

# 转基因生物技术安全农产品舆情分析

## 专题周报

(2023 年 4 月 4 日—2023 年 4 月 10 日)

### 【本期重点关注】

1. 中国科学家团队发现玉米小斑病感病新基因
2. 【国科科技港】原创首发：含 Vip3Aa 的复合性状转基因 Bt 玉米高抗草地贪夜蛾
3. 华泰 | 农业 · 转基因百页深度：生物育种产业化元年的到来
4. 欧盟评估转基因米曲霉菌株 NZYM-0A 生产的天冬酰胺酶的安全性
5. 詹姆斯·克雷布最新研究：转基因金属硫氨酸可以增强从环境中吸收有毒重金属的能力
6. 韩国召回 2 款检出未批准转基因西葫芦的即食烹饪食品
7. 反对转基因的人，到底在追求什么？可能他们自己也不知道
8. 今年以来全球转基因粮食作物在食品和饲料市场的应用统计
9. 转基因技术是福是祸？我国粮食安全离开它行不行，专家有话说

10. 大豆进口破千万吨，从净出口国到进口国，转基因大豆安全性如何？
11. 国内唯一转基因水果，迫于无奈允许种植，已在市场销售多年
12. 转基因香蕉来临：30年后，不管你是否愿意，都得吃转基因香蕉
13. 支持转基因的学者越来越多：转基因并没有那么可怕
14. 中国台湾卫生福利部门发布两项转基因菌株生产食品原料的使用限制及标识规定修正案
15. 虫子吃了转基因抗虫作物会死，为什么人吃没事？

## 一、本期热点事件摘要

### 1、中国科学家团队发现玉米小斑病感病新基因【农业农村部】

链接: [http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/ckzl/202304/t20230406\\_6424738.htm](http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/ckzl/202304/t20230406_6424738.htm)

#### 内容:

2023 年 1 月 17 日,《新植物学家》期刊在线发表西北农林科技大学的研究成果。研究人员首次揭示一个编码 LRR—RK 的基因 ChSK1 是玉米小斑病的感病基因,该基因突变或敲除可显著提高小斑病田间抗性。该研究表明 ChSK1 是玉米小斑病的感病基因,可能通过抑制基础免疫来增强寄主的感病程度。该研究揭示了 LRR—RK 基因可引起植物感病,增加了研究人员对植物感病的理解,也为培育玉米小斑病持久抗病性品种提供了新的思路。

(来源:《新植物学家》期刊)

### 2、【国科科技港】原创首发:含 Vip3Aa 的复合性状转基因 Bt 玉米高抗草地贪夜蛾【国科农研院】

链接: <https://mp.weixin.qq.com/s/tg4Czr-1m0nHgcBu1XU16g>

#### 内容:

含 Vip3Aa 的复合性状转基因 Bt 玉米高抗草地贪夜蛾

国科农研院 Crab

草地贪夜蛾自 2018 年 12 月由缅甸迁移到中国云南,2019 年便迅速扩散到全国 20 多个省份并危害超过 100 多万公顷农作物。草地贪夜蛾在 2020 年已经被列为我国农作物头号一类害虫,对我国的粮食安全构成了极大的威胁。

草地贪夜蛾也称为秋粘虫,原产于美洲热带和亚热带地区,是一种具

有远距离迁飞能力的农作物害虫。草地贪夜蛾食性杂、繁殖能力强并且具有较高的耐药性，入侵中国的草地贪夜蛾种群主要取食玉米，会危害玉米生育期的各个阶段，一般可以造成 20% 以上的产量损失，严重时有可能造成绝收。我国政府和科学家及时提出了“分区治理、联防联控、综合治理”策略才有效地减少了草地贪夜蛾造成的损失。

目前，种植转基因 Bt 抗虫玉米是防范草地贪夜蛾对玉米危害的最经济有效的策略。自 1996 年起，美国、加拿大、巴西和阿根廷等国家已经开始陆续种植转基因 Bt 抗虫玉米防治玉米螟和草地贪夜蛾等害虫。为了更加有效的防控草地贪夜蛾造成的危害，我国农业农村部已经给来自大北农、杭州瑞丰、先正达、中国农大、中国林木种子集团、隆平高科和中国农科院等多家单位的 9 个转基因 Bt 抗虫玉米颁发了生产应用的安全证书（见下表）。

公司	产品名称
北京大北农生物技术有 限公司	转 cry1Ab 和 epsps 基因抗虫耐除草剂玉米 DBN9936
	转 vip3Aa19 和 pat 基因抗虫耐除草剂玉米 DBN9501
	聚合 cry1Ab、epsps, vip3Aa19、pat 基因的抗虫耐除草剂玉米 DBN3601T (DBN9936 × DBN9501)
杭州瑞丰生物科 技有限公司	转 cry1Ab/cry2Aj 和 g10evo-epsps 基因抗虫耐除草剂玉米瑞丰 125
	转 mcry1Ab 和 mcry2Ab 基因抗虫玉米 ND207
中国种子集团有 限公司（先正达）	聚合 cry1Ab、pat, mepsps 基因抗虫耐除草剂玉米 Bt1 1 × GA21
	聚合 cry1Ab、pat, vip3Aa20, mepsps 基因抗虫耐除草

	剂玉米 Bt11 × MIR162 × GA21
中国林木种子集团有限公司 中国农业大学	转 mcry1Ab 和 mcry2Ab 基因抗虫玉米 ND207
袁隆平农业高科技股份有限公司 中国农业科学院 生物技术研究所	转 cry1Ab、cry1F 和 cp4 epsps 基因抗虫耐除草剂玉米 BFL4-2

种植转基因 Bt 玉米可有效的防治草地贪夜蛾等害虫，并为农民带来巨大的经济效益，制定适宜的害虫抗性治理策略，是确保转基因技术能长期持续有效应用的前提。长期精准的抗性监测计划是转基因抗性治理策略的重要组成部分。在转基因 Bt 玉米全面商业化种植前，应尽早研究清楚草地贪夜蛾自然种群的敏感基线和抗性基因频率等，明确其对不同转基因 Bt 玉米表达 Bt 蛋白的抗性问题的，以便建立抗性监测计划。精准的抗性监测将为抗性演化预测、抗性治理措施有效性评价提供及时可靠的科学依据。为此，中国农科院吴孔明院士团队在 2021 年从我国河北、河南和云南省的七个地区收集了不同的草地贪夜蛾种群，并从大北农的转基因玉米 DBN9936 (Cry1Ab)、DBN9501 (Vip3Aa)、DBN9936 × DBN9501 (Cry1Ab+Vip3Aa) 和先正达的 Bt11 × MIR162 (Cry1Ab+Vip3Aa) 中提取相应的 Bt 蛋白稀释成不同浓度后与人工饲料混合，饲喂来自这七个地区的草地贪夜蛾种群，从而测算相应的敏感基线。敏感基线是指杀虫蛋白对害虫敏感品系毒力的测定，是比较抗性有无和后续测定抗性倍数的基础。试验结果表明，DBN9936 表达的 Cry1Ab、DBN9501 表达的 Vip3Aa、DBN9936 × DBN9501 表达的 Cry1Ab+Vip3A

a 和 Bt11 × MIR162 表达的 Cry1Ab+Vip3Aa 对七个草地贪夜蛾种群的半致死浓度 (LC50) 分别为  $0.87\text{--}2.63$ 、 $0.14\text{--}0.30$ 、 $0.78\text{--}1.86$  和  $0.36\text{--}1.42$   $\mu\text{g/g}$ 。草地贪夜蛾不同种群之间对这 4 个杀虫蛋白的敏感性差异较小，表达含有 Vip3Aa 的二价复合性状的转基因 Bt 玉米能更有效地防治草地贪夜蛾。而 Cry1Ab 蛋白对草地贪夜蛾杀虫效果较弱的原因可能是：1. 我国长期以来一直在使用含 Bt 毒素的杀虫剂，导致草地贪夜蛾对 Cry 蛋白抗性提高；2. 种植抗虫棉的区域和种植玉米的区域有重叠，草地贪夜蛾也能取食含 Cry1Ac 的棉花，间接提高了导致对 Cry1Ab 的抗性。

长时间大面积种植单一转基因品种，有可能使害虫产生对转基因作物的抗性，如果缺乏相应的抗性治理对策，靶标害虫和可能会在转基因 Bt 作物种植 2~4 年后对其产生抗性。高剂量/庇护所是目前全球范围内应用最广并且最有效的抗性治理策略。庇护所起作用的关键前提之一是转基因产品可以表达“高剂量”的 Bt 蛋白。陶氏公司开发的表达杀虫蛋白 Cry1F 的 TC1507 玉米，由于对草地贪夜蛾未达到高剂量杀虫活性，并且一些拉美国家并未严格设置庇护所，造成草地贪夜蛾对 Cry1F 蛋白逐渐产生抗性，最终直接导致了 TC1507 玉米在这些国家的退市停用。因此，在转基因 Bt 玉米商业化之前，必须建立 Bt 玉米防治草地贪夜蛾的高剂量评价体系，确保转基因 Bt 玉米可以表达高剂量的杀虫蛋白从而完全杀死种植区域的目标害虫。此外，庇护所比例的设置也十分依赖于转基因 Bt 玉米中杀虫蛋白的表达剂量。吴院士团队在上述文章中还检测了这四种转基因 Bt 玉米中杀虫蛋白的表达量，结果表明，先正达的 Bt11 × MIR162 玉米表达的 Cry1Ab 和 Vip3Aa 杀虫蛋白量均为最高（见下表）。

Maize Lines	Cry1Ab ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Vip3Aa ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Total Bt Protein ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Nonghua 106	0.00	0.00	0.00
DBN9936	76.54 $\pm$ 0.60 b	0.00	76.54 $\pm$ 0.60 c
DBN9501	0.00	5.08 $\pm$ 0.08 c	5.08 $\pm$ 0.08 d
DBN9936 $\times$ DBN9501	74.51 $\pm$ 1.11 b	6.78 $\pm$ 0.13 b	81.29 $\pm$ 1.20 b
Xianda 901	0.00	0.00	0.00
Bt11 $\times$ MIR162	86.64 $\pm$ 1.01 a	24.83 $\pm$ 0.43 a	111.47 $\pm$ 1.17 a

转基因作为一种生物学技术，可以增强农作物抵抗害虫的能力，从而提高农民的收益并为我国粮食生产安全做出重要贡献。我国在推进转基因产业化的同时，应该借鉴国外种植转基因 Bt 玉米的经验，尽早依据我国的农作物种植现状制定完善的害虫抗性治理策略，从而确保转基因技术能在我国长期持续有效的应用。

### 参考文献

Wang W, Zhang D, Zhao S, Wu K. Susceptibilities of the Invasive Fall Armyworm to the Insecticidal Proteins of Bt maize in China. *Toxins*. 2022 Jul;14(8):507.

何康来, 王振营. 草地贪夜蛾对 Bt 玉米的抗性与治理对策思考[J]. *植物保护*, 2020, 46(3):15.

### 3、华泰 | 农业 · 转基因百页深度：生物育种产业化元年的到来【微信公众号】

链接: <https://mp.weixin.qq.com/s/3se5qEioKmyPvdZtdJWJxQ>

#### 内容:

本篇报告从地缘优势和技术视角出发，梳理分析了转基因作物在全球应用现状的成因、国际巨头崛起的动力、乃至全球粮食贸易格局变迁的隐线，构建了以功能基因和专利布局来评估国内生物育种产业链公司的分析框架。我们认为，玉米和大豆在中国的生物育种产业化即将启动，为中国农业带来新机遇，建议积极布局种业。



## 核心观点

### 应用现状：美洲为主，三大作物

转基因作物在全球推广已有二十余年，2021 年的推广面积约 29.3 亿亩，其主要拥护者是研发应用较早、重视农产品出口的美洲国家。前七大推广国中，仅中国和印度不是美洲国家、主要推广转基因棉花。美国、巴西、阿根廷等主推国的种植结构导致大豆、玉米和棉花成为转基因应用最广的三大作物。由于具备降本增效、便于管理等优势，除了欧盟这种政策转向的个例，转基因作物一旦在某个国家开始推广，其渗透率大多能提升至 90% 以上的高位。

### 壁垒与红利：三大门槛，农业重塑

凭借技术优势及相应而来的定价优势，转基因作物的推广曾带动全球种业市场规模持续了十几年的高速增长，促使农化行业形成了转基因种子+除草剂的捆绑销售模式，并带动了全球粮食贸易格局的变迁、南美大豆和印度巴西棉花的崛起。而在技术门槛、知识产权保护和资源投入等壁垒的护航下，领军企业也实现了规模和市占率的大幅提升。

### 新兴机会：中国市场大单品启动在即

储备多年，应时而发，我们预计 2024 年将是玉米和大豆在中国的生物育种产业化元年，这将会强化国内种业的涨价趋势，带动中国种业市场规模新一轮的高增长。政策限制叠加专利过期的影响，跨国种企或难以在中国转基因市场大展拳脚。通过对安全证书、功能基因和专利储备的梳理，我们预测了国内生物育种玉米性状环节的三大龙头，而布局早、研发强的传统种企有望凭借先发优势和知识产权保护力度的提高在种子销售环节实现市占率的提升。我国粮食乃至肉制品等农产品的生产成本有望受益改善、



国际竞争力或可提高。

投资建议：技术红利期将至，积极布局种业

在海外成熟经验可参考、国内技术路径梳理清晰的背景下，种业相关上市公司的盈利增长可预见性提高，当前种业板块仍具备明显的投资价值。

风险提示：转基因品种推广进度不及预期，转基因作物对产量的提升不及预期，种业监管力度不及预期，发生严重自然灾害，粮价表现不及预期等。

正文

报告亮点

有别于市场的观点：

我们看好转基因商业化启动后的爆发力和高渗透率的可实现性：从海外经验来看，转基因性状的增产降本效果可为农作物的种植带来良好收益和示范效应，因此除了欧盟这种政策转向的个例之外，在推广国、推广作物上大多能实现 90% 以上的渗透率，且推广得越晚、推广期的粮价越高，推广速度越快。而目前，国内外粮价均处于高位，转基因玉米和大豆的商业化流程接近启动，结合消费习惯和构成情况，我们判断转基因玉米在国内也有望实现 90% 左右的高渗透率。更重要的是，我们觉得，不必过多纠结第一年或第二年的推广面积情况（因其主要受政策、制种安排等因素的干扰），技术的优越性决定了转基因玉米在中国的推广也有望复制巴西的模式、在充分市场化阶段实现快速增长。

我们看好转基因玉米商业化带来的盈利兑现性：我们认为，转基因盈利兑现的核心在于技术的优越性和壁垒（特别是知识产权保护）。而知识产权的保护主要涉及两个层面，一是法规法律的官方要求，二是执法层面

的实际落实。关于后者，市场根据 2021 年以来的种业振兴计划、品种审定标准的修改等政策的梳理已有一定认知，未来仅需跟踪验证。关于前者，我们在本篇报告的梳理中试图理清国际上在专利、品种权等层面分别是如何对育种技术进行保护的。同时，我们预计，由于相关专利和技术掌握在领军企业自己手里，本轮转基因玉米的商业化在盈利端具备强兑现性。

我们认为转基因商业化的影响并不仅仅局限在种子行业，农药、甚至中国农业的生产模式和国际竞争力都有望发生变革：由于转基因性状的特性，除草剂耐受种子+除草剂的捆绑销售在海外已是成熟的模式。而国内过往尚未推广过除草剂耐性的转基因种子。预计本轮转基因抗虫+除草剂耐受玉米和除草剂耐受大豆的商业化将带动国内草甘膦除草剂的需求增长，甚至引发玉米和大豆种植模式的变革、加快玉米大豆带状复合种植模式的推广。另外，由于玉米和大豆是饲料加工、畜禽养殖的主要原料，我们预计本轮转基因玉米和大豆的商业化将通过粮食成本的改善进而传导至饲料、肉制品等环节，从而提高我国农产品的整体国际竞争力。

我们构建了以功能基因和专利布局来评估国内转基因作物产业链公司的分析框架：我们认为，对于转基因作物产业链公司的技术竞争力分析不能仅仅停留在有无转基因布局、转基因安全证书数量的层面。从海外经验来看，不同性状的转基因技术可以实现的推广面积和盈利效应不尽相同。而从国内目前的技术储备来看，部分企业间也存在类似的技术布局。因此，功能基因的分析可以作为评估企业技术部分的重要参考。而产品梯队和专利布局的梳理则可以作为判断企业未来市占率和盈利兑现力的重要参考。

### 转基因育种技术概述

作物育种历经了原始育种、传统育种及生物育种三时代。1) 原始育种：

始于新石器时代，期间由于缺乏科学育种理论及方法，人类只能根据经验积累和肉眼观察，选择发生基因自然变异的农业生物，再经过长期人工驯化获得具有优良性状的品种。2) 传统育种：19 世纪中叶到 20 世纪初，遗传学三大定律奠定了杂交育种应用的理论基础，育种家依赖经验的同时，将统计学、数量遗传学和杂交育种策略应用到优良品种选育中，相继培育出矮秆、耐肥、抗倒伏和高产作物新品种，开启了传统育种时代。传统主要包括常规育种和杂交育种，通过不同的技术手段、将各种有利于提高粮食产量和品质的优良基因不断向某个品种中聚集，但在种间生殖隔离限制、育种的效率和精准度等方面仍存在缺陷。3) 生物育种：20 世纪中后期，伴随 生命科学与生物技术的飞速发展，分子标记辅助选择和转基因育种兴起，可以实现已知功能基因跨物种的定向高效转移。如今，全球育种已向智能设计育种时代迈进，融合了遗传学、分子生物学、计算生物学等前沿学科，利用基因编辑、合成生物、人工智能等技术培育新品种。其中，转基因育种是应用较广的生物育种技术之一，主要指将抗病虫、除草剂耐受、提高营养品质等已知功能性状的基因通过现代科技手段转入到目标生物体中，使得受体生物在原有遗传特性基础上增加新的功能特性，从而获得新的品种。

转基因育种技术可准确、高效、稳定地实现跨物种基因重组。与杂交育种相比，转基因育种具有准确、直接、高效的特点：1) 基因资源层面：转基因育种可以对不同植物之间、乃至微生物/动物界的基因加以应用，丰富了新品种培育的可能性；2) 精度和效率：转基因育种能够准确地某个基因进行操作和选择、也可以同时转入多个基因，对于基因转入后的效果及表型可以提前准确预测，选择效率明显高于传统育种；3) 稳定性：转基

因育种可以使得功能明确、具有实用价值的基因在同一物种的不同品系间稳定表达，即所获得的性状不易受品种或地域环境的影响。

应用现状：美洲为主，三大作物

推广二十余年，暂处平稳期

商业化二十余年，近年推广面积增速放缓。1996 年开始，随着转基因作物在美国的大面积推广，全球转基因作物的商业化进程开启。在之后的时间里，转基因作物的推广可分为两个阶段：1) 1996 年至 2013 年的高速增长期：推广国家数量的增加及单个国家的渗透率提升带动转基因作物种植面积持续保持高速扩张，复合增速约 31%；截至 2013 年，全球转基因作物的种植面积约 26.3 亿亩；2) 2013 年至今的平稳增长期：欧盟、俄罗斯等国家/地区对待转基因作物的种植限制较多，导致转基因作物拓展新市场的难度提高，而固有市场的渗透率已至高位，转基因作物的种植面积增长放缓，2013 年至 2021 年间的复合增速约 1.38%。截至 2021 年，全球转基因作物的总种植面积约 29.3 亿亩。

主要区域：美国、巴西和阿根廷

美洲国家是转基因作物的主要拥护者。根据 ISAAA 的统计，2019 年种植转基因作物的 29 个国家/地区中，12 个为美洲国家/地区、占比约 41%，其他为 8 个亚洲国家/地区、6 个非洲国家/地区和 2 个欧洲国家。从种植面积上来说，2019 年美洲国家/地区的转基因作物种植面积约占全球的 88.12%，其次为亚洲国家/地区（面积占比约 10.2%）。2019 年，全球有 7 个国家的转基因作物种植面积超过 4500 万亩，其中排名前三的美国、巴西和阿根廷均为美洲国家。具体来说：

1) 美国（转基因作物种植面积约 10.7 亿亩）：全球转基因作物推广

的先驱者，也是转基因作物推广种类最丰富的国家之一。生物技术的进步及美国国家战略的支持推进了转基因作物在美国的推广应用。1983年，4家机构发表了“在植物中导入DNA，并成功表达其他物种基因”的论文，开启了重组DNA技术在植物领域的应用。1986年，美国农业部的动植物安全检疫局（APHIS）批准4种转基因农作物（1种玉米、2种番茄、1种油菜）进入田间试验，拉开了美国转基因商业化的序幕。20世纪90年代，在国际农产品市场竞争加剧、美国农产品出口量明显下滑的背景下，美国政府开始强调生物技术在美国农业上的应用。1991年美国竞争力总统委员会起草的《国家生物技术政策报告》确立了转基因农业的国家战略，明确提出要“调动全部力量推动转基因技术的开发和商品化种植，确保美国农业品的出口竞争力，保障美国农业的发展与从业者利益”。1996年开始，美国开始进行转基因大豆、玉米和棉花等作物的大规模种植。2001年，转基因大豆在美国的推广渗透率先突破75%。2004年和2007年，转基因棉花和转基因玉米在美国的推广渗透率也陆续突破75%。2019年，美国共种植有约4.98亿亩转基因玉米、4.56亿亩转基因大豆、7965万亩转基因棉花和近4000万亩其他转基因作物（油菜、甜菜、苜蓿、马铃薯、木瓜、南瓜、苹果等），三大作物的转基因渗透率均在90%以上。截至目前，美国共有44个转基因玉米转化事件、26个转基因大豆转化事件和29个转基因棉花转化事件和获准商业化种植。

2) 巴西（转基因作物种植面积约7.92亿亩）：被技术优势倒逼放开转基因作物种植的国家。1996年开始，转基因大豆逐渐通过黑市交易从阿根廷流入巴西。1998年，巴西政府实施转基因大豆种植禁令。但由于私下种植的现象屡禁不止，巴西政府在2003年3月出台临时解禁措施、正式认

可转基因大豆种植的事实、同意 2002/03 年度收获的转基因大豆可以上市进行合法交易，并于 2004 年修订出台《生物安全法》、正式放开转基因大豆的商业化种植。2005 年，巴西首次批准种植转基因棉花 MON531。2008 年，巴西批准种植转基因玉米。2009 年，巴西超越阿根廷成为全球第二大转基因作物种植国。大豆和玉米是巴西主要种植的两类转基因作物。2019 年，巴西种植的转基因作物包括约 5.27 亿亩转基因大豆、2.45 亿亩转基因玉米、2100 万亩转基因棉花和少量抗虫甘蔗。截至目前，巴西共有 61 个转基因玉米事件、17 个转基因大豆事件和 23 个转基因棉花事件获准商业化种植。

3) 阿根廷（转基因作物种植面积约 3.58 亿亩）：偿债压力下引入转基因作物技术。20 世纪 90 年代中期，阿根廷由于石油危机而背下巨额债务。而大豆作为阿根廷的主要农产品、在当时面临全球旺盛的肉牛饲用需求，阿根廷政府通过对大豆及其副产品收取 32%~35% 的高额关税可获取可观收入。于是，阿根廷政府自 1996 年开始批准种植转基因大豆，并在 1998 年批准了转基因玉米和棉花的商业化种植。和巴西类似，大豆和玉米是阿根廷主要种植的两类转基因作物。2019 年，阿根廷种植了约 2.63 亿亩转基因大豆、8850 万亩转基因玉米、720 万亩转基因棉花和少量转基因苜蓿。截至目前，阿根廷共有 52 个转基因玉米事件、16 个转基因大豆事件和 6 个转基因棉花事件获准商业化种植。

4) 加拿大（转基因作物种植面积约 1.87 亿亩）：全球第一个大面积商业化种植转基因油菜的国家、也是全球最大的转基因油菜种植国。与美国相邻的地域优势使得加拿大在转基因的商业化上同样推行较早。1995 年，加拿大开始商业化种植转基因抗除草剂油菜；2005 年，转基因油菜的种植面积达到加拿大油菜总面积的 77%；2010 年，转基因油菜在加拿大的种植

渗透率已达 93%。2019 年，加拿大的转基因油菜种植面积约 1.3 亿亩、约占全球转基因油菜种植总面积的 85%以上。截至目前，加拿大共有 144 个转基因作物事件获批商业化种植，包括 66 个转基因玉米事件、21 个转基因大豆事件等。

5) 印度（转基因作物种植面积约 1.78 亿亩）：转基因棉花种植大国。20 世纪 90 年代初，印度开始了自独立以来最大规模的全面经济改革，并提出了“第二次绿色革命”的口号、把转基因作物的推广作为绿色革命的重要内容。1999 年，印度在全国 40 个不同地区同时开始 Bt 转基因棉花的大田种植试验。2002 年，印度政府批准了转基因棉花的商业化种植。之后的数年里，转基因棉花在印度快速推广。2008 年，转基因棉花在印度的渗透率已提升至 80.9%。但是，由于政治、经济、文化等原因，印度公众对待转基因食品的态度偏谨慎，印度政府并未批准棉花之外的转基因作物进行商业化种植。印度政府曾在 2009 年就转基因茄子的商业化种植进行社会咨询，由于社会大众多持反对态度，最终在 2010 年 2 月宣布无限期暂停转基因茄子的商业化。2014 年，莫迪新政府上台，对待转基因的态度趋于积极，不仅呼吁热门投资杂交种子和转基因种子，而且提出政府坚持“科学仍需继续”的态度、批准了 15 个转基因作物新品种的田间实验。另外，印度也允许转基因大豆油的进口。

6) 巴拉圭（转基因作物种植面积约 6150 万亩）：阿根廷及巴西转基因推广的跟随者。巴拉圭地处巴西和阿根廷两国之间，其常驻人口中有不少巴西人。此外，受阿根廷国内局势的影响，也有部分阿根廷农户在巴拉圭种植大豆。巴拉圭大豆通过巴西和阿根廷港口转运、并出口到欧盟和日本等地。2004 年，巴拉圭政府正式批准转基因大豆种植。2019 年，巴拉圭



种植有约 5400 万亩转基因大豆，但转基因玉米的种植面积仅数百万亩、渗透率不足 1%。截至目前，巴拉圭共有 22 个转基因事件获批种植安全许可，包括 15 个转基因玉米事件、3 个转基因大豆事件和 4 个转基因棉花事件。

7) 中国（转基因作物种植面积约 4800 万亩）：已种植转基因棉花，即将推广转基因玉米和大豆。改革开放初期，纺织品是中国外汇的主要来源。而上世纪 90 年代末，国内连年爆发棉铃虫灾害，带来重大经济损失之余，还因过量使用化学农药造成了严重的环境污染以及人、畜中毒死亡事故。在这样的时代背景下，我国在 1996 年引入了孟山都的抗虫棉、在河北省进行推广。1997 年，中国农科院的单价抗虫棉获批种植用的转基因生物安全证书，我国相应拥有了自主知识产权的转基因抗虫棉。1998 年，国产抗虫棉在山西、安徽、山东和湖北四省通过审定。1999 年，中国农科院的双价抗虫棉也获得了种植用的转基因生物安全证书，政府将转基因抗虫棉的商业化范围扩大到长江中下游棉区。2003 年，政府又新增批准转基因抗虫棉在新疆等其他五个省份进行种植，至此转基因抗虫棉的种植范围已覆盖了当时中国的所有棉花主产区域（黄淮海流域、长江流域和西北）。也是在 2003 年，国产棉凭借价格优势在推广面积上超过了美国抗虫棉。2011 年，转基因抗虫棉在中国的推广渗透率已提升至 84%，其中 95% 为国产抗虫棉。2019 年年底，农业农村部首度给抗虫抗除草剂玉米和抗除草剂大豆颁发种植用转基因生物安全证书。随着相关法案及试验的推进，我们预计转基因玉米和大豆有望在国内逐渐推广种植。

欧盟和俄罗斯对待转基因作物的态度谨慎。1) 欧盟：在早期也曾积极参与转基因作物的种植推广。1998 年，西班牙和法国就分别种植了 30 万亩和 3 万亩转基因抗虫玉米。之后的九年里，欧盟地区种植转基因作物的国

家数量持续增加。2007 年，欧盟共有 8 个国家种植转基因玉米。但是，随着政府的政策引导和小规模的公众反对及抗议行为，欧盟的转基因作物种植国数量自 2008 年起持续减少，自 2016 年起已仅剩西班牙和葡萄牙仍在继续种植转基因抗虫玉米。2019 年，西班牙和葡萄牙分别种植了 161 万亩和 7.1 万亩转基因玉米，合计种植面积同比下降了 7.5%。截至目前，欧盟仅在 1998 年批准过两个转基因玉米事件的种植安全证书、在 2018 年批准过巴斯夫的转基因棉花 GHB811 的种植安全证书，从未批准过转基因油菜或转基因大豆的种植许可，但是允许多种转基因作物的进口。

2) 俄罗斯：对待转基因作物极为保守、从未批准过种植。1948 年 8 月的全苏列宁农业科学院会议上，李森科对于孟德尔基于基因的遗传学持否定论调、并获得了斯大林的支持。政治影响下，苏联的遗传学研究逐渐落后。20 世纪 80 年代末至 90 年代初，苏联的生物技术一度快速发展。但是，20 世纪 90 年代初的市场经济改革对俄罗斯经济造成了灾难性影响，生物技术行业也陷入衰退，导致美国和中国在 90 年代末相继开发出自主知识产权的转基因作物时俄罗斯却缺席了。而在引入应用海外转基因技术方面，俄罗斯的态度非常谨慎，从未批准过转基因作物的种植。一方面，俄罗斯的科学界对转基因作物及食品存疑，另一方面，俄罗斯政府担心在没有本国技术支撑的背景下推广种植转基因作物将提升其种子农药采购成本和栽培成本，而禁止转基因作物的种植则可以有利于俄罗斯在国际市场上打造绿色食品生产大国的形象。另外，国际环境的变化（俄美关系等）也影响着俄罗斯对待转基因的态度。2012 年加入 WTO 世贸组织后，俄罗斯对待转基因的态度一度缓和。2012 年年底，俄罗斯政府拒绝了民间组织确定“无转基因区”的建议，并简化了转基因产品、种子、饲料的登记程序。2013 年 9 月，俄罗斯也曾

颁布政府决议，允许在俄罗斯境内指定区域种植转基因改良谷物。但是，2014年2月，俄罗斯起草法案禁止转基因产品的流通。总统普京支持该法案，发布临时禁令倡议、禁止转基因作物的种植。2016年，俄罗斯针对转基因出台了更为严厉的法规，规定除科学研究之外，俄罗斯境内禁止转基因的商业化运作，即禁止转基因作物的种植和转基因动物的饲养以及转基因产品的进口。此外，国家杜马安全委员会还拟定了法案禁止在俄罗斯联邦境内种植以生产食品为目的的基因改良作物。

### 三大作物：大豆、玉米和棉花

美国等主推国家的种植结构导致大豆、玉米和棉花成为转基因应用最广的三大作物。从推广国家数量来看，截至2019年，全球已有14种转基因作物在29个国家种植，其中种植转基因棉花的国家最多（18个）、其次是转基因玉米（14个）和大豆（8个）。种植面积方面，大豆、玉米、棉花和油菜是全球种植面积最多的转基因作物；2019年，转基因大豆的种植面积约13.8亿亩（占转基因作物总面积的48%），转基因玉米、棉花和油菜的面积分别约9.1亿亩、3.9亿亩和1.5亿亩，另外还有少量的转基因苜蓿、甜菜、甘蔗等种植。从渗透率来看，2019年，全球74%的大豆、79%的棉花和31%的玉米是转基因作物。我们认为，大豆、玉米和棉花之所以会成为转基因种植推广的三大作物，与全球农产品的生产分布、及主产国/地区的转基因政策息息相关，简言之就由转基因主推国的种植结构所决定。近代以来，小麦、玉米、水稻、大豆、棉花和油菜是全球种植面积最大的六类谷物，其中小麦和水稻属于口粮作物、转基因的推进较为审慎缓慢，而水稻和油菜的主产区不在转基因政策较为开明的美洲，因此种植面积广且

转基因渗透率高的大豆、种植面积广且有一定转基因渗透率的玉米和转基因渗透率高的棉花逐渐成为全球转基因应用最广的三大作物。

1) 小麦: 2019 年全球种植面积约 32.4 亿亩, 其中印度、俄罗斯、欧盟、中国和美国是前五大种植国家/地区, 合计种植面积占比约 56%; 而美国、巴西和阿根廷三大转基因推广国家的小麦种植面积仅占全球的 11%。不仅如此, 由于小麦是六倍体作物, 基因组较为复杂, 所以小麦的基因转化难度较玉米、大豆等要更高。直到 1992 年, 全球第一株转基因小麦才问世, 比第一株转基因大豆和玉米分别晚了 4 年和 2 年。更为重要的是, 作为口粮作物, 小麦的转基因推广较为审慎缓慢。截至目前, 全球仅有除草剂耐受小麦 MON71800 和抗旱小麦 HB4 获得过转基因生物安全证书, 其中前者仅在 2004 年获得了四个国家的进口许可、并未获批种植许可, 后者获得了七个国家的进口许可和阿根廷的种植许可、但尚未开始商业化种植。

2) 玉米: 2019 年全球种植面积约 29.5 亿亩, 其中中国、美国、巴西、印度和欧盟是前五大种植国家/地区, 合计种植面积占比约 57%。由于中国尚未开始转基因玉米的大规模商业化种植, 而欧盟内部对转基因作物分歧众多、实际种植面积偏低, 因此转基因玉米在全球的推广主力仍是美洲国家。美国、巴西和阿根廷三大转基因推广国家的玉米种植面积约占全球的 29%, 而转基因玉米在三个国家的种植渗透率在 2019 年已高达 90%左右, 加上加拿大、菲律宾、南非、欧盟和越南均有一定比例的转基因玉米种植, 全球的转基因玉米种植面积约 9.14 亿亩、种植渗透率约 31%。

3) 水稻: 2019 年全球种植面积约 24.3 亿亩, 主要分布在亚洲区域(占比约 86%), 而美国、巴西和阿根廷的种植面积占比仅 1.8%。目前, 全球共有 7 个转基因水稻事件获批有种植用的转基因生物安全证书, 包括有拜

耳的除草剂耐受水稻 LLRICE62（1999 年获批美国的种植许可）、除草剂耐受水稻 LLRICE06（1999 年获批美国的种植许可）和除草剂耐受水稻 LLRICE601（2006 年获批美国的种植许可），伊朗农业生物技术研究室的抗虫水稻 Tarom molaii + cry1Ab（2004 年获批伊朗的种植许可），华中农大的抗虫水稻汕优 63 和抗虫水稻华恢 1 号（均于 2009 年获批中国的种植许可），和国际水稻研究中心的富含胡萝卜素水稻 GR2E（即黄金大米，2021 年获批菲律宾的种植许可）。但因口粮的特殊地位、及亚洲地区的转基因政策限制，这些转基因水稻均未进入到商业化推广阶段。

4) 大豆：2019 年全球种植面积约 18.5 亿亩。其中，前十大种植国中，巴西、美国、阿根廷、巴拉圭、加拿大和玻利维亚均为美洲国家、有着高比例的转基因大豆种植（美国和阿根廷的转基因大豆渗透率约 100%，巴西约 96%），而五个国家大豆的合计种植面积约占全球的 74%，加上乌拉圭、墨西哥和南非也有一定数量的转基因大豆种植，带动转基因大豆在全球的渗透率高达 74%左右。

5) 棉花：2019 年全球种植面积约 5.17 亿亩。其中，前十大种植国中，印度、美国、中国、巴基斯坦和巴西均有高比例的转基因棉花种植（印度约 79%，巴西约 86%，美国中国和巴基斯坦均在 90%以上），而这五个国家的棉花合计种植面积约占全球的 79%。同时，澳大利亚、缅甸和苏丹等地区也有一定数量的转基因棉花种植，带动转基因棉花在全球的渗透率高达 79%左右。

6) 油菜：2019 年全球种植面积约 5.14 亿亩。其中，前十大种植国中，仅加拿大、澳大利亚和美国推广种植了转基因油菜，而三个国家的油菜合计种植面积约占全球的 33%。因此，虽然转基因油菜在推广国实现了高渗透

率（美国和加拿大基本是全覆盖），但在全球的平均渗透率仅 27%左右。

### 两大性状：抗虫&除草剂耐受

从上述梳理中不难看出，除了像欧盟这种政策转向的情况，转基因作物一旦开始在某个国家开始推广，其渗透率大多能提升至 90%以上的高位。我们认为这是由于转基因作物的性状优势可带来增产降本等效果所导致的。

目前全球应用最广的两大类转基因性状是抗虫和除草剂耐受。转基因技术可以通过外源基因的引入来赋予作物新的性状。而按照性状的功能特性来，目前全球开发的转基因性状可以分为三种类型：1) 输入性状：包括抗虫（IR）、除草剂耐受（HT）、抗病等，赋予作物其原本不具备的功能，减少其在种植过程中的损失从而被动的实现产量的提升；2) 输出性状：包括增加食物的营养、提高油料作物的含油量等，依靠加强作物自身特性来提升作物产量和/或质量；3) 增值性状：使得作物可以合成不同的化学物质用于其他领域的生产，如用作药物、生物燃料等。从推广面积来看，抗虫（IR）、除草剂耐受性状（HT）是目前全球最应用最广的两大类性状。转基因商业化初期，市场上主要应用的是抗虫或除草剂耐受的单功能性状。1999 年，美国开始推广抗虫+除草剂耐受双功能（IR/HT）的复合性状作物。根据 ISAAA 的数据，截至 2019 年，大面积商业推广的转基因作物仍主要是抗虫、耐除草剂品种，种植面积合计占比超过 90%，其中抗虫性状占比约 12%、抗虫+除草剂耐受性状占比约 45%、除草剂耐受性状占比约 43%。

转基因性状赋予作物增产降本、便于管理等效果，能够明显提升农民的种植收益。从种植意愿的角度来看，根据 USDA 在 2001~2003 年开展的农业和资源管理调查数据，农民选择种植转基因作物的主要原因是其能够通

过产量提升、成本降低以及管理时间减少等带来收益增加。具体地来看，约 60%~80%的农民主要是因为转基因作物能够通过改进病虫害防治、杂草管理等使得产量增加，约 10%~20%的农民则主要是由于转基因作物能减少杀虫剂等农药的使用、并实现成本节约；此外，还有约 5%~25%的农民是因为作物管理所需的时间、精力能得到明显的减少，将这部分时间用于从事其他活动能挣得额外的收入。从实际种植效果来看，根据 Graham Brooks (2022) 的统计，转基因作物的种植在 1996~2020 年期间为全球的种植者增加了约 2613 亿美元的收益，其中约 72%来自于产量提升和第二季作物的种植、约 28%来自于成本的节约；以 2020 年单个年份来看，转基因作物给全球种植者带来的收益规模约 188 亿美元，其中 91%来自于产量提升和第二季作物的种植。

具体来说：

1) 产量提升：根据 Graham Brooks 的统计分析，1996 年~2020 年，转基因抗虫性状为玉米、棉花等作物带来了明显的增产效果，不同国家增产幅度不一、多在 7%~30%的范围内。从美国部分农场的调查数据来看，转基因大豆的单产在 1998 年~2016 年期间平均较非转基因大豆提升约 29%，转基因玉米的单产在 2000 年~2014 年期间平均较非转基因玉米提升约 19%。

2) 第二季作物的种植：阿根廷和巴拉圭的大豆种植对此受益尤其明显。在转基因耐除草剂 (HT) 作物推广之前，农民通常需要把土地翻开来更好地除草。而 HT 作物可以在高浓度除草剂杀灭杂草的时候保护作物不受损害，从而使得农民可以减少翻耕甚至免耕。相应的，HT 大豆的种植促使阿根廷、巴拉圭等南美国家可以更多地采用免耕和减耕技术、缩短了生产周期，从而能够在传统的一季大豆种植之外、还能种植第二季大豆，农民收益明显提



升。1996 年~2020 年，阿根廷和巴拉圭的农民因种植第二季大豆而实现的平均增收分别约 19.6 美元/亩和 20.7 美元/亩。

3) 成本的节约：除草剂耐受性状表现更为明显。一方面，转基因作物的种植可以减少杀虫剂甚至除草剂的投入，另一方面，除草剂耐受性状和对应的除草剂搭配使用可以精准杀灭杂草、而非转基因作物，田间管理乃至人力成本也得以下降。根据美国农业部的调查统计，1997 年~2005 年，随着转基因技术渗透率的持续快速提升，美国玉米的单亩杀虫剂用量下降了 65%、美国玉米和大豆的单亩除草剂用量下降了 7%和 4%；美国玉米和大豆种植中的农药成本分别下降了 15%和 48%(0.27 美元/亩和 0.85 美元/亩)、人力成本分别下降了 27%和 4%(0.59 美元/亩和 0.05 美元/亩)；如果剔除通胀的影响，则美国玉米和大豆种植的农药和人力成本降幅更为明显、且在转基因渗透率饱和后也仍然低于推广前的水平。而从 Graham Brooks 的统计分析报告来看，除草剂耐受的转基因作物成本下降尤为明显，降幅约 1~3 美元/亩；如果剔除转基因性状使用费用的影响，则成本降幅多在 3~5 美元/亩。

壁垒所在：三大门槛，道阻且长

从全球经验来看，技术门槛、知识产权保护和资源投入三方面的壁垒使得转基因作物技术主要集中在少数龙头种企手中。

技术门槛：新基因难寻，高性能不易

转基因的技术壁垒主要包括两方面：

1) 挖掘新的 MOA (mode of action)：狭义上理解就是挖掘新的功能基因。广义上理解就是挖掘新的作用机制（包括基因、双链 RNA 技术等）来达成抗虫、除草剂耐受、抗旱等功能效果。新 MOA 的挖掘是转基因研发

中的核心难点之一。一方面，新的 MOA 是企业用以建立技术及产品优势的关键；另一方面，随着转基因技术的推广应用，昆虫抗性的问题也随之显现（例如杀虫蛋白 Cry1F 在美国、巴西和阿根廷均已出现了草地贪夜蛾的抗性），需要新的 MOA 来提高作物的抗虫性。而经过三十年左右的研究挖掘，目前全球也仅开发了 25 个抗虫基因、26 个除草剂耐受基因，其中应用推广较多的基因不过十数个。

2) 配套技术：如转化方式、启动子等元件、插入位点、庇护所等。① 转化方式：转基因作物的开发，早期主要通过基因枪的方式导入外源基因，但容易造成基因多拷贝转化、基因沉默、DNA 断裂等问题，后来都采用农杆菌介导转化、利用质粒载体的构建将外源基因转入植物细胞。② 元件及位点等：一般而言，抗虫基因/除草剂耐受基因的表达量与抗虫/除草剂耐受效果正相关，而质粒载体的选择、启动子与终止子等元件、及外源基因在植物染色体上的插入位点则会影响基因表达效果，从而影响转基因作物的田间表现。启动子位于功能基因上游，是 RNA 聚合酶识别、结合的部分，驱动基因转录合成；终止子则是转化载体上终止目的基因转录的核苷酸序列。启动子的不同结构可影响它与 RNA 聚合酶 II 的识别、结合，从而影响基因表达的水平，进而影响转基因产品效果。启动子大致可分为 a) 组成型启动子：外界因素对其启动的外源基因表达几乎没有影响，已被广泛应用于启动外源基因的表达。b) 组织特异性启动子：除包含应有的一般启动子元件外，还具有增强子以及沉默子的特性，避免外源基因的不必要表达，节约植物体的整体能量消耗。因此可实现外源基因在植物不同器官与组织中的表达。c) 诱导型启动子：这类转录因子分别在不同植株应对不同环境条件（光、干旱、高温、低温和激素）等方面发挥着极其重要的作用。而

外源基因如果插入到植物基因组转录活性较低的区域，可能无法正常表达；如果插入到植物基因组的功能基因区域，可能会影响作物原本的农艺性状。所以，海外龙头种企在基因挖掘之余，还会进行大量的配套功能元件的研究、及转化事件的田间测试，以筛选到田间效果最佳的转基因产品；而同样是改良海外成熟转基因产品，国内的不同机构得到的转基因产品效果也不尽相同。③庇护所：通过在田间种植转基因作物时配套种植一定比例的非转基因作物作为害虫的庇护所，以达到延缓昆虫抗性产生、进而拉长转基因产品生命周期的效果。而由于庇护所的设置会带来产量的牺牲、且早期操作复杂，因此海外的龙头种业也致力于研发降低庇护所比例的技术来保证更好的产品效果。

目前，全球开发的抗虫 MOA 按照其编码蛋白/作用机制可分为 4 大类：

编码晶体蛋白基因家族 Cry 蛋白：主要从苏云金芽孢杆菌中提取；目前全球开发的 25 个杀虫基因中，有 19 个是编码晶体 Cry 蛋白；

编码营养杀虫蛋白（VIP, vegetative insecticidal protein），也是主要从苏云金芽孢杆菌中提取；

蛋白酶抑制剂：广泛存在于动物、植物和微生物中，应用较多的为植物来源的蛋白酶抑制剂；

RNAi 技术：通过一段与靶标基因同源的双链 RNA（dsRNA）来降解靶标基因的 mRNA 或抑制其翻译、从而沉默靶标基因，阻碍害虫的正常生长和繁殖。

而 25 个抗虫 MOA 按照其杀虫谱也可分为 4 大类：

鳞翅目昆虫抗性基因：主要针对地上害虫，如玉米螟、草地贪夜蛾、黏虫、棉铃虫等。这类基因开发最多、应用也最广。共有 15 个已开发基因，

其中大部分编码 Cry 晶体蛋白，2 个编码营养杀虫蛋白（vip3A(a) 和 vip3A a20），另有 1 个编码蛋白酶抑制剂蛋白 PinII。

鞘翅目昆虫抗性基因：主要针对地下害虫，如玉米根虫、蛴螬等。这类基因共有 6 个，包括 cry34Ab1、cry35Ab1、cry3A、cry3Bb1、dvsnf7 和 mcry3A。

半翅目昆虫抗性基因：主要针对半翅目害虫，如盲蝽蟊、稻黑蝽等。已开发的半翅目昆虫抗性基因目前仅有 mCry51Aa2 一个。

多昆虫抗性基因：包括有 API、CpTI 和 ecry3.1Ab。这类基因的抗虫谱较广。

目前全球开发的 26 个除草剂耐受基因按照其对应的除草剂可分为 9 大类：

草甘膦（glyphosate）耐受基因：全球应用最广的一类除草剂耐受基因，2015 年的推广种植面积约 2.33 亿英亩、约占抗除草剂作物总种植面积的 95%。这类基因共包含有 8 个。

草铵膦（glufosinate）耐受基因：也是全球应用较广的除草剂耐受基因。

2,4-D 类除草剂耐受基因：包括 aad-1、aad-12、ft-t 这 3 个基因。

麦草畏（dicamba）耐受基因：主要包括新型除草剂耐受基因 dmo。既抗草甘膦又抗麦草畏的双抗除草剂大豆 MON-87708（Genuity® Roundup Ready™ 2 Xtend™），在 2015 年和 2016 年分别获批美国和巴西的种植许可。

磺酰脲类除草剂耐受基因：包括有 gm-hra 和 zm-hra、csr1-2 等 6 个基因。

Oxynil 类除草剂耐受基因 bxn：代表产品是抗除草剂棉花 BXN™ Cott

on 和抗虫抗除草剂棉花 BXN™ Plus Bollgard™ Cotton。

异草酰 (Isoxaflutole) 除草剂耐受基因 hppdPF W336: 代表产品是多抗除草剂大豆 Liberty Link® GT27™, 其转有 2mepsps、hppdPF W336 和 pat 三个除草剂耐受基因, 能够抗草甘膦、草铵膦和异草酰三类除草剂。

硝酸草酮 (Mesotrione) 除草剂耐受基因 avhppd-03: 代表产品是多抗除草剂大豆 SYHT0H2 (Herbicide-tolerant Soybean line), 其转有 pat 和 avhppd-03 两个除草剂耐受基因, 能够抗草铵膦和硝酸草酮两类除草剂。

咪唑啉酮 (Imazamox) 除草剂耐受基因 AtAHAS。

资源投入: 需时久、耗费高、风险大

转基因作物的研发和产业化流程需时久、耗费高。据 Phillips McDougall 2011 年调查显示, 研发一个新的转基因作物时间平均需要花费 1.36 亿美金、平均费时 13.1 年、可能会在 20 多个国家申请法规安全审批、涉及 40 个左右的监管部门。原因在于, 除了初期的基因开发和测试之外, 转基因作物还需要进行全球的法规审批、以变成全球化的产品, 在保证转基因产品安全有效的同时, 也使得农民种植时没有后顾之忧、销售通畅。

1) 时间及花费方面: 据 Phillips Mcdougall, 一般来说, 转基因作物的完整研发和产业化流程包含 5 个环节: ①基因发掘: 平均需要花费约 3100 万美金, 耗时 4~5 年; ②转化子构建及优化: 平均需要花费约 2830 万美金, 耗时 1.5~2.5 年; ③转化事件形成及筛选: 平均需要花费约 1360 万美金, 耗时 2~2.5 年; ④性状导入及大规模田间测试: 平均需要花费约 2800 万美金, 耗时 3~3.5 年; ⑤法规科学、注册及审批: 一般在这个阶段还会同步进行性状的渗透导入、及亲本的繁育等工作; 这一环节平均需要花费约 3510 万美金, 耗时 7~8 年。可以看出, 转基因商业化的最大壁垒其实是

因为监管带来的长时间投入、高耗费和高风险。有很多产品都到了最后的注册阶段，又发现有问題，就不得不放弃。2002 年之前上市的转基因事件，平均需要在基因发掘早期测试 1638 个基因才能对应 1 个成功上市的产品。不仅如此，随着法规监管等的加强，每个转基因事件在不同研发阶段需测试的样本（基因/转化子/事件）数量也显著增加。2008 年至 2012 年引入的转基因事件需要的基因发掘早期个体数量已提高至 6204 个。

2) 安全审批方面：法规科学、注册及审批环节主要是在作物的主要种植国家/地区申请种植许可、在作物的主要进口国家/地区申请饲用/粮用的进口许可。比如玉米转基因性状，通常会在已放开转基因种植的美国、巴西、阿根廷等主要种植国申请种植安全许可，并在欧盟、墨西哥、日本、中国、韩国等主要进口国申请进口许可。而大豆转基因性状则会尤其重视中国和欧盟的进口安全许可，因为中国的进口量约占全球进口量的 62%。其中，中国通常要求转基因性状在海外已经获批种植许可才能来申请进口许可，欧盟的审批周期较长，常常会影响限制转基因产品的商业化进程。

3) 涉及的监管部门方面：以美国为例，转基因作物的产业化需得到农业部（USDA）、食品药品监督管理局（FDA）、环境保护署（EPA）三个大的部门的审批。农业部（USDA）负责转基因产品的种植安全，主要通过下属的动植物安全检疫局（APHIS）进行监管。食品药品监督管理局（FDA）负责转基因作物的食品和饲料安全。环境保护署（EPA）管理杀虫蛋白对农业的影响、确定或免除杀虫蛋白在食品中最高残留量的管理。

海外的龙头种企往往花费高额的研发费用在转基因的研发上。

另外，人才队伍也是转基因研发产业化的重要资源投入。

知识产权保护：专利+品种权+合约，多效保护

转基因技术的知识产权保护主要通过专利、和/或品种权保护、商业化许可、技术使用合约等多维度来实现。具体来说：

1) 专利保护：转基因技术在美国等地区最重要的保护方式之一，可以覆盖转基因技术的原始材料、方法及成品。保护期限一般在申请日起 20 年。根据中国科学院成都文献情报中心在 2020 年的统计，2000 年至 2019 年，全球授权的转基因作物专利共计 9569 项，其中一大半都是跨国龙头种企所申请的。在美国，基因审批本着“发明在先”的原则，一些科研机构/公司往往一找到某个基因、就先到专利局抢注专利。而前面提到，一个转基因事件从研发、法规安全审批到最终批准商业化需要 13~17 年的时间，因此在研发初期阶段申请的基因和表达载体等的专利，等到转基因品种正式上市时，其保护期限往往仅剩 3~5 年的时间、保护力度被迫减弱。因此，海外的龙头种企通常还会通过专利矩阵、专利延续等方式来延长全力期限、实现对转基因品种的全程保护。①专利矩阵：就是对功能基因及其突变体、辅助基因、表达载体、相关元件（启动子终止子等）、构建体、检测方法、转化技术、转化事件、相关农作物品种等进行一系列的专利申请，以延长技术的保护时长和扩大保护范围。其中，单一的功能基因、调控元件等都很容易被后来者修饰、改进或者替代，甚至在此基础上再申请新的专利，但是转化事件的技术难度高、权利要求多，很难被后来者绕开或者规避。

在专利权的保护框架及严密的专利布局下，跨国种企也积极的通过诉讼的方式防范竞争公司对其技术的侵犯（一旦其他公司涉及到对专利权所有公司的研究，就必须获得专利权所有公司的专利许可并向其缴纳大量许可费用）、并对农民的留种行为进行监管。



2) 品种权: 主要是从转基因作物成品的维度对转基因技术进行知识产权保护。目前国际上对植物新品种的保护有三种模式: 一类是所谓双轨制, 包括以美国为代表的专门法(一般指植物新品种权)加上专利法的全面保护, 和以德国/法国/荷兰/日本为代表的虽然采用双轨制保护植物品种、但在专利法中仅保护未被列入政府颁布的植物品种明细表中的植物品种、列入其中的则受专门法的保护(即双轨存在、但择一运行的模式); 第二类是专利保护的方法, 如意大利、新西兰; 第三类是专门法保护, 如阿根廷、巴西、中国。目前, 不管是通过何种技术路径获取的植物新品种在我国均不给予专利保护; 其中, 符合条件的植物新品种可以获得植物品种权的专门保护。专利权和品种权的保护主要存在四方面的差异: ①审查条件不同: 专利保护要求具备创造性、新颖性、实用性, 而品种权授予则要求该品种具有新颖性、特异性、一致性、稳定性; ②保护范围不同: 专利权着重保护植物发明的方法和产品, 品种权着重保护繁殖材料; ③权利内容不同/例外范围不同: 专利权的例外是单纯科研目的的使用可以不经许可, 而品种权的例外除了科研之外还有农民特权, 即农民可以不经允许自行留种繁育; ④保护水平不同: 专利法向权利人提供的垄断权保护要强于专门法。由于阿根廷、巴西和中国这三个粮食种植大国采取的是专门法单轨保护植物新品种的方式, 因此, 一方面种子子公司仍然会通过方法专利的方式尽可能的对其技术形成专利保护, 另一方面, 植物新品种权就成了转基因品种在这三个国家的重要保护方式。

3) 商业化许可: 主要针对转基因技术的合作公司。为了转基因性状的广泛推广和渗透, 跨国种企常常采用授权许可其他种企使用其性状的方式, 但会限制其他种企对其性状/技术的使用范围、并将核心的法规事务申请仍

掌握在自己手里。另外，法规数据的所有权是永久的，但法规数据（regular package）需要持续更新并申请延期（比如中国的进口/种植转基因生物安全证书有效期为 5 年）、即需要技术原有公司的核心数据及投入，因此即便专利过期后，性状使用公司仍要对性状所有公司支付性状授权费用。

4) 技术使用合约：主要是针对农民留种（特别是转基因大豆）的情况。

历史红利：种业扩容洗牌，粮食格局变迁

技术溢价升级，全球种业规模加速扩张

转基因商业化带动全球种业市场规模持续增长。2001 年至 2020 年，全球种业的市场规模从 164 亿美金增长至 441 亿美金、复合增速约 5.4%，背后的主要驱动就是转基因作物的商业化推广。具体来说：1) 作物种植面积的扩张仅贡献 1.1 个百分点的增长动力：2001 年至 2020 年，全球六大作物（玉米、大豆、水稻、小麦、棉花、油菜）的种植面积由 90.9 亿亩增长至 112.1 亿亩，复合增速约 1.1%；2) 转基因种子市场规模的复合增速明显高于常规种子：其中，转基因作物渗透率快速提升的 2001 年至 2013 年间，转基因种子市场规模的复合增速高达 17.9%，而非转基因种子市场规模的复合增速仅 3.0%；3) 转基因应用较广的作物/区域，其种业市场规模具备明显溢价：2016 年，全球玉米和大豆的种植面积在 9 类重要作物（其他为棉花、油菜、蔬菜、小麦、水稻、甜菜和向日葵）中的占比为 23%和 14%，但其对应的种业市场规模占比却高达 41%和 21%；而北美和南美的主要作物种植面积占比约 15%和 13%，但其对应的种业市场规模占比却高达 44%和 21%。

高定价是转基因驱动种业市场扩容的核心。据威斯康星大学 2009 年的统计，美国的转基因玉米种子售价较常规杂交种子要高出 10%~50%，其中转入基因数量越多的种子定价通常越高。而从 USDA 的数据来看，美国的玉米

和大豆种植成本中，单亩种子费用在转基因推广前的复合增速分别约 5.3% 和 2.3%，而在转基因快速推广的 1997 年~2013 年期间复合增速分别提至 7.9% 和 7.0%。我们分析，转基因种子之所以实现高定价的原因在于：

1) 价值创造：即通过抗虫、除草剂耐受等性状提升种子的产品力、为农民带来增收贡献（前文第 19~22 页已有总结分析，不再赘述），而种子从中抽取部分收益作为提价基础。根据 USDA 的统计分析，1997 年美国种植转基因抗虫棉所产生的效益中，29% 留存在了性状公司端、6% 留存在了种子公司端、29% 留存给了农民；而种植转基因除草剂耐受大豆产生的收益在这三个环节的留存比例分别约 28%、40% 和 20%。

2) 产品的迭代升级：即通过技术的优化、多基因的叠加等方式开发性能更强的新产品、同时一定程度上对核心基因实现专利保护期的延长（即前文提到的专利延续/拓展），从而实现定价的进一步提升。例如，2007 年美国四价、三价和双价的转基因玉米种子定价分别较常规杂交种子高出 50%、42% 和 33%。

梳理转基因性状产品的迭代升级策略，我们发现主要有四条路径：

插入位点优化：同样的基因，插入到植物染色体的不同位点，从而形成不同的转基因事件。性状公司可能会将多个转基因事件同时进行生物安全证书的法规申请，最后根据法规申请进度、专利保护情况、和田间效果等因素而选取一到多个转基因事件推向商业化。

转化技术优化：同样的基因，通过不同的转化技术转入植物染色体中，从而形成不同的转基因事件产品。例如，NK603 (Roundup Ready™ 2 Maize) 和 MON87427 (Roundup Ready Maize) 都是抗草甘膦玉米，转入的都是 cp4 epsps 基因，分别在 2000 年和 2013 年获得美国的种植许可。所不同的

是，NK603 是通过微粒子轰击（或称基因枪）的技术手段将 cp4 epsps 基因转入玉米的双拷贝转基因事件，而 MON87427 基因则是通过农杆菌转化的技术手段完成基因转入的单拷贝转基因事件。

多作物应用：同样的基因，应用到不同的作物中。

多基因叠加：通过二次转化、杂交技术、优化转基因载体的构建，从而实现多个外源基因在作物基因组内的组合叠加、开发多价的转基因事件。其中，二次转化和杂交技术会导致玉米基因组有两个或多个位点被外源基因插入，而优化载体构建是单次转入更多基因、插入位点仅一个。

值得注意的是，通过不同的技术路径开发多基因叠加性状有时候会出现殊途同归的组合。比如，MON863 和 NK603 杂交后的转基因事件、与 MON88107 的效果是一样的，又例如 TC1507 和 59122 杂交后的转基因事件、和 4114 的效果是一样的。

种子+农药，农化销售模式变化

除草剂耐受作物的推广带动草甘膦的崛起。草甘膦，上市于 1972 年，是一种广谱灭生性除草剂，商品名有“农达”等。由于其作用靶标为仅存在于植物和某些细菌中的 EPSP（5-烯醇丙酮酰莽草酸-3-磷酸）合成酶，因此草甘膦具备杂草杀灭效果好、低毒、在动物和水生物中不积累等特点；同时，其合成原料易得、工艺方法多样且简单，草甘膦的价格也较为低廉。上市初期，由于对作物生长的破坏性，草甘膦主要用在果园、桑园、茶园、道路沿线、森林苗圃、防护林带等非作物应用场所。1994 年，全球草甘膦原药的使用量约 4.25 万吨；1994 以前，全球草甘膦销售额最高值为 10 亿美元。而 1994 年起，转基因的 Roundup 系列作物（草甘膦耐受作物）开始在美国等地区推广，其可搭配使用高剂量的草甘膦除草剂杀灭杂草而不影

响作物生长，使得草甘膦的应用进一步扩大到作物上，带动了草甘膦的第二成长曲线。根据现代农药（2005 年），在草甘膦耐受大豆推广前，美国大豆除草剂市场由咪唑啉酮类除草剂主导，当时 Pursuit（咪草烟）的使用面积占美国大豆种植使用面积的 86%。2004 年，草甘膦在美国大豆的防治面积占比已提升至 90%，而咪草烟的份额则萎缩至 3%、且退出美国大豆使用前五大的除草剂行列；同时，草甘膦的全球市场价值提升至 31.9 亿元、远远领先于其他农药产品。截至 2019 年，草甘膦依然维持着全球市场规模最大除草剂的龙头地位、市场价值约 52.5 亿元。

转基因带动农化行业形成种子+除草剂捆绑销售的新模式。我们认为，这种成功经验背后的核心在于：

技术研发层面：找到了特定针对草甘膦的耐受基因 epsps，从而达到了转有 epsps 基因的 Roundup 作物在喷洒高浓度的草甘膦后仍能正常生长、而杂草已被草甘膦除草剂杀灭的效果，使得农户在种植阶段可以减少田间管理/人力投入、甚至实现免耕。另外，农化公司在研发除草剂和转基因种子搭配的作物保护解决方案过程中，有时还需要对农药进行再开发才能与转基因作物形成最佳的组合。比如，陶氏益农为了它的耐 2,4-D 作物，通过制造与加工工艺的结合，研发出了新的变体 2,4-D 胆碱（2,4-Dcholine），以降低除草剂的挥发性、减少气味、缩小潜在漂移。

技术保护层面：公司及时并完善的通过专利和植物品种权等法律手段保护了其核心技术（基因、转基因载体、转基因事件等等）。

市场定位层面：草甘膦是全球应用最广、市场规模最大的除草剂，其目前市场规模约相当于排名第二的草铵膦的 5 倍以上、在 Roundup 作物推广前的市场价值就已达 10 亿元（而草铵膦在推广了配套转基因作物十数年

后、2019 年市场价值才达到了 10 亿元量级)，这在某种程度上就决定了耐受草甘膦的基因应用范围会明显高于耐受其他除草剂的基因。事实上，针对草甘膦的 epsps 基因/Roundup 作物并不是全球最先研发获批的耐除草剂作物，耐草铵膦的 pat 基因/Liberty Link 作物早在 1995 年就获批了美国的种植用安全证书。但是，草铵膦的高价格等因素影响下，Liberty Link 作物并未能取得和 Roundup 作物同样量级的成功。

### 全球粮食格局变迁，南美大豆和印度棉崛起

转基因作物在不同国家/地区的应用差异，带动了全球粮食贸易格局的变迁，南美的大豆和玉米顺势崛起，印度和巴西则从棉花净进口国逐步变身棉花净出口国、跻身全球四大棉花主产国。具体来说：

1) 南美大豆：前文提到，1996 年起，转基因大豆开始陆续在美国、阿根廷、巴西等美洲国家开始推广、并迅速渗透，带动美洲的大豆单产明显提升。而南美国家更是积极把握了这一契机，通过开垦荒地、推广第二季大豆等方式加快扩种大豆。1995 年至 2019 年，巴西、阿根廷和巴拉圭三国（以下简称南美三国）的大豆种植面积占全球的比例由 29%持续提升至 47%；叠加单产提升的带动，南美三国的大豆产量占比提升至 50%左右。而转基因技术的推广也使得美洲大豆的成本优势进一步放大。2017 年，美国和巴西的大豆种植成本分别约 2234 元/吨和 1717 元/吨，较中国的种植成本低 2500 元/吨以上；美国、巴西和阿根廷的大豆出口到中国的到岸完税价也仅 3300 元/吨，较大连的国产大豆现货价低 580 元/吨以上；其中巴西和阿根廷的大豆到岸完税价比美国还要再低 32 元/吨左右。成本及耕地优势带动下，南美国家在全球大豆出口市场的比重越来越高，2004 年正式超越美国、近几年的出口量占比约 55%左右。特别是 2018 年中美贸易战影响美国对中国

的大豆出口时，南美国家更是顺利承接了中国订单、大豆出口量占全球的比例在当年高达 60%。

2) 南美玉米：和大豆的路径类似，转基因的推广带动美洲玉米的单产明显提升。原本单产水平不及中国的阿根廷，在转基因大豆推广后，单产逐渐赶超中国；而美国、巴西和阿根廷三国的平均单产，也从低于中国单产的水平上升为超越欧盟单产的水平。截至 2020 年，美巴阿三国玉米的十年移动平均单产约 499 公斤/亩，其中阿根廷玉米的十年移动平均单产约 462 公斤/亩，均高于欧盟（443 公斤/亩）和中国（401 公斤/亩）。和大豆不同的是，南美国家对于玉米的扩种积极性没有明显的高于全球其他国家。1996 年以来，南美三国和美国分别保持了 12%左右和 21%左右的玉米收获面积占比。单产提升和成本优势的带动下，巴西和阿根廷的玉米产量占比在转基因推广后由 8%左右提升至 12%左右、玉米出口量占比由 7%左右提升至 33%左右。

3) 印度棉和巴西棉：在转基因棉花的应用带动下，中国、印度、美国和巴西等国家的棉花单产都实现了明显提升。其中，受益于新型转基因棉花性状的持续迭代等因素，巴西的棉花单产提升幅度尤为明显。2018 年，巴西的棉花产量正式超越巴基斯坦、成为全球第四大的棉花主产国。不仅如此，在转基因的带动下，巴西和印度先后在 2003 年和 2005 年由棉花净进口国转型为棉花净出口国。截至 2022 年，巴西和印度分别净出口棉花 768 万包和 50 万包，相当于中国该年棉花进口量的 102%、6.7%。

新兴机会：生物育种商业化可期，中国农业迎来新机遇

商业化即将启动，仅待审定号下发

储备多年、应时而发，国内转基因玉米及大豆的商业化即将启动。对于转基因技术在国内的应用，我国政府遵循“非食用性经济作物（棉花等）→间接食用性经济作物（玉米、大豆等）→食用性作物”的推广路线，也就是说，继棉花之后，玉米和大豆将是国内转基因作物接下来推广的重点。1999 年，科技部、财政部联合启动“国家转基因植物研究与产业化专项”。2008 年，国家正式启动转基因重大专项、并投入了 200 多亿资金，目标是获得一批具有自主知识产权和重要应用价值的功能基因，培育一批抗病虫、抗逆、优质、高产、高效的重大转基因动植物新品种，提高农业转基因生物研究和产业化整体水平。此外，我国在十三五规划（2016 年~2020 年）和十四五规划（2021 年~2025 年）中提出“加速推动基因组学等生物技术大规模应用，推进生物育种等新一代生物技术产品和服务的规模化发展”的纲要。经过多年的研究和储备，我国的转基因作物研究已跻身世界领先水平。根据国家知识产权局在 2022 年的统计，我国的转基因玉米专利申请数量自 2017 年起明显增加、与世界范围内专利申请数量的差距显著缩小；1990 年至 2021 年，中国申请人在世界范围内提交了 2006 件专利，申请数量占比约达 24%、仅次于美国。而粮食安全的战略重要性、及草地贪夜蛾虫害在国内的传播也使得转基因玉米和大豆的商业化放开更为必要和紧迫。

具体来说：1) 粮食安全：我国的大豆消费在过去二十年主要有赖于进口供应、玉米消费对进口的依赖度在近三年也明显抬升，且进口的大豆和玉米大多为转基因产品。2021/22 年度，我国进口大豆 9157 万吨、占消费量的比重高达 85%，进口玉米 2188 万吨、占消费量的比重达 8%。其中，进口大豆中有 97%来自于美国、巴西和阿根廷这三个转基因大豆种植国、仅美国的占比就达 62%，进口玉米中有 71%来自于美国。而 2018 年的中美贸易



摩擦、2020 年以来的全球粮价上涨、多国限制粮食出口、2022 年的俄乌冲突等事件使得粮食安全的战略意义愈加凸显。近几年的中央一号文件也反复强调粮食安全。2) 草地贪夜蛾在国内的传入及扩散: 草地贪夜蛾是一种新入侵我国的重大迁飞性害虫, 自 2019 年 1 月入侵云南省后, 在我国西南部形成了高风险入侵区域、并迅速扩散至 27 省(区、市), 2022 年截至 9 月 1 日的发生面积达 3531 万亩, 已成为我国玉米上的重大害虫。草地贪夜蛾幼虫取食危害农作物的叶鞘、心叶等生长点, 对玉米和水稻的危害非常明显。若不采取防控措施, 草地贪夜蛾平均可令玉米减产 20%~40%, 虫量大的地区甚至可减产 70%以上。2020 年 9 月, 草地贪夜蛾被农业农村部列为《一类农作物病虫害名录》之首。2020 年至 2022 年连续 3 年的一号文件均明确提出做好草地贪夜蛾等重大病虫害防控要求。目前我国对草地贪夜蛾的防控策略是以应急化学防控(即农药施用)为主。但是部分地区的草地贪夜蛾已开始对农药产生抗性, 如 2020 年入侵安徽的草地贪夜蛾对氟苯虫酰胺产生了中等水平抗性。同时, 从美洲国家的经验来看, 2017 年当地的草地贪夜蛾已对氨基甲酸酯类、有机磷类、拟除虫菊酯类等 29 种杀虫剂产生了抗性。在这样的背景下, 转基因抗虫玉米的推广必要性再度凸显。

品种审定号的发放将是国内转基因玉米和大豆商业化的信号弹。转基因作物在我国商业化流程主要包括四个环节:

1) 转基因生物安全证书的申请: 由农业农村部负责审核, 主要是监管转基因性状的安全性(包括食品安全、饲料安全和环境安全三方面)和有效性(具备所声称的抗虫和/或除草剂耐受功能), 一般需要 5 年~10 年的时间。2009 年, 我国农业农村部曾首次批准过奥瑞金(SEED.0)的转植酸酶玉米的安全证书, 但后者受制于商业化价值的限制等因素而未曾成功上

市。2020 年 1 月，我国农业农村部颁发了两张转基因玉米的生物安全证书给大北农和杭州瑞丰的抗虫抗除草剂玉米、并颁发了转基因大豆的安全证书，至此转基因玉米和大豆在国内商业化的重要限速环节得以突破。

2) 性状导入/回交转育：由企业自主完成。通过 8~10 代的回交转育将转基因性状导入到商业化品种的亲本中，一般需要 2 年~3 年的时间。这一步可以与安全证书的申请同步进行，但许多企业考虑到成本和风险的控制，也常常会等到安全证书落地后再进行。

3) 品种审定：由农业农村部负责审核。在 2021 年之前，国内的作物品种审定办法仅针对杂交玉米/水稻、常规大豆和转基因棉花，而无针对转基因玉米的品种审定颁发，导致 2020 年转基因玉米和大豆生物安全证书颁发之后、商业化进程却无法向前推进。2021 年 11 月，农业农村部发布对《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》、《农业转基因生物安全评价管理办法》四项规章的修改决定（征求意见稿），明确了转基因品种的审定方法及生产、经营许可管理办法。“申请审定的适宜种植区域在受体品种适宜种植区域范围内，可简化试验程序，只需开展一年的生产试验；申请审定的适宜种植区域不在受体品种适宜种植区域范围内的，应当开展两年区域试验、一年生产试验。对于转育的新品种，应当开展两年区域试验、一年生产试验和 DUS 测试。”按照新的《主要农作物品种审定办法》的要求，如果是以前已经审定过的老品种在之前获得审定号的老区域申请转基因版本的品种审定号，则只需要进行一年的生产试验即可。考虑到 2022 年已足够重新做一年的生产试验数据用以提交审定，预计 2023 年第一批转基因玉米/大豆品种有望获批审定号。

4) 制种销售：一般来说，只有获得了品种审定号，才能进行大规模的商业化制种和商业销售。在审定号获取之前，企业仅可在试验田、在符合政策要求的前提下进行实验性的小范围制种、不能对外销售。

从以上流程的梳理，我们可以看出，目前国内转基因玉米和大豆的商业化只待品种审定号下发、就有望开始启动商业化销售。考虑到 2023 年的春耕已经启动、玉米种子大多已销售至农户端，而从我们 2023 年 3 月在东北地区的草根调研来看，前期试制种的转基因玉米种子在今年开始在东北、云南等部分县城进行试点销售，我们预计 2024 年将是国内转基因玉米和大豆大范围商业化种植的元年。

农业迎来新机遇，扩容重塑可期

涨价红利强化，玉米种业规模有望翻倍增长

高粮价支撑叠加成本压力，传统种业景气本就在回升。2021/22 销售季，以玉米种子为代表，传统种子行业已开始了景气复苏。隆平、登海、荃银和丰乐这 4 家上市种企的玉米种子销售价格均录得双位数增长，4 家公司的合计销量同比增长 19%、平均售价同比增长 16%。不仅如此，2022 年的三季报显示，8 家上市种企合计实现预收款 67 亿元，同比增长 41%、增速同比抬升约 26 个百分点，而从过去十年的情况来看，预收款的增速通常与下一销售季的收入增速趋势一致，我们相应预计 2022/23 销售季传统种业的景气还将加速回升。高粮价的支撑和制种成本的压力或是传统种业景气回升的主要驱动。具体来说：1) 受俄乌冲突、石油涨价、低库存等因素的影响，近两年国内外粮价持续上涨并维持高位运行。截至 2023 年 3 月，国内玉米、

小麦、中晚籼稻的现货价较 2020 年的低点分别上涨了 51%、39%、13%。而根据美国农业部和中国农业农村部的统计预测，预计 2022/23 年度玉米等粮食的期末库销比仍将维持在低位，即低库存的供需矛盾短期难以解决。我们预计粮价在未来 2-3 年或仍将维持高位运行，种子的价格有望受益于良好的种植收益而提升、而种子的销量或可受益于种植面积的扩张而增长，其中龙头种企受益或更为明显。2) 受地租、人力成本上升等因素的影响，近两年国内的制种成本普遍上升。根据农财网的统计，2022 年甘肃张掖的玉米亩制种成本相比 2020 年已上涨约 53%。不仅如此，2021 年和 2022 年，甘肃等地区还受异常天气的影响出现了不同程度的制种减产，导致玉米种子的单公斤成本进一步承压。相应的，种子企业在近两年也纷纷通过涨价以转移成本压力。根据全国农技推广中心的价格监测，2023 年 3 月全国玉米种子的销售均价约 63.8 元/亩、同比上涨 14.1%。

转基因带来技术红利，玉米种子涨价或被强化。以历史经验来看，种子涨价的核心驱动力来自于两方面：技术创新带来的性能提升、粮价上涨带来的种植收益提升，其中前者为主要动力。我国的玉米育种和大豆育种在过去数十年仅仅依靠杂交等传统育种方式，其中玉米的杂交育种受制于种质资源等限制、已多年没有明显突破。转基因技术的商业化推广将为国内的玉米种业和大豆种业带来新的技术红利，带动其价格的进一步上涨。其中，考虑到大豆种子尚未实现杂交、农民可直接留种且受法律保护，我们预计本轮转基因技术的商业化更多的是带动玉米种业的持续涨价，其实现机制或主要包括三方面：

#### 1) 转基因替代非转基因从而带动玉米种子涨价：

首先，以国际经验来看，转基因种子的定价普遍高于非转基因种子。

我们从两个视角来估算转基因玉米种子的涨价空间：①以目前的玉米价格（2900 元/吨左右）、农业农村部对 2022 年玉米的估算单产（427.3 公斤/亩）、国内转基因玉米种子的表观增产幅度（5%~10%）进行折算，预计转基因玉米种子在中国可为农民创造 62~124 元/亩的收入增厚机会。同时，考虑到转基因种子可减少田间管理和杀虫剂喷洒、为农民节约人力成本和农药成本，我们估计转基因玉米种子整体可为中国农民带来 100~150 元/亩的价值。参考海外种企的定价思路（提取 30% 价值创造作为种子涨价基础），我们估计转基因玉米种子的涨价幅度有望达 30~45 元/亩。②参考国内转基因棉花推广时的定价情况（转基因棉花种子比非转基因的贵 20~30 元/亩，详见图表 125），我们估计转基因玉米种子的涨价幅度至少在 20 元/亩。综合考虑，我们保守估计转基因玉米种子的定价或较非转基因玉米种子上涨 20~30 元/亩。

其次，考虑到转基因性状的功能优势及示范效应，预计转基因玉米种子的渗透率有望快速提升、到 2027 年或可达 75% 以上，渗透率的提升将带动玉米种子价格实现结构式的增长。以美国、阿根廷、巴西的转基因推广经验来看，越晚推广转基因技术的国家、其渗透率提升越快，而高位的粮价也会助推转基因技术的推广。转基因玉米是从 2008 年在巴西开始推广的，当时全球粮价处于高位、且有美国和阿根廷的成功推广经验、经销商及农民对转基因玉米的抗虫效果认知度更高，因此转基因玉米只用了 5 年的时间就在巴西实现了 75% 以上的渗透率、推广时间明显短于美国的 12 年和阿根廷的 9 年。同时，按照我国现行的农作物品种审定办法和转基因商业化流程，一个全新的转基因玉米品种拿到审定号并制种上市大概需要 5~7 年的时间，即便考虑到玉米品种的适应性和推广区域限制，我们估计国内种

企在 5 年内也有望开发出更多转基因品种以覆盖尽可能多的细分区域市场。

参考我国玉米的下游消费构成及行业监管秩序的向好，保守预计合法转基因玉米在国内的渗透率天花板或在 90%~95%。根据中国汇易的统计数据，在过去十年的时间里，饲用消费和工业消费（淀粉加工、燃料乙醇加工等）等非食用消费占玉米总消费量的比重约 96%。而以国际经验来看，转基因玉米的低霉素等特质使得其往往较非转基因玉米更受饲用消费和工业消费的欢迎。因此，即便考虑到玉米食用环节或存在非转基因的偏好，转基因玉米的渗透率在国内仍有广阔空间。同时，随着 2021 年国家修改《种子法》、修改《国家级玉米、稻品种审定标准》并提高玉米品种的审定标准、发布《关于审理侵害植物新品种权纠纷案件的司法解释》、推出《种业振兴行动方案》等一系列政策的革新推进，国内种子行业对于知识产权的监管和执行逐渐得到改善，我们预计非法转基因玉米种植、及“套牌侵权”的过往乱象有望明显减少。综合考虑消费和监管两方面的影响，我们估计国内合法转基因玉米的渗透率天花板或在 90%~95%。

2) 转基因事件的升级迭代从而带动玉米种子涨价：截至 2023 年 1 月，国内共有 13 个转基因玉米事件获批了种植用的生物安全证书，其中 7 个为抗虫抗除草剂事件、2 个为抗虫事件、4 个为除草剂耐受事件。从功能基因的角度来看，国际上推广较多的抗鳞翅目昆虫类基因基本都已覆盖。结合海外的产业化经验，我们预计中国转基因玉米未来的产品升级迭代有三种可能性：①事件叠加以实现更多功能基因的组合，例如不同公司之间的相互授权、等等；②转化技术的优化，例如大北农的 DBN3601T 是通过杂交的方式将两个抗虫基因组合到了一起、涉及到玉米基因组上两个插入位点，未来也可考虑通过单载体转入多基因的方式完成；又例如海南生物就正在

开发通过单载体转入 4 个基因的新事件；③新基因的优化和挖掘：目前国内的玉米害虫以鳞翅目类昆虫为主（玉米螟等），但生态环境的动态变化或可能导致未来鞘翅目类昆虫在国内发生，届时 cry3Bb1 等抗鞘翅目昆虫的基因开发将具备必要性。

3) 或可抑制非转基因种子的制种面积，从而带动玉米种业供需格局偏紧、种子涨价阻力减小。

预计转基因有望带动我国种业规模再增长。2021 年，我国的玉米种子零售价仅 50 元/亩，对应的零售价口径市场规模约 325 亿元、种企销售规模约 162 亿元。考虑到传统种业景气的回升、转基因技术带来的溢价、转基因渗透率的快速提升、及粮价变化对玉米总种植面积的影响，我们预计到 2028 年零售价口径的玉米种业市场规模将增长 82%至 592 亿元（复合增速约 8.9%）、其中种企销售规模增长 89%至 306 亿元（复合增速约 9.5%）；其中，2025 年和 2026 年或是增速较高年份。

性状三杰格局初现，种业集中化趋势难改

政策限制+专利过期，跨国种企或难以在国内转基因市场大展拳脚。外商在我国国内的投资活动需符合《外商投资目录》的规定，而《外商投资目录》中规定“玉米新品种选育和种子生产须由中方控股”“禁止投资农作物、种畜禽、水产苗种转基因品种选育及其转基因种子（苗）生产”。因此，外资种业龙头在国内多采用和中资种子集团组成 49%: 51%持股比例的合资公司来进行杂交玉米种子也在、且无法在国内开展转基因技术的研发和商业化活动。瑞士先正达也是在被中国化工集团收购后、成为中资集团的子公司，其转基因性状才得以通过中国种子集团在国内申请转基因生物安全证书、并推进后续的商业化行为的。另外，由于跨国种企普遍早在 1

990s 就已经开始了转基因技术的商业化活动，其部分专利已经过期，也可能影响到其在中国的转基因商业活动。相应的，预计转基因玉米性状环节在我国将主要是中资企业的竞争“战场”。

种业集中化趋势难改，布局早、研发强的传统种企有望实现市占率的抬升。对于传统种企而言，未来行业集中度的提升或主要来自于两方面：1) 转基因替代非转基因：无法拿到转基因性状授权的中小种企被淘汰，能获得转基因性状授权的中大型种企实现市占率的提升，其中布局早的种企或更容易实现“抢跑”、提升其渠道和客户粘性；2) 杂交育种/区域市场拓展/产品营销构建的突破：前面我们分析了，预计在 5 年左右的时间内，转基因性状的渗透率有望提升至 75%，则能获得转基因性状授权的种企届时或都已具备转基因产品，那么他们之间的竞争则将落在杂交育种、转基因性状和种质资源的结合、区域市场的拓展及产品营销等方面。举例来说，同样是转有某性状的品种，种质资源更佳（或者说杂交育种做得更好）的品种更易实现高销量；考虑到区域容量的市占率天花板限制，而我国的玉米种植包括东北、黄淮海、西南等多个生态区域，预计区域布局广、杂交研发实力强的公司更易实现全国口径的高市占率。

转基因的商业化推广或可带动传统种子销售环节的单亩盈利提升。对于传统种企来说，虽然转基因种子的溢价一部分需通过性状授权使用费用的形式支付给上游的性状公司、一部分需让利给经销商等渠道环节，但是其杂交种子是转基因技术的产品转化载体、且需承担制种推广等环节责任，预计仍有望留存部分溢价、实现单亩盈利的提升。

农业竞争力有望提升，粮食安全战略再巩固

转基因作物的推广有望改善我国农产品的生产成本，从而提高我国农



产品的国际竞争力。转基因作物可以通过抗虫性状减少杀虫剂的田间喷洒、通过除草剂耐受性状推进免耕或者减耕的种植面积，从而减少田间管理、降低人力成本。对比中国和美国、巴西的玉米、大豆种植成本构成，不难发现，人力成本正是其中最为关键的差异项。我们预计，转基因玉米和大豆在国内的商业化有望复制海外的成功经验、通过人工投入的改善而降低我国粮食生产的成本。不仅如此，由于玉米和大豆是饲料加工的主要原料（成本占比分别约 50%~60%和 20%~30%）、而饲料又是畜禽养殖的主要成本项（占比约 48%~70%），我们预计国内转基因玉米和大豆的商业化有望引发连锁反应、进而带动我国畜禽养殖乃至肉类产品的成本下降。

耕地节约+助推玉米大豆带状复合种植模式，转基因作物的推广有望进一步巩固我国的粮食安全战略。一方面，以海外经验来看，抗虫性状对作物单产的提升有明显的带动力，我们预计转基因玉米的推广有望提升国内玉米单产，从而实现耕地的赋能和节约。假设转基因玉米在中国的表观增产幅度为 5%、假设 2028 年国内转基因玉米的渗透率达到 80%，那么我们预计满足玉米静态消费量所需要的土地约 6 亿亩、较不推广转基因可以节约 2398 万亩的耕地；如果考虑玉米的消费量保持 2%的复合增速，则推广转基因玉米会比不推广节约 2695 万亩的耕地。假设玉米的表观增产幅度可达 10%，则满足玉米静态/动态消费量所需要的土地会比不推广转基因分别节约 4619 万亩和 5190 万亩。另一方面，转基因作物的应用更利于玉米大豆复合带状种植模式的推广。我国近年来开始推广玉米大豆带状复合种植的模式，即 2~4 行玉米中间插种 2~6 行大豆、形成一高一矮的两条带状作物复合种植，从而实现玉米单产不受明显影响之外多收一季大豆的效果。但是，由于目前玉米和大豆惯用的除草剂不同，玉米大豆带状复合种植的模式给除

草剂的田间喷洒带来了挑战，目前这种模式的推广面积仍然较为有限（2022 年约 1500 多万亩）。我们分析，转基因玉米和大豆的应用，可通过耐受同样类型（草甘膦或/和草铵膦）除草剂的转基因玉米和转基因大豆复合种植来解决除草剂喷洒的难题，从而助推玉米大豆带状复合种植模式，提升国内粮食产量。

另外，转基因作物的推广有望带动国内草甘膦需求的提升。根据前文的梳理，抗除草剂性状+对应的除草剂是种子和农药的一个经典搭配，比如农达（Roundup）玉米 MON810 和草甘膦、农达大豆 GTS40-3-2 和草甘膦、TC1507 和草铵膦等。考虑到不管是玉米还是大豆，国内现在批准的转基因性状主要是针对草甘膦或/和草铵膦的，同步考虑到草甘膦的价格优势及海外成功经验，我们预计转基因玉米和大豆的商业化或许对草甘膦的带动力更强。假设草甘膦的单位面积用量折算约 1.5 公斤原药/公顷、国内转基因玉米的渗透率在 2030 年达到 90%、国内大豆的种植保留 40%的比例以满足豆腐/豆浆等高蛋白的需求，我们预计到 2030 年国内的草甘膦或新增 6.5 万吨原药需求，其中 5.6 万吨增量来自玉米作物的耕种、0.9 万吨增量来自大豆作物的耕种。

**投资建议：技术红利期将至，积极布局种业**

转基因技术红利将至，国内种业有望迎来新一轮的高速增长期。凭借技术优势及相应而来的定价优势，转基因作物的推广曾带动全球种业市场规模持续了十几年的高速增长、并形成了种子+农药的捆绑销售模式。而在技术门槛、知识产权保护和资源投入等壁垒的护航下，领军企业也实现了规模和市占率的大幅提升。而目前，经过多年储备后，转基因玉米和大豆这两个大单品仅待审定号的发放就有望在中国启动商业化，2024 年或成中

国转基因玉米和大豆商业化的元年。我们预计，这将会强化在高位粮价支撑下国内种业的涨价趋势，带动我国种业市场规模新一轮的高速增长。我们认为，在海外成熟经验可参考、国内技术路径梳理清晰的背景下，当前种业板块仍具备明显的投资价值。

#### 风险提示

1、转基因品种推广进度不及预期。我国目前对转基因技术的运用和监管仍相当谨慎，转基因玉米、大豆种子落地政策若不及预期，可能影响对应品种在国内的推广进度。

2、转基因作物对产量的提升不及预期。若转基因品种种植对产量提升不及预期，则其提价能力、推广能力等或受影响。

3、种业监管力度不及预期。转基因育种技术研究投入大，若知识产权不能得到有效保护，可能影响研发主体利用技术和转基因性状在市场中保持竞争力。

4、粮价表现不及预期。天气、农资价格、种植面积、粮食需求等因素都会影响粮食价格，若粮价不及预期，农民种植积极性可能受挫，转基因种子推广和提价可能受影响。

#### 4、欧盟评估转基因米曲霉菌株 NZYM-0A 生产的天冬酰胺酶的安全性【食品伙伴网】

链接：<http://news.foodmate.net/2023/04/657590.html>

#### 内容：

食品伙伴网讯 2023 年 4 月 3 日，欧盟食品安全局就一种天冬酰胺酶（asparaginase）的安全性评价发布意见。

据了解，这种食品酶是由转基因米曲霉菌株 NZYM-0A 生产的，旨在用于各种食品制造过程，以防止丙烯酰胺的形成。

经过评估，专家小组认为，在预期的使用条件下，不能排除饮食暴露引起过敏反应的风险，但这种情况发生的可能性很低。根据所提供的数据，评估小组得出结论，这种食品酶在预期使用条件下不会引起安全问题。部分原文报道如下：

The food enzyme asparaginase (l-asparagine amidohydrolase; E C 3.5.1.1) is produced with the genetically modified microorganism *Aspergillus oryzae* strain NZYM-0A by Novozymes A/S. The genetic modifications do not give rise to safety concerns. The food enzyme is free from viable cells of the production organism and its DNA. It is intended to be used in various food manufacturing processes to prevent acrylamide formation. Dietary exposure to the food enzyme - total organic solids (TOS) was estimated to be up to 0.051 mg TOS/kg body weight (bw) per day in European populations. Genotoxicity tests did not indicate a safety concern. The systemic toxicity was assessed by means of a repeated dose 90-day oral toxicity study in rats. The Panel identified a no observed adverse effect level of 1,182 mg TOS/kg bw per day, the highest dose tested, which, when compared with the estimated dietary exposure, resulted in a margin of exposure of at least 23,176. A search for the similarity of the amino acid sequence of the food enzyme to known allergens was made and no match was found. The

Panel considered that, under the intended conditions of use, the risk of allergic reactions by dietary exposure cannot be excluded, but the likelihood is low. based on the data provided, the Panel concluded that this food enzyme does not give rise to safety concerns, under the intended conditions of use.

### 5、詹姆斯·克雷布最新研究：转基因金属硫氨酸可以增强从环境中吸收有毒重金属的能力【中国绿发会】

链接：[https://mp.weixin.qq.com/s/-xLjiWpfR\\_s4kztpjG7AvQ](https://mp.weixin.qq.com/s/-xLjiWpfR_s4kztpjG7AvQ)

#### 内容：

2030 年之前确保所有人拥有“清洁饮水和卫生设施”（SDG 6）是联合国 17 个可持续发展目标（SDGs）之一。对各种规模的可持续管理、物种和栖息地保护以及淡水生态系统的恢复进行投资对于满足人类健康和粮食安全的潜在需求至关重要，水资源对可持续发展和消除贫困与饥饿至关重要。作为国家一级学会，中国生物多样性保护与绿色发展基金会（简称中国绿发会，绿会）国际部持续关注这一重要国际前沿环境议题。

近日，绿会国际部收到国际工作顾问詹姆斯·克雷布（James Crabbe）来信，向绿会国际部小伙伴分享最新研究发现：转基因金属硫氨酸可以增强从环境中吸收有毒重金属的能力。他提到，现在他们开发了一种新的重组融合蛋白，将结合蛋白与纤维素膜连接起来，产生了一种稳定、环保和可重复使用的系统，可以从真实的水和锅炉污水样品中去除有毒的镉和其他金属，这对于现实世界的水净化计划具有重要的公共卫生应用。

#### 要点：

- ShMT3-CBM 是通过基因工程技术获得的。

- Cellulose1-ShMT3-CBM 是通过固定化技术获得的。
- 在低浓度溶液中，去除效率达到>99%。
- Cellulose1-ShMT3-CBM 表现出优异的可重复使用性。
- Cellulose1-ShMT3-CBM 对细胞无毒。

---

International Journal of Biological  
Macromolecules

Volume 218, 1 October 2022, Pages 543-555

---

Genetically modified  
metallothionein/cellulose  
composite material as an efficient  
and environmentally friendly  
biosorbent for Cd<sup>2+</sup> removal

Xuefen Li <sup>a</sup>, Yuxia Wang <sup>a</sup>, M. James C. Crabbe <sup>a, b, c</sup>, Lan Wang  
<sup>a</sup>, Wenli Ma <sup>a</sup>  , Zhumei Ren <sup>a</sup>  

<sup>a</sup> School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan  
030006, PR China

<sup>b</sup> Wolfson College, University of Oxford, Oxford OX2  
6UD, UK

<sup>c</sup> Institute of Biomedical and Environmental Science &  
Technology, School of Life Sciences, Faculty of Creative  
Arts, Technologies and Science, University of  
Bedfordshire, University Square, Luton LU1 3JU, UK

Received 20 April 2022, Revised 13 July 2022, Accepted 18 July  
2022, Available online 25 July 2022, Version of Record 27 July 2022

 中国绿发会

6、韩国召回 2 款检出未批准转基因西葫芦的即食烹饪食品【食品伙伴网】

链接: <http://news.foodmate.net/2023/04/657461.html>

## 内容:

食品伙伴网讯 4 月 3 日，韩国食品药品安全部（MFDS）发表消息称：韩国国内 2 家企业生产的 2 款即食烹饪食品中检出未批准使用的转基因西葫芦，韩国食品药品安全部命令其停止销售并召回该产品。

召回对象：消费期限标示至 2024.01.02 的“辣椒杂菜”产品，流通期限标示至 2023.09.04 的“美味清鞠酱汤”产品。

## 7、反对转基因的人，到底在追求什么？可能他们自己也不知道【网易号】

链接：<https://www.163.com/dy/article/I1FUGM7305520E3F.html>

## 内容:

转基因食品让人谈之色变。但在大洋彼岸的美利坚，转基因作物的种植正在如火如荼地发展，现在美利坚的大田作物种植面积早就超过了 70%，食品工业当中近 80% 的产品都含有转基因的成分。然而在除美利坚之外的地方，转基因作物的种植却举步维艰。

那些反对转基因的人，到底在追求什么？我们已经无法追寻反转基因的源头，但让不少科学家感到困惑的是，对这些反对转基因的人的利益诉求，很多人都疑惑不解。有人认为转基因作物不安全，但又拿不出确切的证据，也有人认为转基因作物是大公司垄断的工具，本着反对垄断的态度，他们才来反转基因的。

或许巨头的垄断让人感到不安全，但这本身跟转基因食品有什么联系吗？人类始终想要掌握自己身体的控制权，除了温饱之外，还谋求对食物的绝对支配能力。发生于上世纪 90 年代末的疯牛病事件，曾因为初期的一些隐瞒行为引起了公众的怀疑。这其实摧毁了公众对官方机构的信任。然而，转基因作物从研发到审批需要一个漫长的过程。就算在美利坚，一个



转基因作物从实验到变成商品，平均需要 13 年的审核时间，花费资金要超过 1 亿美元。这就让一些研究转基因的小公司难以为继，大量的技术和人才都在大公司聚集。许多科研机构研究出了成果，但无法投入市场，这引起了转基因专家的怨念。

但情况正在逐渐好转，对于反对转基因的声音，我们应该允许这些声音存在。转基因作物在许多人看来来势汹汹，它们价格低得出奇。正所谓便宜没好货，转基因作物很快就被加上了某种阴谋论的色彩，许多报道都或多或少地暗示转基因作物“有害”。

但迄今为止，你可曾听说过有一个人因为吃转基因作物受害？越来越多的反转基因者发现，自己在科学上站不住脚。或许连反转基因者自己都不知道，自己想要的是什么，而这对他们来说也并不重要。大家怎么看？

## 8、今年以来全球转基因粮食作物在食品和饲料市场的应用统计【百家号】

链接：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762155584081016301&wfr=spider&for=pc>

### 内容：

关注每日粮油，了解全球市场动态。今天我们将花一点时间，重点关注下今年以来全球转基因粮食作物在食品和饲料市场的应用情况。

众所周知，近两年随着我国玉米等谷物进口数量的增多，国家在转基因育种方面加大了政策支持力度，包括大北农、荃银高科等子公司也纷纷加大了对相关品种的育种研究，以保护我国农业的“芯片”安全。

而就在近日，远在欧洲的英国更是通过了欧洲首个基因编辑育种法案，允许对动物和农作物实施基因编辑，并发布一项基因编辑小麦田间试验结果。



接下来我们就来看看今年以来全球转基因粮食作物在食品和饲料市场的应用情况，注意，以下信息全部来自公开资料。

首先，我们来看下全球转基因技术应用王国美洲地区。目前美国已经批准了 22 种转基因作物产业化，每年种植转基因作物 11.3 亿亩左右，占其耕地面积的 40%以上，其中玉米、大豆、棉花、甜菜等转基因品种种植面积均超过 90%。

从最新收集的资料来看，今年以来美国分别批准了一项转基因大豆和玉米用于食品和饲料，并宣布一项基因编辑大豆符合豁免标准。

此外，巴西还在今年批准了一项转基因小麦的商业化种植。

由于该地区的国家多为全球最核心的粮食出口国，因此，该地区大量转基因技术的应用，也使得全球粮食贸易中关于转基因作物的交易比重越来越高。

接下来我们看看新兴转基因技术应用区域亚洲地区，近日我国台湾省先后批准一项转基因玉米、棉花和大豆用于食品和饲料。土耳其也在去年年底批准了一项转基因玉米用于饲料，并使得该国累计批准数量达到 36 个。

此外，韩国近日召回 2 款检出未批准转基因西葫芦的即食烹饪食品。

需要指出的是，该地区的人口大国，一直以非转基因作物为主的印度，也在去年年底向本土开发的转基因芥菜籽发放环境许可证，为印度首个转基因作物的商业应用铺平道路。

接下来，我们来看下被认为是转基因技术管制最严格的欧洲地区。就在今年年初，欧洲食品安全局就发布了两项转基因玉米的食用和饲用评估报告，从过往数据来看，2021 年欧盟进口转基因大豆约 1522 万吨、转基因玉米 340 万吨，其中转基因大豆约占大豆进口的 90%左右，转基因玉米约占

玉米进口的 30%左右。

就连此前宣布全面禁止转基因种植的俄罗斯，目前也是允许进口转基因大豆的，并在 2020 年允许进口转基因豆粕，用以满足国内需求。

最后我们看下澳洲地区。近日澳新食品标准局正在就一款抗虫玉米进行意见征求。此外，该地区也是阿根廷和巴西之后，第二个允许转基因小麦应用于食品的地区。

综合来看，在大宗粮油作物中，转基因棉花是最早被广泛种植的品种之一，此后随着大豆贸易量的不断增加，转基因大豆也逐渐成为全球大豆贸易的主流品种。而近年来，随着新兴国家经济的发展以及工业用粮的大幅增长，非转基因主粮育种技术开始增多，其中最为明显的则是菲律宾、阿根廷及巴西等，其中菲律宾以转基因大米为主，而阿根廷和巴西则是转基因小麦。

## 9、转基因技术是福是祸？我国粮食安全离开它行不行，专家有话说【百家号】

链接：[https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762118086738387251&wfr=s\\_pider&for=pc](https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762118086738387251&wfr=s_pider&for=pc)

内容：

粮食安全目前是国际上备受关注的的一个话题。为了保证粮食的生产能够提供全球不断增长的人口生存需要，对于种植物的育种技术则需要不断提高，以技术的升级来促进粮食产量的提高以及营养价值的丰富。

转基因技术是指通过基因工程技术来对食品进行基因上的改良，这样的好处是能有效提高相关农产品的产量，或是通过优良基因的组合来提高食品内在的抗病虫害能力以及丰富营养价值等。

然而，与非转基因食品相比，其内在的遗传物质被技术手段所改变了。这也使得转基因食品也一直让广大消费者存在担忧，经过人为干预改变的食品是否对人体健康存在危害？转基因技术的发明普及对于人们来说究竟是福还是祸呢？

首先从转基因产品的作用来看。

许多科学家认为，经过转基因技术改造的食品不仅不会对人体健康产生危害，而且对于食品营养品质的升级提高具有良好的促进作用，对于粮食安全保障以及环境可持续发展等都具有重要意义。甚至研究转基因作物，在某种程度上可以丰富农作物的品种，而从不同作物中提取的一些原料甚至可以运用医药领域。

而在市场投入的转基因产品也需要经过严格的审核标准才能上市。美国此前对转基因玉米、大豆以及棉花等研究都未发现对人体有害的证据。从目前中国市场来看，真正能被允许商业化种植的转基因作物暂时只有棉花和木瓜。

从现实需要来看，近几年国家一直提倡要保证粮食安全。更是提出要守住 18 亿亩耕地红线。一方面是现实需要对于粮食安全的需要较为紧迫，另一方面是转基因技术对于粮食生产明显的促进作用。两者结合便足以可见专家提倡的转基因技术对于我国粮食安全的意义所在。

转基因技术是福还是祸？许多民众对于转基因技术的担忧在于它对于食品安全的“未知风险”存在不确定性，对于市场流通的转基因食品是否会因有关企业谋利而产生其他外来风险？

这些担忧可以理解，但要真正让大众接受转基因产品，需要一定的时间，更需要市场公开透明的机制以及有关部门的严格把关。

## 10、大豆进口破千万吨，从净出口国到进口国，转基因大豆安全性如何？

【百家号】

链接：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762317614374034198&wfr=spider&for=pc>

内容：

中国以前是大豆净出口国，现在需要大量进口，其中一部分是转基因大豆。为什么会这样？我们的粮食安全受到威胁了吗？这些问题一直备受关注。

根据海关总署的数据，2022 年 12 月，我国进口大豆 1056 万吨，其中从美国进口 601.57 万吨，转基因大豆占市场的 62%。这不得不引起我们的警惕。虽然转基因大豆具有成本低、可大规模生产的优势，但对其安全性的质疑一直存在。

那么，为什么中国从大豆出口国变成了进口国？一方面是人工成本和土地成本的差异，另一方面是畜禽行业的需求。虽然中国的粮食产量不容小觑，但对大豆的需求巨大。如果要实现国内自给自足，就必须种植一半以上的耕地，这也会对小麦、水稻等主要粮食作物的安全造成威胁。

然而，我们不必过于担心。中国高度重视转基因生物的安全，所有进口的转基因大豆都经过严格的安全评估，并获得进口安全证书。此外，2022 年中国大豆产量和种植面积均创历史纪录，自给率也在逐步提高。虽然在扩大大豆种植的道路上，我们还有很长的路要走，但我们有信心，中国的饭碗和油桶都要装满中国的粮油。

在确保粮食安全的道路上，我们需要付出更多的努力，更加重视农业产业的发展，更加重视生态环境的保护。这样才能保证我们饮食的健康，

国家的安全稳定。

## 11、国内唯一转基因水果，迫于无奈允许种植，已在市场销售多年【网易号】

链接：<https://www.163.com/dy/article/I1HLME1I0531R2BX.html>

内容：

导读：国内唯一转基因水果，迫于无奈允许种植，已在市场销售多年。提到转基因，大家会想到转基因棉花、玉米、大豆，很少想到水果之中也有转基因。实际上，世界上很多国家都有转基因水果，咱们国内也有唯一的一种转基因水果，早已实现规模化种植，它就是番木瓜。

面对转基因食品，大众的态度一向显得比较排斥，那为何会在番木瓜这一水果上出现例外呢？这其实也是无奈之举，如果没有转基因技术，或许我们就再也品尝不到番木瓜的滋味了。

番木瓜是外来物种，在水果市场上一般都被简称为木瓜。它和咱们国内原产的光皮木瓜不是同一种，光皮木瓜就是诗经里“投我以木瓜，报之以琼琚”的木瓜，也叫木李，和番木瓜八竿子打不着。

所以，转基因木瓜是指从国外引进的番木瓜，而不是本土木瓜。番木瓜之所以要用到转基因技术，是因为它爆发了一种无法治愈的“环斑花叶病毒”，这种病毒几乎摧毁了番木瓜种植业，果农们颗粒无收，并且扩散到了全世界各地的番木瓜种植园。为了拯救番木瓜，科学家使用了转基因技术，让番木瓜得以从这种病毒中存活下来，这也是迫于无奈的选择。

虽然番木瓜是转基因水果，但大家也不用太担心，它是有安全证书的，并且已经批准种植、销售多年，大众对它的接受度很高。餐厅里常见的美食木瓜炖雪蛤、木瓜炖燕窝等甜点，采用的基本上都是番木瓜。

番木瓜果型大，果肉呈现美丽的橙红色，而且果肉清甜，营养价值高，对皮肤好，深受女性朋友喜爱。此外，番木瓜还具有一定的药用价值，包括果肉、汁液、种子等部位都有药用价值，整体经济价值较高。

番木瓜在全世界热带地区广泛种植，国内也有番木瓜种植园，主要集中在广西、海南等地，它的产量很高，一棵树上能结好几十个果。除了当水果销售，还可以进行农产品深加工，做成果干、果汁、果酱等产品。

此外，番木瓜含有木瓜蛋白酶，它有类似“嫩肉粉”的作用，可以软化肉类，让肉类变得鲜嫩可口，可以进行深加工。另外还可以作为化妆品原料，制作药品等，开发潜力大，可以帮助农民朋友增收。

不过也有人认为，对于番木瓜是转基因这件事，根本就不知情，在购买番木瓜的时候，也没人提醒这是转基因水果。事实上，关于转基因的争论从来就没有停止过，咱们国家对于转基因技术应用还是非常谨慎的，国外很多国家大规模种植了转基因玉米、大豆等作物，国内却始终没有进行商业化推广种植。

这也从侧面反应了转基因番木瓜的获批是在多方考量之下才有的，安全性很高。吃不吃番木瓜，对于吃货来说，这是一个简单的问题，喜欢吃就买，不喜欢就别买。

## 12、转基因香蕉来临：30年后，不管你是否愿意，都得吃转基因香蕉【网易号】

链接：<https://www.163.com/dy/article/I1GLF6710537SDE4.html>

内容：

香蕉无疑是大家最喜欢的水果之一。我也发现了一个问题。现在买香蕉回家，很快就会长出芝麻点。当我出去野餐时，我不只是把它们像苹果

一样塞进去。相反，我想防止它们被挤压。不然很容易烂！

但是在半个多世纪以前，有一种香蕉叫做巨无霸，它皮厚、持久、香气浓郁、味道甜美，就像奶油冰淇淋一样，经得起长途跋涉运输和储存。人们对此赞不绝口！直到现在还有人在网上留言，哪里可以买到 GrosMichel 香蕉，因为大家都怀念这种完美的香蕉，但是这种上天赐予的水果已经灭绝了！

香蕉为了取悦人类，200 年前就诞生于公气本身之前说过，吃香蕉一定要小心，因为里面不仅有籽，而且个头可能不小在尺寸方面。混着一点点果肉，你很难想象这就是我们每天吃的香蕉的祖宗！

看起来像青翠的香蕉，有点小拇指的样子，但切开它们的果实，里面的种子密密麻麻。

这么多籽的香蕉实在是太难吃了，现在怎么弄到又软又甜的香蕉呢？这就需要了解香蕉种植的历史。

香蕉原产于马来群岛、澳大利亚北部和巴布亚新几内亚，最早可能在巴布亚新几内亚被驯化。也许经过无数次香蕉之间的杂交，人类终于得到了无籽香蕉！

而且由于环境的刺激，有些香蕉会长出更高的植株，更大的果实，以及更多的糖分和蛋白质含量。其实不只是香蕉，很多植物都会有类似的情况。当外界低温、辐射或药物刺激发生时，就会发生染色体加倍。当然，概率极低。与辐射育种类似，这样的突变也是人类的福祉！

传说中的 BigMike 就是这样的香蕉人。19 世纪初，法国博物学家尼古拉斯巴尔丁在东南亚发现了非常优良的香蕉品种。这种香蕉的球茎被带到加勒比海的马提尼克岛植物园进行种植。1835 年，法国植物学家将这种香



蕉从马提尼克岛带到牙买加。

1870 年，美国电报机长 LorenzoDowBaker 将它从牙买加带到了美国。从那以后，这种香蕉便风靡全球，因为它的味道好极了，香味很浓，以至于很多人认为它是加味的，但实际上现代的香蕉味都是以这种香蕉味为基础的。

Dimike 是 AAA 级小果野生香蕉的三倍体品种。其卓越的品质至今仍令人难忘。但好景不长，因为 20 世纪初，一种尖孢镰刀菌感染香蕉树，产生黄叶病，开始在世界范围内蔓延。会导致香蕉树从根部开始坏死，无法维持水分输送，最终死亡。而且，这种古巴转化的尖孢镰刀菌，威力之大，可以在土里藏上几十年！

由于这种三倍体 GrosMichel 品种没有种子，因此无法进行有性繁殖！简单来说，GrosMichel 从 NicolasBaldin 把这种香蕉带到马提尼克岛植物园，到风靡全球的所有品种，都是同一个球茎的克隆，它们的基因完全一样，所以这一个可以杀死 GrosMichelFusariumoxysporumPanama 种，也可以感染全世界的大麦克，同样死去，剩下的只是时间问题。

因此，从 20 世纪初到 1960 年代，全球毛果逐渐萎缩，许多种植毛果的香蕉种植公司破产，香蕉田被废弃。被巨无霸压碎的卡文迪什香蕉（花蕾香蕉、华蕉）和我们现在吃的大香蕉几乎是同一个品种。

这个品种刚出现的时候，根本没有和巨无霸抗衡的实力，因为无论是产量还是口感，甚至是外观，它都碾压了花香蕉。不过，巨无霸枯萎后几乎绝迹，而香蕉果实却几乎成了刚需，所以能抵抗这种尖孢镰刀菌的香蕉是次之的选择。

一种新的菌类出现，花香蕉面临灭绝



世界上大约有数百种可食用的香蕉，但花椒是唯一的一种，就像 1965 年之前的 GrosMichele。GrosMichele 稍微差一点，但至少不会死于香蕉黄叶病，不过也别高兴得太早，和大米歇尔蕉一样，华蕉也是三倍体品种，也就是说全球的华蕉也是同一个基因品种。

对于中国香蕉的营养繁殖，他们正在踏上怪香蕉的后尘，因为到 20 世纪末，这种真菌已经进化出一种可以感染中国香蕉的类型，“香蕉枯萎病 4 号小种（TR4）”（感染杜鹃花的 TR1）针对花椒的感染，全世界各国都在面对这种真菌的大敌。尽管各种防疫系统受阻，TR4 仍然开始向世界传播。

根据植物病理学家 RandyPlotts 的估计，TR4 杀死的中国香蕉比 TR1 消灭 Rustica 的还要多，因为从 20 世纪到 21 世纪香蕉种植面积增加了，所以一旦 TR4 开始在全球蔓延，香蕉种植业将是一个天文数字。

而更坏的消息是，当年大马吃不敌木耳，有花椒替补，但这次花椒已经没有后备队了，就算有，大家也不想换，因为整个香蕉产业体系是有的，从种植、采摘、加工到运输、储存、催熟都是量身定制的，如果要退货，整个损失无法估计。

从 1950 年代开始，香蕉种植业就开始培育出可以替代华蕉的产品，但是 70 多年过去了，没有太大的进展。现在解决花蕉对 TR4 真菌抗性的唯一方法就是将野生香蕉的 TR4 抗病基因移植到花椒中，当然理论上也可以移植到更早的大麦蕉中。

2015 年，昆士兰科技大学科学教授 JamesDale 发表了一篇关于《自然》的论文。病好了，其中一只完全抵抗了 TR4 真菌的感染。然而，到目前为止，这种转基因香蕉并没有得到推广。毕竟，转基因香蕉目前还没有获得推广种植的许可，因为还不能完全被大众接受，但 TR4 的全面爆发随时可

能发生。即使按照当年 TR1 的传播速度，到 2050 年，也就是奇形怪状的香蕉退市 100 年后，花椒的末日就会到来。以后没有香蕉吃，说不定真的会成为现实呢！再等 30 年，就再也没有便宜又优质的香蕉可以吃了。你面前有两条路。一是吃那些又大又贵的香蕉，二是选择好吃的转基因香蕉。你会如何选择？

延伸阅读：大麦蕉依然存在

大麦蕉作为商业种植已经彻底退出历史舞台，但在一些地方依然存在，比如泰国，还有很多地方还在种植，但香蕉种植业已不再是不敢将其引入商业化种植。毕竟 TR1 真菌一旦被感染，就会失去一切，所以很多朋友津津乐道的大麦香蕉还是可以买到的。

所以你能买到 groats!

### 13、支持转基因的学者越来越多：转基因并没有那么可怕【网易号】

链接：<https://www.163.com/dy/article/I1KMLJ5V05532UV7.html>

内容：

对于转基因作物的讨论，最近这段时间一直不绝于耳。虽然许多人很排斥转基因，但转基因作物的身影已经在我们生活中大量出现。比如超市里摆放的番木瓜，就是清一色的转基因作物。

所谓的转基因作物，是在农作物当中植入一些其他物种的基因，从而让其具备某种特性。比如黄金大米，这其实就是一种转基因大米，是在水稻基因植入胡萝卜素的结果。现如今，越来越多的学者公开支持转基因，这其实是科学发展的必然结果。转基因作物不应该被视为洪水猛兽，反而是人类解决未来粮食问题的“金钥匙”。社会上一些对转基因作物的臆测，用科学的角度根本站不住脚。比如说吃了转基因作物后，人体基因也可能

会发生改变。这简直是对人类遗传学的一种侮辱。

转基因这一原理，在人类的杂交育种当中其实也有体现，千百年来，人类通过改良的方式，让农作物的性状更满足人类需求。现代的转基因作物，只是相比传统的育种方式更快更精准罢了。迄今为止，所有关于转基因作物危害的讨论，几乎都是人们的臆测。在转基因食品几乎普及的美国，没有一个因为吃转基因作物发生身体异常的事件，这其实已经足以让那些对转基因作物如临大敌的人感到站不住脚了。

在世界各地，都有以“反转”为目标的组织，但如果你问他们反转的原因以及诉求，这些人大多只能喊口号，却对反转之后的世界毫不关心。当然，也有人打着“反转“的旗号卖所谓的高价”有机食品“。大家对转基因的态度是什么呢？欢迎讨论。

#### 14、中国台湾卫生福利部门发布两项转基因菌株生产食品原料的使用限制及标识规定修正案【农业农村部】

链接：[http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/ckzl/202304/t20230404\\_6424680.htm](http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/ckzl/202304/t20230404_6424680.htm)

#### 内容：

2023年2月7日，中国台湾卫生福利部门发布两项转基因大肠杆菌发酵生产的食品原料 2'-岩藻糖基乳糖的使用限制及标识规定修正案。此前上述两项转基因菌株生产的食品原料的使用限制及标识规定中，对使用范围的界定是“限用于婴儿配方食品、较大婴儿配方辅助食品及专供七岁以下儿童的奶粉或类似产品”。本次修正案依据《食品安全卫生管理法》修改为“限用于婴儿与较大婴儿配方食品及专供七岁以下儿童的奶粉或类似产品”。

(来源: 中国台湾卫生福利部门)

## 15、虫子吃了转基因抗虫作物会死，为什么人吃没事？【农业农村部】

链接: [http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/kpxc/202304/t20230406\\_6424737.htm](http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/kpxc/202304/t20230406_6424737.htm)

### 内容:

一说到转基因抗虫作物，有些人就产生一种疑问：为什么虫子吃了会死，人吃了没事？有这种疑问并不奇怪，因为传统农业上用的一些化学杀虫剂不仅能杀死虫子，对人体也有一定的毒性。但转基因抗虫作物里的 Bt（苏云金芽孢杆菌）杀虫蛋白具有高度的专一性，只能与棉铃虫、草地贪夜蛾等鳞翅目害虫肠道上皮细胞的特异性受体结合，导致害虫肠穿死亡，而其他昆虫、哺乳动物和人类肠道并没有这种“特异性受体”，所以杀虫蛋白进入消化道只能被消化分解，不会发挥作用。就像驱虫药宝塔糖，吃了后蛔虫会死，人却没事。

实际上，Bt 杀虫蛋白并不是什么新鲜事物，人类发现它已有 100 多年，Bt 制剂作为生物农药已经安全使用了 70 多年，包括有机农业也在使用。

---

深圳市农业科技促进中心  
深圳市标准技术研究院

2023 年 4 月 10 日发