

## 基础化工行业跟踪周报

# 细胞肉技术着力突破规模化生产障碍，千亿市场蓄势待发 增持（维持）

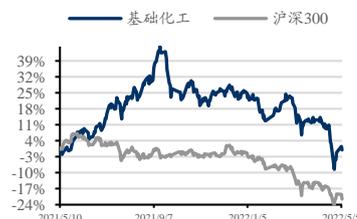
2022年05月09日

证券分析师 贺顺利  
执业证书：S0600521080007  
hesl@dwzq.com.cn

### 投资要点

- **本周化工板块表现：**本周（5月2日-5月7日）市场综合指数整体震荡下行，上证综指报收 3,001.56，本周下跌 1.49%，深证成指下跌 1.92%，中小板 100 指数下跌 2.45%，基础化工板块逆大盘小幅上涨，涨幅为 1.13%。**本周化工个股：**本周化工板块小幅上涨，涨幅为 1.13%。涨幅居前的个股有晶雪节能、苏盐井神、三孚股份、川恒股份、史丹利、江山股份、兄弟科技、恒力石化、和顺石油和安利股份。5月5日建材与食品饮料板块均震荡走强，多只股票触及涨停。晶雪节能涉足工业建筑围护领域，苏盐井神涉及食品领域，受益涨停。
- **本周原油市场动态：**市场供应短缺忧虑仍存，原油价格全面上涨。ICE 布油报收 112.29 美元/桶（环比+2.79%）；WTI 原油报收 109.77 美元/桶（环比+4.85%）。**重点化工品跟踪：**本周我们关注的化学品中价格涨幅居前的有醋酸(+13.51%)、氯化钾(+12.31%)、正丁醇(+10.87%)、硫磺(+6.15%)、三聚氰胺(+5.56%)。本周醋酸价格连续提涨，山东、上海等醋酸装置 5 月初-6 月均有检修计划、西北主流厂家装置有转负荷预期，供应面利好消息提前释放，提振市场信心，下游询盘积极性较高，醋酸价格呈集中性上探。本周氯化钾市场维持坚挺，假期过后虽下游农业需求逐渐进入淡季，但挺价看涨气氛持续，市场现货供应依然紧俏，厂家基本无库存，价格仍有小幅推涨趋势，氯化钾价格持续提升。
- **细胞肉技术着力突破规模化生产障碍，千亿市场蓄势待发：**细胞来源肉类也称为离体肉、实验室培养肉或养殖肉，是通过培养细胞而不是养殖动物生产肉类。2020 年，细胞培养蛋白领域的投融资金额实现了近 400% 的增长，总金额超过了 4 亿美元，而全球主要肉类市场规模约为 8700 亿美元，伴随着细胞培养肉技术进一步突破关键规模化生产障碍，千亿美元替代空间打开。
- **化工投资主线：**（1）周期主线：经济复苏带动顺周期化工品盈利能力的改善。（2）成长主线：技术应用创新趋势&市场扩容，细分成长赛道。
- **风险提示：**原油供给大幅波动；贸易战形势恶化；汇率大幅波动的风险；下游需求回落的风险。

### 行业走势



### 相关研究

- 《基础化工行业 2021 年报及 2022 一季报综述》  
2022-05-03
- 《生物基生产 1,3-丙二醇突破技术垄断，规模化降本生产打开市场空间》  
2022-04-24
- 《化学催化实现 HMF 降本生产，拓展全产业链衍生品未来可期》  
2022-04-17

表1：重点公司估值（股价参考 2022/05/06 收盘价）

代码	公司	总市值 (亿元)	收盘价 (元)	EPS (元)			PE			投资评级
				2021A	2022E	2023E	2021A	2022E	2023E	
600309.SH	万华化学	2,496.10	79.50	7.85	8.13	8.46	10.13	9.78	9.40	买入
600426.SH	华鲁恒升	653.72	30.80	3.43	3.62	3.48	8.97	8.51	8.85	买入
002648.SZ	卫星化学	608.91	35.40	3.50	4.96	5.89	10.11	7.14	6.01	买入
600486.SH	扬农化工	423.94	136.80	3.94	5.26	5.89	34.69	26.01	23.23	买入
603599.SH	广信股份	171.42	36.90	3.18	3.56	3.86	11.60	10.37	9.56	买入
601117.SH	中国化学	529.69	8.67	0.84	0.95	1.14	10.32	9.13	7.61	买入
600378.SH	昊华科技	315.20	34.29	0.99	1.2	1.44	34.71	28.58	23.81	买入
002643.SZ	万润股份	170.25	18.30	0.69	0.89	1.07	26.52	10.56	17.10	买入

数据来源：wind，东吴证券研究所，EPS 为东吴研究所预测

## 内容目录

<b>1. 周观点</b>	<b>4</b>
1.1. 本周化工板块行情	4
1.2. 本周原油市场动态	5
1.3. 本周化工品涨跌幅	6
1.4. 本周公司重要公告	7
<b>2. 本周专栏-细胞肉技术着力突破规模化生产障碍，千亿市场蓄势待发</b>	<b>8</b>
2.1. 细胞肉产品介绍	8
2.1.1. 细胞肉产品简介	8
2.1.2. 细胞肉产业发展	9
2.1.3. 细胞肉产业特点	9
2.2. 技术研发	14
2.2.1. 生产流程	14
2.2.2. 技术难点	17
2.3. 竞争格局	20
2.3.1. 细胞肉行业部分公司	20
2.3.2. 细胞肉实验工厂	22
<b>3. 年度投资主线</b>	<b>23</b>
<b>4. 风险提示</b>	<b>24</b>

## 图表目录

图 1: 原油期货价格走势 (美元/桶) .....	6
图 2: 本周重点化工产品价格涨幅前五 (%) .....	7
图 3: 本周重点化工产品价格跌幅前五 (%) .....	7
图 4: 动物、植物和细胞来源肉类生产方法的历史和演变.....	9
图 5: 植物来源和细胞来源的模拟肉类外观特性 (颜色、纹路和结构) 的策略.....	11
图 6: 肉类和肉类类似物对环境影响的比较.....	13
图 7: 细胞培养肉生产流程图.....	14
表 1: 重点公司估值 (股价参考 2022/05/06 收盘价) .....	1
表 2: 化工板块本周个股涨幅前十 (股价参考 2022/05/06 收盘价) .....	4
表 3: 化工板块本周个股跌幅前十 (股价参考 2022/05/06 收盘价) .....	4
表 4: 本周公司重要公告.....	7
表 5: 细胞来源肉类生产初步经济分析结果.....	10
表 6: 肉类产生香气和风味的前体和化合物.....	10
表 7: 细胞肉生产技术步骤介绍.....	14
表 8: 细胞肉行业部分公司.....	20
表 9: 细胞肉行业实验工厂.....	22

## 1. 周观点

### 1.1. 本周化工板块行情

本周（5月2日-5月7日）市场综合指数整体震荡下行，上证综指报收 3,001.56，本周下跌 1.49%，深证成指下跌 1.92%，中小板 100 指数下跌 2.45%，基础化工板块逆大盘小幅上涨，涨幅为 1.13%。

本周化工板块小幅上涨，涨幅为 1.13%。涨幅居前的个股有晶雪节能、苏盐井神、三孚股份、川恒股份、史丹利、江山股份、兄弟科技、恒力石化、和顺石油和安利股份。5月5日建筑节能、建筑材料板块震荡走强，多只相关股票包括晶雪节能在内涨停。晶雪节能主营业务为冷库围护系统节能隔热保温材料的研发、设计、生产和销售，公司涉足工业建筑围护领域，公司产品“金属面岩棉复合板”被评为“绿色建筑节能推荐产品”和“工程建设推荐产品”，产品竞争力高，公司股票于5月6日触及涨停。苏盐井神主要产品为食盐、工业盐、元明粉、卤水、纯碱、氯化钙、小苏打等产品。其参股公司苏盐酒业有限公司是以白酒为主的专业从事酒水直销的酒业公司。5月5日食品饮料板块震荡走强，苏盐井神触及涨停。

表2: 化工板块本周个股涨幅前十（股价参考 2022/05/06 收盘价）

Wind 代码	股票简称	股价（元）	周涨跌幅（%）	月涨跌幅（%）
301010.SZ	晶雪节能	26.59	36.57	7.52
603299.SH	苏盐井神	12.66	21.03	49.65
603938.SH	三孚股份	48.99	15.05	-1.98
002895.SZ	川恒股份	27.88	14.97	30.71
002588.SZ	史丹利	6.54	14.54	-0.46
600389.SH	江山股份	59.88	14.10	30.74
002562.SZ	兄弟科技	5.85	13.59	13.37
600346.SH	恒力石化	23.72	13.22	12.47
603353.SH	和顺石油	18.47	12.76	-6.20
300218.SZ	安利股份	13.92	12.53	9.09

数据来源：wind，东吴证券研究所

本周跌幅前十标的有 ST 海越、容百科技、凯龙股份、鲁北化工、鸿达兴业、万盛股份、巨化股份、振华新材-U、普利特和康达新材。本周化工板块行情较好，周涨跌幅居前个股并未触及跌停，跌幅排名前二的个股分别为 ST 海越和容百科技，跌幅分别为 8.73% 和 8.22%。据容百科技一季度报告披露，公司一季度营收及归母净利润增长较大，同比增长分别为 270.75% 和 144.66%，因此股价涨跌属于正常波动。

表3: 化工板块本周个股跌幅前十（股价参考 2022/05/06 收盘价）

Wind 代码	股票简称	股价（元）	周涨跌幅（%）	月涨跌幅（%）
600387.SH	ST 海越	5.54	-8.73	-14.90
688005.SH	容百科技	85.65	-8.22	-34.42

002783.SZ	凯龙股份	7.56	-7.47	-6.90
600727.SH	鲁北化工	7.57	-7.34	-20.40
002002.SZ	鸿达兴业	3.24	-6.90	-33.33
603010.SH	万盛股份	15.09	-6.79	-23.63
600160.SH	巨化股份	10.6	-6.61	-21.01
688707.SH	振华新材-U	48.06	-6.30	-13.87
002324.SZ	普利特	9.75	-6.07	-20.60
002669.SZ	康达新材	9.88	-5.54	-20.06

数据来源：wind，东吴证券研究所

## 1.2. 本周原油市场动态

市场供应短缺忧虑仍存，原油价格全面上涨。ICE 布油报收 112.29 美元/桶（环比+2.79%）；WTI 原油报收 109.77 美元/桶（环比+4.85%）。

**OPEC+无视西方国家要求加快增产的呼声。**OPEC+同意再次小幅增加月度石油产量，将 6 月产量目标提高 43.2 万桶/日，继续落实 2020 年新冠大流行打击需求时制定的放松产量限制的现有计划，无视西方国家要求加快增产的呼声。

**美国能源部宣布长期购买原油的计划，以确保战略石油储备的持续可用。**美国能源部宣布将招标采购 6000 万桶石油，作为美国战略石油储备长期补充计划的一部分。根据能源部的声明，此次采购的数量为美总统拜登 3 月份宣布 1.8 亿桶原油释放计划的三分之一。招标将在 2022 年秋季进行，目的之一是应对俄乌冲突导致的能源价格上涨问题。

**欧盟委员会主席冯德莱恩宣布了对俄制裁提案。**欧盟委员会主席冯德莱恩宣布了在 6 个月内逐步淘汰俄罗斯原油供应，并在 2022 年底前逐步摆脱俄罗斯成品油供应。欧盟还提议在一个月内禁止欧盟公司为俄罗斯石油运输提供的所有航运、经纪、保险和融资服务。

**乌俄冲突不会在短期内结束。**乌克兰国家安全与国防委员会秘书丹尼洛夫表示，乌俄冲突不会在短期内结束，其持续时间取决于很多因素。

\*注：原油相关数据来源于 wind 和百川盈孚。

图1: 原油期货价格走势(美元/桶)



数据来源: IPE, NYMEX, 东吴证券研究所

### 1.3. 本周化工品涨跌幅

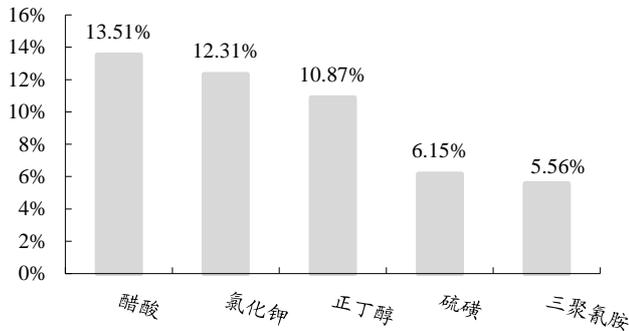
本周我们关注的化学品中价格涨幅居前的有醋酸(+13.51%)、氯化钾(+12.31%)、正丁醇(+10.87%)、硫磺(+6.15%)、三聚氰胺(+5.56%)。本周醋酸价格连续提涨, 山东、上海等醋酸装置5月初-6月均有检修计划、西北主流厂家装置有转负荷预期, 供应面利好消息提前释放, 提振市场信心, 下游询盘积极性较高, 醋酸价格呈集中性上探。本周氯化钾市场维持坚挺, 假期过后虽下游农业需求逐渐进入淡季, 但挺价看涨气氛持续, 市场现货供应依然紧俏, 厂家基本无库存, 价格仍有小幅推涨趋势, 氯化钾价格持续提升。本周正丁醇市场重心上扬, 节前正丁醇厂家出货平稳, 下游厂家按需采购, 市场交投氛围尚可, 加之原油价格上行, 支撑正丁醇的市场窄幅上涨, 节后, 山东地区大厂装置有波动, 正丁醇厂家库存低, 业者挺价情绪浓厚, 叠加江阴华西库受疫情影响, 提货受阻, 因此山东正丁醇收盘价格大幅上涨。本周国产硫磺价格涨势加快, 国内最大硫磺生产厂家普光气田将于5月10日全面停产检修, 厂内库存不多, 主发合约用户, 周边部分用磺企业考虑适当减产, 或寻购其他地区货源, 供应预期明显收紧, 加快市场挺涨节奏。本周三聚氰胺市场稳中调整, 需求端市场交投氛围尚可, 以刚需采购为主, 供给端部分企业停车检修, 上游尿素市场稳中有涨, 成本支撑加强, 三聚氰胺市场价格小幅上涨。

本周化工品跌幅居前的有三氯乙烯(-6.25%)、DMC(-3.64%)、原盐(-3.58%)、二甲醚(-3.13%)、液氯(-2.96%)。本周氯乙烯市场价格下跌, 需求面下游制冷剂R134a厂家价格宽幅下跌, 部分厂家胀库严重, 场内库存仍偏高, 供应面行业供应宽松, 开工率较高, 三氯乙烯市场价格承压下行。本周DMC跌势延续, 终端需求未有改善, 单体厂多反馈新接单平平, 下游企业开工积极性不高加之等跌心态加持, 拿货节奏较为迟缓, 供应端合盛鄯善新装置试运行中, 大量产能投放在即, 有机硅市场库存压力增加, DMC价格持续下滑。本周工业盐市场走势下行, 近期两碱装置检修安排较多, 下游需求有限, 加之部分地区运输情况未有好转, 盐企库存较为充裕, 且市场供应稳定, 本周原盐价格下降。本周二甲醚市场价格小有下滑, 下游需求清淡, 供应面市场恢复良好, 市场价格小

幅下降。本周液氯市场价格下滑，下游接货情绪一般，厂内供应稳定，液氯价格稳中有降。

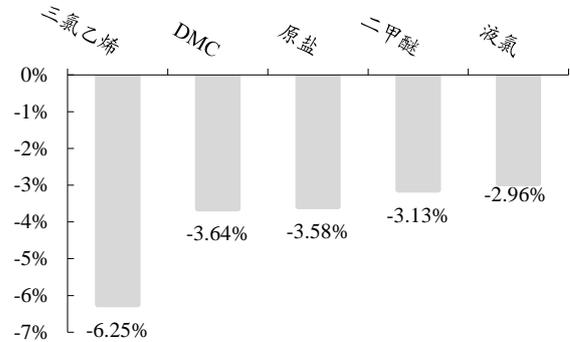
\*注：化工品价格涨跌幅数据为环比上周价格变动。

图2：本周重点化工产品价格涨幅前五（%）



数据来源：wind，东吴证券研究所

图3：本周重点化工产品价格跌幅前五（%）



数据来源：wind，东吴证券研究所

### 1.4. 本周公司重要公告

表4：本周公司重要公告

公司	时间	公告要点
荣盛石化	22/05/07	回购股权：截止 2022 年 4 月 29 日，公司累计回购公司股票 3114.50 万股，最高成交价 15.47 元/股，最低成交价 13.10 元/股，成交总金额 4.54 亿元。
恒力石化	22/05/07	回购股权：截止 2022 年 5 月 6 日公司累计回购公司股票 4499.20 万股，最高成交价 23.83 元/股，最低成交价 20.49 元/股，成交总金额 10.00 亿元。
新奥股份	22/05/07	回购股权：截止 2022 年 4 月 30 日公司累计回购公司股票 60.00 万股，最高成交价 16.34 元/股，最低成交价 16.06 元/股，成交总金额 970.58 万元。
彤程新材	22/05/07	收购兼并：公司与江苏集萃智能液晶科技有限公司签署了股权转让协议，购买了其持有的苏州聚萃 12% 股权。本次收购苏州聚萃股权，是公司进入 PI 材料领域的第一步，未来拟进一步拓展在 PI 材料领域的布局。
龙佰集团	22/05/06	个股其他公告：“50 万吨攀西钛精矿升级转化氯化钛渣创新工程”该项目自 2020 年第二季度投产以来运行稳定，产能逐月提升，2022 年 4 月生产氯化钛渣超 8,000 吨，并用于氯化法钛白粉生产。
利安隆	22/05/06	个股其他公告：子公司取得实用新型专利证书。专利名称：新型过滤装置，专利号 ZL202122452379.8。
新和成	22/05/06	回购股权：截止 2022 年 4 月 29 日，公司累计回购公司股票 1583.18 万股，最高成交价 31.88 元/股，最低成交价 26.13 元/股，成交总金额 4.66 亿元。
飞凯材料	22/05/05	回购股权：截止 2022 年 4 月 30 日，公司累计回购公司股票 42.67 万股，最高成交价 21.50 元/股，最低成交价 20.96 元/股，成交总金额 910.27 万元。
宝丰能源	22/05/05	利润分配：无限售股股东每股分配现金红利 0.32 元，限售股股东每股分配现金红利 0.26 元

吉林化纤

22/05/05

停牌警示：由于疫情影响，公司无法在法定期限内披露定期报告，若公司在股票停牌两个月内仍未能披露 2021 年年度报告，则公司将在股票停牌两个月届满的次一交易日开市前披露公司股票交易被实施退市风险警示的公告。

数据来源：wind，东吴证券研究所

## 2. 本周专栏-细胞肉技术着力突破规模化生产障碍，千亿市场蓄势待发

### 2.1. 细胞肉产品介绍

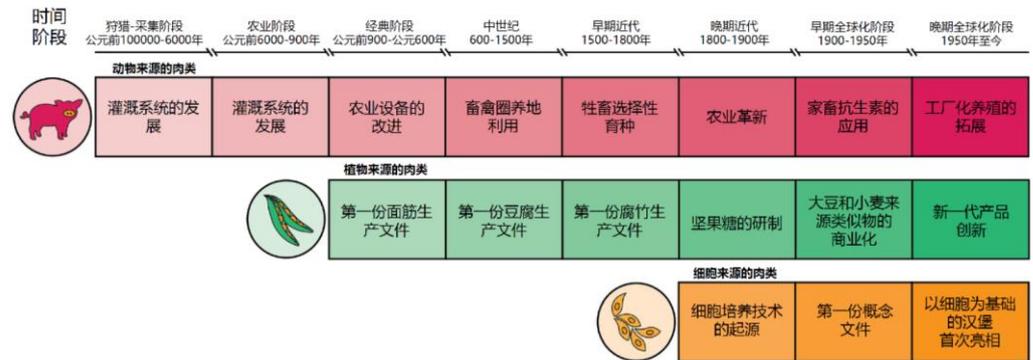
#### 2.1.1. 细胞肉产品简介

细胞来源肉类（CBM），也称为离体肉、实验室培养肉或养殖肉，是通过培养细胞而不是养殖动物生产肉类。细胞来源肉类技术主要是基于干细胞生物学（例如诱导多能干细胞）和组织工程（例如体外骨骼肌移植）的发展。细胞来源肉类的产生涉及 4 个核心部分：肌肉和脂肪细胞的分离和培养、xeno-free 培养基配方（无外源动物蛋白成分）、支架开发和生物反应器设计。

人类食用植物来源肉类的时间（2555 年）只有食用动物肉类（260 万年）时间的 0.098%。同样，人类食用细胞来源肉类的时间（7 年）仅占食用植物肉类时间的 0.274%。2020 年，细胞培养蛋白领域的投融资金额实现了近 400% 的增长，总金额超过了 4 亿美元，这个增速远超植物基蛋白和发酵蛋白领域。

在 2021 年，全球食品饮料领域里金额最大的 10 笔融资中有 9 笔来自替代蛋白领域，这 9 笔的总金额超过了 26 亿美元。而据不完全统计，2021 年全球替代蛋白领域的投资更是达到了 49 亿美元，同比增长近 60%。而全球主要肉类市场规模约为 8700 亿美元，其中牛肉 3200 亿美元、鸡肉 3200 亿美元、猪肉 2300 亿美元，伴随着细胞培养肉技术进一步突破关键规模化生产障碍，千亿美元替代空间打开。

图4：动物、植物和细胞来源肉类生产方法的历史和演变



数据来源：植物和细胞培养肉的生产与商业化挑战合成生物学快讯，东吴证券研究所

### 2.1.2. 细胞肉产业发展

2013年，马斯特里赫特大学的Mark Post创造了第一个养殖肉牛肉汉堡饼，由2万条肌肉组织构成，成本超30万美元，生产时间超过2年。

2011-2017年，多家养殖肉类公司成立：Memphis Meats（现更名为Upside Foods）展示其培养的牛肉丸、以色列Super Meat公司培养鸡肉、Finless Foods公司培养鱼类产品等。

2018年，Eat Just公司宣布2018年底之前可以提供人造肉消费品。荷兰初创公司Meatable宣布成功地使用来自动物脐带的多能干细胞种植肉类，该技术绕过胎牛血清，这意味着无需杀死动物即可生产肉类。

2019年，AMPS Innovation联盟成立，旨在寻求与监管机构合作，为养殖肉类和海鲜创造一条进入市场的途径，同年欧洲细胞农业协会成立，旨在为行业的利益找到共同点。同年，Foieture项目在比利时启动，项目从佛兰德政府创新与企业局获得了近360万欧元的研究经费。同年，Aleph Farms与3DBioprintingSolutions合作，在国际空间站上养殖肉类。这是通过使用3D打印机将肉细胞挤出到支架上来完成的。

2020年1月，Quartz发现近30家养殖肉类初创公司。同年5月，《新科学家》报道近60家初创企业开发研制肉类。同年6月，中国政府官员呼吁制定一项国家战略，在人造肉领域展开竞争。2020年底，MeaTech以1500万欧元的价格收购了Peaceof Meat，并于2021年5月宣布，到2022年在安特卫普建造一座新的大型试验工厂。

### 2.1.3. 细胞肉产业特点

(1) 经济层面：经济可行性是细胞来源肉类商业化的重要障碍。2013年，马斯特里赫特大学生产牛肉的成本为280,400美元（每公斤2,470,000美元），生产过程中，3名

研究人员利用实验室规模的技术，在 3 个月内培养出 20,000 条肌肉纤维，但此研究仅作为概念证明，而不能进行规模化生产。一些团队已经进行了初步经济分析，预测大规模生产下细胞来源肉类的成本，如下表所示。2008 年，体外培养肉联盟（InVitro Meat Consortium）估计，通过基于单细胞蛋白质生产数据和生长培养基成本建模，细胞来源肉类的成本大约是鸡肉的两倍。2014 年，一项关于小规模细胞来源肉类生产的技术、社会和经济因素研究计算出的成本范围为 11-520 美元/千克，其中主要决定因素是培养基的价格。无脊椎动物（例如昆虫、甲壳类动物）细胞培养可能由于昆虫细胞的独特特性（例如 xeno-free 培养基、高密度悬浮培养）而为细胞来源肉类生产提供了更具成本效益的平台。一些公司瞄准高价值产品（例如鹅肝、蓝鳍金枪鱼、袋鼠肉），旨在降低实现价格平价的门槛。而荷兰最近的一项消费者接受度研究显示，58% 的参与者愿意为细胞牛肉支付比传统动物牛肉高出 37% 的溢价。

**表5: 细胞来源肉类生产初步经济分析结果**

参考值	a	b
培养基成本范围（美元/升）	10.29-11.76	1.33-66.50
细胞来源肉类成本范围（美元/千克）	4.81-5.10	10.39-519.53
细胞来源肉类平均培养基用量（千克/公吨）	193	128
a 估算基于 15,000 吨/年的工厂产能的资本、可变介质和间接成本。对于悬浮生长的细胞，估计下限；对于在 3D 矩阵中生产的细胞，估计上限。		
b 产量的估计基于每批 2,560 千克细胞来源肉类的批量生产，假设 20,000 升/批。细胞来源肉类成本仅考虑生长介质的贡献。		

数据来源：植物和细胞培养肉的生产与商业化挑战合成生物学快讯，东吴证券研究所

(2) 感官层面：肉类的主要感官特性（例如感觉）是外观、香气、风味和质地。新型植物来源肉类通过调控颜色、脂肪大理石纹路和结构来模仿动物来源肉类的外观。为了增加主流消费者购买的可能性，细胞来源肉类必须从感官角度与动物来源肉类相当或优于动物来源肉类。

**表6: 肉类产生香气和风味的前体和化合物**

风味前体类别	具体例子	热反应	调味化合物	相关风味
糖核苷酸	葡萄糖 5'-腺苷	美拉德反应	吡嗪、烷基吡嗪、烷基吡啶、酰基吡啶	烧烤、焦糖、肉质
氨基酸肽	单磷酸半胱氨酸		吡咯类、呋喃类、呋喃酮类、吡喃酮类、恶唑类、噻吩	
液体脂肪酸	磷脂亚油酸	氧化反应	炔、醇、醛、酮、2-烷基呋喃脂肪酸	油脂、黄油、甜味
维生素	硫胺	降解反应	硫醇、脂肪族硫化物、呋喃类、噻吩	清淡、烤洋葱

数据来源：植物和细胞培养肉的生产与商业化挑战合成生物学快讯，东吴证券研究所

自 2013 年的培养牛肉汉堡（含有培养的骨骼肌组织，但不含脂肪组织，通过甜菜汁、面包屑、焦糖、蛋粉、盐和藏红花粉调味）这一里程碑以来，更多的研发工作集中

在生产细胞来源的脂质（即脂肪）组织。除了骨骼肌和脂肪组织外，动物来源肉类还包含结缔组织、血管网络和支架细胞类型（例如成纤维细胞）。复杂性的差异可能导致动物来源肉类和细胞来源肉类之间细微的风味差异。专家指出，细胞来源肉类关键风味特征可以通过共培养、培养基补充和/或基因改造来实现。例如，研究人员探索了用细胞外血红蛋白蛋白（例如肌红蛋白）补充细胞来源肉类的效果。肌红蛋白与肉类的“血腥”风味有关，补充肌红蛋白可以改善细胞来源肉类结构的颜色而不会阻碍肌肉细胞的生长速度。早期细胞来源的原型模拟加工过的肉类（例如汉堡、香肠、板块），因为很难模拟整个肉块（例如牛排）的外观和质地。随着研究人员开始关注纹理特性，进行了大量工作来评估各种因素（例如，细胞和支架的比例、烹调、包装、储存和运输）对组织结构的影响。细胞来源肉类结构受到培养细胞和支架材料的影响。体外骨骼肌组织可以进行工程化，通过分化和细胞排列等模拟肉类结构。例如，机械张力、电刺激和/或微图案基板可用于在体外诱导细胞排列。

图5：植物来源和细胞来源的模拟肉类外观特性（颜色、纹路和结构）的策略

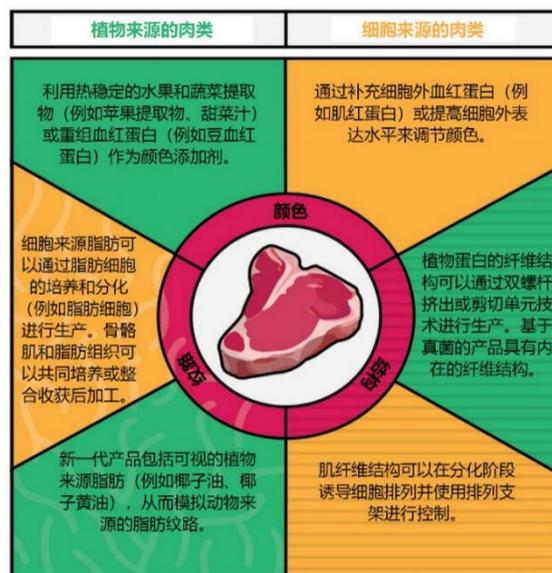


图3 植物来源和细胞来源的模拟肉类外观特性（颜色、纹路、结构）的策略。结构和纹路是影响肉质和外观的重要因素。

数据来源：植物和细胞培养肉的生产与商业化挑战合成生物学快讯，东吴证券研究所

（3）营养层面：不同的细胞类型提供不同的营养成分；分化的肌肉细胞可能是蛋白质的主要来源，成熟的脂肪细胞可以提供脂肪酸。由动物来源肉类提供的某些化合物在培养细胞中不存在。例如，维生素 B12 仅由细菌合成，需要进行补充。和味道一样，细胞来源肉类的支持者经常声称它的营养状况与动物来源肉类相当或优于动物来源肉类，营养素可以通过共培养、培养基补充和基因修饰来调节。培养基的制定将对培养细胞的活力和效率、营养情况造成很大影响，也许还会影响风味和味道。通过改造基因改善营养是另一种从长远来看可能更有效的方法，尽管基因方法可能会给监管和消费者接

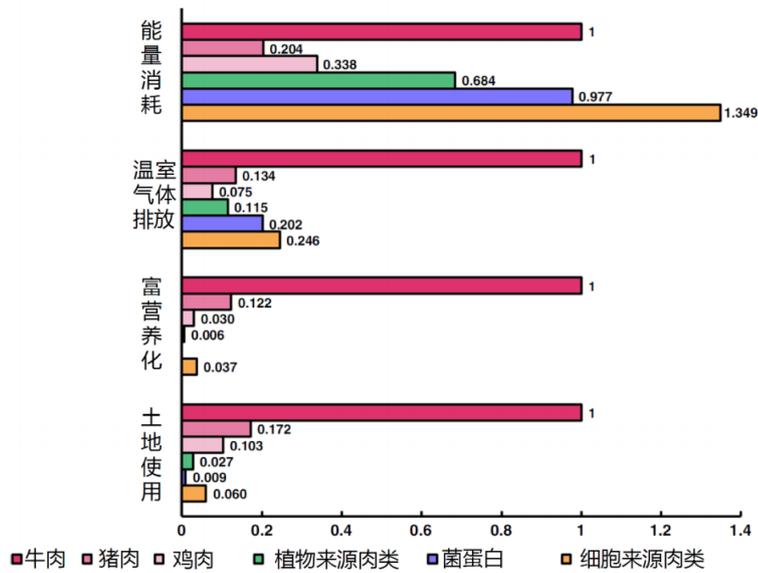
受度带来挑战。基因工程已经在家畜中应用，以改善肉类生产的各个方面。2004年，培育出能够表达一种菠菜来源基因的转基因猪，目的在于改善猪肉的脂肪酸组成。细胞来源肉类的全面营养数据应随着初始产品的推出、规模的扩大以及科学界的兴趣而变得更易实现。

(4) 消费者接受度层面：细胞来源肉类的目标人群是食用肉类的消费者，而植物性饮食对素食主义者来说是健康、可持续的。针对消费者对培养肉类接受度研究的系统回顾发现，最常报告的问题与非自然性、安全性、健康性、味道、质地和价格相关。2017年一项针对欧洲消费者的研究发现，缺乏天然性会降低对培养肉类的接受度，即使意识到潜在的环境和动物福利益处。此外，研究人员还调查了互联网上关于美国研发培养肉类的新闻评论，结果发现批评意见比肯定回应多，而且经常批评细胞来源肉类的问题在于“非自然”和“不具吸引力”。2018年，瑞士的一项研究得出结论：将生产过程告知消费者并不会提高接受度，强调最终产品而不是技术工艺可能是更成功的策略。同样，2020年，荷兰的一项研究报告称，对消费者进行个人和社会利益相关的教育将对消费者接受度带来积极影响，对细胞培养肉类的命名和描述也可能对消费者观点产生影响。

(5) 公共卫生层面：肉类是重要的营养来源，尤其是在营养不足的发展中国家。然而，肉类的过度消费与许多健康问题有关。每年有180多万人死于缺血性心脏病，其中1/4与过度食用某些肉制品有关。细胞来源肉类的商业化可能会影响许多国家的公共卫生，包括食源性疾病、饮食相关疾病（例如结直肠癌、心血管疾病）和传染病。理论上讲，细胞来源肉类引起食源性疾病的风险可能是不存在的，原因在于细胞增殖所需的无菌条件将阻止致病性病原体的污染，前提是后处理和包装程序同样无菌。天然、食品级抗菌剂可能是一个用于减少污染风险的有前景的战略，同时能够保持成本效益。同样可以通过减少人类与受感染动物的接触直接减少人畜共患病传播的风险，也可以通过减少栖息地破坏而间接减少风险。通过细胞选择、基因改造和培养基配方策略可能有助于解决营养缺乏和饮食相关疾病，从而调节健康相关化合物的存在。但是，消费者报告对细胞来源肉类的安全性和健康性表示担忧，理由是担心非自然性、癌症和监管不力等因素。

(6) 环境可持续性层面：细胞来源肉类的产量一旦优化，与动物来源肉类相比，将会利用更少的资源并排放更少的废物。2011年发布的第一份相关生命周期评价估计，与动物来源肉类相比，细胞来源肉类将涉及更低的能源消耗（7-45%）、温室气体排放（78-96%）、土地利用（99%）和水利用（82-96%）。据估计，细胞来源肉类的能量饲料转换效率为47%，蛋白质饲料转换效率为72%，低于植物来源肉类和昆虫来源的肉类，但高于动物来源肉类。

图6: 肉类和肉类类似物对环境影响的比较



数据来源: 植物和细胞培养肉的生产与商业化挑战合成生物学快讯, 东吴证券研究所

(7) 动物福利层面: 细胞来源肉类的主要益处之一是通过取代集约化畜牧业提高农场动物福利。动物供体用于提供最初的细胞来源, 随后在体外进行扩增, 而不需要动物提供更多的资源。供体动物通常是具有更多增殖细胞的年轻动物, 由兽医麻醉并进行少量(小于1克)组织活检的移除。细胞可以通过遗传进行无限增殖, 根除对动物供体的需求。然而在实践中, 动物供体很可能被用来维持遗传多样性并为细胞来源肉类提供非转基因选项。除了细胞来源外, 细胞来源肉类生产与动物相关的一个关键方面是血清补充物。胎牛血清是细胞培养基中常用的添加剂, 为哺乳动物细胞培养提供必需的生长因子。

(8) 监管层面: 细胞来源肉类的监督包括对生产、包装、标签和营销的监督。在美国, 细胞来源肉类主要由FDA和农业部(USDA)共同监管。FDA将管理细胞的分离、储存、生长和成熟。收获细胞和组织后, USDA将在剩余的商业化过程中对产品进行监控并监管产品标签。支架材料可能属于FDA食品添加剂条款。如果公司打算销售含有转基因细胞的产品, 可能会出现更复杂的情况。尽管USDA对转基因作物进行监管, 但FDA的一项新型动物药物申请条款认为, DNA调控属于药物定义并需遵循FDA对转基因作物的监管, 这可能也适用于转基因细胞。另一个问题与标签的准确相关。类似于植物来源肉类标签的争论, 有一项活动致力于防止细胞来源产品被标记为“肉类”。根据《联邦肉类检验法》, 该法案将肉类定义为“全部或部分由任何肉类或肉制成的任何产品”, 细胞来源肉类可能有理由保留其措辞。事实上, 北美肉类研究所提出细胞来源产品可能属于“肉类”或“肉类副产品”的定义。对欧洲而言, 细胞来源肉类可适用于欧盟新型食品监管途径。虽然食品安全局已经批准转基因食品的生产, 但要经过全面的安全评估, 许多欧洲国家(例如法国、德国、希腊)已经禁止生产和销售转基因食品。

## 2.2. 技术研发

### 2.2.1. 生产流程

图7: 细胞培养肉生产流程图

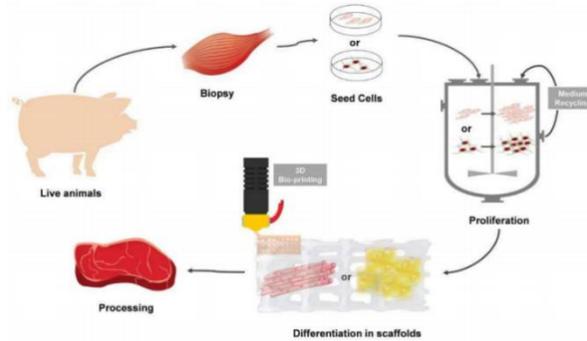


图3 细胞培养肉生产流程示意图

数据来源:《细胞培养肉生产技术、监管和大众接受的发展趋势及前景》, 东吴证券研究所

细胞来源肉类的产生涉及 4 个核心部分: 肌肉和脂肪细胞的分离和培养、培养基配方(无外源动物蛋白成分)、支架开发和生物反应器设计。

表7: 细胞肉生产技术步骤介绍

步骤	简要介绍
细胞系	干细胞的有利特性包括永生性、增殖能力、不依赖于粘附、血清独立和易于分化成组织。然而, 这些特征的自然存在可能因细胞种类和来源而异。因此必须调整体外培养以满足特定细胞系的确切需求。关于永生, 细胞可以分裂的次数是有限的, 这是由它们的端粒帽(补充核苷酸)决定的在染色体末端添加碱基。随着每次分裂, 端粒帽逐渐缩短, 直到什么都没有, 在这种情况下, 细胞停止分裂。通过诱导多能性, 可以延长端粒帽, 从而使细胞无限分裂。可以通过在局部麻醉下对动物进行活组织检查以收集细胞, 也可以从二级来源, 例如冷冻保存的培养物。
生长培养基	一旦细胞系建立起来, 就将它们浸入培养基中以诱导它们增殖。培养基通常由为细胞提供必要的碳水化合物、脂肪、蛋白质和盐的基础培养基配制而成。一旦一个细胞消耗了足够的量, 它就会分裂, 并且数量呈指数增长。培养基可以添加添加剂, 例如血清, 提供额外的生长因子。生长因子可以是在调节细胞过程中至关重要的分泌蛋白或类固醇。一旦分化开始, 肌肉纤维开始收缩并产生乳酸。细胞吸收营养和增殖的能力部分取决于其环境的 pH 值。随着乳酸在培养基中积累, 环境将逐渐变得更加酸性并低于最佳 pH 值。因此, 必须经常更新培养基。这有助于刷新基础培养基中的营养浓度。
脚手架	对于结构化肉类产品——以整体结构和细胞类型为特征的产品——必须将细胞接种到支架上。脚手架本质上是一种模具, 旨在反映和鼓励细胞组织成一个更大的结构。当细胞在体内发育时, 它们会受到它们与细胞外基质(ECM)相互作用的影响。ECM 是负责将机械和生化信号传递给细胞的糖蛋白、胶原蛋白和酶的 3 维网格。脚手架需要模拟 ECM 的特性。
脚手架主要特性	<p>孔隙率 孔是支架表面上的微小开口。它们可以在生物材料的表面上产生, 以释放可能干扰组织发育的细胞成分。它们还有助于将气体和营养物质扩散到贴壁细胞的最内层, 从而防止形成“坏死中心”(当未与培养基直接接触的细胞因缺乏营养物质而死亡时产生)。</p> <p>血管化 在植物中发现的血管组织包含负责内部运输液体的器官。它形成了自然拓扑结构, 通过</p>

	复制成肌细胞的自然生理状态，提供了一种促进细胞排列的低成本方式。它还可能有助于气体和营养交换。
生化性质	支架的生化特性应与 ECM 的相似。它必须通过纹理质量或化学键合来促进细胞粘附。此外，它必须产生促进细胞分化的化学信号。或者，该材料应该能够与具有这些功能特性的其他物质混合。
结晶度	材料的结晶度决定了硬度等品质。高结晶度可归因于氢键，这反过来又增加了热稳定性、拉伸强度（对于保持支架的形状很重要）、保水性（对于水合细胞很重要）和杨氏模量。
退化	某些材料会降解成对细胞有益的化合物，尽管这种降解也可能无关紧要或有害。降解允许从成品中轻松去除支架，只留下动物组织，从而增加其与体内肉类的相似性。这种降解可以通过暴露于某些不影响肌肉组织的酶来诱导。
可食性	如果支架无法从动物组织中取出，则必须可食用以确保消费者安全，如果它们是由营养成分制成的，那将是有益的。自 2010 年以来，学术研究团体和公司纷纷涌现，以寻找具有合适支架特性的原材料。
纤维素	纤维素是自然界中含量最丰富的聚合物，并提供植物叶子的外骨骼。由于它的丰富性，它可以以相对较低的成本获得。它还具有通用性和生物相容性。通过称为“脱细胞”的过程，它被涂上表面活性剂，从而产生孔隙。这些孔释放植物的细胞成分，变成脱细胞的植物组织。通过交联（形成共价键在单个聚合物链之间将它们保持在一起）可以改变植物组织的机械性能，使其更接近肌肉组织。这也可以通过将植物组织与其他材料混合来完成。另一方面，脱细胞植物组织通常缺乏哺乳动物的生化线索，因此需要用补偿性功能蛋白包裹。裸支架和具有胶原蛋白或明胶涂层的相同支架之间的 C2C12 生长没有显着变化然而，接种效率（细胞附着在支架上的速率）提高了。脱细胞植物组织的一个优点是叶脉管系统提供的自然地形。这有助于复制促进细胞排列的成肌细胞的自然生理状态。这样做的其他方法通常相当昂贵，包括 3d 打印、软光刻和光刻。血管化还可以帮助克服 100-200nm 培养基扩散到细胞中的限制，这些细胞通常会在肌肉团中产生坏死中心。另一种方法是使用支持血管生成（新血管发育）的多孔支架。虽然这已被证明适用于 Apple Hypanthium，并非所有植物都几乎一样多孔。植物纤维素的替代品是细菌纤维素，它通常比植物纤维素更纯，因为它不含木质素和半纤维素等污染物。细菌纤维素在其聚合物链之间具有更多的氢键，因此具有更大的结晶度。它还具有更小的微纤维，使其能够保留更多的水分并具有更小的孔隙。该物质可以使用废弃的碳水化合物生产（这可能使其生产成本更低），它增加了乳化肉的多汁性和咀嚼性（这意味着即使它不能从最终产品中取出，它也会有助于到纹理轮廓）。
甲壳素	几丁质是自然界第二丰富的聚合物。它存在于甲壳类动物和真菌的外骨骼中。随着细胞农业试图结束对动物的依赖，从真菌中提取的几丁质引起了人们的更大兴趣。壳聚糖是通过称为碱性脱乙酰化（取代某些氨基酸基团）的过程从几丁质中提取的。这一过程的程度决定了壳聚糖的物理和化学性质。壳聚糖具有抗菌特性；特别是对浮游细菌和生物膜有杀菌作用，对革兰氏阴性菌有杀菌作用大肠杆菌等细菌。这很重要，因为它可以在不使用抗生素的情况下中和潜在的有害化合物，而许多消费者都避免使用抗生素。壳聚糖与糖胺聚糖的相似性以及糖蛋白和蛋白聚糖之间的内部相互作用使其具有高度的生物相容性。它可以很容易地与其他聚合物混合，以选择更多的生物活性因子。壳聚糖的一个潜在缺点是它在溶菌酶（天然存在的酶）存在下会降解。但是，这可以通过脱乙酰化来抵抗。这并不完全是负面的，因为通过降解产生的副产物具有抗炎和抗菌特性。将细胞依赖于基质的结构与退化相匹配是很重要的。
胶原蛋白	胶原蛋白是构成人体结缔组织主要结构的蛋白质家族。它通常来源于牛、猪和鼠源。细胞农业通过使用能够产生构成胶原蛋白的氨基酸重复序列的转基因生物来克服这种依赖性。胶原蛋白以 I 型胶原蛋白的形式自然存在。它已被生产为具有地形线索和生化特性的多孔水凝胶、复合材料和基材。通过重组蛋白生产已经生产出合成种类的胶原蛋白——II 型和 III 型胶原蛋白、原弹性蛋白和纤连蛋白。这些蛋白质的一个挑战是它们不能在翻译后进行修改。然而，另一种原纤维蛋白已在缺乏胶原蛋白生化线索的微生物中分离出来，但具有其基因可定制性。重组胶原蛋白生产的一个重点是产量优化——如何最有效地生产它。植物，尤其是烟草，看起来是最好的选择，然而，细菌和酵母也是可行的替代

品。纹理大豆蛋白是一种大豆粉产品，通常用于支持牛细胞生长的植物性肉类。其海绵质地可实现有效的细胞接种，其孔隙率可促进氧气转移。此外，它在细胞分化过程中降解释为对某些细胞有益的化合物。

## 菌丝体

菌丝体是蘑菇的根。Alst Foods Co.正在使用固态发酵在菌丝体支架上培养蘑菇组织。他们收获这种组织并用它来制造培根类似物。

## 纳米材料

纳米材料在纳米尺度上表现出独特的特性。总部位于伦敦的 Biomimetic Solutions 正在利用纳米材料来制造支架。澳大利亚珀斯的 Cass Materials 正在使用一种名为 Natade Coco 的膳食纤维（源自椰子）为其 BNC 支架制造纳米纤维素海绵。Natade Coco 具有生物相容性、高孔隙率、促进细胞粘附且可生物降解。

## 旋转

浸入式喷射纺丝是一种通过将聚合物纺成纤维来制造支架的方法，它是由哈佛大学的帕克集团开发的。他们的平台使用离心力将聚合物溶液通过旋转容器中的开口挤出。在挤出过程中，溶液会形成一个射流，当它穿过气隙时会拉长并对齐。射流被引导到涡流控制的沉淀浴中，化学交联或沉淀聚合物纳米纤维。调整气隙、旋转和溶液会改变所得纤维的直径。这种方法可以用 PPTA、尼龙、DNA 和纳米纤维片旋转支架。由藻酸盐制成的纳米纤维支架明胶能够支持 C2C12 细胞的生长。兔和牛主动脉平滑肌成肌细胞能够粘附到明胶纤维上。它们在较短的纤维上形成聚集体，在较长的纤维上排列组织。Matrix Meats 正在使用静电纺丝，一种利用电力将带电聚合物转化为支架纤维的工艺。他们的支架允许肉类大理石花纹，与多种细胞系兼容，并且可扩展。

## 增材制造

另一种构造肌肉组织的建议方法是增材制造。这种技术在制造由塑料、尼龙、金属、玻璃和其他合成材料制成的物体的工业应用中得到了完善。该过程最常见的变化包括将细丝逐层沉积到床上，直到物体完成。这种方法很可能最适合培养肉的应用，而不是其他类型，如粘合剂喷射、材料喷射或立体光刻，需要特定种类的树脂或粉末。肌肉细胞的细丝可以打印成类似于成品肉制品的结构，然后可以进一步加工以使细胞成熟。这项技术已在 3D 生物打印解决方案和 Aleph Farms 之间的合作中得到证明，Aleph Farms 使用增材制造在国际空间站上构建火鸡细胞。3D 生物打印已被用于生产类似牛排的培养肉，由三种类型的牛细胞纤维组成，细胞纤维的组装结构与原肉相似。

## 生物反应器

支架放置在生物反应器内，以便细胞生长和特化。生物反应器是类似于啤酒罐的大型机器，它将细胞暴露于促进增殖或分化所必需的多种环境因素。生物反应器的温度必须在体内条件下复制。对于哺乳动物细胞，这需要加热到 37 摄氏度。或者，昆虫细胞可以在室温下生长。大多数生物反应器的二氧化碳浓度保持在 5%。细胞可以在连续或分批补料系统中培养。前者需要在一个恒定的过程中接种和收获细胞，以便生物反应器中始终有细胞。分批补料系统意味着在一个时期内接种细胞、培养它们并收获它们。

搅拌罐生物反应器是最广泛使用的配置。叶轮增加流量，从而使培养基均质化，扩散器促进氧气交换到培养基中。该系统通常用于悬浮培养，但如果包含微载体，则可用于需要附着到另一个表面的细胞。固定床生物反应器通常用于贴壁培养。它们具有纤维条，这些纤维条被挤在一起形成细胞可以附着的床。充气培养基在床中循环。在气升式生物反应器中，使用气泡将培养基充气成气态，然后将气泡分散并分散在细胞中。灌注生物反应器是连续培养的常见配置。

## 发酵

细胞农业包括“无细胞农业”，它涉及生产由非生物材料合成的动物产品。此类产品包括由各种蛋白质而非细胞制成的牛奶、蜂蜜、鸡蛋、奶酪和明胶。在这种情况下，这些蛋白质必须像重组蛋白质生产、酒精酿造以及豆腐、豆豉和酸菜等许多植物性产品的生产一样进行发酵。蛋白质由特定基因编码，编码感兴趣蛋白质的基因被合成到质粒中——双螺旋遗传信息的闭环。然后将这种称为重组 DNA 的质粒插入细菌样本中。为此，细菌需要有能力（即能够接受外来的细胞外 DNA）并能够水平转移基因（即将外来基因整合到其自身的 DNA 中）。水平基因转移在真核生物中比原核生物更具挑战性生物体，因为前者同时具有细胞膜和核膜，质粒需要穿透而原核生物体只有细胞膜。出于这个原因，原核细菌经常受到青睐。为了使这种细菌暂时能够胜任，可以将其暴露于氯化钙等盐中，这种盐可以中和细胞膜磷酸盐头上的负电荷以及质粒上的负电荷，以防止两者相互排斥。细菌可以在温水中孵育，在细胞表面打开大孔，质粒可以通过这些孔进入。接下来，细菌在糖中发酵，促进其生长和复制。在此过程中，它表达其 DNA 以及产生蛋白质的转移质粒。

最后，将溶液纯化以分离出残留的蛋白质。这可以通过引入针对感兴趣的蛋白质产生的抗体来完成，该抗体将杀死不含该蛋白质的细菌细胞。通过离心，溶液可以以足够的力绕轴旋转，从而将固体与液体分离。或者，它可以浸泡在缓冲离子溶液中，该溶液利用渗透作用从细菌中浸出水并杀死它们。

数据来源：维基百科，东吴证券研究所

### 2.2.2. 技术难点

(1) 种子细胞的选择：在细胞组织培养过程中，种子细胞的选择一直是研究的重点和难点之一。理论上种子细胞的选择范围非常广泛，无论是猪、牛、羊等哺乳动物细胞，鸡、鸭、鹅、鱼、昆虫等非哺乳动物，还是其他任何可食用的动物细胞，只要具有可靠的健壮连续细胞系，都可以在规模反应器中培养动物肌肉或器官细胞生产肉类。然而如何获得大量均一种子细胞并进行持续高效稳定地增殖分化，并实现规模化生产仍然面临着严峻的挑战。

目前，动物组织工程研究中主要使用 2 种子细胞。一种是以原始组织或细胞株为原料，利用基因工程或化学物理方法诱导突变，筛选无限增殖细胞。持续增殖的细胞可以减少对新鲜组织样本的依赖，增加细胞增殖和分化的速率。该过程通常是通过表达病毒癌基因、端粒酶逆转录以及两者结合使用来实现，然而培养过程中的基因表达以及逆转录过程易发生识别错误，进而导致遗传和表型不稳定。此外，通过基因工程对细胞进行无限增殖培养可能会造成染色体不稳定，比如在传代之后造成不可逆的关键基因或者性状的丢失。目前，虽然转基因植物产品正在逐步被大众所接受，但是转基因动物细胞培养仍存在未知的风险，其食用安全性也是限制其发展的重要因素。另一种来源是从组织中分离出干细胞，如胚胎干细胞、肌肉干细胞或间充质干细胞。从理论上讲，各种干细胞可以无限增殖，但是在增殖过程中细胞突变的积累往往会影响扩展能力，造成细胞衰老。

目前科研工作者从细胞自身基因和外界刺激因素，寻找方法培育可以长期传代培养、无限分裂增殖的细胞系。YANG 等以猪成肌细胞为试验材料，成功诱导成肌细胞分化为肌管。王红娜等采用胶原蛋白酶 I 消化绵羊胎儿细胞分离成肌细胞，成功地获得了高纯度绵羊成肌细胞系。陈凯凯等利用 I 型胶原酶消化鸡胚胸肌，成功分离培养了肉鸡成肌细胞。周学亮等诱导重编程三黄鸡体细胞，优化了诱导多功能干细胞的培养条件，使体细胞保持良好的生长状态。但诱导多功能干细胞目前仍处于起步阶段，存在诱导成功率低，诱导细胞纯度低以及基因漂移等问题。

(2) 细胞的增值与分化：细胞增殖的目的是使种子细胞获得最大的细胞数量，即最大限度地增加细胞的增殖倍数。细胞培养肉的生产需要细胞大量高效的增殖才能获得足够多的产品。为保证肉类生产的安全性和高效性，在细胞培养过程中，需要严格控制成千上万的变量，这些变量会直接影响到种子细胞的增殖。目前最大的挑战是定义每一个变量的水平，例如营养液的成分比例、生理生化条件等，以及各变量之间的相互作用

用。这些变量以及变量之间的相互影响主要是通过反复实验获得，随着研究的进行，生产细胞培养肉的系统方法逐步建立完善。

研究已经证实，通过体外补充营养液，可以维持细胞正常的生长繁殖以及有限次数的增殖，然而要维持细胞多次的传代分裂仍然面临着诸多挑战。不同的种子细胞的体外增殖能力不同，利用理化刺激、基因突变、病毒感染等外界刺激促使细胞体外无限增殖的不衰老细胞株建立永生化细胞系。通过诱导多能干细胞，可以诱导体细胞的重编程而获得可不断自我更新且具有多向分化潜能的细胞，从而实现类似于胚胎干细胞的无限增殖。大多数成体干细胞分裂能力是有限的，生理条件下的细胞增殖极限(海弗里克极限)是 50~60 次，但实际上体外培养的细胞远远达不到这个分裂潜能。突破细胞增殖限制是增强细胞持续增殖的有效途径。

细胞培养肉不仅需要大量的细胞数量，还需要大量分化的肌肉细胞来形成组织。为了更好的模拟真实肉类的结构，HOCQUETTE 等通过肌肉细胞和脂肪细胞共同培养发现：通过调节细胞生长环境调控脂肪细胞的含量，可以控制肉类的纹理。因此，通过精确调整培养条件，引导细胞的分化方向，可实现不同蛋白含量细胞培养肉的定制生产。但细胞分化受多种因素影响，不同种类来源的细胞分化条件不同，引导细胞分化的条件因素仍需探索，以便掌握精确控制细胞分化的方向和节点。

(3) 培养基的选择：选择合适的培养基是细胞培养肉面临的另一挑战。细胞培养肉对培养基有 3 个基本要求：首先，培养基能够维持和促进细胞的正常生长；其次，培养基材料应安全可食用，符合食品安全要求；此外，培养基能够规模生产、大量供应且成本低。体外培养的细胞通常采用的是合成培养基，合成培养基常需要添加一些生物提取液才能维持细胞的正常生长分裂。小牛血清因其来源丰富易保存而成为常用的合成培养基添加物，其成分主要包括生长因子、黏附因子、结合蛋白、维生素、矿物质、激素以及部分未知成分等真核细胞生长所必需的物质。然而，由于血清来源于动物体内，依然是病原体的潜在载体，且采集过程中存在杂质污染风险，不同批次质量差异较大等风险，影响细胞生长，采集血清还可能引起伦理等问题。因此，标准化的培养基和完全不含动物源性成分的无血清培养基研究和应用日益受到重视。

无血清培养基是成分完全明确的血清替代品，相比血清培养基，无血清培养基具有质量稳定可控、可调，安全性高，有利于细胞分化纯化等特点。随着研究的深入以及无血清培养基配方的调整，目前无血清培养基在细胞生长速率、细胞密度以及转化率都不亚于血清培养基，并且通过改变无血清培养基组分可定向改变细胞增殖分化方向。鉴于上述种种优势，随着技术的逐步成熟，无血清培养基可替代一部分血清培养基。但是无血清培养基并不是完美的，每类型的细胞需要一种培养基配方，培养基对细胞系有一定的选择性，因血清中可能有保护、解毒杀菌的蛋白，在无血清的环境下对无菌要求更高。根据目前的实验，虽然无血清可以培养细胞正常增殖生长，但存在细胞生长缓慢，传代

次数减少的现象。因此，无血清培养技术仍然存在适应性窄、易受理化因素影响、难保存等不足之处，需要进一步研究攻克这些难题，随着生物学、生物材料科学以及微生物学的快速发展，无血清培养技术将逐步完善，推动细胞培养肉研究进展。

(4) 反应器与支架系统：反应器是根据细胞的生长特性，利用酶或生物体所具有的生物功能，模仿天然组织结构的生长环境，实现体外细胞规模化培养的关键设备。因动物细胞培养大多具有贴壁生长的特性，只有足够大的表面积才能生产大量的细胞，因此，细胞培养肉的生产常需要中大型生物反应器进行大规模分化增殖培养。当然小型的反应器也具备中大型反应器所不具备的优势：如多个小单元反应器具有更大的灵活性，能够应对市场需求的波动；此外，当反应体系出现污染时，能及时阻断污染扩散，更容易控制损失，小型反应器也是细胞培养器的首选。进行体外细胞培养时除了考虑反应器的大小，还应考虑反应器的传热、传质效率。良好的反应器不仅具有较高的传质传热效率，还应在保持培养液低剪切力的前提下，保证大体积灌注的均匀性。体外细胞培养不仅对反应器本身设计要求高，对反应器控制系统要求也极其严格。目前，反应器控制技术主要受限于微机电技术以及微流控技术的发展，模拟真实的体内生长环境仍有距离。大规模细胞培养仍未出现，这可能是反应器技术受限以及细胞培养肉规模扩大产生的效应问题。

支架系统作为反应器的重要组成部分，灌注在培养基中，为胚胎成肌细胞或骨骼肌卫星细胞增殖分化提供必要的附着体和载体。为了优化肌肉细胞和组织形态结构，不同支架系统在形状、组织和特征上各不相同。支架系统根据其材料可食用性分为可食用和不可食用支架。可食用的材料一般是采用一些天然材料，因为其可食用性培养后无需拆除。不可食用的材料可以是一些具有特殊功能特性的新生物材料，如促进细胞的增殖分化、蛋白合成、骨骼肌收缩等，但其培养后需要与培养肉进行分离。理想的支架系统应有一个大的生长和附着表面积，为细胞提供足够的生长空间。由于成肌细胞具有自发收缩的特性，因此，支架材料应有一定的收缩特性，能够灵活地适应肌肉收缩运动，最大限度的使培养基扩散，并且不可食用材料应易于从培养肉中分离。细胞培养技术要求支架可以模拟体内环境，成肌细胞增殖分化才能达到最佳状态。所以，支架系统的研究方向是开发出可食用(或者不可食用但易于剥离的)、具有柔性、可机械拉伸且可被细胞附着材料。

目前，适用于构建网络分支的支架系统的可食用材料较少。MACQUEEN等在交联明胶纤维支架上成功培养了牛主动脉平滑肌细胞和兔骨骼肌成肌细胞。交联明胶纤维是动物源性的可食用材料，与其他常用材料如聚乳酸、聚乳酸-羟基乙酸等相比具有明显优势，但是目前的实验室产品肌肉纤维含量偏低，成熟度有待提升，对体外细胞培养肉来说肌肉纤维和脂肪细胞合理搭配仍然存在挑战。不可食用的支架系统主要技术挑战是支架与培养肉的分离，培养细胞片通常以机械或酶法进行分离，但这2种方法通常会损害细胞和细胞外基质。DASILVA等设计出一种热响应涂层，该涂层在较低的温度下会从疏水性

变为亲水性，并在冷却后释放完整的培养细胞和细胞外基质薄片，为堆叠法生产培养肉带来了希望。然而，该技术目前仍然只能培养出简单的细胞薄片，制造具有类似组织形状的复杂几何结构的细胞片仍然面临挑战。

此外，支架系统还应该具有较好的传质特性。为了加快营养介质的交换，可以加快营养介质流速和扩大支架材料孔径，但随着流速的提升，剪切应力也显著增大，剪切应力的增大将影响细胞、组织以及机体的正常生理状态，因此需要控制适宜的流速维持细胞的正常增长。受限于细胞的大小，支架材料孔径大小提升同样受到限制。为了更好地提供传质性，LEVEBERG 等将成肌细胞，胚胎成纤维细胞和内皮细胞在可降解支架上共培养，成功地在骨骼肌组织构造形成内皮血管网络，使正在生长的组织血管化。但在培养过程中需要使用化学或生长因子等诱导剂，存在致畸致癌风险以及病毒引入等不利食品安全的因素，因此安全高性仍有待提升。目前支架系统技术仍在起步阶段，大规模细胞培养的支架系统仍受很多技术限制，大规模商用仍然需要新生物材料的研发。

## 2.3. 竞争格局

### 2.3.1. 细胞肉行业部分公司

表8: 细胞肉行业部分公司

公司	成立时间	成立地区	研究领域	近期成本	概念验证时间	试验工厂	进入市场时间
Balletic Foods		美国					
Shojinmeat Project		日本					
Eat Just	2011	美国	肉类	50 欧元/鸡块 (2020.01 宣布)	2017 年 12 月	在建中 (2020.01)	2020 年 12 月 进入餐厅
IntegriCulture, Inc.	2015	日本	鹅肝	20,000 日元/公斤 (2019.07 宣布)	2021	2021 (2020.07 宣布)	
Mosa Meat /Maastricht University	2015	荷兰	牛肉	60 欧元/公斤 (2017.02 目标数字)	2013 年 8 月	安装中 (2020.05)	2022 (2020.02 宣布)
SuperMeat	2015	以色列	禽类	35 美元/汉堡 (2020.12 宣布)	2018	2020 年 11 月	实验餐厅 (2020.11)
Upside Foods	2015	美国	禽类	1,700 美元/磅 (2018.02 宣布)	2016 年 2 月	2021 年 11 月 4 日	大约 2020 年 (2017.02 宣布)
Appleton Meats	2016	加拿大	牛肉				
Finless Foods	2016	美国	金枪鱼	7,000 美元/磅 (2018.02 宣布)	2017 年 9 月	在建中 (2021.10)	2022
SavorEat	2016	以色列	牛肉				2021 年中 (2020.05 宣布)
Wildtype Foods	2016	美国	三文鱼		2019 年 7 月	2021 年 6 月 24 日	

Aleph Farms	2017	以色列	牛肉	约 3,000 美元/公斤 (2019.11 宣布)	2018 年 12 月	在建中 (2021.11)	2022 (2021.11 宣布)
BioTech Foods	2017	西班牙	猪肉	100 欧元/公斤 (2019.07 宣布)		2020	2024 年中 (2021.12 宣布)
Future Fields	2017	加拿大	培养基				
Heuros	2017	澳大利亚	宠物食物				
Higher Steaks	2017	英国	猪肉	近千英镑/公斤 (2020.07 宣布)	2020 年 7 月		
Because Animals	2018	美国	宠物食物		2019 年 5 月		2022 (2020.08 宣布)
Biftek	2018	土耳其	培养基				
BioBQ	2018	美国	Scaffolding (棚架)			2022	
BlueNalu	2018	美国	海鲜			2019 年秋季	
Cell Ag Tech	2018	加拿大	肉类				
Cell Farm Food Tech	2018	阿根廷	肉类				
Cubiq Foods	2018	西班牙	脂肪			2019 年 9 月	
Fork & Goode	2018	美国	肉类				
Future Meat Technologies	2018	以色列	肉类	10 美元/磅 (2020.02 目标数字)	2019	2021 年 6 月	2022 (2019.10 宣布)
Meatable	2018	荷兰	猪肉		2020 年末	准备中 (2021.09)	2023 (2021.04 宣布)
New Age Meats	2018	美国	猪肉		2018 年 9 月	在建中 (2021.10)	2022
Shiok Meats	2018	新加坡	虾	3,500 美元/公斤 (2020.10 宣布)	2019		2021 (2020.03 宣布)
Artemys Foods	2019	美国	肉类			2020 年秋季	
Clear Meat	2019	印度	禽类	825 卢比/鸡 (2020.11 宣布)			2022 (2019.09 宣布)
Gaia Foods	2019	新加坡	红肉类				
Gourmey	2019	法国	鹅肝				
Matrix Meats	2019	美国	Scaffolding (棚架)			2020	

MeaTech	2019	以色列/比利时	鹅肝	15,000 欧元/公斤 (2020.05 宣布)	2020 年 3 月 4 日	在建中; 预计 2022 建成 (2021.05 宣布)	2023 (2019.12 宣布)
Motif FoodWorks	2019	美国	牛肉		2020 年末 (2020.08 宣布)		2021Q4 (2020.10 宣布)
Multus Media	2019	英国	培养基		2019 年 10 月		
Vow	2019	澳大利亚	袋鼠肉	1,350 美元/公斤 (2019 年 8 月宣布)	2019 年 8 月		2022 进入餐厅 (2019.10 宣布)
Ants Innovate	2020	新加坡	猪肉				
CellX	2020	中国	猪肉		2021		(到 2025 年) 旨在实现与传统来源的猪肉的成本平价
Hoxton Farms	2020	英国	脂肪				
Mirai Foods	2020	瑞典	牛肉	每公斤价格接近“小汽车” (2020.06 宣布)	2020 年 6 月		
Cultured Food Innovation Hub	2021	瑞典	肉类			2022 (2021.09 宣布)	

数据来源: 维基百科, 东吴证券研究所

除了上述公司外, 一些非营利组织如 New Harvest, the Good Food Institute, ProVeg International 和 the Cellular Agriculture Society 也在倡导、资助和研究养殖肉。

### 2.3.2. 细胞肉实验工厂

表9: 细胞肉行业实验工厂

公司	位置	建设情况	产能
Aleph Farms	以色列雷 霆沃特	建设中 (2021.09)	(3000 平方米)
BioTech Foods	西班牙圣 塞瓦斯蒂 安	2020	
Eat Just	加利福尼 亚州旧金 山	建设中 (2020.01)	(20+1200 升生物反应器)
Finless Foods	加利福尼 亚州埃默 里维尔	建设中 (2021.10)	
Future Meat Technologies	以色列雷 霆沃特	2021 年 6 月	每天 500 公斤

Meatable & DSM	荷兰代尔夫特	准备中 (2021.09)	目标到 2025 年, 每天 5000 公斤
MeaTech / Peace of Meat	比利时安特卫普	2020 年 3 月, 2 个实验室	每次生产运行 700 克
	比利时安特卫普	建设中 (2021.05)	
Mosa Meat	荷兰马斯特里赫特	安装中 (2020.05)	每个 200L 生物反应器每月 100 公斤 (1,200 公斤/年) (可扩展至 180,000 公斤/年)
New Age Meats	加利福尼亚州阿拉米达	建设中 (2021.10)	(20,000 平方英尺)
SuperMeat	以色列 Ness Ziona	2021 年 11 月	每周 “数百公斤” (2021.06)
Upside Foods	加利福尼亚州埃默里维尔	2021 年 11 月 4 日	每年 22,680 公斤 (可扩展至 181,440 公斤/年)
Wildtype Foods	加利福尼亚州旧金山	2021 年 6 月 24 日	每年 22,680 千克鲑鱼 (可扩展至 90,718 千克/年)

数据来源: 维基百科, 东吴证券研究所

### 3. 年度投资主线

2020 年全球经历新冠肺炎疫情的洗礼, 经济活动遭受严重影响, 需求不景气导致原油价格大幅下跌, 通过向下游传导, 大宗化工品的价格持续低迷。我国在党和政府正确领导下, 国内疫情防控取得良好成绩, 企业已经适应疫情下的常态化生产经营, 需求端的持续恢复促进化工品的被动去库存, 同时海外需求的逐步恢复与供给不足之间的矛盾为我国商品的出口提供有利条件, 八、九月份以来多个化工子行业迎来主动补库存周期, 中国化工品价格指数 (CCPI) 由 2020 年 7 月 31 日的 3485 点, 提升至 2020 年 12 月 25 日的 4229 点, 涨幅达到 21.35%。

**周期主线: 经济复苏带动顺周期化工品盈利能力的改善。**2020 年 12 月 31 日, 国务院联防联控机制发布, 国药集团中国生物的新冠病毒灭活疫苗已获国家药监局批准附条件上市, 我国分批次实现新冠疫苗的全民免费接种。与此同时, 日本、美国、沙特和俄罗斯均表示其本国民众将免费接受新冠疫苗注射。随着世界范围内新冠疫苗的获批上市, 疫情对经济的影响将大大减弱, 经济复苏或成 2022 年的主基调, 顺周期化工品盈利能力有望迎来持续修复。

**成长主线: 技术应用创新趋势&市场扩容, 细分成长赛道。**无论是特朗普政府还是新上台的拜登政府, 中美贸易关系难回从前, 在中国不断高速发展的背景下, 美国对中国高科技产业的打压将是持续的。因此, 我国高科技产业链的技术应用创新趋势也将是

我国产业发展的长期路径，从化工行业角度来看，配套芯片等产业的电子化学品国产化率提升值得期待。技术应用创新趋势之外，部分细分市场受政策等影响，市场空间有望在短期内大幅增加，如“禁塑令”下的可降解塑料市场、国六排放标准下的汽车尾气处理市场，《建设工程抗震管理条例》下的减隔震市场，短期内的市场扩容为早期进入市场的行业龙头带来快速发展的机会。

#### 4. 风险提示

**原油供给大幅波动：**受中东局势不确定性影响，中东各产油国的原油供给可能出现大幅波动；

**贸易战形势继续恶化：**中美双方互加关税增加贸易壁垒提升出口贸易压力，涉及出口业务的企业受此影响；

**汇率大幅波动的风险：**受贸易战影响，人民币兑美元汇率出现大幅波动，对相关标的外汇管理带来一定考验；

**下游需求回落的风险：**全球避险情绪上升，下游需求有疲软态势，周期性行业首当其冲。

## 免责声明

东吴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。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下，东吴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。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出处为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

## 东吴证券投资评级标准：

### 公司投资评级：

- 买入：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在 15% 以上；
- 增持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于 5% 与 15% 之间；
- 中性：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于 -5% 与 5% 之间；
- 减持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于 -15% 与 -5% 之间；
- 卖出：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在 -15% 以下。

### 行业投资评级：

- 增持：预期未来 6 个月内，行业指数相对强于大盘 5% 以上；
- 中性：预期未来 6 个月内，行业指数相对大盘 -5% 与 5%；
- 减持：预期未来 6 个月内，行业指数相对弱于大盘 5% 以上。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街 5 号

邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

