



何一若, 王文烂. 生物数字经济的发展模式研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(11): 276-284.
HE Yiruo, WANG Wenlan. Study on the developing model of digital bioeconomy[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(11): 276-284.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.11.26

生物数字经济的发展模式研究

何一若¹ 王文烂^{2*}

(1. 厦门大学 邹至庄经济研究院, 厦门 361005;
2. 福建农林大学 经济与管理学院, 福州 350002)

摘要 为探究我国生物数字经济研究现状及发展模式, 促进我国生物经济的转型升级、保障生物数字经济的平稳快速发展, 本研究分析了生物数字经济的产生与新兴产业领域, 也探索了生物数字经济发展新模式。结果表明: 数字技术为生物技术的快速发展提供了重要支撑, 而生物技术的发展也为数字技术提供新的应用场景, 两者融合带来犹如工业革命般的重大变革, 创新了经济形态, 因此生物经济与数字经济的融合具有必然性; 同时, 生物经济与数字经济创新融合产生的生物数字经济, 促进了产业结构调整、产生了新兴产业领域; 最后, 以林业生物数字经济为案例, 构建了基于大数据的林业资源高效管理和基于大数据的林产品设计与生产模式, 为生物数字经济的发展指明了方向。总之, 创新与结构调整是生物数字经济发展的的重要途径, 通过技术创新与结构优化升级, 才能解决当前我国数字经济与生物经济融合不深、渗透不足的问题, 才能提升两者的融合质量。

关键词 生物经济; 数字经济; 经济的融合; 生物数字经济; 发展模式

中图分类号 F69.9

文章编号 1007-4333(2024)11-0276-09

文献标志码 A

Study on the developing model of digital bioeconomy

HE Yiruo¹, WANG Wenlan^{2*}

(1. Paula and Gregory Chow Institute for studies in Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China;
2. College of Economics and Management, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract To explore the research status and developing model of digital bioeconomy, promote the transformation and upgrading of bioeconomy and ensure the stable and rapid development of digital bioeconomy in China, the emerging and new industrial area of digital bioeconomy as well as its new models were analyzed in this study. The results showed that: The application of digital technologies provided support for the fast development of biological techniques, and the development of biotechnology also provided new application scenarios for digital technology. The combination of these two technologies brought significant changes like the industrial revolution, and innovated economic forms. Therefore, the combination was a necessary and beneficial step towards a new regime. Meanwhile, the convergence of bioeconomy and digital economy derived the digital bioeconomy and developed new industrial areas for bioeconomy. Finally, by taking the digital forestry bioeconomy as a case study, a model of forestry resource managing system and forestry goods designing and producing system based on big data was constructed. In summary, creative solutions and structural adjustment are important for the development of digital bioeconomy. The current problem of insufficient integration and penetration between China's digital

收稿日期: 2023-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(32370709)

第一作者: 何一若(ORCID: 0009-0000-2747-3244), 博士研究生, E-mail: yiruohe@foxmail.com

通讯作者: 王文烂(ORCID: 0000-0002-3324-4517), 教授, 主要从事农业经济理论与政策、农村产权制度改革、农业科技政策研究, E-mail: wzg916@163.com

economy and bioeconomy can be solved, and the convergence quality of bioeconomy and digital economy can be improved through technological innovation, transformation and upgrading.

Keywords bioeconomy; digital economy; economy convergence; digital bioeconomy; modeling

随着大数据、云计算、人工智能(AI)、区块链等新一代数字技术的加速创新,数字化正推动着人类生产和生活方式发生重大变革。邵春堡^[1]认为数字经济已成为全球要素资源重组、全球经济结构重塑、全球竞争格局改变等方面的关键力量。何一若^[2]前期研究表明随着数字经济的发展,大数据已成为各行业的一个显著特征。2012—2021年,我国数字经济规模从11.0万亿元增长到45.5万亿元,占国内生产总值比重由21.6%提升至39.8%。

朱姝^[3]提出数字经济的一大要素是产业数字化,生物经济又是继农业经济、工业经济、数字经济之后的第四个经济形态。数字技术、生物技术作为当今时代创新最活跃的两大领域,应用数字技术改造生物技术产业,使其在数字技术下实现生物技术与信息技术的融合,能创造新的经济增长点并引发产业发展的颠覆性创新。但当前国内外对生物数字经济的研究报道尚不多见。Rennings等^[4]搜索Web of Science数据库,仅获得84条结果,其中只有21篇是同时关注生物经济和数字经济的文献。作者在中国知网数据库用“生物经济”AND“数字经济”关键词进行搜索,截至2023年8月1日,仅获得33条结果,无同时关联上述两种经济的文献。

可见,我国生物数字经济的发展尚处起始阶段,生物数字经济发展的概念模糊、发展模式不清。为此,本研究在对相关文献进行述评的基础上,首先分析20世纪生物技术快速发展对数字技术的应用需求、对生物技术与数字技术融合的促进作用;然后,阐述生物数字经济的产生及其新兴产业领域;最后,以林业生物数字经济为案例,分析生物数字经济的发展模式,探寻生物数字经济发展的新增长点。本研究力图丰富我国生物数字经济的基础理论研究,以促进我国生物经济的转型升级。

1 文献综述

1.1 生物经济的发展

被誉为生物经济学奠基人的Nicholas Georgescu^[5]在《熵定律与经济过程》一书中创立了“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。2000年5月,美国管理

咨询专家Davis和Meye^[6]指出信息经济时代大约到2020年代结束,生物经济时代将应势产生。丁陈君等^[7]提出广义上的生物经济是指利用可再生自然资源,通过可持续的方式生产食品、能源、生物技术产品和服务的经济活动的总和。

王宏广等^[8]发现当前生物经济已成为世界各国科技竞争的焦点,一些国家从生物安全层面,保障生物经济能成为新的经济增长点。刘清峰^[9]认为发达国家将生物产业培育为主导产业,生物经济成为国际竞争的主战场。Aguilar等^[10]指出尽管生物经济概念仍处在崭新发展时期,但世界上已经有50多个国家制定了生物经济发展战略或行动方案。邓心安等^[11]也指出生物经济尚处于兴起与成长时期,但欧美国家已从概念的形成为到战略的制定、再到行动计划与项目的实施,形成基本共识。表1总结了文献中涉及的主要国家或组织生物经济政策的演变。

早在2009年,世界经济合作与发展组织就制定“2030生物经济计划”,预测到2030年生物技术产出将占全球农业产出的50%、药品和生产资料产值的80%以及工业产值的35%(表1)。美国更是从国家经济安全的高度谋划生物经济建设,从2012年4月奥巴马政府发布《国家生物经济蓝图》,到2022年9月拜登政府签署《关于推进生物技术和生物制造创新以实现可持续、安全和有保障的美国生物经济的行政命令》、启动20亿美元的“国家生物经济与生物制造计划”,一直强化美国的生物技术和生物制造,保障美国生物经济的优势地位。2022年5月,国家发改委印发《“十四五”生物经济发展规划》,这是我国首部生物经济发展规划,也是我国首个生物经济的顶层设计,代表着我国生物经济发展的路线图。“十三五”末期我国生物经济产值规模达5万亿元,生物及大健康产业主营业务收入规模超过10万亿元;预计到2025年我国生物经济总量有望达22万亿元(表1)。

据麦肯锡预测,在未来10~20年生物经济可能产生约2万亿~4万亿美元的年度直接经济影响。当前全球经济中高达60%的实物投入,如木材、牲畜、塑料和燃料等,可通过生物技术获得。因此,世界各国十分重视生物经济的发展,不断调整策略,

表1 一些国家和组织的生物经济发展战略

Table 1 Strategies for the development of digital bioeconomy used in some countries and communities

国家/组织 Country/ Organization	发展重点 Priority field	产业规模 Industrial scale	战略规划 Strategy	文献来源 Reference
国际经合组织 APEC	关注利益和主流政策	到2030年生物技术对全球GDP的贡献率将达到2.7%以上。	2009年2030生物经济计划；2018年面向可持续生物经济的政策挑战。	[12]
欧盟 Europe	强调发展循环生物经济推进绿色协议目标达成	2017年欧盟28个成员国生物经济营收2.4万亿欧元，占当年GDP的4.7%，其中30%的生物经济收入来自生物基产业，超过7500亿欧元，生物基份额达到创纪录的15%。	2012年持续增长的创新；欧洲生物经济；2018年欧洲可持续发展生物经济；加强经济、社会和环境之间的联系。	[13]
美国 America	从国家经济安全的高度重视生物经济发展	美国生物经济产值超过9500亿美元，占美国GDP的5%以上。	2012年国家生物经济蓝图；2019年美国生物经济发展建议；最大限度支撑经济增长和国家安全；2020年保护生物经济；2022年关于推进生物技术和生物制造创新以实现可持续、安全和有保障的美国生物经济的行政命令。	[14]
英国 British	经济转型，发展合成生物学技术	目标至2030年实现生物经济影响规模较2014年翻一番，达到4400亿英镑。	2018年国家生物经济战略；2020年循环生物经济的10点行动计划。	[13]
日本 Japan	加快发展先进技术，建设国际生物经济社区	2019年广义生物经济的市场规模达到57万亿日元（约0.5万亿美元），相当于GDP总量的10.4%。	2019年生物战略2019-面向国际的生物社区的形成；2020年生物战略2020（基本措施版）	[13]
中国 China	按照“四个面向”要求和碳中和目标	2025年我国生物经济总量有望达22万亿元，其中核心产业总量超过7.5万亿元。	2021年“十四五”生物经济发展规划	国家发改委

改变发展模式，抢占生物经济的制高点。

1.2 生物技术与数字技术的融合

多学科与技术的交叉融合，使生命科学取得重大进展，生命科学发展成为最活跃的学科之一，处于自然科学的前沿。2019—2023年，美国《科学》杂志公布的年度十大科学突破中，生命科学领域的技术突破占比均达60%。生命科学的快速发展离不开数字技术的支撑，生物技术与计算机科学与技术、信息技术等数字技术融合，创造了一个又一个辉煌。1990年以来生物技术与数字技术融合的一些关键节点如图1。

1953年DNA双螺旋结构的发现拉开了现代生物技术的序幕，1973年设计的DNA重组技术成为生命数字化的开端。1990年启动人类基因组计划，从实施5年后的第一次项目小结发现基因组计划离不开信息技术的支撑，到2003年获得人类基因组序列图谱，可知数字技术得到广泛应用。2007年发现人类基因组序列差异与个体性状差异相关联；2010年合成首个基因组，预示人造生命的诞生，该技术可广泛应用于生物燃料、医药或其他化学制品的生产；2021年，人工智能被应用于蛋白质结构的预测，生物技术与数字技术的融合达到高峰。

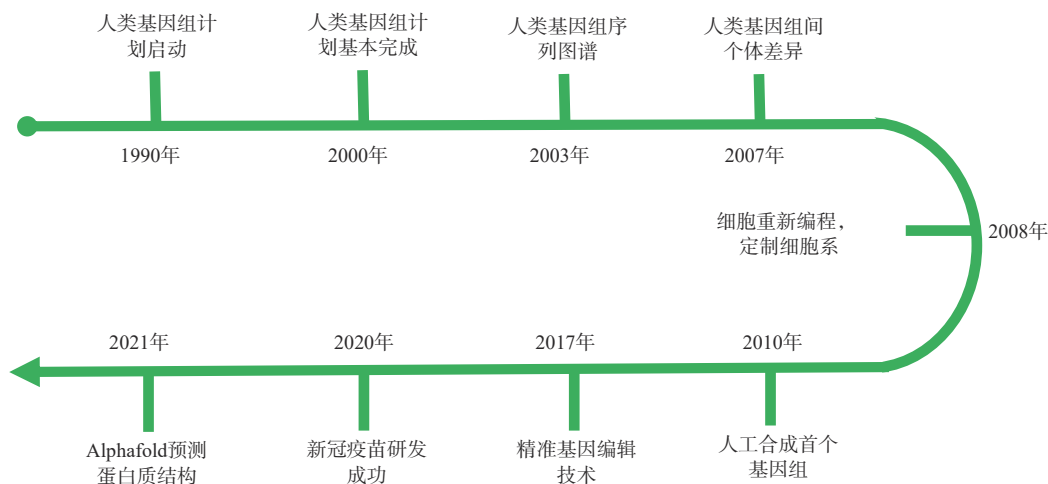


图 1 生命科学技术与数字技术融合路线图

Fig. 1 Fusion roadmap of biological techniques and digital techniques

进入 21 世纪,人类面临一系列重大问题,如人口膨胀、能源危机、环境污染、资源匮乏和疾病危害等。历史经验表明,解决人类面临的重大问题的往往需要多学科的交叉研究。正如 Limoges 等^[15]指出:“交叉学科拓展了对世界的认知与对高深知识的理解,同时实现了科学研究为经济社会服务以及为国家重大战略服务的目标。”Peters^[16]认为生物数字融合(Biodigital convergence)被视为潜在的颠覆性前沿技术,能从根本上解决人类社会面临的许多重大问题。

生物数字融合,也可称为生物数字体系,是生物科学技术与信息科学技术、物理学特别是纳米技术等学科技术交互结合而产生的一个新兴学科技术领域。Alberto^[17]认为生物数字融合充分利用人类从生物学和数字两方面对生物遗传本质的研究成果,是按照自然规律实现人类的可持续发展。

2001 年 12 月,美国商务部技术管理局协同国家自然科学基金会、国家科学技术委员会纳米科学与工程与技术分会的圆桌会议上首次提出了“NBIC 会聚技术”概念,NBIC 是纳米技术(Nano)、生物技术(Bio)、信息技术(Info)、认知科学(Cogno)的缩写。会议指出要会聚四大技术,提升人类能力。其中任何技术的两两融合、三种会聚或者四者集成,都将产生难以估量的效果。2022 年 5 月,国家发展和改革委员会发布《“十四五”生物经济发展规划》,明确指出要促进生物技术与信息技术深度融合。Salter 等^[18]指出这种技术融合将产生犹如工业革命的变革力量。

2 生物数字经济的产生与发展

科技创新成果的应用推动并产生新型的经济活动,如数字技术和信息网络应用推动产生了数字经济。生物技术与数字技术的融合创新,推动了生物经济结构的转型升级,促进了新兴生物数字经济的产生与发展。Ryymin^[19]指出生物数字经济是应用数字技术、数据去改变生物经济模式。Watanabe 等^[20]也认为生物经济与数字化融合产生了生物数字经济,符合现代消费者逐渐增强生态意识的需求。

2.1 生物数字经济的产生

由于数字化与自动化的全球化趋势,生物经济也受到极大冲击。生物经济和数字经济具有协同效应。在改变消费者行为及观察世界的方式上,两者紧密关联。应用数字化技术,包括数字管理、知识生成和创新进程,加速生物经济的转型。反之,Rennings 等^[4]发现生物学取得的进展也推进了数字化进程,生物经济面临的挑战促进了数字技术的进一步发展。Ala-Illomäki 等^[21]认为数字化是生物经济发展的必由之路;Kuusiaari 等^[22]和 Rennings 等^[4]都认为生物数字经济将产生大量机会并驱动经济的绿色增长。Klitkou 等^[23]和 Pyka^[24]均提出发展基于知识的生物数字经济,是迈向新经济形态必要且有益的一步,将带来巨大的发展潜力。但关于生物数字经济发展的报道尚不多见。Rennings 等^[4]首次使用标准工业分类(Standard industrial classification, SIC)分析生物经济和数字经济间的交易关系,发现两者市场的融合正在进行中且愈来愈受到重视。

2.2 生物数字经济的新兴产业领域

生物经济的数字化进程,孕育和催生了一批具有重大产业变革前景的颠覆性技术,如农业生物育

种、人工生物分子和生物3D打印等,提升了农业、人工智能、健康和工业等多行业的新兴布局空间(表2)。

表2 生物数字经济领域部分新兴产业
Table 2 Emerging industries in the digital bioeconomy

生物经济 Bioeconomy	数字化技术 Digital technology	新兴产业 Emerging industry	文献 Reference
农业 Agronomy	基因组选择、人工智能	生物育种、智慧农业	[25]
林业 Forestry	智能化、物联网	智慧林业	[4]
医疗 Medical	基因组大数据技术	分子诊断、精确医疗	[26]
健康 Health care	基因编辑技术	植物源药物、生物制药	[27]
生物 Biology	生物反应器技术	合成生物	[28]

2.2.1 生物育种

种子是农业芯片。生物技术、大数据和人工智能是农业生物育种4.0时代的重要支撑技术,基因编辑技术、全基因组选择技术和数字技术正推动农业育种技术向精确化、高效化和智能化方向发展。据美国市场调研公司Mordor Intelligence^[29]统计,2024年全球种业市场规模达731亿美元,预计到2030年将增长到1 001亿美元,6年内年均复合增长率为5.38%。近年来,我国不断加强对生物育种产业的政策支持力度,生物育种的种子市场渗透率不断提高,为我国种子市场带来可观的增量空间,预计2023年我国种子市场规模将达到1 238亿元。如,Wu等^[30]应用基因组设计育种技术改造马铃薯,培育出第一代杂交马铃薯,改变种薯块收获马铃薯的局面,可以用种子繁殖后代。这将对马铃薯产业带来一场革命性的变革,促使马铃薯进入现代化种植时代。生物育种成为支撑现代种业发展、解决全球粮食安全问题的关键技术,市场前景广阔。

2.2.2 智慧农业

智慧农业是当今世界现代农业发展的大趋势,世界主要国家和地区先后推出了智慧农业发展计划。美国搭建人工智能战略实施框架,提出智慧农业研究计划;欧盟提出利用对地观测技术为小农户搭建智慧服务平台;德国明确基于“工业4.0”发展智慧农业;日本启动基于智能机械+IT的下一代农林水产业创造技术。根据BIS research发布的研究数据,2020年全球智慧农业市场规模约为124亿美

元,2021年增长至147亿美元。预计未来全球智慧农业市场将继续保持高增长趋势,至2027年,全球智慧农业市场规模有望超过400亿美元。我国不断加大对智慧农业的政策支持,同时积极引入社会资金,推动农业数字经济的渗透发展,智慧农业市场规模将加速扩容。

2.2.3 合成生物

合成生物学作为一门生物技术与信息技术紧密融合的前沿交叉学科,正在为医药与健康、农业与食品安全、环境与能源提供新技术支撑。2021年,Cai等^[31]构建了一条只有11步主反应的人工合成淀粉途径,首次实现了从二氧化碳到淀粉的从头合成,不仅对未来的农业生产、特别是粮食生产具有重要影响,也对全球生物制造产业的发展具有里程碑式的意义。以赤藓糖醇为代表的甜味剂、医药领域的医用蛋白、用于美妆的人造黑色素,都是合成生物的应用案例。目前,合成生物产业已成为各国风险投资的风口。据麦肯锡数据^[32],到2025年,合成生物学与生物制造的经济价值将达到1 000亿美元,未来全球60%的物质生产可通过生物制造方式实现。合成生物学迅速成为生物经济的新引擎。

2.2.4 分子诊断

因为新冠疫情而变得家喻户晓的聚合酶链式反应(Polymerase chain reaction,PCR)技术堪称划时代的技术突破,不仅给生命科学和医学的研究带来翻天覆地的变化,更发展成为目前最成熟的分子诊断技术之一。此外,第四代测序、基因芯片、单细

胞转录组分析等,都是当前分子诊断领域的前沿技术和支撑平台代表。基于生物组学大数据的分子诊断技术不但提高了医疗诊断的精确度和便利性,也使重大疾病的提前预防成为可能。当前我国的分子诊断市场增速不断提升,行业技术更迭和产品升级也在加速。

3 生物数字经济发展模式——以林业生物数字经济为例

林业经济是生物经济的一个重要市场模式,在

我国经济总量中占据重要地位。2022年,国家林业和草原局印发《林草产业发展规划(2021—2025年)》,提出2025年我国林草产业总产值将质和量齐升。林业更是一项基础性和公益性产业,具有周期长、投资大、见效慢等特点。在数字经济全球化的大背景下,应用数字技术对林业经济进行改造升级,以充分发挥林业资源的社会、经济和生态效益,实现人、自然、社会和经济的协调发展。林业经济与数字经济的融合产生林业生物数字经济(图2)。

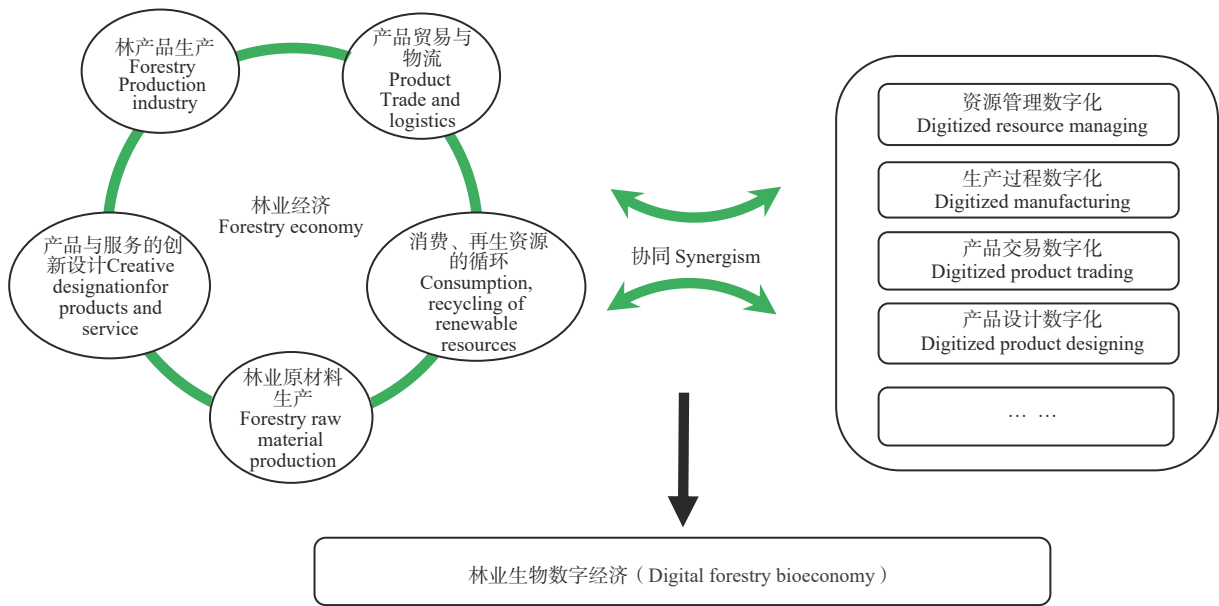


图 2 林业生物数字经济的发展模式

Fig. 2 Developing model of digital forestry economy

数字技术的应用,提升林业原材料的生产管理与资源的循环利用水平,创新了基于大数据的林产品设计与制造理念,涵盖数字化设计、数字化仿真、自动化生产、生产过程的信息管理全过程。因此,林业经济与数字技术融合,将使林业经济相关的商业过程、客户体验、产品设计和服务等数字化和智能化成为现实,激发出林业生物数字经济的新产业模式。

3.1 基于大数据的林业资源高效管理

可持续林业资源管理系统要平衡林业资源的经济、社会和生态三大功能。因此,林业资源管理不能以经济效益为唯一指标,还要保障生物多样性、土壤

质量并提供生态服务。为实现上述多种功能、并协调不同功能间的矛盾关系,林业资源管理系统必须建立在土壤质量、气候条件、树木状态等大数据的基础上,将这些大数据整合在能提供预测树木生长和种植、保护、砍伐等计划的具有空间信息的地理信息系统中。其中最关键的是林业资源大数据的共享,当前,面向大众开放的森林大数据有 International Tree-Ring Data Bank^①、the TreeGenes^②等。

3.2 基于大数据的林产品设计及制造

林产品智能设计的目的是延长产品的使用寿命或使产品各部分组件可循环使用,因此智能设计要在最终产品的构件中选择对生态更有利的可再

① National Centers for Environmental Information, National Ocean and Atmospheric Administration. <https://www.ncei.noaa.gov/products/paleoclimatology/tree-ring>

② University California, Davis, USA. <http://dendrome.ucdavis.edu/treegenes>

生物质,如用生物基材料替代合成材料或高污染材料;同时要延长产品的使用寿命,并在使用结束回收或再生产品或其构件;产品构件跟踪系统能提供的在产品寿命结束时产品质量和组件信息,使构件的循环利用更高效。

林产品的智能制造是以大数据、物联网和人工智能等技术为基础,通过数字化、自动化和智能化的手段来提高生产效率和产品质量,推动林产品制造向更环保和可持续方向转型。通过数字化和自动化手段,实现生产流程的优化和生产资源的高效利用,从而减少资源的浪费和环境污染;通过不断学习和优化,提高产品的生产工艺和质量控制,提高产品的可持续性和环保性。据国家统计局^[33]发布的全国规模以上工业企业利润数据报告,即使受新冠疫情影响,2022年1—10月我国木材加工与产品销售收入为8 006.1亿元,同比增长0.2%;疫情结束,我国林产品设计与制造或将迎来一波“小阳春”。

4 讨论与小结

生物经济是继数字经济之后的一种新兴经济形态,是人类解决化石燃料危机的必然选择;而当今数字经济得到蓬勃发展,数字化又是生物经济转型升级的必由之路。本研究通过分析生物经济与数字经济的融合应用,创新产生生物数字经济的新兴产业及其发展模式,获得以下3个研究结论。

4.1 生物数字经济的产生具有必然性。

数字化使生物经济发展可持续,因为数字化使生物经济价值链上下游可视化,有利于挖掘经济可持续发展的热点。Rennings等^[4]研究发现生物经济和数字经济的市场边界越来越不清晰,而且作者用实证数据分析发现两者融合后产生基于知识的生物数字经济的明显趋势。

4.2 创新与结构调整是生物数字经济产生与发展的重要途径。

Pyka^[24]认为从经济学理论层面,解决当前人类所面临的资源枯竭问题有两个不同策略:一是通过抑制增长来节约资源;二是增长与资源利用脱钩。Zhan等^[34]指出基于熊彼特内生增长理论,第二种策略强调创新、结构转型才是解决问题的答案。创新是数字经济与实体经济深度融合的高级形态,不仅表现在产品层面,也表现在商业模式层面。因

此,数字技术的应用促使生物经济的创新与结构调整,产生了许多具有新发展格局的产业领域。

4.3 我国生物数字经济新兴产业领域的发展尚处起始阶段,需要政策的引导与扶持。

生物数字经济是新兴的交叉融合经济形态,生物经济和数字经济的融合,提升了农业、林业和医药等相关产业的布局空间。如基因组大数据、人工智能与农业交叉融合,实现基于目标性状的设计育种,驱动“快、准、精”的农业育种4.0;微生物工程与高性能计算、人工智能和自动化技术交叉融合,实现基因表达与调控的高效模拟,驱动高效与可控的生物制造。但据中国信息通信研究院发布的《2021年中国数字经济发展白皮书》^[35]显示,数字经济在服务业的渗透率达40.7%,在农业的渗透率仅为8.9%。可见,我国生物经济与数字经济的融合质量有待提升。

生物经济与数字经济的融合创新了生物数字经济。数字技术的应用为生物经济发展带来新的发展机遇,促进了结构调整、发展了新兴产业领域。但当前我国数字经济与生物经济的融合不深、渗透不足,生物数字经济的发展亟待提速。可以预计未来生物数字技术将以类似今天数字技术的方式影响人类的生活。因此,为了促进我国生物经济的转型升级、保障生物数字经济的平稳快速发展,建议:一是要做好顶层设计,成立政府、技术人员、市场人员组成的专门委员会,统筹我国生物数字经济的发展规划;二是要做好政策设计,为生物数字经济产业的发展保驾护航;三是要多方引入社会资本,为生物数字经济的发展提供动力。

参考文献 References

- [1] 邵春堡. 进一步推进经济数字化转型[N]. 人民日报, 2022-01-28(9)
Shao C B. Further promote the digital transformation of the economy [N]. *People's Daily*, 2022-01-28(9) (in Chinese)
- [2] 何一若. 二叉树与布莱克-斯科尔斯模型对欧式期权定价的比较分析[J]. 内蒙古民族大学学报:社会科学版, 2021, 47(5): 88-94
He Y R. Comparison of Black-Scholes and binomial pricing model on European option [J]. *Journal of Inner Mongolia Minzu University: Social Sciences*, 2021, 47(5): 88-94 (in Chinese)
- [3] 朱姝. 生物经济时代正在加速来临[J]. 科技中国, 2022, 9: 3
Zhu Z. The era of bioeconomy is accelerating [J]. *China Scitechnology Think Tank*, 2022, 9: 3 (in Chinese)
- [4] Rennings M, Burgsmüller A P F, Bröring S. Convergence towards a digitalized bioeconomy- exploring cross-industry merger and acquisition

- activities between the bioeconomy and the digital economy[J]. *Business Strategy and Development*, 2023, 6:53-74
- [5] Georgescu-Roegen N. *Entropy Law and the Economic Process* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1971
- [6] Davis S, Meyer C. What will replace the tech economy[J]. *Time*, 2000, 155(21):76-77
- [7] 丁陈君, 陈方, 郑颖, 吴晓燕, 宋琪. 全球生物科技发展态势及对我国的启示[J]. 世界科技研究与发展, 2020, 42(2):133-143
Ding C J, Chen F, Zheng Y, Wu X Y, Song Q. Development trend of bioscience and biotechnology and implication for China[J]. *World Sci-Tech R&D*, 2020, 42(2):133-143 (in Chinese)
- [8] 王宏广, 朱姝, 尹志欣, 张俊祥, 李文兰. 国际生物经济发展的趋势与特征[J]. 中国科技论坛, 2018, 5:158-164
Wang H G, Zhu Z, Yi Z X, Zhang J X, Li W L. Trends and features in the development of international bio-economy[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2018, 5:158-164 (in Chinese)
- [9] 刘清峰. 生物经济: 未来国际竞争的主战场[J]. 经营与管理, 2002, 1:31-33
Liu Q F. Bioeconomy: The main battlefield of future international competition [J]. *Management and Administration*, 2002, 1: 31-33 (in Chinese)
- [10] Aguilar A, Wohlgemuth R, Twardowski T. Introduction to the special issue: Trends in bioeconomy[J]. *New Biotechnology*, 2021, 61:9-10
- [11] 邓心安, 万思捷, 朱亚强. 国际生物经济战略策略格局、趋势与中国应对[J]. 经济纵横, 2020, 8: 77-85
Deng X A, Wang S J, Zhu Y Q. The situation and trends of international bioeconomy strategic policy and corresponding countermeasures of China [J]. *Economic Review Journal*, 2020, 8:77-85 (in Chinese)
- [12] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Meeting policy challenges for a sustainable bioeconomy[DB/OL]. [2023-09-13]. <https://www.oecd.org/sti/policy-challengesfacing-a-sustainable-bioeconomy-9789264292345-en.htm>
- [13] 吴晓燕, 陈方, 丁陈君, 孙裕彤. 全球生物经济现状、趋势与融资前景分析[J]. 中国生物工程杂志, 2021, 10:116-126
Wu X Y, Chen F, Ding C J, Sun Y T. Analysis of global bioeconomy status, trends and financing prospects[J]. *China Biotechnology*, 2021, 10:116-126 (in Chinese)
- [14] US Department of Agriculture (USDA). Strong bioproducts sector growth nationwide leads to equally strong job gains[DB/OL]. [2023-08-15]. <https://biopreferred.gov/BioPreferred/faces/pages/articles/EconAnalysis2018.xhtml>
- [15] Limoges C, Schwartzman S, Nowotny H, Trow M, Scott P. *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*[M]. London: Sage Publications Ltd, 1994
- [16] Peters M A. Critical philosophy of technological convergence: Education and the Nano-Bio-Info-Cogno paradigm[M]. In: Stocchetti M, eds. *The Digital Age and its Discontents*. Helsinki: Helsinki University Press, 2020:235-252
- [17] Alberto T E. The future of architecture: Biodigital architecture and genetics[J]. *Architecture Research*, 2014, 4 (1B): 13-20
- [18] Salter B, Zhou Y, Datta S, Salter C. Bioinformatics and the politics of innovation in the life sciences: science and the state in the United Kingdom, China, and India[J]. *Science, Technology & Human Values*, 2016, 41(5):793-826
- [19] Ryymin E. Perspectives from higher education: Applied sciences university teachers on the digitalization of the bioeconomy [J]. *Technology Innovation Management Review*, 2021, 11(2): 24-32
- [20] Watanabe C, Naveed N, Neittaanmäki P. Digitalized bioeconomy: Planned obsolescence-driven circular economy enabled by co-evolutionary coupling[J]. *Technology in Society*, 2019, 56:8-30
- [21] Ala-Ilomäki J, Arvas M, Backman J, Hantula J, Holmala K, Häme T, Isto P, Kangas A, Lantto R, Nieminen K, Nordlund E, Pastell M, Peltola R, Pesonen L, Pitkanen J P, Piri T, Pusenius J, Seisto A, Suomi P, Utriainen M, Viiri H, Väättäin K. Bits and Biomass: A roadmap to the digitalization-empowered bioeconomy[R]. Helsinki: VTT Technical Research Center of Finland, 2018
- [22] Kuusisaari J. When digital met bBio: why digitalization will make bioeconomy thrive[DB/OL]. [2023-09-13] <https://www.linkedin.com/pulse/when-digi-metbio-why-digitalization-make-thrive-jaakko-kuusisaari>
- [23] Klitkou A, Bozell J, Panoutsou C, Kuhndt M, Kuusisaari J, Beckmann J P. Bioeconomy and Digitalization [EB/OL]. [2023-08-09]. <https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/12/Bilaga-1-Bakgrundsdokument-Bioeconomy-and-Digitalisation.pdf>
- [24] Pyka A. Dedicated innovation systems to support the transformation towards sustainability: Creating income opportunities and employment in the knowledge-based digital bioeconomy[J]. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2017, 3:27
- [25] Ingram J, Maye D. What are the implications of digitalization for agricultural knowledge[J]. *Frontier Sustainable Food System*, 2020, 4: 66
- [26] Institute of Medicine and National Research Council. Globalization, biosecurity, and the future of the life sciences[DB/OL]. [2023-08-13]. <https://doi.org/10.17226/11567>
- [27] PlantForm. What is biopharming [DB/OL]. [2023-08-09]. <https://www.plantformcorp.com/biopharming.aspx>
- [28] Kruger A, Schäfers C, Busch P, Antranikian G. Digitalization in microbiology-paving the path to sustainable circular bioeconomy[J]. *New Biotechnology*, 2020, 59:88-96
- [29] Mordor Intelligence. Seed market size and share analysis-Growth trend and forecasts up to 2030 [DB/OL]. [2024-03-29]. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/seeds-industry>
- [30] Wu Y, Li D, Hu Y, Li H, Ramstein G P, Zhou S, Zhang X, Bao Z, Zhang Y, Song B, Zhou Y, Zhou Y, Gagnon E, Sarkinen T, Knapp S, Zhang C, Städler T, Buckler E S, Huang S. Phylogenomic discovery of deleterious mutations facilitates hybrid potato breeding[J]. *Cell*, 2023, 186(11):2313-2328
- [31] Cai T, Sun H, Qiao J, Zhu L, Zhang F, Zhang J, Tang Z, Wei Z, Yang J, Yuan Q, Wang W, Yang X, Chu H, Wang Q, You C, Ma H, Sun Y, Li Y, Li C, Jiang H, Wang Q, Ma Y. Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide[J]. *Science*, 2021, 373(6562):1523-1527.
- [32] Chui M, Evers M, Manyika J, Zheng A, Nisbet T. The bio revolution: Innovations transforming economies, societies, and our live[R]. New York: McKinsey Global Institute, 2020
- [33] 国家统计局. 2022年1-10月份全国规模以上工业企业利润下降3.0% [R]. 北京: 国家统计局, 2022
National Bureau of Statistics. Profit of the industrial enterprises above designated size in China decreased by 3.0% from January to October in 2022[R]. Beijing: National Bureau of Statistics, 2022

[34] Zhan Y, Tan K H, Ji G, Chung L, Tseng M. A big data framework for facilitating product innovation processes [J]. *Business Process Management Journal*, 2017, 23(3): 518-536

[35] 中国信息通信研究院. 2021年中国数字经济发展白皮书[R]. 福州: 中国信息通信研究院, 2021

Chinese Academy of Information and Communications Technology. Research report on the development of Chinese digital economy in 2021 [R]. Fuzhou: China Academy of Information and Communications Technology, 2021

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 何一若, 本科毕业于香港中文大学(深圳), 获金融统计学专业学士学位; 研究生毕业于美国霍夫斯特拉大学(原纽约大学霍夫斯特拉分校), 获计量金融学硕士学位; 目前为厦门大学邹至庄经济研究院在读博士研究生, 专业方向为数量经济学研究。在科技期刊发表论文1篇、SCI收录论文1篇。



通讯作者简介: 王文烂, 博士、教授、博士生导师。任中国林业经济学会理事兼副秘书长、福建省经济学会副会长、福建省中青年经济研究会常务理事兼副秘书长, 《生态经济》《林业经济问题》《福建农林大学学报》(社科版)等刊物编委。主要研究领域为农村产权制度改革、资源管理、农业科技政策、农业经济理论与政策等。主持国家社科基金重大项目子课题等省部级以上项目10余项, 发表学术论文80余篇, 出版著作2部。研究成果获中国农村发展研究奖提名奖、福建省社会科学优秀成果二等奖、中国林业经济学会优秀论文一等奖等奖项。