



DOI: 10.20103/j.stxb.202404110801

韩丽丽, 何友均, 朱震锋, 王超. 生物多样性信用研究现状、热点及启示——基于 CiteSpace 的可视化分析. 生态学报, 2025, 45(5): 2529–2543.

# 生物多样性信用研究现状、热点及启示 ——基于 CiteSpace 的可视化分析

韩丽丽<sup>1</sup>, 何友均<sup>1,\*</sup>, 朱震锋<sup>2</sup>, 王超<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中国林业科学研究院林业科技信息研究所, 北京 100091

<sup>2</sup> 广东科技学院管理学院, 东莞 523083

**摘要:**生物多样性信用是一种经济工具, 是对保护或恢复物种、生态系统或自然生境等行为所产生的生物多样性净增值的计量。可用于通过创建和出售生物多样性信用来资助增强生物多样性的行动。为全面了解生物多样性信用研究的发展脉络及演变趋势, 运用 CiteSpace 文献计量方法, 对文献计量特征、高频关键词进行分析。结果显示: (1) 生物多样性信用研究的年度发文数量呈现出缓慢发展(2003—2008 年)、快速增长(2008—2015 年)以及波动上升(2015—2023 年)的趋势; Martine Maron 和 Philip Gibbons 本斯是研究该领域的核心作者; 高校和非政府组织机构是该领域研究的主力军; 研究涉及多个学科, 其中包括环境科学、生态学、经济学、地理学、政治学、法律等。(2) 生物多样性信用研究热点指向保护与激励策略、生物多样性量化、法律政策框架、信用银行机制研究四个方面, 研究热点从单纯追求无净损失, 逐渐转变为积极追求净收益, 用途从原本被动抵消转变为主动投资工具。(3) 设计更符合生态保护政策目标的策略和开发科学有效生物多样性信用计量方法成为今后研究重点。基于上述分析结果, 如果将生物多样性信用引入我国, 首要任务是明确其概念边界, 并设定信用收益与损失标准, 以确立市场参与各方的主体地位。

**关键词:**生物多样性信用; 文献计量; CiteSpace; 可视化分析

自然为人类和经济提供了不可估量的价值, 全球 GDP 的大约一半依赖于正常运转的生态系统<sup>[1]</sup>。人类活动导致物种数量锐减和栖息地的丧失, 部分物种甚至面临灭绝的局面, 地球生态系统造成了严重的破坏, 其对人类的服务功能也在不断下降, 伴随巨大的经济、社会和环境成本<sup>[2]</sup>。生态系统的多样性减少速度之快超过了人类历史上的任何时期<sup>[3–4]</sup>。针对这一危机, 全球达成共识, 开始将资金优先用于生态系统的保护工作<sup>[5]</sup>。中国作为世界上生物多样性最丰富的国家之一, 面临的主要问题包括生态系统功能的退化、物种濒危程度的加剧、遗传资源的流失以及城市化和资源的过度开发等。此外, 中国还面临每年约在 2150 亿美元到 3870 亿美元之间气候变化适应成本<sup>[6]</sup>。根据中国生态环境部对外合作与交流中心发布报告《中国生物多样性保护资金投入与资金机制初探》(2023 年 5 月 22 日), 中国政府 2011 至 2020 年间, 中国生物多样性保护的核心资金投入总计约 2.16 万亿元人民币(约合 2982 万美元), 年均投入资金 298 万美元, 且主要是政府财政支出, 民间资金和国际资金占比较低, 资金来源单一<sup>[7]</sup>。中国生物多样性保护和修复的任务艰巨, 资金需求巨大, 仅靠财政资金难以全面实现生物多样性保护修复的各项目标。

目前, 正身处于生物多样性丧失与气候变化加剧的双重挑战之中。尽管中国在生物多样性保护方面已经采取了许多高质量的举措, 如绿色债券、绿色信贷、生态系统服务付费等, 但资金供给难以满足缺口, 仍然存在

**基金项目:**中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2023ZA003-4); 国家自然科学基金面上项目(31170593&31570633)和“十五五”国家林草发展思路研究(500102-5117)

收稿日期: 2024-04-11; 网络出版日期: 2024-11-28

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hyjun163@163.com

很多生态价值没有得到货币化的问题<sup>[8]</sup>。生物多样性保护治理的资金还远远不够,亟需多元化投融资机制、创新金融工具支持生物多样性保护<sup>[9]</sup>。近年来,国外借鉴碳信用的成功经验的基础上,提出将生物多样性信用作为一种新兴融资工具,充分利用市场力量,拓宽社会资本的进入渠道,以弥补巨大的资金缺口。生物多样性信用被认为是能够平衡经济发展和环境保护之间矛盾的方法<sup>[10-11]</sup>。

国外已有众多学者在该领域发表研究成果,然而我国在生物多样性信用研究领域的探讨目前处于起步阶段,尚未形成系统的研究体系。本文通过运用文献计量学方法,对 2003 年至 2023 年期间生物多样性信用领域的研究成果进行了全面梳理。利用 CiteSpace 软件进行文献整合和热点分析,构建了可视化知识图谱。旨在通过清晰、直观的方式呈现该领域的研究现状、热点动态及主题演变,从而为生物多样性信用研究的深入探索与热点变化规律的总结提供新的启示,以期为我国生物多样性保护实践提供依据,并为制定生物多样性保护政策提供更丰富的理论支撑。

## 1 生物多样性信用概况

生物多样性信用的产生来源于生物多样性抵消,类似于碳抵消(Carbon offsets)产生碳信用<sup>[12]</sup>。生物多样性信用最初被确立为计量单位,用于计算生物多样性抵消项目和生物多样性银行项目中的抵消额度<sup>[13-15]</sup>。随着二十年来通过一系列不同方法的实践,生物多样性“净增量”的提出,生物多样性“信用”逐渐区别与“抵消”。“自然市场”全球工作组(Taskforce on Nature Markets)将生物多样性信用定义为“一种可代表基于自然的解决方案项目所取得的正向生物多样性成果的交易单位”<sup>[16]</sup>。现阶段学界对生物多样性信用和生物多样性抵消的概念还没形成比较统一的观点,总体来说,生物多样性信用是一定时期内生态价值变化的统一衡量单位,它是“零净损失”和(或)“总体增长”目标下可以纳入市场交易的生物多样性价值部分。生物多样性信用用来生物多样性保护投资,产生于先前存在的基线获得生物多样性净收益<sup>[17-18]</sup>。信用额度由独立机构(咨询公司或科研院所)负责核算与认证,用于购销双方从生物多样性银行认购以避免、恢复或促进商业项目对环境的影响。为确保合规性,审计部门需予以审批,将其作为核发开工许可证的必备条件。综上所述,这一模式的运作依赖于“政府-银行-商业学术”三方跨部门的紧密协同。潜在的生物多样性信用将由那些保护生物多样性的人产生,并被那些想要投资生物多样性保护的人购买。生物多样性信用交易一般是通过生物多样性银行进行,一旦被购买,就可以退出市场或有可能在二级市场上出售,类似于自愿的碳市场减排交易。通过这种方式,生物多样性信用销售的收入将为那些生活在生物多样性所在的偏远农村地区的人们提供激励和资金,以保护生物多样性,形成良性循环,具体生物多样性信用运行机制见图 1<sup>[19-20]</sup>。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

本研究运用 CiteSpace6.2 R6 软件,对生物多样性信用研究领域的文献进行了系统、全面的计量分析<sup>[21-22]</sup>。具体做法是将 Web of Science 网页排查筛选获取到的文献以 Reforks 格式导出,将其转化为软件可识别格式(download\_.txt 格式)导入计量软件,设置 Time Slicing 时间段为 2003—2023 年,然后运用软件内置的分析运算模型对文献的作者、关键词、机构生成聚类及时间知识图谱。图谱中各节点的颜色对应其所代表年份;节点大小则与其出现频次成正比;节点间的连线象征共现关系,而连线粗细则反映关系的紧密程度。通过可视化知识图谱直观地呈现生物多样性信用研究的热点议题与发展趋势,以期为该领域的学术研究和实际应用提供有益的参考。

### 2.2 研究数据

本研究选用的数据库为 WOS(Web of Science)核心合集数据库,此数据库为国际公认的能够反映科学的研究水准。将检索范围限定于 2003 年 1 月 1 日到 2023 年 12 月 31 日,查找了自 2003 年以来发表的环境科学、生态学、海洋淡水生物学、林业、农业经济政策等多个领域的相关期刊文章。为保证文献查找完整性和准

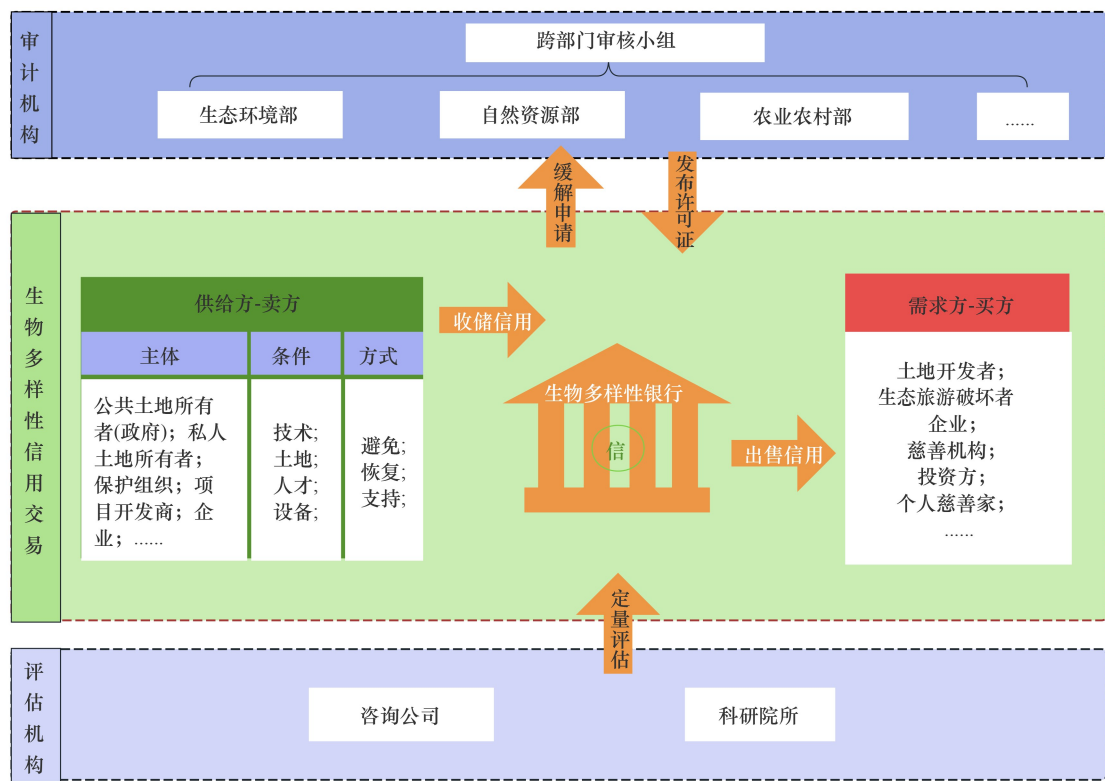


图1 生物多样性信用运行机制

Fig.1 The operating mechanism of biodiversity credits

确性,在 Web of Science 核心数据库中进行了两次检索:第一次检索将检索词限定在“主题”字段进行检索:TS = (“biodiversity offset \*”) OR TS = (“biodiversity credit \*”) OR TS = (“biocredit \*”) OR TS = (“biodiversity certificate”) OR TS = (“nature credit \*”) AND PY = (2003—2023)。在二次检索中将上述检索词放置于“标题”字段进行检索,两次检索共获得文献 695 篇。本文综合两次检索结果,对上述数据进行去重以后,最终排查筛选出 500 篇相关文献作为分析对象,这些文献覆盖了 184 个不同发文期刊,涵盖了 323 个发文机构,同时涉及了 320 名相关的发文作者。

需要说明的是,本研究并未将中文文献数据纳入其中,是因为在中国知网(CKIN)数据库中,使用高级检索工具,采用检索式主题=“生物多样性抵消”OR“生物多样性信用”OR“生物多样性证书”OR“自然信用\*生物多样性”进行高级检索,选取北大核心、CSSCI 和 CSCD 核心数据库为中文期刊样本,检索时间和文献时间跨度同上,仅检索到 10 篇文献。鉴于可视化分析实际意义有限,因此在此次数据收集过程中,我们并未将中文文献数据纳入考虑范畴之内。

3 结果与分析

3.1 文献计量特征

3.1.1 文献发表年度及数量分析

根据国外关于生物多样性信用研究文献年份分布(图 2)可知,自 2003 年至 2023 年,研究经历三个不同阶段。在 2008 年以前,生物多样性信用稳定发展,每年仅有一篇文章发表。从 2008 年至 2014 年国外学者关于生物多样性信用的研究文献数量就开始呈现一个快速发展的趋势。表明越来越多的学者通过世界主流经济范式语言即生物多样性价值揭示生物多样性所提供的服务,并引起决策者、管理者、企业和公民的关注。学界整体的研究热度呈现上升的趋势。自 2015 年起,论文发表数量出现波动上升趋势,平均每年达到 50 篇。但总体而言,生物多样性信用相关研究数量仍然较少,该领域的研究尚处于初步发展阶段,其背后可能涵盖多

重因素<sup>[23-24]</sup>。就内在因素而言,生物多样性信用的确立面临三大挑战,即定义的模糊性、度量的复杂性和交易的困难性。从外部环境来看,已经发展出多种保护生物多样性的方法,生物多样性信用作为一种新兴的保护方式被提出,其在生物多样性保护成效上的具体作用和价值,在国际社会中尚未达成广泛的共识。

### 3.1.2 研究作者及其分布

2003 年至 2023 年期间,国外关于生物多样性信用研究的高产作者有 Martine Maron、Joseph W Bull、Ascelin Gordon、Philip Gibbons、Fabien Quetier 等人。其中, Martine Maron(突显值 4.42)和 Philip Gibbons(突显值 3.79)文章关注度高,这两位学者分别来自澳大利亚昆士兰大学和国立大学。值得一提的是, Martine Maron 的研究与生物多样性信用相关的 30 位作者参与了一个合作网络,该网络中美国、澳大利亚和英国的作者之间合作最为频繁。这是由于美国、澳大利亚等国家对于生物多样性保护拥有较为完善的保护法律,旨在避免或最大限度地减少负面影响,并积极推动生物多样性和生态系统服务的“无净损失”。

通过运用 CiteSpace 软件,对国外生物多样性信用研究领域论文合作国家进行网络图谱分析。图谱中网络节点代表国家,不同大小和不同颜色的圆环表示不同国家论文发表频次和年份,用以表示各国在论文发表年份的贡献,如图 3 所示。

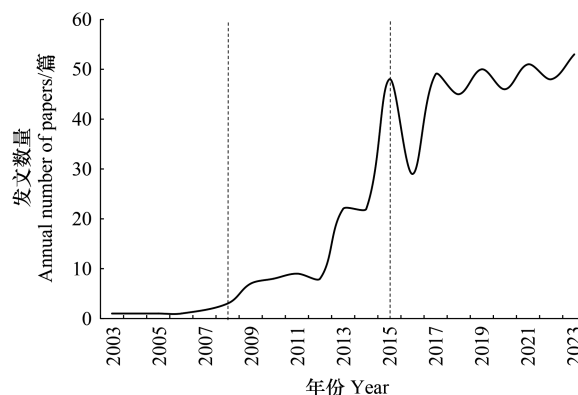


图 2 生物多样性信用研究文献年份分布

Fig.2 The number of biodiversity credits research publications

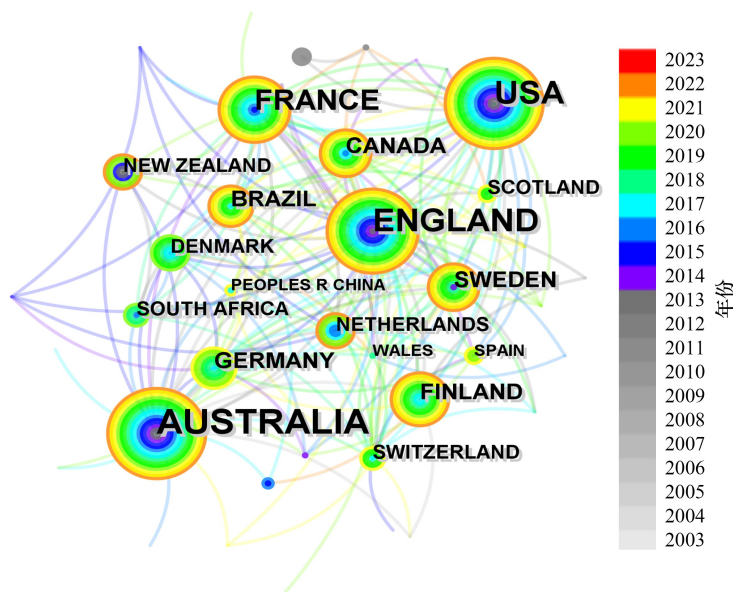


图 3 国外生物多样性信用研究合作国家可视化

Fig.3 Visualization of foreign cooperation countries in biodiversity credits research

结果发现,澳大利亚是合作发表论文数量最多的国家,其次分别是英国和美国(表 1)。澳大利亚拥有最多的出版物是因为它发展了许多保护生物多样性的方法。例如,栖息地公顷的方法最初是在维多利亚州原生植被管理框架的公共咨询阶段制定的,随后得到了政府的批准<sup>[25]</sup>。澳大利亚是实施自愿生物多样性机制最多的国家<sup>[16]</sup>,具有丰富的经验和成熟的管理体系,尤其是在物种多样性保护层面取得了显著成效。

表 1 国外生物多样性信用研究国家分布

Table 1 Distribution of foreign biodiversity credits research countries

| 序号<br>Rank | 国家<br>Country | 发文量/篇<br>Articles | 序号<br>Rank | 国家<br>Country | 发文量/篇<br>Articles |
|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|
| 1          | 澳大利亚          | 152               | 6          | 德国            | 32                |
| 2          | 英国            | 121               | 7          | 加拿大           | 28                |
| 3          | 美国            | 98                | 8          | 巴西            | 28                |
| 4          | 法国            | 69                | 9          | 瑞典            | 28                |
| 5          | 芬兰            | 33                | 10         | 荷兰            | 20                |

进一步分析文献发现,尽管中国在生物多样性保护方面与其他国家开展了积极的合作,但其出版物数量相对较少。在 500 篇相关论文中,仅有 8 篇由中国作者发表。这主要是因为我国在生物多样性保护方面的主要策略是恢复退化的栖息地、保护即将或预期失去生物多样性的地区,以及为恢复退化的生态系统提供经济补偿,侧重于经济补偿。这种经济补偿往往并未遵循与生物多样性信用相关的原则<sup>[26]</sup>。由此可见,我国的生物多样性信用研究仍处于起步阶段。

3.1.3 研究机构及期刊分布

使用 CiteSpace 软件对 WOS 核心数据库进行分析,发现共有 322 个研究机构积极开展了生物多样性信用相关研究。图 4 展示了发文量在 10 篇以上的发文机构的数量和中心性。其中,发文量最高的是昆士兰大学 46 篇,其次是大自然保护协会 28 篇,皇家墨尔本理工大学 27 篇,肯特大学、澳大利亚国立大学、赫尔辛基大学、剑桥大学、牛津大学、哥本哈根大学、墨尔本大学、西澳大学、蒙彼利埃大学、瑞典农业科学大学和国际野生动物保护协会发文量都在 10 篇以上。值得注意的是,发文数量在 10 篇以上的机构中有两个属于国际非营利非政府组织,分别是大自然保护协会(出版物数量=28)和国际野生动物保护协会(出版物数量=12),可以看出非政府组织也在助力生物多样性保护主流化中积极行动。从研究机构的类别上看,高校和非政府组织机构是该领域研究的主力军。从中心性来看,大于 0.1 的机构有大自然保护协会(0.21)昆士兰大学(0.2)肯特大学(0.14)和剑桥大学(0.11)。这些机构组织对生物多样性信用研究进展起到了重要的推动作用,是全球该领域研究的主要贡献机构。

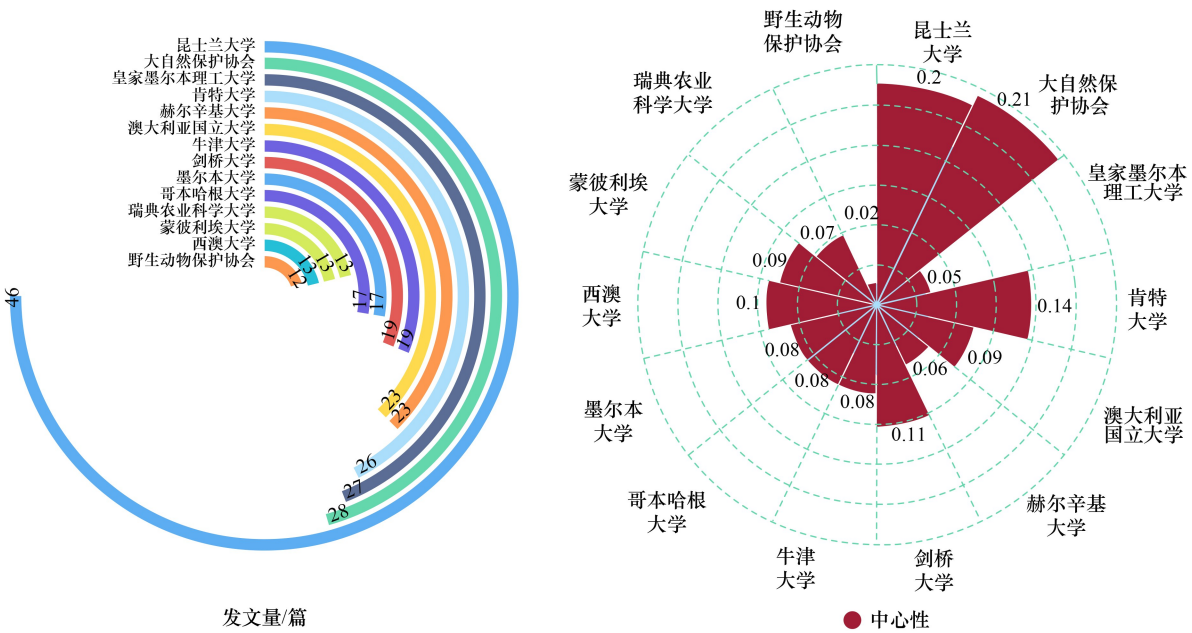


图 4 生物多样性信用领域发文超过 10 篇的研究机构

Fig.4 Research organizations with more than 10 publications in the field of biodiversity credits

检索范围内的文章来源于 184 种期刊,表 2 列出了 2003—2023 年期间关于生物多样性信用研究领域发文数量排名前 10 的高产期刊,以及它们各自的 5 年 IF(影响因子)。可以看出,前 10 名期刊的总发文量占到发文总量 38%,发文量排名第 1 的是 *Biological Conservation*,共发文 42 篇,影响因子为 6.4;排名第 2 的是 *Conservation Biology*,共发文 30 篇,影响因子为 6.5;排名第 3 的是 *Land Use Policy*,发文 18 篇,影响因子为 6.9。高产期刊中出版国家最多的是英国,共有 4 个期刊位列其中,其次是美国、荷兰和瑞士。此外,这些期刊都具有较高的影响因子,这表明该期刊的文章被其他学者引用的频次较高,在该领域具有重大影响力。由期刊可见该研究涉及多个学科科学,其中包括环境科学、生态学、经济学、地理学、政治学、法律等。

表 2 发文量排名前 10 位的高产期刊分布

Table 2 Top 10 Distribution of museum experience design high-yield journals

| 排名<br>Rank | 期刊<br>Journal                              | 国家<br>Country | 发文量<br>Articles | 5 年影响因子<br>Impact factor |
|------------|--------------------------------------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| 1          | <i>Biological Conservation</i>             | 英国            | 42              | 6.4                      |
| 2          | <i>Conservation Biology</i>                | 美国            | 30              | 6.5                      |
| 3          | <i>Land Use Policy</i>                     | 荷兰            | 18              | 6.9                      |
| 4          | <i>Journal of Environmental Management</i> | 英国            | 17              | 8.4                      |
| 5          | <i>Sustainability</i>                      | 瑞士            | 17              | 4.0                      |
| 6          | <i>Conservation Letters</i>                | 英国            | 16              | 8.3                      |
| 7          | <i>Ecosystem Services</i>                  | 荷兰            | 14              | 8.6                      |
| 8          | <i>Environmental Management</i>            | 美国            | 12              | 3.9                      |
| 9          | <i>Plos One</i>                            | 美国            | 12              | 3.8                      |
| 10         | <i>Journal of Applied Ecology</i>          | 英国            | 10              | 6.5                      |

3.2 研究热点分析

3.2.1 高频被引文献分析

高频被引文献表现了当前与该生物多样性信用研究具有突出贡献和价值的文章。从高频被引文献统计表(表 3)中可知,Martine Maron 和 Joseph W Bull 的研究观点和结论被引用的次数最高。其中,Joseph W Bull 提炼了生物多样性抵消的三个标准,为科学评价和制定最佳抵消方案提供一种更有效的手段<sup>[27—28]</sup>。Martine Maron 则呼吁通过设计健全的抵消政策在一定程度上缩小补偿政策所设定的期望与补偿实践之间的差距<sup>[29—31]</sup>。由此可见,当前全球关于生物多样性信用的研究主要关注将其作为生物多样性抵消的量化评估方法。高频被引文献涵盖生物多样性抵消政策、无净损失、抵消方案、激励措施四个核心议题。其中,7 篇文献与政策相关,3 篇探讨生物多样性抵消是否能全面减轻自然价值损失,实现生物多样性无净损失。

表 3 高频被引文献统计表

Table 3 Statistics of frequently cited literature

| 论文标题<br>Title                                                                                 | 作者<br>Author         | 发表年份<br>Year | 被引用数<br>Frequency of citation |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------------------------|
| Biodiversity offsets in theory and practice                                                   | Bull J W             | 2013         | 95                            |
| Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies       | Maron M              | 2012         | 77                            |
| Taming a Wicked Problem: Resolving Controversies in Biodiversity Offsetting                   | Maron M              | 2016         | 65                            |
| The global extent of biodiversity offset implementation under no net loss policies            | Bull J W             | 2018         | 64                            |
| The many meanings of no net loss in environmental policy                                      | Maron M              | 2018         | 61                            |
| Biodiversity offsets and the challenge of achieving no net loss                               | Gardner T A          | 2013         | 61                            |
| Policy development for biodiversity offsets: a review of offset frameworks                    | McKenney B A         | 2010         | 57                            |
| The ecological outcomes of biodiversity offsets under “no net loss” policies: A global review | Zu<br>Ermgassen SOSE | 2019         | 55                            |
| Is there any empirical support for biodiversity offset policy?                                | Curran M             | 2014         | 52                            |
| Perverse incentives risk undermining biodiversity offset policies                             | Gordon A             | 2015         | 50                            |

### 3.2.2 关键词共现分析

关键词是文献内容的精准提炼,是评估文章研究主题的重要依据。利用 CiteSpace 软件对以生物多样性信用为主题的论文进行可视化分析,相近词语合并后,构建了包含 728 个关键词节点与 3624 条关键词间连线的关键词共现知识图谱(图 5)。其中,线条代表关键词之间的联系,线条颜色与图中年份相对应;节点圆圈大小代表的是关键词频次,频次越大,圆圈越大,意味着其对应的关键词在某一时间区间里受到极大关注,即说明该关键词在多篇文献中的研究价值与意义越大。

研究结果显示,该领域的研究主要以“生物多样性抵消”为主要场域,向多个方向发散。这是因为当前生物多样性信用大多被开发商购买用来抵消其活动造成的生物多样性损失。涉及主题主要包括无尽损失、生境保护、生态系统服务、环境影响评估等。生物多样性信用在陆地生态系统中应用了更多,而在水生生态系统和海洋生态系统中研究很少,这与之前的研究一致<sup>[32-33]</sup>。这可能是由于水生和海洋生态系统的复杂性,以及实施生物多样性抵消措施的困难所致。

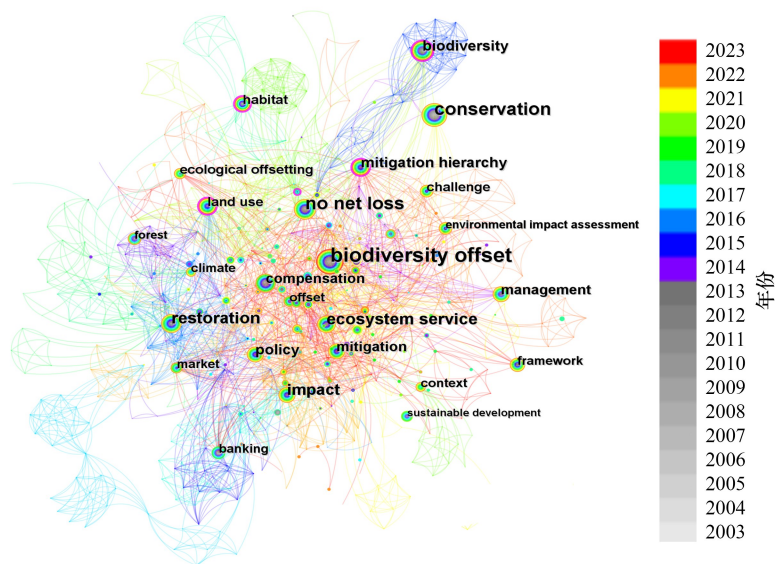


图 5 关键词共现分析

Fig.5 Keyword co-occurrence analysis

生物多样性信用研究的高频关键词表体现了近年国外专家学者专注的研究动向,说明了该研究领域的热点前沿。根据表 4 可知,出现频数在 90 次以上的关键词主要包括“生物多样性抵消(biodiversity offset)”“保护(conservation)”“无净损失(no net loss)”“生态系统服务(ecosystem service)”“恢复(restoration)”等,其中“生物多样性抵消”的出现频数最高,与关键词共现知识图谱中呈现的内容一致。但仅仅依靠高频关键词不能精确确定该主题的研究热点,中心度(Centrality $\geq 0.1$ )被当作是反映领域研究热点的一个重要指标。从中心度来看,“土地利用”“栖息地”“缓解层次结构”“生物多样性”是网络的支撑点。在土地利用方面,有学者认为制定生物多样性保护“区域选择”策略需要权衡土地利用分配中社会需求和激励、税收和生物多样性信用等经济手段的分配<sup>[34]</sup>。有效地协调不同地理范围和相互竞争的土地利用功能,可以最小化不同土地功能和生态系统服务之间的利弊权衡,在环境保护和发展目标之间实现协同效应<sup>[35-36]</sup>。在栖息地方面,学者提出濒危物种栖息地交易的生物多样性信用体系,通过景观等效分析(Landscape equivalent analysis, LEA)方法计算栖息地斑块的保护价值<sup>[37-38]</sup>。可交易的生物多样性信用制度为解决发展与保护受威胁或濒危物种栖息地的土地使用选择之间的冲突提供了灵活的手段<sup>[38]</sup>。在缓解层次结构方面,应用“缓解层次结构”方法最大限度地减少项目开发对自然的伤害。学者将其看作是一个已融入众多政府、贷款机构和企业的主要政策工具<sup>[39]</sup>,其实施的成功取决于从业者对这些政策的解释。实施缓解层次结构的步骤依次为避免、减缓、恢复、抵

消或补偿<sup>[40]</sup>,通过应用缓解层次结构确定偏移量是否适合特定开发。

表 4 国外生物多样性信用研究高频关键词表

Table 4 High-frequency keywords in foreign biodiversity credits research

| 序号 No. | 频数 Frequency | 中心度 Centrality | 关键词 Keyword           | 最早出现年份 Year |
|--------|--------------|----------------|-----------------------|-------------|
| 1      | 330          | 0.01           | Biodiversity offse    | 2008        |
| 2      | 173          | 0.01           | Conservation          | 2005        |
| 3      | 157          | 0.02           | No net loss           | 2008        |
| 4      | 98           | 0.09           | Ecosystem service     | 2009        |
| 5      | 94           | 0.02           | Restoration           | 2009        |
| 6      | 76           | 0.08           | Impact                | 2008        |
| 7      | 69           | 0.1            | Biodiversity          | 2003        |
| 8      | 59           | 0.02           | Policy                | 2010        |
| 9      | 56           | 0.12           | Mitigation hierarchy  | 2009        |
| 10     | 53           | 0.02           | Compensation          | 2008        |
| 11     | 48           | 0.03           | Mitigation            | 2009        |
| 12     | 44           | 0.08           | Management            | 2005        |
| 13     | 41           | 0.13           | Land use              | 2003        |
| 14     | 39           | 0.04           | Challenge             | 2012        |
| 15     | 38           | 0.13           | Habitat               | 2005        |
| 16     | 37           | 0.05           | Ecological offsetting | 2011        |
| 17     | 31           | 0.02           | Offset                | 2009        |
| 18     | 29           | 0.05           | Market                | 2010        |
| 19     | 28           | 0.03           | Framework             | 2013        |
| 20     | 27           | 0.03           | Climate               | 2009        |

3.2.3 关键词聚类分析

关键词共现分析能够揭示当前的研究热点和发展趋势,然而,对单一关键词的分析无法全面展现不同研究之间的内在联系与相互影响。为此,本研究引入关键词聚类图谱的分析方法深入把握研究方向和核心主题。关键词聚类知识图谱中显示的数字越小说明相关聚类中所包含的关键词数量越多。根据图 6 显示的数据可知,国外生物多样性信用研究主题包括#0 缓解层次结构( mitigation hierarchy )、#1 新自由主义保护( neoliberal conservation)、#2 栖息地修复( habitat restoration)、#3 生物多样性指标( biodiversity metrics)、#4 保护规划( conservation planning)、#5 生产综合补偿( production-integrated compensation)、#6 避免损失( averted loss)、#7 濒危物种法( endangered species act)、#8 银行( banking )、#9 生态修复( ecological restoration)。根据

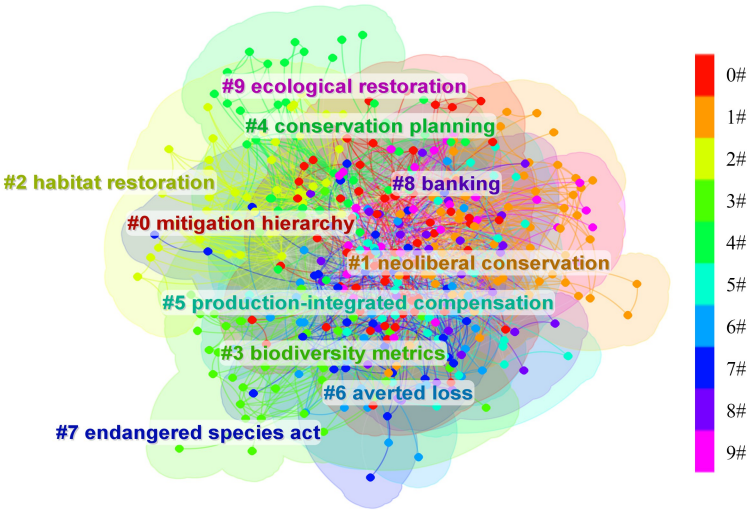


图 6 生物多样性信用关键词聚类图

Fig.6 Keyword cluster map of research papers on foreign biodiversity credits

聚类关键词对文献内容进一步提炼归纳为生物多样性保护政策(#0、#1、#2、#4、#5、#6、#9)、生物多样性量化(#3)、法律政策框架(#7)、银行机制(#8)四个方面。

### (1) 生物多样性保护与激励策略研究

采用缓解层次结构策略,将生物多样性保护作为土地使用规划中的核心监管措施<sup>[26]</sup>。缓解层次结构可以指导使用者通过避免-最小化-恢复以及最后补偿的顺序步骤来限制开发对环境造成的负面影响。这些缓解措施等级的目的是来实现生物多样性“无净损失”。但实践中很难确保遵守缓解措施等级,因为前三个步骤(避免-最小化-修复)往往被忽视<sup>[41]</sup>。严格按照缓解等级的步骤,需要实施严格生物多样性保护规划。近年来,国外研究者一直在致力于开发并实施能够有效减缓等级制度的工具<sup>[29,42]</sup>。迄今为止已经有 37 个国家已通过立法,要求土地规划者遵循缓解措施等级,以减少其项目对自然的影响。在许多国家,缓解等级应用于环境影响评估(Environmental Impact Assessments, EIAs),评估开发和开垦对生物多样性的影响及预期改善状况,为决策和规划提供科学依据<sup>[43-45]</sup>。然而国际上缺乏评估缓解措施的标准化方法<sup>[46]</sup>,导致现在既没有被一致接受,也没有被全面应用。

### (2) 生物多样性信用核算研究

生物多样性信用直接为生物多样性定价,是直接反映生物多样性价值的市场指标。生物多样性信用的计量方法主要是衡量保护濒危物种和栖息地等行为对生物多样性的净增值<sup>[47]</sup>。在核算方面,依据碳信用的经验和原则,评估生物多样性的“净变化”需要主要考虑空间性、时间性、额外性、基线这几个关键要素。

在方法学层面,众多国家依据所制定的生物多样性信用标准开展交易活动。例如华莱士信托基金会(The Wallacea Trust)工作组开发了一种适用于全球所有生态区(ecoregions)的开源生物多样性信用方法,它指定了至少五个指标,每 1%的可测量的或每公顷避免的损失奖励一个积分,在全球范围内交易生物多样性信用<sup>[16]</sup>;Accounting for Nature 工作组则按照原生植被、土壤、动物、淡水和海洋的分类制定了不同的自然核算方法<sup>[48]</sup>;哥伦比亚采用成本定价法,用四个因素(风险类别、保护与恢复、永久性、生态连贯性)对生物多样性价值进行量化,每个因素都有一个分值,并使用给定因素的平均值进行归一处理,然后求和得出生物多样性信用的数值<sup>[49]</sup>;2023 年,Plan Vivo 推出 PV Nature 方法学量化生物多样性,该方法在计算其生物多样性的“多指标”值时确定了四个指标:物种丰富度、物种多样性、分类差异和栖息地连通性,设定了生物多样性数据质量和采样协议的最低标准,并定义了将生物多样性数据转换为证书数量的指标<sup>[50]</sup>。通过该方法对 Plan Vivo 生物多样性证书进行量化和质量检查。总体来看,全球生物多样性信用计量方法学缺乏统一的标准。

在实践应用层面,生物多样性价值认定方式主要有等级打分法、基于栖息地面积法以及生境评估程序<sup>[51-52]</sup>。以美国物种保护银行为例,大多数生物多样性信用的授予只基于栖息地面积,而不考虑质量等更高层次面的要求,将栖息地面积作为一个信用额度,面积规模 0.49—13.22 公顷不等。只有小部分信用的授予以缓解率或乘数来计算<sup>[53]</sup>。通过生境评估程序评估物种及其栖息地生态功能的价值,是一项既复杂又耗时的任务。目前大多数信用采取“一篮子指标”,基于保护、改善、恢复或建立的物种栖息地面积,采用空间加时间的量化指标,并将不同的变量汇总为一个指标增加其灵活性,在不同的生态系统通用<sup>[49]</sup>。然而各个地方的核算方法不尽相同,缺乏统一的核算方法,使跨区域交易难以在大范围、多层级内推广,也难以在长周期内有效地监管和预测。同时,交易的生物多样性信用并没有涵盖到所有生态系统服务的功能。

### (3) 法律政策框架研究

生物多样性信用法律政策框架通常由国家或国际组织制定,实施适当的预防和抵消措施以中和或改善剩余无法处理的负面影响。最早可以追溯至 19 世纪 70 年代<sup>[54]</sup>。美国实施了《湿地公约》《清洁水法》和《濒危物种法》,展开一系列补偿性抵消,对湿地、溪流、动物及其他水生资源功能与区域造成的损失进行补偿性抵消,以弥补各项功能的减退<sup>[55]</sup>。德国紧随其后,实施了首部《联邦自然保护法》,在国家层面明确了生态补偿的法律地位,使之成为“侵占者”的法定责任<sup>[56]</sup>。澳大利亚制定了《生物多样性保护国家战略》,关注生物多样性保育和生态环境保护<sup>[57]</sup>。生物多样性抵消政策和零净损失政策有助于缓解全球生物多样性。可以说生

生物多样性信用是伴随立法而产生<sup>[58]</sup>。这些法律法规和政策措施为生物多样性信用提供了法律依据和政策支持,推动了其在实践中的应用。

#### (4) 生物多样性银行机制研究

生物多样性银行是市场化的生态系统服务的交易平台。具体是在政府、私人、政府与私人的联合或非营利组织等实体在得到许可的情况下,与实体金融机构、科研院所绑定,通过保护或增强现有生境、恢复受干扰的生境、创造新的栖息地以及对特定生物特征的栖息地进行规范管理,将产生的物种或栖息地保护价值以生物多样性信用的形式储备在银行账户中,并在有关部门的监督管理下以信贷方式将信用出售给生物多样性信用购买者<sup>[59–60]</sup>。例如,试图实现其保护成果的政府机构、对保护感兴趣的慈善组织、希望投资生物多样性的公司、私人生物多样性经销商和中介机构或确保对野生动物保护组织的捐赠得到妥善利用的个人消费者<sup>[49]</sup>。收益渠道主要有两种,即项目环评中的咨询评价收益和利用企业购买授信额度和所缴纳保证金的投资收益<sup>[19]</sup>。生物多样性银行是绿色金融的主要形态,易快速置换出金融资本。目前全球大约有 100 多个国家涉及生物多样性银行的核心业务<sup>[61–62]</sup>。主要类别有私人非商业银行、私人商业银行、混合商业银行、公共商业银行和公共非商业银行,使用的单位类型或出售的信用额包括湿地、物种、栖息地、生态系统服务或功能<sup>[63]</sup>。

## 4 研究趋势

### 4.1 研究热点演变分析

为了从宏观层面更深入地理解生物多样性信用研究的动态演进趋势,本研究采用 CiteSpace 软件对样本文献进行时区视图可视化分析,从而呈现出过去二十年国外生物多样性信用研究的逻辑脉络。在动态时区视图中,细观关键词时区图(图 7)中 2003—2023 年国外生物多样性信用研究的时间序列可以发现该研究领域主要经历三个研究阶段。

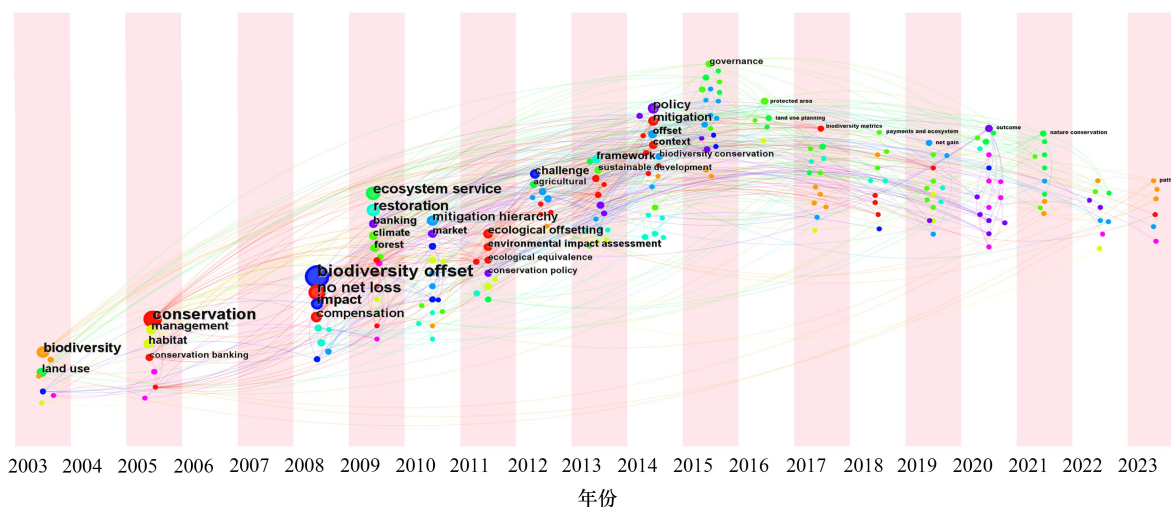


图 7 关键词时区图

Fig.7 Keyword time zone diagram

第一阶段(2003—2007 年),早期研究内容较为单一,研究主题主要集中在生物多样性(biodiversity)、土地利用(land use)、生境保护(habitat conservation)、保护银行(conservation banking)上面。学者认为生物多样性保护“区域选择”策略不仅包括土地利用分配中社会需求的权衡,还包括激励、税收和生物多样性信用等经济手段的分配<sup>[64]</sup>。减轻土地开发对生物多样性的影响需要采用生物多样性信用等经济手段<sup>[37]</sup>。生物多样性保护转变为经济意识觉醒,众多生物多样性保护措施尚处于摸索阶段。

第二阶段(2008—2015 年),主要集中在“生物多样性抵消(biodiversity offset)”“生态系统服务(ecosystem

service)”“政策(policy)”等上面,生物多样性信用被认为在生物多样性抵消项目中提供一个计算抵消额度的衡量标准,是基于“污染者付费”模式的经济手段,目标是实现生物多样性“无净损失”,通常是获得国家批准的开发许可等法律要求的合规工具<sup>[65]</sup>。

第三阶段(2016—2023年),研究主题涉及生态系统服务付费(payments and ecosystem)、净收益(net gain)、生物多样性指标(biodiversity metrics)、模式(pattern)等。一些国际组织和非政府组织,诸如“自然市场”全球工作组(Taskforce on Nature Markets)、世界经济论坛(World Economic Forum, WEF)、生物多样性和生态系统服务联盟(Business and Biodiversity Offsets Program, BBOP),致力于重新定义生物多样性信用相关的指导原则和标准<sup>[66—67]</sup>。他们一致主张,生物多样性信用不宜视为用于补偿已受损生态环境的抵偿单位,而应将其视为一种积极、预防性的投资,旨在保护和恢复生物多样性,实现生物多样性净收益。

由此,可以清晰地认识到,生物多样性信用的用途已经发生了转变,从原本被动抵消工具转变为主动投资。相应地,其目标也从原先的确保无净损失扩展为积极追求净收益。这种变化反映了生物多样性保护与管理领域策略和观念的演进。

4.2 研究前沿分析

关键词突现代表的是一个新兴研究关键词的出现,反映了当前该领域的研究热点前沿。国外生物多样性信用研究的突现词随时间的变化而变化,突现时间较早的词代表的是早期受关注的主题,如关键词突现词表(表5)所显示的2012年研究的濒危物种法(Endangered Species Act, ESA),这项立法代表了目前世界上最广泛的关于保存濒危物种的立法规定,为诸多鱼类、野生动物及植物的保护提供了重要的法律保障,不仅防止了数百种濒危物种的灭绝,而且促进了许多地区的野生动植物生态环境的恢复,同时也是这一时期物种价值研究及物种保护实践发展的结果<sup>[68]</sup>;突现强度最高的词是2010年出现的“保护规划(conservation planning)”,说明在当年这一概念在各个领域得到了广泛关注和讨论;突现时间最长的词是“环境抵消(environmental offset)”,关于环境抵消的研究热点一直从2008年持续到2015年;突现时间较近的词是近年受关注的主题,如图中7所显示的“结果(outcome)、环境政策(environmental policy)、自然保护(nature conservation)”,通过对最新发表文献的研读发现,评估环境政策对自然保护的结果<sup>[69—70]</sup>并跟踪其轨迹对于证明其作为协调发展和保护的机制的有效性至关重要<sup>[71]</sup>。设计更符合政策目标的策略和开发科学有效生物多样性信用计量方法成为今后研究重点。

表5 关键词突现词表

Table 5 Burst word list of keywords

| 关键词<br>Keywords        | 时间<br>Year | 强度<br>Strength | 起止<br>Begin | 结束<br>End | 2003—2023 |
|------------------------|------------|----------------|-------------|-----------|-----------|
| Endangered species act | 2003       | 2.48           | 2005        | 2012      |           |
| Environmental offset   | 2003       | 4.35           | 2008        | 2015      |           |
| Equivalency analysis   | 2003       | 2.90           | 2009        | 2013      |           |
| Conservation planning  | 2003       | 6.47           | 2010        | 2014      |           |
| Site                   | 2003       | 3.73           | 2010        | 2015      |           |
| Compensation           | 2003       | 5.33           | 2011        | 2017      |           |
| Habitat offset         | 2003       | 2.51           | 2013        | 2014      |           |
| Scale                  | 2003       | 2.51           | 2014        | 2018      |           |
| Science                | 2003       | 3.64           | 2015        | 2017      |           |
| Outcome evaluation     | 2003       | 4.10           | 2020        | 2023      |           |
| Environmental policy   | 2003       | 2.52           | 2020        | 2023      |           |
| Nature conservation    | 2003       | 4.48           | 2021        | 2023      |           |

加粗短横线表示该词出现的时间范围

## 5 研究启示

在推进生态文明建设的背景下,如何将“绿水青山”转化为“金山银山”已成为当前亟须解决的重要战略目标。为了实现这一目标,不仅要充分认识到生态环境的内在价值,还要探索将其转化为经济价值的有效途径。综上可知,越来越多的国家开始使用生物多样性信用这一概念来量化自然栖息地的改善情况,将其转化为可交易的信用,从而激励企业和个人积极参与生态环境保护。我国在这方面已经展开了类似的研究,将生态产品价值应用于生态产品价值实现来探索经济绿色增长新路径,构建以及拓宽生态产品价值实现机制成为当下研究重点。在这一背景下,借鉴国外融资经验,探索将生物多样性信用应用于生态产品交易的实际操作中,将其发展成为推动生物多样性保护的切实有效手段在我国一定程度上是可行的,但在引入过程中也需要解决可能出现的问题。

(1)定义难。生物多样性信用目前没有明确一致的定义。为避免产生绿色清洗的误解(即企业并非通过改进自身运营模式来维护生物多样性,而是仅仅依赖购买额度来实现承诺目标)在对其概念进行界定时,被视为融资工具还是补偿工具存在争议。尽管两者都致力于生物多样性的保护和恢复,具体来说,融资工具将其视为一种投资单位,主张通过预防性的措施,来避免生物多样性的进一步丧失,主要有保护或避免、恢复物种和生态系统、支持现有生态保护行动三种类型,支持的行动可能有不同的时间范围,取决于与资金投资提供者的协议,例如5年、10年、20年或永久。补偿工具将其视为一种补偿单位,用于补偿其他地方栖息地的损失,例如通过采矿作业、道路建设或城市扩张等破坏生物多样性活动。实际上,生物多样性抵消其实就是生物多样性信用的最低补偿。它们在具体操作范围和理念上存在显著的差异。二者混为一谈往往使得后续的研究难以开展或产生较大区别。故在引入生物多样性信用时,审慎和全面界定其概念,不仅要考虑到补偿单位对直接恢复受损生态系统的需求,也要充分理解投资单位对预防性保护措施和长期保护的重视。建议将生物多样性信用与生物多样性抵消分开,明晰其结构和用途,避免将生物多样性抵消被用作“抵消”其他地方生物多样性和栖息地破坏的廉价方式,从而失去了生物多样性保护的初衷和目的。

(2)交易难。市场参与主体有限,尽管国外学者对生物多样性市场活动做了许多有益探索,但目前这些模式的可推广性还较差,国外大多市场交易案例多重视市场开发,对生物多样性信用买方考虑不足,导致生物多样性信用买方在市场中的地位较为被动。我国也存在社会资本参与生物多样性保护积极性不高问题。因此,吸引采购商并实现商品销售成为生物多样性信用交易最为关键的要素。为此,在引入生物多样性信用时,建议建立市场化交易平台,扩展生物多样性信用购买者。例如,试图实现其保护成果的政府机构、对保护感兴趣的慈善组织、希望投资生物多样性的公司(如旅游业或有企业社会责任计划的公司)、私人生物多样性经销商和中介机构(如碳抵消经销商)或寻求更可验证的方式以确保对野生动物保护组织的捐赠得到适当引导的个人消费者,与需求方通过市场途径建立买卖关系。提高现有政府、企业和群众在生物多样性保护计划中参与度,为生物多样性保护项目提供强大的资金和支持。此外,也要注意,生物多样性信用交易并非单纯市场驱动行为,需要政府的有效监管和引导。因此,建议政府制定明确的政策规则,以有效、透明的方式对市场交易进行监管和促进。

(3)度量难。如果将生物多样性信用引入市场机制,需要设定一个信用收益和损失标准。然而,生物多样性信用核算指标体系、方法、标准等仍未统一,直接应用至市场交易实践中存在困难。《生物多样性公约》及《生态系统红色清单》曾尝试提出简易指标以量化生物多样性价值,但受各国生物多样性保护重点及差异化体制的影响,生物多样性量化面临众多替代指标,且对生物多样性基线缺乏共识,量化标准各异。我国研究人员应当利用国外现有的技术和经验,结合我国生物多样性保护现状的实际需求,实现本土化创新,建议依托现有平台,如中国生态系统研究网络(CERN)、国家陆地生态系统定位观测研究网络(CTERN)、中国生物多样性监测与研究网络(SinoBON)、中国森林生物多样性监测网络(CForBio)及中国生物多样性观测网络(ChinaBON),构建清晰、透明、简明、可复制的生物多样性价值评估指标,并与我国不断完善的政策框架(《中

国生物多样性保护战略与行动计划(2023—2030 年)》优先行动 22)保持一致。

## 6 结论

(1) 国外生物多样性信用研究在 2003 年至 2023 年期间,生物多样性信用研究的年度发文数量经历了从缓慢发展到快速增长,再到波动上升的演变过程;在作者合作方面,澳大利亚学者 Martine Maron 和 Philip Gibbons 在该领域内的研究贡献尤为显著,他们被视为该领域的研究核心作者;从国家间合作论文来看,澳大利亚、英国和美国这三个国家在生物多样性信用研究领域的合作表现突出;在研究机构层面,大自然保护协会、昆士兰大学、肯特大学和剑桥大学对生物多样性信用研究进展起到了重要的推动作用;从发文期刊来看,学术期刊 *Biological Conservation*、*Conservation Biology* 和 *Land Use Policy* 在生物多样性信用研究领域具有较高的学术影响力。

(2) 高频被引文献主要集中在生物多样性抵消政策、无净损失、抵消方案以及激励措施这四个核心议题上。在关键词共现结果显示“土地利用”“栖息地”“缓解层次结构”“生物多样性”等关键词是当前研究的热点;进一步通过聚类分析图,将研究主题归纳为生物多样性保护与激励策略、生物多样性信用核算、法律政策框架以及银行机制等四大类别。这些领域的研究不仅有助于推动生物多样性保护工作的深入,也为相关政策的制定和实施提供了理论支持和实践指导;通过对关键词研究热点演变分析,发现国外生物多样性信用研究主要经历三个阶段。生物多样性信用的用途从原本被动抵消工具转变为主动投资。研究目标也从原先的确保无净损失转变为积极追求净收益。

(3) 研究前沿指向结果评价、环境政策制定、自然保护等领域,设计更符合政策目标的策略和开发科学有效生物多样性信用计量方法成为今后研究重点。

通过梳理国际生物多样性信用研究成果,可以看出在不同历史时期和阶段国外面临的生物多样性信用保护国情侧重点不尽相同,现有的生物多样性信用已经取得重大的进步,生物多样性信用作为一个筹集资金的途径和政策工具,发展潜力巨大。随着我国《中国生物多样性保护战略与行动计划(2023—2030 年)》的实施,对生物多样性重视程度不断提升,生物多样性信用等激励型机制的关注度将会随之增强。应妥善引入生物多样性信用工具,借鉴国外生物多样性信用交易市场的经验教训,结合我国实际情况,构建符合我国国情的生物多样性信用适用条件、边界范围、基准线情景、额外性论证、评价标准、计量监测体系、交易规则等,以推动统一生物多样性信用交易市场的建立,将其发展成为推动生物多样性保护的切实有效手段。

## 参考文献(References):

- [ 1 ] Nature4Climate. The global value of nature. [ 2024-10-15 ]. <https://nature4climate.org/about/nature-positive-recovery/the-global-value-of-nature/>.
- [ 2 ] Bongaarts J. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *Population and Development Review*, 2019, 45(3): 680-681.
- [ 3 ] 贺祚琛. 全球生物多样性保护再提速. *生态经济*, 2021, 37(12): 1-4.
- [ 4 ] 詹绍文, 赵雅雯. 全球生物多样性正在加速丧失. *生态经济*, 2020, 36(5): 5-8.
- [ 5 ] United Nations Environment Programme. First Draft of The Post-2020 Global Biodiversity Framework. (2021-07-12) [ 2024-09-20 ]. <http://www.unep.org/resources/publication/1st-draft-post-2020-global-biodiversity-framework>.
- [ 6 ] United Nations Environment Programme. *Adaptation Gap Report 2023: Underfinanced. Underprepared. Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves world exposed.* Nairobi, 2023.
- [ 7 ] 生态环境部. 《中国生物多样性保护资金投入与资金机制初探》报告执行摘要. 2023.
- [ 8 ] 杨明, 周桔, 曾艳, 孙命. 我国生物多样性保护的主要进展及工作建议. *中国科学院院刊*, 2021, 36(4): 399-408.
- [ 9 ] 赵阳, 李宏涛. 以经济手段促进生物多样性保护. *生物多样性*, 2022, 30(11): 18-26.
- [ 10 ] Coralie C, Guillaume O, Claude N. Tracking the origins and development of biodiversity offsetting in academic research and its implications for conservation: A review. *Biological Conservation*, 2015, 192: 492-503.
- [ 11 ] World Economic Forum. *Biodiversity Credits: Unlocking Financial Markets for Nature-Positive Outcomes.* [ 2024-09-20 ]. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Biodiversity\\_Credit\\_Market\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Biodiversity_Credit_Market_2022.pdf).

- [12] 彭昀月, 靳彤, 张小全. 生物多样性信用的概念、原则、交易和挑战. 生物多样性, 2024, 32(2): 154-164.
- [13] 马朋林, 郝欣欣. 生物多样性信用在矿山生物多样性补偿中的应用——以新南威尔士州煤矿生物多样性补偿为例. 自然资源情报, 2022, (3): 24-32.
- [14] Maczik D M, Jansen V A A, Rossberg A G. Evaluating Biodiversity Credits Using Metacommunity Modelling. bioRxiv, 2024.
- [15] Scheiner S M. A metric of biodiversity that integrates abundance, phylogeny, and function. 2012, 121(8): 1191-1202.
- [16] Taskforce on Nature Markets. Biodiversity Credit Markets; The role of law, regulation and policy. 2023.
- [17] Rossberg A G, O'Sullivan J D, Malysheva S, Shnerb N M. A metric for tradable biodiversity credits quantifying impacts on global extinction risk. Journal of Industrial Ecology, 2024, 28(4): 1009-1021.
- [18] 赵阳, 刘艳青, 万霞, 丁黎明. 国家公园生态产品市场化新路径——以生物多样性抵消和信用机制为例. 国家公园, 2024, 2(5): 296-307.
- [19] 杨阳, 张超, 李保国. 生物银行支撑全球生物多样性研究与保护的实践与探索. 生物多样性, 2021, 29(10): 1425-1433.
- [20] International Institute for Environment and Development. Ethical land-based community carbon. Porras I T, Wells G, Schoof E: IIED, 2018.
- [21] Chen C M, Hu Z G, Liu S B, Tseng H. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace. Expert Opin Biol Ther, 2012, 12(5): 593-608.
- [22] Chen C M, Song I Y, Yuan X J, Zhang J. The thematic and citation landscape of Data and Knowledge Engineering (1985—2007). Data & Knowledge Engineering, 2008, 67(2): 234-259.
- [23] Tederloo L, Sepping J, Morgunov A S, Kiik M, Esop K, Rosenvald R, Hardwick K, Breman E, Purdon R, Groom B, Venmans F, Kiers E T, Antonelli A. Towards a co-crediting system for carbon and biodiversity. 2024, 6(1): 18-28.
- [24] Mehrabi Z, Naidoo R. Shifting baselines and biodiversity success stories. Nature, 2022, 601(7894): E17-E18.
- [25] Parkes D, Newell G, Cheal D. Assessing the quality of native vegetation: The 'habitat hectares' approach. Ecological Management & Restoration, 2003, 4(s1): S29-S38.
- [26] Ali M, Kennedy C M, Kiesecker J, Geng Y. Integrating biodiversity offsets within Circular Economy policy in China. Journal of Cleaner Production, 2018, 185: 32-43.
- [27] Bull J W, Suttle K B, Gordon A, Singh N J, Milner - Gulland E J. Biodiversity offsets in theory and practice. Oryx, 2013, 47: 369-380.
- [28] Bull J W, Strange N. The global extent of biodiversity offset implementation under no net loss policies. Nature Sustainability, 2018, 1(12): 790-798..
- [29] Maron M, Ives C D, Kujala H, Bull J W, Maseyk F J F, Bekessy S, Gordon A, Watson J E M, Lentini P E, Gibbons P, Possingham H P, Hobbs R J, Keith D A, Wintle B A, Evans M C. Taming a wicked problem: resolving controversies in biodiversity offsetting. BioScience, 2016, 66(6): 489-498.
- [30] Maron M, Hobbs R J, Moilanen A, Matthews J W, Christie K, Gardner T A, Keith D A, Lindenmayer D B, McAlpine C A. Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. Biological Conservation, 2012, 155: 141-148.
- [31] Maron M, Brownlie S, Bull J W, Evans M C, von Hase A, Quétier F, Watson J E M, Gordon A. The many meanings of no net loss in environmental policy. Nature Sustainability, 2018, 1(1): 19-27.
- [32] Jacob C, Bochove J W, Livingstone S, White T, Pilgrim J, Bennun L. Marine biodiversity offsets: Pragmatic approaches toward better conservation outcomes. Conservation Letters, 2020, 13(3): e12711.
- [33] zu Ermgassen S O S E, Baker J, Griffiths R A, Strange N, Struwig M J, Bull J W. The ecological outcomes of biodiversity offsets under "no net loss" policies: A global review. 2019, 12(6): e12664.
- [34] Hartig F, Horn M, Drechsler M. EcoTRADE: A multi-player network game of a tradable permit market for biodiversity credits. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(11): 1479-1480.
- [35] Zhang R M In Effect of land-use change on ecosystem service value in Hefei, China // WIT Transactions on Engineering Sciences, Manufacture Engineering and Environment Engineering. June 27-28, 2013. Hong Kong, China. Southampton, UK: WIT Press, 2013: 1547-1552.
- [36] Suo A, Yu Y, Jiang N J A M R. Response of Ecosystem Service Value to Land Use Change in Coastal Zone of Bohai Sea in Last 30 Years. 2011, 347-353: 3963-3967.
- [37] Bruggeman D J, Jones M L, Lupi F, Scribner K T. Landscape equivalency analysis: methodology for estimating spatially explicit biodiversity credits. Environmental Management, 2005, 36(4): 518-534.
- [38] Bruggeman D J, Jones M L, Scribner K, Lupi F. Relating tradable credits for biodiversity to sustainability criteria in a dynamic landscape. Landscape Ecology, 2009, 24(6): 775-790.
- [39] George C. Testing for sustainable development through environmental assessment. Environmental Impact Assessment Review, 1999, 19(2): 175-200.
- [40] The Biodiversity Consultancy. Mitigation Hierarchy: Net positive and the Mitigation Hierarchy. [2024-09-20]. <https://www.thebiodiversityconsultancy.com/our-work/our-expertise/strategy/mitigation-hierarchy/>.
- [41] Kiesecker J M, Copeland H, Pocewicz A, McKenney B. Development by design: blending landscape-level planning with the mitigation hierarchy.

- Frontiers in Ecology and The Environment, 2010, 8(5): 261-266.
- [42] Gonçalves B, Marques A, Soares A M V D M, Pereira H M. Biodiversity offsets: from current challenges to harmonized metrics. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015, 14: 61-67.
- [43] Karsenty A. Emmanuel Macron's "Biodiversity Credits": What are we talking about? (commentary). (2022-10-16) [2024-09-20]. <https://news.mongabay.com/2022/12/emmanuel-macrons-biodiversity-credits-what-are-we-talking-about/>.
- [44] Environmental Impact Assessment. Evaluating the effects of public and private projects on the environment. [2024-09-20]. [https://environment.ec.europa.eu/law-and-governance/environmental-assessments/environmental-impact-assessment\\_en](https://environment.ec.europa.eu/law-and-governance/environmental-assessments/environmental-impact-assessment_en).
- [45] Cares R A, Franco A M A, Bond A. Investigating the implementation of the mitigation hierarchy approach in environmental impact assessment in relation to biodiversity impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, 2023, 102: 107214.
- [46] Bigard C, Pioch S, Thompson J D. The inclusion of biodiversity in environmental impact assessment: Policy-related progress limited by gaps and semantic confusion. *Journal of Environmental Management*, 2017, 200: 35-45.
- [47] 李京梅, 张慧敏, 王娜. 生物多样性产品价值实现的路径与制度安排——国外生物多样性银行经验借鉴与启示. *生态学报*, 2023, 43(1): 198-207.
- [48] Method Catalogue. *Accounting for Nature*. [2024-09-20]. <https://www.accountingfornature.org/method-catalogue>.
- [49] Porras I T, Steele P. Making the market work for nature: how biocredits can protect biodiversity and reduce poverty, 2020.
- [50] Plan Vivo. PV Nature-Documentation. [2024-09-20]. <https://www.planvivo.org/pv-nature-documentation>.
- [51] Gamarra M J, Toombs T P. Thirty years of species conservation banking in the U.S.: Comparing policy to practice. *Biological Conservation*, 2017, 214: 6-12.
- [52] Fox J, Nino-murcia A. Status of species conservation banking in the United States. *Conservation Biology*, 2005, 19(4): 996-1007.
- [53] 颜宁聿, 刘耕源, 范振林. 生态银行运行机制与本土化改造研究:文献综述. *中国国土资源经济*, 2020, 33(12): 10-24.
- [54] Oecd. *Biodiversity Offsets: Effective Design and Implementation*. OECD, 2016.
- [55] 胡远洋. 生物多样性抵消的研究进展. *生物多样性*, 2022, 30(2): 148-157.
- [56] 高世昌, 肖文, 李宇彤. 德国的生态补偿实践及其启示. *中国土地*, 2020, (5): 49-51.
- [57] 黄波, 李天娇, 李烨, 丁姣龙, 张落桐, 周莉. 澳大利亚生物多样性保护经验及其对我国的启示报. *农业资源与环境学*, 2022, 39(1): 65-71.
- [58] Apostolopoulou E, Adams W M. Biodiversity offsetting and conservation: reframing nature to save it. *Oryx*, 2015, 51: 23-31.
- [59] Fish and Wildlife Service. *Guidance for the Establishment, Use, and Operation of Conservation Banks*. 2003.
- [60] Bekessy S A, Wintle B A, Lindenmayer D B, McCarthy M A, Colyvan M, Burgman M A, Possingham H P. The biodiversity bank cannot be a lending bank. 2010, 3(3): 151-158.
- [61] 刘耕源, 颜宁聿, 杨青, 赵勇. 生态银行运行机制与本土化改造研究:案例实证. *中国国土资源经济*, 2021, 34(2): 4-13+48.
- [62] Marshall E, Southwell D, Wintle B A, Kujala H. A global analysis reveals a collective gap in the transparency of offset policies and how biodiversity is measured. 2024, 17(1): e12987.
- [63] Froger G, Ménard S, Méral P. Towards a comparative and critical analysis of biodiversity banks. *Ecosystem Services*, 2015, 15: 152-161.
- [64] Faith D P, Carter G, Cassis G, Ferrier S, Wilkie L. Complementarity, biodiversity viability analysis, and policy-based algorithms for conservation. *Environmental Science & Policy*, 2003, 6(3): 311-328.
- [65] Jennifer L. Biodiversity Credits: A New Way of Funding Nature Protection. *Carbon Credits*. (2022-10-16) [2024-09-23]. <https://carboncredits.com/biodiversity-credits-a-new-way-of-funding-nature-protection/>.
- [66] International Institute for Environment and Development. *Biocredits to finance nature and people: emerging lessons*. Ducros A, Paul Steele; IIED, 2022.
- [67] Verra. *Nature Framework*. (2022-10-16) [2024-09-23]. <https://verra.org/methodologies/nature-framework/#overview>.
- [68] 吴真, 孙宇. 生态文明视域下我国野生生物保护法的路径选择——以美国《濒危物种法》为借鉴. *吉林大学社会科学学报*, 2013, 53(5): 126-133.
- [69] Lehtiniemi H, Aulake M, Paloniemi R, Huttunen S. Pulling biodiversity offsetting in different directions-Stakeholder frames in the preparation of the Finnish nature conservation act. *Biological Conservation*, 2023, 283: 110137.
- [70] Hubert T L, Campbell B. Environmental protection in Madagascar: biodiversity offsetting in the mining sector as a corporate social responsibility strategy. *The Extractive Industries and Society*, 2023, 15: 101305.
- [71] Souza B A, Rosa J C S, Campos P B R, Sánchez L E. Evaluating the potential of biodiversity offsets to achieve net gain. *Conserv Biol*, 2023, 37(4): e14094.