

• 生物技术与方法 •

我国各区域生物产业竞争力评价及实证分析

尹政清¹, 白京羽², 林晓锋²

1 中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083

2 国家发展和改革委员会创新驱动发展中心, 北京 100037

尹政清, 白京羽, 林晓锋. 我国各区域生物产业竞争力评价及实证分析. 生物工程学报, 2020, 36(10): 2216–2225.

Yin ZQ, Bai JY, Lin XF. Assessment and empirical analysis of the competitiveness of bioindustry in various regions of China. Chin J Biotech, 2020, 36(10): 2216–2225.

摘要: 生物经济时代开启了人类新一波技术产业革命, 我国针对生物产业作出的战略部署已经取得了明显成效, 但在生物产业发展过程中仍存在区域发展不平衡等问题。为综合评价我国各区域生物产业竞争力现状, 文中从生物医药、生物能源、生物农业和生物工业 4 个细分产业角度构建了生物产业整体竞争力评价指标体系, 通过层次分析法确定了各评价指标的权重, 并通过实证分析计算了我国不同地区生物产业的综合竞争力指数。评价结果表明, 我国各区域生物产业竞争在空间上呈现梯度分布现象。针对此, 文中从实施乡村振兴战略、推进区域协调发展战略、深化生物产业供给侧结构性改革和建立区域统一的信息协作网络体系 4 个角度提出了相关政策建议。

关键词: 生物医药, 生物能源, 生物农业, 生物工业, 竞争力评价, 层次分析法

Assessment and empirical analysis of the competitiveness of bioindustry in various regions of China

Zhengqing Yin¹, Jingyu Bai², and Xiaofeng Lin²

1 College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2 Innovation Driven Development Center, National Development and Reform Commission, Beijing 100037, China

Abstract: The era of bioeconomy has ushered in a new wave of technological and industrial revolution for mankind. The strategic deployment for the bioindustry in China has achieved remarkable results. However, there are still problems such as unbalanced regional development in the process of bioindustry development. In order to comprehensively assess the current situation of the competitiveness of the bioindustry in various regions of China, the assessment indicator system of the overall competitiveness of the bioindustry is constructed from the perspective of the four sub-industries of biomedicine, bioenergy, bioagriculture and bio-based industry. The weight of each assessment indicator is determined by the analytic hierarchy process. According to geographical administrative division and regional economic relations, an empirical analysis of the comprehensive competitiveness score of the bioindustry in seven regions of China is carried out. The assessment results show that the competition of bioindustry in various regions of China presents a gradient distribution in space. In view of this, relevant policy recommendations are put forward from four aspects: (1) implementing the strategy of rural revitalization,

Received: June 9, 2020; Accepted: August 20, 2020

Corresponding author: Zhengqing Yin. Tel: +86-10-62737653; E-mail: yzq_cau@163.com

(2) implementing the strategy of regional coordinated development, (3) deepening the supply-side structural reform for the bioindustry, and (4) establishing regional unified information collaboration network system.

Keywords: biomedicine, bioenergy, bioagriculture, bio-based industry, competitiveness assessment, analytic hierarchy process

生物产业是 21 世纪创新最为活跃、影响最为深远的新兴产业之一，是人类新一波生物经济发展浪潮的重要产业基础。世界各国纷纷对生物产业作出了战略部署：美国于 2012 年颁布了《国家生物经济蓝图》^[1]，制定了发展包括遗传工程、DNA 测序和生物分子的自动化高通量操作等传统生物技术产业和合成生物学、蛋白组学、生物信息学等新兴生物技术产业在内的战略目标；同年，欧盟委员会发布的《创新以实现可持续增长：欧洲的生物经济》^[2]提出发展生物农业（转基因作物、林业和渔业）、生物健康产业（生物制药、新分子实体、生物标志物和基因检测）以及生物工业（生物燃料、生物化学品、原料生产工业用酶、生物传感器、生物修复、资源提取和生物精炼）；英国、法国、加拿大等发达国家也分别发布了生物产业发展规划^[3-5]。

在当前全球生物经济时代背景下，我国政府同样重视生物产业发展。2016 年，国务院印发了《“十三五”国家科技创新规划》^[6]，提出发展先进高效生物技术，重点部署前沿生物技术的创新突破和应用发展；2017 年，国家发展和改革委员会印发了《“十三五”生物产业发展规划》^[7]，进一步提出了生物产业发展的具体规划。当前，我国生物产业发展成效显著，已初步具备较强的国际竞争力。然而从国内角度看，我国各区域生物经济发展水平、优势产业差异较大，导致区域发展不平衡、不协调等问题。因此，评估各区域生物产业发展竞争力对生物经济协调发展具有指导意义。

已有不少文献提出了生物产业竞争力的评估方法，但大多是基于单一的生物技术细分产业进行评估，如生物医药产业^[8-10]、生物能源产业^[11]、农业生物产业^[12]等。Carlson 等^[13]指出，目前针

对生物产业的分析通常主要集中在从事生物医药的生物技术企业，涉及农业（如转基因农作物）或工业生物产品的公司通常很少受到关注。本文从生物医药、生物农业、生物能源和生物工业 4 个角度综合评估我国各地区生物产业竞争力，有利于生物产业从业人员全面了解生物产业的整体发展情况，并为生物产业发展提供政策参考。

1 材料与方法

1.1 生物产业竞争力评价指标体系及数据源

生物产业竞争力评价指标体系是一个全面而综合的概念，是由不同角度、不同层次的指标构成的一个递阶结构。在综合专家意见的基础上，根据产业竞争力的内涵^[14]和指标筛选原则，将生物产业竞争力设置为目标层，将评价模型中的四个基本要素设置为一级指标（准则层），并进一步将各一级指标分解为二级指标（指标层）。中国各区域生物产业竞争力评价指标体系如表 1 所示。

从生物产业科技研发能力来看，生物科技相关的论文和专利数量是生物技术研究成果的一个体现，从基础科学和工程应用两个角度体现了一个地区的生物产业上游科研水平，其研究主体多为大学和科研院所；而研发（Research and development, R&D）是生物科技企业创新驱动发展的关键环节，本文分别从有 R&D 活动的企业数量、R&D 人员数量以及 R&D 经费内部支出额 3 个角度评价生物科技企业科技研发能力；生物产业作为高新技术产业，对人才的依赖程度高，因此各省市高校开设的生物学科相关专业的数量可以反映该地区能够培养生物产业科学技术人才的数量。

表 1 我国各区域生物产业竞争力评价指标体系

Table 1 Assessment indicator system of the competitiveness of bioindustry in various regions of China

Target layer	First-level indicators	Second-level indicators
Competitiveness of bioindustry (A)	R&D capability (B ₁)	Number of SCI papers on biotechnology (C ₁)
		Number of patents on biotechnology (C ₂)
		Number of enterprises with R&D activities (C ₃)
		Number of R&D personnel (C ₄)
		Internal expenditure of R&D funds (C ₅)
		Number of universities offering biotechnology (C ₆)
	Demand conditions (B ₂)	Average life expectancy of the population (C ₇)
		Annual electricity consumption (C ₈)
		Annual consumption of pesticides and fertilizers (C ₉)
	Factor conditions (B ₃)	Number of biological species (C ₁₀)
		GDP (C ₁₁)
		Forest coverage (C ₁₂)
		Total employment (C ₁₃)
		Cargo turnover (C ₁₄)
	Peer competition (B ₄)	Number of biomedical enterprises (C ₁₅)
		Number of bioenergy enterprises (C ₁₆)
		Number of bio-agricultural enterprises (C ₁₇)
		Number of bio-based industrial enterprises (C ₁₈)

从生物产业需求条件来看,人口平均预期寿命体现了一个地区的卫生医疗水平。一般而言,预期寿命越高的地区发展生物医药产业的潜力越大,且人口平均预期寿命的上升带来老龄化问题对生物医药产业也有推动作用;电力消费量体现了一个地区的能源需求,随着人们对可持续发展的关注,未来以生物能源为代表的清洁能源将在能源行业发挥越来越重要的作用;农药、化肥一直是农业发展不可缺少的生产投入品,然而其对生态环境和食用者身体健康的危害同样不容忽视,随着生物农药、生物肥料以及生物兽药等生物技术农业投入品的发展,其在未来有望代替传统化学农药、肥料、兽药等,成为绿色农业发展新趋势^[15]。

从生物产业生产要素来看,生物物种数量是生物产业的发展资源,生物物种多样性越高的地区生产生物药品、生物燃料、生物农药等生物技术产品的原料供应越充足;森林资源是发展生物能源和生物医药等生物产业的重要资源,森林面积较大的地区发展生物产业的要素优势较强;生物产业总体上以制造业为主,对工业发展水平要

求较高,因此 GDP、就业人数、货物周转量可以从经济发展水平、劳动力数量、物流基础设施建设等方面评价生物产业的发展潜力。

从同业竞争角度来看,业务相近的生物技术公司数量反映了生物产业同业竞争程度,激烈的竞争促使企业提高经营效率,生产高质量产品,从而在市场竞争中占据优势地位;另一方面,更多的生物技术公司也能体现一个地区生物产业的聚集程度,这将促进企业间资金、人才、物资、技术和管理的交流,有利于生物产业的发展。其中,生物医药企业指业务范围包含生物药物研制、生物医疗器械制造以及生物技术医疗服务;生物能源企业指利用生物质能转化为可利用能源业务的企业;生物农业企业主要选取转基因育种、生物农药以及生物肥料的生产企业;生物工业企业选取了生物材料、活性酵母、酶制剂、生物芯片以及生物反应器等具有代表性的生物工业品生产企业。

各二级评价指标来源于我国官方统计年鉴、生物产业发展报告以及权威的在线数据库。由于难以获取生物产业总体 R&D 数据,因此指标

C₃-C₄ 使用高技术产业相关统计数据代替。由于我国幅员辽阔,各地区在地理环境、资源禀赋、经济和社会发展水平上存在较大差距,若仅以行政省级区划评价各地生物产业发展情况无法很好体现地区发展差异的规律性,同时省际经济发展存在一定协同联动性^[16]。因此本文将我国 31 个省级行政单位(不含中国香港、中国澳门和中国台湾)按地理和经济发展关系汇总为 7 大地区:京三角区(北京市、天津市、河北省和山东省)、长三角区(上海市、江苏省和浙江省)、珠三角区(广东省、福建省和海南省)、东北地区(黑龙江省、吉林省和辽宁省)、中部地区(湖南省、湖北省、安徽省、河南省、山西省和江西省)、西南地区(广西壮族自治区、四川省、云南省、贵州省、西藏自治区和重庆市)以及西北地区(内蒙古自治区、陕西省、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区和宁夏回族自治区)。

1.2 基于层级分析法的指标权重确定

为了进一步确定各评价指标间的相对重要性,本文选择层次分析法 (Analytic hierarchy process, AHP) 确定各级指标间的权重关系。AHP 是一种经典的系统化分析方法,已经在系统评价领域得到了广泛应用^[17-19]。AHP 的基本思想是将复杂问题进行分解,然后通过两两判断因素间的重要性,来得到所有因素的重要性排序,进而得到各因素的权重。在指标层次结构体系构建完成的基础上,应用 AHP 确定指标权重的步骤如下。

1.2.1 建立判断矩阵

判断矩阵是指在同一层次各指标元素间进行两两比较后,所给出的相对重要性的判断值。为了保证评价结果的客观权威性,采用了专家德尔菲法,即邀请了生物产业、情报科学、产业经济学和生物科学与技术领域的 20 位相关专家对各指标的相对重要性进行打分,最终取其平均值作为判断矩阵的判断值。隶属于同一指标的下级指标间可生成一个判断矩阵 $\mathbf{A}=(a_{ij})_{n \times n}$, 该判断矩阵

具有以下 3 个性质:① $a_{ij}>0$;② $a_{ji}=1/a_{ij}$;③ $a_{ii}=1$ 。

1.2.2 层次单排序

层次单排序是指对于上一层的某因素而言,确定本层次各因素的重要性排序,其计算过程如下。

① 计算矩阵 $\mathbf{A}_{n \times n}$ 的第 i 行元素 a_{ij} 的积 k_i , 计算方法如公式(1)所示。

$$k_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

② 计算 k_i 的 n 次方根 m_i , 计算方法如公式(2)所示。

$$m_i = \sqrt[n]{k_i} \quad (2)$$

③ 对向量 $\mathbf{M}=(m_1, m_2, \dots, m_n)^T$ 进行归一化处理, 计算方法如公式(3)所示。

$$w_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3)$$

式中, w_i 为本层各指标对上一层某要素的相对权重,从而得到相对权重矩阵 $\mathbf{W}=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

1.2.3 一致性检验

运用层次分析法计算评价指标的权重系数,由于认识与判断方面的误差,可能导致因素间矛盾的现象。因此需要进行一致性检验,具体步骤如下。

① 矩阵 \mathbf{A} 的最大特征根 λ_{\max} 的计算方法如公式(4)所示。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\mathbf{A}\mathbf{W})_i}{w_i} \quad (4)$$

② 一致性指标 $C.I.$ (Consistency index) 的计算方法如公式(5)所示。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

③ 根据判断矩阵的阶数,查表得到平均随机一致性指标 $R.I.$ (Random index)。再由公式(6)得到平均随机一致性比值 $C.R.$ (Consistency ratio)。

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (6)$$

当 $C.R.<0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的; $C.R.>0.1$ 时,认为判断矩阵在一致性方面存在问题,需要重新修正判断矩阵。

1.2.4 层次总排序

层次总排序(计算组合权重)是指确定所有二级指标对于目标层相对重要性的排序权值过程,计算方法如公式(7)所示。

$$W_{ij}=w_j w_{ij} \quad (7)$$

式中, w_j 为第 j 个一级指标的相对权重, w_{ij} 为第 j 个一级指标下属的第 i 个二级指标相对于第 j 个一级指标的相对权重, W_i 为第 j 个一级指标下属的第 i 个二级指标相对于目标层的组合权重。

1.3 基于综合评价分析法的竞争力计算

在确定了各二级因素的组合权重后,即可计算各区域生物产业的加权竞争力得分,计算步骤如下。

1.3.1 数据标准化

由于不同指标间的量纲不一致,首先需要对所有二级指标的数据经行标准化处理,计算方法如公式(8)所示。

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (8)$$

式中, X_{\min} 和 X_{\max} 分别为数据值 X 的最小值和最大值, X' 为 X 的标准化数值。

1.3.2 竞争力得分计算

各地区生物产业加权竞争力指数计算方法如公式(9)所示。

$$S_k = \frac{\sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^n X'_{ki} W_i}{N_k} \times 100 \quad (9)$$

式中, n 为二级指标个数, W_i 为第 i 个二级指标的组合权重, X'_{ki} 为第 k ($k=1,2,\dots,7$) 个地区对应的第 i 个二级指标的标准化数据值, N_k 为第 k ($k=1,2,\dots,7$) 个地区包含的省级行政区数量, S_k 为第 k 个地区的加权平均竞争力指数。

2 结果与分析

2.1 生物产业竞争力指标权重

经过层次分析法计算和一致性检验,从 20 位专家的打分计算得到了我国 7 大区域生物产业竞争力评价指标的权重,结果如表 2 所示。从一级指标来看,权重最大的是科技研发能力(0.375),生物产业属于高技术型产业,对科技研发的要求较高;其次是生产要素(0.313),可见自然资源和工业发展水平对生物产业的重要性较高;需求条件和同业竞争的权重分别为 0.188 和 0.125,对生物产业竞争力也具有一定的贡献。从二级指标来看,组合权重最高的指标分别为 R&D 经费内部支出额、生物物种数量、人口平均预期寿命、森林面积以及 R&D 人员数等。

科技研发能力指标的权重最大,反映了目前生物技术产业创新速度不断加快、研发投入不断加强的发展趋势。据欧盟委员会发布的《全球产业研发投入报告》^[20-21]显示,2019 年全球研发投入最高的 50 家公司中有 23 家属于生物技术公司,远超只有 13 家上榜的第 2 名高科技硬件类公司,且生物技术公司的平均研发经费占比从 2017 年的 27.5% 增长到 2019 年的 29.1%,呈现出研发投入热度上升趋势;同时,美国、英国、德国等生物经济强国在生物技术论文、专利数量上同样处于全球领先地位^[22-23]。可见科技研发能力对地区生物产业发展具有推动作用,是评价生物产业竞争力的重要依据。

生产要素指标权重仅次于科技研发能力指标,其中生物物种数量、森林面积等指标权重较大,体现了资源禀赋对地区生物产业发展的重要影响。印度的生物多样性占世界已知生物多样性的 8%,拥有丰富的动植物物种资源,为其发展生物医药、生物能源等产业提供了有利条件;我国台湾地区高温多湿,海拔差距大,具有多样性气候特征,故植物相当丰富且茂盛,为其生物产业发展创造了优势。生物资源禀赋等要素条件已成为发展中国家和地区发展生物产业的关键因素,

表 2 我国各区域生物产业竞争力评价指标权重

Table 2 Weights of assessment indicators of bioindustry competitiveness in various regions of China

Criterion layer		Indicator layer	Combination weight	Weight ranking	
R&D capability (B ₁)	0.375	Number of SCI papers on biotechnology (C ₁)	0.120	0.045 0	10
		Number of patents on biotechnology (C ₂)	0.180	0.067 5	6
		Number of enterprises with R&D activities (C ₃)	0.150	0.056 3	9
		Number of R&D personnel (C ₄)	0.200	0.075 0	5
		Internal expenditure of R&D funds (C ₅)	0.250	0.093 8	1
		Number of universities offering biotechnology (C ₆)	0.100	0.037 5	14
Demand conditions (B ₂)	0.188	Average life expectancy of the population (C ₇)	0.444	0.083 6	3
		Annual electricity consumption (C ₈)	0.222	0.041 8	12
		Annual consumption of pesticides and fertilizers (C ₉)	0.333	0.062 7	7
		Number of biological species (C ₁₀)	0.293	0.091 8	2
Factor conditions (B ₃)	0.313	GDP (C ₁₁)	0.200	0.062 6	8
		Forest coverage (C ₁₂)	0.240	0.075 1	4
		Total employment (C ₁₃)	0.133	0.041 7	13
		Cargo turnover (C ₁₄)	0.133	0.041 7	13
Peer competition (B ₄)	0.125	Number of biomedical enterprises (C ₁₅)	0.353	0.044 1	11
		Number of bioenergy enterprises (C ₁₆)	0.176	0.022 0	16
		Number of bio-agricultural enterprises (C ₁₇)	0.294	0.036 8	15
		Number of bio-based industrial enterprises (C ₁₈)	0.176	0.022 0	16

也成为我国经济欠发达地区发展生物产业的潜在竞争力^[24-25]。

需求条件是生物产业发展的终端支撑,也是当前我国生物产业供给侧结构性改革的重要依据。日本、韩国、加拿大等国医疗条件发达,一方面带来了人口老龄化问题,另一方面也为其发展生物医药产业提供了市场需求。随着我国经济社会的不断发展,人民健康水平的日益提高,以生物医药产业为代表的生物经济市场也将面临巨大的消费者需求。

同业竞争在评价地区生物产业发展中也发挥了一定作用。当前,当前全球生物产业集群向着高度聚集化发展^[26]。目前美国已形成了旧金山、波士顿、华盛顿、北卡罗莱纳、圣地亚哥五大生物技术产业集聚区;英国剑桥科技园、法国里昂生物技术园、新加坡启奥生命科学园、日本神户产业园区等都聚集了众多生物技术公司,它们的

相互竞争共同促进了地区生物产业的繁荣发展。

2.2 生物产业竞争力评价结果分析

经过加权计算得到了我国 7 大区域生物产业竞争力评价结果如图 1 所示。由图可以看出长三角地区生物产业综合竞争力排名第一(46.4分);珠三角地区和京三角地区分别以 39.9 和 31.1 分紧随其后;中部地区和华北地区生物产业综合竞争力分别以 23.1 和 19.1 排名第三和第四;而西南地区 and 西北地区生物产业综合竞争力得分分别仅为 17.9 和 13.0,与排名靠前的地区存在较大差距。从地理分布来看,我国 7 大地区生物产业综合竞争力呈现东南地区>中部地区>东北地区>西部地区的梯度分布态势,凸显了我国生物产业区域发展不平衡问题。东南沿海地区及中部地区凭借区位优势和良好的工业基础在发展生物产业过程中占据了优势地位,相较之下,西部地区处于竞争弱势地位是未来我国生物产业发展亟待解决的问题。

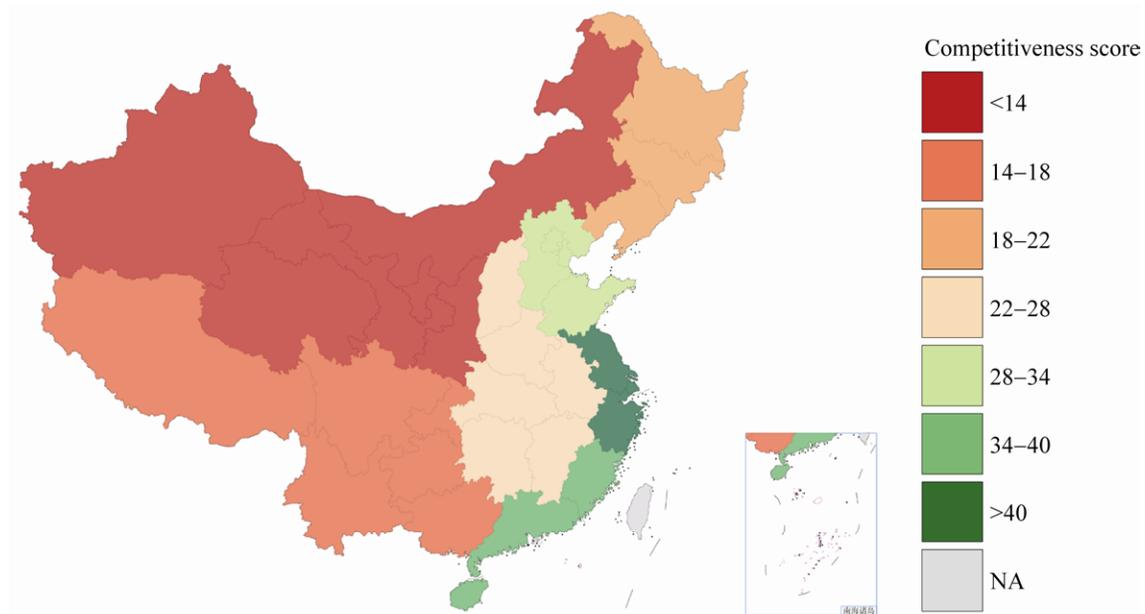


图1 我国7大区域生物产业竞争力评价结果(审图号:GS(2020)4358号)

Fig. 1 Assessment result of the competitiveness of the bioindustry in seven regions of China (GS(2020)4358).

进一步计算了各地区一级指标竞争力得分如图2所示。从整体的地理分布上看,一级指标竞争力同样存在地域差异性的梯度分布趋势。其中,长三角、珠三角和京三角地区在科技研发能力、产业需求条件、生物产业要素状况以及同业竞争状况等指标上的排名均处于前列,这些地区的基础生物科学研究水平和生物技术研发能力较强,在产业链前端占据优势地位,具备较强的生物产业市场潜力和丰富的自然生物资源,同时其工业发展水平和产业基础设施建设状况良好,且生物技术企业数量较多,产业聚集度较高,有利于生物产业良性竞争和生产效率的提升,而西北、西南等西部地区在各指标上的竞争力较东部地区均存在较大差距。

3 结论与政策建议

本文从生物医药、生物农业、生物能源和生物工业四个产业发展角度构建了生物产业综合竞争力评价指标体系,通过收集数据对我国目前7大经济地区生物产业综合竞争力进行了实证分

析。结果表明,我国生物产业存在较严重的区域发展不平衡问题。与东部沿海、中部内陆等地区生物产业竞争力现状相比,我国西部地区生物产业的综合竞争力优势弱,从总体上呈现长三角地区>珠三角地区>京三角地区>中部地区>东北地区>西南地区>西北地区的竞争力梯度分布态势。造成这一现象的原因是部分地区凭借区位优势、经济基础、科研实力、市场需求等优势在全产业链发展中占据了优势地位。鉴于此,我国应从以下几个角度统筹生物产业区域协调发展。

(1) 实施乡村振兴战略,充分挖掘生物产业发展潜能。生物产业与农业的结合十分密切,生物燃料、生物医药产业的原材料供应依赖于农林资源,各地区农村部门应结合资源优势,有针对性地发展生物技术特色产业。

(2) 实施区域协调发展战略,加大对落后地区生物产业发展的支持力度,尽快出台支持区域协调发展的政策法规,加强7大区域生物产业之间的交流合作与协同发展,推动生物产业城市群和经济带建设,着力解决生物产业发展不平衡问

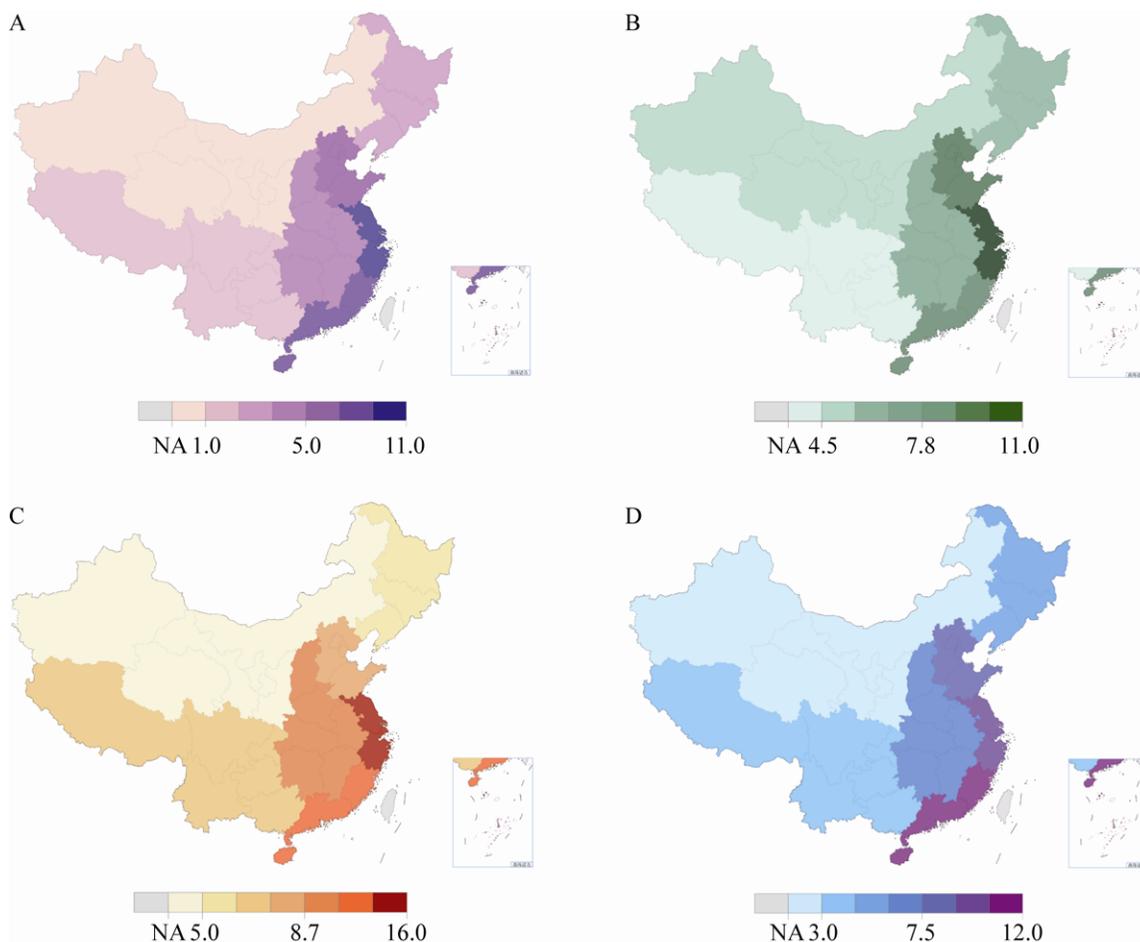


图2 我国7大区域生物产业一级指标竞争力评价结果(审图号:GS(2020)4358号)

Fig. 2 Assessment result of the first-level indicator competitiveness of the bioindustry in seven regions of China (GS(2020)4358). (A) Technology and R&D capabilities. (B) Demand conditions. (C) Factor conditions. (D) Peer competition.

题,充分发挥大城市的聚集、辐射和服务功能,促进土地和空间的集约化利用,实现区域协调的生物产业网络型面状发展^[27]。

(3) 深化供给侧结构性改革解决生物产业发展结构问题,推进生物产业竞争力优势地区向生物产业价值链两端升级发展,大力培植高端生物产业增长新动能;同时将生物技术产品制造产业链向不发达地区转移,带动区域生物产业高质量发展。

(4) 建立区域统一的信息协作网络体系,推进生物产业信息化建设,形成区域间人才、科技、商业的信息共享;同时建立跨区域的生物产业信

息支撑系统,链接各个地方政府的数据库资源,为区域地方政府和参与生物产业发展的私营部门以及非政府组织提供信息和数据支持;最后,需要打破区域和部门壁垒,建立统一、开放、透明的要素市场。

REFERENCES

- [1] National bioeconomy blueprint[EB/OL]. [2020-10-01]. https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf.
- [2] Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe[EB/OL]. [2020-03-26]. <http://ec.europa>.

- eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf.
- [3] Canada's bioeconomy strategy: Leveraging our strengths for a sustainable future[EB/OL]. [2020-05-28]. http://www.biotech.ca/wp-content/uploads/2016/03/National_Bioeconomy_Strategy_EN-compressed.pdf.
- [4] Growing the bioeconomy: Improving lives and strengthening our economy: A national bioeconomy strategy to 2030[EB/OL]. [2020-05-28]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/761856/181205_BEIS_Growing_the_Bioeconomy__Web_SP_.pdf.
- [5] A bioeconomy strategy for France: 2018–2020 action plan[EB/OL]. [2020-05-28]. https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/locale/piece-jointe/2018/10/france-bioeconomy_plan.pdf.
- [6] National science and technology innovation plan of “the 13th Five-year Plan”[EB/OL]. [2020-10-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm (in Chinese).
“十三五”国家科技创新规划[EB/OL]. [2020-10-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm.
- [7] Biological industry development plan of “the 13th Five-year Plan”[EB/OL]. [2020-03-21]. <https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fztlgh/gjjzxgh/201706/W020191104624250601539.pdf> (in Chinese).
“十三五”生物产业发展规划[EB/OL]. [2020-10-01]. <https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fztlgh/gjjzxgh/201706/W020191104624250601539.pdf>.
- [8] Gao YZ. Research on evaluation and promotion of the cluster competitiveness of bio-medicine industry in Shijiazhuang[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2018 (in Chinese).
高银珍. 石家庄市生物医药产业集群竞争力评价与提升研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2018.
- [9] Shao RZ, Xing XQ, Chu SZ. Study on the competitiveness of biomedical industry cluster in Jiangsu Province. *China Pharmaceut*, 2018, 27(19): 69–72 (in Chinese).
邵荣祯, 邢潇倩, 褚淑贞. 江苏省生物医药产业集群竞争力研究. *中国药业*, 2018, 27(19): 69–72.
- [10] Chen Y. Research on core competitiveness evaluation of biological pharmaceutical enterprises based on fuzzy comprehensive evaluation[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics And Astronautics, 2012 (in Chinese).
陈旸. 基于模糊综合评价方法的生物医药企业核心竞争力评价研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [11] Liu Y, Meng HB, Shen YJ, et al. Using and molding of biological gas industry competitiveness evaluation based on fuzzy analytic hierarchy process. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, 32(S1): 275–283 (in Chinese).
刘越, 孟海波, 沈玉君, 等. 基于模糊层次分析法的生物燃气产业竞争力评价模型及应用. *农业工程学报*, 2016, 32(S1): 275–283.
- [12] Wu N, Li XL, Feng ZC. Revealed evaluation method to the agriculture bio-industry competition ability. *J Agric Univ Hebei: Agric For Edu Ed*, 2006, 8(2): 45–48 (in Chinese).
吴楠, 李晓莉, 冯中朝. 显示性评价法对农业生物产业竞争力的分析. *河北农业大学学报: 农林教育版*, 2006, 8(2): 45–48.
- [13] Carlson R. Estimating the biotech sector's contribution to the US economy. *Nat Biotechnol*, 2016, 34(3): 247–255.
- [14] Porter ME. *The Competitive Advantage of Nations*. Beijing: Huaxia Publishing House, 2002: 123–136 (in Chinese).
迈克尔·波特. 国家竞争优势. 北京: 华夏出版社, 2002: 123–136.
- [15] Ji KW. Development trends of foreign bio-agriculture and its enlightenment to China. *Jiangxi Sci*, 2016, 34(2): 257–261 (in Chinese).
季凯文. 国外生物农业发展动态及其对我国的启示. *江西科学*, 2016, 34(2): 257–261.
- [16] Ge ZS. Analyze on the disparity of financial development and centralization in Chinese Seven regions. *J Regional Financ Res*, 2012, 19(9): 43–47 (in Chinese).
葛志苏. 中国七大区域金融发展和集聚水平差异分析. *区域金融研究*, 2012, 19(9): 43–47.
- [17] Zhang LX, Li WS, Bai JY, et al. Evaluating the international competitiveness for the biology industry of China based on AHP. *Sci Technol Manag Res*, 2010, 30(10): 32–34 (in Chinese).
张领先, 李伟书, 白京羽, 等. 基于 AHP 的我国生物产业国际竞争力评价. *科技管理研究*, 2010,

- 30(10): 32–34.
- [18] Hu HB, Wang YC, Xiong YJ. AHP model-based risk assessment of lightning in Beijing. *J Nat Disast*, 2010, 19(1): 104–109 (in Chinese).
扈海波, 王迎春, 熊亚军. 基于层次分析模型的北京雷电灾害风险评估. *自然灾害学报*, 2010, 19(1): 104–109.
- [19] Wang L. Construction and application of urban tourism competitiveness evaluation index system based on AHP. *Areal Res Dev*, 2014, 33(4): 105–108 (in Chinese).
王丽. 基于 AHP 的城市旅游竞争力评价指标体系的构建及应用研究. *地域研究与开发*, 2014, 33(4): 105–108.
- [20] Hernández H, Grassano N, Tübke A, et al. The 2017 EU Industrial R&D Investment Scoreboard. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017: 66.
- [21] Hernández H, Grassano N, Tübke A, et al. The 2019 EU Industrial R&D Investment Scoreboard. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019: 62.
- [22] Bai JY, Lin XF, Yin ZQ. Analysis of the current situation and development trend of global biotechnology research based on bibliometrics. *China Biotechnol*, 2020, 40(7): 100–109 (in Chinese).
白京羽, 林晓锋, 尹政清. 基于文献计量的全球生物技术研究现状与发展趋势分析. *中国生物工程杂志*, 2020, 40(7): 100–109.
- [23] Chen F, Ding CJ, Chen YW, et al. A study on global trends of industrial biotechnology and the perspectives in China. *World Sci-Tech R D*, 2018, 40(2): 133–148 (in Chinese).
陈方, 丁陈君, 陈云伟, 等. 工业生物技术领域国际发展态势及我国发展前景展望. *世界科技研究与发展*, 2018, 40(2): 133–148.
- [24] Fu XM, Li XY, Wang XY, et al. Study of resource allocation efficiency of marine biopharmaceutical industry in China: based on perspective of regional differences. *Sci Technol Manag Res*, 2019, 39(16): 205–211 (in Chinese).
付秀梅, 李晓燕, 王晓瑜, 等. 中国海洋生物医药产业资源要素配置效率研究——基于区域差异视角. *科技管理研究*, 2019, 39(16): 205–211.
- [25] Jia QX, Liu XF, Wang HP, et al. Bio-ecological resources of saline lakes in Tibet and their economic prospect. *Sci Technol Rev*, 2017, 35(12): 19–26 (in Chinese).
贾沁贤, 刘喜方, 王洪平, 等. 西藏盐湖生物与生态资源及其开发利用. *科技导报*, 2017, 35(12): 19–26.
- [26] Bai JY, Lin XF, Yin ZQ. Status quo of global bioindustry and its policy implications. *Chin J Biotech*, 2020, 36(8): 1528–1535 (in Chinese).
白京羽, 林晓锋, 尹政清. 全球生物产业发展现状及政策启示. *生物工程学报*, 2020, 36(8): 1528–1535.
- [27] Sun JW, Shi L. The manifestation, reasons and countermeasures of the unbalanced development of regional economy in China. *Governance Modernizat Stud*, 2018, 1(5): 32–37 (in Chinese).
孙久文, 石林. 我国区域经济发展不平衡的表现、原因及治理对策. *治理现代化研究*, 2018, 1(5): 32–37.

(本文责编 陈宏宇)