

浅析地质多样性对生态系统服务的作用与贡献

■ 余韵/杨建锋

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要：地质多样性与生物多样性一起构成了地球的自然多样性。地质多样性支撑并提供许多重要的生态系统服务，为其管理提供信息。但是在生态系统方法以及相应的国际政策中对地质多样性的认知比较混乱，表述不一致，现有生态系统服务及其评估分类缺失了地质多样性的内容。地质多样性维护着自然生态系统的稳定性，地质多样性的作用与贡献不可低估或忽视，分析地质系统为人类提供5类产品与服务的影响，有益于推动生态系统服务评估方法的改进。

关键词：地质多样性；地质系统服务；生态系统服务；生态系统服务评估

中图分类号：F407.1；F062.1 文献标识码：A 文章编号：1672-6995 (2021) 04-0023-06

DOI：10.19676/j.cnki.1672-6995.000554

An Analysis of the Role and Contribution of Geodiversity in Delivering Ecosystem Services

YU Yun, YANG Jianfeng

(Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037)

Abstract: Geodiversity, together with biodiversity, constitutes the Earth's natural diversity. Geodiversity underpins and delivers many vital ecosystem services and informs their management. However, geodiversity is confused and inconsistently expressed in ecosystem approach and corresponding international policy, and is missing from the existing classification of ecosystem assessment. We find that the role and contribution of geodiversity cannot be underestimated or ignored. Geodiversity maintains the stability of natural ecosystems. We analyzes the impact of the geosystem provide human beings with five types of products and services, thereby contributing to the improvement of ecosystem service assessment methodologies.

Key words: geodiversity; geosystem services; ecosystem services; ecosystem services assessment

0 引言

地质多样性 (Geodiversity) 是地球表面和地下物质、形态和过程的非生物多样性。地质多样性与生物多样性一起构成地球的自然多样性，为人类带来生态系统产品和服务。因此，有必要充分认识地质多样性对生态系统服务的贡献及其维护自然生态系统稳定性的意义。本文侧重分析古环境记录、动态地貌过程等因素对生态系统及其服务的影响，聚焦分析生态系统变化的地质多样性驱动力，从而改

进生态系统研究方法。

生态系统服务的概念出现于1980年代。自那时起，关于生态系统服务的价值和人类社会重要性的文献显著增加 (Daily, 1993^[1]; Daily等人, 2009^[2]; MA, 2005^[3]; TEEB, 2010^[4]; De Groot等人, 2010^[5]; Cornell, 2011^[6])。学界认为，“自然资本”带来了有益于人类社会的产品和服务。最初，这些福祉被称为“自然服务”，现在通常被称为“生态系统服务”，即人类从整个自然界中获得的产品和

收稿日期：2020-11-06；修回日期：2020-11-13

▲ 基金项目：中国地质调查项目“全国地质勘查进展与行业形势监测评估” (DD20190669)

▲ 作者简介：余韵 (1984—)，女，湖北省荆州市人，中国地质调查局发展研究中心副研究员，工学博士，主要从事资源经济学研究工作。

服务。1993年，Daily在题为《自然服务：人类社会对自然生态系统的依赖》的开创性著作中首次使用了“生态系统”一词。随后，“生态系统”这一术语被广泛使用。《千年生态系统评估》将“生态系统”定义为：“由植物、动物和微生物群落，以及无机环境相互作用而构成的一个动态、复杂的功能单元。”^[7]该定义关于生态系统中的非生物要素，仅限于与生物要素相互作用的部分，但客观事实是许多与地质有关的服务却不涉及生物交互作用，因此，“生态系统”定义对自然整体价值的认识是有限的。然而，在理论文献和研究实践中，“生态系统”一词已经被牢固地确立，“生态系统服务”也得到广泛认可。

Van Ree等(2017)^[8]指出，自然系统同时依赖于非生物流和生物流，但生态系统服务领域在处理非生物特性的作用存在模糊性。生态系统服务的理论化，主要是由生物学家和生态学家推动的，因此，在发展过程中，重点主要放在地球表面的生物多样性和生物流方面。近年来，学界出现了质疑生态系统服务评估全面性的辩论(GRAY, 2004^[9]; GRAY等人, 2013^[10]; GRAY, 2018^[11])。《千年生态系统评估》(MA, 2005)^[3]的分类系统仅包括与生物流相互作用的非生物流，而未包括没有相互作用的非生物流，忽视了非生物流潜在的重要经济价值和影响，进而忽略了生物生态系统服务和非生物资源之间的关键权衡。因此，在自然资源管理实践中，需要充分考虑地球表面和地下非生物资源的积极贡献或消极作用。

我们认为，应该在生态系统服务评估中明确显示地质多样性提供的服务，从而为全球生态系统提供更全面和更具包容性的描述，并明晰人类对自然形态和功能的影响。

1 现有生态系统服务与地质多样性关系研究

虽然自然界由生物和非生物要素组成，但令人遗憾的是，本文在梳理相关理论研究和管理实践成果时，发现一个突出的问题值得关注：地质多样性在生态系统理论以及相应的国际政策中的认知比较混乱，表述不一致，甚至是缺失的。在生态系统服

务方法的非生物要素中，对地质系统服务的描述不足，往往将地质学排除在外。

1.1 生态系统服务方法与地质多样性

Costanza等(1997)^[12]量化生态系统服务价值时提到：“只包括可再生生态系统服务，不包括不可再生燃料和矿产。”Milton(2002)^[13]认为“自然的多样性通常被认为是生命自然的多样性”。这些表述显然忽略了自然多样性中非生物多样性的重要性。Diaz等(2015)^[14]指出，“非生命自然资源被视为自然的一部分，但其直接福祉并不是生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台(IPBES)的重点”。自然对人类社会全部的重要性和价值被低估(Gray, 2018^[11])。由此导致对空间规划、环境政策制定和长期生态系统管理的决策产生了负面影响。Gray等(2013)^[10]指出，地球科学应用与如何处理生态系统服务之间存在不匹配的问题。

1.2 生态系统服务分类与地质多样性

近年来，国际上主要出现了三种生态系统服务分类系统：《千年生态系统评估》(2005)^[3]；《生态系统和生物多样性经济学》(TEEB, 2010)^[4]；《生态系统服务国际通用分类》(CICES, 2018)。我们发现，从最早的《千年生态系统评估》提出评估分类至今，几乎所有涉及生态系统服务的研究都似乎无意识地排除了地球科学，因为这些研究仅局限于生物服务。

千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment, 缩写为MA)^[3]是由联合国于2001年启动，2005年发布主要评估报告，其目标是满足决策者在生态系统变化与人类福祉之间的相互联系方面对科学信息的需求。这些收益被描述为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务。其定义的生态系统中的非生物要素仅限于与生物要素相互作用的部分，而许多与地质有关的服务不涉及生物交互作用。比如千年生态系统评估的供给服务，除淡水外均为生物服务，但是工业矿物、金属、能源或宝石等也为人类社会提供了重要的服务。

《生态系统和生物多样性经济学》(TEEB,

2010)^[4]重点研究“生物多样性的全球经济效益、生物多样性丧失的代价和未能采取保护措施与有效保护的代价”。德国和俄罗斯开展国家层面的研究，侧重于从生态系统服务依赖性及其影响角度评估国家政策重点(Bukvareva等, 2015)^[15]。目前采用的“生态系统服务”方法是以生物为基础的，并没有公平对待地质多样性提供的服务。

《生态系统服务国际通用分类》(CICES)试图将自然科学和经济学的观点融合为一个仍在发展中的新系统，最初完全忽略了非生物性(Haines-Young和Potschin, 2012)^[16]，声称：“生态系统的产出从根本上取决于生命过程的东西”。因此，《生态系统服务国际通用分类》认为：“自然的非生物产出不被视为生态系统服务”。围绕物理环境的几种文化服务也是如此，这些文化服务也包括在《生态系统服务国际通用分类》中。这种文化服务的一个例子是，在非退化的潮湿和厌氧条件下通过埋存来保存人类居住区和日常生活中所使用工具的残留物。受到批评之后，最新版本《生态系统服务国际通用分类》提供了“非生物扩展”，其中列出35种非生物服务，但与生物部分的表格是分开的。尽管非生物服务被当做是“扩展”，而非平等的合作伙伴，并且不够全面，当还是向前迈进了一步。在用户调查中，大多数人认为非生物服务应当被整合进入《生态系统服务国际通用分类》系统。

《英国国家生态系统评估》(UKNEA, 2011)^[17]将地质多样性定义为“岩石、矿物、化石、地貌、沉积物和土壤的多样性”，这个定义中缺少了对形成过程的描述。此外，《英国国家生态系统评估》重点研究的是源自生态系统过程与生物相互作用的“生态系统服务”，并没有提供对纯粹非生物来源的“环境服务”的评估，例如从生态系统中提取的矿物质。Gray等(2013)^[10]发现《英国国家生态系统评估》中提到了许多非生物自然的例子，对水的处理也不一致，尽管它是非生物的，但仍包含在许多生态系统服务分类中。

2 地质多样性对生态系统服务的贡献分析

综上所述，生态系统服务评估中，对于非生物

服务和地质多样性对生态系统服务的贡献不能令人满意，存在不一致和令人困惑之处，但是如果将非生物服务和地质多样性排除在外，则必定发生从根本上低估整个自然对人类福祉贡献的风险。

生态系统与地质多样性是密不可分的，高生产力的生态系统及其服务，更是与高度富集的地质多样性密不可分的。评估生态系统的存量和流量，还需要评估其动态特征，即稳定性。地质多样性作为地球表面和地下的非生物多样性，通过岩石、水、土壤以及与自然的其他多样性的相互作用过程，影响生态系统稳定性。Hu等(2020)^[18]以西藏自治区墨脱县嘎隆山为例，证明地质过程对生态系统特性具有非常重要的作用，是通过与生物多样性和当代环境的相互作用，影响生态系统功能和稳定性的。地质多样性各要素和生物多样性等自然界其他多样性一起，为生态系统的稳定性提供保障。

当前分类体系各自有所不同。《千年生态系统评估》系统将服务分为4组：调节服务是自然过程调节环境的方式；支持服务是支持自然环境的过程；供给服务是社会使用的天然材料；文化服务是从精神或文化意义上使社会受益的自然环境的非有形收益。我们以《千年生态系统评估》分类为基础，来展示与地质多样性相关的产品和服务(表1)。依赖地质多样性，地质系统为生物与人类提供5个大类的产品与服务，所有这些服务都是基于地球是一个地质多样性系统这一事实而产生的(Gray, 2011)^[19]。

2.1 供给服务

地质多样性对生态系统的供给服务主要贡献是提供淡水、矿产资源、建筑材料和可再生能源。对食物、纤维、燃料、遗传资源和生物化学物质的其他贡献，主要通过营养物和土壤提供间接的服务。

2.2 调节服务

地质多样性对生命和现代社会存在的基本条件予以调节。例如碳循环是沉积岩中大量碳的保留及其向大气中的释放，受沉积和火山作用的调节。例如集水区的地质、地形、土壤和水文路径对水调节

表1 千年生态系统评估中服务和地质多样性提供福祉的案例

千年生态系统评估服务	生物作用和过程	地质作用和过程
供给服务	淡水	淡水
	食物	为食物、纤维、生物化学物、天然药材及药物提供必需的无机营养素
	纤维	
	生物化学物、天然药材及药物	
	遗传资源	可再生和不可再生能源
		非金属矿产
		金属矿产
	宝玉石材料	
调节服务	调节空气质量	调节空气质量
	调节气候	调节气候
	调节水源	调节水源
	控制水土侵蚀	控制水土侵蚀
	控制自然灾害	控制自然灾害
	控制疾病	控制疾病
	控制病虫害	岩石循环
	授粉	水循环
	调节水质（净化水源、废物处理）	调节水质（岩石和沉积物因环流而形成的水质）
		碳和其他生物地球化学循环
文化服务	精神和宗教价值	精神和宗教价值
	审美价值	审美价值
	休闲和生态旅游	休闲和地质旅游
		地质遗迹
		地球科学知识
		教育和培训
		环境监测与预测
支持服务	土壤形成	土壤形成
	养分循环	养分循环
		提供栖息地
		建立生态廊道
		基础设施
		城市发展的平台
		埋藏和储存

数据来源：作者基于《千年生态系统评估》和Gray等（2013）^[10]的分类和观点进行扩展。

很重要，而河道的地貌和沉积特征从根本上影响水质和栖息地可用性。主要的生态系统服务往往忽视河流地貌对人类福祉的贡献。地质因素通过岩石、土壤和水的成分及其对土壤、水和空气质量的影响，对人类和动物健康产生益处和害处。

2.3 支持服务

地质多样性对生态系统支持服务的主要贡献是栖息地的创造和维护，特别是通过土壤形成、生物地球化学循环和水循环，为废物处理和水质提供合适的场地，以及为建筑和基础设施提供土地。但

是当前保护管理的传统方法侧重于物种和保护区，地质多样性和生物多样性被分开处理，往往忽视了生态系统更广泛的功能和联系。通常缺乏基于地貌过程以及土壤和基质特性与条件知识的整合，这些知识有助于维持动态的栖息地、生态系统和景观。通过海岸保护、控制土壤侵蚀、滑坡以及洪水，地质多样性对侵蚀和自然灾害的调节做出了重大贡献（UKNEA, 2011）^[17]。然而，管理层的应对措施往往是通过当地工程作为解决方案，如河岸和海岸保护措施的不成功或对其他地方产生连锁反应，通常情况下，管理实践框架是基于人类的经验，而没有充分的地球科学证据（GARCIA, 2019）^[20]。可持续的解决方案包括与自然过程的协调，并依赖于有效应用地球科学知识，例如可以用基于过程的方法，来维持河流中的泥沙迁移或自然流态和漫滩重新连接。

2.4 文化服务

地质多样性对生态系统文化服务的主要贡献，是教育价值和知识资本、艺术灵感、审美价值、景观特征和当地感、文化遗产以及娱乐和生态旅游，主要体现物质环境对文化活动发展的贡献。

2.5 知识服务

地质多样性对生态系统的知识服务起到关键作用，包括地球历史、环境监测和预测、地质取证、教育和就业等。例如，地形、沉积物和古生态，记录过去生态系统服务和景观调整随时间变化而产生



的变化。汪品先和翦知（1990）《寻求高分辨率的古环境记录》^[21]一文的开篇写道：“恰如政治家需要从历史中吸取教训一样，科学家在预测人类社会生存环境的变化时，也要从古气候、古环境的研究中寻求类比、发现规律。”这些长期古环境记录也可以用来了解生态系统服务的趋势，并确定和提供未来各种可能情景和轨迹^[22]。古湖沼学在湖泊恢复和实际保护管理方面也发挥了重要作用^[23]。仲新等人（2020）通过报道张掖国家地质公园彩色丘陵地貌的岩石地层，从古生物化石角度探讨了红山湾层的古生态与古环境^[24]。孙阳等（2018）^[25]为了将湿地恢复到较为健康的状态，追溯历史时期湿地沉积硅藻记录及其古环境，分析湿地未受到人类活动影响或人类活动影响较小时期的生态特征，制定湿地恢复目标。

3 结论与讨论

生态系统服务概念不包括地质这一现实，既损害了有效结果的实现，也忽略了证明自然生物过程和非生物过程之间密切相关的科学知识。这些过程中的任何干扰，都可能独立于其生物或非生物自然面对其他过程造成影响。

地质多样性提供或支撑了生态系统许多重要的供给、调节、文化、支持和知识服务。地质多样性作为自然多样性的一种稀有或代表性组成部分具备内在重要性。我们以《千年生态系统评估》分类为基础，展示依赖地质多样性，地质系统为生物和人类提供的产品与服务的这五个大类。

自然资本方法通常包括地球科学，而生态系统服务方法通常有意识或无意地将地质排除在外。这令人迷惑，不仅前后矛盾并且不利于自然环境政策的制定和实施。首先，这意味着大自然给人类社会带来的全部福祉和价值没有得到完整的评估，并因此被低估。如果国际组织的目标是改变人类社会如何使用地球的范式，那么排除作为基本生命支持系统基础的自然界的非生命部分是极其不明智的。其次，由于地质多样性通常与生物多样性紧密相关，因此只有采用整体方法，才能了解自然过程和分布，从而采取适当的措施

管理和保护整个自然。

本文旨在清晰地展示地质多样性如何与生态系统相互联系。本文建议，解决上述困惑的途径，就是改进生态系统方法，促进地质多样性和生物多样

性成为自然政策中同等重要的要素，并强调这两者都将为社会福祉做出巨大贡献，包括生物和非生物元素在内的自然多样性是人类社会可持续发展的关键。

参考文献

- [1] GRETCHEN C DAILY. Nature's services, societal dependence on natural ecosystems[M]. Island Press, Washington DC., 1993.
- [2] GRETCHEN C DAILY, STEPHEN POLASKY, JOSHUA GOLDSTEIN, et al. Ecosystem services in decision making: time to deliver[J]. *Front Ecol Environ*, 2009, 7(1): 21-28.
- [3] MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and human well-being, synthesis, millennium ecosystem assessment(MEA)[M]. Island Press, Washington D.C., 2005.
- [4] THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY (TEEB). The economics of ecosystems and biodiversity, mainstreaming the economics of nature, a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB[M]. Earthscan, London and Washington, 2010.
- [5] DE GROOT, R. S., FISHER, B., et al. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation[M]. Earthscan, London and Washington, 2010.
- [6] SARAH CORNELL. The rise and rise of ecosystem services, is "value" the best bridging concept between society and the natural world? [J]. *Procedia Environ Sci*, 2011, 6: 88-95.
- [7] 张永民. 生态系统与人类福祉: 评估框架[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [8] REE C D F V C, BEUKERING J H V P, BOEKESTIJN J. Geosystem services, a hidden link in ecosystem management[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 58-69.
- [9] MURRAY GRAY. Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature 2004[M]. John Wiley & Sons, London, UK, 2004.
- [10] MURRAY GRAY, JOHN E. GORDON, ELEANOR J. BROWN. Geodiversity and the ecosystem approach, the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management[J]. *Proceedings of the Geologists' Association*, 2013, 124(4): 659-673.
- [11] MURRAY GRAY. The confused position of the geosciences within the "natural capital" and "ecosystem services" approaches[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 34: 106-112.
- [12] ROBERT COSTANZA, RALPH D'ARGE, RUDOLF DE GROOT, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [13] MILTON KAY. Loving nature, towards an ecology of emotion[M]. Routledge, London and New York, 2002.
- [14] SANDRA D AZ, SEBSEBE DEMISSEW, JULIA CARABIAS, et al. The ipbes conceptual framework—connecting nature and people[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015, 14: 1-16.
- [15] BUKVAREVA E N, GRUNEWALD K, BOBYLEV S N, et al. The current state of knowledge of ecosystems and ecosystem services in Russia: a status report[J]. *Ambio*, 2015, 44(6): 491-507.
- [16] HAINES-YOUNG, ROY, POTSCHIN-YOUNG, MARION. Common International classification of ecosystem services (CICES): consultation on version 4, August-December 2012[R]. EEA Framework Contract No. EEA/IEA/09/003, 2013.
- [17] UK NATIONAL ECOSYSTEM ASSESSMENT. The UK National Ecosystem Assessment, Synthesis of the Key Findings[R]. UNEP-WCMC, Cambridge, 2011.
- [18] HU ANG, WANG JIANJUN, SUN HANG, et al. Mountain biodiversity and ecosystem functions: interplay between geology and contemporary environments[J]. *ISME J*, 2020, 14(4): 931-944.
- [19] MURRAY GRAY. Other nature: geodiversity and geosystem services[J]. *Environ Conserv*, 2011, 38(3): 271-274.
- [20] MARIA DA GL RIA MOTTA GARCIA. Ecosystem services provided by geodiversity: preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the state of s o paulo, southeastern brazil[J]. *Geo heritage*, 2019, 11(3): 1257-1266.
- [21] 汪品先, 翦知. 寻求高分辨率的古环境记录[J]. *第四纪研究*, 1999(1): 3-5.
- [22] VEGAS-VILARR BIA T, RULL V, MONTOYA E, et al. Quaternary palaeoecology and nature conservation: a general review with examples from the neotropics[J]. *Quat Sci Rev*, 2011, 30(19): 2361-2388.
- [23] 羊向东, 董旭辉, 陈旭, 等. 长江经济带湖泊环境演变与保护、治理建议[J]. *中国科学院院刊*, 2020, 35(8): 977-987.
- [24] 仲新, 孙新春, 辜平阳, 等. 张掖国家地质公园白垩系下沟组叶肢介化石的发现及古生态与古环境[J]. *地球学报*, 2020(4): 543-553.
- [25] 孙阳, 王菊, 高传宇, 等. 湿地沉积硅藻记录及其古环境应用研究进展[J]. *湿地科学*, 2018, 16(4): 552-558.