

肉类的未来不需要动物？

作者 Liz Specht 博士



细胞培养研究领域的进步使得细胞培养肉商业化即将成为现实。食品安全、食品卫生和可持续发展都会从中受益。

什么是细胞培养肉？为什么这个领域逐渐兴起？细胞培养肉指的是直接通过培养动物细胞的方式产出的真实的动物肉，而不是通过饲养和宰杀动物所取得。肉从本质上而言就是细胞的集合，其中最主要的是肌肉细胞，还包括脂肪细胞等其他不同类型的细胞，这些细胞统称为结缔组织，是肉类结构的重要组成部分。这些细胞都可以在动物体外的受控无菌环境下生长，从而复制肉类的味道和营养。

这个想法已经酝酿了近一百年，但近年来才陆续研发出可用于细胞培养肉商业化生产的工具。这背后的很多技术都来源于其他需要使用动物细胞培养的非相关领域，比如组织工程学、生物制药和细胞疗法。

在工业生物领域，一些生物医学应用(如使用酵母作为宿主细胞生产低成本胰岛素)，经过转化后大规模用于食品行业(利用基本相同的生产平台生产食品加工辅助剂，如“植物基凝乳酶”和其他酶)。类似地，来源于生物医药研究的细胞培养技术，现在也被应用于细胞培养肉研究。得益于长时间的转化研究和开发，利用过去几十年间耗费数十亿美元公共投资的相关领域研究成果(如干细胞生物学和发育生物学)，细胞培养肉的商业化速度显著加快。这项工作有助于深入理解动物体外细胞生长和分化背后的基础生物学原理。

优势广泛

相比于工业化动物肉生产，细胞培养肉又有哪些优势呢？尽管最终是由消费者意愿决定未来产品需求，但在全球范围内将工业化动物肉生产转为细胞培养肉生产仍然会给社会和环境带来巨大益处，这将主要体现在：提高食品安全和全球资源平等性、促进环境保护和可持续发展以及降低公共卫生风险。

由于细胞培养肉生长在封闭受控的环境里，生产过程中无需使用抗生素，因此细胞培养肉不会受沙门氏菌和大肠杆菌等食源性疾病细菌的污染。初步数据显示，细胞培养肉不存在加速腐败的细菌，因此保质期也长于工业化生产肉。这也就意味着可以减少从产地到农贸市场再到消费者的供应链中发生的食品浪费。此外，细胞培养肉不会进一步加剧全球谷物市场的扭曲问题。目前的市场扭曲，主要是因为饲养牲畜需要大量饲料，而肉产品却又主要供给富裕国家消费者。因此，采取更有效率的生产方式可以促进全球食品安全。

从环境角度而言，目前细胞培养肉的生命周期分析主要基于初步假设，但据预估，相较于工业化肉类生产，细胞培养肉的水足迹、土地使用和温室气体排放将呈数量级或断崖式下降。细胞培养肉生产效率的提升以及能源需求的降低，可以通过基础热力学进行解释。传统模式下，动物所摄入的热量需要维持动物本身的新陈代谢、运动、呼吸和维持体温等一系列生命过程，而最终产出的肉产品只占到总摄入热量的一小部分。细胞培养肉的生产就无需如此。因此，一旦细胞培养肉投入规模生产，预计将比目前的工业化畜牧业更具可持续性。



Memphis Meats 2017年公布了细胞培养鸡肉产品。该公司指出，这是历史上第一次使用细胞培养的方式生产禽肉。图片来源：Memphis Meats

最后，细胞培养肉消除了畜牧业造成的两大公共卫生威胁：细菌抗生素耐药性和动物源疾病（动物作为传染源的疾病）。这两大威胁潜在影响巨大，但经常被低估。它们在农场经营集中地区的爆发率更高，某些抗生素耐药基因和动物源疾病的源头也往往能够追溯到动物农场。随着全球化程度越来越高，而我们所拥有的有效抗生素越来越少，这种威胁可能会造成致命性的恶果。这也是为什么世界卫生组织（WHO）于2017年11月发布建议，鼓励减少畜牧业中抗生素的使用。WHO 食品安全与动物源疾病司司长宫城岛一明博士指出：“科学证据证明，畜牧业过度使用抗生素会导致抗生素耐药性。目前，由于对来源于动物的食品需求不断增长，全球畜牧业中抗生素的使用呈上升趋势。”（WHO 2017）。细胞培养肉可以在生产过程中同时规避动物和抗生素两大问题来源。

细胞培养肉的生产

大规模的细胞培养肉生产会是什么样的呢？细胞培养肉需要攻克的技术挑战主要来自四个方面：细胞系开发、细胞培养基、细胞培养支架和产品结构以及用于培养的生物反应器。虽然细胞培养肉目前仍未有生产或中试规模的设备，但细胞疗法和组织工程学大规模细胞培养领域取得的进步，让我们可以对细胞培养生产过程的大致状况有个初步的设想。这一过程将包括两个阶段：一是增殖阶段，也就是细胞大量分裂复制增多的阶段；二是细胞分化和成熟阶段，这个阶段细胞会从增殖细胞转变为目标细胞（肌肉细胞、脂肪细胞等）。每个阶段对四项核心科技都有不同的要求。

- **细胞系开发**：细胞系是大量细胞增殖的起始培养物。起初是通过宰杀后立即进行活体组织检查或从胚胎中直接采集供体细胞。采集后，有多种方式可以保持细胞不断增殖的能力，从而逐渐减少乃至最终完全消除隔离新细胞的必要性。有些公司正在研究几类处于不同分化阶段的细胞，目的是找出哪种细胞能够最好地完成增殖、成熟并转变为目标细胞类型。

细胞培养肉监管概览

各国市场监管情况有所不同，但都应基于以下三个原则。一、监管机构应指定一个主要监督机构。细胞培养肉生产是跨学科的，包括组织工程学、生物医药和细胞疗法，但最终产品是食物。因此，具备专业食品安全相关知识的监管机构最适合担任细胞培养肉的主要监管工作。

二、监管机构需明确告知生产单位需要准备哪些安全数据以及不同的生产方式适用哪种审查模式。细胞培养肉本质上就是肉，因此消费者食用的细胞培养肉安全性标准应与普通工业化畜牧业的肉产品相似。当然，细胞培

养肉中若涉及其他食品供应中没有的成分，如使用了可食用的细胞支架，可能需要进行特殊的安全审查。

三、监管审查不应过于繁琐，而导致细胞培养肉在市场上处于不利地位。细胞培养肉的目标是比工业化生产的动物肉更高效地满足日益增长的人口的食品需求。因此，政府应在确保安全性和保障消费者信心的前提下，为细胞培养肉快速进入市场扫清障碍。同样地，监管机构必须采取改进商品标签规则，使得细胞培养肉能够与其他肉产品健康竞争。

有团队正在研究天然具备较高增殖能力并能够分化为与肉类相关的不同细胞类型（如肌肉、脂肪和结缔组织）的干细胞。也有团队正在研究所谓的成年干细胞，它们的灵活性较低，但可以更高效地分化为所需的细胞类型。未来到底是流行一种方法，还是不同公司采取不同策略，目前尚不能断言。

为了增强细胞系的表现，有公司正在探索基因修饰和基因组编辑技术。但对于大规模动物细胞培养，基因工程只是提升生产效率和过程稳定性的众多方法之一，并非是必选项。

• **细胞培养基：**细胞增殖和成熟需要营养培养基，也就是含有盐、糖、氨基酸以及被称为生长因子的信号分子的溶液。目前，细胞培养基相当昂贵，这是因为当前细胞培养基主要用于生物医学和临床细胞疗法研究，因此需要按药用级别的成分进行采购。现在即使是最大规模的购买量相对于肉类量产规模仍然是较小的。根据预测，细胞培养基实现量产后会大大低于当前市场价格。这对于细胞培养肉的整体商业可行性而言是非常重要的，因为培养基是生产中最重要投入资源，它的成本将会决定产品的成本。

• **细胞支架和产品建构：**为了形成肉的特定组织结构，细胞需要种植到特殊的支架材料上。这种材料会在细胞分化、成熟、转化为特定类型细胞（肌肉、脂肪等）的过程中给细胞提供物理支撑。最简单的支架仅仅是细胞依附的惰性材料，较为复杂的支架可以引导细胞产出特定的最终产品。

可以选择不同的材料来搭建细胞培养肉的支架（如下所示，部分产品可通过下游加工来进行建构，因此完全不需要支架）。支架可以由味道中和、食品级别的可食用材料组成，部分材料可能会留存在最终产品中，或者也可以使用可生物降解的材料。后者会随着细胞生长逐渐分解，最终被细胞自身的细胞外基质（即蛋白和支撑结构的网络）所替代。

无论是何种情况，都必须使用多洞的材料来构建支架。只有如此，营养培养基才能够自由穿行，供给所有细胞。也可以利用支架的生物力学特性（如坚硬度和弯曲度）来引导细胞分化，在一定程度上控制细胞分化的空间。比如说，在一块肥瘦均匀的牛排中，脂肪和肌肉细胞是异构的。

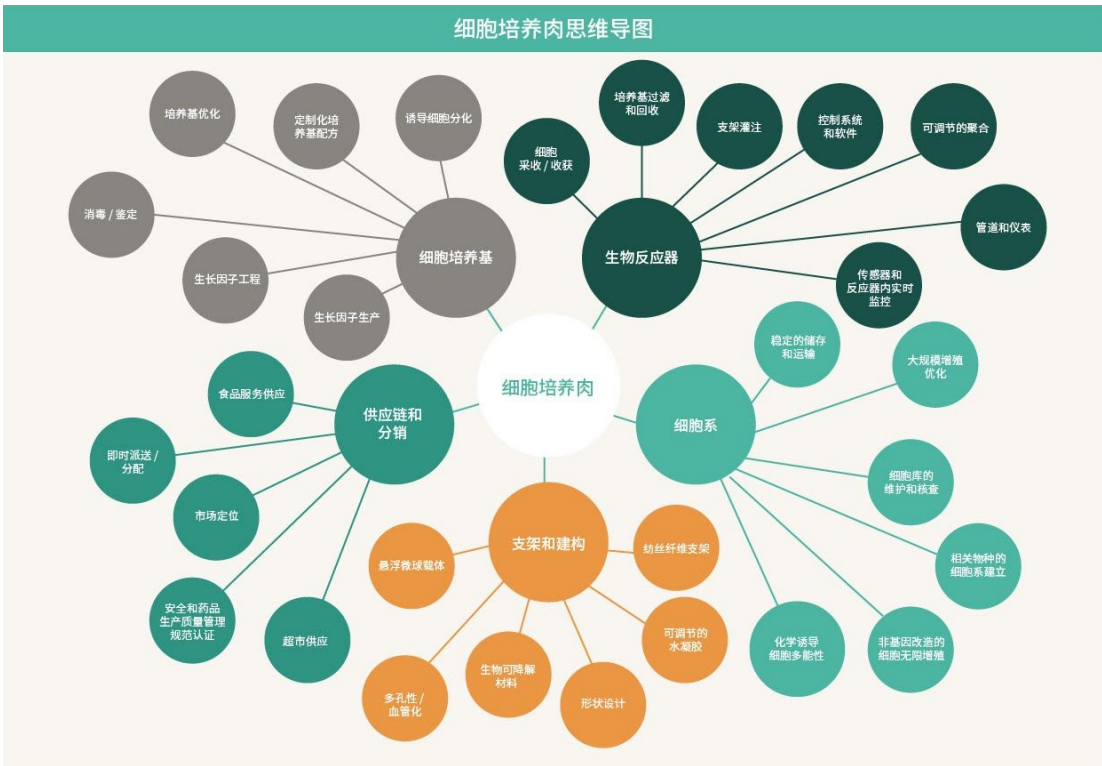


图 1：此概念思维导图展示了大规模细胞培养开发和生产涉及的主要元素。图片来源：The Good Food Institute

传统模式下，热量在动物体内通过新陈代谢、运动、呼吸和发热往复转移，而最终产出的肉只占到投入的一小部分。细胞培养肉的生产则无需如此。

• 生物反应器设计：从最开始的接种种子培养到最后产出一块完整的肉，生物反应器把整个生产过程容纳在封闭的空间内。不同生产阶段（如增殖和成熟）和不同产品类型（肉末和厚切肉）可能需要不同的生物反应器。大多数公司的目标是整合监控功能，这样就可以在营养物被细胞消耗完毕时，及时添加新的营养物，同时也可以保留并回收其他成分，由此降低成本。此外，随着生产的规模化，从添加培养基到采收成品等所有的环节都需要实现自动化，从而提升成产的稳定性，降低人力成本。

细胞培养肉市场

目前细胞培养肉市场汇聚了将近十二家初创公司，其中大多数都是在过去的18个月内成立的。这些公司遍布全球，由此可见各国都将目光投向了细胞培养肉市场。研发这一技术的公司中，有三家在以色列，至少有一家在欧洲，至少有三家在美国，还有一些分布在大洋洲和东亚。未来一年内，为解决国际社会所面临的种种挑战，相关公司将进一步发展，聚焦新产品品类开发、生产创新和科技进步，而细胞培养肉市场的竞争也会愈加激烈。

目前，Memphis Meats 在产品产量和投资募集方面领跑全美。2017 年 8 月，公司完成了A轮融资。其主要投资者 DFJ 以投资前瞻性尖端科技（如特斯拉和 SpaceX）而闻名。其他投资者还包括肉制品集团嘉吉 Cargill。这也是历史上首个公开披露的传统肉类制造商投资细胞培养肉的案例。此外，其他初创公司也在和肉制品公司、投资者和合作伙伴进行初步的讨论。

可以说，从竞争威胁的角度而言，现存的肉制品行业的合作伙伴有理由警惕细胞培养肉这一新兴市场。不

过，部分高瞻远瞩的业内人士已经察觉到细胞培养肉产品能带给制造商的巨大潜在利益，如供应更稳定、生产周期更短等。这也就意味着，产品价格会更稳定，也不像传统工业化畜牧场一样易于受到传染疾病爆发的影响。

从肉类科学的角度而言，得益于细胞培养肉生产过程的精确性和严格控制，最后产出的都是质量最好的肉制品。在细胞农业公司或植物基产品创新的冲击下，其他质量低劣的肉块或副产品的市场价格也将无法维持稳定。比如，细胞农业公司 Geltor 就专注根据具体用途定制高质量明胶产品。

肉制品行业目前面临着外界因素和资源负担的双重风险，而细胞培养肉则有可能是解决问题的方法之一。由畜牧业投资风险和收益（FAIRR）牵头，资产管理规模达 2.3 万亿美元的全球投资者联盟已经指明了风险所在。由于部分地区政府倾向于激励可持续发展行业，对外化的环境成本实行严厉处罚，加上其本身效率低下，畜牧业商业模式非常不稳定，政策一旦偏离现状，就会造成市场动荡。

系统命名法和消费者接受度

报纸杂志过去一直使用一些不讨喜，但能吸引点击量的表述来称呼细胞培养肉，如“实验室培养肉”、“人工合成肉”、“试管肉”和“体外肉”。食品行业已经意识到称呼、命名和描述的改变会对消费者接受度和需求产生巨大影响。“细胞培养肉”这一表述近几年来受到人们的欢迎。但是，在生命科学领域以外，这一术语仍旧会造成许多困惑。食品科学界一般把“培养”（cultured）解释为微生物参与的发酵和成熟的过程，但这种描述也没有精确地抓住细胞培养肉生产的实质。而在其他特定的产品领域，“培养”本身已经有了公认的内涵。比如说，养殖鱼（cultured fish）指的就是水产养殖的鱼。

迄今为止，已有三项研究（其中一份尚未发表）初步评估了哪个名称更能被消费者接受，从而激发他们的购买意

愿。三项研究都指出，“清洁肉”（clean meat）这一说法最能激发受调者的尝试兴趣。未来，随着消费者对产品熟悉度的增加以及态度的转变，应该就消费者偏好开展进一步研究。但是，产品最初进入市场时，统一使用目前研究证明最受消费者欢迎的名称将促进这一新兴产业的发展。

“清洁”（clean）避免了“cultured”（培养）一词可能带来的混淆，同时为消费者准确阐明了产品的优势：其中最重要的当然是不受微生物污染，以及和清洁能源（clean energy）一样更加环保。正如传统化石燃料业在投资可持续燃料时倾向于使用“清洁能源”这一表述一样，泰森和嘉吉等肉制品公司也开始使用“清洁肉”来描述细胞培养肉产品。¹

¹ 译者按：此文于 2018 年 1 月刊登。直至 2020 年 7 月，“Cell-based meat”与“Cultivated meat”皆为较常用的名字。详情参阅谷孚公众号上的文章。

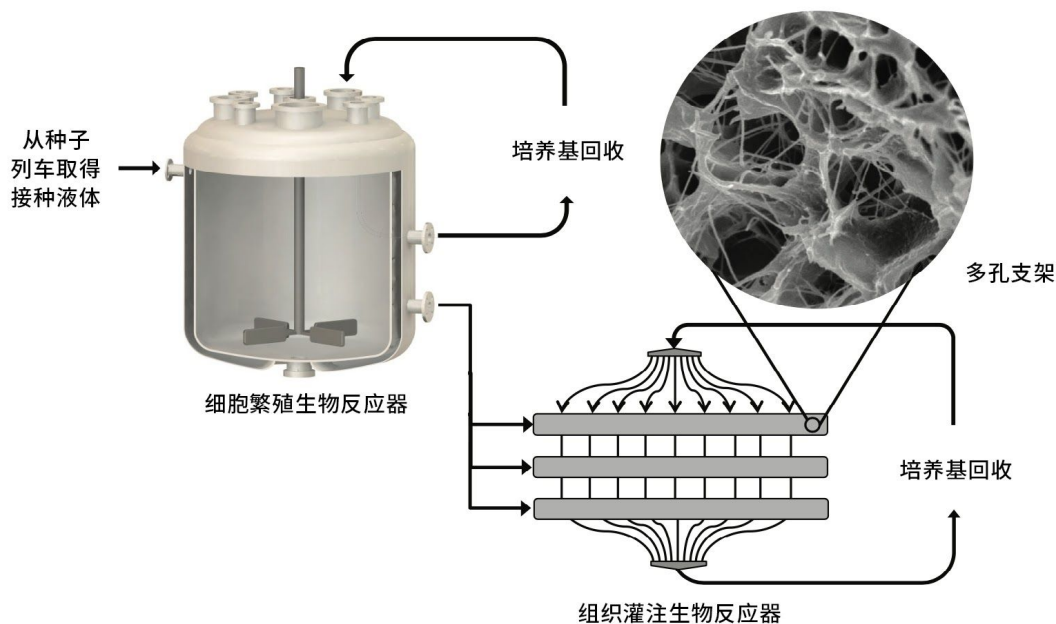


图 2：该示意图展示了细胞培养肉规模生产的一种设想。第一阶段是细胞繁殖。接下来是细胞分化和成熟，在此阶段细胞被播种到支架上，分化为所需的细胞类型。每一阶段都对营养培养基、支架和生物反应器有特殊的设计要求。图片来源：The Good Food Institute

将细胞培养肉投向市场

细胞培养肉产品将于何时进入市场？在评估哪些清洁肉产品可以首先进入市场，以及大概何时能在超市货架上见到这些产品时，我们应该考虑两个方面：一是消费者愿意支付的价格，二是产品的复杂程度。现有的许多初创公司都希望其第一代产品可以在三到五年内投入市场，并且是以溢价售卖，甚至会考虑利用高端餐厅的渠道。这种市场策略和 Impossible Foods 基本一致。该公司在将产品大规模投向市场前，先于 2016 年在少数餐厅推出了富含血红素的植物基汉堡。

就技术复杂程度而言，部分产品仿效加工肉或者结构较为简单同质的肉类，这些产品的生产难度并不高。相比仿制肥瘦均匀的牛排或者一整块鸡胸肉，仿制香肠、汉堡、鱼条和鸡块等产品要容易得多。后者只需小片的细胞培养组织就可以完成，而不需要形成一块复杂、完整，包含各类共同培养植细胞的组织。此外，就像是这些加工制品通过工业化生产的动物肉制品版本一样，细胞培养肉也需要添加肉以外的黏合剂和填充材料，以提升产品的口感。

有些公司专注研究某一类肉（比如说，旧金山湾区初创公司 Finless Foods 就只研究带鳍的鱼），而有些公司则在开发可塑性高的平台，方便根据不同物种的细胞做具体调整。不同物种的某种特定的细胞类型，如肌肉细胞，在生物学要求上惊人的相似。因此，假设某家公司精通于研发碎牛肉产品的生产平台，平台可能只需稍加改动，就可以用来生产碎鸡肉或碎火鸡肉。同样的道理，假设一家公司擅长生产组织结构更为复杂的产品，需要以指定的方式同时培养脂肪细胞和肌肉细胞，那么这家公司可能不仅懂得如何生产肥瘦均匀的牛排，制造肥猪肉块也毫不逊色。而拥有适于培养薄片组织平台的公司可能会在短时间内先后涉足培根和生鱼片市场。

挑战与机遇

已经有几家公司对外展示了旗下的肉制品：Mosa Meat 的创始人在 2013 年推出了第一款汉堡；Memphis Meats 展示了不同种类的产品，包括肉丸、炸鸡和鲜橙烩鸭等；Finless Foods 在 IndieBio 体验日准备了细胞培养鱼；而位于东京的 Integriculture 团队也组织了微型鹅肝试吃活动。细胞培养肉的可行性已在理论上得到论证，其主要挑战来自于规模化和成本。然而，基础研究考虑的仍然是如何提升细胞生长效率，将不同特性的细胞调制成为肌肉和脂肪，研发适用于厚切肉的支架，和如何同时培养不同的细胞类型。

为解决这些问题，学术机构和初创公司正在开展研究工作，一些公司也正在与乐于分享自己专长的食品和生命科学公司逐步建立合作。随着细胞培养肉市场的吸引力日益提升，更多新公司会进入市场提供服务和原材料，细胞培养肉市场的竞争将愈发激烈，发展速度也会越来越快。

参考文献

1. WHO. 2017年. “Stop using antibiotics in healthy animals to prevent the spread of antibiotic resistance.” Press release, Nov. 7. World Health Organization, Geneva. who.int.

About The Good Food Institute

The Good Food Institute is a 501(c)(3) nonprofit organization dedicated to creating a healthy, humane, and sustainable food supply. Our work is 100% powered by gifts and grant support. GFI's team of scientists, entrepreneurs, lawyers, and policy specialists are laser focused on using markets and food innovation to transform our food system away from industrial animal agriculture and toward plant-based and cell-based meat. To learn more, please visit GFI.org.

英文原文被刊登在美国 IFT (Institute of Food Technologists) 杂志 2018 年 1 月号 (Volume 72, No. 1)。原文作者同时为 IFT 成员之一。

编写 Liz Specht 博士, The Good Food Institute 资深科学家

翻译 The Good Food Institute Asia Pacific、谷孚商务信息咨询(上海)有限公司

简体中文版唯一授权发行方 谷孚商务信息咨询(上海)有限公司

封面图片 New Age Meats

谷孚咨询 GFIC

谷孚咨询专注于推进中国的可持续替代蛋白产业，建立提供国内外的科技和产业资源的平台，并通过与学术机构和科学家、企业、初创公司和投资者合作，支持植物肉类、植物蛋奶类新型食品和细胞农业的创新。

详情请浏览网站: gficonsultancy.com

GFI-APAC.ORG

是在香港注册成立的非营利性公司。

GFI.ORG

POWERED BY PHILANTHROPY.

GFI IS A NONPROFIT 501 (C)(3) ORGANIZATION.

© 2020 The Good Food Institute, Inc.

