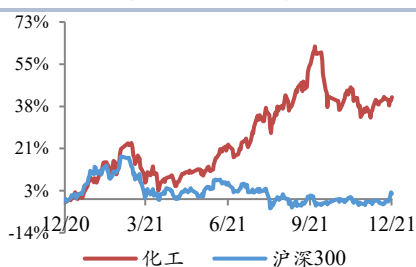


秸秆高值利用或掀起第二次“页岩气革命”

行业评级：增持

报告日期：2021-12-11

行业指数与沪深300走势比较

分析师：刘万鹏

执业证书号：S0010520060004

电话：18811591551

邮箱：liuwp@hazq.com

联系人：曾祥钊

执业证书号：S0010120080034

电话：13261762913

邮箱：zengxz@hazq.com

相关报告

- 1.《“十四五”工业绿色发展规划》发布 2021-12-05
- 2.生物基材料浪潮已至 2021-11-29
- 3.高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平发布 2021-11-21

主要观点：
● 突破“原料瓶颈”刻不容缓

当人类开始追求碳中和，物质生产的舞台上生物质产业链必将成为主角。根据全球三大经济体的生物质产业链发展规划，到2030年预计全球至少20%化工品被生物质产品替代（OECD预测），对应市场空间8000亿美元；我们按照高值产品均价计算，对应市场规模2.8亿吨产品；假设原料全部用玉米，且单耗按统计下限计算，需要8.4亿吨玉米；2020年全球玉米产量为11.6亿吨，意味着即便增加72%的玉米产量也无法满足需求，更何况现有技术和地理条件无法企及。因此，大规模生物制造的前提是原料获得性瓶颈可以解决。特别是我国作为人口大国和粮食进口国，粮食安全和大规模生物制造的矛盾或更加突出，发展生物质多元化如同发展能源多元化一样刻不容缓。

● 进口和转基因只是过渡方案

放开工业作物进口或者普及转基因作物都无法支撑未来如此庞大的产业链：1) 放开进口，从我国原油进口增长和对应政策变化可见一斑。近十年我国原油对外依存度的快速提升，几近触及红线，因此“十四五”规划相比“十三五”规划对炼油企业的政策出现了明显掉头。从短期看，炼油炼化的前车之鉴或影响相关政策制定，全面放开工业用途作物进口的概率不大。从长期看，如果我国生物质产业发展只依靠外部资源，必定丧失话语权，成为全球供应链附庸。2) 普及转基因，全面普及转基因作物任重道远，需要对全社会进行消费观念的引导。如果只是工业作物的耕地普及转基因作物，可以增产的幅度很有限，相比需求杯水车薪。

● 秸秆或是最佳原料之一

原料体系的确认原则是“丰富+易得”：前者决定可以支撑的产业体量，后者决定产品成本。我们认为秸秆是生物质产业最佳原料之一。我国每年秸秆产量超过8亿吨，即便考虑收集率和利用率也可以支撑1.5亿吨左右的生物质产品。此外，相比其他废弃物，例如厨余垃圾、排泄物、废塑料等，秸秆的分布更加集中，涉及商务对象更少，有助于保持供应的稳定性。秸秆虽是很好的生物质原料，但现有技术对其利用普遍低值化，低质产品无法替代化工品。秸秆的高值化利用势在必行，而合成生物学或成为最核心的工具之一。

● 凯赛生物有望实现秸秆高值化利用

“TRY AND DELETE PART OF THE PROCESS”——Elon Musk

这是今年8月马斯克在SpaceX德州发射基地接受媒体采访时分享的五步工作法中的第二步，即“流程简化”。由于传统秸秆处理技术需

要3倍甚至更大于秸秆自身的体积，因此只能集中化处理。秸秆必须从四面八方运送到集中区域。于是供应链中才存在“收、储、运”的问题：1)“收”存在秸秆来源分散和定价的问题；2)“储”存在糖流失和火灾隐患等问题；3)“运”存在秸秆密度低，运输成本高的问题。凯赛生物有望利用合成生物学技术对秸秆预处理，实现提高密度，分布处理的目的，将原本“收、储、运”三个关键流程，减少为“收”一个关键流程，实现了“流程简化”。秸秆高值化利用更为关键。传统“用”的方式需要针对抑制剂和杂糖问题进行多步分离纯化，步骤多因此成本高。凯赛生物有望利用合成生物学技术实现“流程简化”，降低成本。

● 秸秆高值化利用或开启中国“页岩气革命”

我们认为，秸秆高值化利用的商业意义、战略意义等同于美国“页岩气革命”。秸秆高值化利用与页岩气开发有许多相似之处：1)相比整装油气田，页岩气和页岩油开采相对分散，开采周期短，但是储量巨大。秸秆高值化利用亦如此；2)页岩气和页岩油的开采周期短、地质条件多样，需要不断的技术迭代降本增效。秸秆以及其他生物废弃物的高值化利用亦如此；3)美国页岩气和页岩油的开采成本虽然不是全球最低的，但因为开采量大实现了对全球油气及其下游产品（例如乙烯产业链）的供给调控能力。秸秆高值化利用亦可如此；4)页岩气革命实现美国能源自给并出口，能源自由强化了美国在全球贸易和政治上的话语权。秸秆高值化利用对我国生物质产业的全球话语权亦如此。

● 投资建议

推荐关注凯赛生物。

● 风险提示

生物废弃物技术发展进度不及预期；秸秆利用商业模式开展不及预期；新技术开发进度不及预期；技术产业化不及预期；政策持续性不及预期；原材料价格波动的风险；技术泄露的风险。

● 推荐公司盈利预测与评级：

公司	EPS (元)			PE			评级
	2020A	2021E	2022E	2020A	2021E	2022E	
凯赛生物	1.18	1.63	2.27	77.43	96.72	69.57	买入

资料来源：wind，华安证券研究所

正文目录

1 原料是大规模生物制造的瓶颈	6
1.1 生物制品正下沉至大宗市场，原料消耗巨大	6
1.2 粮食是生物制品当前唯一原料	8
1.3 “与人争粮”导致原料获得困难，成本高	11
2 进口、转基因是过渡方案	16
2.1 粮食进口配额稀缺，关税影响较大	16
2.2 转基因对生物制造原料的贡献有限	21
3 “变废为宝”是终极方案	24
3.1 生物废弃物资源化解解决原料获得性问题	25
3.2 工业废弃物利用在起步，解决污染和原料一箭双雕	31
3.3 非粮作物有助开发贫瘠土地，需下游先发展起来	35
4 秸秆高值利用或开启第二次“页岩气革命”	37
4.1 “收、储、运”是秸秆利用的产业化难点，需企业与政府在技术和模式上共同解决	37
4.2 秸秆商业化过程中“用”的问题来源于原料复杂性，合成生物学有望提供新的解决方案	39
4.3 “页岩气革命”对秸秆高值利用启示	45
风险提示：	50

图表目录

图表 1 生物制品正下沉至大宗市场	7
图表 2 大宗化学品的玉米消耗量	8
图表 3 葡萄糖经 TCA 循环代谢为乳糖、氨基酸、核苷酸、脂类等物质	9
图表 4 多糖在植物中存在的方式	9
图表 5 主要天然多糖的转化条件	10
图表 6 主要农作物成分对比	10
图表 7 2019 年玉米全国各省份产量	11
图表 8 玉米单位面积产量和播种面积	11
图表 9 国内玉米产量和消费量变化	12
图表 10 玉米进口数量及金额	12
图表 11 玉米消费量按照下游领域分类变化	13
图表 12 玉米价格变化	13
图表 13 生物制造生产化学品单价与原料成本比较(元/吨)	14
图表 14 粮食深加工发展坚持“不与人争粮，不与粮争地”原则	14
图表 15 全球玉米产量与中国玉米产量占比	16
图表 16 全球玉米消费量与增速	16
图表 17 实行关税配额制农作物种类	17
图表 18 国内作物进口配额变化	17
图表 19 我国三大主粮关税配额和进口数量变化	18
图表 20 国内作物进口配额申请条件及流程	18
图表 21 关税配额产品税目税率表	19
图表 22 2019 年获得玉米配额企业列表	20
图表 23 大豆净进口及进口均价变化	21
图表 24 转基因玉米与野生玉米对比	22
图表 25 各国转基因作物研发应用及法规管理模式对比	22
图表 26 转基因作物增产测算	23
图表 27 转基因作物贡献增产量与 2020 进口量对比	23
图表 28 废弃物分类	24
图表 29 废弃物的可利用性对比	24
图表 30 2010-2021 年中国秸秆产量及可收集资源量	25
图表 31 主要作物籽粒与秸秆质量比例	26
图表 32 2020 年国内秸秆利用方式占比	27
图表 33 不同秸秆利用方式对比	27
图表 34 秸秆燃料化利用主要方式途径	27
图表 35 各地禁止秸秆焚烧	28
图表 36 2020-2021 年我国部分秸秆综合利用相关政策	29
图表 37 2018 年中国秸秆规模化供应量区域分布	29
图表 38 2010-2020 年中国畜禽粪便产量及增速	30
图表 39 畜禽粪便能源化利用的主要技术	30
图表 40 木聚糖、纤维素和低聚木糖 (XOS) 的提取和纯化工艺方案	31
图表 41 工业尾气生产燃料乙醇流程图	32

图表 42 利用尾气生产燃料乙醇具有成本优势	32
图表 43 利用尾气生产燃料乙醇具有减排优势	32
图表 44 利用工业尾气生物发酵法生产乙醇企业概况	33
图表 45 脂肪烃类塑料单体的生物降解途径	33
图表 46 芳香类塑料单体的生物降解途径	34
图表 47 林木生物质资源不同组分经热化学、生物、化学转换生成化学品示意图	34
图表 48 全国耕地质量等级面积比例及主要分布区域	35
图表 49 全国人均耕地面积	35
图表 50 农作物种植条件对比	36
图表 51 高抗逆性能源作物条件对比	36
图表 52 秸秆收储运模式	38
图表 53 秸秆存储方式对比	38
图表 54 秸秆化学成分组成	39
图表 55 秸秆预处理方法比较	40
图表 56 秸秆相关发明专利申请情况	40
图表 57 秸秆中常见的抑制物来源及产生原因	41
图表 58 常用发酵菌株碳源来源及产物	42
图表 59 秸秆利用或废弃物利用企业破产或退市案例	42
图表 60 杜邦在利用秸秆进行纤维素乙醇合成的历程	44
图表 61 凯赛生物部分在研项目进度	44
图表 64 中美页岩气地质条件和开发条件对比	46
图表 65 中国与美国页岩气产量对比	46
图表 66 页岩气和石油开采成本比较	47
图表 67 美国页岩气发展历程	48
图表 68 国内页岩气发展历程	48
图表 69 我国的能源结构与未来生物制造原料结构类比	49

1 原料是大规模生物制造的瓶颈

当人类开始追求碳中和，物质生产的舞台上生物质产业链必将成为主角。

据美国《生物质技术路线图》规划，2030 年生物基化学品将替代 25% 有机化学品和 20% 的石油燃料；

据欧盟《工业生物技术远景规划》规划，2030 年生物基原料将替代 6%-12% 化工原料、30%-60% 精细化学品；

我国规划未来现代生物制造产业产值超 1 万亿元，生物基产品在全部化学品产量中的比重达到 25%；

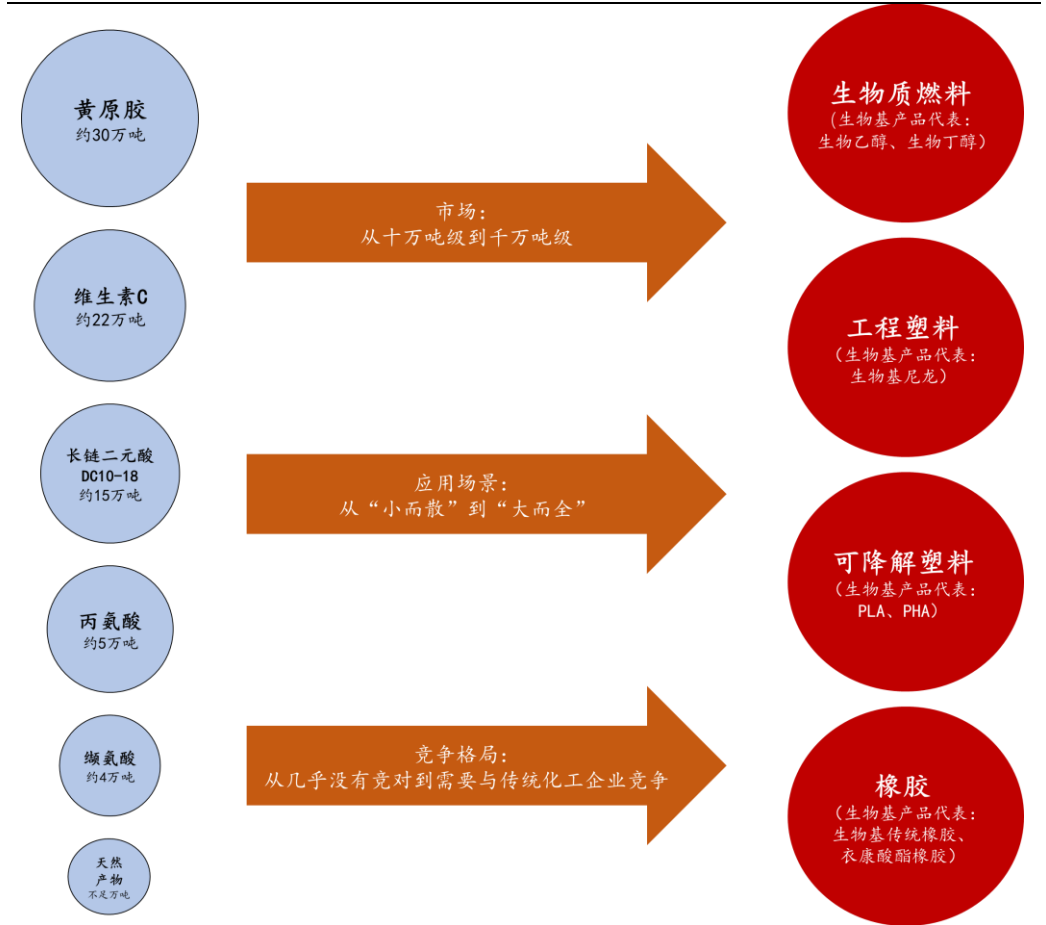
.....

我们来推演一下，根据全球三大经济体的生物质产业链发展规划，到 2030 年预计全球至少 20% 化工品被生物质产品替代（OECD 预测），对应市场空间 8000 亿美元；我们按照高值产品均价计算，对应市场规模 2.8 亿吨产品；假设原料全部用玉米，且单耗按统计下限计算，需要 8.4 亿吨玉米；2020 年全球玉米产量为 11.6 亿吨，意味着即便增加 72% 的玉米产量也无法满足需求，更何况现有技术 and 地理条件无法企及。因此，大规模生物制造的前提是原料获得性瓶颈可以解决。特别是我国作为人口大国和粮食进口国，粮食安全和大规模生物制造的矛盾或更加突出，发展生物质多元化如同发展能源多元化一样刻不容缓。

1.1 生物制品正下沉至大宗市场，原料消耗巨大

随着生物制造和生物基材的技术成熟，加上“碳中和”和“禁塑令”等一系列 ESG 相关政策推动，生物制品的种类不断扩大，并下沉至需求巨大的大宗产品市场。回顾过去，生物制品更多用在医药中间体、食品或饲料添加剂等市场相对较小的领域，包括丙氨酸、缬氨酸、黄原胶、维生素 C 等，市场需求量停留在万吨到十万吨级。未来，生物质燃料、工程塑料、可降解塑料、橡胶等领域都将成为生物制造施展的舞台，市场、应用场景、竞争格局都将产生变化：（1）市场容量将从十万吨级拓展到千万吨级；（2）应用场景从“小而散”到“大而全”；（3）竞争格局从几乎没有竞对到需要与传统化工企业竞争，从“错位竞争”到“部分或全部替代”。

图表 1 生物制品正下沉至大宗市场



注：圆圈中为全球需求量。

资料来源：华安证券研究所整理

受粮食转化率限制，生物制品下沉到大宗市场将导致玉米等粮食原料消耗大幅提升。以粮食作为原料，通过生物发酵的方法生产化学品的转化率并不高，单吨产品的玉米消耗量普遍在 3 吨以上。以目前产业化走在前列的乙醇和尼龙为例，根据国内部分生物制造企业环评报告，生产每吨尼龙需要消耗 3 吨左右的玉米原料，而生产每吨乙醇则需要消耗 3-4 吨玉米原料。

(1) 乙醇：我国玉米产量约为 2.6 亿吨，按照国内乙醇产量 300 万吨计算，如果全部用玉米为原料生产，玉米消耗量将超过 1000 万吨，达到国内产量的 4%。且我国燃料乙醇存在 1200 万吨的供给缺口，如果全部满足，需要增加超 4000 万吨的玉米消耗量每年。2019 年，全球玉米产量 11.1 亿吨，按照全球燃料乙醇市场 8000 万吨计算，如果全部用玉米为原料生产，玉米消耗量将达到 2.24 吨，全球产量的 20.2%。

(2) 尼龙：以尼龙 56 为例，若新增市场需求达尼龙 66 国内市场的 50%，玉米消耗量将达到 67.5 万吨；以尼龙 5X 为例，若替代尼龙国内市场 50%，玉米消耗量将达到 560 万吨；全球尼龙市场 1000 万吨，若 50% 以生物基尼龙替代，玉米消耗量将达到 1500 万吨。

考虑到其他化工品潜在的生物制造替代，目前可供使用的玉米产量是远远不够的。特别是在现阶段，全球玉米等粮食的产量还无法完全满足日益增长人类食用或饲料用的消费量，如果继续大规模采用玉米等粮食作为生产化学品原料，会加剧粮食安全风险。原料端没有变革，生物制造及合成生物学的产业化、规模化发展也将遇到原料“天花板”。

图表 2 大宗化学品的玉米消耗量

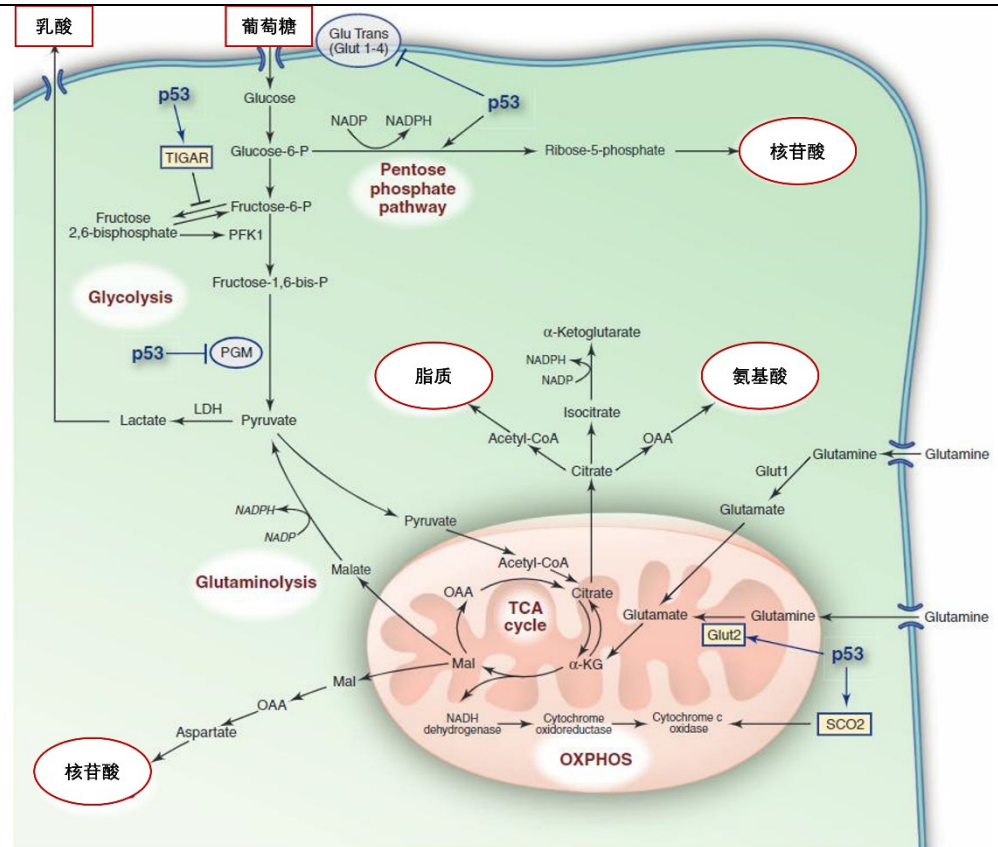
生物基产品	产品的玉米单耗 (吨/吨)	假设产品替代率 (按全球市场)	玉米消耗量(万吨)	代表企业
尼龙 5X (尼龙全球市场 1000 万吨)	3	10%	300	凯赛生物
		30%	900	
		50%	1500	
		80%	2400	
燃料乙醇 (全球市场 8000 万吨)	3~4	10%	2800	河南天冠、 中粮生化等
		30%	8400	
		50%	14000	
		80%	22400	

资料来源：CNKI，立鼎产业研究，华安证券研究所

1.2 粮食是生物制品当前唯一原料

糖是微生物代谢中最重要的碳源，在微生物代谢中起到不可替代的作用，同时也是“细胞工厂”最重要的原料。微生物正常代谢一般都需要有碳源、氮源、无机盐、水等几大类物质。碳源是“细胞工厂”生产碳基化学品最主要的原料。氮源、无机盐、水主要起到微生物繁殖、生长的作用。自然界中最常见的碳源是淀粉，微生物通过酶将淀粉水解成葡萄糖加以利用。葡萄糖既可以为细胞生命活动提供所需的能量，为合成产物提供必要的碳架，也可以为微生物或细胞的正常生长，分裂提供物质基础。在微生物代谢中，TCA 循环（三羧酸循环）是三大营养素（糖类、脂类、氨基酸）的最终代谢通路，又是糖类、脂类、氨基酸代谢联系的枢纽；EMP 途径（糖酵解途径）是生物体中普遍存在的葡萄糖降解途径，是将葡萄糖和糖原降解为丙酮酸并伴随着 ATP 生成的一系列反应。微生物就是通过 TCA 循环、EMP 途径等一系列通路将糖转化成所需物质并利用。在生物制造过程中，工程菌除了自身正常的代谢外，还需要通过 EMP、TCA 等代谢通路，或人工添加的异源代谢路径，将糖类等物质转化成目标产品。

图表 3 葡萄糖经 TCA 循环代谢为乳糖、氨基酸、核苷酸、脂类等物质



资料来源：《Science》，华安证券研究所

淀粉酶来源广泛，可以来自于植物、动物以及微生物，是生物制造最理想的高分子糖。自然界中糖通常以较为复杂的高分子形式存在，包括淀粉、纤维素、半纤维素等，极少以单糖的形式存在。而微生物通常只能利用单糖，高分子糖需要经过酶水解后才能被微生物利用。过去的生物制造更加重视原料的易利用性，微生物中有对应高分子糖的水解酶是原料选择的关键因素。淀粉酶是微生物中最常见的酶之一，让淀粉成为了微生物最容易利用的高分子碳源。玉米、小麦等作物中的淀粉很容易就经过液化酶和糖化酶（淀粉酶）的转化形成单糖，为微生物提供重要的糖平台。纤维素酶一般由真菌生产，细菌的纤维素酶产量较少，且容易退化，产酶能力较低，进而导致纤维素的利用效率低。若在生产过程那种额外添加纤维素酶，又将导致生产成本大幅增加。半纤维素单体含有五碳糖，也存在产品原子利用效率低等问题。因此，淀粉成为了生物制造一直以来最主要的碳源。

图表 4 多糖在植物中存在的方式

主要多糖类型	单体	单体碳数	糖苷键	平均聚合度	主要来源
淀粉	葡萄糖	6	α-1,4 糖苷键	800-3000	玉米、小麦、马铃薯、木薯等
纤维素	葡萄糖	6	β-1,4 糖苷键	10000-15000	棉花、稻草、木材、秸秆等
半纤维素	葡萄糖、木糖、甘露糖、阿拉伯糖和半乳糖等	5/6	β-1,4 糖苷键、β-1,3 糖苷键	200	针叶材、阔叶材、禾本科草、秸秆等

资料来源：CNKI，华安证券研究所

玉米由于淀粉含量高、生长周期短成为现阶段最主要的生物制造原料。营养物质方面，玉米富含淀粉、蛋白质，不仅可以为微生物发酵提供必要的碳源，还可以提供部分氮源和无机盐等。生长周期方面，玉米的生长周期仅为小麦的一半，使用玉米作为原料可以减少仓储压力，提高土地利用效率。综合考虑糖的可利用性及作物生长周期，玉米是目前微生物利用最好的选择。

图表 5 主要天然多糖的转化条件

主要多糖类型	酶系	转化温度区间	转化 pH 区间	转化时间
淀粉	液化酶、糖化酶（淀粉酶）	90°C（液化） 58°C（糖化）	4.5-5.5	12-18 h
纤维素	纤维素酶	45-65°C	4.5-6.5	36-72 h
半纤维素	木聚糖酶等	40-60°C	3.5-6.0	30-72h

资料来源：CNKI，华安证券研究所

图表 6 主要农作物成分对比

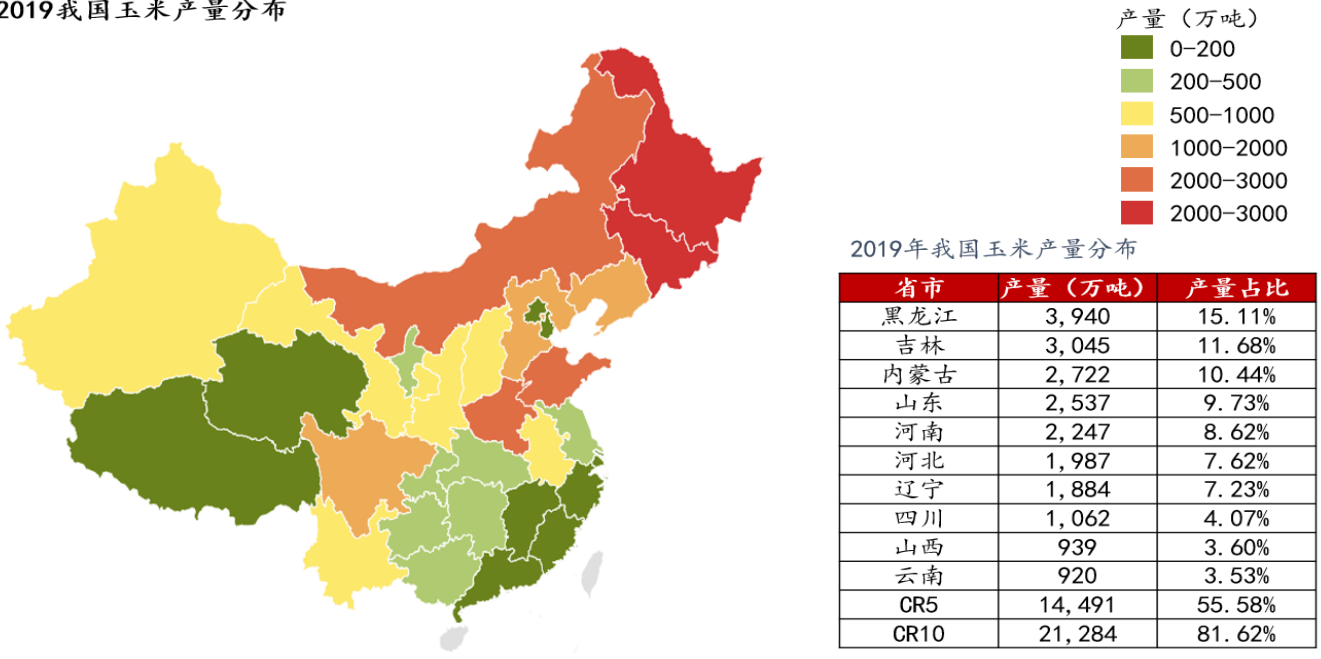
原料名称	主要化学成分（%）						价格 （元/吨）	生长周期 （天）
	淀粉	水	油脂	纤维素	蛋白质	蔗糖		
玉米	55-70	10-20	4-5	-	6-8	-	2500-2900	100-130
甘蔗	-	60-80	-	10-15	-	10-15	1100-1500	210-360
小麦	50-70	-	2-5	-	8-12	-	2500-2800	230-270
土豆	10-20	65-80	-	0.2-0.5	1-5	-	1200-1600	60-100
木薯	24-32	-	-	0.5-1.5	0.4-1.5	-	1500-1700	280-320

资料来源：CNKI，华安证券研究所

玉米是目前生物制造应用最广泛的原料之一，同时也是我国种植面积最大且产量最高的粮食作物。我国近几年玉米产量基本保持稳定，2019年，中国玉米产量为6.32吨/公顷，播种面积为4128万公顷，总产量2.6亿吨左右。我国玉米主要的产地为黑龙江、吉林、内蒙古和山东等地。自2015年以来，我国玉米单位面积产量略有上升，但播种面积略有下降，总体处于供不应求局面。

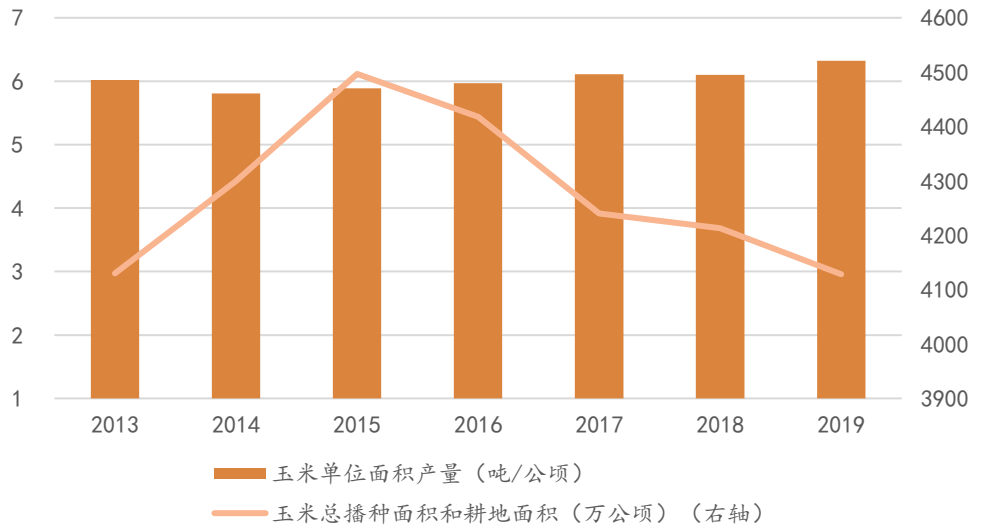
图表 7 2019 年玉米全国各省份产量

2019 我国玉米产量分布



资料来源: wind, 国家统计局, 华安证券研究所

图表 8 玉米单位面积产量和播种面积



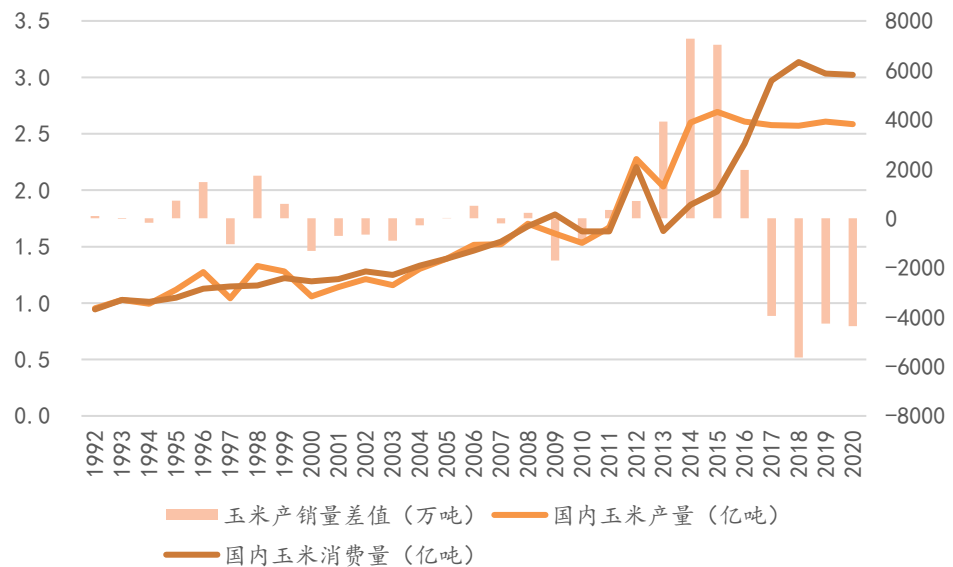
资料来源: wind, 国家统计局, 华安证券研究所

1.3 “与人争粮”导致原料获得困难，成本高

供应链（粮食、能源、资源等）安全是一条红线，任何工业发展都应谋定而后动。

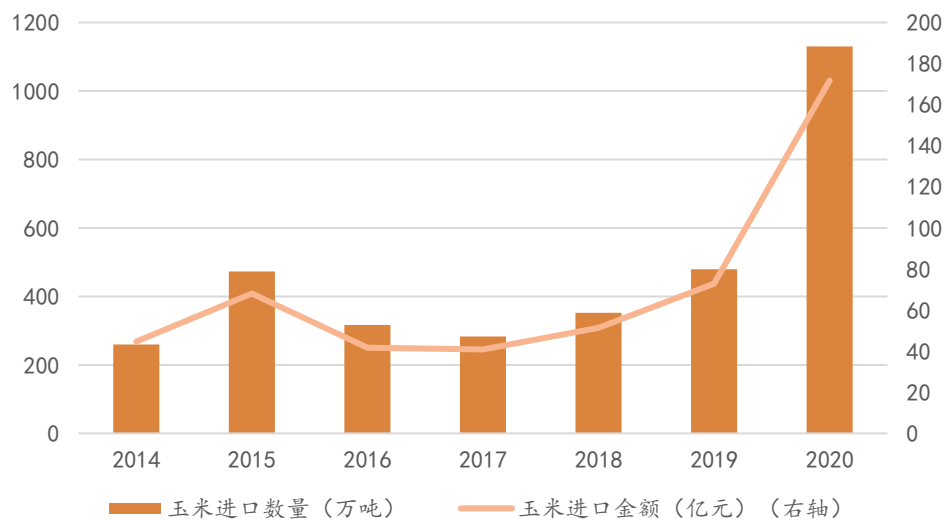
从供应链安全看，玉米国内供不应求，需要大量进口，供给缺口超过 3000 万吨。1999 年-2009 年，我国玉米产量从 1.28 亿吨增加到 2.61 亿吨，实现了产量的翻倍。近五年以来产量维持在 2.6 亿吨左右。玉米产量增速在 1.5%-2.5% 之间，近年来增速放缓。我国玉米消费量从 1999 年的 1.12 亿吨增长至 2019 年的 2.91 亿吨，近几年需求在 2.9 亿吨左右，需求增速放慢。比较近年来玉米产量与消费量，玉米供给缺口均在 3000 万吨以上。生物基材料和生物制造的发展可能进一步加剧供需不平衡。

图表 9 国内玉米产量和消费量变化



资料来源: wind, 华安证券研究所

图表 10 玉米进口数量及金额

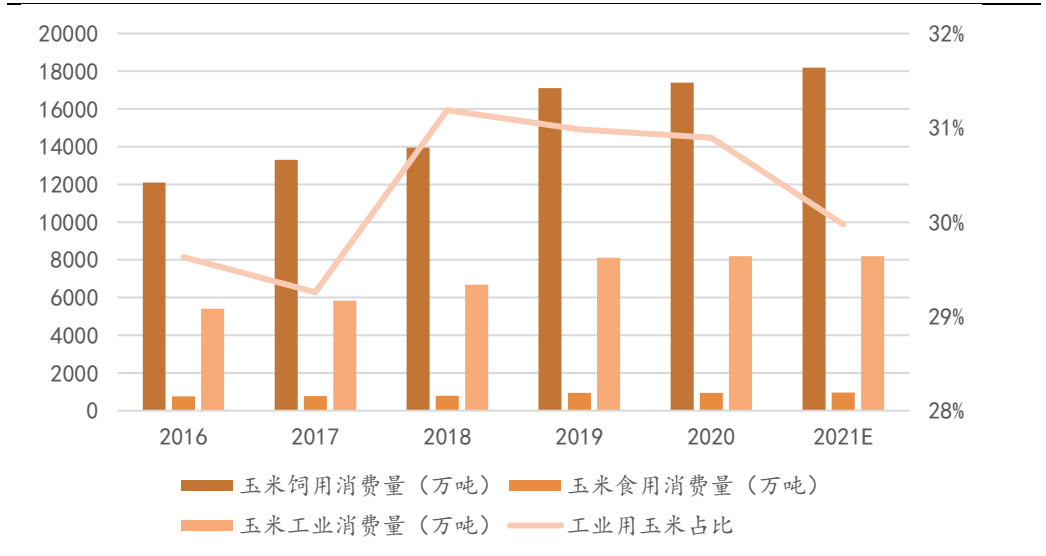


资料来源: wind, 海关总署, 华安证券研究所

饲用和工业用玉米增速较快, 导致价格连续 4 年上涨, 制约生物制造经济性。2016 年以来, 饲料用玉米用量增长绝对值最大, 5 年累计涨幅达到 50%; 工业用玉米用量增长速率也达到 50%; 食用玉米用量增长较小。因此, 2016 年以来, 国内玉米价格和玉米进口价格均出现较大幅度的上涨, 其中国内玉米均价从 2016 年的 1518 元/吨上涨到 2020 年的 2548 元/吨, 玉米进口价格从 2016 年的 1329 元/吨上涨到 2020 年的 1780 元/吨, 分别增长了 67.9%和 33.9%。由于生物制造产业规模较小、产业链还处于发展初期, 许多产品价格波动依然与石油基产品挂钩, 原料价格波动难以快速传导到下游产品, 因此玉米价格的大幅上涨也导致了生物制造在许多领域难以取得成本优势。随着合成生物学产业化、规模化发展, 国内玉米供不应求的问题会更加突出。粮食安全的前提下, 大量玉米用作生物制造等工业用途, 势必

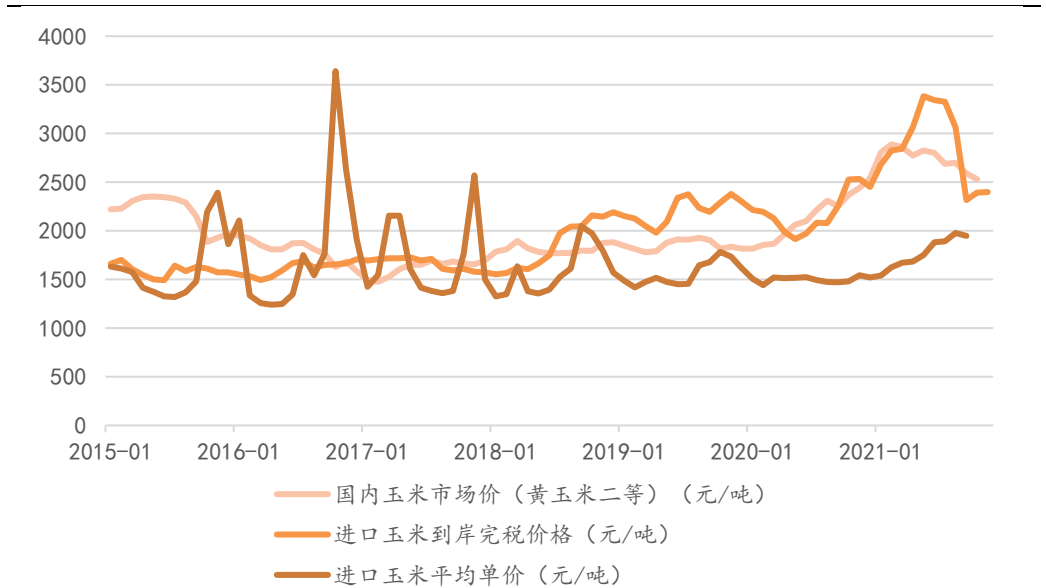
会挤压饲料用途和食用用途的玉米消费，玉米作为工业原料存在隐形天花板。

图表 11 玉米消费量按照下游领域分类变化



资料来源：中国农业信息网，华安证券研究所

图表 12 玉米价格变化



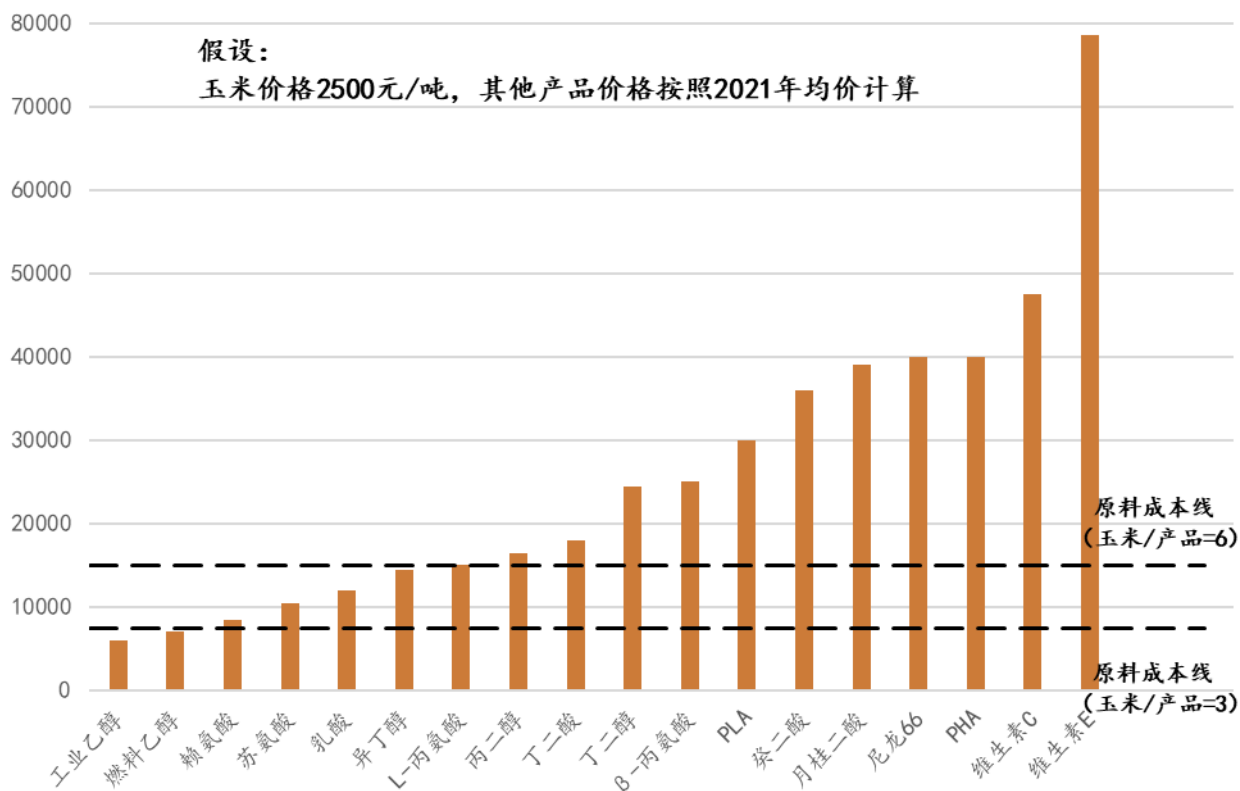
资料来源：wind，国家统计局，华安证券研究所

仅从“本质竞争力”看，以粮食为原料的产品树较难触及规模庞大，对碳中和有贡献的大宗化学品层级。

从经济性看，根据环评数据，在 2500 元/吨的玉米价格水平下，生产乙醇所需的玉米原料单吨成本约为 7500 元/吨（玉米消耗量/产品产量=3），已经超过乙醇价格；生产赖氨酸或苏氨酸所需玉米原料单吨成本约为 15000 元/吨（玉米消耗量/产品产量=6），也已经超过赖氨酸或苏氨酸价格。考虑到其他原料成本、能源成本、人力成本以及设备折旧等因素，仅从主要产品来看，生物法与化学法相比是没有成本优势和生产经济性的。对于玉米发酵生产乙醇或赖氨酸、苏氨酸的企业，通过主营产品盈利是很困难的，需要副产品生产肥料、饲料才有可能实现盈利。目前，以玉米为原料的生物材料产业链仅有

生物基尼龙等少数产品具备规模大、碳中和贡献大且有“本质竞争力”。因此，以玉米为主的粮食作为原料生产化学品在成本上依然存在下游产品无法下沉至大宗市场的困境。为了解决这一问题，实现更大规模化学品的生物制造替代，寻找新的低价原料是重要解决方案。

图表 13 生物制造生产化学品单价与原料成本比较(元/吨)



资料来源：wind, CNKI, 百川盈孚, 环评报告, 华安证券研究所

从政策看，我国粮食深加工发展长期坚持“不与人争粮，不与粮争地”的原则，玉米用于大规模工业品制造也是不现实的。中国人多地少，粮食安全的压力长期存在，所以不可能以牺牲粮食安全为代价来发展工业作物，这就要求必须走一条具有中国特色的生物制造发展路径。根据政策要求，未来生物制造的发展可能会面临诸多限制，包括严格控制利用玉米、油料等作物用于化学品的生产等。因此，生物制造未来发展需要充分利用秸秆、畜禽粪便废弃物资源，做到资源化、高值化利用。

图表 14 粮食深加工发展坚持“不与人争粮，不与粮争地”原则

政策名称	颁布时间	颁发机构	主要内容
关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见	2020年11月	国务院办公厅	明确耕地利用优先序。各地区各部门要始终绷紧国家粮食安全这根弦，把稳定粮食生产作为农业供给侧结构性改革的前提，着力稳政策、稳面积、稳产量，坚持耕地管控、建设、激励多措并举，不断巩固提升粮食综合生产能力，确保谷物基本自给、口粮绝对安全，切实把握国家粮食安全主动权。

《全国林业生物质能源发展规划(2011—2020年)》	2013年5月	国家林业局	加大牧草和秸秆等饲草料资源开发利用力度,大力发展节粮畜牧业,做到“节粮型畜牧业发展不与人争粮、不与粮争地”。
关于国家粮食安全工作情况的报告	2010年8月	国务院	按照“不与粮争地、不与人争粮”的原则,适度发展粮食深加工,其中玉米要优先满足饲养业发展需要。
国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)	2008年11月	国家发改委	生物质燃料生产要坚持走非粮道路,把握“不与粮争地,不与人争粮”的基本原则,严格控制以粮食为原料的深加工业发展。
关于贯彻落实国务院《2008年节能减排工作安排》的意见	2008年9月	农业部	坚持走中国特色的生物质能发展道路,按照不与人争粮、不与粮争地的原则,严格控制用玉米、油料等粮油产品生产生物燃料,利用秸秆纤维素乙醇和适度发展能源作物方式生产生物燃料。
关于做好林业生物质能源工作的通知	2007年12月	国家林业局	发展林业生物质能源,主要是利用宜林荒山荒地以及不适宜种植粮食作物的沙地、盐碱地等边际性土地进行开发建设,不与粮争地、不与人争粮,既可增加能源资源、减缓气候变化,又能加快造林绿化建设、提高森林质量,还可有效增加农民收入、促进新农村建设,一举多得。

资料来源:政府网站,华安证券研究所

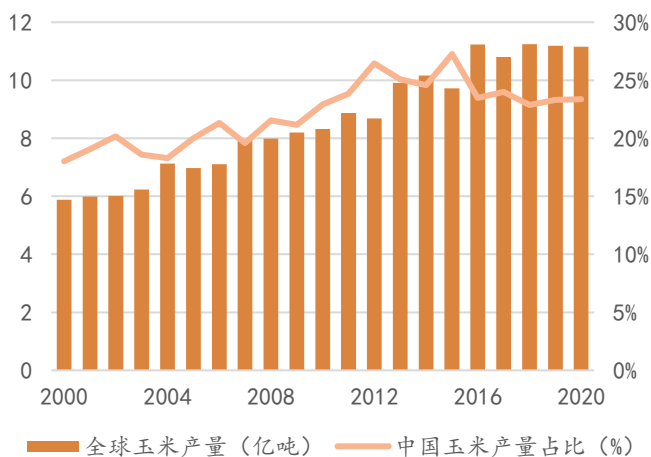
2 进口、转基因是过渡方案

放开工业用途作物的进口或者普及转基因作物的种植都无法支撑未来如此庞大的产业链，只能成为过渡方案。1) 放开进口是否可行：从我国原油进口增长和对应政策变化可见一斑。近十年我国原油对外依存度的快速提升，几近触及红线，因此“十四五规划相比”十三五“规划对炼油炼化企业的政策出现了明显掉头。从短期看，炼油炼化的前车之鉴或影响相关政策制定，全面放开工业用途作物的进口概率不大。从长期看，如果我国生物质产业发展只依靠外部资源，必定丧失话语权，成为全球供应链附庸。2) 普及转基因是否可行：全面普及转基因作物任重道远，需要对全社会进行消费观念的引导。如果只是工业作物的耕地普及转基因作物，可以增产的幅度很有限，相比需求杯水车薪。

2.1 粮食进口配额稀缺，关税影响较大

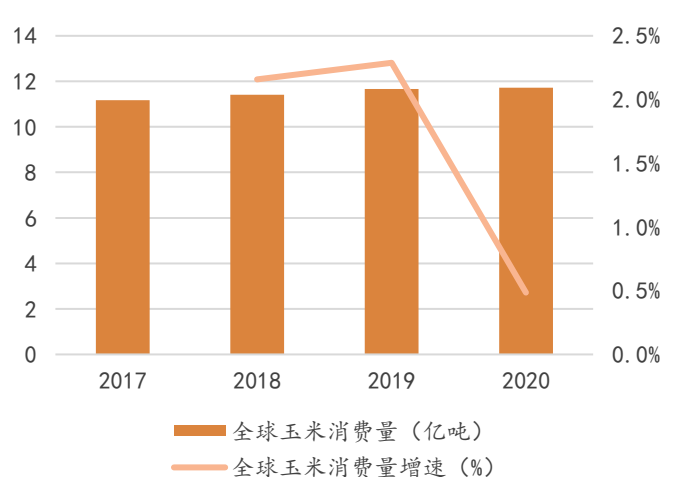
玉米进口是我国玉米原料不足问题的临时方案，全球玉米市场同样紧平衡。据世界粮农组织，全球玉米产量近几年都维持在 11.2 亿吨左右，其中 2020 年产量为 11.6 亿吨，较 2019 年度有所增长。与此同时，全球玉米消费量也已经连续 4 年上升，2020 年全球玉米消费量达到 11.7 亿吨，连续第三年超过全球玉米产量。玉米产业主要分布在美国、中国、巴西、阿根廷等国家。美国是全球第一大玉米产国，玉米产量占比 33.5%；中国玉米产量占比 22.9%，位居世界第二。多年以来，我国玉米进口量都维持在 500 万吨以下，但由于近期国内玉米价格上涨，进口玉米价格优势明显，2020 年我国玉米进口数量高达 1130 万吨。2021 年 1~7 月，我国玉米进口依赖加剧，进口数量达到 1816 万吨，进口金额超过 316 亿元。玉米进口是短期内国内玉米供不应求的市场选择，但是长期来看全球玉米紧平衡的趋势导致玉米进口并不是生物制造原料问题的最终方案。

图表 15 全球玉米产量与中国玉米产量占比



资料来源: wind, 华安证券研究所

图表 16 全球玉米消费量与增速



资料来源: wind, 华安证券研究所

国家实行粮食关税配额制保证粮食安全。由于粮食内外价格倒挂，我国粮食不具备竞争力，我国实行配额制有效限制主粮进口规模，避免粮食大量进口对国内市场形成冲击。自 2001 年中国加入世界贸易组织后，我国对农产品进口管理体制进行改革，

2003 年国家出台《农产品进口关税配额管理暂行办法》，对小麦、玉米、大米、豆油、菜籽油、棕榈油、食糖、棉花、羊毛及毛条 10 种农产品进口实行关税配额管理。此后，豆油、棕榈油、菜子油被移除关税配额管理名单。进口关税配额管理制对于关税配额内进口的货物，一般实行低关税；超过配额则不准进口，或者缴纳较高的进口关税。这主要基于国内口粮绝对安全的考虑。一方面，我国坚持口粮安全原则，粮食自 2013 年以来连年保持 6 亿吨以上的生产能力，基本满足国内消费需求；另一方面，为了保护农民利益，在国内粮食价格没有优势的情况下完全开放市场将打压国内粮食价格，影响国内农民种植积极性，与粮食安全相悖。

图表 17 实行关税配额制农作物种类

政策文件	时间	颁发部门	农作物进口配额种类规定
农产品进口关税配额管理暂行办法	2003 年	商务部 国家发改委	实施进口关税配额管理的农产品品种为：小麦（包括其粉、粒）、玉米（包括其粉、粒）、大米（包括其粉、粒）、豆油、菜子油、棕榈油、食糖、棉花、羊毛以及毛条。
商务部 2005 年第 93 号公告	2005 年	商务部	取消豆油、棕榈油、菜子油进口关税配额和进口国营贸易管理。
商务部关于废止和修改部分规章的决定	2019 年	商务部	明确实行关税配额管理的农产品有 7 类：小麦、玉米、大米、食糖、棉花、羊毛、毛条。
商务部关于废止和修改部分规章的决定	2021 年	商务部	未对农产品种类做出调整。

资料来源：商务部，华安证券研究所

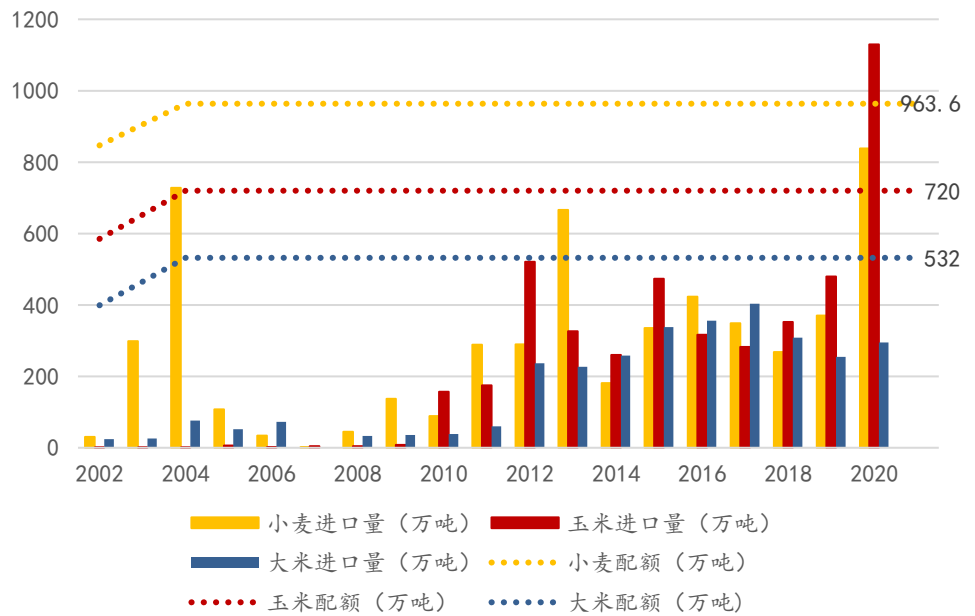
粮食关税不减让、配额不扩大，对稳定国内粮食生产至关重要。我国自 2001 年加入世界贸易组织以来，除了 2002 年和 2003 年两年对三大主粮进口关税配额有所调整外，2004 年至今三大主粮进口关税配额基本保持稳定。2021 年三大主粮进口关税配额分别为小麦 963.6 万吨、玉米 720 万吨、大米 532 万吨。我国充分利用国际国内“两个市场、两种资源”满足国内需求，保持战略定力，粮食关税不减让、配额不扩大，稳定国内粮食生产。

图表 18 国内作物进口配额变化

作物种类	玉米 (万吨)	小麦 (万吨)	大米 (万吨)
2017	720	963.6	532
2018	720	963.6	532
2019	720	963.6	532
2020	720	963.6	532
2021	720	963.6	532

资料来源：国家发改委，华安证券研究所

图表 19 我国三大主粮关税配额和进口数量变化



资料来源: Wind, 海关总署, 商务部, 华安证券研究所整理

玉米配额审核严格, 多年未新增, 主要用于加工贸易, 配额外进口将导致生物制造成本大涨。根据我国玉米进口配额制度, 关税内玉米配额为 720 万吨, 关税为 1%, 配额外关税为 65%。获得 2020 年玉米进口关税配额且有进口实绩的企业或 2019 年玉米年加工能力 20 万吨以上的饲料生产企业或 2019 年玉米年加工能力 45 万吨以上的其他生产企业可申请 2021 年玉米进口配额, 享受税收政策优惠。超出配额的进口部分需承担 65% 的关税。2005 年以来, 我国玉米进口配额保持稳定, 均为 720 万吨/年。2019 年获得玉米进口配额的企业共有 27 家, 规定用途均为加工贸易, 主要涉及淀粉、葡萄糖、柠檬酸、味精、饲料、黄原胶等产品。其中, 进口配额超过 50 万吨的公司仅有 4 家, 包括诸城源发生物科技 (100 万吨)、日照金禾博源生化 (80 万吨)、山东柠檬生化 (60 万吨)、潍坊盛泰药业 (60 万吨)。若生物制造规模化发展, 无论从总配额数量还是单一公司配额数量来看, 玉米进口配额都是远远不够的, 因为仅未来凯赛生物山西基地的玉米年处理量就将超过 240 万吨。在现有配额不变的情况下, 配额外玉米进口因为高关税导致产品不具有经济性。

图表 20 国内作物进口配额申请条件及流程

作物种类	配额申请条件		配额申请流程
	必要条件	申请条件	
小麦	2020 年 10 月 1 日前在市场监督管理部门登记注册; 没有违反《农产品进口关税配额管理暂行办法》的行为	获得 2020 年小麦进口关税配额且有进口实绩 (接受进口关税配额企业委托的代理进口不计入受委托企业的进口实绩) 的企业或 2019 年小麦年加工能力 20 万吨以上的面粉和食品生产企业。	1、 申请企业向登记注册所在地的委托机构提交申请表。 2、 委托机构于将所有按照要求填写完成的申请表送达国家发展改革委 (政务服务大厅), 并抄报商务部, 同时将申请表中所包含的信息上传至重要农产品进口关税配额管理系统。 3、 国家发展改革委将在官方网站上对申请企业信息进行公示。
玉米		获得 2020 年玉米进口关税配额且有进口实绩的企业或 2019 年玉米年加工能力 20 万吨以上的饲料生产企业或 2019 年玉米年加工能力 45 万吨以上的其他生产企业。	
大米		获得 2020 年大米进口关税配额且有进口实绩的企业或 2019 年大米年加工能力 10 万吨以上的食品生产企业。	

资料来源: 国家发改委, 华安证券研究所

图表 21 关税配额产品税目税率表

商品品类	税则号列	普通税率 (%)	2021 年最惠国税率 (%)	关税配额税率 (%)
小麦	10011100	180	65	1
	10011900	180	65	1
	10019100	180	65	1
	10019900	180	65	1
	11010000	130	65	6
	11021100	130	65	9
	11032010	180	65	10
玉米	10051000	180	20	1
	10059000	180	65	1
	11022000	130	40	9
	11031300	130	65	9
	11042300	180	65	10
稻谷和大米	10061021	180	65	1
	10061029	180	65	1
	10061081	180	65	1
	10061089	180	65	1
	10062020	180	65	1
	10062080	180	65	1
	10063020	180	65	1
	10063080	180	65	1
	10064020	180	10	1
	10064080	180	10	1
	11029021	130	40	9
	11029029	130	40	9
	11031931	70	10	9
	11031939	70	10	9
糖	17011200	125	50	15
	17011300	125	50	15
	17011400	125	50	15
	17019100	125	50	15
	17019910	125	50	15
	17019920	125	50	15
	17019990	125	50	15
羊毛	51011100	50	38	1
	51011900	50	38	1
	51012100	50	38	1
	51012900	50	38	1
	51013000	50	38	1
	51031010	50	38	1
毛条	51051000	50	38	3
	51052010	50	38	3
	51052900	50	38	3
棉花	52010000	125	40	1
	52030000	125	40	1

资料来源：政府网站，华安证券研究所

图表 22 2019 年获得玉米配额企业列表

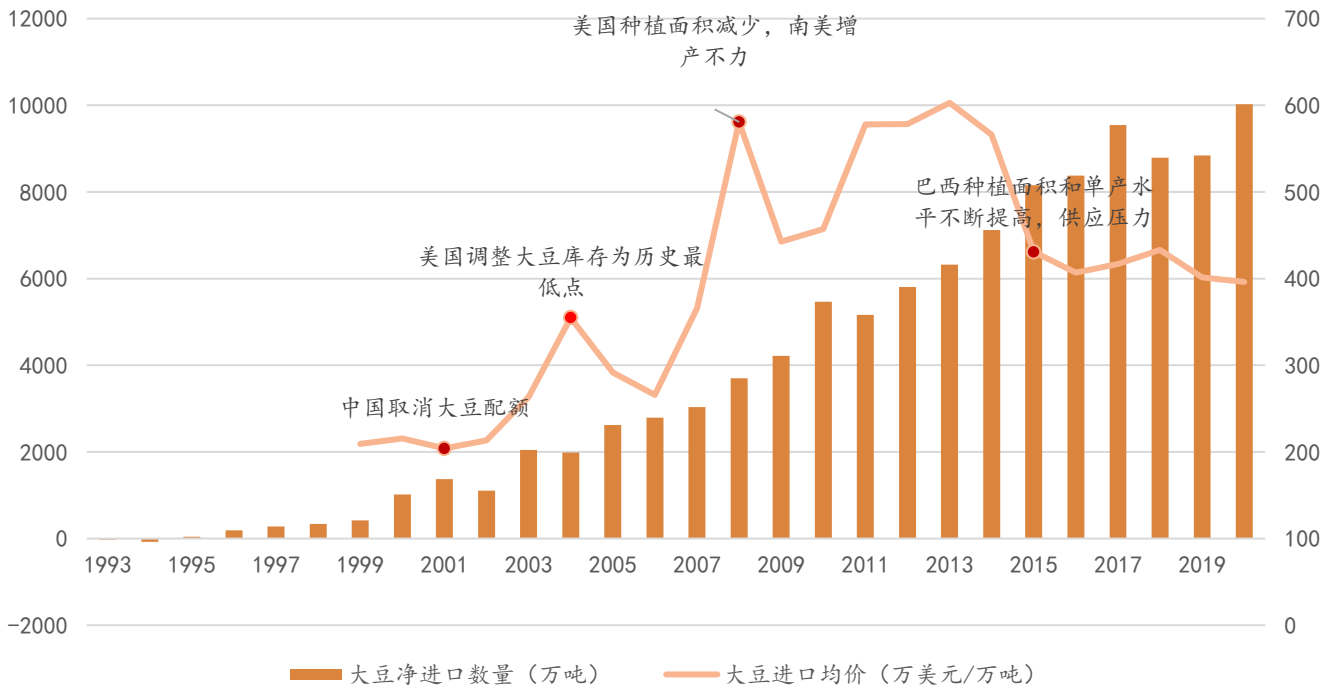
公司名称	地区	所处行业	主要产品	用途	玉米进口配额 (万吨)
诸城源发生物科技有限公司	山东省	食品、饲料	玉米淀粉	加工贸易	100
日照金禾博源生化有限公司	山东省	化学品	柠檬酸及柠檬酸盐	加工贸易	80
山东柠檬生化有限公司	山东省	化学品	柠檬酸	加工贸易	60
潍坊盛泰药业有限公司	山东省	食品、饲料、 药物	淀粉、葡萄糖	加工贸易	60
潍坊英轩实业有限公司	山东省	化学品	柠檬酸	加工贸易	45
莱芜泰禾生化有限公司	山东省	食品、化学品	柠檬酸	加工贸易	36
山东西王糖业有限公司	山东省	食品、饲料、 化学品	葡萄糖、果糖、糊精、酸钠、 饲料蛋白粉、胚芽	加工贸易	35
新疆梅花氨基酸有限责任公司	新疆兵团	食品、饲料	饲料及饲料添加剂	加工贸易	30
呼伦贝尔东北阜丰生物科技有限公司	内蒙古	食品、肥料、 饲料	含氧基氨基酸化合物	加工贸易	20
中粮生化能源(榆树)有限公司	吉林省	食品	淀粉、柠檬酸	加工贸易	20
江苏国信协联能源有限公司	江苏省	食品	柠檬酸及柠檬酸钠	加工贸易	20
梁山菱花生物科技有限公司	山东省	食品	味精(调味品)	加工贸易	20
山东中谷淀粉糖有限公司	山东省	食品、饲料	淀粉、淀粉糖、糖及副产品	加工贸易	20
诸城兴贸玉米开发有限公司	山东省	材料、食品、 饲料	淀粉	加工贸易	20
豫粮集团睢县农业产业有限公司	河南省	化学品	酒精	加工贸易	20
中粮生物化学(安徽)股份有限公司	安徽省	食品、饲料、 化学品	柠檬酸	加工贸易	12
中粮生化能源(龙江)有限公司	黑龙江	食品、饲料	淀粉、味精、饲料	加工贸易	10
沂水大地玉米开发有限公司	山东省	食品、饲料	淀粉糖及副产品	加工贸易	10
内蒙古阜丰生物科技有限公司	内蒙古	食品、肥料、 饲料	味精、黄原胶	加工贸易	5
黄山市多瑞尔科技有限公司	安徽省	食品、饲料	饲料	加工贸易	5
滨州金汇玉米开发有限公司	山东省	饲料	食用玉米淀粉、玉米蛋白粉、 玉米皮粉	加工贸易	5
内蒙古玉王生物科技有限公司	内蒙古	食品、饲料	玉米蛋白粉	加工贸易	3
成武大地玉米开发有限公司	山东省	食品、饲料	玉米淀粉	加工贸易	3
河南飞天农业开发股份有限公司	河南省	食品、化学品	果葡糖浆	加工贸易	3
江西五丰食品有限公司	江西省	食品	米粉	加工贸易	1
麦西恩食品(上海)有限公司	上海市	食品	玉米饼	加工贸易	0.1
大连平和食品有限公司	大连市	食品	油炸大玉米	加工贸易	0.04
合计					720

资料来源：国家发改委，华安证券研究所

大豆市场是前车之鉴！取消配额管理易造成对国际市场严重依赖，威胁国内粮食产业安全。1993 年中国开放大豆市场，2001 年正式取消大豆进口配额制度并且将关税税率降至 3%，大豆已经成为中国市场化、国际化、对外依存度最高的农产品。因大豆没有配额管理，在国内需求增加、内外价格倒挂背景下，大豆进口近十几年来节节攀升、

屡创新高。进口大量大豆体现了国家综合运用“两种资源、两个市场”的客观需要，但也存在过度依赖国际市场，威胁国内粮食产业安全的风险。我国自开放大豆市场以来从世界最大的大豆出口国逆转为全球最大的大豆进口国，进口量从 1995 年的 100 万吨增长到 2020 年突破 1 亿吨，25 年时间增加 100 倍。目前我国大豆进口量占全球大豆贸易总量的 60%，大豆进口依存度超过 85%，缺乏相应的话语权和定价权，国内大豆产业安全收到威胁和制约。

图表 23 大豆净进口及进口均价变化



资料来源：Wind，CNKI，华安证券研究所

自境外进入保税监管场所、海关特殊监管区域的关税配额农产品，不需提交配额证，由海关按现行规定验放并实施监管。企业通过一般贸易、加工贸易、易货贸易、边境小额贸易、援助、捐赠等贸易方式进口上述农产品均需申请农产品进口关税配额，并凭农产品进口关税配额证办理通关手续。但由境外进入保税仓库、保税区、出口加工区的产品，免于申领农产品进口关税配额证，为企业规避关税限额制度管控提供可行性。

2.2 转基因对生物制造原料的贡献有限

转基因玉米提高单位面积产量，但增产幅度有限、推广的社会阻力大只能治标不治本。

转基因玉米是利用分子生物技术，将目标基因导入需要改良的遗传物质中，使其获得稳定的遗传性状的新品种玉米。种植转基因品种的优势主要体现在可以增加作物单产、降低农药费用、节约时间以及劳动力。据 2010 年美国农业资源管理调查 (ARMS) 的数据，美国农民选择种植转基因玉米、棉花和大豆主要由于种植转基因品种可以提高单产，其他原因还包括节约管理时间、促进生产（如轮作和保护性耕作）以及节约杀虫剂成本等。(1) 抗虫方面：当有害虫出现时，转基因抗虫作物比非抗虫作物获得更高单产，杀虫剂成本也更低，间接提高了产量；如果不发生虫害，抗虫的转基因作物不能提

高产量。虫害也可以用农药防治，但是农药防治效果没有转基因效果好，而且农药防治成本高，也污染环境。与虫害相比，杂草每年都会发生的。非转基因作物不抗除草剂，就得宽行种植，小心翼翼打药。(2) 抗除草剂方面：抗除草剂的转基因作物可以窄行种植，无所顾忌打药，增加了种植密度，也就增加了产量。

转基因玉米产品主要是以抗虫、抗除草剂为主。政策方面，美国对转基因食品采取宽松的监管政策，未单独立法，管理采用实质等同原则；我国对转基因产业化审批流程严格，但近期多个品种发放生物安全证书。2020年，农业农村部发布第二批农业转基因生物安全证书(生产应用)批准清单，共计发放21个生物安全证书，其中包括8个国产转基因玉米项目。从政策方向看，我国目前转基因作物从非食用，到间接食用到食用的产业化路线清晰。我们认为，转基因作物用作工业用途在消费者端的抵制情绪会相对较小，推广应用相对更容易。从另一个角度说，转基因作物从工业原料开始推广也是更符合食品安全的发展模式。

图表 24 转基因玉米与野生玉米对比

玉米分类	特点	应用情况
转基因玉米	颗粒大、有光泽、大小均匀、无虫眼	转基因 Bt-176 玉米、转基因玉米 NK603、转基因玉米 MON810、转植酸酶基因玉米 BVLA430101
野生型玉米	易受虫害、缺粒	

资料来源：CNKI，华安证券研究所

图表 25 各国转基因作物研发应用及法规管理模式对比

国家	态度	研发	生产	消费	法规
美国模式	积极推进	公共部门与私营部门相结合，公共部门提供大量前期基础研究，私营部门在产业开发方面占据主导地位	全球最大的转基因作物生产国	转基因作物消费大国	在立法方面，美国对转基因食品采取宽松的监管政策，没有单独立法设立转基因管理体制对转基因作物及食品进行专门管理，而是将转基因食品纳入现有法律中进行监管 在管理原则方面，实质等同原则是美国监管生物技术产品的重要原则，即转基因食品和非转基因食品没有区别
欧盟模式	抵制为主	转基因作物研发起步较晚，由于转基因新品种研发成本十分高昂，研发成果相对较小	欧盟批准种植的转基因作物品种极少，只有 Bt 玉米和 Amflora 马铃薯。马铃薯作为一种工业材料，玉米主要作为饲料和生物燃料，均非人类直接食用。	欧盟对转基因动植物产品上市较审慎，管制措施严格，强调消费者的知情权和自由选择权，严格控制转基因作物进口	欧盟专门设立了立法机构、执行机构和咨询机构三大转基因安全管理机构，欧盟国家可以在法律法规框架下进行转基因技术的应用研究和开发，但受到密切管控 欧盟采取“预防原则”进行转基因产品安全监管，对转基因食品的管理原则是首先假定转基因食品存在潜在的危险，所有与转基因有关的活动都要进行严格管理，把转基因食品和非转基因食品分割成两个不同的部分，只要是转基因食物，就必须接受严格管制
日本模式	审慎监管和适度发展	绝大多数转基因技术成果仍停留在学术型成果阶段，未真正实现向实用化和商业化的主体转让	日本没有商业化种植转基因作物	日本消费者对转基因作物持谨慎态度，但允许进口转基因作物	2003 年日本颁布了《关于规范转基因生物使用规则、确保生物多样性的法律》，以实现产业化为目的，陆续制定并完善了确保转基因技术安全的制度保障体系 日本采取中央和地方两层政府协同管理转基因食品的体制。中央政府层面，农林水产省负责转基因作物的进口审批，厚生劳动省负责转基因作物的安全性评价和审批，文部科学省、通产省以及食品安全委员会等

				部门配合厚生劳动省、农林水产省，进行转基因食品安全规制；地方政府的主要职能是综合协调监管当地的转基因食品问题。
巴西模式	先谨慎后快速开放	具备研发、生产及审批新型转基因作物的能力		巴西对转基因作物的立法起步相对较晚，但立法位阶和立法密度较高。2005年3月4日，巴西总统签署了新的《生物安全法》。按照新法规，在巴西境内从事转基因生物及其产品的研究、试验、生产、加工、运输、储藏、经营、进出口活动都应当遵守法规的规定。

资料来源：《转基因粮油作物研发育种技术发展战略研究》，华安证券研究所

即使转基因作物开始推广，并用于工业生产，仍不足以支撑未来生物基材料市场需求。以种植量最大的作物玉米为例，考虑到转基因作物在工业领域的推广阻力较小，假设目前工业用玉米数量（总量的30%）全部被转基因玉米替代，玉米可以增产1955万吨。增产部分若考虑粮食安全问题，优先国产替代进口后，有效增产仅为825万吨，最多仅可生产生物基材料不到275万吨，远远不能满足未来巨大的生物基材料需求。而水稻转基因替代后也仅能满足国产替代的要求，小麦和豆类转基因替代后仍不能满足国产替代需求。因此，我们认为转基因作物用于未来大规模的生物制造是“治标不治本”的。

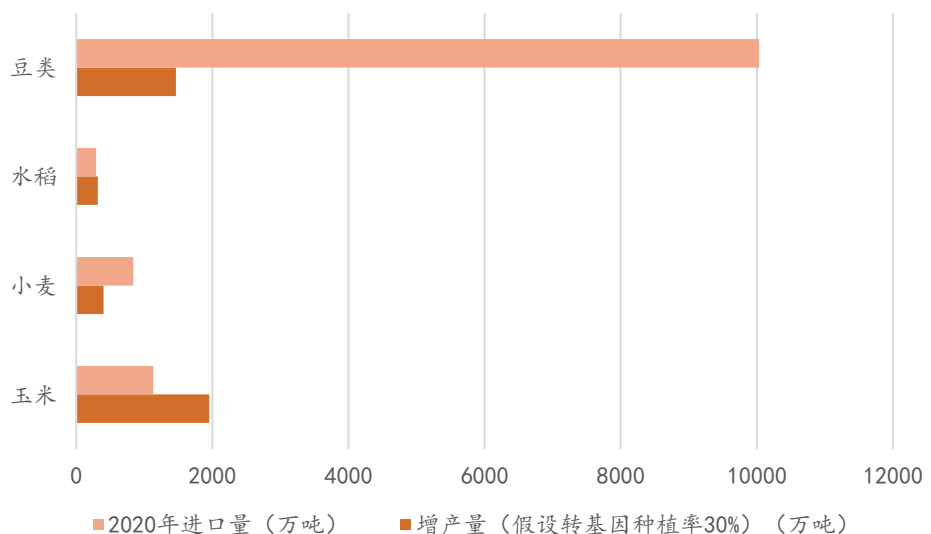
图表 26 转基因作物增产测算

作物种类	2020年单位面积产量 (公斤/公顷)	2020年总产量 (万吨)	转基因增产 幅度假设	增产量 (假设转基因种植率30%) (万吨)	2020年进口量 (万吨)
玉米	6317	26067	25%	1955	1130
小麦	5742	13425	10%	403	838
水稻	7044	21186	5%	318	294
豆类	1973	19536	25%	1465	10033

注：假设转基因种植率30%是基于工业用玉米占玉米总产量30%左右，这部分产量存在转基因替代可能。

资料来源：国家统计局，欧盟网站，华安证券研究所

图表 27 转基因作物贡献增产量与 2020 进口量对比

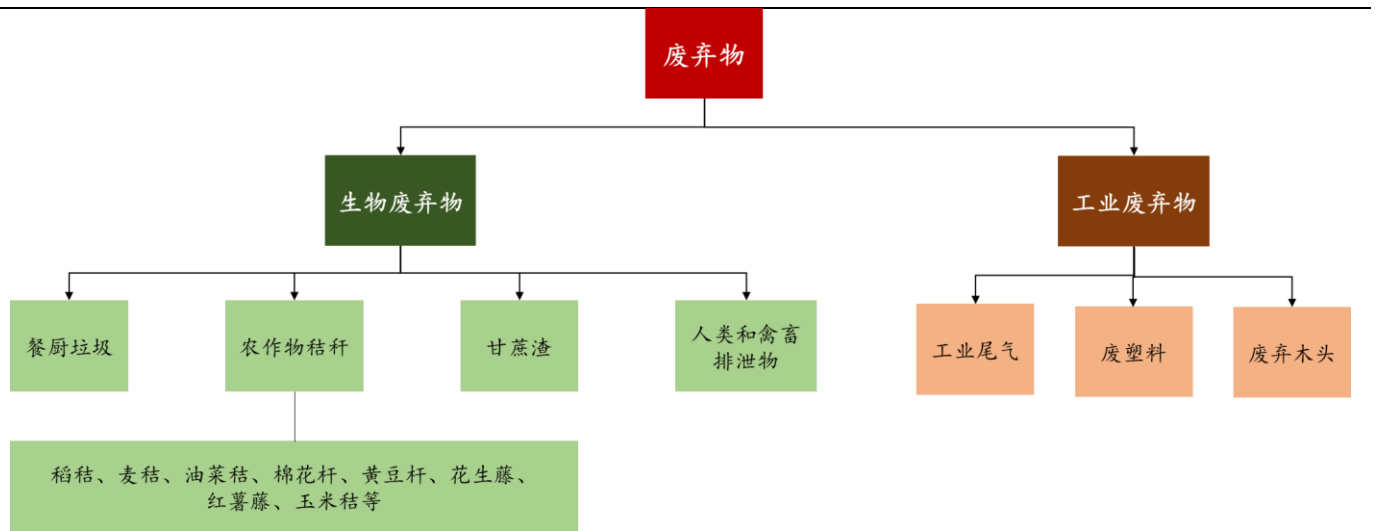


资料来源：国家统计局，华安证券研究所

3 “变废为宝”是终极方案

原料体系的确认原则是“丰富+易得”；前者决定可以支撑的产业体量，后者决定产品成本。我们认为秸秆是生物质产业最佳原料之一。我国每年秸秆产量超过8亿吨，即便考虑收集率和利用率也可以支撑1.5亿吨左右的生物质产品。此外，相比其他废弃物，例如厨余垃圾、排泄物、废塑料等，秸秆的分布更加集中，涉及商务对象更少，有助于保持供应的稳定性。原料供应的稳定性会影响公司的年度甚至季度的业绩波动，地沟油基生物柴油便是前车之鉴。秸秆虽是很好的生物质原料，但现有技术对其利用普遍低值化，低质产品无法替代化工品。秸秆的高值化利用势在必行，而合成生物学或成为最核心的工具之一。此外，非粮作物（包括能源植物、工业植物等）也是生物质产业原料体系的重要组成。我国幅员辽阔，大量贫瘠土地可以种植非粮作物，及可解决环境问题，又可解决资源问题，一举两得。利用非粮作物同样需要合成生物学这类工具加持。

图表 28 废弃物分类



资料来源：华安证券研究所整理

图表 29 废弃物的可利用性对比

废弃物种类	主要来源	来源集中度	预处理前状态	收集点预处理目的	收集难度	推广难度	分类难度	技术难度
工业尾气	钢铁、冶金等企业	高	-	无	易	易	-	较高
甘蔗渣	糖厂							
禽畜粪便	禽畜养殖场							
农作物秸秆	农田	低	密度小 有安全隐患	提高密度，方便运输	难	较易	较大	
餐厨垃圾	城市垃圾	较低	部分城市垃圾分类混乱	垃圾分类	较难	较难	大	
废塑料	城市及农村垃圾							
废弃木头	城市家装等							

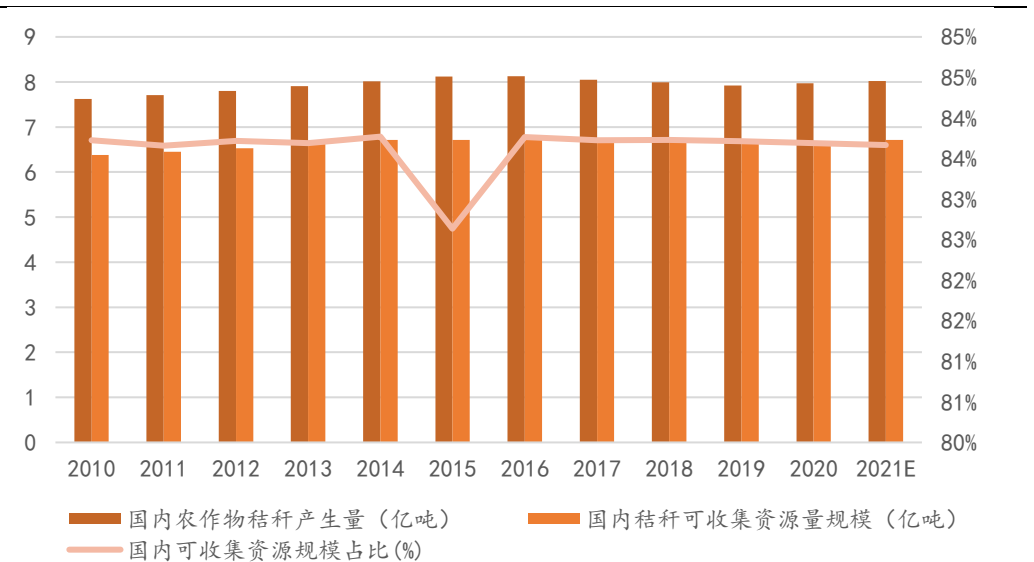
资料来源：华安证券研究所整理

3.1 生物废弃物资源化解决原料获得性问题

生物废弃物数量巨大，目前再利用手段单一，以低价值利用为主。生物废弃物包括农作物秸秆、甘蔗渣、人类和禽畜排泄物、餐厨垃圾等。生物废弃物过去再利用的方式主要是堆肥、发电等，并没有充分发挥价值。此外，因为生物废弃物再利用的下游产品附加值低，反馈到原料端的废弃物收购价格低，导致生物废弃物的收集不能产生经济杠杆。由于生物废弃物产地分散的特点，没有经济杠杆仅有政策杠杆并不是长久之计。我们认为，生物废弃物进行资源化利用，作为重要原料参与生物制造的过程，既可以解决生物制造原料获得性问题，又可以通过生产更高附加值的产品，提高收购价格，让生物废弃物再利用产生经济杠杆。

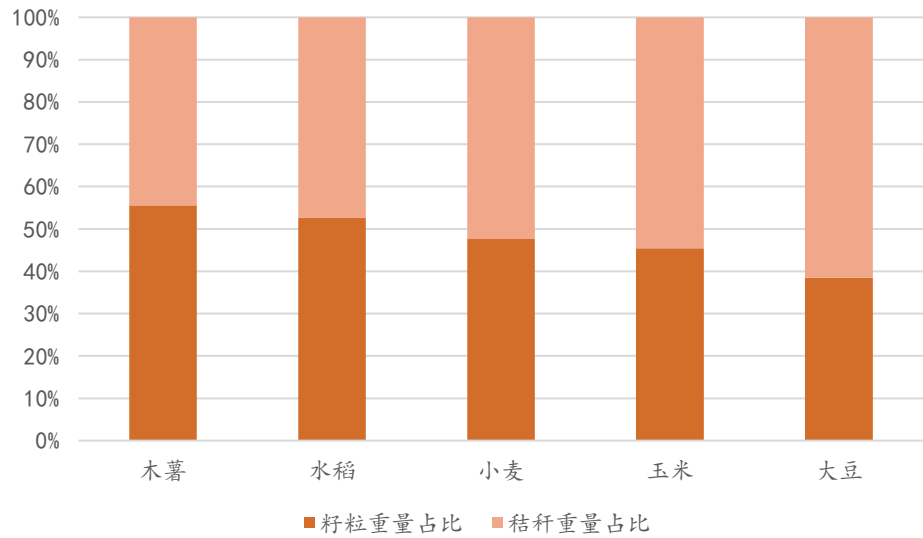
我国秸秆资源丰富，可收集资源量占比较高，或成为生物制造的主要原料。我国秸秆产量近 10 年来稳定在 8 亿吨/年，产量远高于玉米年产量。秸秆可收集资源量占每年秸秆产生量的 84%左右，也就是说每年有近 7 亿吨的秸秆可以作为原料进行大规模工业生产，如果将秸秆转化成高价值产品，有望替代玉米作为合成生物学的原料的主要来源。

图表 30 2010-2021 年中国秸秆产量及可收集资源量



资料来源：前瞻产业研究院，华安证券研究所

图表 31 主要作物籽粒与秸秆质量比例



注：籽粒是指作物的果实，属于颖果
资料来源：CNKI，华安证券研究所

现有技术下，全球在秸秆利用上都较为粗犷，原料化率不高，产品附加值较低。欧美等发达国家，包括中国在内，玉米秸秆一部分（主要是根部）用于肥料化处理，根部以上部分用于制作饲料或直接焚烧。2020年，我国秸秆综合利用率为90%，其中肥料化51.2%，饲料化20.2%，燃料化13.8%，基料化2.43%，原料化仅占2.47%，仍有10%左右的秸秆废弃。

(1) 肥料化处理是国内秸秆利用的主要方式，占比51.2%。秸秆还田法具有操作便捷，节省成本，作业效率高的优点，可以提高土壤的有机质含量，改善土壤结构，提高土壤的肥力。但秸秆还田缺点是周期长，前期土壤肥力提高不足，尤其在东北地区，低温低湿的条件使得秸秆腐解周期变长，还田增肥效果不明显。因此，低附加值的肥料化处理并不是秸秆理想的处理方式。

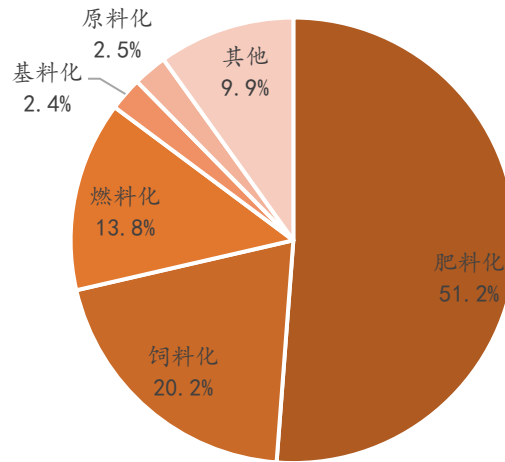
(2) 饲料化处理是国内秸秆利用的重要方式，占比20.2%。农作物秸秆富含丰富的有机质养分，是草食牲畜重要的饲料来源。以玉米秸秆为例，纤维素占比38.8%，半纤维素占比23.5%，有机质含量丰富。据测算，1吨普通秸秆的饲用营养价值与0.25吨的粮食相当，秸秆肥料化处理能有效缓解粮食危机问题，提高农业废弃物的综合利用率。

(3) 原料化利用作为一种高附加值的利用方式，是秸秆综合化利用的理想方式，也符合秸秆高值化利用的发展方向。《关于编制“十三五”秸秆综合利用实施方案的指导意见》明确提出，鼓励以秸秆为原料生产纸浆造纸、建筑材料、轻质板材、包装材料、编织材料、餐具、降解膜等产品，大力发展秸秆原料产业，提高秸秆高值和产业化水平。《2030年前碳达峰行动方案》同样提出了秸秆高值化利用，进一步完善收储运体系。目前，我国原料化利用仅占比2.47%，秸秆高附加值产业化水平有待提升。

我国秸秆综合利用率逐年提升，但每年仍有大量秸秆未被利用，造成环境污染和资源的浪费。2020年，我国秸秆产生量为7.97亿吨，也就是说约8000万吨秸秆没有进行有效利用，是农业废弃物污染的主要来源。此外，秸秆燃料化也是秸秆利用低附加值的表现，目前已经开始被禁止，未来这部分利用占比将继续下降。我们认为，秸秆原料化未来仍有很大空间，也是废弃资源再利用附加值最高的一种方式，现在合成生物学的发展有望加快这一趋势。据“十四五”循环经济发展规划，到2025年我国资源循环型产业体系基本建立，覆盖全社会的资源循环利用体系基本建成，主要资源产出率比

2020年提高约20%，农作物秸秆综合利用率保持在86%以上。

图表 32 2020 年国内秸秆利用方式占比



资料来源：生物基能源与材料，华安证券研究所

图表 33 不同秸秆利用方式对比

秸秆利用途径	利用方法	经济效益 (元/吨秸秆)	温室气体影响
肥料化	秸秆还田 (化肥+稻麦秸秆)	30-64	减少 CH ₄ 排放
饲料化	水稻秸秆替代饲料	256	增加 CO ₂ 、CH ₄ 排放，但固碳效果好
	小麦秸秆替代饲料	99	
燃料化	玉米秸秆发酵生产乙醇	约 36	-
基料化	秸秆替代木屑种植蘑菇	1540	-
原料化	秸秆制乳酸、聚乳酸	暂未产业化，取决于产品价格	固碳作用强

资料来源：CNKI，华安证券研究所

图表 34 秸秆燃料化利用主要方式途径

燃料化途径	燃料化方式	技术内容	技术特点
直燃供热	直接燃烧	直接燃烧获取热值，主要指传统方式的燃烧，农村炊事取暖等，现在逐渐被安全环保的各类燃气或电器所取代	秸秆的利用率较低，且造成一系列环境污染问题，生态效益和经济效益差
	固化燃料	利用机械将本来松散、不定型的秸秆压制 (200-300°C、0.5-1.0t·cm ²) 成高密度、一定形状的成型燃料	便于储存和运输，显著提高供热效率 (50% 以上)，可部分替代煤炭、燃气等传统能源，可规模化生产，但生产成本较高
	燃烧发电	秸秆直燃火力发电，分为单一秸秆直燃发电、秸秆与煤混燃发电，是 21 世纪重点发展的可再生能源方向和领域	秸秆利用率较高，减少传统能源消耗和温室气体排放，产生的电力便于远距离输送，具有较高的生态、社会和经济效益
秸秆气化	直接气化	将粉碎的秸秆在缺氧的条件下经干燥、热解、燃烧和还原等工艺，生成由 CO、H ₂ 、CH ₄ 和 CO ₂ 等组成的混合气体	秸秆气化具有经济方便、清洁廉价等优点，便于储存输送，但前期投资较高，存在热值偏低，以及焦油含量偏高等问题

	沼气发酵	将秸秆（通常与人畜粪便、生活垃圾等混合）在厌氧条件下，经微生物发酵而产生沼气和副产物沼液沼渣的技术手段	沼气（主要成分 CH_4 ）是一种高品位清洁燃料，具有工艺能耗低、无二次污染等优点，但在气温较低的北方难以应用
秸秆液化	燃料乙醇	燃料乙醇主要通过发酵（纤维素和半纤维素）实现的，主要由秸秆预处理、糖化、发酵和后续处理等工艺步骤组成	秸秆燃料乙醇避免“与粮争地，与人争粮”，缓解能源危机，受到人们的广泛关注，但前期投入和生产成本较高
	水热液化	在适当的温度、压力及溶剂（如水等）和催化剂的作用下，将秸秆聚合物高分子裂解为小分子液态产物的化学反应	液化产物可制成燃料和高值化学品，但需高温高压等苛刻条件，且产物组分复杂，难以分离纯化，目前难以大规模应用

资料来源：生物基能源与材料，华安证券研究所

图表 35 各地禁止秸秆焚烧



资料来源：华安证券研究所整理

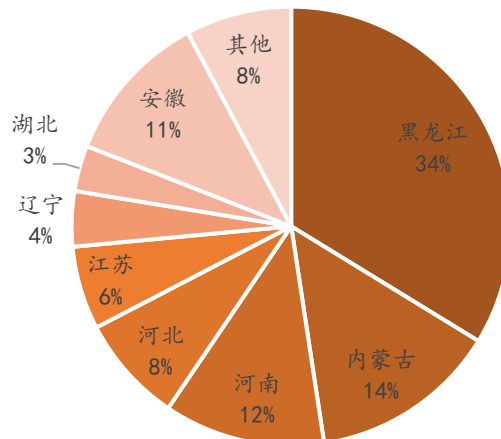
秸秆高值化利用和资源化利用是中国 2030 年碳达峰行动方案中的重要内容，国家和地方政策陆续出台将加速秸秆产业化进程。2021 年 10 月 26 日，国务院印发了《2030 年前碳达峰行动方案》：（1）《方案》中的循环经济助力降碳行动提出：加强大宗固废综合利用，到 2025 年，大宗固废年利用量达到 40 亿吨左右；到 2030 年，年利用量达到 45 亿吨左右。秸秆作为农村重要的固废资源，行动中提到要加快推进秸秆高值化利用，完善收储运体系，严格禁烧管控。（2）《方案》中的碳汇能力巩固提升行动也提到：要推进农业农村减排固碳，加强农作物秸秆综合利用和畜禽粪污资源化利用。目前，我国秸秆规模化供应以北方为主，各地政府也已陆续出台相关政策，鼓励、推进秸秆的综合化利用。以河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏等为代表的地方出台了秸秆综合利用方案与禁止焚烧的政策，采用奖惩并行的方式来禁止秸秆的焚烧。通过政策鼓励扶持秸秆综合利用、以乡镇、村、企业或经纪人为主体建设秸秆收储站，并对秸秆农机、秸秆三贮一化利用、秸秆综合利用能源化、收储中心建设等提供补助，也为秸秆的利用的推进提供了动力。

图表 36 2020-2021 年我国部分秸秆综合利用相关政策

省市	时间	政策名称	具体内容
全国	2021 年 10 月	《2030 年前碳达峰行动方案》	循环经济助力降碳行动：加强大宗固废综合利用，到 2025 年，大宗固废年利用量达到 40 亿吨左右；到 2030 年，年利用量达到 45 亿吨左右。秸秆作为农村重要的固废资源，行动中提出要加快推进秸秆高值化利用，完善收储运体系，严格禁烧管控。 碳汇能力巩固提升行动：要推进农业农村减排固碳，加强农作物秸秆综合利用和畜禽粪污资源化利用
山西省	2021 年 4 月	《2021 年农作物秸秆综合利用工作的通知》	2021 年，山西省利用中央资金打造 15 个秸秆综合利用重点县，实施整县推进项目，以肥料化、饲料化、燃料化利用为主攻方向；其中，浑源县作为产业模式试点县，开展以秸秆能源化利用为重点的产业化利用模式试点，推动 60% 以上的秸秆实现产业化利用且能源化利用率达到 30% 以上。
全国	2021 年 3 月	《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》	关于提高大宗固废资源利用效率：农作物秸秆。大力推进秸秆综合利用，推动秸秆综合利用产业提质增效。坚持农用优先，持续推进秸秆肥料化、饲料化和基料化利用；扩大秸秆清洁能源利用规模，鼓励利用秸秆等生物质能供热供气供暖，优化农村用能结构，推进生物质天然气在工业领域应用。不断拓宽秸秆原料化利用途径，鼓励利用秸秆生产环保板材、炭基产品、聚乳酸、纸浆等，推动秸秆资源转化为高附加值的绿色产品。
上海市	2021 年 2 月	《上海市 2021 年秸秆综合利用实施方案》	2021 年全市粮油作物秸秆综合利用率达 97%；其中，金山区作为本市秸秆综合利用重点区，推进秸秆离田利用，综合利用率应达到 97% 以上，重点支持基料化、饲料化、燃料化等秸秆产业化利用模式，形成可复制、可推广的区域典型模式
河北省	2020 年 12 月	《河北省秸秆综合利用实施方案（2021-2023 年）》	实施方案要求，到 2023 年，全省秸秆基本实现全面综合利用，离田利用占比达到 38%，能源化利用产业发展壮大，能源化利用占比达到 11.75%，形成政府推动、市场驱动、主体带动的秸秆综合利用长效机制，秸秆综合利用产业化规模化水平得到大幅提升。
黑龙江省	2020 年 9 月	《2020 年黑龙江省秸秆综合利用工作实施方案》	2020 年全省秸秆综合利用率达到 90% 以上，秸秆还田率达到 65% 以上。要求主要秸秆利用领域任务及具体扶持政策。
广西省	2020 年 9 月	《2020 年广西农作物秸秆综合利用项目工作方案》	积极推进秸秆“五化”综合利用，重点抓好秸秆肥料化、饲料化、基料化利用和收储运体系建设，扶持培育一批秸秆还田、收储运和加工利用的市场化主体。
河南省	2020 年 3 月	《河南省 2020 年中央财政支持开展农作物秸秆综合利用项目实施方案》	2020 年河南省秸秆综合利用率达到 90%，项目重点县秸秆综合利用率达 90% 以上；加大对秸秆综合利用优惠政策的落实和创设力度，努力建立起秸秆综合利用长效机制。

资料来源：各地政府网站，华安证券研究所

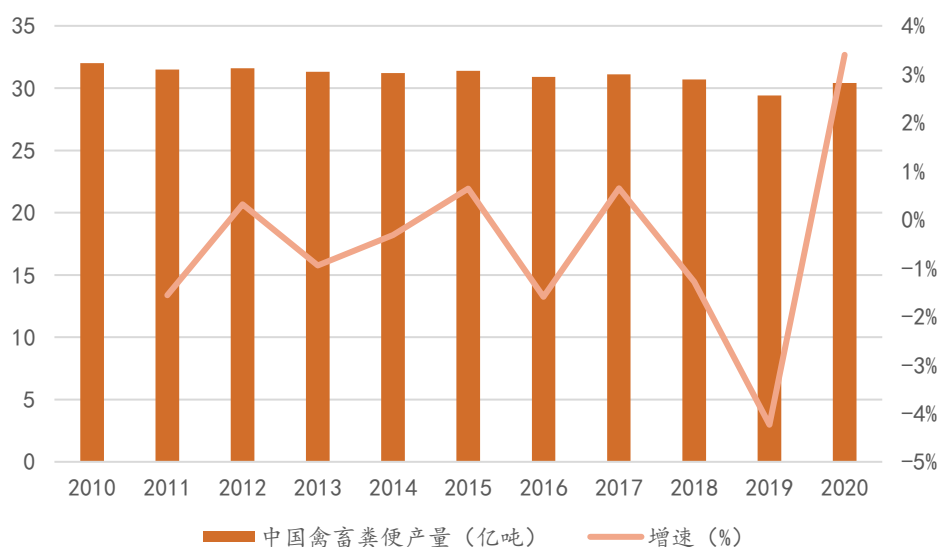
图表 37 2018 年中国秸秆规模化供应量区域分布



资料来源：前瞻产业研究院，华安证券研究所

现有技术下，作为另外一种重要的生物废弃物，禽畜粪便现阶段综合利用率低，同样具有资源化利用的潜力。2020年，我国禽畜粪便产量为30.4亿吨，连续十年产量稳定在30亿吨左右。禽畜粪便综合利用率为75%，仍有大量未被利用的禽畜粪便造成严重的环境污染。根据中国第二次污染普查公报，畜禽规模养殖场水污染物排放量中，化学需氧量604.83万吨，氨氮11.09万吨，总氮59.63万吨，总磷11.97万吨，未经处理的禽畜粪便的排放，会造成严重的生态问题。若将禽畜粪便中大量的养分资源提取利用，禽畜粪便资源化产业会具有广阔的前景。

图表 38 2010-2020 年中国禽畜粪便产量及增速



资料来源：前瞻产业研究院，华安证券研究所

对禽畜粪便的资源化利用不仅可以保护环境，也可以为生物制造提供廉价原料。当前禽畜粪便的资源化利用方式包括肥料化、能源化。(1) 肥料化是禽畜粪便最广泛的资源化利用方式，禽畜粪便中含有丰富的氮、磷、钾资源可以满足肥料需要。2016年禽畜粪便含有的养分资源总量达到4710万吨，将这些禽畜粪便收集起来无害化处理后用于农业生产，可大大减少化肥的施用量。(2) 禽畜粪便能源化潜力可观，有望实现对煤炭和天然气的部分替代。2015年禽畜粪便沼气实际生产潜力达到510亿吨，大约相当于3800万吨标准煤。过去小规模沼气池存在前期投资高，回报率低的问题，是制约能源化发展的原因。除此之外，运用生物化学法，通过微生物发酵，禽畜粪便还可以产生甲烷、氢气、乙醇等清洁能源。在微生物转换的条件下，禽畜粪便理论上也可以作为燃料电池，但由于成本原因，生物化学法大部分应用仍处于理论阶段。

图表 39 禽畜粪便能源化利用的主要技术

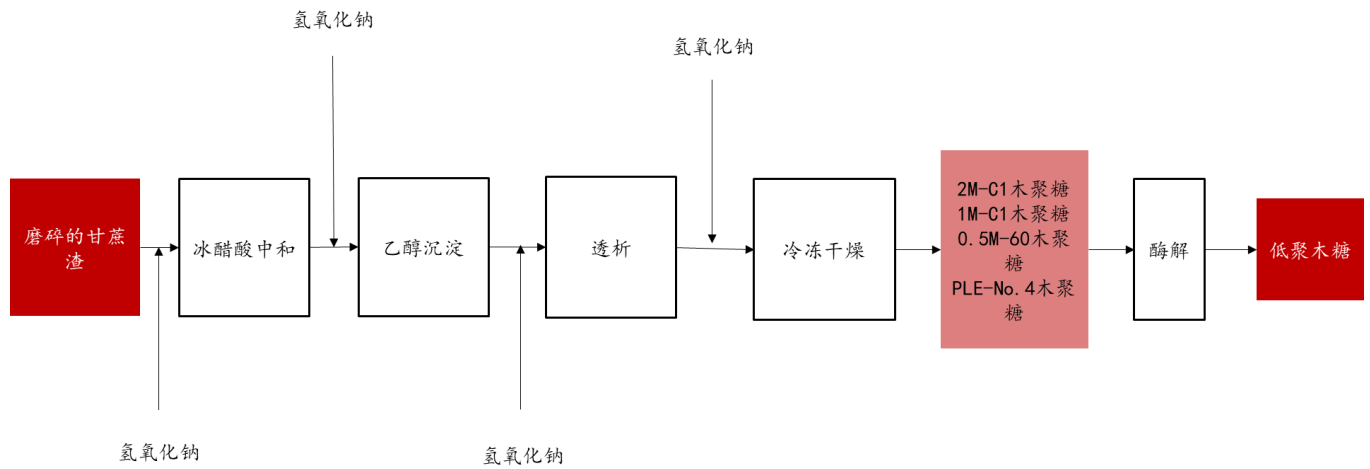
技术分类	下游产品	处理方法	优点	缺点
热化学法	燃烧棒、蜂窝煤	固化	处理简单，应用广泛	增加CO排放量，燃烧温度降低，炉灰增加
	CO、H ₂ 、CH ₄ 等可燃气体	气化	清洁高效，应用广泛	气体焦油含量高，气化前干燥处理需要消耗大量能量
	燃油	液化	便于储存、运输	处于研发阶段

生物化学法	微生物燃料电池	微生物转化产电	转化效率高，可以在常温下有效运行	输出功率密度较低、电极组件价格昂贵
	沼气	厌氧微生物发酵	工艺成熟，应用广泛	规模化生产效益不及预期
	氢气	微生物发酵	绿色环保，减少碳排放	成本高，转换效率低
	乙醇	微生物发酵	工业应用广泛	需预处理，生产成本低
	燃油	微藻合成	合成效率高	技术不成熟，商业化受限制

注：加粗的为目前产业化主流应用技术。
资料来源：CNKI，华安证券研究所

现有技术下，除了秸秆和禽畜粪便以外，甘蔗渣和餐厨垃圾等其他生物废弃物的资源化利用也在进行。甘蔗渣可以提取阿拉伯木聚糖，结合酶法产低聚木糖并分离纤维素。甘蔗渣（SCB）是一种重要的木质纤维素残留物，由糖和酒精工业大量产生。甘蔗加工每吨加工过的甘蔗会产生大约 250-280 公斤渣类，全球每年大约产生 5400 万吨甘蔗渣。大部分甘蔗渣在糖厂燃烧以产生能量。甘蔗渣由 14-30% 的木质素、35-50% 的纤维素和 22-36% 的半纤维素以及有限量的提取物和灰分组成。碳水化合物含量高、灰分含量低的化学成分使 SCB 成为制造高价值产品的合适原材料。通过将 SCB 分馏成核心化学成分（例如纤维素、半纤维素和木质素），每个单独的成分都可用于开发各种产品，如其他类型的木质纤维素副产品。

图 40 木聚糖、纤维素和低聚木糖（XOS）的提取和纯化工艺方案



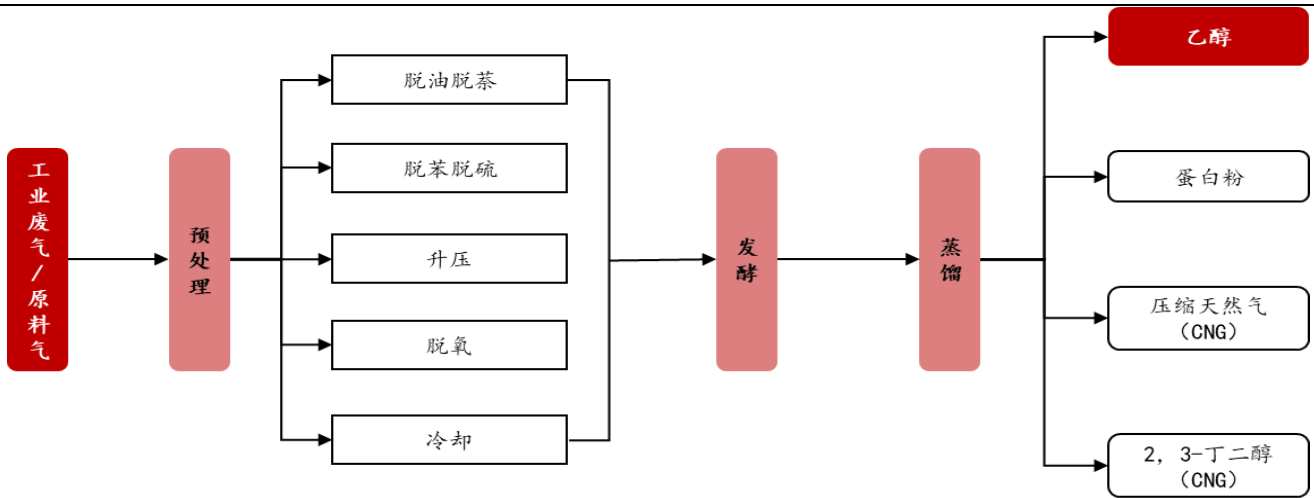
资料来源：生物基能源与材料，华安证券研究所

3.2 工业废弃物利用在起步，解决污染和原料一箭双雕

工业废弃物同样有望成为生物制造的原料。目前，可以被生物利用的工业废弃物包括工业尾气、废塑料、废弃木头等，这些原料经过微生物发酵等一系列步骤生产乙醇、蛋白、塑料、精细化学品

(1) 工业尾气：利用工业尾气发酵生产燃料乙醇的工艺路线较为简单，副产蛋白质等物质也具有较高的价值。该工艺以含有 CO、CO₂ 和 H₂ 中的一种或多种的混合尾气为原料，借助经过合成生物学改造后的微生物发酵，利用体内的乙酰 CoA 生物化学途径生产乙醇。具体的工艺流程包括预处理、发酵、蒸馏和脱水等，具有反应条件温和、副产物经济价值高、对原料要求低和对原料气中的硫化物耐受性强等特点。

图 41 工业尾气生产燃料乙醇流程图



资料来源：CNKI，华安证券研究所

尾气发酵生产燃料乙醇具有成本、减排的双重优势。与现有的工业化生产乙醇大多采用纤维素或粮食发酵的工艺相比，以工业尾气为原料生产乙醇的碳转化率可以达到 88%，能量转化率达到 58%，不仅节约大量粮食，还可以实现连续发酵生产，降低了产品成本。利用尾气生物发酵生产燃料乙醇具有减排优势。以钢铁工业煤气为原料生产燃料乙醇，每生产 1 吨燃料乙醇，可减少 CO₂ 排放 1.9 吨。在汽油中添加 10% 的燃料乙醇后，汽车尾气的 CO 排放可减少 30%，CO₂ 减排 30%~35%。该技术的推广应用将为我国循环经济、尾气利用探索新的路径，为节能减排、减少温室气体排放以及碳中和作出贡献。

图 42 利用尾气生产燃料乙醇具有成本优势

乙醇发酵原料对比	节约耕地 (亩/吨)	节约原料成本 (元/吨)	节约能耗 (tce/吨)
尾气 vs 玉米	4.2	2440	0.46
尾气 vs 木薯	4	3240	0.32
尾气 vs 高粱	1.2	-	0.63

注：tce 表示 1 吨标准煤当量。

资料来源：CNKI，华安证券研究所

图 43 利用尾气生产燃料乙醇具有减排优势

	CO ₂ 减排量 (吨)	PM 减排量 (千克)	NO _x 减排量 (千克)
与燃烧相比	2.1	0.6	4.1
替代汽油	0.5	2.5	7.4
生产过程排放	-0.8	-0.2	-0.8
综合减排量	1.8	2.9	10.7

资料来源：CNKI，华安证券研究所

我国尾气发酵生产燃料乙醇的技术主要来源于国外，但产业化走在全球前列。目前，成熟的尾气发酵生产乙醇技术主要由郎泽科技、巨鹏生物公司和美国塞纳达公司 3 家掌握。他们的技术路线大体相同，均为气化+发酵+精馏。2011 年，巨鹏生物前身英力士生物在佛罗里达州建立示范工厂，可日处理 300 吨生物质原料，年产 2.4 万吨乙醇，是

全球首套经生物质气化-微生物连续发酵生产乙醇的项目。2011年，首钢集团与朗泽科技（Lanzatech）合作成立合资公司首钢朗泽，并于2018年在河北唐山建成每年4.5万吨工业化装置，是全球首套工业尾气生物发酵制乙醇项目；2021年，首钢朗泽控股子公司宁夏首朗吉元4.5万吨/年燃料乙醇项目也正式投产。2018年，潞安集团与巨鹏生物战略合作，建设2万吨生物燃料乙醇一期示范项目。

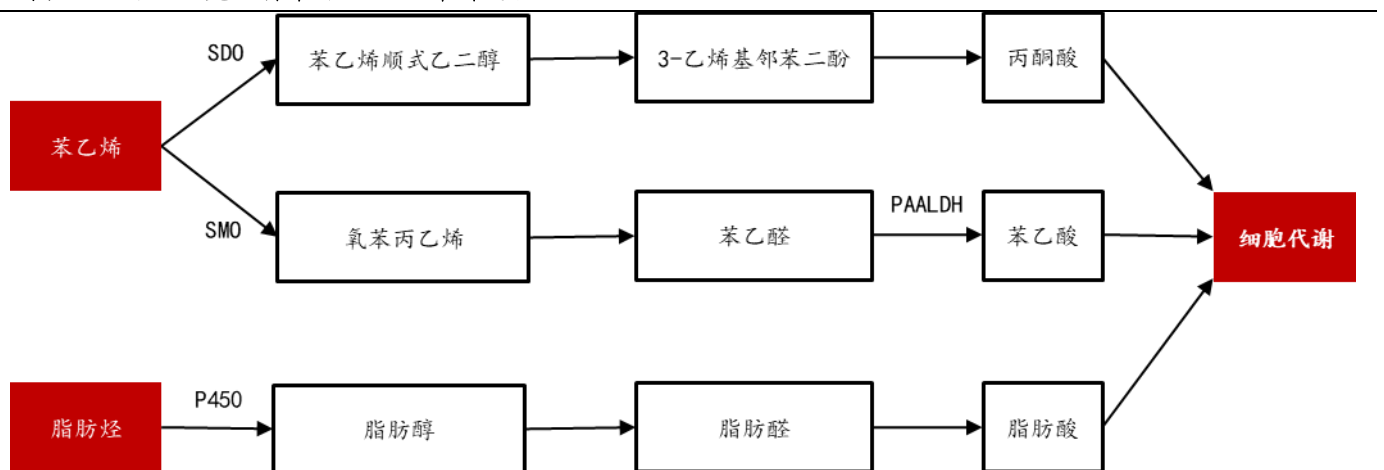
图44 利用工业尾气生物发酵法生产乙醇企业概况

企业名称	地址	产能 (万吨)	首次投产时间	核心优势
首钢朗泽	河北唐山	4.5	2018	全球首套工业尾气生物发酵制乙醇项目。利用Lanzatech核心技术，菌种自主生产，设备自主研发，低成本生产燃料乙醇，并可联产菌体蛋白，用于饲料。
	宁夏	4.5		
巨鹏生物 (前身英力士生物)	美国	2.4	2011	全球最大的经生物质气化——微生物连续发酵生产乙醇项目。年处理转化25万吨生物质垃圾原料，单系列生产2.4万吨/年的燃料乙醇，每小时副产6MW的可再生电力。
潞安集团	山西太原	2	2018年开始建设	利用巨鹏生物的菌种以及生物发酵技术，通过微生物细菌将工业尾气合成为燃料乙醇。
Lanzatech	美国	-	-	CO转化率及乙醇选择性均大于85%，为首钢朗泽股东之一，提供菌种。
塞纳达	美国	-	-	可以实现合成气(CO+H2)经微生物发酵一步生产化学品及燃料。

资料来源：CNKI，公司官网，华安证券研究所

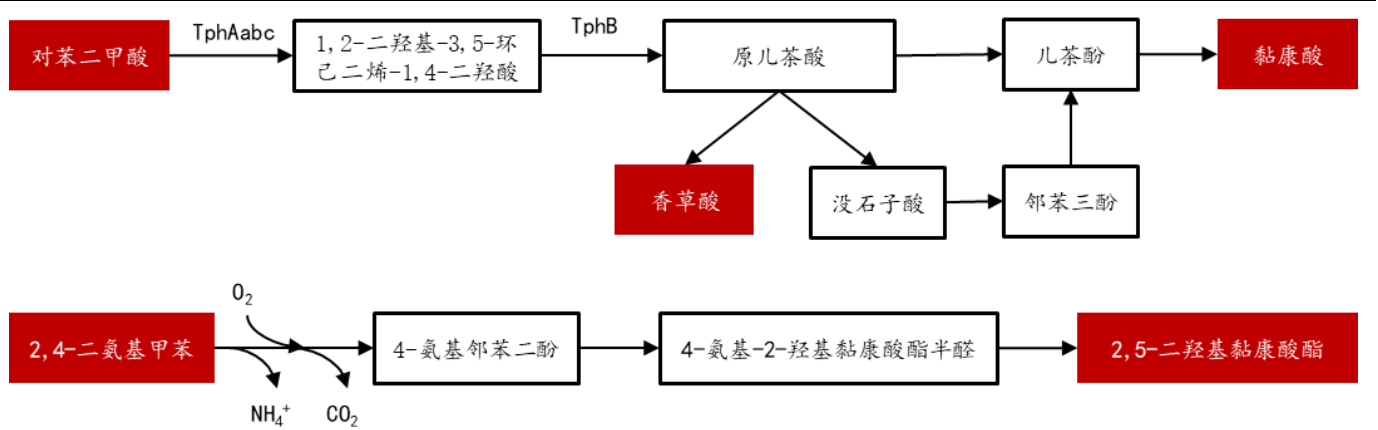
(2) 废塑料：国内外研究人员开展了各种废塑料降解微生物资源筛选和关键酶元件的挖掘改造工作，在PET等聚酯型塑料的酶法解聚与催化机制方面取得了突破。CARBIO公司宣布将在法国化学谷建设PET塑料酶法回收的工业示范工程，建立从PET废弃物降解到单体利用的完整工业链，预计年利用能力在5万吨到10万吨之间。

图45 脂肪烃类塑料单体的生物降解途径



资料来源：CNKI，华安证券研究所

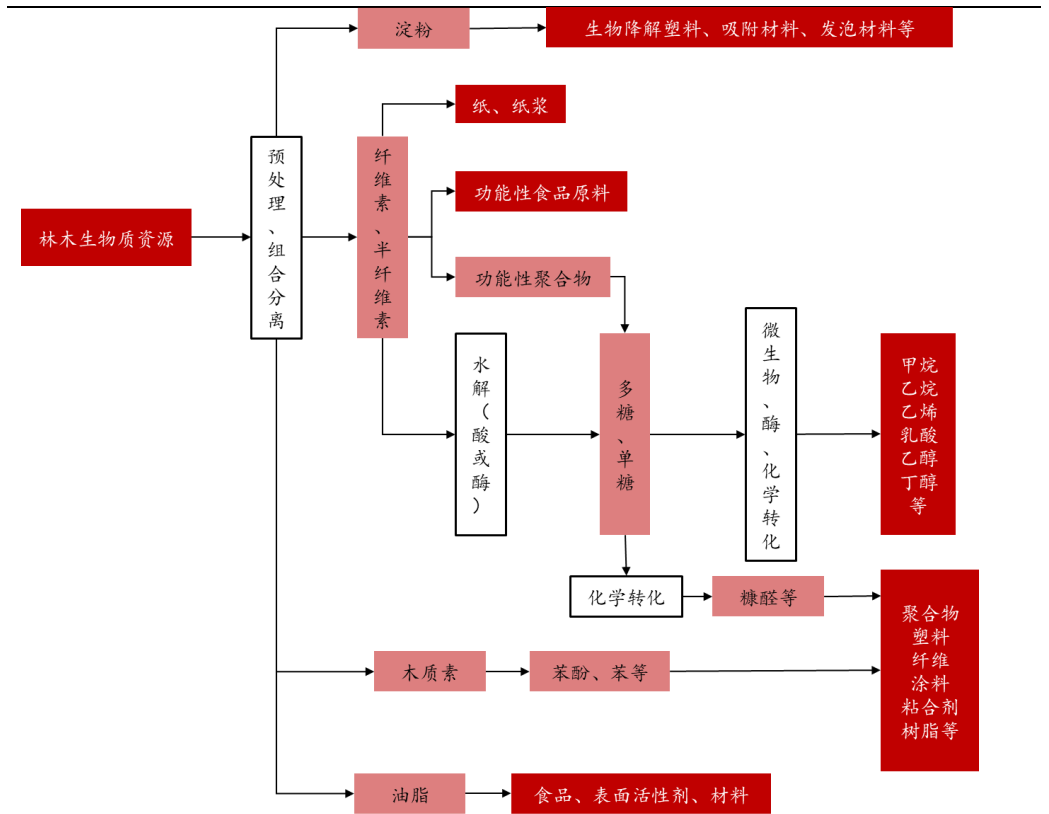
图表 46 芳香类塑料单体的生物降解途径



资料来源：CNKI，华安证券研究所

废弃木头等林木生物质资源可以转化为化学品。从化学组成上，林木也是由纤维素、半纤维素和木质素组成的。通过合理的预处理和酶解转化工艺也可以将纤维素和半纤维素转化成单糖被微生物利用。从林木生物质资源制取高附加值化学品主要包括两种途径，一是以林木生物质为原料，经过一定的预处理，再通过生物或化学方法直接生产出各种化学品。二是先对林木生物质大分子进行降解或分解，得到小分子产物，这些小分子产物经纯化后可直接作为化学品，也可对这些小分子产物进行重整或转化，变成有工业意义的化工产品。

图表 47 林木生物质资源不同组分经热化学、生物、化学转换生成化学品示意图



资料来源：CNKI，华安证券研究所

3.3 非粮作物有助开发贫瘠土地，需下游先发展起来

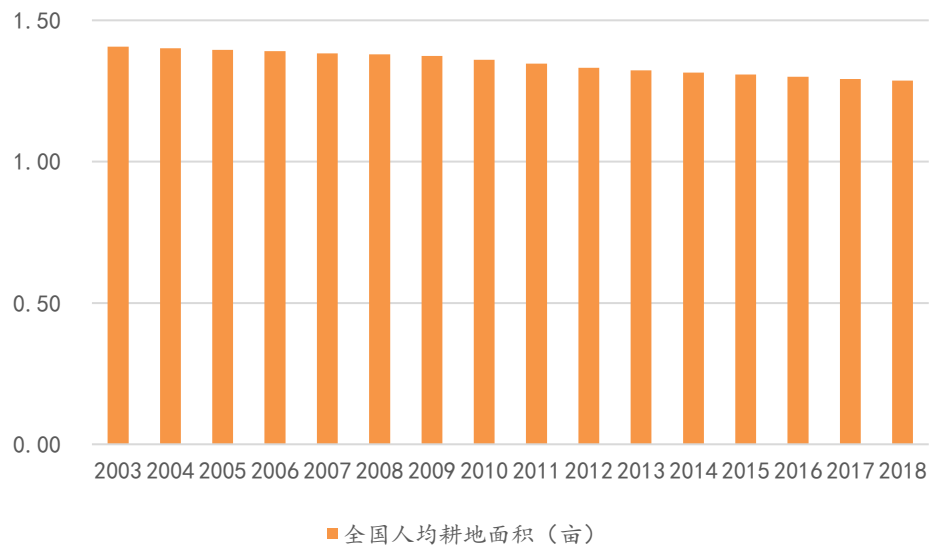
我国仍有大量低质耕地，开发贫瘠土地耕种非粮作物也是解决生物制造原料问题的选择之一。根据农业农村部公报，我国耕地平均等级为 4.76 等，较 2014 年提升了 0.35 个等级。目前的耕地为 20.23 亿亩，位列全球前五。我国耕地面积仅占土地面积的 12.68%，且美国、泰国、澳大利亚等国的人均耕地面积均远远高于我国的人均耕地面积。然而，中国有三亿多亩的七到十等地，如果将该部分农田充分利用，可以在耕地质量相对较低的区域种植一些高抗逆性的非主粮作物，则可以缓解粮食与生物制造之间的矛盾。

图表 48 全国耕地质量等级面积比例及主要分布区域

耕地质量等级	面积 (亿亩)	比例 (%)	主要分布区域
一等地	1.38	6.82	东北区、长江中下游区、西南区、黄淮海区
二等地	2.01	9.94	东北区、黄淮海区、长江中下游区、西南区
三等地	2.93	14.48	东北区、黄淮海区、长江中下游区、西南区
四等地	3.50	17.30	东北区、黄淮海区、长江中下游区、西南区
五等地	3.41	16.86	长江中下游区、东北区、西南区、黄淮海区
六等地	2.56	12.65	长江中下游区、西南区、东北区、黄淮海区、内蒙古及长城沿线区
七等地	1.82	9.00	西南区、长江中下游区、黄土高原区、内蒙古及长城沿线区、华南区、甘新区
八等地	1.31	6.48	黄土高原区、长江中下游区、内蒙古及长城沿线区、西南区、华南区
九等地	0.70	3.46	黄土高原区、内蒙古及长城沿线区、西南区、华南区
十等地	0.61	3.01	黄土高原区、黄淮海区、内蒙古及长城沿线区、华南区、西南区

资料来源：《2019 年全国耕地质量等级情况公报》，华安证券研究所

图表 49 全国人均耕地面积



资料来源：wind，世界银行，华安证券研究所

通过在贫瘠土地种植非粮作物，可以缓解粮食作为生产原料的压力。以木薯为例，

它主要在广西、海南、云南和广东等地种植。不同的是，它对土壤要求并不高，能够在新开垦的荒地种植，适宜我国长江以南的广大地区栽种。此外，它的块茎中富含淀粉，经过生物转化后可用于微生物生产。可以考虑在不宜垦土地种植其他非主粮作物，以此解决合成生物学原料的来源。

图表 50 农作物种植条件对比

作物	土壤条件	水分条件	温度条件	pH
玉米	土层深厚、结构良好，疏松通气	需水较多	25-28℃	5.8-7.5
大豆	土层深厚、有机质含量高	需水较多	15-25℃	6.5-7.0
木薯	不积水，不过分瘦瘠或石砾过多的土地均可栽培	耐旱性较强，年降雨量 356~500mm 地区即可	25-29℃	3.8-8.0

资料来源：CNKI，华安证券研究所

高抗逆性能源植物的种植，是合成生物学原料的来源的重要方向。能源植物一般具备油脂含量高、淀粉、糖和纤维含量高，烃类物质含量丰富等特征。美国对能源植物的研究始于 1978 年，现今已经有 200 多种专门的能源植物被筛选出来，石油植物的种植面积已达 10 万公顷以上，产量在 500 万吨以上。目前，我国已筛选出海滨锦葵、麻风树、苍耳等能源植物新品种，不仅具有高抗逆性，适应不同的生长环境。而且其丰富的油脂、蛋白质，糖类资源，可为合成生物学的提供原料。

图表 51 高抗逆性能源作物条件对比

物种	分布	抗逆性	下游产品	下游应用	含油量	蛋白质含量
麻疯树	我国南方地区	耐干旱、耐低温、抗虫害，耐瘠薄	种子油	肥皂、油漆、润滑油、土耳其红油、燃料、生物柴油	31.4%	-
曼陀罗	全国各地地区	耐瘠薄、耐盐碱、耐高温、耐干旱	种子油	农药、医药，	22.8%	-
苍耳	全国各地地区	耐瘠薄	种子和果油	生产亚油酸、油漆、油墨、肥皂、高级香料、食用油、饲料、药用	42% (种子) 22% (果)	20%
火炬树	我国黄河流域以北各地区	耐瘠薄，耐盐碱，耐低温	种子和果油	观赏，药用	10% (种子) 13% (果)	-
Kosteletzkya pentacarpos	大连有人工栽培	耐盐碱	种子油	盐碱滩涂绿化	18.6%	-
野西瓜苗	全国各地地区	耐干旱	种子油	榨油、保健品、药用	17.4%	-
黑加仑	东北地区	耐低温	种子油，果实油	保健品，化妆品，食品	16.7%	26%
海滨锦葵	美国东海岸	耐盐碱	种子油	医药、饲料、油料、观赏	19.0%	24%
甜高粱	全国各地地区	耐干旱，耐盐碱	乙醇 (6106L/公顷)	生产乙醇	-	-

资料来源：CNKI，华安证券研究所

4 秸秆高值利用或开启第二次“页岩气革命”

“TRY AND DELETE PART OF THE PROCESS” ——Elon Musk

这是今年8月马斯克在SpaceX德州发射基地接受媒体采访时分享的五步工作法中的第二步，即“流程简化”。由于传统秸秆处理技术需要3倍甚至更大于秸秆自身的体积，因此只能集中化处理。秸秆必须从四面八方运送到集中区域。于是供应链中才存在“收、储、运”的问题：1)“收”存在秸秆来源分散和定价的问题；2)“储”存在糖流失和火灾隐患等问题；3)“运”存在秸秆密度低，运输成本高的问题。凯赛生物有望利用合成生物学技术对秸秆预处理，实现提高密度，分布处理的目的，将原本“收、储、运”三个关键流程，减少为“收”一个关键流程，实现了“流程简化”。秸秆高值化利用更为关键。传统“用”的方式需要针对抑制剂和杂糖问题进行多步分离纯化，步骤多因此成本高。凯赛生物有望利用合成生物学技术实现“流程简化”，降低成本。

我们认为，秸秆高值化利用的商业意义、战略意义等同于美国“页岩气革命”。秸秆高值化利用与页岩气开发有许多相似之处：1)相比整装油气田，页岩气和页岩油开采相对分散，开采周期短，但是储量巨大。秸秆高值化利用亦如此；2)页岩气和页岩油的开采周期短、地质条件多样，需要不断的技术迭代降本增效。秸秆以及其他生物废弃物的高值化利用亦如此；3)美国页岩气和页岩油的开采成本虽然不是全球最低的，但因为开采量大实现了对全球油气及其下游产品（例如乙烯产业链）的供给调控能力。秸秆高值化利用亦可如此；4)页岩气革命实现美国能源自给并出口，能源自由强化了美国在全球贸易和政治上的话语权。秸秆高值化利用对我国生物质产业的全球话语权亦如此。

4.1 “收、储、运”是秸秆利用的产业化难点，需企业与政府在技术和模式上共同解决

秸秆的收、储、运是秸秆大规模资源化利用的基础，也是秸秆利用是否具有经济性的关键之一。目前，我国秸秆的收储运模式可以分为分散型和集中型两种，主要是根据收储点之前是否需要汽车运输作为划分。收集的方式也可以分为人工收集和机械收集两种。根据《农业工程学报》以华北平原10万吨规模玉米秸秆的收储运为基准对各模式进行的测算，秸秆收储运的成本约为90-240元/吨，其中机械收集的集中型收储运模式成本最低仅为90元/吨。机械收集的集中型收储运模式在50万吨秸秆收集规模以下都是最具有成本优势的，主要是因为过程中的环节较少，人工成本低。现阶段，秸秆高值化利用的企业秸秆处理量仍然较小，加上秸秆不适于长距离运输（运输半径小于50公里），机械收集的集中型收储运模式将在一段时间内占据主流。

图表 52 秸秆收储运模式

模式	收储运流程及示意图	特点	收储运成本 (元/吨)
分散型收储运模式	<p>田间人工收集→小型收储点→储存→运输→秸秆利用企业</p>	收储站装卸环节多，人工成本高	220-240
	<p>田间机械收集→打捆→小型收储点→储存→运输→秸秆利用企业</p>	收储站装卸环节多，设备投资较高	120
集中型收储运模式	<p>田间人工收集→运输→中心收储点（可设立预处理点）→秸秆利用企业</p>	人工成本较高	180-190
	<p>田间机械收集→运输→中心收储点（可设立预处理点）→秸秆利用企业</p>	环节较少，设备投资较高	90

注：收储运成本为文献中基于华北平原 10 万吨规模玉米秸秆的测算，成本包括秸秆价格、收集成本、打捆成本、储存成本、装车运输成本以及固定资产支出。成本会随收储半径变化。

资料来源：CNKI，华安证券研究所

秸秆收储运装备水平仍然较低，用地矛盾突出，不适宜长时间储存。现有秸秆收储设备普遍存在实用性和可靠性较差的问题，缺乏适合不同地形的高效秸秆收集打包机械，同时机械价格较高、一次性投资大、季节性强、作业时间短，影响农民购机从事秸秆收集的积极性。秸秆存储用地矛盾日益突，土地租金高或土地指标缺等因素造成收储点建设困难。目前，中国国家层面鼓励秸秆收储用地按临时用地管理，仅少部分省份将其纳入农用地管理范畴。秸秆进行长期储存主要有湿储和干储两种方式，现有方法均存在一定缺陷。湿储条件较为严苛，存储时间较长时，由于微生物的存在会导致其可溶性糖等成分的降低，进而影响后续秸秆利用；而干储由于紧密堆积的秸秆内部温度往往较高，容易引发火灾的事故。此外，存储密度也是影响运输成本的重要因素，高密度化的秸秆原料才能有效降低运输成本。

图表 53 秸秆存储方式对比

储存方式	温度	霉变可能性	特点
湿储	低，火灾隐患小	高	糖分损失高，后续转化效率低
干储	温度较高，有火灾风险	低	自然干燥周期长

资料来源：CNKI，华安证券研究所

4.2 秸秆商业化过程中“用”的问题来源于原料复杂性，合成生物学有望提供新的解决方案

秸秆“用”的过程中最关键的问题是提高秸秆储存密度和减少糖的损失。秸秆长时间储存既增加用地矛盾又有安全和霉变的问题，选择合适的预处理方法是解决秸秆收储运现有问题的关键。秸秆利用的技术可以分为两部分，第一部分是秸秆利用的难点，需要对秸秆进行预处理并提取纤维，再以纤维为原料来制备高品质的糖源；第二部分是将糖源适配于不同种生物产品，从而形成产品的体系。秸秆有效的预处理技术可以打破由纤维素、半纤维素、木质素等相互交织形成的复杂结构，决定秸秆后续利用的难易程度。秸秆主要由纤维素（多糖）、半纤维素（多糖）和木质素（苯基类丙烷等聚合物）组成。从原理上，纤维素和半纤维素经过转化生成单糖后，可以被微生物所利用。对于微生物利用而言，秸秆与玉米不同的是：玉米的化学组成相对简单，仅通过淀粉酶即可快速转化为单糖，几乎不用进行复杂的预处理技术；而秸秆是具有坚固分子结构的高分子物质，在进行糖平台转化过程前，必须通过预处理打破其致密的抗降解屏障。

图表 54 秸秆化学成分组成

农作物	草谷比	纤维素 (%)	半纤维素 (%)	木质素 (%)	粗脂肪 (%)	粗蛋白 (%)	灰分 (%)
水稻	0.93-1.06	38.0-43.0	19.0-24.0	14.2	1.4	4.4	12.0-14.0
小麦	1.22	41.2	27.7	18.5	1.3	3.6	6.0
玉米	1.01	38.8	23.5	20.2	1.0	3.7	4.7
油菜	1.86	33.9	18.2	15.3	1.0	4.5	4.8
花生	1.26	31.1	11.5	26.0	2.0	9.6	11.6
土豆	0.16	34.9	25.7	16.3	1.8	10.8	12.3
甘薯	0.26	29.2	8.8	10.5	5.3	16.5	9.1
大豆	1.19	60.0	17.9	18.0	2.7	1.1	2.6
棉花	2.95	41.4	20.8	23.0	3.8	7.0	9.5

资料来源：生物基能源与材料，华安证券研究所

生物法有望成为未来主流的预处理方法，也是目前重点研究的方向。由于秸秆坚固的分子结构，因此预处理对其高效生物转化至关重要。理想的预处理方法应该能够提高表面积利用率和木质纤维素生物质的溶解度，使糖的损失最小化，同时减少微生物抑制剂的形成，并降低能耗。秸秆预处理的方法主要有四种，分别是物理法、化学法、物化法以及生物法。物理法处理后秸秆的生物降解性得到了显著改善，但是能耗高，酶消化率有限以及操作成本高，限制了该方法的大规模应用。化学法预虽然具有处理时间短、高溶解度和去木质素的优势，但是高昂的试剂成本、抑制剂的产生、试剂回收难以及二次污染限制了产业化推广。生物法预处理是一种绿色、环保的方法，可增加秸秆孔径、表面积和水解酶的可及性，同时还促进了后续的水解和生物反应。与传统的物理化学方法相比，生物预处理具有能耗低、无化学物质、不产生抑制剂、操作简便、设备简单等优点。目前生物预处理主要包括真菌或细菌的微生物降解和酶促水解。包括白腐真菌、褐腐真菌和软腐烂真菌在内的真菌已被证明能够降解秸秆。而酶水解可被用于以较短时间预处理木质素，同时促进难降解的大分子（纤维素和半纤维素）的水解和后续的生物转化，甚至可以在没有灭菌步骤的情况下进行加工，运营成本大幅降低。

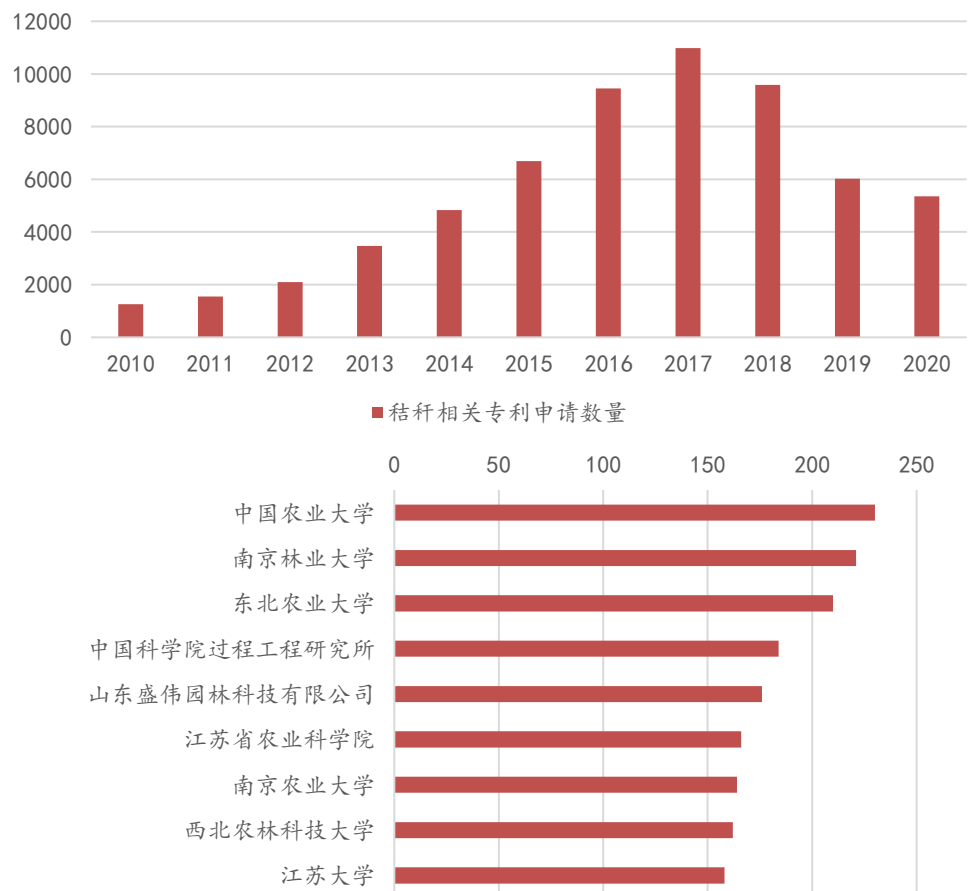
图表 55 秸秆预处理方法比较

方法	举例	优点	缺点	产业化案例
物理法	机械粉碎	改变天然纤维素结构、增加比表面积；提高反应可及性	能耗高、原料一般需要经过前处理	
	蒸汽爆破	形成疏松多孔结构；提高反应可及性；过程绿色	难以连续化操作	河南天冠
	超声波粉碎	破坏细胞壁微观结构	成本高、难以放大	-
化学法	酸处理	破坏半纤维素、形成多孔结构；反应时间短	污水处理成本高；破坏木质素活性	山东龙力
	碱处理	有效脱除木质素，提高后续转化效率；反应时间短	污水处理成本高；破坏木质素活性	山东龙力
	溶剂处理（离子液体）	高效、定向溶解纤维素	离子液体成本极高；毒性强	-
物化法（物理+化学）	湿氧化法	纤维素纯度较高；后续转化效率高	成本高	长春大成

生物方法	微生物处理	专一性强；具有较高脱木质素能力；过程绿色、能耗低；技术快速迭代	反应缓慢	新疆国力源
	酶处理	效率高；不需要灭菌处理；过程绿色、能耗低；技术快速迭代	成本高

资料来源：CNKI，华安证券研究所

图表 56 秸秆相关发明专利申请情况



资料来源：国家专利局，华安证券研究所

秸秆高值化利用的一大难题是秸秆中存在大量的抑制物，限制微生物生长和发酵效率。在秸秆进行生物转化前，必须要对其进行预处理以提高后续生物转化效率。在预处理过程中，秸秆的纤维素、半纤维素和木质素会发生降解，产生各类抑制物，从而影响后续酶解发酵过程。纤维素水解产生的葡萄糖会继续降解成 5-羟甲基糠醛，进一步分解可产生甲酸和乙酰丙酸。半纤维素水解产生的木糖等五碳糖，会脱水降解成糠醛，进一步分解产生甲酸和乙酰丙酸。同时，连接在半纤维素的乙酰基也会脱落生成乙酸。木质素降解产物主要是多种酚类化合物。根据酶解发酵抑制物的来源和成分，主要将其分为三类：弱酸类（乙酸、甲酸等）、呋喃类（糠醛、5-羟甲基糠醛等）和酚类化合物（香草醛、苯酚等）。酸类物质可以通过自由扩散通过细胞膜，引起细胞环境酸化，是抑制微生物生长的主要原因。呋喃类物质参与生物代谢，主要抑制一些与糖代谢有关的酶类，抑制细胞的生长，使延滞期增长，降低发酵效率。其中，由木质素降解产生的酚类化合物会破坏生物膜构造及活性，表现为更强的抑制效果。同时，抑制物的抑制作用是协同作用的结果，多种抑制剂的存在会增强这种抑制作用。此外，不同预处理方法也会导致抑制物种类和产量的改变，这都会影响后续酶和微生物的利用，是秸秆规模化和产业化的一个主要障碍。

图表 57 秸秆中常见的抑制物来源及产生原因

主要来源	抑制物	产生原因
纤维素	5-羟甲基糠醛	己糖分解产生
	乙酰基丙酸	5-羟甲基糠醛分解产生
	甲酸	5-羟甲基糠醛分解产生
半纤维素	糠醛	戊糖分解产生
	乙酸	乙酰基
木质素	香豆酸	酯键破坏，游离
	丁香醛	存在于 S 型木质素中
	苯酚类物质	存在于 H 型木质素中
	香草酸	存在于 G 型木质素中

资料来源：CNKI，华安证券研究所

秸秆高值化利用的另一大难题是绝大多数微生物无法利用秸秆中六碳糖以外的杂糖，导致秸秆整体的利用效率低。一般来说，微生物主要摄取葡萄糖等六碳糖作为碳源进行生命活动，只有极少数微生物会利用木糖等五碳糖进行代谢。例如：酿酒酵母在厌氧条件下会摄取葡萄糖，通过糖酵解过程（EMP 途径）将葡萄糖转化为丙酮酸，丙酮酸进一步脱羧形成乙醛，乙醛最终被还原成目标产物乙醇。秸秆中纤维素和半纤维素包含大量多糖，分解成单糖后才能被微生物利用：纤维素经过降解后可以生成葡萄糖等六碳糖；而半纤维素经过降解后主要生成木糖等五碳糖。由于传统发酵中微生物仅仅可以利用葡萄糖等六碳糖，对于木糖等戊糖却不能转化和利用，导致纤维糖化液中 30% 的糖类就不能转化成目标产物，大部分的五碳糖只能被浪费。因此，该部分无法被微生物利用的杂单糖也是限制秸秆规模化利用的阻碍，也是相同产品秸秆发酵耗用量一般为玉米发酵两倍以上的的原因。如果通过合成生物学的手段改造底盘细胞，使其可以利用五碳糖等杂单糖或杂多糖进行代谢，那么便可以提高秸秆糖的发酵效率，秸秆杂糖含量高的问题就可以迎刃而解。

图表 58 常用发酵菌株碳源来源及产物

菌种名称	主要碳源	发酵产物
酿酒酵母	葡萄糖	乙醇
丙酮丁醇梭菌	葡萄糖	丙酮、丁醇
里氏木霉	葡萄糖	纤维素酶
枯草芽孢杆菌	葡萄糖	淀粉酶、蛋白酶
米曲霉	葡萄糖、蔗糖	淀粉酶、蛋白酶、果胶酶
戊糖乳杆菌	木糖	乳酸
大肠杆菌	葡萄糖	乙酸
嗜盐菌	葡萄糖	

资料来源：CNKI，华安证券研究所

合成生物学的出现以及“碳中和”的目标是秸秆等生物废弃物高值利用的“天时地利”，生物制造在打通原料限制之后将大有可为。根据中科院天工所测算，与传统的石化路线相比，生物制造的化学品平均可以实现节能减排 30-50%，未来甚至有望达到 50-70%，包括秸秆产业链在内的生物基产品未来大有可为。目前，秸秆综合利用产业化发展缓慢，主流技术以生产乙醇为主，单一产品效益低，主要原因是高值化利用处于发展初期，缺少相关的规模化技术和行业标准。现阶段，秸秆生产的产品受“成本地板”和“价格天花板”双重挤压，资源化利用成本较高，而秸秆产品价格与其相应替代的商品价格比较不具优势。秸秆利用的标准技术规范也有待进一步完善，除秸秆发电厂、秸秆板材、秸秆沼气外，相关国家标准或行业标准多是涉及机械作业质量，缺乏秸秆产品生产技术规范。

历史上曾出现不少生物废弃物或秸秆作为原料生产化学品的公司，但最终都以失败告终，在技术、商业模式、产品选择都有问题。我们认为，过去秸秆高值化利用无法成为主流主要有三方面的原因：（1）技术上，过去秸秆处理主要采用物理法、化学法、酶法等进行预处理，导致成本高、污染严重的问题，得不偿失。（2）商业模式上，过去秸秆等生物废弃物利用主要依靠政策支持或科研课题转化支持，不具有大规模参与市场竞争的能力。（3）产品选择上，过去利用生物废弃物生产的产品主要是乙醇等附加值相对较低的产品，产品价格低、波动大，无法与发展多年的化学法产品竞争。

图表 59 秸秆利用或废弃物利用企业破产或退市案例

公司名称	成立时间	破产时间（或退市）	原料	产品	具体原因
大唐安庆生物质能发电有限公司	2007 年	2021 年	生物质废弃物	电力	秸秆燃料收购总量远不及预期，收购价格过高，负债过高，资产负债率约 5742%，其全部资产不足以偿付全部债务，并且明显缺乏偿债能力。
河南天冠燃料乙醇有限公司	2003 年	2020 年	玉米、秸秆等	乙醇、生物天然气、生物柴油、谷朊粉、DDG 饲料	受国际油价影响，燃料乙醇售价出现断崖式下跌，贷款不能及时收回，银行、融资租赁等借款造成财务费用过高，公司内部管理不规范，形成大量到期不能清偿的债务。
凯迪生态环境科技股份有限公司	1993 年	2020 年	生物质废弃物	电力	盲目收购扩张增收不增利，负债逐年增长，资金周转困难“H6 凯迪 03”无法按时兑付，信息虚假披露成暴雷导火索。

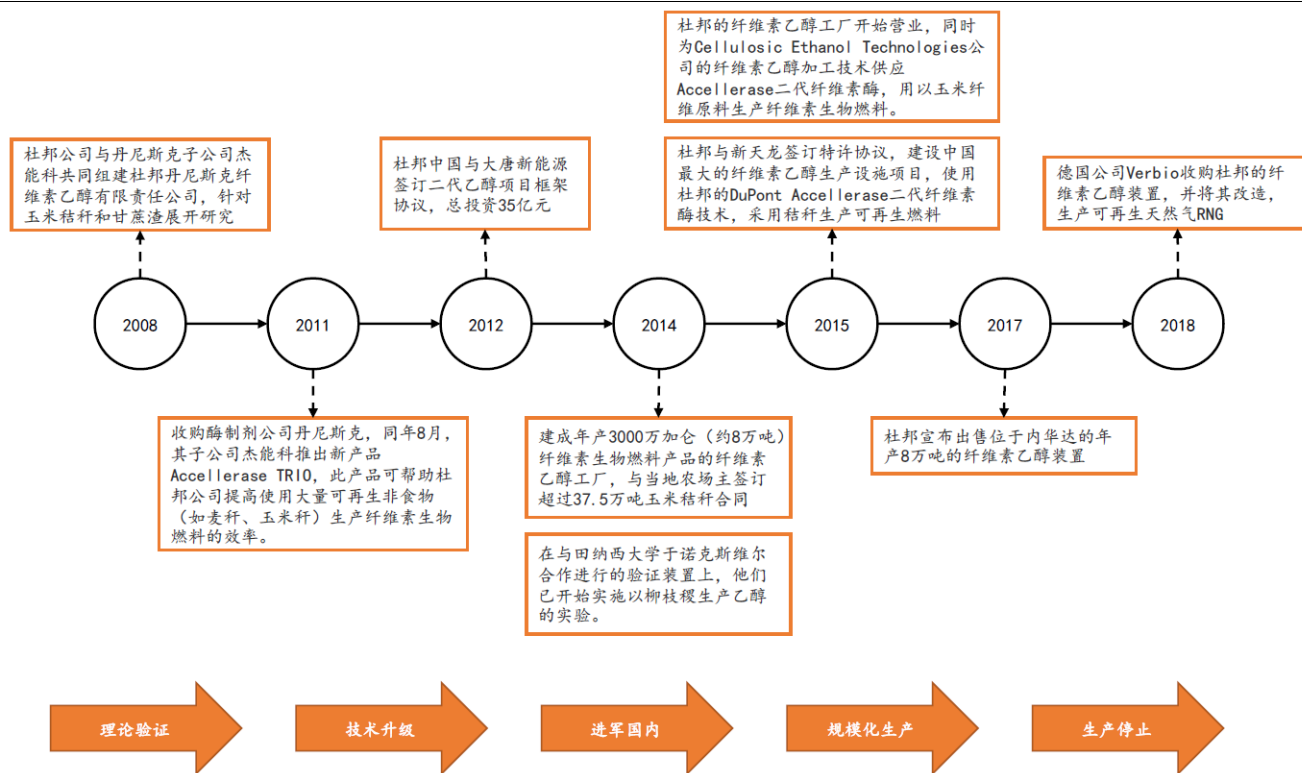
宁夏紫荆花纸业 有限公司	1999 年	2019 年	秸秆	生活用纸	不能清偿到期债务且资产不足以清偿全部债务。
山东泉林集团有 限公司	1989 年	2019 年	秸秆	有机肥料、 本色生活用 纸、本色文 化用纸、本 色纸浆、环 保餐盒	企业融资渠道单一、银行金融政策调整、 银行借贷，企业发展遇到资金瓶颈，与 ST 龙力互相担保，资金链告急。
山东龙力生物科 技股份有限公司	2001 年	2020 年退市， 2021 年申请破产	玉米芯废渣	低聚木糖、 乙醇	巨额违规担保披露违规，债务违约暴露资 金链问题，连续数年虚增利润财务造假。
安丘盛源生物质 热电有限公司	2008 年	2019 年	生物质废弃 物	电力	项目主要依靠大股东投入，造成资金不 足。
佛山市南海区景 雅固体废物处理 有限公司	2002 年	2018 年	固废		财产不足以清偿破产费用，且无财产可供 分配
Mossi & Ghisolfi Group	1953 年	2017 年	秸秆	燃料乙醇、 PET	由于位于德克萨斯州 M&G 工场成本不断上 升，2016 年底的金融债务从 2015 年底的 12 亿增加到 18 亿。

资料来源：wind，公司网站，企查查，华安证券研究所

秸秆作为原料生产化学品是国内外从事生物制造的公司一直希望突破的技术难题，过去以生产乙醇为主，现在高值化利用开始占据主流。以下以杜邦和凯赛为代表诠释。

(1) **杜邦公司**作为一家以科研为基础的全球性企业，在工业生物科技领域的研究始终没有止步。多年来，一直在为生物燃料等方面提供可持续解决方案，并在秸秆合成乙醇技术上取得了重大进步。2008 年，公司开始对玉米秸秆和甘蔗渣展开研究，尝试利用秸秆生产纤维素乙醇，并建成全球规模最大的纤维素炼制项目，年产约 8 万吨纤维素生物燃料。2011 年，杜邦收购丹尼斯克，其子公司杰能科的酶业务是此次收购的重点。杰能科也同时推出新产品 Accellerase®TRIO，帮助杜邦提高生产纤维素生物燃料的效率。2012 年，杜邦公司进入国内市场，与大唐新能源签订纤维素乙醇合作协议。2015 年，国内最大的纤维素乙醇生产项目动工，新天龙将应用杜邦的纤维素乙醇工业化生产技术和使用杜邦 Accellerase 二代纤维素酶，以吉林玉米种植所产生的大量秸秆为原料，生产可再生燃料。2015 年 10 月，杜邦在内华达的纤维素乙醇工厂开业，但是由于短期内收益低等问题于 2017 年宣布出售。2018 年，德国公司 Verbio North America Corp 收购了杜邦的纤维素乙醇设施以及部分玉米秸秆库存，并进行设施改造，生产可再生天然气 RNG。近年来，杜邦以秸秆为原料生产化学品项目并没有更新的产业化项目消息，并出售了相关资产，大规模产业化受阻，一方面是因为秸秆的收集、运输、储存等一系列商业问题仍未解决；另一方面是因为纤维素酶价格昂贵，使得该方法生产纤维素乙醇等低价值化学品没有经济性。

图表 60 杜邦在利用秸秆进行纤维素乙醇合成的历程



资料来源：CNKI，华安证券研究所

(2) 凯赛生物利用秸秆生产乳酸已取得初步成果，即将进入中试阶段。凯赛生物长期致力于秸秆高值化利用的研究，目前秸秆等生物质废弃物产业化利用取得阶段性成果。公司秸秆等生物废弃物的产业化利用是公司发展战略的三大重点之一。公司以秸秆为原料的万吨级乳酸示范项目预计在 21 年底或 22 年年初建成投产，将突破玉米原料的限制，彻底解决生物制造与粮食安全的矛盾。同时，公司可以以秸秆制乳酸为契机，以秸秆为原料生产戊二胺等其他生物基产品，布局更广阔的生物基材料市场，实现秸秆高值化利用。

图表 61 凯赛生物部分在研项目进度

序号	项目	计划投资 (万元)	累计投入占比	
			2020 年末	2021H1
1	生物制造研究平台的建设			
1.1	微生物基因改造工具的研究	194	65%	117%
1.2	高通量微生物筛选模型和装置研究	40	60%	84%
1.3	生物反应的在线控制和智能化研究	600	44%	55%
1.4	复杂生物体系的提取纯化工艺和装置研究	406	55%	55%
1.5	研究型高分子材料高通量聚合装置研究	282	56%	56%
1.6	生物材料微型高通量测试系统研究	327.5	68%	99%
2	生物基聚酰胺单体研究			
2.1	长链二元酸系列产品的研究			

2.1.1	生物法癸二酸产业化技术开发	15,672	28%	33%
2.1.2	连续发酵工艺研究	100	70%	70%
2.1.3	长链二元酸重组分工艺研究	720	5%	5%
2.1.4	长链二元酸废弃物工艺研究	1,080	0%	30%
2.2	生物基戊二胺产业化技术开发			
2.2.1	生物基戊二胺第一代技术	600	0%	4%
2.2.2	生物基戊二胺第二代技术	1,988	62%	116%
2.2.3	戊二胺提取纯化工艺研究	60	86%	86%
2.3	利用农业废弃物生产生物基产品技术开发	800	0%	14%
3	生物高分子材料聚合研究			
3.1	生物基聚酰胺聚合机理、工艺和装置研究	850	74%	91%
3.2	可生物降解的生物材料聚合机理和工艺研究	558	52%	60%
3.3	高温尼龙聚合研究	200	61%	61%
3.4	耐高温聚酰胺聚合研究	250	0%	50%
4	生物基材料在纺织领域应用技术开发			
4.1	生物基聚酰胺熔体直纺技术开发	500	80%	241%
5	生物基聚酰胺用于汽车部件的工程材料改性技术开发	3,670	22%	33%

资料来源：凯赛生物公告，华安证券研究所

4.3 “页岩气革命”对秸秆高值利用启示

秸秆利用商业化目前正处于起步阶段，成本降低是其次，主要是打破生物制造单一的原料结构，这与页岩气的开发初衷类似。页岩气是指在由页岩构成的地质层中的天然气。由于地质结构特殊，开采难度高，页岩气在上世纪应用进展十分缓慢。为了丰富能源结构，美国开始攻克页岩气应用的相关技术，但在产业化发展初期页岩气开采仍没有成本优势。随着勘探和技术的突破，页岩气目前已经实现了商业化应用，并且成本不断下降，成为重要的能源物质。秸秆作为合成生物学的原料，在规模化利用上也存在各式各样技术难点，在发展初期可能成本依然会比玉米高，但随着产业化的推进，秸秆利用技术有望像页岩气一样不断迭代突破，最终实现秸秆利用商业化、规模化。过去页岩气的发展路径是先解决能源结构等战略问题，再通过技术迭代解决成本问题。我们认为，秸秆利用将有望重走这一模式。

页岩气能实现规模化应用的重要原因是开采技术实现了突破。页岩气开采主要是水平井技术和压裂技术。页岩气的开采一般为水力压裂开采，利用储层的天然或诱导裂缝系统，使用含有各种添加剂的压裂液在高压下注入地层，使储层裂缝网络扩大，使赋存其中的页岩气持续不断地释放并输送到地表。目前美国现已经能够做到单井压裂“千方砂，万方液”的规模化生产水平。

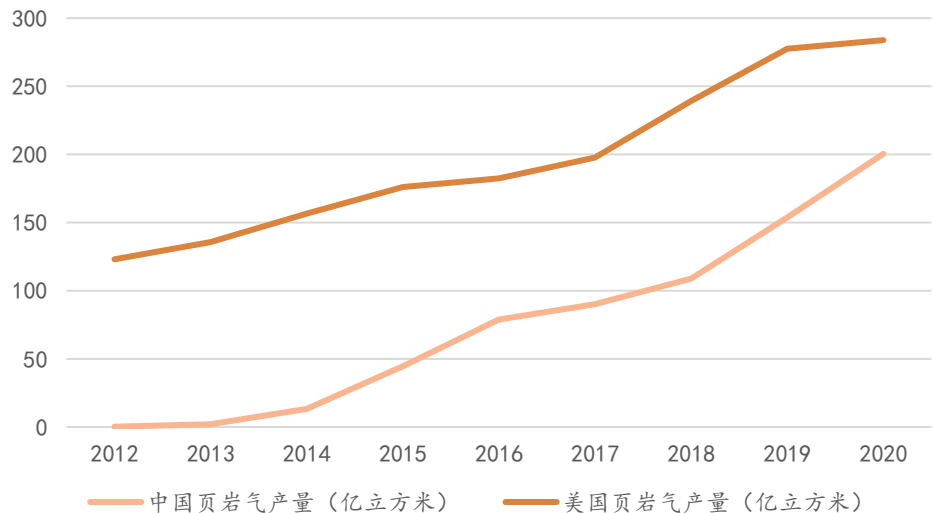
图表 62 中美页岩气地质条件和开发条件对比

条件分类	指标	中国	美国
地质条件	构造	复杂，多次改造，断裂发育	简单，一次抬升，断裂较少
	沉积类型	发育 3 大类，海相有效范围保存少	单一，主要为海相页岩
	有机碳含量	中等，以 1%-5% 为主	丰富，以 5%-10% 为主
	含气量	偏低（平均 1-3 立方米/吨）	高（平均 3-6 立方米/吨）
	热演化程度	变化大，海相偏高，陆相偏低	普遍为成气高峰阶段
开发条件	埋深	偏大，>3500m 埋深为主	较浅，以 1500-3500 米为主
	地表条件	复杂，南方多高山，北方少水	平原或丘陵，水源好
	油气管网	总体不够匹配，部分地区无管网	发达，遍及全网

资料来源：国家统计局，华安证券研究所

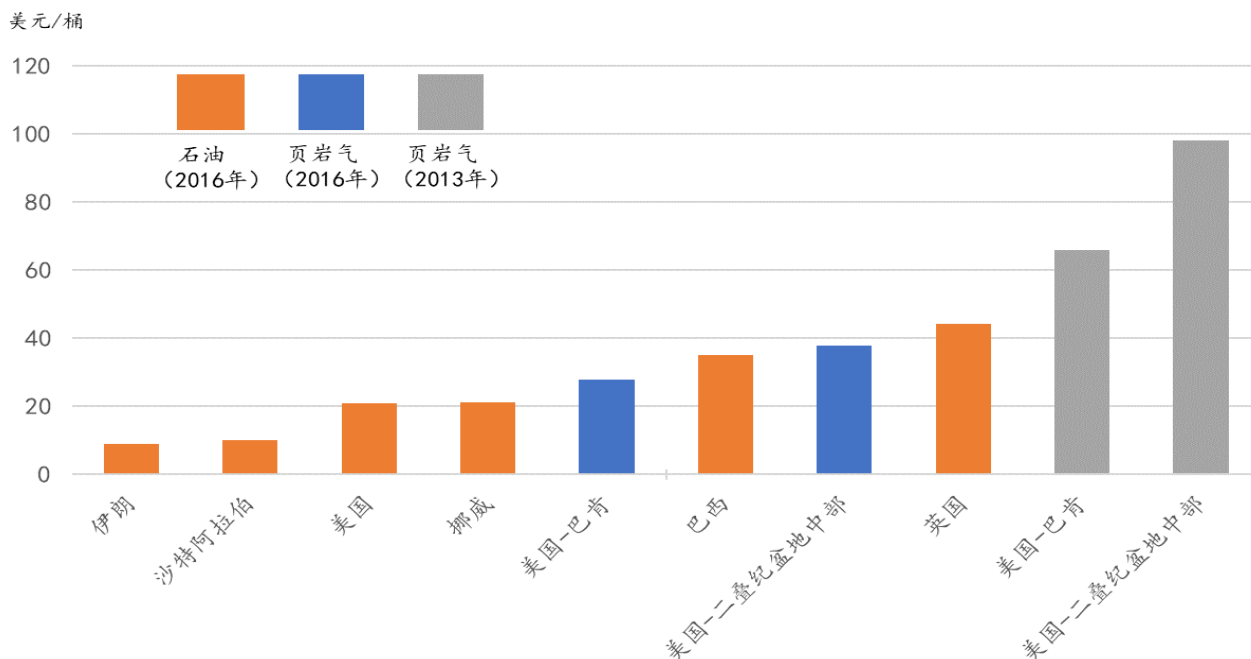
页岩气、页岩油开始发展的时候开采成本远高于原油开采，但出于能源安全考虑不断技术迭代，成本差距正逐步缩小，产量大幅提升。近十年来，全球页岩气产量稳步上升，美国页岩气产量从 2012 年的 123 亿立方提到到 2020 年的 284 亿立方；中国更是实现从无到有，页岩气产量从 2012 年的 0.25 亿立方提高到 2020 年的 200 亿立方，成为世界第二大页岩气生产国。以页岩油生产成本为例，即使是页岩油生产成本最低的美国，其 2013 年页岩油的生产成本仍远高于原油生产成本最高的英国，是中东原油生产成本的 6 倍以上。在产业化推进的同时，经过几年的技术进步，2016 年的页岩油生产成本就开始有竞争力，低于原油生产成本的高分位水平，页岩气产量再次进入快速增长。

图表 63 中国与美国页岩气产量对比



资料来源：前瞻产业研究院，金联创，华安证券研究所

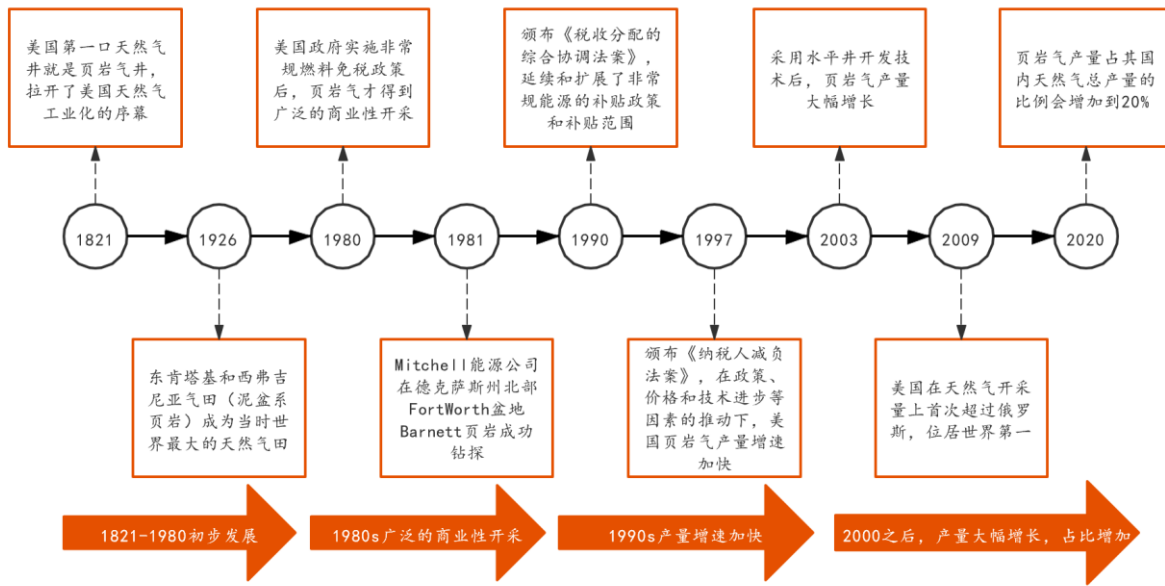
图表 64 页岩气和石油开采成本比较



资料来源：EIA, UCube, 华安证券研究所

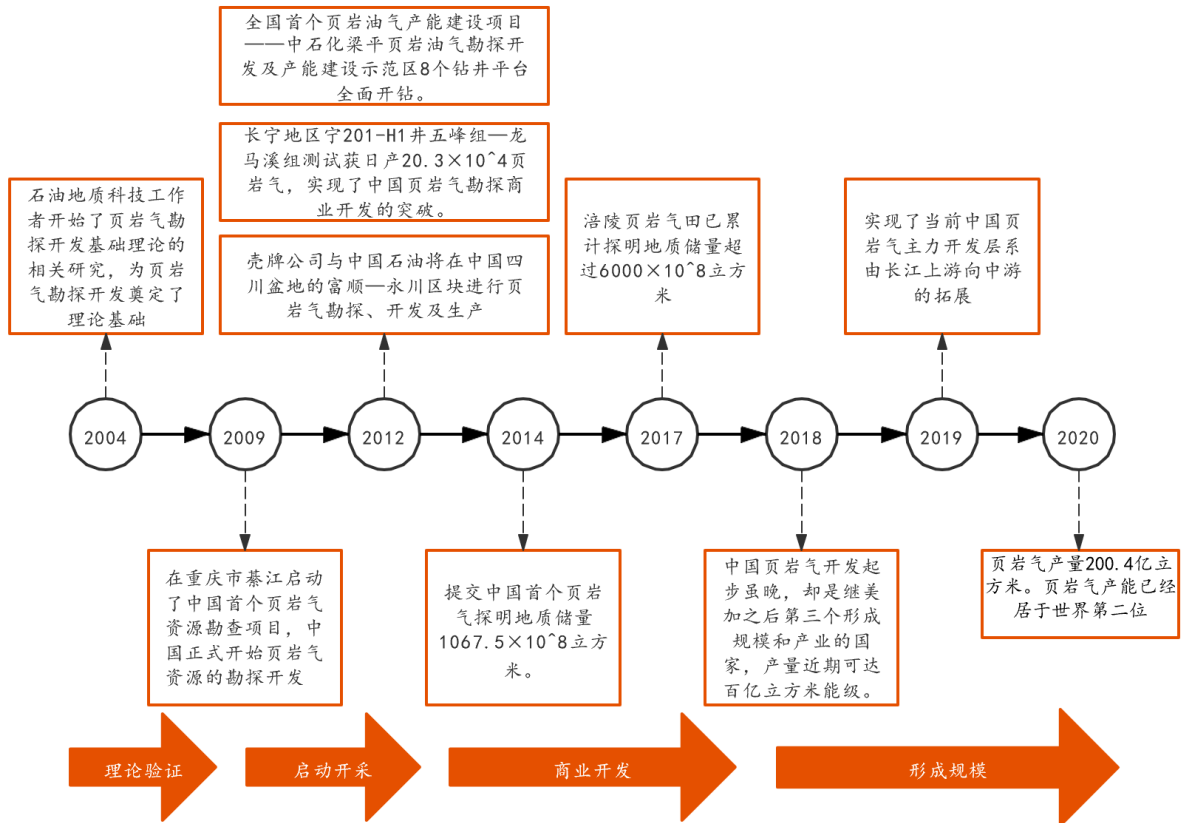
页岩气研究和勘探开发最早始于美国，目前技术已趋成熟，成为了重要的能源源头，并让美国从石油进口国变成出口国。美国拥有丰富的页岩气资源，主要分布在北美克拉通盆地、前陆盆地侏罗系、泥盆系，密西西比系等。过去因为技术有限，很难将其富含的油气提炼出来。上世纪九十年代时，美国突破了页岩气开采技术，主要是用水裂法开采页岩气，引发了一场美国页岩气革命，大量资本蜂拥进入页岩气开发领域，这也导致了美国从 2016 年开始成为天然气净出口国。此后，美国又利用水力压裂技术转入页岩油的开发。近年来，我国页岩气发展实现从理论研究到实地勘探再到规模化开采的跨越，2018 年我国成为继美加之后第三个形成规模和产业的国家，产量近期可达百亿立方米能级。2020 年，中国页岩气产量达到 200.4 亿立方米，页岩气首次在国产气中占比超过了 10%。

图表 65 美国页岩气发展历程



资料来源：CNKI，华安证券研究所

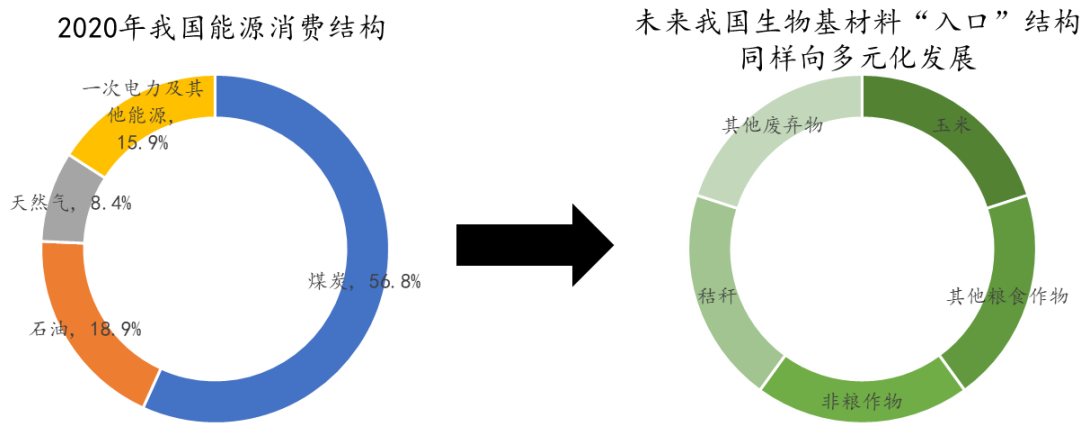
图表 66 国内页岩气发展历程



资料来源：CNKI，华安证券研究所

我国的人口数量决定了粮食将不可能成为生物制造以及和生物基材料的唯一“入口”，秸秆非常有可能是另外的一个“入口”。对于国家而言，掌握巨大产业链的“入口”以及这个“入口的多元化”是具有战略意义的。过去，石油虽是最具战略意义的能源资源，但我国受煤多油少的影响，逐步形成了煤炭为主、石油、天然气、页岩气等为辅的多元化能源消费结构。多元的结构具有更强的抗击外部风险的能力。未来，生物制造和生物基材料大市场的到来，将重复这一过程。由于我国人多粮少秸秆多的客观条件，为了把握未来制造业原材料端的命脉，多元化的原材料不可避免。我国的秸秆资源丰富，一旦技术问题解决，将有望成为页岩气一样的重要原料来源，甚至有可能成为煤炭一样的生物制造最主要“入口”。

图表 67 我国的能源结构与未来生物制造原料结构类比



资料来源：国家统计局，华安证券研究所

风险提示：

生物废弃物技术发展进度不及预期；秸秆利用商业模式开展不及预期；新技术开发进度不及预期；技术产业化不及预期；政策持续性不及预期；原材料价格波动的风险；技术泄露的风险。

分析师与研究助理简介

分析师：刘万鹏，德克萨斯大学奥斯汀分校机械硕士，主要从事生物半导体、生物机械领域研究，共发表 10 篇国际论文，引用数超 600 次，申请 5 项国家发明专利；天津大学化工学士；2 年央企战略规划经验，5 年化工卖方研究经验；2019 年“金麒麟”化工行业新锐分析师第一名；2019 年“新财富”化工行业团队入围。

联系人：曾祥钊，中国科学院化工硕士，清华大学化工学士。

重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A 股以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%以上；
- 中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

公司评级体系

- 买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；
- 增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
- 中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
- 卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
- 无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。