

2022年度全球转基因作物产业化发展现状及趋势分析

李浩辉^{1,2§}, 刘彩月^{2§}, 张海文², 王旭静², 唐巧玲^{2*}, 王友华^{1,2*}

(1. 中国农业生物技术学会, 北京 100081; 中国农业科学院生物技术研究所, 北京 100081)

摘要:自1996年转基因作物开始商业化种植以来,全球转基因产业化应用迅猛发展,种植面积和作物种类逐年增加,经济效益与社会效益日益显著。分析了2022年全球转基因作物种植概况及主要转基因作物种植国家和地区的发展态势,2022年转基因作物种植面积约占总耕地面积的12%,同比增长3.3%,批准种植转基因作物的国家数量增至29个,批准转基因产品商业化应用的国家和地区已达71个。从转基因作物种植面积来看,转基因玉米和大豆占据主导地位,同时复合性状转基因作物的种植面积也在不断扩大。随着生物育种技术的迭代升级,转基因作物的应用范围和效果必将持续提高,转基因生物育种产业将成为农业生产和经济发展的新动能。

关键词:转基因技术;转基因作物;种植面积;产业化

doi:10.13304/j.nykjdb.2023.0756

中图分类号:Q78 文献标志码:A 文章编号:1008-0864(2023)12-0006-11

Global Genetically Modified Crop Industrialization Trends in 2022

LI Haohui^{1,2§}, LIU Caiyue^{2§}, ZHANG Haiwen², WANG Xujing²,
TANG Qiaoling^{2*}, WANG Youhua^{1,2*}

(1. Chinese Society of Agricultural Biotechnology, Beijing 100081, China; 2. Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Since the commercialization of genetically modified (GM) crops in 1996, their industrial applications have developed rapidly in worldwide with increasing planting area and crop types, which have significant economic and social benefits. This paper analyzed the global situation of GM crops cultivation in 2022, and the development trends of major countries and regions planting GM crops. In 2022, the planting area of GM crops accounted for about 12% of the total arable land area with an increase of 3.3%. The number of the countries approved to cultivate GM crops increased to 29, and 71 countries and regions approved the commercial application of GM products. Based on the planting area of GM crops, the GM corn and soybean were dominant, and the planting area of the GM crops with multiple traits was also constantly expanding. The industrial applications of GM crops will become new growth driver for agricultural production and economic development, and the applications and effects of GM crops will continuously increase with the iterative upgrading of bioengineering breeding technologies.

Key words: GM technology; GM crops; acreage; industrialization

农作物育种先后经历了驯化选择育种的1.0时代、杂交技术为代表的常规育种2.0时代、转基因技术为代表的生物技术育种3.0时代。随着转基因、基因编辑、合成生物、大数据、智能设计等前沿技术的深度融合,催生出“生物技术+信息技

术+人工智能”育种4.0时代,这将大幅度提升种质资源的利用率,为解决制约人类发展所面临的食物、环境、资源和健康等问题提供了重大机遇,已成为世界各国增强农业核心竞争力的重大战略^[1]。全球生物技术投入生产应用41年,转基因

收稿日期:2023-10-16; 接受日期:2023-11-13

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610392023010)。

联系方式:李浩辉和刘彩月为共同第一作者。李浩辉 E-mail:lihaohui@caas.cn; 刘彩月 E-mail:caiyueliu@163.com

*通信作者 唐巧玲 E-mail:tangqiaoling@caas.cn; 王友华 E-mail:wangyouhua@caas.cn

作物商业化27年,转基因作物种类和种植面积持续增加^[2]。全面了解全球转基因作物的发展现状,深入分析其发展态势有助于我国转基因产业化的有序开展。本文基于美国农业部、加拿大卫生研究院、澳大利亚药品管理局、国际农业市场信息公司 Agbioinvestor 等公布的全球转基因作物批准、种植、进出口数据,总结了全球转基因作物种植概况和转基因主要种植地区发展态势,以期为推动我国转基因作物产业发展提供理论支撑。

1 全球转基因作物种植概况

1.1 全球转基因作物种植面积增加

转基因作物自1996年首次商业化种植以来,

在全球范围经历了3个发展时期:1996—2002年为发展初期,种植面积从170万 hm^2 增长至5 610万 hm^2 ,标志着转基因作物开始商业化;随着一些国家和地区鼓励转基因作物种植以解决粮食安全问题,2003—2011年进入快速增长期,种植面积从6 600万 hm^2 增长到15 800万 hm^2 ;2012年至今,种植面积维持在16 000~20 020万 hm^2 之间,增长速度略有放缓,进入稳步增长时期。2022年全球转基因作物种植面积总计2.022亿 hm^2 ,约占全球总耕地面积的12%,较去年(1.96亿 hm^2)增长3.3%,创造了转基因作物大规模商业化种植以来的新纪录(图1)。截至2022年,全球累计种植面积超过26.67亿 hm^2 ,种植面积增加112倍,为全球种植户和消费者带来了显著效益。

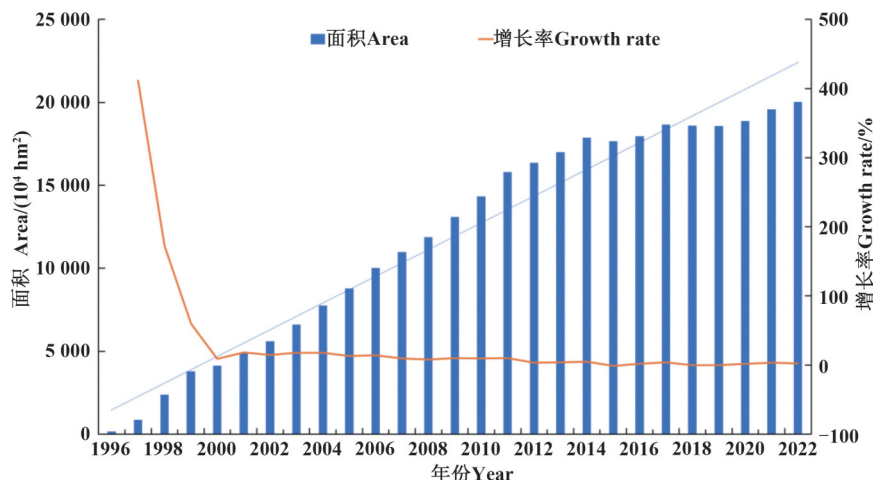


图1 1996—2022年全球转基因种植面积^[2]

Fig. 1 Global GM planting area from 1996 to 2022^[2]

1.2 各国和地区转基因作物种植面积变化

各国和地区的转基因作物总种植面积和转基因技术采用率总体上呈现逐年增加趋势(表1)。2022年,全球有29个国家和地区批准种植转基因作物,71个国家和地区批准转基因产品商业化应用^[2]。从种植面积变化来看,澳大利亚、越南、洪都拉斯和乌拉圭种植面积增速较快,分别达到74.6%、60.7%、36.8%和15.3%;种植面积降幅最大的国家是西班牙(30.0%),其次为巴基斯坦(10.0%)、菲律宾(5.2%)、中国(3.2%)和加拿大(3.0%)。

1.3 转基因玉米和大豆种植面积仍占主导地位

从表2可以看出,2022年,全球转基因大豆的种植面积达到9 890万 hm^2 ,占转基因作物总种植

面积的48.9%,较去年上升2.6%,是种植面积最大的转基因作物。其次为转基因玉米,种植面积达6 620万 hm^2 ,占比32.7%,较去年增加3.3%。棉花是第三大转基因作物,种植面积达2 540万 hm^2 ,占比12.6%,较去年增加7.9%。转基因茄子的种植面积为3万 hm^2 ,是增幅(80.9%)最大的转基因作物。转基因油菜、苜蓿与甘蔗的种植面积分别为990万、110万和10万 hm^2 ,同比下降0.7%、2.1%和16.6%。转基因甜菜的种植面积维持在50万 hm^2 ,转基因小麦的种植面积为10万 hm^2 。转基因棉花的普及率最高,占全球棉花种植面积的80.4%,其次是大豆(73.7%)、玉米(32.9%)和油菜(23.8%)。

表 1 2022 年不同国家转基因面积变化^[2]Table 1 Changes of GM areas in different countries in 2022^[2]

排名 Rank	国家 Country	转基因作物种植面积 Genetically modified planting area/(10 ⁴ hm ²)	年际变化 Change from year to year/%	占比 Percentage/%
1	美国 America	7 470	-1.0	36.9
2	巴西 Brazil	6 320	10.4	31.3
3	阿根廷 Argentina	2 350	0.4	11.6
4	印度 India	1 240	4.8	6.1
5	加拿大 Canada	1 130	-3.0	5.6
6	巴拉圭 Paraguay	370	8.4	1.9
7	南非 South Africa	320	8.8	1.6
8	中国 China	290	-3.2	1.4
9	巴基斯坦 Pakistan	170	-10.0	0.8
10	澳大利亚 Australia	150	74.6	0.7
	其他国家 Other countries	420	2.6	2.1
	总计 Total	20 220	3.3	100.0

表 2 2022 年不同作物转基因种植面积及其占比^[2]Table 2 Planting area and its percentage of GM crops in 2022^[2]

物种 Species	转基因作物种植面积 Genetically modified planting area/(10 ⁴ hm ²)	总种植面积 Total planting area/(10 ⁴ hm ²)	占比 Percentage/%
棉花 Cotton	2 540	3 160	80.4
大豆 Soybean	9 890	13 420	73.7
玉米 Maize	6 620	20 120	32.9
油菜 Canola	990	4 160	23.8
甜菜 Sugarbeet	50	440	11.4
苜蓿 Alfalfa	110	3 500	3.1
茄子 Brinjal	3	200	1.5
甘蔗 Sugarcane	10	2 630	0.4
小麦 Wheat	10	22 060	0.1
水稻 Rice	2	16 510	0.0
总计 Total	20 220	86 200	23.5

1.4 耐除草剂、抗虫及其复合性状转基因作物种植面积增大

近年来,具有耐除草剂(herbicide-tolerance, HT)、抗虫性状(Bt)的转基因作物得到广泛应用。据美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)统计,其种植的转基因作物主要性状为 HT、Bt 及二者的复合性状。自 2014 年以来,美国 HT 大豆种植比例稳定在 94% 左右,2021—2022 年,HT 大豆种植面积增加 1%;2021 年 HT 棉花种植面积占比高达 94%,2022 年

Bt 棉花占比约 89%,有所下降;2022 年 HT 玉米约占 90%,Bt 玉米攀升至 84%。这 2 种性状的种植比例远高于抗病毒和抗真菌性状、抗逆性状以及高蛋白质、油或维生素含量等品质改良性状。复合性状由于同时具有耐除草剂、抗虫等优点,生产成本更低,受到广大农民青睐,因而得到迅速推广。从全球来看,2019 年 HT、Bt 及其复合性状的转基因作物种植面积占比分别为 43%、12% 和 45%,而 2005 年三者的占比分别为 71%、18% 和 11%。从区域角度来看,2000 年复合性状作物品

种仅占美国玉米面积的1%,但到2022年这一比例已上升至81%。2023年,美国转基因三大作物(棉花、大豆、玉米)普及率达95%以上,未来复合性状转基因作物将占据市场的主导地位^[3-4]。

2 全球转基因主要种植地区发展态势

全球转基因市场不断外延,美国、巴西、阿根廷的转基因技术在几种主要作物中的应用已基本饱和,后续主要在性状改良和结构优化方面寻求发展。美国等国家的种业公司一方面在本地推广种植新型转基因作物,另一方面在国际市场积极推广产品技术,拓展种植面积,以期持续获得利润增长点。

2.1 北美地区转基因作物种植布局得到优化

2022年,北美地区重点优化转基因作物种植布局,产品类型更为多元,总种植面积为8 600万hm²,相较于2021年略减1.3%,主要农作物转基因技术采用率保持在90%以上^[2]。

2.1.1 美国转基因作物种植面积位居全球第一
2022年,美国转基因作物种植面积为7 470万hm²,占全球转基因作物种植面积的36.9%,同比下降1%。除苜蓿外,所有转基因作物采用率均超过90%,其中,转基因大豆和棉花的种植面积均占95%,转基因玉米的种植面积占比为93%^[5]。此外,美国是转基因玉米种植面积最大的国家,达到3 330万hm²,约占全球转基因玉米种植面积的50.4%。美国转基因大豆的种植面积仅次于巴西,达3 360万hm²,约占全球总面积的34.0%。其中,复合性状转基因玉米的种植面积增至81%,复合性状转基因棉花的种植面积也在逐年增长,已从20%(2000年)上升至86%^[2]。

2.1.2 加拿大的转基因油菜种植面积最大
2022年,加拿大转基因作物种植面积为1 130万hm²,较2021年下降3.0%。受天气影响,转基因油菜的种植面积为820万hm²,较上年下降4.7%,但加拿大仍是全球转基因油菜种植面积最大的国家,远超美国和澳大利亚^[2]。

2.2 中美洲和南美洲地区转基因作物种植面积逐步扩大

2022年,中美洲与南美洲在巴西转基因作物种植面积大幅增加的推动下,同比增加7.4%(面

积为9 330万hm²),目前巴西转基因作物面积约占该区域的68%,阿根廷转基因作物种植面积仅次于巴西,约占25.2%,该区域的转基因大豆占转基因作物总种植面积的67.2%^[2]。

2.2.1 巴西转基因作物种植面积位居全球第二
由于转基因作物利用率的提高,巴西转基因作物种植面积增加10.4%,达到6 320万hm²,占全球转基因作物种植面积的31.3%,成为全球仅次于美国的第二大转基因种植国。转基因大豆种植面积达4 110万hm²,较去年增长6.2%,占本国大豆种植面积的90%以上,位居世界第一。转基因玉米利用率也大幅提高,由去年的88%增至95%。转基因棉花利用率达99%,种植面积创历史新高,达到160万hm²,同比增长28.4%^[2]。此外,巴西是复合性状转基因大豆的最大采用国^[6],该国种植的转基因玉米与棉花也多为复合性状品种。

2.2.2 阿根廷转基因作物种植面积位居全球第三
由于转基因棉花种植面积的扩大与转基因小麦品种的引进,2022年阿根廷转基因作物种植面积达2 350万hm²,同比增长0.4%,位居全球第三。转基因玉米种植面积增加11.0%,达到710万hm²,成为世界第三大转基因玉米种植地区。而大豆作为阿根廷的主要转基因作物,种植面积为1 590万hm²,较去年下降4.4%^[2]。阿根廷还是首个推广种植转基因小麦HB4(兼具抗草甘膦与耐旱性状)的国家,种植面积为5.3万hm²,占该国小麦总面积的0.8%^[7]。

2.3 亚太地区转基因作物总面积增长空间较大

亚太地区转基因作物的种植面积仅为1 940万hm²,相较于美洲还有较大的发展增长空间^[2]。印度转基因作物种植面积占该地区的63.6%,其中转基因棉花的占比达到91%以上^[2]。

2.3.1 印度转基因作物种植面积位居全球第四
2022年,印度转基因作物种植面积达到1 240万hm²,同比增加4.8%,位居全球第四。此外,印度是种植转基因棉花面积最大的国家,Bt棉花种植达80%,而耐除草剂或其他复合性状的品种尚未实现商业化种植^[8]。

2.3.2 中国是亚洲转基因棉花种植第二大国
2022年,中国转基因作物种植面积为290万hm²,同比下降3.2%^[2]。自1998年第一批转基因棉花品种商业化以来,采用率一度超过全国棉花总面

积的90%,成为亚洲第二大转基因棉花种植区^[9]。据农业农村部相关负责人表示,2021年国家启动转基因玉米大豆产业化试点工作,在科研试验田开展种植,2022年扩展到内蒙古、云南的农户大田,转基因玉米大豆抗虫耐除草剂性状表现突出,对草地贪夜蛾等鳞翅目害虫的防治效果在90%以上,除草效果在95%以上。

2.3.3 菲律宾转基因作物种植情况 2022年,由于菲律宾转基因玉米品种利用率下降,转基因作物种植面积下降5.2%,但该国是世界上第一个商业化种植转基因水稻(黄金大米)的国家。该品种由国际水稻研究所(International Rice Research Institute, IRRI)研发,通过表达 *crt1* 与 *psy1* 基因增加了 β -胡萝卜素的(维生素A的前体物质)含量,首年推广面积为3.8万hm²。2022年,转基因茄子在菲律宾首次获批,但尚未开展商业化种植^[10]。

2.4 其他地区转基因作物种植情况

西澳大利亚州目前是澳大利亚转基因油菜种植面积最大的州,占比超过70%。自2014年以来,棉花种植面积中转基因棉花占比近99.9%^[2],主要品种为拜耳公司研发的Bollgard 3 XtendFlex,其次是Roundup Ready与Liberty Link^[11]。

3 2022年不同国家和地区新批准的转基因生物性状

全球批准的转基因生物性状以抗虫、抗除草剂以及兼具这2种性状或多性状为主。如具有耐草铵膦、耐草甘膦、耐抗生素、耐麦草畏与抗鳞翅目害虫的转基因玉米MON87427×MON89034×MON810×MIR162×MON87411×MON87419在澳大利亚、新西兰、韩国、日本、加拿大批准用于食品与饲料,在日本、加拿大批准种植。兼具耐草铵膦与抗旱特性的转基因小麦MON87769在欧盟、韩国、日本、美国、加拿大批准用于食品与饲料,在日本、美国、加拿大批准种植。

3.1 美国新批准的转基因生物性状

美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)(<https://www.fda.gov/>)批准了基因编辑肉牛PRLR-SLICK用于食品,转基因油菜NS-B5ØØ27-4与LBFLFK、转基因大豆GMB151、转基因小麦HB4、转基因玉米MON87429、转基因玉米DP23211、转基因油菜MON94100用于食品和饲料。此外,批准首个基于细胞的基因疗法产品Zynteglo及首个使用动物细胞培养技术制造的人类食品(表3)。

表3 2022年美国新批准的转基因生物性状

Table 3 Newly approved GM biological traits in America in 2022

名称 Name	研发单位 R & D unit	物种 Species	获得性状 Gain trait
PRLR-SLICK	Acceligen	肉牛 Beef	可生出极短光滑的毛发以抵御高温 Grow extremely short, smooth hair to withstand the heat
NS-B5ØØ27-4	Nuseed Americas Inc.	油菜 Canola	耐草铵膦、产生 Ω -3长链脂肪酸 Tolerant to glufosinate ammonium and produce Ω -3 long chain fatty acids
LBFLFK	BASF	油菜 Canola	耐咪唑啉酮类除草剂、产生 Ω -3长链脂肪酸 Resistant to imidazolinone herbicides and production of ω -3 long chain fatty acids
GMB 151	BASF	大豆 Soybean	抗大豆胞囊线虫、耐HPPD-4除草剂 Resistant to soybean cyst nematode and HPPD-4 herbicide
HB4	Bioceres	小麦 Wheat	抗旱、耐草铵膦 Resistant to drought and glufosinate ammonium
MON 87429	Bayer	玉米 Maize	耐麦草畏、草铵膦、草甘膦、FOPs、2,4-D、雄性不育 Resistant to wheatgrass dichlorvos, glufosinate ammonium, glyphosate, FOPs and 2,4-D, male sterility
DP23211	AMVAC	玉米 Maize	耐草铵膦、抗玉米根虫 Tolerant to oxalophosphorus and resistant to corn root worm
MON 94100	BAYER	油菜 Canola	耐麦草畏 Tolerant to wheat grass
Zynteglo	Bluebird bio		产生功能性 β 珠蛋白 Produce functional beta-globin

3.2 欧盟新批准的转基因生物性状

欧洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) (<https://www.efsa.europa.eu/en/publications>) 授权了 6 项转基因作物用于食用、饲用、进口和加工, 包括转基因玉米 DP4114×MON810×MIR604×NK603 及其子组合、转基因玉米 MON89034×1507×MIR162×NK603×DAS-40278-9 及其子组合、转基因玉米 DP4114×MON89034×MON87411×DAS-40278-9 及其子组合、转基因玉米 MON95379、转基因油菜 MON94100、转基因玉米 MON87429, 授权转基因油菜 GT73 中提取的菜籽

蛋白用于食品 (EFSA-GMO-RX-026/2) (表 4)。

欧盟委员会 (European Union, EU) (<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=en>) 批准了转基因大豆 GMB151、转基因油菜 73496、转基因棉花 GHB811、转基因棉花 GHB614 等用于食品和饲料, 并续授权转基因棉花 GHB614、转基因玉米 MIR162、转基因油菜 GT73、转基因棉花 281-24-236×3006-210-23、转基因大豆 MON87701、转基因大豆 MON87701×MON89788 与转基因大豆 40-3-2 用于食品和饲料 (表 4)。

表 4 2022 年欧盟新批准及续授权的转基因作物与产品

Table 4 GM crops and products approved and renewed in Europe Union in 2022

名称 Name	研发单位 R & D unit	物种 Species	获得性状 Gain trait
GMB151	BASF	大豆 Soybean	抗大豆胞囊线虫、耐 HPPD-4 除草剂 Resistant to soybean cyst nematode and HPPD-4 herbicide
73496	Corteva	油菜 Canola	耐草甘膦 Tolerant to glyphosate
GHB811	BASF	棉花 Cotton	耐草甘膦与异恶唑草酮 Resistant to glyphosate and oxazalone-resistant
GHB614	BASF	棉花 Cotton	耐草甘膦 Tolerant to glyphosate
NK603×T25×DAS-40278-9	AMVAC	玉米 Maize	耐草甘膦 Tolerant to glyphosate
MON87769×MON89788	Monsanto	大豆 Soybean	耐草甘膦、产生硬脂酸 Resistant to glyphosate and produce stearic acid
DP4114×MON810×MIR604×NK603	AMVAC	玉米 Maize	耐草铵膦、耐草甘膦、耐抗生素、抗虫、促进甘露糖代谢 Tolerant to glufosinate ammonium, glyphosate, antibiotics, insects and mannose

3.3 菲律宾新批准的转基因生物性状

菲律宾农业部 (Department of Agriculture, DA) (<https://www.da.gov.ph/>) 批准了 7 种用于食品、饲料和加工的转基因作物, 包括 3 种转基因玉米 MON87460、MON95379 和 MON87427×MON89034×MON810×MIR162×MON87411×MON87419, 1 种转基因大豆 MON87769, 1 种转基因甜菜 H7-1, 2 种转基因棉花 MON88913 和 MON15985 × MON1445。另外, 菲律宾农业部植物工业局 (Bureau of Plant Industry, BPI) 批准了 1 种转基因茄子 EE-1 用于商业化种植, 并在孟加拉国用于食品和种植 (表 5)^[12]。

3.4 日本、韩国新批准的转基因生物性状

日本厚生省 (Ministry of Health, Labour, and Welfare, MHLW) (<https://www.mhlw.go.jp/index.html>) 通过了多项转基因作物的食品安全审查, 包括转基因玉米 MON95379、转基因玉米 DP202216、转基因油菜 MON94100、转基因油菜 RF3、转基因大豆 GMB151^[18]。其中, 转基因玉米 DP202216 被日本农林水产省 (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, MAFF) (<https://www.maff.go.jp/>) 批准用于种植 (表 5)。

韩国食品药品安全部 (Ministry of Health, Labour, and Welfare, MFDS) (<https://www.mfds.go.kr>) 公布的转基因安全性审查委员会审查结

表 5 2022 年菲律宾新批准的转基因作物

Table 5 New approved GM crops in Philippines in 2022

名称 Name	研发单位 R & D unit	物种 Species	获得性状 Gain trait
MON95379	Monsanto	玉米 Maize	抗鳞翅目害虫 Resistant to Lepidoptera pests
MON87460	Monsanto	玉米 Maize	抗旱、耐抗生素 Resistant to drought and antibiotics
MON 87427×MON 89034×MON 810× MIR 162×MON 87411×MON 87419	Monsanto	玉米 Maize	耐草铵膦、耐草甘膦、耐抗生素、耐麦草畏、抗鳞翅目害虫 Resistant to glufosinate ammonium, glyphosate, antibiotic, wheat straw, and lepidopteran pests
MON87769	Monsanto	大豆 Soybean	耐草甘膦、产生硬脂酸 Resistant to glyphosate and producing stearic acid
H7-1	Monsanto	甜菜 Sugarbeet	耐草甘膦 Tolerant to glyphosate
MON88913	Monsanto	棉花 Cotton	耐草甘膦 Tolerant to glyphosate
MON15985×MON1445	Monsanto	棉花 Cotton	耐草甘膦、抗虫、耐抗生素 Resistant to glyphosate, insects and antibiotics
EE-1	UPLB-IPB, Mahyco, cornell university (ny)	茄子 Brinjal	抗鳞翅目昆虫、耐抗生素 Resistant to Lepidoptera insects and antibiotics

果表明,转基因玉米(MON87460、MON95379、DP-202216-6、MON87429、TC1507、3272×Bt11×MIR162×MIR604×TC1507×5307×GA21、NK603)转基因棉花(GHB811×LLCotton25×MON88701、T304-40×GHB119×COT102、T304-40×GHB119、MON88702×MON15985×COT102×MON88701×MON8)、转基因玉米转基因油菜 MON94100 和转基因大豆 GMB151 均通过安全评估(表6)。

表 6 2022 年日本新批准的转基因作物

Table 6 Newly approved GM crops in Japan in 2022

名称 Name	研发单位 R & D unit	物种 Species	获得性状 Gain trait
MON95379	Monsanto	玉米 Maize	抗鳞翅目害虫 Resistant to Lepidoptera pests
MON94100	BAYER	油菜 Rape	耐麦草畏 Resistant to chlorpyrifos
RF3	BASF	油菜 Rape	耐草铵膦、育性恢复 Resistant to glufosinate ammonium and fertility restoration
DP202216	AMVAC	玉米 Maize	耐草铵膦、提高产量 Resistant to glufosinate ammonium and increased yield
GMB151	BASF	大豆 Soybean	耐 HPPD 抑制剂类除草剂、抗虫 HPPD resistant herbicides, insect resistant

3.5 其他地区新批准的转基因生物性状

澳新食品标准局 (Food Standards Australia New Zealand, FSANZ) (<https://www.foodstandards.gov.au/Pages/default.aspx>) 批准转基因玉米 MON95379 与转基因小麦 IND-00412-7 (Trigall Genetics 研发,耐草铵膦、抗旱)用于食品。另外,授权 1 项转基因印度芥菜(巴斯夫研发,耐草铵膦、育性恢复)用于商业化种植,同时也可用于人类食品和动物饲料。澳大利亚卫生部基因技术监管办公室 (<https://www.ogtr.gov.au/>) 向 Medpace Australia Pty 颁发 DIR192 许可证,授权 1 项转基因嵌合正痘病毒(CF33-hNIS)用于治疗癌症的临床试验。

加拿大卫生部 (Health Canada) (<https://www.canada.ca/en/health-canada.html>) 和食品检验局 (CFIA) (<https://inspection.canada.ca/eng/1297964599443/1297965645317>) 批准了转基因玉米 DP915635 (抗玉米根虫、耐草铵膦)用于食品、饲料和种植。加拿大卫生部批准了转基因甘蔗

CTC75064-3(抗甘蔗蛀虫)用于食品。

土耳其农业和林业部 (Ministry of Agriculture and Forest, MinAF) (<http://www.tarimorman.gov.tr>) 批准了 7 种转基因作物用于饲料,包括转基因大豆 (SYN-ØØØ H2-5、MON87751、DAS-81419-2)、转基因玉米 (DP- ØØ4114-3、MON87411、MZIR098、NK603×MON810),取消了 6 种到期的转基因玉米 (Bt11×GA21、DAS1507×59122、59122×NK603、MON863×MON810、MON863×NK603、MON810) 和 1 种转基因大豆 (MON87701×MON89788),还批准了转基因米曲霉 (*Aspergillus oryzae*) 生产的蛋白酶、植酸酶用于工业 (表 7)。

英国环境、食品和农村事务部 (Department of Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA) (<http://www.defra.gov.uk/>) 批准了英国牛津疫苗集团 (Oxford Vaccine Group) 进行 1 项转基因疫苗临床试验,其成分源于转基因副伤寒沙门氏菌 (*S. paratyphi*) A 菌株,该疫苗可用来抵御伤寒。

表 7 2022 年土耳其新批准的转基因作物
Table 7 Newly approved GM crops in Turkey in 2022

名称 Name	研发单位 R & D unit	物种 Species	获得性状 Gain trait
SYN-ØØØ H2-5	BASF	大豆 Soybean	耐草铵膦、耐甲基磺草酮 Resistant to glufosinate ammonium and methanesulfone
DP- ØØ4114-3	AMVAC	玉米 Maize	耐草铵膦、抗鳞翅目与鞘翅目昆虫 Resistant to glufosinate ammonium, Lepidoptera and Coleoptera insects
MON87751	Monsanto	大豆 Soybean	抗虫 Insect resistance
DAS-81419-2	DOW	大豆 Soybean	抗虫、耐草铵膦 Resistant to insect resistant and glufosinate ammonium
MON87411	Monsanto	玉米 Maize	耐草甘膦、抗虫 Resistant to glyphosate resistant and insect
MZIR098	Syngenta	玉米 Maize	耐草铵膦、抗虫 Resistant to glufosinate ammonium resistant and insect
NK603 × MON810	Monsanto	玉米 Maize	耐草甘膦、抗虫 Resistant to glyphosate resistant and insect

4 2022 年不同国家和地区政策动态

转基因作物的开发、推广和监管是全球性的问题,需要各个国家和地区政策支持^[13]。2022 年,为促进转基因技术的发展与应用,各国和地

区调整了相应的产业政策。通过国外转基因相关法规的比较分析发现,美国、欧盟、加拿大、澳大利亚等主要国家和地区的转基因相关法规相对成熟^[14]。

4.1 美国政策动态

美国作为全球最大的转基因作物种植国,其转基因作物产业政策主要体现在以下几个方面:一是鼓励创新,美国政府支持转基因作物研发,为研究者提供资金支持和优惠政策;二是商业化推广,美国政府为转基因作物的商业化种植提供便利,简化审批流程,降低合规成本;三是保障消费者权益,美国政府要求转基因产品在上市前必须进行严格的安全性评估,确保产品安全可靠^[14-15]。

为简化对基因工程技术植物的监管审查,美国农业部动植物卫生检验局(Animal and Plant Health Inspection Service, APHIS)修订了监管状态审查指南,研发人员不再需要提供足够的信息来解除对该生物体的管制,而是可以申请许可证或进行监管状态审查(Regulatory Status Review, RSR),若研发人员认为该植物可不受监管,则提交监管状态审查请求,如果 APHIS 认为该植物不太可能增加植物病虫害风险,则将解除其管制,并公布符合解除管制条件的植物性状组合^[15-16]。

4.2 欧盟政策动态

欧盟对转基因作物的审批程序相对复杂、审批时间较长、审批标准严格,其转基因育种法规主要包括欧盟委员会制定的“2001/18/EC 指令”和“1829/2003/EC 条例”。转基因作物产业政策主要包括限制推广和严格监管,普遍禁止或限制商业化种植,仅允许部分实验性种植,并对转基因作物的研发、生产和销售进行严格监管,确保产品的安全可靠。欧洲不同利益相关群体对基因组编辑作物的实施、有用性和安全性存在分歧,这也决定了这些他们在基因组编辑作物监管辩论中的立场^[17-18]。

4.3 巴西政策动态

巴西是全球第二大转基因作物种植国,其种植面积占据全球总面积的近 1/4。巴西政府对转基因作物产业制定了一系列鼓励创新与商业化推广的政策。首先是转基因作物研发提供资金支持和税收优惠政策,加深转基因作物研发、加速其商业化进程。其次是简化审批流程,降低合规成本,为转基因作物商业化种植提供了便利。同时,政府还提供了相关培训与技术支持,帮助农民掌握种植和管理转基因作物的技术^[19]。

4.4 加拿大政策动态

加拿大的转基因育种法规主要由 Health Canada 和加拿大食品检测局(The Creation of the Canadian Food Inspection Agency, CFIA)(合称 HC)负责。加拿大的转基因作物与食品审批主要基于安全性评估和环境影响评估,其审批程序相对简单、用时较短^[20]。为满足新型食品法规要求,维护加拿大食品供应的健康与安全,HC 修订了《新型食品法规指南》,并增加了 2 项新指南。其中,植物育种食品指南使植物来源的新型食品(包括使用基因编辑技术开发的食品)监管更加清晰透明,为其商业化提供了有效途径,使用相同或不同的修饰方法对植物进行同一遗传修饰且具有相同特性的食品可进行快速安全评估^[21]。

4.5 日本、韩国政策动态

日本是转基因作物的主要进口国和消费国,但国内生产仍然极为有限。目前,日本监管机构已经制定了基因编辑食品和农产品的管理框架,并批准 3 项基因编辑产品(番茄、鲷鱼和河豚)在国内生产销售。日本消费者厅(Consumer Affairs Agency, CAA)(<https://www.caa.go.jp/>)公布了《食品标识标准》修订内容,强调未将转基因与非转基因原料分开控制的加工食品要注明未分开以及“非转基因”标识的使用范围,并说明高油酸性状的特定转基因农产品不需强制标识,而转基因芥菜(RF3)需要强制标识。

韩国正在修订关于新兴生物技术产品(主要是基因编辑产品)的监管法规,同时宣布从 2026 年开始,所有含有生物技术成分的产品都必须强制标识。

4.6 其他国家和地区政策动态

澳大利亚联邦政府支持生物技术发展,其转基因育种法规主要由澳大利亚生物技术管理局(Office of Gene Technology and Regular, OGTR)(<https://www.ogtr.gov.au/>)负责。

菲律宾对生物技术及产品的进口、使用与环境释放相关的生物技术法规与基因工程植物法规进行修订,以适用于新兴生物技术的监管^[12]。

英国 DEFRA 下属机构环境释放咨询委员会(Advisory Committee on Releases to the Environment, ACRE)发布了关于使用基因技术进行合格高植物研究试验的指南,便于研发人员了解合格高

等植物(qualifying higher plants, QHP)的范围。为简化基因技术(尤其是基因编辑技术)的行政程序,支持新兴技术的发展,DEFRA 提出了基因技术(精准育种)法案,表示政府正在采取循序渐进的方法,首先在植物领域制定立法,但在保障动物福利的监管体系建立之前,暂时不会改变转基因法规下的动物监管政策。

4.7 中国政策动态

我国于2022年1月21日起相继施行《农业转基因生物安全评价管理办法》《主要农作物品种审定办法》《农作物种子生产经营许可管理办法》《农业植物品种命名规定》4项修订法规,3月1日起施行《中华人民共和国种子法》,3月25日发布实施《转基因耐除草剂作物用除草剂登记试验和登记资料要求》,6月8日发布实施《国家级转基因玉米品种审定标准》和《国家级转基因大豆品种审定标准》,这些法规推进了转基因作物的商业化进程。根据农业农村部发布的《2022年农业转基因生物安全证书(生产应用)批准清单》,共有26个转基因玉米与5个转基因大豆品种获得转基因生物安全证书^[22-25]。

5 展望

自20世纪以来,作物育种技术的发展推动了粮食高效生产系统的完善^[26]。基因编辑等突破性技术加快了农业生物技术时代的更迭,作物品种的选育向着提高产量、改良品质与减少环境影响的方向发展^[27]。转基因作物对生物及非生物胁迫耐受性的提高,能有效增加产量和提高收益,对于全球粮食安全起着积极的作用^[28-30]。

转基因技术是农业领域发展最快、应用最广的高新技术之一,其发展趋势将呈现以下特点:一是转基因产品将愈发多样化,随着组学技术应用、生物数据积累及遗传转化技术改良,转基因作物的种类和性状将呈现多元化趋势;二是转基因相关技术将持续创新,如定向碱基替换、基因编辑系统更迭以及转基因技术与基因编辑技术叠加使用等;三是政策法规进一步完善,全球对转基因作物产业化应用的关注度逐渐提升,各国政府将进一步完善相关法律法规,以确保转基因作物产业化应用的安全性与可持续性;四是转基因产品的市场竞争将会加剧,各大转基因公司将加大研发投

入,推出更具竞争力的转基因作物产品,以抢占市场份额;五是转基因作物带来的经济效益将会提升,随着转基因作物的广泛应用,其在提高农作物产量、减少农药和化肥使用、降低生产成本等方面的优势进一步显现,从而为农民与消费者带来更高的经济效益;六是全球范围内转基因领域的跨国合作进一步加强,以实现资源共享、技术互补,共同应对全球农业面临的挑战。

展望未来,转基因育种产业仍将是农业生产 and 经济发展的重要领域,随着转基因育种技术的不断改良,其应用范围和效果也将逐步提高。同时,政府和社会组织也将加强对转基因育种技术的监管和管理,以确保其安全性与可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 于文静. 重科学严监管,打好种业翻身仗——权威专家谈推进生物育种产业化应用[EB/OL]. (2021-12-13) [2023-11-14]. http://m.news.cn/2021-12/23/c_1128194513.htm.
- [2] AgbioInvestor. Global GM Crop Area Review [EB/OL]. [2023-11-14]. <https://gm.agbioinvestor.com>.
- [3] 谢芝优. 农业专业报告:美国转基因作物商业化的启示[R]. 中国银河证券股份有限公司, 2021.
- [4] 世界农化网. 2023年,美国转基因三大作物棉花、大豆、玉米普及率达95%以上[EB/OL]. (2023-10-12) [2023-11-14]. <https://cn.agropages.com/News/NewsDetail---29704.htm>.
- [5] USDA, National Agricultural Statistics Service. Acreage [R/OL]. (2022-06-30) [2023-11-14]. https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/acrg0622.pdf.
- [6] Brazil boasts world's second largest genetically modified crop area: ISAAA | Reuters [EB/OL]. (2018-06-27) [2023-11-14]. <https://www.reuters.com/article/us-brazil>.
- [7] The Breakthrough Institute. The World's First Genetically Engineered Wheat Is Here [EB/OL]. (2022-04-04) [2023-11-14]. <https://thebreakthrough.org/issues/food-agriculture-environment/the-worlds-first-genetically-engineered-wheat-is-here>.
- [8] Outreach Research. Genetically modified cotton: How has it changed India? [EB/OL]. (2021-01-25) [2023-11-14]. <https://researchoutreach.org/articles/genetically-modified-cotton-how-changed-india>.
- [9] 马雄风,毛树春,王宁. 棉花种业的昨天、今天和明天[EB/OL]. (2021-05-21) [2023-11-14]. http://www.zys.moa.gov.cn/mhsh/202105/t20210521_6368193.htm.
- [10] International Rice Research Institute. Golden Rice FAQs [EB/OL]. (2023-05) [2023-11-14]. <https://www.iri.org/golden-rice-faqs>.
- [11] Crop Science Bayer. Liberty Link® Cotton and Liberty® 200 Herbicide [EB/OL]. (2023-05) [2023-11-14]. <https://resources.bayer.com.au/resources/uploads/brochure/file7665.pdf>.
- [12] Foreign Agricultural Service. Philippines: Agricultural Biotechnology Annual [EB/OL]. (2022-11-14) [2023-11-14]. <https://www.fas.usda.gov/data/philippines-agricultural-biotechnology->

- annual-7.
- [13] TURNBULL C, LILLEMO M, HVOSLEF-EIDE T A K. Global regulation of genetically modified crops amid the gene edited crop boom — a review [J/OL]. *Front Plant Sci.*, 2021, 12: 630396 [2023-11-14]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630396>.
- [14] MUSTAPA M A C, BATCHA M F N, AMIN LN., *et al.* Farmers' attitudes towards GM crops and their predictors [J]. *J. Sci. Food Agric.*, 2021, 101 (13): 5457 – 5468.
- [15] 农业专业报告:美国转基因作物商业化的启示 [EB/OL]. (2021-09-30)[2023-11-14]. <https://new.qq.com/rain/a/20210930A07SWI00>.
- [16] USDA. National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative [EB/OL]. (2023-10-21) [2023-11-14]. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/bioeconomy-fact-sheet.pdf>.
- [17] EGE, Ethics of Genome Editing, European Group on Ethics in Science and New Technologies [EB/OL]. (2019-06-21) [2023-11-14]. <https://op.europa.eu/et/publication-detail/-/publication/95f4d165-5d57-11ec-9c6c-01aa75ed71a1/language-en>.
- [18] parliamentEuropean. Genome-edited crops and 21st century food system challenges [EB/OL]. (2023-05) [2023-11-14]. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/690194/EPRS_IDA\(2022\)690194_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/690194/EPRS_IDA(2022)690194_EN.pdf).
- [19] 巴西成为全球种植转基因作物的第二大国家[J]. *种业导刊*, 2010(5):49.
- [20] 王灿. 第二代转基因土豆在加拿大获批商业化种植,能抗寒抗土豆瘟疫[N/OL]. *澎湃新闻*, [2017-08-04]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_1752678.
- [21] Canada.ca. Response to concerns about Novel Food Regulations, products of plant breeding guidance [EB/OL]. (2022-05-18) [2023-11-14]. [https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/legislation-guidelines/guidance-documents/guidelines-safety-assessment-novel-foods-derived-plants-microorganisms/](https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/legislation-guidelines/guidance-documents/guidelines-safety-assessment-novel-foods-derived-plants-microorganisms/response-concerns.html)
- [response-concerns.html](https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/legislation-guidelines/guidance-documents/guidelines-safety-assessment-novel-foods-derived-plants-microorganisms/response-concerns.html).
- [22] 中华人民共和国农业农村部令 2022 年第 2 号 [EB/OL]. (2022-06-14) [2023-11-14]. http://www.gsjn.gov.cn/zfxgk/xzxxgk/sgx/fdzdgknr/snzc/art/2022/art_21d8b96cfa6d461989021f55c4e95ea8.html.
- [23] 中华人民共和国种子法(2022年3月1日起施行)全文 [EB/OL]. (2022-03-01) [2023-11-14]. <https://www.chinaseedqks.cn/zgzy/news/view/20220425105730001>.
- [24] 陈君君. 国家级转基因大豆玉米品种审定标准印发 [EB/OL]. *第一财经*, 2022-06-08. <https://www.yicai.com/news/101437632.html>.
- [25] 2022 年农业转基因生物安全证书(生产应用)批准清单(二) [EB/OL]. [2023-11-14]. <https://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/spxx/202301/P020230113566699966911.pdf>.
- [26] SMYTH S J. Contributions of genome editing technologies towards improved nutrition, environmental sustainability and poverty reduction [J/OL]. *Front Genome Ed.*, 2022, 4: 863193 [2023-11-14]. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2022.863193>.
- [27] TEIPATHI L, DHUGGA K S, NTUI V O, *et al.* Genome editing for sustainable agriculture in Africa[J/OL]. *Front Genome Ed.*, 2022, 4: 876697 [2023-11-14]. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2022.876697>.
- [28] EVANEGA S, CONROW J, ADAMS J, *et al.* The state of the 'GMO' debate - toward an increasingly favorable and less polarized media conversation on ag-biotech? [J]. *GM Crops Food*, 2022, 13 (1):38-49.
- [29] RAMAN R. The impact of genetically modified (GM) crops in modern agriculture: a review [J]. *GM Crops Food*, 2017, 8 (4): 195-208.
- [30] OLIVER M J. Why we need GMO crops in agriculture [J]. *Mo. Med.*, 2014, 111 (6): 492-507.

(责任编辑:温小杰)