•保护论坛•

IPBES框架下生物多样性和生态系统服务情景和模型方法评估及对我国的影响

潘玉雪 田 瑜* 徐 靖 张博雅 李俊生

(中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012)

摘要: 随着国际社会对生物多样性保护关注度的提升, 生物多样性和生态系统服务情景和模型方法逐渐成为国际进程和条约关注的焦点问题。生物多样性和生态系统服务政府间科学-政策平台(Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)将“生物多样性和生态系统服务情景和模型方法评估”列入2014–2018年工作方案, 作为IPBES首批评估活动之一, 其评估报告及决策者摘要已在IPBES第四次全体会议上获得通过。本文概述了该评估报告的主要内容和结论, 探讨了报告与其他国际进程的关系及其可能对中国的影响。该报告梳理了国际上现有的生物多样性和生态系统服务相关情景和模型方法, 综合分析了它们的优缺点、适用范围和限制条件, 提出了使用过程中应对数据和知识空缺的方法, 为制定、使用及优化情景和模型提供了指导。IPBES的一系列评估报告将引领生物多样性和生态系统服务相关科学领域的发展, 为各国在生物多样性领域进行对话、权衡与博弈, 实现本国利益最大化提供一个高效的平台。中国作为一个发展中的生物多样性大国, 积极参与、发声必然是应对IPBES未来发展的最优方式。

关键词: 生物多样性; 生态系统服务; 情景; 模型; IPBES

Methodological assessment on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services and impacts on China within the IPBES framework

Yuxue Pan, Yu Tian*, Jing Xu, Boya Zhang, Junsheng Li

Biodiversity Research Center, Chinese Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

Abstract: With increasing international concern for biodiversity conservation, biodiversity and ecosystem services-related scenarios and models have become the foci of international processes and treaties. The Methodological Assessment on Scenarios and Models of Biodiversity and Ecosystem Services was included in the 2014–2018 Work Program of Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) as one of the first rounds of rapid assessment activities. The assessment report and its Summary for Policymakers were adopted at the Fourth Session of the IPBES Plenary. This research summarizes the assessment report through its main contents and conclusions based on the IPBES framework, and also explores the relationship between IPBES deliverables and other international processes, and possible impacts on policy making in China. The report provided a comprehensive analysis of the existing scenarios and models of biodiversity and ecosystem services, and also provided corresponding solutions for coping with data and knowledge gaps, as well as guidance for the development, use, and optimization of scenarios and models. IPBES assessments have been ushering in the development of biodiversity science and ecosystem services, offering an efficient platform for countries to undertake communication, and provide trade-offs and gains in the field of biodiversity to maximize their own interests. As a developing country with rich biodiversity, China is bound to actively participate in activities of IPBES and use its own voice, which would be an ideal way to deal with the future development of IPBES.

Key words: biodiversity; ecosystem services; scenarios; models; IPBES

收稿日期: 2017-08-28; 接受日期: 2017-11-05

基金项目: 环保部生物多样性调查与评估专项(2096001006)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: tianyu@craes.org.cn

生物多样性和生态系统是人类赖以生存和发展的基础,是社会稳定和可持续发展的根本保障。开展生物多样性和生态系统服务现状和驱动因素的分析,模拟和预测其未来趋势,可为各国政府制定保护战略、提出保护措施、开展保护行动提供重要的科学依据,对全球生物多样性的保护和可持续发展目标的实现具有重要意义。

随着国际社会对该问题关注度的提升,生物多样性和生态系统服务情景模拟逐渐成为《生物多样性公约》(Convention on Biological Diversity, CBD)、生态系统与生物多样性经济学(The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB)和联合国千年发展目标(Millennium Development Goals, MDGs)等国际进程和国际条约的首选技术方法。法国、墨西哥、国际科学理事会(International Council for Science, ICSU)与联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)等机构在生物多样性和生态系统服务政府间科学-政策平台(Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)第二届全体会议上提出,对未来社会经济发展的情景模拟和模型预测是所有环境评估的关键,研究和梳理生物多样性和生态系统服务情景和模型评估方法具有重要意义。IPBES将“生物多样性和生态系统服务情景和模型方法评估”列入2014–2018年工作方案,作为IPBES首批评估活动之一,于2014年初组织各国专家开展该项工作(Díaz et al, 2015a; 田瑜等, 2015, 2016)。2016年8月25日,该评估报告及其决策者摘要在法国蒙彼利埃正式发布。

本文将在IPBES框架基础上,通过对生物多样性和生态系统服务情景和模型方法评估进行概述和分析,探讨其对IPBES的影响及其与其他国际进程的关系,并结合我国国情分析该评估可能对中国产生的影响,提出对我国未来工作的建议。

1 评估的主要内容和结论

情景是指自然及其对人类贡献的变化驱动因素(包括备选政策或管理方案)未来的可能趋势;模型则是指利用这些情景对所研究的目标系统内各组成部分之间的关系进行定性或定量描述(Tucker et al, 2009)。两者相互结合,在充分考虑社会经济体制背景下,最大化地利用科学和土著与地方知识,

预测生物多样性和生态系统服务的变化趋势,可为制定恢复生物多样性和生态系统服务的政策及措施提供科学依据和决策支持(O'Neill et al, 2014; Díaz et al, 2015b)。此外,情景和模型方法评估还将为IPBES开展专题、区域和全球评估提供工具和方法。

IPBES情景和模型方法评估的主要内容包括:现有生物多样性和生态系统服务相关的情景和模型,包括IMAGE模型(Stehfest et al, 2014)、EwE模型(Christensen et al, 2005)、ARIES模型(Villa et al, 2014)、InVEST模型(Sharp et al, 2015)和TESSA模型(Peh et al, 2013)等方法的比较(附录1),情景和模型相关的数据和知识缺口的弥补方法,以及制定、使用与优化情景和模型的建议。评估报告考虑了政策周期不同阶段(目标设置、政策设计、政策执行及政策审查等阶段)的两种情景类型,包括:(1)“探索性情景”,即基于间接和直接驱动因素的变化趋势模拟未来的可能情景,在全球、区域和国家尺度评估中使用最为广泛;(2)“干预性情景”,利用“目标搜索”或“政策筛选”方法对备选政策及管理方案进行评估,为政策设计和实施提供支持,主要应用于国家和地方尺度决策。评估报告重点分析的模型包括:预测间接驱动因素的变化对直接驱动因素的影响的模型、预测直接驱动因素的变化对自然的影响的模型,以及预测自然的变化对人类从自然获得的惠益的影响的模型。

IPBES情景和模型评估报告对全球相关情景和模型方法进行了梳理,包括《全球生物多样性展望》(Global Biodiversity Outlook, GBO)、政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)、千年生态系统评估(The Millennium Ecosystem Assessment, MA)、英国国家生态系统评估和湄公河干流水电建设战略性环境评估等,并对不同方法进行了批判性分析。情景和模型可用于不同尺度下(全球、区域及国家)的生物多样性及生态系统服务评估,预测各驱动因素对生物多样性、生态系统和社会的影响,帮助决策者获得清晰的决策背景和授权环境。值得注意的是,现有评估普遍缺乏相应的决策支持工具,如《全球生物多样性展望第四版(2014)》、《英国国家生态系统评估(2011)》等(表1)。

情景与模型种类多样,使用时应充分考虑时空尺度、决策背景、使用者身份等因素,确定其适用

范围、限制条件,明确不确定性的来源和水平,并结合多个情景和模型,模拟拟议政策干预手段和驱动因素在不同尺度上的应用情景(表1)。同时,需要邀请政策制定者、执行者和其他利益攸关方(包括土著和地方知识持有者)共同参与情景和模型的制定和分析过程(Villarreal et al, 2013; Ferrier et al, 2016)。此外,在涉及多尺度的政策时,可考虑利用土著和地方知识来弥补全局信息缺口,最大可能地完善情景和模型,减小模拟结果的不确定性(Tha-

man et al, 2013; Yue et al, 2016)。

目前,情景和模型的使用十分广泛,但其在开发和使用方面仍面临着重大挑战,主要包括:(1)政策制定者和情景模型使用者对不同情景和模型的优势和限制缺乏了解,不能充分考虑到时空尺度的差异(O'Neill et al, 2014);(2)缺乏制定情景与开发模型专家、技术和数据,限制了情景和模型的开发;(3)科学家、利益攸关方和政策制定者的参与度和互动不足,难以制定和开发出对政策制定形成较强支撑

表1 生物多样性和生态系统服务情景和模型应用实践(修改自Ferrier et al, 2016)

Table 1 Application practices of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services (adopted from Ferrier et al, 2016)

不同空间尺度的应用 Application at different spatial scales	全球 Global	国家: 英国 National: United Kingdom	区域: 涵盖柬埔寨、中国、老挝、泰国和越南 Regional: analysis covers Cambodia, China, Laos, Thailand and Viet Nam	国家 南非 National: Coastal fisheries of South Africa
使用情景和模型解决的问题 Issues addressed using scenarios and models	爱知目标能否在2020年前完成? 达成2050年《生物多样性公约》的战略远景需要什么? Are the Aichi Biodiversity Targets likely to be attained by 2020? What is needed to achieve the strategic vision for 2050 of the Convention on Biological Diversity?	50年后, 英国的生态系统、生态系统服务和价值将会出现怎样的变化? What changes might occur in ecosystems, ecosystem services and the values of these services over the next 50 years in the United Kingdom?	评估大坝工程, 特别是湄公河干流的工程造成的社会和环境的影响 Evaluating social and environmental impacts of dam construction, especially in the main stream of the Mekong River	可持续渔业管理政策的实施 Implementation of policy on sustainable management of fisheries
开展的项目 Projects	《全球生物多样性展望第四版(2014)》 Global Biodiversity Outlook 4 (2014)	《英国国家生态系统评估(2011)》 United Kingdom National Ecosystem Assessment (2011)	《湄公河干流水电建设战略性环境评估》 Strategic Environmental Assessment of Hydropower on the Mekong Mainstream	《南非渔业管理》 South African Fisheries Management
时间范围 Time horizons	至2020年、2050年 Present–2020, 2050	2060年 2060	2030年 2030	至2034年, 每2–4年更新一次 Present–2034, updated every 2–4 years
决策支持工具 Decision-support tools	无 None	无, 但正在开发工具 None, but tools are being developed	战略性环境评估方法 Strategic environmental assessment methods	管理战略评估 Management strategy evaluation
优势 Strengths	(1)在短期项目中创造性使用推断方法; (2) 清晰的决策背景和授权环境。 (1) Novel use of extrapolations for nearterm projections; (2) Clear decision context and authorizing environment	重点关注生态系统服务之间的协同增效和权衡取舍以及价值评估 Focusing on synergies and trade-offs between ecosystem services and on monetary evaluation	(1)清晰的决策背景和授权环境; (2)利益攸关方的大力参与 (1) Clear decision context and authorizing environment; (2) Strong involvement of stakeholders	(1)清晰的决策背景和授权环境; (2)政策和管理建议清晰, 且定期更新 (1) Clear decision context and authorizing environment; (2) Policy and management advice clear and updated regularly
劣势 Weaknesses	(1)重点关注全球尺度评估, 不适用于国家和地方决策背景; (2)缺乏普适性的情景和驱动因素模型, 难以开展跨目标分析 (1) Focusing on global scale limits applicability to many national and local decision contexts; (2) Lack of common scenarios and models of drivers makes analysis across targets difficult	(1)严重依赖驱动因素影响的定性评估 (2)未充分体现物种水平上的生物多样性(仅有鸟类) (1) Heavy reliance on qualitative estimates of impacts of drivers; (2) Biodiversity at species level weakly represented (only birds)	(1)情景过于特殊, 尤其是使用的经验模型, 因此很难推广或外推到更大尺度; (2)湄公河委员会的建议不具备约束力 (1) Highly context-specific, especially the empirical models used, and therefore difficult to generalize or extrapolate to larger scales; (2) Mekong River Commission recommendations non-binding	(1)情景过于特殊; (2)未考虑若干关键驱动因素(如气候变化) (1) Highly context-specific; (2) Several key drivers (e.g., climate change) not considered

的情景和模型; (4) 缺少模型选择指南, 情景和模型的开发过程不透明; (5) 模型使用和结果分析过程中存在不确定性。尽管如此, 通过针对情景和模型相关研究缺口的合理投资, 支持和促进各国开展制定和使用情景和模型的能力建设, 上述困难将有望得以克服。

2 评估对IPBES的影响

IPBES的基本职能包括创造新知识、开展评估、政策支持和能力建设, 生物多样性和生态系统服务情景和模型方法评估将作为IPBES所有评估中情景和模型方法的使用指南, 与IPBES的4个职能直接相关。

首先, 情景和模型方法评估梳理了现有生物多样性和生态系统服务相关的情景和模型方法, 针对与情景和模型相关的数据、知识、方法和工具方面的缺口, 提出了相应的弥补方法。评估通过开发模型和制定未来社会经济发展情景, 推动新知识的产生, 并确定了用于评价各情景和模型质量的标准, 有助于IPBES实现创造新知识这一职能。

其次, 情景和模型评估通过梳理现有情景分析和模型方法在不同尺度上的使用情况, 评估了其在决策中的重要作用, 明确了不同情景和模型的质量评价标准及不确定性来源; 同时比较了不同的情景和模型的兼容性和优缺点, 为决策者合理选择情景和模型, 制定和完善政策和管理方案提供参考。此外, 评估还为IPBES正在开展的各项专题评估、区域和全球评估提供了科学方法和工具。

第三, 评估通过将情景和模型与决策支持工具相结合, 帮助决策者更好地了解未来全球变化(如土地利用变化、外来入侵物种、气候变化等)趋势及其影响, 为制定适应性管理战略提供决策支持。评估加强了科学与政策的对话途径, 有利于摆脱现行的被动决策模式, 转而积极主动地探索利于生态保护的政策方案, 通过提前预测未来情景, 帮助决策者模拟采用不同的适应性管理战略所能达到的政策效果, 最大程度地减少不利影响。

最后, 该评估关于情景和模型方法的应用分析, 对知识缺口的明确与补充, 以及针对存在的问题提出的相关建议, 有效地指导了平台的能力建设, 为发展中国家制定、使用和阐释情景和模型提供了方法, 同时提高了国与国之间评估的可比性, 为实现

生物多样性的可持续利用做出了贡献。

3 与其他相关国际进程的关系

IPBES的成立使更多的科学筹码加入到政治博弈当中, 将催生更多有益于人类福祉的国际政治决策(Hove & Chabason, 2009; Hotes & Opgenoorth, 2014)。IPBES致力于通过科学评估的形式督促国际社会制定相应政策, 解决生物多样性衰退的全球问题。情景和模型评估作为一项更加偏重技术性的方法评估, 为各成员国提供了一套可用于政策制定与筛选的最佳实践工具包。在CBD第十三届缔约方大会上, 决议高度认可了情景与模型评估对第五版《全球生物多样性展望》的贡献, 并将情景与模型评估报告列为最佳科学信息之一, 鼓励政府在决策中积极利用情景和模型工具。同时, 《生物多样性公约》科学、技术和工艺咨询附属机构(SBSTTA)充分肯定了情景和模型评估的重要性, 鼓励科学界进一步开发情景和模型, 创造更加科学可信的政策支持工具。

此外, 政府间气候变化专门委员会(IPCC)、千年生态系统评估(MA)、《全球生物多样性展望》(GBO), 以及《全球沙漠展望》(GDO)均有涉及情景和模型方法的使用与分析。如IPCC在其2000年发布的《排放情景特别报告》(SRES)中提出了“排放情景”, 反映人口、经济增长以及能源结构对排放的影响, 但SRES在实际评估中存在一定缺陷。随后IPCC提出了替代情景, 即典型浓度路径(RCPs)和共享社会经济路径(SSPs)。在此基础上, IPBES提出将SSPs作为IPBES和IPCC的公共资源加以应用, 制定了一套符合IPBES平台具体需求的多尺度情景。不排除未来IPCC考虑采纳IPBES情景和模型评估报告提供的方法和工具的可能。

作为IPBES正式发布的首项方法评估, 情景与模型评估报告完成了关于情景分析和模型方法的评估目标, 响应了法国、墨西哥、国际科学理事会(ICSU)和联合国环境规划署(UNEP)等成员国和利益攸关方的评估请求, 为其他国际进程开展评估提供了分析工具与标准, 同时也为国际谈判提供了科学支撑。该报告将作为生物多样性和生态系统服务领域的重要科学信息源之一, 有助于提高生物多样性和生态系统服务议题在国际政治议程中的排序。

4 对我国可能产生的影响

随着CBD、《濒危野生动植物物种国际贸易公约》、《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》等国际条约对IPBES情景和模型评估结果的认可, IPBES正在逐步成为生物多样性和生态系统服务领域多边环境协议谈判的科学基础和依据, 同时也对多边环境协议的谈判和履约进程产生了极大影响。IPBES无疑是国际环境领域竞争与合作的重要平台, 其评估内容很可能成为未来环境与可持续发展领域重要的政治经济利益热点、难点及焦点, 引发新一轮的环境、政治、经济利益之间的权衡与博弈。中国已经意识到作为环境大国, 保护生物多样性对于解决世界环境问题的重要影响, 履行环境公约将是落实一系列重要国际战略思想、发挥负责任大国作用的重要窗口。作为一个发展中的生物多样性大国, 积极参与其中、发出自己的声音必然是应对IPBES未来发展的最优方式。

就中国目前而言, 在十三五全面建成小康社会、实现第一个百年奋斗目标的决胜期, 正是生态文明建设和环境保护取得实质性进展的关键机遇期。IPBES情景和模型评估报告的发布, 为实施生物多样性国家战略和行动计划提供了指导, 为中央及地方政府制定和优化相关政策及决策提供科学支撑, 同时也为十四五规划制定过程中的情景预测和政策优化提供参考。

2020年《生物多样性公约》第十五届缔约方大会将由中国主办, 并将为全球下一阶段(2020–2030年)的生物多样性保护制定规划和方向。情景和模型评估的发布, 为我国模拟和预测未来生物多样性和生态系统变化趋势, 确定2030年全球生物多样性目标提供了工具。深入解读和合理利用IPBES情景和模型评估报告将为我国未来履行《生物多样性公约》提供强有力的科学与技术支撑。

5 对我国相关工作的建议

MA和《全球环境展望》(GEO)的区域评估以及GEO的国家评估(如在英国和巴西开展的评估)均采用了一致的情景设定, 在建模分析中亦采用了统一的区域变量。然而中国对模型和情景分析方法的研究与国际水平还有一定差距, 研究基础较为薄弱, 对生态系统服务评估模型的开发和应用也还处于

起步阶段。因此, 我们建议采取以下措施:

首先, 开展情景和模型方法研究。中国目前已经开展了全国范围的多尺度生态系统服务评估与研究工作, 构建了基于“生物多样性–生态系统结构–过程与功能–服务”框架的评估指标体系和相应模型, 为中国生物多样性和生态系统服务的精确评估奠定了理论和技术基础(傅伯杰等, 2017; 于丹丹等, 2017)。同时, 我国专家通过参与IPBES评估报告的编写, 对耦合社会–生态系统组成部分之间的重要关系和相互影响的理解进一步加强, 并向IPBES推荐了新的情景和模型框架(Yue et al, 2016; 岳天祥, 2017)。但与国际水平相比还有一定差距。需要进一步地梳理和研究国际上广泛使用的情景和模型方法, 深入理解不同情景和模型的优缺点、适用范围和限制条件。通过对现有情景和模型的有效分析和整合, 结合中国生物多样性现状, 开发和优化新的情景和模型, 弥补情景制定和模型构建中存在的知识缺口, 明确不确定性的来源、评估标准和水平, 提升相应情景和模型的置信度。

其次, 开展情景和模型政策工具研究。国际上已经开发了多种政策支持工具方法。如泰国利用政策筛选情景、驱动因素影响模型, 结合资源投资优化系统(RIOS)工具, 识别了开展森林保护、造林和混合耕作的最优区域, 并确定了基于“流域服务”支付的环境保护费(Trisurat, 2013)。而我国在将政策和管理需求转化为具体可行的情景和模型方面还有所欠缺。中国幅员辽阔, 多样化的自然及人文环境导致了对政策和管理需求的区域差异性, 这就要求决策者加强与科学家的交流与协作, 针对我国生物多样性保护现状, 充分考虑特定的政策和决策背景, 将IPBES情景分析和建模方法切实纳入到决策过程中。如在“一带一路”建设的规划设计(包括其整体设计、管理措施等)上, 涉及了多景观多尺度, 应考虑采用灵活度高、可操作性强的模型开展模拟与预测; 在生态红线划定、国家公园规划等地方尺度问题上, 可考虑应用准确性和灵敏度高的过程模型, 如InVEST模型(Sharp et al, 2015)等。

最后, 开展制定和使用情景和模型的能力建设。能力建设是IPBES的四项基本职能之一, IPBES全体会议设立有专门的能力建设工作队。IPBES在开展情景和模型评估过程中, 也进行了相应的能力

建设。中国在参与IPBES情景和模型评估的同时,通过参加培训、交流访问和网络论坛等形式,对情景和模型的制定和使用有了更加深入的理解。但是目前国内研究普遍引用国际上已有情景和模型,或是应用时加以优化,却缺乏自主创新,情景和模型在政策和管理中的使用更是少之又少。要加强能力建设,推广不同情景和模型的使用方法,从而推动开发新的情景分析和建模工具和方法。建议建立情景和模型数据库,构建政策支持工具平台,实现信息和数据的集成和共享,促进模型和情景的公开获取;同时针对不同受众(科学家、决策者等),研发相应的外推工具,利用研讨会、论坛等形式,开展培训,交流经验,从而扩大情景和模型在决策过程中的使用频度和影响力。

参考文献

- Christensen V, Walters CJ, Pauly D (2005) *Ecopath with Ecosim: A User's Guide*. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver.
- Díaz S, Demissew S, Carabias J (2015a) The IPBES conceptual framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16.
- Díaz S, Demissew S, Joly C, Lonsdale WM, Larigauderie A (2015b) A Rosetta Stone for nature's benefits to people. *PLoS Biology*, 13, e1002040.
- Ferrier S, Ninan KN, Leadley P, Alkemade R, Acosta LA, Akcakaya HR, Brotons L, Cheung WWL, Christensen V, Harhash KA, Kabubo-Mariara J, Lundquist C, Obersteiner M, Pereira HM, Peterson G, Pichs-Madruga R, Ravindranath N, Rondinini C, Wintle BA (2016) *The Methodological Assessment Report on Scenarios and Models of Biodiversity and Ecosystem Services*. Secretariat of the Intergovernmental Platform for Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- Fu BJ, Yu DD, Lü N (2017) An indicator system for biodiversity and ecosystem services evaluation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 37, 341–348. (in Chinese with English abstract) [傅伯杰, 于丹丹, 吕楠 (2017) 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. *生态学报*, 37, 341–348.]
- Hotes S, Opgenoorth L (2014) Trust and control at the Science–Policy Interface in IPBES. *BioScience*, 64, 277–278.
- Hove SVD, Chabason L (2009) The Debate on an Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) Exploring Gaps and Needs. Institut Du Développement Durable Et Des Relations Internationales, http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/Id_090104_gap_analysis-4Feb.pdf (accessed on 2017-9-28)
- O'Neill BC, Kriegler E, Riahi K, Ebi KL, Hallegatte S, Carter TR, Mathur R, Vuuren DPV (2014) A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122, 401–414.
- Peh KSH, Balmford A, Bradbury RB, Brown C, Butchart SHM, Hughes FMR, Stattersfield A, Thomas DHL, Walpole M, Bayliss J, Gowing D, Jones JPG, Lewis SL, Mulligan M, Pandeya B, Stratford C, Thompson JR, Turner K, Vira B, Willcock S, Birch JC (2013) TESSA: a toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance. *Ecosystem Services*, 5, 51–57.
- Sharp R, Tallis HT, Ricketts T, Guerry AD, Wood SA, Chaplin-Kramer R, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Arkema K, Lonsdorf E, Kennedy C, Verutes G, Kim CK, Guannel G, Papenfus M, Toft J, Marsik M, Bernhardt J, Griffin R, Glowinski K, Chaumont N, Perelman A, Lacayo M, Mandle L, Hamel P, Vogl AL (2015) *InVEST + VERSION + User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Stehfest E, Vuuren D, Kram T, Bouwman A, Alkemade R, Bakkenes M, Biemans H, Bouwman A, Elzen M, Janse J, Lucas P, van Minnen J, Müller M, Prins A (2014) *Integrated Assessment of Global Environmental Change With IMAGE 3.0: Model Description and Policy Applications*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Thaman R, Lyver P, Mpande R, Perez E, Cariño J, Takeuchi K (2013) *The Contribution of Indigenous and Local Knowledge Systems to IPBES: Building Synergies With Science*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.
- Tian Y, Lan CZ, Xu J, Li XS, Li JS (2016), Assessment of pollination and China's implementation strategies within the IPBES framework. *Biodiversity Science*, 24, 1084–1090. (in Chinese with English abstract) [田瑜, 兰存子, 徐靖, 李秀山, 李俊生 (2016) IPBES框架下的全球传粉评估及我国对策. *生物多样性*, 24, 1084–1090.]
- Tian Y, Li JS, Lan CZ, Li XS (2015) Interpretation of the work programme of Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services for the period 2014–2018. *Biodiversity Science*, 23, 543–549. (in Chinese with English abstract) [田瑜, 李俊生, 兰存子, 李秀山 (2015) 生物多样性和生态系统服务政府间科学–政策平台2014–2018年工作方案解析. *生物多样性*, 23, 543–549.]
- Trisurat Y (2013) *Ecological Assessment: Assessing Conditions and Trends of Ecosystem Services of Thadee Watershed, Nakhon Si Thammarat Province*. Final Report Submitted to the ECO-BEST Project. Bangkok, Faculty of Forestry, Kasetsart University. (in Thai with English abstract)
- Tucker GM, Mcconville AJ, McCoy K, Brink P, Braat LC, Arets E, Bräuer I, Gerdes H, Grunig M (2009) *Scenarios and models for exploring future trends of biodiversity and ecosystem services changes*. Final Report to the European

- Commission, DG Environment on Contract. Nuclear Fusion, 16, 16–17.
- Villa F, Bagstad KJ, Voigt B, Johnson GW, Portela R, Honzák M, Batker D (2014) A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. PLoS ONE, 9, e91001.
- Villarreal ML, Norman LM, Boykin KG, Wallace CSA (2013) Biodiversity losses and conservation trade-offs: assessing future urban growth scenarios for a North American trade corridor. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 9, 90–103.
- Yu DD, Lü N, Fu BJ (2017) Indicator systems and methods for evaluating biodiversity and ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 37, 349–357. (in Chinese with English abstract) [于丹丹, 吕楠, 傅伯杰 (2017) 生物多样性与生态系统服务评估指标与方法. 生态学报, 37, 349–357.]
- Yue TX (2017) Principles and Methods for Simulating Earth's Surface Systems. Science Press, Beijing. (in Chinese) [岳天祥 (2017) 地球表层系统模拟分析原理与方法. 科学出版社, 北京.]
- Yue TX, Liu Y, Zhao MW, Du ZP, Zhao N (2016) A fundamental theorem of Earth's surface modelling. Environmental Earth Sciences, 75, 751.
- Yue TX, Wang YF, Du ZP, Zhao MW, Zhang LL, Zhao N, Lou M, Larocque GR, Wilson J (2016) Analyzing the uncertainty of estimating forest carbon stocks in China. Biogeosciences, 13, 3991–4004.
- (责任编辑: 薛达元 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 生态系统服务主要模型的不完全举例说明

Appendix 1 Illustrative and non-exhaustive examples of major models of ecosystem services

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017228-1.pdf>

潘玉雪, 田瑜, 徐靖, 张博雅, 李俊生. IPBES框架下生物多样性和生态系统服务情景和模型方法评估及对我国的影响. 生物多样性, 2018, 26(1): 89–95.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2017228>

附录1 生态系统服务主要模型的不完全举例说明
Appendix 1 Illustrative and non-exhaustive examples of major models of ecosystem services

工具 Tool	模型类别 Model type	空间及时间范围 Spatial and temporal extent	易用性 Ease of use	实验群落大小 Community of practice	灵活度 Flexibility	参考资料 Reference
IMAGE模型 IMAGE model	过程 Process	全球、动态 Global, dynamic	困难 Difficult	小 Small	低 Low	Stehfest et al, 2014
EwE模型 Ecopath with Ecosim model	过程 Process	区域、动态 Regional, dynamic	中 Medium	大 Large	高 High	Christensen et al, 2005
ARIES模型 ARIES model	专家 Expert	区域、动态 Regional, dynamic	困难 Difficult	小 Small	高 High	Villa et al, 2014
InVEST模型 InVEST model	过程及相关 Process and correlative	区域、静态 Regional, static	中 Medium	大 Large	中 Medium	Sharp et al, 2015
TESSA模型 TESSA model	专家 Export	地方、静态 Local, static	容易 Easy	小 Small	低 Low	Peh et al, 2013

引自 Ferrier et al, 2016