

生物经济学研究进展*

陶文娜 欧阳峤

摘要:生物经济学是由经济学和生物学融合而形成的新兴交叉学科,它经历了从经济生物学、生态经济学到生物经济学的演变过程。本文梳理了生物经济理论的演进逻辑,归纳了三个发展阶段的主要思想观点和特征,以及各代表性人物所做出的理论贡献。学术界从宏观和微观相结合的角度研究生物技术和生物产品的巨大经济价值,具体分析研发者、生产者和消费者等利益相关者的经济利益、相关的正外部利益和负外部利益,以及生物技术在新一轮技术变革中的地位及其与信息技术的关系;从现代生物产业形成的驱动因素、商业化模式及其空间结构和集聚发展等方面分析生物经济的组织结构和治理结构;具体识别生物经济涉及的主要产业部门和优先领域,提出评估生物经济贡献的指标体系和基本方法。在总结生物经济理论主要进展和突破的基础上,本文讨论从规范化、系统性和逻辑性方面进行拓展和深化的思路。

关键词:生物经济学 生物技术 生物产业

一、引言

全球生物经济正在蓬勃发展,许多经济体都把推广生物技术和发展生物产业作为增强本国经济发展潜力的重要途径。美国白宫 2012 年制定了《国家生物经济蓝图》,欧盟 2008 年出台了《欧洲可持续生物经济:加强生物与经济、社会和环境之间的联系》,英国商业、能源与工业战略部(BEIS)2018 年发布了《2030 年国家生物经济战略》,美国生物物质研究与开发理事会(BR&D)2019 年发布了《生物经济计划:实施框架》;德国、法国和日本等发达经济体,以及韩国、印度和马来西亚等新兴经济体,都将生物产业作为 21 世纪扶持的战略性新兴产业。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出:“加快发展生物医药、生物育种、生物材料、生物能源等产业,做大做强生物经济。”^①这是顺应全球生物技术加速演进趋势,提前布局生物产业和生物经济发展,进而推动中国经济高质量发展的重大战略举措。

伴随着全球生物技术进步和生物产业发展,国际学术界对生物经济给予高度关注,从不同的视角开展了研究。被誉为生物经济学奠基人的 Georgescu-Roegen(1971)最早提出了“生物经济学”(Bioeconomics)的概念,开启了学术界对生物经济的科学探讨。特别是 1999 年《生物经济学杂志》(*Journal of Bioeconomics*)创刊以后,使经济学和生物学的交叉研究达到一个新的高度。正如 Viaggi(2016)所说:“总的来说,‘生物经济学和政策’还远远没有成为一门成熟的学科。然而,当前的文献似乎认识到它具有广阔的发展空间。”自 2005 年至 2022 年,国际学术期刊的文献数量呈逐渐上升趋势;这些文献刊载于 200 多种期刊,涉及经济学、计量经济学、农业经济、工业经济、能源经济和

* 陶文娜、欧阳峤,湖南师范大学商学院,湖南师范大学大国经济研究中心,邮政编码:410081,电子邮箱:wennatao@hunnu.edu.cn,ouyangyao008@163.com。基金项目:国家社会科学基金重大项目“中国式创新的综合优势、模式演进及体制机制的经济学研究”(22&ZD052)、湖南省社会科学基金项目“湖南生物产业创新发展战略研究”(21JD014)。感谢匿名审稿人的建设性意见,文责自负。

①《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》,《人民日报》2021 年 3 月 13 日。

生态经济等领域,以及理论分析、政策分析和定量分析等工具。本文将在梳理生物经济理论演进逻辑的基础上,侧重从生物技术进步的经济效应、生物技术产业的组织模式以及生物经济的贡献评估等方面综合梳理相关文献及其研究进展。

二、生物经济理论的演进逻辑

历史经验表明,解决人类面临的各种重大问题往往需要多学科的交叉研究。美国经济学家 Carlsson(1977)指出:“如果学术界遇到了一个无法在单一学科内解决的问题,正常的办法是产生一门新的边缘学科。”生物经济理论正是契合了这样的规律,为了应对全球生物圈的挑战和经济学理论的拓展,人们就设想出“生物经济学”这门新的边缘学科。

1. 经济生物学阶段。关于经济学和生物学的交叉融合,最早可以追溯到“剑桥学派”的创始人阿尔弗雷德·马歇尔,他在《经济学原理》序言中写道:“经济学家的目标应当在于经济生物学,而不是经济力学”(Marshall,1938)。他由此强调,经济学的中心概念必须是关于活力和运动的概念,应该重视动态的分析,揭示引起经济发展的种种力量;经济学像生物学一样,它所研究的东西的内部结构和外形都是经常变化着的。马歇尔的理论贡献在于:(1)从经济学研究对象主要是追求不断进步和变化的人类活动的视角,认为力学概念主要适用于对经济活动的静态分析,而生物学概念则适合于对经济活动的动态分析;(2)认为经济发展具有生物性规律,社会经济是各种经济力量相互依存和影响的有机体,其外形和内部结构在不断发生变化;(3)认为经济发展应该遵循自然法则,经济领域同生物领域都应遵循生存竞争的法则,从而使最能够从环境中获得利益的有机体增多。后来的经济学家纳尔逊遵循熊彼特理论的思路,提出了经济变迁的演化理论。纳尔逊等(Nelson & Winter, 1982)借用达尔文进化论的“自然选择”思想,提出了经济发展是动态的过程,在经济系统中也有“自然选择”的观点;并且认为“组织的‘选择环境’将会影响它扩张或收缩的程度”,选择的环境取决于产品需求和要素供给的情况以及该部门其他企业的特点和行为。从马歇尔到纳尔逊,都是主要受到达尔文进化论的影响,他们把经济体当作生命有机体,对其内部结构、发展过程及能量转换做动态的分析。这些学说的特点是将生物学理论和方法引入经济学研究,所以可称之为“经济生物学”的路线。

2. 生态经济学阶段。20世纪60年代兴起的生态经济学可以视为生物经济学发展的第二阶段。梅多斯等(Meadows et al, 1972)提出人口和经济增长将很快超越地球承载的极限,促使人们正视为满足自身需求过度消耗资源和能源给人类未来带来的风险。Georgescu-Roegen(1971,1989)借用热力学第二定律的熵概念,说明经济过程把有价值的自然资源转化为无价值的废物,地球上的能量和物质的熵最终将达到最大值;他认为目前的工业繁荣是以快速地消耗有限的低熵物质为代价的,并由此提出应该寻求一种更好的低熵经济,即通过去增长的理想路径来构建人类经济活动图景。他明确地把自己的理论称为“生物经济学”,但实际上属于生态经济学。另一位生态经济学的典型代表 Daly(1992)则提出“稳态经济”的观点,认为经济是整个地球生态系统的子系统,而地球生态系统是有限的和非增长的,随着经济子系统的增长,将从整个生态系统吸收越来越多的东西,并将最终达到极限,这种靠消耗自然资源来支撑的经济增长是不可持续的。生态经济学成为一种不同于主流经济学的新范式,主要特点在于:(1)把经济系统看成地球生态系统的子系统,而自然生态系统则是经济系统赖以存在和发展的环境系统,两者之间进行持续的物质能量和信息流动;(2)提出发展循环经济的思路,主张提高经济过程的物质利用效率,由于产业系统是生态系统演化的产物,因而需要构建不同产业流程之间的物质和能量梯次利用网络,特别是 Pearce & Turner(1991)提出了比较完整和系统性的循环经济理论,并建立了第一个循环经济模型。

3. 生物经济学阶段。20世纪70年代以后,随着生物技术的进步及其商业化应用,人们对经济可持续发展的路径有了新的认识,经济学家也开辟了一条新的路线,主要是运用经济学理论和方法分析生物技术和生物产业发展,可以称之为“生物经济学”路线,这才是现代意义上的“生物经济学”。自20世纪70年代开始的“经济学帝国主义”扩张,也逐渐进入到生物学领域,经济学家开始用最优

化、均衡和稳定性偏好构成的方法分析生物领域的问题,逐步形成一种新的研究范式,而且在经济学和生物学交叉融合的道路上超越了经济生物学和生态经济学,从而进入到一个新的发展阶段。Gordon(1971)在公共选择理论中专门分析了经济学在生物学中的应用,主要是使用成本和收益等经济学工具研究生物现象,并且专门分析了煤山雀的行为符合需求定律的问题,认为煤山雀捕食小卷叶蛾幼虫的图看起来像一张标准的经济学供给与需求图表。Hirshleifer(1977)认为,稀缺、竞争和自利不仅在经济学中,而且在生物学中都具有普遍性,主张将生物经济学辟为经济学的分支,合理地运用经济学方法分析生物学问题。Ghiselin(1974)认为,生物学研究的是没有法律规制的自然领域,经济学研究的是有法律规制的社会领域,但两者都服从于经济学原则,特别是成本、收益、稀缺普遍适合这两个不同的领域。同时,他运用经济学理论和工具具体研究了生物体、细胞以及人类牙齿等器官的分工、竞争与合作问题(Ghiselin,1978)。Hritonenko & Yatsenko(2006)则应用了资本生产率的制造期资本模型,具体分析狩猎—采集群体实现狩猎—采集收入与群体数量的最优化的规律。此外,还有的学者运用经济学工具分析基因传播,将其纳入成本、收益、信息机制和搭便车的范畴,由此催生了“基因经济学”。总之,生物有机体在资源分配和创造中扮演着重要的角色,经济学可以分析整个自然界的现象,虽然自然界没有像经济体那样有货币的流通,但是它存在能量流通和生产效率问题,所有这些都为生物经济学家提供了机会(Landa,1999)。

进入 21 世纪以后,在生物经济的具体领域形成了越来越多的研究主题,例如生物能源、生物制造和生物技术的经济学分析(Viaggi,2016)。特别是在那些同经济发展紧密联系的关键领域,如生物技术、生物产业和产品市场的经济学分析,发表论文数量占据越来越大的比重。回顾学术界探讨生物经济的历程可以发现,关于生物经济的研究分散在不同的科学领域,生物经济是一个非常复杂的概念,蕴含着丰富而深刻的意义。Bugge & Hansen(2016)从总体上归纳了政府、企业和学术界对于生物经济的不同理解及其主要特征,提出了生物经济的三种愿景:(1)生物技术愿景,主要特征是重视生物技术的研究以及生物技术在经济中的应用和商业化,基本目标是经济增长和创造就业。(2)生物资源愿景,主要特征是重视生物原材料的加工和升级以及构建新的价值链,基本目标是经济增长和可持续发展。(3)生物生态愿景,主要特征是重视可持续性和生态环境以及优化能源和促进生物多样性,基本目标是保护生态系统和促进可持续性发展。这三个愿景比较全面地反映了人们关于生物经济的认知,进而也体现了人们对生物经济学的内涵和外延的理解:广义的生物经济学就是从这三个愿景来研究生物技术应用、生物资源加工和生态环境保护的科学;狭义的生物经济学有两种,一种是侧重从第一个愿景和第二个愿景来研究生物技术应用和生物产业发展的科学,另一种是侧重从第三个愿景来研究能源优化和生态环境保护的科学,也可以称之为“生态经济学”。当今世界的主题仍然是经济发展,所以现代意义上的生物经济学主要是研究生物技术应用和生物产业发展的科学,这是当代经济学家最为重视的主题。

三、生物技术的经济效应及利益相关者

生物经济是以生命科学和生物技术的研发及应用为基础,建立在生物技术产品和生物技术产业之上的经济形态。现代生物技术是生物经济发展的基础,生物技术的进步为生物经济学研究提供了重要内容,经济学家运用经济学理论和工具,具体分析了生物技术的发展趋势、经济效益、利益相关者及其对经济发展的影响作用等问题。

1. 生物经济理论的科学技术基础。从经济学家的观点来看,生物技术代表着一种具有潜在巨大影响的技术变革。现代生物技术发端于 20 世纪 50 年代或者 70 年代,以 DNA 技术的出现和形成为依据。Zilberman(2013)认为,20 世纪 50 年代 DNA 的发现触发了现代生物技术的发展,从那以后出现了一系列科学发现,而现代生物技术的应用则是从 20 世纪下半叶开始的。从总体上看,现代生物技术由一组新技术组成,包括基因组学、组织培养、微观繁殖、遗传标记辅助育种、基因移接和转基因等。生物技术的突破带来了两个方面的进步:一是能够以比自然选择育种更快捷和更准确的方式来改良生物体;二

是形成物体间在分子水平上转移遗传材料的能力。Wessler & von Braun(2017)认为 20 世纪 70 年代重组 DNA 技术的发展是现代生物技术的开端,因为美国政府和其他形式的公共和私营组织为其提供利用公共资金获得专利的权利,被视为现代生物技术创新的关键。现代生物技术的进步及其影响经济发展的典型化事实,既为生物经济学理论研究提供了素材,又为经济学研究拓展了新的领域。

基因工程是现代生物技术的核心,经济学家从中挖掘出了许多经济学问题。转基因生物体即含有重组 DNA 的有机体,人们使用生物技术方法创造了一系列的微生物、农作物和动物等生命有机体。James(1999)分析了两代生物技术产品的特性,认为第一代转基因农作物提高了现有农作物的生产效率,它通过提高效率来降低成本和价格,通过减少化学药品使用来改善其品质;第二代转基因产品是那些以消费者直接收益的方式改变了最终结构的产品,它可以增强生物产品现有的理想特性,或者增加消费者需要的新特性。自 2001 年人类首次完成基因组测序以来,DNA 技术快速进步和更新换代,经济学家开辟了“基因经济学”研究领域(Benjamin et al,2007),重点研究基因对经济社会发展的影响及其机制,并已经取得新的进展。Spolaore & Wacziarg(2019)通过实证分析发现,遗传距离有可能阻碍技术和制度创新的传播,并且造成国家之间的文化差异进而影响经济发展水平。Abdellaoui et al(2019)通过分析英国样本的全基因组关联,发现了由社会经济地位驱动的地理聚类及其迁移规律。Papageorge & Thom(2020)使用多基因评分方法分析了人们的受教育程度和社会经济地位以及与劳动收入之间的联系,发现遗传因素在影响教育结果时与童年时期的社会经济地位相关,而大学溢价则是影响收入差距的主要因素。

2. 生物技术经济效益及利益相关者。生物技术和生物产品具有巨大的经济价值,经济学家分别从宏观和微观的角度开展分析。Gaisford et al(2001)从总体上分析了生物技术进步所形成的经济社会效应,其一,通过创造健康特性与营养物质结合的转基因产品,将改变农业生产的组织结构和农业部门的产业结构。其二,通过生物技术变革及其跨国传播和应用,将给全球经济发展带来巨大变化。其三,通过不同物种的 DNA 生产出新的生物体,将改变传统意义的人类与生物环境的关系。Zilberman(2013)认为生物技术增强了人类培育新生物的能力,从而提高了医药和农业部门的生产率;虽然与农业有关的基因和选择性育种原理的发现对农业产生了巨大影响,为绿色革命做出了重大贡献,但是在更好地理解分子和细胞生物学原理的基础上引进新的生物技术,也是提高农业生产力和减少农药使用量的重要因素。

生物技术的经济效益涉及各个利益相关者。(1)技术研发者的收益。由于生物技术能够促进经济发展和社会福利增加,所以技术创造者应该获得收益和补偿。为此,研究生物技术和转让的关系成为生物经济研究的一个关键问题(Festel & Rittershaus,2014;Golembiewski et al,2015)。同时,应该分析生物技术的相关成本以及技术与转受方不同商品之间的联系,而且需要从生物技术的特殊性的角度进行探讨(Viaggi,2016)。在发达国家,主要是通过专利的使用对成功的技术创新给予回报,然而,有些生物技术的成果却没有按照惯例变成独占性的知识产权,这是因为生物技术产权的监督和执行成本往往超过产权利益(Gaisford et al,2001)。有的生物技术知识产权的所有者为了更好地获取可得利益,可能通过“终止基因”控制农作物生长来保证技术成果的独占性,从而提高投资于生物技术研发活动而捕获租金的可能性。同时,政府看到了投资于生物技术研究的潜在利益,也参与生物技术创新活动以补充市场缺陷。根据不同类型的评估,公共部门的投资回报率超过私人投资回报率(Peterson & Hayami,1977)。(2)生产者的利益。生物技术产品给农业生产者提供直接利益,给消费者提供间接利益;在特定市场中,供给和需求的弹性影响着消费者和生产者之间的利益分配(Gaisford et al,2001)。生产者利益包括农艺学利益和经济利益,主要的农艺学利益是增加产量和减少化肥农药等投入品的使用。对于农民来说,农艺学利益是提高除草能力,增加农作物的产量(Fulton & Keyowski,1999)。(3)消费者的利益。生物技术的输入特性和输出特性为消费者提供不同的潜在利益。消费者主要从具有输入特性的生物技术中获得间接利益,即帮助生产者降低生产成本和增加产品供给,通过价格下降使消费者剩余增加;具有“输出特性”的生物技术产品则可以为消费

者提供一些直接利益,即经过改良生产满足不同类型消费者需求的产品,包括提高食品的安全性、健康性、品质以及便利性。(4)外部利益,包括正外部利益和负外部利益。通过减少农业化学用品的使用,输入特性的转基因农作物可以获得正外部效应,主要是环境利益和健康利益(Gaisford et al,2001)。然而,生物技术具有一种在不同物种或不同生命形式之间迁移基因材料的能力,它可能使一些具有新的基因结构的生物体被释放到自然环境中,而新生物体对于自然环境的影响具有不确定性。Mooney & Klein (1999)认为潜在的环境成本存在三种状态:一是这种生物体可能演化出抵抗力;二是有可能与野生植物进行异型杂交;三是有可能使基因终止而污染其他的农作物。如果转基因作物的种植造成环境的破坏,将会减少环境公共物品的数量,形成一种负外部效应。为此,在国家之间往往使用国际贸易壁垒防止负外部性的转移,这就需要寻求环境和贸易之间的平衡点(Phillips & Kerr,2000)。

3. 生物技术对经济发展的影响作用。生物技术在新一轮技术革命中的重要地位以及促进经济社会发展的重要作用,是与创新发展战略以及绿色或蓝色发展战略紧密相关的(German Bioeconomy Council,2015)。有的学者提出将这种基于生物技术的经济与绿色经济和循环经济纳入可持续发展战略的框架内进行整合(D'Amato & Korhonen,2021)。最近美国政府出台的保护生物经济战略规划指出:生物技术领域的领先地位有可能带来经济优势,而生物技术领域的落后可能会造成机会丧失的代价(NASEM,2020)。中国政府出台的生物经济规划指出,生物技术已成为促进未来发展的有效力量,生物经济正在勾勒人类社会未来发展的美好蓝图。^①

围绕生物技术在新技术变革中的地位及其与信息技术的关系形成了三种不同的观点:第一种观点认为生物技术将取代信息技术而引领新一轮技术革命。Oliver(2002)认为当今世界即将离开信息时代,进入“生物物质”(biomass)的新时代;他以研发经费和专利数量两项指标为依据,论证了信息技术在过去的50年中成为主要经济引擎,而全新形态的生物学和高级材料科技即将成为推动经济发展的新引擎。Zhou(2015)认为,20世纪70年代以来,生物经济时代已经成为人类继信息时代结束后正在迈入的下一个革命性产业经济时代。第二种观点认为生物技术没有取代信息技术引领全球经济的可能。Nightingale & Martin(2004)认为生物技术并没有引起产业的革命性变化,而是遵循一种成熟的缓慢且渐进的技术扩散模式,许多人高估了生物技术影响的速度和程度,这表明支撑当代决策的基本假设需要重新思考。他们通过观察1983—2003年间美国食品与药物管理局(FDA)批准的专利发现,20世纪90年代中期其数量有所增加,随后急剧下降,而研究支出的大幅增长则表明生产率在下降。为此需要研究技术变革的不确定性,以及基础知识进步与生产力提高之间的长时间的间隔问题(Freeman & Louca,2002;FDA,2004)。第三种观点认为生物技术和信息技术可以实现融合发展。Wesseler & von Braun(2017)认为,信息和通信技术的广泛应用是促进生物技术发展的重要因素,数据存储和信息分析工具是生物技术创新的推动因素,如表型分析、智能育种、医学诊断、基因组发现和探索。生物技术、信息技术、纳米技术和认知技术正在融合,将在生命科学领域取得突破(Zanuy,2006)。现代生物经济是由信息科学和工程技术、计算技术促成的,数据科学的进步促进了计算机科学的深度学习和机器学习,工程技术的进步使得自动化和高通量实验成为可能,这些领域的共同进步使得依托生物过程、材料和信息创造新产品成为可能(NASEM,2020)。

四、生物技术产业的形成动因及组织结构

现代生物经济是以生物技术产业为基础的经济,所以生物经济学以生物技术和生物产业的经济学分析为主要内容。学术界在系统分析生物技术的经济学问题的过程中,比较深入地研究了生物技术产业的组织模式,包括生物产业形成的驱动因素、生物技术商业化、生物产业集群和产业生态圈等问题。

1. 现代生物产业形成的驱动因素。根据对驱动因素的不同解释,主要提出了三种观点:第一种

^①参见中华人民共和国国家发展和改革委员会:《“十四五”生物经济规划》,2022年5月10日,https://www.ndrc.gov.cn/xgk/zcfb/ghwb/202205/t20220510_1324436.html。

观点主要从环境变化对人类的影响分析生物产业形成的驱动因素。20世纪70年代前后,资源环境问题特别是石油危机使得世界经济的持续增长受到质疑,经济学家梅多斯(Meadows et al, 1972)提出了“增长的极限”问题,并通过估计物质资源的世界储量来计算地球的增长极限,认为需要通过全球经济的均衡来改变人口、工业化、污染等问题以及粮食和资源消耗的趋势,从而达到长期保持生态稳定和经济稳定的目标。Georgescu-Roegen(1971)认为生物领域和经济领域都受熵定律支配,物质和能量将不可逆转地退化,以此为基础,他提出了生物经济理论框架。可见,正是为应对人口增长、气候变化以及相关资源限制带来的挑战,实现生物资源的可持续利用,从而形成了发展生物产业的需求并推动了生物产业的发展(Swinnen & Riera, 2013; Zilberman, 2013; Wesseler et al, 2015)。第二种观点主要从经济繁荣和增长的需求角度分析生物产业形成的驱动因素。现代生物技术作为新一轮技术变革的前沿,它在工业和农业生产上的应用可以促进经济增长和就业,所以说生物产业的发展源于生物技术的资本化,在刺激生物经济 and 经济增长方面发挥着重要作用(Morrison & Cornips, 2012)。生物技术愿景中的经济增长源于生物技术的资本化,在生物资源愿景中的生物资源资本化也将推动经济增长。Duchesne & Wetzel(2003)考察了发达国家制定的生物经济战略,认为在许多情况下主要驱动力是经济增长达到或保持该领域的世界领先地位;当前的重点是提升国家经济,提供就业机会和商业机会,而可持续和资源可用性方面的问题在许多文件中只得到了部分解决(Staffas, 2013)。第三种观点是从环境挑战和经济增长相结合的角度分析生物产业发展的驱动因素(Viaggi, 2016)。Pätäri(2016)归纳了生物经济的主要驱动力,包括生物技术和信息通信技术以及相关领域的技术进步;人口增长、气候变化以及相关资源限制带来的挑战;产业组织的变化以及经济和产品链全球化程度的增加。同时,有些国家战略比较系统地考虑了经济增长和环境保护的背景和目标,如认为美国生物经济给未来带来了增长和繁荣的希望,这是因为通过健康和环境效益提高了生活质量(NASEM, 2020)。而且,不同类型的国家有着不同的战略考量,如拥有大量生物物质资源的国家考虑从生物物质资源中获得收入,拥有大量人口的国家考虑通过发展生物产业促进农村发展,而生物资源较少和初级产业就业岗位比例较小的工业化国家则考虑通过发展生物产业带来更多的经济社会发展机遇(El-Chichakli et al, 2016)。

2. 生物技术商业化模式及其机制。商业化模式是实现生物技术经济效益的重要形式,从20世纪90年代开始,已有学者研究生物技术商业化模式。McKelvey(1996)以美国生物技术公司 Genentech 为案例分析了小型生物技术公司融入大型化学公司获得注资但又保持相对独立性的模式,揭示了知识型公司的专业化分工以及环境和全球化机制。Gaisford et al(2001)则分析了农业生物技术公司的组织结构变化倾向:(1)许多大型的化学和药业公司通过变更生产部门而重新以“生命科学”公司运作;(2)生命科学领域的大型跨国公司之间的合并导致部门的集中;(3)生命科学公司和下游的饲料与食品加工公司之间出现紧密的纵向合作。同时,提供优质的种子是农业生物技术商业化的必经之路,农作物的育种被证明为从技术到产业过渡的传导机制(Hayenga & Kalaitzandonakes, 2000)。由不确定性、复杂性和资产专用性决定了农业技术创新者与种子经销商之间的交易特征,为生物技术和种子公司之间的纵向一体化提供了强烈的动机;进而是生命科学公司与下游的食品饲料加工企业之间的纵向合作,这种一体化表现为生命科学公司通过下游企业来获取技术市场中的技术转移租金(Brennan et al, 2000)。有的学者分析了生物技术商业化的一些特殊性,具体地说:一是产业交叉融合性强,一旦生物技术进入商业化阶段,将导致传统产业之间的界限变得模糊(Wield, 2013; Boehlje & Bröring, 2011);二是横向和纵向一体化,供应链变得越来越垂直和水平一体化,并在价值链上产生经济和分配效应(Wesseler, 2014; Beckmann, 2000);三是全球化程度加深,生物技术中心的联系加强,产业间贸易和产业内贸易增加(Wield, 2013; Cooke, 2006; Rosegrant et al, 2013; Wesseler et al, 2017)。Scherer(2010)以制药行业为例细致地分析了生物技术研发和商业化的特点:制药企业的研发经费占销售额的比率特别高,相当于其他制造业的5倍;研发过程比较长,需要经过临床前阶段和临床阶段;企业与大学、政府机构联系紧密,需要学术界的推动和政府的审批;收益具

有不确定性,投资风险和市场回报大(Mann & Plummer,1991;Ketter,2000)。还有学者以生物技术为案例分析了商业模式创新与创新级联的联系,认为商业模式是决定企业如何创造和获取价值的能力集合,创新过程中的技术性知识在科学和产业中的应用孕育出新的惯例和制度,从而建立了不断变化的商业模式创新与创新级联的联系(Niosi & McKelvey,2018)。

3. 生物产业空间结构和集聚发展。产业空间布局是产业经济学和区域经济学研究的重要内容,产业空间集聚是现代经济学研究的热点问题。Feldman(2002)研究了新兴生物技术产业的区位集聚和专业化,发现加利福尼亚州、马萨诸塞州和北卡罗来纳州三个州的生物技术公司数量占据美国全行业的92%,波士顿、圣迭戈和旧金山三个城市的生物技术公司数量占据美国全行业的22%,已形成明显的企业集聚和产业集聚现象。Devaney & Iles(2019)则根据资源基础、协作结构、共享文化、思维方式、政治制度、产业能力和联合创新潜力的相似性,设计了一张构建生物经济走廊和产业集群的地图。英国的生物产业集群主要集中在英格兰东部和东南部地区的伦敦、剑桥和牛津,英格兰西北部地区的曼彻斯特和利物浦以及苏格兰中部地区。同时,文献解释了生物技术产业集群形成的促进因素,主要提出了三种不同的效应和路径:(1)知识溢出效应。生物技术产品的区域专业化表明存在独特的专业知识中心;从知识溢出中受益的能力取决于技术的接近性,那些类似的知识溢出可以产生更大的影响(Orlando,2000;Autant-Bernard,2000)。(2)市场机制效应。生物产业地理集聚的原因是市场机制而非知识溢出,生物产业的持续发展主要依靠市场力量的推动,当然包括利用大学的知识产权促进区域经济发展(Zucker et al,1998)。(3)大企业带动效应。一些大型国际化公司的存在是生物产业集聚的重要条件,单靠大学不可能将一个发展中的产业锚定在一个地区(Orsenigo,2001;Zeller,2001)。有的学者进一步提出了大企业锚定的假说:(1)新成立公司的数量将与城市的主要租户数量呈正相关关系,即锚定企业通过知识外部性提高当地企业的生存能力。(2)生物技术公司的专业化程度将与城市的主要租户数量呈正相关关系,即锚定企业是拥有专业化的成熟企业。(3)生物技术公司的增长将与城市的主要租户数量呈正相关关系,即锚定企业能够增加该地区的整体创新产出(Feldman,2002)。有的学者以中国生物技术产业为例分析了城市的创新集聚,认为城市是创新的舞台,城市的创新集聚是创新能力发展的政治经济过程的结果,比如上海生物产业集聚的原因主要是中央建设创新型国家的战略,地方政府构建创新创业空间的政策,以及全球性技术研发的进入与合作(Zhang & Wu, 2019)。

4. 生物经济治理和产业生态圈。生物技术产业的发展涉及治理结构和生态圈建设问题,国际上对这些问题给予了较多的关注。Dietz(2018)通过全球生物经济治理的比较分析,提出了建立有效治理框架的两条基本路径:一是扶持性治理,包括促进生物技术的研发,通过补贴提高生物经济竞争力,实施生物产业区(biological industry zone)政策以及促进社会变革的政治支持;二是约束性治理,包括国家对生物经济的监管,政府制定激励措施和标准认证以及国际合作监管。为此,需要解决经济和政治发展的路径依赖问题,这种路径依赖可能源于现有体制框架不能适应生物经济发展要求,也可能源于产业组织和生产过程的锚定效应(Unruh,2002);同时,特定的社会结构以及认知结构比经济结构更难改变(Finnemore,1996;Broring,2017),应该建立能够克服各种路径依赖问题的治理框架。De Besi & McCormick(2015)分析了欧洲生物经济发展的关键事项,包括为所有参与者创造公平的竞争环境,促进相关行为者之间的合作,支持生物技术和产品的开发示范,帮助刺激生物产品的市场需求,以及为生物技术和产业发展提供财政支持。

美国和英国属于生物技术产业发达国家,有的学者以美国或英国为案例研究了生物经济治理的路径,并分析了存在的一些重点问题。Koka(2006)和 Kim(2015)通过研究波士顿和圣迭戈的生物技术产业集群发现,通过生物技术产业网络的构建,可以实现知识和技术外溢,网络内人才流动和企业家的互动可以促进集群内部知识的循环,增强集群的地区优势。Lewis et al(2011)分析了美国生物产业生态系统中孵化器的作用,提出要构建内部营运与外部协作的生态关系,构建“大学—产业—政府”模式及“三螺旋模型”。Clarkel(2016)认为英国政府参与了生物技术孵化器建设的全过程,孵化器则覆盖了生物企业创业的全周期。Devaney & Iles(2019)分析了美国生物经济治理结构及其存

在的问题,将美国生物经济描述为一个分散的格局,其中利益相关者纷繁复杂,地域关系紧张。主要问题是不同部门和地区的政策相互脱节、不连贯而缺乏影响力,以及同化石燃料、生物燃料和工业农业相关的发展路径依赖倾向,不同规模的利益相关者的权利和影响力水平参差不齐。最近美国出台的保护生物经济战略政策提出了支持构建生物经济的生态系统,其中包括:生命科学研究机构;生物经济投资研发;知识产权和专利制度;公共领域投资;生物技术监管协调;生物技术及其商业化的标准体系;政府购买和生物基产品(bio-based products)激励计划;培养熟悉生物技术的劳动力(NASEM,2020)。此外,也有学者研究了国际机构在生物经济治理中的作用,评估了目前的国际机构所发挥的作用及存在的障碍,并认为随着生物经济的全球化、生物产品贸易的扩大以及跨越国界活动的增加,特别是国家措施失效或者出现明显具有跨国性质的问题时,就需要寻求国际层面的治理;不仅需要在生物技术的研发、开发和创新领域加强合作,而且要加强生物产品和价值链的标准化、监测和验证的合作(Böbner et al,2021)。

五、生物经济的优先领域和经济贡献评估

衡量生物经济对整体经济的贡献是生物经济学研究的重要课题,虽然目前还没有在探索国际公认的衡量生物经济战略和目标实现的方法上取得明显的进展,但是在采取措施监测生物经济的表现时,各国已经从对生物经济的一般描述转变为对生物经济的发展状况和经济贡献进行定量测度(NASEM,2020)。这个领域的研究主要包括生物经济涉及的主要产业部门及优先领域,评估生物经济贡献的指标体系和基本方法。

1. 发展生物经济的优先领域选择。世界各国根据自身的战略需求和技术优势,选择发展生物经济的优先领域,制定发展生物产业和生物经济的战略规划。然而,许多国家缺乏监测实现生物经济战略和目标实现进展的手段,而衡量这种进展的困难可能在于缺乏生物经济概念的明确定义以及具体和可衡量的目标(Bracco et al, 2018)。特别是各国发展生物经济的优先领域和经济预期存在差异,这就使得制定统一的方法来评估生物经济对整体经济的贡献成为一项挑战。从各国出台的生物经济战略和政策来看,发展重点和经济预期有所不同(见表1),综合几个国家和地区的相关文件可以发现,发展生物经济的优先领域包括农业、食品、健康、医药、能源、环保、化工以及林业、渔业和信息等领域,具有共同性的是农业、食品、医药和能源领域,有特殊性的是渔业(阿根廷、马来西亚)、化工(南非)、生物信息(印度)领域。即使在一些国际性组织的文件中,对生物经济部门的选择也不一致,如经济合作与发展组织将生物经济的主要领域确定为生物技术、农业、健康和相关产业(OECD,2009)。联合国粮食及农业组织界定的生物经济部门则主要考虑了非食品生产的产业,即生物材料、化学品和药品,纸浆和纸张,建筑材料、纺织品以及生物能源(FAO,2016)。

表1 各国发展生物经济的优先领域和经济预期

国家/地区	优先领域	经济预期
欧盟	食品、农业、林业、海洋资源	经济增长、能源转换、可持续再工业化
美国	农业、食品、能源、生物制药	经济增长、生活质量、有竞争力的可持续发展
日本	农业、食品、医药健康、能源环境	经济增长、农村发展、生物技术立国
阿根廷	农业、渔业、制药、生物能源	农业发展、绿色经济
中国	健康、农业、能源、环保	战略性新兴产业、经济高质量发展
印度	农业、制药、生物信息	新兴技术产业、经济持续增长
马来西亚	农业、林业、渔业、生物能源、化学品	经济增长、有竞争力的经济
南非	农业、化工、医疗	经济增长、就业创造、经济竞争力

注:根据各经济体生物经济发展战略和 Wessler et al(2017)、Bracco et al(2018)、Kardung & Drabik(2021)等文献整理。

2. 评估生物经济贡献的指标体系。Wessler & von Braun(2017)归纳了衡量生物经济贡献的三种思路:第一种是将生物经济近似为国内生产总值(GDP)的一个部分,假设生物经济是可以通过产

品和服务流动来识别的部门,估计它所占国民生产总值的比重以及就业的份额;第二种是衡量嵌入到产品和服务中的可再生生物体的份额,它代表一种物理的生物经济测量;第三种是将生物经济看成像数字经济那样的普适性部门,测量碳排放减少以及水、土壤和生物多样性改善的可持续性。这三种类型的衡量生物经济的思路实际上是同生物经济的三种愿景相联系的,目前主要是沿着第一种思路进行测量。评估生物经济贡献的基本前提是制定合理的评估指标体系,政府部门和学术界在这方面进行了探索。Bracco et al(2018)选取了阿根廷、巴西、中国、德国、意大利、哈萨克斯坦、马来西亚、荷兰、南非、乌拉圭和美国等 11 个国家作为研究对象,比较分析了各国评估生物经济对整体经济贡献的方法,普遍认同马来西亚制定的生物经济贡献指标(BCI)是比较合理的。BCI 指数由五个部分或参数组成,包括生物经济增加值、生物基础(biological base)出口、生物经济投资、生物经济就业和生产力绩效。BCI 提供了一种反映生物经济多方面贡献的整体观点,并用于确定行业内的趋势、模式和协同作用,而且将选定年份内各参数的业绩与经调整后的(通货膨胀率和进出口值)预期基本绩效(以 2005 年为基准年)的变化进行比较,该变动由动态可计算一般均衡(DCGE)模型确定。BCI 的缺陷在于单纯地衡量收入和经济流量,倘若要考虑更广泛的社会经济和环境问题,则需要做进一步改进。目前,欧盟成员国正在开发生物经济监测系统的综合报告,主要围绕 5 个目标制定 22 个指标和 146 个次级指标,包括创造就业机会和保持竞争力,减少对不可再生资源的依赖,缓解和适应气候变化,确保粮食安全和可持续管理自然资源。这项评估指标超出经济监测的范围。同时,Bracco et al(2018)也提出了评估生物经济贡献的初步框架:(1)经济增长指标,包括营业额、销售额、增加值、市场开发、就业创造、投资和研发、知识产权、贸易平衡。(2)安全健康指标,包括粮食安全和可持续农业、健康和福祉、扶贫、教育和两性平等。(3)可持续性指标,包括水的供应和可持续管理、可持续的工业化、可持续的城市发展、可持续的消费和生产模式。(4)生态系统指标,包括气候的变化、海洋和海洋资源、陆地生态系统和森林、土地退化以及生物多样性。

3. 评估生物经济贡献的基本方法。总体来看,评估生物经济有三种基本方法:(1)将生物经济划分为整体经济的一个子行业,用这个子行业相对于 GDP 总额的总增加值(GNA)来评估生物经济对整体经济的贡献。(2)使用投入产出(I-O)分析法,评估生物经济中的工业部门与其他经济中工业部门的相互作用,涉及生物经济对最终需求或行业增加值的影响。(3)基于规范经济理论的可计算一般均衡(CGE)的分析,侧重于价格机制在劳动力、资本和产品市场中的平衡作用,并依赖于深层的或基本经济参数的共识值(NASEM,2020)。当前使用最广泛的方法,就是利用国民账户体系概述生物经济对区域经济或国民经济以及就业和消费份额的贡献,关键是准确识别生物经济部门及子部门(Carlsson,2016),以及生物经济在增加值中的份额(Efken et al,2012;Golden et al,2015;Heijman,2016)。用于衡量生物经济对一国经济贡献的典型经济模型主要有增值 GDP 法、投入产出(I-O)、社会核算矩阵(SAM)、可计算一般均衡(CGE)模型、部分均衡(PE)模型以及相关经济模型和工具(SAT-BBE)。目前,多数国家只能衡量生物经济对 GDP 和其他经济变量的贡献,其局限性在于尚未建立标准方法对生物经济的贡献进行国际比较,联合国的国民账户体系(SNA08)也无法对生物经济进行计量分析,该体系提供了以国际可比方式衡量国民生产、福利和其他经济问题的建议(Wierny et al,2015)。

六、总结和展望

经济学和生物学的交叉融合渊源于马歇尔关于经济学与生物学相似性的阐述,而真正的生物经济学研究则起始于 20 世纪 70 年代 Georgescu-Roegen、Gordon、Ghiselin 和 Carlsson 等关于生物经济学以及经济学理论应用于生物学的论述。特别是进入 21 世纪以后,随着生物技术、生物产业和生物经济成为各国政府关注的重点,生物经济学也成为国际学术界关注的热点问题,逐步形成一种经济学范式,并且在基本愿景、经济效应、组织结构和经济贡献测量等方面取得重要进展。

(一)主要的进展和突破

第一,通过长期的探索提出了生物经济的三种愿景,明确了经济学和生物学交叉融合的总体趋

势。虽然“生物经济”这个术语作为一种概念化的经济活动出现,其含义在不断演变,涉及的产业部门各异,但生物经济是以生命科学和生物技术为基础或驱动的经济活动,这似乎已经形成共识。特别是 Bugge et al(2016)提出了生物经济的三种愿景:以经济增长和创造就业为目标的生物技术愿景,以经济增长和可持续性为目标的生物资源愿景,以生物多样性和保护生态系统为目标的生物生态愿景。这就描绘了一幅生物经济发展的总体图画,从而使生物经济学拓展的方向更加清晰。

第二,重点分析了生物技术和生物产业的经济学问题,形成了一些有创新性的思想和观点。经济学家更多地聚焦于生物技术和生物产业的发展,比较系统地分析了生物技术的发展动因、扩散模式、知识产权、经济收益以及公共政策问题,探讨了生物产业的形成路径、商业化模式、产业链条、产业集群以及产业生态问题,开展了规范性的经济学分析。

第三,初步选择了生物经济发展的主要部门和优先领域,探索了评估生物经济贡献的思路和方法。一些国家根据自身的生物物质资源禀赋、战略目标和优先事项,提出了监测生物经济的框架和评估生物经济对整体经济贡献的思路,而且运用经济模型测量它在国内生产总值、营业额和就业方面的贡献;有的国际性组织开展了有益的探索,目前正在研究制定更为系统和规范的评估指标体系。

(二)拓展和深化的方向

从总体上看,目前的生物经济和生物经济学研究明显地存在缺乏标准概念和指标体系以及理论的系统性问题。为此,需要围绕着增强规范性、系统性和逻辑性等关键问题进行拓展和深化研究。

第一,客观地判断生物技术和生物经济的发展趋势和社会作用。进入21世纪以后,生命科学领域孕育着新的变革,生物技术领域不断取得新的突破,生物经济显示了解决许多社会需求的潜力,在推动新一轮技术革命方面的作用愈益突出。然而,由此判断当今世界将离开信息时代进入生物经济时代是不准确的。事实上,生物技术的扩散和生物经济形态的形成需要经历漫长的过程,而且它本身也离不开信息技术和信息经济的推动,信息技术发展方兴未艾,生物经济发展远远没有达到取代信息经济的程度。因此,在未来社会中应该是生物技术和信息技术融合,两者协同发展,成为引领新一轮技术革命的双重引擎。我们应该在这种客观判断的前提下,深入系统地研究生物经济的历史背景、发展模式 and 演进路径,从而揭示其影响人类生产和生活的方式、程度及其规律。

第二,制定统一的和标准的生物经济概念和评估指标体系。科学研究的前提是提出统一的概念和范式,而在生物经济的研究中,并没有提出标准的生物经济概念和研究范式,也没有制定统一的生物经济发展评估指标体系,从而制约着生物经济学研究的规范化和标准化进程;要推动生物经济理论研究走向成熟,首先需要解决标准化和规范化的问题。为此,应该在学术界和政府部门深入讨论的基础上,明确“生物经济”概念的内涵和外延,逐渐达成共识;同时,由诸如经济合作与发展组织、联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署等权威国际组织以及国际生物经济论坛提出生物经济涉及产业部门的建议,制定生物经济发展状况及其贡献的评估指标体系。在这样的前提下开展生物经济领域的理论研究和实证研究,从而实现生物经济研究的规范化和标准化。

第三,探讨生物技术和生物经济发展的历史及其客观规律。目前学术界对生物技术和生物经济发展历史的研究相当薄弱,仅有《生物技术发展史》(Newell-McGloughlin & Re, 2006)初步梳理了21世纪以前的生物技术的发展历程,《进化创新:生物技术商业化》(McKelvey, 1996)初步分析了20世纪70年代以来生物技术商业化的案例。目前还很少见到深入分析生物技术和生物经济发展历史及其规律性的论著。历史材料是经济分析的重要来源,经济学家需要从历史事实中刻画典型化事实,进而发现经济规律和总结经济学理论。为此,应该深入研究生物技术发展的历史阶段及其典型特征,分析生物技术商业化模式以及生物经济的形成路径,分析生物技术在新技术革命中的历史作用以及生物经济的发展进程,从中寻求规律性的认识,进而实现生物经济学研究的逻辑和历史的统一。

第四,系统地研究生物产业组织以及生物产业价值链问题。产业组织是相对微观的概念,产业链是相对宏观的概念,应该在这两个领域深化生物经济学研究,从而为生物经济理论提供基础性内容。然而,目前的研究仅仅探讨了生物产业形成的驱动因素以及生物产业集群和公共政策问题。为

此,需要运用经济学范式和方法,系统地研究生物产业的市场结构、市场行为和市场绩效,并分析保护知识产权以及合理的市场集中度问题,探讨畅通生物产品的生产、分配、流通和交换的路径;系统地研究生物产品的设计、研发、制造、销售和链条,特别是探讨生物产业链、供应链、创新链和价值链的连通,以及新兴国家怎样建设生物产业生态圈和培育生物产业竞争优势,形成产业链的头雁和进入国际价值链高端等问题,由此奠定生物产业理论的微观和宏观基础。

第五,科学地构建逻辑自洽和成熟的生物经济学理论体系。从总体上看,学术界对生物技术和生物产业的经济分析缺乏系统性和整体性,主要停留在对某些局部问题的探讨上,距离提出成熟的生物经济学理论体系还有很大差距。瞄准达成这个目标需要经过三个步骤:第一步是提出统一的“生物经济”概念和规范的“生物经济学”分析框架;第二步是运用微观经济、宏观经济、技术经济和产业经济等规范的经济理论,分析生物技术和生物产业的典型特征和特殊机制,并运用经济统计和经济计量工具检验其共同性和可靠性;第三步是在规范概念和标准方法的框架内逐步提出一些生物经济学的理论原理和基本范畴,以生物技术和生物产业发展历史为客观依据,遵循逻辑和历史一致的原则,通过基本范畴和经济原理的演绎构建生物经济学的逻辑体系。

参考文献:

- Abdellaoui, A. et al(2019), “Genetic correlates of social stratification in Great Britain”, *Nature Human Behaviour* 3 (12):1332–1342.
- Autant-Bernard, C. P. (2000), “Science and knowledge flows: Evidence form the French case”, *Research Policy* 30: 1069–1078.
- Beckmann, V. (2000), *Transaktionskosten und Institutionelle Wahl in der Landwirtschaft, Zwischen Markt, Hybrid und Hierarchie*, Berlin: Edition Sigma.
- Benjamin, D. J. et al(2007), “Genoeconomics”, in: M. Weinstein et al(eds), *Biosocial Surveys*, National Academies Press.
- Böbner, S. et al(2021), “Governing the bioeconomy: What role for international institutions?”, *Sustainability* 13 (1):286–309.
- Boehlje, M. & S.Bröring(2011), “The increasing multifunctionality of agricultural raw materials: Three dilemmas for innovation and adoption”, *International Food and Agribusiness Management Review* 14(2):1–16.
- Bracco, S. et al(2018), “Assessing the contribution of bioeconomy to the total economy: A review of national frameworks”, *Sustainability* 10(6):1698–1714.
- Brennan, M. F. et al(2000), “Impact of industry concentration on innovation in the US plant biotech industry”, in: W. H. Lessen(ed), *Transitions in Agbiotech: Economics of Strategy and Policy*, Proceedings of NE–165 Conference Food Marketing Polity Center, University of Connecticut.
- Bugge, M. M. et al(2016), “What is the bioeconomy? A review of the literature”, *Sustainability* 8(7):691–712.
- Carlsson, G. A. (1977), “Biological economics: An emerging discipline”, in: *The Prospect of Institutional Economics*, D. C. Heath and Company.
- Carlsson, R. (2016), “Emergent imaginaries and fragmented policy frameworks in the Canadian bio-economy”, *Sustainability* 8(10):1007–1022.
- Clarke, L. J. & R. I. Kitney(2016), “Synthetic biology in the UK – An outline of plans and progress”, *Synthetic and Systems Biotechnology* 1(4):243–257.
- Cooke, P. (2006), “Global bioregional networks: A new economic geography of bioscientific knowledge”, *European Planning Studies* 14(9):1265–1285.
- Daly, H. E. (1992), *Steady-State Economics*, Washington, D. C. : Island Press.
- D’Amato, D. & J. Korhonen(2021), “Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework”, *Ecological Economics* 188, no. 107143.
- De Besi, M. & K. McCormick(2015), “Towards a bioeconomy in Europe: national, regional and industrial strategies”, *Sustainability* 7(8):10461–10478.
- Devaney, L. & A. Iles(2019), “Scales of progress, power and potential in the US bioeconomy”, *Journal of Cleaner Production* 233:379–389.

- Dietz, T. et al(2018), "Governance of the bioeconomy: A global comparative study of national bioeconomy strategies", *Sustainability* 10(9):3190—3209.
- Duchesne, L. C. & S. Wetzel(2003), "The bioeconomy and the forestry sector: Changing markets and new opportunities", *Forestry Chronicle* 79(5):860—864.
- Efken, J. et al(2012), "Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland", Working Paper, 07/2012, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, Germany.
- EI-Chichakli, B. et al(2016), "Policy: Five cornerstones of a global bioeconomy", *Nature* 535(14):221—223.
- FAO(2016), *How Sustainability is Addressed in Official Bioeconomy Strategies at International, National, and Regional Levels - An Overview*, Food and Agriculture Organization of United Nations: Rome, Italy.
- FDA(2004), *Innovation or Stagnation, Challenge and Opportunity on the Critical Path to New Medical Products*, U. S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration.
- Feldman, P. M. (2002), "The locational dynamics of the U. S. biotech industry: Knowledge externalities and the anchor hypothesis", *Industry and Innovation* 10(3):311—328.
- Festel, G. & P. Rittershaus(2014), "Fostering technology transfer in industrial biotechnology by academic spin-offs in Europe", *Journal of Commercial Biotechnology* 20(2):5—10.
- Finnemore, M. (1996), *National Interests in International Society*, Cornell University Press.
- Freeman, C. & F. Louca(2002), *As Time Goes By: From the Industrial Revolution to the Information Revolution*, Oxford University Press.
- Fulton, M. & K. Giannakas(1999), "The producer benefits of herbicide resistant canola", *Agbioforum* 2(2):85—93.
- Gaisford, J. D. et al (2001), *The Economics of Biotechnology*, Edward Elgar.
- Georgescu-Roegen, N. (1971), "The entropy law and the economic problem", in: M. Bonaiuti(ed), *From Bioeconomics to Degrowth*, Routledge Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1989), "Quo vadis homo sapiens sapiens? A query", in: M. Bonaiuti(ed), *From Bioeconomics to Degrowth*, Routledge Press.
- German Bioeconomy Council (2015), *Global Visions for the Bioeconomy - An International Delphi-Study*, Berlin: Bioökonomierat.
- Ghiselin, M. T. (1974), *The Economy of Nature and the Evolution of Sex*, University of California Press.
- Ghiselin, M. T. (1978), "The economy of the body", *American Economic Review* 68(1):233—237.
- Golden, J. S. et al(2015), "An economic impact analysis of the U. S. biobased products industry: A report to the Congress of the United States of America", *Industrial Biotechnology* 11(4):201—209.
- Golembiewski, B. et al(2015), "The emerging research landscape on bioeconomy: What has been done so far and what is essential from a technology and innovation management perspective?", *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 29(S1):308—317.
- Gordon, T. (1971), "The evolution of reciprocal altruism", *Quarterly Review of Biology* 46(1):77—80.
- Hayenga, M. L. & N. Kalaitzandonakes(2000), "Structural changes in the biotechnology and seed industrial complex: Theory and evidence", in: W. H. Lessen(ed), *Transitions in Agbiotech: Economics of Strategy and Policy*, Proceedings of NE—165 Conference Food Marketing Polity Center, University of Connecticut.
- Heijman, W. (2016), "How big is the bio-business? Notes on measuring the size of the Dutch bio-economy", *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences* 77(S1):5—8.
- Hirshleifer, J. (1977), "Economics from a biological viewpoint", *Journal of Law and Economics* 20(1):1—52.
- Hritonenko, N. & Y. Yatsenko(2006), "Optimization of harvesting return from age-structured population", *Journal of Bioeconomics* 8(2):167—179.
- James, C. (1999), "Transgenic crops worldwide: Current situation and future outlook", *Proceedings of the Conference on Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimising the Benefits for the Poor*, organised by ZEF and ISAAA, AgrEvo and DSE in Bonn, 15—16 Nov.
- Kardung, M. & D. Drabik(2021), "Agricultural economics and rural policy group", *Ecological Economics* 188, no. 107146.
- Ketter, H. E. (2000), "Pharmaceutical and biotechnology industries coalescing", Presentation at the American Enterprise Institute, Washington D. C.

- Kim, S. T. (2015), "Regional advantage of cluster development: A case study of the San Diego biotechnology cluster", *European Planning Studies* 23(2):238—261.
- Koka, B. R. et al(2006), "The evolution of interfirm networks: Environmental effects on patterns of network change", *Academy of Management Review* 31(3):721—737.
- Landa, J. T. (1999), "Bioeconomics of some nonhuman and human societies: New institutional economics approach", *Journal of Bioeconomics* 1(1): 95—113.
- Lewis, D. A. et al(2011), "Incubating success: Incubation best practices that lead to successful new ventures", Institute for Research on Labor Employment and the Economy, USA.
- Mann, C. C. & M. L. Plummer(1991), *The Aspirin Wars*, Harvard Business School Press.
- Marshall, A. (1938), *Principles of Economics*, London: The Macmillan Company.
- McKelvey, M. D. (1996), *Evolutionary Innovations: The Business of Biotechnology*, Oxford University Press.
- Meadows, D. H. et al (1972), *The Limits to Growth*, Chelsea Green Publishing Company.
- Mooney, S. & K. K. Klein(1999), "Environmental concerns and risks of genetically modified crops: Economic contributions to the debate", *Canadian Journal of Agricultural Economics* 47(4):437—444.
- Morrison, M. & L. Cornips(2012), "Exploring the role of dedicated online biotechnology news providers in the innovation economy", *Science Technology & Human Values* 37(3):262—285.
- NASEM(2020), *Consensus Study Report 2020: Safeguarding the Bioeconomy*, National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, Washington, DC: The National Academies Press.
- Nelson, R. R. & S. G. Winter(1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press.
- Newell-McGloughlin, M. & E. B. Re(2006), *The Evolution of Biotechnology: From Natufians to Nanotechnology*, Springer.
- Nightingale, P. & P. Martin(2004), "The myth of the biotech revolution", *Trends in Biotechnology* 22(11):564—569.
- Niosi, J. & M. McKelvey(2018), "Establishing linkages between business model innovation and innovation cascades: The case of biotechnology", *Review of the Economics of Evolution and Innovation* (2):19—45.
- OECD(2009), *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda—Main Findings and Policy Conclusions*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France.
- Oliver, R. W. (2002), *The Coming Biotech Age: The Business of Bio-Materials*, McGraw-Hill.
- Orlando, M. P. (2000), "On the importance of geographic and technological proximity for R&D spillover: An empirical investigation", Federal Reserve Bank of Kansas City.
- Orsenigo, L. (2001), "The (failed) development of a biotechnology cluster: The case of Lombardy", *Small Business Economics* 17(1):77—92.
- Papageorge, N. W. & K. Thom(2020), "Genes, education, and labor market outcomes: Evidence from the health and retirement study", *Journal of European Economic Association* 18(3):1351—1399.
- Pătări, S. et al(2016), "Global sustainability megaforces in shaping the future of the European pulp and paper industry towards a bioeconomy", *Forest Policy and Economics* 66(C):38—46.
- Pearce, D. W. & R. K. Turner(1991), "Economics of natural resource and the environment", *American Journal of Agricultural Economics* 73(1):227—228.
- Peterson, W. & Y. Hayami(1977), "Technical change in agriculture", in: R. Martin(ed), *A Survey of Agricultural Economics Literature*, University of Minnesota Press.
- Phillips, P. & W. Kerr(2000), "Alternative paradigms: The WTO versus the Biosafety Protocol for Trade in Genetically Modified Organisms", *Journal of World Trade* 34(4):63—75.
- Rosegrant, M. W. et al(2013), "Water and food in the bioeconomy: Challenges and opportunities for development", *Agricultural Economics* 44(S1):139—150.
- Scherer, F. M. (2010), *Handbook of the Economics of Innovation*, Elsevier.
- Spolaore, E. & R. Wacziarg(2009), "The diffusion of development", *Quarterly Journal of Economics* 124(2):469—529.
- Staffas, L. et al(2013), "Strategies and policies for the bioeconomy and bio-based economy: An analysis of official national approaches", *Sustainability* 5(6):2751—2769.
- Swinnen, J. & O. Riera(2013), "The global bio-economy", *Agricultural Economics* 44(S1):1—5.

- Unruh, G. C. (2002), "Escaping carbon lock-in", *Energy Policy* 30(4):317-325.
- Viaggi, D. (2016), "Towards an economics of the bioeconomy: Four years later", *Bio-based and Applied Economics* 5(2):101-112.
- Wesseler, J. (2014), "Biotechnologies and agrifood strategies: Opportunities, threads and economic implications", *Bio-based and Applied Economics* 3(3):187-204.
- Wesseler, J. et al(2015), "Introduction special issue 'the political economy of the bioeconomy'", *German Journal of Agricultural Economics* 64(4):209-211.
- Wesseler, J. et al(2017), "Foregone benefits of important food crop improvements in Sub-Saharan Africa", *PLoS ONE* 12(7):e0181353.
- Wesseler, J. & J. von Braun(2017), "Measuring the bioeconomy: Economics and policies", *Annual Review of Resource Economics* 9:275-298.
- Wield, D. (2013), "Bioeconomy and the global economy: Industrial policies and bio-innovation", *Technology Analysis & Strategic Management* 25(10):1209-1221.
- Wierny, M. et al(2015), *Measuring the Bioeconomy: Quantifying the Argentine Case*, Grupo Bioeconomia: Buenos Aires, Argentina.
- Zanuy, D. et al(2006), "From peptide-based material science to protein fibrils: Discipline convergence in nanobiology", *Physical Biology* 3(1):80-90.
- Zeller, C. (2001), "Clustering biotech: A recipe for success? Spatial patterns of growth of biotechnology in Munich, Rhineland and Hamburg", *Small Business Economics* 17(1):123-141.
- Zhang, F. & F. Wu(2019), "Rethinking the city and innovation: A political economic view from China's biotech", *Cities* 85:150-155.
- Zhou, Z. (2015), "Future development trend of Chinese economy: Analysis based on bio-economic research literature", *Journal of Management* 28(5):1-6.
- Zilberman, D. et al(2013), "Technology and the future bioeconomy", *Agricultural Economics* 44(S1):95-102.
- Zucker, L. G. et al(1998), "Intellectual capital and the firm: The technology of geographically localized knowledge spillovers", *Economic Inquiry* 36(2):65-86.

Research Progress on Bioeconomics

TAO Wenna OUYANG Yao

(Hunan Normal University, Changsha, China)

Abstract: Bioeconomics is an emerging interdisciplinary field that integrates economics and biology. It has undergone an evolution from economic biology and ecological economics to biological economics. This article outlines the evolution of biological economic theory, summarizes the main ideas and characteristics of three stages of development, and explains the theoretical contributions made by representative figures. Economists study the enormous economic value of biotechnology and biological products from a macro and micro perspective, analyzing the economic interests of stakeholders such as developers, producers, and consumers, as well as the positive and negative externalities associated with them. They also examine the position of biotechnology in the new wave of technological change and its relationship with information technology. The organizational and governance structures of the biological economy are analyzed from the driving factors of the modern bioindustry, its commercialization models, spatial structures, and agglomeration development. The main industrial sectors and priority areas involved in the biological economy are identified, and an indicator system and basic methods for evaluating the contributions of the biological economy are proposed. Finally, based on a summary of the main advances and breakthroughs in biological economic theory, the article discusses ideas for extending and deepening from the perspectives of standardization, systematicity, and logic.

Keywords: Bioeconomics; Biotechnology; Bioindustry

(责任编辑:刘洪愧)

(校对:李仁贵)