

产业现状报告

发酵

替代蛋白产业的支柱
入门手册

目录

第一部分：简介	3
发酵在替代蛋白中有何作用？	3
图 1. 发酵型产品概念版图	4
传统发酵：利用生物的强大效力改变食品成分	5
生物质发酵：微生物作为蛋白质生产动源的广阔前景	5
精密发酵：微生物寄主作为细胞工厂	6
发酵的强大效力	7
第二部分：企业	9
概述	9
竞争版图	9
图 2. 思维导图：发酵在替代蛋白业	10
年份及地理范围	18
图 3. 致力于替代蛋白领域的企业数 (2013-2020)	18
图 4. 替代蛋白发酵企业的地理分布	19
前景展望	20
第三部分：面向消费者的应用：最终产品	21
概述	21
消费品类目：发酵大量丰富了产品多样性	22
碎肉	23
整切肉	24
鸡蛋和鸡蛋替代品	25
乳制品：牛奶、冰激凌、黄油和奶酪	25
明胶	27
海鲜	28
专栏1：微藻大有可为	29
脂肪和油类	29
宠物食品	30
前景展望	31
第四部分：面向企业的应用：食品原料	32
现有企业在酶解决方案和放大生产中功不可没	32
新兴 B2B 企业作为替代蛋白业的供应商和服务提供者	33
前景展望	36

第五部分：投资	37
概述	37
图 5. 替代蛋白领域的风投趋势 (2010-2020.7.15)	37
专栏 2：数据收集方法	38
图 6. 发酵投资概览	38
风险资本投资	39
图 7. 发酵企业的风投总额 (2013-2020.7.15)	39
表 4. 融资最多的前十家发酵企业	40
退出：Quorn 独领风骚	42
投资者	43
表 5. 替代蛋白发酵企业的投资者 (按交易数计)	44
专栏4：政府资助孵化新兴产业	46
前景展望	47
第六部分：科学与技术机遇	48
概述	48
图 8. 遍布发酵价值链的技术发展机遇	48
靶分子选择和设计	49
菌株培育	50
专栏 5：从培养箱到田野：植物作为表达平台	52
原料优化	52
图 9. 多元化原料使不同替代蛋白生产形式中的支流得到有效利用	54
生物工艺设计	54
最终产品调配和生产	56
放大生产和削减成本的前景观测	56
全球展望和预测	58
第七部分：监管和消费者考量	59
监管考量与成功案例	59
标识与命名法	60
第八部分：总结	62
术语解释	64
鸣谢	68

第一部分：简介

发酵在替代蛋白产业中有何作用？

自古以来，人们就用发酵制作食物。从泡菜到天贝，古代文明中培养微生物保存食物、酿造酒精饮料、提高食品营养价值及生物利用度的先例比比皆是。上世纪以来，发酵远远超越了其传统使用范畴，广泛运用于工业化学、生物材料、治疗学和药品、燃料及高级食品成分。如今，不断革新的发酵技术正蓄力于替代蛋白的兴起，以期颠覆整个食品行业。

“发酵”这一术语在不同学科有不同含义。生物学中的发酵指在无氧条件下产生能量的特定代谢途径。在食品和工业生物技术领域，发酵的定义更加宽泛，更接近其在替代蛋白语境下的用法。在替代蛋白业，“发酵”指以加工食物为目的培养微生物；获取微生物本身作为蛋白质的主要来源；或将微生物合成的风味物质、酶、脂肪等物质加入植物基产品或细胞培养肉中。

替代蛋白业主要使用以下三种发酵工艺：

- 1. 传统发酵** 使用完整的活性微生物调节加工植物成分，从而赋予产品独特风味、营养价值和质地。具体实例如用根霉发酵大豆制成天贝，利用各种乳酸菌制作奶酪和酸奶，以及更多现代演绎如 Myco Technology 发酵植物基蛋白以改善风味及功能。
- 2. 生物质发酵** 利用微生物繁殖速度快、蛋白质含量高的特点高效生产大量蛋白质。以完整的微生物物质本身就是作为产品的主要原料，有时也会进行微加工处理来打碎细胞，以提升消化率或提升其蛋白质含量，过程类似将植物粉末加工成浓缩蛋白和分离蛋白。生物质可作为食品的主要成分或与其他主要成分混合。生物质发酵的具体实例如 Quorn 和 Meati 以丝状真菌为其肉类替代产品的基本成分。
- 3. 精密发酵** 将微生物寄主作为“细胞工厂”来生产具有特定功效的成分，相比初级蛋白成分，通常有更高的纯度要求且需在较低级层次合成。这些功能性成分可以大大改善植物基产品和细胞培养肉的感官和功能特性。具体实例有蛋白质(如 Perfect Day 的乳制品蛋白、Clara Food 的鸡蛋蛋白、Impossible Food 的血红素蛋白)、酶、调味剂、维生素、天然色素及脂肪。

本文在页边对正文带橙色下划线名词进行了注释。

生物利用度 Bioavailability

养分在消化时被人体吸收的程度。即使食品中某营养成分的含量很高，若其生物利用度很低，就意味着摄入后并不能完全被人体消化利用，不能充分发挥其效用。

酶 Enzymes

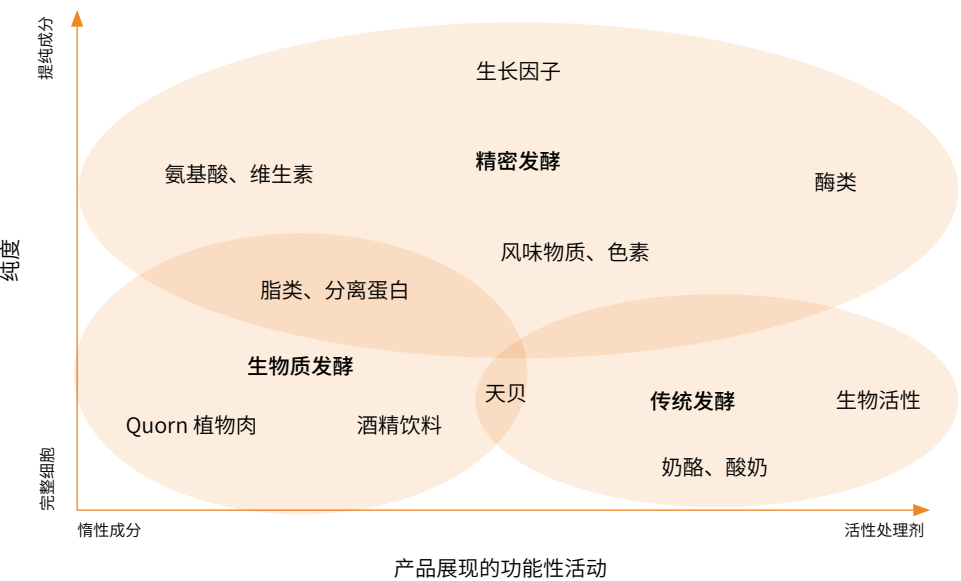
催化生物化学反应的蛋白质，如打破化学键或形成新键，通常具有高特异性。酶在食品中多用于分解不需要的或不溶性成分以及交联不同成分改善质地。

第一部分：简介

此三种发酵工艺均有创新。图 1 将这些工艺进行了概念上的分类。纵轴反映了培养的微生物是否以完整细胞直接应用，或经过了纯化处理 (后者即以纯度为标准)。横轴则表示发酵型产品中微生物的生物活性，即是作为惰性成分存在于最终产品中还是充当了加工助剂（如实现生物材料间的转化）。

图中举例只作示意说明，并非全面列举；根据不同方式单独展示每个产品类别时可能需调整它们在此概念图中的位置。请注意单个产品可能跨越多个类别。比如，用于生物质发酵或传统发酵的微生物经改造后也可通过精密发酵生产高价值成分，因此无需进行下游提纯即可将此高价值成分加入最终产品。

图 1. 发酵型产品概念版图



来源：GFI

第一部分：简介

传统发酵：利用生物的强大效力改变食品成分

传统发酵食品 (酒精、天贝) 多集中在图 1 的纯度轴底部且靠近生物活性轴右端。这些产品中的细胞被用作活性生物处理单元将原材料转变成更符合人们期望的形式。以天贝为例，真菌菌丝体被繁殖于大豆 (或其他豆类、谷物) 上以分解抗营养因子、提高营养含量并提升风味。在繁殖和代谢中，真菌既加工了大豆原料也留在最终产品中改善了风味和质地，因此既是成分也是有效的加工机制。

相反，制作奶酪和酸奶的细菌培养物分泌大量代谢物以在培养时调节风味和质地。虽然对消化有益生作用，但是细菌本身并不会对最终产品的性质有什么影响。

千百年来，传统发酵早已得到广泛运用。生物质发酵和精密发酵则自二十世纪八十年代起才开始有效运用于食品工业。乍看之下传统发酵似乎“技术含量不高”，但它提供了充足的创新空间，如培育适用于新植物基成分或筛选能提升风味特质的微生物菌种。

除了在酸奶和天贝等面向消费者的产品中发挥常见作用，传统发酵也可提升植物基成分的性能，如去除植物蛋白的苦味。PLANETARIANS 是在植物肉生产中用发酵提升功能性的典型佳例。这家公司还利用发酵改善农工副产品 (如向日葵饼粕) 的可消化性、口味、质地和营养特性，这类产品原本价值极低。同样，肉类工业领军 JBS 旗下新品牌 Planterra Foods 新近推出了一系列植物肉产品，其中的大米和豌豆蛋白经 MycoTechnology 的香菇菌丝体发酵获得。因此，可将传统发酵作为提升植物蛋白性能的生物基方式，替代其化学或机械方式。

生物质发酵：微生物作为蛋白质生产动源的广阔前景

微生物天然富含蛋白质 (多种真菌、细菌和藻类的蛋白质含量超过其自身干重的 50%) 且能自给自足实现快速增殖，因而只需简单便宜的营养成分。肉用家畜的代际循环长达数月至数年，农作物的生长期通常也近数周或数月，但大多数微生物的倍增时间只需几小时甚至几分钟。发酵等细胞培养过程着重利用细胞呈指数增长的基本特性，即每轮生长循环可使生物质翻倍。当成千上万公斤的细胞被同时培养时，每小时可产生数十公吨的生物质。

菌丝体 Mycelium

丝状真菌的营养生长部分 (相对于生殖生长部分的子实体)。菌丝体是由菌丝构成的细纤维束群，而菌丝相当于是真菌类的根部，可以分泌酶类物质来协助真菌类消化吸收生物质、获取养分。

抗营养因子

Antinutritional factors

阻碍营养吸收从而降低生物利用度的成分。

倍增时间 Doubling time

群体数量翻倍的时间，在细胞培养中指细胞分裂速率。

第一部分：简介

二十世纪六十年代起，考虑到食品安全及可持续发展，人们对单细胞蛋白产生了兴趣，上市于 1902 年的 Marmite 即是人们将微生物物质本身用作人类食物的首批尝试之一。Quorn 是第一家将微生物物质商业化以生产肉类替代产品的公司。近几十年以来，Quorn 是这一领域仅有的真正角逐者，但是新进企业已认识到生物质发酵的潜力。丝状真菌 (包括 Quorn 使用的菌株镰孢霉) 不仅能再现肉类产品的纤维结构，同时还能改善质地。创新者们正积极开发新品种、探索新原料并设计全新的生物工艺以改善与消费者密切相关的产品特质 (如口味和质地)，并进一步精简程序、提升效率，实现可持续生产。

精密发酵：微生物寄主作为细胞工厂

多年以来，精密发酵早已扎根食品工业。如今，创新者们正为满足替代蛋白业的特殊需求研究定制新方法。生物学为食品开发者们提供了近乎无穷尽的分子拼盘，可以从中选择所需的味道、质地和香气进行组合。然而，并不是所有成分都能轻易以低成本大量获取。理论上讲，利用微生物细胞作为生产寄主的精密发酵可以实现任意成分的大规模生产。确实，发酵型成分早已广泛运用于整个食品工业。比如，营养增补剂和强化食品中的大多数维生素，如维生素 B2 和 B12，都是通过发酵生产的，很多调味成分亦是如此。

高纯度发酵成分最广泛的用途也许是充当替代蛋白产品中的功能性成分。实际上，食品工业是率先利用发酵取代日常使用的动物产品的行业之一。取自犊牛胃粘膜的小牛皱胃酶原本是制作奶酪时不可或缺的凝结剂，二十世纪八十年代时，重组凝乳酶 (小牛皱胃酶中的主要酶) 的商业化使全球大多数奶酪产品淘汰了小牛皱胃酶的使用。近期比较著名的例子如 Impossible Foods 使用毕赤酵母生产豆血红蛋白，提纯后作为汉堡产品中的调味成分和催化剂。这些功能互相结合营造了熟食产品的全套感官特性，其尤为可贵的血红色和“血腥味”更使 Impossible Burger 成为功能性成分创新的典范。

其他重组蛋白，如酪蛋白和乳清蛋白，经高度提纯后展示了良好的融化和延展性能。这些蛋白质可与植物成分互相结合生成最终产品。比如，Perfect Day 的冰激凌底料即是糖、椰子油、葵花籽油与重组乳清蛋白结合制成的。

功能性成分
Functional ingredients
提高食品感官特性、营养性质、货架稳定性、烹饪属性或其他目标特性的生物活性化合物。

感官的 Organoleptic
与感官有关的，包括味觉、嗅觉、视觉和触觉。

第一部分：简介

这样的共生关系也存在于发酵与细胞培养肉之间。事实上，发酵正是细胞培养肉生产中制造非动物源生长因子取代动物源生长因子的主要方式。包括 ORF Genetics, Richcore 和 Peptotech 在内的几家公司已进军这一领域。而且，发酵制造的蛋白质，如胶原蛋白和纤连蛋白，也许可在更复杂的细胞培养肉产品中用作关键的非动物源支架成分。

生长因子 Growth factors

培养动物细胞时调节细胞生长和分化的信号分子。过去生长因子通常提取于动物血清，如今也可通过精密发酵获取。

因此，虽然发酵已被认可为大规模生产高质量蛋白的有效途径，其在细胞培养肉和植物基肉蛋奶行业的强大加成效应仍有待全面发掘。

发酵的强大效力

我们尚处于向后动物食品生产体系转变的早期。随着植物基肉蛋奶产品日益普及，发酵型替代品也会更加普遍。不管是传统还是生物质发酵都可大规模生产独特成分，从而支持整个替代蛋白领域的产品开发。

发酵的多种功能使其成为替代蛋白业的支柱之一。即便早已在食品生产中拥有悠久历史，当今社会向我们表明，发酵仍蕴藏着巨大的创新潜能。发酵的创新运用有助于改善植物基产品和细胞培养肉，从而促进消费需求，扩大市场机遇，带动替代蛋白业良性循环发展。此外，发酵对人类健康和环境保护的益处也是其受消费者和生产者青睐的关键因素。

菌丝体、微藻、微生物和发酵植物蛋白可以原封不动地模仿动物产品的感官体验和营养特性，并完美避开胆固醇、抗生素、激素等不良物质。发酵高效的蛋白质生产力能切实解决全球蛋白质紧缺。发酵也能令企业以可与动物产品相抗衡甚至更低的成本满足不断增长的蛋白质需求，帮助数百万人摆脱营养不良。此类蛋白质不仅成本低于动物蛋白，而且质量更佳。University of Exeter 2019 年的研究发现运动员剧烈运动后摄入 Quorn 菌蛋白，其肌肉增长率比摄入牛奶蛋白时高出两倍之多。因而菌蛋白 (所有 Quorn 产品的主要成分) 能比牛奶蛋白更有效地促进肌肉增长。来自麦肯锡的报告表明，相较于碎牛肉、昆虫蛋白和大豆蛋白，菌蛋白的蛋白质消化率校正氨基酸分数 (PDCAAS) 毫不逊色，甚至更高。

第一部分：简介

高效生产蛋白质不仅有益于人类健康，也有益于保护我们的星球。比起家畜，微生物能更有效地将卡路里转变为蛋白质和高价值分子 (减少污染物和温室气体排放，节约水和土地资源)，而且原料选择更加多样，只需低廉的工农业副产物或废弃物即可。这也降低了生产相关的可变成本和外在成本，如投料运输。当地生产无需长途运输即可便捷地利用原料。企业正探索将废酒糟和玉米壳等低价值本地副产品转化为高价值蛋白质的更多方式，甚而全面开发循环生产流程。

The Good Food Institute (GFI) 很乐意呈上这份开创性报告，作为您了解发酵如何运用于替代蛋白领域的入门手册和未来发展指南。GFI 是 501(c)(3) 非盈利慈善组织。我们的使命是让食品体系变得更加可持续、健康、公正，发酵正是实现我们愿景的关键部分。这份报告将为您提供概览，介绍不断推动行业前行的公司、技术和投资。第二部分勾勒了竞争版图，第三、四部分分别检视了发酵型最终产品和成分的使用案例。第五部分涵盖了这一领域的投资趋势、成功募集风投资金的顶尖企业和最活跃的投资者们。第六部分深入挖掘了发酵技术的价值链和其中的创新机会。最后的第七部分着重于这一新兴行业中的监管考量和命名法。

图片来源：Atlast Food Co.



第二部分：企业

概述

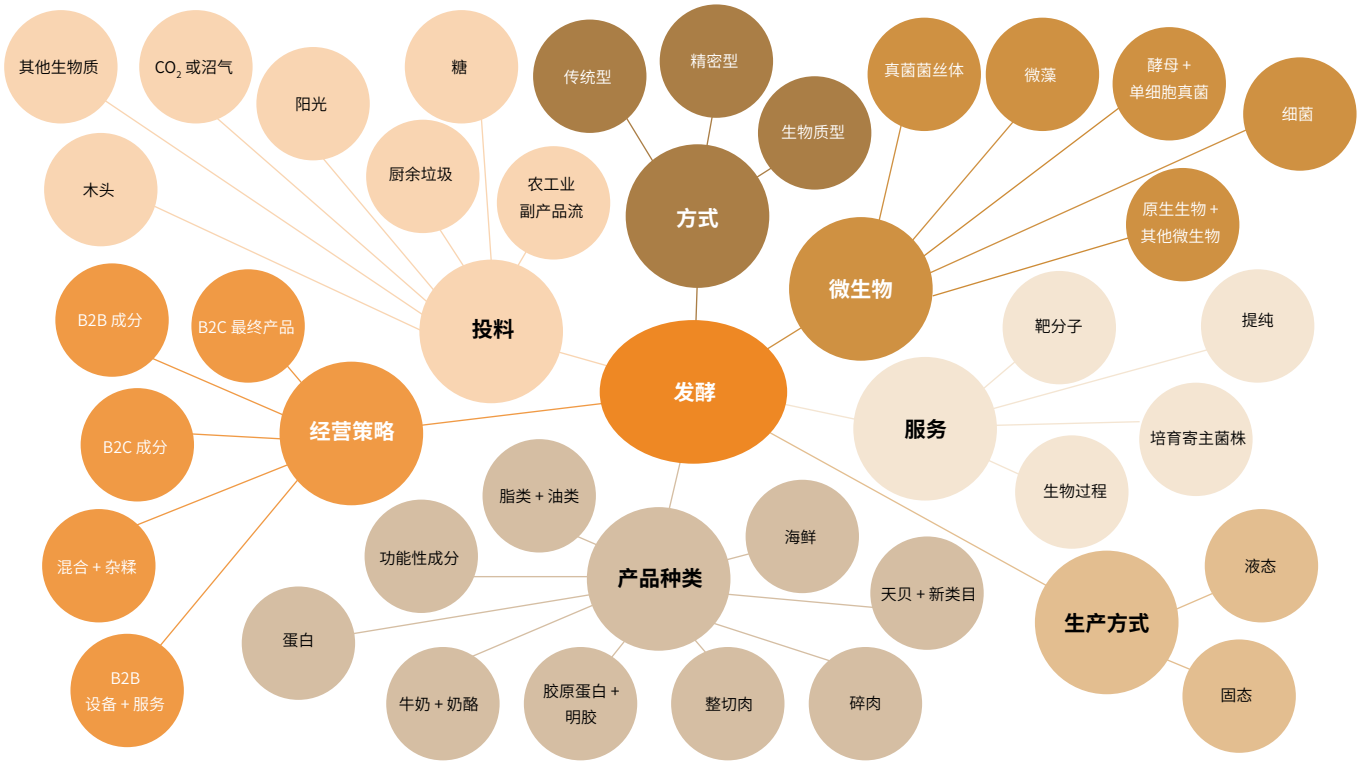
发酵在食品及其他行业的广泛用途吸引了大量企业投资以丰富应用类型并提高生产力。如今，几百家企业利用发酵创造了数千亿年收入并改善了全球数百万人的生活 (比如依赖重组胰岛素的糖尿病患者)。过去几年中，人们对替代蛋白的兴趣逐渐增加，多家发酵企业及小型初创公司在替代蛋白产业实现并丰富了商业创新 (见表 3)。至少 44 家专攻发酵型替代蛋白应用的新企业的成立也令人雀跃不已 (见表 2)。

竞争版图

为肉蛋奶替代品制造蛋白质、脂类和功能性成分是发酵最新型、最有前途的应用之一。GFI 确认了 68 家企业，均使用发酵生产或支持肉蛋奶及其功能对等物 (如在烘焙中代替鸡蛋的发酵型成分) 的非动物源配方。这里的 68 仅指公开过项目的企业，实际企业数应当更多。这些企业中既有生命科学大型企业，也有基于博士论文创立的新生分拆公司。

他们的创新大致可分为“传统发酵”、“生物质”和“功能性成分”(通过精密发酵生产)(见图1)。生物质和功能性成分之间并不总是泾渭分明。有些生物质产品也会赋予最终产品特定功能，而有些功能性成分则在最终产品中占有相当比重。最好将这些蛋白质及脂肪和其他化合物纳入同一考查范围。企业利用各种微生物、原料、技术平台和经营策略实现或创造了大量产品。图 2 是一份发酵与替代蛋白交叉领域的非详尽“思维导图”，突出了这片版图内的无限可能。

图 2. 思维导图：发酵在替代蛋白业



图片来源：GFI

以下表格为您提供了替代蛋白发酵领域的企业概览，他们或将发酵作为核心功能 (见表 2)，或将其用作开拓业务的创新手段 (见表 3)。所有提及的公司仅作举例说明，这些罗列也并非面面俱到。相反，您可将这些视作众多发酵企业和技术应用的概况一览表。鉴于发酵技术的广泛应用，表 1 在此处和讨论投资的第五部分都设定了入选参数。

第二部分：企业

表 1. 报告范围：入选企业类型

企业、活动或产品类型	是否纳入竞争版图？	是否纳入投资计算？
利用微生物 (细菌、微藻、原生生物和单细胞真菌) 制造应用于植物肉蛋奶的可食用生物质或功能性成分及应用于肉类细胞培养的成分 (如生长因子)	是	是，如果替代蛋白发酵应用是他们的业务功能
利用菌丝体为植物肉蛋奶制造可食用生物质或功能性成分	是	是，如果替代蛋白发酵应用是他们的业务功能
替代蛋白发酵企业的企业对企业支持	是	是，如果替代蛋白发酵应用是他们的业务功能
用发酵生产非肉蛋奶替代品的食物成分 (如甜味剂、蛋白质粉)	否	否
用发酵生产人类及宠物食品之外的食品和其他分子 (如生物肥料、动物饲料、水产饲料、化学品、生物燃料、化妆品、生物制剂)	否	否
利用发酵制造宠物食品	是，因为与未来替代肉类产品的人类食品应用高度相关	是
大型企业内没有公开披露的研发 (及处于“隐身模式”下的初创企业)	否	否
坚果 (及其他发酵型) 奶酪和黄油 (如 Miyoko 的产品)	否，纳入 GFI 有关植物肉蛋奶的产业现状报告中	否
天贝和酵母、泡菜等其他传统发酵食品 (如 Better Nature 或 SunRhize)	否，纳入 GFI 有关植物肉蛋奶的产业现状报告中	否
大型海藻 (如巨藻、海草、红藻、海菜)	否，纳入 GFI 有关植物肉蛋奶的产业现状报告中	否
蘑菇 (一些菌类的子实体)	否，纳入 GFI 有关植物肉蛋奶的产业现状报告中	否
非盈利组织和学术研究实验室	否	否
目前在替代蛋白和脂类中有应用发酵技术，但只将其作为部分业务的企业	是	否，因为我们无法确认流向替代蛋白应用的投资金额比

第二部分：企业

专注于发酵型替代蛋白应用的 44 家企业中，有 18 家生物质企业，21 家精密发酵企业，还有 5 家传统发酵企业。奶酪生产商、天贝生产商和啤酒酿造厂等传统发酵企业当然不计其数，但本报告只涵盖创造性运用传统发酵的企业，比如将其与挤压工艺相结合生产植物肉替代品。这 44 家企业利用丰富多样的生产平台、微生物和原料为众多非动物源肉蛋奶产品制造蛋白质、脂类和功能性成分 (如改善结构和质地)，见表 2。

表 2. 专注于非动物源肉蛋奶发酵应用的企业 (按字母顺序排列先后)

企业名称	简介	地点	创立者	创立年份	总投资及最新轮 投资类型 (数据来源 PitchBook)	技术类型
3F Bio	应用于肉类替代品和蛋白成分的菌蛋白生产工艺	格拉斯高， 苏格兰，英国	Craig Johnson, David Ritchie, Jim Laird	2015	922 万美元 (A 轮)	生物质
Afineur	应用于植物基食品的“培养蛋白”	纽约，纽约州， 美国	Camille Delebecque, Sophie Deterre	2014	22 万美元 (加速器/孵化器)	传统、 生物质
Air Protein	应用于肉类（鸡、牛、猪）和海鲜替代品，用 CO ₂ 制造食品级蛋白	伯克利， 加州，美国	Lisa Dyson	2019	无	生物质
Algama	基于微藻的食品和成分平台 (包括肉蛋奶和海鲜替代品)	巴黎，法国	Alvyn Severien, Gaëtan Gohin	2016	956 万美元 (A 轮)	生物质
Atlast Food Co	菌丝体基整切肉(肉类产品培根)	绿岛，纽约州， 美国	Eben Bayer, Steve Lomnes, Russell Hazen, Gavin McIntyre, Andy Bass, Alex Carlton	2019	700 万美元 (种子轮)	生物质
Bond Pet Foods	应用于宠物食品的微生物动物蛋白	博尔德，科罗拉多 州，美国	Rich Kelleman, Pernilla Turner Audibert	2015	120 万美元 (种子轮)	精密
BTFRY	菌丝体原型生产，应用于植物基零食、营养补充剂和肉类替代品	芝加哥，伊利诺伊 州，美国	Justin Whiteley	2018	无	生物质
Change Foods	应用于乳制品的蛋白质和脂肪，首发产品为奶酪	旧金山，加州， 美国	David Bucca	2019	无	生物质

* 总投资额，最新轮类型 (PitchBook)

第二部分：企业

Circe	乳制品甘油三酯和合成高分子的发酵 (来自 Wyss 转化项目)	波士顿, 马萨诸塞州, 美国	Shannon Nangle, Marika Ziesack, Kevin McDonough	2020	无	精密
Clara Foods	发酵型鸡蛋蛋白	旧金山, 加州, 美国	Arturo Elizondo, David Anchel	2014	5680 万美元 (B轮)	精密
Cultivated	利用微生物发酵开发乳制品替代品	洛桑, 瑞士	Tomas Turner, Denis Joly	2020	无	精密
Final Foods	利用开源生物反应器制造应用于酵母奶酪的乳清蛋白	圣克拉拉, 加州, 美国	Julian Ramirez, Marco Graziano, Barbara Dunn	2020	无	精密
Foods Myco Mizoram	菌丝体肉制造商	艾藻尔, 印度	Henry Saingura	2019	无	生物质
Fumi Ingredients	微生物发酵型鸡蛋替代成分	瓦格宁根, 荷兰	Edgar Suarez Garcia, Corjan Van den Berg	2019	60 万美元 (种子轮)	精密
Fybraworks Foods	以菌丝体为展示平台的动物肌肉蛋白, 应用于肉类替代品	明尼阿波利斯, 明尼苏达州, 美国	Chenfeng Lu, David Liu	2020	无	精密
Harmony	使用发酵型人乳蛋白的婴儿配方食品	波士顿, 马萨诸塞州, 美国	Wendel Afonso	2020	无	精密
Helaina	使用酵母型人乳蛋白的婴儿配方食品	纽约, 纽约州, 美国	Laura Katz	2020	无	精密
Imagindairy Ltd.	利用 AI 平台和发酵开发牛奶蛋白	以色列	Eyal Afergan, Tamir Tuller	2020	85 万美元	精密
Kernel Mycofood	菌蛋白的分散式生产	布宜诺斯艾利斯, 阿根廷	Horacio Acerbo, Martin Blasco, Lucas Gago, Sebastian Taito, Miguel Neumann	2019	无	生物质
Kinoko-Tech	菌丝体肉制造商	雷霍沃特, 以色列	Daria Feldman, Hadar Shohat, Jasmin Ravid	2019	无	生物质
LegenDairy Foods	用微生物制造的牛奶蛋白, 用于乳制品	柏林, 德国	Raffael Wohlgensinger	2019	443 万美元 (种子轮)	精密
Meati (formerly Emergy Foods)	用菌丝体制造的整肉, 包括牛排、鸡肉和鱼肉	博尔德, 科罗拉多州, 美国	Justin Whiteley, Tyler Huggins	2016	717 万美元 (种子轮)	生物质
Mediterranean Food Lab	受传统发酵技术启发用新方法制造植物基产品并改善多种植物肉及其他食品的口感	特拉维夫, 以色列	B.Z. Goldberg, Omer Ben Gal	2019	<50 万美元 (种子轮)	传统

第二部分：企业

More Foods	酵母肉制造商	特拉维夫，以色列	Leonardo Marcovitz	2019	无	生物质
Motif FoodWorks	应用于植物基食品的功能性成分	波士顿，马萨诸塞州，美国	Jonathan McIntyre	2018	1.175 亿美元 (A轮)	精密
Mushlabs	用于肉类替代品的菌丝体成分	柏林，德国	Mazen Rizk	2018	未披露 (种子轮)	生物质
Mycorena	利用工业副产品流生产的菌类基蛋白，应用于食品 (瑞典肉丸)	哥德堡，瑞典	Ramkumar Nair	2017	178 万美元 (种子轮)	生物质
MycoTechnology	菌基苦味抑制成分和蛋白	奥罗拉，科罗拉多州，美国	Alan Hahn, Brooks J. Kelly, James P. Langan, Peter Lubar	2013	1.2067 亿美元 (D轮)	传统
Nature's Fynd	通过液气界面发酵培养极端微生物制造可食用蛋白	芝加哥，伊利诺伊州，美国	Thomas Jonas, Matthew Strongin, Mark Kozubal	2014	1.13 亿美元 (B轮)	生物质
New Culture	应用于奶酪制作的酪蛋白，首发产品马苏里拉奶酪	旧金山，加州，美国	Inja Radman, Matt Gibson	2018	370 万美元 (B轮)	精密
Nourish Ingredients	发酵型脂肪，应用于肉、奶、鱼类替代品	布里斯班，澳大利亚	Ben Leita, James Petrie	2019	无	精密
novacca	利用发酵平台生产牛奶蛋白	尼沃，丹麦		2018	无	精密
Perfect Day	利用发酵平台生产牛奶蛋白	伯克利，加州，美国	Perumal Gandhi, Ryan Pandya	2014	3.6 亿美元 (C轮)	精密
PLANETARIANS	以向日葵饼粕为原料制造发酵型植物肉以改善功能性	帕洛阿尔托，加州，美国	Aleh Manchuliansau, Anastasia Tkacheva	2017	85 万美元 (种子轮)	传统
Prime Roots	利用菌蛋白制造肉类替代品	旧金山，加州，美国	Joshua Nixon, Kimberlie Le	2017	450 万美元 (种子轮)	传统
Provenance Bio	研发应用于动物蛋白的共生工具 (专攻应用于细胞培养肉的胶原蛋白)	旧金山，加州，美国	Christian Ewton	2016	未披露 (种子轮)	精密
Pura	改善植物基食品的菌蛋白的生产和发酵	伊纳尔佐，意大利	Stefano Babbini	2019	无	生物质
Quorn	菌蛋白肉类替代品的开拓者	斯托克斯利，英格兰，英国	Lord Rank	1985	未披露 (被 Monde Nissin 收购)	生物质

第二部分：企业

Remilk	发酵型乳制品分子	特拉维夫，以色列	Aviv Wolff, Ori Cohavi	2019	未披露 (种子轮)	精密
Solar Foods	“Solein” 牌新型电解蛋白，应用于食品成分、植物肉替代品和细胞培养肉	赫尔辛基，芬兰	Pasi Vainikka, Juha-Pekka Pitkanen	2017	246 万美元 (种子轮)	生物质
Sophie's BioNutrients	微藻研发，制造应用于植物肉、奶的蛋白	新加坡	Eugene Wang, Kirin Tsuei, Barnabas Chan	2013	无	生物质
The Protein Brewery	应用于“Fermotein” 牌肉类替代品的菌基蛋白和菌基鸡蛋蛋白	布雷达，荷兰	Wim de Laat	2019	未披露 (种子轮)	生物质
Triton Algae Innovations	利用微藻生产亚铁血红素和其他类肉化合物，应用于植物肉	圣地亚哥，加州，美国	Miller Tran	2013	500 万美元 (种子轮)	精密
Wild Earth	发酵型宠物食品	伯克利，加州，美国	Ryan Bethencourt	2017	455 万美元 (种子轮)	生物质

图片来源：Atlast Food Co.



第二部分：企业

另有至少 24 家企业有正式的替代蛋白项目或明确面向替代蛋白业的产品线。这些企业跨越了三个大陆的七个国家，10 家高度集中于美国。除小部分使用传统发酵，近半数企业致力于生物质发酵，另一半则专注于精密发酵。约半数为企业（成立于过去 10 年内），另一半为知名企业，包括全球最大的食品公司。几乎所有企业都采用企业对企业 (B2B) 策略。这一策略将是推动行业发展的力量倍增器，因为他们的专业技术将使众多客户受益，而非由单个企业独占。

表 3. 非动物源肉蛋奶产品发酵创新的企业 (按字母顺序排列先后)

企业名称	相关创新简介	地点	创立者或 CEO	创立年份	总投资及最新轮投资类型 (数据来源 PitchBook)	技术类型
Arbion	将木浆发酵成蛋白并应用于植物肉产品	达勒姆，北卡罗来纳州，美国	Marc Chevrel (CEO)	2017	无	生物质
Arzeda	利用合成生物和计算蛋白设计开发用于农业和原料生产的发酵菌株	西雅图，华盛顿州，美国	Alexandre Zanghellini, Daniela Grabs, Eric Althoff	2008	1645 万美元 (A 轮)	精密
Biorealize	可进行食品、化妆品和酿造类发酵实验的平台	费城，宾夕法尼亚州，美国	Orkan Telhan, Michael Hogan, Karen Hogan	2015	30 万美元 (种子轮)	精密
Biosyntia	应用于植物基食品或其他领域的维生素	哥本哈根，丹麦	Andreas Laustsen, Morten O. A. Sommer	2012	663 万美元 (A 轮)	精密
BioTork	微藻 ω -3 脂肪酸	盖恩斯维尔，佛罗里达州，美国	Eudes De Crecy	2008	286 万美元 (种子轮)	精密、生物质
CJ Bio	生产用于植物肉调味的植物基氨基酸	首尔，韩国	Sin Ho Kang	1950	无	精密
DuPont	生产发酵型益生菌，应用于植物基食品及其他	威明顿，特拉华州，美国	Edward Breen (CEO)	1802	无	精密、生物质
Fermentalg	应用于植物基食品的微藻	利布尔纳，法国	Pierre Calleja	2014	上市 (PAR: FALG)	生物质
Geltor	使用发酵平台生产胶原蛋白/明胶	旧金山，加州，美国	Alexander Lorestani, Nick Ouzounov	2015	7752 万美元 (B 轮)	精密
Lallemand	生产多种应用于植物肉蛋奶的酵母、细菌、生长因子和发酵成分	多伦多，加拿大	Jean Chagnon (President)	1895	无	精密、生物质
Lesaffre	酵母生产商，生产人类营养品及植物基食品	马尔康巴勒尔，法国	Antoine Baule (CEO)	1852	无	生物质

*总投资额，最新轮类型 (PitchBook)

第二部分：企业

Noblegen	以原生生物为原料的“Eunite”牌鸡蛋替代粉及蛋白质和油类	彼得伯勒，加拿大	Adam Noble, Andressa Lacerda	2013	2607 万美元 (B轮)	生物质
Novozymes	从蔬菜中提取蛋白质和改善蔬菜风味的发酵业务	巴格斯韦德，丹麦	Glenn E. Nedwin	2000	上市 (CSE: NZYMB)	精密、传统
Odontella	“Solmon”牌微藻基三文鱼	波尔多，法国	Pierre Calleja	2016	58 万美元 (种子轮)	生物质
Peptotech	开发重组蛋白，包括应用于细胞培养肉的生长因子	洛基山，新泽西州，美国	无	1988	无	精密
RhYme Biotechnology	应用于替代蛋白的脂质基成分	温哥华，加拿大	Raphael Roccor, James Round	2016	无	精密
Richcore Lifesciences	开发重组蛋白，包括应用于细胞培养肉的生长因子	班加罗尔，印度	Subramani Ramachandrappa	2001	1297 万美元 (B轮)	精密
Shiru	通过计算机平台鉴定并使用精密发酵生产高价值功能性食物蛋白	伯克利，加州，美国	Jasmin Hume	2019	350 万美元 (种子轮)	精密
Spira	生产螺旋藻，用作植物基食品中的着色剂、鲜味香精、分离蛋白、调质剂和粘合剂	洛杉矶，加州，美国	Elliot Roth	2016	59 万美元 (种子轮)	生物质
String Bio	将沼气转变为可用于替代蛋白的其他材料	班加罗尔，印度	Ezhil Subbian, Vinod Kumar	2013	未披露 (种子轮)	精密
TerraVia	应用于植物基食品强化的微藻蛋白，包括“AlgaVia”牌全藻蛋白粉，以减少烹饪中对蛋、奶、油的需求	旧金山，加州，美国	Jonathan S. Wolfson, Harrison Dillon	2012	3.5792 亿美元 (收购)	生物质
Tnuva	研制一系列富含益生菌的大豆酸奶	以色列	Eyal Malis (CEO)	1926	无	Traditional
Utilization of Carbon Dioxide Institute Co., Ltd.	致力于将 CO2 和 氢气转化成可食用蛋白及其他应用	东京，日本	Hideaki Yukawa (CEO)	2015	无	生物质
White Dog Labs (Brewed Foods)	“Plentify”牌细菌基蛋白和“Eesy Cheese”牌奶酪生产商	纽卡斯尔，特拉华州，美国	Jonathan Gordon, Bryan Tracy	2012	2410 万美元 (C轮)	生物质

如有遗漏，请通过邮件 startup@gfi.org 告知我们。

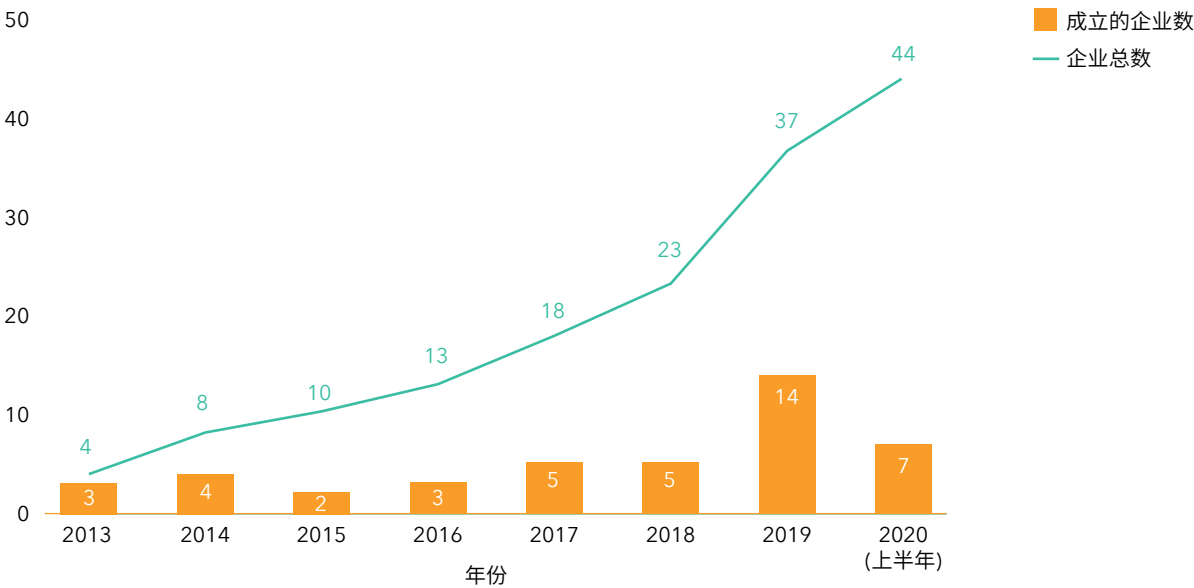
第二部分：企业

年份及地理范围

过去很长时间内，植物肉蛋奶都是面向纯素食和素食主义者这一小众群体的利基产品。然而，早期创新者们在“植物基 2.0”运动中利用新成分和新生产方式成功引起了弹性素食主义者对非动物源产品的广泛兴趣。成立于 1985 年的 Quorn 即是使用发酵型生物质开发肉类替代品的先驱。成立于 2011 年的 Impossible Foods 是第一家利用精密发酵的强大效力研制专利调味成分的企业。创始人 Pat Brown 和他的团队发现豆科植物根瘤中的血红素蛋白在植物肉中发挥的功效等于传统肉类中的动物血红素蛋白，而且这一成分只能通过微生物发酵大规模生产。Quorn 和 Impossible Foods 的成功掀起了热潮，无数企业家开始创造性地运用菌类和其他微生物研制新产品，开发美味健康、具有广泛吸引力的动物产品替代品。

然而，高度活跃的替代蛋白业毕竟还很年轻。替代蛋白领域企业的成立年份中数为 2018，已有替代蛋白业务线的企业成立年份中数为 2012。在 44 家已确认的企业中 (见表 2)，除 Quorn 之外全都晚于 2012 年成立，其中 50% 成立于 2016 年及以后。单 2019 年就成立了 14 家新企业，2020 年上半年又有 7 家问世。

图 3. 致力于替代蛋白领域的企业数 (2013-2020)

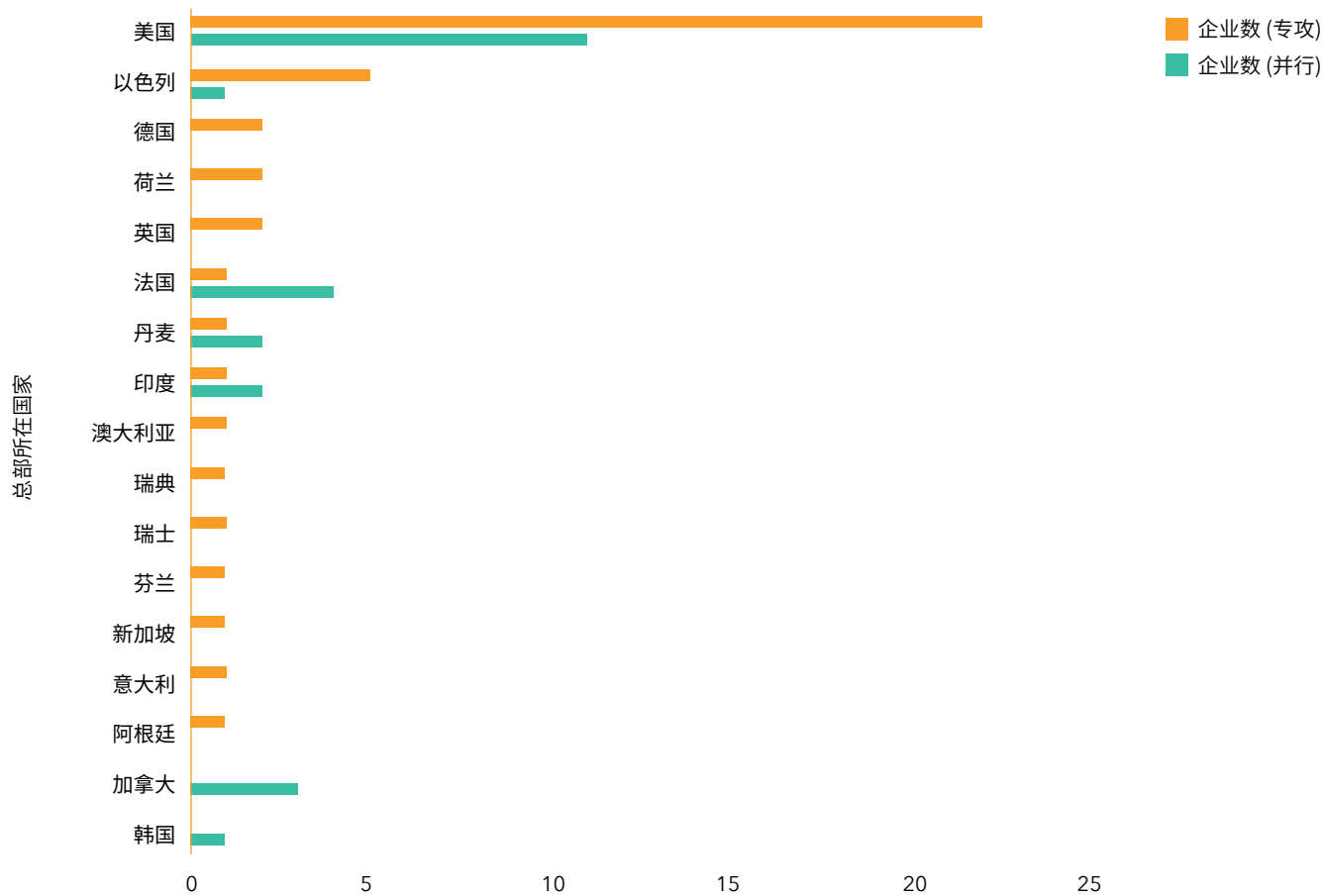


来源：GFI

第二部分：企业

这一领域的壮大不仅体现在数量上，也体现在地理范围上。涉及替代蛋白发酵应用的企业跨越了全球大部分地区，至少运作于 16 个国家：美国、法国、丹麦、德国、印度、荷兰、英国、加拿大、澳大利亚、瑞典、瑞士、新加坡、芬兰、韩国、意大利和以色列 (见表4)。企业最密集的地区是美国 (26)。欧洲有 16 家，亚太地区有 5 家。在成立于 2019 或 2020 年的 20 家企业中，12 家在美国之外的地区。在 24 家经确认已有替代蛋白发酵业务线的企业中 (见表3)，11 家在美国。

图 4．替代蛋白发酵企业的地理分布

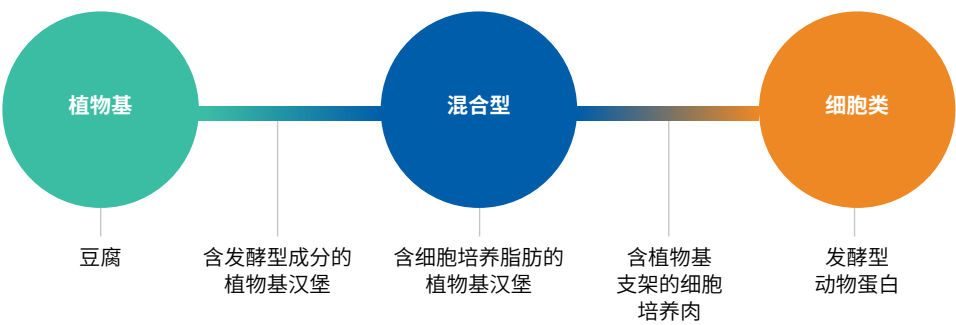


来源：GFI

第二部分：企业

前景展望

绝大多数发酵型替代蛋白产品要么已在过去几年中上市，要么即将在今后几年内投入市场。许多产品不会单使用发酵，也会含有植物或动物细胞成分，像 Impossible Foods 的牛肉即由植物和微生物原料混合而来。正如接下来的几个部分即将阐述的那样，三大替代蛋白类别将互相交叉，实现肉蛋奶产品和成分的颠覆性开发，全方位满足客户对口味、价格和可得性的期待。



随着这些产品进入市场并在消费者中展示出牵引力，产业活动便开始加速。当金融资本、人力资本和生产力相结合，工业生物工艺规模扩大，企业转向新产品开发，技术进一步提升，原料选择更加多样，便会涌现更多新企业。所有这些都将改善最终产品的口味、降低成本，以便被更广泛地采用。

如下文所示，企业们普遍采用 B2B 或 B2C (企业对消费者) 策略。目前，大约三分之二的发酵企业采取 B2B 策略。其中大部分企业专注面向 B2C 细胞培养肉或植物肉蛋奶公司，而不是其他发酵公司。正如面向 B2B 细胞培养肉公司的供应商已在 2019 年有所增长 (这一点已在 GFI 细胞培养肉产业现状报告中有所强调)，我们期待面向 B2B 发酵企业的供应商类别也能在未来有所增加。这些企业的增加能使产品质量更佳、成本更低、功能更丰富、形式更多样。而且，随着替代蛋白业的成熟，我们也期待更多企业实现全球化，尤其在 B2B 机遇大量涌现之后。全球化能令不同国家发挥各自的相对优势，比如利用中国强大的硬件制造业生产高度自动化的生物反应器及巴西的大规模农业获取价格便宜的发酵原料。

第三部分：面向消费者的应用：最终产品

概述

传统发酵长久以来已被用来生产营养丰富的美味食品，如奶酪、酸奶、酸泡菜、味噌、天贝、泡菜以及啤酒、红酒、酱油、康普茶。传统发酵最早期的迭代依赖于环境中的原有微生物，可能来自食品成分、空气、或厨子的手。然而近几百年来，人类早已通过自适应选择培育了特殊菌株。如今，厨师和食品生产商们越来越认识到有针对性的发酵运用在赋予食物独特风味、质地和营养特质上的无穷潜力。

定制应用于食品的微生物被称为“二次驯化”。延续数代的首次驯化浪潮选择性地繁殖动植物物种以获取快速繁殖和强抗病性等优良特质，于是有了今天的家畜和农作物。二次浪潮则为培育菌类、藻类、细菌和其他微生物以生产多种蛋白和功能性成分带来了史无前例的机遇。相较于动植物，微生物的驯化可以既快速又准确地达成，因为微生物的生命周期短暂而种类极其丰富，同时有关精密发酵、筛选工具和基因组学的各项技术也在不断改进。二次驯化的先驱者包括利用传统发酵的科学家厨师们，如丹麦主厨 Rene Redzepi。他在哥本哈根创立的 Noma restaurant 被认为是世上最好的餐厅之一，他的 Nordic Food Lab 专注于发酵研究。Redzepi 认为发酵是“未来的烹饪术”并将其用在自家餐厅的所有菜品上。鉴于餐厅因 2019 冠状病毒闭业，Noma 发起了藜麦天贝发酵汉堡的打包外送服务，顾客们只需拿起电话就能品尝最好吃的非动物源汉堡。其他企业也在以创新方式使用传统发酵，比如 Better Nature 以天贝为原料制造了非动物源的肉。

Atlast Food Co. 生产的菌蛋白鸡肉三明治 图片来源：Atlast Food Co.



第三部分：面向消费者的应用：最终产品

生物科技、数据分析和工业设计的进步使人们具备了更广泛的才能将传统发酵拓展至精密和生物发酵。这种日益增强的精确生物控制正使发酵成为成分和主要蛋白质制造不可或缺的创新平台。

过去五年见证了企业家们为在替代蛋白业实现发酵解决方案商业化做出的空前努力。早在 2015 年，这些企业家们就获得了顶级投资者们的支持，如 SOSV，Horizons Ventures 和 Techstars (与 AB InBev 旗下子公司 ZX Ventures 合作)。从那时起，生物科技加速器、风投公司 SOSV 旗下子公司 IndieBio 已开始孵化发酵企业 New Culture、Prime Roots、Perfect Day、Clara Foods、Geltor 和 NovoNutrients。受益于微生物种类的多样性和投资者提供的灵活性，这些企业交付了大量高相似度的非动物源肉蛋奶及其他全新产品。

消费品类目：发酵大量丰富了产品多样性

地球上的微生物种高达万亿之多。和人类日常食用的十几种动物和几百种植物物种相比，微生物为我们提供了几乎无穷尽的机会探索它们在食品中的应用。而且，通过基因编辑和基因工程让这些微生物产出特定的动植物蛋白、脂肪和其他分子能进一步增加潜在产品和工艺的多样性。企业正使用发酵生产碎肉、整切肉、鸡蛋、牛奶、奶酪、明胶、海鲜、脂肪、油类、宠物食品等其他产品。发酵也改善了所有这些类目中的植物基产品。

第三部分：面向消费者的应用：最终产品

碎肉

肉糜和碎肉是最近这波植物肉创新浪潮中出现的首批产品 (如 Beyond Meat 和 Impossible Foods 旗下产品)。这种半结构化产品能通过传统、生物质和精密发酵不断改善。成立于 1985 年的 Quorn 是第一家利用生物质发酵生产碎肉的企业，还有仿牛肉、鸡肉和猪肉的肉饼、香肠和肉糜等一系列产品。Quorn 选用丝状真菌镰孢霉制造高蛋白产品。据公司数据显示，生产中所需能量和土地比用牛肉少了九成。如今，Quorn 在这一领域不再是孤军奋战。2020 年 6 月，瑞典的 Mycorena 开始在本商店试卖菌蛋白瑞典肉丸，其他公司也在开发菌蛋白产品。以色列的 More Foods 将酵母用在肉类产品中替代植物基蛋白。Impossible Foods 和 Mediterranean Food Lab 分别使用精密发酵和传统发酵生产能颠覆性改善产品风味和多肉性的功能性成分。

图片来源：Impossible Foods



第三部分：面向消费者的应用：最终产品

整切肉

多年以来，生产香肠、鸡肉块和肉饼等重组植物肉产品主要依赖于低水分挤压工艺。如今，新技术已能令植物肉生产商们从碎肉向手撕肉、肉丝和肉丁进发。双螺旋杆高水分挤压是目前生产肌肉层次还原度最高的全肌肉产品的中坚技术。过去一年里，有关新原料(如油籽和豆子)开发和挤压设备改进的研究取得了重要进展，能为我们带来质量更好、价格更优的重组肉产品。

发酵也展示了无需挤压设备即可改善质地和营养的新机遇。非动物源整切肉和肉排开发中蕴含着无限商机，因为整切产品(如里脊、带骨类产品和火腿)是全球1.7万亿美元肉类市场中利润最高、炙手可热的部分。科罗拉多的 Meati 研发了一系列整切牛排和鸡肉产品，利用深层发酵模仿肌肉结构。菌丝体创新企业 Ecovative 旗下分拆公司 Atlast Food Co. 则使用固态发酵制造整切肉，首款产品是培根。此外，Prime Roots 用菌蛋白生产了多种直接面向消费者的创新产品。这家公司也从培根入手，使用的是丝状真菌米曲霉(亦称日本酒曲，制作味噌的微生物)，试卖的1000多份产品几小时内便销售一空。

深层发酵

Submerged fermentation

在液体培养容器中进行的微生物细胞培养，细胞被悬浮于含有营养原料的液体培养基中。其设备和酿酒厂类似。

固态发酵

Solid-state fermentation

将微生物细胞接种于潮湿的固体原料上，使其在封闭或透气环境中繁殖。将煮熟冷却的大豆作为原料的天贝即是通过固态发酵制造的。



图片来源：Atlast Food Co.

图片来源：Meati



第三部分：面向消费者的应用：最终产品

鸡蛋和鸡蛋替代品

小部分企业开始尝试用发酵制造非动物源鸡蛋以更好地获取其功能性成分。Fumi Ingredients 开发了一种蛋白替代品，可作为发泡剂、热定形凝胶和乳化剂。BioScienz 的分拆公司 The Protein Brewery 在一种真菌寄主菌株中成功表达了鸡卵清蛋白基因 (蛋白中最重要的蛋白质)。其他公司也研发了全蛋替代品，如 NobleGen 用原生生物制造的鸡蛋粉 “the egg” 已于 2020 年初投放市场。

明星企业：Clara Foods

Clara Foods 由 New Harvest 成员 Arturo Elizondo 和 David Anchel 创立于 2014 年，是第一家生产发酵型鸡蛋蛋白的企业。他们使用酵母生产蛋清蛋白 (蛋白的主要成分) 作为烹饪和烘焙成分。2019 年 4 月，Clara Foods 宣布和全球配料供应商 Ingredion 建立共同开发和分销合作关系，以加快其全球首例非动物源鸡蛋蛋白的商业化进程。Clara Foods 已募集有超过 5600 万美元的风投资金，均来自本行业顶级投资者，包括 Ingredion、B37、Hemisphere Ventures、IndieBio (SoSV)、Blue Horizon Ventures 和 CPT Capital。



乳制品：牛奶、冰激凌、黄油和奶酪

乳制品是发酵最有前景的应用之一。大多数企业已成功制造出期望的植物基奶酪，比如 Treeline 和 Miyoko's 通过发酵坚果奶油获得了理想产品，其工艺类似生产传统乳制品和奶酪。包括 New Culture、Change Foods、Cultivated、Legen Dairy 在内的其他企业最近开始生产乳制品蛋白和脂肪，这无疑将在发酵型植物基乳制品中引领新潮流。



明星企业：Perfect Day

Perfect Day 由 New Harvest 的 Isha Datar 和 New Harvest 伙伴成员 Ryan Pandya 及 Perumal Gandhi 创立于 2014 年，是第一家制作真正的牛奶蛋白（即酪蛋白和乳清）的企业。他们的产品应用于由微生物而非乳腺生产的食品。这一制造技术将催生新一代植物群基奶酪、冰激凌、酸奶和黄油。2018 年下半年，Perfect Day 和全球农产品企业 ADM 签署了联合发展协议，实现了其成分的商业化。2020 年初，Perfect Day 与旧金山冰激凌制造商 Smitten 携手，在 Smitten 当地和地区消费者直销平台上售卖非动物源冰激凌，这是市场上首款非动物源乳制品冰激凌。同样在 2020 年，Perfect Day 分拆出 The Urgent Company，创立了全新非动物源冰激凌品牌 “Brave Robot”。至 2019 年底，Perfect Day 已从 SOSV、Horizons Ventures、Temasek、Green Monday Ventures、Continental Grain Company、CPT Capital、ADM 及其他投资机构处募集了 2 亿美元的风投资金。2020 年七月，Perfect Day 宣布他们的 C 轮融资从 1.4 亿美元增加到了 3 亿美元，由 Canada Pension Plan Investment Board 持 5000 万资本领投。这家企业的总投资现已超过 3.6 亿美元。

Brave Robot 与 Perfect Day 合作的非动物源冰激凌 图片来源：Perfect Day



第三部分：面向消费者的应用：最终产品

明胶

明胶是胶原蛋白部分水解后的产物，传统上取自动物结缔组织，是肉类加工的副产品。因具有凝胶作用，明胶被运用于多种食品和化妆品中。Geltor 是非动物源明胶领域的领军企业，使用精密发酵制造了一系列胶原蛋白产品。Geltor 的市场进入战略已使其进军化妆品、膳食补充剂和生命科学等价值更高、体量更小的领域，并一路提升规模和价格以期与动物源明胶相匹敌。虽然多家制造商制作重组胶原蛋白用于研究、组织工程学和化妆品研发，这些传统企业并没有表示出转向食品应用的明确意向，而且通常只生产类人胶原蛋白。

图片来源：Geltor



第三部分：面向消费者的应用：最终产品

海鲜

植物基海鲜是替代蛋白中鲜有人踏足的领域之一。发酵，尤其是微藻发酵，也许是解锁这一领域的关键。Quorn 的无鱼鱼柳是唯一能被广泛买到的发酵型海鲜产品。Odontella 使用海藻和微藻研发了一款结构化三文鱼替代品，但这一产品仍在商业化进程中。2020 年 6 月 8 日“世界海洋日”，Meati 在 Instagram 上发了一张预告图：一份菌丝体基炸鱼片放在一篮子炸鱼薯条中。2020 年 7 月，3F Bio 公布了一款使用 Natural Machines 的 3D 打印机生产的菌蛋白金枪鱼排原型产品。如 Gardein 的冷冻鱼和蟹饼、Good Catch 的金枪鱼等其他植物基产品还使用了微藻油 ω -3。请参看 GFI 白皮书《大海般广阔的机遇》获取有关海鲜替代品发展潜力的更多信息。

3F Bio 使用 Natural Machines 的 Foodini 3D 打印技术生产的 ABUNDA 菌蛋白金枪鱼排 图片来源：3F Bio



专栏1：微藻大有可为

ω -3 脂肪酸是多种鱼油中的重要成分，长久以来一直被用作保健品。以前，人们将鱼肉打成粉以获取这些人体必需的氨基酸，但实际上它们大量存在于可通过发酵培育的微藻中。继将微藻用作生物燃料来源之后，这一宝贵的潜力市场也开始放大生产并优化提炼工艺。如今，研究者和企业将微藻用作大规模生产 ω -3 脂肪酸及其他替代蛋白投料的生物工厂。比如 Odontella 用微藻 (及大型海藻如巨藻和海草) 生产一系列微藻基营养海鲜，包括三文鱼、金枪鱼、鱼子酱、对虾、扇贝。Algama 利用微藻研发了一种不含鸡蛋的蛋黄酱。Triton Algae Innovations 将微藻作为其植物肉亚铁红血素功能性成分的表达机制。越来越多的企业开发了极其高效的微藻培养工艺及新应用，如作为添加剂、着色剂、蛋白质粉和其他配料。这些公司包括 Back of the Yards Algae Sciences、AlgaVia、FermentAlg、BioTork、Sophie's BioNutrients 和 Spira。替代蛋白产业为微藻提供了前景极佳的良好机遇，因其潜在市场总量远远超出 ω -3 脂肪酸的市场量，而且食品的价值也比生物燃料更可观。

脂肪和油类

脂肪是提升肉蛋奶产品入口时感官体验的主要成分。微生物发酵能产出多种脂肪，包括在营养和功能性上都对动物产品十分重要的脂肪种类，但这对来自植物王国的产品来说颇具挑战。现在市面上最出名的产品就是通过培养微藻生产的海藻类 ω -3 脂肪酸，如 EPA 和 DHA，它们并不是从陆生植物中提取的。Algarithm、DSM、iWi 和 Corbion 等企业生产藻类或菌类 ω -3 脂肪酸。Good Catch 的金枪鱼及其他一些植物基鱼类产品利用了这些脂肪特有的鱼味、鱼香及其他营养价值。

鉴于有限的全球供应量和棕榈种植对环境的危害，人们对利用发酵制造动物脂肪和其他饱和脂肪，如棕榈酸 (棕榈油中的主要脂肪酸) 的兴趣正日益增加。C16 Biosciences 和 Nourish Ingredients 通过改造微生物的脂类合成途径，来生产所期望的脂肪。另外，Perfect Day 和 Motif FoodWorks 宣布正在研发应用于植物肉奶的脂肪解决方案。

第三部分：面向消费者的应用：最终产品

宠物食品

因发酵能够生产出纯素宠物食品中备受欢迎的稀缺类植物蛋白，宠物食品也是发酵颇具前景的应用之一。鉴于其巨大影响力，宠物食品也是一大产业。宠物食品不仅占据了 300 亿市场份额，同时也占美国食用肉类造成的环境影响的 25%-30%。如果将美国的猫猫狗狗们组成一个国家，它将是世界上第五大肉类消耗国。此外，人类食品的生产商们也可利用有关宠物食品的研究和技术研发成果。

两家初创企业成为宠物食品中使用发酵技术的佼佼者。由 IndieBio 联合创始人 Ryan Bethencourt 创立于 2017 年的 Wild Earth 在 2018 年公布了他们基于日本酒曲制造的狗狗零食原型产品后，又于 2019 年推出了一款用酵母生产的高蛋白狗粮。Bond Pet Food 则采用了不同的方式，使用微生物制造特定的动物肌肉蛋白。2020 年 3 月，Bond 介绍了他们的首款产品：用新型酵母菌株生产的高蛋白狗狗零食。

Wild Earth CEO Ryan Bethencourt 正在吃酵母基狗粮 图片来源：Wild Earth



第三部分：面向消费者的应用：最终产品

前景展望

发酵正成为替代蛋白的主要贡献者，其为各种替代蛋白产品带来的良好口味、质地、营养价值和实惠价格吸引了越来越多的消费者。发酵很有可能在下一波细胞培养肉和植物基、藻基、菌基类食品新浪潮中发挥不可或缺的作用以赶上乃至超越动物基同类产品的感官和功能范式。2019 年末和 2020 年初，不少地区或网上产品上市，尤其是奶酪、冰激凌和肉类。我们期待这些产品能在今后几年推广至全球，经受消费者的考验并获得巨大的市场成功。我们对发酵型最终产品的探索才刚刚开始。

图片来源：Meati



第四部分：面向企业的应用：食品原料

现有上游原料企业在酶解决方案和放大生产中功不可没

在发酵工业领域，现有的 B2B 企业包括食品加工用酶、风味成分、维生素和应用于奶酪、酸奶和腊肉等发酵食品的活性微生物的生产商。包括 Cargill、DuPont、AB Enzymes、Biocatalysts、Novozymes、Kerry、ADM、DSM、Amano 和 Ajinomoto 在内的这些企业对酶、菌株的培养和大规模生产已积累了深厚的专业知识。

虽然目前还未将替代蛋白作为主要业务，这些企业认可这片新应用领域日益增长的重要性，且正在探索新解决方案。比如，DuPont 与 International Flavors and Fragrances Inc. 合并以后在植物肉领域进行了巨额投资，推出了一系列可优化植物基乳制品的活性微生物菌种。这是他们近期提出的植物基行业综合性成分解决方案的一部分。同样，Novozymes 也拓展了市场领域，利用酶改善植物蛋白的风味和功能，而且他们还研发了一套定制酶工具包以支持特定植物性成分和产品类别的产品开发，比如燕麦基饮料。DSM 近期也推出了一组酶解决方案，意在为植物基乳制品生产者提供便利。

由于具备大规模发酵的能力并积累了深厚的专业知识，这些企业在生产自家产品之外也经常承接其他企业的生产项目。因此，他们也许是放大生产或与有意进入替代蛋白领域的新兴发酵企业携手合作的理想候选人。比如，ADM 和 Perfect Day 签署了联合发展协议，大规模生产非动物源乳制品蛋白。这样的合作关系能使新企业利用现有的设备和操作技术进行大规模生产，比自己购置新设备更快速、更划算。

第四部分：面向企业的应用：食品原料

新兴 B2B 企业作为替代蛋白业的供应商和服务提供者

大部分 B2B 替代蛋白发酵企业将自己定位为原料供应商，为 B2C 企业改进品牌产品提供服务。比如，Myco Technology 和 3F Bio (见下 “明星企业” 专栏) 制造天然微生物调味解决方案或增肌蛋白，应用于直接面向消费者的产品，而 Clara Foods、Fybrworks Foods 和 Geltor 则利用生物技术为这类产品在微生物或菌丝体寄主中生产真正的动物蛋白。规模、成分、功能性是这些企业对替代蛋白生态系统进行分化增值的核心驱动力。

明星企业：MycoTechnology

位于科罗拉多的 MycoTechnology 为我们展示了两个将发酵用作植物基行业技术支持平台的特别案例。他们的第一款产品 ClearTaste™ 是提取自真菌菌丝体的调味剂。在替代蛋白业中，它的主要作用是苦味抑制剂，去除某些植物蛋白的异味。这一产品非常具有启发性，它利用发酵的潜能迎合了消费者对所谓清洁标签产品的兴趣。许多已有的调味剂都是化学合成的，所以这一产品是从发酵过的生物体中筛选天然合成物的典范，和天然产品具有同样的调味功能，为生产没有丧失良好口味的清洁标签产品提供了思路。

MycoTechnology 的第二款产品 PureTaste™ 以豌豆和大米蛋白为原料利用香菇菌丝体进行发酵，从而改善原料的风味、芳香和功能性特质。这一方法展示了菌类在食品中最强大、最原始的传统应用：作为生物转化剂使食品更美味、营养更佳、功能性更强，以此应对植物蛋白业特有的关键挑战。尤其值得一提的是，经 PureTaste™ 发酵后，用作原料的豌豆和大米中不好的气味和口味被去除了，与未经发酵的原材料相比，展现了更好的水油结合力和组织化能力。全球最大的肉类企业 JBS 旗下子公司 Planterra 利用 PureTaste™ 技术制造出了新品牌 Ozo 下的一系列植物肉。



明星企业：3F Bio



位于苏格兰的 3F Bio 向我们展示了如何在原料使用和生产工艺上进行创新，发掘现有真菌菌株的新价值。这家企业选用的丝状真菌已由菌蛋白企业 Quorn 使用了数十年，但是他们将自己定位为自家真菌蛋白 Abunda™ 的 B2B 供应商。为提高可持续生产力并降低成本，3F Bio 将生产场所选在生物乙醇厂附近，打造能有效利用所有本地生物质原料副产物的“综合型生物炼制厂”。

3F Bio 菌蛋白发酵的原料是玉米、小麦等谷物经生物发酵后的剩余生物质。目前，这些剩余物大部分被廉价卖给饲料业，作为蛋白质和卡路里的补充。3F Bio 的真菌菌株可将这种低质量、不易消化的生物材料转化为高质量、更美味的成分，并应用于多种肉类替代品中。2019 年 7 月，3F Bio 和包括肉类企业 Mosa Meats 和植物肉品牌 Vivera 在内的近十家合作者宣布共同合作，一起打造首座商业规模的综合型生物炼制厂。

企业间的互相合作在发酵行业还有另一层含义：企业将自己看作是 B2B 或 B2C 发酵企业的服务提供者和技术开发伙伴。Culture Biosciences 就是提供流程优化服务的佳例。它为包括 Geltor、Clara Foods、Modern Meadow 和 C16 Biosciences 在内的众多发酵企业提供支持，帮助他们加速流程开发及成本曲线进程，并减少内部研发的资本支出。

明星企业：Motif FoodWorks

Motif FoodWorks 是利用平行产业 (如工业生物技术、治疗学、生物材料) 的技术平台改进替代蛋白业的佳例，其首创性令人瞩目。

2019 年 2 月，合成生物业领军 Ginkgo Bioworks 宣布推出分拆公司 Motif，后者已获得 9 千万美元的 A 轮融资。Motif 专注于拓展 Ginkgo 的生物铸造厂在肉蛋奶替代品中的应用能力。Ginkgo 的角色是菌株和生物合成途径开发的技术开发合作伙伴，Motif 的任务则是鉴定靶分子并生产出来用作植物基产品中的调味和功能性解决方案。至 2019 年 8 月，Motif 又获得 2700 万融资，他们计划用这笔资金在 2021 年初推出首款 B2B 商业产品。

除了将近期重点放在脂肪解决方案上，Motif 还同澳大利亚 University of Queensland 的研究者们建立了合作关系，一起开发评估质构的高通量方法，而目前质地评估都是由昂贵、不稳定且十分耗时的感官专家小组进行的。这些新的自动化筛选方式将配合 Motif 的一系列寄主菌株和蛋白表达优化工具一起实现蛋白设计和选择的快速迭代，从而开发能改善植物肉蛋奶产品质量的成分。



第四部分：面向企业的应用：食品原料

前景展望

随着发酵在替代蛋白领域的应用越来越活跃，我们期待更多知名企业和新兴企业将发酵企业作为核心客户群。这一技术的持续发展及生态环境的不断优化将会大幅加速发酵型替代蛋白原料和产品的面世。在未来几年中，随着现有发酵企业将重点从低价值成分，如主要应用于动物饲料的脂肪酸，转向应用于替代蛋白业的高价值发酵型成分，我们也期待合同制造能发挥更积极、更明确的作用。

来自 Atlast Food Co. 的菌丝体基鸡肉沙瓦玛 图片来源：Atlast Food Co.



第五部分：投资

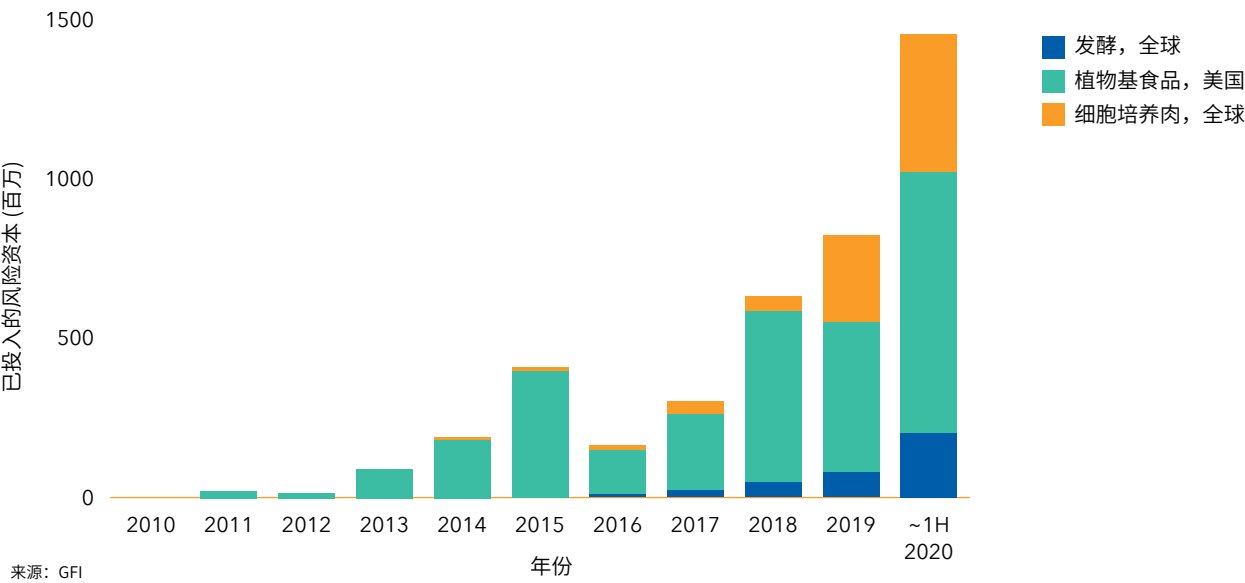
概述

早在 1985 年 Quorn 成为这一领域的首位商业参与者时就有了发酵型替代蛋白子领域。虽然 Quorn 的零售成就 (2019 年位居美国前十、英国第一) 和财务成功 (2015 年由 Monde Nissin 以超 7.25 亿美元高价收购) 颇为瞩目，然而 2013 年以前替代蛋白发酵版块的风险投资微乎其微。

2013 年，作为首家通过发酵生产或实现非动物源配方的企业，Triton Algae Innovations 募集到了风投之外的投资：来自 Haliae Development 的 500 万美元。从那时起，替代蛋白发酵企业已募集了超过 8.37 亿美元的风投资金；其中，2.74 亿在 2019 年交割完毕，2020 年仅头七个月就交割了 4.35 亿美元 (见图7)。

虽然发酵企业的全球年度风投总额直到 2015 年才超过 1000 万美元，发酵还是迅速成为了替代蛋白投资版图中的强劲版块。比如，2019 年发酵企业募集的资金是所有细胞培养肉企业总和的 3.5 倍，交割额近当年美国植物基食品企业的 60%。Perfect Day、Motif FoodWorks、Clara Foods、Nature’s Fynd 和 Myco Technology 的轮番融资 (总额超 2000 万美元) 推动了 2019 年的大波资金涌入。2020 年，对发酵的投资达到了前所未有的高度。

图5. 替代蛋白领域的风投趋势 (2010-2020.7.15)



专栏2：数据收集方法

计算本报告中的投资数据时，我们利用公司数据库创建了一份定制列表，表中的 24 家企业均以 PitchBook 上列出的替代蛋白发酵应用为专门或主要业务（见表1）：……和 Wild Earth。根据计入标准，我们排除了至少 26 家同领域企业，因为他们获得的投资可能并不主要用于替代蛋白。比如 Geltor 虽募集了超过 1.17 亿美元的资金，但他们同时也涉足化妆品领域。这部分中的“投资活动”包括风险投资、合并、非二级交易市场的控制股权收购、不可转换债券或补助。投资被进一步细分为“风险投资”（天使轮融资、种子轮融资、众筹、早期风险资本投资、晚期风险资本投资、加速器或孵化器融资、私募股权成长/发展资本、资本化、企业创投和可转化债券）和“退出”（合并、收购、上市、后续股票发行和控制股权收购）。此处的投资数据严重低于实际数据，因为它们不包含企业研发投资、学术投资和 PitchBook 上未披露或未收录的交易。

图6. 发酵投资概览



底部横幅：见专栏 2 中 GFI 的数据收集方法及对“投资”、“风险资本”和“退出”的定义。

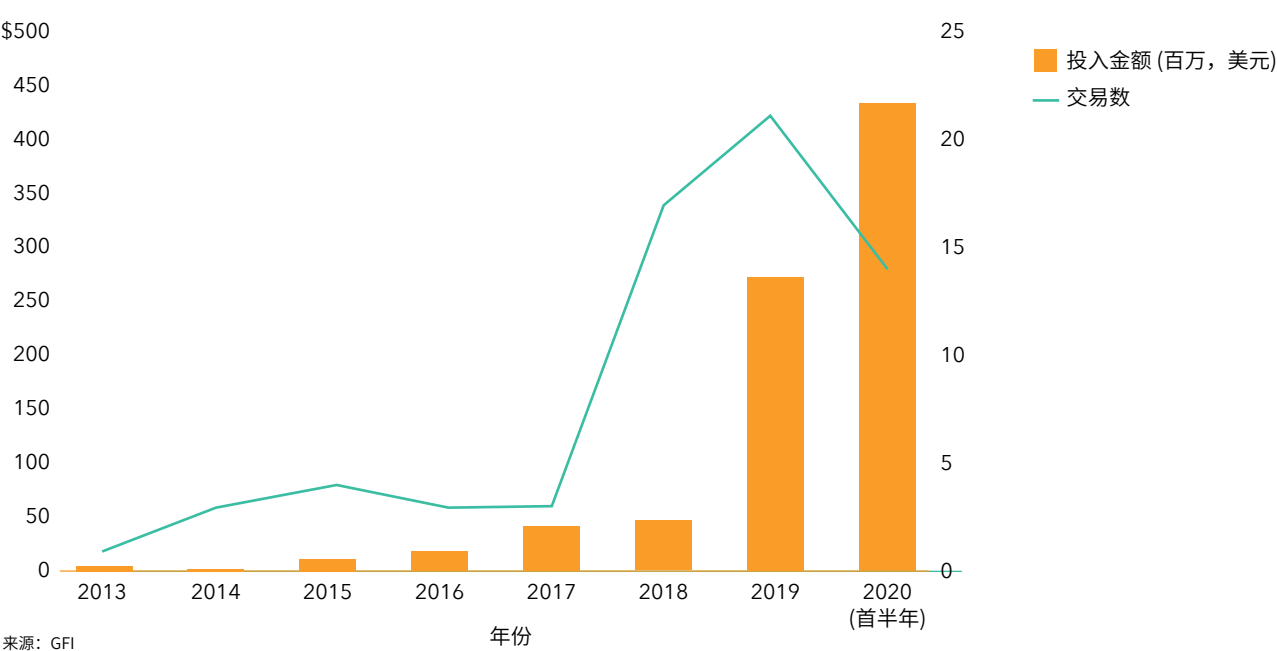
第五部分：投资

风险资本投资

2019 年发酵创新方面的投资达到了新高度；15 家企业在 21 笔单独交易中成功募集了从种子轮到 C 轮的风险投资 (见表7)。这意味着截至 2019 年底，全行业约 68% 的风险投资都发生在过去 12 个月。即使在 Covid-19 新型冠状病毒蔓延期间，2020 年上半年的风险资本融资也超过了往年总和。从 2020 年 1 月 1 日到 7 月 15 日，发酵企业在涉及 14 笔交易、9 家企业的风险融资中带来了 4.3538 亿美元的投资。这些交易中包括 Perfect Day 成功募集的 3 亿 C 轮融资，这是行业史上最大的一轮风投融资，Perfect Day 将用这笔资金扩大非动物源乳制品生产，同时拓展 B2B 合作伙伴组合。这一 C 轮融资起初宣布于 2019 年 10 月，由 Temasek Holdings (著名新加坡主权财富基金、成就显著的风险投资基金) 领投，本应在 12 月部分交割。但在 2020 年 7 月，这一 C 轮融资在加拿大最大的养老金基金领投下又增加了 1.6 亿美元，从而扩大至 3 亿美元，且公司总投资增加至 3.6 亿美元。我们把完整的 C 轮融资划分在 2020 年 7 月交割。

这一 C 轮融资使全行业的风投总额高达 8.3725 亿美元，并且意味着发酵企业募集的风投总额的 52% 能在 2020 年上半年交割完毕。2019 年和 2020 年上半年募集到的风险投资加起来占这一行业迄今为止所有风投总额的 85%。随着企业逐渐成熟，展示出概念验证并随着替代蛋白领域的其他行业一同壮大，这些投资无疑将会进一步增加。

图 7. 发酵企业的风投总额 (2013-2020.7.15)



第五部分：投资

表 4. 融资最多的前十家发酵企业

这张表提供了替代蛋白发酵企业的风险资本融资概览。本表只为这些企业标注了 PitchBook 中列出的有关数据。PitchBook 是 GFI 的惯例参考，入选的 24 家企业主要专注于通过微生物发酵制造人类或宠物食品中的替代蛋白 (见表1)。有 50 多家企业没有列入表中，他们虽然在替代蛋白发酵中有重要创新，但工作重点仍在其他领域的发酵应用，比如化学产品或水产饲料。

企业	地点	最大轮融资 (日期)	募集资金总额 (轮数)	投资机构
Perfect Day	旧金山，加州，美国	3 亿美元 (2020.07)	3.6148 亿美元 (C 轮)	Canada Pension Plan Investment Board, SOSV, Horizons Ventures, B37 Ventures, CPT Capital, Green Monday Ventures, ICONIC Capital, Lion Ventures, Temasek Holdings, Verus International, ADM Capital
MycoTechnology	奥罗拉，科罗拉多，美国	3900 万美元 (2020.06)	1.2067 亿美元 (D 轮)	Closed Loop Capital, Kinetic Ventures, Middleland Capital, S2G Ventures, Seventure Partners, Wavemaker Partners, Ajinomoto, Bunge, Continental Grain Company, eighteen94 capital, Emerson Collective, GreatPoint Ventures, Tao Capital Partners, Windy City, ADM Capital, DNS-Hiitake, Kellogg Capital Group, TML-Invest, Tyson Ventures, Evolution VC Partners, Kingdom Capital Group, Greenleaf Foods, SPC, Rich Products Ventures
Motif FoodWorks	波士顿，马萨诸塞州，美国	9000 万美元 (2019.02)	1.175 亿美元 (A 轮)	Breakthrough Energy Ventures, CPT Capital, Fonterra Ventures, General Atlantic, Louis Dreyfus Company, Viking Global Investors, Anchorage Capital Group, The Yard Ventures
Nature's Fynd	芝加哥，伊利诺伊州，美国	8000 万美元 (2020.03)	1.13 亿美元 (B 轮)	1955 Capital, ADM Ventures, Breakthrough Energy Ventures, Danone Manifesto Ventures, Lauder Partners, Liebelson family office, Generation Investment Management, Mousse Partners

第五部分：投资

Clara Foods	旧金山，加州，美国	4000 万美元 (2019.04)	5680 万美元 (B 轮)	SOSV, UpHonest Capital, Wei Guo, B37 Ventures, Blue Horizon Ventures, Starlight Ventures, VegInvest, B37 Ventures, Beyond Investing, CPT Capital, Hemisphere Ventures, Ingredion, IOVC, Main Sequence Ventures, MicroVentures, Veronorte
Wild Earth	伯克利，加州，美国	1100 万美元 (2019.05)	1555 万美元 (A 轮)	BABEL Ventures, Blue Horizon Corporation, Civilization Ventures, Felicis Ventures, Social Impact Capital, Stray Dog Capital, VegInvest, Aera VC, Everhope Capital, Founders Fund, M Ventures, Thiel Capital, Vectr Ventures
3F Bio	格拉斯高，苏格兰，英国	863 万美元 (2018.04)	922 万美元 (A 轮)	Data Collective, EOS Technology Investment Syndicate, Scottish Enterprise, University of Strathclyde Endowment, CPT Capital
Meati	博尔德，科罗拉多，美国	320 万美元 (2020.6)	800 万美元 (种子轮)	Cleantech Open Midwest, Mid-West Energy Research Consortium, Chain Reaction Innovations, Better Ventures, Bluestein & Associates, Congruent Ventures, Fifty Years, Prelude Ventures, Social Starts, The March Fund, Trust Ventures, Unovis Partners, Boulder Food Group
Atlast Food Co.	绿岛，纽约，美国	700 万美元 (2020.05)	700 万美元 (种子轮)	Alpha Impact Investment Management, Stray Dog Capital, Unovis Partners
Triton Algae Innovations	圣地亚哥，加州，美国	500 万美元 (2013.09)	500 万美元 (种子轮)	Heliae Development

退出：Quorn 独领风骚

目前替代蛋白发酵行业还过于年轻，谈论“退出”为时过早(即如驱动风险资本投资模式的首次公开募股或收购等清偿事件)。然而，领先众多企业、于数十年前成立的菌蛋白先驱 Quorn 为我们提供了颇具前景的案例参考。英国食品公司 Rank Hovis McDougall (RHM) 在二十世纪六十年代时开始研发新产品并争取有关监管批准。不过，直到 1985 年，“Quorn”这一品牌(以一英国乡村名命名)才通过 RHM 和 Imperial Chemical Industries (ICI) 联合投资首次面向市场。

Quorn 起初在英国的 Sainsbury 超市售卖咸味馅饼，随后将市场拓展至欧洲其他地区并于 2002 年最终进入北美。作为替代蛋白领域的首批市场进入者之一，Quorn 享受了充分的市场主导性和商业成功。1993 年，Quorn 从持有 RHM 所有股份的老东家 ICI 分拆出来，转至 AstraZeneca 旗下。2003 年，Montagu Private Equity 以 1.16 亿美元买下 Quorn，两年后又以 3.15 亿美元转卖给 Premier Foods。2011 年起，Quorn 在私募股权投资者中几经转手，最终于 2017 年由菲律宾食品公司 Monde Nissin 以 7.26 亿美元的高价收购。值得注意的是，Quorn 同时也获得了大量债务融资，包括 1.47 亿美元的债务再融资、1.13 亿的英镑票据，以及自 2019 年 3 月起从 CitiGroup Global Markets 和 HSBC Bank 获取的 1000 万英镑的循环信贷额度(数据来源 PitchBook)。我们期待其他发酵企业也能在近几年内实现资金退出，而不是数十年之后。

第五部分：投资

投资者

据 PitchBook 统计，发酵企业已从至少 180 家独特的投资者处获得投资。以下数据仅作参考：农业科技吸引了超过 5800 家投资者，而食品科技企业则超过 3500 家。虽然只有小部分投资者 (这在新生行业十分常见)，但其中包括了颇具远见和战略性的企业和个人。著名投资者从大型企业、顶级加速器、食品企业集团、政府、获利颇丰的风险资本投资者、影响力投资人到替代蛋白专项基金，种类繁多，不一而足。具体包括：Louis Dreyfus Co., Bunge Ventures, Kellogg Capital, ADM Capital, Danone Manifesto Ventures, Kraft Heinz Evolv Ventures, Continental Grain Company, Mars, Tyson Ventures, SOSV (IndieBio), Viking Global Investors, Thiel Capital, Breakthrough Energy Ventures, Fifty Years, Generation Investment Management, Mayfield Fund, Techstars, and specialists New Crop Capital, Blue Horizon Ventures, CPT Capital, Purple Orange Ventures 和 Stray Dog Capital。

发酵企业的所有投资者来自跨越五大洲的 19 个国家。其中半数 (总计 98 家) 总部位于美国。第二密集的是欧洲，共有来自 12 个国家的 63 家投资者。英国 17 家，瑞典 10 家，法国 8 家，荷兰 7 家，芬兰 6 家。亚洲投资者共 13 家，8 家在中国，2 家在新加坡；印度、菲律宾和日本各 1 家。澳大利亚、新西兰、阿拉伯联合酋长国、巴巴多斯、哥伦比亚合计有 6 家投资者。

第五部分：投资

表 5. 替代蛋白发酵企业的投资者 (按交易数计)

以下表格列出了发酵企业的投资者。我们按投资数筛选，只列出了据 PitchBook 显示至少有过两次投资的投资者¹。

投资者	投资次数 (包括后续投资)	组合公司数量	主要投资者类型	总部位置
SOSV	12	6	风险投资	普林斯顿, 新泽西州
CPT Capital	10	7	风险投资	伦敦, 英国
Horizons Ventures	5	1	风险投资	香港, 香港
B37 Ventures	3	2	风险投资	旧金山, 加州
Breakthrough Energy Ventures	3	2	风险投资	柯克兰, 华盛顿州
Continental Grain Company	3	2	企业基金	纽约, 纽约州
Middleland Capital	3	1	风险投资	华盛顿, 哥伦比亚特区
S2G Ventures	3	1	风险投资	芝加哥, 伊利诺伊州
Temasek Holdings	3	1	主权财富基金	新加坡, 新加坡
VegInvest	3	2	风险投资	纽约, 纽约州
1955 Capital	2	1	风险投资	洛思阿图斯, 加州
ADM Capital	2	2	对冲基金	香港, 香港
Archer Daniels Midland Ventures	2	1	企业风险投资	圣路易斯, 密苏里州
Agronomics (LON: ANIC)	2	2	风险投资	道格拉斯, 英国
Atlantic Food Labs	2	2	风险投资	柏林, 德国
Bånt AB	2	1	风险投资	吕勒奥, 瑞典
Closed Loop Capital	2	1	风险投资	拉德纳, 宾州
Danone Manifesto Ventures	2	1	企业风险投资	纽约, 纽约州
Data Collective	2	1	风险投资	帕洛阿尔托, 加州
eighteen94 capital	2	1	企业风险投资	巴特克利, 密歇根州
EOS Technology Investment Syndicate	2	1	天使投资团体	圣安德鲁斯, 英国
Felcis Ventures	2	1	风险投资	门洛帕克, 加州
Founders Fund	2	1	风险投资	旧金山, 加州

第五部分：投资

General Atlantic	2	1	成长/发展资本	纽约, 纽约州
Kale United	2	1	风险投资	斯德哥尔摩, 瑞典
Lever VC	2	1	风险投资	布鲁克林, 纽约州
National Science Foundation	2	2	政府基金	亚历山德里亚, 弗吉尼亚
Plantbase Foundation	2	1	企业基金	海姆斯泰德, 荷兰
ProVeg Incubator	2	2	加速器/孵化器	柏林, 德国
Scottish Enterprise	2	1	风险投资	格拉斯高, 英国
Seventure Partners	2	1	风险投资	巴黎, 法国
Social Starts	2	2	风险投资	旧金山, 加州
University of Strathclyde Endowment	2	1	有限合伙人	格拉斯高, 英国
Unovis Partners	2	2	风险投资	纽约, 纽约
Vectr Ventures	2	1	风险投资	香港, 香港

表格来源：GFI 对 PitchBook 数据的分析

1. 只对替代蛋白发酵企业进行过一次投资的投资者如下：100 Plus Capital, Aera VC, Agoranov, Ajinomoto (TKS: 2802), Ali Partovi, Alumni Ventures Group, Amadori, Anchorage Capital Group, Andante Asset Management, Angelor Capitale, AstraZeneca (LON: AZN), Atómico, BABEL Ventures, Bee Partners, Bertebos Foundation, Better Ventures, Beyond Investing, Bitburger Ventures, Bits x Bites, Blu1887, Blue Horizon Ventures, Bluestein & Associates, Boost VC, Brad Feld, Bunge Ventures (NYS: BG), Chain Reaction Innovations, Chalmers Innovation Office, Civilization Ventures, Cleantech Open Midwest, Collaborative Fund, Congruent Ventures, David Friedberg, David Larrabee, DNS-Hiitake, DreamIt Ventures, EIT Climate-KIC, EIT Food, Emerson Collective, Ephraim Lindenbaum, Eric McCarthey, European Commission, European Union, Everhope Capital, Evolution VC Partners, Evolv Ventures, Exponent Private Equity, Falkenbergs Sparbanks Foundation, Fazer Group, FBG Invest, Fifty Years, Fonterra Ventures, FoodTech Accelerator, For Good Ventures, Generation Investment Management, GETIC, Ginkgo, GreatPoint Ventures, Green Campus Innovations, Greenleaf Foods, Green Monday Ventures, Groth & Co., GU Ventures, Hadi Partovi, Happiness Capital, Heliae Development, Hemisphere Ventures, Hexagon (STO: HEXA B), Holdix, ICONIQ Capital, Ilias Hicham, Ilya Kuntsevich, IndieBio, Ingredion (NYS: INGR), Innovation Industries (Amsterdam), Intermediate Capital Group (LON: ICP), IOVC, Jacques-Antoine Granjon, KBW Ventures, Kellogg Capital Group, Kinetic Ventures, Kingdom Capital Group, Lauder Partners, LES Foundation, Liebelson Family Office, Lifeline Ventures, Lion Ventures, Lisa Gansky, Louis Dreyfus Company, M Ventures, Main Sequence Ventures, Marc Simoncini, Mars, Mayfield Fund, MBC BioLabs, MicroVentures, Mid-West Energy Research Consortium, Monde Nissin, Montagu Private Equity, Mousse Partners, Nationale Postcode Loterij, Nick Elmslie, Paris&Co Incubateurs, Paul Grossinger, Plug and Play Tech Center, Prelude Ventures, Premier Foods (LON: PFD), Purple Orange Ventures, Radical Investments, Rich Products Ventures, Right Side Capital Management, Scott Banister, SHIFT Invest, Social Impact Capital, Sonny Vu, Starlight Ventures, StartLife, Stray Dog Capital, Tao Capital Partners, Techstars, The March Fund, The Yard Ventures, Thiel Capital, TML-Invest, True Ventures, Trust Ventures, Tyson Ventures, U.S. Environmental Protection Agency, United Business Media, United States Department of Agriculture, UpHonest Capital, Urban-X, Veronorte, Verus International, Viking Global Investors, Vinnova, VTT Ventures, Wavemaker Partners, Wei Guo, Windy City, Xavier Niel, Yield Lab, ZX Ventures, and Voima Ventures.

专栏4：政府资助孵化新兴产业

发酵是颠覆旧范式的创新。它可以为低价值农工业副产品解锁高价值新应用，满足随全球人口增加而不断增长的营养需求，帮助确立蛋白质的独立自主与安全（不会因瘟疫期间屠宰场闭业而供给不足）。因此，一些政府积极扶持本领域相关企业毫不为奇。

美国、欧盟、以色列即在首批为这一行业提供支持的政府之列。



在美国，至少三家联邦机构为替代蛋白发酵企业提供资助或直接投资。比如 Nature's Fynd 在 2014 和 2015 年收到了来自美国环境保护局、国家科学基金会 (NSF) 和美国农业部的 127 万美元资助。Meati (前身为 Emergy Foods) 也在 2019 年收到了来自 NSF 的 22 万美元资助。一些政府机构进行了股本投资，比如美国能源部通过 Argonne National Laboratory 孵化部门对 Meati 投资。



2020 年初，Mycorena 收到了来自欧盟常设执行机构欧盟委员会的 5 万欧元资助。2019 年，3F Bio 收到了来自欧盟食品创新孵化器 EIT Food 的投资。而且，3F Bio 及合作企业收到了来自 EU Horizon 2020 项目的 1700 万欧元资助，计划打造零浪费生物炼制厂以利用低成本可持续原料生产食品级蛋白。这一名为 PLENITUDE 的项目将 3F Bio、某生物乙醇炼制厂、Bridge 2 Food、Mosa Meat (细胞培养肉企业)、

Wageningen University、International Flavors & Fragrances、Alcogroup SA 和其他企业联合到了一起。2020 年 6 月，EIT Food Accelerator Network 公布了 2020 年度新合作伙伴，包括 Mycorena 及其他几家细胞培养肉和植物肉蛋奶企业。

公布于 2019 年末的 EU Smart Protein 项目是一项创新之举，旨在将替代蛋白业打造为具有前瞻性的可持续营养食品供应链。它涵盖了对发酵技术 (菌类及副产品转化) 的支持，总预算达 1050 万美元。包括 AB InBev 在内的 30 多家行业合作伙伴参与了这一项目。欧盟还支持了 ProFuture 项目，由政府出资促进微藻在食品和饲料中的生产和应用。



在发酵初创企业的第二大集中地以色列，企业们可以利用由以色列创新管理局大力资助的几个孵化项目，如 Kitchen FoodTech Hub。

这些投资虽前景无限但数量还相对较少，而且只有少数几个政府支持。当前，替代蛋白领域的全球私人研发投入总额在 10 亿美元左右，而政府在可再生能源上的投资仅 2011 年就超过了 80 亿美元。

第五部分：投资

前景展望

替代蛋白业的发酵技术向我们呈现了从根本上改变全世界饮食方式的机会。企业们研发的发酵技术虽前景广阔，但还不够成熟、根基不稳、过于单薄。从中试放大生物工艺到全面实现商业化以及开发更多使用实例并不断优化这项技术 (见第六部分) 将需要数十亿融资和研发经费。

虽然在进一步引入竞争，增加资金、研究及加强配套基础设施方面有大量需求，我们对未来持乐观态度。我们不仅期待来自生物科技投资者、替代蛋白投资者、农业食品科技投资者和主流投资者的更多风险资本投资进入这片领域，也希望能有更多债务融资选项，以便企业在从种子轮到 A 轮、B 轮及更多轮的融资中不断成熟的同时也能在未来几年扩张生产力。此外，GFI 将通过竞争性研究资助项目 (如目前的燕麦发酵和香辛料科研基金) 并争取更多政府基金来持续不断地支持这一行业。

图片来源：Air Protein



第六部分：科学和技术机遇

概述

尽管将微生物发酵应用于食品和工业生物技术已有着悠久的历史，大量创新潜能还有待发掘。微生物丰富的生物多样性和几乎无限制的生物合成力可在发酵工艺的更迭中转变为探索新型替代蛋白解决方案的无限机遇。提升发酵工艺的机遇可分为价值链上下的五大关键领域：靶分子选择和设计、菌株培育、投料优化、生物工艺设计和最终产品调配和生产。

靶分子 Target
通过精密发酵获得的特定分子或分子混合物，可以是某种蛋白质、脂肪色素、维生素或可通过生物途径获取的芳香物质。

表 8. 遍布发酵价值链的技术发展机遇



靶分子选择和设计

靶分子选择和设计的概念仅适用于精密发酵。靶分子就是指代期望通过精密发酵合成的分子，可以是某种蛋白质、脂类、风味物质、芳香剂、酶、生长因子、色素或其他类型的分子。

获取靶蛋白分子时，合成靶分子的操作指南就隐藏在寄主的 DNA 编码中，要么是天然基因，要么是通过基因工程引入。最先通过精密发酵获取的已广泛商业化的食品成分是重组凝乳酶，一种用于制造奶酪的凝结酶（早先提取于犊牛皱胃）。现在，大多数现代奶酪制造都使用这一精密发酵的产物。

这种牛奶消化酶天然存在于犊牛皱胃中，因此它是动物蛋白，必须借助微生物寄主才能通过发酵获取。但是其他蛋白质可以通过基因工程获取或天然存在于各种微生物菌种中。比如 Impossible Foods 的豆血红蛋白就是借助基因工程改造酵母寄主大规模高效生产的，而微藻企业 Triton Algae Innovations 正在实现商业化的血红素蛋白则原生于微藻菌种中，无需借助基因工程。

然而，非蛋白靶分子不能直接编入寄主DNA，而是通过基因编码一系列构成生物合成途径的酶来生产靶分子。比如，虽然藻类 ω -3 的靶分子是脂肪酸 DHA 和 EPA，但是在细胞内将靶前体转化成靶分子是通过几种基因编码酶形成得指令进行的。

发酵还可分离靶分子的原始来源和生产方式。这一分离大大拓展了有独特、宝贵功能的生物分子的可搜索版图。首先，理想的靶分子原本可能只存在于难以获取、价格昂贵的珍稀物种，要么根本不可得或不切实际。但是发酵为大批量生产这些靶分子提供了机制，而且能将成本控制在商业允许的范围之内。其次，靶分子不再受限于天然种类：靶分子的新型变体可以通过随机突变和筛选（定向进化）或理性设计获取，且性能更优于天然靶分子。

Geltor 的胶原蛋白制造平台即体现了上述两方面。从传统动物来源获取明胶时，能批量加工的只限于少数几个动物品种（主要是猪和牛，虽然鱼胶也能买到）。但是明胶在动物界无处不在，Geltor 可以用各种动物制造胶原蛋白，包括已灭绝的物种。2018 年，这家企业用水母胶原蛋白制作非动物源皮书粘合剂，用乳齿象

生物合成途径

Biosynthetic pathway

发生于细胞内合成某分子的一系列化学反应。虽然某些步骤可以仅通过化学反应自发进行，但许多步骤都离不开酶的参与。这些酶可以被导入寄主细胞使其具备制造新靶分子的能力。

DHA 和 EPA

二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸， ω -3 脂肪酸家族成员，通常和鱼油联系在一起，也可通过藻类获取。DHA 和 EPA 是长链 ω -3 脂肪酸（分别包含 22 个和 20 个碳原子），可用酶在富含于植物油中的短链 ω -3 脂肪酸的碳链上额外添加碳单元获取。这一反应也发生于人体细胞中，但比较低效。

定向进化 Directed evolution

筛选已进化出期望特征的分子变体。其理念类似于动植物领域的人工选育，不过定向进化在分子层面进行，而不是生物体层面。

理性设计 Directed evolution

基于相关分子特性的深度理解设计新分子。这项技术需要一定的预测能力，要能洞察分子功能和结构之间的关联机制。

第六部分：科学和技术机遇

胶原蛋白制作胶状零食，展示了其平台的多样性。Geltor 还可以定制胶原蛋白，使其具备高度适应某种特定应用的期望特质，比如具有特定胶凝黏度、弹性或熔融温度的明胶。

同样，发酵也能改造或加工酶类，使其展现出更高活性、更新底物专一性、更大稳定性、或在特定加工条件下的稳健性，并且大幅度降低成本。这样的酶能在替代蛋白领域发挥多种功效。通过发酵，我们可以筛选靶分子的天然变体并设计新变体以增强感官、功能或营养特质，或是其他可减少成本及有利于流水化生产流程的特质。发酵中蕴藏着无限开发可能。

菌株培育

迄今为止菌株培育一直是发酵业十分重要的一环，但我们还只停留在无限可能的表面。菌株选择、改造、筛选和设计的高通量方法使创新者们以更快速度、更高精度迭代出新型菌株。他们可针对更细微的特质，比如精确改善风味的代谢特征，而不是诸如生长速率或耐受温度等简单特质。虽然此领域的某些菌株培育工作可能要用到基因编辑和基因工程等生物技术工具，但是借助领先的基因理念，即便使用简单的改造和育种策略培育菌株也仍有广阔的提升空间。

最近人们对“单细胞蛋白”的概念又重新燃起了兴趣，这一术语经常被用来指全细胞微生物物质。高通量筛选和特征化工具的出现使人们开始重新审视所有已知微生物种，找寻其作为蛋白质来源的潜在适合性。由 Quorn 首次实现商业化的丝状真菌镰孢霉的使用正是源于此类项目。由于人们担忧即将出现的蛋白质紧缺，二十世纪六十年代便开始寻找，但当时的研究条件有限，可筛选的范围十分狭窄。如果使用现在的工具系统地进行检测，并借助计算机基于现已收集的成百上千万种微生物种的基因组数据这一宝库作出预测，可为制造微生物蛋白找出完备的新候选项。

作为微生物工厂生产高价值靶分子的宿主菌株目录也早需更新。几十年来，发酵业主要依赖的还是很小一部分常用品种。虽然未来有很大空间对这些品种进行设计以使其产出量更高、培养性更稳、生长性更快及具备其他理想的生产特质，发酵业目前还只限于这些品种，一方面因为长久以来的使用习惯和熟悉度，另一方面也受制于商业化新寄主品种的监管门槛。

酶活性 Enzymatic activity

酶催化某特定化学反应的速率。高活性意味着酶的反应更快/时间更短、所需用量更少，即更能节约成本。

底物专一性 Substrate specificity

酶的专一性的程度。酶只与某种特定底物分子结合并发生特定化学反应的性质。有些酶具有高度专一性，脱靶活性非常低，而所谓的混杂酶则能结合多种相关底物，因此除期望产物之外还能获取多种副产物。酶的专一性越高，进行某特定化学反应时就越高效。

稳定性 Stability

和所有蛋白质一样，酶会随着时间的推移或在高温或高压等环境下降解而丧失其功能性。现在已研发出超稳定的酶，能在长时间和不利环境下保持高度活性，这样无需不断添加新酶，可减少相应成本。

理性设计 Directed evolution

基于相关分子特性的深度理解设计新分子。这项技术需要一定的预测能力，要能洞察分子功能和结构之间的关联机制。

基因编辑 Gene editing

对生物体基因组中现有的基因序列做出微小改变。这一过程得出的结果也可通过人工选育等经典方式实现，但效率更高且更具专一性。

基因工程 Genetic engineering

将新基因序列导入细胞，使其与寄主细胞的基因组重组整合。因所有生物系统都使用同样的遗传密码进行“读写”，任何基因都可以被新宿主“读懂”。这一过程产生的基因变化也可通过发生于微生物之间或微生物与动植物之间的基因水平转移自然实现。

第六部分：科学和技术机遇

眼下我们亟需大胆突破，探索可以超越传统品种的新寄主。我们还需具有远见卓识的监管领导推动新候选品种的商业化。发酵技术不能受制于对传统寄主菌株的固守或是业已过时的监管程序，这会导致替代蛋白业止步不前。

除此之外，我们还需做出全方位努力，就跨物种代谢途径研究吸取系统生物学的深刻见解，以期帮助鉴别和设计具有理想特质的新寄主。这些特质可以包括延长世代稳定性以支持长期连续培养，可使用多种原料的代谢途径、所需的风味物质和低浓度核酸 (核酸层必须经下游处理才能减去)。

系统生物学 Systems biology

涵盖了生物学理论和计算机及数学模型的跨学科领域，针对各种细胞过程建立预测性模型。

世代稳定性 Generational stability

细胞性能和行为在多次间保持稳定且可预测的现象。任何细胞培养体系都会在细胞适应生产环境的过程中随时间变化发生轻微漂变。生产过程最终可能受这一变化干扰而不再高效、稳定，不得不从有效的引子培养物中取用新样本重新开始。生物体越能在连续培养中保持稳定，其生产过程就越多产、高效。

图片来源：Atlast Food Co.



专栏 5：从培养箱到田野：植物作为表达平台

虽然制造大多数重组蛋白时使用微生物寄主进行精密发酵，粮食作物也可以作为生产高价值靶分子的寄主。一旦改造成功，植物即可通过传统农业体系大批量低成本培养并收获，所需基础设施和资金成本将远低于大多数发酵体系。如果用微生物做寄主，就可以在下游进行充分提纯；如果用可食用植物做高价值成分的寄主，就可以省去下游提纯，因为植物本身就可以作为自带功能增强的成分。表达植物的靶分子也可包括应用于细胞培养肉的血红素蛋白或生长因子，比如 Core Biogenesis 和 ORF Genetics 的产品。Mozza 也是这一领域的先驱，他们实现了用大豆生产牛奶蛋白的农业规模运作。这一表达平台将持续转移成本及生产范式，在未来解锁重组蛋白的更多创新。

原料优化

发酵的灵活性和适应性大多源于其面对原料等不同投料时的内在可塑性。同时，原料也是大多数发酵工艺的主要成本驱动。因此，在设计使用其他工业副产品的工业规模生产计划时可以进行大量原料优化，从而实现经济可行性和可持续性两方面的潜在增益。

越来越多的企业和研究者正紧紧抓住这一机遇：将废品或农工业副产品转变为高质量蛋白生物质的潜能。Nature’s Fynd 利用提取自黄石国家公园温泉的极端微生物制造蛋白质，这种微生物具有广泛的代谢灵活性，对多种原料具备可适性。3F Bio 和瑞典的 Mycorena 也将自己定义为可持续利用原料的领军者。其他初创企业如 Air Protein 则利用气态原料从涉及氢、甲烷或碳酸气的化学反应中获取能量。

代谢灵活性 Metabolic flexibility

根据环境条件的变化选择性地打开或关闭代谢途径的能力。许多微生物能够根据不同营养源的出现并相应调整自身代谢以便有效利用多种能量来源。



明星企业：Air Protein

Air Protein 直接用 CO₂ 进行微生物发酵，制造应用于替代蛋白产品的人类食品级蛋白质。Air Protein 成立于 2019 年，其分拆以前的老东家 Kiverdi 也在水产饲料和生物聚合物等其他应用中使用同一技术。Air Protein 的理念始于二十世纪六十年代 NASA 为了找寻适合宇航员的食物。Air Protein 的“碳循环闭环”技术和“益菌性生产工艺”能制造出蛋白质含量高达 80% (约是豆蛋白粉的两倍) 的蛋白质粉，而主要投入物只需要碳。研发能作为碳汇而非温室气体排放器的蛋白质生产工艺能切实提升环境效益。

我们应当在全球多种生物原材料需求转变的背景下考虑原料优化。我们正向利用微生物平台的生物经济生产模型转变，如今发酵原料的需求上涨也是由这一模式下的大量批发驱动的。这些微生物平台不仅可制造食品、药品，还有绿色化学品、生物聚合物和传统上主要以石油化工为原料的燃料。

我们还应当重新审视包括植物基和细胞培养产品在内的所有替代蛋白生产平台中所用的原料。这些生产形态中需要些许不同的原料作为主要投料，同时对全行业原材料需求的战略预测意味着就加工、寻找来源和调制配方做出更优决策。图 9 表示的是这一整体途径在周全考虑和平衡所有副产品流以最大化收益、效率和可适性之后的价值。

图 9．多元化原料使不同替代蛋白生产形式中的支流得到有效利用



发酵行业广泛、灵活地开发非传统原料的能力也受益于全球认可的统一标准的采用和新型表征技术的开发。这能使购买者更信赖所购原材料的质量和性能，也能让他们具备根据给定原料调整工艺的预测能力，即使原料来源或成分他们在过去并不经常接触。

生物工艺设计

几十年来，微生物发酵通常大规模运作，单个培养箱即有几十万公升之大。然而，发酵生物工艺设计在满足替代蛋白业的独特需求方面仍有创新空间。

目前绝大多数工业生物科技和生物乙醇制造使用的发酵设备都采用深层发酵，也就是说微生物细胞被悬浮在液态的营养媒介中。然而，想要利用有结构层次的、完整的全细胞生物质 (如全肉切块) 则依赖于固态发酵。这一生产范式中，微生物被接种至固态原料上在封闭或露天环境中生长。这样的系统也许能节约成本并降低准入门槛，因为它们不需要深层发酵所必需的价格高昂的不锈钢生物反应器。固态发酵平台也为实现横向扩展而非批量增加的生产方式提供了可能，即通过平行小规模单元而非大体量单个单元增加生产力，这样能减少技术风险和用于扩大规模的资金成本。

即使是使用深层发酵的生物工艺，有关规模、成本灵敏度和可持续性的考量也使替代蛋白应用的生产方式有别于经典的搅拌槽生物反应器。有几家发酵企业成功实现了新型生物工艺和生物反应器设计的商业化，但很少有人进一步优化或迭代这些设计，只因为迄今为止很少有企业会用到它们。Quorn 率先推出过一款名为气升式发酵的生物反应器设计，相较传统生物反应器而言只需一点能量即可进行大体量生产。这一生物反应器设计也很适用于丝状真菌，因为它比非丝状真菌或细菌更能增加溶液黏度。动物饲料企业使用气态原料，比如 Unibio 和 Calysta 使用甲烷氧化菌。这些设计的运作原理基本相似，即原料气体和其他气体在细胞和媒介间进行封闭循环，因而不需要搅拌桨。

生物工艺设计也应当包括下游提纯和采后加工，这些要求根据产出成分的形状和功能不同而有诸多变化。目前的产酶工艺为未来的重组蛋白和其他需高度提纯的高价值成分提供了流程和成本基准。这些提纯步骤占据了大部分成本。但对应用于替代蛋白产品中的许多调味成分或功能性蛋白而言，高纯度并不是必需的。只要将寄主细胞碾碎或将完整细胞干燥就可以了。这取决于几个因素：靶分子的表达层次、原料在后续生产过程中的作用以及寄主细胞顺利形成最终产品风味的能力。如果使用的是完整细胞（不管是被完好的还是被碾碎的），许多微生物种需要后续加工以降低最终产品中的核酸浓度。

改造现有生产设施设备以满足替代蛋白应用的研究也是当下蕴藏无限机遇的另一关键领域。许多已有的发酵基础设施都是为生产生物乙醇进行厌氧发酵而建造的。随着世界加速向可再生能源和电气化转型，这些设施也许在未来数十年间就不堪其用了。然而无论何种情形，将这些改造成生产替代蛋白应用的发酵设备在技术上是否可行或能否节约财务支出还未可知。

White Dog Labs 近期收购了一座乙醇工厂，打算改造后生产水产饲料蛋白。他们能这样做是因为他们的微生物能实现无氧发酵。这个例子表明在所有关键技术领域均衡推进研发以利用跨学科理论是十分重要的。目前大多数应用于发酵型食品原料的微生物都需要在有氧环境中繁殖，但是如果工程分析表明将生物乙醇设备改造为无氧食品生产设备是可行的，那么无氧繁殖也应当成为上述“菌株培育”中提到的综合性菌株评估项目中的关键筛选条件。

气升式发酵 Air-lift fermentation

深层发酵的一种，利用气泡混合细胞并确保在全过程中均匀接触溶解气体和养分。其他混合方式有用不锈钢叶轮搅拌，但产生的剪切力会损坏细胞并且耗能。

好氧甲烷氧化的 Methanotrophic

形容以甲烷或天然气为主要养分来源的生物体。

核酸 Nucleic acid

脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）的总称，DNA是储存、复制和传递遗传信息的主要物质基础，而 RNA 在蛋白质合成过程中起着重要作用。快速繁殖的细胞如微生物细胞通常 RNA 含量较高。

无氧发酵 Anaerobic

发生在无氧环境中。没有适当的搅拌和通气，发酵培养最终会耗尽氧气。并非所有微生物都能无氧繁殖。

第六部分：科学和技术机遇

最终产品调配和生产

生产 B2C 产品为主的发酵企业也和植物肉企业一样，可在配方调制和生产中进行创新。有些情况下，需要采取额外的采后加工步骤以给予生物质所需的结构和质地。比如，Quorn 加入了冷冻环节，将纤弱的菌丝纤维加固为更整齐结实的纤维束，从而更接近动物肌肉组织中的纤维。无疑，这里有充足的空间发展技术含量和成本都相对较低的新型结构化解决方案以进一步提升质地，从而略去目前生产植物基蛋白必不可少的高水分挤压环节以节约成本。

个别企业会不断迭代他们的配方，包括调味料、脂肪、粘合剂、功能性酶和营养强化剂，以获取更接近其所替代的动物源产品的感官特质。反过来说，许多这类原料本身也可能由采用 B2B 模式的发酵型成分供应商生产。因此，和植物基产品一样，这里也有无限创新机遇有待发掘（详见我们的《植物肉蛋奶产业现状报告》）。

放大生产和削减成本的前景观测

传统和生物质发酵流程都有放大生产和降低成本的典型案例可供替代蛋白应用参考。这些平台当然还能在减少成本方面进一步创新，这对以后推广至中低收入国家也十分重要，但其经济可行性和能否实现真正的工业规模生产则早有先例可以证明。但是，精密发酵还需要进一步扩大规模并降低成本才能表明其在替代蛋白业的真正潜力。有些精密发酵应用已实现获利，有些则还面临成本挑战。

2019 年秋，经济智库 RethinX 就未来工业化畜牧业的瓦解和崩溃风险发布了报告。作出这一预测的主要依据是精密发酵成本的不断下降和质量的持续提升。这篇分析的关键洞见之一是畜牧业，尤其养牛业和乳品业，在单个原料接连断供的前馈作用下将不堪一击。虽然有逼真纹理、令人食指大动的细胞培养牛排还需几年才能问世，不那么复杂的发酵型产品，比如胶原蛋白和乳制品蛋白，则已唾手可得，其性能和质量甚至超越了动物性产品。所以，关键在于能否扩大生产规模并改进技术以在成本上与动物源产品相竞争。当发酵型替代品瓦解动物性产业链，虽然也只是令相应产品流价值相对减少，对传统肉制品生产商而言就是利润的流失。这一损失会迫使传统肉制品生产商将成本转嫁至其他产品流，即陷入所谓“畜体失衡”窘境。失去多种动物畜体利润之后，畜牧业的单位经济效益最终将无法支撑这个行业。

但是精密发酵型产品的价值点到底在哪里以及最快何时能实现呢？答案取决于多种因素，我们有理由相信通过组合多种方式，发酵技术可在大多数产品中实现平价：

- 1. 扩大规模** 当规模扩大至边际生产成本等于投入成本时，规模经济即意味着降低成本。在发酵流程内，规模报酬是相当可观的，因为生产体量有时跨越了好几个数量级。每公斤商业提纯蛋白的成本至少按九个数量级变化，从多种普通酶的约 \$10/kg 到特定蛋白 (如治疗学所用的蛋白) 的近 \$10B/kg，价格各有不等。即使是寄主菌株相同的蛋白质，成本也按七个数量级变化。
- 2. 提高单位容积生产率** 容积生产率表示的是一定时间内一定体量下产出期望产品的数量。对全细胞生物来说，这个数字反映的是生长速率和最大细胞密度。对精密发酵制造的成分而言，这个数字也包括了滴度，即期望分子在寄主细胞内的表达水平。
- 3. 延长连续生物工艺** 因为细胞培养平台的指数级生长效力，发酵工艺在体量和密度达到顶峰时效率和产量最高。工艺在保持稳定增长的顶峰状态连续运作的时间越长，整体运作效率就越高，因为能以最高生产率连续收获细胞。
- 4. 减少最终产品的添加等级** 替代蛋白产品主要依靠高功能性发酵成分，即使添加等级很低也无妨。比如，Impossible Burger 中只含有少于净重 2% 的亚铁血红素。虽然亚铁血红素的单价可能有点贵，但只需很少一点即可增加汉堡的独特风味和色泽。同样，非动物源奶中也只有约占净重 3.5% 的蛋白 (净重以水为主)。重组酪蛋白或乳清蛋白所占的比重甚至更小，辅以植物基蛋白就能营造出充分的奶油口感。研发能以更小剂量即可营造期望功能的成分能让企业以更高体量、更低成本产出最终产品。
- 5. 放宽严苛的提纯要求** 食品应用中的许多功能性成分对纯度的要求也许不像酶这类活性蛋白一样高。只要寄主菌株作为食品是安全的并且不会对最终产品的风味或质地产生负面影响，也许纯度稍低一些也无妨。提纯在许多重组蛋白的整个成本中占了很大比重，所以放宽提纯要求能大幅削减成本。

食品生产中的数十种酶都是利用微生物寄主大规模生产的。这些酶可以为发酵型替代蛋白提供价格基准以作参考。食品酶的价格通常在每公斤 1 至 100 美元之间，可用于比照通常仅占最终产品净重一小部分的相对较纯的蛋白。以下数据供您比较，高纯度 (>90%) 的乳清蛋白分离物通常被看作是价格实惠的奶酪制作副产品，每公斤成本在 6 至 11 美元。因此，发酵型成分也有可能实现类似的经济可行性，甚至在应用于最终产品后能与动物源蛋白相抗衡。

第六部分：科学和技术机遇

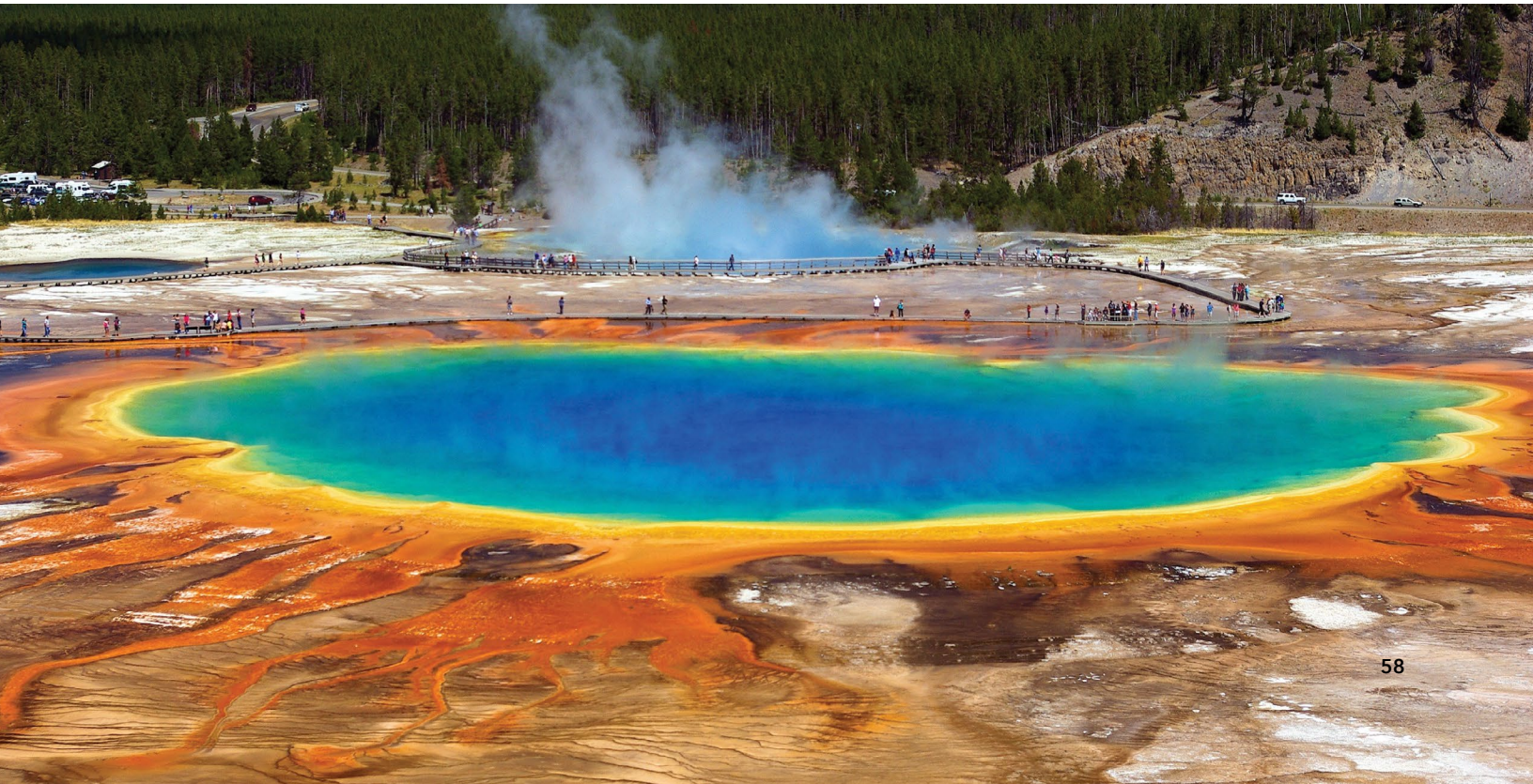
微生物发酵已具备了相当规模，虽然这种发酵容量中多少能适用于替代蛋白还不太清楚。来自 Deloitte 的报告估计，2020 年全球发酵行业将消耗约 2.8 亿的碳水化合物当量，其中约 94% 将被用于生产酒精 (大部分是生物乙醇)。其余将被用来生产氨基酸、有机酸、微生物、生物聚合物和其他化学物。尤其在非酒精类发酵生产中，用于动物饲料的氨基酸占了很大比重。因此，假设未来几十年全球重点转向了替代蛋白，这一能力或可用于生产应用于细胞培养肉的氨基酸，或可生产替代蛋白产品中的其他发酵型成分。不管现有基础设备是否具有可适性，设计和建造发酵设备已是在设备、基础设施和运营方面都拥有经验丰富的合作伙伴的成熟产业。

碳水化合物当量
Carbohydrate equivalent
发酵平台间进行投料用量比较的标准化单位，因不同发酵平台所用原料重量和营养密度各不相同 (比如甜菜糖和糖蜜)。

全球展望和预测

长久以来，美国和欧洲都是工业生物技术和发酵工艺的主要创新中心，从技术发展的角度来看尤其如此。然而最近，亚洲和拉丁美洲渐渐将自己视为生产能力和发酵设施方面的领军。随着可降低研发成本的新研究工具的改进，创新也有可能越来越多地来自以往没有领先过生物技术发展的地区。这些地区可能会将上游的菌株和原料改进与快速整合大规模生产环境所需的专业运营理论相结合，从而加速迭代创新循环及成本削减。

黄石国家公园的温泉，Nature’s Fynd 在此处发现其发酵引擎 图片来源：Nature’s Fynd
CEO：“微生物十分高效。它们可以生产出很多蛋白质，而且生产得很快。”



第七部分：监管和消费者考量

监管考量与成功案例

作为加工方式的微生物发酵工艺和经培养制造的微生物发酵成分都已在食品行业中有着悠久的历史。鉴于这一背景，多数国家和地区早已就这一平台建立监管体系以确保创新安全。然而，不同地区的监管机构和框架存在着细微差别，而且各有其特点。比如，Impossible Foods 必须为他们的豆血红蛋白获取着色剂许可才能在零售店而不是餐馆售卖。这是因为 FDA 认为卖给消费者的原材料中，这种蛋白只部分作用于营造生肉的粉红色泽。

有关基因编辑和工程的监管也因地区而不同，有时完全限制某些成分。然而，用作加工助剂的成分 (比如凝乳酶) 则在所有地区都有更大的回旋余地，因为许多国家并不把加工助剂算在基因工程的限制条款内。这一领域的获批史为将来替新成分收集支持证据提供了参考先例和清晰指南。而且，正规的行业协会可代表众多生产商联合提交安全汇编材料。这些机制和其中关系可以减轻向这一领域引入新解决方案的监管压力。

多家企业已收到了来自 FDA 的针对发酵型提纯成分的“无问题信函”，这意味着 FDA 并不反对这些企业将他们的成分“大体视为安全”(GRAS) 的观点。2018 年 7 月，Impossible Foods 将豆血红蛋白用作调味料的申请得到了这一承认 (虽然请求将其用作着色剂又花了一年)。2020 年 4 月，Perfect Day 宣布他们的 β -乳清蛋白 (乳清中的主要蛋白) 获得了 GRAS 状态。某种程度而言，这些批准来得相对快捷是因为企业们选择了传统的食品安全级微生物菌株作为生产寄主。为全新菌株获取监管批准可能更费力。像 Prime Roots 和 MycoTechnology 选择围绕在食品安全使用中有史可鉴的菌种 (分别是日本酒曲和香菇) 制定进入市场计划，而其他企业如 Nature's Fynd 则正在努力商业化没有消费史的全新品种。已有分析方法可为最初的安全鉴定和生产中的常规质量控制检测新菌株中的新型成分是否符合期望。

标识和命名法

发酵业暂时还没有就工艺或发酵型成分形成统一术语。这一生产形态的各种生产平台和使用案例对同一术语的指称未免过于多样。Quorn 自创了“菌蛋白”这一术语描述他们的真菌蛋白成分，但是“营养性菌类蛋白”或其他术语也许也能用来形容同类物质，而且更贴切。请注意，作为集体诉讼的和解条款，Quorn 此后修改了其在美国的包装。现在的过敏源警告上写着：菌蛋白是一种霉 (真菌科)。目前鲜有含菌蛋白产品的过敏案例 (虽然菌类食品过敏比大豆过敏少见一千倍)。Perfect Day 在营销材料上用“微生物群落”指代微生物寄主，并将他们的非动物源乳制品蛋白称为“微生物源蛋白”。Smitten 的冰激凌标签上显示的成分是“非动物乳清蛋白分离物”，同时包装上写有乳制品过敏警告²。Myco Technology 和其他使用香菇 (它的子实体作为蘑菇食用) 等菌丝体的企业，也许可以使用“蘑菇蛋白”“蘑菇提取物”之类的术语。

企业可以通过额外的消费者调查减少消费者困惑、回避后续监管或私人诉讼。和细胞培养肉一样，在向消费者介绍新产品类型时采用清晰的叙述和有吸引力且含义明确的术语至关重要。虽然发酵的概念在食品中已广为人知，替代蛋白领域开拓的新成分和新产品却和消费者们熟知的不太一样 (比如奶酪和酸奶等细胞培养产品或啤酒、红酒等醇类产品)。多数消费者还没有意识到发酵在从苹果汁到面包等众多日常食品中作为调味品、酶和维生素的作用。但是所有这些我们熟悉的食品中都使用发酵，而且其体系和应用在替代蛋白业中的十分相近。因此，潜在的好处无限，不仅是为了避免混淆，更是为了增加熟悉感以增进理解。

2. 请注意，和同样使用“植物群落”这一术语的益生菌产品不同，Perfect Day 的产品不包含活性培养物。

第七部分：监管和消费者考量

幸运的是，由于近期研究表明微生物组对人类健康有着重要作用，发酵型和细胞培养型食品最近已戴上了健康食品的光环，并在高端美食圈获得了一席之地。这些积极的联想也许能激发消费者的好奇心和接受力，但使用准确易懂的术语描述发酵在替代蛋白产品中发挥的作用还是十分重要的。这一领域的领导者们应当共同合作，一起决定最能引起消费者共鸣的术语和叙述，尽量避免引起误解。

图片来源：Atlast Food Co.



第八部分：总结

如果没有替代蛋白，我们将不能在 2050 年实现可持续满足全球近百亿人口的食物需求。因为我们目前以畜牧业为主的体系不够高效。据 World Resources Institute 统计，每卡路里鸡肉需要耗费 9 卡路里大豆、小麦和玉米；其他家畜将谷物能量转换成肉类能量时甚至更低效。这种低效导致了很多后果。比如，据联合国粮农组织报告，工业化畜牧业对气候变化的危害比整个运输业直接排放量的总和还多。家畜是引起动物传染病的主要原因，也是重要医学抗生素的首要消耗者，这导致了抗生素耐药性的不断增强。

使用菌类、微藻、菌丝体、细菌和其他微生物作为生物制造平台的发酵工艺在食品生产中由来已久。目前，应用于替代蛋白业的主要有三种工艺：传统、生物质和精密发酵。这些技术分别将发酵用作提升植物蛋白的模块、高质量高蛋白生物质的来源和生产高价值特定成分或加工助剂的平台。发酵已加入植物蛋白和细胞培养肉的行列，成为替代蛋白业的强力支柱，从技术和产品开发两大角度向我们展示了潜力无限的广阔创新版图。

发酵不仅本身具有价值，而且还具有竞争力的价格、无与伦比的功能和可扩展性，以及久经考验的安全机制；同时，它在植物基产品和细胞培养肉中的诸多应用也预示着对整个替代蛋白业的颠覆。把发酵开发的新一代蛋白质、脂肪和功能性成分与植物基以及细胞培养成分相结合，可以制造出生物仿制整切肉、鸡蛋替代品、非动物源乳制品蛋白、海鲜及各种其他产品。

这些产品将超越现有蛋白质的感官、营养、环境、社会、商业和功能性范式。

从感官角度来说，发酵可以赋予最终产品原本很难获得的口味、口感、香气、多汁性和结构。这一技术已带来了新一波替代蛋白产品，比如 Perfect Day 的冰激凌、Meati 的牛排和 Atlas's 的培根。然而，现在还鲜有发酵企业，更不用说已推出商业产品的企业。开发全球广泛食用的数千种动物产品的发酵型版本还有无限发掘潜力。

从营养角度来说，发酵能为我们批量生产高质量蛋白质，缓解困扰着世上多数地区的蛋白质紧缺。除提供蛋白质之外，传统和生物质发酵还能增加植物基成分的可消化性和蛋白质含量。精密发酵可以制造必要的饮食分子而无需喂养全部动物以合成微量营养成分。

第八部分：总结

与发酵有关的商业案例令人信服。发酵清晰地向我们展示了凭借成本更低、功能性更高、更可靠的日常产品改变千万亿美元畜牧业市场的机遇。畜牧业的边际利润十分薄弱，风险却很高。2020 年，大型美国肉类企业的市值下跌了 25%，Goldman Sachs 将家畜列为风险最大的投资商品之一，紧随石油之后。而发酵业的替代蛋白企业自 2013 年起已募集了 8.37 亿美元的风投资本，投资者如果将资金转向这些企业定能获得可观的回报。

对企业家、公司和投资者们来说，最令人兴奋的商机包括 B2B 企业在靶分子选择方面不断扩张的创新版图，原料的多样化，生物工艺设计和建造，还有可以拓展替代蛋白领域的成分，比如应用于细胞培养肉的成本低廉的细胞培养媒介。

最后，发酵可以让我们在烹饪时间、操作安全性、货架稳定性、干燥或冷冻成分的储存能力、消费者满意度、成分多功能性及其他更多方面超越现有肉蛋奶产品的功能性范式。目前，全球大多数肉蛋奶产品都来自少数几种动物。然而，不管是独立使用还是调节数千种可食用的植物种类，至少有一万亿微生物种有待开发，可以排列组合出无数发酵型和植物基产品。

替代蛋白业才刚刚探索了发酵无限潜力的表层，这一领域内的消费者和企业家们都迫切期待发酵提供更多创新产品和解决方案。GFI 会继续支持这一领域内的创新者们，期待他们将食品体系变得更健康、可持续、公正。

图片来源：Atlas Food Co.



术语解释

1. **生物利用度 bioavailability** 养分在消化时被人体吸收的程度。即使食品中某营养成分的含量很高，若其生物利用度很低，就意味着摄入后并不能完全被人体消化利用，不能充分发挥其效用。
2. **酶 Enzymes** 催化生物化学反应的蛋白质，如打破化学键或形成新键，通常具有高特异性。酶在食品中多用于分解不需要的或不溶性成分以及交联不同成分改善质地。
3. **菌丝体 Mycelium** 丝状真菌的营养生长部分（相对于生殖生长部分的子实体）。菌丝体是由菌丝构成的细纤维束群，而菌丝相当于是真菌类的根部，可以分泌酶类物质来协助真菌类消化吸收物质、获取养分。
4. **抗营养因子 Antinutritional factors** 阻碍营养吸收从而降低生物利用度的成分。
5. **倍增时间 Doubling time** 群体数量翻倍的时间，在细胞培养中指细胞分裂速率。
6. **功能性成分 Functional ingredients** 提高食品感官特性、营养性质、货架稳定性、烹饪属性或其他目标特性的生物活性化合物。
7. **感官的 Organoleptic** 与感官有关的，包括味觉、嗅觉、视觉和触觉。
8. **生长因子 Growth factors** 培养动物细胞时调节细胞生长和分化的信号分子。过去生长因子通常提取于动物血清，如今也可通过精密发酵获取。
9. **深层发酵 Submerged fermentation** 在液体培养容器中进行的微生物细胞培养，细胞被悬浮于含有营养原料的液体培养基中。其设备和酿酒厂类似。
10. **固态发酵 Solid-state fermentation** 将微生物细胞接种于潮湿的固体原料上，使其在封闭或透气环境中繁殖。将煮熟冷却的大豆作为原料的天贝即是通过固态发酵制造的。

- 11. 靶分子 Target** 通过精密发酵获得的特定分子或分子混合物，可以是某种蛋白质、脂肪色素、维生素或可通过生物途径获取的芳香物质。
- 12. 生物合成途径 Biosynthetic pathway** 发生于细胞内合成某分子的一系列化学反应。虽然某些步骤可以仅通过化学反应自发进行，但许多步骤都离不开酶的参与。这些酶可以被导入寄主细胞使其具备制造新靶分子的能力。
- 13. DHA 和 EPA** 二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸， ω -3 脂肪酸家族成员，通常和鱼油联系在一起，也可通过藻类获取。DHA 和 EPA 是长链 ω -3 脂肪酸 (分别包含 22 个和 20 个碳原子)，可用酶在富含于植物油中的短链 ω -3 脂肪酸的碳链上额外添加碳单元获取。这一反应也发生于人体细胞中，但比较低效。
- 14. 定向进化 Directed evolution** 筛选已进化出期望特征的分子变体。其理念类似于动植物领域的人工选育，不过定向进化在分子层面进行，而不是生物体层面。
- 15. 理性设计 Directed evolution** 基于相关分子特性的深度理解设计新分子。这项技术需要一定的预测能力，要能洞察分子功能和结构之间的关联机制。
- 16. 酶活性 Enzymatic activity** 酶催化某特定化学反应的速率。高活性意味着酶的反应更快/时间更短、所需用量更少，即更能节约成本。
- 17. 底物专一性 Substrate specificity** 酶的专一性的程度。酶只与某种特定底物分子结合并发生特定化学反应的性质。有些酶具有高度专一性，脱靶活性非常低，而所谓的混杂酶则能结合多种相关底物，因此除期望产物之外还能获取多种副产物。酶的专一性越高，进行某特定化学反应时就越高效。
- 18. 稳定性 Stability** 和所有蛋白质一样，酶会随着时间的推移或在高温或高压等环境下降解而丧失其功能性。现在已研发出超稳定的酶，能在长时间和不利环境下保持高度活性，这样无需不断添加新酶，可减少相应成本。

- 19. 高通量方法 High-throughput methods** 可让平行工作流同时处理数百、数千乃至上万样本的技术。高通量方法、工具和设备的巨大飞跃令研究者们可在多年前相同时间段内以高度自动化、可重复的方式进行更大数量级的实验。这项技术加速了研究步伐，在降低成本的同时也增加了收集的数据量。
- 20. 基因编辑 Gene editing** 对生物体基因组中现有的基因序列做出微小改变。这一过程得出的结果也可通过人工选育等经典方式实现，但效率更高且更具专一性。
- 21. 基因工程 Genetic engineering** 将新基因序列导入细胞，使其与寄主细胞的基因组重组整合。因所有生物系统都使用同样的遗传密码进行“读写”，任何基因都可以被新宿主“读懂”。这一过程产生的基因变化也可通过发生于微生物之间或微生物与动植物之间的基因水平转移自然实现。
- 22. 系统生物学 Systems biology** 涵盖了生物学理论和计算机及数学模型的跨学科领域，针对各种细胞过程建立预测性模型。
- 23. 世代稳定性 Generational stability** 细胞性能和行为在多代间保持稳定且可预测的现象。任何细胞培养体系都会在细胞适应生产环境的过程中随时间变化发生轻微漂变。生产过程最终可能受这一变化干扰而不再高效、稳定，不得不从有效的引子培养物中取用新样本重新开始。生物体越能在连续培养中保持稳定，其生产过程就越多产、高效。
- 24. 代谢灵活性 Metabolic flexibility** 根据环境条件的变化选择性地打开或关闭代谢途径的能力。许多微生物能够根据不同营养源的出现并相应调整自身代谢以便有效利用多种能量来源。
- 25. 气升式发酵 Air-lift fermentation** 深层发酵的一种，利用气泡混合细胞并确保在全过程中均匀接触溶解气体和养分。其他混合方式有用不锈钢叶轮搅拌，但产生的剪切力会损坏细胞并且耗能。

26. 好氧甲烷氧化的 Methanotrophic 形容以甲烷或天然气为主要养分来源的生物体。

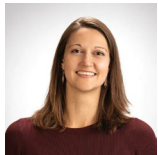
27. 核酸 Nucleic acid 脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）的总称，DNA 是储存、复制和传递遗传信息的主要物质基础，而RNA在蛋白质合成过程中起着重要作用。快速繁殖的细胞如微生物细胞通常 RNA 含量较高。

28. 无氧发酵 Anaerobic 发生在无氧环境中。没有适当的搅拌和通气，发酵培养最终会耗尽氧气。并非所有微生物都能无氧繁殖。

29. 碳水化合物当量 Carbohydrate equivalent 发酵平台间进行投料用量比较的标准化单位，因不同发酵平台所用原料重量和营养密度各不相同（比如甜菜糖和糖蜜）。

鸣谢

主要作者



Liz Specht, PhD
科学技术部副主任



Nate Crosser
初创企业成长专家

我们感谢 **Jessica Almy、Matt Ball、Alex Brussell、Caroline Bushnell、Adam Cohen、Alicia Crawford、Christine Dvorak、Brooke Mays 和 David Welch** 的协助，也感谢各发酵业领军企业和行业投资者不吝赐教。

本报告原文为英文，如需点击查看原文中的超链接，请自行参考[原文报告](#)。

翻译 谷孚 GFIC、THE GOOD FOOD INSTITUTE ASIA-PACIFIC

谷孚 GFIC 为简体中文版唯一授权发行方，于 2020 年 9 月 17 日发行此报告。

谷孚 GFIC

谷孚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、成熟企业、初创企业和投资者合作，支持植物肉类、植物蛋奶类新型食品和细胞农业的创新，以及促进如生物发酵等相关技术在替代蛋白领域的应用。

网站 GFICONSULTANCY.COM

电邮 INFO@GFICONSULTANCY.COM



GFI-APAC.ORG

GFI-APAC 是在香港注册成立的非营利性公司





Source: Meati.

GFI works around the world with team members based in the United States, Brazil, India, Europe, Asia-Pacific, and Israel. We engage companies across the supply chain—from startups to conventional meat and food conglomerates, major chain restaurants, and retailers—as well as individual scientists, policymakers, investors, and entrepreneurs.

This transformational work is made possible through philanthropic support. Our supporters make reimagining protein possible.

Amplify your impact. Join us.



Stay in the know with
GFI's email newsletter.



Find business resources
and insights at **gfi.org.**



Get involved in the **GFIdeas
online innovation ecosystem.**



Fuel the future of food
at **gfi.org/donate.**

GFI.ORG

POWERED BY PHILANTHROPY.

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

The Good Food Institute ©2020



THE
GOOD FOOD
INSTITUTE