多都表明接受转基因作物及产品已成为不可阻挡的发展趋势。未来随着生物安全制度的完善、转基因知识的正确普及将会改善转基因作物发展的意识环境,更多的人群接受转基因作物将成为一般现象。

关键词 转基因作物; 田间试验; 商业化; 作物性状

中图分类号 Q941; F319 **文章编号** 1007-4333(2020)09-0013-14 **文献标志码** A

Evolution and developing trend of global biotech/GM crops

YANG Shuguo^{1,2}

(1. College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;
2. College of Economics and Management, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract Biotech/GM crops have always been a social controversy topic from the scientific debate of scholars to the safety concerns of general public. Based on the data of ISAAA, the development of global biotech/GM crops was summarized systematically from the aspects of field trial, approved for commercialization, commercial cultivation and GM product import, and so on, in order to show objectively the development of global biotech/GM crops in the past decades and provide an all-round overview of the development of global biotech/GM crops. A large number of field trials and strict approvals of biotech/GM crops indicated the cautious attitude and biosafety system of different countries. The increasing of biotech/GM crops in areas, varieties, traits and countries accepting GM products showed that the development of biotech/GM crops and GM products has become an irresistible trend. In the future, with the improvement of biosafety system and the correct popularization of biotech/GM knowledge, the awareness environment for the development of biotech/GM crops will be improved, and more people accepting biotech/GM crops will become a common phenomenon.

Keywords biotech/GM crops; field trials; commercialized; crop traits

自1971年第一个转基因生物被开发以来,农作物基因工程无论是在科学工作者之间还是社会大众之间一直是一个充满争议的话题,争论的焦点也从

转基因的经济效应、生态环境风险、人体健康风险逐渐转移到粮食安全、知识产权及社会政治伦理等多个方面。尽管如此,在过去近50年里,转基因作物

收稿日期: 2020-04-03

基金项目: 黑龙江省哲学社会科学规划项目(16JYB16); 黑龙江省博士后资助经费(LBH-Z15026); 黑龙江省哲学社会科学规划项目(19JYB023)

第一作者: 杨树果, 副教授, 博士后, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail: rhwysg@163.com

还是获得了空前发展。从学术界对全球转基因作物发展的研究来看,主要成果集中在全球转基因作物商业化种植,转基因技术的经济和环境的影响,主要国家转基因作物的种植情况等。于滔等^[1]对1996—2018年全球转基因作物商业化种植情况进行了概述,认为转基因作物因其安全、可持续和高收益,预计未来会被更多的国家批准种植,种植面积也必将继续增大,未来基因编辑技术将成为转基因作物育种的常规技术;Clive James 和国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)自2008年开始,连续12年(2007—2018年)发布全球转基因作物商业化发展态势,介绍当年全球转基因作物的商业化种植状况^[2-13],最新的研究认为全球对转基因作物应用的增长可以证明转基因作物不仅在农业、社会经济和环境方面均产生良好收益,而且提高了食品安全水平、改善了营养水平,以科学为基础,采取谨慎的、前瞻性的监管措施,批判性地看待效益而不是风险,从环境保护和可持续发展的角度关注农业生产^[13];Brookes^[14]概述了1996—2012年生物技术对全球农业产生的经济和环境的影响,分析结果表明,转基因技术在农场的的应用产生了非常显著的经济收益,对全球主要农作物的生产水平提高做出了贡献;在关键的环境影响因素方面,减少了杀虫剂和除草剂的使用,显著降低了农业地区温室气体的排放;Martina^[15]分析了美国2014年转基因作物的种植面积、性状表现及研发情况,认为农业生物技术帮助农民提高农作物产量,改善土地的生态状况,同时可以提高资源的利用效率,过严监管政策、有组织的造谣惑众、资源缺乏等会限制其潜力的发挥。

综上所述,既有研究对于了解全球转基因作物商业化种植的基本情况及其经济和环境收益等提供了一定参考,但对于人们普遍关注的商业化种植前的试验和审批,以及那些不种植转基因作物的国家转基因产品利用情况的研究并不多见。因此,本研究将抛开经济效应、生物安全、人类伦理等各种争议的观点,只是依据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)的数据^[16-37],从转基因作物的田间试验、获准商业化、商业化种植、进口等方面系统梳理了全球转基因作物的发展演变,旨在客观地展示1986年第一次转基因作物田间试验以来几十年的全球转基因作物发展状况,以期提供一个全球转基因作物发展演变的全局性概貌,并展望未来转基因作物的发展

展趋势。

1 全球转基因作物田间试验

以商业化获批为标志,全球转基因作物发展大体上可分为两个阶段,1986—1995年的商业化前的田间试验阶段和1996—2018年的商业化发展阶段。

1.1 1986—1995年的商业化前的田间试验阶段

在1996年转基因作物商业化种植之前,出于生物安全的考虑,各国政府开始制定转基因作物田间试验的法规来评估其潜在风险。1986年美国 and 法国首次对转基因作物进行了田间抗除草剂试验,并将其作为烟草的标记基因。比利时、英国和智利于1987年紧随其后开始转基因作物田间试验,到1990年有10个国家进行了转基因作物田间试验。而到1995年则发展为34个国家、56种转基因作物、6种性状已经进行了田间试验。十年中累计试验次数达到3 647次,其中90%以上的田间试验是在发达国家进行的(表1)。

从1986—1995年进行转基因田间试验的作物来看,主要是玉米、油菜、马铃薯、番茄、大豆、棉花等8种作物,其中玉米田间试验数量最多,达1 024次试验,占8个主要作物试验总数的33%(表2)。

从1986—1995年转基因作物田间试验的性状来看,耐除草剂性状试验数量最多,达1 405次试验,占34%,其次是品质(20%)、抗虫性(18%)、抗病毒(11%)等(图1)。

1.2 1996—2018年的商业化发展阶段

1996年首例转基因作物获准商业化后,各国的研究机构和技术产业开发商们纷纷开展了各种转基因试验,1996—1997年开展了约10 000次田间试验,其中大多数试验来自北美的美国(57%)和加拿大(15%)。转基因作物田间试验中最常见的作物是玉米、番茄、大豆、油菜、马铃薯和棉花,最常见的性状依然是除草剂耐受性、抗虫性、品质和病毒抗性。1998年在中国进行了抗虫水稻试验,在澳大利亚进行抗虫和耐除草剂的小麦田间试验;尚未商业化种植转基因作物的日本已经完成了16个作物/性状组合的田间试验,包括10种作物(番茄、矮牵牛、水稻、烟草、大豆、油菜、康乃馨、玉米、棉花和甜瓜)、6个性状(3个病毒抗性、抗虫性和除草剂耐受性的输入性状,3个番茄延迟成熟、康乃馨的保质期和水稻低过敏源的品质性状)。1999年在非洲的肯尼亚开始

表1 1986—1995年全球转基因作物田间试验数量分布情况
Table 1 Number of transgenic crop field trials worldwide 1986—1995

国家 Country	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	合计 Total
发达国家(小计) Industrialized countries (Subtotal)	5	12	48	97	158	208	282	509	901	1 100	3 320
西欧 Western Europe	2	7	18	35	64	75	75	102	178	240	796
亚洲 Asia			4	4	3	4	7	12	26	26	86
北美 North America	3	5	26	58	91	129	200	395	697	834	2 438
发展中国家(小计) Developing countries (Subtotal)		1	2	3	4	13	34	51	58	125	291
非洲 Africa					1	2	1	6	6	9	25
拉丁美洲 Latin America		1	2	1	1	9	28	36	41	85	204
亚洲 Asia				2	2	2	5	9	11	31	62
东欧/俄罗斯(小计) Eastern Europe/Russia (Subtotal)								2	12	22	36
东欧 Eastern Europe								2	10	13	25
俄罗斯 Russia									2	9	11
总计 Grand total	5	13	50	100	162	221	316	562	971	1 247	3 647

注：数据根据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA),1996资料整理。表2和图1同。

Note: Data are adapted from ISAAA, 1996. The same in Table 2 and Fig. 1.

表2 1986—1995年全球最常见转基因作物试验情况
Table 2 Most frequent crops of transgenic crop field trials worldwide 1986-1995

项目 Item	玉米 Maize	油菜 Canola	马铃薯 Potato	番茄 Tomato	大豆 Soybean	棉花 Cotton	烟草 Tobacco	甜瓜/南瓜 Melon/Squash	合计 Total
试验次数 Number	1 024	665	362	353	278	224	161	92	3 159
比例/% Proportion	33	21	11	11	9	7	5	3	100

了第一个甘薯田间试验。2002年中国对50种植物和120种功能基因进行了生物技术研究,并且已经批准了45种转基因作物用于田间试验,65种用于环境释放。2005年中国已经有十多个转基因作物进行了田间试验,包括三大主粮作物——水稻、玉米和小麦,以及棉花、马铃薯、番茄、大豆、卷心菜、花

生、甜瓜、木瓜、甜椒,辣椒,油菜籽和烟草^[25]。截至2006年,中国已经批准了20种作物211次田间试验^[28]。2008年在印度10个转基因作物进行了田间试验,有茄子、卷心菜、蓖麻、菜花、玉米、落花生、黄秋葵、马铃薯、水稻和番茄^[28]。截至2012年10月,在南非进行了玉米(抗旱、抗旱/抗虫、雄性不育,育

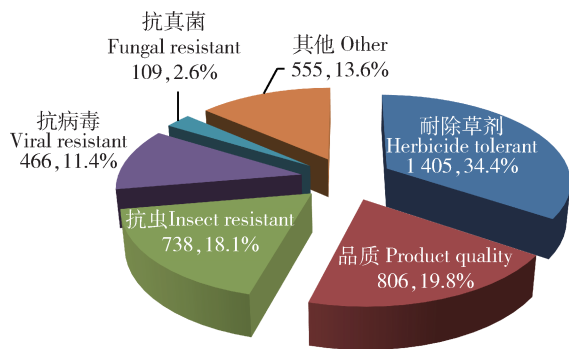


图 1 1986—1995 年全球转基因作物最常见的性状类别田间试验情况

Fig. 1 Most frequent trait categories of transgenic crop field trials worldwide 1986—1995

性恢复,直观标记)、棉花(抗旱/抗虫)、甘蔗和木薯(糖的变化)4种作物、6个性状的田间试验^[32]。2016年,在澳大利亚、新西兰、英国、欧盟、马拉维、乌干达、印度、菲律宾和孟加拉国等国开展了香蕉、小麦、甘蔗、水稻和黑麦草等十几种转基因作物、十几个性状的田间试验(表3)。

2 全球转基因作物获准商业化生产

转基因作物获准商业化生产极大地推动了全球转基因作物的发展。中国是世界上第一个批准商业化种植转基因作物的国家,1992年中国获准转基因烟草种植,种植面积约40 hm²,主要用于商业用种。1994年美国食药管理局批准全球第一个食用转基因

表 3 2016 年公共部门田间试验的作物和性状

Table 3 Crops and traits under field testing by the Public Sector in 2016

国家 Country	作物 Crop	性状 Trait	开发者 Developer
澳大利亚 Australia	香蕉 Banana	抗枯萎病 Fusarium wilt resistance	昆士兰科技大学 Queensland University of Technology
	小麦 Wheat	抗病、抗旱、油质变化与籽粒组成变化 Disease resistance, drought tolerance, altered oil content and altered grain composition	联邦科学和工业研究组织 (CSIRO) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)
新西兰 New Zealand	黑麦草 Ryegrass	更好的营养质量和能量系统;高代谢能 Better nutritional quality and energy system; high metabolizable energy	新西兰农业研究所 AgResearch, New Zealand
英国 UK	小麦 Wheat	产量和生物量 Yield and biomass	罗瑟姆斯特德农业研究所 Rothamstead Agricultural Research
欧盟 EU	马铃薯 Potato Maris Piper	枯萎病和线虫抗性,少瘀伤,少丙烯酰胺 Blight and nematode resistant, less bruising and less acrylamide	塞恩斯伯里 (TSL) The Sainsbury Laboratory (TSL)
	芥蓝 Camelina	ω -3LC-PUFAs(ω -3 长链多不饱和脂肪酸) Omega-3LC-PUFAS (Omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids)	罗瑟姆斯特德研究所 Rothamstead Research
马拉维 Malawi	香蕉 Banana	束顶病毒 Bunchy top virus	伯姆韦研究站 Byumbwe Research Station
乌干达 Uganda	马铃薯品种 德西蕾和维多利亚 Potato varieties Desiree and Victoria	晚疫病抗性 Late blight resistance	克钦维卡诺区域农业研究与发展研究所 Kachwekano Zonal Agricultural Research and Development Institute

表 3(续)

国家 Country	作物 Crop	性状 Trait	开发者 Developer
印度 India	印度芥菜 Indian mustard	巴纳斯-巴斯塔系统诱导杂种优势 Barnase-barstar system to induce heterosis	德里大学南校区 Delhi University South Campus
	鹰嘴豆 Chickpea	带有 CYC7AC、CYA1AABC 杀虫性 Insect resistance with cry7Ac, Cry1Aabc	印度脉冲研究所 ICAR-Indian Institute of Pulses Research
	木豆 Pigeonpea	带有 CYC7AC、CYA1AABC 杀虫性 Insect resistance with cry7Ac, Cry1Aabc	印度脉冲研究所 ICAR-Indian Institute of Pulses Research
	甘蔗 Sugarcane	DRIB 基因抗旱性 Drought tolerance with DREB gene	甘蔗研究机构, Shahjahanpur 甘蔗 理事会 (UPCUSR) Sugarcane Research Institute, UP Council of Sugarcane (UPCSUR), Shahjahanpur
菲律宾 Philippines	水稻 Rice	β -胡萝卜素 β -carotene	国际水稻研究所、Philrice, 巴里 IRRI, PhilRice, BARI
孟加拉国 Bangladesh			

注:数据根据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA),2016 资料整理。

Note:Data are adapted from ISAAA, 2016.

作物——延迟成熟番茄进入商业化生产。截至 2017 年,全球共有 498 项次获批。自 2008 年开始,复合性状获批数超过单一性状获批数,并在 2013 年达到峰值,2017 年复合性状获批数占 70.8%。4 133 份申请获批的转基因作物主要是食物类、饲料类和其他类,其中食物类 1 995 份(48.5%)、饲料类 1 338 份(32.38%)和其他类 800 份(19.36%,不包括对康乃馨、玫瑰、矮牵牛等观赏植物的批准)^[37]。

2.1 批准转基因作物商业化的国家

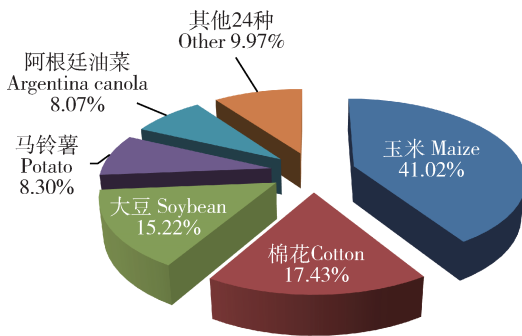
1992—2017 年共有 40 个国家(欧盟 28 国计为一个国家)批准转基因作物的商业化种植^[17]。1992 年至 1996 年 7 月 1 日,7 个国家(6 个+欧盟)共有 35 项转基因作物的商业化申请获批,其中美国批准了 20 项(57%),加拿大批准了 8 项(22%),中国和澳大利亚各批准了 2 项,阿根廷、墨西哥和欧盟各批准了 1 项^[16]。1996—2017 年,美国仍是批准转基因作物商业化数量最多的国家,在主要国家的 1 314 项申请中,美国批准了 196 项(14.92%),加拿大 177 项(13.47%)、墨西哥 170 项(12.94%)、澳大利亚 129 项(9.82%)和欧盟 104 项(7.91%)(表 4)。

2.2 获准商业化的作物种类分布

从获批的商业化作物种类来看,截至 2017 年,29 种作物被批准。其中 1992 年至 1996 年 7 月 1 日,8 种转基因作物获准商业化,其中主要是玉米 8 项(23%),番茄和油菜各 5 项(14%)、棉花 4 项(11%)、马铃薯 3 项(9%)、大豆、烟草和康乃馨各 2 项(5%),南瓜 1 项(ISAAA,1996);1996—2017 年,29 种转基因作物被批准,其中玉米仍是获批最多的作物,获批 539 项(41.02%),棉花 229 项(17.43%)、大豆 200 项(15.22%)、马铃薯 109 项(8.3%)、油菜 106 项(8.07%)及其他 24 种作物 131 项(9.97%)(图 2)。

2.3 获准商业化的作物性状分布

从获准商业化的作物性状来看,1992—1996 年,均为单一性状,其中抗除草剂获批 13 项(40.6%),杀虫性 8 项(25.0%)、延迟成熟番茄 6 项(18.8%),病毒抗性 3 项(9.4%)和品质性状 2 项(6.3%)。1997 年复合性状获批,抗除草剂获批数占 36%,复合性状(包括抗虫/抗除草剂和杂交技术/抗除草剂 2 个性状)占 20%,杀虫性占 15%、病毒抗性占 10%、品质性状 19%。2017 年,复合性状



数据根据国际农业生物技术应用服务组织 (ISAAA), 2017 资料整理。表 4、图 3 和表 8 同。

Data are adapted from ISAAA, 2017. The same in Table 4, Fig. 3 and Table 8.

图 2 1996—2017 年获准商业化的转基因作物种类分布

Fig. 2 Distribution of crop categories of approved GM events 1996—2017

的商业化占一半以上 (51%), 其中抗除草剂/抗虫占 40%, 抗除草剂/授粉控制占 6%, 抗除草剂/品质和抗虫/抗病各占 3% 和 2% (图 3)。

3 全球转基因作物种植

全球转基因作物自 1996 年开始大面积商业化种植以来, 从最初的 6 个国家增加到 30 多个国家, 作物种类也扩大到 10 多种, 种植面积从 1996 年的 280 万 hm^2 增加到 2018 年的 1.92 亿 hm^2 , 扩张了 68.6 倍 (图 4)。

3.1 转基因作物种植区域分布

从种植区域分布来看, 转基因作物商业化初期, 发达国家是转基因作物种植的主要区域, 1998 年面积占比高达 84.2%, 但此后所占比重呈下降趋势, 因为发展中国家的转基因作物种植面积迅速扩张, 2011 年发展中国家与发达国家的转基因作物面积持平, 2012 年以后发展中国家的转基因作物种植面积一直超过了发达国家, 并于 2014 年后二者占比相对稳定。2018 年, 有 26 个国家种植转基因作物, 其中发达国家 5 个, 面积约占 46%, 发展中国家 21 个, 面积约占 54% (图 4)。

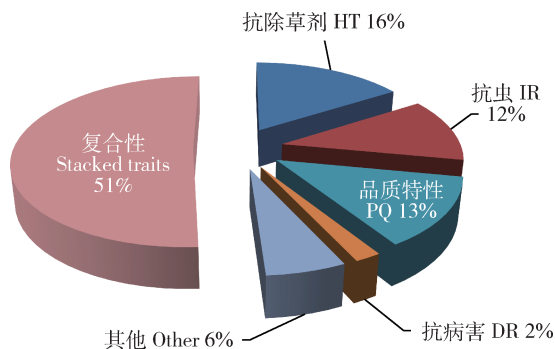
表 4 1996—2017 年主要国家批准转基因作物商业化情况

Table 4 Global status of approved commercialized biotech/GM crops 1996—2017

国家 Country	起止 时间 Period	作物种类 Number of crop categories	批准数量 Approved events	作物名称 (批准数量) Crops (Approved events)	备注 Note
美国 USA	1996— 2017 年	19	197	苜蓿 alfalfa (3)、苹果 apple (3)、油菜籽 Argentine canola (21)、菊苣 chicory (3)、棉花 cotton (28)、匍匐弯茎草 creeping bentgrass (1)、亚麻 flax (1)、玉米 maize (1)、甜瓜 melon (1)、木瓜 papaya (3)、李子 plum (1)、马铃薯 potato (48)、水稻 rice (3)、大豆 soybean (25)、南瓜 squash (2)、甜菜 sugar beets (3)、烟草 tobacco (2)、番茄 tomato (8)、小麦 wheat (1)	单一性状 single trait
巴西 Brazil	2013— 2017 年	6	68	豆类 bean (1)、棉花 cotton (15)、桉树 eucalyptus (1)、玉米 maize (39)、大豆 soybean (11)、甘蔗 sugarcane (1)	食物、饲料、加工和其他 food, feed, processing, and cultivation
阿根廷 Argentina	1996— 2017 年	3	62	棉花 cotton (7)、玉米 maize (42)、大豆 soybean (13)	食物、饲料和其他 food, feed, and cultivation
加拿大 Canada	1996— 2017 年	14	177	苜蓿 alfalfa (3)、苹果 apple (2)、油菜籽 Argentine canola (18)、棉花 cotton (25)、亚麻 flax (1)、玉米 maize (67)、木瓜 papaya (1)、波兰油菜籽 Polish canola (4)、马铃薯 potato (27)、水稻 rice (1)、大豆 soybean (21)、南瓜 squash (1)、甜菜 sugar beets (2)、番茄 tomato (4)	食物、饲料和其他 food, feed use, and cultivation
巴拉圭 Paraguay	2004— 2017 年	3	37	棉花 cotton (20)、玉米 maize (14)、大豆 soybean (3)	食物、饲料和其他 food, feed, and cultivation

表4(续)

国家 Country	起止 时间 Period	作物种类 Number of crop categories	批准数量 Approved events	作物名称(批准数量) Crops (Approved events)	备注 Note
中国 China	1997— 2017年	11	64	油菜籽 Argentine canola (12)、棉花 cotton (11)、玉米 maize (18)、木瓜 papaya (1)、矮牵牛 petunia (1)、杨树 poplar (2)、水稻 rice (2)、大豆 soybean(12)、甜菜 sugar beet (1)、甜椒 sweet pepper (1)、番茄 tomato (3)	食物、饲料和其他 food, feed, and cultivation
玻利维亚 Bolivia	2008— 2017年	1	1	大豆 soybean (1)	商业化种植 planting
墨西哥 Mexico	1996— 2017年	9	170	苜蓿 alfalfa (5)、油菜籽 Argentine canola (13)、棉花 cotton (31)、玉米 maize (75)、马铃薯 potato(13)、水稻 rice (1)、大豆 soybean (26)、甜菜 sugar beet (1)、番茄 tomato (5)	食物、饲料和其他 food, feed and cultivation
哥伦比亚 Columbia	2002— 2017年	9	94	康乃馨 carnation (8)、棉花 cotton (14)、亚麻 flax (1)、玉米 maize (49)、水稻 rice (2)、玫瑰花 rose (2)、大豆 soybean (16)、甜菜 sugar beet (1)、小麦 wheat (1).	食物、饲料和其他 food, feed and cultivation
洪都拉斯 Honduras	2002— 2017年	2	8	玉米 maize (7)、水稻 rice (1)	食物、饲料和环境释放 food, feed consumption, and environmental release
哥斯达黎加 Costa Rica	1996— 2017年	3	22	棉花 cotton (19)、大豆 soybean (2)、菠萝 pineapple (1)	种子繁殖(生产) seed production
澳大利亚 Australia	1996— 2017年	11	129	苜蓿 alfalfa (3)、油菜籽 Argentine canola (22)、康乃馨 carnation (12)、棉花 cotton (26)、玉米 maize (27)、马铃薯 potato (17)、水稻 rice (1)、玫瑰花 rose (1)、大豆 soybean (17)、sugar beet 甜菜 (2)、小麦 wheat (1).	食物、饲料和其他 food, feed, and cultivation
菲律宾 Philippines	2002— 2017年	8	88	苜蓿 alfalfa (2)、油菜籽 Argentine canola (2)、棉花 cotton (8)、玉米 maize (52)、马铃薯 potato (8)、水稻 rice (1)、大豆 soybean (14)、甜菜 sugar beet (1)	食物、饲料和加工 food, feed, and processing
越南 Vietnam	2015— 2017年	2	22	玉米 maize (14)、大豆 soybean (8)	食物、饲料和其他 food, feed, and cultivation
苏丹 Sudan	2012— 2017年	1	2	棉花 cotton (2)	商业化种植 planting
欧盟-28 EU-28	1998— 2017年	7	104	油菜籽 Argentine canola (13)、康乃馨 carnation (7)、棉花 cotton (13)、玉米 maize (50)、马铃薯 potato (1)、大豆 soybean (19)、甜菜 sugar beet (1)	食物、饲料和其他 food, feed, and processing
南非 South Africa	1998— 2017年	5	70	油菜籽 Argentine canola (5)、棉花 cotton (10)、玉米 maize (42)、水稻 rice (1)、大豆 soybean (12)	食物、饲料和商业化种植 food, feed, and planting



复合性状包括抗性除草剂/抗虫、抗虫/抗病、抗性除草剂/品质和抗性除草剂/授粉控制。

Stacked traits include HT/IR, IR/DR, HT/PQ and HT/PC (HT, herbicide tolerance; IR, insect resistance; DR, disease resistance; PQ, modified product quality; PC, pollination control)

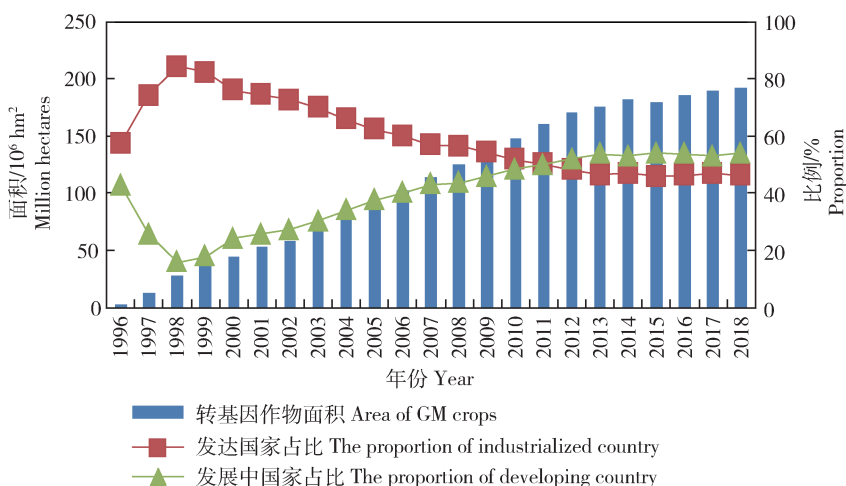
图3 2017年获准商业化种植的转基因作物性状分布

Fig.3 Distribution of traits of approved GM events in 2017

从国别看,美国一直是世界上转基因作物种植面积最大的国家,占比最高时曾占全球转基因作物总面

积的73.7%(1998年),最低也在39%以上(2015—2017年);其次是巴西、阿根廷和加拿大(表5)。

2018年,美国、巴西、阿根廷和加拿大四国合计的转基因作物种植面积占全球转基因作物总面积的85.0%。美国转基因作物种植面积达7500万 hm^2 ,占全球转基因作物总面积的39.0%,转基因作物中面积占比为大豆45.4%、玉米44.2%、棉花6.8%、苜蓿1.7%、油菜1.2%、甜菜0.7%,以及1000 hm^2 的木瓜、南瓜、马铃薯和苹果。巴西转基因作物种植面积5130万 hm^2 ,占全球转基因作物总面积的26.8%,主要转基因作物中大豆68.0%、玉米30.0%、甘蔗7.8%和棉花2.0%。阿根廷转基因作物种植面积2390万 hm^2 ,占全球转基因作物总面积的12.5%,其中大豆75.3%、玉米20.9%和棉花1.5%。加拿大转基因作物种植面积1275万 hm^2 ,占全球转基因作物总面积的6.7%(表5)。



数据根据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA),1997—2018资料整理。表6和表7同。

Data are adapted from ISAAA, 1997-2018. The same in Table 6 and Table 7.

图4 1996—2018年全球转基因作物种植面积

Fig.4 Global area of biotech crops from 1996 to 2018

3.2 转基因作物种植品种分布

1996年转基因作物商业化初兴时,以转基因烟草面积最大,达100万 hm^2 ,占全球转基因作物总面积的35%;其次是棉花(80万 hm^2 ,28.6%)、大豆(50万 hm^2 ,17.9%);剩余约20%是玉米(10%)、油菜(5%)、番茄(4%)和马铃薯(不到1%)。自1997年起,大豆就一直是全球种植面积最大的转基因作物,面积从1997年的510万 hm^2 增加到2018年的9590万 hm^2 ,占全球转基因作物总面积的比重也从

39.8%上升为50%,2001年曾高达63.3%。其次是玉米,同期面积从320万 hm^2 增加到5890万 hm^2 ,占比从25%上升到30.7%;棉花面积从140万 hm^2 增加到2490万 hm^2 ,占比基本维持在10%~15%;油菜面积虽从120万 hm^2 增加到1010万 hm^2 ,但占比呈下降趋势,从10.9%下降到5.3%(表6)。总体上看,大豆、玉米、棉花和油菜是全球最主要的转基因作物,本世纪以来这4项合计在转基因作物总面积中的每年占比都在98%以上。

表5 2018年全球各国家转基因作物种植情况
Table 5 Global area of biotech crops in 2018 by country

10⁶ hm²

国家 Country	面积 Area	作物 Crop
美国 USA	75.0	玉米 maize、大豆 soybean、棉花 cotton、油菜 canola、甜菜 sugar beet、苜蓿 alfalfa、木瓜 papaya、南瓜 squash、马铃薯 potato、苹果 apple
巴西 Brazil	51.3	大豆 soybean、玉米 maize、棉花 cotton、甘蔗 sugarcane
阿根廷 Argentina	23.9	大豆 soybean、玉米 maize、棉花 cotton
加拿大 Canada	12.7	油菜 canola、玉米 maize、大豆 soybean、甜菜 sugar beet、苜蓿 alfalfa、苹果 apple
印度 India	11.6	棉花 cotton
巴拉圭 Paraguay	3.8	大豆 soybean、玉米 maize、棉花 cotton
中国 China	2.9	棉花 cotton、木瓜 papaya
巴基斯坦 Pakistan	2.8	棉花 cotton
南非 South Africa	2.7	玉米 maize、大豆 soybean、棉花 cotton
乌拉圭 Uruguay	1.3	大豆 soybean、玉米 maize
玻利维亚 Bolivia	1.3	大豆 soybean
澳大利亚 Australia	0.8	棉花 cotton、油菜 canola
菲律宾 Philippines	0.6	玉米 maize
缅甸 Myanmar	0.3	棉花 cotton
苏丹 Sudan	0.2	棉花 cotton
墨西哥 Mexico	0.2	棉花 cotton
西班牙 Spain	0.1	棉花 cotton
哥伦比亚 Colombia	0.1	棉花 cotton、玉米 maize
越南 Vietnam	<0.1	玉米 maize
洪都拉斯 Honduras	<0.1	玉米 maize
智利 Chile	<0.1	玉米 maize、大豆 soybean、油菜 canola
葡萄牙 Portugal	<0.1	玉米 maize
孟加拉国 Bangladesh	<0.1	茄子 eggplant
哥斯达黎加 Costa Rica	<0.1	棉花 cotton、大豆 soybean
印度尼西亚 Indonesia	<0.1	甘蔗 sugarcane
埃斯瓦蒂尼 Eswatini	<0.1	棉花 cotton
全球总计 Total	191.7	—

注：数据根据国际农业生物技术应用服务组织(2019)资料整理。

Note: Data are adapted from ISAAA (2019).

表6 1996—2018年度全球主要转基因作物品类面积分布

Table 6 Global area of biotech crops by major crop categories 1996—2018

年份 Year	大豆 Soybean		玉米 Maize		棉花 Cotton		油菜 Canola	
	面积/ 10 ⁶ hm ²	比例/%	面积/ 10 ⁶ hm ²	比例/%	面积/ 10 ⁶ hm ²	比例/%	面积/ 10 ⁶ hm ²	比例/%
1996	0.5	17.9	0.3	10.7	0.8	28.6	0.1	3.6
1997	5.1	39.8	3.2	25.0	1.4	10.9	1.2	10.9
1998	14.5	52.2	8.3	29.9	2.5	9.0	2.4	8.6
1999	21.6	54.1	11.1	27.8	3.7	9.3	3.4	8.5
2000	25.8	58.4	10.3	23.3	5.3	12.0	2.8	6.3
2001	33.3	63.3	9.8	18.6	6.8	12.9	2.7	5.1
2002	36.5	62.2	12.4	21.1	6.8	11.5	3.0	5.1
2003	41.4	61.2	15.5	22.9	7.2	10.6	3.6	5.3
2004	48.4	59.8	19.3	23.8	9.0	11.1	4.3	5.3
2005	54.4	60.4	21.2	23.6	9.8	10.9	4.6	5.1
2006	58.6	57.5	25.2	24.7	13.4	13.1	4.8	4.7
2007	58.6	51.3	35.2	30.8	15.0	13.1	5.5	4.8
2008	65.8	52.6	37.3	29.8	15.5	12.4	5.9	4.7
2009	69.2	51.6	41.7	31.1	16.1	12.0	6.4	4.8
2010	73.3	49.5	46.0	31.1	21.0	14.2	7.0	4.7
2011	75.4	47.1	51.0	31.9	24.7	15.4	8.2	5.1
2012	80.7	47.4	55.1	32.4	24.3	14.3	9.2	5.4
2013	84.5	48.2	57.3	32.7	23.9	13.6	8.2	4.7
2014	90.7	50.0	55.2	30.4	25.1	13.8	9.0	5.0
2015	92.1	51.3	53.6	29.8	24.0	13.4	8.5	4.7
2016	91.4	49.4	60.6	32.7	22.3	12.1	8.6	4.7
2017	94.1	49.6	59.7	31.5	24.1	12.7	10.2	5.4
2018	95.9	50.0	58.9	30.7	24.9	13.0	10.1	5.3

3.3 转基因作物性状分布

在转基因作物商业化的20多年里,抗除草剂性状一直是全球转基因作物的主导性状,种植面积从1996年的60万hm²增加到2018年的9 920万hm²,同期占比也从21.4%上升到46.0%,最大面积曾到达1.02亿hm²(2014年),最高占比曾达到77.2%(2001年)。抗除草剂性状主要分布于大豆、玉米、油菜、棉花和苜蓿等作物中。抗虫性状曾是排名第二的性状,面积从1996年的110万hm²增加到2017年的2 330万hm²,最大面积曾达到2 880

万hm²(2014年),但占比却从1996年的39.3%下降到2017年的12.3%,降至第三名,主要原因是全球棉花价格的变动导致全球转基因棉花面积的减少,尤其在中国、印度和阿根廷。复合性状现在已经是排名第二的性状,作物面积从1998年的30万hm²增加到2018年的8 080万hm²,占比也从1.1%上升到42%(表7),这一性状主要分布于棉花、大豆和玉米,其面积的增加主要来自阿根廷、巴西和巴拉圭的大豆(Intacta™),巴西、阿根廷和美国的玉米,以及澳大利亚、巴西和美国的棉花。

表 7 1996—2018 年度全球转基因作物性状面积分布
Table 7 Goble area of biotech crops by trait 1996—2018

年份 Year	抗除草剂 HT		抗虫 IR		复合性状 Stacked traits	
	面积/10 ⁶ hm ²	比例/%	面积/10 ⁶ hm ²	比例/%	面积/10 ⁶ hm ²	比例/%
1996	0.6	21.4	1.1	39.3	—	—
1997	6.9	53.9	4.0	31.3	—	—
1998	19.8	71.2	7.7	27.7	0.3	1.1
1999	28.1	70.4	8.9	22.3	2.9	7.3
2000	32.7	74.0	8.3	18.8	3.2	7.2
2001	40.6	77.2	7.8	14.8	4.2	8.0
2002	44.2	75.3	10.1	17.2	4.4	7.5
2003	49.7	73.4	12.2	18.0	5.8	8.6
2004	58.6	72.5	15.6	19.3	6.8	8.4
2005	63.7	70.8	16.2	18.0	10.1	11.2
2006	69.9	68.5	19.0	18.6	13.1	12.8
2007	72.2	63.2	20.3	17.8	21.8	19.1
2008	79.0	63.2	19.1	15.3	26.9	21.5
2009	83.6	62.4	21.7	16.2	28.7	21.4
2010	89.3	60.3	26.3	17.8	32.3	21.8
2011	93.9	58.7	23.9	14.9	42.2	26.4
2012	100.5	59.0	26.1	15.3	43.7	25.7
2013	99.4	56.7	28.8	16.4	47.1	26.9
2014	102.6	56.5	27.4	15.1	51.4	28.3
2015	95.9	53.4	25.2	14.0	58.5	32.6
2016	86.5	46.7	23.1	12.5	75.4	40.7
2017	88.7	46.8	23.3	12.3	77.7	41.0
2018	92.2	46.0	N	N	80.8	42.0

4 转基因产品进口

在全球范围内,允许种植转基因作物的国家和地区也允许进出口转基因产品,但有些国家和地区虽不允许种植转基因作物、但允许进口转基因产品。自 1996 以来,共有 44 个不种植转基因作物的国家或地区(16 个国家+中国台湾+欧盟 26 国)批准进口转基因产品,涉及大豆、玉米和棉花等 13 种转基因产品种类。日本是批准进口转基因产品种类最多(11 种)的国家。

在批准进口的转基因产品中,进口玉米的国家

数量最多,有 15 个国家或地区,其次是大豆(12 个)、棉花和油菜籽(各有 8 个国家和地区)(表 8)。

5 结论与展望

5.1 结论

综合上面的数据分析可以看出,自转基因作物田间试验 30 多年及转基因作物商业化 20 多年来,全球转基因作物呈现以下发展特点和趋势:

第一,全球转基因作物获得了快速发展并呈现出持续发展态势。转基因作物种植面积、转基因作物种类和种植区域不断扩大,转基因性状日益增多,

表8 1996—2017年准许进口转基因产品的国家和地区

Table 8 Non-planting countries which granted approvals for import (food, feed, and processing) 1996—2017

序号 No.	国家 Country	获批进口转基因产品 Crops approved for import
1	日本 Japan	玉米 maize、大豆 soybean、棉花 cotton、油菜籽 canola、马铃薯 potato、苜蓿 alfalfa、康乃馨 carnation、番木瓜 papaya、水稻 rice、玫瑰 rose、甜菜 sugar beets
2	新西兰 New Zealand	玉米 maize、棉花 cotton、油菜籽 canola、马铃薯 potato、苜蓿 alfalfa、水稻 rice、甜菜 sugar beets、小麦 wheat
3	欧盟-26 EU-26	油菜籽 canola、康乃馨 carnation、棉花 cotton、玉米 maize、马铃薯 potato、大豆 soybean、甜菜 sugar beets
4	马来西亚 Malaysia	油菜籽 canola、康乃馨 carnation、棉花 cotton、玉米 maize、马铃薯 potato、大豆 soybean
5	新加坡 Singapore	苜蓿 alfalfa、油菜籽 canola、棉花 cotton、玉米 maize、大豆 soybean、甜菜 sugar beets
6	俄罗斯 Russian Federation	玉米 maize、马铃薯 potato、水稻 rice、大豆 soybean、甜菜 sugar beets
7	韩国 South Korea	苜蓿 alfalfa、油菜籽 canola、棉花 cotton、玉米 maize、大豆 soybean
8	中国台湾 Taiwan	油菜籽 canola、棉花 cotton、玉米 maize、大豆 soybean、甜菜 sugar beets
9	印度尼西亚 Indonesia	玉米 maize、大豆 soybean、甘蔗 sugarcane
10	伊朗 Iran	水稻 rice、大豆 soybean、油菜籽 canola
11	瑞士 Switzerland	玉米 maize、大豆 soybean
12	泰国 Thailand	玉米 maize、大豆 soybean
13	土耳其 Turkey	玉米 maize、大豆 soybean
14	挪威 Norway	康乃馨 carnation
15	布基纳法索 Burkina Faso	棉花 cotton
16	古巴 Cuba	玉米 maize
17	埃及 Egypt	玉米 maize
18	巴拿马 Panama	玉米 maize

1996—2018年,种植转基因作物的国家从最初的6个增加到30多个(期间有个别国家退出种植),作物种类也从7种扩大到10余种,种植面积从280万 hm^2 增加到1.92亿 hm^2 ,转基因作物性状从早期抗除草剂、抗虫、抗病毒、品质特性、授粉控制等单一性状发展到抗除草剂/抗虫、抗虫/抗病、抗除草剂/品质和抗除草剂/授粉控制等多种组合的复合性状。预计未来转基因作物面积将继续扩大,作物种类将继续丰富,种植的国家也将继续增加,复合性状越来越成为转基因作物的主导性状。

第二,全球各个国家在转基因作物的种植和应用过程中态度审慎,监管制度将日趋完善。转基因

作物从第一次田间试验到获准商业化经历了6年,从获准商业化到大面积商业化种植经历了4年,获准商业化的29种作物中,目前实际种植13种作物(期间有些作物种类没有持续种植),且各国对新的转基因作物品种或新的性状的田间试验从未停止过,试验频次高、试验范围广的转基因作物获准商业化的数量和商业化种植的面积越来越大,且获准商业化履行审批程序越来越严格。随着全球一体化的发展,以及世界各国在各领域合作的深化,对于转基因作物的全球协同一致的监管将日趋完善。

第三,转基因作物和产品的接受度越来越高,并呈现出一种不可阻挡的趋势。接受转基因作物或产

品的国家和地区不断增多,目前有70个国家和地区接纳转基因作物或产品,其中有26个国家和地区允许种植转基因作物,44个国家和地区不种植转基因作物但进口转基因产品,转基因作物的应用也从种植扩展到粮食、饲用和加工等领域。支持转基因作物和产品的主要群体不仅来自自然技术(尤其生物技术)领域的专家,还有众多的农民,巴西在法律允许种植转基因作物之前,转基因作物的非法种植已经非常普遍^[38]。2013年巴西批准转基因作物商业化种植后短短几年,已经成为全球第二大转基因作物国家。目前日本虽不种植转基因作物,但北海道的农民已经通过日本农业科学院提交请愿书的方式表达了他们打算进行RR®甜菜田间试验的意向。

5.2 展望

当前,全球转基因作物的快速发展已显现出较好的经济效应,1996—2016年,转基因作物累计增产6.576亿t(其中主要是粮食作物),这在一定程度上满足了不断增长的全球人口对粮食安全的需求,转基因作物种植国共获得经济效益1861亿美元^[37]。可以预见,一方面,转基因作物性状改变将是发展潜力所在,复合性状将成为未来转基因作物的主导性状,“黄金大米”等品质性状的改变预示着转基因作物更大的发展潜力,未来如果产量性状改变时,将给予转基因作物更大的推进动力;另一方面,生物安全制度和政策的改善和强化、转基因知识的进一步普及将改善转基因作物发展的意识环境。有理由相信因为技术优势、经济优势、安全提升和科学普及,转基因作物将被更多的人群接受。

参考文献 References

[1] 于滔,曹士亮,张建国,曾兴,任洪雷,王成波,李文跃,李昕,曹靖生. 全球转基因作物商业化种植概况(1996—2018年)[J]. 中国种业, 2020(1): 13-16
Yu T, Cao S L, Zhang J G, Zeng X, Ren H L, Wang C B, Li W Y, Li X, Cao J S. General situation of global transgenic crops commercial planting (1996 - 2018) [J]. *China Seed Industry*, 2020(1): 13-16 (in Chinese)

[2] Clive J. 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(2): 1-10
Clive J. Global commercialization of genetically modified crops in 2007: The first 12th from 1996 to 2007 [J]. *China Biotechnology*, 2008, 28(2): 1-10 (in Chinese)

[3] Clive J. 2008年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势: 第一个十三年(1996—2008)[J]. 中国生物工程杂志, 2009, 29

(2): 1-10
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2008: The first 13th (1996—2008)[J]. *China Biotechnology*, 2009, 29(2): 1-10 (in Chinese)

[4] Clive J. 2009年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势: 第一个十四年1996—2009[J]. 中国生物工程杂志, 2010, 30(2): 1-22
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2009: The first 14th from 1996—2009[J]. *China Biotechnology*, 2010, 30(2): 1-22 (in Chinese)

[5] Clive J. 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
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2010 [J]. *China Biotechnology*, 2011, 31(3): 1-12 (in Chinese)

[6] Clive J. 2011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, 2012, 32(1): 1-14
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2011 [J]. *China Biotechnology*, 2012, 32(1): 1-14 (in Chinese)

[7] Clive J. 2012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, 2013, 33(2): 1-8
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2012 [J]. *China Biotechnology*, 2013, 33(2): 1-8 (in Chinese)

[8] Clive J. 2013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, 2014, 34(1): 1-8
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2013 [J]. *China Biotechnology*, 2014, 34(1): 1-8 (in Chinese)

[9] Clive J. 2014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, 2015, 35(1): 1-14
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2014 [J]. *China Biotechnology*, 2015, 35(1): 1-14 (in Chinese)

[10] Clive J. 2015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, 2016, 36(4): 1-11
Clive J. Global commercialization of biotech/GM crops in 2015 [J]. *China Biotechnology*, 2016, 36(4): 1-11 (in Chinese)

[11] 国际农业生物技术应用服务组织. 2016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, 2017, 37(4): 1-8
ISAAA. Global commercialization of biotech/GM crops in 2016[J]. *China Biotechnology*, 2017, 37(4): 1-8 (in Chinese)

[12] 国际农业生物技术应用服务组织. 2017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, 2018, 38(6): 1-8
ISAAA. Global commercialization of biotech/GM crops in 2017[J]. *China Biotechnology*, 2018, 38(6): 1-8 (in Chinese)

[13] 国际农业生物技术应用服务组织. 2018年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势. 中国生物工程杂志, 2019, 39(8): 1-6
ISAAA. Global commercialization of biotech/GM crops in 2018[J]. *China Biotechnology*, 2019, 39(8): 1-6 (in Chinese)

[14] Graham B, Peter B. 张伟. 转基因作物应用(1996—2012)对全球社会经济与环境的主要影响[J]. 华中农业大学学报, 2014,

33(6): 16-23

Graham B, Peter B, Zhang W. Key global economic and environmental impacts of genetically modified/GM crop use 1996 — 2012 [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(6): 16-23 (in Chinese)

- [15] Martina N. 刘海军. 转基因作物在美国的发展、应用和趋势 [J]. *华中农业大学学报*, 2014, 33(6): 31-39

Martina N, Liu H J. The development, application and trend of transgenic crops in the United States [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(6): 31-39 (in Chinese)

- [16] Clive J. Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants; 1986—1995[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 1-1996

- [17] Clive J. Global status of transgenic crops in 1997[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 5-1997

- [18] Clive J. Global review of commercialized transgenic crops; 1998[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 8-1998

- [19] Clive J. Global review of commercialized transgenic crops; 1999[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 12-1999

- [20] Clive J. Global status of commercialized transgenic crops; 2000[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 21-2000

- [21] Clive J. Global review of commercialized transgenic crops; 2001[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 24-2001

- [22] Clive J. Global status of commercialized transgenic crops; 2002[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 27-2002

- [23] Clive J. Global status of commercialized transgenic crops; 2003[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 30-2003

- [24] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2004[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 32-2004

- [25] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops;

2005[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 34-2005

- [26] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2006[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 35-2006

- [27] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2007[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 37-2007

- [28] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2008[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 39-2008

- [29] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2009[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 41-2009

- [30] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2010[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 42-2010

- [31] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2011[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 43-2011

- [32] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2012[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 44-2012

- [33] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2013[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 46-2013

- [34] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2014[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 49-2014

- [35] Clive J. 20th Anniversary (1996 to 2015) of the global commercialization of biotech crops and biotech crop highlights in 2015[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 51-2015

- [36] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops; 2016[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 52-2016

- [37] Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops in 2017[Z]. *ISAAA Briefs*, No. 53-2017

- [38] 何秀荣. 我国大豆的战略发展不能片面地强调普通大豆[J]. *中国农业展望*, 2002, 18(8): 2-5

He X R. The strategic development of soybean in China should not emphasize the common soybean unilaterally [J]. *China Agricultural Outlook*, 2002, 18(8): 2-5 (in Chinese)

责任编辑: 袁文业