作 者
Julie MAURIN（法国开发署）
Julien CALAS（法国开发署）
Antoine GODIN（法国开发署）
Etienne ESPAGNE（世界银行）

指导文件

Policy Paper

与生物多样性风险相关的全球情景设置

AFD
éditions
AGENCE FRANÇAISE
DE DÉVELOPPEMENT

关于本报告

本报告为中译版，由北京绿研公益发展中心（G:HUB）编译。在中国生物多样性基金（CBF）的资金支持下，由法国开发署（AFD）提供支持。中译版仅供参考，如遇中英文版本不一致之处，以英文版本为准。

英文版本下载地址为：
https://www.afd.fr/en/pp12-va-global-biodiversity-scenarios-maurin-calas-godin-espagne

目录

摘要

本文旨在回顾和比较全球现有可定量的生物多样性情景，这些情景有助于对生物多样性丧失的后果进行前瞻性评估。更广泛地说，本文提供了对现有生物多样性情景和模型的文献综述，并对未来开展与生物多样性相关社会经济影响情景研究的每一步进行了评估：包括话语构建、量化依赖性和影响、评估生态系统-经济-金融资产之间传导结果的不确定性范围。

本文的几个关键发现是：一是几乎不存在全球层面可定量的物理风险情景，这便解释了我们更专注于生物多样性转型情景分析的原因。二是本文发现，大多数生态转型情景均依据联合国《生物多样性公约》（CBD）的保护目标构建，尽管有关未来土地分配的讨论因不同研究存在差异。三是用于评估社会经济和气候变化趋势的共享社会经济路径（SSPs）和典型浓度路径（RCPs）模型，两者目前均未将空间影响完全纳入经济增长的假设当中。四是本文强调，需要考虑这些综合模型固有的不确定性以及生物多样性指标在功能上的不确定性，因为这些指标仅衡量了全球生物多样性的少部分内容。最后，本文提出评估生物多样性丧失对社会经济影响在情景设置方面的短期改进建议。

关键词

生物多样性情景，与生物多样性相关的社会经济影响，生态转型模型。

致谢

感谢为初稿提供宝贵意见的同行评审专家，包括 Benoit Faivre-Dupaigre（AFD）、Hélène Soubelet（FRB）和 Yoshihide Wada（IIASA）。我们还要感谢 Marcel Kok（PBL）、Mathilde Salin（Banque de France）和 Paul Hadji Lazaro（AFD），感谢他们与我们进行了多次讨论。文中出现的错误由我们自己负责。

亮点

- 汇集 196 个缔约方的联合国《生物多样性公约》（CBD）制定了“2020 年后全球生物多样性保护框架”，以扭转生物多样性丧失的局面。这项全球性框架提出了 23 个行动目标，包括：到 2030 年将保护面积（PAs）扩大到地表的 30%，到 2050 年恢复自然生态系统。

- 这些目标与《生物多样性公约》“2050 年愿景”提出的“与自然和谐相处”一致。

- 生物多样性情景可以帮助我们理解实现这些目标的社会经济影响，因此生物多样性情景是实现目标的一个关键环节。

从长远来看，需要改进情景构建方法，以分析生物多样性和经济之间的相互作用，并且应立即开始行动。

- 目前，文献中几乎没有评估生物多样性变化的物理情景。因此，迫切地需要更为深入的研究，以更好地理解生态系统稳态转变的时空特性和临界点。

- 本研究的文献综述中，转型情景的话语构建均未涉及地球环境安全界限、潜在的生态系统稳态转变和临界点。因此，本文建议将气候变化和生物多样性丧失的后果纳入共享社会经济路径（SSPs）。

- 要识别在转型情景或物理情景冲击方面具有潜在创新机会的行业，一种解决方案是将综合评估模型（IAMs）与全球多区域环境扩展的供需表和投入产出表（EE-MRIO）相结合。但要使该分析达到更好效果，这些模型需要更具颗粒度的行业和子行业信息。

- 总的来说，要理解和解释生态系统和耦合经济的组成部分之间的基本关系和反馈机制，需要将模型更好地构建起来。事实上，需要在现有建模测试中添加两个损失-反馈循环机制，即生物多样性丧失和生态系统破坏对经济活动的影响。

- 话语构建必须能够反映生物多样性和生态系统服务（ESs）的动态。事实上，一些模型变量（例如 GDP 和 RCP）的外生性也必须在话语构建中多一些审慎与相对化的考量，进而强调经济和生物多样性之间的相互作用。

从现在起，以及在短期内，可采取以下步骤分析《生物多样性公约》“2050 年愿景”产生的社会经济影响。

- 增加数据收集、公开发布以及拓展传播渠道，包括采用非常规的方法，以支持未来模型开发，同时确保分析的可复制性、公开的质量控制以及对数据所有权的尊重。

- 要确定各国是否正在迈进或偏离安全的经济运行空间，需要使用环境可持续性差距（ESGAP）框架构建物理情景，从而识别面临临界点的风险。

- 调整近期气候变化转型风险分析的有关工作，需要将特定国家的依赖生物多样性和影响生物多样性的行业与同一行业，以及同一类型的生物群落中的相关行业进行比较。

- 邀请各国央行为央行与监管机构绿色金融网络（NGFS）生物多样性情景工作组和开发性银行正在开展的相关工作提供支持，以便参与自然相关财务信息披露工作组（TNFD）框架的开发，并在其投资组合中进行测试。

背景和目的

生物多样性是地球生命的基础，但人类活动正在以人类历史上前所未有的速度加剧全球范围内的生物多样性丧失（Brondizio 等人，2019）。事实上，生物多样性是指所有陆地和水生生态系统及其生态复合体中的各种生物，包括遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性、以及这些多样性维度之间的相互作用。

人类活动对生物多样性造成的直接压力源包括土地利用变化、自然资源利用、污染、外来入侵物种和气候变化，间接压力源包括人口、经济、科技和治理。生物多样性丧失会对生态系统服务带来严重且不可逆转的后果。生态系统服务是指人类从生态系统获得的所有惠益。由于工业生产依赖于生态系统服务，生物多样性丧失造成的经济影响与气候变化产生的经济影响同样严重，甚至还会与气候变化相互作用并导致复合效应（Bradshaw 等人，2021；Pörtner 等人，2021；Chenet 等人，2022）。因此，这些经济影响可能会通过金融机构持有的覆盖不同行业的资产组合影响整个金融系统。

类似气候问题，我们可以识别出两类与生物多样性相关的金融风险。一方面，当生物多样性丧失影响到人力资本和经济活动时，就会产生物理风险。生物多样性丧失以非线性的方式导致生态系统服务退化。那些通过价值链直接或间接依赖于生态系统服务的行业将受到更大影响。例如，农业高度依赖于授粉服务，而授粉服务直接决定大部分农作物产量并直接或间接影响相关经济收益和就业。反之，可以通过研究这些对生态系统服务具有高度依赖性的经济行业，来识别物理机会，减少此类行业对生态系统服务的依赖，并维持生态系统服务的可持续性。

另一方面，转型风险的来源包括政策、消费者偏好或行为的变化，以及减轻人类活动对生物多样性影响的技术进步。那些对生物多样性有显著负面影响的企业相较于那些有较小负面影响的企业（即在相同或不同行业中更具社会道德的企业），更容易受到生物多样性转型冲击的影响。例如，如果企业有严重的毁林足迹，那么对进口产品涉及毁林问题的监管将抑制企业的发展能力。进而，生物多样性足迹高的行业更易识别转型机会，而那些对生物多样性具有较小负面影响的行业，更易从转型中获益。

可以静态地识别和管理与生物多样性相关的金融风险 [1]。

在暴露于物理风险的情况下，可以通过各行业的全价值链分析以了解该行业对生态系统服务的依赖性。这一观点是将全球多区域环境扩展的供需表和投入产出表（EE-MRIO）（例如 EXIOBASE[2]），与数据库（例如 ENCORE[3]）结合起来，得出生产过程对生态系统服务的依赖性。Svartzman 等人（2021）发现，法国金融机构持有的证券价值的 42%来自高度或极度依赖至少一种生态系统服务的发行人。

[1] 下文中，当使用“与生物多样性相关的金融风险”或“风险”术语时，本研究指的是风险和机会，就像同一硬币的两面。
[2] 全球多区域环境扩展的供需表和投入产出表（EE-MRIO EXIOBASE）提供了世界 49 个地区（189 个国家）的 163 个行业的价值链信息（生产的产出价值，每个行业和地区产生的中间消费价值）。
[3] 探索自然资本机会，风险和暴露（ENCORE）按业务流程细分了行业对 21 种生态系统服务的直接和间接依赖性。它还提供了行业活动对生态系统服务的依赖程度，从低到非常高有五个等级。

对于转型风险，可以探索行业对生物多样性的积极或消极影响。一种已被广泛使用的方法是将全球多区域环境扩展的供需表和投入产出表（EE-MRIO）与全球生物多样性评分（GBS）[4]相结合，以衡量特定类型的行业对生态系统完整性的影响。例如，荷兰金融机构的生物多样性足迹相当于损失了 5.8 万平方公里的原始自然，相当于荷兰陆地面积的 1.7 倍以上（van Toor 等人，2020）。

然而，使用动态的和前瞻性的方法，通过情景分析来评估行业对物理风险和转型风险的敞口具有多重优势。这些方法可适用于预测未被察觉的风险并且可以突出不同系统之间的相互联系。这些方法着重考虑了社会的适应性和生态系统动态、生物多样性丧失及其后果，即临界点的非线性特征。

情景是对可能发生的未来进行定性或定量的描述。就生物多样性而言，它描述了一个系统中多个组成部分的演变。例如，作为生物多样性变化的驱动因素之一的土地利用变化，包括应对生物多样性丧失的替代政策或管理举措（例如保护区面积扩大、农业生态学进展）。情景不能预测未来，因为对未来的环境和社会经济轨迹尚未形成共识。但是，它们允许基于一组假设，在高度不确定性存在的情况下描述可能的未来（Brondizio 等人，2019），这将有助于了解当地、区域和全球的动态。

评估转型风险或冲击所需的情景是基于目标设定和政策分析的情景，即转型情景。基于目标设定的情景通常以可实现的目标为依据，确定一个或多个目标，然后确定实现这一目标的不同路径。例如，旨在到 2050 年扭转生物多样性丧失曲线的情景。政策分析情景允许事前评估，以预测各种干预措施对环境结果的影响。例如，对于某一行业，测试其供给侧政策情景，如取消补贴；测试其需求侧政策情景，如开展有关提高水资源利用效率的宣传等。因此，这两种情景类型都可以模拟“生态转型”对生物多样性和整个经济的影响。

评估物理风险或冲击所需的情景是基于评估与生物多样性退化相关的探索性情景，即物理情景。鉴于生物多样性的直接或间接驱动因素存在潜在轨迹，物理情景模拟了一系列可能的未来。它们可以评估经济或环境对于自然特定改变、变化或退化相关冲击的反应。例如，气候变化引起的干旱等。

本指导文件的目标是评估和改进现有用于评估与生物多样性动态相关的社会经济影响的情景构建方法。

[4] 全球生物多样性评分（GBS）是 CDC Biodiversité 开发的一个工具，使企业和金融机构能够衡量其生物多样性足迹。该工具提供了一个综合指标（以平均物种丰度 MSA km^2 为单位），评估企业造成的生态系统退化程度。它区分了永久影响和动态影响，并考虑了整个上游价值链对生物多样性的影响。

1 文献综述/方法论

本文采用三个标准来选取所要研究的情景，情景需满足：（1）全球性的；（2）可定量的；（3）可对生物多样性的影响进行衡量。

定性情景相对较少地受到建模假设的约束，可以让我们更好地理解系统中不同组成部分之间的相互作用，但定性情景本身并不足以评估行业对生物多样性的依赖性和影响，因为它们更难以转化为社会经济指标的定量评估。

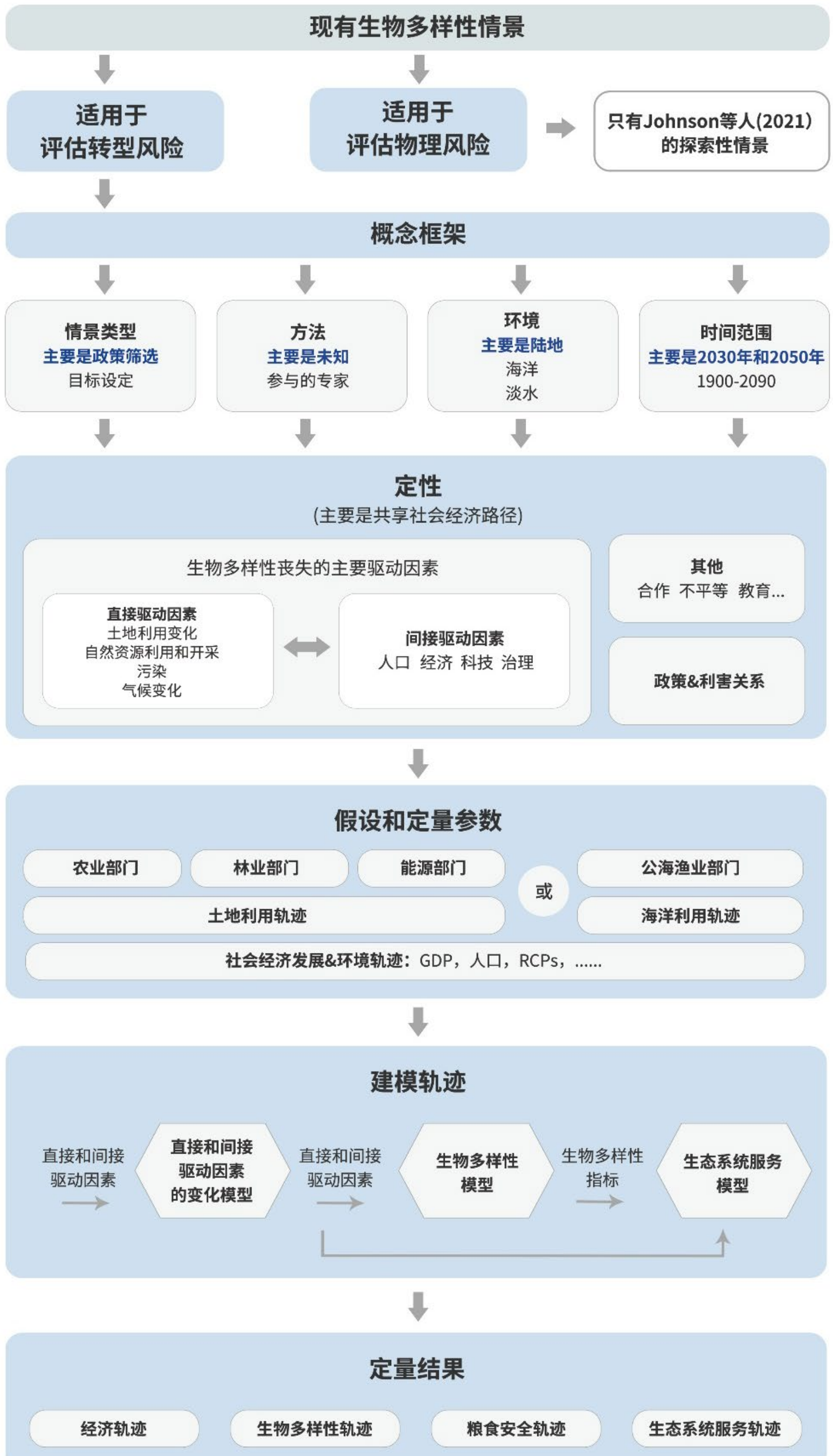
本文选择全球情景的原因是，所持有的大多数经济资产是全球化经济的一部分，从两个方面看：一方面，全球价值链和金融网络在全球得以发展，意味着不同国家的行业之间存在紧密联系。另一方面，行业对生物多样性依赖性和影响受地理与所在经济领域多样化的限制。因此，研究本地情景势必很难涵盖所有依赖性和影响，并且大量本地各类情景的叠加将大大增加分析的复杂性。由于这是一门“新兴科学”，更可取的做法是以全球视角分析当前科学现状，以便在未来工作中分析将这些情景结果分解到国家和地方层面的可能性与局限性。

最后，本文排除了仅评估生物多样性丧失驱动因素导致变化的情景（例如土地利用变化），而是选取了实施转型举措后，将产生的压力量转化为至少一个物种间生物多样性指标的情景。事实上，本文的重点是衡量和比较行业或部门对生物多样性的影响。

为了确定这些情景，本文分析了《生物多样性公约》（CBD）报告《全球生物多样性展望（第五版）》（Hirsch 等人，2020）。报告描述了两篇与本研究方法相符的定量生物多样性情景文章。此外，本文对 IPBES（Brondizio 等人，2019）报告中提及的主要陆地、水生和海洋生物多样性情景相关内容进行了文献梳理。基于最新公开文献，本文选取了 5 篇文献，2 篇是针对海洋生物多样性的研究，3 篇是针对陆地和淡水生物多样性的研究。

最后，本文通过进一步研究构建了这组情景，并最终收集了全球范围内的 8 项研究和 78 个定量情景。目前，还没有开发适用于全球可定量的生物多样性情景的通用方法。尽管如此，本文确定了五个主要步骤:（1）设置概念框架；（2）话语构建；（3）量化参数和假设；（4）通过对一个或多个模型的模拟以实现量化情景；（5）分析结果。基于此，本文构建了相应的研究方法（见图 1）。

图 1. 现有生物多样性情景发展过程



2 概念框架

概念框架是指将情景概念化的一种方式。本文总结了可以概括该框架的四个特征：情景类型、用于构建情景的方法、所考虑环境的特性以及情景的时间范围。表 1 综合了本文对选定情景的研究成果。

生物多样性情景主要是政策筛选和目标设定，这意味着在全球范围内几乎不存在任何物理情景，即预测与超过临界点以及可能的机制转变等相关的物理冲击情景，以及世界不同地理位置的生态系统服务的相关变化（Turner 等人，2020）。

本文涉及的文献综述中，唯一适合分析物理冲击的情景是 Johnson 等人（2021）的探索性情景。其与超过生物多样性临界点的话语相呼应，在这种特殊情况下，三个任意选择的生态系统服务，例如授粉、海洋和木材生产，将以任意幅度下降。

因此，迫切需要进一步研究以填补这一知识鸿沟，并努力深入了解生态系统稳态转变的时空特性和临界点，包括纳入与气候变化相关的情景。

定量情景主要是针对陆地的情景，不适用于淡水和海洋生态系统，只有一个淡水情景和两个海洋情景符合本文的标准，即使海洋栖息地的生物多样性可能相当丰富且未知（Appeltans 等人，2012）。物种分布数据的缺乏在一定程度上解释了对这些生态系统认知不足的原因，从而导致有关海洋情景的缺失。如果对海洋生物多样性和相关生态系统服务的未来轨迹以及管理和保护这些生态系统的政策说明不足，往往会低估其退化对社会经济指标的影响。现实中，渔业部门高度依赖鱼类生产相关的生态系统服务。一些地区，例如西非和东南亚国家，特别是菲律宾和印度尼西亚，鱼类是其主要食物和生活来源（Teh 等人，2017）。

物理冲击往往比转型冲击更早显现，因为转型冲击主要取决于有关环保目标的政策进展（INSPIRE & NGFS，2022）。尽管如此，物理情景也将有助于解决对经济和环境的短期、中期和长期影响。因此，为不同未来轨迹确定合适的时间范围至关重要。

所选情景的目标和时间范围将主要参照《生物多样性公约》制定，因此与“到 2030 年扭转生物多样性丧失”以及“到 2050 年产生生物多样性净收益”这两项目标的协同具有较高的代表性。与气候转型情景不同，气候转型情景主要以将全球平均温升控制在高出工业化前水平 1.5°C 或 2°C 为目标，而生物多样性在全球层面的目标尚未达成共识。

最后，考虑到某种不确定性的存在，文献综述探讨了每种研究问题的可能叙述，因此不限于某一种情景。本文所综述的文献每篇都考虑了 3 到 10 种情景。

表 1. 本文献综述中，对所选生物多样性情景的概述

文章	情景数量	分析类型	风险类型	情景类型	主要环境	时间范围
Kok 等 (2020)	5	生物物理学	转型，物理	目标设定	陆地，淡水	2030, 2050, 2070
Johnson 等 (2021)	10	经济学	转型，物理	探索性 政策筛选 目标设定	陆地	2030
Leclère 等 (2020)	7	生物物理学	转型	目标设定	陆地	2050
Cheung 等 (2019)	4	生物物理学 经济学	转型	政策筛选	海洋	2030, 2050, 2090
Obersteiner 等 (2016)	42	生物物理学	转型	政策筛选	陆地	2030, 2050
Costello 等 (2016)	3	生物物理学 经济学	转型	政策筛选	海洋	从 1980 到 2050
Schipper 等 (2020)	3	生物物理学	转型	政策筛选	陆地	2050
Pereira 等 (2020)	4	生物物理学	转型，物理	政策筛选	陆地	从 1900 到 2050

3 情景话语的构建与发展

一旦确定了概念框架，下一步就是设计并确定情景叙述，即故事线，它们描述了在特定背景下世界可能发生的演变。这些叙述可以由定性的社会经济路径、政策、技术变革、主体偏好、行为转变和对自然资源条件的假设组成，即生物多样性丧失直接和间接驱动因素的变化。

本文所涉及的文献综述中，几乎所有作者都使用了共享社会经济路径（SSP）叙述，有时还涉及其他叙述作为补充。共享社会经济路径由描述全球可能的社会经济发展趋势的五种定性情景组成，包括经济增长、人口、科技和治理（O'Neill 等人，2014，2017；Riahi 等人，2017），旨在定义全球变暖问题的共同研究框架，以促进综合评估的产生。值得注意的是，共享社会经济路径叙述没有明确包括气候或生物多样性的政策，也没有明确包括气候变化或生物多样性丧失的后果。相反，此方法应该与旨在实现迫切的目标（van Vuuren 等人，2014）或生物多样性保护目标的政策相结合。

这五种具体的叙述探讨了现有的不确定性，这种不确定性与不同气候和社会经济未来相关的减缓和适应政策有关。因此，它们描述了使各国或多或少难以实现向低碳经济转型而不是自然积极转型的条件。O'Neill 等人（2017）提供了原始的共享社会经济路径叙述，而土地用途相关叙述详见 Popp 等人（2017）的文章。

在生物多样性情景中，除了入侵物种外，共享社会经济路径可以为生物多样性丧失的主要直接和间接驱动因素提供叙述。尽管这种压力对生态系统和经济构成了重大威胁，但叙述中总是缺少这种压力（Andersen 等人，2004；Olson，2006；Stohlgren & Schnase，2006）：尤其是农业部门，例如害虫防治成本增加；林业部门，例如树木健康退化；以及渔业部门，例如本地鱼类灭绝。

另外，有两篇文章设计了自己的叙述方式，使生物多样性动态和政治利害关系更加具体成为可能，但无法与其他研究进行比较。

Cheung 等人（2019）开发了三种与海洋环境相关的情景叙述，补充了共享社会经济路径 SSP1、SSP3 和 SSP5 的故事线，以上是文献中应用最多的路径。据此，他们能够运用文献中被广泛使用的同质化概念框架，并增加与公海渔业部门相关的特殊性，例如，药剂消费或海洋生物多样性保护政策的变化。

Kok 等人（2020）构建了他们的故事线，但没有定性地具体说明他们所纳入的社会经济背景。因此，他们开发了两种情景，描述了与生物多样性保护相关的不同目标设定。一是提倡通过“节约土地”，以保护自然的内在价值；二是提出“土地共享”愿景，使生态系统服务（ES）在决策中发挥核心作用[5]。

总的来说，本文涉及文献综述中的相关叙述均未讨论地球环境安全界限、潜在的生态系统稳态转变或临界点。对于人类来讲，用于消费和生产的资源是非线性且有限的，这两方面应该成为故事线的一个组成部分，以便更好地理解这些现象对社会稳定的不同影响，从而提高定性假设的质量和真实性。因此，将气候变化和生物多样性的后果纳入共享社会经济路径是更可取的方法。当然，这些叙述仍缺乏充分利用大规模社会经济变革所需的政策和工具的详细信息。

[5] 虽然土地共享系统包含了成片的低强度农业，并包含池塘和树篱等自然特征，而不是将农业和荒野分开，但土地节约系统则需要大量的、独立的可持续强化的农业和荒野区域。

4 关键假设与量化参数

一旦情景叙述构建完成，就可以使用模型将其转换为定量轨迹。事实上，必须将故事线转换为定量情景，才能明确几个模型的参数值，确定其常量或变量。模型还需要其他定量假设来确定不属于指定情景的参数值，这也称为校准或估计模型。然而，从定性情景转为定量情景通常意味着某些动态是不可测量的或难以解释的。

几乎所有的研究都运用共享社会经济路径至少量化了国内生产总值（GDP）和人口轨迹。研究中的大多数还将共享社会经济路径假设与一个或多个典型浓度路径（RCPs）相结合，描述了 2300 年以前不同气候情景下的未来温室气体（GHG）浓度 （van Vuuren 等人，2011）。

A – 国内生产总值（GDP）的量化

在共享社会经济路径轨迹衡量 GDP 趋势的方法中，经济合作与发展组织（OECD）的方法占主导地位。OECD 选择了索洛经济增长模型的增强版本，该模型不包括原油和天然气以外的自然资源和土地利用作为增长因素。也就是说，如果没有土地可用于扩大农业生产且目前正在耕种的土地退化严重，那么国家的长期生产和/或增值将不会受到影响。

此外，OECD 的模型假设条件收敛（趋同）。这意味着，从预测的第一年起，最不发达国家的 GDP 将比发达国家增长更快，导致增长趋同，即追赶效应。因此，至少在 2100 年以前，即使设想的情景存在重大结构变化，或存在生态转型和生物多样性崩溃等那些确切影响长期增长的变化，然而每个国家的 GDP 增长轨迹，无论在总量或人均方面，都将是正向的。

然而，情景隐含的生物多样性丧失的直接和间接驱动因素以及减缓政策的巨大变化很可能导致全球 GDP 下降，或者至少对一些无法适应生态转型或经历生态系统崩溃的国家来说是这样的。

Otero 等人（2020）试图通过将生物多样性丧失与经济增长相结合，即通过纳入自然资源退化导致的有限增长的可能性，来重新构建共享社会经济路径，以探索 GDP 的低增长、零增长和负增长。但目前这些故事线尚未被量化。

B – 各部门可能的量化政策及发展轨迹概述

在共享社会经济路径轨迹的基础上，大多数作者添加了各种路径、政策环境与行为转变，或生态系统崩溃的假设；他们将生物多样性保护、生态系统恢复、粮食安全或减缓全球变暖的战略纳入其中。然而，一些作者并未将共享社会经济路径与生物多样性保护政策结合起来，而是只研究了共享社会经济路径对生物多样性的影响（Schipper 等人，2020；Pereira 等人，2020）。所有这些假设和量化参数大多嵌入以下部门或重点领域。

农业部门

农业部门在生物多样性情景发展中至关重要，因为它对生物多样性的影响最大，特别是通过将自然栖息地转化为高度管理的系统并释放污染物：农作物和畜牧业生产占全球可居住土地面积的 50%，不包括那些冰雪覆盖的土地。

农业部门的轨迹主要是供给侧，与农业部门生产力相关轨迹的建模是最广泛的。例如，作物产量、灌溉和肥料效率。通常，发展中国家在没有化肥和废物处理等额外投入的情况下，作物生产力预计也将接近发达国家的水平，即使这需要大量投资和创新。作物生产力也可能受到气候变化对土壤影响的限制（Rosenzweig 等人，2014），这在情景中通常被忽略。

作者还补充了限制有害补贴或增加农业部门税收的政策。例如，Johnson 等人（2021）对取消农业部门的所有补贴进行了量化，以支持向农民一次性转移补贴的制度。Kok 等人（2020）也针对到 2050 年，对所有农产品征收 10%的进口税进行了量化。然而，由于农产品是国际贸易，这些干预措施需要在全球范围内进行实施，因此需要各国之间的全面合作。然而，共享社会经济路径叙述并未提出国家之间在相同情况下的合作。

尽管如此，一些需求侧政策仍已被建模，它们主要与食物生产的变化有关。例如，来自收割、加工、分配和最终家庭消费等方面的减少粮食损失，以及动物产品消费的变化。例如，Kok 等人（2020）和 Leclère 等人（2020）根据当前国家趋势，模拟了到 2050 年，食物损失和动物热量减少 50%的情况。

有关农业部门的政策非常广泛，并且并未对现有不同农业实践做法加以区分。我们在后文中将看到，人们关注的直接和间接变革驱动模型，这些模型无法提供相关部门和子部门的准确信息。

土地利用轨迹

《生物多样性公约》在“2020 年后生物多样性框架”中的一项重要目标是“通过扩大保护地（PAs）和其他有效区域保护措施（OECMs）来保护物种栖息地 [6]，以到 2030 年保护至少 30%的陆地。”目前，保护地和其他有效区域保护措施的面积仅覆盖全球 17%的陆地和内陆水域，但根据国家或地区的不同，这一比例可从 1%到 50%不等 [7]。

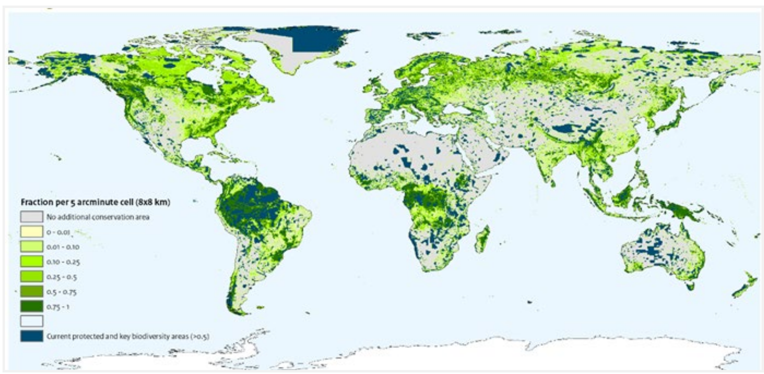
[6] 其他有效区域保护措施（OECM）是指保护区以外的一个地理区域，其治理和管理方式能够为生物多样性的就地保护取得积极、持续的长期成果，并取得相关的生态系统功能和服务，并在适用情况下，实现文化、精神、社会经济价值和其他与当地相关价值。（2018 年《生物多样性公约》第 14 次缔约方大会商定的定义）。

[7] 《保护地球报告》。https://www.protectedplanet.net/en。

因此，扩大保护地和其他有效区域保护措施（OECMs）是最广泛的模拟生物多样性保护的政策。然而，在全球范围内还未就土地保护比例以及监管目标达成共识，因此研究人员将根据现有文献和预期结果做出判断。

根据不同的情景，假设范围可以是陆地保护区扩展 30%到 50%，但其分布差异较大。例如，本文比较了 Kok 等人（2020）的 30%保护区扩展政策和 Leclère 等人（2020）提出的 40%保护区扩展政策，见图 2。可以看到，后者在“政治上”更容易实施，但从生态角度来看，完全没有说服力。事实上，保护工作转移到了澳大利亚北部地带和沙漠地带，以及非洲的撒哈拉沙漠地带。例如，刚果盆地的热带森林是生物多样性的关键地带。然而，《生物多样性公约》强调保护地需要根据对生物多样性的重要性和对人类的贡献来选择，以实现公平有效。

图 2. (A) “共享地球”方案的保护区域，目标是到 2050 年保护 30%的全球土地和淡水面积（Kok 等人, 2020); (B) 保护区扩展政策的保护区域，目标是到 2020 年保护 40%的土地面积（Leclère 等人, 2020)。



A

B

此外，建立一个有效的保护区网络成本昂贵。保护区网络可以包括监测栖息地健康，执行法规和投资研究费用，以防止保护区内的非法活动。例如，伐木、偷猎受保护动物、采矿以及侵占人类居住地和农业

地带。尽管它们能够提供经济和社会效益并减轻气候变化引发的经济风险，但并非所有国家都有能力做到，特别是在发展旅游业方面（Waldron 等人，2020）。

总的来说，Johnson 等人（2021）估计，到 2030 年，要实现对世界上 30%陆地的保护，平均每年需要约 1150 亿美元的投资。不过，如果将避免碳排放产生的收益包括在内，则该数字将减少到 130 亿美元。但与保护区扩展相关的成本和收益很少被纳入情景设置。

保护区中设想的保护类型，例如，是否可以在保护区中开展或开展何种类型的人类活动，如游憩和林业，在情景中尚未被明确界定。然而，这些因素可能会严重影响生物多样性退化的速度、程度以及经济结果。

公海渔业部门和海洋利用轨迹

为改善海洋生物多样性而实施的政策和轨迹是多样化的，也是富有创造性的。例如，它们关注的重点是补贴、退出费、海洋保护区（MPAs）或渔业管理技术的转变。

例如，Cheung 等人（2019）通过调整海洋物种的离岸价、补贴变化、渔业运营和投资成本以及可捕率的轨迹，对三种共享社会经济路径叙述进行了量化和调整。对于所有这些情景，模拟了到 2050 年海洋保护区扩展为 0-50%的情况，中值目标为公海总面积的 30%，并定义了辐射强迫轨迹，即 RCP2.6 和 RCP8.5。

然而，目前的海洋保护区仅覆盖约 8.15%的海洋 [8]。因此，到 2050 年建立 50%的海洋保护区将是一项挑战，需要大量的监测和投资，而情景中没有考虑到这一点。此外，与陆地保护区一样，海洋保护区的成本可能高昂，且目前设想的情景尚未考虑共同惠益，如旅游和海岸保护。

在全球范围内，尚未对“满足游憩、生计和商业用途等不同类型渔业部门”和“不同类型的商业性捕鱼方法”加以区分：是否某一行业涉及用网捕鱼，如围网、拖网和底拖网；或用线捕鱼，如延绳、杆和线；或捕捞贝类等。然而，所有这些参数都会在生物多样性丧失和满足日益增长的海产品需求的能力方面，产生不同后果。此外，若对此不加以区分，也就无法对海洋生态系统破坏性较小的技术进行识别和评估，即识别转型机会。

林业部门

研究人员探索了通过在情景中避免毁林以维持碳储量，进而应对全球变暖的举措。这些政策总是假设各国处于充分合作和协调的状态。例如，Johnson 等人（2021）根据情景确定了两种不同的轨迹。第一种

[8] 《保护地球报告》。https://www.protectedplanet.net/en。

情况是，每个国家通过限制土地供应和增加土地补贴以补偿森林所有者，进而支付森林碳汇。第二种情况是，富裕国家依据历史温室气体排放量支付森林碳汇，而贫穷国家则因避免毁林而获得补偿。

能源部门

只有少数研究建立了针对能源部门的轨迹。例如，Obersteiner 等人（2016）模拟了两种不同的政策，以实现全球变暖的 2°C目标，即到 2030 年适度使用生物能源和核能、高比例提高生物能源份额而不使用核能这两种情况。

与该行业至关重要的气候情景相反，生物多样性受单一行业的影响较小。因此，这些研究整合了一些气候变化减缓和适应的政策，如通过林业或能源部门。因此，本研究建议在气候和生物多样性情景之间建立一座桥梁，特别是要确定对经济产生复合和级联影响的可能性。

然而，关注生物多样性变化的情景能够帮助我们了解哪种政策干预对保护生物多样性是最有效的。事实上，一些减缓全球变暖的措施并不会对生物多样性产生"共同惠益"，甚至会使其进一步退化。例如，在气候情景中被广泛模拟的水电站扩张，其提供了温室气体排放量很低的清洁电力，但也同时使生物多样性丧失。例如，其使水道被分割、破坏某些生物循环。

C – 崩溃假设

Johnson 等人（2021）设计了文献综述中唯一的探索性物理情景。他们设计了一个由极端环境冲击导致多个生态系统服务崩溃的情景。他们仅对依赖野生授粉的作物进行了模拟，并模拟了野生授粉减少 90%对农业产量的影响，即授粉者这一生态系统服务的崩溃。

此外，他们还设计了海洋渔业的崩溃，通过设计一个严重的气候变化情景（RCP8.5）以模拟鱼类迁移的急剧中断。结果显示，这将导致生物量方面的总捕获量减少，这种情况被视为渔业部门的技术中性生产力发生了变化。

此外，Johnson 等人（2021）模拟了木材生产的突然崩溃。他们假设所有热带地区的森林覆盖率下降了 88%，并据此提出在生长周期更长的潮湿热带地区的造林能力会下降。

5 建模轨迹

通常有三类模型用于构建生物多样性情景：一些模型评估了经济发展、科技进步和人口增长等间接压力是如何影响土地利用变化、气候变化和氮沉降等导致生物多样性丧失的直接压力。另一些模型则模拟了自然界关于生物多样性和生态系统功能的直接和间接压力的变化幅度。最后一类模型评估了自然变化对人类从自然获得福祉的影响，这些福祉有助于提高生活质量，包括生态系统服务（Brondizio 等人，2019）。谨记，没有任何一套情景和模型能完美地诠释未来，它们具有或多或少合理的固有局限性。

A – 生物多样性丧失的直接和间接驱动因素的变化模型

那些基于不同层面、体现项目导致生物多样性丧失的直接和间接驱动因素变化的模型，是针对社会经济参数和假设，以及环境压力的量化结果。它们由许多不同的模型组成，可以提供作物分配等空间结果，以及粮食价格等综合指标。

本文献综述所选的两项研究，使用了综合评估模型（IAM）[9]以定量描述人类和地球系统中的关键过程及其相互作用。事实上，Kok 等人（2020）和 Schipper 等人（2020）使用了 IMAGE[10]，即一种可计算的一般均衡模型。开发综合评估模型（IAM）是为了预测气候轨迹和相关问题的演变，这意味着，除其他外，它们并不是为了回应与生物多样性相关的研究问题而设计的。

一般来说，综合评估模型（IAM）将 GDP 和人口轨迹（通常来自共享社会经济路径的量化）、政策轨迹（RCP 目标、生物多样性相关具体政策）和其他选项（主体偏好或技术变革）作为输入。这些输入随后被实施到不同的模块中，以探索能源、土地、气候系统和经济等。这些模块被链接起来，以评估一些级联效应、“共同惠益”和意外后果，追踪一个领域中的选择如何影响模型的其余部分。最后，综合模型提供了关于经济、生物物理、能源和土地利用轨迹的输出。

一些作者只选择了土地模块，如 GLOBIOM、MAGNET；或动态全球植被模型，如 LPJ-GUESS、LPJ，以评估生物多样性的间接和直接驱动因素的变化，这些因素都包含在综合评估模型（IAM）建模过程中。它们提供与综合评估模型（IAM）相似的洞察力，因为它们考虑相同的输入并提供相同的输出；主要的区别在于它们不能像综合评估模型（IAM）那样综合且全面，即无法探索全球、多部门的动态及其相互作用，但通常会提供有关土地利用和生物多样性方面的更详细结果。

综合评估模型（IAM）和相关模块试图了解经济结构，如生产、需求和出口，将为他们提供所需的社会经济轨迹，如 GDP、人口统计和政策结果。例如，无论建模的政策或排放预测如何，他们都认为未来的

[9] 当谈到综合评估模型时，我们指的是“复杂的”IAMs 类别，即那些在技术变化、能源模式选择、土地利用变化或保护、不保护生物圈的社会趋势方面描述未来发展路径的模型，并提供有关模拟过程的部门信息（也被称为“基于过程的模型”）。此外，我们指的是通过假设经济的部分平衡来确定使全球平衡的 IAM。

[10] 由荷兰环境评估局（PlanBureau voor de Leefomgeving - PBL）创建的 IMAGE 模型，可以模拟 2100 年前社会、生物圈和大气之间的未来全球动态及其相互作用。对于它所覆盖的 26 个地区中的每一个地区，它都可以评估社会经济指标的陆地动态，空间尺度为 0.5 x 0.5 经纬度。

GDP 轨迹是理所当然的。相对价格的变化作为主要工具，使他们能够区分经济结构和随之而来的经济或生态结果。这一建模过程对生态转型的分析产生了重大影响，因为共享社会经济路径预测所有国家的 GDP 将在 2100 年之前实现正增长，即使模拟的是长期的结构变化，即生态转型或生态系统崩溃。

此外，共享社会经济路径轨迹的结果取决于每个模型及其建模团队的假设。事实上，并非所有综合评估模型（IAM）和土地模块都具有相同的结构并做出相同的权衡，它们在生物化学、生物物理和社会经济参数方面存在差异。土地利用假设，如农业生产力、食物消费对环境的影响、国际贸易或基于土地的气候变化减缓政策，在综合评估模型（IAM）之间是不同的（Popp 等人，2017）。然而，值得注意的是，提出不同的替代方案可以探索情景和模型的不确定性。

由于这些模型是全球性的，是为评估气候方面而设计的，因此在许多层面，特别是在影响生物多样性的部门和子部门中，严重缺乏准确性。例如，GLOBIOM[11]只区分了 18 种作物和 7 种动物产品；它可以区分 6 种土地用途，包括农田、草地、短周期种植园、经营林、非经营林和其他自然植被土地；以及 4 种管理系统，包括粮食作物、低投入雨养、高投入雨养、高投入灌溉。因此，这些分类仍然非常笼统，不容易确定在生态系统崩溃或生态转型的情况下可能受到最大影响和/或更大影响的活动和实践，例如，识别有机农业、混农林业、自然农业、保护性农业或精准农业。在不同行业中，对实践做法加以区分，将有助于更好地识别自然向好政策的转型机会，并避免对特定行业的歧视性政策的风险，如无论实践做法是好或坏，便限制农业补贴。

总体而言，最具代表性的部门是能源、林业和农业。有些活动不在分析之列，如采矿和采石业、公海渔业或制造业，尽管它们对生物多样性有较大影响。为了确定具有潜在创新机会的行业，例如，寻找与其他类似部门相比化学释放量低的纺织业，一种解决方案是将综合评估模型（IAM）与全球多区域环境扩展的供需表和投入产出表（EE-MRIO）结合起来。尽管如此，为了使这一分析具有相关性，还需要行业和子行业更具颗粒度的信息。因此，本文鼓励努力提高这两个模型中行业的代表性。

另外，Johnson 等人（2021）选择了“全球贸易分析项目”（GTAP）模型，这是一个多区域、多部门和可计算的一般均衡模型。他们将其与农业生态区（GTAP-AEZ）相结合，覆盖 137 个地区。这一模型相对于 IAMs 的主要优势是提供了更广泛的行业分类，包括 57 种商品/行业，从而提高了转型影响评估中将生物多样性影响与部门/行业联系起来的可能性。

此外，综合评估模型（IAM）和农业生态区（GTAP-AEZ）模型仅适用于探索陆地或淡水系统。因此，还不可能利用它们来评估人类活动，特别是通过公海渔业部门探究对海洋生态系统的影响。在缺乏这些

[11] GLOBIOM 是一个农业和林业部门的动态局部平衡模型。它可以单独使用或与 IAM MESSAGE 一起使用，以获得可计算的一般均衡。它通过考虑一系列动态的需求、资源、技术和政策，在生产活动之间分配土地，以使消费者和生产者的剩余最大化。

模型的情况下，Cheung 等人（2019）和 Costello 等人（2016）使用了生物经济模型，即捕捉经济和生物物理动态的模型。

最后，正如情景叙述所指出的那样，任何有关生物多样性丧失直接或间接因素的变化模型均尚未纳入对生物多样性丧失的一个主要压力——外来物种的入侵和蔓延（其中有些还是疾病传播媒介和流行病因素）。

B – 生物多样性模型

生物多样性模型允许将生物多样性丧失的直接和间接驱动因素转化为生物多样性影响，通过其提供的生物多样性指标进行衡量。本研究使用了各种生物多样性模型和指标。

其中一些作者，如 Pereira 等人（2020），结合了几个模型和指标来评估一个情景对生物多样性的影响，而其他作者则选择了一组。该方法将取决于模型与生物多样性指标之间的兼容性。在使用许多情景和指标以更清晰地掌握与建模相关的不确定性，以及选择有限数量的情景和指标以探索与生物多样性问题相关的更具体的假设之间，需要权衡。

生物多样性是多层次的，不能用单一指标来概括，这与以二氧化碳排放当量或浓度为代表的气候变化领域不同。事实上，生物多样性是一个大概念，包括物种内部的多样性（遗传多样性）、物种之间的多样性（物种多样性）、生态系统的多样性（生态多样性），以及这三个多样性层次之间的相互作用。

本文综述的所有文章都测量了物种间的生物多样性，有些还测量了生态系统的多样性，但没有一篇探讨遗传多样性。然而，遗传多样性对于分析物种适应未来环境变化的能力至关重要。例如，气候变化会改变遗传性状，有时会影响物种的复原力。必须承认，在全球范围内，遗传数据是匮乏的。

半数研究者在选取生物多样性主要衡量标准时，采纳了平均物种丰度（MSA）这一指标。MSA 被定义为本地物种的平均丰度与其在非退化生态系统（即未受人类活动干扰）中的丰度相比。该指标范围为 0 到 1，1 代表未受干扰的生态系统，0 代表完全退化的生态系统，即类似于一个停车场的生物多样性。例如，有牲畜的牧场的 MSA 可能是 0.6，有密集农业的生态系统是 0.1，城市化地区是 0.05。

然而，对 MSA 指标的解释亦面临诸多问题。例如，当 MSA 值为 0.5 时，它表示 50%的领土受到 100%的破坏，还是 100%的领土受到 50%的破坏？此外，该指标依据荟萃分析构建，研究的背景可能会影响结果。与类似的生物多样性完整性指数（BII）[12]不同，MSA 将丰度标准化为一项指标，而非多个，这意味着未受干扰的生态系统是生物多样性最丰富的，因此，在此类生态系统中增加新的非本地物种并不会增加其生物多样性。

[12] 生物多样性完整性指数（BII）衡量一个特定地理区域内，物种相对于其参考种群的平均丰度。

Obersteiner（2016）和 Johnson 等人（2021）将多个生物多样性指标合并为一个单一衡量标准。这种方法提供了对不同生物多样性指标进行加权的可能性。然而，存在重复计算同一生物多样性指标的风险，且其相关解释也不是显而易见的。

此外，这些指标过度代表了哺乳动物和鸟类。事实上，作者所处理的指标中约有 35%考虑到了野生哺乳动物，尽管它们只占总生物量的 0.001%。然后，最具代表性的分类群是鸟类、植物和两栖动物，它们分别占总生物量的 0.0003%、81.82%和 0.018%。尽管如此，所有使用哺乳动物生物多样性指标的论文也都使用了包含植物和鸟类的指标。

最后，生物多样性模型和指标并没有考虑到相同的压力，这将影响确定位置的结果。例如，生物多样性完整性指数（BII）只包括来自土地利用、人口和栖息地破碎化的压力，因此在狩猎是生物多样性唯一重大威胁的地区，该指标可能非常高。

C – 生态系统服务（ES）模型详述

只有三项研究通过生态系统服务模型分析了一些生态系统服务的演变，这些生态系统服务是由转型情景产生的。Kok 等人（2020）主要使用了 GLOBIO-ES[13]模型，Johnson 等人（2021）使用了 InVEST[14]，Pereira 等人（2020）则使用了这两种模型。这些是全球范围内最具代表性的生态系统服务模型，他们使用了最初两类模型，即生物多样性丧失的直接和间接驱动因素的变化模型和生物多样性模型的输出结果。另外，直接和间接驱动因素的变化模型可以直接为生态系统服务评估提供可参考的指标。例如，IMAGE 给出了以每年的卡路里为单位的作物总产量输出结果，这是一种评估食物供给生态系统服务的测量方法。

现有生态系统服务模型的主要问题是，它们没有在分析中纳入可能的生态系统稳态转变的临界点。此外，模型没有或几乎没有考虑不同生态系统服务之间的相互关系，而是单独分析了每项服务（Agudelo 等，2020）。主要原因是，有关土地利用和景观特征与生态系统服务之间关系的数据较为稀缺且碎片化。然而，一些生态系统服务，如授粉，比其他类型的生态系统服务具有更为详尽的记录。

此外，相较于供给服务，针对调节性生态系统服务的建模更多，而针对文化和支持性服务的建模则尚处于空白阶段。

[13] GLOBIO-ES 是 GLOBIO 的补充模型，用于计算全球范围内生态系统服务（ES）的现状、趋势和未来的未来情景。它可以分析 8 种文化、产品和调节生态系统。它采用空间明确的输入数据：直接压力（即土地利用和管理，以及气候变化），间接压力（如收入和食物需求），以及生态系统属性（如地形、土壤特性和气候变量）。

[14] InVEST 是一套模型，可以绘制 21 个生态系统服务（ES），并通过生产函数为其分配货币价值。它使用地图作为信息来源，但也作为结果。该模型相当复杂，需要非常精确的数据，这意味着在全球范围内，即使并非不可能，也很难应用它所有的要素。

总的来说，要理解和解释耦合的经济与生态系统各组成部分之间的基本关系和反馈回路，必须更好地将模型与其联系起来。事实上，现有的建模工作缺少两个损失反馈循环：第一个对应的是生物多样性丧失对经济活动以及进而对国家经济增长的影响。因此，生物多样性模型并不会影响模型中造成生物多样性丧失的直接或间接驱动因素的变化。这意味着，如果一个情景预测地球上所有物种灭绝，全球所有国家的 GDP 将继续增长。第二个对应的是生态系统服务的丧失，其缺少同样的机制。

此外，生物多样性和生态系统服务的动态必须反馈在叙述中。因此，一些模型变量，例如，GDP 和 RCP 的外生性也必须在话语构建中得以关注，以更好地突出经济和生物多样性之间的相互作用。

6 结果评估

生物多样性结果

不出所料，所有模拟基线轨迹的情景均仅发现了生物多样性指标在下降，但比例并不相同。

例如，在 Leclère 等人（2020）的“一切照旧”情景中，2010 年至 2050 年，陆地生物多样性完整性指标（MSA 或 BII）平均仅下降了 0.89%；2010 年至 2100 年，下降了 5%。尽管如此，Kok 等人（2020）预计 MSA 的损失要快得多，即到 2050 年，陆地 MSA 将下降约 4.7%。在海洋范围内，Cheung 等人（2019）发现，根据 RCP 轨迹，到 2050 年，MSA 的损失为 7 至 20%，到 2100 年为 15 至 55%。

一些情景设想以极具雄心的政策为代价，以实现未来生物多样性恢复。在 Kok 等人（2020 年）的研究中，两种情景在满足可持续发展目标（SDG 2）——“零饥饿”和将全球变暖控制在 2°C 之内的同时，扭转了生物多样性下降趋势，这样的趋势亦满足 2050 年的地球生命力指数（LPI）和到 2030 年的 MSA 指数的预期。如前所述，这些情景要求在生物多样性保护、减缓气候变化和粮食安全方面采取雄心勃勃的政策，包括将保护区扩大到陆地面积的 30%或 50%。Leclère 等人（2020）提出的最具雄心的情景，包括各种需求侧、供给侧和 40%的保护区扩展政策，地球生命力指数（LPI）最早在 2050 年实现生物多样性恢复（对于所有模型）。然而，在这种情况下，MSA 仅到 2075 年才得以扭转为增长趋势（依据模型平均值）。唯一无法预测 MSA 恢复的模型是综合评估模型（IMAGE），即使到 2100 年的情况也无法预测。

总的来说，就生物多样性恢复而言，情景并不乐观。Schipper 等人（2020）和 Pereira 等人（2020）提出的最具雄心的情景，即基于非常乐观的 SSP1—到 2050 年没有实现积极的 MSA 或物种丰富度[15]扭转轨迹。在公海渔业部门层面，Cheung 等人（2019）提出的 SSP1 情景表示，海洋保护区仅扩展 50%，叠加 RCP2.6 轨迹因素，显然与当前的政策不符，预计 2100 年 MSA 将有积极的扭转趋势。

粮食安全结果

仅 Kok 等人（2020）开展了区域范围内分析粮食安全指标研究，其认为撒哈拉以南非洲和南亚仍然是所有提出的情景中，最为关键的区域。

所有研究均表明，最具雄心的保护措施与改善粮食安全之间存在权衡。例如，Obersteiner 等人（2016）发现 2030 年的粮食价格与其环境指数（包括生物多样性指标）之间存在积极和显著的相关性。也就是说，最有效的保护政策会导致价格上涨。

[15] 物种丰富度是衡量整个或部分生态系统生物多样性的指标；它是指特定区域内的物种数量。

当 Kok 等人（2020）预测其情景时，仅纳入生物多样性保护措施，粮食不安全的风险会减少，但减少的程度与基线情景不同。随着可用于农业的土地变得越来越少，以及向生态农业转型或实施农业集约化，粮价将上涨，供给将收缩。

然而，如果在保护情景中实施额外措施，如减少肉类消费或食物浪费，则可以弥补粮食安全的损失（Kok 等人，2020）。事实上，与基线情景相比，这些措施将减少对粮食的需求并降低价格，从而改善粮食安全。

生态系统服务（ES）结果

在 Kok 等人（2020）的参考情景中，随着农业用地的扩大，从 2015 年到 2070 年，产品供给生态系统服务（食物和饲料生产）将有所改善。相反，Johnson 等人（2021）认为，产品供给生态系统服务（海洋和木材生产）自 2030 年，将开始下降。

大多数作者发现，用于调节生态系统服务的碳汇服务将大大减少。然而，根据 Johnson 等人（2021）的研究，授粉在基线情景下会增加。而 Kok 等人（2020）的研究则显示，到 2070 年，它将开始减少。

在 Pereira 等人（2020）和 Kok 等人（2020）的研究中，到 2050 年或 2070 年，在任何共享社会经济路径（SSP）或保护情景中，产品供给生态系统服务都将得到改善。此外，Kok 等人（2020）发现，在其提出的两种保护方案中，陆地调节服务会增加。而碳汇服务除外，其只有在增加减缓气候变化的额外措施后，才会得到改善。Pereira 等人（2020）也发现了相同的结果，但氮储存服务除外，该服务在他们设想的所有情景中均会减少，而碳汇服务在他们提出的所有情景（包括 SSP5）中都略有增加。

经济结果

只有三项研究对其提出情景的经济轨迹进行了分析，无论是基于特定部门的利润角度，还是从全球层面的 GDP 或按国家或国家集团的收入进行分类。

在 Johnson 等人（2021）的基线情景中，在一切照旧的轨迹下，所分析的生态系统服务，即木材生产、海洋生产和授粉的下降将导致 2030 年全球 GDP 下降 900-2250 亿美元，这取决于是否考虑了与气候有关的成本。如果把气候变化的损失计算在内，2030 年全球几乎所有的人口都将生活在 GDP 下降的国家，而人均 GDP 下降最明显的是贫穷国家。此外，所有政策筛选方案都允许在保护自然生态系统的同时增加 GDP。最具雄心的政策将在 2030 年使全球 GDP 增加 1500 亿美元。

另一方面，在 Johnson 等人（2021）的探索性情景中，授粉、木材和鱼类生产等生态系统服务的崩溃将导致 2021 年至 2030 年全球范围内的 GDP 与基线相比仅下降 2.3%，即 2.7 万亿美元，这将主要由最贫

穷的国家承受。就区域而言，撒哈拉以南的非洲将经历最严重的衰退，包括马达加斯加、安哥拉、刚果民主共和国，其 GDP 预计将下降 20%，主要是由于木材生产的崩溃。第二大受影响的地区是南亚，主要是孟加拉国和巴基斯坦，其 GDP 将损失 6.5%，主要是由授粉减少造成的。

Cheung 等人（2019）发现，SSP1 情景导致公海渔业部门的平均创收贡献最低。事实上，到 2050 年，随着化石燃料价格上涨和补贴减少，所有国家的捕鱼成本将增加 50%。在 SSP3 中，随着捕鱼量的增加并超过经济最优状态，捕鱼总成本将增加，利润将减少，特别是对于最贫穷的国家更是如此。在 SSP5 中，捕鱼量将提高所有以此为收入国家的捕鱼总成本，预计利润将下降。总之，在 SSP1 或 SSP5 情景下，只有富国到 2100 年才有机会捕鱼或保持微利。但在 SSP5 情景中，捕鱼只有在补贴抵消捕鱼高成本的情况下才会盈利。

根据 Costello 等人（2026）的研究，到 2050 年，对世界渔业实施健全的管理改革可能会产生 530 亿美元的额外效益。从这些管理改革中受益最多的国家或地区是中国、印度尼西亚、印度、日本、菲律宾、泰国、马来西亚、韩国、越南和台湾。

模型比较

一般而言，即使设定了类似的假设和指标，不同研究的结果也有较大差异：模型的参数化很可能显著影响结果。事实上，Leclère 等人（2020）的基线情景预测，从模型平均值来看，2010 年至 2050 年间，农作物（非能源用）的相对价格略有下降。然而，同一情景下的模型之间也存在较大差异。例如，在价格方面，IMAGE 显示上涨了约 10%，而 GLOBIOM 和 MAgPIE 则显示减少了约 10%。

因此，建议通过多个模型（Ferrier，2016）预测相同的情景，以提高预测轨迹的稳健性。根据政策和背景的差异，需要使情景和模型的类型多样化，进而找到最合适的方法，并使用不同的空间和时间尺度。必须明确评估和充分了解情景和模型中固有的不确定性，以避免错误结果（乐观或悲观）的影响。这些不确定性可能有多种来源，例如，使用错误的或不充分的数据，对生态过程缺乏了解和方法的可预测性差等。

结论

截至目前，在评估行业或国家层面与生物多样性丧失相关的转型和物理风险敞口方面，尚没有全面且可用的情景。当前的生物多样性转型情景尚无法将社会经济轨迹进行精准的可视化，而物理情景几乎完全不存在。事实上，转型情景允许评估不同人类压力对土地、水生生态系统、植被和物种的影响，但尚不能覆盖所有行业和部门。

因此，必须提高模型之间的精度和联系。这是一个长期目标，因为它需要重新设计一系列相关模型，因此必须即刻采取行动。此外，本文建议同时进行转型风险和物理风险评估，以提高情景的协同性和对生物物理轨迹的理解。

从现在起，以及在短期内，可以采取以下步骤来分析《生物多样性公约》“2050 年愿景”所产生的社会经济影响。这四个步骤适用于可能在国家和国际层面构建生物多样性情景的所有实体。包括经济和财政部门的参与，以更好地完善生物多样性相关政策的制定；金融和监管部门的参与，以开展生物多样性压力测试；学术界的参与，以加强各方共同对经济和生物物理动态之间相互联系的理解。

第一步是**增加数据收集、公开发布和拓展传播渠道**，包括采用非常规的方法。例如，卫星数据、土地登记的机器学习、税务或家庭和商业调查等，以便支持未来的模型开发，同时确保分析的可复制性、公开的质量控制以及对数据所有权的尊重。

第二步是**构建物理情景数据，以基于生物物理的角度，描述生态系统特征**。目前有几类方法，如环境可持续性差距（ESGAP）（Usubiaga-Liaño & Ekins，2021a，2021b）框架。事实上，环境可持续性差距（ESGAP）框架是为欧洲国家开发的，并正在其他地区进行测试（ISPONRE & UCL，2021；NEMA & UCL，2022；WWF，2020）。欧洲的最新发展促成了强环境可持续性进展指数（SESPI）的建立，该指数显示了各国是否正在迈向或远离良好的环境状态标准（Usubiaga-Liaño & Ekins，2022）。SESPI 汇总了 19 项关键环境功能指标。通过每一项子指标可以了解在当前的趋势框架和目标时间范围内，关键环境功能是否正在接近或远离经济的安全运行空间，以及可能逼近临界点。在没有预测临界点的情况下，该方法表明一个经济体是在朝更可能发生这些生态系统稳态转变的可能性迈进或偏离。这种方法还可以反映出不同类型的资本，即自然资本、社会资本和经济资本之间的不可替代性，以及地球自然资源的有限性及其对经济增长构成的制约。因此，环境可持续性差距（ESGAP）框架采用了一个强有力的可持续发展愿景，以保护“关键自然资本”，并将其传递给后代。

第三步是**开展转型评估，必须尽可能准确地分析受威胁生态系统的空间分布和社会经济的相互联系**。然后，它将为开发与实践变化、生态系统保护与修复等相关的前瞻性情景（可能是定性的）奠定基础。因此，一个解决方案是将近期关于气候变化转型风险分析的工作（Espagne 等，2021）应用到生物多样性相关分析中。这种替代方法包括将特定国家中依赖和影响生物多样性的部门与相关部门进行比较，例如，同一类型生物群落中的相关部门，可使用 IUCN 的自然保护地管理分类标准，其目的是确定潜在的创新机会，以减少在大致相当的生态条件下对生物多样性的依赖或影响。

最后一步，**必须确保决策者、金融监管机构和金融机构在情景构建和应用之间保持一致**。自 2021 年以来，NGFS 成立了一个工作组，帮助各国央行和监管机构开发在生物多样性丧失方面履行其职责的研究方法。建议通过开展影响和依赖性评估以及开发情景分析和生物多样性相关压力测试，以评估金融系统对生物多样性相关金融风险的暴露程度（INSPIRE & NGFS，2022），我们正在邀请各国央行参与这项工作。另一方面，TNFD 是一个由金融机构、企业和第三方服务机构组成的全球性工作组，旨在提供一套在风险管理和评估方面的框架，以回应与日俱增的与自然相关的风险和机遇，支持全球资金从自然有害的领域流向自然向好的经济活动。我们鼓励开发性金融机构和私营金融机构参与框架的开发，并在其投资组合中进行测试。

参考文献

1. **Agudelo, C. A. R., Bustos, S. L. H., & Moreno, C. A. P. (2020).** Modeling interactions among multiple ecosystem services. A critical review. *Ecological Modelling*, *429*, 109103.

2. **Andersen, M. C., Adams, H., Hope, B., & Powell, M. (2004).** Risk assessment for invasive species. *Risk Analysis: An International Journal*, *24*(4), 787–793.

3. **Appeltans, W., Ahyong, S. T., Anderson, G., Angel, M. V., Artois, T., Bailly, N., Bamber, R., Barber, A., Bartsch, I., Berta, A., Błażewicz-Paszkowycz, M., Bock, P., Boxshall, G., Boyko, C. B., Brandão, S. N., Bray, R. A., Bruce, N. L., Cairns, S. D., Chan, T.-Y., … Costello, M. J. (2012).** The Magnitude of Global Marine Species Diversity. *Current Biology*, *22*(23), Article 23. https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.036

4. **Bradshaw, C. J., Ehrlich, P. R., Beattie, A., Ceballos, G., Crist, E., Diamond, J., Dirzo, R., Ehrlich, A. H., Harte, J., Harte, M. E., & others. (2021).** Underestimating the challenges of avoiding a ghastly future. *Frontiers in Conservation Science*, 9.

5. **Brondizio, E. S., Settele, J., Díaz, S., & Ngo, H. T. (2019).** *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).

6. **Chenet, H., Kedward, K., Ryan-Collins, J., & van Lerven, F. (2022, April 27).** *Developing a precautionary approach to financial policy: From climate to biodiversity* (Monograph No. 2). Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science. https://www.inspiregreenfinance.org/publications/

7. **Cheung, W. W., Lam, V. W., & Wabnitz, C. C. (2019).** Future scenarios and projections for fisheries on the high seas under a changing climate. *Fisheries*.

8. **Costello, C., Ovando, D., Clavelle, T., Strauss, C. K., Hilborn, R., Melnychuk, M. C., Branch, T. A., Gaines, S. D., Szuwalski, C. S., Cabral, R. B., & others. (2016).** Global fishery prospects under contrasting management regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(18), 5125–5129.

9. **Ferrier, S., Ninan, K. N., Leadley, P., Alkemade, R., Acosta-Michlik, L., Akçakaya, H. R., Kabubo-Mariara, J., Lundquist, C., Obersteiner, M., Pereira, H., Peterson, G., Pichs-Madruga, R., Ravindranath, N. H., Rondinini, C., & Wintle, B. (2016)**. *Summary for policymakers of the assessment report of the methodological assessment of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services* (p. 32). Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). https://ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/SPM_Deliverable_3c.pdf

10. **Häyhä, T., Lucas, P. L., van Vuuren, D. P., Cornell, S. E., & Hoff, H. (2016).** From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space—How can the scales be bridged? *Global Environmental Change*, *40*, 60–72.

11. **Hirsch, T., Mooney, K., & Cooper, D. (2020).** *Global Biodiversity Outlook 5*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. https://www.cbd.int/gbo/gbo5/publication/gbo-5-en.pdf

12. **INSPIRE & NGFS. (2022).** *Central banking and supervision in the biosphere: An agenda for action on biodiversity loss, financial risk and system stability*. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/central_banking_and_supervision_in_the_biosphere.pdf

13. **ISPONRE & UCL. (2021).** *Strong Environmental Sustainability in Vietnam. Piloting the Environmental Sustainability Gap Framework (ESGAP) and Strong Environmental Sustainability Index (SESI)* [Report for Agence Française de Développement]. https://www.afd.fr/sites/afd/files/2022-06-03-17-23/S%C3%A9rie%20grise_ESGAP%20Vietnam%20Report_March%202023.pdf

14. **Johnson, J. A., Ruta, G., Baldos, U., Cervigni, R., Chonabayashi, S., Corong, E., Gavryliuk, O., Gerber, J., Hertel, T., Nootenboom, C., & others. (2021).** *The Economic Case for Nature: A global Earth-economy model to assess development policy pathways*. World Bank.

15. **Kok, M. T., Meijer, J. R., van Zeist, W.-J., Hilbers, J. P., Immovilli, M., Janse, J. H., Stehfest, E., Bakkenes, M., Tabeau, A., Schipper, A. M., & others. (2020).** Assessing ambitious nature conservation strategies within a 2 degree warmer and food-secure world. *BioRxiv*.

16. **Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M., Butchart, S. H., Chaudhary, A., De Palma, A., DeClerck, F. A., Di Marco, M., Doelman, J. C., Dürauer, M., & others. (2020).** Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*, *585*(7826), 551–556.

17. **NEMA & UCL. (2022).** *Strong Environmental Sustainability in Kenya. A case study in the Environmental Sustainability Gap Framework (ESGAP) and Strong Environmental Sustainability Index (SESI)* [Report for Agence Française de Développement]. https://www.afd.fr/sites/afd/files/2022-06-03-05-59/S%C3%A9rie%20grise_ESGAP%20Kenya%20Report_March%202023.pdf

18. **Obersteiner, M., Walsh, B., Frank, S., Havlík, P., Cantele, M., Liu, J., Palazzo, A., Herrero, M., Lu, Y., Mosnier, A., & others. (2016).** Assessing the land resource–food price nexus of the Sustainable Development Goals. *Science Advances*, *2*(9), e1501499.

19. **Olson, L. J. (2006).** The economics of terrestrial invasive species: A review of the literature. *Agricultural and Resource Economics Review*, *35*(1), 178–194.

20. **O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017).** The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, *42*, 169–180. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004

21. **O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P. (2014).** A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, *122*(3), Article 3. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2

22. **Otero, I., Farrell, K. N., Pueyo, S., Kallis, G., Kehoe, L., Haberl, H., Plutzar, C., Hobson, P., García-Márquez, J., Rodríguez-Labajos, B., & others. (2020).** Biodiversity policy beyond economic growth. *Conservation Letters*, *13*(4), e12713.

23. **Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B. L., Dietrich, J. P., Doelmann, J. C., Gusti, M., Hasegawa, T., Kyle, P., Obersteiner, M., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H., Waldhoff, S., Weindl, I., Wise, M., … Vuuren, D. P. van. (2017).** Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, *42*, 331–345. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002

24. **Pörtner, H. O., Scholes, R. J., Agard, J., Archer, E., Arneth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W. L. W., & others. (2021).** *Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change*.

25. **Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., … Tavoni, M. (2017).** The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, *42*, 153–168. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009

26. **Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W. (2014).** Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(9), Article 9. https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110

27. **Stohlgren, T. J., & Schnase, J. L. (2006).** Risk analysis for biological hazards: What we need to know about invasive species. *Risk Analysis: An International Journal*, *26*(1), 163–173.

28. **Svartzman, R., Espagne, E., Gauthey, J., Hadji-Lazaro, P., Salin, M., Allen, T., Berger, J., Calas, J., Godin, A., & Vallier, A. (2021).** A "Silent Spring" for the Financial System? Exploring Biodiversity-Related Financial Risks in France. In *Working papers* (No. 826; Working Papers, Issue 826). Banque de France. https://ideas.repec.org/p/bfr/banfra/826.html

29. **Teh, L., Lam, V., Cheung, W., Miller, D., Teh, L., & Sumaila, U. R. (2017).** Impact of high seas closure on food security in low-income fish-dependent countries. In *Handbook on the Economics and Management of Sustainable Oceans*. Edward Elgar Publishing.

30. **Turner, M. G., Calder, W. J., Cumming, G. S., Hughes, T. P., Jentsch, A., LaDeau, S. L., Lenton, T. M., Shuman, B. N., Turetsky, M. R., Ratajczak, Z., Williams, J. W., Williams, A. P., & Carpenter, S. R. (2020).** Climate change, ecosystems and abrupt change: Science priorities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *375*(1794), Article 1794. https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105

31. **Usubiaga-Liaño, A., & Ekins, P. (2022).** Are we on the right path? Measuring progress towards environmental sustainability in European countries. *Sustainability Science*, 1–16.

32. **Usubiaga-Liaño, A., & Ekins, P. (2021b).** Monitoring the environmental sustainability of countries through the strong environmental sustainability index. *Ecological Indicators*, *132*, 108281.

33. **Usubiaga-Liaño, A., & Ekins, P. (2021a).** Time for Science-Based National Targets for Environmental Sustainability: An Assessment of Existing Metrics and the ESGAP Framework. *Frontiers in Environmental Science*, 524.

34. **van Toor, J., Piljic, D., Schellekens, G., van Oorschot, M., & Kok, M. (2020).** Indebted to nature, Exploring biodiversity risks for the Dutch financial sector. *DeNederlandscheBank & Planbureau Voor de Leefomgeving*. https://www.dnb.nl/media/4c3fqawd/indebted-to-nature.pdf

35. **van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011).** The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, *109*(1), Article 1. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z

36. **van Vuuren, D. P., Kriegler, E., O'Neill, B. C., Ebi, K. L., Riahi, K., Carter, T. R., Edmonds, J., Hallegatte, S., Kram, T., Mathur, R., & Winkler, H. (2014).** A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture. *Climatic Change*, *122*(3), Article 3. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0906-1

37. **Waldron, A., Adams, V., Allan, J., Arnell, A., Asner, G., Atkinson, S., Baccini, A., Baillie, E., Balmford, A., Beau, J. A., Brander, L., Brondizio, E., Bruner, A., Burgess, N., Burkart, K., Butchart, S., Button, R., Carrasco, R., Cheung, W., … Zhang, Y. (2020).** *Protecting 30% of the planet for nature: Costs, benefits and economic implications*. 58.

38. **WWF. (2020).** *Living Planet Report 2020: Bending the Curve of Biodiversity Loss* (Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds)). https://livingplanet.panda.org/en-us/

法国开发署

地址：法国巴黎

罗兰·巴尔特街 5 号

邮编：75012

www.afd.fr

法国开发署是什么机构?

法国开发署（AFD）是一家负责资助、支持和促进世界向更公正和可持续方向过渡的公共机构。作为法国政府发展援助和可持续发展投资平台，我们与合作伙伴共为欠发达地区的人民共同制定解决方案。
我们的团队实地援助了法国海外领土以及 115 个国家/地区的 4000 多个与气候、生物多样性、和平、男女平等、 教育以及医疗相关并涉及人类共同利益的项目。
通过这样的方式，我们为法国和法国人民在实现可持续发展目标方面贡献一份力量。
为了共同的世界。

出版总监：何睿欧（Rémy Rioux ）
编辑总监： Thomas Mélonio
平面设计：MeMo Juliegilles D. Cazeils
由法国开发署复印服务部印刷。
法定送存：2022。
ISSN：2680-5448。
其他政策文件系列出版物请查阅：https://www.afd.fr/en/ressources-accueil