

基础化工

生物固氮技术重塑现代农业氮循环体系

股票代码	股票名称	投资评级	EPS (元)		PE	
			2024E	2025E	2024E	2025E
300387.SZ	富邦科技	买入	0.41	0.54	22.13	16.84

资料来源：截至 2025 年 3 月 23 日，长城证券产业金融研究院

生物固氮重塑农业氮循环，国内潜在市场规模超百亿。全球粮食安全压力下，粮食单产提升需求迫切，且传统化肥依赖导致的能耗及环境问题亟待解决。据联合国粮农组织数据，2021 年全球 23 亿人面临粮食不安全，叠加耕地资源约束（中国人均耕地面积仅 0.088 公顷），粮食增产亟需高效、可持续的氮源替代方案。当前生物固氮产品已突破传统共生固氮效率瓶颈，通过定向优化菌种实现“节肥+增产”，经济性与生态溢价兼备。根据我们的测算，2024 年全国耕地面积约 19.29 亿亩，按照固氮产品单位价格 15 元/亩计算，其潜在的市场空间约 289.35 亿元，未来随着固氮产品渗透率的不断提升，其国内市场规模有望持续扩大。

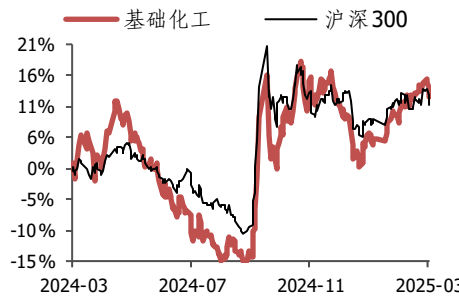
氮肥减量政策倒逼替代加速，固氮技术兼具经济与环保价值。近十年来我国相继出台了一系列的化肥减量增效政策：2015 年农业农村部出台了《到 2020 年化肥使用零增长行动方案》，2021 年全国农用化肥施用量较 2015 年减少了 13.8%；2022 年又出台了《到 2025 年化肥减量化行动方案》，着力减少化肥用量，并制定了水稻、小麦、玉米、油菜等作物氮肥定额用量。使用生物固氮产品替代氮肥，可以有效缓解氮肥施用面临的刚性需求与生态、能耗约束双重矛盾。生物固氮技术通过重构氮循环体系，可减少约 30%左右的氮肥用量，同时解决化肥施用引发的土壤板结、温室气体排放（占全球 2.5%）及高能耗问题（据我们测算，尿素生产年耗煤量约 0.96-1.12 亿吨）。对比美国企业 Pivot Bio，其固氮产品已在 3%美国玉米田（总玉米田面积约 3600 公顷）应用，亩均增产 25-92 公斤玉米，验证了产业化的可行性。

成本敏感度低+增产效果显著，固氮产品经济效益可观，国内厂商加速技术产业化。按照我们测算，固氮产品替代尿素可降低约成本 7.0-11.7 元/亩（替代率 20%），且种植端对化肥价格敏感度低、固氮产品增产效果显著，因此固氮产品整体的经济效益良好。据测算，亩均增产 10%即可带来约 101 元增值收益（以玉米为例），投入产出比达 1:10 以上。国内企业如富邦科技已布局 12 省万亩级田间试验，通过菌种筛选与基因编辑提升耐铵泌铵能力（固氮效率提升 3-5 倍），叠加政策示范推广（2025 年化肥减量行动方案），有望复刻海外技术路径，抢占农业绿色转型先机。

固氮行业仍处产业化初期，技术路线分化与成本优势并存。当前全球固氮行业仍然处于产业化导入期，技术成熟度与商业模式仍在探索：先正达、科迪华、拜耳等国际农化巨头凭借其技术研发、全球市场布局和品牌影响力积极布局市场；美国 Pivot Bio 占据先发优势，其改造菌株已覆盖约 1620 万亩美国玉米田。国内固氮菌行业发展落后于海外进展，主要通过产品创新、本土渠道优势等积极布局，部分企业致力于固氮菌行业发展和推广，但仍没有达

强于大市（维持评级）

行业走势



作者

分析师 肖亚平

执业证书编号：S1070523020001

邮箱：xiaoyaping@cgws.com

联系人 王彤

执业证书编号：S1070123100005

邮箱：wangtong@cgws.com

相关研究

- 《2025 年制冷剂行业展望：配额方案落地，有望开启长景气周期》2025-01-20
- 《农药行业 2025 年策略：供需再平衡将至，行业景气度有望触底回升》2024-12-25
- 《PTA 生产技术持续迭代，行业集中度持续上升，静待行业回暖》2024-04-09

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

到海外初创企业 Pivot Bio 的应用程度和场景。兴播生物制品、Azotic Technologies、丽豪生物、湖北氮能农业、富邦科技等众多国内企业在固氮菌相关技术研发、产品生产与推广方面积极探索。我们认为，未来行业或将沿“菌株迭代-区域适配-作物延展”三阶段升级，具备本土化菌种库与发酵工艺的企业有望突围。

产业链协同打开增值空间，有机农业与碳交易或成第二增长曲线。展望未来，我们认为生物固氮不仅可以替代氮肥，更有望重塑农业投入品价值链：1) 上游菌剂发酵成本随规模扩张持续下行（国内大型发酵产线成熟，在成本上或将具备更大优势）；2) 中游产品可与种衣剂、生物农药复配形成综合解决方案（溢价率提升）；3) 下游有机农业需求提升（2022 年全球有机农地达 9640 万公顷）驱动产品高端化，叠加碳交易机制（参照 Pivot Bio 通过 N-OVATOR 计划将减氮量转化为碳信用，反哺农户收益），固氮行业的发展有望迎来持续的推动力。

投资建议：紧握合成生物学农业应用主线，优先布局技术产业化领先的本土菌种龙头。固氮技术兼具“节肥刚性替代+作物增产溢价”双重逻辑，叠加政策强驱动与有机农业渗透率提升（2021-2028 预计 CAGR 10.9%），行业有望迎来爆发拐点。重点推荐国内固氮菌产业化领先企业富邦科技（300387.SZ）。

风险提示：政策变动风险；市场需求波动风险；技术更新风险；原材料价格波动风险；报告中数据测算结果受到假设条件影响等

内容目录

一、合成生物学—重构农业生产的底层技术范式	5
1. 合成生物学：多学科交叉构建高技术壁垒	5
2. 合成生物学市场进入加速扩张期，下游应用多元增长	6
3. 合成生物学：传统生产变革的新引擎，具有颠覆性的创新能力	7
4. 合成生物技术赋能农业领域	11
二、生物固氮具有良好的经济效益和 ESG 效益，解决化肥使用带来的痛点	15
1. 化肥施用对粮食安全至关重要	15
2. 化肥过量施用会带来高能耗及环境污染问题	17
3. 生物固氮具有良好的经济效益和 ESG 效益，解决化肥使用带来的痛点	18
三、全球固氮菌行业发展仍处产业化初期，未来可期	20
1. 合成生物技术构建人工高效固氮系统，有望重塑农业固氮格局	20
2. 定向优化固氮菌株，助力实现农业氮管理革命	23
3. 固氮产品推广应用启航，增产提质出现增效	24
4. 全球固氮菌行业仍处于产业化发展初期	26
四、思考与建议：企业与政府协同发力快速推动产业化进程，持续迭代	27
1. 技术壁垒：核心是优势菌种的改造和培育	27
2. 成本壁垒：价格低敏，发挥增产增值潜力	28
3. 下游推广需政府补贴育企，企业优化营销服务	29
五、风险提示	30

图表目录

图表 1：合成生物学是多学科交叉产物	5
图表 2：微生物细胞工厂生产过程	6
图表 3：合成生物学的 DBTL 循环	6
图表 4：全球合成生物学细分市场规模	7
图表 5：2019-2024 年合成生物细分领域年均复合增速	7
图表 6：工业革命导致全球气温急剧上升	8
图表 7：PLA 生物降解循环示意图	9
图表 8：首钢朗泽将含碳工业废气转化为高附加值产品	9
图表 9：首钢朗泽处理含碳工业废气的循环工艺	10
图表 10：生物法在西格列汀手性合成中表现出较化学法更好的选择性，更低的污染排放	10
图表 11：多肽合成技术对比	11
图表 12：合成生物学在农业领域的应用	12
图表 13：CRISPR 基因编辑技术或将对农业和畜牧业产生更深远影响	12
图表 14：合成生物学技术开发高效固氮菌	13
图表 15：生物农药 Semiochemicals 作用方式	14
图表 16：近年来国家关于粮食安全的相关会议与政策	15
图表 17：2005-2024 年全球玉米单产（吨/公顷）	16
图表 18：哈伯法固氮（工业合成氨）反应	16
图表 19：工业合成氨装置示意图	16
图表 20：过量施用化肥带来的土壤板结及水体污染问题	17
图表 21：中国化肥产量情况	18

图表 22:	禾本科作物生物固氮调控途径.....	18
图表 23:	2022-2030 年世界人口以及全球小麦、玉米消费量预测.....	19
图表 24:	2011、2023 年中国、美国、印度人均耕地面积对比.....	19
图表 25:	2022 年有机农地面积位列前十位的国家/地区.....	20
图表 26:	2022 年全球有机农业用地规模及同比增速.....	20
图表 27:	基于合成生物学的功能微生物在种植业生产中的种类及应用.....	20
图表 28:	生物固氮与工业合成氨.....	21
图表 29:	生物固氮运行机制.....	21
图表 30:	固氮酶复合结构.....	22
图表 31:	不同类型生物固氮途径比较.....	22
图表 32:	禾本科作物联合固氮关键部位.....	23
图表 33:	人工高效生物固氮技术及其农业应用路线图.....	24
图表 34:	Pivot Bio 的 PROVEN® 40 产品效果.....	24
图表 35:	使用固氮产品植物养分吸收情况.....	25
图表 36:	使用固氮产品植物生物量情况.....	25
图表 37:	国内固氮菌企业的产品研发情况.....	26
图表 38:	2011-2023 年主要农产品每亩总成本（元/亩）.....	29
图表 39:	2011-2023 年主要农产品化肥费用率.....	29

一. 合成生物学—重构农业生产的底层技术范式

1. 合成生物学：多学科交叉构建高技术壁垒

合成生物学是多学科交叉领域，技术壁垒高筑。合成生物学作为先进生产力的典型代表，是生物学、化学、工程学、数学以及信息科学深度交叉融合的新兴领域，对合成生物学企业提出较高的技术要求，构建较高的技术壁垒。其核心理念在于把复杂的生物系统视为可设计、可组装的模块，如同搭建精密的机械模型一般，在基因、代谢途径和细胞网络等层面系统地对生物系统进行设计、构建和测试，从而为人类提供具有实用价值的新型生物系统和产品。

图表1：合成生物学是多学科交叉产物



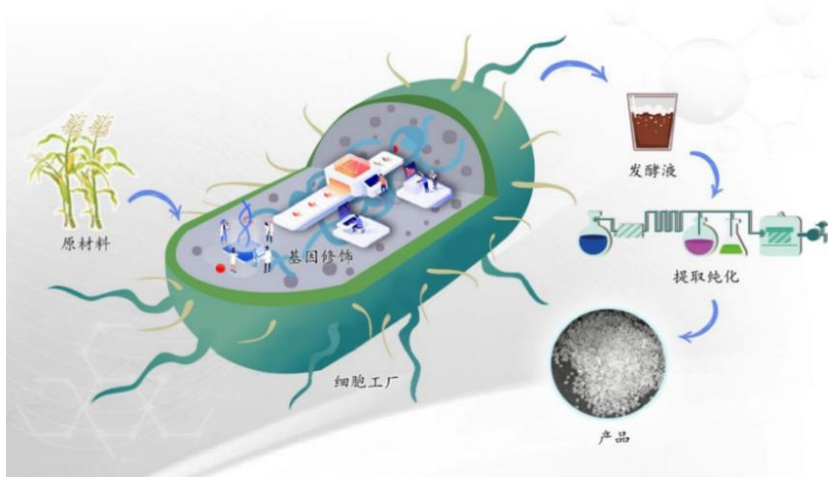
资料来源：瑞德林官网，长城证券产业金融研究院

合成生物学的多学科融合特性，无疑对相关企业的研发能力提出了极高的要求，其核心的技术壁垒体现在三个维度：

- 1) 基因元件标准化：需建立标准化生物元件库（如 Promoter/RBS 数据库）；
- 2) 代谢通路优化：涉及基因组尺度代谢模型（GEM）的动态平衡调控；
- 3) 规模化生产转换：实验室成果向工业发酵的线性放大存在非线性损耗。

理性设计和改造筛选微生物细胞工厂是合成生物学技术的核心难点。合成生物学包括前端的设计组装、中端的改造筛选和后端的发酵生产，前、中端构建微生物细胞工厂是合成生物学技术的最大难点。根据华恒生物 2022 年度向特定对象发行 A 股股票证券募集说明书，在合成生物学的基础上，研发人员可以利用基因合成、基因编辑、途径组装与优化、细胞全局优化等技术，创建全新的细胞工厂，突破原有生物系统的限制，创造出更加符合产业化的新型生物系统，加速科技成果的工业化进程。

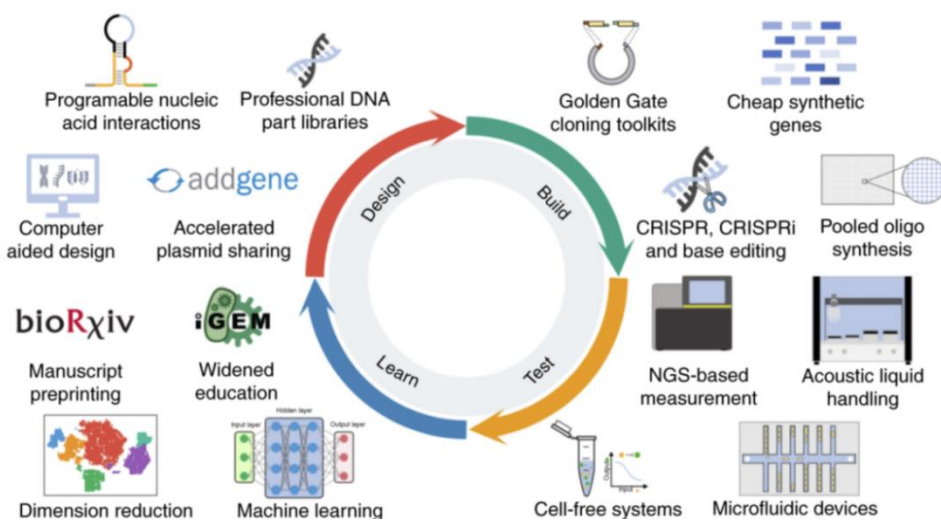
图表2: 微生物细胞工厂生产过程



资料来源: 凯赛生物招股说明书, 长城证券产业金融研究院

通过 DBTL 循环 (Design-Build-Test-Learn) 实现对微生物细胞工厂的高度控制和优化。根据《The second decade of synthetic biology: 2010-2020》，由于当前的基因工程、代谢工程等生物技术水平受限，我们难以做到对目标生物系统的理性设计，仍需要包含设计 (Design)、构建 (Build)、测试 (Test) 和学习 (Learn) 四个主要步骤的 DBTL 循环多次迭代来逐步修正和优化微生物细胞工厂。

图表3: 合成生物学的 DBTL 循环



资料来源: 《The second decade of synthetic biology: 2010-2020》(Nature), 长城证券产业金融研究院

2. 合成生物学市场进入加速扩张期，下游应用多元增长

全球合成生物学市场或将进入发展快车道。据 CB Insights 数据，2019 年全球生物学市场规模达到了 53 亿美元，预计到 2024 年将达到 189 亿美元，年复合增长率约为 28.8%。根据 Data Bridge Market Research 分析数据显示，2020-2027 年，合成生物学市场规模将持续上扬，2027 年预计达 302.8 亿美元，年复合增长率约 23.63%。

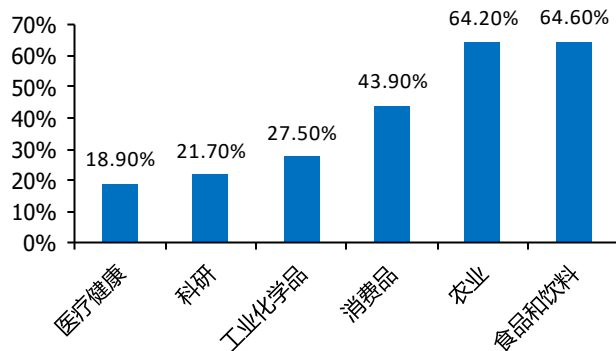
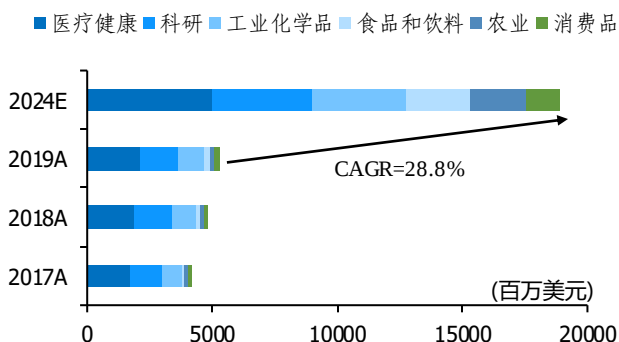
2020 年 6 月，全球管理咨询公司 Mc-Kinsey 发布的报告《The Bio Revolution》，明确指出“未来 60% 的工业产品都可以通过生物技术进行制造，在未来 10-20 年内 4 万亿美元

的经济价值将由合成生物主导。”世界经合组织（OECD）预测，至 2030 年，将有 35% 的化学品和其它工业产品来自生物制造，生物制造在生物经济中的贡献率将达到 39%，且生物基产品将取代 25% 的有机化学品和 20% 的化石燃料，基于可再生资源的生物经济形态终将形成¹。我们认为伴随全球生物技术和信息科学技术的快速发展与迭代，全球合成生物学市场或将在未来 5 至 10 年内有望实现倍数级增长。

合成生物学下游应用场景丰富，多个细分领域增速较快。在食品和饮料、农业、消费品及工业化学品等细分市场，合成生物学发展势头迅猛、未来潜力十足。合成生物学在医疗健康领域的市场规模占比最大，根据 CB Insights，2024 年合成生物在全球医疗健康领域应用的市场规模预计约 50.22 亿美元、占比约 26%，2019-2024 年复合增速约 18.9%。在食品和饮料、农业领域，由于现有市场基数低，预计其市场规模的年复合增长率超 64%。

图表 4：全球合成生物学细分市场规模

图表 5：2019-2024 年合成生物细分领域年均复合增速



资料来源：CB Insights，长城证券产业金融研究院

资料来源：CB Insights，长城证券产业金融研究院

3. 合成生物学：传统生产变革的新引擎，具有颠覆性的创新能力

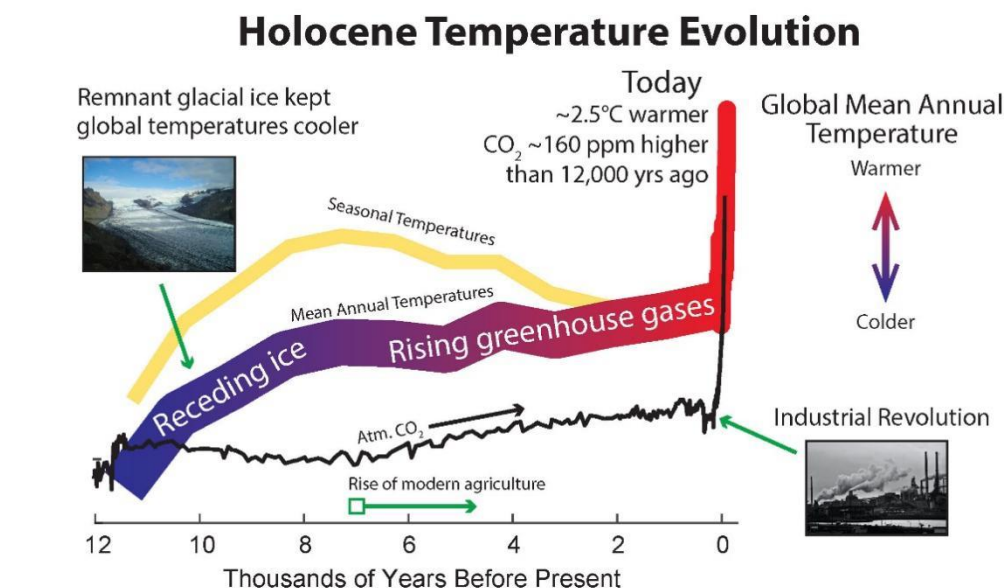
合成生物学可助力达成碳中和目标，有望在传统工业转型升级中成为核心驱动力之一。在全球气候变化日益严峻的当下，碳中和已成为国际社会共同瞩目的核心议题。传统生产方式深陷能源消耗高、碳排放量大的困境。参考中国能源报数据，工业革命前大气二氧化碳浓度仅约 280ppm，但随着工业革命的推进，化石燃料的大量使用致使二氧化碳排放量急剧增长。美国国家航空航天局（NASA）数据表明，2021 年全球大气二氧化碳浓度平均值已攀升至 414ppm。

为达成碳中和目标，许多国家都在积极推进清洁生产战略，要求企业全面改进生产工艺、提高资源利用率、有效降低能源消耗。在这样的发展背景下，高耗能、高污染的传统产业转型升级迫在眉睫，这无疑为合成生物学提供了良好的发展契机。

根据华恒生物招股说明书，与传统化工制造相比，以合成生物学为核心的生物制造具备显著的绿色优势。生物制造通常采用可再生生物资源作为原料，能够彻底摆脱对石油资源的依赖，同时大幅削减二氧化碳、废水等污染物的排放。根据世界自然基金会（WWF）预估，到 2030 年生物制造技术每年可减少 10 亿吨至 25 亿吨二氧化碳排放。我们认为，这一数据直观地体现出合成生物学在助力实现碳中和目标、推动绿色可持续发展进程中的显著优势与巨大潜力，有望成为引领未来产业变革的重要驱动力，重塑多个行业的发展格局。

¹ 《华恒生物：2022 年度向特定对象发行 A 股股票证券募集说明书》P19

图表6: 工业革命导致全球气温急剧上升



资料来源:《Revised Holocene temperature record affirms role of greenhouse gases in recent millennia》, 长城证券产业金融研究院

合成生物学既可以作为传统生产方式的补充,也具有颠覆性的创新能力。合成生物学技术可以实现高选择性、高效率、可定制化、大规模化的工业生产,生产过程具有高效、清洁、可再生等特点,与全球大力倡导的碳中和理念高度契合,不仅能够在现有框架下对传统生产方式予以补充完善,更蕴含着颠覆式创新的强大能量。

随着技术的不断迭代与应用场景的持续拓展,合成生物学技术有望逐步全面赋能传统行业,补充甚至颠覆传统生产方式,引领产业迈向全新的发展阶段²。欧洲《工业生物技术2025 远景规划》就已提出要向生物技术型社会转变,力争于2025年实现生物基化学品替代传统化学品10%-20%,其中化工原料替代6%-12%,精细化学品替代比例更是高达30%~60%。根据《华恒生物:2022年度向特定对象发行A股股票证券募集说明书》,到2040-2050年,直接应用合成生物学可以将年平均人为温室气体排放量在2018年排放水平基础上减少7%至9%。我们认为,合成生物技术对于我国碳达峰、碳中和目标的实现以及未来社会经济发展具有革命性的意义。

与传统的化学合成法相比,合成生物制造具备环境友好、资源高效利用、高选择性、成本更低、产品多样性和可定制性等多方面的优势:

- (1) **节能减排,绿色生产:**合成生物制造利用生物体内的酶催化反应进行生产,这使得生产过程能够在相对温和的温度和压力条件下进行,从而有效降低了能源消耗与环境污染。以生物降解塑料聚乳酸(PLA)的发酵生产为例,相较于石油化工生产工艺,具备原材料可再生;整个材料生命周期实现零碳循环;其在生产过程中产生的温室气体排放和有毒物质排放会显著减少。

² 《弈柯莱首次公开发行股票并在科创板上市招股说明书(2022)》P25

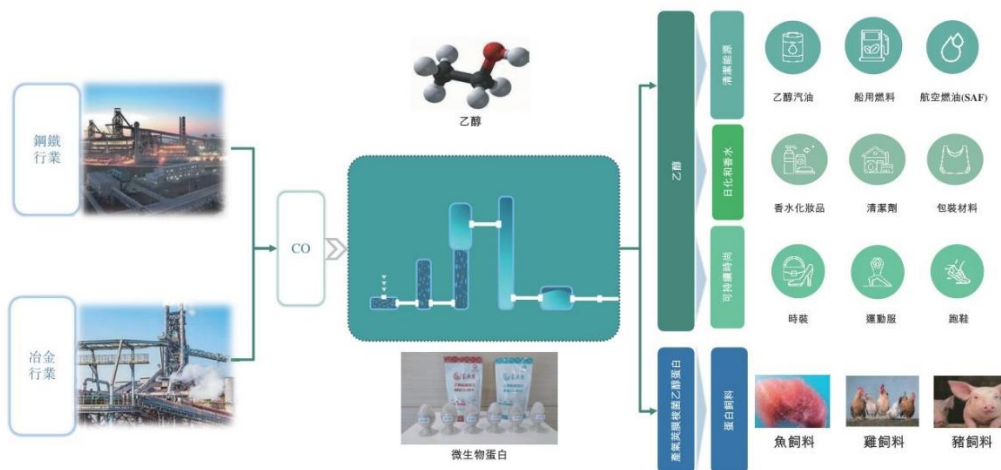
图表7: PLA 生物降解循环示意图



资料来源: 广东洲兴环保科技有限公司官网, 长城证券产业金融研究院

(2) 资源高效利用: 合成生物制造能够将废弃物和可再生资源转化为高附加值产品, 实现资源的循环利用与价值最大化。例如, 通过改造大肠杆菌, 可以实现废弃植物纤维素的转化为生物燃料乙醇, 提高资源利用率, 降低对化石燃料的依赖, 为可持续能源发展开辟新路径。

图表8: 首钢朗泽将含碳工业废气转化为高附加值产品



资料来源: 首钢朗泽招股说明书, 长城证券产业金融研究院

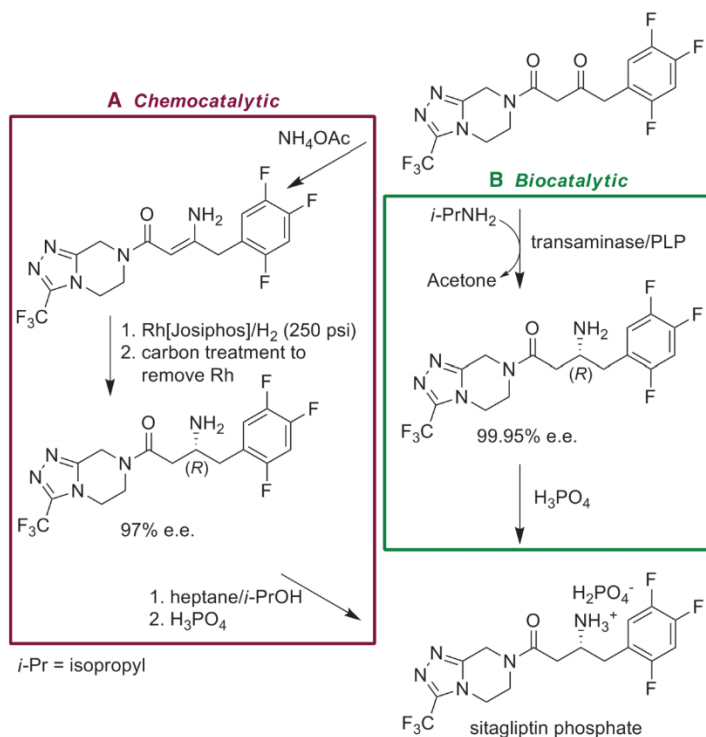
图表9: 首钢朗泽处理含碳工业废气的循环工艺



资料来源: 首钢朗泽招股说明书, 长城证券产业金融研究院

(3) 高选择性催化, 提升产品品质: 生物体内的酶催化反应具有极高的选择性, 这使得合成生物制造能够有效避免传统化学合成过程中常见的副产物生成问题。在药物生产领域, 通过微生物发酵法生产抗生素, 可以实现高选择性、高纯度的药物生产, 极大地减少了化学合成过程中可能产生的副产物和不良反应, 为患者提供更安全、有效的药物。

图表10: 生物法在西格列汀手性合成中表现出较化学法更好的选择性, 更低的污染排放



资料来源: 《Biocatalytic Asymmetric Synthesis of Chiral Amines from Ketones Applied to Sitagliptin Manufacture》, 长城证券产业金融研究院

(4) 成本优势: 借助生物体内的催化剂和基因工程技术, 合成生物技术在部分领域展现出突出的成本优势。一方面, 合成生物技术能够提高产量; 另一方面, 其对能源、原料和处理副产物的要求相对较低, 从而有效降低了生产成本。以多肽合成技术为例, 根据发酵工业网, 瑞德林通过以酶催化为代表的新一代生物合成技术, 可以将蓝铜肽的生产成本降低 50% 以上。此外, 通过改造微生物如酵母或藻类生产的生物柴油, 与传统石

油提炼过程相比，也具有一定的成本优势。

图表 11: 多肽合成技术对比



资料来源: 瑞德林官网, 长城证券产业金融研究院

(5) 产品定制化、多元化: 合成生物制造具有强大的产品设计能力, 能够满足不同领域的多样需求。例如, 通过基因编辑技术 CRISPR/Cas9, 可以定制微生物以生产特定的生物活性肽, 如抗菌肽、肿瘤抑制肽等³, 为医疗、农业等领域提供更多创新解决方案。在食品饮料行业, 通过基因工程改造酿酒酵母, 能够生产出不同口味、风格的啤酒, 满足消费者日益丰富的个性化需求。

4. 合成生物技术赋能农业领域

合成生物学技术的本质是科技革命带来的生产方式的变革, 合成生物学对传统生产方式带来补充或颠覆, 赋能传统行业。我们认为合成生物学与传统行业不是对立关系, 更多是通过和传统行业结合, 在特定的应用场景下才得以体现其优势, 实现低碳生产方式, 赋能传统行业, 提升社会整体劳动生产率, 带来新的创新和成长机遇。合成生物技术的成果可应用于医疗健康、能源开发、环境保护以及工业制造等众多领域, 赋能传统行业, 为解决人类面临的诸多挑战提供了创新的解决方案。

合成生物学赋能现代农业, 为现代农业发展注入新活力, 助力解决粮食危机。 合成生物学与现代农业结合, 通过技术赋能, 可解决现代农业存在的行业痛点, 提高劳动生产率, 为全球粮食安全与食品安全做出重要贡献。

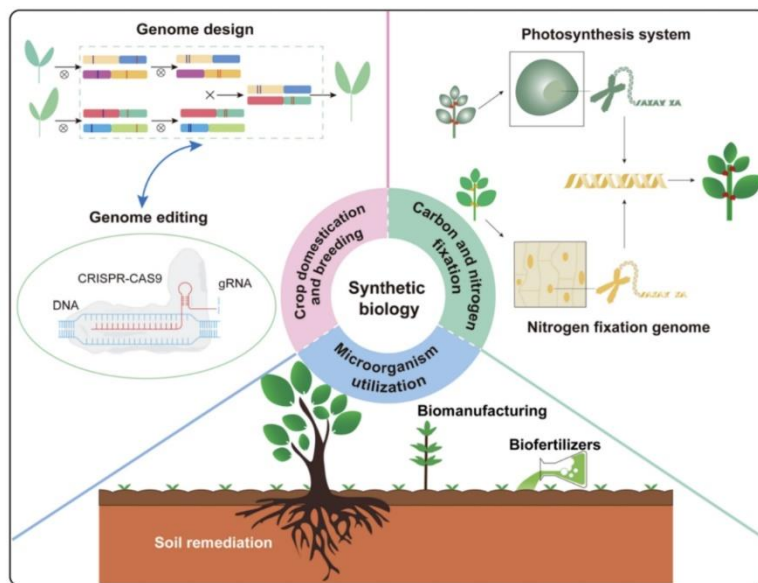
在全球人口持续增长、气候变化影响加剧、以及部分地区局势动荡的多重背景下, 粮食安全问题已成为全人类面临的严峻挑战。联合国粮农组织在《世界粮食安全和营养状况》报告中指出, 2021 年全球约有 23 亿人处于中度或重度粮食不安全状态。与此同时, 耕地资源的开发与增长受限, 迫切需要一种快速且可持续的方式, 来提升农业生产效率与质量。

在此关键时刻, 新兴的合成生物学在作物育种、固氮改进、以及农业中微生物的改造与

³ 赛默飞世尔科技中国官网

运用等农业领域应用中展现出强大的潜力，为解决粮食危机提供了新的思路与方法。

图表12: 合成生物学在农业领域的应用



资料来源:《Synthetic biology: A powerful booster for future agriculture》，长城证券产业金融研究院

1) 基因编辑：精准改良农作物特性

基因编辑技术是合成生物学在农业领域的重要应用之一，当前操作最便捷、应用最广泛的基因编辑工具之一是 CRISPR-Cas 基因编辑技术。在农业领域，CRISPR-Cas 基因编辑技术的应用涵盖作物抗逆性增强、病虫害防治、微生物菌剂功能强化等方向，推动农业生产的绿色化和智能化。相较于传统基因编辑技术，CRISPR-Cas 基因编辑技术的核心优势在于其高效性、精准性和可编程性，已成为农业技术革新的重要驱动力：

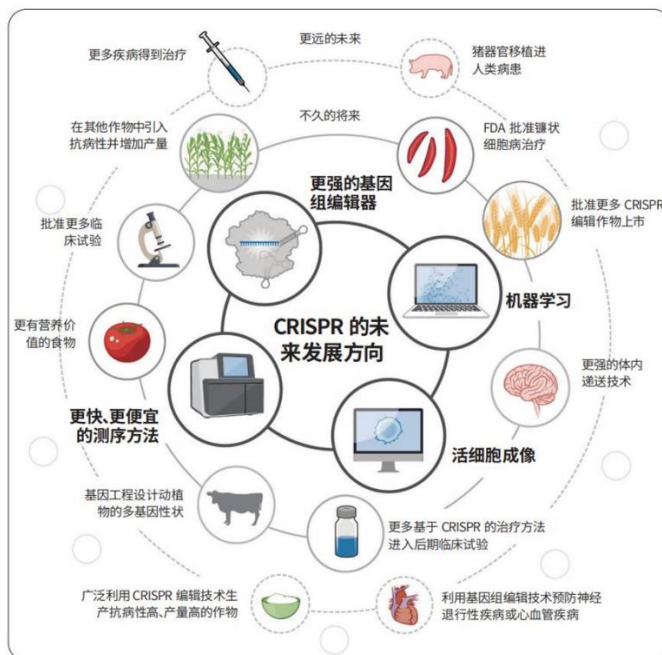
在抗逆、抗病虫方面：根据 PR Newswire，美国 Calyxt 公司运用基因编辑技术 CRISPR/Cas9，成功开发出一系列具有优异抗逆性能的作物品种，如抗旱、抗病和抗虫的大豆、小麦和玉米。这些作物在面对恶劣的自然环境和病虫害侵袭时，能展现出更强的适应能力，有助于提高农作物的产量，同时减少因病虫害防治而对农药的过度依赖。

根据中国科学院官网，中国科学院华南植物园利用 CRISPR/Cas9 技术成功开发出抗褐飞虱的水稻品种。褐飞虱是水稻生产中的主要害虫之一，抗褐飞虱水稻品种的培育，为保障我国及全球水稻生产安全提供了有力支持。

在改善营养价值方面：日本企业 Sanatech Seeds 通过 CRISPR 基因编辑技术，开发出 GABA 水平超普通品种 5 倍的番茄品系⁴。GABA 具有降低血压、改善情绪等多种健康功效，这种高 GABA 含量的番茄品系的出现，不仅满足了消费者对更健康食物的需求，也为农产品的功能化开发开辟了新的方向。

CRISPR 技术正对农业产生深远影响，未来 CRISPR 基因组编辑技术或将会与 AI、活细胞成像和测序等技术进步相互交织，更多 CRISPR 编辑作物有望批准上市，生产抗病性、高产量作物以增加全球食物供应和安全性。

图表13: CRISPR 基因编辑技术或将对农业和畜牧业产生更深远影响



资料来源:《CRISPR 十年: 基因编辑技术初露锋芒》, 长城证券产业金融研究院

2) 生物固氮途径改进: 提升氮源利用效率

氮是植物生长所必需的重要营养元素之一, 传统农业生产中主要依赖化学氮肥来满足农作物对氮的需求。然而, 化学氮肥的大量使用不仅会导致土壤质量下降、水体污染等环境问题, 还会增加农业生产成本。合成生物学在改进生物固氮途径方面的研究, 为解决这一问题提供了新的途径。

根据 Pivot Bio 官网, Pivot Bio 公司通过基因编辑技术对野生固氮菌进行改造, 成功提升了其固氮效率。该公司利用固氮菌能够转化空气中氮气和植物代谢产物为生长所需营养物质的特性, 将其开发成新型生物肥料。以其产品 **PROVEN** 氮肥为例, 其中含有的微生物能够在玉米根际定殖, 与玉米形成共生关系进行固氮, 为玉米生长提供充足的氮素营养。与传统化学肥料相比, 这种生物肥料不仅提高了氮源的利用效率、降低了农业生产成本, 还能够减少温室气体的排放, 降低对环境的污染, 有助于实现农业生产的碳中和目标。

根据富邦科技 2024 半年报, 公司通过与中国农业大学、华中农业大学、国家生物农药工程技术研究中心等机构合作, 推动了合成生物学技术在禾本科作物固氮、抗逆基因挖掘、微生物菌剂强化等领域的应用。富邦科技与中国农业大学陈三凤教授团队合作, 在具有优良固氮性能的多粘类芽孢杆菌基础上对其进行遗传改造, 强化固氮酶活性, 提升了菌株的田间固氮效率。

根据世界农化网, Azotic Technologies 基于专利的固氮醋酸杆菌, 开发出旗舰产品 **Envita®** 液态固氮生物制剂, 通过沟施或叶面喷施, 与植物建立共生关系, 使固氮菌在整个生长期内在植物细胞内固定氮素, 减少对化学氮肥的依赖, 助力农业可持续发展。

图表 14: 合成生物学技术开发高效固氮菌



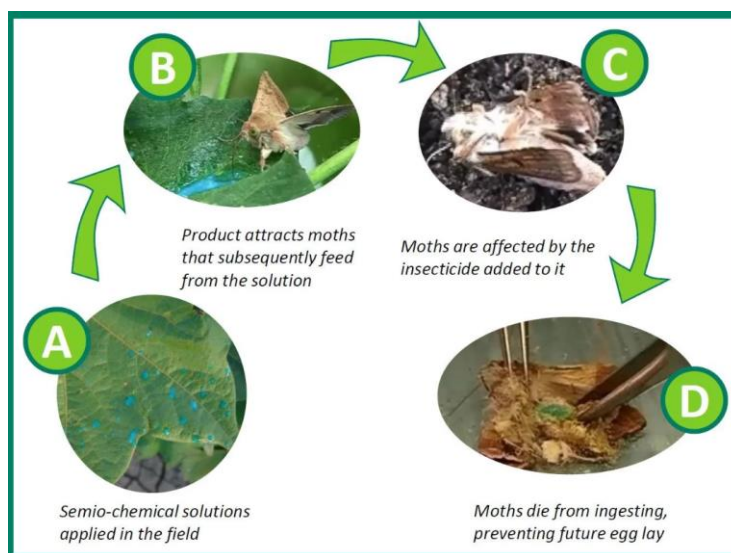
资料来源:《Enabling Biological Nitrogen Fixation for Cereal Crops in Fertilized Fields》, 长城证券产业金融研究院

3) 驱动生物农药发展: 迈向绿色农业

在农业生产中,农药的使用对于防治病虫害、保障农作物产量起着至关重要的作用。然而,传统化学农药的大量使用也带来了一系列环境和健康问题。合成生物学的发展为生物农药的研发和创新提供了强大的技术支持,推动其快速发展。

AgBiTech 公司开发出一系列基于合成生物学的生物农药,包括基于杆状病毒的生物杀虫剂和基于细菌的生物杀菌剂等。这些生物农药具有高效、低毒和环保的特点,能够精准地针对特定的病虫害进行防治,同时减少对非靶标生物的影响。与传统化学农药相比,生物农药在使用过程中不会对土壤、水体和空气造成污染,有助于保护生态环境,实现农业的可持续发展。同时,生物农药的低毒特性也降低了对农产品质量安全的风险,保障了消费者的健康。

图表15: 生物农药 *Semiochemicals* 作用方式



资料来源: AgBiTech 官网, 长城证券产业金融研究院

合成生物学取代传统生产方式的关键在于成本和效率。合成生物学技术对传统生产方式进行取代或颠覆需要建立在成本下降、效率提升上。随着未来技术的不断迭代和应用的深入推广,合成生物技术在农业领域的应用有望发挥出巨大的价值及潜力,引领现代农业迈向更加绿色、高效、可持续的发展道路。

二. 生物固氮具有良好的经济效益和 ESG 效益，解决化肥使用带来的痛点

1. 化肥施用对粮食安全至关重要

全球粮食供应安全仍面临挑战。根据联合国发布的《世界粮食安全和营养状况》报告，2023 年全球有 7.13-7.57 亿人遭受饥饿，23.3 亿人经历中度或严重粮食不安全，非洲仍面临严重的饥饿问题，并呼吁到 2030 年实现消除饥饿的目标。

此外，根据联合国发布的《世界人口展望 2022》报告，预计到 2030 年全球人口将增长至 85 亿左右，2050 年达到 97 亿，21 世纪 80 年代达到约 104 亿的峰值，并保持这个水平到 2100 年；随着人口增长，玉米、小麦等主要粮食作物的需求也将随之增长，全球粮食安全和营养将面临更严峻的挑战。

国务院在《新一轮千亿斤粮食产能提升行动方案》指出：2030 年实现新增粮食产能千亿斤以上；在严格保护耕地的基础上，粮食播种面积稳定在 17.5 亿亩左右、谷物面积 14.5 亿亩左右；粮食单产水平达到每亩 420 公斤左右，对于总耕种面积和粮食单产水平均提出了更高要求。

图表 16: 近年来国家关于粮食安全的相关会议与政策

时间	部门	政策/会议	主要内容
2022. 01	国务院	《关于做好 2022 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》	全面落实粮食安全党政同责，严格粮食安全责任制考核，确保粮食播种面积稳定产量保持在 1.3 万亿斤以上。主产区、主销区、产下平衡区都要保面积、保产量，不断提高主产区粮食综合生产能力，切实稳定和提高主销区粮食自给率。推进国家粮食按群产业带建设。
2022. 10	第十九届中央委员会	党的二十大报告	确保粮食、能源资源、重要产业链供应链安全；全方位夯实粮食安全根基，牢牢守住十八亿亩耕地红线，确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中。
2022. 01	中共中央政治局	2022 年中央经济工作会议	实施新一轮千亿斤粮食产能提升行动。
2023. 01	国务院	《关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》	确保全国粮食产量保持在 1.3 万亿斤以上，各省（自治区、直辖市）都要稳住面积、主攻单产、力争多增产。
2023. 12	第十四届全国人民代表大会常委会	第十四届全国人民代表大会常委会第七次粮食安全会议	通过《中华人民共和国粮食安全保障法》，保障粮食有效供给，确保国家粮食安全，提高防范和抵御粮食安全风险能力，维护经济社会稳定和国家安全。
2024. 04	国务院	《新一轮千亿斤粮食产能提升行动方案》	2030 年实现新增粮食产能千亿斤以上，全国粮食综合生产能力进一步增强；在严格保护耕地的基础上，粮食播种面积稳定在 17.5 亿亩左右、谷物面积 14.5 亿亩左右；粮食单产水平达到每亩 420 公斤左右。
2024. 12	中央政治局常委会	中央农村工作会议	严守耕地红线，高质量推进高标准农田建设，强化农业科技和装备支撑，确保粮食和重要农产品稳产保供。

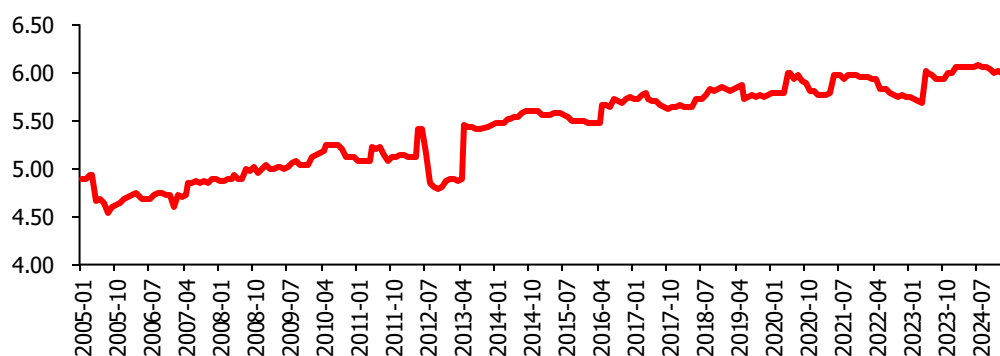
资料来源：农科基金公众号，中央人民政府官方文件，社科院农村发展研究所，长城证券产业金融研究院

化肥施用对作物的品质及亩产提升至关重要。化肥能为作物提供氮、磷、钾等多种生长必需元素，增强作物抗逆性，是提高作物产量的关键因素。氮肥可促进作物叶片生长，

增强光合作用，提高蛋白质含量；磷肥可加速细胞分裂，促使根系和地上部加快生长，利于花芽分化、果实早熟并提升品质；钾肥能提高光合作用强度，增强作物抗病抗逆能力。

全球主要粮食的种植效率不断提升，2005-2024 年间全球玉米单产整体呈现明显的上涨趋势，这主要是受到化肥施用、种子优化及农业机械化种植的推动，其中化肥的大量施用在提升粮食作物的增产效应和养分效率方面发挥了关键作用。根据世界农化网，全球每年化肥农用消费量在 2 亿吨（纯养分量）左右，根据联合国粮农组织（FAO）的统计，化肥对全球粮食增产的贡献率在 50%-60% 之间。根据世界农化网，在中国，三大粮食作物（水稻、小麦和玉米）的氮肥增产率分别为 28.4%、30.9% 和 26.4%。我们认为，化肥的施用对提升粮食产量和农业生产效率至关重要，是实现全球粮食安全保障的关键手段之一，但传统化肥的过量施用又会带来一系列问题。

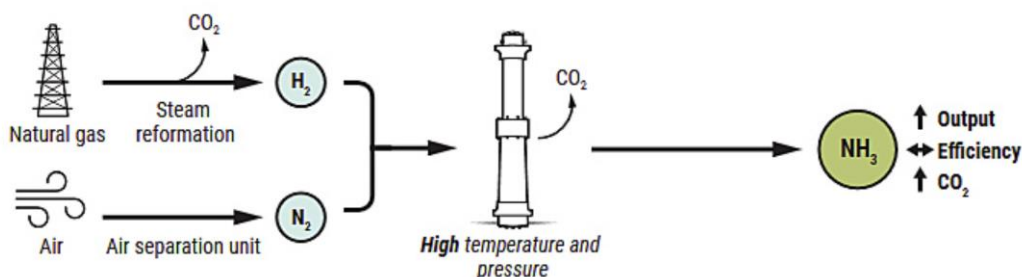
图表 17: 2005-2024 年全球玉米单产（吨/公顷）



资料来源: wind, 美国农业部, 长城证券产业金融研究院

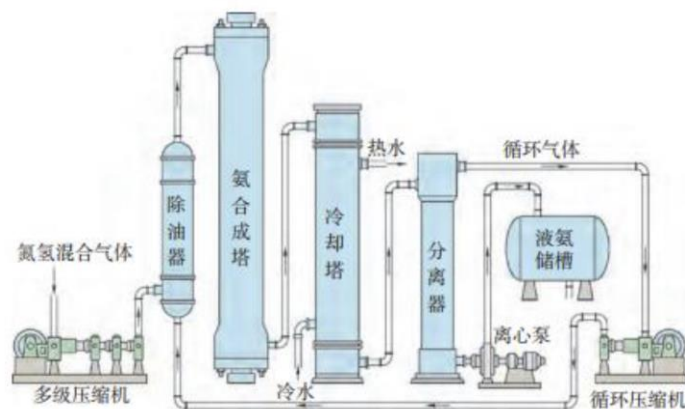
哈伯法固氮技术推动氮肥应用，但带来了高能耗及环境污染问题。哈伯法固氮是指将氮气和氢气在高温、高压（约 200 个大气压）以及铁催化剂的作用下合成氨（ NH_3 ），该技术为氮肥的生产提供了关键基础。自哈伯法固氮技术诞生以来，合成氮肥已成为现代农业不可或缺的物资保障，极大地推动了粮食产量的提升，对世界粮食安全贡献巨大。

图表 18: 哈伯法固氮（工业合成氨）反应



资料来源: X-MOL, 长城证券产业金融研究院

图表 19: 工业合成氨装置示意图



资料来源:《化学反应原理》, 长城证券产业金融研究院

然而, 哈伯法固氮反应条件苛刻, 需要消耗大量化石燃料来维持高温高压环境, 能源利用效率低下, 且会产生较大的二氧化碳排放。此外, 传统化肥的养分利用率较低, 过量施肥还可能引发土壤退化和环境污染等问题。因此, 如何在保障粮食安全的同时降低化肥的能耗和环境影响, 成为现代农业面临的重要挑战。

2. 化肥过量施用会带来高能耗及环境污染问题

化肥过量使用带来了能耗及污染问题, 绿色农业发展有望加速固氮产品对氮肥的替代。近年来我国化肥用量迅速增加, 总消费量已经居于世界前列, 然而, 合成化肥的过量施用带来了较高的能耗, 以及土壤板结、大气氮沉降、水质污染等多种环境问题。因此我国相继出台了一系列的指导方针来推动化肥减量增效: 根据国家发改官网, 2015 年农业农村部出台了《到 2020 年化肥使用零增长行动方案》, 2021 年全国农用化肥施用量 5191 万吨 (折纯)、比 2015 年减少了 13.8%; 2022 年又出台了《到 2025 年化肥减量化行动方案》, 着力减少化肥用量, 提高有机肥资源还田量、测土配方施肥覆盖率以及化肥利用率 (“一减三提”), 并制定了水稻、小麦、玉米、油菜等作物氮肥定额用量。

图表 20: 过量施用化肥带来的土壤板结及水体污染问题

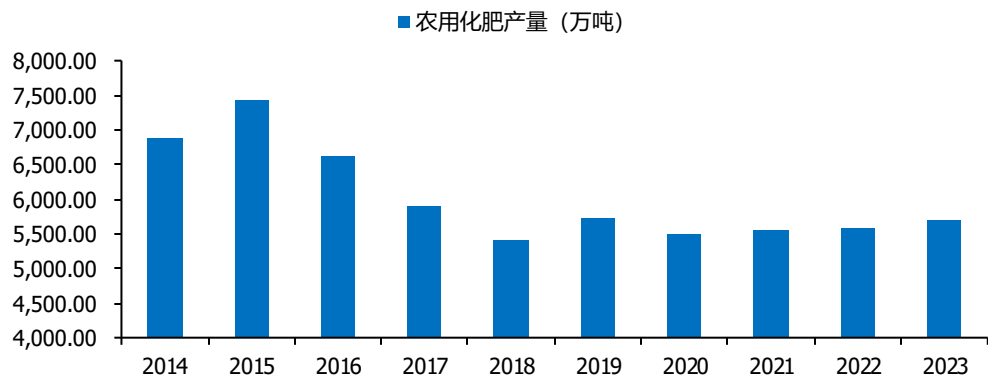


资料来源: 新农资 360, 土木在线, 长城证券产业金融研究院

2015 年以来, 中国化肥产量也相应下行, 根据国家统计局数据, 2023 年国内化肥产量约 5713.6 万吨, 较 2015 年下跌 23.12%, 近几年氮肥、磷肥、钾肥和复合肥等传统化肥行业发展速度有放缓趋势。因此, 我们认为固氮产品用作氮肥的替代品, 在保障粮食供应安全的同时, 也有利于实现化肥减量的目标, 缓解能耗及环境污染的压力, 在农业

绿色发展的大趋势下有望占据重要位置。

图表21: 中国化肥产量情况



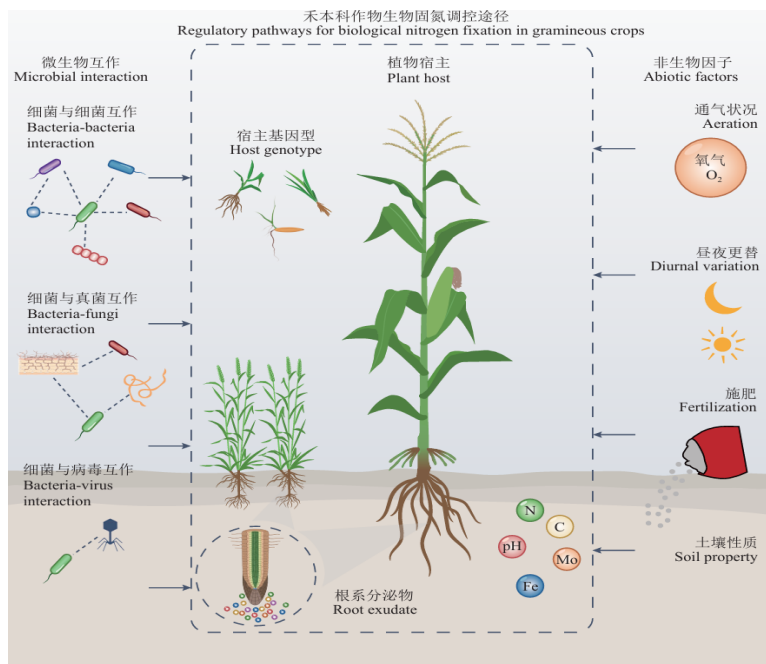
资料来源: wind, 国家统计局, 长城证券产业金融研究院

3. 生物固氮具有良好的经济效益和 ESG 效益，解决化肥使用带来的痛点

禾本科固氮产品替代氮肥，可以缓解传统化肥对环境的负面影响，并降低氮肥生产带来高能耗。禾本科固氮作为生物农业的新领域，具有较大的市场潜力和发展前景，其对于氮肥的替代，一方面可以有效缓解过量施用化肥带来的土壤问题，以及土壤氧化亚氮排放导致的温室效应加剧(全球约 2.5%的温室气体排放源于合成氮肥⁵)，据富邦科技 2024 半年报，禾本科作物每年所需氮肥(折合尿素)4400 万吨/年，排放二氧化碳 2200 万吨/年，固氮菌产品可替代至少 15%的氮肥，减少二氧化碳排放量 330 万吨/年；此外，过量施用的氮肥经淋溶作用进入地下水，会导致地下水硝酸盐含量逐年上升，而固氮菌的替代施用，也能有效减少化学氮肥过量施用造成的水体污染。另一方面还可以减少生产尿素带来的高能耗问题，根据我们的测算，每年 6000-7000 万吨的尿素产量需要消耗煤炭约 0.96-1.12 亿吨的煤炭(以煤质尿素占比 80%计算)，而生物固氮产品的替代可以有效降低这一能耗。

图表22: 禾本科作物生物固氮调控途径

⁵ PivotBio 官网



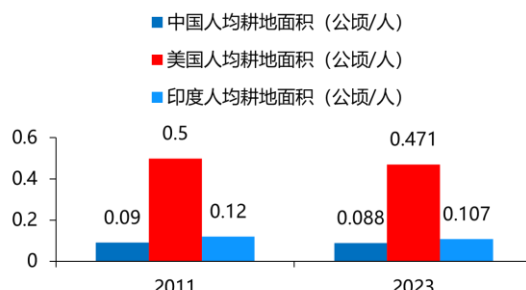
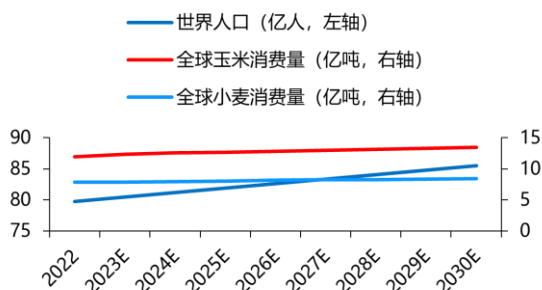
资料来源:《禾本科作物联合固氮研究进展》, 长城证券产业金融研究院

人均耕地面积减少, 粮食生产效率要求提升, 利好固氮产品提升市场份额。随着世界人口的不断增多, 粮食需求与日剧增。根据经济合作与发展组织数据显示, 2022 年世界人口已达 79.75 亿人, 预计 2030 年世界人口将达 85.46 亿人。玉米、小麦等主要粮食作物的消费量也将随着人口的增长而增长, 根据经济合作与发展组织数据显示, 2030 年全球玉米、小麦消费量分别增长至 13.93、8.71 亿吨。

与此同时, 城市化进程的加快也在推动着人均耕地面积的减少, 以中国、美国、印度等人口大国为例, 根据国家统计局数据显示, 2011-2023 年中国、美国、印度人均耕地面积分别由 0.09、0.50、0.12 公顷/人下降至 0.088、0.471、0.107 公顷/人。人均耕地的减少对单位土地的产出提出了更高的要求, 然而化肥的过量使用又会带来能耗和环境污染的问题, 因此固氮产品等可替代传统化肥实现农业生产效率提升的高效、绿色产品有望在未来扮演更重要的角色、占据更大的市场份额。

图表 23: 2022-2030 年世界人口以及全球小麦、玉米消费量预测

图表 24: 2011、2023 年中国、美国、印度人均耕地面积对比



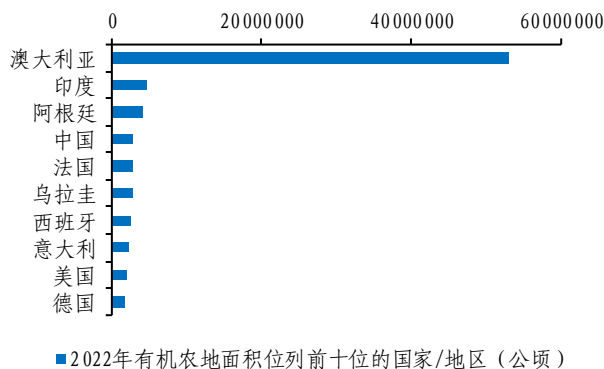
资料来源: 经济合作与发展组织, ifind, 长城证券产业金融研究院

资料来源: 国家统计局, ifind, 长城证券产业金融研究院

此外, 全球有机农业用地显著增长, 助推固氮杆菌需求量提升。根据世界有机农业统计数据, 2022 年, 全球有机农业用地接近 9640 万公顷, 其中大洋洲以 5320 万公顷的面积占据全球有机农业用地的 55%, 欧洲则以 1850 万公顷占据 19%, 拉丁美洲、亚洲、

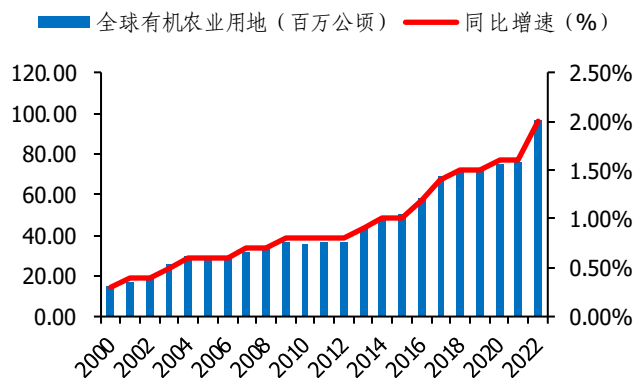
北美洲和非洲有机农业用地分别占比 10%、9.2%、3.8%、2.8%。这一趋势反映了有机农业在全球范围内的扩张。由于有机农业禁止使用化学合成肥料，并对土壤微生物和有机质有较高要求，固氮杆菌作为生物肥料的关键组成部分，符合有机农业的要求，其未来的市场需求可期。

图表 25: 2022 年有机农地面积位列前十位的国家/地区



资料来源: 世界有机农业统计数据, 长城证券产业金融研究院

图表 26: 2022 年全球有机农业用地规模及同比增速



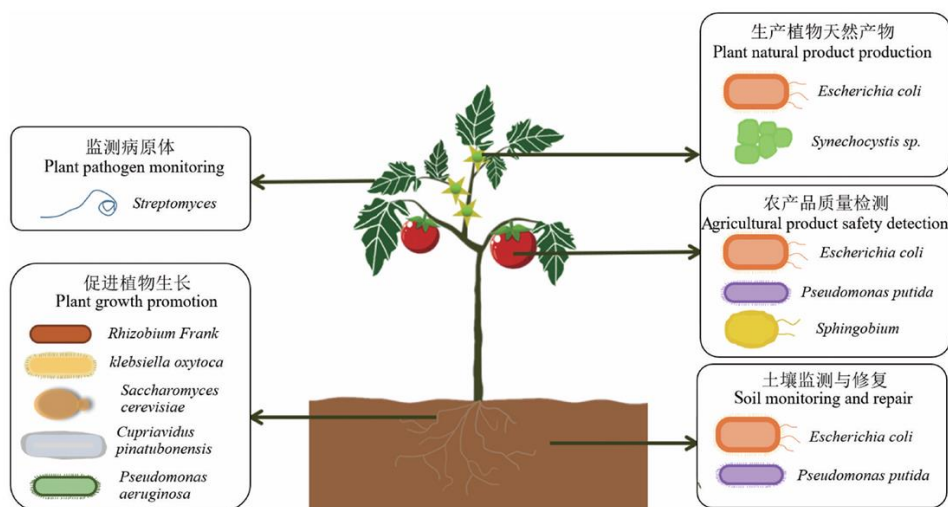
资料来源: 世界有机农业统计数据, 长城证券产业金融研究院

三. 全球固氮菌行业发展仍处产业化初期, 未来可期

1. 合成生物技术构建人工高效固氮系统, 有望重塑农业固氮格局生物

基于合成生物学的功能微生物在种植业生产中具有多元化应用。合成生物学可以改造现有的有益菌株, 或是直接构建全新的微生物, 为促进植物生长增添多种新可能。目前, 基于合成生物学开发的菌株在农业的应用涵盖了监测病原体、土壤监测与修复、促进植物生长等, 其中促进植物生长的一个重要途径就是利用固氮微生物菌剂。

图表 27: 基于合成生物学的功能微生物在种植业生产中的种类及应用

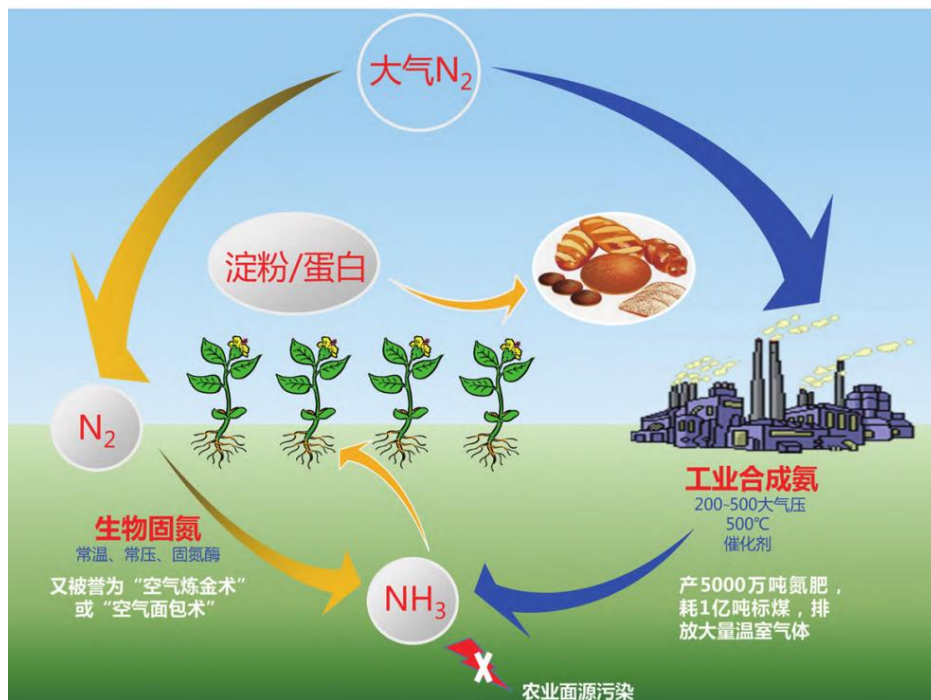


资料来源: 《基于合成生物学的功能微生物在种植业生产中的研究进展》, 长城证券产业金融研究院

生物固氮是氮循环的重要途径。空气中游离态的氮气约占空气成分的 79%, 然而绝大多数作物不能直接利用大气中“免费”的氮气。生物固氮 (biological nitrogen fixation, BNF)

是指氮气在固氮菌的参与下被转化为氨的过程。与工业合成氨相比，后者需要在 200 至 500 个大气压、500°C 的高温以及催化剂的作用下进行，而生物固氮则能在常温常压下通过固氮酶实现。全球每年通过生物固氮固定的氮素量高达 2 亿吨，约占全球作物需氮量的 3/4⁶。生物固氮在自然界中广泛存在，既是作物产量与氮素供应的增强剂，又是化学氮肥减量和温室气体减排的有效途径，其重要程度不亚于光合作用。

图表28: 生物固氮与工业合成氨



资料来源:《人工高效生物固氮体系创建及其农业应用》，长城证券产业金融研究院

固氮菌生物固氮过程的关键参与者，主要依靠其体内的固氮酶实现，固氮酶由 *nifH* 基因编码，通常位于细菌的质粒或染色体上⁷。固氮酶由铁蛋白和钼铁蛋白组成，只有当这两种蛋白形成复合物时才具有催化氮还原成氨的能力⁸。固氮菌的固氮酶活性受到多种因素的调节，其中铵离子浓度是最重要的影响因素之一⁹。高浓度的铵离子会抑制固氮酶的活性，因此增强固氮菌的耐铵能力也是提升其固氮效率的关键之一。

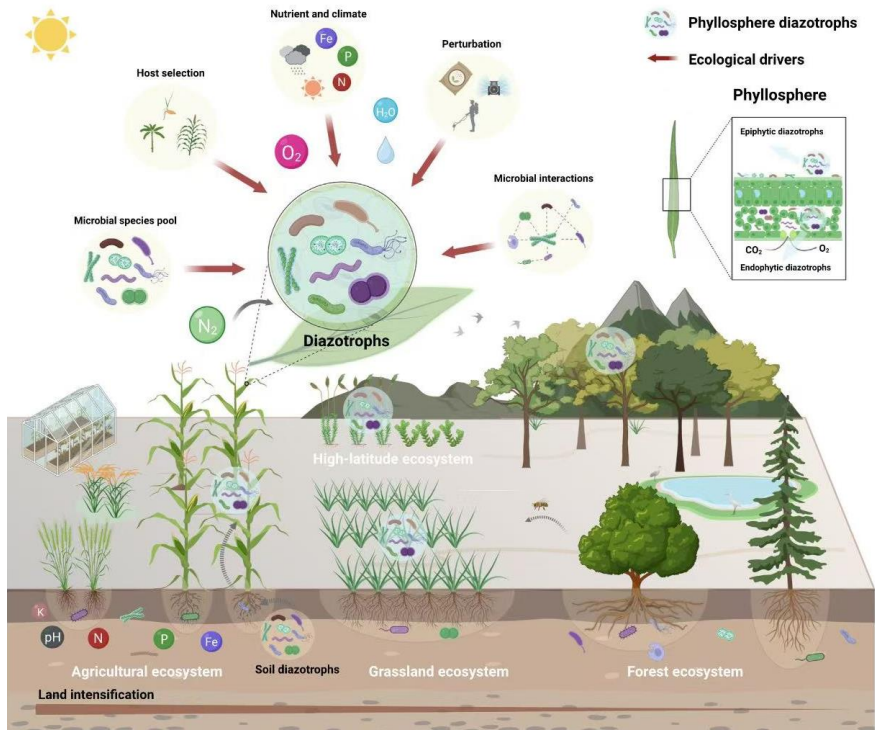
图表29: 生物固氮运行机制

⁶ 《南方经济作物固氮微生物研究进展（2022）》，孙向平

⁷ 《Genomic analysis of nitrogen fixation（2011）》，Ina P O'Carroll

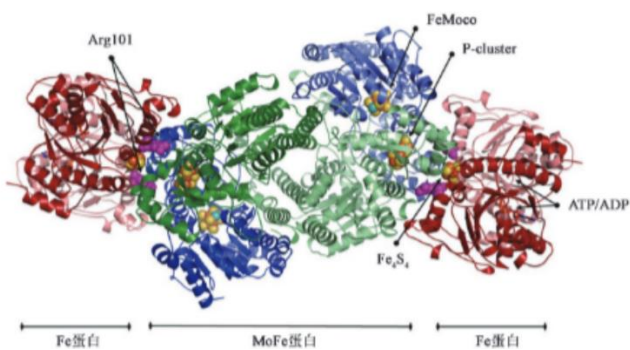
⁸ 《Ribbe MW: Structure of precursor-bound NifEN: a nitrogenase FeMo cofactor maturase/insertase（2011）》，Jens T Kaiser

⁹ 《植物内生固氮菌及其固氮机理研究进展（2022）》，王玉虎



资料来源：中国科学院生态环境研究中心，长城证券产业金融研究院

图表30：固氮酶复合结构



资料来源：《植物内生固氮菌及其固氮机理研究进展》，长城证券产业金融研究院

人工生物固氮体系有望颠覆过度依赖化学氮肥的传统农业生产方式，发展前景广阔。生物固氮通常可以分为自生固氮、共生固氮和联合固氮三种类型，在农业生产中的应用都面临着一定的限制：共生结瘤固氮体系效率最高，但仅限于豆科植物，应用潜力有限；根际联合固氮菌虽然广泛分布在非豆科粮食作物根际，但其固氮效率不稳定。

图表31：不同类型生物固氮途径比较

类型	固氮机制	作物范围	固氮效率	农业应用限制	代表菌种/技术
自生固氮	微生物独立固氮，将氮气转化为氨，不依赖宿主植物	无专一性，广泛分布于土壤、水体	低	需额外碳源供应；固氮产物需通过微生物死亡分解释放，效率低	圆褐固氮菌、克雷伯氏菌、蓝藻
共生固氮	与宿主形成共生结构（如根瘤），宿主提供碳源，菌体定向供氮	严格专一（如豆科植物与根瘤菌）	高	宿主范围窄（仅限豆科植物及少数非豆科木本）；	大豆根瘤菌、弗兰克氏放线菌

联合固氮	根际共生	水稻、玉米等禾本科作物	中等，但波动大	特定共生信号识别 固氮效率受土壤湿度、温度、碳源供应影响显著	固氮螺菌、雀稗固氮菌
	内生定殖	水稻、玉米等禾本科作物	中等，波动小	受施用时期影响	多粘类芽孢杆菌
固氮工程菌	通过基因工程改造固氮酶活性，或优化对作物的适配性	广谱适用	高，且稳定	长期生态安全性需验证	合成生物学改造菌株

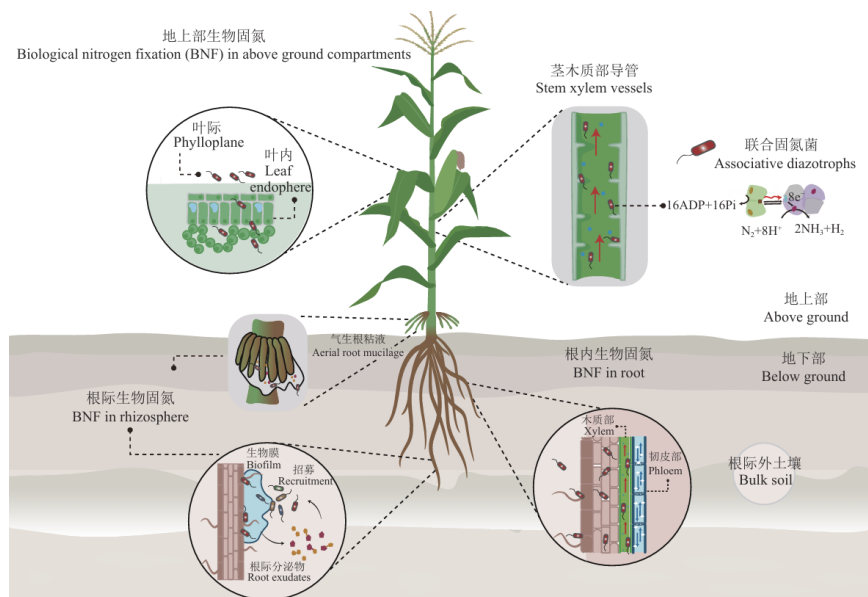
资料来源:《土壤中的天然化肥厂—固氮微生物》,《生物固氮的研究进展及发展趋势》,中国农业大学,环球网,化工仪器网,长城证券产业金融研究院

为了在作物生产实现更加高效、广泛的生物固氮应用,创建人工高效生物固氮体系应运而生。人工固氮菌通常属于联合固氮型,其既有稳定、高效的固氮效率,又可广泛作用于多种类型作物根际或体内,为现代农业生产提供了一种节能低碳、生态友好的生物固氮途径。

2. 定向优化固氮菌株,助力实现农业氮管理革命

合成生物手段能够克服野生固氮菌的天然缺陷。野生固氮菌存在天然缺陷,如宿主范围窄、固氮活性受环境影响大、田间应用效果不稳定等。而合成生物手段可以克服这些缺陷,通过模块化设计和优化,构建高效的固氮系统,使其在高浓度氮存在的情况下仍能保持高固氮活性(耐铵能力),并将固定的氮素及时分泌到体外供给植物(泌铵能力)。此外,合成生物学还可以通过改造植物,赋予植物更高的氮吸收能力,从而构建高效的联合固氮体系,实现节肥增产。

图表32: 禾本科作物联合固氮关键部位



资料来源:《禾本科作物联合固氮研究进展》,长城证券产业金融研究院

人工固氮技术引领绿色农业未来。人工高效固氮体系通过设计创新的固氮抗逆线路、耐铵泌铵模块、氮高效模块和根际信号模块,可大幅优化生物固氮及作物生长效果:

1. 固氮菌性能和固氮功效大幅提升:人工高效固氮体系可打破自然固氮限制,可以在农业生产中实现 3-5 倍固氮效率的提升,以及 2-4 倍耐铵泌铵能力的增强(即抗高浓度氮

及释放氮素能力提升)¹⁰。此外，通过固氮包衣工艺和固氮胶囊工艺的开发，还可进一步增强固氮产品的稳定性。

2. 氮肥替代: 可以减少氮肥用量, 缓解环境及能耗问题, 助力传统农业的绿色转型升级。
3. 促进植物生长, 实现作物的量质双提升: 人工固氮菌可改善土壤理化性质、调控微生物群, 从而提供良好的作物生长环境; 还可通过固氮、生长激素的产生以及铁载体的释放促进植物生长、增强抗逆性能, 从而实现作物产量及品质的提升。

图表33: 人工高效生物固氮技术及其农业应用路线图



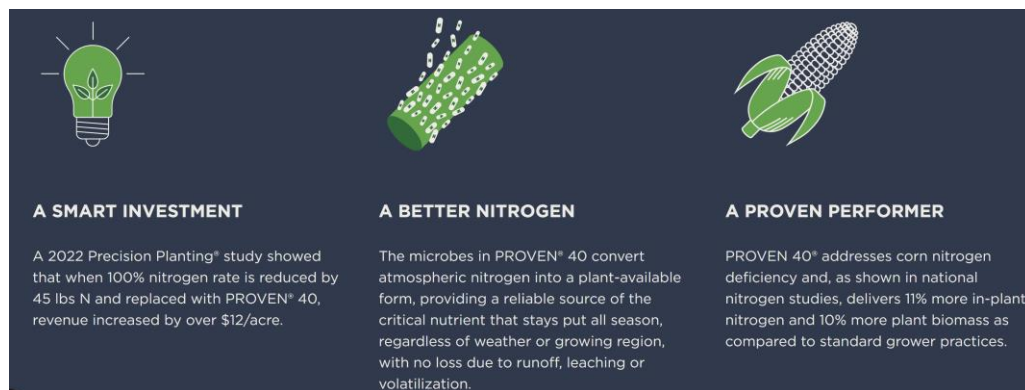
资料来源:《人工高效生物固氮体系创建及其农业应用》, 长城证券产业金融研究院

3. 固氮产品推广应用启航, 增产提质出现增效

Pivot Bio: 海外固氮产品的成功范例。美国初创企业 Pivot Bio 通过合成生物学技术开发固氮产品, 首先从土壤中筛选出具有固氮能力的微生物, 如 *Klebsiella varicola* strain 137, 然后利用基因编辑技术对其进行改造, 使其在高氮浓度环境下仍能持续为作物提供氮素。改造后的微生物与作物形成共生关系, 附着在作物根部, 将空气中的氮转化为植物可吸收的氨, 从而减少作物对传统氮肥的依赖。Pivot Bio 将这一技术商业化, 推出了针对玉米的固氮产品 PROVEN® 40, 针对小麦、大麦、高粱、燕麦等的固氮产品 RETURN®, 为农业提供了一种可持续的氮肥替代方案。

图表34: Pivot Bio 的 PROVEN® 40 产品效果

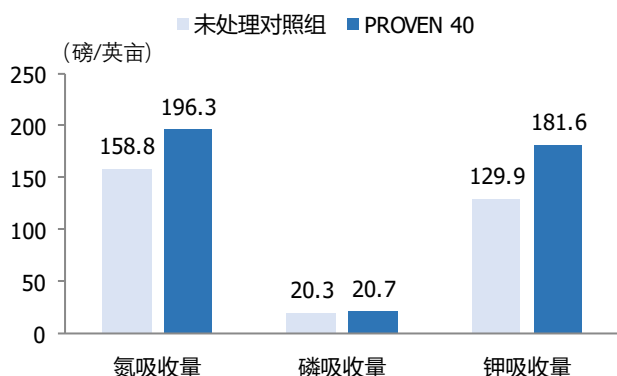
¹⁰ 《人工高效生物固氮体系创建及其农业应用 (2021)》, 燕永亮



资料来源: Pivot Bio 官网, 长城证券产业金融研究院

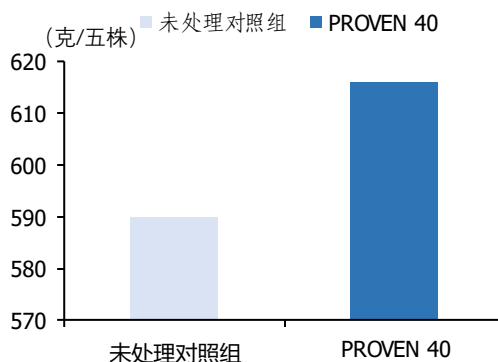
合成生物技术与固氮产品紧密相连, 为农业发展带来新契机。以 Pivot Bio 的 PROVEN® 40 产品为例, 其在使用中实现了经济效益与环境价值双优。在生态环境方面, 生物固氮产品对传统氮肥的替代, 大幅减少了水体污染和温室气体排放; 在经济效益方面, 与传统化学肥料相比, 经 PROVEN® 40 处理的玉米在保持产量的同时营养吸收也更多(生物量更高), 显著提升了作物的产量和质量。据《Science》杂志 2024 年文章报道, Pivot Bio 设计出的两种土壤微生物菌株已经用于美国全国 3600 万公顷玉米中的约 3%, 并且可以取代约三分之一由化石燃料制成的合成氮肥¹¹。

图表 35: 使用固氮产品植物养分吸收情况



资料来源: Pivot Bio 公司官网, 长城证券产业金融研究院

图表 36: 使用固氮产品植物生物量情况



资料来源: Pivot Bio 公司官网, 长城证券产业金融研究院

固氮菌剂具有显著的作物增产提质功效。根据 Pivot Bio 官网, 其固氮产品在多个试验中都呈现了出色的增产效果: 在 Precision Planting 的研究中, 与标准氮肥施用相比, 使用 PROVEN® 40 可减少 45 磅氮肥施用量, 同时产量增加 27.7 蒲式耳/英亩(约 116.0kg/亩); 在普渡大学的多氮率试验中, 经 PROVEN® 40 处理的玉米产量平均增产 6 蒲式耳/英亩(约 25.11kg/亩); 在宾夕法尼亚州立大学的研究中发现, 在不同氮肥施用量且面临干旱的环境中, PROVEN® 40 仍能使玉米产量提高 22 蒲式耳/英亩(约 92.06 kg/亩)。PROVEN 40 与 Pivot Bio 专有的碳添加剂结合使用时, 处理后的玉米可以将产量平均提升 11 蒲式耳/英亩(约 46.03kg/亩), 可增加额外收入约 12.50 美元/英亩。

此外, 根据 Pivot Bio 官网, 其在印第安纳州农场的试验中, PROVEN® 40 在玉米根系质量、茎秆直径以及生长阶段等方面均产生了积极影响, 作物的根系更为发达, 茎秆直径增加, 生长阶段提前约半个阶段。这说明固氮菌不仅可以补充氮素营养, 还对作物的

¹¹ <https://www.science.org/content/article/synthetic-biology-once-hailed-moneymaker-meets-tough-times>, 2024

整体生长发育进程产生了有益的调节，有助于增强作物的抗逆性和适应能力，实现量质双提升。

4. 全球固氮菌行业仍处于产业化发展初期

全球固氮菌行业仍处于产业化发展初期。全球多家企业参与到固氮菌市场的竞争，先正达、科迪华、拜耳等国际农化巨头凭借其技术研发、全球市场布局和品牌影响力积极布局市场。美国初创企业 **Pivot Bio** 在美国大力推广，并取得初步成果，已用于美国全国 3600 万公顷玉米中的约 3%（折算约为 1620 万亩玉米种植面积）。¹²

国内固氮菌市场同样处于产业化发展初期。国内固氮菌行业发展落后于海外进展，国内有部分企业致力于固氮菌行业发展和推广，但仍没有达到海外初创企业 **Pivot Bio** 的应用程度和场景。国内领先企业主要通过产品创新、本土渠道优势等积极布局，兴播生物制品、**Azotic Technologies**、丽豪生物、湖北氮能农业、富邦科技等众多企业在固氮菌相关技术研发、产品生产与推广方面积极探索。

图表37: 国内固氮菌企业的产品研发情况

企业名称	技术研究进展（截至 2024 年）	产品试验情况
兴播生物制品	专注于微生物肥料研发	已在玉米、水稻等作物上进行田间试验
Azotic Technologies	在中国设立分支机构，推广其固氮菌技术	产品 "Encera" 已在全球多个国家试验
丽豪生物	拥有多项固氮菌研发相关专利	在山东、河南等地进行田间试验
湖北氮能农业	专注于固氮菌技术的本土化研发，产品适用于多种作物	在湖北、湖南等地开展田间试验
富邦科技	与中国农业大学、华中农业大学、摩洛哥磷酸盐公司（OCP）深入合作，科研实力领先	在中国、欧洲和非洲同步试验，中国地区试验显示对玉米、水稻、马铃薯等作物，减氮效果效果（15%）和增产效果（10%-15%）显著。
中农绿康	专注于微生物肥料和固氮菌研发	在河北、山西等地进行田间试验
绿陇生物	研发适用于多种土壤类型和作物的固氮菌	在甘肃、宁夏等地开展固氮菌田间试验
中微生物	研发适用于多种土壤类型和作物的固氮菌	在江苏、安徽等地开展固氮菌田间试验

资料来源：兴播生物官网，世界农化网，农业品牌网，农化网，ifind，长城证券产业金融研究院

富邦科技与中国农业大学农业生物技术国家重点实验室的陈三凤教授团队，就“禾本科固氮菌及综合运用技术”全面开展项目合作。根据富邦科技 2024 年半年报，公司开发的禾本科固氮类产品已投向市场，目前正通过中国农科院以及各省级农业技术推广中心，在河南、内蒙、福建、湖北、湖南、四川、新疆、山东、河北、江西、黑龙江、贵州共 12 个省及自治区布置验证示范实验，试验作物涉及小麦、玉米、花生、土豆、水稻、大豆、棉花、葡萄、柑橘、苹果共 10 种作物，总面积超万亩。

全球生物固氮市场空间巨大。根据 Data Bridge 的数据，预计固氮生物肥料市场到 2028 年将达到 28 亿美元，2021-2028 年的增长率预计达 10.90%。而中国作为世界最大的农业生产国，拥有庞大的农作物种植面积和潜在需求，生物固氮技术在国内的发展空间巨大。据我们测算，2024 年全国耕地面积约 19.29 亿亩，固氮产品单位价格按 15 元/亩计

¹² <https://www.science.org/content/article/synthetic-biology-once-hailed-moneymaker-meets-tough-times>

算，其潜在的市场空间约 289.35 亿元，随着固氮产品渗透率的不断提升，其国内市场规模有望持续扩大。

我们认为，目前全球固氮行业处于产品开发和推广的阶段，为产品的导入期，产品技术存在较大的进步和迭代的空间，下游推广投入不足，下游推广的商业模式仍存在欠缺，行业整体距离成熟期仍有一定的差距。但随着未来固氮菌行业向规模化、高效化、新型化方向发展，随着应用作物的种类与作物的种植面积扩大，行业有望逐步迈入成熟期，预计全球固氮菌行业有望出现一系列的龙头企业，引领全球固氮菌市场的快速发展。未来行业或将沿“菌株迭代-区域适配-作物延展”三阶段升级，具备本土化菌种库与发酵工艺的企业有望突围。

产业链协同打开增值空间，有机农业与碳交易或成第二增长曲线。展望未来，我们认为生物固氮不仅可以部分替代氮肥，更有望重塑农业投入品价值链：**1）上游菌剂发酵成本**随规模扩张有望持续下行（国内大型发酵产线成熟，在成本上或将具备更大优势）；**2）中游产品**可与种衣剂、生物农药复配形成综合解决方案（提升产品附加值）；**3）下游有机农业需求提升**（2022 年全球有机农地达 9640 万公顷）驱动产品高端化，叠加碳交易机制（参照 Pivot Bio 通过 N-OVATOR 计划将减氮量转化为碳信用，反哺农户收益），固氮行业的发展有望迎来持续推动力。

四. 思考与建议：企业与政府协同发力快速推动产业化进程，持续迭代

1. 技术壁垒：核心是优势菌种的改造和培育

固氮菌行业的技术壁垒核心在于开发出具有高效固氮性能、良好抗逆性能的优势菌种。人工固氮菌的研发难点主要在于：菌种筛选与基因编辑的瓶颈，传统菌株筛选效率低，且固氮菌基因组复杂，基因靶点选择困难；固氮机制解析不足，影响人工系统设计的精准性；生态系统兼容性面临挑战，改造菌需与土壤微生物群、气候条件（如酸碱度、温度）兼容，极端环境下存活率低会限制推广范围。因此，克服多种技术阻碍、研发出高效固氮优势菌种的企业，将在行业竞争中占据显著的技术优势。

多元的产业化方向或或将助推生物固氮技术落地与推广：

1）AI 辅助设计平台，缩短菌种改造、迭代周期。在上游技术平台，可以通过拉曼光谱结合 AI 技术，智能识别固氮微生物拉曼光谱指纹图谱，或固氮微生物代谢产物特定的拉曼光谱特征，实现固氮微生物的高通量快速筛选。此外，借助 AI 辅助设计代谢途径、预测菌株性能（如 DeepMind AlphaFold 解析固氮酶三维结构）¹³等，打造菌种改造和迭代的智能化技术平台，从而大幅缩短菌种优化周期。

2）多功能菌群协同，开发复合菌剂。在最终的产品落地上，可以开发“固氮+溶磷+解钾+抗病抗逆+促生”的复合菌剂，固氮菌提供氮源、解磷菌释放磷酸盐、解钾菌溶解难溶性钾盐，促生菌分泌氨基酸和生长素等有益物质提高植物抗逆性、刺激根系发育，不

¹³ 药明康德官方账号-《人工智能预测蛋白结构，这一革命性技术将走向何方？（2022）》

同菌群可实现代谢及功能互补，从而提升田间效果¹⁴。

3) 载体技术创新，延长菌剂时效。在产品时效优化上，可以采用微胶囊包埋技术（如海藻酸钠-壳聚糖双层包被），实现其在土壤中的缓释控释（如根际 pH 触发释放），从而延长对作物的作用时限。

4) 与智能农业整合，提供高附加值的完整农业配套方案。可以结合无人机遥感与土壤传感器，动态监测氮素需求并精准喷施菌剂，在作物的需氮高峰期，通过无人机搭载固氮菌喷雾系统实现大面积快速施用，通过“水肥药”耦合整体解决方案，实现固氮菌的定时、定点的精准施用，提高氮肥利用效率，从而实现农业种植管理的精细化和高效化。

此外，政府对固氮新兴技术的研发支持也至关重要。政府在技术开发层面的支持可涵盖以下几个方面：设立生物固氮创新计划的专项资金，重点支持固氮酶机制解析、菌种资源库建设等核心技术难题；搭建产学研平台，推动成立“生物固氮产业创新联盟”，可整合中科院、农科院、及相关企业资源，建立共享实验室与田间试验基地；对相关企业实行税收优惠政策、再研发补贴，设立基金为初创企业提供投资支持；建立健全人工固氮菌行业标准及生态安全评估，加速行业快速健康成长。

2. 成本壁垒：价格低敏，发挥增产增值潜力

农户对固氮产品价格的敏感性偏低。根据 wind 数据，2023 年稻谷、小麦、花生、玉米和蔬菜等多种作物的每亩总成本分别为 1358.07、1184.56、1592.32、1312.06、5613.42 元；化肥费用率分别为 12.86%、18.43%、11.52%、15.16%、7.67%，平均化肥费用率为 13.13%。这些数据表明，化肥在种植成本中的占比相对较低，尤其是在蔬菜种植中，化肥费用占比仅为 7.67%。因此我们认为化肥在种植成本中的占比较低，即使固氮产品的价格稍高，其对总成本的影响也不大，农户对其价格的敏感性较低，是优异的氮肥替代产品。

此外，从技术替代临界点公式考虑：

$$C(bio) \leq 1.2 \times C(chem) + \Delta E(env)$$

当生物法生产成本降至化学法的 1.2 倍时，环保溢价就会推动规模替代，只要固氮产品突破该临界点，其对于氮肥的大规模替代即可实现加速发展。

据我们的测算，当氮肥替代率为 20% 时，固氮产品施用价格约在 7.0-11.7 元/亩以下时，才能在成本上较传统氮肥有绝对的优势（以 2024 年尿素地头价计）。对于玉米、小麦等大田作物而言，基肥中施用尿素量一般为 10-15 公斤/亩，追肥中施用尿素量约为 5-10 公斤/亩，总尿素施用量约 15-25 公斤/亩。2024 年尿素的全国均价为 2139.91 元/吨，考虑到尿素物流成本及分销商盈利（按 200 元/吨计），则当固氮产品对尿素的替代率为 20% 时，可以节省农户端尿素成本约 7.0-11.7 元/亩，即固氮产品施用价格在 7.0-11.7 元/亩以下时，才能在成本上较传统氮肥更有优势。

在固氮菌的发酵生产环节，通过规模效应可以有效降低生产成本。首先，随着生产规模扩大，生物反应器、分离纯化设备等大型设备的成本被分摊到更多产品上，减少了单位

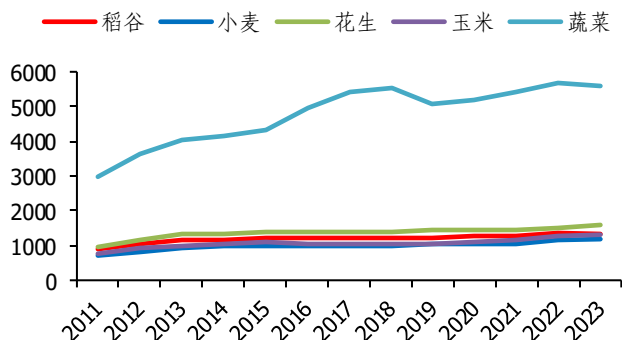
¹⁴ 《植物促生菌的功能及在可持续农业中的应用（2022）》，马莹

产品的设备折旧和维护费用。其次，大规模生产常使用连续发酵工艺和自动化技术，可以减少停机时间和资源浪费，提高设备利用率和生产效率；经过不断优化工艺参数（如发酵条件、分离纯化步骤等），可提高产物收率和质量。此外，大规模生产需批量采购原材料，企业能以更低单价采购原料，进一步降低生产成本。

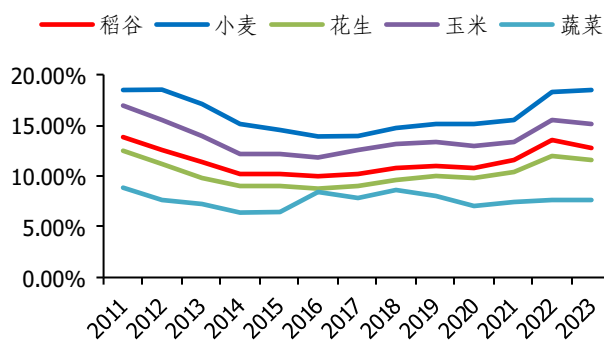
固氮产品推广前期主要考虑氮肥的平价替代，未来有望在成本及经济效益上更具优势。虽然在我们的预测下，目前固氮产品在成本端可能难以有明显的优势，但其成本仍然有较大的下降空间，且有望创造更高的经价值：一方面，由于大型发酵过程具备很强的规模效应，固氮产品的生产成本也会随着扩产而逐步降低，且随着行业成熟，仓储、物流等渠道损耗将减少，有望在成本上与传统氮肥持平甚至更具优势；另一方面，若地方政府能给予固氮企业较好的 ESG 对价机制，允许固氮企业出售减排指标用于技术升级，或实行减税、补贴等政策，固氮产品成本端空间也有望释放。我们认为，当前固氮产品的推广可能主要向平价替代氮肥的方向靠近，未来固氮产品对作物的增产增值效果或将加速推广进度。

固氮产品增产带来的收益明显较大，整体经济效益良好。以玉米为例，2022 年玉米的亩产量为 419.26 公斤，出售价格为 2.42 元/公斤，则每增产 10%，每亩地可增值约 101.46 元。由于其价格敏感性低，故可在不显著增加种植成本的情况下，为农户带来显著的增值收益，提升产品推广的积极性和可持续性。我们认为，考虑成本方面，固氮产品同样具有实现大规模替代氮肥的潜力。

图表 38: 2011-2023 年主要农产品每亩总成本（元/亩）



图表 39: 2011-2023 年主要农产品化肥费用率



资料来源: ifind, 世界有机农业统计数据, 长城证券产业金融研究院

资料来源: ifind, 世界有机农业统计数据, 长城证券产业金融研究院

3. 下游推广需政府补贴育企，企业优化营销服务

我们认为，新型固氮产品若想实现加速推广，还急需政府层面的支持，及相关企业在营销策略与市场推广上发力。

在政府层面，顶层设计，补贴推广，示范育企：

1) 顶层设计，制定专项扶持政策：适当推动农业方面的碳交易机制（参照 Pivot Bio 通过 N-OVATOR 计划将减氮量转化为碳信用，反哺农户收益）；此外政府可以出台针对固氮菌推广的专项补贴政策，对购买和使用固氮菌产品的农户给予一定比例的资金补贴，降低使用成本。此外，对从事固氮菌研发、生产和销售的企业可以提供税收优惠政策，

鼓励企业加大投入和创新。

2) 开展农户教育培训：组织开展针对农户、农业技术人员的固氮菌技术培训活动，提高其对固氮菌的认识和使用技能。还可利用广播、电视、报纸、网络等多种媒体渠道，广泛宣传固氮菌的优势和作用，普及相关知识。

3) 建立示范基地：在不同地区建立固氮菌应用示范基地，展示固氮菌在提高作物产量、改善土壤质量等方面的效果。组织农户到示范基地参观学习，让农户直观地了解固氮菌的使用方法和好处，增强农户对固氮菌的信任和接受度。同时，通过示范基地的建设，探索适合不同地区的固氮菌应用模式和技术方案。

4) 培育龙头企业：通过政策扶持、资金支持等方式，培育一批具有较强研发能力、生产规模和市场竞争力固氮菌龙头企业。发挥龙头企业的示范引领作用，带动整个固氮菌产业的发展；鼓励龙头企业开展品牌建设，提高固氮菌产品的知名度和市场占有率。

在企业层面，还需合作推广，优化营销：

1) 积极建立战略合作伙伴关系：与大型农业企业、科研机构和政府部门建立战略合作关系，快速扩大市场影响力。例如 Pivot Bio 通过与拜耳集团旗下的孟山都公司合作，快速推动其固氮产品得到市场的认可。

2) 注重科学验证和实际效果展示：通过大量的田间试验和展示，证明了其产品的有效性和安全性，增强农民对产品的信任。

3) 优化产品设计与配套服务：使产品易于运输和使用，简化传统氮肥供应链的复杂性。还可以为客户提供全方案设计与定制化服务、派工程师驻场，从而提升产品的附加值和客户粘性。

4) 多渠道营销：结合线上线下渠道，实现精准触达目标客户。线上渠道可以通过电商平台、社交媒体和自媒体矩阵进行宣传和销售；线下渠道可以通过经销商、农资站和农技推广活动进行推广。

未来，科技创新将驱动固氮产品向更高效、环保、精准的方向发展，行业将进一步加强绿色化生产模式建设、减少污染物排放、实现资源的循环利用。随着国内外市场格局的不断变化，固氮行业或将迎来更加激烈的市场竞争，相关企业需要不断提升产品质量、加强品牌建设、优化服务体系，才能在角逐中始终保持竞争优势。

五. 风险提示

政策变动风险：政府对农业相关政策的调整，可能影响固氮产品的市场需求与企业运营。如农业补贴政策若向其他领域倾斜，农民对固氮肥料等产品的购买力可能下降，从而减少市场需求；如政府加严对固氮产品的审核，固氮企业可能面临相关产品推迟上市的风险。

市场需求波动风险：固氮产品主要应用于农业领域，农作物种植面积、气候变化等因素都会影响其市场需求。若遇到气候异常、农作物受灾减产等情况，农民对固氮产品的需

求可能大幅降低。此外，农产品价格波动也会影响农民种植积极性，进而影响固氮产品需求。

技术更新风险：固氮行业技术发展迅速，新的固氮技术、产品不断涌现。若企业不能及时跟上技术更新步伐，产品可能因效率低、成本高而失去市场竞争力。

原材料价格波动风险：固氮菌生产所需的原材料价格若受国际政治、经济形势等多种因素影响而发生大幅上涨，将会直接影响固氮企业的生产成本和利润空间，从而导致全行业景气度下行。

报告中数据测算结果受到假设条件影响：我们在报告中进行测算的数据，均为在一定假设条件下得到的结果，若假设条件发生变化，则可能得到不同的结果，需要协同考虑。

免责声明

长城证券股份有限公司（以下简称长城证券）具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格。

本报告由长城证券向专业投资者客户及风险承受能力为稳健型、积极型、激进型的普通投资者客户（以下统称客户）提供，除非另有说明，所有本报告的版权属于长城证券。未经长城证券事先书面授权许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布，亦不得作为诉讼、仲裁、传媒及任何单位或个人引用的证明或依据，不得用于未经允许的其它任何用途。如引用、刊发，需注明出处为长城证券研究院，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向他人作出邀请。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司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。

长城证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。长城证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

长城证券版权所有并保留一切权利。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于 2017 年 7 月 1 日起正式实施。因本研究报告涉及股票相关内容，仅面向长城证券客户中的专业投资者及风险承受能力为稳健型、积极型、激进型的普通投资者。若您并非上述类型的投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研究报告中的任何信息。

因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，在执业过程中恪守独立诚信、勤勉尽职、谨慎客观、公平公正的原则，独立、客观地出具本报告。本报告反映了本人的研究观点，不曾因，不因，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到任何形式的报酬。

投资评级说明

公司评级		行业评级	
买入	预期未来 6 个月内股价相对行业指数涨幅 15% 以上	强于大市	预期未来 6 个月内行业整体表现战胜市场
增持	预期未来 6 个月内股价相对行业指数涨幅介于 5%~15% 之间	中性	预期未来 6 个月内行业整体表现与市场同步
持有	预期未来 6 个月内股价相对行业指数涨幅介于 -5%~5% 之间	弱于大市	预期未来 6 个月内行业整体表现弱于市场
卖出	预期未来 6 个月内股价相对行业指数跌幅 5% 以上		
	行业指中信一级行业，市场指沪深 300 指数		

长城证券产业金融研究院

深圳

地址：深圳市福田区福田街道金田路 2026 号能源大厦南塔楼 16 层
 邮编：518033
 传真：86-755-83516207

上海

地址：上海市浦东新区世博馆路 200 号 A 座 8 层
 邮编：200126
 传真：021-31829681
 网址：<http://www.cgws.com>

北京

地址：北京市西城区西直门外大街 112 号阳光大厦 8 层
 邮编：100044
 传真：86-10-88366686