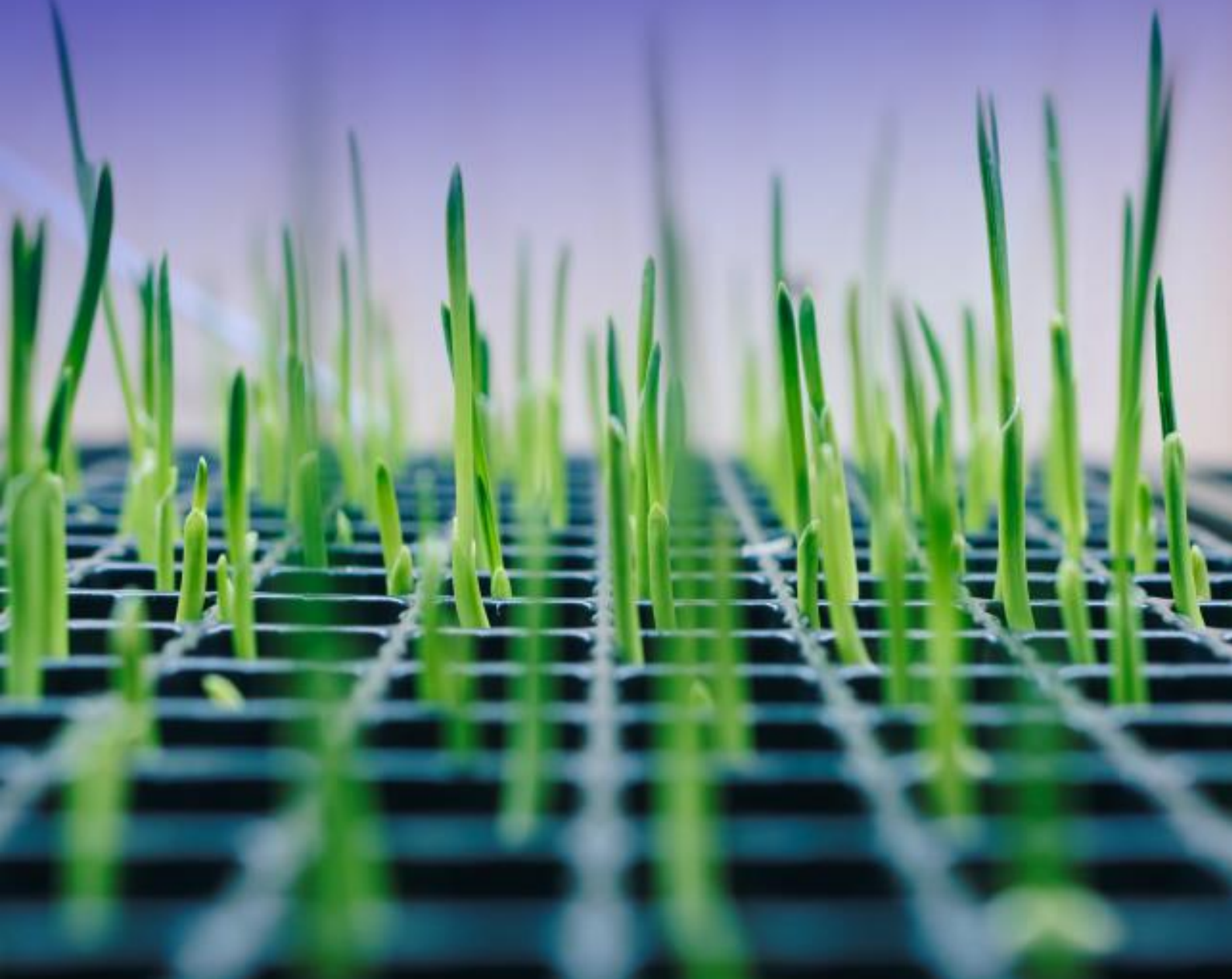




世界经济论坛

构建充满活力的食品创新生态系统

中国科学院上海营养与健康研究所

上海生命科学信息中心

上海市生物工程学会

2024 年 10 月

世界经济论坛：构建充满活力的食品创新生态系统

编者按：替代蛋白作为农业领域的一项变革性创新，在气候变化、生物多样性、食品安全和公共健康等领域都展现出广阔的应用前景。2024 年 5 月，世界经济论坛（World Economic Forum, WEF）发布题为《构建充满活力的食品创新生态系统：以色列如何推动各领域的替代蛋白发展》（Creating a Vibrant Food Innovation Ecosystem: How Israel Is Advancing Alternative Proteins Across Sectors）的白皮书。该报告以以色列为例，详细阐述了该国如何构建协作、动态、充满活力的食品科技创新生态系统，同时，强调了政府在推动技术进步和应用发展中的关键作用。

1. 替代蛋白质行业发展的推动因素

1.1 经济增长与创新

政府通常将替代蛋白行业视为未来推动经济增长和创造就业机会的重要领域。通过支持研发和提供财政激励，政府可以为初创企业、商业机构和研究机构创造一个繁荣发展的环境。这不仅提升了国家的全球竞争力，还促进了新兴职业、学术与产业的合作，以及经济的整体活力。根据麦肯锡经济学家为气候工作基金会和全球甲烷中心在 2023 年所做的预测分析显示，替代蛋白行业将在全球范围内创造 8,300 万个就业岗位，并在 2050 年形成近 7,000 亿美元的市场。

1.2 粮食安全

替代蛋白行业是为了应对全球日益增长的蛋白质需求而采取的战略措施。在面对人口增长、气候变化和资源短缺等挑战时，发展替代蛋白可以降低供应链风险，使全球食品生产更加多样化并提高效率。此外，投资替代蛋白还有助于肉类生产在面临极端天气、疾病暴发以及作物疾病和害虫时，增加抗风险能力。那些能够战略性地适应全球食品系统变化并多元化食品价值链的国家，将从将替代蛋白纳入国家政策所带来的积极影响中受益。

1.3 环境与气候

食品和农业行业的温室气体排放占全球总排放量的 1/3。其中，动物农业（包括用于饲养动物的作物种植和牧场）就占 11-20% 的排放量。传统的动物农业面

面临着严重的限制。随着人们用于食品生产的空间逐渐减少，全球范围内的森林砍伐和其他生态系统的破坏问题也日益加剧。替代蛋白提供了一种解决方案，通过大幅降低农业温室气体排放、逆转森林砍伐并恢复关键生态系统，应对气候和生物多样性危机。波士顿咨询集团（BCG）的研究表明，若替代蛋白市场占有率达到 11%，其气候缓解效果几乎相当于彻底实现航空业的碳减排，而这还不包括由于减少放牧和饲料作物生产所释放的土地带来的碳封存潜力。

1.4 技术领导力

各国政府长期以来一直资助以推动农业技术创新的研究。引领替代蛋白领域的创新，将使国家在新兴技术领域占据领导地位。政府部门也认识到，如果成为全球公认的食品和农业创新中心，将赋予国家在全球范围内更大的影响力。

1.5 监管框架

在现有框架下，政府可以建立清晰、支持性、灵活且高效的监管流程，确保安全和透明的操作路径。这将增强消费者和行业参与者的信心，推动替代蛋白市场的健康发展，并促进食品系统向更加可持续、安全和公正的方向转变。

1.6 早期采纳创新

政府可以引导社会成为创新生态系统的先行者，应该鼓励对全面解决方案的投资，为创新提供所需的条件，同时解决提升生产系统和增加消费者接受度的问题。在引入新食品技术解决方案时，关键在于建立完整的价值链，并在每一步中获取经验。

1.7 利用和促进私人投资

公共投资与私人部门投资相结合，能够有效刺激新市场、创造就业机会和提供创新解决方案。虽然私人资金对研究很重要，但其往往倾向于应用科学和商业化，以追求即时回报。公共投资则致力于支持长期基础研究，这类研究虽耗时较长，却常能带来意想不到的突破。从雷达和信息技术的诞生，到清洁能源技术的革新和疫苗的研制成功，历史无数次证明了公共和私人研发合作展现出对科学进步、社会发展和经济增长的协同效应。此外，政府可以通过减少新食品技术（包括替代蛋白）投资的风险，鼓励私人投资。通过提供关键资源和基础设施，政府为企业在这一新兴领域的成功奠定基础。这种参与不仅能吸引更多私人投资，还能促进替代蛋白项目的可持续性和扩展性。

1.8 促进学术与产业合作

科学、技术和创新政策的实施已成为政府总体战略的重要组成部分。这些政策有助于形成更加包容、全面和协调的研发方法，确保公司、消费者和政府能够以最低成本获取最新技术。这一举措加速了替代蛋白技术的发展和應用，使国家得以在食品系统变革中占据前沿地位。因此，各国政府开始重视这一领域。然而，要实现全球气候、生物多样性、粮食安全和公共卫生目标，需要大幅提升投资水平，以加速蛋白质转型的规模和速度。

根据好食品研究所（Good Food Institute, GFI）2022 年的全球政策报告，公众对替代蛋白生态系统的支持可能已超过 10 亿美元。虽然政府正在增加对替代蛋白的财政、政策和监管支持，但尚未达到实现其对经济、气候和全球食品系统所需的年度支持水平。为了释放替代蛋白的全部潜力，预计全球每年需要投入 100 亿美元用于研发和商业化。

尽管替代蛋白已吸引了数十亿美元的私人资金（包括培养肉、植物基肉类和发酵肉类），但仍远远不够。特别是培养肉领域的投资不到 30 亿美元，分布在 100 多家公司，这甚至不足以覆盖一座电动汽车电池工厂的成本，且远低于 2023 年在清洁能源领域 1.7 万亿美元的投资。尽管培养肉技术仍处于初期阶段，但其发展潜力有望与其他清洁技术投资相媲美。

食品技术的发展需要大量投资，这对许多欠发达国家来说是一个挑战。鉴于各国能力不同以及在替代蛋白价值链中的角色不同，战略合作变得尤为重要，以确保投资、专业知识和技术的共享。通过合作，可以弥合财务差距，支持包容性增长，推动全球范围内的替代蛋白发展。全球论坛，如食品创新中心，能够显著解决共同面临的挑战，例如确保消费者接受度和建立与传统肉类行业公平竞争的环境。

政府还应考虑投资开放获取研究，并为私营部门创造激励措施，以实现植物基和培养肉的全部经济和社会利益，使这些选择对所有人可及。具体来说，政府应资助科学研究、创建科学创新中心，并激励私营部门在替代肉类生产方面的研发、制造和基础设施扩展。投资税收优惠、贷款担保等财政措施，以及示范项目，已经在可再生能源和电动汽车领域取得了显著成效，类似措施也能推动替代蛋白基础设施的发展。政府支持的创新，通过增加对替代蛋白研发的投资，可以产生

乘数效应，带来更具韧性的食品供应、更多的消费选择、更符合气候需求的农业就业机会、更环保的蛋白质生产，并增强全球生物经济的实力。

2. 当前的挑战

2.1 成本竞争力

替代蛋白行业面临的资本支出 (CAPEX) 挑战，影响了研发工作的持续进行，而这些研发对于生产过程的优化至关重要。由于替代蛋白创新属于深度技术，扩大生产能力以满足日益增长的需求需要大量投资。要实现规模化生产，需要吸引那些对长期回报有信心的投资者。政府可以通过提供财政支持、补助或激励措施，帮助企业减轻运营规模扩大带来的财务负担。

2.2 监管不确定性

替代蛋白行业在一个动态且不断演变的技术环境中运作。然而，通过以色列、新加坡和美国等国家的经验来看，现有的监管框架可以有效适应这些创新的独特特征。因此，政府需要积极参与制定明确的法规，确保产品安全并鼓励创新，同时也应借鉴其他国家的经验，完善本国的监管体系。

2.3 与本地产业的合作

在食品科技初创企业、农民、食品产业和制药行业之间的合作至关重要，因为这些行业通常拥有扩大规模和进行大规模生产所需的专业知识。政府可以通过促进战略合作伙伴关系，搭建知识交流、技术转移和合作创新的平台。通过鼓励和支持这种合作，可以加速替代蛋白的生产能力，最终提升该行业在全球市场中的竞争力。

综上所述，政府需要提供财务支持、明确监管框架以及促进产业合作，以推动替代蛋白行业可持续发展，使其成为未来食品体系的重要组成部分。

3. 全球加速推进替代蛋白质领域的公共支持

各国政府除了在替代蛋白的研发和商业化的投资，还将可持续蛋白质纳入到本国的生物经济、生物制造、食品安全、全球健康和可持续发展战略中。要实现替代蛋白行业达到足够的规模和速度，还需要更加大力度的投资。以下是 3 个国家的具体实践。

3.1 丹麦

丹麦制定了一项推动植物性食品的战略行动，设立了超过 1 亿欧元的植物性食品基金。该行动计划涵盖多个方面，包括向种植植物蛋白质作物的农民提供奖金，开展专业教育，支持出口、生产加工并强化研发活动。丹麦通过这一战略，展现了其在替代蛋白领域促进可持续发展和创新的承诺。

3.2 新加坡

新加坡政府通过有针对性的投资，提前布局未来对可持续蛋白质的需求。由 Nurasa 与新加坡科学技术研究局 (Agency for Science, Technology and Research, A*STAR) 合作成立的食物科技创新中心 (FTIC)，不仅提供从研发到试验规模生产的服务，还为潜在的投资提供支持。此外，新加坡是全球首个批准销售细胞培养肉的国家，树立了行业先例。

3.3 荷兰

2020 年，荷兰农业、自然和食品质量部推出国家蛋白质战略，旨在未来 5—10 年内提高植物性和创新蛋白质的自给自足能力。目前，荷兰 80% 的植物蛋白质依赖进口，同时也是欧盟最大的豆类进口国。荷兰正积极推进这一战略，逐步重塑其蛋白质产业结构。

4. 案例研究：以色列如何推动各领域的替代蛋白质发展

4.1 以色列替代蛋白质行业的生态系统

在过去五年中，以色列的替代蛋白领域经历了显著的变革。这一变革得益于多学科的融合、充满活力且敢于冒险的创业环境，以及公共部门的积极参与。这些因素为以色列在该领域的持续发展奠定了基础。

促进协作的学术环境。以色列的创业者、研究人员、食品公司和公共部门之间的紧密合作，创造了一个有利于替代蛋白技术发展的环境。目前，有超过 70 名研究人员专注于替代蛋白研究，其中 10 人在 2023 年就开始了他们的研究项目，为这一新兴领域的进步做出了贡献。此外，还有近 300 名研究人员在生物技术、微生物学和制药等相关领域工作，他们的专业知识和经验也有助于推动替代蛋白行业的发展。希伯来大学和以色列理工学院在 2023 年宣布将建立专注于食品系统和替代蛋白的研究中心，这一举措预计将显著提升本地的研究和商业环境 (图 1)。

确保创业公司的创新和不断发展。2023 年，以色列替代蛋白领域创下了 15

家新兴创业公司的记录。这些公司涵盖细胞培养、植物基和发酵 3 种技术，同时也包括专注于最终产品、原料和支持技术的企业。技术的多样性不仅促进了领域的协同发展，也推动了进一步的创新。截至 2024 年 1 月，以色列在这一领域拥有 73 家活跃的初创公司，而在整个食品技术领域，总计超过 200 家初创公司（图 2）。

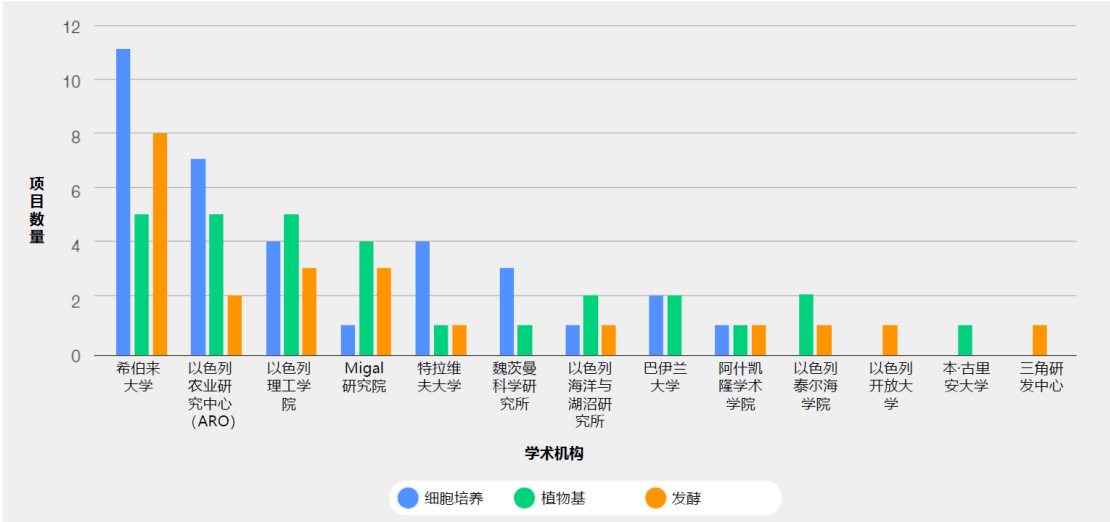


图 1 以色列替代蛋白质研究的主要学术机构（来源：GFI Israel, 2024）

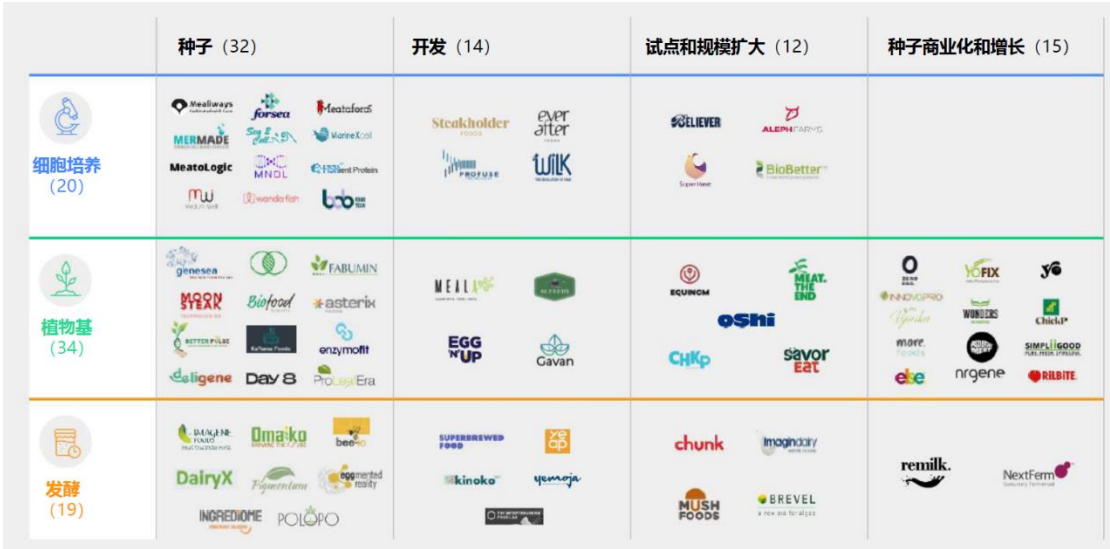


图 2 以色列替代蛋白质领域的创业公司（来源：GFI Israel, 2024）

确立关键投资目的地。在过去五年中，以色列在全球替代蛋白领域的投资位居第二，仅次于美国。2022 年，25%的细胞培养肉的私人投资都流向了以色列的

公司（图 3）。

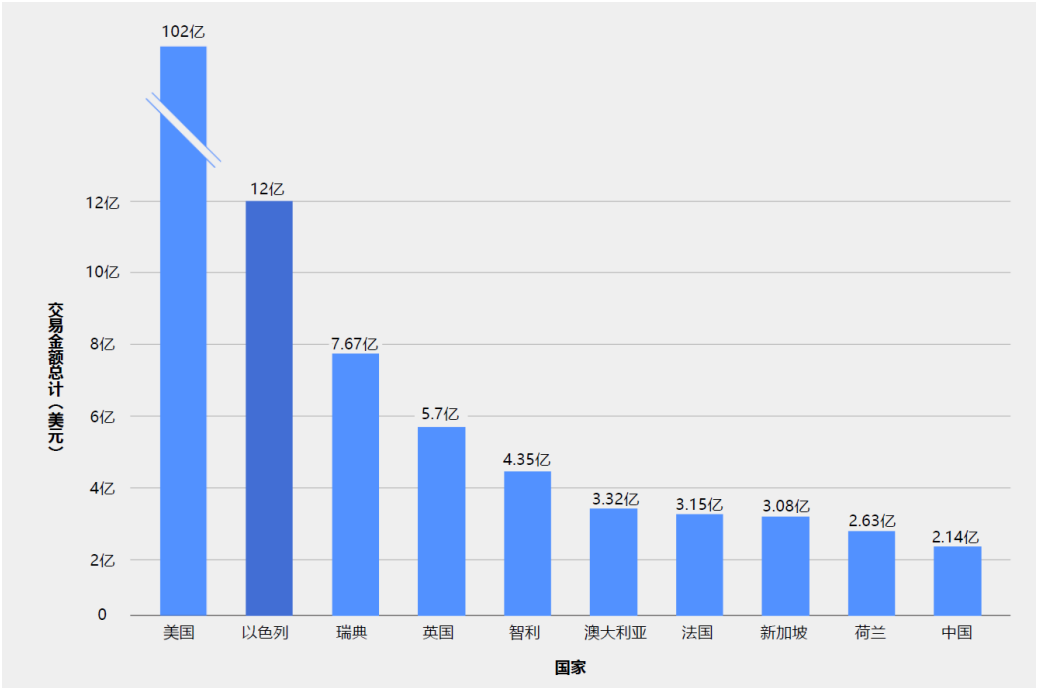


图 3 全球替代蛋白质领域的投资（2014–2023）（来源：Net Zero Insights, 2023）

为替代蛋白质产品发布开发测试市场。以色列本地市场的独特性推动了替代蛋白的发展。高比例的素食者和遵守犹太教规的消费者，再加上消费者普遍愿意尝试并为创新、高端食品支付溢价的态度，使得市场充满活力。尽管市场规模较小，食品出口有限，但本土食品行业将创新视为核心增长引擎，积极支持并推动国内替代蛋白生态系统的发展。以色列是全球首个批准细胞培养牛肉的国家，允许 Aleph Farms 推出整块培育肉产品，并成为全球第三个批准细胞培养肉产品的国家。本地良好的商业环境使得以色列的监管机构能够快速应对技术变化，在全球替代蛋白领域处于领先地位。

4.2 将替代蛋白质提升为可持续增长的国家优先事项

优先研发。为了充分挖掘替代蛋白的创新潜力，以色列政府根据国家研究与发展委员会的建议，将替代蛋白列入国家五大优先研发领域之一。委员会的建议考虑了多方因素，包括以色列在特定领域的比较优势、国家战略需求、研发实力以及作为全球创新中心的地位等。同时也评估了该领域是否需要政府支持及其科学研究的重要性。其他还涉及国家安全、人才多样性、跨领域合作的潜力等。

经济杠杆。以色列创新局与 GFI 以色列中心和 Shaldor 战略咨询公司的最新

战略研究表明，完善的国家战略将使以色列的替代蛋白行业在 2030 年前成为推动本国经济发展的关键力量，公司数量将显著增长，预计超过 200 家，并建立多个制造基地。这将带来超过 1 万个工作岗位，其中 1/3 集中在制造领域。从经济贡献看，预计该行业将带动约 25 亿美元的本地经济增值，包括出口、薪资和税收。

替代蛋白价值链分析。以色列在替代蛋白领域的全球领导地位、潜在经济收益、国际声誉（尤其在技术和创新方面的优势）及全球合作机会，为政府采取全面战略提供了动力。企业在不同发展阶段面临不同挑战，因此需要提供量身定制的支持。通过对替代蛋白价值链的深入分析，能够全面了解企业所处阶段、未被满足的需求、潜在的支持机会，以及政府和私营部门在其中的角色。该战略研究系统梳理了从研发到规模化生产的七大关键环节，分析了当前的产业现状、发展瓶颈及可能的应对方案（图 4）。

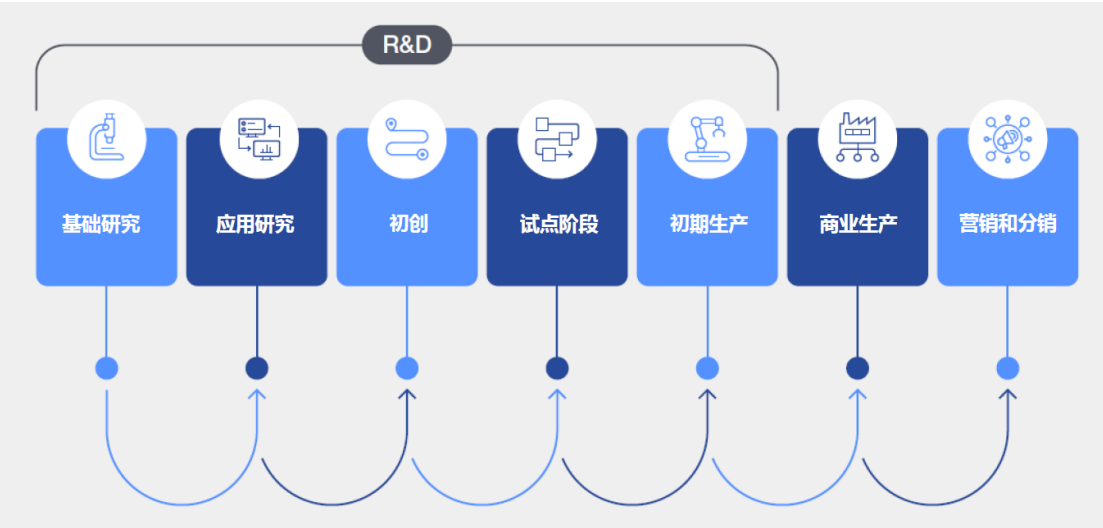


图 4 替代蛋白质食品产品的开发、生产与营销阶段（来源：Shaldor Strategic Consulting）

认识到国家的内在限制。尽管以色列替代蛋白行业具备多项优势，但仍面临一些固有挑战。首先是本地供应链的缺口问题，由于市场规模相对较小且地理条件有限，行业在大范围推广会遇到阻碍，需要采取针对性措施加以解决。其次，与美国和中国等大型经济体相比，以色列的预算相对有限，市场缺乏大型食品和制药集团的支持，也使得行业获得的支撑有所不足。为应对这些挑战，不同国家之间的双边和多边合作显得尤为重要。例如，通过 BIRD 基金会，以色列初创公司借助美国企业的生产能力，提供先进技术，实现优势互补。这种跨国合作有望

帮助以色列突破现有的限制，推动替代蛋白行业的发展。

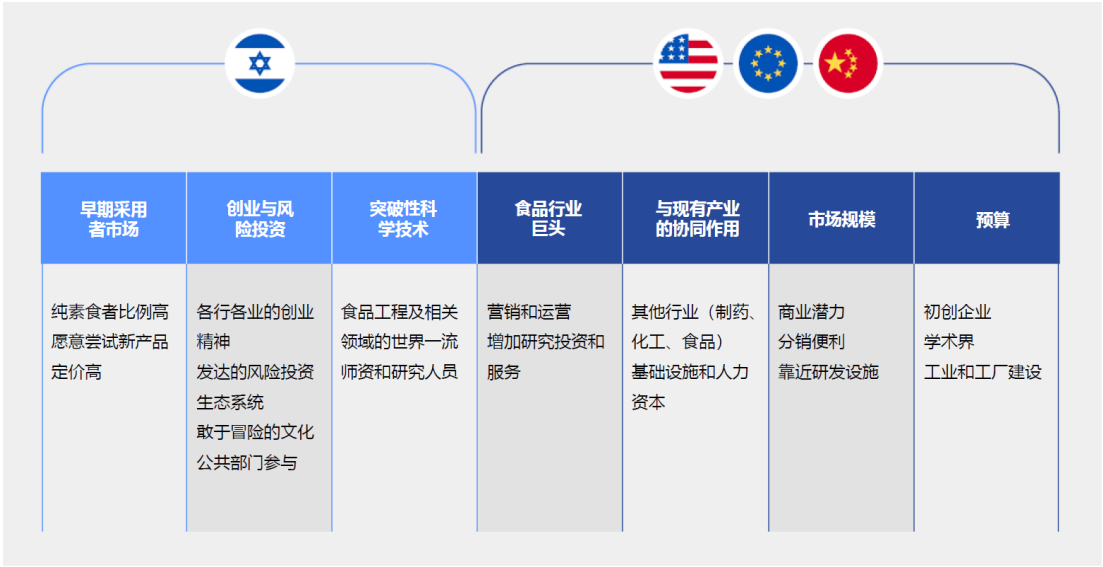


图 5 以色列替代蛋白质行业与国际合作伙伴的合作（来源：Shaldor Strategic Consulting）

4.3 政府干预的关键点

以色列创新局正在制定一套全方位的投资策略，涵盖行业发展的各阶段并与多个利益相关方协作。对价值链的深入分析，有助于全面把握未满足的需求、可能的支持措施，找准政府干预效果的关键切入点。

深化基础研究。替代蛋白产业与农业、生物学和医学领域密切相连，依赖先进的基础设施和高技能人才。为推动这一行业的进步，政府对科研基础方面的支持至关重要。2022 年，以色列创新局联合农业部及创新、科学与技术部发布了一项总计 120 万美元公开资助计划，为每个项目提供最高 8.5 万美元的研究资金，用于替代蛋白的基础研究。在提交的 25 个提案中，有 15 个成功获得资助。2023 年，第二轮提案征集启动，70 位活跃的研究人员中有 48 位获得了 GFI 的支持。

推动应用研究。应用研究侧重于替代蛋白的技术开发、工艺流程优化和产品配方创新。在这一阶段，知识产权的形成尤为关键，同时也为企业在商业化过程中奠定基础。以色列创新局在 3 年内投资 1800 万美元，成立了“细胞培养肉技术联盟”，该联盟汇聚了 14 家公司和 10 所学术实验室，致力于开发降低细胞培养肉成本的技术。

孵化创新。在早期阶段，重点通过实验室研发孵化初创企业，围绕应用研究开发具有商业潜力的产品，并进行概念验证。该阶段的持续时间因技术类型而不

同,可能长达数年。以色列创新局支持了两家食品科技孵化器: Strauss 集团旗下的 The Kitchen、Tnuva 的 Fresh Start。这两家孵化器为超过 25%的替代蛋白初创企业提供全面支持,包括共享办公空间、实验设备、投资渠道、研发协助及资金支持。

规模化试点阶段。在这一阶段,公司逐步开发生产流程,并向大规模运营过渡。规模扩大通常需要更大规模的设备和基础设施,通常设在专门的“试点工厂”中。传统服务于制药行业的合同开发与制造组织(CDMO)已经开始向细胞培养肉行业拓展。在以色列,YDLabs 的发酵中心作为专注于工艺开发和优化的 CDMO,提供从几升实验室规模到 1000 升的工艺开发服务,涵盖测试、研发支持、经济可行性分析、消费者测试以及食品法规咨询等。2023 年,YDLabs 获得以色列创新局价值 1350 万美元的发酵服务合同,支持规模最高达 2 万升的初期生产流程。

初期生产阶段的导航。在半工业规模阶段,公司通过合作来测试生产的可扩展性,并评估其商业潜力。在这一过程中,企业可以选择多种途径,包括自建专属设施、与现有制造商合作、使用共享设施,或依赖合同制造组织(CMO)。为支持企业从实验室向生产转型,以色列创新局 3 年前推出“从研发到生产”专项资助计划,帮助企业开发制造工艺。2023 年,创新局为 3 家公司提供了资金支持。同时,专注于食品和农业领域的荷兰银行 Rabobank 为这些公司提供了定制的金融服务,如低息贷款等。

4.4 全球视角下的价值链

以色列通过全面分析全球食品体系,找准了自身在替代蛋白生态系统中的独特贡献和重点领域。其政府在本土替代蛋白价值链中的战略性参与,展现了其对行业挑战与机遇的深刻理解,为这一充满活力的生态系统注入了持续的创新和增长动力。

替代蛋白提供了一种全球可推广的区域性食品解决方案,不仅涉及跨国公司生产,还包括小规模农户利用适应当地气候的本土作物来满足本地社区的需求和口味。正如自然生态系统中的多样性增强了其韧性,全球食品体系也需要在人群、作物、模式和解决方案等方面实现多样化,以提升其应对变化的能力和韧性。

5. 总结

全球对替代蛋白的关注日益增加,认为该领域是未来生物技术的重要组成部分。这一趋势在政策层面得到充分体现,美国国防部和能源部等都强调了替代蛋白在生物技术领域中的重要性。中国也在发布的五年计划中提出,发展替代蛋白以推动生物经济发展。联合国环境规划署首次发布聚焦替代蛋白的报告,指出植物基、细胞培养及发酵肉类的转型将有助于改善环境和公共健康。

农民将从替代蛋白经济的蓬勃发展中受益,因为替代蛋白有助于降低气候变化的风险,增加收入来源,改善土壤健康,吸收碳,提升水质,并为全球食品系统带来所需的作物多样性和韧性。展望 2030 年,全球在能源、农业、工业和食品系统方面将发生重大变革,这些变革将成为应对气候挑战的主要驱动力。预计农业副产品将显著增加,特别是来自玉米、大豆、小麦、甘蔗、大麦、水稻、油菜和番茄的副产品。利用这些副产品生产替代蛋白不仅可以提升可持续性和食品供应的链循环利用,还能优化资源使用,增强农业部门的韧性。要充分挖掘多样化农业部门的潜力,还需进一步的研究和证据支持。

要充分实现替代蛋白的变革潜力,需要全球范围内的共同努力与协作。尽管该行业仍处于初期阶段,但随着其发展,面临的挑战将需要通过突破性技术、前沿知识和领导力来解决。同时,打造替代蛋白生态系统的愿景,需要深入了解各国的独特特征、挑战和市场动态。这一过程绝非“一刀切”,而是需要根据国家特点和资源量身定制策略。发挥不同国家在能力、基础设施和专业知识方面的多样性,将成为替代蛋白行业成功的关键。

双边和多边合作,包括联合研究、开发、标准化及国际支持,是构建全球专业网络和资源的重要途径。这些全球合作的优势在于能够充分发挥多元视角带来的协同效应。每个国家的独特优势,无论是农业实力、技术水平还是消费者偏好,都为全球替代蛋白的发展贡献了宝贵的组成部分。

通过合作,各国可以整合各自的优势,共同应对挑战,并克服替代蛋白领域中的障碍。这种合作不仅超越了地理界限,还建立了知识、技术和最佳实践的交流平台。通过扩大参与范围,更多国家可以合作推动 100 亿美元的投资目标,确保研究、开发和商业化工作得到充足资金,从而最大限度地发挥蛋白质多样化的潜力,并保障全球食品安全。