

细胞培养肉氨基酸 成本与供应链分析



作者

Marie Gibbons(理学硕士) 独立细胞培育肉科学家
<https://www.mariegibbonsconsulting.com>

Amanda Bess (博士) 分析项目资深经理

Elliot Swartz *(博士) 资深细胞培育肉首席科学家

* 通讯作者:elliots@gfi.org

引用来源:

Gibbons, M., A. Bess, and E. Swartz 著。《细胞培养肉氨基酸成本与供应链分析》; 华盛顿特区: Good Food Institute, 2025年。<https://doi.org/10.62468/xcyj6040>

平面设计及文稿编辑: Kelli Crowsigt, Emily Hennegan, Joe Gagyi, Tara Foss

译者: Nanning Oldhand Translation Service Co., Ltd.

GFI 简介

The Good Food Institute 是一家非营利性智库, 致力于推动全球食品体系向着更有利于地球、人类与动物的方向发展。该研究所的团队与科学家、企业及政策制定者携手合作, 专注于让植物基、发酵基及细胞培养肉更加美味、平价且普及。在慈善捐赠的支持下, Good Food Institute 构建了一个国际组织网络, 致力于推动替代蛋白作为应对全球气候、公共卫生、粮食安全和生物多样性目标的重要解决方案。Good Food Institute 的所有工作均得益于全球捐赠者社区的慷慨赠款与资助。如您有意了解更多关于支持 Good Food Institute 的信息, 请联系 philanthropy@gfi.org。欲了解更多详情, 请访问 www.gfi.org。

执行摘要

实现经济高效的氨基酸供应,对于推动细胞培养肉(CM)产业规模化发展至关重要。氨基酸是细胞培养肉生产成本的重要驱动因素,这不仅是因为其需求量巨大,更源于在满足规模化生产及食品安全要求下,所需构建的供应链体系极为复杂。

本白皮书评估了以支撑具备竞争力的细胞培养肉产业所需的成本与规模来供应氨基酸的可行路径。通过对未来氨基酸需求、替代性采购策略以及真实价格数据开展首次此类分析,本报告为从氨基酸供应商到细胞培养肉生产商的各利益相关方提供了关键洞见,助力其在细胞培养肉产业规模化发展进程中,优先聚焦最具影响力的研究及供应链解决方案。

本报告表明,虽然氨基酸仍是主要的成本考量因素,但并非不可逾越的财务障碍。通过积极推动生产规模化、创新开发低成本原材料、以及明确统一的监管要求,细胞培养肉产业完全有能力实现更加经济、规模化和可持续的蛋白质生产。

研究方法

- 1.收集数据与见解:通过对供应链各环节利益相关方进行结构化访谈,包括氨基酸供应商、细胞培养基配方企业、细胞培养肉生产商及水解物专家等。
- 2.建模氨基酸用量:基于商业化培养基配方及氨基酸需求量估算(每公斤细胞培养肉需200克-650克总氨基酸),对生产25万吨细胞培养肉所需的总氨基酸用量及各类氨基酸用量进行建模分析。
- 3.估算氨基酸成本占比:依据实际报价获取的两档食品级氨基酸价格,以及基于供应商汇总数据得出的一档饲料级氨基酸价格,估算每升培养基及每公斤细胞培养肉中氨基酸的成本占比。
- 4.评估替代性原材料潜力:评估50种原材料及水解物作为大规模氨基酸供应来源的潜力,并测算水解物与发酵来源氨基酸展开竞争所需的价格门槛。

主要发现

氨基酸成本显著低于此前预估

食品级与饲料级氨基酸的实际报价较此前一项被广泛引用的研究(Humbird, 2021)中所使用的数值最高可低至其十分之一。如果行业能够以较低档位的食品级价格采购氨基酸,并实现高效生产,则氨基酸成本占比可降至每公斤细胞培养肉5美元以下,较此前约每公斤18至19美元的估算值有显著改善,而后者曾占细胞培养肉生产总成本的一半(Humbird,2021)。根据不同配方及价格,商业化培养基中氨基酸的总成本占比为每升0.02至0.17美元(图1)。这表明每升培养基总成本有望控制在0.20美元以下,与该行业多家企业近期披露的数据相吻合。这些更新的氨基酸价格估算,应作为未来技术经济分析与培养基成本建模的重要现实基准。

图1: FSF4培养基中氨基酸的成本占比(单位: 美元/升)

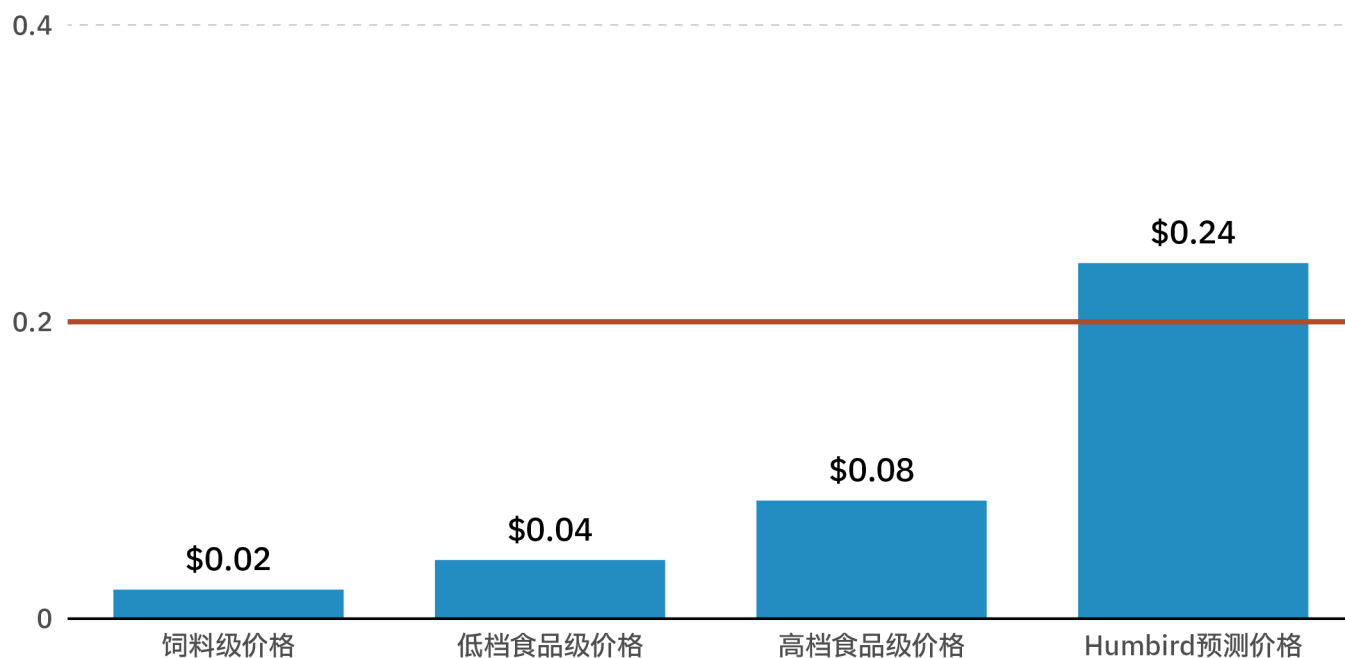
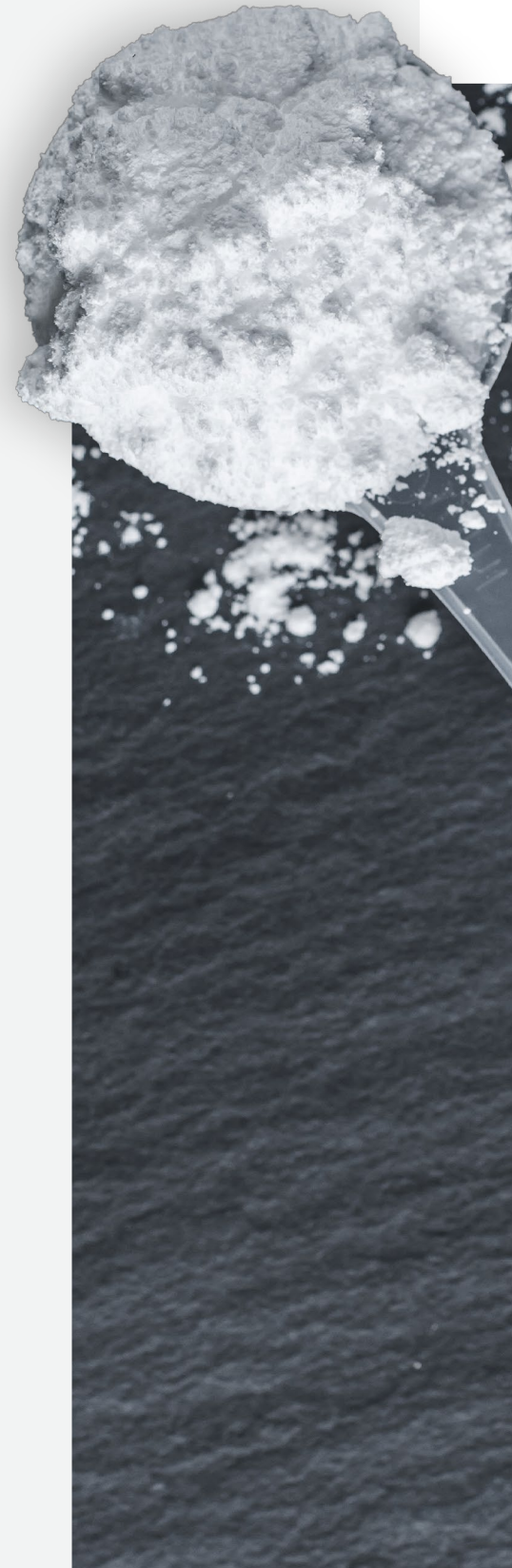


图1列举了在四种不同价格情景下,商业化培养基配方中氨基酸的总成本占比,红色参考线设定为0.20美元/升,用以代表该行业多家企业近期报告的数据。另外一种培养基配方的数据见图6。

2

预计的氨基酸需求量或将对全球供应构成压力

尽管当前氨基酸供应及培养基生产能力足以满足现阶段需求,但这一情况在未来可能迅速改变。当细胞培养肉年产量达到25万吨(相当于全球当前肉类消费量的不到1%)时,氨基酸总需求量预计将达到约5万至16.3万吨。其中,精氨酸、谷氨酰胺和丝氨酸的年需求量预计均将超过1万吨,另有八种氨基酸的年需求量至少达到2200吨。天冬酰胺、谷氨酰胺、组氨酸、脯氨酸、丝氨酸、酪氨酸,以及供应风险程度相对较低的亮氨酸和异亮氨酸,因未来需求可能超过当前产量,被识别为存在未来供应瓶颈的高风险氨基酸。



3

水解物虽存在局限,但长期潜力可观

水解物及原材料在谷氨酰胺、精氨酸、胱氨酸、丝氨酸和天冬酰胺等关键氨基酸方面普遍存在不足,因此需要额外补充。此外,单一水解物难以实际提供其余氨基酸,很可能需要将两种或多种水解物复配使用。即便如此,在模拟情景中,若干水解物复配配方能够满足高达60%的所需氨基酸。要与发酵来源的氨基酸竞争,水解物复配配方的成本需控制在每公斤1.51至11.27美元之间。批次间差异、溶解性问题以及成分数据有限,仍是阻碍其广泛应用的瓶颈。尽管业界对水解物抱有较高热情,且目前在研发项目中已有相关测试,但在上述挑战得到解决之前,近期推出的细胞培养肉产品不太可能依赖水解物作为氨基酸补充来源。

图片来源: Влад Варшавский / Adobe Stock

4

六种氨基酸构成突出的成本与供应风险

丝氨酸、谷氨酰胺、天冬酰胺、组氨酸、脯氨酸和精氨酸这六种氨基酸,因添加比例高、价格较高、全球产量低或生产工艺复杂等因素,成为问题最为突出的氨基酸(参见图2)。其中,丝氨酸尤为显著,其在培养基中占总氨基酸成本的比例约为16%至38%。此外,这六种氨基酸中的大部分难以用水解物替代,短期内仍将依赖发酵工艺。针对这些高影响原料,通过战略性的举措提升生产效率、拓宽供应来源并降低成本,对于产业的长期规模化发展至关重要。

图2: 高风险氨基酸

高风险氨基酸	成本驱动因素	潜在供应瓶颈	难以被水解物替代
精氨酸 (Arginine)	●		●
天冬酰胺 (Asparagine)	●	●	●
胱(半胱)氨酸 (Cyst(e)ine)	●		●
谷氨酰胺 (Glutamine)	●	●	●
组氨酸 (Histidine)	●	●	
异亮氨酸 (Isoleucine)		●	
亮氨酸 (Leucine)		●	
脯氨酸 (Proline)	●	●	
丝氨酸 (Serine)	●	●	●
酪氨酸 (Tyrosine)		●	

图2列举了各种高风险氨基酸,其中关键结果热力图展示了同时具备成本驱动、供应瓶颈及难以被水解物替代特征的氨基酸重叠情况,颜色越浅,风险越低。

行动呼吁

细胞培养肉有潜力通过显著降低生产环境影响、改善公共健康、减轻传统肉类带来的伦理与社会影响,从而变革蛋白质生产方式。实现价格平价是规模化实现上述公共效益的关键一步,而要释放细胞培养肉的全部潜力,必须解决氨基酸成本与供应方面的挑战。为此,需要整个生态系统的协同行动。

以下行动呼吁,为氨基酸供应商、科研人员、细胞培养肉企业、政策制定者及非营利组织提出了具体行动步骤,旨在加速进展,确保细胞培养肉氨基酸供应链的韧性、经济性与可扩展性。

氨基酸供应商

1. 积极监测全球细胞培养肉产量,并前瞻性规划产能,以满足日益增长的氨基酸需求,特别是针对高风险氨基酸(如天冬酰胺、谷氨酰胺、组氨酸、脯氨酸、丝氨酸和酪氨酸)。
2. 提高高风险氨基酸的发酵生产效率和产能,包括精氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、组氨酸、脯氨酸、丝氨酸和酪氨酸等。
3. 与细胞培养肉企业及监管专家合作,共同制定“细胞培养肉级”氨基酸原料规范,确保其符合实际应用需求,并统一内毒素限量、重金属、微生物污染及其他关注杂质的标准,以简化文档资料准备和监管审批流程。
4. 分享氨基酸的生产量数据。目前大多数适用于细胞培养肉的氨基酸的真实产量尚不明确,而更完善的数据对于持续甄别可能存在供应限制的氨基酸至关重要。
5. 分享实际生产过程中食品级与饲料级氨基酸的最新生命周期清单数据,并利用可再生能源以降低环境影响。

科研人员

1. 开发并发布来自商业化生物工艺的实证数据,以完善细胞培养肉的饲料转化率及葡萄糖、谷氨酰胺及其他氨基酸等关键底物的使用效率。
2. 利用本报告中的水解物建模框架,缩小高潜力水解物原料复配配方的筛选范围,为实验验证提供依据。
3. 开发水解工艺,使水解物成为与发酵来源氨基酸相比具有成本竞争力的氨基酸来源(每公斤水解物成本控制在1.51至11.27美元之间)。
4. 建立水解物成分与性能的开放获取数据集,为基于人工智能和机器学习的培养基优化工具提供支持。
5. 与氨基酸供应商合作,更新食品级与饲料级氨基酸生产的环境影响数据,并将其整合至未来的生命周期评估模型中。
6. 探索代谢工程与细胞工程策略,以提高发酵产率及细胞培养肉的饲料转化率,从而降低精氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、组氨酸、脯氨酸、丝氨酸和酪氨酸等高影响氨基酸的成本占比。

细胞培养肉企业

1. 与氨基酸供应商共同制定“细胞培养肉级”氨基酸标准,建立符合实际应用需求的氨基酸质量标准,以简化文档准备与监管合规流程。若放弃这一努力,转而默认采用更高级别的原料,则可能不必要地限制创新,并影响商业化规模下的成本竞争力。
2. 发布商业化培养基配方(包括分化培养基),以提升共享建模与供应链规划的准确性。
3. 发布来自商业化生物工艺的实证数据,以确定细胞培养肉的饲料转化率及葡萄糖、谷氨酰胺及其他氨基酸等关键底物的使用效率。
4. 探索将水解物与发酵来源氨基酸相结合的混合培养基策略,以实现长期的成本优势与可持续性。
5. 在行业内开展协作,建立联合采购策略,以形成清晰、统一的高风险氨基酸需求信号。同步推进“细胞培养肉级”标准的制定,确保整个供应链在同一预期框架下运作。

政府、政策制定者与监管机构

1. 支持“细胞培养肉级”氨基酸标准的制定与推广,简化监管审批流程,实现更具成本效益的原料采购。
2. 通过激励国内氨基酸制造,确立全球细胞培养肉领域的领导地位,包括通过拨款、税收优惠及低息贷款项目降低资本支出负担。将氨基酸制造迁回本土,可减少对集中式国际供应链的依赖与风险,同时创造新的就业机会和经济机遇,利用本地生物物质与原料进行氨基酸发酵。

非营利组织与行业协会

1. 收购已停运初创企业的培养基配方及其他知识产权(如细胞系、生物工艺数据),并将其开源,以增强行业透明度,为建模工作提供支持。
2. 通过资助水解物复配配方验证、原料采购与加工优化、功能性能表征等项目,推动竞争前研发合作。
3. 召集利益相关方,确定并推广“细胞培养肉级”培养基原料标准,促进行业预期与监管需求相协调。
4. 推动建立氨基酸产量、水解物性能及环境影响等共享数据库,以支撑未来建模与投资决策。