

产业共生集聚：一种循环型产业集聚的新形态

刘军 钱宇 段蓉蓉¹

【摘要】：产业集聚导致的环境污染问题日渐突出，构建既能发挥产业集聚正效应，又能避免环境污染负效应的产业集聚新理论是未来研究的新方向。基于产业集聚和产业共生理论，提出“产业共生集聚”新理论，认为产业共生集聚是既能发挥产业集聚优势，又能发挥产业共生优势，并产生循环一体化、绿色外部性和新报酬递增三种新优势，达到经济效益和环境效益有机统一的一种循环型产业集聚新形态。从企业内生需求和政府引导两方面分析了产业共生集聚的形成机理，阐述了产业共生集聚的特征，并将产业共生集聚划分为产业互利型共生集聚和产业偏利型共生集聚两种模式；构建了产业共生集聚测度模型，计算产业共生集聚指数并进行现状分析，发现当前中国共生集聚总体水平呈上升趋势，其中 21 个省份为互利型共生集聚，8 个省份为偏利型共生集聚，其余省份尚未形成产业共生集聚。

【关键词】：产业共生集聚 形成机理 测度

一、引言

经济增长一直是经济学理论持续关注的问题，新古典经济增长理论将促进经济增长的主要因素归结为资源禀赋、人力资本积累和技术进步¹。然而，传统的经济增长理论忽略了地理空间因素在经济增长中的重要作用。为突破这一局限，新经济地理学提出产业集聚理论，认为产业集聚可以降低运输成本，提升单位要素投入的生产效率，进而实现报酬递增²。产业集聚已成为推动中国经济增长的关键驱动力，但也在不同程度上导致了严重的环境负外部性³，资源浪费、“三废”集中排放等问题对集聚区环境造成了巨大影响⁴。当前，促进经济增长，同时减少污染排放，发展新型循环经济已成为中国经济高质量发展的内在需求。国家“十四五”规划明确提出，要加快绿色技术创新，提高资源回收循环效率，加快构建绿色产业体系，发展循环经济。

然而，已有的产业集聚理论和产业共生理论难以满足国家经济高质量发展的重大需求。产业集聚促进经济增长，但也导致较为严重的环境污染问题；产业共生的物质交换可以降低污染，但难以发挥知识溢出效应。如何在发挥产业集聚正外部性的同时，缓解产业集聚产生的环境污染、资源浪费等问题，促进经济绿色发展，成为亟待解决的科学和社会问题。基于产业共生理论与产业集聚理论，本文构建产业共生集聚（Symbiotic Agglomeration）理论，有助于推进产业再生循环，促进绿色技术创新，产生新的报酬递增，对促进经济高质量发展，形成新发展格局具有重要意义。

二、文献背景

关于产业共生集聚的研究较少，相关研究主要集中在产业集聚对环境污染的影响，以及产业共生的减排效应两个方面。

产业集聚对环境污染影响的研究可分为以下 3 种观点：一是产业集聚增加环境污染。产业集聚到一定程度会使企业间竞争加剧并产生拥堵效应，“三废”集中大量排放对集聚区造成巨大污染⁵。部分企业夜间私自排放，也会导致环境污染加重⁶。比如，国家经济开发区的设立会增加周边地区环境污染⁷。在中国北部和东部地区的产业集聚导致了严重的污染问题⁸，这种环境负外部性在黄河流域也得到了验证⁹。此外，各地为了吸引更多投资，通常会主动降低环境准入标准，进而使得当地成为污染避难

¹作者简介：刘军，南京信息工程大学管理工程学院、自贸区研究院教授

钱宇、段蓉蓉，南京信息工程大学自贸区研究院研究助理

基金项目：国家自然科学基金面上项目“产业共生集聚对中国经济绿色增长的影响机理与政策设计研究”（71973068）阶段性成果

所¹⁰。二是产业集聚减少环境污染强度。一方面,产业集聚通过排放物集中治理,可以实现工业污染物治理的规模效应¹¹;另一方面,产业集聚可以通过知识交流、互动和技术外溢推动清洁生产技术创新,减少生产过程中的污染排放¹²。技术效率的提高,有助于增加产出,减少单位产出的污染物排放¹³。Zheng 等研究得出,缩短企业之间的距离虽然会使得污染总量增加,但可以有效减少污染强度¹⁴。三是产业集聚与环境污染之间具有非线性关系。徐承红等研究得出,农业集聚使得农业源污染呈现增加、减少、再增加的“N型”趋势¹⁵。杨桐彬等研究得出,产业协同集聚与大气污染之间存在“U型”关系¹⁶。朱东波等认为产业集聚通过结构效应、规模效应和技术效应的共同作用对环境污染产生倒“U型”影响¹⁷。

产业共生被视为一种有效减少产业污染的途径¹⁸。1947年 Renner 首次利用生态科学来描述工业的有机关系,即在工业系统中某一产业(企业)产生的废料可以被另一产业重新用作生产原料,并提出产业共生(Industry Symbiosis)概念¹⁹。Chertow 将产业共生定义为企业或其他组织在地理相邻的基础上,通过交换废旧材料、能量、信息及其他副产品,改进传统企业的运作方式和技术流程,进而实现工业可持续发展²⁰。Wadström 等认为产业共生通过产业之间和产业内部的物质、材料和其他资源交换共享,可以创造更多经济、环境和社会效益²¹。Compernelle 等认为通过企业间的合作实现产业共生,能够大幅减少 CO₂ 的排放量²²。

综上所述,产业集聚的主要特征为地理集聚、知识溢出、基础设施和劳动力共享。产业集聚理论重视技术溢出等集聚正外部性,但忽视了产业间的共生性与循环性,易导致环境污染和资源利用不充分等问题。产业共生的主要特征是物质和能量交换。在实践中,产业共生可能存在知识溢出、劳动力共享等情况,但产业共生理论本质上并不强调企业的知识溢出、劳动力共享等特征。正如 Chertow 等所言,加强共生与集聚之间的理论联系,阐述共生在集聚中的好处是未来重要的研究方向²³。现有文献尚缺乏相关研究,本文将界定产业共生集聚的内涵,分析其形成机理、特征、模式并进行测度。

三、产业共生集聚的内涵及形成机理

产业共生集聚是指产业内或产业间的不同企业(同类或相关企业)集中于某一特定区域,通过物质、能量和信息交换,产生循环一体化、绿色技术外部性以及新报酬递增等优势,达到经济效益和环境效益有机统一的一种新的循环型产业集聚形态。

产业共生集聚是集聚组织形态创新,是制度创新的体现。这主要表现在企业和政府希望探寻一种新的制度安排,以降低交易成本,提高资源利用效率,实现经济增长与生态环境的平衡。从制度变迁的视角看,制度变迁包括自下而上的非正式制度变革(经济个体自发倡导、组织)和自上而下的正式制度变革(政府主导的强制性制度变革)²⁴。基于这两类制度变迁,产业共生集聚的形成机制可分为两种类型。

一是企业内生需求引致的产业共生集聚。这是由非正式制度自然孕育产生的一种自组织共生集聚。环境恶化、资源匮乏等问题严重削弱了传统产业集聚区的竞争优势,不断增强的环境规制增加了企业生产成本,给企业带来巨大压力,也刺激着企业改变生产运营模式。这些企业在市场机制引导下,自发地对生产加工流程进行改造,开展物质和能量交换,产业共生集聚逐渐形成。内生需求引致的产业共生集聚可分为以下两种类型:(1)产业共生演变为共生集聚。最初几个具有共生关系的企业为处理工业生产中的废物,自发组织集中在同一地理范围内生产,通过建立清洁的生产代谢链条,促进资源和物料的循环利用,并从共生交换中获益。这吸引了更多同类企业或相关企业集聚于此,技术溢出效应和劳动力共享等特征逐渐显现,集聚水平越来越高。在同一地理空间内,企业间共生关系得到强化,且集聚程度逐渐提高,产业共生集聚区逐步形成。(2)产业集聚演变为共生集聚。这种情况主要是传统产业集聚区污染严重,企业治污成本较高,集聚区内的企业主动进行废弃物循环利用,并吸引废弃物治理、再利用的静脉产业集聚,以治理、消化生产排放的废弃物。同时,静脉产业为获得廉价原材料、降低运输成本,也会主动向产业集聚区靠拢,进而形成共生集聚区。

二是政府引导形成的产业共生集聚。这是政府根据各地区功能定位和环境承载力情况,通过规划自上而下推动形成的产业共生集聚,可分为以下两种类型:(1)新建产业共生集聚区。该过程包括设计规划、配套实施、监督反馈3个阶段。在设计规划

阶段，政府不再盲目追求规模扩张，在产业及工厂选择时，考虑产业的集聚关系，同时充分考虑生产者与分解者之间的共生关系。在配套实施阶段，共建共享基础设施。推进共生集聚区交通道路和能源供应等基础设施共建共享、集成优化，降低基础设施建设和运行成本，提高运行效率。完善人才体系建设。加强共生集聚区与高校及科研院所的合作交流，鼓励科技人才在共生集聚区就业、创业，并提供政策支持。此外，政府还积极创新融资模式，建立绿色信贷、绿色保险、绿色基金等新融资模式，为新建产业共生集聚区提供资金支持。在监督反馈阶段，通过环保执法监督、节能监察、清洁生产审核和生产者责任延伸等方式，进一步推动共生集聚区清洁生产和共生循环。(2)传统产业集聚区共生化改造。政府以共生循环为目标，从源头改造、过程优化、末端治理等方面对传统产业集聚区的产业链条、生产技术和流程进行共生化改造。一方面，通过产业布局优化、原料替代、设备升级推动源头改造。传统集聚区根据产业共生关联特征，对集聚区产业进行整合重组，并积极引入清洁生产企业，优化产业布局；同时，推进生产设备节能改造和更替，以实现集聚区源头改造，促进循环生产。另一方面，通过补链、延链等途径构建绿色产业链，推动企业间、行业间废弃资源、能源和副产品的梯级循环利用；建设企业能耗管理系统，对集聚区能耗情况进行分析、预警和监管，进而实现集聚区生产过程优化，提高产业共生集聚水平。此外，积极升级污染物回收、处理、再利用基础设施，配套建设危险废物综合处置中心、污水及一般固废循环再利用处理厂，以进行末端治理，减少生产废物，实现传统集聚区共生化改造。

四、产业共生集聚的特征

1. 循环一体化

产业集聚虽然能够通过废弃物集中治理实现治污的规模效应，但是这种“末端治理”仍属于“资源-产品-废弃物”单向流动的线性经济，资源未得到充分利用即变为废弃物。这不但会产生巨大的治污成本，而且也不能在根本上缓解产业集聚产生的环境负外部性。与之不同的是，产业共生集聚具有循环一体化特征，包括产业内小循环、产业间中循环以及“生产者”“消费者”“分解者”一体的大循环等 3 个方面。

产业内小循环是指某产业循环再利用自身产生的工业废物，工业废物直接进入或经绿色再生技术处理后，再次作为生产要素进入生产循环使用，以达到要素投入最小化、废弃物再生循环增量化、产出效率最大化的目的。企业在产品设计之初，根据产品生命周期，从原材料选用、加工、出售、消费等方面综合考虑各环节副产品及废弃物的循环再利用，以减少一次资源消耗和污染物产生。如图 1 中，A 产业或 B 产业内部的物质和能量循环属于产业内小循环。

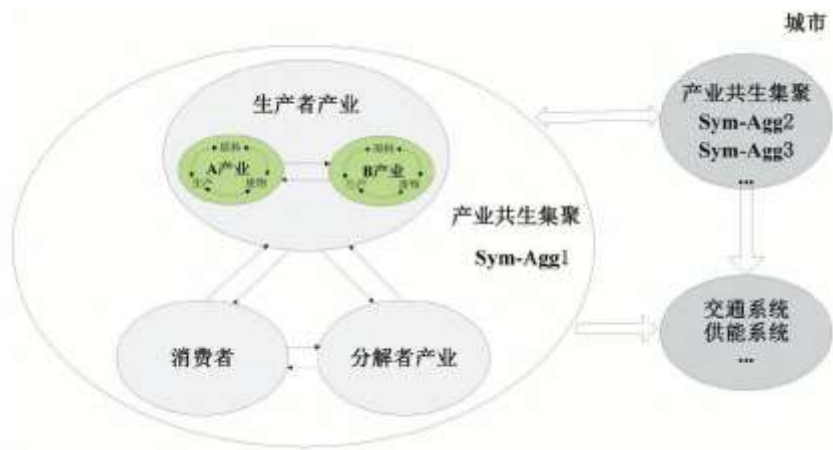


图 1 产业共生集聚示意图

产业间中循环是指某产业废弃物或副产品被其他产业作为原料，重新投入生产过程。产业间循环可分为两类：一类是直接循环利用，即直接将其他产业的副产品（废弃物）作为生产原料（或生产原料组成部分）投入到其他产业中进行循环生产使用。如热电厂的工业余热可以输送至污泥处理厂，用作蒸干污泥的热能，同时这部分干燥后的污泥又可以用于掺烧发电。另一类是通过分解者企业集中处理后循环利用，即专营废旧资源再加工的回收型产业，通过对废旧产品的再资源化处理，将其作为生产资料重新投入其他产业的生产链中，形成一个产业间循环系统。如图 1, A 产业和 B 产业之间的循环，以及生产者与分解者之间的循环属于产业间中循环。

大循环将消费者纳入了产业循环系统，该循环系统除了包括产业内、产业间循环，还包括以下两种循环：一是消费者与生产者产业之间的双向循环。生产者产业除了将其生产的最终产品提供给消费者外，工业生产产生的余热、余能、余压等剩余能量也被输送到集聚区消费市场中，为消费者供暖、供热。共生集聚区消费者产生的大量生活废弃物稍作处理后也可输送至工业生产系统中进行再循环。二是消费者与分解者产业之间的双向循环。在产业共生集聚区内，经消费者使用后无法再进入工业系统循环利用的最终产品，可以通过分解者的加工进入城市的交通系统、供能系统进行再次循环。比如，利用绿色生产工艺可以将使用后的轮胎破碎混入混凝土，制造成橡胶沥青铺路。分解者产业也可以通过回收再利用生产者产业以及消费者丢弃的废旧材料，并作为“二次资源”进行再加工，将加工后的产品出售给消费者使用，形成消费者与分解者产业之间的双向循环。如图 1，最大的椭圆中，生产者、分解者与消费者共同组成大循环系统。该系统为产业共生集聚区 1，它与城市或区域内的其他产业共生集聚区之间也会形成循环系统，进而建立起一个绿色低碳良性循环的经济体系。

2. 绿色外部性

在共生集聚区内各产业（企业）之间的绿色生产技术的交流和溢出更加广泛，共生集聚区更加专注于绿色技术的创新，进而产生了“绿色技术外部性”，也可称“绿色外部性”。

一方面，产业共生集聚可以促进绿色技术溢出。为了更好实现共生集聚区物质循环和信息、能量交换，上下游产业（企业）更加专注于清洁生产技术和生态工业知识的交流。这可以提高绿色生产、能源梯级利用等节能环保技术的创新效率，使得高度密集的共生集聚区内具有更快的绿色技术、绿色产品的创新和扩散速度，进而实现绿色外部性。同时，共生集聚区内存在大量以清洁生产、循环经济为准则的企业和行业协会，通过行业协会的组织、交流、学习、共享，可以进一步发挥绿色技术的学习效应和技术溢出效应，使更程度的专业化绿色创新成为可能。另一方面，产业共生集聚区内集聚了更多创新资源。政府规划建设的共生集聚区通常享有较多的绿色创新补贴、绿色金融服务、高技术人才等创新资源，建立了良好的绿色创新生态，为企业开展绿色技术创新提供保障，有助于促进绿色技术创新。此外，共生集聚区内还具有严格的环境规制政策，这将倒逼企业进行绿色技术创新。各类行业协会也会制定明确的清洁生产准则及设计指南，为共生集聚区的绿色技术创新提供指引，推动绿色技术创新。

3. 新报酬递增

产业集聚有助于降低运输成本，并通过知识和技术溢出、专业化分工对劳动生产率产生积极影响，进而实现报酬递增（Increasing Returns）²⁵。然而，在给定生产要素和环境承载力等外在约束不变的情况下，产业集聚带来的报酬递增并不能一直增长下去。从理论上说，产业集聚与扩散取决于集聚力量（专业化分工、劳动力共享、技术溢出等）和分散力量（环境污染、土地租金、交通拥堵）的对比。当集聚力量带来的收益超过分散力量产生的成本时，集聚净收益为正，此时，产业会持续集聚于某一区域，并促进经济增长；但当产业集聚达到某一水平（临界值）时，土地租金等分散力量产生的成本会越来越高，导致集聚净收益逐渐降低²⁶。产业集聚的净收益符合先递增后递减的变化趋势，相关的实证研究也证明了这一点。比如，沈能等认为，产业集聚存在一个最优区间，产业过度集聚将产生拥挤效应，不利于生产率提高²⁷；林伯强等研究得出经济集聚与绿色经济效率之间存在倒“U 型”关系²⁸。传统产业集聚报酬递增的变化趋势见图 2 的 Agg 曲线，其中，A 点为产业集聚收益的极大值点。

新报酬递增（New Increasing Returns）是指在同等的土地、资源等生产要素和环境承载力外在约束下，与传统产业集聚相

比，产业共生集聚通过循环一体化、绿色技术外部性进一步提高了资源配置效率，扩大了集聚规模和集聚收益，产生新的报酬递增。这来自于以下两个方面：

一是对于同等集聚规模，产业共生集聚收益更高。产业共生集聚的循环一体化和绿色外部性可以促进资源再生利用，降低单位产出资源消耗，提高绿色生产效率。共生集聚区通过绿色技术创新，以及生产各环节的副产品和废弃物再生利用、能源梯级利用等途径实现“变废为宝”，充分将废弃资源转化为经济效益。因此，在同一集聚水平下，产生的收益更高。如图 2 所示，Sym-Agg 为产业共生集聚。在集聚规模为 x_1 时，产业共生集聚收益 y_3 高于产业集聚收益 y_2 。

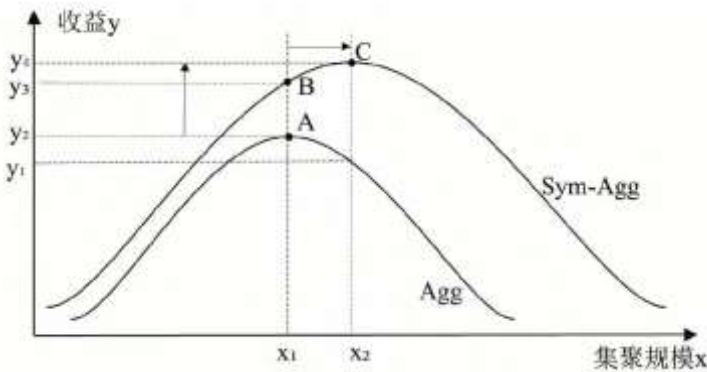


图 2 产业共生集聚新报酬递增示意图

二是在同等环境承载力约束下，共生集聚规模更大，产生了更高的集聚收益。由于循环一体化特征，产业共生集聚区集聚了生产者产业、分解者产业等多种产业和消费者，彼此之间通过资源循环利用，构建了一个清洁生产、绿色消费链条，使得同等环境承载力约束下，集聚企业更多，集聚程度更高。集聚力量带来收益增长的同时，环境污染、拥挤等分散力量产生的成本没有增长或者增长较少，集聚净收益的增长幅度较大。这扩大了集聚规模，提高了产业共生集聚的经济和环境效益，集聚收益曲线向右上方移动。如图 2 所示，在同等环境承载力约束下，集聚规模的极大值点将由原来的 $A(x_1, y_2)$ 向右上方移动至 $C(x_2, y_4)$ ，共生集聚收益 y_4 远高于集聚收益 y_2 。同时，在集聚规模为 x_2 时，传统集聚收益 y_1 不仅远低于共生集聚收益 y_4 ，还低于更低集聚水平 x_1 带来的收益 y_2 。这表明，在给定环境约束和生产要素投入不变的前提下，与传统的产业集聚相比，产业共生集聚产生了新报酬递增，实现了帕累托改进。

五、产业共生集聚的模式

根据产业共生集聚区内企业的不同组织关系及其收益情况，本文将产业共生集聚分为互利型共生集聚与偏利型共生集聚两种模式。假设产业共生集聚区内仅存在两类产业：一是动脉产业，指利用自然资源进行生产的核心生产者产业；二是静脉产业，主要负责共生集聚区内污染物治理和废弃物回收再利用。

1. 互利型产业共生集聚

互利型产业共生集聚是指在共生集聚区的生产、回收、再加工的循环体系中，参与交换的产业或企业均受益。互利型共生集聚通常是在某一地理区域内集聚了一个或多个核心产业或企业，以及来自相关静脉产业的其他企业。按照常规工业系统生产流程看，动脉产业需要从自然环境中获取大量生产资料，并向外部排放污水、废气等工业废物。在互利型产业共生集聚区中，动脉产业借助静脉产业对工业废弃物进行专业化处理，形成废物处理的规模效应。这不仅降低了处理成本，还能防止潜在的有用资源成为废弃物，并利用这些资源来替代自然资源消耗。对静脉产业而言，共生集聚区的建立可以降低其获得原材料的运输和交易成

本，产业共生集聚的绿色创新效应可以推动静脉产业更好地将生产和消费过程中产生的废弃物转化为可再利用的资源和产品，进而实现经济与环境的双重收益。

2. 偏利型产业共生集聚

偏利型产业共生集聚是指在共生集聚区物质、能量和信息交换过程中，仅能使参与交换行为的一部分产业或企业受益，而另一部分产业或企业没有受益，也不会造成损害。偏利型共生集聚通常发生在共生集聚区形成的初期阶段。一是在传统集聚向共生集聚演化或改造初期，共生集聚区的动脉产业为嵌入可与其共生的静脉产业，通常需要安装大量专业化储存和运输装备，如有毒有害污染物的排放管道。此时对于动脉产业而言，虽然静脉产业嵌入能够延长产业链，有效治理其排放的污染物，但静脉产业带来的收益尚不足以弥补其成本，因此也就无法使其获益。此时核心动脉产业或企业的共生集聚净收益是接近于零的。而对于静脉产业，其通过从动脉企业获得技术溢出以及廉价甚至免费的副产品并进行二次加工，不仅降低了其获取原材料的运输成本，还能够通过二次加工获取经济收益。二是在新建共生集聚区初期。该模式由政府设计规划，并进行基础设施建设。共生集聚区内的动脉产业无需投入成本引进废物处理企业，也不用花费运输成本对废物进行长距离运输处理，只需以较低费用就可借助静脉产业进行专业化废物处理，进而通过降废物处理成本获益。对静脉产业而言，由于尚处于共生集聚区建设初期，动脉产业集聚不足，废物产生量较少，静脉产业难以形成治污规模效应，单位废弃物处理成本较高，因此无法从共生集聚中有效获益。但总体而言，共生集聚区建设提高了资源利用率，降低了环境污染，对改善整体环境有显著促进作用。

六、产业共生集聚的测度与现状分析

1. 测度模型构建

根据产业共生集聚的内涵、特征及模式，借鉴生态学 Lotka-Volterra 种间竞争模型²⁹，将产业共生集聚划分为动脉产业集聚子系统（ S_A ）和静脉产业集聚子系统（ S_V ）两类种群。从种群竞争角度看，虽然静脉产业在一定程度上依赖动脉产业的发展，但二者之间在共用性资源使用、产品市场占用等方面仍存在竞争³⁰。借鉴周甜甜等³¹的研究，利用 Lotka-Volterra 种间竞争模型量化产业共生集聚区动脉产业和静脉产业在给定环境容量（ S_C ）下的共生集聚情况，以测度各地区的产业共生集聚程度。Lotka Volterra 种间竞争模型可表示为：

$$\begin{cases} \frac{dS_A(i,t)}{dt} = r_{S_A}(i,t) \times S_A(i,t) \times \left[1 - \frac{S_A(i,t)}{S_C(i,t)} - \alpha(i,t) \times \frac{S_V(i,t)}{S_C(i,t)} \right] \\ \frac{dS_V(i,t)}{dt} = r_{S_V}(i,t) \times S_V(i,t) \times \left[1 - \frac{S_V(i,t)}{S_C(i,t)} - \beta(i,t) \times \frac{S_A(i,t)}{S_C(i,t)} \right] \end{cases} \quad (1)$$

式（1）中， $S_A(i,t)$ 、 $S_V(i,t)$ 、 $S_C(i,t)$ 分别表示某区域动脉产业集聚度、静脉产业集聚指数、环境容量指数； $r_{S_A}(i,t)$ 、 $r_{S_V}(i,t)$ 分别表示动脉产业集聚增长率、静脉产业集聚增长率； $\alpha(i,t)$ 、 $\beta(i,t)$ 分别为静脉产业对动脉产业集聚的竞争系数、动脉产业对静脉产业集聚的竞争系数，用以表示动脉产业与静脉产业之间的竞争程度； i 为地区； t 为时间。

根据张智光³²的研究，进一步计算得出静脉产业对动脉产业集聚的竞争系数 $\alpha(i,t)$ 和动脉产业对静脉产业集聚的竞争系数 $\beta(i,t)$ ，分别为：

$$\begin{cases} \alpha(i, t) = \frac{[\varphi_{s_a}(i, t) \times S_c(i, t) - S_a(i, t)]}{S_v(i, t)} \\ \beta(i, t) = \frac{[\varphi_{s_v}(i, t) \times S_c(i, t) - S_v(i, t)]}{S_a(i, t)} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中 $\varphi_{s_a}(i, t)$ 、 $\varphi_{s_v}(i, t)$ 分别表示动脉产业集聚与静脉产业集聚增长率系数,用以反映动脉、静脉产业集聚增长率的变化率。可表示如下:

$$\begin{cases} \varphi_{s_a}(i, t) = 1 - \frac{r_{s_a}(i, t+1)}{r_{s_a}(i, t)} = \frac{[r_{s_a}(i, t) - r_{s_a}(i, t+1)]}{r_{s_a}(i, t)} = \frac{(S_{a_t}^2 - S_{a_{t+1}} \times S_{a_{t-1}})}{(S_{a_t} \times S_{a_{t-1}})} \\ \varphi_{s_v}(i, t) = 1 - \frac{r_{s_v}(i, t+1)}{r_{s_v}(i, t)} = \frac{[r_{s_v}(i, t) - r_{s_v}(i, t+1)]}{r_{s_v}(i, t)} = \frac{(S_{v_t}^2 - S_{v_{t+1}} \times S_{v_{t-1}})}{(S_{v_t} \times S_{v_{t-1}})} \end{cases} \quad (3)$$

进一步地,在动脉产业和静脉产业竞争过程中,如果 $\alpha > S_a(i, t)/S_v(i, t)$,则动脉产业受到静脉产业的抑制,动脉产业受静脉产业的作用力为负;如果 $\alpha < S_a(i, t)/S_v(i, t)$,则静脉产业促进动脉产业发展,动脉产业受力指数为正。同样对于静脉产业的受力分析与此类似。据此,定义动脉产业受到静脉产业的作用力指数 $S_{sa}(i, t)$ 与静脉产业受到动脉产业的作用力指数 $S_{sv}(i, t)$,分别与 α 和 β 值相同,方向相反,可表示为:

$$S_{s_a}(i, t) = -\alpha = -\frac{[\varphi_{s_a}(i, t) \times S_c(i, t) - S_a(i, t)]}{S_v(i, t)} \quad (4)$$

$$S_{s_v}(i, t) = -\beta = -\frac{[\varphi_{s_v}(i, t) \times S_c(i, t) - S_v(i, t)]}{S_a(i, t)} \quad (5)$$

根据动脉产业集聚受力指数 $S_{s_a}(i, t)$ 与静脉产业集聚受力指数 $S_{s_v}(i, t)$,构建产业共生集聚指数 $SAGG(i, t)$,基本公式如下:

$$SAGG(i, t) = \frac{[S_{s_a}(i, t) + S_{s_v}(i, t)]}{\sqrt{S_{s_a}^2(i, t) + S_{s_v}^2(i, t)}} \quad (6)$$

2. 指标选取与数据来源

(1) 指标选取

为科学、合理地计算 $S_a(i, t)$ 、 $S_v(i, t)$ 、 $S_c(i, t)$ 、 $\varphi_{s_a}(i, t)$ 、 $\varphi_{s_v}(i, t)$ 等指标,进而测度出各地产业共生集聚指数 $SAGG(i, t)$,本文首先构建了产业共生集聚指标体系(表1),包括动脉产业集聚水平 S_a 、静脉产业集聚水平 S_v 和环境容量 S_c 。动脉产业集聚包括制造业集聚和生产性服务业集聚两个指标,借鉴王猛³³的做法选择就业密度进行衡量;环境容量包括水资源、森林资源和交通资源3个方面;静脉产业集聚使用单位面积的工业固体废弃物综合利用量、废水治理投资、废气治理投资以及垃圾无害化处理量进行衡量。

(2) 数据来源

鉴于数据可得性，最终选取 2004—2020 年中国 30 个省区市为研究样本，不包括西藏和港澳台地区。数据来源于 2005—2021 年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。

3. 结果及现状分析

共生集聚指数 SAGG 反映了动脉产业与静脉产业的共生集聚水平。根据共生集聚的测度公式，共生集聚指数 SAGG 的有效结果为 2005—2019 年，其范围为[-2, 2]，共生集聚指数越大，表明地区产业共生集聚程度越高。从指标权重看，静脉产业集聚占比最高，其权重为 0.5361；其次为动脉产业集聚，权重为 0.3132；环境容量的权重较低，为 0.1507。在准则层中，制造业集聚水平、垃圾无害化处理、废气治理、生产性服务业集聚的贡献份额最高，分别占总权重的 16.13%、15.99%、15.24%、15.19%。这表明在环境容量一定的情况下，共生集聚的整体水平主要取决于静脉产业的发展。产业共生集聚水平的提高，不仅要发挥好动脉产业的经济增长效应，更要提高静脉产业集聚水平，以提高资源利用效率，保护生态环境，实现产业绿色可持续发展。

从产业共生集聚的测度结果看（表 1），广东、重庆、上海、北京、天津的共生集聚水平位居前 5，共生集聚度超过 1.35，中国四大直辖市均位列其中。青海、内蒙古、新疆等地的共生集聚水平相对靠后，接近于 0，甚至为负。这表明广东、重庆、上海、北京、天津不同产业之间循环性较好，经济效益和环境效益统一程度高；而青海、内蒙古、新疆等地则未形成较好的共生集聚。可能的原因在于青海、内蒙古、新疆等地经济与产业发展阶段还相对落后，政府实际仍以促进经济增长为主要目标，对产业循环与生态保护的重视程度不够。

为进一步区分各地区产业共生集聚模式，本文将共生集聚按均值划分为互利型共生集聚、偏利型共生集聚以及未实现共生集聚 3 种模式。(1) 当 $SAGG > 1$, $S_{a(i,t)} > 0$, $S_{v(i,t)} > 0$ ，则为互利型共生集聚。此时动脉产业与静脉产业均受益，动脉产业与静脉产业之间实现了共生集聚，既推动了经济增长，也促进了产业循环与环境保护。当前共有 21 个地区处于这一阶段，其中东部地区 10 个，中部地区 7 个，西部地区 4 个。(2) $0 < SAGG < 1$, $S_{a(i,t)}$ 和 $S_{v(i,t)}$ 有一方小于 0，则为偏利型共生集聚，是一种弱共生集聚模式。其中， $S_{a(i,t)} < 0$, $S_{v(i,t)} > 0$ ，表明动脉产业受损，静脉产业受益。这些地区大多处于传统产业集聚向共生集聚演化或改造的初期，动脉产业嵌入静脉产业的成本较高，尚难以弥补其建设成本并获得收益。当 $S_{a(i,t)} > 0$, $S_{v(i,t)} < 0$ ，表明动脉产业受益，静脉产业受损。这些地区可能处于新建共生集聚区的初期，虽然动脉产业借助废弃物集中处理获益，但静脉产业尚未形成治污规模效应，难以从共生集聚中获益。当前海南、四川、广西、甘肃等 8 个省区处于该阶段。(3) 当 $SAGG < 0$ ，则表明未能实现共生集聚，当前仅有新疆地区处于该阶段。

表 1 2005—2019 年产业共生集聚均值、类型及排名

地区	2005	2009	2013	2017	2019	均值	模式	排名
广东	1.39	1.41	1.39	1.41	1.41	1.40	互利型共生集聚	1
重庆	1.29	1.35	1.41	1.41	1.40	1.39	互利型共生集聚	2
上海	1.39	1.41	1.36	1.32	1.41	1.38	互利型共生集聚	3
北京	1.40	1.36	1.34	1.39	1.37	1.37	互利型共生集聚	4
天津	1.40	1.22	1.41	1.39	1.35	1.35	互利型共生集聚	5

福建	1.40	1.33	1.28	1.29	1.29	1.30	互利型共生集聚	6
湖南	1.41	0.99	1.39	1.27	1.22	1.30	互利型共生集聚	7
浙江	1.41	1.38	1.24	1.21	1.24	1.30	互利型共生集聚	8
江苏	1.27	1.21	1.25	1.25	1.20	1.23	互利型共生集聚	9
湖北	1.40	1.22	1.20	1.16	1.12	1.23	互利型共生集聚	10
河南	1.24	1.16	1.16	1.21	1.14	1.18	互利型共生集聚	11
宁夏	1.34	1.22	1.14	1.12	1.18	1.17	互利型共生集聚	12
江西	1.32	1.31	-0.42	1.17	1.25	1.17	互利型共生集聚	13
安徽	1.34	1.20	1.11	1.12	1.13	1.16	互利型共生集聚	14
辽宁	1.27	1.14	1.10	1.10	1.08	1.14	互利型共生集聚	15
吉林	1.30	1.21	0.74	1.30	1.27	1.12	互利型共生集聚	16
山东	1.17	1.12	1.11	1.07	1.06	1.10	互利型共生集聚	17
山西	1.20	1.07	1.03	1.02	1.02	1.06	互利型共生集聚	18
河北	1.11	1.05	1.06	1.08	1.06	1.06	互利型共生集聚	19
贵州	1.40	1.39	1.14	1.07	1.07	1.05	互利型共生集聚	20
陕西	-0.90	1.22	1.03	1.10	1.22	1.03	互利型共生集聚	21
海南	1.41	1.19	1.37	1.01	1.35	0.88	偏利型共生集聚	22
四川	1.26	1.12	0.42	1.20	1.41	0.86	偏利型共生集聚	23
广西	-0.33	1.32	-0.84	1.39	1.21	0.75	偏利型共生集聚	24
甘肃	0.95	1.29	0.95	1.16	0.68	0.58	偏利型共生集聚	25
云南	1.37	0.97	1.07	1.00	1.17	0.51	偏利型共生集聚	26

黑龙江	1.16	-1.00	-1.01	0.92	1.00	0.35	偏利型共生集聚	27
青海	0.88	-0.97	0.94	0.98	-1.33	0.05	偏利型共生集聚	28
内蒙古	1.00	1.00	-1.35	-0.56	-1.34	0.05	偏利型共生集聚	29
新疆	-0.99	-0.98	-1.11	-1.01	-0.54	-0.22	未共生集聚	30

七、结论

本文通过分析产业集聚和产业共生的优势和不足提出产业共生集聚的新概念，认为产业共生集聚是既能发挥产业集聚优势，又能发挥产业共生优势，同时产生循环一体化、绿色外部性和新报酬递增 3 种新优势，达到经济效益和环境效益有机统一的一种新的循环型空间集聚形态。研究认为，(1)产业共生集聚的形成机理包括两个方面：一是企业内生需求引致的共生集聚，包括由产业共生演变为共生集聚、产业集聚演变为共生集聚；二是政府引导形成的共生集聚，包括新建共生集聚区和对传统产业集聚区进行共生化改造。(2)产业共生集聚具有 3 种特征：一是循环一体化，即除了实现产业内、产业间物质、能量循环，还能实现生产者、消费者和分解者之间的循环一体化；二是绿色外部性，即共生集聚区的绿色知识和技术溢出更加广泛，更专注于绿色技术创新，进而产生绿色技术外部性；三是新报酬递增，即对于同等规模的集聚，产业共生集聚收益更高；在同等环境承载力约束下，共生集聚最优规模更高。(3)阐述了产业共生集聚的模式，包括互利型产业共生集聚和偏利型产业共生集聚。(4)构建了产业共生集聚测度模型，计算产业共生集聚指数并进行现状分析，当前中国共生集聚总体水平呈上升趋势，其中 21 个地区为互利型共生集聚，8 个地区为偏利型共生集聚，其余地区尚未形成共生集聚。据此，本文提出以下政策启示：

一是加强共生集聚区规划。在产业共生集聚区设计初始，充分考虑产业区产业（企业）间的共生集聚关系，做好物质、能量的循环设计。以生态产业为主体、绿色创新为核心，以节能高效、循环利用为路径，以绿色产业链建设、生态设计人才引进、绿色金融发展和环保监督为着力点，推进产业共生集聚区建设。同时需要发挥好数字技术在共生集聚区建设过程中的支撑作用，在企业能源管理、废料循环、资源再生利用中广泛推广大数据、物联网、人工智能等技术，提高共生集聚区能源效率和资源使用效率。

二是加强产业集聚区共生化改造。按照“政府支持引导、排污者付费、第三方治理”逻辑，积极在集聚区引入污染第三方治理和废物循环再利用体系，完善副产品和废弃物代谢循环链，推动传统集聚区共生化改造。充分利用碳配额、排污税费、排污权交易制度等市场工具为产业（企业）提供政策引导，倒逼企业主动参与产业集聚区共生化改造。

三是加强产业共生集聚区考评。一方面，根据共生集聚区不同主导产业制定差异化发展规划，结合共生集聚区发展现状和未来发展规划，从经济增长、结构优化、循环效应、绿色创新和节能减排等方面设立明确的考核评估标准，监督评价共生集聚区建设情况。另一方面，严格落实环保责任制，将生态环保工作列为共生集聚区主管领导和区内企业考核的重要内容。落实奖惩措施，对考核优异的企业和共生集聚区，给予更多资金和政策支持，对考核不达标企业及园区取消其享有的优惠政策，待整改合格后恢复。

未来研究拟从 3 个方面展开：一是建立产业共生集聚的理论模型；二是开展产业共生集聚实证研究；三是研究产业共生集聚的典型案列。

注释：

-
- 1[1]Romer, P. M., "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 1990, 98, pp. 71-102.
- 2[2]Xi, Q., Sun, R., Mei, L., "The Impact of Special Economic Zones on Producer Services Productivity: Evidence from China", *China Economic Review*, 2021, 65, p. 101558.
- 3[1]王兵、聂欣：《产业集聚与环境治理：助力还是阻力——来自开发区设立准自然实验的证据》，《中国工业经济》2016年第12期。
- 4[2]刘军、程中华、李廉水：《产业集聚与环境污染》，《科研管理》2016年第6期。
- 5[3]胡志强、苗长虹、袁丰：《集聚空间组织型式对中国地市尺度工业SO₂排放的影响》，《地理学报》2019年第10期。
- 6[4]Li, X., Xu, Y., Yao, X., "Effects of Industrial Agglomeration on Haze Pollution: A Chinese City-Level Study", *Energy Policy*, 2021, 148, p. 111928.
- 7[5]胡求光、周宇飞：《开发区产业集聚的环境效应：加剧污染还是促进治理？》，《中国人口·资源与环境》2020年第10期。
- 8[6]Dong, F., Wang, Y., Zheng, L., Li, J., Xie, S., "Can Industrial Agglomeration Promote Pollution Agglomeration? Evidence from China", *Journal of Cleaner Production*, 2020, 246, p. 118960.
- 9[7]贾卓、杨永春、赵锦瑶、陈兴鹏：《黄河流域兰西城市群工业集聚与污染集聚的空间交互影响》，《地理研究》2021年第10期。
- 10[8]袁华锡、刘耀彬、胡森林、封亦代：《产业集聚加剧了环境污染吗？——基于外商直接投资视角》，《长江流域资源与环境》2019年第4期。
- 11[9]邵帅、张可、豆建民：《经济集聚的节能减排效应：理论与中国经验》，《管理世界》2019年第1期。
- 12[10]Fang, J., Tang, X., Xie, R., Han, F., "The Effect of Manufacturing Agglomerations on Smog Pollution", *Structural Change and Economic Dynamics*, 2020, 54, pp. 92-101.
- 13[11]苏丹妮、盛斌：《产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据》，《经济学（季刊）》2021年第5期。
- 14[1]Zheng, Y., Yang, H., Huang, J., Cui, Q., Zhan, J., "Industrial Agglomeration Measured by Plants' Distance and CO₂ Emissions: Evidence from 268 Chinese Prefecture-Level Cities", *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 176, p. 121469.
- 15[2]徐承红、薛蕾：《农业产业集聚与农业面源污染——基于空间异质性的视角》，《财经科学》2019年第8期。
- 16[3]杨桐彬、朱英明、刘梦鹤、周波：《资源型城市产业协同集聚、市场化程度与环境污染》，《产业经济研究》2020年第6期。

-
- 17[4]朱东波、李红：《中国产业集聚的环境效应及其作用机制》，《中国人口·资源与环境》2021年第12期。
- 18[5]Wu, J., Lu, J., "The Synergetic Effect of Reducing Pollutants and Carbon Quantified by Exergy Flow Integrated Resources and Energy in An Iron and Steel Symbiosis Network", *Journal of Cleaner Production*, 2022, 340, p. 130807.
- 19[6]Renner, G. T., "Geography of Industrial Localization", *Economic Geography*, 1947, 23(3), pp. 167-189.
- 20[7]Chertow, M. R., "Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy", *Annual Review of Energy and the Environment*, 2000, 25(1), pp. 313-337.
- 21[8]Wadström, C., Johansson, M., Wallén, M., "A Framework for Studying Outcomes in Industrial Symbiosis", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 151, p. 111526.
- 22[9]Compernelle, T., Thijssen, J., "The Role of Industrial and Market Symbiosis in Stimulating CO2 Emission Reductions", *Environmental and Resource Economics*, 2021, pp. 1-27.
- 23[10]Chertow, M. R., Ashton, W. S., Espinosa, J. C., "Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies", *Regional Studies*, 2008, 42(10), pp. 1299-1312.
- 24[1]丰雷、郑文博、张明辉：《中国农地制度变迁 70 年：中央-地方-个体的互动与共演》，《管理世界》2019 年第 9 期。
- 25[1]Krugman, P., "Increasing Returns and Economic Geography", *Journal of Political Economy*, 1991, 99(3), pp. 483-499.
- 26[2]刘军、徐康宁：《产业聚集、经济增长与地区差距——基于中国省级面板数据的实证研究》，《中国软科学》2010 年第 7 期。
- 27[3]沈能、赵增耀、周晶晶：《生产要素拥挤与最优集聚度识别——行业异质性的视角》，《中国工业经济》2014 年第 5 期。
- 28[4]林伯强、谭睿鹏：《中国经济集聚与绿色经济效率》，《经济研究》2019 年第 2 期。
- 29[1]Volterra, V., "Variations and Fluctuations of the Number of Individuals in Animal Species Living Together", *Animal Ecology*, 1926, pp. 409-448.
- 30[2]张士强、张杰、任一鑫：《动脉产业与静脉产业竞争关系及对策研究》，《山东社会科学》2012 年第 1 期。
- 31[3]周甜甜、王文平：《基于 Lotka-Volterra 模型的省域产业生态经济系统协调性研究》，《中国管理科学》2014 年第 S1 期。
- 32[4]张智光：《生态文明阈值和绿值二步测度：指标-指数耦合链方法》，《中国人口·资源与环境》2017 年第 9 期。
- 33[1]王猛：《城市集聚和出口的共生机制研究：来自 204 个城市的证据》，《财贸研究》2016 年第 3 期。