

- (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Genetic Resources and Crop Evolution, 2011, 58 (5): 727–739
- [27] Jarvis D E, Kopp O R, Jellen E N, Mallory M A, Pattee J, Bonifacio A, Coleman C E, Stevens M R, Fairbanks D J, Maughan P J. Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Genetics, 2008, 87 (1): 39–51
- [28] Raney J D, Reynolds D J, Elzinga D B, Page J, Udall J A, Jellen E A, Bonifacio A, Fairbanks D J, Maughan P J. Transcriptome analysis of drought induced stress in *Chenopodium quinoa*. American Journal of Plant Sciences, 2014, 5 (3): 338–357
- [29] Yasui Y, Hirakawa H, Oikawa T, Toyoshima M, Matsuzaki C, Ueno M, Mizuno N, Nagatoshi Y, Imamura T, Miyago M, Tanaka K, Mise K, Tanaka T, Mizukoshi H, Mori M, Fujita Y. Draft genome sequence of an inbred line of *Chenopodium quinoa*, an allotetraploid crop with great environmental adaptability and outstanding nutritional properties. DNA Research, 2016, 23 (6): 535–546
- [30] Jarvis D E, Ho Y S, Lightfoot D J, Schmöckel S M, Li B, Borm T J, Ohyanagi H, Mineta K, Michell C T, Saber N, Kharbatia N M, Rupper R R, Sharp A R, Dally N, Boughton B A, Woo Y H, Gao G, Schijlen E G, Guo X, Momin A A, Negrão S, Al-Babili S, Gehring C, Roessner U, Jung C, Murphy K, Arold S T, Gojorbori T, Linden C G, van Loo E N, Jellen E N, Maughan P J, Tester M. The genome of *Chenopodium quinoa*. Nature, 2017, 542: 307–312
- [31] Zou C S, Chen A J, Xiao L H, Heike M M, Peter A, Georg H, Zhang M L, Jia W, Deng P, Huang R, Daniel L, Li F, Zhan D L, Wu X Y, Zhang H, Jennifer B, Liu R Y, Sergey S, Rainer H, Zhu J K, Zhang H. A high-quality genome assembly of quinoa provides insights into the molecular basis of salt bladder-based salinity tolerance and the exceptional nutritional value. Cell Research, 2017, 27 (11): 1327–1340
- [32] Zhang T F, Gu M F, Liu Y H, Lv Y D, Zhou L, Lu H Y, Liang S Q, Bao H B, Zhao H. Development of novel InDel markers and genetic diversity in *Chenopodium quinoa* through whole-genome re-sequencing. BMC Genomics, 2017, 18 (1): 685–700
- [33] Maughan P J, Smith S M, Rojas-Beltrán J A, Elzinga D, Raney J A, Jellen E N, Bonifacio A, Udall J A, Fairbanks D J. Single nucleotide polymorphism identification, characterization and linkage mapping in quinoa. Plant Genome, 2012, 5 (3): 114–125
- (收稿日期: 2019-10-27)

基因作物种植面积变化趋势如图1所示,自1996年批准商业化种植转基因作物以来,除2015年(1.797亿 hm^2)因国际转基因作物价格下降导致种植面积较2014年(1.815亿 hm^2)出现约1%下降^[19-20]外,23年来全球转基因作物种植面积总体呈现快速增长趋势,并在2018年创历史新高(1.917亿 hm^2),比2017年(1.898亿 hm^2)增幅1%^[1,22],是1996年种植面积的113倍,1996–2018年全球转基因作物累计种植面积总计25亿 hm^2 。自1983年转基因作物诞生于美国,其商业化种植程度一直在发达国家处于领先地位;同时,发展中国家商业化种植面积在逐年递增,2012年发展中国家转基因作物商业化种植面积达到0.885亿 hm^2 ,是全球商业化种植面积的52%,首次超过发达国家(0.818亿 hm^2)^[17]。2018年发展中国家转基因作物商业化种植面积为1.035亿 hm^2 ,是全球商业化种植面积的54%^[1]。目前,发展中国家已成为转基因作物商业化种植的主体。

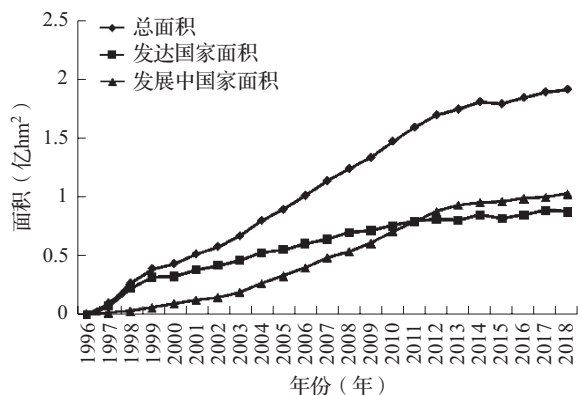


图1 1996–2018年全球商业化转基因作物种植面积

1996–2018年,每年全球转基因作物种植面积的90%集中在美国、巴西、阿根廷、加拿大、印度这5大转基因种植国,具体种植面积变化趋势见图2。其中,美国是第一批批准转基因作物种植的国家,其转基因作物种植面积一直稳居全球第一。巴西、印度转基因种植虽然较晚,但发展迅速,巴西转基因种植面积于2009年超过阿根廷^[14],成为全球第二大转基因种植国,印度转基因种植面积现位居全球第五。阿根廷、加拿大同是第一批转基因种植国,发展也较快,转基因种植面积现分别位居全球第三、第四。

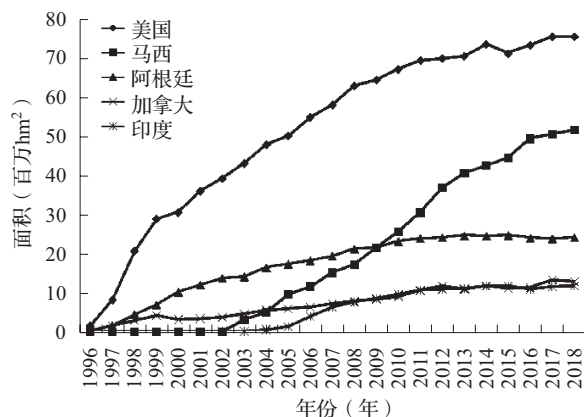


图2 1996–2018年全球主要商业化转基因种植国转基因作物种植面积

2 全球商业化的转基因作物

1996–2018年全球主要转基因作物种植面积变化趋势如图3所示。1996年全球种植了包括烟草、棉花、大豆、玉米、油菜、番茄和马铃薯在内的7种转基因作物,其中转基因烟草种植面积最大(10万 hm^2),占当年全球转基因作物种植面积的35%^[2]。1997年全球转基因作物种植结构发生调整,大豆成为普及率最高的转基因作物,其种植面积较1996年增长了10.2倍(510万 hm^2),占全球转基因作物总种植面积的40%^[3]。1998年至今全球转基因作物种植面积前4位的作物依次为大豆、玉米、棉花和油菜,这4种转基因作物年种植面积约占全球转基因作物种植面积的99%^[4]。2018年全球转基因大豆、玉米、棉花和油菜的种植面积分别为9590万 hm^2 、5890万 hm^2 、2490万 hm^2 、1010万 hm^2 ,分别占全球转基因作物总种植面积的50%、31%、13%和5%,单一作物应用率分别为78%、30%、76%和29%^[1]。除以上4大主要转基因作物外,其他上市销售的转基因作物,如紫花苜蓿、甜菜、木瓜、

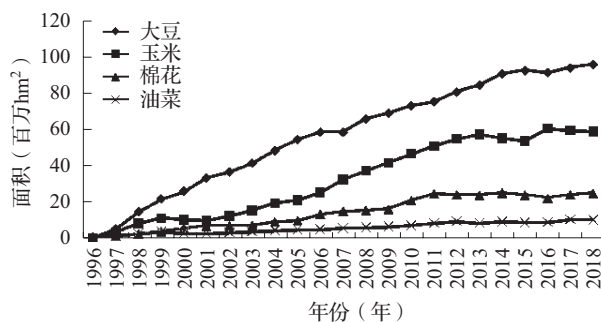


图3 1996–2018年全球主要转基因作物种植面积

南瓜、茄子、马铃薯和苹果,以及应用于科学研究的转基因作物,如水稻、香蕉、小麦、鹰嘴豆、木豆和芥菜,使得转基因作物的种类更趋于多样化。

3 全球商业化的转基因性状

目前,全球商业化种植转基因作物的性状主要包括抗除草剂、抗虫和复合性状(多种性状的结合)。1996–2018 年全球不同性状转基因作物种植面积趋势见图 4。1996 年抗病毒、抗虫和抗除草剂转基因作物的种植面积分别为 113 万 hm^2 、105 万 hm^2 和 65 万 hm^2 ,分别占全球转基因作物种植面积的 40%、37% 和 23%^[2]。1997–2018 年间抗除草剂转基因作物种植面积始终占据首位,1997–2014 年抗除草剂转基因作物种植面积迅速增加,2014 年达到最大(10260 万 hm^2)^[19]。但随着绿色农业的不断发展和复合性状的广泛应用,全球抗除草剂转基因作物种植面积呈下降趋势;复合性状虽然商业化较抗除草剂和抗虫性状晚,但由于复合性状转基因作物能够大大降低成本,符合种植者的需求,其种植面积持续上升,2007 年复合性状超过抗虫性状成为第二大商业化转基因性状^[12];抗虫转基因商业化种植较早,其种植面积总体呈增长趋势,但涨幅明显不及另外两种性状。2018 年抗除草剂、复合性状和抗虫转基因作物种植面积分别为 8818 万 hm^2 、8051 万 hm^2 和 2300 万 hm^2 ,分别占全球转基因作物种植面积的 46%、42% 和 12%^[1]。抗病毒转基因作物种植面积仅是在 1996 年占据了较大的比例(40%)^[2],1997 年就迅速下降到 14%^[3],随后一直保持在不到 1%。

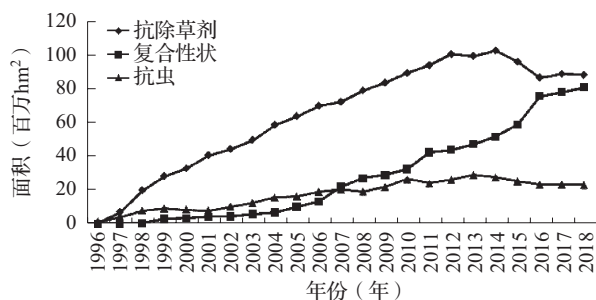


图4 1996–2018 年全球不同性状转基因作物种植面积

4 主要转基因作物种植国转基因作物种植情况

转基因作物商业化种植之初,全球仅有 6 个国家参与种植转基因作物。2018 年全球种植转基因

作物的国家/地区增加到 70 个,其中 26 个转基因种植国,44 个(18 个国家/地区和欧盟 26 国)转基因进口国家/地区。但全球转基因作物种植面积分配非常不均衡,主要集中在美国、巴西、阿根廷、加拿大、印度 5 个国家,2018 年这 5 个国家转基因作物种植面积总和约占全球转基因种植面积的 91%^[1]。

美国是全球最先批准转基因作物商业化种植的国家之一,在转基因作物的发现、开发和应用等方面均处于世界绝对领先地位。2018 年美国转基因作物种植面积为 7500 万 hm^2 ,是全球转基因作物种植面积的 39%,为 1996 年种植面积的 50 倍(150 万 hm^2)。2018 年美国种植的转基因作物主要是大豆(3408 万 hm^2)、玉米(3317 万 hm^2)和棉花(506 万 hm^2),这 3 种转基因作物的平均应用率为 93.3%^[1]。此外,美国还种植有少量其他转基因作物,如油菜、甜菜、紫花苜蓿、木瓜、南瓜、马铃薯和苹果。

巴西转基因商业化种植虽然起步较晚(2003 年),但转基因作物种植面积增长非常迅速。2018 年巴西转基因作物种植面积为 5130 万 hm^2 ,是全球转基因作物种植面积的 27%,为 2003 年种植面积的 17 倍(300 万 hm^2)。2018 年巴西种植的转基因作物为大豆(3486 万 hm^2)、玉米(1538 万 hm^2)、棉花(100 万 hm^2)和甘蔗(400 万 hm^2),前 3 种转基因作物的平均应用率为 93%^[1]。

阿根廷同样是全球首批转基因作物商业化种植的国家之一,自 1996 年其转基因作物种植面积一直稳居全球第二,直到 2009 年被巴西取代。2018 年阿根廷转基因作物种植面积为 2390 万 hm^2 ,是全球转基因作物种植面积的 12%,为 1996 年的 239 倍(10 万 hm^2)。2018 年阿根廷种植的转基因作物有大豆(1800 万 hm^2)、玉米(550 万 hm^2)和棉花(37 万 hm^2),转基因作物的平均应用率接近 100%^[1]。

加拿大也是在 1996 年批准转基因作物种植。2018 年加拿大转基因作物种植面积为 1275 万 hm^2 ,是全球转基因作物种植面积的 7%,为全球第四,是 1996 年的 127 倍(10 万 hm^2)。2018 年加拿大种植的转基因作物有大豆(240 万 hm^2)、玉米(160 万 hm^2)、油菜(870 万 hm^2)、甜菜(1.5 万 hm^2)、紫花苜蓿(4000 万 hm^2)和马铃薯(65 万 hm^2),转基因作物的平均应用率为 92.5%^[1]。

印度于2002年开始种植抗虫转基因棉花,2006年至今印度一直是全球第一大抗虫转基因棉花种植国。2018年印度种植了1160万 hm^2 的抗虫转基因棉花,占全球转基因作物种植面积的6%,为全球第五,是2002年种植面积的258倍(4.5万 hm^2),转基因棉花的应用率为95%^[1]。

5 展望

ISAAA 2017年数据显示:1996–2016年转基因共使作物增产6.576亿t,产值增加1861亿美元,节约土地1.83亿 hm^2 ,节省农药活性成分6.71亿kg,减少农药使用8.2%^[22]。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。近年来,单抗转基因作物种植面积不断下调,复合性状转基因作物种植面积持续增长且增幅显著,未来几年复合性状转基因作物将超过单抗除草剂转基因作物成为全球种植面积最大的性状。同时,随着生物技术的快速发展,特别是基因编辑技术的出现,能够通过不引入外源基因或同源基因实现作物改良,未来基因编辑技术将成为转基因作物育种的常规技术。

参考文献

- [1] 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
- [2] Clive James. Global status of transgenic crops in 1997. ISAAA Briefs, 1997, 5
- [3] Clive James. Global review of commercialized transgenic crops : 1998. ISAAA Briefs, 1998, 8
- [4] Clive James. Global review of commercialized transgenic crops : 1999. ISAAA Briefs, 1999, 17
- [5] Clive James. Global status of commercialized transgenic crops : 2000. ISAAA Briefs, 2000, 23
- [6] Clive James. Global review of commercialized transgenic crops : 2001 (Preview). ISAAA Briefs, 2001, 24
- [7] Clive James. Global status of commercialized transgenic crops : 2002 (Preview). ISAAA Briefs, 2002, 27
- [8] Clive James. Global status of commercialized transgenic crops : 2003. ISAAA Briefs, 2003, 30
- [9] Clive James. Preview : global status of commercialized Biotech/GM crops : 2004. ISAAA Briefs, 2004, 32
- [10] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2005. ISAAA Briefs, 2005, 34
- [11] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2006. ISAAA Briefs, 2006, 35
- [12] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2007. ISAAA Briefs, 2007, 37
- [13] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2008. ISAAA Briefs, 2008, 39
- [14] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2009. ISAAA Briefs, 2009, 41
- [15] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2010. ISAAA Briefs, 2010, 42
- [16] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2011. ISAAA Briefs, 2011, 43
- [17] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2012. ISAAA Briefs, 2012, 44
- [18] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2013. ISAAA Briefs, 2013, 46
- [19] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2014. ISAAA Briefs, 2014, 49
- [20] Clive James. 20th Anniversary (1996 to 2015) of the global commercialization of biotech crops and biotech crop highlights in 2015. ISAAA Briefs, 2015, 51
- [21] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops : 2016. ISAAA Briefs, 2016, 52
- [22] Clive James. Global status of commercialized Biotech/GM crops in 2017. ISAAA Briefs, 2017, 53

(收稿日期: 2019-11-11)

简讯

2020年亚洲种子大会 将于11月在深圳举办

2020年亚洲种子大会将于2020年11月9–13日在广东省深圳市召开,由亚太种子协会主办,中国种子协会承办,深圳市种子同业商会协办。这将是时隔15年后,亚洲种子大会再次在中国内地举办。

亚洲种子大会是全球规模最大、最重要的种业活动之一,为来自全球各地的种业企业和机构提供了一个技术研讨、种子种苗展示及商务洽谈的平台。作为国际种业交流合作的重要平台,2020年亚洲种子大会在我国举办,将有利于带动“一带一路”国家种业合作交流,将我国打造为亚太地区的种业创新中心,带动农业领域科技创新、技术服务、人才交流;有利于加快推进我国种业发展国际化进程,体现我国种业主动扩大对外开放的坚定决心,吸引更多外企来华,引进优秀品种、技术资源和管理理念;也有利于我国种企“走出去”,参与国际市场竞争,加快提升种业国际竞争力;更有利于推进我国种业发展转型升级,在交流中学习国外种业先进技术和管理经验,弥补我国蔬菜、园艺等特色种业的短板,促进我国种业转型升级,更好地为农业供给侧结构性改革服务。