



# RethinkX

冲击、影响和抉择

## 2020-2030 年食品行业与农业再思考

植物和动物的第二次驯养、对奶牛的冲击以及工业化畜牧业的崩坍

RethinkX 行业冲击报告

2019 年 9 月

Catherine Tubb & Tony Seba

# 2020-2030 年食品行业与农业再思考

## 植物和动物的第二次驯养、对奶牛的冲击以及工业化畜牧业的崩塌

RethinkX 计划	3	[2] 冲击和采用	22
RethinkX 团队	4	2.1 分拆奶牛	23
序言	5	2.2 对奶牛的冲击	24
免责声明	5	2.3 采用动态：时间有多久，速度有多快？	33
执行摘要	6	2.4 主要结论	37
关于食品的新语言	10	2.5 对其他牲畜的冲击	37
<b>[1] 动植物的第二次驯养</b>	<b>12</b>	<b>[3] 影响和意义</b>	<b>39</b>
1.1 技术融合推动冲击	17	3.1 对食品业和农业的影响	40
1.2 精密发酵	18	3.2 对土地使用和价值的影响	47
1.3 更低的生产 and 供应链成本	20	3.3 对相关经济部门的影响	49
1.4 属性的改进	21	3.4 广泛的环境、社会和经济影响	50
		<b>[4] 抉择和规划</b>	<b>58</b>
		4.1 政策制定者	59
		4.2 企业与投资者	62
		4.3 民间社会	63
		<b>附录：成本方法和尾注</b>	<b>64</b>

# RethinkX 计划

RethinkX 是一家独立智库组织，其对技术驱动冲击是速度的规模及其对全社会的意义做出分析和预测。我们能够基于数据提供公正的分析结果，为投资者、企业、决策人及民间领袖展现最关键的决策依据。

我们在一系列报告中分析了各个经济部门的冲击影响，而《食品行业与农业再思考》就是该系列报告中的第二份报告。我们的目标是制作准确的分析结果，反映快节奏的技术采用 S 曲线的真实情况。主流分析师的预测是线性、机械、孤立的，他们忽略了系统的复杂性，因此始终低估了技术冲击的速度和程度——例如太阳能光伏、电动汽车和移动电话的采用。如果依靠这些主流预测，政策制定者、投资者和企业就有可能制定不充分或被误导的政策、作出不足或错误的投资、不当配置资源、遭遇负面反馈，进而导致巨大的财富、资源和就业岗位流失，增加社会不稳定和脆弱性。

我们采用系统的方法来分析个人、企业、投资者和政策制定者在促进冲击方面的复杂相互作用，以及这种冲击对社会其他部分的影响。我们的方法主要关注由技术融合、商业模式创新、产品创新以及成本和能力的指数级提升所引发的市场力量。

而 RethinkX 的深入分析则会考量技术冲击在行业内及跨行业的逐级、相互依赖影响。我们的目标是就技术驱动冲击所带来的风险与机遇，激发全球范围内的讨论对话，并聚力于如何通过正确的抉择，打造一个更加公平、健康、有韧性且更稳定的社会。

## 报告编制者:

Catherine Tubb 和 Tony Seba

## 贡献者

Taylor Hinds (分析员)

James Arbib (主任)

Uzair Niazi (主任)

Hannah Tucker (战略信息)

Bradd Libby (建模)

Richard Anderson (编辑)

Adam Dorr (影响)

## 鸣谢

本报告的编写与完成也要归功于大量个人与组织所提供的意见建议、时间和大力支持。在本报告的编写过程中，下列人员贡献良多，并对各项推论和草案进行了审阅。

我们要特别感谢 Good Food Institute 的 Liz Specht、Jeremy Coller Foundation 的 Rosie Wardle，以及 Bernard Mercer，他们为编写本次报告贡献了宝贵见解和研究成果。

特别感谢 Quorn 的 Kevin Brennan 及其团队带领我们参观他们位于英国比灵汉的生产工厂，感谢 Impossible Foods 的 Pat Brown 及公司团队举办的品尝活动和访谈活动。

还要感谢 Ryan Bethencourt (Wild Earth)、Alexander Lorestani (Geltor)、Ed Maguire、Jeremy Oppenheim、John Elkington、Olga Serhiyevich、Morry Cater，以及 Cater Communications 的团队和 Arobase Creative and Lokate Design 的设计团队。

本鸣谢并不表示他们认同我们所作出的全部（或部分）假设和结论。我们对一切可能错误自行承担

责任。

## 联系人

RethinkX: [food@rethinkx.com](mailto:food@rethinkx.com)

媒体: [media@rethinkx.com](mailto:media@rethinkx.com)

## 关注我们:

 [/rethink\\_x](#)

 [/JoinRethinkX](#)

 [/company/rethinkx](#)

诚邀大家加入我们的社区。

更多信息，请访问 [www.rethinkx.com](http://www.rethinkx.com)

# 序言

本研究建立在我们的《2020-2030 年交通运输行业再思考》（2017 年 5 月出版）报告中提出的 Seba Technology Disruption 框架的基础之上。该框架将于 2019 年第 4 季度发布更新。

本分析侧重于推动食品和农业部门转型的新技术及其对美国养牛业不可避免的影响。鉴于这些技术在食品市场的应用尚处于早期阶段，我们制作成本曲线时可以参考的数据有限，但这些成本曲线又支持了本文中提出的采用和影响分析。因此，应将这些分析视为“测试”分析或“试水”分析，随着更多证据出现，我们将更新这些分析。欢迎大家提供有助于开展这些分析的反馈。

新技术的开发及其采用的速度、以及推动工业化农业同时崩塌的进程，取决于许多相互作用的因素，包括政策和社会对冲击的反应，但这些反应在本质上是不确定且难以建模的。很明显，模型运行的时间越长，确定性就越低，但是我们认为，我们经过验证的框架、方法和发现结果可以揭示前进的方向和所涉及的复杂过程。冲击的确切时间可能前后相差数年，这取决于整个社会做出的选择。

我们的核心模型运行到 2030 年。我们的中心情景表明，届时，冲击将不可逆转，但尚不完整——因此，我们的分析一直考虑到 2035 年，以提供更为完整的图景。我们的主要侧重点是牛，但我们将发现结果外推到了包含所有的牲畜及其对耕地作物耕作、全球农业和其他领域的影响。鉴于冲击的规模，同时考虑到农业在几千年来从未经历过如此大规模的冲击，社会应该为这一剧变做好准备。

我们将继续跟踪食品业和农业的冲击，以及能源和交通等关键部门的冲击。所有这些冲击都是相互关联、不断变动的，这将从各个方面影响我们世界——城市、组织、市场、经济、金融、地缘政治、医疗卫生、环境等等。

# 免责声明

本报告内所有结论、预测、推论、暗示、判断、观念、观点、建议、意见及其他类似内容均为作者个人的表述意见，并非事实陈述。请勿将其视为事实陈述，并请依据自己的调研做出自己的结论。本报告所含内容不构成任何形式的建议，请勿依据本报告 或本报告所含内容采取或不采取任何行动。

本报告含有作者所选定的可能预测场景。这些场景预测并不全面，也不一定能够代表所有情形。本报告所含的所有场景预测或表述均基于作者自身选用的特定假设和方法。除此之外有可能存在其他假设及/或方法能够形成其他结果和/或意见。

本报告的作者及其发布方，以及其各自的关联方、主管方、公务人员、雇员、合作伙伴、许可方、代理方及代表人均未通过此报告的发布和/或分发提供任何财务或投资建议。报告中的所有内容均不得被视为构成任何形式的财务或投资建议。本报告的作者及其发布方，以及其各自的关联方、主管方、公务人员、雇员、合作伙伴、许可方、代理方及代表人并未对任何资产、财产和/或业务的收购和投资可行性提供任何建议或陈述，也未作出任何相关财务承诺。本报告中的所有内容也均不得视为具有此类作用。一切有关于此类资产、财产/或业务的收购、投资或财务承诺决策均不得以本报告或其中所含信息为依据做出。在没有向有资质专业人员寻求特定的法律、税务和/或投资意见的情况下，不得以本报告中所含的一般信息作为行动依据。

本报告内的所有内容均不构成《2000 年金融服务与市场法》第 21 节中所规定的投资活动参与邀请或投资活动参与诱导作用。

本报告及其所含信息均不构成任何明示或暗示或者其他形式的保证或担保。对于涉及本报告及其内容的所有明示或暗示或其他形式的保证或担保，本报告的作者及发布方将在法律允许的最大限度内免除相关责任。

在法律允许的最大限度下，本报告的作者及其发布方，以及其各自的关联方、主管方、公务人员、雇员、合作伙伴、许可方、代理方及代表人将对下列事项免除相关责任：

- » 您或其他个人或实体，依据本报告或其中所含信息所采取的、或放弃采取的任何行动所给您或其他个人或实体造成的一切损失或损害；
- » 您依据本报告或其中所含信息与第三方达成的一切交易
- » 您或其他个人或实体因使用本报告或其中所含信息而可能遭受的或者可能给您或其他个人或实体造成的一切损失或损害。

在本免责声明中提到的“本报告”包括本报告作者或发布方及其各自的关联方、主管方、公务人员、雇员、合作伙伴、许可方、代理方及代表人所提供的一切信息，其中包括但不限于所有有关本报告的总结、新闻通讯社交媒体帖子、新闻采访及文章。

# 执行摘要

自从人类在一万年前第一次驯养植物和动物以来，我们现在处于食品和农业生产中最深远、最迅速、后果最严重的冲击的拐点。

主要而言，这是一次由经济驱动的蛋白质冲击。到 2030 年，蛋白质的成本将比现有的动物蛋白便宜 5 倍，到 2035 年将便宜 10 倍，最终接近糖的成本。蛋白质的每个关键属性都会改善——更营养、更健康、更美味、更方便，种类之多，超乎想象。这意味着，到 2030 年，现代食品的质量将会提高，并且生产成本不到它们所替代的动物源产品的一半。

这种冲击对工业化动物养殖的影响将十足深远。到 2030 年，美国的奶牛数量将下降 50%，养牛业将几乎破产。所有其他畜牧业都将遭受类似的命运，而这对整个价值链中的作物种植者和企业的连锁效应都将十分严重。

这是精密生物学快速发展的结果；新的成果使我们在精密发酵方面取得了巨大进步，通过精密发酵，我们得以对微生物进行编程，产生几乎无穷尽的复杂有机分子。这些发展成果现正与一种全新的生产模式相结合，我们称之为“软件即食品”——在这种模式下，科学家设计的分子被上传到数据库，形成分子食谱，而世界各地的食品工程师可以将之用于设计产品，就像软件开发者设计应用程序一样。这个模式可以保证不断的迭代，因此产品改进很快，并且每个版本都比上一个版本更好、更便宜。它还确保生产系统完全

去中心化，发酵农场可在城镇或靠近城镇的位置定址，比工业化畜牧业更加稳定、更有弹性。

这种快速的改进与工业化畜牧业生产模式形成鲜明对比，后者在规模、范围和效率方面几乎已经达到了极限。作为这一体系中效率最低、从经济角度而言最脆弱的部分，奶牛产品将首先感受到现代食品全部的冲击力量。现代替代品的土地效率将提高 100 倍、原料效率提高 10-25 倍、时间效率提高 20 倍、水资源利用效率提高 10 倍。<sup>1,2</sup> 它们还将减少一个数量级的浪费。

现代食品已经开始冲击碎牛肉市场，但是一旦达到成本平价（我们认为在 2021-23 年期间），采用将会急剧增加。这种冲击将以多种方式发生，而不仅仅依赖于终端产品的直接一对一替代。在一些市场上，只需要替换一小部分成分，就会冲击整个产品。例如，一旦现代食品技术取代了牛奶中仅含 3.3% 的蛋白质，整个牛奶行业就会开始崩塌。该行业目前已经处于崩塌边缘，如果任其发展，到 2030 年将几近破产。

因此，这不是单方面的冲击，而是许多并行的冲击，每一个冲击都相互重叠、加强和加速。我们从奶牛身上提取的奶制品将逐一被更好、更便宜的现代替代品所取代，引发价格上涨、需求下降和规模经济逆转的死亡螺旋，工业化养牛业将在现代技术生产出完美的细胞牛排之前早早崩塌。

# 重点研究结果摘要

- » 到 2030 年, 对奶牛产品的需求将下降 70%。在达到这个状态之前, 美国的养牛业将在实际上破产。到 2035 年, 对奶牛产品的需求将下降 70% 到 90%。其他牲畜市场, 如鸡、猪和鱼, 也将遵循类似的轨迹。从事动物饲养和加工的人群, 以及所有支持和供应该部门的行业 (化肥、机械、兽医服务等), 将会面临巨大的价值损失。我们估计这一总额将超过 1,000 亿美元。与此同时, 现代食品和材料的生产者将获得巨大的商机。
- » 到 2030 年, 美国牛肉和乳制品行业及其供应商的产量将下降 50% 有余, 到 2035 年将下降近 90%。在我们的中心案例中, 到 2030 年, 碎牛肉市场将萎缩 70%, 牛排市场将萎缩 30%, 乳制品市场将萎缩近 90%。按数量计, 皮革和胶原蛋白等其他奶牛产品的市场可能会缩水 90% 以上。大豆、玉米和苜蓿等农作物的种植量将下降 50% 有余。
- » 当前的工业化畜牧业系统将被“食品即软件”模式所取代, 在这种模式下, 科学家在分子水平上对食品进行工程设计, 并上传到数据库中, 供世界各地的食品设计师使用。这将导致食品生产系统更加分散、更加本地化, 比之前的系统更稳定、更有弹性。新的生产系统将不受由于季节性、天气、干旱、疾病及其他自然、经济和政治因素而造成的产量和价格波动的影响。地理位置将不再提供任何竞争优势。我们将从一个依赖稀缺资源的集中系统转向一个基于丰富资源的分布式系统。
- » 到 2035 年, 目前用于畜牧业和饲料生产的土地将有大约 60% 腾作他用。这相当于美国大陆的四分之一——几乎相当于 1803 年路易斯安那购地案中获得的土地。我们现在拥有前所未有的机会, 可以通过重新规划这片土地来重塑美国的局面。
- » 现代食品将比动物源性食品更便宜、更优越。现代食品的成本将是动物产品的一半, 而且它们在各种功能方面都更优越——更营养、更美味、更方便, 种类也更多。营养益处可能对医疗卫生产生深远的影响, 既可以减少食源性疾病, 也可以减少心脏病、肥胖症、癌症和糖尿病等疾病——这些疾病估计每年要给美国产生 1.7 万亿美元的成本。



资料来源: Impossible Foods

- » 食品成本降低、可支配收入增加, 以及由于引领现代食品技术而带来的财富、工作和税收, 都将产生更广泛的经济利益。
- » 环境效益将十分深远, 到 2030 年, 该行业的温室气体净排放量将下降 45%。其他问题, 如全球森林砍伐、物种灭绝、水资源短缺以及动物粪便、激素和抗生素造成的水生污染, 也将得到改善。到 2035 年, 美国原本用于生产动物食品的土地可能成为主要的碳汇。

# 粮食和农业冲击的主要影响

## 经济:

- » 现代食品和其他精密发酵产品的成本将比它们替代的动物产品至少低 50%，最多低 80%，这将转化为更低的价格和更高的可支配收入。
- » 按照目前的价格，预计到 2030 年，美国牛肉和乳制品行业及其供应商的营收（目前合计超过 4000 亿美元）到 2030 年将下降至少 50%，到 2035 年将下降近 90%。所有其他牲畜业和商业渔业将遵循类似的轨迹。
- » 美国用于饲牛的农作物量将减少 50%，从 2018 年的 1.55 亿吨降至 2030 年的 8000 万吨。这意味着，按照目前的价格，牛的饲料生产营收将下降 50% 以上，从 2018 年的 600 亿美元降至 2030 年的不到 300 亿美元。
- » 农用土地价值将下降 40%-80%。就个体而言，地区和农场对最终结局，取决于土地的替代用途、配套设施价值和所做的政策选择。

- » 主要动物产品生产商可能会面临严重的经济冲击。生产大量传统动物产品和对畜牧业大量投入的国家（如巴西）其国内生产总值的 21% 以上来自农业，其中 7% 来自畜牧业，因而尤其脆弱。
- » 美国家庭平均每年将节省 1200 多美元的食品费用。到 2030 年，这将使美国人的口袋里每年多结余 1000 亿美元。
- » 到 2030 年，美国农业对石油的需求将至少减少一半——目前每年约为 1.5 亿桶石油当量——因为与养牛和运输牛相关的供应链的所有环节都将被冲击。

## 环境:

- » 到 2035 年，目前用于畜牧业和饲料生产的土地将有 60% 腾作他用。这等于 4.85 亿英亩土地，相当于 13 个爱荷华州，几乎相当于路易斯安那购地案的面积。
- » 如果将所有腾出的土地专门用于重新造林，并努力利用意在最大限度增加碳封存的树种和种植技术，那么到 2035 年，美国温室气体的所有当前来源都可以被全部抵消。

- » 到 2030 年，美国因牛产生的温室气体排放量将下降 60%，到 2035 年将几乎减少 80%。甚至如果将替代畜牧业的现代食品生产考虑在内，那么到 2030 年，整个行业的净排放量将下降 45%，到 2035 年下降幅度将接近 65%。
- » 到 2030 年，养牛业和相关饲料农田灌溉的用水量将下降 50%，到 2035 年将减少 75%。甚至如果将替代畜牧业的现代食品生产考虑在内，那么到 2030 年，整个行业的净耗水量将下降 35%，到 2035 年下降幅度将接近 60%。



## 社会:

- » 更优质、更有营养的食品将变得更便宜,对每个人来说都更容易获得。尤其是在发展中国家,廉价蛋白质的获取将对消除饥饿、加强营养和全民健康产生巨大的积极影响。
- » 到 2030 年,美国牛肉和乳制品生产及其相关行业的 120 万个工作岗位将减少一半,到 2035 年将减少 90%。
- » 到 2030 年,新兴的美国精密发酵行业将创造至少 70 万个工作岗位,到 2035 年将创造 100 万个工作岗位。

## 地缘政治:

- » 贸易关系将会发生变化,因为去中心化的食品生产将比传统的畜牧业和农业更少受到地理和气候条件的限制。
- » 美国、巴西和欧盟等主要动物产品出口国将失去对目前依赖这些产品进口的国家的地缘政治影响力。进口动物产品的国家将可以使用现代生产方法,更容易地以更低的成本在国内生产这些产品。
- » 要引领这种冲击,并不需要大量的可耕地和其他自然资源,因此任何国家都有机会在这个全球产业中获取价值,从冲击过程中出现的价值数千亿美元的商机中分一杯羹。

## 抉择

食品业和农业的冲击是不可避免的——现代产品将会以各种方式变得更便宜、更优越——但政策制定者、投资者、企业和整个公民社会都有能力减缓或加快它们的采用。这份报告的目的是开启一场对话,让决策者关注现代食品冲击的规模、速度和影响。他们在短期内做出的选择将会产生持久的影响——例如,关于现代食品的知识产权和审批程序的选择将是至关重要的。

许多决策将被经济优势以及社会和环境因素所驱动。但既得利益行业为了拖延或挫败这种冲击,也可能会对其他决策施加影响。它们也可能会受到主流分析的影响,但基于这类分析做出的决策往往会使经济和社会变得更加贫穷,因为这些决策会导致经济和社会锁死在没有竞争力、昂贵且过时的资产、技术和技能组合中,无法更新换代。为了释放技术冲击的全部潜力,我们需要采用一种不同的方法,一种更契合我们这个复杂、动态和快速变化的世界的方法。

决策者还必须认识到,食品和农业的冲击不存在地理障碍,因此,如果美国抵制或未能支持现代食品工业,中国等其他国家将会抢先改善健康、获得财富和就业机会。因此,政策制定者必须即刻开始为现代食品冲击做计划,以便实现它所带来的非凡的经济、社会和环境效益。

# 关于食品的新语言

## 细胞肉：

在生物反应器中由在动物体外生长的动物细胞组成的肉。这些产品在基因上与传统的动物产品相同。基于细胞的肉也被称为洁净肉、实验室培育肉、养殖肉或体外肉。

## 化学合成：

通过一系列化学反应或物理操作从前体（石化或天然前体）到有机分子来构建化合物。合成被用来发现具有新的物理或生物特性的化合物，产生不能自然形成的化合物，或大量生产产品。通过化学合成产生的产品通常被称为合成产品或人造产品，是天然产品的替代品。

## 计算生物学：

将计算机和计算机科学用于理解和模拟生命结构和过程。计算生物学使用数学和计算领域的广泛方法（例如复杂性理论、算法学、机器学习和机器人学）来表示和模拟生物系统（例如分子、细胞、组织和器官），并解释实验数据（例如浓度、序列和图像），通常应用规模极大。

## 酶：

一种起催化剂作用的物质，在不改变自身的情况下调节化学反应的速度。

## 发酵罐：

一种不锈钢圆柱形容器，通过在封闭系统环境中进行搅动、通气、杀菌，以及调节温度、酸碱度、压力和营养等因素，促进各种类型的生化反应。生物反应器也包含在这个定义中。精密发酵使用发酵罐，而细胞肉使用生物反应器。

## 食品即软件：

采用某些现代计算原理的新型食品生产和消费模式。就像软件一样，随着技术在成本和能力上的改善，以及食品成分数据库的增长，食品产品不断地通过迭代得到改进。食品为利用大量的分子数据库设计，并根据消费者的偏好或营养需求进行调整，以实现口味和质地等变化。与信息技术和互联网的整合意味着生产方法和/或成分的改进几乎可以立即下载和整合，使生产完全分散和去中心化。

## 封装：

食品或其他产品的大小、形状和功能。“形状因素”一词来自计算机行业——是指计算机或电子硬件的整体设计和功能，通常通过突出功能来体现，例如 QWERTY 键盘等。

## 强化：

通过添加蛋白质等元素来强化产品，以提供理想特性，例如营养更强等。

## 遗传工程：

为了改变生物体（或生物体群体）的特征而对脱氧核糖核酸进行的直接操纵、修改或重组。

## 高效筛选：

一种与化学和生物学领域相关的实验过程，在给定的条件下对成千上万的样品同时进行测试。得益于机器人技术、传感器和自动化的技术进步，高效筛选可以快速、可靠、轻松地生成可用于回答复杂生物学问题的大型数据集。

## 工业化农业：

因工业革命而实现的家畜、家禽、鱼类和农作物的工业化生产，侧重于大规模生产、最高产量和快速周转。工业化农业的特点是封闭式动物养殖作业、化学杀虫剂和化肥、大规模单作物养殖作业、集中生产和巨大的销售网络。

## 宏生物：

肉眼可见的有机体。

## 代谢工程：

有针对性、有目的地改变生物体中的代谢途径，从而以较高的高产率生产有用的产品。

## 微生物：

仅借助显微镜可见的有机体。许多不同类型的生物都可以分类为微生物，包括细菌、古细菌、真菌、原生生物、病毒、植物或动物。

## 现代食品：

现代食品工业使用我们在本报告中讨论的新技术生产的食品，包括精密发酵、细胞肉、食品及软件（许多基于植物的食品都利用这一方法）或是上述所有技术的结合。

## 真菌蛋白：

通过发酵生长的单细胞真菌蛋白产品。

## 植物肉：

完全由植物成分制成的肉，但其类似于传统的动物源肉制品，如汉堡、牛排、热狗或肉干。历史上，大豆一直是最流行的植物肉的主要成分，但最近各公司成功地使用其他成分制成了植物肉，如小麦、黄豌豆和椰子。由于技术进步实现了更好的功能性，包括更多的类肉风味、质地和外观，这些新的成分已经变得更加突出。

## 精密农业：

高度重视高分辨率数据收集、彻底分析和具体操作的农业活动。这方面的例子包括在作物种植中在特定地点施用肥料或杀虫剂，以及对动物护理和牲畜饲养进行定时、详细的控制。这不同于精确生物学和精确发酵，因为它代表了工业化农业效率的逐步改善。

## 精密生物学：

人工智能 (AI)、机器学习和云等现代信息技术与基因工程、合成生物学、代谢工程、系统生物学、生物信息学和计算生物学等现代生物技术的结合。

## 精密发酵：

发酵加上精密生物学。一个允许我们对微生物进行编程以产生几乎任何复杂有机分子的过程。

## 精密发酵使能型：

通过精确发酵成本或能力方面的改进来改善或实现的任何产品或生产技术。

## 精密发酵增强型：

任何含有精密发酵成分的产品。这些产品不含动物源肉类。

## 合成生物学：

一门学科，其主要目标是通过将工程原理应用于生物学，从较小的组成部分（包括 DNA、蛋白质和其他有机分子）创建完全可运转的现有或新型生物系统。

## 系统生物学：

以理解活有机体的整体不仅仅是其各部分的总和为前提，通过研究生物实体（如分子、细胞、器官和有机体）的相互作用和行为解读生物系统复杂性的整体方法。该领域整合生物学、计算机科学、工程学、生物信息学和物理学。

# 》第一部分 动植物的第二次驯养

人类一万年对植物和动物的首次驯养标志了人类历史上的一个转折点。在那时，人类首次开始饲养植物和动物，用于食用和辅助工作。驯养的对象都是野生的宏生物，既有奶牛和绵羊，也有小麦和大麦。至此，人类不再仅凭狩猎和采集获取食品，而是开始控制食品的生产、选择最好的特征和条件来培养这些生物，进而（尽管是无意的）改变了它们的自然进化。

**这是动植物的第二次驯养。第一次驯养让我们掌控了宏生物。第二次驯养将让我们掌控微生物。**

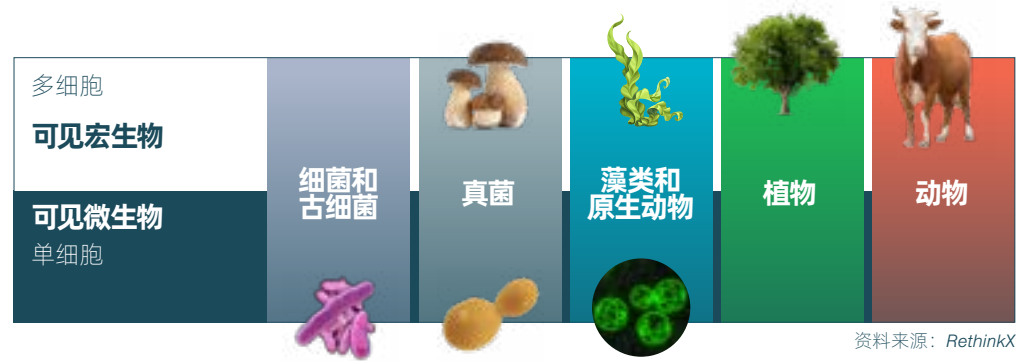
第一次驯养中经常被忽视的一个因素就是微生物发挥的重要作用。宏生物中天然存在微生物，它们分解营养，产生有用的输出。例如，奶牛消化道中的微生物帮助生产奶牛生存和生长所需的蛋白质和氨基酸。可以这么说——不仅人类在无意中操纵了宏生物的进化，微生物也起到了这种作用。

大约一千年后，人类通过对发酵进行早期实验，以更直接的方式操纵微生物。在受控的环境中，如陶罐和木桶内，人类慢慢发现了如何制作各种主食（如面包和奶酪），如何保存水果和蔬菜，以及如何生产酒精饮料。在这个时候，人类初步控制了食品的生产。几千年来，食品生产模式基本保持不变，一直以第一次驯养过程中吸取的经验教训为基础。

而今，我们正站在下一次食品生产大革命的拐点。新技术让我们能够更深入地操纵微生物，其程度远远超过人类祖先的想象。我们现在可以将微生物完全从宏生物中分离出来，并直接利用它们作为更卓越、更有效的营养生产要素。

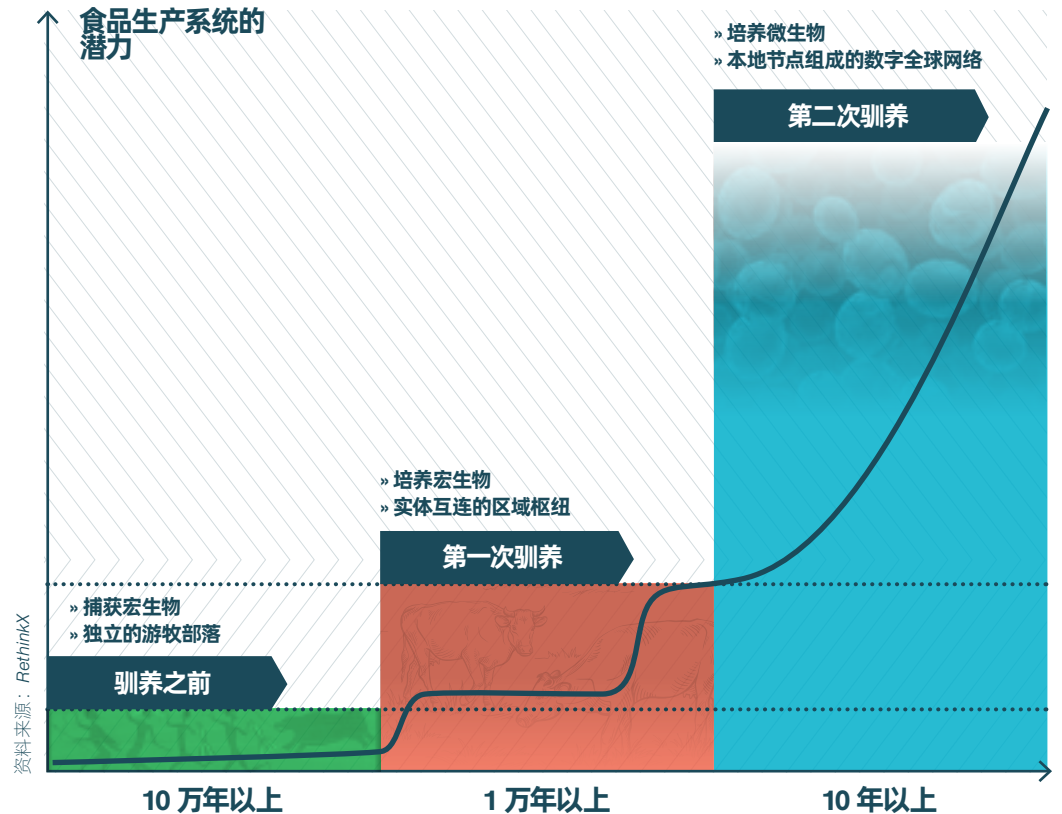
这是动植物的第二次驯养。第一次驯养让我们掌控了宏生物。第二次驯养将让我们掌控微生物。

**图 1. 宏生物与微生物的驯养**



资料来源: RethinkX

**图 2. 驯养宏生物需要几千年, 而驯养微生物仅需几十年**



资料来源: RethinkX

## 一种新的生产系统

从生物学意义上来说，食品只是营养物质的外包装，将蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素和矿物质等打包在一起。其中，蛋白质——所有细胞正常运转所需的大分子——是最重要的。可以说，它们就是生命的基石。

宏生物生产这些包装，但如果要提取其中的单种营养，就需要进一步加工，这就增加了额外的成本（并降低了营养质量）。因此，这些包装中的单个分子是最难提取的，也是提取起来最昂贵的。<sup>3</sup>

然而，微生物可以直接单独产生这些营养。因此，如果驯养微生物，我们就能绕过我们目前养殖的宏生物，直接生产食品，直接获取单种营养。如果这样做，我们就可以用这些营养物质制造出我们所需要的精确规格的食品，而不是通过分解宏生物来获取。我们可以用一个精确、有针对性、易于控制的系统来取代一个需要大量投入、产生大量浪费、极度低效的系统。

不仅如此，通过将生产转移到分子水平，我们可以生产的营养物数量不再受植物或动物本身的限制。举例来说，虽然大自然为我们提供了数百万种独特的蛋白质，但我们只消耗了其中的一小部分，因为从宏生物中提取这些蛋白质十分困难或成本过高。在新的生产系统中，不仅这些蛋白质变得容易获得，而且还可以生产出数百万目前甚至尚不存在的蛋白质。我们可以按照我们想要的规格自由设计分子，想象力将是我们唯一的局限。每种成分都有特定的用途，使我们能够创造出在营养成分、结构、味道、质地和功能性品质方面符合我们理想的食品。在这种情况下，将有无限的输入和无限的输出（见 Box 2）。

这些蛋白质品类丰富，价格低廉，以至于它们不仅会冲击食品业和农业，还会冲击医疗保健、化妆品和材料行业。它们将催生一个新的生产系统，让我们在所有这些领域进行概念化、设计和制造产品时发生深刻转变。我们将能够设计和定制单个分子来构建规格精确的产品，而不是将它们从动物、植物或石油中分解出来。

简而言之，我们将从一个稀缺的系统走向一个富足的系统，从一个提取的系统转到一个创造的系统。

## 图 3. 精密发酵： 无需动物的蛋白质生产

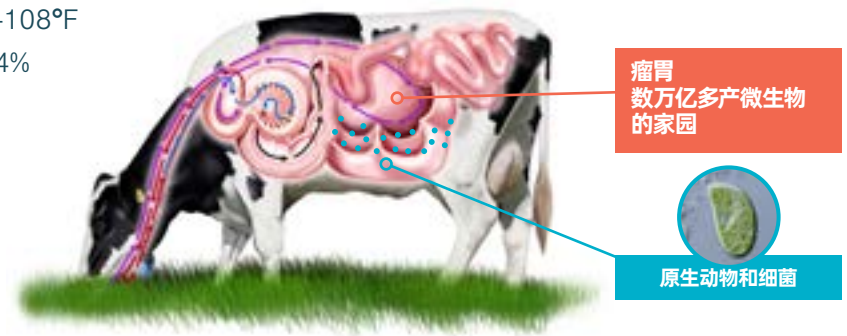
### 奶牛蛋白生产

奶牛瘤胃——许多居住在奶牛瘤胃中的微生物可生产蛋白质。

容量：40-50 加仑

温度：100°-108°F

原料效率：4%



### 精密发酵蛋白质生产

微生物也可以生产蛋白质，可在严格控制的环境中制造所需的蛋白质。

容量：50-10,000 加仑

温度：优化

原料效率：40%-80%



资料来源：RethinkX, Impossible Foods

## 框 1: 蛋白质让生命成为可能

分子生物学的中心法则描述了基因中的信息从 DNA 流入蛋白质的两步过程。DNA 是生命的信息载体。蛋白质是执行大量功能来支持生命发生的生物分子。能够操纵蛋白质，就能够操纵生命。以下是一些蛋白质功能的例子：

类型	功能描述	示例
结构	为细胞和身体提供结构和支撑，并允许身体移动。	<p><b>角蛋白</b>是形成头发、指甲、羽毛和角的主要结构纤维蛋白。角蛋白是人类皮肤的重要组成部分，在伤口愈合中发挥作用。</p> <p><b>胶原蛋白</b>是一种连接和支持肌肉、骨骼、肌腱、韧带、血管、器官和软骨并使皮肤接合在一起的蛋白质。</p>
抗体	帮助保护身体免受病毒和细菌等外来颗粒的侵害。	<b>免疫球蛋白 G (IgG)</b> 是一种在血液中循环的抗体，能识别可能有害的外来颗粒。
酶	通过读取 DNA 中的遗传信息来帮助新分子的形成。它们加快反应速度，执行细胞中发生上万种化学反应的几乎所有反应。	<p><b>淀粉酶</b>是由我们的唾液腺制造的酶，能将淀粉分解成糖。</p> <p><b>乳糖酶</b>是一种消化酶，有助于分解乳糖，即牛奶中的糖。</p>
信使蛋白质	传递信号以协调细胞、组织和器官之间的生物过程。	<p><b>胰岛素</b>是一种激素，负责让血液中的葡萄糖进入细胞，为细胞提供正常作用所需的能量。</p> <p><b>生长激素</b>调节细胞生长。</p>
运输蛋白	在细胞内结合并携带原子和小分子并送至全身。	<p><b>血红蛋白</b>是红细胞中的一种蛋白质，将氧气从肺部运送到身体的每一个细胞。</p> <p><b>铁蛋白</b>参与铁的储存。</p>

资料来源：RethinkX

## 框 2: 无穷无尽

蛋白质的数量可能是无限的。为了解释原因，我们需要了解氨基酸的作用。

蛋白质是长串的氨基酸。这些线性序列通过不同的肽键结合在一起，并折叠成三维结构，这赋予蛋白质生物和化学功能。细胞 DNA 中的每个基因都包含一种独特蛋白质结构的编码。自然界中大约有 500 个氨基酸，但只有 20 个出现在遗传编码中。<sup>4</sup> 蛋白质中氨基酸的数量各不相同，短核糖体蛋白中大约有 100 个，而肌联蛋白（赋予人体肌肉弹性）中大约有 33,423 个。真核生物蛋白质的中值长度约为 400 个氨基酸（真核域包括大多数生物，包括植物、真菌和动物）。<sup>5</sup>

真核生物蛋白质线性链上有 400 个位置，每个位置都有 20 个氨基酸选项。因此，长度为 400 个氨基酸的蛋白质一共可能有 20 的 400 次方 ( $20^{400}$ ) 种。在谷歌的科学计算器中输入  $20^{400}$ ，答案是无穷大（其他计算器只会给出错误信息）。



资料来源：谷歌

原核生物（细菌和古生菌）蛋白质也是如此。原核生物蛋白质长度约为 300 aa，长度为 300 个氨基酸的蛋白质一共可能有 20 的 300 次方 ( $20^{300}$ ) 种。所以，答案同样是“无穷大”。

把这个数字降低到 225 个氨基酸，我们能得到一个具体的数字——大约  $10^{292}$ 。这就比宇宙中已知的原子数量 ( $10^{80}$ ) 大  $10^{212}$  倍。

## 框 3: 使不可能成为可能

**供人类食用的人类蛋白质:** 市面上已经有许多人类类似物——人类胰岛素、胶原蛋白、乳蛋白和抗体。原因很简单——人类蛋白质更适合人类使用。例如, 就像人类胶原蛋白在化妆品中的效果比牛、猪或水母胶原蛋白更好, 母乳蛋白在婴儿配方奶粉中也比牛奶蛋白更好。

2019年3月, Geltor 宣布推出 HumaColl21™, 这是第一种为化妆品创建的人类胶原蛋白, 该公司称其为“年轻、有弹性的肌肤的分子根源——因其与人类皮肤细胞的生物相容性最高而获选。” Geltor 首席执行官 Alex Lorestani 表示: “在目前的动物生态系统之外, 有许多天然蛋白质具有不可思议的功能。我们的目标是在新类别中率先使用胶原蛋白等生物活性蛋白质。” 目前, HumaColl21 被用作韩国抗老面霜 AHC “全效全脸修复眼霜” 的主打成分



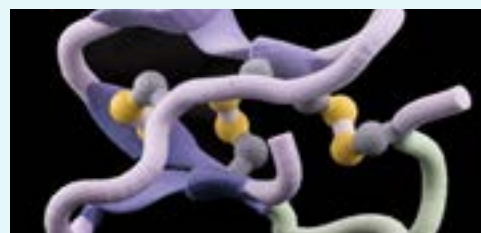
资料来源: Kosmebox 网站

**提取成本太高的蛋白质:** 许多分子在自然界中都十分稀少, 无法以经济上合算的方式寻找或培育。我们已经在直接从微生物中生产植物天然产品 (PNP), 如天然香草、橙子香料 (朱栾倍半萜)、甜味剂 (不含苦味的甜叶菊、甜菊素)、维生素和大麻素, 并且比从宏生物中生产更便宜。很快, 我们就能生产更多分子。例如, 澳大利亚科学家最近在鸭嘴兽奶中发现并复制了一种具有独特抗菌特性的蛋白质。<sup>6</sup> 在现代食品生产系统中, 可以将含有鸭嘴兽蛋白质的文件上传 (作为数据), 连同加工说明 (软件) 一起, 提供给世界上任何地方的任何人。



Cargill 是美国食品、农业、金融和工业产品的主要生产商, 该公司采用精密发酵法生产 EverSweet™ 甜叶菊甜味剂。该公司将这种“零卡路里甜味”的秘诀描述为“使用特制面包酵母的现代版古老发酵技术”。换句话说, 这种甜味的来源是一种经过改造、用于复制甜叶菊 REB M 和 D 分子的微生物

**来自灭绝的植物和动物的蛋白质:** 工程师可以用同样的方法从灭绝的植物和动物中复制蛋白质。因此, 人类甚至可能从猛犸象、巨沟鲸或大西洋灰鲸身上开发皮革或肉产品。事实上, 我们可能很快就能够从任何生物体上收获各种大小、形状或厚度的牛排和皮革。



资料来源: DARPA

还有按需制造的蛋白质——国防高级研究计划局采用合成聚合物的形式制造蛋白质, 用于制造在极端环境下具有恢复能力的药物

**不存在的蛋白质:** 我们将能够设计出前所未有的蛋白质。例如, 麻省理工学院的一个团队已经开发了一个发现平台, 生成了数百万种自然界中没有的蛋白质。<sup>7</sup>



# 1.1 技术融合推动冲击

驱动这些全新可能性的，是精确生物学。这包括对细胞和生物体进行设计和编程所必需的信息和生物技术，包括基因工程、合成生物学、系统生物学、代谢工程和计算生物学。<sup>8</sup>

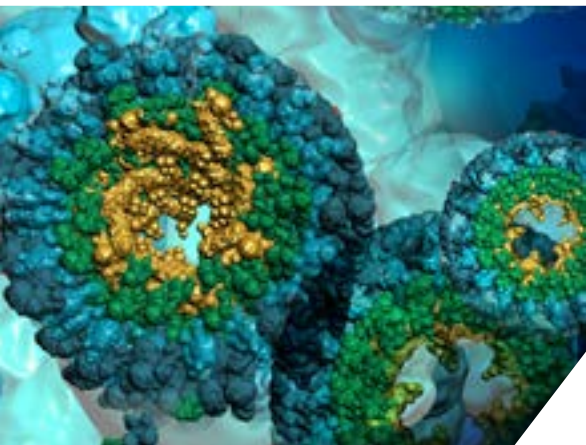
本质上，合成生物学已经变成了一门工程学科，经历了概念上的转变。就像软件开发人员一样，合成生物学家可以改造生物学，改善质量、可扩展性、营养、口味、口感和成本。

新的信息技术，如具有深层神经网络的机器学习，使得科学家能够比以往更迅速、更准确地分析复杂的生物过程。例如，我们现在有了一项技术，只用一台计算机，就可以在不到两天的时间里注释一个包含 1 亿蛋白质的数据库。<sup>9</sup>与此同时，通过 CRISPR 这样的技术，科学家得以使用新的工具操纵遗传物质、以设计特定的生物体，进而对其进行编程以产生具有所需精确属性的分子。<sup>10</sup>

这意味着在人工智能和机器人技术的帮助下，我们可以开发数百万种新型食品和成分，同时通过高通量筛选对它们进行分析和测试，以确保得出营养、味道、风味、香气和口感的最佳组合。现在，科学家已经可以设计和合成几乎任何已知或未知分子，而成本的迅速下降意味着我们可以比以往任何时候都更成本低廉地完成这项工作。

例如，在 2000 年，首次对人类基因组进行完全测序的成本为 10 亿

美元，耗时 13 年。<sup>11</sup>如今，只需几天时间，花费约 1000 美元即可取得相同结果——很快还会降低到 100 美元（见图 4）。<sup>12</sup>2000 年的计算成本是每百万兆次浮点运算 5,000 万美元。如今，用于机器学习的图形处理器的成本是每百万兆次浮点运算不到 60 美元。<sup>13</sup>



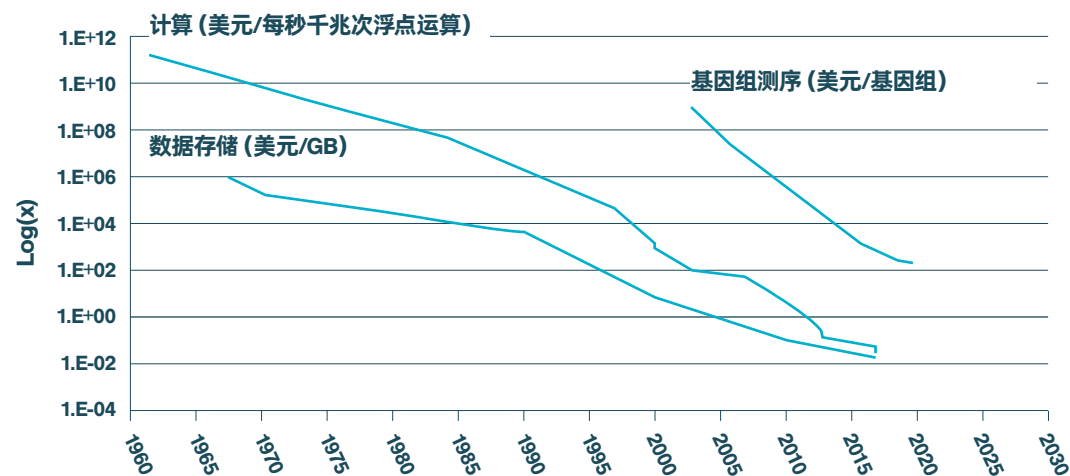
将精密生物学的这些进展与“食品即软件”生产模式相结合，科学家就可以与世界各地的生产设施实时更新和共享数百万个分子的数据库，食品工程师就能

## “与牛不同，我们每天都比前一天更擅长制造肉食”

Pat Brown——Impossible Foods 首席执行官

够像软件开发人员开发智能手机应用程序一样设计产品。持续的迭代意味着现代食品产品将在功能属性和成本方面快速改进——就像 1.0 版刚上市、公司就已经在开发 2.0 版，然后是 3.0 版，以此类推，每一个版本都比上一个版本更好、更便宜。这种快速的改进与工业化畜牧业生产模式形成鲜明对比，后者在规模、范围和效率方面几乎已经达到了极限。

图 4. 关键基础技术的成本呈指数级下降



资料来源：RethinkX、Bioeconomy Capital (R. Carlson)；国家人类基因组研究所；明尼阿波利斯联邦储备银行社区发展项目；Computerworld——John C. McCallum

## 1.2 精密发酵

这些技术的融合及其快速下降的成本使精确发酵 (PF) 成为可能。PF 是精密生物学与古老发酵过程的结合。<sup>14</sup>

**PF 是一个允许我们对微生物进行编程以产生几乎任何复杂有机分子的过程。**<sup>15</sup> 这包括大量生产精确规格的蛋白质 (包括酶和激素)、脂肪 (包括油) 和维生素, 并且最终边际成本接近糖的成本。这些分子是许多行业的重要成分, 因为它们可以塑造消费品的结构、功能和营养。<sup>16</sup>

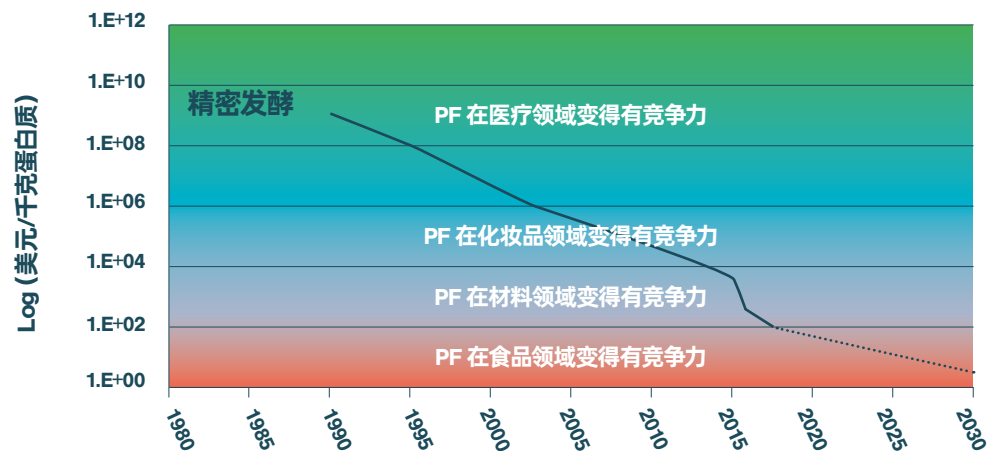
PF 是一项久经验证的技术, 自 20 世纪 80 年代开始投入商用——科学家一直在利用基因工程改造微生物来生产人类胰岛素<sup>17</sup> (见 Box 4) 和生长激素、<sup>18</sup> 酶 (如凝乳酶),<sup>19</sup> 以及各种其他生物制品。<sup>20</sup> 有很多维生素和补充剂几乎完全是用 PF 生产的。<sup>21</sup> 最近, 该工艺被用于制造胶原蛋白。如今, 这些产品每年在全球创造逾 1000 亿美元的营收。<sup>22</sup>

精密生物学的成本急剧下降, PF 的成本也越来越低。因此, 精密发酵生产单一分子的成本从 2000 年的 100 万美元/千克下降到今天大约 100 美元/千克。我们预计, 到 2025 年, 成本将降至每千克 10 美元以下。

### 框 4: 胰岛素——第一次 PF 突破

胰岛素的例子可以很好地说明 PF 如何创造出优质产品, 并导致现有产品的快速冲击。在以前, 用于治疗人类糖尿病的胰岛素来自牛和猪的胰腺, 生产一千克胰岛素需要 50,000 多只动物。提取的胰岛素需要经过昂贵的加工处理才能达到所需的纯度。此外, 动物源性胰岛素有很多问题——它可能导致严重的过敏反应, 而且质量不一致。直到上世纪 70 年代, 人们还普遍担心动物源性胰岛素供应有限且不稳定, 当时的预测显示, 每年需要 5,600 万只动物才能满足美国日益增长的需求。<sup>23</sup>

图 5. 随着成本下降, PF 冲击了更多行业



资料来源: RethinkX

这意味着, 作为一种食品生产形式, PF 现在正处于超越畜牧业的拐点, 不仅在成本上是如此, 在能力、速度和产量上也是如此。到最后, 当前工业食品生产的效率将提高一个数量级。



资料来源: Humulin

## 框 5: 发酵简史

### 意外发酵:

发酵是微生物分解和改变有机分子时自然发生的化学过程。随着时间的推移,人类认识到了发酵的好处,并开始利用这个过程让食品更容易消化,并改善其味道、质地、味道和香味。最重要的是,发酵意味着食品可以保存和储存更长的时间(这就是水手大都喝啤酒而不是水的原因)。<sup>26</sup>。像啤酒、葡萄酒、面包、奶酪、酒曲和味噌这样的食品和饮料都是发酵这个自然过程的产物,经过世界各地的古代人不断改进。虽然古代人类既不了解微生物,也不了解发酵过程的复杂性,但发酵产品早已成为人们饮食和生活方式的重要组成部分。

### 工业发酵:

#### 发酵在古埃及文化中占据重要地位,以至于表示食品的古埃及象形文字结合了发酵的啤酒和面包的符号



随着显微镜在 19 世纪面世, Louis Pasteur 等科学家开始研究、控制和操纵微生物,这反过来又导致了对发酵过程的理解。这种深入的理解,加上 20 世纪初人们提高产量的能力大幅提升,使人类得以利用发酵来大量生产特定的若干产品,不仅包括食品,还包括有机酸、溶剂和工业用酶。

### 精密发酵:

精密生物学的出现意味着我们现在可以对微生物进行设计和编程来生产我们想要的任何产品。

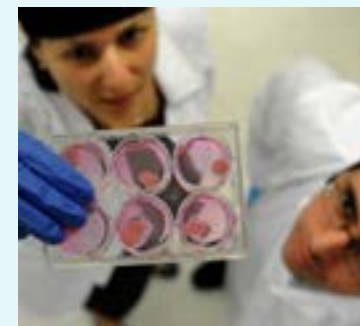
## 框 6: PF 支撑新技术



资料来源: Impossible Foods

#### PF 生产的食品配料: Impossible 汉堡中的 PF 血红素

PF 是释放植物产品和其他新技术(如细胞肉类)潜力的关键。将植物转化为消费性食品需要特殊的成分,而精密发酵将允许微生物无限量产生这些成分,以增强和改善植物产品。<sup>27</sup> PF 还可能支持一些新的生产技术,如生产用于细胞肉类生产的生长因子。<sup>28</sup> 为了生产细胞肉,科学家采集动物细胞(肌肉、脂肪和结缔组织)并在实验室的生长培养基中培养,使之以复制传统肉制品的方式进行组合。碎牛肉比牛排更容易复制,因为它们的结构复杂性较低。生长培养基占的成本比例最大,但是 PF 有可能以极低的成本大量生产所需的关键生长蛋白。除了 PF 之外,细胞肉的开发工作一直在继续,虽然规模扩大和产品结构仍然是挑战,但已经取得了巨大的进展(见第 2 部分)。



资料来源: Aleph Farms

#### PF 使能的食品配料: PF 生长培养物促进细胞肉生产

## 1.3 生产成本和供应链成本较低

### 生产成本

为了说明现代食品将会有多大的冲击性，我们以奶牛为例。养牛是生产蛋白质最低效的方法之一，因此是一个亟待冲击的行业。

养牛业是资源密集型产业，大量的饲料作物、土地、水资源和时间被用于动物产品的生产。目前，养殖户首先要养成一头牛，然后才能将其分解成特定的产品，如牛排、皮革或胶原蛋白，这一过程在资源效率方面已经接近极限，几乎没有改善生产成本的潜力。

例如，在过去的 30 年里，奶牛饲料的效率几乎没有提高。

<sup>29</sup> 但是使用 PF（一种成本将持续大幅降低的工艺），这些产品可以使用精确数量的所需分子来生产。

现代食品将饲料转化为最终产品的效率大约是奶牛的 10 倍，因为奶牛需要通过饲料获得能量，才能让身体在一段时间内维持和增长。消耗的饲料越少，种植饲料所需的土地就越少，这意味着用水量越少，产生的废物也越少。节约量是惊人的——原料将减少 10-25 倍，用水量减少 10 倍，用电量减少 5 倍，土地减少 100 倍。

PF 还可以将生产时间从目前的两到三年（奶牛生长所需的时间）缩短到几周。投入和时间效率方面的数量级改善将转化为呈数量级降低的产品成本。

因此，我们预测，到 2023 年至 2025 年，大多数动物源性蛋白质分子将达到成本平价，到 2030 年，使用 PF 生产蛋白质的成本将比畜牧业低五倍。牛排等结构更复杂的产品需要多种分子类型和复杂的结构，它们的生产成本更高，达到成本平价需要更长时间。如果在 2023-25 年期间，蛋白质生产的成本降至每千克 10 美元以下，畜牧业就会开始崩塌，各种形式的肉类生产将不可避免地发生冲击。

我们预计在 21 世纪 30 年代，现代食品的总成本将接近牛产品成本的十分之一，而生产的边际成本将接近糖加水和电的成本。现代食品所需的碳水化合物投入物可能来自任何生物模式（叶子、作物、海藻或藻类）。

### 供应链成本

现代食品还将催生一个完全不同的食品生产系统，从田间转移到发酵罐。打破目前与养牛生产相关的供应和价值链，代之以效率更高、本地化程度更高的生产系统，几乎消除废料，并显著降低运输需求，将能够降低分销成本、减少价格波动，从而进一步降低产品成本。

随着生产商、批发商和零售商之间的界限变得模糊，严重依赖于庞大基础设施（从大型农场和屠宰场到包装设施和分销商）的现有养牛供应链将变得非常多余。就像 19 世纪后期，原本从北方湖泊采集的冰块转移到本地冰箱中生产一样，食品生产将从广大而偏远的农业地区转移到更紧凑、更容易到达的城市区域。

## 1.4 属性的改进

现代食品不但会生产比动物源性产品更便宜的食品，而且在质量、味道、结构、营养以及对环境和社会的影响等各方面都有优势。事实上，这些改进可以确保新产品在达到成本平价之前就得到采用，就像在一些市场已经发生的一样。

**味道：**与味道和口感相关的属性，如甜度、酸度、融化、口感和质地，将相对于动物源性食品取得改进。与食品结构及其效用相关的特性也将得到改善，包括乳化性、起泡能力或使烘焙食品发酵的能力。

**便利：**现代食品将导致生产系统更加分散，在这个系统中，食品可以比目前更快、更方便地在当地生产和配送。

**种类：**利用现代食品技术，可生产具有无限特性的食品，包括与耐受性、过敏和个性化相关的特性，这意味着消费者最终将能够订购专门为满足其个人需求而设计的食品。

**营养：**现代食品将比同等动物源产品更健康，营养更全面。例如，采用 PF 技术制成的汉堡不仅脂肪和盐含量比牛肉制成的汉堡要少，而且比普通汉堡中的新鲜蔬菜含有更多维生素和矿物质。现代蛋白质也应该比动物蛋白质更容易被生物利用。

**可预测性：**一个更分散、更有弹性、更贴近消费者的生产模式，意味着食品生产将不再受制于地理因素，也不再受制于由气候、季节、疾病、流行病、地缘政治限制或汇率波动造成的极端的价格、质量和数量波动。PF 食品的保质期也 longer，更不易受到污染。

这些属性将影响整个社会的利益相关者所做的决定，并因此影响采用的速度（见第 2 部分）。这些标准的重要性都将因利益相关者——消费者、企业、投资者或决策者——而异。但对所有利益相关者来说，从每一个参数上来看，由 PF 生产的产品都明显优于传统畜牧业生产的食品——对购买食品的消费者、提供食品的企业、帮助为食品生产融资的投资者，以及会影响到决定不同生产体系竞争力的监管、财政和政策框架的决策者来说都是如此。不但如此，PF 食品还可以比传统养殖食品节省更多成本，将这一点加入考虑范围后，我们的分析表明，工业化食品生产的冲击在速度和范围上都将十分显著。**事实上，传统的工业食品生产系统完全无法与现代食品正面竞争，就像楔形泥板没法与现代电脑平板电脑或智能手机竞争一样。**



## 》 第二部分 冲击和采用

## 2.1 分拆奶牛

植物和动物的第二次驯养，是人类在从前利用更优越、更有效的技术对牛进行分拆活动的延续。

对牛的首次驯养为我们新石器时代的祖先提供了许多价值流——食品（肉和奶）、衣服、工具和能量。奶牛对农业来说也是很有价值的牲畜，它们可以生产粪肥用于肥田。它们在冬季和歉收时期可以充当一种食品储存形式，为古代人类提供弹性。牛

还被用于货运和客运，有时还作为货币和贸易和交换手段。

技术已经冲击了上述大部分价值来源。拖拉机出现之后，牛不再被作为役畜，而它们储存食品的价值也被冰箱冲击了。石化肥料降低了粪肥的价值，而马和汽车则破坏了牛作为运输工具的价值。最后，它们剩下的主要价值来源是作为食品，其次是提供材料。

奶牛——世界上最古老、最大、最低效的食品生产

系统之一——现在正经历最后的崩坍。牛身上尚存一定价值的剩余部分——即肉和奶，以及皮革和胶原蛋白——正被先进的技术、产品和服务所取代，所有这些都是由人类对微生物的持续工程所促成的。

这场冲击已经开始，并将在五年内达到临界点，在2020年代中期前一直加速，到2035年结束。

图 6. 分拆奶牛



资料来源: RethinkX、Easybrau-Velo、Memphis Meats、Humulin、Modern Meadows

## 2.2 对奶牛的冲击

### 2.2.1 蛋白质: 冲击从这里开始

正如我们所看到的，现代食品生产方法产生的蛋白质已经用于保健、维生素和化妆品。它们现在开始冲击更广泛的食物市场上占比更大、更明显的部分。我们已经吃了很多含有 PF 制造成分的食品，只是很少有人认识到这一点。这些成分包括朱栾倍半萜（橙子味道和气味）、覆盆子香味、甜味剂（如索马甜）和维生素，以及许多用于食品加工的酶，如凝乳酶、淀粉酶或脂肪酶（见 Box 7）。最近，该工艺被用于制造大豆血红素（血红素）。<sup>30</sup> 这些产品中有许多已经完全冲击了它们所进入的市场。

下一个将被冲击的蛋白质是奶牛产生的蛋白质，即牛奶和牛肉中的蛋白质。它们将直接从微生物中产生，而不是从牛（宏生物）中提取。然后，这些单个的蛋白质将会制成最终产品，比如碎牛肉、汉堡和牛排。这与传统的生产方法完全相反，即将奶牛分解成多种组成成分，然后根据需要加工最终产品。在传统系统中，乳清等单一分子最难生产，造价也最昂贵。在新系统中，它们最容易生产，造价也最便宜。至关重要的是，使用现代生产技术制造的单一蛋白质分子将比从奶牛体内提取的分子更优越、更纯净、更稳定。



### 框 7: 奶酪制作中的 PF 凝乳酶

凝乳酶是用于生产奶酪的一组重要的酶，促进牛奶中的固体凝乳和液体分离。凝乳酶来自小牛的胃，小牛的胃分泌这种酶是为了消化母乳。因此，只有非常年幼的小牛才产生凝乳酶——它们在大约 60 天大的时候停止产生凝乳酶。20 世纪 70 年代，奶酪在美国越来越受欢迎，但与之相对的是，动物权利运动日益增加，人们对杀死新生小牛产生了越来越强烈的厌恶感。这导致了小牛市场低迷，凝乳酶价格上涨。奶酪制造商被迫寻找替代品，但只能使用质量低劣的蔬菜和微生物凝乳酶，到 20 世纪 80 年代，这些凝乳酶占据了大约 50% 的市场。<sup>31</sup> 大约在同一时期，一种利用 PF 的生产方法被开发出来，以生产凝乳酶的活性成分——纯凝乳酶，这种方法比通过动物生产更有效，并且功能比非动物替代品更好。发酵生产的凝乳酶 (FPC) 于 1990 年被批准用于食品生产，到 2012 年，美国生产的奶酪有超过 90% 使用 FPC 生产。<sup>32, 33</sup>



## 2.2.2 第四波冲击

对牛的冲击不仅仅是简单的一对一替代——并不是传统的香肠或汉堡被新的替代品所取代（尽管这种情况也会发生）。新的生产方法只需要冲击关键成分，而不是整个产品，即可使奶牛完全失去用处。

事实上，直接替代最终用户产品，只是奶牛在未来十年及更长时间内被冲击的四种主要方式之一。所有这些冲击都相互重叠、强化和加速。它们分为两大类：

### 我们的食物：

- 1. 替代成分。** 以现代生产方法生产成分，对动物源性成分进行一对一的替代。这是企业对企业 (B2B) 方面的冲击，消费者偏好不是关键驱动因素。
- 2. 代替最终产品。** 这是企业对消费者方面的冲击：
  - » 使用新生产方法生产的蛋白质与其他成分混合形成最终产品。因此，这不是一对一的替代。
  - » 细胞肉能够一对一地替代由动物制成的完整、复杂的食品。

### 我们的饮食方式：

- 3. 强化。** 将现代生产方法制成的配料添加到现有的食品中。
- 4. 封装。** 用全新的形式取代现有的食品形式。



资料来源：Bulletproof, Chief.Collagen, Caveman Foods

### 1. 替代成分

这是动物源性蛋白质和其他成分的一对一替代，通常只占最终产品的一小部分。例如，替代运动饮料或婴儿配方奶粉中的乳清蛋白，或替代甜味和咸味菜肴中用作增稠剂的常见成分——明胶。

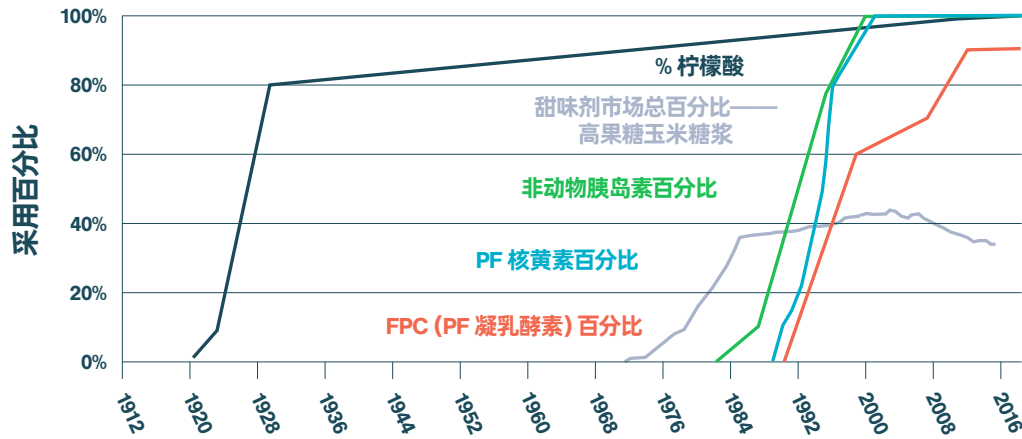
是否使用这些成分（其中许多是产品的关键成分，但用量很小）将由企业而非消费者决定，他们的决策基础是削减成本（购买更便宜的成分或延长产品保质期）、降低风险（如供应的可靠性、一致性和质量）以及增加营收的能力（例如通过提高蛋白质或优质营养成分含量或通过强调更健康、更可持续或无动物产品来增加客户价值）。

正如我们之前所见，一些 B2B 成分冲击可能会很快发生（见下面的图 7）。

例如，1978 年，一种含有 55% 高果糖玉米糖浆的甜味剂——HFCS 55 面世。20 世纪 70 年代，精制糖的批发价格上涨了两倍<sup>34</sup>，以至于 1980 年，百事可乐和可口可乐开始用 HFCS-55 代替主要成分——糖。到 1984 年，他们在美国灌装的软饮料都用 HFCS-55 代替了糖。<sup>35</sup>

这种直接替代是 B2B 冲击，这意味着消费者偏好不是采用的主要驱动力。

**图 7. 食品成分冲击发生得很快, 并且遵循 S 曲线**



资料来源: RethinkX, Citric Acid: Ciriminna 等人, 2017, Berovic & Lesiga, 2007, Max 等人, 2010, HFCS: USDA, Insulin: Leichter, 2003, Lipska 等人, 2014, Riboflavin: Ruelva 等人, 2016, FPC: The Vegetarian Research Group, Persistence Market Research, Business Wire, Hellmuth, 2006

## 2. 代替最终产品

### 混合成分

这是 PF 产生的蛋白质与其他成分混合形成最终产品的阶段。这将发生在乳制品、肉类和皮革市场。我们称这些产品为 PF 增强产品——PF 蛋白只是成分列表中的一种，列表中还含有植物和真菌蛋白（一种通过发酵生长的单细胞真菌蛋白）等。就肉类而言，可通过 PF 产生血红素等分子，与其他成分结合，就能产生一种碎肉复制品，这种复制品相比动物源产品而言有所改进，而植物来源的非 PF 替代品无法实现同样的改进。

Impossible Foods 在生产 Impossible 汉堡时就采用了这种方法，自 2016 年推出以来，这种汉堡已经售出 1300 多万份。<sup>36</sup> 因为这些新产品的属性在每一个参数上都优于动物源产品，企业很可能会将它们作为产品线的延伸来引入，从而提供额外的益处。汉堡王就是这样做的——他们在华堡 (Whopper) 品牌下推出了 Impossible 华堡。该公司最初对 Impossible 华堡的定价比传统的华堡高出约 1 美元，主要宣传其健康益处。<sup>37</sup>

牛奶行业很好地说明了这种混合成分的冲击将会如何发展。

### 对牛奶的冲击

牛奶行业目前正处于紧要关头——行业利润非常微薄，<sup>38</sup> 并受到商品价格波动的影响，<sup>39</sup> 因此依赖政府补贴<sup>40</sup> 以及强大游说力量的支持。<sup>41</sup> 牛奶很好地表明了，只要一小部分成分被替换，整个产品就会被冲击，进而引发整个市场的崩塌。

固体蛋白质（酪蛋白和乳清）仅占牛奶的 3.3%。其余的成分包括 87.7% 的水、4.9% 的糖（主要是乳糖）、3.4% 的脂肪，以及 0.7% 的维生素和矿物质。<sup>42</sup>

理解牛奶冲击的关键是，PF 只需要冲击牛奶 3.3% 的成分——关键的功能蛋白质——就能导致整个牛奶行业崩塌。

**图 8. 牛奶的分子组成**

**理解牛奶冲击的关键是, PF 只需要冲击牛奶 3.3% 的成分——关键的功能蛋白质——就能导致整个牛奶行业崩塌。**



3.3% 蛋白质

资料来源: RethinkX

大约 65% 的牛奶蛋白被直接消费，例如作为牛奶饮用，或者作为乳制品，如奶酪、酸奶和冰淇淋。<sup>43</sup> 剩下的 35% 作为各种产品的配料被间接消费，包括蛋糕和甜点，以及婴儿配方奶粉和运动补剂。这些成分将首先被冲击。

### 三分之一的行业营收消失，就足以推动初级牛奶生产行业破产

乳清和酪蛋白属于随处可得的商品，并且交易广泛。<sup>44,45</sup> 这两种产品都已经成为通过 PF 生产的目标产品。<sup>46</sup> 我们预计，到 2023 年至 2025 年，这些 PF 蛋白的成本将与动物源蛋白持平，而随着时间的推移，边际成本逐渐向糖（低于 10 美分/千克）加上水和能源的成本靠拢。<sup>47</sup>

但冲击的历史表明，要市场采用这些产品，不一定要达到价格平价。当 PF 蛋白可以提供牛奶蛋白质所不能提供的东西、提升产品品质时，就会启动最初的采用。例如，婴儿配方奶粉目前使用的是牛蛋白，但如果可以使用 PF 制造母乳蛋白，就应该会在耐受性和营养方面提供更好的产品。<sup>48</sup> 其他领域的改进，如更好的适应性、更一致的质量、没有价格波动和供应安全，也将刺激企业使用这些产品。

随着蛋白质消费转向这些现代替代品，牛奶市场中占 35% 的配料部分将迅速失去销路。三分之一的行业营收消失，就足以推动初级牛奶生产行业破产。<sup>49</sup>

但这种冲击并不会就此结束——牛奶蛋白市场的其余部分将很快面临风险。奶酪、酸奶和冰淇淋等乳制品也将使用质优价廉的 PF 基蛋白质制造。

乳清蛋白的冲击将是这一过程中的关键催化剂。如

今，受监管的乳制品生产商享受乳清补贴——无论这种蛋白质是否有市场。<sup>50</sup> 乳清是奶酪生产的副产品，给大型奶酪制造商带来了额外营收。如果 PF 乳清冲击了牛乳清，他们将沦落到与小型奶酪制造商（没有进入干乳清市场）一样，无法享受补贴，并由于处理乳清而损失金钱。<sup>51</sup> 随着这种蛋白质产生的额外营收流减少，工业奶酪价格（和政府补贴）势必上涨以弥补损失，而这反而会降低需求，并加速基于 PF 的替代品对市场的冲击（见第 2.3 节中的死亡螺旋）。这将使美国市场除了奶酪供应过剩不断加剧之外，还出现乳清过剩。

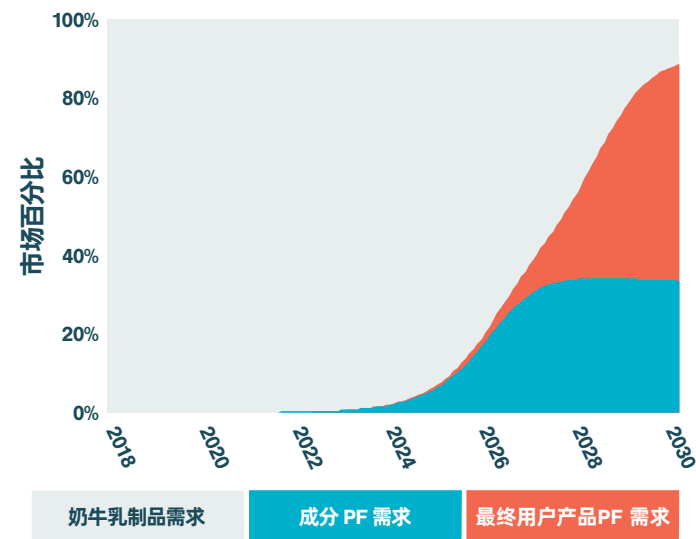
至此，牛奶唯一剩下的市场将是饮用市场。但即使是这个市场也将很快受到威胁，因为 PF 生产过程将继续改善，包括用于生产脂肪、维生素和矿物质及牛奶中的其他关键功能成分的过程。最后，随着饮用牛奶的复制和改进成为可能，最后一点市场也将被完全冲击。生产商将能够开发出一种低成本的产品，既能复制味道和感觉，又能改善其他属性，包括耐受性、消化性和营养。事实上，尽管非 PF 植物奶溢价较高，口味也有所不同，但其在美国已经占据了 13% 的市场份额。<sup>52</sup>

随着对牛奶的需求下降，规模经济逆转，工厂产能开工不足，牛奶加工成本将会上升。为了维持业务，牛奶生产商将不得不提高价格，导致需求进一步下降，加速向现代生产方式的转变，而后者将继续呈指数级增长。

食品工业的整体动态也将发挥作用。牛奶业不是孤立运作的——它通过兽皮、畜体和饲料等其他原料与更广泛的养牛业联系在一起。这些广泛市场的冲击将加速牛奶市场的冲击，反之亦然。

最终，现有的牛奶行业将束手无策，政府也无法进行大规模援助，而我们预计，该行业将在 21 世纪 20 年代出现大规模破产，在 2030 年前崩塌。**我们预计，到 2030 年，美国近 90% 的乳蛋白需求将来自 PF 替代品。**

图 9. 美国乳蛋白需求

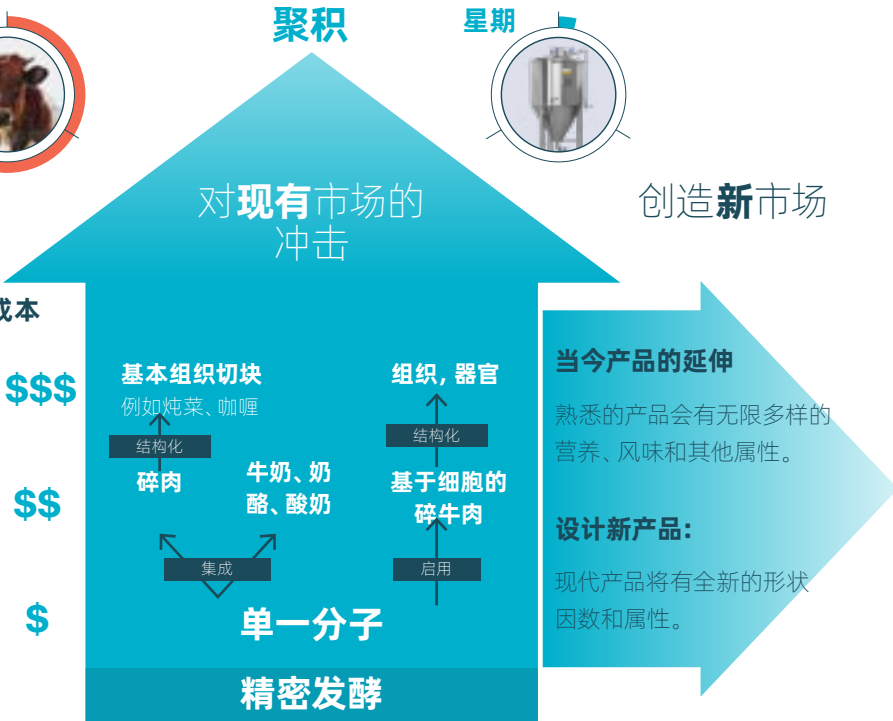
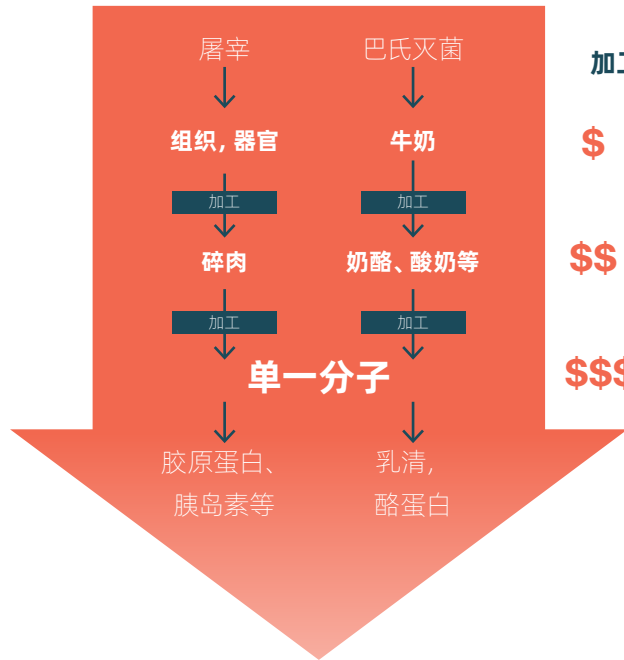


资料来源: RethinkX

# 图 10. 逆转食品生产的经济学和模型

## 分解

- 起点:** 培养宏生物 (如牛)
- 生产模式:** 分解成更简单的产品
- 输出种类:** 受到生物学和经济学的限制
- 成本:** 几乎没有改善的余地
- 原料效率:** 4%



- 起点:** 设计和生物制造单一分子
- 生产模式:** 将单一分子整合到结构更复杂的产品中
- 输出种类:** 根据精确的消费者标准设计的无限品种
- 成本:** 随着技术的进步呈指数下降
- 原料效率:** 40%-80%

## 冲击的关键维度

现代食品将同时从多个维度冲击动物源食品, 这是由它们在成本和属性方面日益增长的竞争力所驱动的。

**结构复杂性**  
更简单 2020 → 更复杂 2030

现代食品会首先冲击碎牛肉这样结构简单的产品, 然后再冲击牛排这样结构复杂的产品。

**浓度**  
更低 2020 → 更高 2030

现代食品将首先冲击关键功能成分浓度较低的产品, 如牛奶 (只有 3.3% 的蛋白质)。

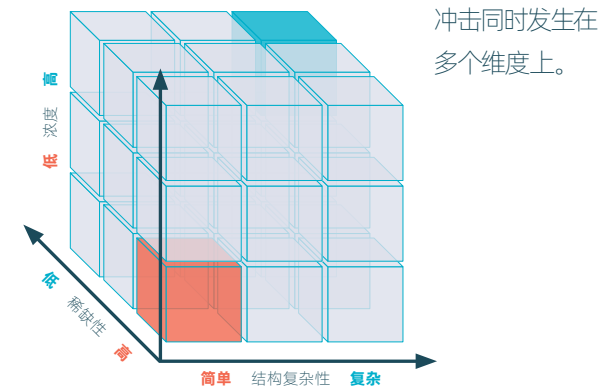
**缺乏**  
更高 2020 → 更低 2030

现代食品将首先冲击天然稀缺且难以提取 (因此价格高昂) 的产品, 如胰岛素。

## 累积模型冲击食品生产的生产和经济模型:

**经济学:** 单一分子是利用现代食品生产的最简单、最便宜的产品, 生产周期比饲养动物快 100 倍。这与当今畜牧业的分解模式相反, 在这种模式下, 单一分子是最昂贵、最难提取的。而使用现代食品生产复杂的结构又是最困难、最昂贵的。

**生产:** 食品即软件产品设计和开发意味着现代食品和分子就像应用程序一样设计和开发。无论是谁, 无论在哪里, 都可以使用食品设计工具利用大量按需、开源 (以及按使用付费) 的分子和营养数据库, 根据设计标准 (例如营养、味道和质地) 进行构建和整合, 设计新的食品 (以及化妆品、药物和材料), 然后下载到街对面或世界各地的发酵农场。



资料来源: RethinkX

## 框 8: 材料冲击

牛奶市场受到的冲击也在其他动物成分市场上演，在这些市场中，PF 将为动物源产品提供更优质、更便宜的替代品。这包括面料方面的冲击——蜘蛛蛋白被制成线用于制作服装，<sup>53</sup> 以及某些含有稀有或灭绝动物角或爪（通常由蛋白质角蛋白组成）蛋白质的工业产品。<sup>54</sup>在黑暗中发光、改变颜色的“智能”纤维，甚至通过检测身体变化来诊断疾病的智能纤维，也都是可能的。

<sup>55</sup>

一个已经满足冲击条件的关键市场是皮革——可通过 PF 生产的胶原蛋白来冲击。胶原蛋白是动物体内最丰富的蛋白质家族，存在于皮肤、肌腱、韧带、骨骼和牙齿中。它是皮革中的主要蛋白质成分，约占重量的 30%。<sup>56</sup>

从某些角度来说，蜘蛛丝比钢铁更强韧。虽然不能通过驯养蜘蛛来大量产丝，也不能以有竞争力的成本（每千克 20-30 美元）人工合成蛛丝，但可以通过编程让微生物来产丝。这就是 PF 公司 Spiber



资料来源：Spiber, The North Face

与 The North Face 合作设计 Moon Parka 时采用的方法。

通过 PF 生产胶原蛋白，将使现代皮革的生产成为可能，这将是对动物皮革的巨大改进。现代皮革不受分解模式的限制，可以实现几乎任何属性。强度、尺寸、柔韧性、厚度、手感、美感、质地和耐用性都成为可以根据客户需求定制的变量。

这将是动物皮革第一次被冲击——20 世纪，由石化产品合成的人造革将皮革成本降低了三分之二。而今，人造革占整个皮革市场的三分之二。最近，企业家还利用植物和<sup>57</sup>和真菌<sup>58</sup> 创造出皮革材料，但是到目前为止，还没有一种能在所有属性上媲美动物皮革。随着 PF 的成本持续下降，其生产的皮革的特性不断改善，现代皮革在各种功能属性上都有望超越动物皮革。事实上，PF 不仅会冲击皮革的现有用途，还会创造传统动物皮革无法满足的新市场，如瓦片或瓷砖。

**我们预计，到 2030 年，非动物源皮革有可能占据 90% 的市场份额，而化妆品和食品中的胶原蛋白市场有可能被 100% 冲击。<sup>59</sup>**

## 细胞肉

大多数人凭直觉联想到的冲击是现有产品一对一地替代为新产品，如汉堡、香肠、碎牛肉和牛排。最初，我们看到来自于 PF 强化食品（如上所述）和细胞肉的替代品。

细胞肉是一对一地直接替代由动物制成的完整、结构复杂的食品。动物细胞（主要是肌肉和脂肪）在动物体外的生长培养基中培养，然后产生肉——也就是没有动物参与的动物肉。这是 Mosa Meat 和 Memphis Meats 等公司采取的方法。

涉及任何一种结构性产品的冲击都比单一分子成分的冲击要慢，因为这些产品结构复杂，需要结合不同类型的分子，如脂肪和蛋白质，所以更难开发。

相比 PF 而言，细胞肉是一种有根本差异的冲击，它有自己的成本曲线（就像 PF 一样，细胞肉生产的成本正在迅速下降）、采用率和监管批准情况。然而，从消费者的角度来看，细胞肉可能有明显的优势，因为它属于动物肉。消费者可能对这个概念感到更能接受。



资料来源：Memphis Meats

## 对牛肉的冲击

### 碎牛肉市场

碎牛肉是最重要、最常见的牛肉产品，按体积计算，占牛产品的 40%-60%。<sup>60</sup> 碎牛肉有多种用途，从汉堡和肉丸到香肠和千层面，不一而足。在结构上来看，碎牛肉比动物组织更容易复制。

模拟肉类产品并不是什么新鲜事物——素肉、豆豉和豆腐这样的产品<sup>61</sup> 都已经面世了几个世纪，近期还出现了更多新的产品，如基于真菌蛋白的阔恩（植物素肉）<sup>62</sup> 和纯植物替代品，如几十年前推出的植物组织蛋白。然而，它们的味道和质地还不足以说服大量食肉消费者。现代食品首次意味着，新的替代品已经足够好了。

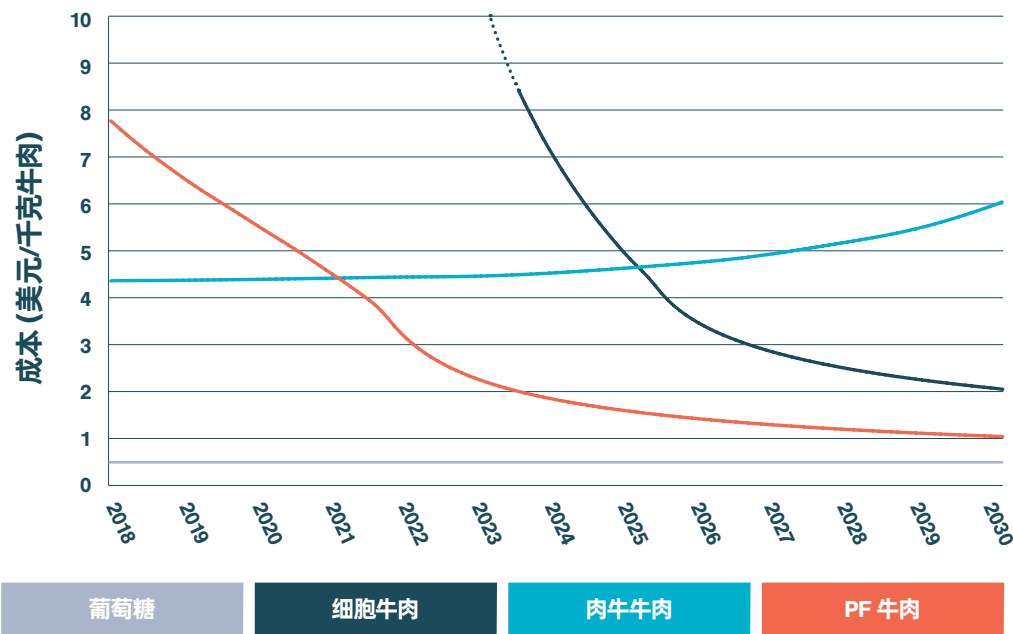
市场上已经有许多 PF 增强产品（如 Impossible 汉堡）可以与动物源碎牛肉竞争，其中一些产品还具有显著的优势，如有益健康和推出新口味的能力。<sup>63</sup> 由于许多消费者重视这些非成本优势，因此这些产品在实现价格平价之前就开始得到采用了。一旦价格达到平价（我们认为是在 2021 年到 2023 年之间），冲击是不可避免的。和牛奶市场一样，牛肉行业利润微薄，只要需求小幅下降就能引发大规模破产和行业崩坍（见第 2.3 节的死亡螺旋）。

尽管我们预计，到 2030 年，PF 增强肉类将比细胞肉更便宜，但成本最终取决于最终消费产品的构成——例如，纯细胞汉堡可能在本质上并不优于 PF/细胞混合汉堡，每种产品都可能有不同的特征。

这在今天已经发生了——上市的第一批产品不是 100% PF 强化汉堡，而是混合产品，例如含有 2% 血红素的 Impossible 汉堡。一旦成本下降，食品即软件模式将确保更多的汉堡将经由 PF 制作。首先，血红素的含量将会提高，然后会有更多的蛋白质和脂肪。我们认为，第一批细胞产品将在 2022 年上市，然后在 2025 年至 2026 年达到与传统碎牛肉一样的成本，并且很可能会遵循与 PF 产品同样的模式。这意味着碎牛肉市场的冲击将比主流分析师认为的要快得多。事实上，使用碎肉作为关键配料的食品，如千层面和意大利肉酱面，可能会在汉堡之前被冲击。我们因此预计，到 2030 年，预计美国动物源碎牛肉市场将缩水 70%

我们预计，到 2030 年，预计美国动物源碎牛肉市场将缩水 70%

图 11. 牛肉成本曲线



资料来源: RethinkX

我们预计，到 2030 年，预计美国动物源组织牛肉市场将缩水 30%

### 组织牛肉市场

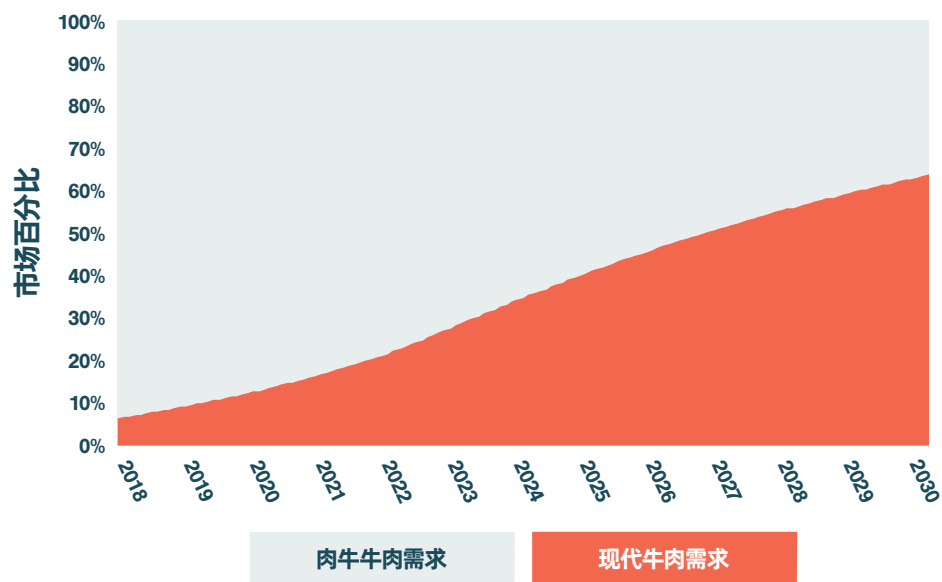
碎牛肉成本的下降和牛排成本的上升（见第 2.3 节的死亡螺旋）将增加碎牛肉和牛排的价格差异，导致需求从牛排转向碎牛肉。虽然生产牛排是现代食品生产技术面临的巨大挑战，但我们预计，有竞争力的牛排替代品将在 21 世纪 20 年代末进入市场。早期版本很可能被用在仅需低质量肉块的炖菜或咖喱中。

我们预计，到 2030 年，美国的动物源组织牛肉市场将缩水 30%。其原因包括牛排被直接替代、组织肉消费向碎牛肉消费的转变，以及强化冲击的影响（见下文）。

总体牛肉冲击

**因此，我们预计到 2030 年，70% 的牛肉消费将来自现代生产方法（见图 12）。仅 PF 牛肉就将取代 55% 的牛肉市场，这意味着我们不需要细胞牛肉就能完全冲击养牛市场。**

**图 12. 奶牛与现代牛肉产品在美国的市场份额**



资料来源: RethinkX

## 框 9: 宠物食品的重要性

宠物食品工业对美国畜牧业系统极其重要，因为许多通常作为美国宠物食品原料的产品被认为不适合人类消费，如不制成宠物食品，就只能成为废料。<sup>64</sup> 宠物食品市场价值 240 亿美元，约占美国动物源卡路里总量的四分之一。<sup>65</sup> 美国有 1.6 亿只宠物，会消耗大量肉类，如果把它们独立算作一个国家，它们将是世界上第五大肉类消费国。<sup>66,67</sup> 营养均衡的宠物食品的重要成分，如蛋白质、脂肪和维生素，都可以用 PF 肉类或细胞肉制成。宠物食品是一个理想的市场切入点，因为宠物食品的成分和产品形式更加灵活，很难做到无懈可击。例如，猫粮可以是老鼠或松鼠细胞和蛋白质的混合物。

宠物食品市场可能是第一个广泛使用细胞肉的市场，而由于这个市场的规模，细胞肉将从动物源肉类工业抢夺大量利润，从而加速更广泛的冲击。<sup>68</sup>



资料来源: Wild Earth

### 3. 强化

随着现代蛋白质的价格下降，同时在功能方面得到改善，它们将被越来越多地用于增强各种食品。我们称之为强化。

在没有现代生产方法的时候，我们就已经见证了这种情况——从 2013 年到 2017 年，添加蛋白质的新产品数量翻了一番。<sup>69</sup> 这些强化产品，如蛋白质饼干、薯片、水和果汁，都大量出现在食品杂货店的货架上。其他产品，如添加了蛋白质和脂肪的“超级牛奶”，由于其乳脂泡沫越来越受咖啡师的欢迎，也找到了新的市场。

事实上，2017 年美国最成功的新型消费食品或饮料产品公司是 Halo Top，这家初创公司推出了一款冰淇淋，蛋白质含量是普通冰淇淋的两倍以上。<sup>70,71</sup> 一品脱香草冰淇淋含有 280 卡路里热量，其中有 8 克脂肪、12 克纤维和 20 克蛋白质。<sup>72</sup> Halo Top 现在的年营收超过 3.5 亿美元。

如果通过现代生产方法制造出更便宜、更多用途的蛋白质，意味着这个市场在未来几年将大幅增长。我们估计，到 2030 年，美国总蛋白质消费量的 10%-20% 将来自营养强化产品。

其中一半将来自蛋白质消费量的增长，一半将取代现有的动物蛋白需求，导致动物蛋白需求减少 5%-10%。

在蛋白质消费量较低但朝着西方水平增长的世界其他地方（例如在中国），我们预计强化产品将占据更大的市场份额。据认为，超过 90% 的中国人口和 70%-80% 的非洲和南印度人口都有乳糖不耐症。<sup>73</sup> 在这些市场中，现代替代品的低成本将推动更快的采用，因为他们对传统形式蛋白质的依赖更低。

### 4. 封装

现代生产方法将开辟创造全新食品形式的可能性。事实上，我们消费食品的方式会和我们的饮食内容一样发生变化。

这不应该太出人意料，因为食品的形状因素在历史上就发生过变化——如今被视为美国传统主食的汉堡在 1921 年首次生产时就是一种新颖的形状因素。

真正会令人惊讶的是，2000 年表现最好的股票不是社交媒体、智能手机或软

件即服务公司，而是 Monster Beverage——一家在能量饮料中添加糖、盐、维生素和植物提取物等多种成分的公司。自 2003 年首次公开募股以来，该公司股票已上涨 60,000%。<sup>74</sup> 这绝不是个例——能量饮料行业在 1999 年几乎不存在，但在 2000 年至 2013 年间，销售额增长了 5000%，现在几乎与美国的咖啡市场一样大。<sup>75</sup>

蛋白棒也是如此，它最早由 PowerBar 在 1986 年推出。到 1998 年，营养棒行

**我们估计，到 2030 年，美国总蛋白质消费量的 10%-20% 将来自营养强化产品。**

业已经增长到 2 亿美元，在 2012 年之前又增长了 1000%，市值达到 21 亿美元。<sup>76,77</sup> 至关重要的是，三分之二的营养棒消费者将它们作为代餐。蛋白棒将便利性、低成本、高营养、好味道和出色质地结合成一个全新的形状因子。蛋白粉也遵循类似的轨迹，在 2015 年之前成长为一个价值 47 亿美元的市场。<sup>78</sup>

事实上，零食越来越受欢迎——94% 的美国人每天至少吃一次零食，<sup>79</sup> 而 50% 的人一天吃两到三次零食。因此，没有理由假设一天三次甚至一天一次坐下来吃正餐的传统习俗将继续保持不变。

如今甚至有产品可以让我们一边走一边“饮用”食品。Soylent 就是这样一家新型科技公司，该公司创造出旨在完全取代正餐的全新形状因素。该公司的“早餐替代品”是一种 14 盎司（414 毫升）的饮料，含有 150 毫克咖啡因（相当于一杯 16 盎司的星巴克拿铁）、<sup>80</sup> 20 克蛋白质（相当于三个以上的鸡蛋）、<sup>81</sup> 500 毫克 ω-3 脂肪酸（相当于一罐 6 盎司的金枪鱼）<sup>82</sup> 和 26 种必要营养素，价格仅 3.25 美元。如今，Soylent 的产品在亚马逊及包括沃尔玛、塔吉特和 7-11 在内的 20,000 家零售店销售。<sup>83</sup> 像这样的冲击性公司不会因为有关食品外观和味道的传统假设而束缚思维——他们不会顾及人为设置的界限，比如蛋白质来自固体的动物，不同于液态的咖啡，而液态咖啡又不同于复合维生素药片。

新的现代食品技术将使这种形状因素的冲击更进一步。当我们摆脱了牲畜进化的生物限制及其提取、分解模式时，我们就能以任何形式满足我们的营养需求。我们的想象力和分子厨师实现其愿景的能力是唯一的限制。<sup>84</sup>

食品将根据消费者的形式和营养需求进行个性化。想象一下，如果有“营养胶



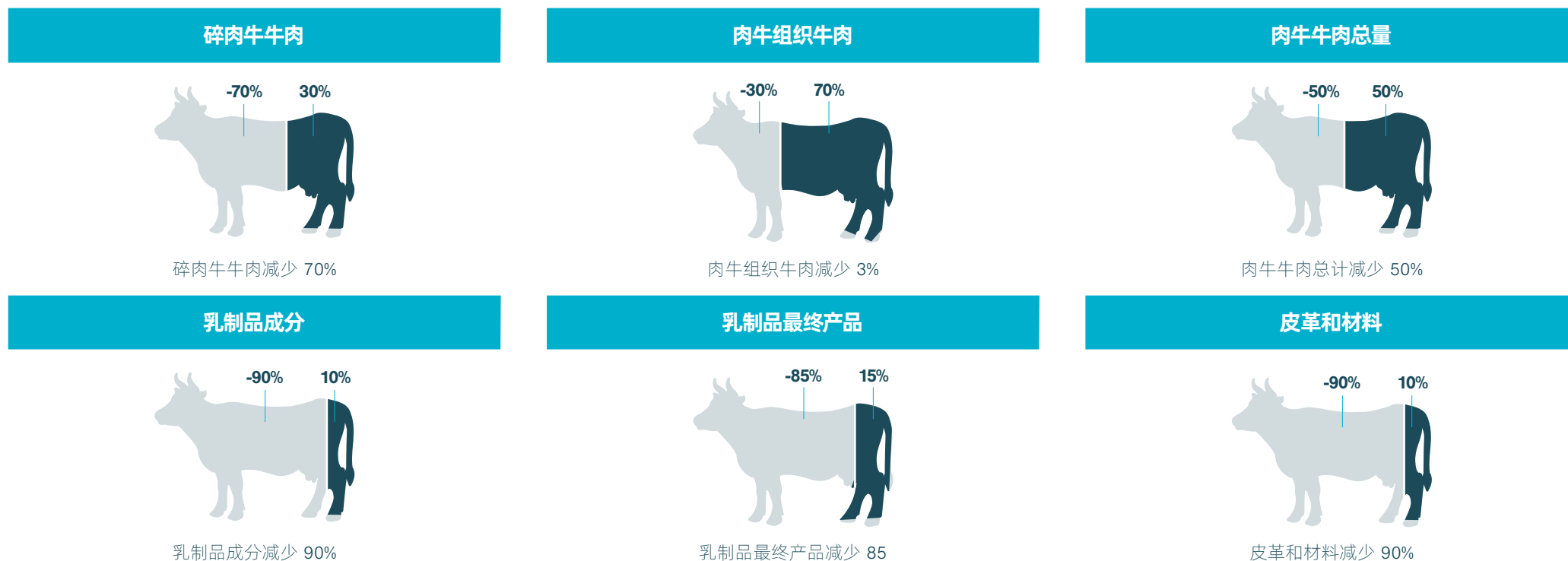
囊”或者甚至是“袋装正餐”，可以在超市、餐厅甚至家里像煮咖啡一样煮，会是什么样。就像我们煮哥伦比亚、印度尼西亚或危地马拉咖啡一样，公司可以开发原始、生酮或智能营养胶囊。

在这份报告中，我们没有包括任何因形状因素的冲击而导致的动物肉需求缩水，但是，我们认为在 2025 年以后，这种冲击很有可能会影响到食品市场上不断增长的重要部分，因为现代食品企业家和分子厨师会发明全新的方式来生产、分配和消费我们所吃的食品。

## 2.3 采用动态： 程度有多深，速度有多快？

这四个冲击浪潮将相互加强和加速，让现代食品迅速开始取代动物源产品。冲击已经开始，一旦达到特定的临界点，采用将会成倍加速。随着现代产品变得更便宜、功能更强，将触发一个良性循环，加速每个关键市场的采用。与此同时，与现代产品相比，动物源产品会变得更加昂贵和缺乏吸引力，这将引发一个恶性循环，加速工业化动物食品生产的消亡。

图 13. 2030 年和如今的奶牛使用量

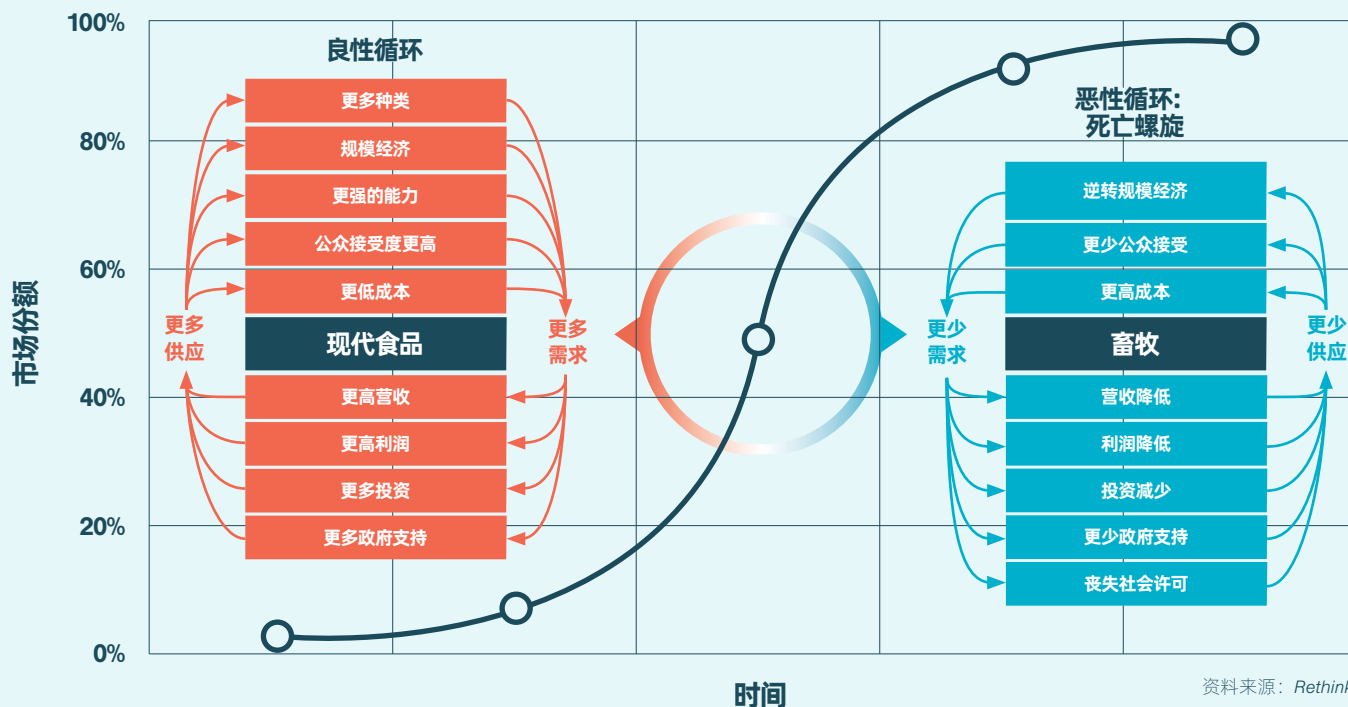


资料来源: RethinkX

## 框 10: 冲击的系统动力

食品业和农业的冲击，就像所有的技术冲击一样，将是一个非线性的变化过程，遵循 S 曲线——采用在最初看似比较缓慢，然后呈指数级加速，然后再次放缓，直至市场饱和（见图 14）。事实上，采用率总是呈指数级增长。采用的过程是由反馈回路驱动的，既有自我限制（阻碍）的情况，也有自我强化（加速）的情况。在冲击的早期阶段，由于加速因素难以克服阻碍因素，市场会对变革产生抵抗情绪，但是，随着新产品的开发和上市，加速因素开始压倒阻碍因素，采用率开始上升。

图 14. 反馈回路



### 良性循环

对现代食品日益增长的需求将推动规模经济的增长、增加资金、促进独创性，导致成本和能力不断改善，推动需求的进一步增长。更高的公众接受度也会促进这一循环，推动需求进一步增长，因此对现代食品的需求也会更大，随着它们相对动物源产品的优势变得更明显，获得的政府支持力度也会更大。

鉴于其生物局限性，工业化农业将无法竞争，尤其是在死亡螺旋开始形成后就更无可挽回。

### 恶性循环: 死亡螺旋

随着现代替代品挤占市场，对动物产品的需求逐渐减少，肉类生产工业体系将面临越来越大的压力。

牛奶、兽皮（用于皮革）、胶原蛋白、明胶以及碎牛肉和组织肉将被成本更低、质量更高的现代替代品所取代。在某个临界点——我们估计占市场 10%-15%<sup>85</sup>——现有行业将进入恶性循环。随着各种奶牛产品市场开始被冲击，剩余产品的价格将会飙升，因为仍有市场的产品数量会日益减少，但却需要承担生产和加工的全部成本。

随着屠宰场、炼油商、加工商和包装商经历利用率下降，进而逆转规模经济时，这种价格螺旋和需求持续下降将最终导致价值链崩塌（见第 3 部分）。最终，随着经济情况持续恶化，他们将被迫关张大吉。牛肉行业，尤其是乳制品行业的利润率极低，运营和财务杠杆都很高，依靠政府补贴支撑。两个行业都已经是举步维艰，需求小幅下降即可使他们以螺旋方式走向破产。尽管他们仍然可能继续获得政府支持，但成本将继续上升，从长远来看不可持续。此外，工业饲养场和加工厂的净化成本将使关停成为一个昂贵的选择，如果经营工厂的企业倒闭，这些成本可能会被转嫁给纳税人。

这意味着，在新技术能够以有竞争力的成本生产出完美的牛排之前，对牛的冲击就已经不可逆转了。

### 2.3.1 关键利益相关方在采用中的作用

有四个主要群体可以加速或减缓现代食品冲击——消费者、企业、投资者和政策制定者。这些群体相互依存——任何一个群体做出的行动和选择都会影响其他群体做出的行动和选择。

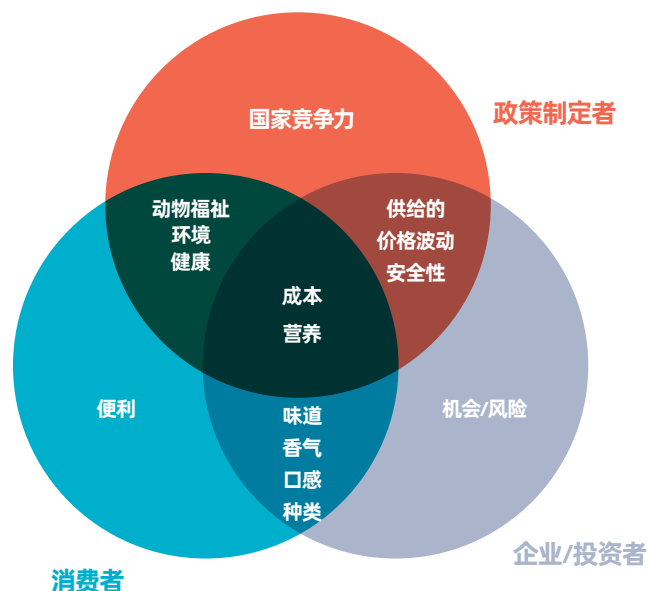
不同的利益相关者将受到不同因素组合的驱动。对于个人消费者来说，成本、口味和便利是最重要的。对于企业来说，成本、营收和风险缓解是关键。与此同时，政府和州政府可以通过监管、税收或补贴来帮助或阻碍现有行业和冲击性行业，具体取决于它们对经济、环境和社会的益处。游说团体和利益集团也将发挥重要的影响作用。

#### 消费者：拥抱改变

因为现代食品优于动物源产品，我们预计它们一上市就会被采用，而且远远早于实现成本平价的时间。事实上，最近进入市场的许多产品已经得到早期采用，证实了这一点，例如 Impossible 汉堡。

根据创新扩散理论，新产品进入市场时，都会遇到不同的反应，这取决于个体消费者。<sup>86</sup> 面对所有的技术创新，都会有一些人感到兴奋，一些人表示怀疑。但历史告诉我们，这种抵抗从来没有我们想象的那么根深蒂固或顽固不化。过去一个多世纪以来，无论是汽车、电视还是互联网，每一次重大技术变革都是如此——新技术得到采用的速度总是让我们感到惊讶。

图 15. 影响决策者的因素



资料来源：RethinkX

最近，打车服务受到了消费者的欢迎，在推出 10 年内就已经成为主流服务。其迅速崛起的部分原因是，消费者可以轻松、低成本、低风险地（高试用性）进行尝试。起初，这项新服务是作为主要交通工具（包括出租车、汽车和公共交通）的替代方式推出的，但是，消费者使用得越多，就越能体会到它的优势。很快，打车服务就成为他们的主要出行方式。我们认为现代食品会遵循类似的模式，但是抵抗会更快消失，因为它们非常方便，尝试成本也很低<sup>87</sup>——不需要长期投入，而且消费者可以使用现代产品来满足某些营养需求，并继续使用传统产品来满足其他需求。

因此，人们对现代食品的看法将是一个变量，而不是常数。随着时间的推移，这种观念的改变将推动“社会许可”反馈循环。工业化畜牧业给社会带来许多成本（外部性），却没有直接承担这些成本。<sup>88</sup> 这些因素包括吃肉带来的健康成本（肥胖、糖尿病、心脏病和癌症）、牲畜对气候的影响、抗生素耐药性和食源性疾病，以及动物福祉。<sup>89</sup> 这些成本一般被社会容忍，因为政府优先考虑的是低成本和安全的食品供应。但是，真正的替代方案——生产的食品成本更低、质量更好、并且强加给社会的外部成本极少的新食品体系——兴起，说明这些外部性不太可能被公众所容忍。社会许可将从动物源食品转向现代食品。这将为政策和监管创造政治空间，以支持现代食品工业，并同时有可能惩罚以动物为基础的食品生产。

## 框 11: 克服阻力

新技术通常面临着由于现有系统锁定而造成的高采用门槛。持怀疑态度的消费者可能是这种锁定的重要原因，但还有许多其他因素。现有产品的供应链成熟，生产、加工和分销均可实现规模经济，而监管、法律和财政框架（包括标准、批准、标签法和补贴）也均已就位。现代食品必须克服这些障碍。

此外，对于冲击的预期可能导致受到威胁的企业或工人的进一步抵制。PF 肉类标签及其所需的批准标准上已经发生了冲突。我们预计，市场将围绕新旧产品补贴、审批程序和公众意见展开进一步斗争——耸人听闻的故事或虚假的科学会被用于诋毁现代产品。例如，农业游说团体就在美国有着强大的影响力。

然而，所有这些障碍都是变量，而不是常数。它们最初可能看似不可逾越，但随着时间的推移，旧行业的影响会减弱，而新行业的影响会增加。障碍会很快被克服，采用的速度会远远快于大多数当代观察者的预期。

### 企业与投资者：没有生产限制

随着现代产品进入市场并扩大规模，几乎不会遇到生产限制。其生产投入物（脱氧核糖核酸、原料、能源和水）是——并且应该继续是——大量可得的，特别是考虑到它们所使用的生产过程有效得多。由投资驱动的产能是供应侧的唯一限制。但考虑到市场上已经存在的商机规模和投资轨迹，这不太可能成为制约因素。事实上，新兴产业可能会因为改变某些现有基础设施的用途而受益——在转向按需电动自动驾驶汽车的过程中，市场对生物燃料的需求崩塌，因此不再需要用于生产生物燃料的基础设施（见《交通运输行业再思考》）。<sup>90</sup>

企业和投资者将受到各种激励，以涌入这一新兴市场，这既包括现有业务面临

▣ 2019 年，Beyond Watch 成为一家上市公司，在上市后最初几个月，市值迅速增长至 100 亿美元

资料来源：Beyond Meat



冲击的风险带来的驱动，也包括新兴市场出现的机遇带来的驱动。随着 Cargill 和 Tyson Foods 等公司开始投资冲击性产品，这一过程已经开始了。事实上，在 2018 年之前的五年里，已经有 171 亿美元（包括 Danone 在 2017 年以 125 亿美元收购 WhiteWave）被投资于植物性食品，另外 7330 万美元被投资于细胞肉类公司，仅在 2018 年一年就投资了 7.2 亿美元。<sup>91,92</sup> 2019 年初，植物肉类公司 Beyond Watch 上市，首次公开发行价为 25 美元，股价在交易的第一个月飙升了 550%。<sup>93</sup> 而 Impossible Foods 仍是一家私人公司，截至 2019 年 5 月的估值为 20 亿美元。<sup>94</sup>

### 政策制定者：全球竞争

政策选择很重要。监管者和立法者的决策既能加速市场冲击，也能延缓市场冲击，并且在界定新兴市场的结构和动态方面也发挥关键作用。食品行业尤其如此，农产品加工业正在、并将继续在美国施加相当大的影响，以对抗他们所以为的生存威胁。这个战场的关键领域包括知识产权、成分批准、补贴和标签（见第 4 部分的政策建议）。

在我们的采用分析中，我们假设存在一个良性的政策环境，几乎没有直接的政府影响来加快或减缓采用。然而，积极支持的政策环境可能会加快采用的速度，而积极阻碍的环境可能会使采用速度减慢五年。在一个全球竞争的世界里，任何积极的抵制产生的影响都有限——如果美国抵制，中国等其他国家将继续推动发展，迫使美国紧跟脚步。同样，对现有行业的支持或补贴将变得越来越昂贵，给有限的政府财政带来沉重压力，并最终迫使政府改变政策。

## 2.4 主要结论

我们的分析考虑了各种各样的冲击浪潮（除了形式因素）和我们在前面部分描述的良好和恶性循环，并分析了它们对市场的影响。我们为每个市场的供应（何时产品可用，生产规模扩大的速度有多快）、需求（消费者购买这些产品的速度有多快）和监管（这些产品何时得到许可）分别建立了三条采用曲线模型。各种分析相结合，为我们确立了中心采用案例，以及得出了下面图 16 和 17 中反映的奶牛数量。

**我们预测，到 2030 年，美国的奶牛数量将减少 50%，届时现代蛋白质将抢占奶牛蛋白 75% 的市场份额。到 2035 年，奶牛数量将下降 75%。**

图 16. 美国的奶牛数量

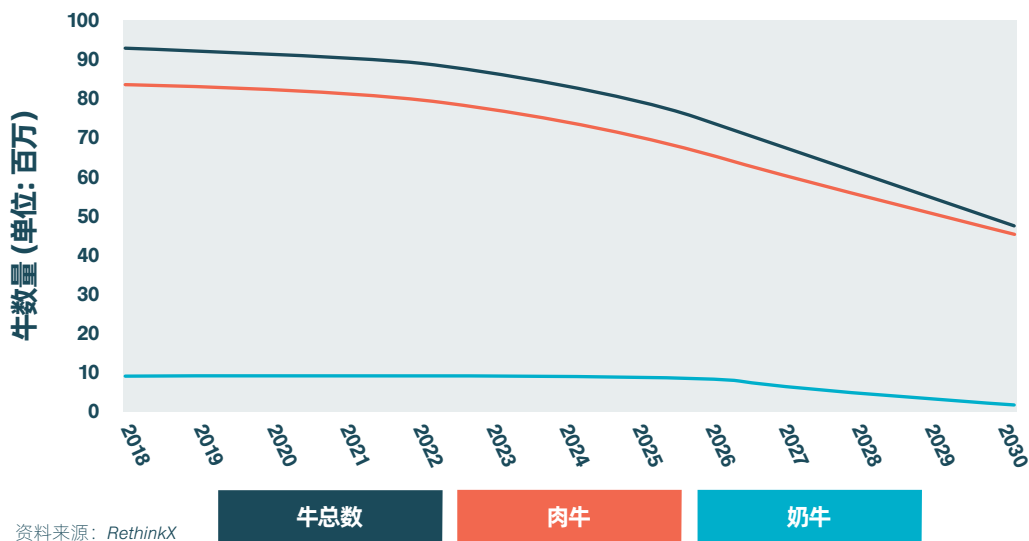
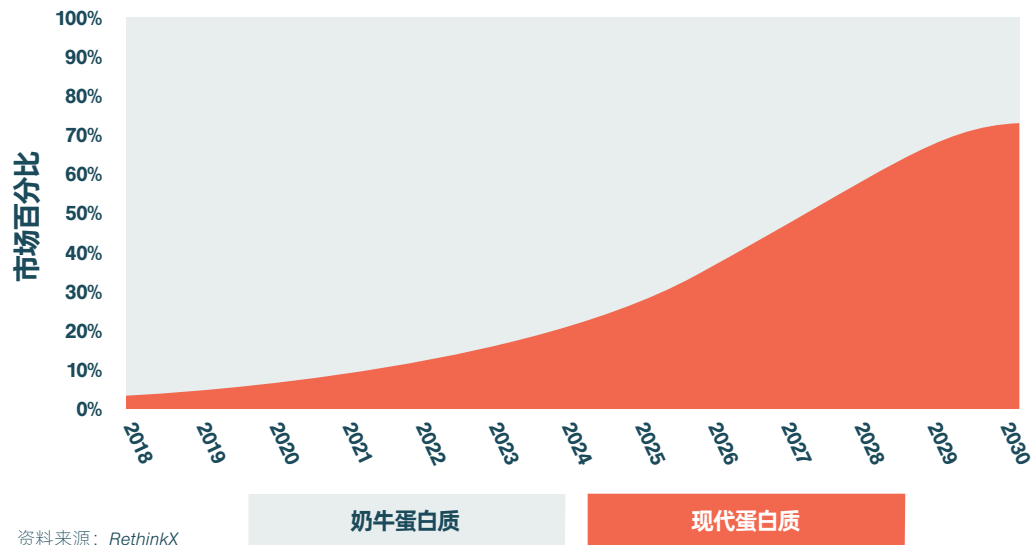


图 17. 现代蛋白质市场份额



## 2.5 对其他牲畜的冲击

我们之前侧重于对奶牛的冲击，因为在所有的食品生产系统中，奶牛是最低效的（因此也是成本最高的），但对人类影响最深远。冲击养牛业及其副产品的这些技术也会冲击其他牲畜，如猪、鸡和鱼养殖业。尽管相对效率存在差异，但现代生产方法在成本和能力上的逐步改善意味着这些市场都不会继续安然无恙。

一个物种或产品类别的研究、开发和技术进步将改善基础技术，并加速所有其他物种或产品类别的冲击。如果建设了“食品即软件”能力，一家生产现代汉堡的公司可以轻松生产现代猪肉、鸡肉或鱼肉。食品工业之外的新材料生产技术的改进将进一步加速冲击过程。

同样，所有牲畜物种的价值链都是相互关联的——牲畜消耗相同的基本食品和资源，并经历相似的加工和分销渠道。例如，饲料价格的变化可能来自外部事件（自然灾害、干旱），也可能来自其他畜牧业或生物燃料需求的变化。<sup>95</sup> 一旦一个行业发生变化并影响到饲料经济，连锁效应将影响到其他畜牧业的盈利



### Finless Foods 正致力于将细胞鱼产品投入商业市场

资料来源：Finless Foods

能力。<sup>96</sup>

然后，其他牲畜的冲击将会以类似于牛的方式进行，但是不同物种对应不同价值链和不同监管环境，这就意味着冲击的时间、顺序和影响可能会有所不同。我们预计顺序将取决于三个因素——行业效率、产品进入成分的比例，以及监管将在多大程度上保护现有生产商。

例如，与鸡肉生产相分离的鸡蛋产业与其他畜牧业相比，效率相对较高。至少 30% 的鸡蛋最终成为其他食品的配料<sup>97</sup>——鸡蛋的每个部分都有不同的用途，如胶凝、发泡（蛋白）和乳化（蛋黄）。卵清蛋白是鸡蛋中最重要的蛋白质，占整个鸡蛋蛋白质的 60%，而卵转铁蛋白占蛋清的 13%，卵粘液占蛋清的 11%。<sup>98</sup> 根据美国农业部的数据，2019 年 3 月，干鸡蛋蛋白的批发价格约为 11 美元/千

克。<sup>99</sup> 鸡蛋蛋白的市场价格与牛奶蛋白乳清（7 美元/千克至 12 美元/千克）和酪蛋白（6 美元/千克至 10 美元/千克）的市场价格相差不多。<sup>100</sup> 我们的分析表明，2023 年到 2025 年之间，PF 蛋白的成本应会达到 10 美元/千克。鸡蛋不需要现代技术复制就能被冲击。就像牛奶市场一样，**现代食品行业只需要冲击鸡蛋蛋白成分市场，就可以将初级鸡蛋生产行业推向财务困境。**

一个行业中一种特殊肉类的价格和需求发生变化，会影响其他行业对肉类的需求，<sup>101</sup> 因此，随着牛肉价格开始上涨，其他形式肉类的需求可能会暂时增长。但这只不过是泡沫破灭前的繁荣——最终，所有动物源产品都会被冲击，不管它们来自牛、猪、鸡还是鱼，没有物种界限。

总而言之，所有的工业化农业都是不稳定、低利润、低效率的，并且会因为高生产成本和需求被替代而破产。

我们在这份报告中重点关注了美国的食物和农业市场，但我们对这种冲击的分析适用于全球。支撑这种冲击的技术可以、并且正在中国、欧洲、以色列以及其他地方开发，现代食品生产的推广没有地理障碍。



### Clara Foods 基于 PF 技术制作鸡蛋和蛋白等效产品，形式包括烘焙产品、食品和饮料成分、营养补充剂和全蛋

资料来源：Clara Foods; The Unreasonable Group

**总而言之，所有的工业化农业都是不稳定、低利润、低效率的，并且会因为高生产成本和需求被替代而破产**

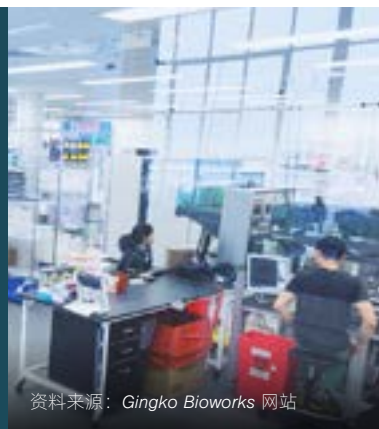
## 》 第三部分 影响和意义

价值链的每个方面都将受到影响，到 2030 年，美国的养牛业将倒闭殆尽。牛肉和乳制品行业的营收将会崩坍，紧随其后的是鸡肉、猪肉和鱼类行业。随着饲料生产营收下滑，作物种植者也将受到影响。整个供应链的连锁效应将是巨大的。然而，拥抱现代食品技术的企业将获得巨大的发展机会。

工业化畜牧业崩坍将波及到远超食品业和农业的范围。畜牧业及其相关产业创造了近 1.25 万亿美元营收，约占美国国内生产总值的 6%，<sup>102</sup> 还对我们生活的世界产生了深远的影响。地球上近 10 亿头奶牛，其中 10% 在美国。它们通过使用水、土地、饲料以及温室气体和粪便形式的废物对环境产生深远的影响。事实上，在美国，奶牛产生的身体废物是整个美国人口的 13 倍。<sup>103</sup>

## 拥抱新技术的企业将获得巨大的发展机会

为蛋白质生产设计微生物的公司将主导食品工业。自称为“生物公司”的 *Ginkgo Bioworks* 正致力于通过设计定制微生物在多个市场上“用生物取代技术”来抢占先机。



动物产品是美国人膳食的主要组成部分，因此在健康和福祉方面发挥着重要作用，而密集的动物养殖也是一种疾病来源，并且涉及使用抗生素。畜牧业也是一个创造就业岗位的主要行业——仅在美国养牛业，就有 120 多万个工作岗位——而美国家庭平均每年在动物产品上支出 1500 美元。<sup>104,105</sup>

因此，从供应链中淘汰动物，将对经济、人类健康、自然资源利用、环境和社会产生深远的直接和间接影响。

## 价值链的每个方面都将受到影响，到 2030 年，美国的养牛业将倒闭殆尽

### 3.1 对食品业和农业的影响

#### 主要结论

- » 按照目前的价格，预计到 2030 年，美国牛肉和乳制品行业及其供应商的营收（目前合计超过 4000 亿美元）到 2030 年将下降至少 50%，到 2035 年将下降近 90%。
- » 所有其他牲畜业和商业渔业将遵循类似的轨迹。
- » 按照目前的价格，牛的饲料生产营收将下降至少 50%，从 2018 年的 600 亿美元降至 2030 年的不到 300 亿美元。
- » 按照目前的价格，化肥、杀虫剂和种子的营收也将下降 50%，因为奶牛和肉牛将会更少，需要的饲料谷物也会更少。
- » 屠宰场、肉类和乳制品加工厂的数量将下降 50% 以上。
- » 到 2035 年，目前用于畜牧业和饲料生产的土地将有 60% 腾作他用。这 4.85 亿英亩相当于 13 个爱荷华州。
- » 农用土地价值将下降 40%-80%。就个体而言，地区和农场对最终结局，取决于土地的替代用途、配套设施价值和所做的政策选择。

新的食品生产体系将以不同的方式影响现有价值链的不同部分。对任何部分的影响都可能与剩余牲畜的数量不成比例。



## 框 12: 不成比例的影响

对价值链各个部分的影响是不成比例的。奶牛数量减少 50% 并不一定导致系统投入带来的营收或资产价值减少 50%。价值链的每个部分都必须单独理解，我们使用以下规则指导我们的分析：

营收 = 价格 × 数量

### 存量

设备、基础设施或土地可能遭受不成比例的影响，营收可能降至零，利润和现金流可能变为负值。

**容量：**不成比例的影响。例如，如果耕地使用量下降 50%，市场上将会出现拖拉机供应过剩，导致二手拖拉机价格暴跌，而这将大幅降低新拖拉机的销量。这种影响取决于冲击的速度（相对于资产寿

命），因为一旦超额供应的情况恢复（在这种情况下，比以前的数量低 50%），销售额就会以成比例的缩水水平稳定下来。

**价格（或价值）：**不成比例的影响。尽管销量下降，但新设备价格可能会螺旋上升。出现这种情况是因为销量下降导致规模不经济，而生产设施或基础设施利用率下降（运营杠杆高）的影响可能会挤压利润，导致制造成本上升（因为固定成本由更少的需求单位来分摊）。此外，二手设备供应过剩意味着价格下降。这会影响融资购买的新设备的剩余价值，导致租赁付款增加。不再需要的土地和基础设施可能会搁置不用（任何未来价值都取决于替代用途）。

### 流动

动物饲料、肥料或杀虫剂受到与数量成比例、但与价格不成比例的影响。这意味着这些投入产生的营收下降幅度可能超过奶牛数量的下降幅度。

**容量：**成比例的影响。奶牛减少 50%，相当于饲料或抗生素减少 50%。

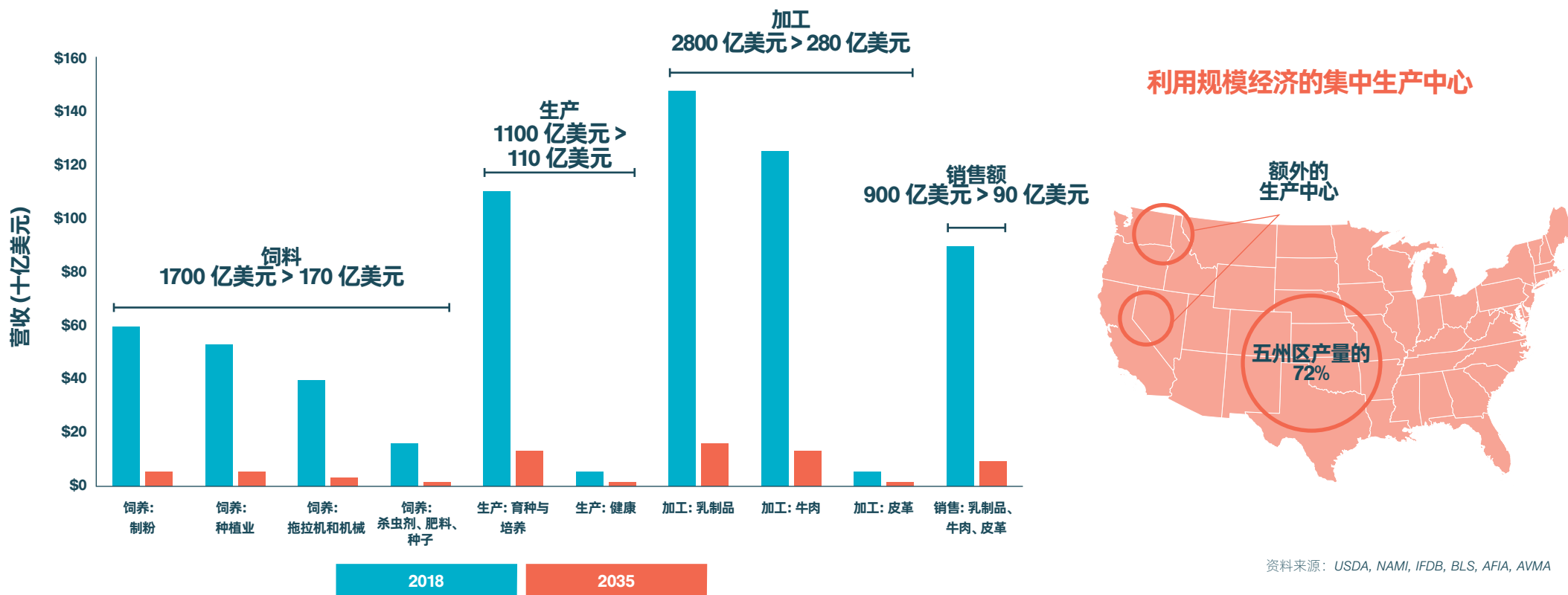
**价格：**不成比例的影响。随着供应超过需求，大宗商品（如玉米等原材料）的价格预计将会下降，而边际价格由成本较低的生产商甚至库存清理决定。然而，由于规模经济的逆转，需要加工的投入物可能会出现价格上涨。<sup>106</sup>

图 18. 今天: 养牛业供应链



资料来源: RethinkX

图 19. 今天: 养牛业营收和结构



资料来源: USDA, NAMI, IFDB, BLS, AFIA, AVMA

## 对当前供应链的影响

### 牧场主

根据我们的预测，按当前价格计算，到 2030 年，牛的数量将下降 50%，与牛生产直接相关的营收将从 950 亿美元降至 500 亿美元。到 2035 年，我们预计牛产量将比目前水平下降 75%，营收将缩减至 200 亿美元。按照目前的价格，预计到 2030 年，美国牛肉和乳制品行业及其供应商的营收（目前合计超过 4000 亿美元）到 2030 年将下降至少 50%，到 2035 年将下降近 90%。所有其他牲畜业和、水产养殖和商业渔业将遵循类似的轨迹。然而，根据政策和监管等因素，对这些行业的冲击可能会加快。

**最终，如今的大规模设施中将不复存在工业化加工业，美国最后一批工业屠宰场将在 21 世纪 30 年代关停。**

因此，我们预计，到 2035 年，畜牧业将只剩下高成本的手工利基领域。事实上，随着需求下降，工业畜牧业的规模经济出现逆转，该行业相对于手工畜牧业的成本优势将会缩小或消失。鉴于我们推断手工生产者的质量优于工业生产者，剩余的肉类和牛奶需求很可能主要通过手工生产来满足。政策制定者也可能出于健康或环境原因（如土壤的碳保持能力强）鼓励转向手工生产，而工业方法可能会承受更多税收，以赔偿其废物副产品和其他负面的健康、资源和环境影响。

### 肉类屠宰场和加工厂

到 2030 年，屠宰场、肉类和乳制品加工厂的数量将下降 50% 以上，因为牲畜数量的减少导致产能利用率降低，从而逆转规模经济、发生关张和合并等活动。

该行业的高资本需求和高运营杠杆将使其难以适应较低的产量。我们预计盈利能力将在冲击初期受到严重影响。企业要么需要提高价格（而这又会进一步降低需求），要么合并，要么破产。我们预计，如果他们预计可能破产，将首先



进行合并，导致价格上涨，随后随着市场崩盘，将出现一波破产潮。最终，如今的大规模设施中将不复存在工业化加工业，美国最后一批工业屠宰场将在 21 世纪 30 年代关停。

### 炼油商

炼油商是畜牧业的回收者。他们 90% 以上的原材料是屠宰副产品<sup>107,108</sup>，但超过 60% 的产出作为动物饲料回到了畜牧业中（40% 用于牲畜，约 20% 用于宠物），<sup>109,110</sup> 因此，牲畜批发冲击将对其服务的供应和需求产生重大影响。随着数百种源自奶牛的非肉类产品通过新技术生产出来、只为肉类生产而养殖的奶牛数量大量减少，到 2030 年，随着炼油商日益被淘汰，炼油设施的数量将减少 50% 以上。

### 耕地作物农场主

耕地作物种植与畜牧业紧密相连，美国有将近一半的耕地用于在国内外饲养动物。<sup>111</sup> 虽然有多种农作物用于牲畜饲料，但牛的主要食品是玉米、大豆和干草。美国肉牛和奶牛共消耗了约 50% 的用于美国牲畜的农作物——包括 70% 的干草、45% 的玉米和 17% 的大豆。<sup>112</sup>

因此，美国用于饲牛的农作物将减少 50%，从 2018 年的 1.55 亿吨降至 2030 年的 8000 万吨。<sup>113</sup> 随着产量下降，这些作物的价格也会下降，因为供过于求，边际价格由低成本生产者设定。这意味着，按照目前的价格，牛的饲料生产营收将下降 50% 以上，从 2018 年的 600 亿美元降至 2030 年的不到 300 亿美元。此外，所需的作物也将发生转变，从大豆等大型动物饲料作物转向糖和其他为 PF 提供最佳原料的生物质。由于新生产方法的效率大幅提高，生产食品所需的作物数量将下降 10 倍以上。<sup>114</sup>

随着生产肉类所需的饲料和土地数量大幅减少，农作物种植将会发生巨大变化。对替代作物的需求将会增加——替代作物既可以用作 PF 的成分，也可以用作植物性食品部门的配料。然而，最终 PF 生产商还将使用回收的生物质喂养微生物，以降低成本。在另一个良性循环中，这一过程可能是由 PF 产生的酶实现的，也就是可以将生物质转化为可用的糖的酶。

大部分耕地作物地不是来自小型家庭农场，而是来自大型农场公司。<sup>115</sup> 这些公司是由资源效率（如土地、饲料和资本）和规模经济带来的利润驱动的。

一旦传统饲料作物的需求被现代食品对其他作物的需求所超越，这些公司很可能会转而针对利润更高的机会进行生产，并在萎缩的市场领域缩减经营规模。

一些耕地作物农场主和土地所有者可以进行适应调整，转向现代系统所需的作物生产，<sup>116</sup> 但是植物产品需求量的下降将导致很少人能取得成功。此外，随着当地室内和垂直农业发展到生产更高价值的植物产品，他们的选择将进一步缩小（我们预计室内农业和垂直农业会进一步冲击作物种植，但这些领域不在本报告范围之内）。

农作物产量大幅下降，将对整个价值链产生连锁反应，导致杀虫剂、种子和化肥公司以及其他作物种植者的投入（如电力和燃料）出现系统性冲击。

到 2030 年，化肥、农药和种子的产量将下降 50%，这意味着，按目前价格计算，农药营收将降至 15 亿美元，化肥营收降至 15 亿美元，种子营收降至 7.5 亿美元。与此同时，动物保健方面的营收也将从目前近 40 亿美元的水平削减一半以上（12 亿美元来自抗生素和其他药品，28 亿美元来自其他兽医服务）。

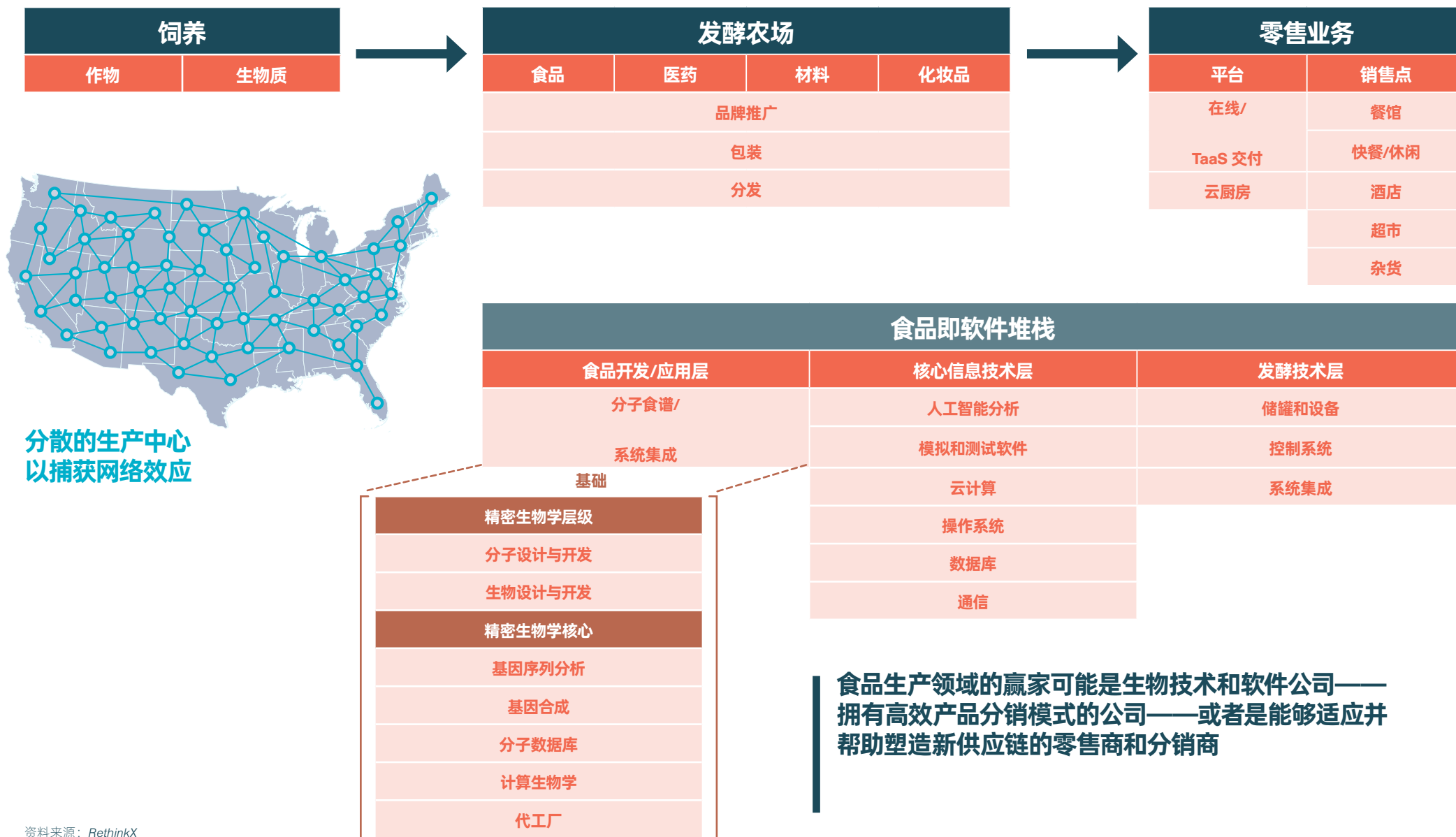
## 拖拉机和设备制造商

营收约为 400 亿美元的美国拖拉机和农业机械市场将大幅萎缩。<sup>117,118</sup> 2007 年，美国估计有 440 万台拖拉机和 35 万台联合收割机在役。<sup>119</sup> 随着农作物生产所需的土地数量急剧减少，对新农业设备的需求也将大幅缩水。随着二手市场充斥廉价的二手设备，设备将被搁置不用，它们将在很大程度上取代新设备的销售，至少在解决供应过剩的问题之前是如此。随着二手设备价格下降，设备租赁付款将增加（由于残值减少），导致新设备的吸引力降低。此外，设备生产规模经济的衰退将导致利润率下降，这将必须通过价格上涨来抵消，因此将引发设备制造商的恶性循环。在 20 世纪 80 年代的农业危机中，出现了类似的供过于求现象（由于利润下降）。从 1979 年到 1984 年，联合收割机和拖拉机的销售（占市场的 80%）都下降了大约 70%。这导致了制造设施大规模的临时和永久关闭、裁员和公司合并。未来十年，可能会出现类似的行业动荡。

**畜牧业生产所需的作物数量将  
下降 10 倍以上**

# 新供应链中的机遇: 谁将从中胜出?

图 20. 未来 (2030-): PF 行业供应链



食品生产领域的赢家可能是生物技术和软件公司——拥有高效产品分销模式的公司——或者是能够适应并帮助塑造新供应链的零售商和分销商

资料来源: RethinkX

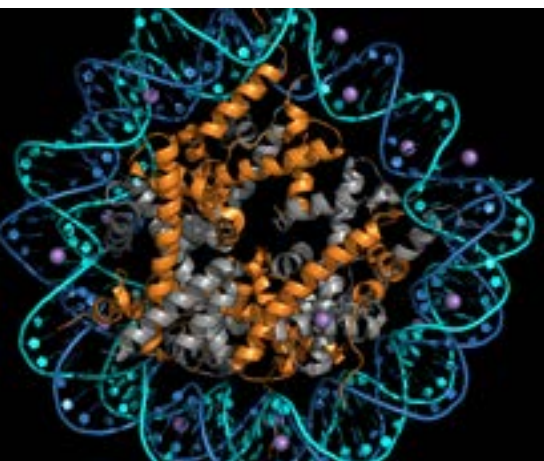
现代食品对奶牛的冲击将引发整个供应链的变革，各个行业都会经历不成比例的损失和收益。要找出赢家可能比确定输家要困难得多，但他们面临的机会也极其巨大。

今天的成功食品和农业企业可能不是最终的赢家。现有企业往往会受到激励、心态、组织结构和流程的阻碍，倾向于渐进式改进而非冲击性创新。随着他们经营的市场被冲击，他们有潜力适应，但这并不能保证他们会适应。

现代生产技术将模糊食品、材料、医疗保健和化妆品之间的界限，为领先的公司、地区和国家提供巨大的机会。蛋白质生产商不必局限于特定行业，因为许多蛋白质可以用于多种应用。例如，胶原蛋白是皮革、化妆品和食品等一系列终端市场的原料。

随着现代肉类和奶制品的成本下降到低于动物源产品，新生产商可能会蓬勃发展，因为他们的利润增长远远超过畜牧业。在冲击的早期，动物产品将决定现代食品的边际价格。鉴于现代产品享有的成本优势，这将导致一个特殊的高利润时期，而这可能会推动对现代食品行业的更大投资。但随着时间的推移，随着供应的增长和竞争的加剧，现代产品本身将开始设定边际价格，从而将利润率降低到一个更长期的均衡水平。

食品生产领域的赢家可能是生物技术和软件公司——拥有高效产品分销模式的公司——或者是能够适应并帮助塑造新供应链的零售商和分销商。



### 生物技术和软件

生物技术和软件行业的许多领域都将出现巨大的机遇，包括产品模拟和测试、人工智能、分子数据库以及基因测序和编辑。这些技术的盈利能力取决于新现的系统——一个开发和生产的开源系统很可能胜过一个将平台部分私有化的系统，比如如今的制药行业这样。

主流制药公司已经对这一领域表达兴趣，Merck 在 2018 年将“洁净肉类”

确定为其创新领域之一。<sup>120</sup> 但开源系统也在不断发展——例如，众包合成生物学（“生物骇客”）正变得越来越热门。<sup>121</sup>

最终，关于知识产权和批准程序的决策将决定哪个系统会得到发展（见第 4 部分）。

### 发酵农场

发酵农场将成为新的食品农场。工程、设计、建造和运营方面都会出现商机。有运转发酵罐经验的行业，包括制药、食品和饮料以及生物乙醇公司，都有领先优势。

这些发酵罐可能以多种方式被拥有。目前的生产商或零售商可能拥有并经营自己的产品，或者独立的发酵农场公司可能会向一系列客户发放许可证或供应产品。

### 食品分销

拥有大量分销基础设施的食品和饮料公司更有可能成功。例如，像百事可乐、可口可乐和喜力啤酒这样的啤酒和汽水公司专门进行分散的本地化生产，在品牌、包装和分销方面经验丰富，并且通常都设有许可模式。与此同时，像亚马逊这样的网络分销商已经开始进军食品市场——亚马逊在 2017 年收购了 Whole Foods，并在 2018 年成为美国销售额排名第五的食品杂货商。<sup>122</sup>

随着食品生产分散化并向城市中心转移，生产、分配甚至零售将开始融合。杂货店可能自己就装有肉类发酵罐——就像今天许多商店都在煮咖啡、烤面包和蛋糕一样。比萨饼店将能够在现场制作新鲜奶酪，这些奶酪拥有自己专属的分子味道、香味、质地和营养属性组合（例如，蛋白质比牛排更多，只含“好”脂肪，不含糖）。



## 食品交付

在冲击后，食品会便宜很多。不但如此，随着“运输即服务”（TaaS）革命——车主放弃他们的汽车，转而选择自动驾驶的电动车叫车服务（见我们的《交通运输行业再思考》报告）——的深入，食品运送将变得十分便宜和方便，以至于许多消费者会认为没有必要购买食品在家备餐。TaaS 与自动送货机器人和无人机等新兴技术的融合，将推动新的产品和商业模式创新，这不仅会进一步冲击运输和物流，还会冲击食品行业本身。例如，FedEx 已经宣布推出一款递送机器人，还宣布了与必胜客（其他合作伙伴包括 Amazon 和 Ford）结成合作伙伴关系，而 Alphabet’s Wing Aviation 获得了联邦航空管理局的批准，可在美国运行一个无人机递送系统。<sup>123,124</sup>

在这个竞争激烈的市场中，品牌将继续发挥重要作用。新品牌将会出现，其中许多将是本地品牌——反映了食品生产的去中心化本质——而现有品牌将被迫重新定位以保持相关性。例如，世界第二大牛肉、猪肉和鸡肉加工企业 Tyson Foods 已经开始自称为蛋白质公司。<sup>125,126</sup>

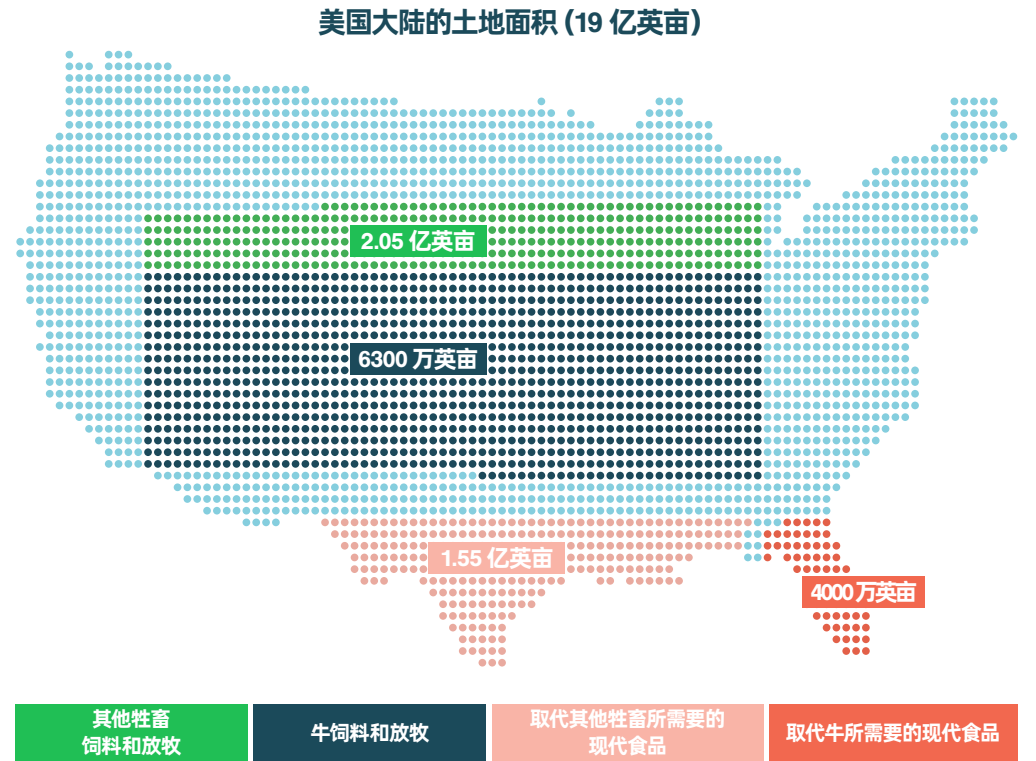


资料来源：Starship Technologies

## 3.2 对土地使用和价值的影

土地用途冲击将产生深远影响。如今，超过 8.35 亿英亩土地——相当于美国陆地总面积的 40%——用于饲养牲畜（其中 6.3 亿英亩用于饲养牛肉和奶牛）。其中，6.55 亿英亩用于放牧，1.8 亿英亩用于种植饲料作物，如大豆、玉米和干草。<sup>127</sup>

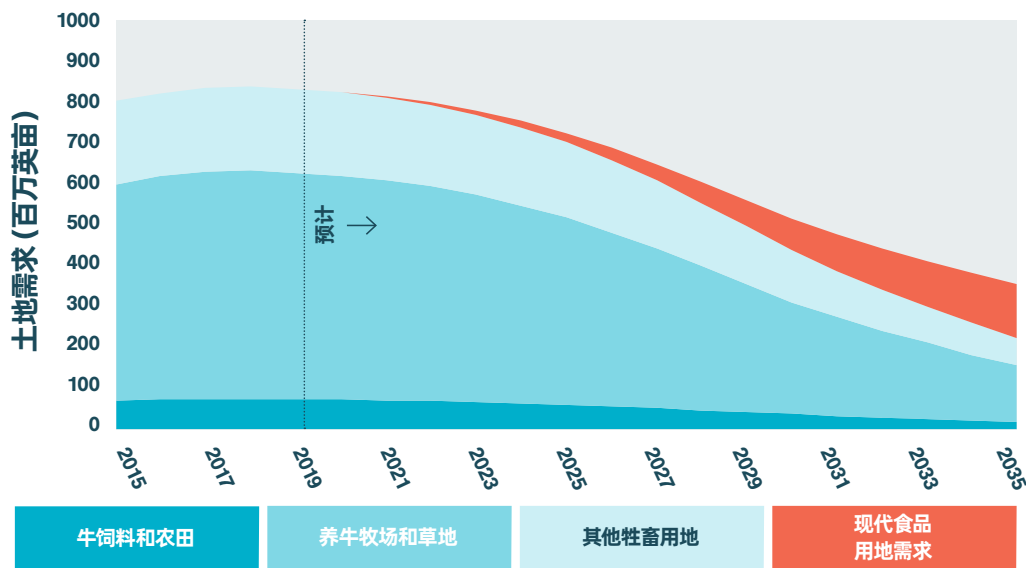
图 21. 现代食品冲击畜牧业所需的 100% 土地



资料来源：RethinkX

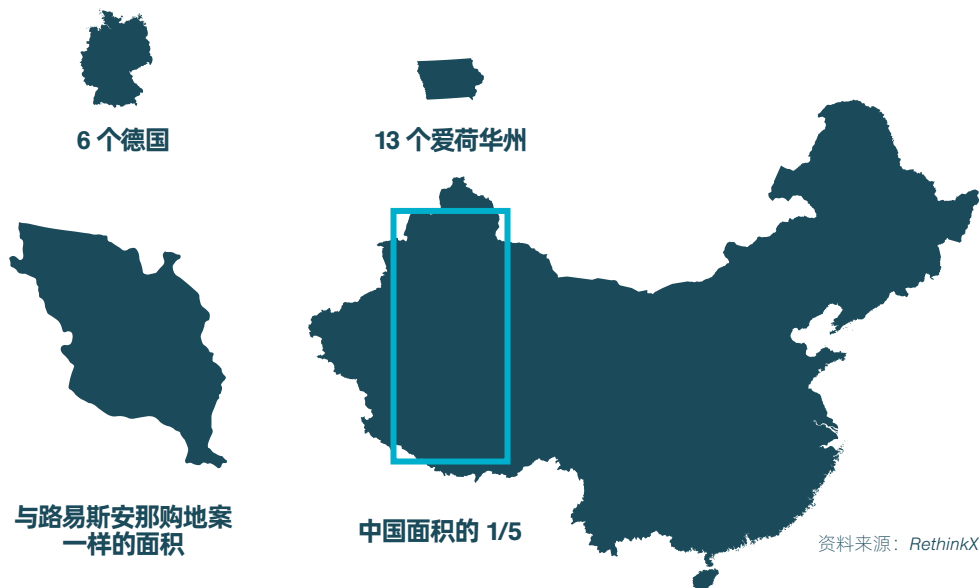
生产 PF 蛋白质所需的土地比生产牛蛋白所需的土地少 95%

**图 22. 美国土地需求的长时间变化估计**



资料来源: RethinkX

**图 23. 4.85 亿英亩相当于多大?**



资料来源: RethinkX

相比之下, PF 技术的效率要高得多, 这意味着它的产品通常需要的耕地不到动物源产品的十分之一。就牛而言, 目前的研究表明, 一个 PF 强化汉堡比同等的牛肉或乳制品少用 94% 的土地。<sup>128</sup>

因此, 到 2030 年, 牧场、牧场和饲料田将减少约 50%。这意味着, 到 2030 年, 现代生产方式对美国牛肉和乳制品行业的冲击将腾出约 3 亿英亩土地, 到 2035 年将增加到 4.5 亿英亩。

考虑所有牲畜的数量, 再计入现代生产所需的土地, 到 2030 年, 美国将腾出 3.25 亿英亩土地, 到 2035 年将腾出 4.85 亿英亩土地。这相当于 13 个爱荷华州, 或者是 6 个德国。不包括现代生产用地, 到 2035 年将腾出 6.2 亿英亩土地, 比 1803 年路易斯安那购地案时获得的 5.3 亿英亩还要多。<sup>129</sup>

我们现在拥有前所未有的机会, 可以通过重新规划这片广阔的腾空土地来重塑美国的局面。有许多土地使用方案, 包括城市和郊区的开发和保护。例如, 很大一部分土地可用于恢复野生动物栖息地、保护生物多样性、改善水质以及通过重新造林应对气候变化(见第 3.4 节)。<sup>130</sup>

### 对土地价值的影响

畜牧业的冲击将极大地影响土地价值。总的来说, 价值将迅速崩塌, 但特定地区或农场的结果将有细微差别。现代食品系统或遗留的牲畜市场仍然需要一些土地作为投入。

生产性农田的价值取决于土地稀缺程度、资本成本和农作物价格。<sup>131</sup> 如果土地不再具有生产性农业用途, 其未来价值将取决于替代用途。替代用途可能包括便利设施(牧场、国家公园、荒野)、太阳能农场、商业和工业开发、住房、林业和碳汇(重新造林或再生农业)。

**生产用地:** 由于土地供过于求和作物价格下跌, 即使仍用于生产性农业的土地在中期内也可能贬值(见第 3.1 节 - 耕地作物农场主)。我们估计, 仍然用于农业生产的土地价值将下降 40%。20 世纪的两次重要农场危机为这一数字提供



了一些背景。在 20 世纪 20 年代和 30 年代，随着农作物价格的急剧下跌，农田价值急剧下降，降幅超过 50%（从每英亩 69 美元降至 30-33 美元）<sup>132</sup>，<sup>133</sup> 而在 20 世纪 80 年代后期，由于作物价格走低，利率高企，农田价值下降了 40%。<sup>134</sup>

**从农业腾出的土地：**大部分农田和牧场远离城市，没有生产性农业利用的前景，也没有什么美化价值。因此，这些土地的价值可能会暴跌。美国牧场的平均价值为每英亩 1350 美元，而农田的价值为 4090 美元，<sup>135</sup> 但这些平均数背后还存在广泛差异。没有替代生产用途的土地的最佳替代用途可能是牧场，在蒙大拿州平均价值为每英亩 600 美元。然而，随着大量土地供应冲击市场，价格可能远低于这个数字。我们估计，没有未来经济用途的土地价值将下降至少 50%，在某些情况下，下降将超过 80%（取决于其当前价值和未来的美化价值）。

相比之下，如果规划政策允许开发住宅或商业用途，则靠近城市的土地可能会升值。<sup>136</sup>

### 银行和金融影响。

农业债务已增至逾 4000 亿美元，达到 20 世纪 80 年代农业危机以来的最高水平（按实际价值计算）。<sup>137</sup> 农民用土地作为抵押品，用于购买设备，支付种子、化肥和能源等运营成本。由于动物产品、原料和农场土地的价值崩塌，农场难以支付其运营和资本成本，银行将不再接受土地作为抵押品，并将停止发放新的资本来维持农场运营。随着信贷市场冻结，越来越多的作物种植者将无法偿还贷款。专门从事农业金融的银行可能会被信贷市场拒之门外。我们认为，如果规划得当，危机蔓延的风险将比 20 世纪 80 年代和 2008 年银行业危机期间更小。

## 3.3 对相关经济部门的影响

农业部门与更广泛的经济紧密交错，因此农业系统的变化将对其他部门产生影响，正如其他部门的变化会影响农业一样。此外，现代技术也将用于其他部门，因此生产方法、成本和能力的改进将加快基础技术和其他食品系统投入物的发展。

**材料：**随着生产定制分子和结构的能力提高，我们将可能支撑大自然无法提供的全新材料（无法通过合成生产）。<sup>138</sup> 这些技术将拥有巨大的市场机会，包括服装、家具、有机材料和建筑材料。

**运输：**现代食品体系将更加本地化，缩短供应链和当地采购，从而减少运输需求。不仅仅是牲畜的运输将会大幅减少，<sup>139</sup> 动物饲料、杀虫剂、化肥和其他投入物，以及最终产品的运输都将大幅减少。事实上，在美国运输四万亿吨英里的货物中，至少有 12% 可以归因于牲畜。

<sup>140</sup>

**能源：**由于支撑新食品系统的生产设施依赖电力运行，所以该系统的用电量将会增加。然而，价值链其他地方的用电量将会减少。例如，由于现代肉类和乳制品将在无菌环境中生产，受病原体污染的风险很低，产品储存和零售过程中对冷藏的需求将显著降低。<sup>141,142</sup>

价值链中能源消耗量减少也将打击石油需求。石油工业与农业之间有千丝万缕的关联——为农业机械化设备提供动力，提供化肥、杀虫剂、合成食品和包装塑料中使用的石化产品，以及制造运输和制冷用柴油。事实上，农场燃料需求（柴油）占农业能源消耗的 24%，相当于每年 7400 万桶石油 (BOE)。<sup>143</sup> 美国农业总体上占石油产品消费的 2%，相当于每年约 1.5 亿桶石油。<sup>144</sup> 我们预计，到 2030 年，至少一半的需求将会消失，因为与养牛和运输牛相关的供应链的所有环节都将被冲击。

**医疗保健：**现代食品应能减少与饮食相关的健康问题，如肥胖、糖尿病、癌症和心脏病（见下文的健康影响）。



### “微酿”有了新的含义

今天，无论哪里可以生产啤酒，都很快就有可能生产蛋白质。

## 3.4 广泛的环境、社会和经济影响

### 主要结论

#### 对环境的影响：

- » 到 2030 年，美国因牛产生的直接温室气体排放量将下降 60%，到 2035 年将几乎减少 80%。
- » 如果将替代畜牧业的现代食品生产考虑在内，那么到 2030 年，整个行业的净排放量将下降 45%，到 2035 年下降幅度将接近 65%。
- » 到 2030 年，养牛业和相关饲料农田灌溉的用水量将下降 50%，到 2035 年将减少 75%。
- » 如果将替代畜牧业的现代食品生产考虑在内，那么到 2030 年，整个行业的净耗水量将下降 35%，到 2035 年下降幅度将接近 60%。

#### 健康影响：

- » 每个人的营养状况都会得到改善。尤其是在发展中国家，廉价蛋白质的获取将对消除饥饿、加强营养和全民健康产生巨大的积极影响。
- » 食源性和人-动物交叉疾病的发病率将显著下降，致病细菌的抗生素耐药性也将显著下降。

#### 社会影响：

- » 更优质的食品将变得更便宜，对每个人来说都更容易获得。
- » 到 2030 年，最贫穷的美国家庭每年可以通过购买比现有动物源产品便宜 80% 的现代食品来节省开支，省下 8% 的收入，相当于 700 美元。
- » 到 2030 年，美国牛肉和乳制品生产及其相关行业的 120 万个工作岗位将减少一半，到 2035 年将减少 90%。
- » 美国所有其他畜牧业和商业渔业的就业情况和收入将紧随其后，到 2035 年总共将失去 170 多万个工作岗位。
- » 到 2030 年，新兴的美国 PF 行业将创造至少 70 万个工作岗位，到 2035 年将创造 100 万个工作岗位。

#### 经济影响：

- » 现代食品和其他 PF 产品的成本将比它们替代的动物源产品至少低 50%，最多低 80%，这将转化为更低的价格和更高的可支配收入。
- » 美国家庭平均每年将节省 1200 多美元的食品费用。到 2030 年，这将使美国人的口袋里每年多结余 1000 亿美元。

#### 地缘政治影响：

- » 贸易关系将会发生变化，因为去中心化的食品生产将比传统的畜牧业和农业更少受到地理和气候条件的限制。

- » 美国、巴西和欧盟等主要动物产品出口国将失去对目前依赖这些产品进口的国家的地缘政治影响力。动物产品或饲料出口占国内生产总值较大比例的国家如果不能向新产业转型，将面临挑战。
- » 进口动物产品的国家将从中受益，因为他们可以使用现代生产方法，更容易地以更低的成本在国内生产这些产品。
- » 要引领这种冲击，并不需要大量的可耕地和其他自然资源，因此任何国家都有机会在这个全球产业中获取价值，从冲击过程中出现的价值数千亿美元的商机中分一杯羹。

### 3.4.1 环境影响

工业化畜牧业是许多紧迫环境问题的主要原因，包括气候变化、森林砍伐、土壤侵蚀和退化、水污染、当地空气污染、生境和生物多样性丧失以及平流层臭氧损耗。由于在美国和世界其他地方，牲畜都对自然景观产生了明显的生态影响，因此现代食品冲击为环境恢复提供了人类历史上最大的机会。

#### 气候变化

畜牧业占美国 GHG 排放量的 8%。<sup>145,146</sup> 牛肉和奶牛是该部门迄今为止最大的 GHG 来源，这些动物通过肠道发酵和粪便产生的甲烷直接排放温室气体，而相关产业也通过土地用途变化、饲料生产以及与生产和分配相关的能源和运输使用间接排放温室气体。尽管估计各不相同，但粮农组织的数据显示，仅牛就占美国畜牧业总排放量的 78%。<sup>147</sup>

我们估计，到 2030 年，现代食品冲击将使美国来自牛的 GHG 直接排放量减少 60%，到 2035 年将减少近 80%。同样，我们估计，到 2030 年，所有畜牧业的直接排放总量将下降 55%，到 2035 年将下降 75%。如果将替代畜牧业的现代食品生产的碳足迹（小得多）考虑在内，我们预计到 2030 年，整个行业的净排放量将下降 45%，到 2035 年将下降 65%。

图 24. 来自动物农业的温室气体排放

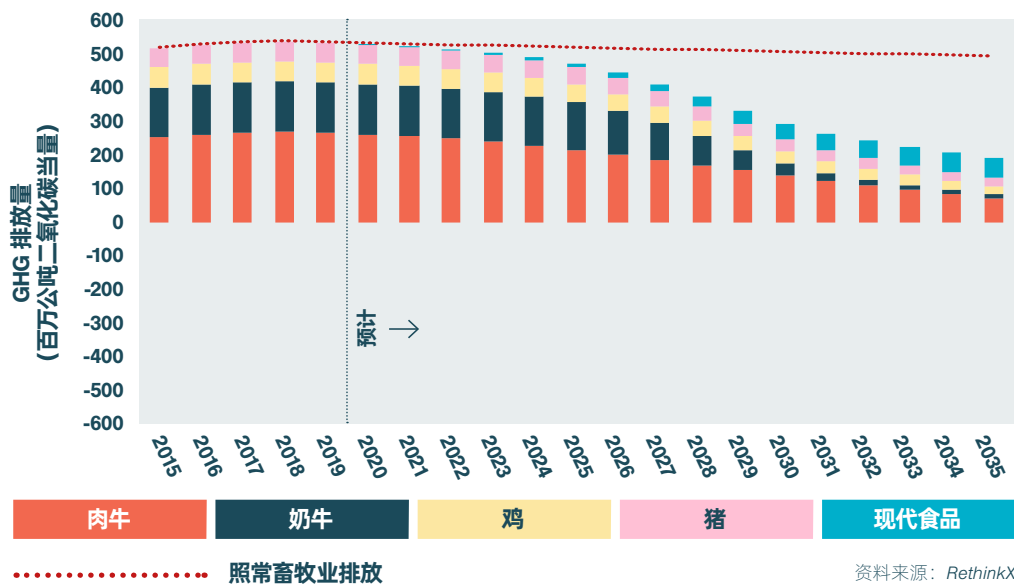
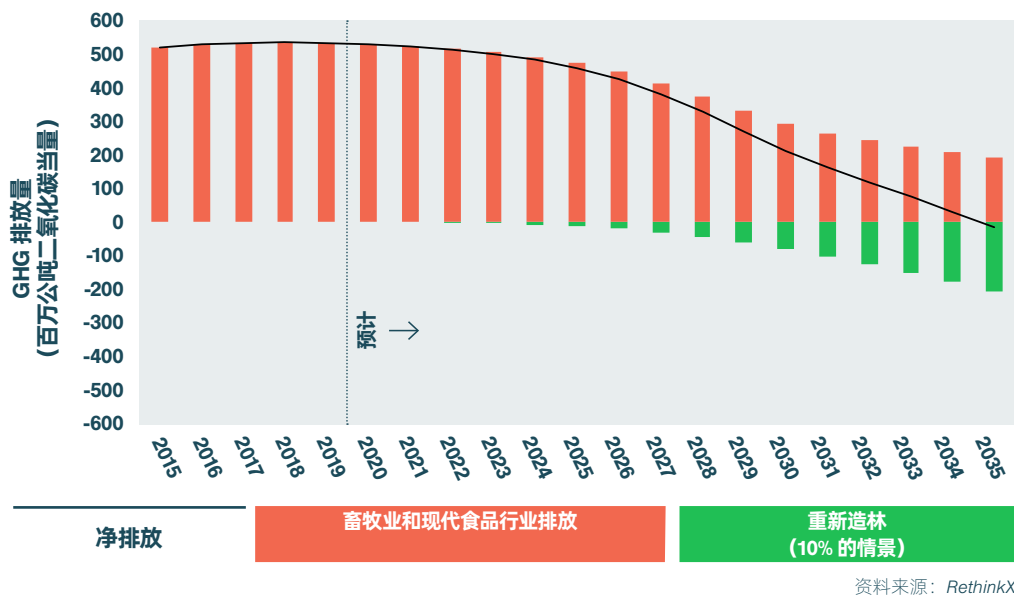


图 25. 温室气体净排放量——重新造林 10% 的情景



因为冲击而腾出的土地将呈现巨大的机遇。如果优先通过植树造林进行保护，则不仅有可能减轻持续的环境影响，而且有可能积极帮助恢复大气、当地水和空气质量、土壤、自然栖息地和生物多样性。例如，即使不专门开展工作以最大限度地增加碳封存，在现代食品腾出的 4.85 亿英亩土地中，积极地对其中 10% 重新造林，就可以每年捕获超过 2 亿吨二氧化碳当量，到 2035 年即可使畜牧业部门的剩余部分实现碳中和 (图 25)。如果将所有腾出的土地专门用于重新造林，并努力积极利用树种和种植技术，最大限度地增加碳封存，那么到 2035 年，我们每年可以捕获超过 55 亿吨二氧化碳当量。这足以完全抵消美国所有 GHG 排放来源，即使是按目前的水平计算也不例外——事实上，由于能源和交通的冲击，从现在到 2035 年，总排放量将大幅下降。

## 水

就像在世界其他地方一样，水资源短缺在美国也是一个严重的环境问题。<sup>148</sup> 例如，从 2011 年 12 月到 2019 年 3 月，加州经历了连续 376 周的史无前例的大干旱。<sup>149</sup> 研究表明，随着气候变化和地下水枯竭导致的降水模式改变，这个问题将会变得更加严重，并在未来几十年造成严重的水资源短缺。<sup>150</sup>

农业消耗了美国几乎 90% 的淡水。<sup>151</sup> 其中大部分用于作物灌溉，但畜牧业也会直接消耗水资源，包括作为饮用水、用于卫生和加工，以及支持水产养殖。总而言之，美国的畜牧业生产及其相关的饲料田占了全国淡水消耗量的三分之一。<sup>152</sup>

利用现代生产方法生产食品仍然需要淡水，但数量要少得多。最近的研究发现，PF 产品的用水量比传统的牛产品少 87%，这主要是因为单位产量所需灌溉的作物减少。如果不计入现代生产的用水量，畜牧业的用水量将与该行业的崩

坍成正比下降：到 2030 年，牛肉和乳制品行业的用水量将下降 50%，到 2035 年将下降 75%。对所有其他牲畜的冲击将紧随其后——到 2030 年，美国畜牧业的用水总量将下降 45%，到 2035 年将下降 70%。如果将替代畜牧业的现代食品生产用水考虑在内，那么我们预计，到 2030 年，这个行业的净用水量将下降 35%，到 2035 年下降幅度将接近 60%。

## 废物

**粪肥：**工业化畜牧业每年产生数亿吨粪肥，对环境和人类健康造成诸多影响。<sup>153</sup> 最大的集中动物饲养企业每年总共产生大约 3.7 亿吨粪便。<sup>154</sup> 粪池渗漏和溢出，以及过量施用粪肥，会导致附近水生生境的富营养化（富营养化水），导致有毒藻类大量繁殖、缺氧（水中氧气完全耗尽）、鱼类死亡和栖息地破坏。粪便细菌聚集在地表和地下水中，会污染可用于饮用或灌溉的水。<sup>155</sup> 向农田喷洒粪肥时产生的颗粒物也是一个重要的健康问题和困扰，会对居住在农场附近的人群产生负面影响。

相比之下，现代食品生产不会产生粪便，因为没有动物参与这一过程。一项早期研究估计，使用 PF 制造的产品比可比动物产品产生的污染物少 92%。<sup>156</sup> 不同的发酵过程产生的废物的确切成分差异很大，但一般都包括废微生物量和废水。<sup>157</sup> 如果微生物不是最终产品的一部分，就会被弃置或以其他方式使用，如施肥或肥沃土壤。设施产生的大部分废物将是废水，可以先在现场进行处理，然后再排入市政水道。研究表明，某些种类的发酵废物可以用于修复水道，并且没有从惰性 GM 转移到天然微生物的基因转移风险。<sup>158</sup>

**内分泌紊乱：**有些物质可能本身就是激素，或者能改变正常的激素功能。美国食品应药物管理局批准使用激素来促进牛的生长。生长激素包括雌激素、黄体酮、睾酮及其合成形式。<sup>159</sup> 使用这些生长激素后，一头肉牛的平均体重增加 18-25 千克，因而降低了高达 7% 的成本。<sup>160,161</sup> 这些激素通过动物粪便大量进入环境后，会干扰人体内分泌。研究证明，长期接触这些激素，可能导致癌症、性功能障碍、人类性别比例改变以及水生野生动物生殖问题的发病率增加。<sup>162</sup> 这就是欧盟禁止在牛肉中使用激素的原因，也是禁止销售使用类固醇激素养殖的进口牛肉的原因。<sup>163</sup>

大多数使用现代食品成分的生产方法也在细胞生产中使用生长激素，但是激素在最终产品中的浓度不大可能高于常规产品。至关重要的一点是，与动物粪便不同，现代食品的产出物可以在整个生产过程中得到更好的控制，以避免释放到环境中。

## 砍伐森林和生物多样性丧失

自 1970 年以来，近五分之一的亚马逊雨林消失，其中 80% 以上是为了放牧而开垦土地的结果。<sup>164</sup> 全世界每年有近 2000 万英亩的森林被砍伐，<sup>165</sup> 这相当于南卡罗来纳州的陆地面积。

森林起到广泛的生态系统功能，对地球的健康至关重要。它们提供氧气，吸收二氧化碳，调节水和营养循环，为物种（包括许多受威胁、濒危或极度濒危的物种）提供栖息地，支持生物多样性，净化空气、水和土壤，防止土壤侵蚀，并为人类消费提供必要的资源，包括药品。它们也是世界各地土著人口的重要生计来源。<sup>166</sup> 其他自然环境也有大部分也转化为农业用地，如湿地、草原和热带草原。在整个美洲，95% 的高草草原都被改造成了农场。<sup>167</sup> 这种自然栖息地的破坏导致物种灭绝的速度达到自然背景下灭绝速度的数百倍，危及全球重要的生态系统服务。事实上，农业是当今世界生物多样性丧失的最大驱动因素。

<sup>168</sup>

现代食品生产将消除对牧场和饲料田的需求，也会消除对棕榈油种植园的需求——这是森林砍伐的另一个主要原因。<sup>169</sup> 棕榈油已经可以通过 PF 生产，并且成本比种树生产的棕榈油更低，而随着 PF 成本持续下降，我们预计这一市场将迅速被取代。<sup>170</sup>

因此，现代食品有可能大大缓解（如果不是完全消除的话）森林砍伐、栖息地破碎和破坏，以及与之相关的生物多样性丧失的几个主要根本原因。

## 3.4.2 健康影响

### 疾病

在美国，每年有 4800 万人因受污染的食品而生病。<sup>171</sup> 如果牲畜的肠道和粪便中存在沙门氏菌、弯曲杆菌、大肠杆菌和李氏杆菌等细菌，并在屠宰、加工、分配和废物处理过程中渗透到食物链中，就会传播食源性疾病。任何接触到这些细菌的食品都会受到影响，无论是用受污染的水灌溉的蔬菜，还是在厨房表面受到交叉污染，都不例外。每年都有 42% 的疫情相关疾病可归因于动物产品——14% 来自乳制品，7% 来自牛肉。<sup>172</sup> 这些细菌，甚至一些传染病（人畜共患病），也可能通过人与动物的直接接触传播——屠宰场的工作人员就是因此受到监测评估。

现代食品生产可以消除动物及其粪便，这将大大限制食品污染和疾病传播，同时确保食品保质期更长。因此，食源性和人-动物交叉疾病的发病率将显著下降。

致病细菌产生抗生素耐药性的风险也会降低。全球大约 80% 的抗生素用于家畜。<sup>173</sup> 使用抗生素是保持工业化畜牧业成功的必要条件，因为禁闭和拥挤会增加疾病的风险。抗生素也被用来促进生长，尽管许多国家（包括美国）都在采取措施来防止或至少减少这种做法<sup>174</sup>——2017 年，美国食品与药物管理局禁止使用在医学上具有重要意义的抗生素来促进生长，有效地使抗生素用量比上一年减少了 30%。<sup>175</sup> 在美国，牛消耗的抗生素比任何其他牲畜都要多，其中许多对人类具有重要的医学意义。

尽管在监管方面取得了进步，但抗生素耐受性细菌

（又称超级细菌）变得越来越普遍，构成了人类健康面对的最紧迫威胁之一。如果不采取行动，到 2050 年，估计每年将有 1000 万人因此丧生，经济代价将达到 100 万亿美元。<sup>176</sup>

现代食品生产对集约化畜牧业的冲击将大大减少抗生素以及促生长药物和治疗药物的使用，特别是在没有相关限制的国家。这将减缓抗生素耐药性的发展轨迹，给制药行业更多的时间来发现和开发新药。

PF 生产中可能仍然需要抗生素，以防止“坏细菌”的污染，但这些抗生素不会出现在最终产品中，而是构成废物的一部分。废物将进行废水处理，在这一步骤中完全去除抗生素，然后再排放到外部环境中。

## 营养

营养条件通常是许多健康状况的潜在因素，包括糖尿病、癌症、肥胖症和心脏病。不仅人们会深受其害，这些疾病还会给社会带来巨大的代价。例如，仅在美国，由肥胖引起的慢性病的直接和间接成本估计每年就能达到约 1.7 万亿美元。<sup>177</sup> 这比美国畜牧业的总营收高出 36%。

由于现代食品生产允许对蛋白质、分子以及最终产品进行定制，所以它为生产者提供了最大化有益营养和最小化有害物质的机会。因此，膳食不仅可以显著改善，而且可以根据个人需求量身定制，而不是需要人们改变行为——可以想吃多少汉堡就吃多少，而不会产生副作用。通过提供更均衡、更有营养的膳食，现代生产方法将让更多的人享受到更好的营养条件。在发展中国家，尤其是缺乏蛋白质和/或营养不良的地区，能够获得持续的廉价蛋白质来源将对饥饿、营养和健康产生巨大的积极影响，并对人口增长甚至全民智商产生连锁效应。<sup>178</sup> 另一方面，在食物链中加入新的食品成分可能会引发潜在的健康问题。

## 3.4.3 社会和经济影响

### 食品质量和价格

更优质、更健康的食品将变得更便宜，对每个人来说都更容易获得。随着时间的推移，美国人的收入花费在食品上的比例越来越小，从 1901 年的 43% 下降到 2017 年的 13%。<sup>179</sup> 按实际价值计算，在 2017 年，这一数字接近每年 8000 美元，对普通家庭而言是一笔沉重的负担。其中，每年有 1500 美元用于购买肉类、乳制品、鱼类和鸡蛋。虽然动物源性食品与其他食品相比已经相对便宜（很大程度上得益于补贴），但现代生产方法将进一步降低这些食品的成本，使美国家庭平均每年在食品上节省 1200 美元。到 2030 年，这将使美国人的口袋里每年多结余 1000 亿美元。对于最贫困的家庭来说，这将是一笔重要资金。2017 年，美国最贫困的 20% 家庭将收入的 35% 用于食品，其中 30%（占总收入的 10%）直接用于动物源性产品。假设动物产品成本下降 80%，到 2030 年，最贫穷的美国家庭每年可以节省 8% 的收入，也就是 700 美元。这些金额不包括因政府减少对畜牧业和种植业的补贴而节省的纳税人资金，也不包括目前用于治疗牲畜食品相关疾病的医疗支出。

大众的食品质量也会得到提高。从短期来看，可能会出现“质量反弹”，即消费者在食品上的总支出下降的幅度小于成本下降的幅度，但这仅仅是因为消费了优质食品。从长远来看，即使质量、口味和便利性有所改善，价格也会向成本靠拢。

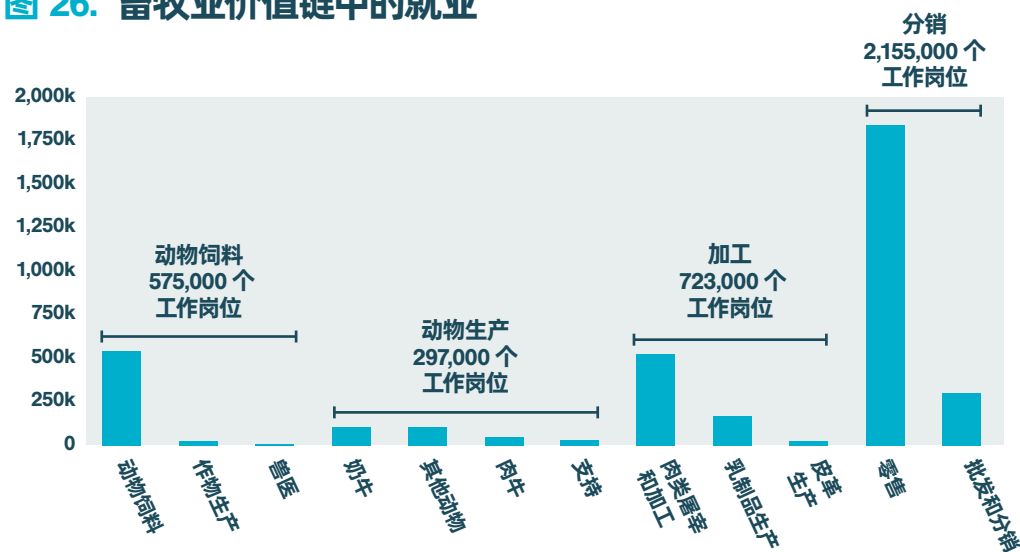
### 工作岗位

在美国，目前有近 200 万人从事畜牧业（不包括分销），其中 120 万人从事养牛业工作（见图 26），全球其他地区还有数百万人。<sup>180</sup> 并非所有岗位都处于危险之中，但在现代食品冲击期间，任何与饲养、屠宰和加工动物及动物产品相关的岗位都有可能流失。<sup>181</sup> 我们估计，到 2030 年，将有大约 60 万个与养牛业直接相关的工作岗位消失。到 2035 年，这个数字将上升到大约一百万。在整个畜牧业和渔业中，可能会有超过 170 万个工作岗位流失。

许多养殖业者已经需要额外的家庭收入才能维持生计，这一情况可能反而会减轻失业的全部影响。事实上，近 80% 的肉牛经营的收入只有不到 25% 来自养殖，36% 的经营者都在养殖场外有别的工作。<sup>182,183</sup>

然而，现代生产已经开始创造并将继续创造发酵养殖者、生物工程师、蛋白质工程师、代谢工程师、细胞生物学家、计算机科学家、信息技术工作者、食品科学家和设计师、营养学家以及其他类似职业的就业机会。新行业的许多工作都将需要娴熟技能，要求高度专业化。市场还将需要制造岗位为发酵农场制造资本设备，农场本身也将出现新的工作岗位。这将创造约 70 万个工作岗位。例如，生产植物肉的 Beyond Meat 肉类公司自 2014 年以来就进驻了各大商店，该公司成功地扩大了生产规模，于 2018 年在密苏里州的哥伦比亚开设了一家新工厂，为该地区带来了 250 多个新工作岗位。<sup>184</sup> 在英国，以植物为基础的食品生产商 Vbites 将在 2019 年对一座旧的 Walkers Crisps 工厂进行改造利用，新增 300 个工作岗位。<sup>185</sup>

图 26. 畜牧业价值链中的就业



资料来源：BLS, AFIA, AVMA

## 框 13: 具体工作岗位数量

新兴现代食品行业的劳动力需求在这次冲击的早期阶段仍然存在高度不确定性，但是，通过谨慎的假设，我们可以根据植物肉类市场目前的两家领先企业——Impossible Foods 和 Beyond Meat 做出一些有用的推论。

目前他们还没有详细的生产数据，但我们估计，每家公司目前约有 400 名员工，每月生产约 250 万份 4 盎司的产品。<sup>186,187</sup> 这相当于每个员工每年生产 300,000 份 4 盎司的植物肉。作为比较，这些产出数字与美国现有酿造业的数字非常接近——国内啤酒生产雇用了 212,000 人，每年可产出 640 亿份 12 盎司的啤酒，相当于平均每位员工每年生产 303,000 份啤酒。<sup>188</sup>

我们预测，到 2030 年，仅现代食品对牛的冲击就将导致基于植物和细胞的肉类和乳制品的总产量达到近 100 亿千克（1050 亿份）。要冲击所有其他畜牧业和渔业，将需要额外的 100 亿千克，即每年总共 200 亿千克或 2100 亿份。按照目前每个员工每年 300,000 份的生产速度，我们预计到 2030 年，冲击牛的现代食品行业部分将雇用大约 350,000 人从事生产和销售，冲击所有其他动物蛋白市场（鸡肉、猪肉和鱼）的部分将再雇用 350,000 人，总共约 700,000 个工作岗位。

到 2030 年，现代食品工业的规模将翻一番以上。此外，现代食品技术在医药、纺织、建筑材料和其他领域的新应用都将扩大该行业的市场。然而，与此同时，随着行业的成熟和初始建设阶段的结束，单位产出的人力需求将下降。考虑到自动化方面的进步等其他外部因素，2030 年以后，该行业的长期工作岗位要求将非常不确定，因此很难预测。

最后，因现代食品而从畜牧业中释放出来的土地将被用于其他用途。考虑到所涉土地面积的绝对规模，即使是低强度的土地使用，比如重新造林，也会创造成千上万的新工作岗位。

## 供应安全

畜牧业供应链有着固有的风险，尤其是疯牛病<sup>189</sup>、口蹄疫<sup>190</sup>，禽流感<sup>191</sup>和非洲猪瘟等动物疾病爆发。当疫情爆发时，伴随而来的是牲畜宰杀、消费者信心丧失、贸易限制、国内控制措施，有时还会出现人类健康问题，所有这些都影响到农业、工业、国际贸易、旅游业、生物多样性和经济。

目前，非洲猪瘟正在亚洲肆虐。迄今为止，亚洲已宰杀了近 400 万头猪，导致全球猪肉价格上涨了 40%。到今年年底，越南和中国的猪肉产量预计将分别下降 10% 和 35%。<sup>192</sup>

工业化农业将大量动物聚集、封闭、关押在一起，极易受到疾病爆发的影响。依赖脆弱的供应链会让养殖者、企业和普通民众面临财务风险。

与之形成鲜明对比的是，现代生产方式将使用多样化、分布式和本地化的供应链。生产设施将是相互独立的受控环境，因此一个设施遭到的冲击不会影响其他设施。这将使供应链更加稳定、安全。

## 复原能力

大多数城市和地区的资源或能力都只够本地人口消耗数天，如果发生自然灾害、停电或地缘政治冲突，就会造成严重风险。行业的去中心化将让食品生产进入城市，增加它们的自主能力并提高弹性。同样，更偏远的社区将不再完全依赖进口食品，而是可以更容易、更可靠地维持生计。

## 更高的透明度

有关农业领域供应链相关的争议引起了公众的强烈反对，如粉红肉渣、疯牛病、动物虐待和转基因生物。<sup>193</sup> 这些问题给标签体系带来了改进，也改变了有关动物治疗的法律法规。然而，工业化畜牧业的许多部分是不透明的。美国某些反告密的法律（又称为“反泄密法”）使该行业能够禁止有关不良行为的报道。在现代生产中，透明度将是至关重要的，很多公司已经公开了组成其产品

的成分和工艺，以努力赢得消费者的信心，并为上市做好准备。随着越来越透明的公司获得成功，现有公司必须做到更加透明才能竞争。最终，将形成一个更加透明的食物链。

## 动物福利

全世界有超过 740 亿只养殖动物。<sup>194</sup> 仅在美国，每年就有 95 亿头动物被宰杀作为食物，其中绝大多数 (95%-99%) 是在工业化养殖场饲养的。

<sup>195</sup>

这些养殖场又称为 CAFO，经常因虐待动物而受到批评，因为它们存在禁闭、拥挤、过度用药、强迫繁殖、虐待和非人道处理的情况。作为回应，一些州、公司和组织已经开始通过政策和立法解决这些问题，包括逐步淘汰和禁止母鸡层架式鸡笼、母猪夹栏；逐步淘汰和禁止对牛断尾、对小牛过度禁闭；以及废除反告密者法。

<sup>196</sup>

通过将活动物从生产中剔除，就无需再为食用和其他动物衍生产品而饲养动物，无需再进行处理和屠宰，进而消除了这些问题。

## 全球影响

现代食品冲击将导致市场迅速萎缩，使牲畜生产商的收入急剧减少。在国际上，这意味着主要动物产品生产商会面临严重的经济冲击。生产大量传统动物产品和对畜牧业大量投入的国家（如巴西）其国内生产总值的 21% 以上来自农业，其中 7% 来自畜牧业，<sup>197</sup> 尤其脆弱。美国是多种动物产品的最大出口国，包括牛肉、家禽、鸡蛋、猪肉、牛奶、玉米、DDGS、大豆、豆粕和动物颗粒（但尽管这些加在一起不到总出口的 5%）。<sup>198</sup> 随着现代食品的冲击，国内外对这些产品的需求都将急剧下降。



另一方面，进口这些产品的国家将因此而受益，因为它们可以更容易地以更低的成本在国内生产这些产品。中国、韩国和日本等动物产品的主要进口国将受益于这些成本节约以及食品安全性和弹性的提升。在消费者附近生产低成本、高质量食品的能力也将提高阿富汗、布基纳法索和布隆迪等低收入国家的食品安全。<sup>199</sup>

随着各国开始将食品生产本地化，对主食国际贸易的需求将减少，利用食品作为影响和控制工具的能力也将降低。

引领冲击的国家也将能够通过创立重要产业来创造工作岗位、财富和技术、知识产权和食品出口机会，间接扩大影响力，从而增强经济实力。要引领这种冲击，并不需要大量的可耕地和其他自然资源，因此任何国家都有机会在这个全球产业中获取价值，从冲击过程中出现的价值数千亿美元的商机中分一杯羹。



## 》 第四部分 抉择和规划

在这场冲击中，变革的主要推动者是政策制定者、投资者、企业和消费者。这些群体做出的选择相互影响，并影响现代食品技术的采用速度和工业化农业的冲击速度。他们的选择将决定社会是否能抓住这种冲击的全部潜在利益。

现代食品技术的经济学十分特殊——无论各个国家的各个团体采取什么行动，冲击都会发生，但是这些团体确实有能力加快或减缓新技术的采用。我们认为，如果企业和投资者有机会创造财富，消费者有机会购买更便宜、更健康的食品，政策制定者有机会实现非凡的经济、健康、社会和环境效益，那就意味着每个群体都将比当前主流观点所认为的更快地接受这些技术。



## 4.1 政策制定者

政策制定者可以通过许多工具加速或推迟冲击，获取新食品系统的益处并减轻其潜在的负面影响，如失业及其可能对当地农业社区产生的严重影响。新体系将给社会带来的深远、广泛的益处，以至于我们预计将出现一场全球争夺战，因为各国都会努力把握财富、健康和就业机会——谁引领冲击，谁就能获得这些机会。

新兴技术有可能创造一个分布式、开源、低成本的食品体系，在这个体系中，任何地方的企业家都能够在准入壁垒相对较低的情况下设计和生产食品。然而，并不是一定会出现一场实现所有潜在利益的冲击。特别是，关于知识产权制度和产品批准程序的错误决定可能导致行业开发成本高、知识产权受限和进入壁垒高，而这些都是抑制创新和减缓采用。采取错误决策的国家将会被那些消除障碍、鼓励投资的国家超越。

因此，决策者从现在开始做出的选择就将决定他们的社会是否能从现代食品冲击中获得全部利益。

在下面，我们概述了一些他们可以使用的工具：

## 知识产权

专利是政府认可的垄断。它们旨在提供一种暂时的垄断，以帮助吸引在其他情况下无法吸引到的投资，用于产品开发。专利到期后，垄断即告结束，然后所有社会成员都可以从中受益。制药等行业需要大量投资和较长的开发和审批时间来提供产品，因此知识产权制度为企业提供了确定性，即如果它们成功开发出新药或新工艺，它们就能够在避开竞争的情况下获得收益，至少在前几年内是如此。但制药型知识产权保护的结果是，市场上的新药只有寥寥几种，每年每个患者可能要花费数十万甚至数百万美元。像制药业这样的知识产权制度会减缓进步，并形成不必要的壁垒。它还可能导致一种寡头垄断型结构，导致一些大公司通过这种结构控制食品体系。显然，这不是现代食品工业所需要的。

开发新分子的成本已经相对较低，并且正在快速下降。这意味着新的产业适合于一个完全不同的模式，更类似于软件产业，要使从业者能够以对消费者产生很少成本或没有成本的方式创造数量级的新知识、应用和内容。认识到“软件即食品”需要更加开放、透明和宽松的知识产权制度的国家将会超过没有形成这种认识的国家。

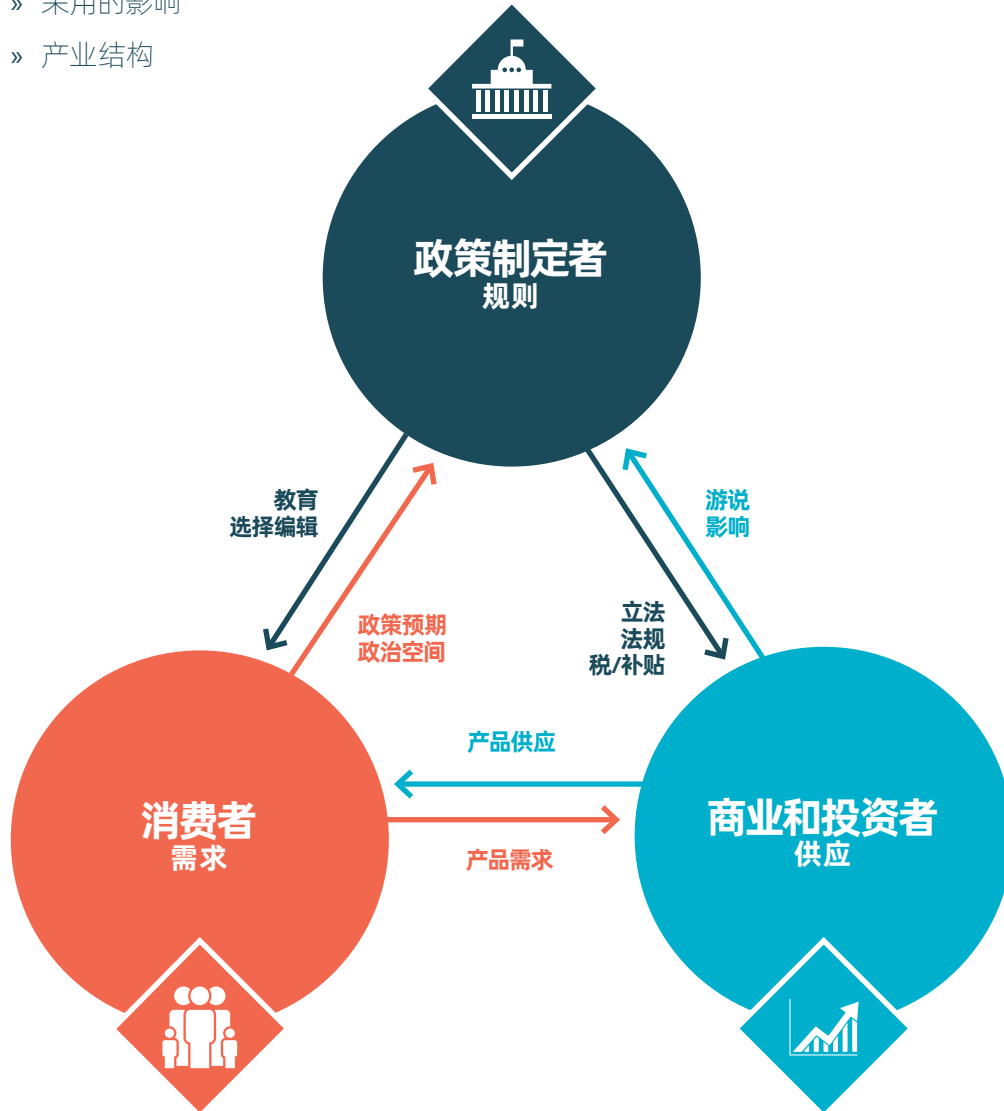
### 建议

- » 允许公司为生产方法申请专利，但不允许为生命、基因或分子申请专利——知识产权制度应该以过程为中心，而不是以产出为中心。这将鼓励创新者采用和开发技术，并鼓励开发开源平台以及分子、细胞和生物系统数据库。
- » 在实施知识产权制度时，避免遵循制药行业模式，因为与药物开发不同，通过现代食品生产进行产品开发的成本已经相对较低，而且下降很快。
- » 支持创建开源、透明、协作的网络——最好是国际网络——以加快发展步伐。

## 图 27. 决策者的关键杠杆

每个群体做出的抉择都会产生影响：

- » 采用的速度
- » 采用的影响
- » 产业结构



资料来源：RethinkX

## 食品监管

新的食品需要获得美国联邦食品与药物管理局或美国农业部的批准。这种监管体系既可能被用于设置障碍，减缓甚至禁止新产品的推出，也可能被用于加速它们的采用。正如我们所见，现代食品有许多广泛的好处，为决策者支持采用提供了强有力的激励。

食品监管对于确保公众健康和食品安全至关重要，所以需要采取预防措施来确保所有食品的健康和食用安全。因此，政策制定者需要在健康和食品安全（这是不容置疑的）与快速采用现代食品之间找到微妙的平衡。

法规应该同时适用于传统食品和现代食品。也就是说，食品安全、透明度和透明度的规则应该同时适用于动物源性以及现代食品和生产过程。

## 建议

- » 通过更新和简化现代食品及其成分的评估流程，结合计算机模拟等新方法来了解食品对人类健康的影响，从而加快冲击。
- » 通过食品标签体系的现代化提高透明度，以便更好地向消费者传达健康益处、健康风险和环境影响。标签法应该有明确的含义。例如，“自然”一词在今天没有明确的法律含义，可能会被食品营销人员用于误导消费者。
- » 考虑传统食品行业的游说能力以及新旧行业之间潜在的利益冲突，建立一个独立的监管机构来制定政策并监督现代食品技术及其产品。

## 财政激励和税收

工业化农业目前享受大额补贴，农业游说团体对政策施加了重大影响。<sup>200</sup> 政府监管目前通过补贴、剩余库存、产品再分配和营销来维持工业化乳制品和牛肉行业的运转。如果不采取这些做法，这些行业将难以为继。它们扭曲市场，人为压低乳制品和牛肉的价格，这增加了创新的障碍，使新产品更难与受保护的工业产品竞争，也更难降低成本。<sup>201</sup>

## 建议

- » 支持监管良好的市场，但不参与或扭曲食品或农业业务。例如，如今的政府储备 14 亿磅奶酪，以学校午餐和补充营养援助计划的形式推出。<sup>202</sup>
- » 通过对最具破坏性、最不健康的产品征税，使生产商为负外部性付出代价，反映它们对社会造成的更广泛成本。
- » 如有必要，为食品提供生产者补贴，但只根据食品是否具有明确的食物安全、公共健康和环境效益来提供，而不是论其生产方法。
- » 消费者食品补贴应基于需要，而不考虑食品行业来源。
- » 创建债务减免计划，帮助小企业、个人和家庭种植/养殖者以及价值链中的其他人退出现有行业。
- » 扩大社会安全网计划，以确保受现代食品冲击影响的个人可以选择接受其他生计再培训或有体面地退休。
- » 要保护人，而不是公司或遗留产业。

决策者可以用许多金融工具来影响现代食品的采用速度，包括直接税、补贴、减税、投资信贷、软贷款和销售税率。这些工具可用于确保对社会最有益的食

品得到支持，鼓励采用这些食品，而那些具有负面影响的食物则受到阻碍和惩罚。还可以采取措施减轻对现有食品系统利益攸关方的最严重影响。

## 公众意识和透明度

关于现代食品相对于传统动物产品的优点和安全性，消费者可能会看到相互矛盾的信息和虚假信息。目前，一些法规试图通过限制新产品在市场上的叫法来直接抑制对新产品的需求。在一些司法管辖区，如密苏里州、路易斯安那州和法国，“牛奶”、“奶酪”、“肉”和“培根”等词语只能用来描述来自屠宰动物的产品。当局把消费者的混淆作为这些规定的理由，但是证据表明，消费者其实知道杏仁奶、牛奶和银河的区别。强大的行业游说更有可能制造虚假陈述。<sup>203</sup> 政策制定者可以确保消费者有能力做出明智的选择——如果他们确保公众能够随时获得准确的信息，并就标签制定明确一致的规则的话。

## 建议

- » 建立一个独立的监管机构来评估和传播关于现代食品技术及其产品的信息。
- » 制定与食品行业相关的清晰、正式的术语和定义，同时覆盖新旧行业，做到不偏不倚，以供政府机构在提及各种产品及其生产方法时使用。
- » 制定明确的透明度和披露要求，且这些要求应同样适用于所有相关行业的产品和生产流程。
- » 优先考虑消费者的知情权——与简单的食品标签不同，消费者应该能够扫描二维码，了解他们打算购买的食品内容的细节，包括所有成分的来源、制造方法、重金属含量、对儿童和成人的健康影响以及环境影响。

## 土地使用

从农业用途中腾出的大片土地以及随之而来的价值崩塌，将给我们一个绝无仅有且前所未有的机会，让我们重塑美国四分之一的土地，一如 1803 年的路易斯安那购买案。我们必须明智地利用这一机会，在各方利益之间取得最佳平衡，并取得对整个社会有益的结果。

## 建议

- » 基于对未来潜在需求和用途的分析，从国家层面创建一个重新规划腾空土地的愿景。
- » 更新规划条例，以反映期望的社会结果。
- » 创建新的独立机构来监督和管理这一挑战，以避免权限和优先重点存在竞争关系的现有机构之间出现冲突，包括国家、区域和地方利益。
- » 认识到这个机会将成为开发商、环保主义者、种植业者/畜牧业者和其他行业之间发生政治冲突的根源，并从一开始就积极让所有利益相关者参与进来。
- » 预计到整个城镇和地区将不成比例地受到冲击的影响，并启动项目帮助当地人口成功过渡到新的食品系统。这包括提供教育、金融、医疗和社会资本支持，以及创造新的就业机会。



## 4.2 企业和投资者

正如我们在第 3 部分中所说，畜牧业价值链上的企业——提供投入物、生产、加工、分销、零售的企业——将受到现代食品冲击的深刻影响。他们的最终结果将取决于他们在未来十年的选择。在价值链的某些部分，除了退出业务以避免价值破坏之外，他们别无选择。在其他部分，他们可以进行调整适应。认识到冲击的潜在速度和规模，将使企业和投资者有时间适应并采取行动减轻损失。可供选择的方案取决于价值链不同部分的冲击程度以及具体公司的适应能力。

### 土地所有者和畜牧业者

正确的策略取决于土地的位置和生产力，以及替代用途的价值和对土地使用的限制（见第 3 部分）。一些土地将继续被用作牧场或耕地，但考虑到可用土地供过于求将导致土地价值大幅下降，在冲击形成全面影响之前出售土地可能是最好的出路。

远离城市的低生产力土地将不需要用于食品生产。如果替代用途的美化价值较低或无法产生高价值，那么尽早出售可能也是最好的策略。与此同时，土地所有者和农场主应该停止投资，让利润和现金流最大化。

城市附近的土地可能被用作工业、商业或住宅用地，但会受到规划变化的影响，并且可能会升值。因此，持有土地并申请监管性土地用途变更可能是最好的方案。

工业化饲养场的产量将迅速萎缩，产能利用率下降，导致需要整合，但随着产量继续下降，这一过程无助于改善长期估值。

### 投入物（饲料、杀虫剂、肥料和抗生素）供应商

如第 3 部分所述，投入量将随着动物数量或土地使用量的减少而减少。然而，营收和利润将受到不成比例的影响，投入物的价格也是如此。企业应该重新考虑投资新产能的计划，要么出售现有产能，要么开始最大化现金流。如果专注于成本管理，企业也许能以低成本供应为优势。

## 加工商 (屠宰和炼油)

到 21 世纪 30 年代中期，对牲畜的剩余需求很可能只限于肉类，并将主要通过手工畜牧生产来满足。参与加工的企业应考虑提前出售或拆分相关业务部门。如果做不到这一点，停止投资并最大化短期回报可能会尽量提高回报率。

## 分销和零售

处于价值链这一部分的企业有可能在新兴体系中适应和发展。他们还有可能在新去中心化系统中纵向整合并参与食品生产。成功的企业需要重新思考现有的结构和流程，并学会应对快速变化。食品即软件的新模式意味着这些企业需要将自己视为技术公司。品牌、信任、成本和便利将是竞争优势的关键。

## 投资者

现有行业中许多企业的投资者面临的挑战应该相对轻松。如果有足够的流动性，他们总是可以选择出售。采用现代食品的时机和传统食品生产公司的价值崩坍可能不相关，因此具有不确定性，所以早期出售似乎非常明智。然而，在泡沫破裂之前，往往会出现繁荣。随着企业停止投资，短期内供应可能下降，利润可能上升，给人一种出现了新机遇的印象。如果出现像这样的反弹，就可能是卖出的好时机。

挑选赢家比确定输家更难，然而，如果投资者知道价值将在哪里创造（并不总是显而易见），这种冲击将创造非凡的机会。例如，随着太阳能光伏呈现指数级增长，太阳能电池板技术公司的回报很低，而金融家和开发商的表现却更好。在现代食品体系中，许多领域都将创造新机会，包括生物技术、软件、发酵农场和食品分销（见第 3 部分）。



## 4.3 民间社会

消费者将受到我们在第 2 部分中讨论的因素的驱动。然而，他们也会受到媒体的相关新技术报道的影响。我们预计，参与工业化畜牧业的企业将试图通过耸人听闻的报道、伪科学和其他质疑现代食品优势的策略来影响消费者。

非政府组织和其他民间社会组织将通过影响政策制定者、企业和消费者，在采用现代食品方面发挥重要作用。他们必须努力理解现代系统相对于工业化系统的优势，并确保他们的干预是基于严格的分析。在影响公众舆论方面，他们有可能成为畜牧业既得利益者的制衡力量。

这种影响可以确保新兴食品体系的全部利益在全社会得以实现。然而，根植于旧体系的思维（例如环境保护主义者将“可持续的草饲农业”等增量变化视为“有益”，将“工业化生产”等同于“有害”）将需要调整适应。与现代食品体系相比，这两种体系效率都非常低，并且已经实现了所有生产潜力。

只有打破动植物首次驯养后形成的农业体系，我们才有望确保充足、易获得、健康、廉价、营养的食品供应，而避免我们当前体系带来的破坏性环境影响。第二次驯养可提供非凡的经济和社会优势，将为环境恢复提供人类历史上最大的机会。在今天做出正确的选择，我们就可以确保每个人都获得这些巨大的利益。



## 》附录 成本方法和尾注



# 附录： 成本方法

## 引言

在本文中，我们展示了我们对精密发酵 (PF) 核心技术生产蛋白质的成本假设。低成本和不断增长的能力将意味着产品的快速采用，从企业对企业 (B2B) 成分开始，然后到达最终消费产品。

## 精密发酵

### 历史成本

- » 尽管我们的第一个数据点是在 20 世纪 80 年代，但是 PF 的最早形式出现于 20 世纪 70 年代。
- » 相关成本数据很少，但在过去几十年生物技术领域持续的竞争融合浪潮的推动下，成本已经呈指数级下降 (图 28)。
- » 我们估计，自生产第一批分子以来，成本已经下降了 10,000,000 倍，目前约为 100 美元/千克。将价格降低一个数量级，达到大约每千克 10 美元，就可以打开食品市场。<sup>204</sup>

### 未来成本分析

- » 由于一些相关技术相对落后，我们使用自下而上和自上而下 (成本曲线外推) 的混合建模。
- » 我们预计，随着我们进入精确生物学的新时代，成本将继续保持指数级改善。
- » 我们的分析基于关键领域：
  - ▶ **原料。**我们的分析使用糖 (葡萄糖) 作为主要原料，到 2030 年，效率从每生产 1 千克蛋白质需要 3 千克原料 (转化率为 3:1) 向低于 2:1 的比率发展。其他碳水化合物也有用作原料的空间。

- ▶ **基建费用。**对于发酵罐，我们的分析使用了 Quorn 的基线数据、其他行业数据以及与专家的讨论。我们还考虑了发酵罐的最新进展。

- ▶ **营业成本。**对于发酵罐，我们的分析使用了 Quorn 的基线数据，以及我们自己对发酵罐大小、利用率和其他运营成本的假设。

- ▶ **扩大。**扩大速度是最大的未知数之一，因为该领域的大多数公司都是初创企业。扩大速度将取决于资本投资，以及重新利用和获取现有基础设施和人才 (如生物乙醇或啤酒生产商) 的能力。

与大多数技术一样，边际生产成本在很大程度上取决于行业在生产相关技术方面的累积经验。这种关系被表示为“经验曲线”。从本质上来说，特定技术的累积单位数量每增加一倍，生产额外单位的成本就会降低一个特定的百分比。

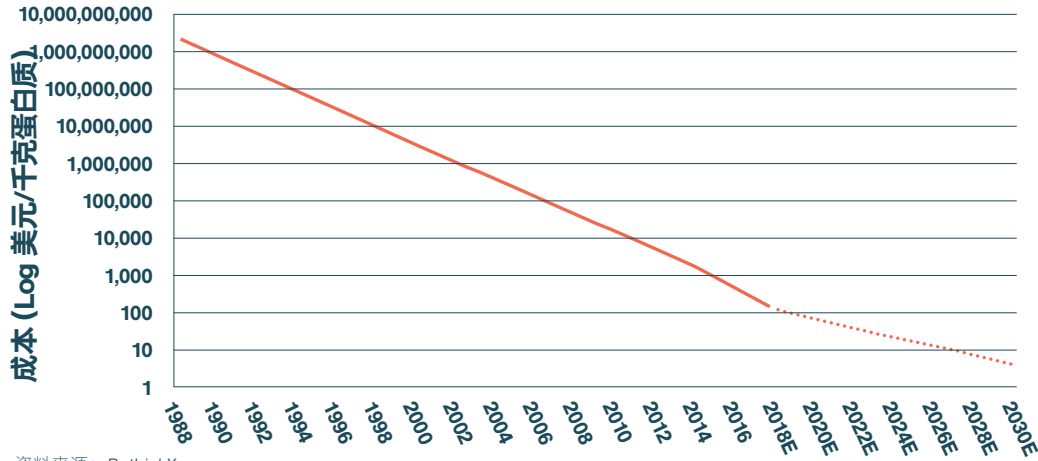
因此，技术的扩大将有助于降低成本。目前，大规模 PF 指的是从数克到数千克的规模生产。这种冲击最终将需要数百万吨的产量。目前使用的发酵罐中，最大的大于 100,000 升，但是用于 PF 的发酵罐容量在 5,000 升左右 (最大的发酵罐用于酶)。这种生产针对当前的生物标准进行了优化。然而，我们预计，随着技术的进步，这些工艺会有进一步的改进。例如，Stämm 开发了一种高通量连续工艺，将生产率提高了 74 倍。<sup>205</sup>

- » **成本预测。**图 29 展示了 1 千克蛋白质的成本曲线。然而，每种产品都含有不同数量的蛋白质。因此，最终产品将有不同的成本曲线。

- ▶ 在 2023 年到 2025 年期间，PF 蛋白的成本将达到每千克 10 美元。

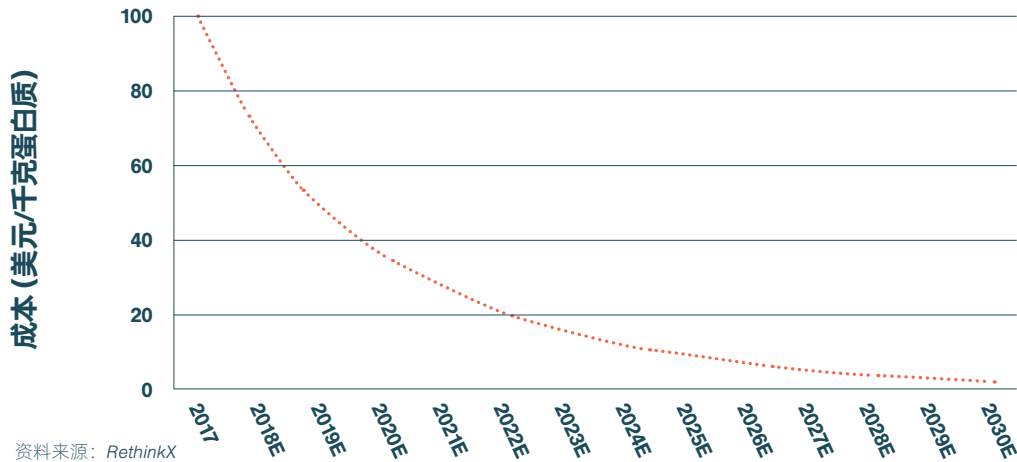
- ▶ 到 2035 年，PF 蛋白的成本将达到每千克 1 美元。

**图 28. PF 成本: 历史和预测**



资料来源: RethinkX

**图 29. PF 成本预测**



资料来源: RethinkX

### 对其他技术的影响

» PF 成本下降将推动其他技术发展, 如基于细胞的生产。细胞牛肉的经济适用性和可行性取决于 PF (见 Box 14)。

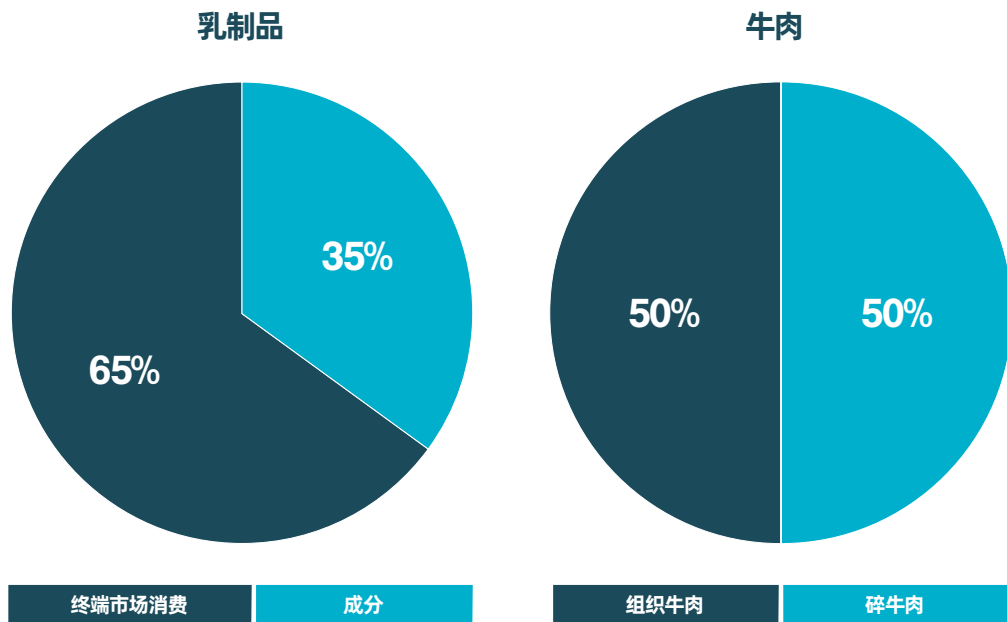
### 其他假设

- » 我们的 PF 蛋白经验曲线将由所有 PF 蛋白的生产来驱动。因此, PF 乳蛋白也将驱动血红素或胶原蛋白的经验曲线。
- » 由于没有广泛数据可用, 我们仅给出了一个日期范围。
- » 我们假设规模会继续扩大。目前, 一个大的 PF 批次的重量在 1 千克到几吨之间。
- » 目前使用的发酵罐容量约为 5000、10000 和 20000 升。
- » 只要有可能达到 100,000 升 (模块化) 的容量, 我们就可以放心地假设扩大是可能的/不可避免的, 且主要/唯一的障碍是资本。

### 产品成本分析

- » 含有 PF 的产品, 每一种的成本曲线都不同, 因为使用 PF 的产品可能使用的配方数量是无限的。
- » 正如我们在第 2 部分中所讨论的, 冲击将分为四个浪潮发生。
- » 这四个浪潮包含不同类型的产品。
- » 为了对乳制品和牛肉建模, 我们对市场进行了分割, 如图 30 所示。
- » 这是一种 B2B 成分主导的冲击, 使用 PF 产品的决策将由企业做出, 而不是消费者。
- » 因此, 我们认为乳制品成分和碎牛肉市场是关键冲击领域。

图 30. 牛肉和乳制品市场划分



注意：碎牛肉的销售额估计占牛肉总销售额的 40%-60%。我们使用了 50% 的数据，但市场可以对需求做出反应  
资料来源：RethinkX

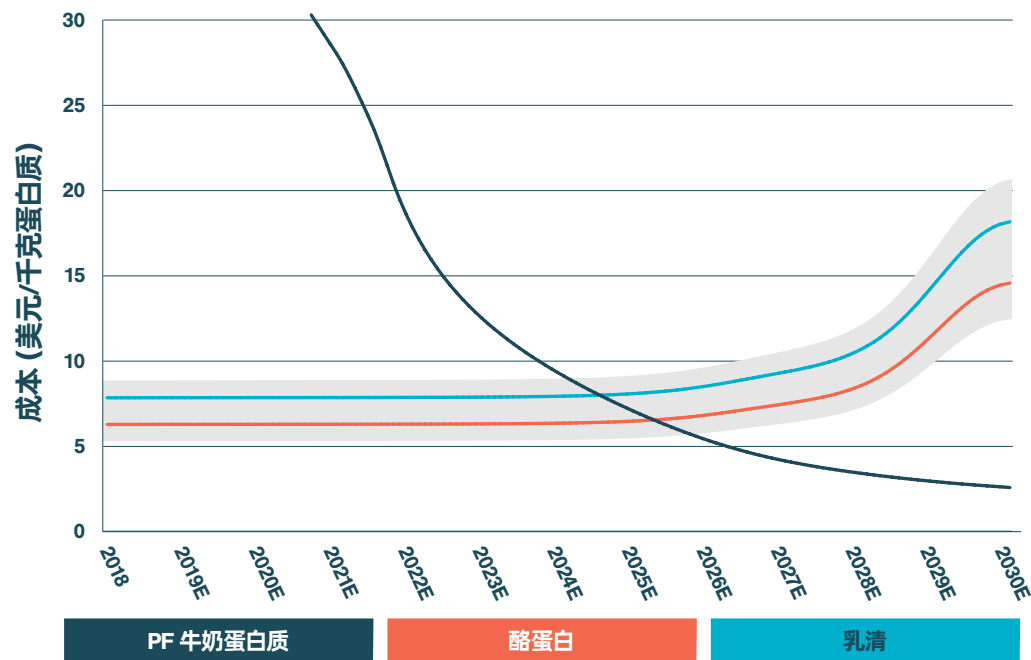
## 乳制品

### 由成分引领的市场

- » 边际生产成本很大程度上取决于生产相关产品的累积经验。
- » 对 PF 产品的需求会推动 PF 产品的生产速度，这反过来又会增加 PF 产品的累计产量。
- » 在 2023 年至 2025 年间，PF 乳蛋白的成本将达到 10 美元/千克，即相当于乳蛋白目前的批发成本。

- » 到 2030 年，这些蛋白的成本将进一步下降，同时奶牛生产牛奶蛋白的成本将增加一倍，因此，PF 奶蛋白的成本将比奶牛生产的乳清和酪蛋白低 50%-80%。图 31
- » 对牛产品的需求下降将引发负反馈循环，这将导致更高的成本，进而导致合并和破产。
- » 奶牛蛋白质成本翻倍只是保守估计——根据系统崩塌的速度，成本涨幅可能会更大（或更小）。成本上涨的倍数越高，传统系统崩塌带来的痛苦就越剧烈。

图 31. PF 乳制品的成本



资料来源：RethinkX

# 牛肉

## 由碎牛肉冲击引领的市场

» 我们对两种情况下的牛肉完全冲击进行了建模:

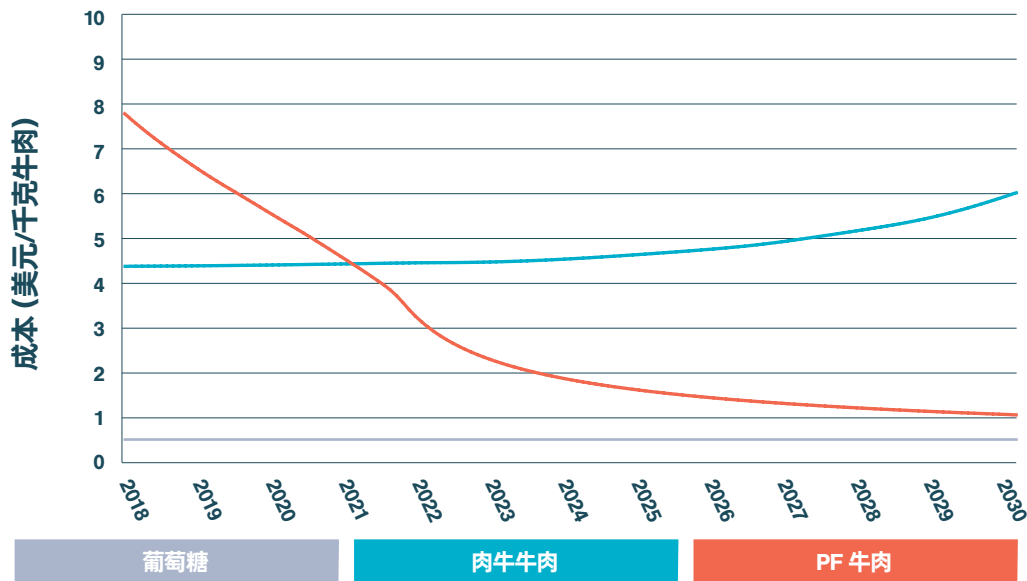
1. 仅 PF 引起的冲击 (在 2030 年之前没有细胞牛肉上市)。

- » 到 2021 年, 产品的成本将与传统肉类持平, 到 2030 年, 成本将降低 6 倍。
- » 在提升阶段, PF 含量继续增加, 从现在的 2% 增加到 2021 年 (年中) 的 10%, 再到 2023 年 (年中) 的 35%。最终, 我们预计 PF 碎牛肉的 PF 含量接近 40% 的蛋白质加脂肪上限。这只是为了进行分析, 而不是对于最佳 PF 含量的结论——可能会出现多种不同的配方。
- » 到 2030 年, 传统肉类价格将翻一番。

2. 包括细胞牛肉和 PF 支持的冲击。

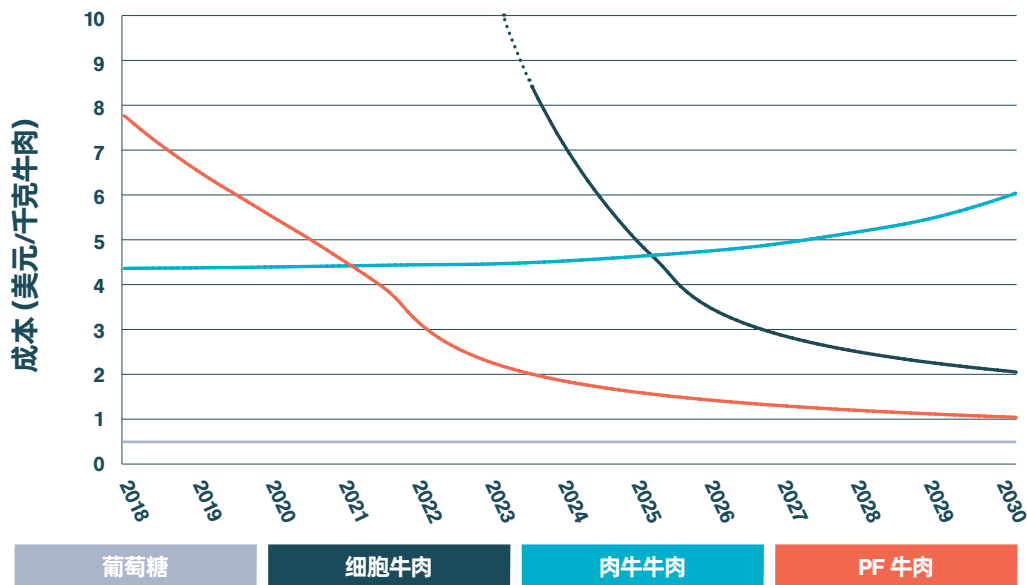
- » 有关细胞肉成本曲线的更多信息, 请见 Box 14。
  - » PF 含量如上所示。
  - » 2022 年, 第一种基于细胞的碎牛肉上市, 2024 年, 第一种组织牛肉上市
  - » 牛肉的细胞成分含量从初代产品的 10% 开始, 到 2025 年上升到 100%。
  - » 细胞肉类产品在 2025 年达到成本平价, 到 2030 年实现成本比传统肉类低三倍。
  - » 因为细胞牛肉是动物牛肉的直接替代品, 这种转变对成本更加敏感, 因此会发生得更快。
- » 由于肉类市场萎缩, 在两种情况下, 传统肉类的成本都有所增加。与其他商品一样, 产品销量减少会导致单位成本更高, 因为较低的销售量必须支持较大的单位处理基础设施量。

### 图 32. PF 牛肉与肉牛牛肉的成本



资料来源: RethinkX

### 图 33. PF 牛肉和细胞牛肉的成本



资料来源: RethinkX

## 框 14: 细胞牛肉的成本

- » 细胞肉生产技术不同于 PF, 因为它生产真正的肌肉细胞。
- » 与 PF 不同, 截至本文撰写之时, 还没有细胞肉制品上市。因此, 细胞肉的商业化有更多的技术限制, 例如难以扩大规模和为制造组织肉进行平台化。
- » PF 成本的下降将使细胞肉的商业化生产成为可能, 因为它可以用于在目前高成本的培养基中生产一些关键蛋白质 (如生长因子)。
- » 我们细胞肉成本模型利用了 Good Food Institute (GFI) 在培养基成本方面的工作成果, 但是我们在培养基的关键成本中包括了我们对于 PF 的预测。
  - ▶ 细胞肉培养基的成本是目前占比最大的单项成本——可能是边际成本的 80%-90%。GFI 的分析表明, 细胞培养营养培养基的成本降低“几个数量级”不需要突破性技术。
  - ▶ 培养基的关键成分包括可以用 PF 制造的蛋白质, 而应用我们的 PF 成本预测和 GFI 的分析, 得出的结果是培养基的成本可能会下降 4000 倍, 从现在的 400 美元/升下降到 2030 年的不到 0.10 美元/升, 其中原因包括生产规模的扩大, 也包括产品质量将有意地从医药级下降到食品级。

» **成本预测。**图 33 展示了使用细胞农业生产 1 千克碎牛肉的成本曲线 (不需要产品结构化和平台化)。

□ 2023 年到 2025 年期间, 基于细胞的碎牛肉将达到每千克 10 美元。

» **其他技术限制。**虽然细胞培养基的成本是最大的直接挑战, 细胞系的开发、规模扩大、产品平台化和结构化方面仍然存在技术挑战。由于这些问题的技术性质, 我们对相关成本参数知之甚少。

- ▶ 细胞系的开发 (或包含遗传信息的起始细胞) 将直接影响细胞生长成肉的能力。细胞系可以决定细胞翻倍和生长的速度, 以及最终产品的味道和营养。
- ▶ 规模扩大在很大程度上取决于发酵罐的设计和工艺类型 (分批次、半连续或连续)。
- ▶ 产品实现结构化和平台化的过程仍有多种方案, 包括在生长阶段的不同点在支架上种植, 也包括对细胞进行 3D 打印。我们预计挑战将在获得投资后顺利克服。平台化的成本可能因不同产品类型 (牛排、腿或肋骨) 而异。这就是为什么许多公司的首批产品都侧重于碎肉产品——这些产品不像结构化的肉块那样面临同样的挑战。

# 尾注

- 1 当被视为蛋白质成分生产系统时, 奶牛和肉牛效率极低。根据 Shepon 的研究, 奶牛只将它们消耗的蛋白质的 14% 转化为可食用的人类蛋白质, 而肉牛只转化 3%。任何将价值毁灭到这种程度的生产系统, 都是一个等待发生的冲击。Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., & Milo, R. (2016). Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. *Environ. Res. Lett.*, 11(10). 读取自[这里](#)。
- 2 de Ondarza MB. (2004). Protein. *Milk Production*. 读取自[这里](#)。
- 3 价格并不等于成本。比如说, 尽管加工成本较低, 但肉类的价格可能高于单个分子。这是因为其他产品是副产品。
- 4 Brunning, A. (2014, September 16). A Brief Guide to the 20 Amino Acids. *Compound Interest*. 读取自[这里](#)。
- 5 Milo, R. & Phillips, R. (2015, July). Cell Biology by the Numbers: How Big Is The “Average” Protein? 读取自[这里](#)。
- 6 Green, A. (2018, March 15). Saving Lives with Platypus Milk. *CSIRO*. 读取自[这里](#)。
- 7 Trafton, A. (2018, May 21). Chemists Synthesize Millions of Proteins Not Found in Nature. *MIT News Office*. 读取自[这里](#)。
- 8 现在, 生物学是在“干”(计算机)和“湿”(实验室)条件下进行的。研究人员可以使用机器人、数据处理和控制软件、液体处理设备和灵敏的探测器, 每天快速进行数十万次化学、基因或药理测试。这种高通量筛选使得科学家可以同时制备、孵育和分析许多板, 从而进一步加快数据采集过程。
- 9 Schwartz, A. S., Hannum, G. J., Dwiell, Z. R., Smoot, M. E., Grant, A. R., Knight, J. M., ... & Richardson, T. H. (2018, July 10). Deep Semantic Protein Representation for Annotation, Discovery, and Engineering. *bioRxiv*. 读取自[这里](#)。
- 10 CRISPR-CAS9 使我们能够廉价、快速、准确地编辑细胞中的 DNA。National Institute of Health (NIH), United States National Library of Medicine. (2019, May 14). What are Genome Editing and CRISPR-Cas9? 读取自[这里](#)。
- 11 NIH, National Human Genome. The Cost of Sequencing a Human Genome. 读取自[这里](#)。
- 12 2017 年, Illumina 宣布他们打算在“超过 3 年、不到 10 年”的时间里达到 100 美元基因组。Herper, M. (2017, January 9). Illumina Promises To Sequence Human Genome For \$100 – But Not Quite Yet. *Forbes*. 读取自[这里](#)。
- 13 TeraFLOPS, or trillion Floating point Operations Per Second, is a measure of computer performance. Seba, T. [Colorado Renewable Energy Society (CRES)]. (2017, June 9). *Clean Disruption – Energy & Transportation*. [Video File]. 读取自[这里](#)。
- 14 PF 不同于精密农业。精密农业的目标是从同一块土地上获取更多产量、营收和利润, 最多只能提供一点点的改善。这类类似于对胶片摄影机中使用的胶片进行改进。
- 15 我们在一般意义上定义发酵, 其中期望的产物可以是生物量、生长的初级或次级阶段的细胞内或细胞外代谢物, 或者已经转化的底物。
- 16 蛋白质可以说是许多消费产品中用作投入而生产的最重要的有机分子。有许多不同类型的蛋白质, 它们都有特定的功能, 其中包括增加复杂的结构和质地, 催化反应, 以及提供营养和治疗价值。蛋白质是所有生物的主要组成部分, 被归为具有特定功能和熟悉名称的家族, 如胶原蛋白、乳清蛋白、白蛋白、酶和抗体。
- 17 胰岛素于 1982 年上市。PF 在生物学上被称为重组蛋白生产。Fraser, L. (2016, April 7). Cloning Insulin. *Genentech*. 读取自[这里](#)。
- 18 人类生长激素于 1985 年上市。National Museum of American History. (2012, October 18). The Big Story Behind Synthetic Human Growth Hormone. 读取自[这里](#)。
- 19 凝乳酶于 1990 年上市。Flamm, E. (1991). How the FDA Approved Chymosin: A Case History. *Nature Biotechnology*. (9). 349-351. doi: 10.1038/nbt0491-349
- 20 生物制品是由那些从微生物、植物或动物细胞分离(或由其产生)的复杂分子组成的药物产品。许多是用生物技术方法(PF)制成的, 用于治疗许多严重的、难以治疗的疾病。举例而言, 生物制品包括 [Humira/胡米拉](#) (抗炎)、[Avastin/阿瓦斯丁](#) (癌症治疗) 和 [Avonex/阿伏尼克](#) (多发性硬化症)。美国食品与药物管理局 (FDA)。 (2018, June 2). What are “Biologics” Questions and Answers. 读取自[这里](#)。 Stone, K. (2019, February 4). 美国十大生物药物。 *The Balance*. 读取自[这里](#)。
- 21 使用 PF 生产的维生素包括维生素 C、B2、B12、D2、EFAs、K2、辅酶 Q10、吡咯喹啉奎宁 (PQQ) 和谷胱甘肽 (GSH)。有些可以通过化学和 PF 相结合来生产, 如烟酸或 B3、B5、C 和 L 肉碱。
- 22 Stanbury, P., Whitaker, A., & Hall, S. (2017). Principles of Fermentation Technology (3<sup>rd</sup> ed). Ch.12. *Butterworth-Heinemann*, Oxford, UK.
- 23 Fraser. (2016). Cloning Insulin. 读取自[这里](#)。
- 24 礼来公司表示, 新胰岛素的初始成本将高于当时可用的动物胰岛素。“我们预计平均每天的患者费用在 50 到 55 美分之间,” 发言人 Ronald Cusp 说。“相比之下, 这个价格在 26 到 30 美分之间。长期的愿望是成本将会下降, 但在这一点上, 我们无法猜测者需要多长时间。但是, 最终目标是让它更便宜。” Altman, L. (1982, October 30). A New Insulin Given Approval For Use In U.S. *New York Times*. 读取自[这里](#)。
- 25 反过来, 人类胰岛素又被能够持续不同时间的人类胰岛素类似物冲击。现在这些类似物拥有 90% 的市场占有率。Lipska, K. J., Ross, J. S., Van Houten, H. K., Beran, D., Yudkin, J. S., FRCP, & Shah, N. D. (2015, June 11). Use and Out-of-Pocket Costs of Insulin for Type 2 Diabetes Mellitus from 2000 to 2010. *JAMA*, 311(22), 2331-2333. doi: 10.1001/jama.2014.6316
- 26 Blakely J. Smithsonian Libraries. “In the maritime world, long before the ration of rum, weak beer on navy ships was the standard provision for sailors. Beer provided some nutrition and needed calories while not harboring harmful micro-organisms.” 读取自[这里](#)。
- 27 Motif FoodWorks 是一家旨在实现这一点的公司, 通过做所有的生物技术工作而不是自己开发消费食品来为整个行业提供

- 成分。从 Ginkgo Bioworks 分拆而来。更多信息可以在[这里](#)找到。
- 28 Gibbons, M. (2018, August). AlcheMeat – how the future of animal production rests with biochemistry. *The Biochemist (Food Production)*, *Biochemical Society*. 读取自[这里](#)。
- 29 Shike, D. W. (2013). Beef Cattle Efficiency. *Driftless Region Beef Conference*. Champaign, IL. 读取自[这里](#)。
- 30 大豆血红蛋白(血红素)是一种植物基、含血红素的蛋白,发现于大豆植物的根瘤中。它被用作来自 Impossible Foods (The Impossible Burger) 的植物基肉制品的关键成分。血红素是在血液和动物组织中发现的含铁分子,使肉尝起来像肉。Impossible Foods. Heme + Science. 读取自[这里](#)。
- 31 这些是天然存在于植物和微生物中的酶,模仿小牛凝乳酶的活性。Yacoubou, J. (2008). An Update on Rennet. *Vegetarian Journal*, 3. 读取自[这里](#)。
- 32 Yacoubou, J. (2012, August 21). Microbial Rennet and Fermentation Produced Chymosin (FPC): How Vegetarian Are They? *The Vegetarian Resource Group Blog*. 读取自[这里](#)。
- 33 FPC 一直比凝乳酶更有效率得多。最近的一项突破性进展提高了这种酶的效率,这意味着仅 1% 的产量就能在全球范围内为同样的牛奶投入增加 2.2 亿千克奶酪。Southey, F. (2019, April 3). 'Game changer' cheese enzyme increases yield by up to 1%: 'There is nothing on par with this'. *FoodNavigator*. 读取自[这里](#)。
- 34 糖的批发价格在 1973 年至 1974 年间从每千克 0.27 美元飙升至每千克 1.23 美元,在 1979 年至 1980 年间从每千克 0.46 美元飙升至每千克 1.14 美元。
- 35 HFCS-55 是高果糖玉米糖浆,其中含有 55% 的果糖。Kennedy, P. L. & Garcia-Fuentes. (2016). A Supply and Demand Estimation of the United States High Fructose Corn Syrup Market, 2016 Agriculture and Applied Economics Association Annual Meeting, Boston, Massachusetts, July 31-August 2. 读取自[这里](#)。
- 36 Troitino, C. (2018, November 8). Impossible Foods' Bleeding Burgers To Make Grocery Store Debut In 2019. *Forbes*. 读取自[这里](#)。
- 37 例如,汉堡王销售基于健康益处(0 毫克胆固醇)的 Impossible Burger。Burger King. (2019, March 31).The Impossible Taste Test, Impossible Whopper [Video File]. 读取自[这里](#)。
- 38 2018 年,新英格兰最低四分位的奶牛养殖场每头牛亏损 447 美元,所有养殖场平均每头牛亏损 40 美元 [净收入]。与此同时,从 2018 年到 2019 年,美国的奶牛场数量下降了 6.8%。Farm Credit East. (2019). Northeast Dairy Farm Summary 2018. 读取自[这里](#)。美国农业部,国家农业统计局 (NASS). (2019, March 12).*Milk Production*. 读取自[这里](#)。
- 39 乳制品市场的价格波动是与生俱来的,这是因为季节性变化、牛奶的易腐性、全球供求变化以及政府监管。自从 2010 年,美国奶价区间为 0.32 美元/千克至 0.57 美元/千克。USDA NASS. (2019). Prices received by month for milk. 读取自[这里](#)。
- 40 政府的直接和间接补贴(2015 年估计为每千克牛奶 0.27 美元)使美国奶农能够净亏损经营,从而无需赚取利润,并保护他们免受国际价格压力。随着美国牛奶消费量的稳步下降,政府一直在购买剩余产品并将其储存为奶酪,定期以政府食品援助以及企业交易的形式将其投放市场。例如,在 2018 年初,乳制品检验项目 Dairy Management Inc. (DMI) 与必胜客合作,将另外 25% 的奶酪加入他们的盘披萨饼中,努力每年向市场释放额外 7000 万千克牛奶。2019 年初,有史以来最大的剩余奶酪储存量已接近 6.17 亿千克。Grey, Clark, Shih and Associates. (2018). U.S. Federal and State Subsidies to Agriculture: Prepared for Dairy Farmers of Canada. 读取自[这里](#)。Wallin, S. (2019, February 27). Checkoff's Pizza Hut Partnership Leads To 25% More Cheese On Pan Pizzas. *Dairy Management Inc.* 读取自[这里](#)。USDA, NASS. (2019, March 7).*Cold Storage*. 读取自[这里](#)。
- 41 在乳制品行业面临的问题上积极游说政府的一些公司和组织包括 Land O'Lakes、International Dairy Foods Association、Dairy Farmers of America、National Milk Producers Federation 和 Dean Foods。The Center for Responsive Politics. (2018). Dairy: Lobbying, 2018. *Open Secrets*. 读取自[这里](#)。
- 42 Milk Facts. Milk Composition. 读取自[这里](#)。
- 43 RethinkX 基于公司和行业数据进行估计
- 44 乳清和酪蛋白的价格波动很大,在过去 10 年里,乳清的价格从 7 美元/千克到 12 美元/千克不等,酪蛋白的价格从 6 美元/千克到 10 美元/千克不等。Protein Market: Dairy Protein Market Trends and Outlook. *Blimling and Associates*. 读取自[这里](#)。UN Comtrade. 350220 Milk Albumin [Data File]. *Trade Map*. 读取自[这里](#)。UN Comtrade. 3501105000 Other Casein, Except Of Milk Protein Concentrate [Data File]. *Trade Map*. 读取自[这里](#)。
- 45 乳清是奶酪生产的副产品,随着美国奶酪消费量的增加,乳清的使用也在增加(如今奶酪占牛奶产量的 40%,高于 1950 年的 10%)。United States Department of Agriculture (USDA), Economic Research Service (ERS). (2017). *Food Availability (Per Capita) Data System:Dairy Products* [Data File]. 读取自[这里](#)。这些数据是国家这一级实际消费量的替代数据。
- 46 致力于通过 PF 生产牛奶蛋白的公司包括 [Perfect Day](#) (美国)(酪蛋白和乳清)和 [New Culture](#) (新西兰)(马苏里拉奶酪用酪蛋白胶束)。
- 47 Sugar Prices – 37 Year Historical Chart [Data File]. *Macrotrends*. 读取自[这里](#)。
- 48 在利基市场,这种冲击有很多机会。可以为动物园生产特殊的动物奶,而牛奶中可以添加特殊的蛋白质来形成更多乳脂状泡沫。
- 49 这是一个得到大规模补贴的行业。如果畜牧业是一个自由市场,三分之一的营收消失就足以让它破产。
- 50 Umhoefer, J. The whey problem and California's Solution. *Cheese Market News*. 读取自[这里](#)。
- 51 Danovich, T. (2018, August 16). One pound of cheese makes nine pounds of whey. Where does it all go? *The New Food Economy*. 读取自[这里](#)。
- 52 Bushnell, C. (2018, September 12). Newly Released Market Data Shows Soaring Demand for Plant Based Food. *Good Food Institute (GFI)*. 读取自[这里](#)。
- 53 生产用于服装和其他产品的蜘蛛丝蛋白的公司包括 [Bolt Threads](#) (美国)、[Spiber](#) (日本)和 [AMSilk](#) (德国)。
- 54 致力于通过细胞农业创造犀牛角的公司包括 [Pembient](#) (美国)和 [Ceratotech](#) (美国)。
- 55 El Gamal, A. (2017, December 27). Hacking Cell Biology To Reinvent Clothes. *Pacific Standard*. 读取自[这里](#)。
- 56 Encyclopedia Britannica. Leather. 读取自[这里](#)。

- 57 利用植物制造皮革材料的公司包括 [Ananas Anam](#) (英国, 借助菠萝叶基 Piñatex), [Malai](#) (捷克共和国, 一种借助椰子工业副产品制造的材料) 以及 [Vegea](#) (意大利, 一种借助葡萄酒工业副产品制造的材料)。
- 58 使用真菌制造皮革材料的公司包括 [Mycotech](#) (印度尼西亚)、[Mycoworks](#) (美国)、[Bolt Threads](#) (美国) 和 [Life Materials](#) (欧洲)。
- 59 通过 PF 加工胶原蛋白和皮革的公司包括 [Geltor](#) (美国) 和 [Modern Meadow](#) (美国)。
- 60 Close, D. 2014. Ground Beef Nation: The Effect of Changing Consumer Tastes and Preferences on the U.S. Cattle Industry. *Rabobank*. 读取自 [这里](#)。
- 61 素肉是小麦面筋的另一个名称。豆腐是大豆制成的。
- 62 [Quorn](#) 是一种基于菌体蛋白的产品, 于 1985 年上市。
- 63 [Beyond Meat](#) 和 [Impossible Foods](#) 是最引人注目的。
- 64 Ward, E., Burbank, D., Shigeta, R., & Estrada, A. (2018). White Paper: Sustainable Pet Food For The Future. *Wild Earth*. 读取自 [这里](#)。
- 65 Zion Market Research. (2017). Pet Food Market (Wet Food, Dry Food, Nutrition, Snacks and Others) for Cats, Dogs and Other Animals: U.S. Industry Perspective, Comprehensive Analysis and Forecast, 2016 – 2022. 读取自 [这里](#)。
- 66 Okin, G. (2017, August 2). Environmental impacts of food consumption by dogs and cats. *PLoS ONE*, 12(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181301>
- 67 尽管价格较高, 但随着消费者继续转向高质量 (有时甚至是人类等级) 的优质宠物食品, 并优先考虑宠物健康、环境保护或农场动物福利, 这些数字将会增加。
- 68 [Because Animals](#) (加拿大) 有望在 2020 年初将一种基于细胞的肉制品 (以老鼠肉作为猫食) 推向市场。其他宠物食品公司, 如 [Wild Earth](#) (美国) 和 [Bond Pets](#) (美国) 也在研究基于细胞的肉类作为宠物食品。Pet Product News Staff. (2019, April 9). Pet Food Startup to Debut Foods Made with Clean Mouse Meat. *Pet Product News*. 读取自 [这里](#)。
- 69 American Egg Board. Yes, It Really Is Incredible – The Indisputably Potent Protein Eggs Supply. 读取自 [这里](#)。
- 70 McCulloch, M. (2019, April 17). What is Halo Top Ice Cream, and is it healthy? *Healthline Media*. 读取自 [这里](#)。
- 71 Watson, E. (2018, April 16). IRI pacesetters: What were the top 10 new food launches in 2017. *Food Navigator*. 读取自 [这里](#)。
- 72 Halo Top. (2019). Dairy Ice Cream Flavors. 读取自 [这里](#)。
- 73 de Vrese, M., Stegel, A., Richter, B., Fenselau, S., Laue, & Schrezenmeir. (2001, February). Probiotics—compensation for lactase insufficiency. *The American Journal of Clinical Nutrition*. doi: 10.1093/ajcn/73.2.421s.
- 74 Mohamed, T. (2019, April 16). This century's best-performing U.S. stock sells energy drinks, not iPhones (MNST). *Markets Insider*. 读取自 [这里](#)。
- 75 Altitude Partners. (2015, April 27). 这对能量饮料市场来说可能是一个巨大的游戏改变者。读取自 [这里](#)。
- 76 Coleman, M. L. (2019, February). 难以下咽: 军队、马拉松运动员和资本主义的无情进军是如何将蛋白质棒变成一种不太可能的美国主食的。 *Topic*, 20. 读取自 [这里](#)。
- 77 Agriculture and Agri-Food Canada. International Markets Bureau. Snack, Cereal and Nutrition Bars in the United States. 读取自 [这里](#)。
- 78 Daniells, S. (2015, September 16). Protein Powders: The Heavyweight in the \$16bn Sports Nutrition Market. *Food Navigator*. 读取自 [这里](#)。
- 79 Mintel Press Office. (2015). A Snacking Nation: 94% Of Americans Snack Daily. 读取自 [这里](#)。
- 80 CSPI. Caffeine chart. 读取自 [这里](#)。
- 81 USDA, Agricultural Research Service (ARS). (2018). Egg, whole, cooked, hard-boiled [Data File]. National Nutrient Database. 读取自 [这里](#)。
- 82 Delaware Sea Grant. Omega-3 (EPA+DHA) Levels in Common Fish and Shellfish. *Seafood Health Facts*. 读取自 [这里](#)。
- 83 Wiener-Bronner, D. (2019, April 19). Soylent was a tech company that sold food. Now it wants to go mainstream. 读取自 [这里](#)。
- 84 Bistro In Vitro 是一家虚构的餐馆, 有一个基于细胞农业及其所带来可能性的创意菜单, 由一群艺术家、设计师、厨师、科学家和哲学家想象而成。读取自 [这里](#)。
- 85 这一点是基于我们对行业利润率、运营和财务杠杆的分析而做出的估计。
- 86 Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations (5th ed.)*. New York, NY: Free Press.
- 87 2019 年的一项调查发现, 30% 接受调查的美国人“非常或极有可能”购买基于细胞的肉类。中国和印度的受访者似乎更开放, 分别有 59% 和 49% 的人属于“非常或极有可能”类别, 这表明存在文化和地区差异。Piper, K. (2019, March 5). In India and China, consumers are eager for lab-grown meat. In the US? Not as much. *Vox*. 读取自 [这里](#)。Bryant, C., Szejda, K., Parekh, N., Desphande, V. & Tse, B. (2019). A Survey of Consumer Perceptions of Plant-Based and Clean Meat in the USA, India, and China. *Front. Sustain. Food Syst*, 3. 读取自 [这里](#)。
- 88 外部性是经济模型中没有捕捉到的成本, 如动物蛋白的健康成本、对环境的影响或抗生素耐药性。这些成本在部分上是对烟草或汽油征税的理由。David Robinson Simon 的 *Meatonomics* 一书非常详细地讨论了这些问题。Simon, D. R. (2013). *Meatonomics*. San Francisco, CA: Conari Press
- 89 在消费者层面, 现有的食用肉类的社会许可从 Sentience Institute 的一项调查中可以明显看出, 并由俄克拉何马州立大学的 FooDS 调查小组进行了复制和验证。两项调查都得出结论, 尽管 90% 的美国人定期食用肉类, 但超过 45% 的受访者支持禁止屠宰场和工厂化农业。这表明很大一部分人承认食用肉类的外部危害。Reese, J. (2017). Survey of U.S. Attitudes Towards Animal Farming and Animal-Free Food October 2017. Sentience Institute. 读取自 [这里](#)。FooDS: Food Demand Survey. (2018). Oklahoma State University Department of Agricultural Economics. 5(9). 读取自 [这里](#)。
- 90 燃料乙醇行业在美国拥有巨大的生产能力, 2018 年约有 200 家工厂, 产量超过 700 亿升。事实上, 2000 年代生物燃料产能建设的速度证明了产能建设的速度有多快——10 年来, 产能增长了 8 倍。United States Energy Information Administration (EIA). (2018). U.S. Fuel Ethanol Plant Production Capacity. 读取自 [这里](#)。Renewable Fuels Association. (2018). Ethanol Industry Statistics. 读取自 [这里](#)。



- 91 Cameron, B. & O'Neill, S. (2019). State of the Industry Report: Plant-based Meat, Eggs, and Dairy. *The Good Food Institute*. 读取自[这里](#)。
- 92 Cameron, B. & O'Neill, S. (2019). State of the Industry Report: Cell-based Meat. *The Good Food Institute*. 读取自[这里](#)。
- 93 Reinicke, C. Beyond Meat is going bananas, surging to a more than 550% gain since pricing its IPO (BYND). *Market Insider*. 读取自[这里](#)。
- 94 Piper, K. Impossible Foods' meatless burgers have made it a \$2bn company. *Vox*. 读取自[这里](#)。
- 95 例如, 牛群规模的微小变化会影响对玉米的需求(弹性), 但猪和鸡存量需要更大的变化才会影响玉米需求(弹性)。Suh, D. H. & Moss, C.B. (2017). Decompositions of corn price effects: implications for feed grain demand and livestock supply. *Agricultural Economics*. 48. 491-500.
- 96 牛约占饲料玉米(包括乳制品)需求的45%, 因此牛数量下降50%将意味着需求显著下降。需求的减少可能会降低玉米价格, 从而降低鸡肉和猪肉生产商的投入成本。从短期来看, 这些较低的投入成本可以提高公司和生产商的利润。这将对最终注定失败的行业的投资产生短期的积极影响。
- 97 United Egg Producers. (2018). Utilization of Eggs Produced in the U.S. 读取自[这里](#)。
- 98 Roth, K. (2012, February 22). Proteins Present in Egg White — Part of the Boiled Eggs Article. 读取自[这里](#)。
- 99 2019年3月的平均价格为10.75美元/千克, 而2019年4月的平均价格为11.30美元/千克。USDA, Agricultural Marketing Service (AMS). (2019). Egg Market News Report. 读取自[这里](#)。
- 100 Blimling and Associates. Protein Market: Dairy Protein Market Trends and Outlook. 读取自[这里](#)。UN Comtrade. 350220 Milk Albumin [Data File]. *Trade Map*. 读取自[这里](#)。UN Comtrade. 3501105000 Other Casein, Except Of Milk Protein Concentrate [Data File]. *Trade Map*. 读取自[这里](#)。
- 101 Lusk, J. L., & Tonsor, G. T. (2016). How Meat Demand Elasticities Vary with Price, Income, and Product Category. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 38(4). 673-711. doi:10.1093/aep/pvp050
- 102 这是根据对不同行业的经济分析汇编而成的, 包括直接营收和供应商营收: 肉类和禽类 7560 亿美元 (John Dunham & Associates. (2016). 2016 Economic Impact Study of the Meat and Poultry Industry. 读取自[这里](#)取回), 鸡蛋 230 亿美元 (John Dunham & Associates. (2019). Egg Producers Create Jobs in the United States. 读取自[这里](#)), and \$456bn for dairy (John Dunham & Associates. (2019). Economic Impact Study of the Dairy Products Industry. 读取自[这里](#))。
- 103 What Happens to Animal Waste. *FoodPrint*. 读取自[这里](#)。
- 104 在这种情况下, 养牛业包括牧场放牛和养殖、动物食品生产、乳制品生产、动物屠宰和加工, 以及皮革和皮革鞣制和精整。RethinkX 估计。资料来源: 劳工统计局。读取自[这里](#)。在美国, 大约有 200 万人受雇于动物农业。RethinkX 估计。
- 105 BLS. (2017). Consumer Expenditure Survey. 读取自[这里](#)。消费者平均将 2% 的支出用于肉类、乳制品、鸡蛋、鱼类和家禽。
- 106 从短期到中期, 价格可能会经历波动, 而这取决于系统对冲击前景的反应。例如, 面对肉类销售下降的前景, 畜牧业可能会停止在加工方面的投资, 在发生冲击之前导致短缺和价格上涨。
- 107 Jekanowski, M. (2011, April). Survey Says: A Snapshot of Rendering. *Rendering Magazine*. 58-61. 读取自[这里](#)。
- 108 被炼油商接受为原材料的其他材料包括餐馆油脂、杂货店和肉店废物以及死动物。然而, 这仅占业务的一小部分。
- 109 D'Costa, V. (2017). IBISWorld Industry Report: Rendering & Meat Byproduct Processing in the U.S. *IBISWorld Inc*.
- 110 其他产出包括用于油脂化学品、生物燃料和其他工业用途的脂肪产品。
- 111 这包括 38% 的玉米作物、35% 的大豆作物和 95% 的干草产量。RethinkX 估计。Merrill, D., & Leatherby, L. (2018, June 31). Here's How America Uses Its Land. *Bloomberg*. 读取自[这里](#)。
- 112 作物消费缺失因物种而有很大差异——玉米主要流向牛(45%), 大豆主要流向鸡(58%)和猪(23%)。饲料作物出口(占总耕地 15%)也将受到冲击的影响。2017年, 50% 的大豆(57% 出口到中国用作猪饲料)以及 15% 的玉米出口。RethinkX 估计, 美国农业部, 全国玉米种植者协会, 联合大豆委员会, 联合国贸易委员会。
- 113 牲畜饲料总消耗量约为 5.15 亿吨, 其中 3.05 亿吨来自农作物(玉米、大豆、高粱、大麦、燕麦、小麦和干草)。饲料作物消费中牛的比例约为 50%。牛和其他牲畜的其他饲料来源包括动物蛋白粉、磨坊副产品、矿物质补充剂和牧草。RethinkX 估计, USDA. (2017). *Agricultural Statistics 2017*. Washington, DC: 美国政府印刷局。。读取自[这里](#)。
- 114 虽然奶牛的饲料转化与可食用产品的比率(投入产出比)通常在 25:1 左右, 但现代食品的比例将接近 2:1。这意味着生产同样数量的牛肉, 需要的饲料要少 10 到 25 倍。目前, 不同的生产者使用不同的作物来达到这个目的, 但在未来, 几乎可以使用任何生物质, 其中包括生物废弃物或人类不可消化的产品(如树叶)来喂养细胞。
- 115 MacDonald, J. M. & Hoppe, R. A. (2017, March 6). Large Family Farms Continue To Dominate U.S. Agricultural Production. USDA, ERS. 读取自[这里](#)。
- 116 美国农民不断采用技术并适应市场条件。以便提高盈利能力。例如, 种植转基因大豆的土地面积从 1997 年的 17% 左右增加到 2001 年的 68%, 2014 年稳定在 94%。USDA, ERS. (2018, July 16). Recent Trends in GE Adoption. 读取自[这里](#)。
- 117 三家公司几乎占美国拖拉机和联合收割机销售额的 100%: Deere & Company, CNH Industrial 和 AGCO, 全球农业设备营收分别为 230 亿美元、120 亿美元和 90 亿美元。该行业的就业人数不到 9 万, 大多数人在这三家公司中的一家工作。
- 118 IBISWorld. (2019, February). Tractors & Agricultural Machinery Manufacturing Industry in the U.S. 读取自[这里](#)。Deere & Company 年报 (2018). 读取自[这里](#)。ACGO 年报 (2018). 读取自[这里](#)。CNH Industrial 年报 (2018). 读取自[这里](#)。
- 119 Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (FAOSTAT). *Machinery [Data File]*. 读取自[这里](#)。这是有数据的最后一年。
- 120 Merck's Innovation Center 投资于前瞻性的想法, 确定他们认为有新业务潜力的创新领域。其中之一就是洁净肉。参见[这里](#)。
- 121 [Integriculture](#) (日本) 是一家由风险基金投资的基于细胞的肉类创业公司, 而 [Shojinmeat Project](#) (日本) 是一个致力于开源、细胞基肉类生产的公民科学团体。
- 122 Day, M. & Gu, J. (2019, March 27). The Enormous Numbers Behind Amazon's Market Reach. *Bloomberg*. 读取自[这里](#)。

- 123 Diaz, J. (2019, February, 27). 联邦快递的第一个送货机器人会爬上你的楼梯, 递给你一张披萨饼。 *Fast Company*. 读取自[这里](#)。
- 124 Stewart, E. (2019, April 24). 谷歌的 Wing 已经获得了美国联邦航空局 (FAA) 对无人机送货的首次批准。 *Vox*. 读取自[这里](#)。
- 125 Sharma, S. (2018, April 10). Mighty Giants: Leaders of the Global Meat Complex. *Institute for Agriculture & Trade Policy*. 读取自[这里](#)。
- 126 Tyson 的高管在媒体、报告和演讲中多次将他们的公司称为“蛋白质公司”。在其 2019 年 5 月发布的 2018 年可持续发展报告 *Sustaining Our World, Together*, 中, Tyson Foods 被称为“美国蛋白质公司”。White, N. & Whitmore, J. (2019, May). Our 2018 Sustainability Report: Leadership Message. *Tyson Foods*. 读取自[这里](#)。
- 127 这一估计包括饲料出口 (作为饲料作物种植面积的一部分)
- 128 Khan, S., Loyola, C., Dettling, J., Hester, J., & Moses, R. (2019, February 27). Comparative environmental LCA of the Impossible Burger with conventional ground beef burger. *Quantis for Impossible Foods*. 读取自[这里](#)。
- 129 法国和美国之间的路易斯安那购买 (1803 年) 使后者的面积扩大了一倍, 领土从密西西比河延伸到落基山脉, 从墨西哥湾延伸到加拿大边境。 *Louisiana Purchase*. (2019). *History*. 读取自[这里](#)。
- 130 我们使用“重新造林”一词来涵盖重新造林和植树造林——在不久前、很久以前或从未有过森林覆盖的土地上种植树木来建立森林覆盖。
- 131 如果出现新的、更有价值的替代用途, 生产性土地价值也会受到影响。
- 132 USDA, NASS. (2018). Land Values. *Trends in U.S. Agriculture*. 读取自[这里](#)。
- 133 与 1909-1914 年的平均价格相比, 到 1933 年, 棉花价格从每千克 0.27 美元降至 0.12 美元, 玉米价格从每蒲式耳 0.84 美元降至 0.19 美元。 Fite, G. C. (1969). *Crisis in Agriculture: The Agricultural Adjustment Administration and the New Deal, 1933*. P. 10. Oakland, CA: *University of California Press*.
- 134 Norland, E. (2018, December 4). 3 Factors That Could Undercut U.S. Farmland Values. *Seeking Alpha*. 读取自[这里](#)。
- 135 USDA, NASS. (2017). Land Values, 2017 Summary. 读取自[这里](#)。
- 136 按需自动电动汽车对交通部门的同时冲击将减少拥堵, 提高交通速度, 让选择自动电动汽车的城镇和城市得以扩展。参见《交通运输行业再思考》。
- 137 USDA, ERS. (2019, March 6). Farm sector debt, inflation adjusted, 1970-2019F [Data File]. Assets, Debt, and Wealth. 读取自[这里](#)。
- 138 聚酯、尼龙和丙烯酸等合成织物的生产打开了服装市场, 并允许廉价大量生产服装和其他用途的织物。这些含塑料的材料是海洋 (和垃圾填埋场) 中微塑料的最大来源 (35%), 而这构成一个重大的、影响深远的全球污染问题。 Boucher, J. & Friot, D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. *International Union for Conservation of Nature (IUCN)*. 读取自[这里](#)。
- 139 牛在被宰杀之前, 通常会在农场之间移动 6 次, 即在牲畜卡车上行驶大约 200 英里。 Kannan, N., Saleh, A., & Osei. (2016). Estimation of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Transportation in Beef Cattle Production. *Energies*, 9(11), 960. 读取自[这里](#)。
- 140 这一估计包括活的动物和鱼、动物饲料、肉和海鲜、谷物 (40%)、肥料 (40%)、牛奶和乳脂。 (2017). *Center for Transportation Analysis*. (2017). *Freight Analysis Framework Data Tabulation Tool* [Data File]. 读取自[这里](#)。
- 141 在整个供应链中, 食品储存、零售和运输中的冰箱是能源的主要消费者。冰箱占杂货店和超市能源使用大约 40%, 占家庭能源大约 14%。
- 142 英国的一份报告显示, 总能源的 6% 用于非家用制冷, 其中包括零售展示、冷藏运输和冷藏。肉类和乳制品的冷藏是这一总量的主要来源, 所以我们可以假设, 这些方面的任何减少都会对美国的能源使用产生显著影响。目前, 美国冷库中大约有 6.35 亿千克奶酪和 12 亿千克肉类, 这意味着大量的能源消耗。 RethinkX estimate, Swain, M. (2008). Energy use in food refrigeration. *University of Bristol*. 读取自[这里](#)。
- 143 约占美国石油产品消费量的 1%。 EIA. (2019, March 14). FAQ: How much oil is consumed in the United States. 读取自[这里](#)。
- Hitaj, C. (2017, February 6). Energy Consumption and Production in Agriculture. *USDA, ERS*. 读取自[这里](#)。
- 144 百分比适用于 2019 年总计。包括农业和林业消费。 International Energy Agency (IEA). (2018). United States: Balances for 2016 [Data File]. IEA World Energy Balances 2018: 统计数据浏览器。 读取自[这里](#)。 EIA. (2019, March 14). 读取自[这里](#)。
- 145 联合国粮食及农业组织 (粮农组织)。 (2018). *Global Livestock Environmental Assessment Model 2.0 (GLEAM)* [Data File]. 读取自[这里](#)。
- 146 United States Environmental Protection Agency (EPA). (2019). 2. Trends in Greenhouse Gas Emissions. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2017*. 读取自[这里](#)。
- 147 粮农组织。 (2018). GLEAM 2.0 – Assessment of greenhouse gases emissions and mitigation potential. 读取自[这里](#)。
- 148 United Nations. UN Water: Water and Climate Change. 读取自[这里](#)。
- 149 Antczak, J. (2019, March 14). 潮湿的冬天结束了加州连续 376 周的干旱。 *AP News*. 读取自[这里](#)。
- 150 Brown, T. C., Mahat, V., & Ramirez, J. A. (2019). Adaptation to future water shortages in the United States caused by population growth and climate change. *Earth's Future*, 7, 219– 234. 读取自[这里](#)。
- 151 USDA ERS. (2019). Irrigation and Water Use. 读取自[这里](#)。
- 152 Schaffer, K. H. (2008). Consumptive water use in the Great Lakes Basin. United States Geological Survey (USGS) National Availability and Use Program. 读取自[这里](#)。 Dieter, C. A., Maupin, M. A., Caldwell, R. R., Harris, M. A., Ivahnenko, T. I., Lovelace, J. K. &... Linsey, K. S. (2018, June 19). Estimated use of water in the United States in 2015. USGS. 读取自[这里](#)。
- 153 Rascoe, A. (2015, January 17). Farms can be held liable for pollution from manure: U.S. court. *Reuters*. 读取自[这里](#)。
- 154 What Happens to Animal Waste. *FoodPrint*. 读取自[这里](#)。
- 155 Mallin, M. A. & Cahoon, L. B. (2003, May). Industrialized Animal Production—A Major Source of Nutrient and

- Microbial Pollution to Aquatic Ecosystems. *Population and Environment*, 24(5). doi: 10.1023/A:1023690824045
- 156 “PF 产品”包括添加到最终产品中的植物成分。Khan, S., Loyola, C., Dettling, J., Hester, J., & Moses, R. (2019, February 27). Comparative environmental LCA of the Impossible Burger with conventional ground beef burger. 读 取自[这里](#)。
- 157 Nielsen, P.H., Oxenbøll, K. M., Wenzel, H. (2006). Cradle-to- Gate Environmental Assessment of Enzyme Products Produced Industrially in Denmark by Novozymes A/S. *Int J LCA, OnlineFirst*. 读取自[这里](#)。
- 158 Caliando, B. J. & Voight, C. A. (2015). Targeted DNA degradation using a CRISPR device stably carried in the host genome. *Nature Communications*, 6. doi: 10.1038/ ncomms7989. Sarabjeet Singh Ahluwalia & Dinesh Goyal (2013) Microbial Waste Biomass for Removal of Chromium(VI) from Chrome Effluent, *Bioremediation Journal*, 17:3, 190-199, doi: 10.1080/10889868.2013.807770
- 159 US FDA. (2017, December 10). Steroid Hormone Implants Used for Growth in Food-Producing Animals. 读取自[这里](#)。
- 160 Ferris, R. (2015, May 12). Steroids for cattle causing sex changes in fish. *CNBC*. 读取自[这里](#)。
- 161 Pollan, M. (2002). Power Steer. *New York Times*. 读取自 [这里](#)。
- 162 性别比率是人口中男性与女性的比率。Biswas, S., Shapiro, C. A., Kranz, W. L., Mader T. L., Shelton, D. P., Snow, D. D., ... & Ensley, S. (2013, August). Current knowledge on the environmental fate, potential impact, and management of growth-promoting steroids used in the US beef cattle industry. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68(4). doi:10.2489/jswc.68.4.325
- 163 American Farm Bureau Federation. (2019, March 25). Where’s the (hormone-free) beef? 读取自[这里](#)。
- 164 Gross, A. S. (2018, May 1). New film shines light on cattle industry link to Amazon deforestation. *Mongabay*. 读取自 [这里](#)。
- 165 Butler, R. A. (2019, April 1). 10 Rainforest Facts for 2019. *Mongabay*. 读取自[这里](#)。
- 166 World Wildlife Fund. Deforestation and Forest Degradation. 读取自[这里](#)。
- 167 National Geographic. Grassland Threats. 读取自[这里](#)。
- 168 Dudley, N. & Alexander, S. (2017, June 4). Agriculture and Biodiversity: a review. *Food, Agriculture and Biodiversity*, 2-3, 45-49. 读取自[这里](#)。
- 169 Gaveau, D. L. A., Sheil, D., Husnayaen, Salim, M. A., Arjasakusuma, S., Anrenaz, M., ... & Meijaard. (2016, September 8). Rapid conversions and avoided deforestation: examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. *Scientific Reports*, 6, doi: 10.1038/srep32017 (2016)
- 170 Lippert, C. (2018, August 31). These Y Combinator (S18) startups could change farming forever. *Medium*. 读取自 [这里](#)。
- 171 其中, 128000 人住院, 3000 人死亡。Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2018). *Causes of Food Poisoning*. 读取自[这里](#)。
- 172 从 1998 年到 2008 年, 食源性疾病爆发每年导致约 1400 人死亡——其中 43% 的死亡可归因于陆地动物 (10% 为乳制品, 4% 为牛肉, 20% 为家禽)。Painter, J. A., Hoekstra, R. M., Ayers, T., Tauxe, R. V., Braden, C. R, Angulo, F. J., & Griffin, P. M. (2013, March). Attribution of Foodborne Illnesses, Hospitalizations, and Deaths to Food Commodities by using Outbreak Data, United States, 1998–2008. *Emerg Infect Dis*, 19(3), 407-415. doi: 10.3201/eid1903.111866.
- 173 世界卫生组织 (世卫组织)。(2017, November 7). Stop using antibiotics in healthy animals to prevent the spread of antibiotic resistance. 读取自[这里](#)。美国食品应药物管理局鼓励, 在回应这一统计时, 考虑动物种群、生理学和新陈代谢。FDA. (2018, December 12). Questions and Answers: Summary Report on Antimicrobials Sold or Distributed for Use in Food-Producing Animals. 读取自[这里](#)。
- 174 Gottlieb, S. (2018, September 14). *FDA’s Strategic Approach for Combating Antimicrobial Resistance* [Speech]. FDA. 读取自[这里](#)。FDA, Center for Veterinary Medicine (CVM). (2018, September). Supporting Antimicrobial Stewardship In Veterinary Settings: Goals For Fiscal Years 2019 – 2023. 读 取自[这里](#)。
- 175 禁令实施后, 标明用于促进生长或促进生长/治疗用途的具有医学重要性的抗生素的销量为零, 而标明治疗用途的抗生素的销量在同一年增长了 114%。这表明, 一些制造商只是替换了标签上的建议用途, 以绕过禁令 (总体上仍有 30% 的下降)。FDA. (2017, December). 2017 Summary Report on Antimicrobials Sold or Distributed for Use in Food Producing Animals. 读取自[这里](#)。Stockton, B & Davies, M. (2018, December 19). Antibiotic use plummets on US farms after ban on using drugs to make livestock grow faster. *The Bureau of Investigative Journalism*. 读取自[这里](#)。Lurie, P. G. (2018, December 18). Antibiotics Sales for Farm Animals Dip Dramatically Following FDA Growth Promotion Ban. *Center for Science in the Public Interest (CSPI)*.读取自[这里](#)。
- 176 Review on Antimicrobial Resistance. (2016, May). Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report And Recommendations. 读取自[这里](#)。
- 177 Waters, H., & Graf, M. (2018, October). America’s Obesity Crisis: The Health and Economic Costs of Excess Weight. *The Milken Institute*. 读取自[这里](#)。
- 178 蛋白质能量营养不良 (PEM) 是一场危机, 导致全球 600 万人 (主要是低收入国家的儿童) 死亡。蛋白质缺乏会影响身体的所有功能, 其中包括大脑和大脑功能、免疫系统 (从而增加感染风险) 和肾功能。Institute of Medicine. (2006). *Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements: Proteins and Amino Acids*. 145-155. Washington, DC: The National Academies Press. 读取自 [这里](#)。
- 179 BLS. (2017). 读取自[这里](#)。
- 180 RethinkX 估计, Bureau of Labor Statistics, John Dunham & Associates. 就业估计包括动物生产、屠宰、加工、批发和分销。United Soybean Board (USB). *Economic Analysis of Animal Agriculture. Decision Innovation Solutions*. 读取自[这里](#)。
- 181 许多这类工作, 尤其是屠宰和肉类加工行业的工作, 都是由非熟练和半熟练移民 (有证件和无证件) 来完成的, 他们和其他工人一起经历着美国最危险和最不愉快的工作环境。工人们容易受伤, 如累积性创伤障碍、情感创伤、截肢、骨折和烧伤。美国 BLS 列出的受伤和患病比率比全国平均水平高 2.5 倍, 需要工作限制或休假天数的重伤比美国整个行业高出三倍以上。Wasley, A. (2018, July 5). Two amputations a week: the

- cost of working in a U.S. meat plant. *The Guardian*. 读取自[这里](#)。
- 182 USDA, NASS. (2015). Agriculture Census Highlights. 读取自[这里](#)。
- 183 平均而言, 在奶牛-小牛饲养业、畜牧业和饲养场, 只有大约 40% 的农场产值来自牛。(2008). McBride, W. D. & Mathews Jr., K. (2011). The Diverse Structure and Organization of U.S. Beef Cow-Calf Farms. USDA. 读取自[这里](#)。
- 184 Smith, K. (2018, June 28). Vegan Brand Beyond Meat Triples Production, Creating 100s Of Jobs At New Factory. *LIVEKINDLY*. 读取自[这里](#)。Beyond Meat. (2018, June 28). Beyond Meat Triples Production Footprint. 读取自[这里](#)。
- 185 Smith, K. (2019, March 11). Vegan Meat Factory To Create 300 New Jobs In Britain. *Live Kindly*. 读取自[这里](#)。
- 186 没有任何公开的数据, 但是行业估计可以在[这里](#)找到。
- 187 US Securities and Exchange Commission. (2019, April 22). Beyond Meat, Inc. Form S-1 Registration Statement. 读取自[这里](#)。
- 188 全美啤酒销售和生数据。Brewers Association. 读取自[这里](#)。
- 189 疯牛病最早于 1986 年在英国发现, 导致欧盟禁止英国牛肉进口 4 年, 美国禁止欧盟牛肉进口 15 年 (仅 6 例确诊病例), 以及多个亚洲国家禁止美国牛肉进口 4 年, 这让美国农民和加工商损失了 110 亿美元。Mad Cow Disease Fast Facts. (2019, June 4). *CNN*. 读取自[这里](#)。Doering, C. (2008, October 7). Mad-cow ban cost U.S. \$11bn. *Reuters*. 读取自[这里](#)。
- 190 2001 年, 高度传染性的口蹄疫在英国肆虐, 超过 600 万只羊、牛和猪被扑杀。那一年, 大量焚烧尸体和禁区导致旅游业下滑 10%, 纳税人和私营部门损失逾 80 亿英镑。Bates, C. (2016, February 17). When foot-and-mouth disease stopped the UK in its tracks. *BBC News*. 读取自[这里](#)。
- 191 2014 年, 美国爆发禽流感, 导致 5000 多万只鸡和火鸡死亡, 其中 12% 为蛋鸡, 8% 为火鸡。禽流感已知也会传播给人类。从 1918 年到 1919 年, 西班牙流感 (一种禽流感) 达到了瘟疫状态, 导致 3000 万到 5000 万人死亡。Ramos, S., MacLachlan, M. & Melton, A. (2017). Impacts of the 2014-2015 Highly Pathogenic Avian. Influenza Outbreak on the U.S. Poultry Sector. USDA, ERS. 读取自[这里](#)。Akpan, N. (2019, June 20). To fight the next major pandemic, flu hunters turn to these animals. *PBS News Hour*. 读取自[这里](#)。
- 192 Dinh, H. & McNeil, S. (2019, June 21). 专家称, 猪瘟是亚洲有史以来最大的动物疾病爆发。 *Global News*. 读取自[这里](#)。
- 193 Hervey, A. (2018, April 5). I Like My Steak Lab-Grown, Not-Grass Fed. *FutureCrunch*. 读取自[这里](#)。
- 194 Compassion in World Farming. Strategic Plan 2018-2022. 读取自[这里](#)。
- 195 在美国, 大约 95% 被屠宰动物是鸡。农场动物中有 95% 至 99% 在工厂化农场饲养, 其中包括 98% 以上的鸡、95% 以上的猪和 50%-80% 的牛。美国防止虐待动物协会 (ASPCA)。Factory Farms. 读取自[这里](#)。Reese, J. (2017, October). Survey of U.S. Attitudes Towards Animal Farming and Animal-Free Food October 2017. *Sentience Institute*. 读取自[这里](#)。
- 196 加州在美国带头反对美国的残酷农业实践, 出台的措施最多。特别是第 12 号提案 (Proposition 12) 是最全面的措施之一, 其中包括取消产鸡蛋生产中所用的鸡笼以及对小牛和母猪的禁闭。美国现有的保护农场动物的法律包括四个州禁止牛断尾, 九个州禁止母猪妊娠箱, 九个州禁止小牛禁闭, 以及六个州禁止母鸡极端禁闭Lubin, G. (2017, February 8) The U.S. is making a big shift away from factory farming. *Business Insider*. 读取自[这里](#)。Animal Welfare Institute. (2018). Legal Protection for Animals on Farms. *Animal Welfare Institute*. 读取自[这里](#)。California Proposition 12, Farm Animal Confinement Initiative.(2018). *BallotPedia*. 读取自[这里](#)。
- 197 Association of Brazilian Beef Exporters.(2016, September 2). Brazilian Livestock Profile: Annual Report. 读取自[这里](#)。
- 198 RethinkX 估计, 美国人口普查局
- 199 World Atlas. Countries Most Dependent on Others for Food. 读取自[这里](#)。
- 200 Grey, Clark, Shih and Associates, (2018). 读取自[这里](#)。
- 201 奶牛场的生产成本高于市场价格 (其中包括补贴)。有一些高收入的农场, 但这些农场不是小型家庭农场, 而是大型工业企业, 这些企业能够更好地应对经济变化。像乳制品出口激励计划 (Dairy Export Incentive Program, DEIP) 这样的关税覆
- 盖了美国农民的生产成本和国际通行价格之间的差额。Grey, Clark, Shih and Associates. (2018). 读取自[这里](#)。
- 202 Moon, E. (2019, January 10). What Will The U.S. Government Do With 1.4 Billion Pounds Of Cheese? *Pacific Standard*. 读取自[这里](#)。
- 203 牛肉和乳制品行业有非常强大和完善的核查计划, 利益团体和游说团体与美国农业部以及联邦食品应药物管理局合作, 确保牛肉仍然是美国人的重要食品。这两个行业都在努力从非屠宰动物产品中删除“肉”和“牛肉”的说法。Popper, N. (2019, February 9). You Call That Meat? Not So Fast, Cattle Ranchers Say. *New York Times*. 读取自[这里](#)。Heid, M. (2016, January 8). Experts Say Lobbying Skewed the U.S. Dietary Guidelines. *TIME*. 读取自[这里](#)。
- 204 2019 年, Spiber 宣布已开始在泰国建设一个 Brewed Protein™ 大规模生产工厂 (宣告在[这里](#)), 这是迈向成本竞争力的关键一步。报告称, 一旦投入运行, 这将把成本降低到每千克 20-50 美元。García, L. (2019, June 11). Along came Spiber: How synthetic proteins are weaving a new era in materials. Synbiobeta. 读取自[这里](#)。Spiber. Background: 11 years of technological innovation. 读取自[这里](#)。
- 205 Stämm's IndieBio 的讲话可以在[这里](#)观看。