

DOI: 10.5846/stxb201609271950

肖显静,何进.生态系统生态学研究的关键问题及趋势——从“整体论与还原论的争论”看.生态学报,2018,38(1):31-40.

Xiao X J, He J. Key problems and trends in the study of ecosystem ecology based on the debate of holism and reductionism. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38 (1): 31-40.

生态系统生态学研究的关键问题及趋势 ——从“整体论与还原论的争论”看

肖显静^{1,*}, 何 进²

¹ 华南师范大学公共管理学院, 广州 510006

² 中国科学院大学人文学院, 北京 100040

摘要:在生态学领域中,存在着生态系统整体论与还原论的争论。Tansley A.G.提出,生态系统是“准有机体”。Odum 兄弟提出的“生态系统能量说”被广泛接受,但也受到质疑,称其为“还原论者的整体论”。基于对上述质疑的回应以及对生态系统整体论的追求,Patten B.C.等提出“生态网络理论”,运用“网络‘环境子’分析”方法,试图从物理层面分析解决生物层面的“涌现性”问题。不过,这一理论也受到批判,认为其在探究符号化的现象对生态系统的动态影响时,陷入了还原论困境。Jørgensen S.E.等更进一步,提出“系统论”的生态系统生态学,试图从系统科学的角度研究生态系统的“物质-能量-信息-网络”系统。这一理论受到生态学界高度重视,但是也存在着在具体研究过程中如何平衡能量视角和生物地球化学视角的问题。由上述争论可见,生态系统生态学研究趋势是从“物质实体”到“能量流动”,再到“网络信息”,最后到“开放系统”层层递进。目前面临的关键问题是:如何在更好地定义生态系统整体性的基础上,采取相应的能够体现生态系统整体性的方法,去获得更多、更好的生态系统整体性的认识。

关键词:生态系统;有机体;能量;信息;网络;系统;整体论;还原论

Key problems and trends in the study of ecosystem ecology based on the debate of holism and reductionism

XIAO Xianjing^{1,*}, HE Jin²

¹ School of Public Administration, South China Normal University, Guangzhou 510006, China

² School of Humanities, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100040, China

Abstract: The debate of holism and reductionism regarding the ecosystem suggests that ecosystem holism requires further understanding. Tansley created the term “ecosystem” and regarded it as “quasi organisms” including the biotic and abiotic associations and human interventions. Thereafter, Lindeman, Eugene, and Howard Odum were fundamental in the development of a systemic-holistic approach. Specifically, Lindeman submitted a chapter of his thesis for publication in the journal *Ecology* that outlined the Ten Percent Law (namely, the trophodynamics of ecology). Odum brothers adopted the term “ecosystem” and developed it further. The two brothers worked closely together- they were both committed to promoting Lindeman’s functional-systemic approach. Because of their efforts, ecosystem was seen as the fundamental functional unit for ecology, which brought together biotic and abiotic components to form circular paths of energy flow. However, the system ecology of Odum brothers was inappropriate based on material-energy, which was viewed as “reductionist holism”. Patten et al. proposed the ecological network theory to avoid the reductionism dilemma of the holism of Odum brothers. The ecological

基金项目:2014 年度国家社会科学基金重点项目(14AZX008)

收稿日期:2016-09-27; 网络出版日期:2017-09-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xxjing@ucas.ac.cn

network was not only the description of trophic relationships in food webs, but also a representation of the biotic interactions in an ecosystem, in which species were connected by pairwise interactions or links. These interactions can be trophic or symbiotic. Patten et al. considered entities as networks of interrelated factors and defined them as ecosystems. The ecosystem was an entirety formed by an organic or an inorganic entity as well as its featured environment, and constituted an analyzable unit. In this way, Patten et al. attempted to improve the theory of Odum brothers to moderate holism to strengthen the ontological ecosystem holism, and tried to make the context of ecosystem have more wholeness. Patten et al. adopted the “network environ analysis” to consider the emergence of ecosystem on the physical level, and proposed that more attention should be paid to biological phenomena. However, in ecosystems, there are random quantification problems regarding qualitative ecosystem processes, resulting in the study of semiotic phenomena to fall into reductionism dilemma. Jørgensen et al. proposed the “system theory” of ecosystem ecology and declared their intention not only to just repeat what was already known but also to introduce some new perspectives about ecosystems. They attempted to boost ecosystem research to an integrated framework including material-energy-information-network and asserted that ecosystems have seven attributes. Their efforts were of importance because they were from not only an epistemological viewpoint but also a scientific viewpoint. However, their tasks still have issues on how to balance energy and biogeochemistry. From the above argument, it can be implied that the trend of ecosystem ecology research is a progressive transformation from “material entity”-“energy flow”-“information network”, and finally to “open system”. The key challenge of ecosystem ecology is how to better understand the wholeness of ecosystem by adopting a method that appropriately reflects the wholeness of ecosystem.

Key Words: ecosystem; organism; energy; information; network; system; holism; reductionism

在世界范围内,生态系统生态学获得了长足进步,它既是生态学发展的重要手段和趋势,也是整个地球系统资源管理的重要科学依据。不过,与这种进步相对照,生态学界长期以来存在着“生态系统‘整体论’与‘还原论’的争论”。这一争论涉及以下问题:生态系统是什么?如何研究生态系统以更好地体现其整体性?等等。对此争论进行梳理、评论,对于了解生态系统生态学的发展历史、研究的关键问题以及研究趋势,具有重要的意义。

在《陆地生态系统生态学原理》(*Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*)和《生态系统生态学》(*Ecosystem Ecology*)中^[1-2],详细介绍了当前生态学界对于生态系统的界定和认识,以及通用的研究方法和策略,但对“生态系统整体论与还原论的争论”涉及不多。查阅中国知网,国内虽然有涉及到生态系统整体论与还原论争论的文献,如赵斌、葛永林等学者分别从生态系统思想发展历程以及 Odum E.P.的整体论思想入手,对生态系统整体论与还原论的关系进行了探讨^[3-4],但是,并无系统梳理生态系统整体论与还原论争论,并据此探讨生态系统生态学研究现状及趋势的文献。搜索国外相关数据库,也未见系统性梳理的文献,只有 Bergandi D.等于 20 世纪 90 年代发文,针对 Odum 兄弟的“物质-能量”系统生态学理论是否澄清了生态系统整体论与还原论的争论这一问题,进行了讨论^[5]。

鉴于此,本文在系统收集生态系统整体论与还原论相关争论文献的基础上,力图厘清生态系统整体论与还原论争论的主题及其历史脉络,以体现生态系统生态学研究的关键问题和趋势。

1 Tansley A.G.: 生态系统整体论的提出

“生态系统”这一概念首先是由 Tansley A.G.在其 1935 年发表的论文“植被的概念和术语的使用及其滥用”(“*The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms*”)中明确提出^[6]。他之所以提出这一概念,与之前发生的“群落整体论与还原论的争论”有关。

1916 年, Clements F.E.提出“超级有机体”(Super Organism)的群落思想。他认为,作为相互影响的动植物类群集合的群落,“是一种有机体……可以形成、发育、成熟和死亡”^[7]。

这是 Clements F.E. 群落“机体论”(Organicism)或“整体论”(Holism)的思想。自从提出后,就受到同行们的关注,引起争论。Gleason H.A. 在 1917 年指出, Clements F.E. 的观点是错误的,群落的形成仅仅是一种巧合,源于有机体个体的“环境分类”及其所在地理位置内部的迁移格局^[8]。

Gleason H.A. 的思想属于群落“个体论”(Individualism)或“还原论”(Reductionism),与 Clements F.E. 的群落“机体论”或“整体论”相对。

Tansley A.G. 高度关注群落“有机论(整体论)-个体论(还原论)”的争论。他不同意 Gleason H.A. 的群落“个体论”(还原论),也反对 Clements F.E. 对自身观点的过分夸大,并因此将群落定义为“准有机体”(Quasi Organisms)。1920 年, Tansley A.G. 写到:“虽然与人类社区(Human Communities)相比,植物群落(Plant Communities)并不那么像真正的有机体,但植物群落可能仍然可以被视为‘准有机体’或‘有机实体’(Organic Entities)。这是因为,一方面他们是由有机单元(Organic Units)所组成;另一方面,他们的行为在很多方面是以一个整体的方式表现出来的。因此,植物群落必须被作为整体来研究”^[9]。

由 Tansley A.G. 对生物群落的认识可以看出,他虽然不赞同 Clements F.E. 的“超级有机体论”(Super-Organicism),但是却一直坚持整体论。他写道:“相对稳定的顶极群落,是一个或多或少具有明确结构的复杂整体。虽然有机体是我们研究的首要兴趣所在,但我们不能把生物体与其特定的环境分离”^[6]。这样一来, Tansley A.G. 的整体论就比 Clements F.E. 更为深刻,不仅包含了生物因素,也包含了非生物因素。由此,他率先提出“生态系统”的概念,并于 1935 年把“生态系统”定义为:“一个物理学意义上的整个系统,它不仅包括各种生物,而且包括构成我们称之为(生态)生物群系(Biome)环境的全部物理因子,即最广泛意义上的生境因子”(habitat factors)^[6]。

根据 Tansley A.G. 的上述定义,生态系统作为自然的基本单元,就是一个有机性的存在。他将其视为“准有机体”,也就不足为怪了。

2 Lindeman R.: 生态学的营养动力学

Tansley A.G. 提出的“生态系统”概念很快被生态学界接受,对后人影响很大。之后,生态学家一般都是基于生态系统是“准有机体”或者是一种具有整体性的存在,而展开相关研究的。

不过,问题在于,如何展开研究以体现生态系统的有机整体性呢?关于此, Lindeman R. 做出了历史性的推进。

1938—1941 年间, Lindeman R. 对美国明尼苏达州的赛达伯格湖(Cedar Bog)水生群落的能量活动进行了研究^[10]。然而,他的该项研究工作在当时并没有立即被生态学界接受,甚至他的另一篇论文“生态学的营养-动力学方面”,最初由于缺乏经验数据的支持而被拒绝,最终才在 Hutchinson G.E. 的支持下,于 1942 年发表。在发表的这篇文章中, Lindeman R. 继续开展赛达伯格湖的营养转换过程研究,他写道:“第一,食物链上每个等级的生产效率由呼吸与生长的关系确定;第二,生态系统的能量在相邻两个营养级间的传递效率大约是 10%—20%……”^[11]。由此,他没有把生态系统中的生命物质和非生命物质分开,并把生态系统中生物营养-动力学的基本过程,描述为能量在生态系统中的输运。他的生态系统学说又被称为“生态学的营养动力学”。

Lindeman R. 的生态系统理论意义重大。Cook R.E. 认为:“Lindeman R. 强调了生态系统中生物的营养功能,特别是强调了其定量关系在‘经由演替形成的群落模式’中所起到的主要作用;确认了生态学的一个基本动力学过程是能流,通过它,能够把生物的季节性营养关系整合到群落演变的长期过程中去;建立了生态学的一个新的理论方向,并表明了该方向的正确性”^[12]。Cooper G.J. 认为:“Lindeman R. 借用了 Tansley A.G. 作为包含了生物和非生物部分的整体单元(Integrated Unit)的生态系统概念,几乎单枪匹马地完成了这一生态学概念的革命”^[13]。Lefkaditou A. 指出:“Lindeman R. 建立了一个新风格(Idiom):生态过程通过能量循环来进行解释,并且整个生态系统作为一个物理化学整体来进行研究”^[14]。

3 Odum 兄弟:激进的生态系统整体论

以 Lindeman R.的上述理论为基础,20 世纪 50 年代早期和中期的生态学家,如 Odum H.T.和 Odum E.P.兄弟开始在野外生态系统中研究能量学,进一步推动了生态系统概念的发展,使得“生态系统能量说”(Ecosystem Energetics)迅速发展起来。

1953 年,Odum E.P.的《生态学基础》第一版出版。在本书中,Odum E.P.的整体论框架已经基本搭建完毕。他认为:“生态系统是生态学中最大的功能单元,这是因为它同时包含了有机体与非生命环境,它们的属性会相互影响,共同为地球上生命的维持提供保障”^[15]。另外,Odum H.T.在本书的撰写中扮演着极其重要的角色,撰写了第四章,介绍了与生态系统能量有关的原理和概念^[16]。1955 年,Odum H.T.和 Pinkerton R.C.发表了关于生态系统最大功率原理的文章,这篇文章探讨了物理系统和生物系统中最大功率输出的最优效率问题,是对最大功率原理所涉及到的时间尺度问题的研究^[17]。1956 年,Odum H.T.开始在研究中使用电学中的线路图来描述生态系统能量流动状况^[18]。1968 年,Odum E.P.在综述 19 世纪末以来生态学中的能量研究的历史文献的基础上深刻地指出,生态系统分析的核心是“生态能量学”(Eco-energetics)^[19]。1975 年,Odum H.T.提出了“能质”(Energy Quality)概念,这是之后能值理论的基础。能质指的是不同来源、不同形式的能量具有不同的性质和等级水平差异,因而其做功的能力是不同的^[20]。1988 年,Odum H.T.分析了最大功率原理与能值的关系,认为所有的自组织系统(Self-organizing Systems)都趋向于使能值使用率最大化,因此,最大功率原理决定了哪种物种或生态系统能够存在^[21]。1996 年,Odum H.T.出版了系统介绍能值理论的专著《环境计量:能值与环境决策制定》(*Environmental accounting-Energy and environmental decision making*),这是世界上第一部关于能值的专著。Odum H.T.在该书中指出,能值理论是一种将不同质的能量转换成同一标准能量的定量分析方法,能值转换率(Transformity)可以用来指示产品的经济有效性(Economic Usefulness)^[22]。20 世纪 90 年代开始,能值理论在全球范围内开始被广泛采用。2000 年之后,关于能值的研究进一步扩展到湿地生态系统、工业生产领域、农业系统以及城市生态系统等领域的研究中^[23]。

2005 年,Odum E.P.的《生态学基础》第五版出版。这是该经典著作到目前为止的最后一个版本。其中译本于 2009 年在中国出版。在本书中,Odum E.P.认为:“生态系统是一定区域内共同栖居着的所有生物(即生物群落),与其环境之间由于不断进行物质循环和能量流动,而形成的统一整体。生态系统的组分、子集和整个系统可以组合成一个功能整体,这一功能整体涌现的新属性在低层级是不存在的。这种属性的另一种说法是不可还原性(Nonreducible Property),即整体的特性不能还原为组分特征的组合。”^[24]。

由上可以看出,本体论上,Odum 兄弟的能量学说坚持将能量学作为生态学的基本理论,能量被看作贯穿于生态系统的基础要素置于核心地位;生态系统遵循经典热力学定律,在最大功率原理的作用下发生演化。方法论上,Odum H.T.采用能量线路图对生态系统的行为进行描述,并用能值理论对生态系统进行分析。据此,Odum 兄弟在生态系统能量说和生态系统整体论思想的形成上起到了重要的作用,他们互相影响相互促进,做出了卓越贡献。具体而言,生态系统能量说的方法论上的整体论主要体现在 Odum H.T.提出的理论上,如能量线路图、能值等;而 Odum E.P.则更注重生态学的学科发展及其哲学基础,在生态系统本体论上的整体论思想的提出和论证过程中更具哲学上的自觉性^[25]。由此,Odum 兄弟的生态系统理论又被称为激进的(Passionate)生态系统整体论^[14]。

Odum 兄弟的“生态系统整体论”有其优势,受到好评。有学者认为,这一范式给生态系统中大量的复杂性现象提供了一种比较实际的研究方式^[26];还有学者认为,这一范式提供了一种系统属性的整体论观点^[27];另有学者认为,Odum 兄弟复兴了 Clements F.E.式的有机-整体论(Organismic-Holismic)方法,在这一被赋予了整体论色彩的框架下,借用了 Lindeman R.的能流理论,特别强调生态系统的功能维度^[14]。

也正因为 Odum 兄弟的“生态系统整体论”具有这样的优势,他们的“生态系统能量说”受到生态学界的高度重视,一度成为许多生态学家公认的核心范式^[28-29]。

4 对 Odum 兄弟的质疑:“还原论者的整体论”

随着生态学的发展,Odum 兄弟的系统生态学受到越来越多的质疑^[30]。

1982 年, Silvert W. 等认为, Odum H.T. 关于最大功率原理对于生态系统作用的分析是不恰当的, 最大功率输出的最优效率依赖于个体系统(Individual System)特征^[31]。1991 年, Golley F.B. 指出, 在 Odum 兄弟的观点中, 生态系统是作为物理化学实体存在的, 其组成部分的现象学特性被完全忽略了, 物种和种群被认为仅仅是能量的传递者, 或者是能量链上的一环^[32]。1993 年, Mansson B.A. 和 McGlade J.M. 批判了 Odum H.T. 的能量理论, 他们认为, 能量学说的理论体系存在明显的矛盾, 这体现在 Odum H.T. 的目的是运用整体论的观念来研究生态系统, 但是其概念框架上又存在固有的且影响深远的还原论^[33]。1996 年, Brown M.T. 等指出, 能值与其他热力学变量, 如能量(Energy)、埃三极(Exergy)和焓(Enthalpy)等之间的关系模糊, 虽然 Odum H.T. 及其合作者定性地阐述了它们之间的差异, 但是并没有给出它们之间的定量关系^[34]。1998 年, Bergandi D. 更进一步, 认为系统生态学的创始人, 激进的整体论者 Odum H.T., 倾向于“超还原论者”(Hyper-reductionist)的方法路径。他还认为, Odum E.P. 在整体论上模糊了“集合性质”(Collective Properties)和“涌现属性”(Emergent Properties)的区别; Odum H.T. 方法论上采取的是能量线路图(Energy Circuit Diagram)和控制论模型(Cybernetic Model)等; 他们所提倡的是一种“还原论者的整体论”(Reductionist Holism), 即整体论上带有整体论色彩, 方法论上则是彻底的还原论, 由此, 他们是“潜还原论”(Crypto-Reductionism)者^[5]。2000 年, Cleveland C.J. 认为, 能值理论主要关注的是供应方面而忽略了人类的偏好和需求, 对能值是否能真正获知产品对于人类的价值表示质疑。他认为, 能值的目的是提供“以生态为中心的价值”(Ecocentric Value), 这与经济学的观点相违背, 因为经济是以人类为中心的(Anthropocentric)^[35]。2001 年, O'Neill R.V. 指出, Odum 主义(Odumism)的生态系统定义, 是一种在整体论框架下按照还原论模式建立的简化系统; 这种整体论和认识论上的整体论与方法论上的还原论相背离的模式, 使得很多生态学家不断向数学工具靠拢, 希望通过诸如非线性动力学和模糊集合论等手段, 来解决生态系统复杂性问题。这些使得生态系统研究在科学上的独立性被削弱^[30]。2007 年, Schizas D. 等学者认为, Odum 兄弟仅在热力学层面讨论了生态现象, 而且将生态学分析纳入到物理化学视角的做法, 损害了系统生态学的自主性^[36]。

上述某些质疑受到包括 Odum H.T. 在内的学者的回应。如 1993 年, Patten B.C. 发表论文集回应了对 Odum 兄弟“生态系统整体论”的质疑。Patten B.C. 在为 Odum 兄弟的整体论辩护时, 特别强调了组织层面。他指出, 表面看来, Odum H.T. 在实践中把能量当成了主要的元素, 他们之所以这样做, 理由有两个: “一是 Odum H.T. 以被他看作是基本的还原论科学的方式来夯实其理论; 二是由于 Odum H.T. 是一位经验主义的生态学家, 必须有一些具体的东西供其测量…”^[37]。不过, 他又强调, 虽然 Odum 兄弟不愿意承认, 但是在其理论框架中, 事实上最为重要的是组织层次, 而非能量, 能量在 Odum 兄弟的理论中是次要的元素^[37]。Patten B.C. 进一步认为, Odum 兄弟深刻理解了生态系统和一般系统, 他们的“隐喻性”(Metaphorical)的热力学是其生态系统整体论范式的一部分^[37], 这与传统科学不同, 因为一般而言, 对于传统科学, 首要的前提是还原论, 即“部分决定整体”的观点。

对于 Odum 兄弟的“生态系统能量学”, 一个总的观点是: 虽然这一学说存在欠缺, 但是其整体性的追求以及方法论上的价值还是应该肯定的。对 Odum 兄弟而言, 生态系统就是一个有机整体性的存在, 因此, 在整体论和方法论上都应该走向生态系统整体论。当然, 在这样的追求过程中, 由于生态系统是复杂的, 生态系统整体性的认识是艰巨的, 一种理想的完全的整体论在生态系统的研究中是不能获得的。也正因为考虑到这种情况, 一些生态学家, 试图通过修改旧的生态系统范式的理论核心, 强化其整体性问题的研究, 进而相应地强化生态系统生态学的自主性。Patten B.C. 以及 Jørgensen S.E. 等学者是其中的典型代表。

5 Patten B.C. 及其合作者: “生态网络理论”与“现象学模型”的提出

针对上述对 Odum 兄弟的质疑, Patten B.C. 等学者虽不完全肯定 Odum 兄弟的生态系统整体论, 但也为生

态系统整体论辩护。他们努力变革生态系统本体论、方法论的理论体系,以更好地展现生态系统整体论。

1976年,Patten B.C.等学者首次发表了关于生态网络分析(Ecological Network Analysis)的论文^[38];1978年,Patten B.C.开始阐述和界定其理论中至关重要的“环境子”(Environ)概念,其被视为一种“输入-状态-输出”的对象^[39];1985年,Patten B.C.提出生态网络是物质、能量和信息循环不可或缺的前提条件;生态网络具有协同效应,提高了物质和能量的利用效率;其中所有的组分从网络的形成中受益^[40]。之后这一生态网络分析方法经过 Patten B.C.和其他学者的不断发展和完善,成为对生态网络进行分析和研究的系统性的理论和方法体系,被称为“生态网络理论”(Ecological Network Theory)。自此,生态网络成为生态系统物质和能流研究的基本概念和分析对象^[36]。

Patten B.C.等的“生态网络理论”提出后,受到一些学者的称赞,也受到一些学者的质疑。质疑者认为,根据上述理论来分析实际问题,实际上就是采用物理化学的话语体系对相互作用(Transactions)定量化,由此导致在其理论中居于核心地位的原先附属于相互作用的交互关系(Relations)就从相互作用中剥离出来。这对于旨在识别奠定系统行为基础的组织模式的“网络‘环境子’分析”(Network-Environ Analysis)方法来说,可能会最终导致相关生态现象的认识落入还原论的陷阱^[41-43]。

Patten B.C.等学者逐渐意识到“生态网络理论”的局限性,为避免陷入还原论困境,在1990年改变传统生态系统模型,提出“现象学模型”(Phenomenological Model)^[44]。Patten B.C.等认为,相对于前述能够解释相互作用的传统动态模型,“现象学模型”是一种“静态模型”;这种模型只是识别出某种物质通量是发生过的或者是将要发生的,只是对相互作用和交互关系的因果性进行了对称分析,避免了附属于相互作用的交互关系无法在整体论框架下进行解释的问题,回应了整体论的要求,而没有描述能流动态、因果关系或者物质通量的机制^[44]。

此后,Patten B.C.等人不断完善他们的理论,于1997年提出了更为详细的“生态网络理论”。这可以概括为以下几个方面^[45]:(1)在生态系统内部存在着相互作用或交互关系,如捕食、互利共生和竞争等;(2)这种作用和关系使得生态系统不仅有基本的物质、能量交换,还有信息交换以及随之而来的符号学现象(Semiotic Phenomena);(3)这样的信息交换不仅使得生态系统可以完成无生命物质的两种功能——状态转换功能和响应功能,而且还可以完成有生命物质的“建模功能”(建立现象学模型);(4)这种建模功能就是,首先将环境信号进行解译,然后再对这些解译的结果进行回应;(5)由于这种建模的功能在事实上具有了相关的生命的涌现性特征,或者具有了类认知的(Cognitive-like)、拟人化的特征,所以生态系统是一整体性的有机体式的存在。

Patten B.C.等的理论意义重大。Schizas D.认为,Patten B.C.等工作旨在增强系统生态学的自主性,他们在本体论上仍然将生态系统看作生态学的基本单元,但与 Odum 兄弟不同,他们将生态系统视为生物学实体,试图通过弥补 Odum 兄弟工作中所缺失的生物学视角,在物理层面思考生物层面的涌现属性^[36]。进一步地,Schizas D.提出:“他们将生命的地位只指派给那些能够说明现实的模型的存在。这样的话,交互关系就把交互过程(如信息交换)和符号学现象(如传送和信号解译)联系起来。通过将符号学思想赋予生态系统,Patten B.C.及其合作者在生态过程的展现中,赋予了生态系统以生物代理者(Biological Agents)的积极角色。这意味着有机体被认为既不是简单的能量传递者,也不仅仅是能量链上的一环。事实上,这些学者区分了生物学层面与物理化学层面的各种不断演变的详尽的解释,这毋庸置疑地加强了这一领域的自主性”^[36]。

不仅如此,生态网络还具有以下作用:生态网络是生态系统远离热力学平衡的重要途径,它使生态系统在可供其生长和发育的资源条件下获得尽可能多的生态埃三极(Eco-Exergy);网络控制是非局域的、分散的、均匀的,网络对生态系统产生了协同作用、互助作用、边界放大效应和加积作用,食物链的延长对网络的生态埃三极也有影响^[46]。也正因为如此,在生态学领域中,有专门的网络分析方法。

虽然 Patten B.C.等的“生态网络理论”具有重大的意义和价值,但是也存在欠缺。有学者认为,“生态网络理论”并不令人完全满意,这主要源于其预测力问题^[47]。还有学者认为,静态模型是存在局限性的,静态模

型的矩阵方法也可以提供适用于生态系统动态的原理^[48]。Schizas D.指出,由于受经验主义的影响,学者们首先要关心的是相互作用。Schizas D.这样描述:“基于物质-能量流,物质的和物理的过程要优先于交流和‘记号现象’(Semiosis)。实际上,他们从相互作用中演绎出交互关系,并且用物理化学术语而非生物学术语来定性描述生态现象。例如,在研究竞争时,学者们忽略了属于种群生态学的术语,反而使用了从生态系统能量学演变而来的术语。然而,尽管‘环境子’分析最终实现了对传统上与系统生态学相联系的还原论的部分超越,但是,他们的方法论实践在‘生态系统是什么’的问题上投下了阴影,而且,整个框架被夸大了其预测能力的经验主义者的理想化所影响,这可能会威胁到整个生态学事业”^[36]。之后,Schizas D.进一步指出,“生态网络理论虽然也包含了现象学模型,但是,在现象学模型的框架下,关于生态系统的研究主要针对系统现象学即系统过程的描述,而忽略了其潜在的机制。而且,在构建动态预测模型过程中,应用到的工具和术语都是来自热力学,这部分又与生态系统现象的机制有关,因此,这种方式仍难以避免潜还原论(Hyper-reductionism)的困境”^[49]。

6 Jørgensen S.E.等:生态系统“系统论”的提出

Jørgensen S.E.等人从系统的角度看待生态系统。Jørgensen S.E.认为,生态系统是一个由许多生物体相互作用形成的有机整体,这些组分连接成一个互相协调、共同合作的生态网络^[46]。他们认为,生态系统具有七大属性^[50]:(1)生态系统是开放的系统——对能量、质量和信息开放;(2)生态系统在本体上是难以理解的——由于生态系统巨大的复杂性,去准确地预言生态系统行为的细节,是不可能的;(3)生态系统有方向性的发展——它们逐步地改变以便去特别地增加反馈和自催化(Autocatalysis);(4)生态系统在网络上的联结性——这给了它们以新的和涌现的属性;(5)生态系统是等级地组织起来的——即我们能够从一个层次与其下的和其上的层次之间的相互作用来理解这一层次;(6)生态系统是生长和发育的——它们获得生物量(Biomass)和结构,扩大它们的网络,并且增加它们的信息内涵,我们能够分别用一些整体性的指标,如能力(Power)、生态埃三极等来衡量;(7)生态系统对干扰有复杂的响应——当我们将生态系统理解为适应、生物多样性、抵抗和连通性(Connectivity)时,我们能够解释并且预言生态系统对干扰的响应。

由上述七大属性,我们可以得出结论:生态系统是一个“超级有机体”。Jørgensen S.E.认为,生态系统由于具有远离热力学平衡的发达组织和结构,因而展现出系统的性质。这意味着,生态系统的特征不能仅由组分来解释;生态系统远超过组分之和,它们有独特的整体性特征,是一个具有自组织的、自我调节的系统。这使得生态系统在生长和发育过程中,既遵循地球上的热力学定律和生物化学规则,也遵循生态热力学定律(Ecological Law of Thermodynamics, ELT)。生态热力学定律从热力学的角度来解释生态系统的动态变化,即生态系统在接收埃三极通流的过程中,会尽可能地利用埃三极通流使系统远离热力学平衡状态,而且,如果存在着多种利用埃三极的组分和过程的组合方式,系统会选择能够使其自身获得尽可能多的埃三极容量的组合方式。这一定律被 Jørgensen S.E.称为“暂定的热力学第四定律”,或“生态热力学定律”^[46]。

总之,上述生态系统七大属性都是进化的结果,都是生态系统在受到环境条件、热力学定律的限制,以及生物化学对生命过程的约束时,为了生存、生长和发育而做出的努力^[50]。Jørgensen S.E.的生态系统生态学,注重生态系统能量分析,这一点继承了 Odum 兄弟的理论内涵,同时,他也强调用网络分析方法对生态系统功能进行研究,这一点与 Patten B.C.等学者的理论是一致的。相比而言,Jørgensen S.E.的理论既包含了物质、能量,也包含了信息、网络等概念体系。这是其进步之处。

然而,正如《生态系统生态学》一书的中文导读版前言中所指出的^[51],Jørgensen S.E.的“系统论”几乎没有包含过去几十年中蓬勃发展的基于生物地球化学视角的关于生态系统物质循环及其相应理论、概念,这与生态学发展的实际是存在一定偏差的。

7 不同的声音:激进的生态系统还原论

在生态学界,人们普遍持有的是“生态系统整体论”。不过,在这一大背景下,仍然有少数人坚持“生态系

还原论”。如 Gilbert F. 等就认为,生物个体和种群是生态学研究的基本单元,而群落或者生态系统是一种抽象物,这种抽象也许能够促进生态学研究,但其基本理论、法则等只会产生于较低层次^[52]。具体而言就是,生态系统不是真实存在的实体或属性,而是物种种群偶然组合的一种抽象;它可以由种群及其相互作用构成,但是,它只是个体的聚合。鉴此,生态系统对低层次的实体及属性不会产生影响,即不存在下向因果关系,所有的性质及关系都可以归因于物种、种群层面。

之后,其他生态学家也表达了类似的看法,认为寻找突现实体毫无意义,只有关于个体的出生率、死亡率以及种群对环境因子的响应问题才值得研究。这一点集中体现在 Begon M. 等人所编写的生态学教科书《生态学:个体、种群和群落》(*Ecology: Individuals, Populations and Communities*)中^[53],对此, Lefkadito A. 进行了具体分析^[14]。

上述生态系统还原论受到其他生态学家的批判。Schizas D. 指出,按照还原论的观点,生态系统被认为只不过是一种物理结构,是由粒子的集合(物理成分)以及物质-能量(物理关系)的交互组成的。很显然,这种还原论图景没有考虑到生命的性质,因而忽略了生物层面的涌现性^[36]。应该说,生态系统还原论是不恰当的。

8 结论与发展趋势

(1)在生态系统研究中,生态学家或者持有生态系统整体论(机体论),或者持有生态系统还原论(个体论),这两种观念将会直接导致生态学家以不同的方式看待生态系统以及研究生态系统。

(2)在如何看待生态系统上,生态学家大多持有“整体论”(机体论),即认为生态系统是一个“准有机体”。不过,也有少数生态学家持有“还原论”(个体论),即认为生态系统就是一个可以还原为物种或种群的集合。综观生态学界,还原论(个体论)的观点被普遍认为是不恰当的,整体论(机体论)的观点被普遍接受。

(3)生态系统整体论分为本体论意义上的、认识论意义上的和方法论意义上的整体论。本体论意义上的生态系统整体论涉及到“什么样的生态系统以体现其整体性”,关于此,生态系统生态学的发展是由物质,到物质-能量,再到物质-能量-信息;由线性的、平面的关联,到网络的、立体的结构;由热力学第一定律,到热力学第二定律,再到热力学第三定律,最后到暂定的热力学第四定律(生态学的)。这是一个从非系统论到系统论的过程,由此,本体论意义上的生态系统整体性得到越来越多的体现。认识论意义上的生态系统整体论,指的是关于生态系统的理论如何由更低层次的理论如群落理论或者物理化学理论如热力学理论、系统理论来解释,可以说,生态系统生态学走向“生态学营养动力说”、“生态系统能量说”、“生态网络理论”、“系统论的生态系统生态学”,一定程度上体现了这一点。方法论意义上的生态系统整体论,指的是在具体的研究方法上体现其整体性。在前述“生态系统整体论-还原论”的争论中, Patten B.C. 现象学模型方法的运用就是典型。

(4)对生态系统能量说、网络理论等的质疑,部分是针对本体论的整体论的质疑,更多的则是针对方法论的整体论的质疑,即对于其方法论的非整体性的批判。事实上,绝对的方法论的整体论很难在实际研究中应用。从目前生态系统研究的相关方法来看,其所采用的能值、埃三极等指标,都在一定程度上体现了整体论方法的特征,因为其将整体性赋予了网络,这很大程度上体现了生态系统本体论上的整体性。当然,一种完全的方法论的还原论,作用究竟如何,这是一个非常复杂的问题,需要另文探讨。

(5)方法论上的整体论与本体论意义上的整体论是紧密关联的。对生态系统在本体论意义上的不同看法会产生相应的生态系统属性指标,继而就会出现关于生态系统认识的方法,从而也就会有相应的关于生态系统的认识。对于生态系统健康属性, Jørgensen S.E. 依据生态学的发展,概括出相应的生态指标,这些生态指标体现了其整体性的程度,具体见表 1。

根据表 1 可以发现,未来生态系统生态学的研究,应该是在充分认识还原性指标的前提下,从物质、能量、信息,更多地走向“系统”,这样的“系统”可能是生态网络或者是热力学系统。由此,也使得能量学说、网络理论、热力学、系统科学的理论和方法将更多地应用于生态系统研究中。

表 1 生态指标分类^[46,54]

Table 1 Classification of ecological indicators

层次 Level	举例 Example
还原性(单个)指标 Reductionistic indicators	PCB ⁽¹⁾ 、物种存在与否、初级生产力
半整体性指标 Semiholistic indicators	Odum 提出的属性 ⁽²⁾
整体性指标 Holistic indicators	生物多样性、生态网络、缓冲能力
“超整体性”指标 Super holistic	热力学指标,如能值、生态埃三级

(1) PCB 为多氯化联苯缩写,作者这里以 PCB 为例,指代“某种有毒物质”作为还原性指标;(2) 这里的属性指的是:生物量的增长、生态网络的增强和信息量的增加

关于这一点,正如 1985 年麦金托什在其专著中所言“几乎整个生态系统生态学的特色之一,就是它强调甚至完全致力于生态系统的非生命过程,并追求一种超越传统生态学的结合了物理学、化学、地质学、地球化学、气象学、和水文学的知识层次。它也要求在食品、技术和计算上,掌握新的技能,以便在日趋复杂的水平上,测量生态系统参数并分析大型数据库”^[55]。这给我们启发,即扩展、挖掘、发现生态系统中已经存在于传统科学中的整体性指标,并且进一步利用传统科学中认识这一整体性指标的科学方法,去认识生态系统,仍然是未来生态系统生态学努力的方向。同时,需要指出的是,从生态系统研究的实际来看,生态系统研究的主流仍然是生态系统能量说、生态网络理论以及 Jørgensen S.E. 的系统生态学。对这些理论的质疑,主要是关于理论的普遍性以及方法的完备性问题,并不是对该方法或理论的根本性否定,因此虽然这些理论受到质疑,但并未被证伪,而是在争论过程中不断完善并向前发展的。

(6) 从目前看,不仅对生态系统“还原性指标”的认识采用的方法主要是还原论方法,而且对于生态系统“半整体性指标”、“整体性指标”、“超整体性指标”的认识,采用的方法也不完全是整体论方法,这也是现阶段生态系统能量说、生态网络理论,甚至生态系统热力学理论等遭受还原论诟病的主要原因。试想,一种不完整的整体论方法何以认识,或多大程度上能够去认识对象的“半整体性指标”、“整体性指标”乃至“超整体性指标”呢? 其研究过程和结果又如何能够体现认识对象的整体性特征呢? 也正因为此,在未来能够体现生态学研究的自主性和独立性,能够反映生态系统历史性以及生物性的研究趋向,是生态系统生态学所应该追求的;生物进化视角的、遗传视角的生态系统生态学,是未来生态系统生态学的发展方向。

(7) 从本文“生态系统整体论-还原论争论”的历史概述看,对生态系统整体性的认识以及此整体性在认识过程中的体现,都有一个过程。也正因为如此,一种理想的生态系统整体论或还原论,在生态系统生态学的研究实践中,是不合理的。虽然在生态系统生态学中,占据主导的是生态系统整体论,但是,这并不意味着生态系统还原论应该被彻底否定。事实上,在生态系统生态学中,占据主导的是温和的整体论,例如,为了体现生态系统整体性,通常的做法,一是优化还原论,二是加入新质,如“能量”、“信息”等,三是运用整体性的方法如现象学方法等。对于生态系统生态学,未来的一个发展方向就是探寻一切可能的途径,以增加生态系统在本体论意义上、认识论意义上、方法论意义上的整体性。为了做到这一点,就必须深刻理解生态学领域内的各分支学科以及非生态学的其他科学,运用复杂性科学,如混沌理论、非线性科学等手段进行研究,“借它山之石”为生态学中某一领域所用。鉴于此,未来建立生态系统生态学与其他学科或研究方向的联盟,是必然趋势,由此,生态系统能量学、生态系统网络分析以及系统生态学,在未来很长一段时间内还将继续存在并得到发展。

参考文献 (References):

- [1] Chapin F S III, Matson P A, Vitousek P. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. 2nd ed. New York: Springer, 2011.
- [2] Jørgensen S E. Ecosystem Ecology. Salt Lake City: Academic Press, 2009.
- [3] 赵斌, 张江. 整体论与生态系统思想的发展. 科学技术哲学研究, 2015, 32(5): 15-20.
- [4] 葛永林, 徐正春. 奥德姆的生态思想是整体论吗? 生态学报, 2014, 34(15): 4151-4159.
- [5] Bergandi D, Blandin P. Holism vs. reductionism: do ecosystem ecology and landscape ecology clarify the debate? Acta Biotheoretica, 1998, 46(3): 185-206.

- [6] Tansley A G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 1935, 16(3): 284-307.
- [7] Clements F E. *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*. Washington, D.C.: Carnegie Institute of Washington, 1916.
- [8] Gleason H A. The structure and development of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1917, 44(10): 463-481.
- [9] Tansley A G. The classification of vegetation and the concept of development. *Journal of Ecology*, 1920, 8(2): 118-149.
- [10] Lindeman R L. The developmental history of cedar creek bog, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 1941, 25(1): 101-112.
- [11] Lindeman R L. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 1942, 23(4): 399-417.
- [12] Cook R E. Raymond Lindeman and the trophic-dynamic concept in ecology. *Science*, 1977, 198(4312): 22-26.
- [13] Cooper G J. *The Science of the Struggle for Existence: On the Foundations of Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [14] Lefkaditou A. Is ecology a holistic science, after all? //Stamou G P, ed. *Populations, Biocommunities, Ecosystems: A Review of Controversies in Ecological Thinking*. Oak Park: Bentham Science Publishers, 2011: 46-66.
- [15] Odum E P. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: Saunders, 1953: 1-9.
- [16] Taylor P J. Technocratic optimism, H.T. Odum, and the partial transformation of ecological metaphor after World War II. *Journal of the History of Biology*, 1988, 21(2): 213-244.
- [17] Odum H T, Pinkerton R C. Time's speed regulator; the optimum efficiency for maximum power output in physical and biological systems. *American Scientist*, 1955, 43(2): 331-343.
- [18] Odum H T. Primary production in flowing waters. *Limnology and Oceanography*, 1956, 1(2): 102-117.
- [19] Odum E P. Energy flow in ecosystems: a historical review. *American Zoologist*, 1968, 8(1): 11-18.
- [20] Odum H T. Implications of energy use on environmental conservation and future ways of life//Thirteenth Technical Meeting of IUCN, Gland: IUCN, 1975: 165-177.
- [21] Odum H T. Self-organization, transformity, and information. *Science*, 1988, 242(4882): 1132-1139.
- [22] Odum H T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley, 1996: 370-370.
- [23] 蔡晓明, 蔡博峰. 生态系统的理论和实践. 北京: 化学工业出版社, 2012: 251-251.
- [24] Odum E P, Barrett G W. 生态学基础. 陆健健, 王伟, 王天慧, 何文珊, 李秀珍, 译. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 15-15.
- [25] Worster D. 自然的经济体系: 生态思想史. 侯文惠, 译. 北京: 商务印书馆, 1999: 364-364.
- [26] Teal J M. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology*, 1962, 43(4): 614-624.
- [27] Worster D. *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [28] Odum H T. *Environment, Power, and Society*. New York: Wiley-Interscience, 1971.
- [29] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1-23.
- [30] O'Neill R V. Is it time to bury the ecosystem concept? (with full military honors, of course!). *Ecology*, 2001, 82(12): 3275-3284.
- [31] Silver W. The theory of power and efficiency in ecology. *Ecological Modelling*, 1982, 15(2): 159-164.
- [32] Golley F B. The ecosystem concept: a search for order. *Ecological Research*, 1991, 6(2): 129-138.
- [33] Månsson B Å, McGlade J M. Ecology, thermodynamics and H.T. Odum's conjectures. *Oecologia*, 1993, 93(4): 582-596.
- [34] Brown M T, Herendeen R A. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 1996, 19(3): 219-235.
- [35] Cleveland C J, Kaufmann R K, Stern D I. Aggregation and the role of energy in the economy. *Ecological Economics*, 2000, 32(2): 301-317.
- [36] Schizas D, Stamou G. What ecosystems really are—physicochemical or biological entities? *Ecological Modelling*, 2007, 200(1/2): 178-182.
- [37] Patten B C. Toward a more holistic ecology, and science: the contribution of H.T. Odum. *Oecologia*, 1993, 93(4): 597-602.
- [38] Patten B C, Bosserman R W, Finn J T, Cale W G. Propagation of cause in ecosystems//Patten B C, ed. *Systems Analysis and Simulation in Ecology*. New York: Academic Press, 1976: 457-579.
- [39] Patten B C. Systems approach to the concept of environment. *The Ohio Journal of Science*, 1978, 78(4): 206-222.
- [40] Patten B C. Energy cycling in the ecosystem. *Ecological Modelling*, 1985, 28(1/2): 1-71.
- [41] Reiners W A. Complementary models for ecosystems. *The American Naturalist*, 1986, 127(1): 59-73.
- [42] Cousins S. The decline of the trophic level concept. *Trends in Ecology & Evolution*, 1987, 2(10): 312-316.
- [43] Higashi M, Patten B C. Further aspects of the analysis of indirect effects in ecosystems. *Ecological Modelling*, 1986, 31(1/4): 69-77.
- [44] Patten B C. Environ theory and indirect effects: a reply to Loehle. *Ecology*, 1990, 71(6): 2386-2393.
- [45] Patten B C, Straskraba M, Jørgensen S E. Ecosystems emerging: 1. Conservation. *Ecological Modelling*, 1997, 96(1/3): 221-284.
- [46] Jørgensen S E. 系统生态学导论. 陆健健, 译. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [47] Straskraba M, Jørgensen S E, Patten B C. Ecosystems emerging: 2. Dissipation. *Ecological Modelling*, 1999, 117(1): 3-39.
- [48] Fath B D, Patten B C. Review of the foundations of network environ analysis. *Ecosystems*, 1999, 2(2): 167-179.
- [49] Schizas D. Systems ecology reloaded: a critical assessment focusing on the relations between science and ideology//Stamou G P, ed. *Populations, Biocommunities, Ecosystems: A Review of Controversies in Ecological Thinking*. Oak Park: Bentham Science Publishers, 2011: 67-92.
- [50] Jørgensen S E, Fath B, Bastianoni S, Marques J C, Müller F, Nielsen S N, Patten B D, Tiezzi E, Ulanowicz R E. *A New Ecology: Systems Perspective*. Amsterdam: Elsevier, 2007: 3-4.
- [51] Jørgensen S E. 生态系统生态学中文导读版. 牟溥, 译. 北京: 科学出版社, 2011.
- [52] Gilbert F, Owen J. Size, shape, competition, and community structure in hoverflies (Diptera: Syrphidae). *The Journal of Animal Ecology*, 1990, 59(1): 21-39.
- [53] Begon M, Harper J L, Townsend C R. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Oxford: Blackwell Science, 1996.
- [54] Odum E P. The strategy of ecosystem development. *Science*, 1969, 164(3877): 262-270.
- [55] McIntosh R P. 生态学概念和理论的发展. 徐嵩龄, 译. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 124-124.