

# 生态学实验时空尺度认识的基本原则 ——实验对象的操作尺度与其自身尺度相契合

肖显静

华南师范大学科学技术与社会研究院, 广州 510006

**摘要** 时间和空间存在, 尺度存在, 生态学实验对象的时空尺度(本体论意义上的, 又叫“本征尺度”)也存在。对生态学实验对象的时空尺度认识的基本原则是让“生态学实验对象的时空操作尺度”(方法论意义上的, 又叫“表征尺度”)与生态学实验对象的时空尺度相契合(认识论意义上的)。这是生态学实验时空尺度关联实在论。在具体的生态学实验过程中, 有些生态学家或坚持生态学实验对象的时空尺度不存在, 或坚持其虽然存在但是不可认识, 从而走向工具论和经验建构论(反实在论)。这种立场与生态学认识的基本宗旨——认识自然界中存在的生物与环境之间的关系相违背, 应该抛弃。而且, 某些生态学家或出于生态学实验对象的时空尺度本身认识的困难, 或出于“不发表便出局”及其他原因, 一是将生态学实验对象的时空尺度之时空简化为牛顿的绝对时空观, 而没有考虑爱因斯坦的相对论时空观、普里戈金的“内时间”乃至引伸出来的“内空间”时空观, 以及莱布尼兹的关系“空间观”乃至引伸出来的关系“时间观”, 二是没有选择恰当的“粒度”和“幅度”进行实验, 造成“用度失当”之误, 三是没有进行充分的多尺度分析, 造成“聚集偏差”, 四是没有建构合适的模型, 造成“鼠夹捕象”现象, 五是没有正确识别“特征尺度”, 造成“生态学谬误”。生态学实验者应针对上述不足, 坚持正确的时空观, 采取各种措施, 以获得对生态学实验对象尺度的正确认识。

**关键词** 生态学实验; 对象尺度; 操作尺度; 尺度分析; 实在论; 反实在论

生态学实验时空尺度分为两个层面: 一是本体论层面的, 或者内在于生态学实验对象, 为其自身所固有, 可称为“固有尺度”(inherent scale), 或者外在于生态学实验对象, 用于其运动和变化的度

量, 它们不依赖于人类认识而存在, 是“本体论意义上的生态学实验尺度”, 可以称之为“生态学实验对象的时空尺度”或者“本征尺度”(eigen scale); 二是方法论层面的, 为生态学实验者在操作(或观察、测

收稿日期: 2019-06-03; 修回日期: 2019-10-30

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(16ZDA112)

作者简介: 肖显静, 教授, 研究方向为生态学哲学及科学技术与环境论, 电子信箱: xxj201@126.com

引用格式: 肖显静. 生态学实验时空尺度认识的基本原则——实验对象的操作尺度与其自身尺度相契合[J]. 科技导报, 2019, 37(24): 89-99. doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.24.011

量,或分析、模拟等)生态学实验对象过程中涉及到的,可以称之为“生态学实验对象的时空操作尺度”,或者“所予尺度”(given scale)、“表征尺度”(representation scale),这类尺度是“方法论意义上的生态学实验尺度”<sup>[1]</sup>。第一个层面的生态学实验尺度(即生态学实验的对象尺度)存在吗?如果存在,则生态学实验对象的时空尺度属性如何?生态学实验对象的操作尺度以生态学实验对象的时空尺度为摹本(鹄的)了吗?如果没有贯彻或者贯彻不到位,原因如何?应该采取什么样的原则和策略才能避免这一点?这是科学实在论的坚持。如果不存在,则所有关于生态学实验对象尺度的认识,或者通过操作生态学实验对象而获得的尺度认识,就纯粹是生态学家的建构,不具有真理性或逼近真理的旨归,而只具有反实在论的工具论或者经验建构论的内涵。鉴此,在生态学实验中,是坚持实在论的立场还是反实在论的立场,是每一个生态学实验者都应回答的问题。

## 1 本体论上:生态学实验对象时空尺度(本征尺度)是存在的

为回答“时空尺度是否存在”这一问题,首先要回答尺度是什么,然后回答时间、空间是否存在,再回答时间尺度和空间尺度为何存在。

### 1.1 尺度是存在的

根据牛津英语词典的定义,英文名词“scale”的含义包括:(1)某事物的尺寸、规模、范围、程度,尤其当该事物与其他事物相比较时(the size or extent of something, especially when compared with something else);(2)用来衡量事物的等级(层次)以及数字序列(a range of levels or numbers used for measuring something);(3)事物的所有不同的从最低到最高的等级体系(the set of all the different levels of something, from the lowest to the highest);(4)用来测量事物的工具上的固定间隔标度(刻度)(a series of marks at regular intervals on an instrument that is used for measuring);(5)称量(衡量)人类或事物的工具(an instrument for weighing people

or things);(6)事物的真实尺寸和表征它的地图、图表或模型上的尺寸之比例关系(the relation between the actual size of something and its size on a map, diagram or model that represents it)。

概括而言,上述(1)表示的是“尺寸”(size);(2)和(3)表示的是等级或层级(level)以及阶梯式的(ladder)数字变化;(4)表示的是衡量标度(marks for measuring),如刻度、标尺等;(5)表示的是衡器(weighing instrument),如秤、磅秤、天平、标尺等;(6)表示的是地图、图表、模型中的缩放比例(zoom scale),如比例尺等。

从上述“尺度”的定义看,尺度是某一事物的存在状态,也是人类对某一事物的衡量。据此,尺度是存在的。

### 1.2 时间、空间是存在的

时间存在吗?哲学家和科学家给出的答案明显不同:黑格尔、海德格尔等哲学家将时间主观化,认为其不存在;而另一些哲学家如柏格森、怀特海则将时间分别与不可逆的进化以及世界之过程联系起来,认为其存在。科学家一般认为时间是存在的,如牛顿的“绝对时间观”、爱因斯坦的“相对时间观”与普里戈金的“内在时间”等。综合观之,根据科学认识,现在一般认为时间是存在的。

空间存在吗?一种观点认为,空间并不客观存在,它们只是人类的主观建构。这种观点的典型代表人物是康德,他认为:“空间不是某种客观的实在的东西,它既不是实体,也不是偶性,还不是关系;而是主观的东西,是观念的东西,是按照固定的规律仿佛从精神的本性产生出的图式,要把外部感知的一切都彼此排列起来。”<sup>[2]</sup>

不过,必须注意,上述陈述实质上简化了康德的时空观。事实上,在康德那里,世界之所以表现出时空特征,是因为人们用这种认知结构去看待世界的结果。时空既非牛顿主张的是世界本身的一种实在(reality)即认知的对象,也并非如莱布尼兹所主张的完全源自于人们对世界中的不同实在(realities)间的关系的认知结果,而是时间和空间内化为人认知能力的形式或结构,即认知意义上的时空结构或认知的前提(先验形式)。在今天看来,

这样的观念并无多少道理,人类时间结构的先验性似乎更多地体现了主体间性和主体性,而不是其客观性,其客观性仍然要从时间、空间的客观性入手。

考察科学的发展史,与上述观点有所不同。无论是古希腊原子论者留基伯和德谟克利特,还是笛卡尔,或者是莱布尼兹、牛顿、爱因斯坦与哈维,他们虽然对空间的具体看法不同,但有一点认识是共同的,即空间是存在的。

### 1.3 时间尺度和空间尺度是存在的

时间、空间的存在为时间尺度、空间尺度的存在奠定了基础。不过,必须清楚,由时间、空间的存在并不必然推得时间尺度和空间尺度的存在。时间尺度和空间尺度的存在必须由具体的认识对象展现。落实到生态学实验对象,就是其相应的性质与相应的时间尺度、空间尺度相对应。这在生态学实验中称为“尺度效应”(scale effect),即随着时间尺度、空间尺度的变化,生态学实验对象的要素类型、组合以及属性也会发生变化。例如在景观生态学中,景观的各组成要素以及属性会随着时间尺度、空间尺度的变化呈现不均匀性和复杂性,甚至使得景观格局(景观的组分构成及其空间分布形式)发生改变。这叫景观异质性,典型地表现在“斑块”改变上。所谓“斑块”,“又称缀块或拼块,是依赖于尺度的,与周围环境(基质)在性质和外观上不同,表现出明显边界,并具有一定内部均质性的空间实体”<sup>[3]</sup>。

如孙贤斌等<sup>[4]</sup>基于GIS技术和主成分分析方法,对1950、1967、1983和2000年挠力河流域湿地景观斑块特征与斑块内植物群落多样性之间的关系进行了研究。结果表明:1950—2000年,研究区湿地斑块平均面积逐渐减小,能够维持2种及以上植物群落的斑块数量逐渐减少,最小斑块面积为10.1 km<sup>2</sup>;湿地斑块面积与植物群落多样性指数和群落类型数均呈显著正相关关系( $P < 0.01$ )——湿地斑块面积越大,维持植物群落多样性的能力越强;随着湿地斑块面积的逐渐减小,斑块破碎化指数和分维数逐渐增大,形状指数和斑块内植物群落多样性指数逐渐减小;随着湿地斑块空间分离度的增大,斑块内植物群落多样性指数呈减小趋势;主

成分分析结果显示,研究区湿地斑块面积大小是影响斑块内群落多样性的最重要因素,其次为斑块的破碎化程度和分离度。

## 2 认识论上:按照生态学实验对象的时空尺度属性进行认识

尺度是存在的,时间、空间是存在的,时间尺度、空间尺度是存在的,在生态学实验过程中,应该认识这样的存在。之所以如此,是因为根据生态学的定义,生态学是研究自然界中存在的生物与环境之间的关系,而不是任何其他的人工关系,任何违背这一宗旨的生态学研究,都是不合理的,也是不合法的。

正因为如此,在生态学实验的类型选择上,生态学实验者选择了观测实验、操纵实验、宇宙实验与自然实验等类型。对于这些实验,测量实验“观测”自然,操纵实验“处理”自然,宇宙实验“模拟”自然,自然实验“追随”自然。它们都有一个相同的目标,就是“回归”自然以获得“自然状态下”生态学实验对象的认识,体现了生态学实验的“实在性”(reality)与“自然性”(naturalness)特征<sup>[5]</sup>。

既然如此,对于生态学实验对象时空尺度的认识也应如此。问题是:生态学实验对象的时空属性如何?应该按照什么样的生态学实验对象的时空属性来展开实验进行认识呢?

根据科学的发展,概括科学的时空观,有牛顿的“绝对时空观”、爱因斯坦的“狭义相对论时空观”和“广义相对论时空观”、普里戈金的“演化时空观”或“内时间观”及莱布尼兹的“关系空间观”。生态学实验者可依据不同的时空观,采取不同的生态学实验策略,获得对生态学实验对象不同的认识。

如果生态学实验对象的时间、空间如牛顿“绝对时空观”中的时间和空间,那么此时时间、空间就外在于生态学实验对象及其演化而没有内在的关系,时间和空间是外在的、平直的、均匀的、非演化的与可逆的,时间尺度和空间尺度与生态学实验对象没有内在的关系,而仅是其所占据的时间和空间的度量。时间、空间以及时间尺度和空间尺度即使

存在,也仅是描述生态学实验对象呈现及其演化的工具。

如果生态学实验对象的时空如爱因斯坦狭义相对论时空观中的时空,则此时,时间和空间仍然是外在于生态学实验对象的,是外在的、平直的、均匀的、非演化的与可逆的,时间、空间不能影响到生态学实验对象的运动演化,而生态学实验对象的运动状态会影响到时间、空间及其相关尺度的度量。如果生态学实验对象的时空如爱因斯坦广义相对论时空观中的时空,那么此时,生态学实验对象自身的属性如组成、结构、性质会直接影响到时空属性,时空属性会随着生态学实验对象存在方式的不同而不同,时空是外在于生态学实验对象的,非平直的、非均匀与非演化的,生态学实验对象可以影响到时空属性及其度量,时空与生态学实验对象不可分离。时间、空间及时间尺度、空间尺度就不单纯是描述生态学实验对象的存在及其演化的工具,而成为生态学实验对象存在及其演化的结果属性。

如果生态学实验对象的时间和空间如普里戈金的耗散结构理论之“内时间”乃至扩展的“内空间”,则时间、空间与生态学实验对象的起源、存在与演化有着内在的关联,甚至成为生态学实验对象的本质属性。时间尺度和空间尺度是生态学实验对象本身所固有的,内在于它们,也称作内在尺度(intrinsic scale)。此时,一方面要考虑并研究生态学实验对象时间与其演化的不可逆性之间的关联,并且在认识的最终结果表示式(表征)中表示出来;另外一方面要研究该实验对象内部结构及其空间属性,以及这样的属性与该实验对象的性质、功能的关联,还要研究该实验对象与环境之间的空间结构,以及这样的结构对实验对象与环境之间关系的影响。

如果生态学实验对象的时间如莱布尼兹的时间,则时间就是一种观念,是人们认识的一种尺度,会随着人们对实验对象认识的不同而不同;空间是“关系空间”,是生态学实验对象之间以及实验对象内部诸事物之间、对象与外部环境之间的并存秩序。这样一来,时间能够独立于生态学实验对象及其各种关系而存在,而空间不能,它蕴涵于生态学

实验对象所涉及的各种关系中。如此,就将时间、空间从绝对时空观的“无物质”“无变化”,相对时空观的“有物质”“有演化”“无关系”,“内部时空观”的“有物质”“有演化”,推进到“有物质”“有能量”“有信息”“有演化”“有关系”。之所以加上“有信息”,是因为“关系”是与分形、等级、自组织、耗散结构、混沌、复杂适应系统、非线性动态、过程、发育与生成等紧密关联的,即与信息紧密关联。

以上是生态学实验研究者应该考虑的。不同的时空观,将会有不同的生态学实验对象的认识原则:如果坚持牛顿的绝对时空观,那么对时空本身不研究,而应研究实验对象在时空中的运动;如果坚持爱因斯坦的相对论时空观,则对时空本身不研究,但应研究实验对象的时空属性,或者相对于实验对象的时空属性;如果坚持普里戈金的“内时间”及其扩展的“内空间”,则不仅需要研究对象,而且还要研究时间、空间与对象演化及其状态之关联,研究时空参数与事物之间的不可分离性,即不仅要研究对象之时空属性变化,还要研究时空属性如何影响对象;如果坚持莱布尼兹的“关系空间”,则对于上述各个方面都要研究。

在这种情况下,就要对生态学实验对象的时空属性进行深入研究,明确其时空属性究竟属于哪一类,然后再针对特定类型的时空属性及其尺度,进行进一步研究。如此,才能保证相关认识的正确。

### 3 方法论上:以生态学实验对象的时空尺度为摹本(鹄的)

时间、空间是存在的,生态学实验对象的时间尺度和空间尺度也是存在的,存在的这些尺度又称为“本征尺度”。既然生态学研究的目标是获得自然界中存在的生物与环境之间的关系,那么,在生态学实验过程中,就应该采取各种方法,在遵循相应方法论原则的基础上,通过对生态学实验对象尺度的操作——操作尺度(又称为“表征尺度”),识别、选择、分析、模拟自然界中存在的生态学实验的对象尺度——“本征尺度”,使得表征尺度与本征尺度相契合(至于是何种意义上的契合,值得探讨),

以获得对本征尺度的正确认识。上述方法论原则可由图1表示。

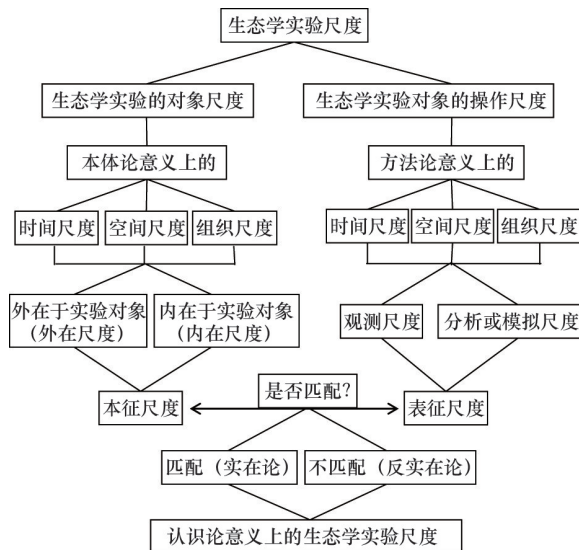


图1 生态学实验尺度分类及其认识意义关联<sup>[1]</sup>

Fig. 1 Classification based on the scale of ecological experiments and its cognitive significance

根据图1,认识论意义上的尺度的实现,是以方法论意义上的“生态学实验对象的操作尺度”(表征尺度)与本体论意义上的“生态学实验的对象尺度”(本征尺度)是否契合为标准的,体现了生态学实验时空尺度关联实在论。由此进一步引出的问题是:生态学实验者采取了什么样的时空观进行实验?有什么样的欠缺?在具体操作过程中存在什么样的问题?这些对于生态学实验者具体贯彻生态学实验时空尺度关联实在论有什么样的意义?

#### 4 生态学实验者时空观的选择及其欠缺

综观目前的生态学研究实践,有些生态学家对上述各方面进行了积极探讨。戴维德(David W)<sup>[6]</sup>等认为:“生态学的一个根本原则是,生态系统(各组成部分)的内在相关性造就了生态系统的过程和物理属性。为了进一步研究这些过程,我们建议,相互关系的强度能定义生态过程的内在尺度,以及解决这些问题的最恰当的层次。”但是,也不能否

认,有相当一部分生态学家或者对时间、空间的各种科学观点以及哲学内涵缺少基本的了解和认识,或者虽然了解并且认识它们,但是鉴于这些内涵及其认识的复杂性,以及现实操作的困难或其他方面的原因,很少乃至根本就不考虑生态学对象与时间、空间之间的关系,而是以一种朴素的、绝对的牛顿时空观来看待、研究、描述生态学实验对象。在他们那里,时间、空间与生态学实验对象的组成、结构、功能、性质、关系与行为等没有关系,时间与空间没有关系,时间、空间仅仅是他们用来度量生态学对象运动变化的工具。如此,他们就忽视乃至否弃了爱因斯坦相对论时空观、普里戈金演化时间观、莱布尼兹关系空间观及其在生态学中的应用。

这样的选择是有问题的。如姚依强等<sup>[7]</sup>对华北落叶松树干液流速率展开了研究,得到一系列结论:在日尺度上,由于液流速率受到环境因子的即时影响比较强烈,液流速率的变化程度就比较大,而在月尺度上,液流速率的变化程度相对较小;饱和水汽压差、空气相对湿度和太阳辐射强度在小时尺度上对液流速率的影响高于日尺度,土壤温度、空气温度和土壤含水量在日尺度上对液流速率的影响高于小时尺度;饱和水汽压差、太阳辐射强度和空气温度在月尺度上与液流速率关系密切。

由该案例可见,此处的生态学实验对象及其性质与时间尺度紧密相关,影响该生态学实验对象生态过程的相关环境因子,在不同的时间尺度上所起的作用也有差别,此时,“时间尺度”是内在的、关系的,应该据此对该研究对象展开研究。

#### 5 生态学实验者时空尺度选择及分析中的问题

##### 5.1 没有恰当选择“粒度”和“幅度”,造成“用度失当”之误

受人为以及自然条件的限制,生态学实验不可能在任意尺度上进行,只能在某个对象或过程的时间单位尺度和空间单位尺度上展开。这种时间单位尺度和空间单位尺度就是“粒度”(用以分析给定数据集的空间或时间分辨率)和“幅度”(研究尺寸

和测量所进行的整个持续时间)<sup>[8-9]</sup>。

一般而言,对于生态学实验对象的操作尺度的选择,粒度或幅度过大时,结果不够精确;粒度或幅度过小时,很难整体把握实验对象。如果粒度变大,超过了研究现象的特征粒度,那么很可能会无法检测格局变化;如果幅度从大于研究现象的特征幅度变化到小于研究对象的特征幅度,那么也可能无法检测出格局结构<sup>[10]</sup>。这是尺度的“用度失当”。

例如,卫星图像具有特征化的粒度和幅度,它们由仪器测量地球表面的光谱特征来规定,凭借卫星测量系统特征化的粒度和幅度进行测量,有时不能保证被观测对象时间尺度和空间尺度的呈现。再如,一个鱼群的典型粒度可能是一个鱼的世代时间尺度,典型幅度可能是鱼群本身的大小或寿命。这些是对象自身的粒度和幅度尺度。生态学实验过程中所选择的粒度和幅度理应与此相同,这样才能正确反映鱼群的典型粒度和幅度。但是,由于后者的选择总是由客观上可辨认的自然边界来规定等原因,常常造成生态学实验对象的操作尺度(粒度与幅度的选择)与生态学实验的对象尺度(粒度和幅度)不一致,从而导致关于该鱼群对象的尺度认识方面的偏差。

从目前看,生态学的实验对象有其自身的时间尺度和空间尺度,这样的尺度与生态学实验对象的结构、功能等之间有什么样的关系,被生态学界普遍忽视。这种状况是不完整的,甚至是不恰当的。

## 5.2 没有进行多尺度格局分析,造成尺度分析中的“聚合误差”

不可否认,生态学实验对象系统所呈现出来的现象与过程以及实验结果是多尺度、多生态因子共振(整合)作用下的产物。生态学实验对象的属性,诸如空间异质性、生物的移动性、安全庇护场所、繁殖率、累积的变化因子等,要么是同时地,要么是连续地对多个环境因子敏感。鉴此,生态学家很难客观地分析单个因子对这些属性的作用程度,对这些各种不同因子的作用进行恰当地评估和取舍,进而纯化、提炼相关因子作为模型建构和分析的关键变量,他们所能做的往往是简化多尺度的生态关系,取消或扭曲某些生态因子,忽视尺度关联,模糊单

个因子对环境条件的反应值与更大尺度的多因子对环境条件反应的联动效应,不加区分时间尺度与其他尺度和因子对生态过程的影响,产生一种所谓的“聚合误差”(aggregation error)<sup>[11]</sup>。

“聚合误差”是普遍存在的。考察现有的生态学实验设计,不少生态学模型就把多尺度的生态关系几乎全部简化为捕食与被捕食关系,但是,“生态的相互作用网络的量化应该基于个体在做什么,而不仅仅是物种之间谁吃掉谁”<sup>[12]</sup>。

## 5.3 没有合适地建构模型,造成“尺度还原”中的“鼠夹捕象”

对于系统生态学,在对生态过程进行粗粒化处理的过程中,往往强调了生态过程的时间尺度,忽视了群落或生态系统的自然史以及相应进化过程中的时间尺度,使得生态模型中有关生态学对象的时间尺度为常量,即生态学对象的性质不随时间的变化而变化。类似这样的处理方式就是彼得森(Petersen)和赫斯廷(Hastings)的尺度“归约”(reductions)和实验人工物(artifacts),造成尺度“失真”(distortions),结果就是“鼠夹捕象”(mousetraps to catch elephants)<sup>[13]</sup>。具体而言就是:尺度“归约”人为地缩小了生态学实验对象的时间尺度或者空间尺度,由此引起生态学实验对象的物质、能量以及生物交换等的复杂性衰减;实验“人工物”排除了那些不想要的但对实验有潜在影响的偏好实验场所生境的其他生物群的干扰,由此引起生态学实验对象边界(不仅限于可见的物理维度,也应包括不可见的生物维度)的改变,以及相应的物质、能量与信息交换的改变。这两方面都会导致尺度“失真”,最常见的表现主要是在生态模型建立过程中,所应用的时间、空间、环境、生境和梯度变量等因子,与自然状态相比存在偏差,由此改变生态学实验对象属性之关联的尺度粒度与幅度。

事实上,就上述案例来说,生态学对象的进化过程比生态过程要长得多、复杂得多,如此处理必然导致生态学实验对象的历史被“遗忘”或被“抛弃”,物种及其相应的变化会被“隐藏”起来,造成现有生态格局形成机制解释的因果链某些环节缺失,并由此导致对生态系统复杂性的描述失真。

#### 5.4 没有识别“特征尺度”,造成“尺度推绎”的“生态学谬误”

所谓“特征尺度”(characteristic scale),与关键词“characteristic”含义紧密相关,而该词含有“特有的、独特的、表示特性的、显示……的特征的”之意,故“特征尺度”也可以被称作“特色尺度”或“特有尺度”。它针对的是:对于同一个生态学实验对象,在某一尺度范围内,其性质本质不变,但呈现量变;一旦超过这一尺度范围,其性质本质发生变化,呈现某种异质性的变化,进入到新的状态,从而使对象呈现出截然不同的特征,达到一个新的等级水平。鉴此,生态学中的“特征尺度”表示的是同一个生态学对象(格局或过程)处于某一等级水平所对应的尺度域(domain of scale),当越过这一尺度域时,该生态学对象或者处于更低等级水平,或者处于更高等级水平。

特征尺度与特定的格局和过程等相对应。正因为如此,“某些生态学过程和动态可能在景观格局特征达到某一临界值时出现突变。意识到这种临界域现象的存在,找到这些阈值,并解释其可能的生态学意义,在理论和实践中都十分重要”<sup>[3]</sup>。例如,河岸带的植被覆盖度达到多少时,可显著截留地表径流中的可溶性氮,而覆盖度再增大时,植被的截留效应变化不大? 适宜农田斑块的面积占整个景观面积的多少时,田鼠能够穿越大面积的景观,并且危害农作物? 生境破碎化(与景观连通性相对)达到什么程度时,生境隔离效应开始表现明显,从而影响濒危物种在不同栖息地之间的迁移和基因交流?

上面是实践中提出的有关特征尺度问题。事实上,在理论上(即在生态学实验的对象尺度认识上),常常面对的是复杂的、实体数量庞大的、进化演替不可重复的对象,而且这些对象或以异常迅速或缓慢的时间尺度,或以巨大的或微小的空间尺度演化并存在。对于这些对象,若直接在其上进行实验异常艰难甚至不可能,一条可行的路径是在相比于生态学实验对象较小或较大(有时是很小或很大)的时间尺度或空间尺度上进行实验,然后再将实验结果外推(将小尺度上的生态学实验信息推绎

到大尺度上)或内推(将大尺度上的生态学实验信息推绎到小尺度上)。前者称为“尺度上推”(scaling-up 或 upscaling),后者称为“尺度下推”(scaling-down 或 downscaling),两者统称为“尺度推绎”(scaling)。

概括“尺度推绎”,是指“把某一尺度上所获得的信息和知识扩展到其他尺度上,或者通过在多尺度上的研究而探讨生态学结构和功能尺度特征的过程;简言之,‘尺度推绎’即为跨尺度信息转换”<sup>[14]</sup>。“尺度推绎”是将生态学实验结果从一个尺度推绎到另外一个尺度,有可能涉及生态学实验对象的等级转换。“在一个等级系统中,各等级水平系统的结构和功能不尽相同。故从一个等级水平上系统的性质来推测另一个等级水平上系统的性质是很困难的,其结果常常导致错误的结论,即所谓的生态学谬误(ecological fallacy)。”<sup>[15]</sup>

## 6 贯彻生态学实验时空尺度关联实在论的措施

### 6.1 针对生态学实验对象时空尺度属性,有区别地应用不同的实验策略展开认识

生态学实验对象中不乏有类似于牛顿经典力学中的物理学对象,可以秉承绝对时空观以时间、空间作为工具对它们进行认识,但是,对于生态学研究对象如生物个体、物种、种群、群落、生态系统、景观、区域、全球等,应该明确它们是一个进化的、复杂的、自组织的、生命的层级系统。对于这些系统,应该对它们的时间属性和空间属性展开研究,明确它们与时间、空间的关系属性究竟是属于牛顿的绝对时空观、爱因斯坦的“相对时空观”、普里戈金的耗散结构理论之“内时间”及引伸出来的“内空间”,还是属于莱布尼兹的“关系时间”及引伸出来的“关系空间”,之后再采取相应的对策并加以研究。事实上,生态学实验的对象尺度相对于生态学对象自身而言是相对的、内在的和关系的,应在生态学研究的实践过程中加以明确,否则,生态学实验对象的操作尺度势必沦为认识和描述生态学实验对象的工具。

## 6.2 选择恰当的“粒度”和“幅度”，防止“用度失当”之误

为了保证对生态学实验对象尺度(本征尺度)的正确认识,生态学家普肯(Kemp)等指出,应该区分“粒度”或“幅度”3个明显不同的语境:一是生态学实验研究对象的性质变化所依赖的“粒度”或“幅度”数据是否在自然中被观察;二是这些“粒度”或“幅度”数据是否通过实验操作来采集;三是“粒度”或“幅度”是否是以自然系统的“内在尺度”(本征尺度)来测量<sup>[6]</sup>。一句话,生态学实验过程中“粒度”与“幅度”的选择,应该以本征尺度为摹本,选择恰当,防止“用度失当”。

## 6.3 进行多尺度格局分析,防止尺度分析中的“聚合偏差”

“由于空间或景观异质性的存在,生态过程作用范围和影响幅度的不确定和不明显,往往不能直接识别等级结构和特征尺度,而需要借助适当的多尺度空间格局分析方法。”<sup>[10]</sup>生态学多尺度空间格局分析方法有景观指数法、空间统计学方法和分维分析法3种,各种方法都以数据采集和分析为前提,再对数据模式进行解释,从而识别等级结构或特征尺度。不过,“鉴于不同方法各有其优劣,有必要同时使用两种或两种以上方法进行比较和相互印证,并综合分析不同方法的检测结果,或者发展融合不同方法优势的新方法”<sup>[9]</sup>。

## 6.4 建构合适的生态学模型,防止“尺度还原”中的“鼠夹捕象”

生态学家应该以历史进化为背景,把时间尺度看作是历史的、离散的,把生态现象与过程看作是偶然性的“过去情境的综合”(composite of past conditions)展开认识。“生态学家应该密切调研特定境况的自然史,并由实验检验关于这些情形的特定假说。”<sup>[17]</sup>例如对于种群生态学,应特别强调跨时空尺度背景下的种群自然演化历史,把生物个体之间偶然性的变化——种群内特定时间和空间尺度发生的相互作用,看作是本质上改变生态过程的关键变量,从而为每一个物种种群打上特定时空尺度的烙印,否弃生物种群决定论的、普遍的终极演化状态预设或成见。

## 6.5 识别“特征尺度”,防止“尺度推绎”的“生态学谬误”

为了避免上述“生态学谬误”,就要进行生态学实验对象的“尺度依赖”与“尺度效应”分析,明确生态学实验对象的“特征尺度”,并依据特征尺度的范围和性质对“尺度推绎”进行分析,以明确其尺度推绎是否可能。一般而言,如果生态学实验对象属于严格同质性和均衡性的系统,响应变量的强度不随尺度的变化而变化,那么,在这种情境下,任意尺度下的研究和实验结果都可以无损地外推到其他尺度上,不用考虑尺度及其尺度推绎;如果响应变量的值随尺度单调变化,尺度依赖性的形式在一定尺度范围内保持不变,尺度推绎关系能够表达为等式,那么,尺度推绎可以径直获得,如物种-区域关系(物种的丰度是区域的幂函数)就是这样一个著名的例子;如果响应变量的值随尺度单调变化呈现尺度阈值(threshold),那么在同一尺度域内,格局和过程之间的关系至少确保比例不变(比如幂律函数),可以进行推绎,否则,一旦达到并且越过这一阈值,将会造成尺度推绎关系的非线性变化,从而使得简单尺度推绎等式的推测存在显著偏差,推绎就成问题了。如果研究者不想把实验结果外推,那么此时对外推困难的担心就是多余的。但是,几乎没有生态学实验者不想把他们得到的结果扩展到其他系统或其他尺度上,因此,对这种情形下外推困境的担心在生态学界是普遍存在的。为此,探讨并选择合适的尺度推绎的方法或途径,遵循一般的尺度推绎指南,进行尺度推绎的“特征尺度”分析,以提高并保证尺度推绎的可靠性,成为生态学实验者必须解决的问题。

## 7 应有的态度:回到生态学实验对象的时空尺度本身

在生态学实验过程中,应该按照生态学实验的对象尺度属性操作实验,而且,应该采取各种具体的方法,选择恰当的生态学对象的操作尺度,以使表征尺度与本征尺度相契合。这是生态学实验尺度实在论,是生态学者应该坚持的,因为生态学研

究目标就是认识自然界中生物与环境之间的关系。

理想是美好的,现实是残酷的。由于种种原因,在生态学界,仍然有一些生态学实验者持有生态学实验时空尺度关联的工具论和经验建构论。

第一,对于生态学实验的对象尺度,绝大多数生态学者认为它是存在的。例如特纳(Turner)等就认为,尺度是指一个物体或一个过程的时间、空间幅度<sup>[18]</sup>。也有部分生态学者不同于他,认为尺度不存在。例如艾伦(Allen)和斯塔尔(Starr)认为:尺度是能整合或流畅地产生信息的一段时间或空间;尺度既可以是离散的,也可以是连续的,没有本体论的地位,只有用来更好地理解和观察包括信息在内的生态学过程与现象的功能<sup>[19]</sup>。据此,在艾伦和斯塔尔看来,尺度与生态学实验对象自身没有关联,“生态学实验的对象尺度”不存在,存在的只是“生态学实验对象的操作尺度”,而且这种操作尺度只是生态学者建构出来作为描述某一层对象属性的概念,即只具有反科学实在论的工具论或者经验建构论意义,而不具有科学实在论意义。

第二,由于在生态学实验过程中,“粒度”和“幅度”的选择可能依赖于理论关联的框架和研究者使用的取样技术,也可能依赖于对所涉过程的界定(definition,或译“清晰度”),具有主观性、阶段性和有限性,因此,在某些人看来,关于“粒度”和“幅度”的“这些定义仅仅取决于数据收集方法的本质,它们不表达生态系统的任何潜在结构”<sup>[17]</sup>。如果是这样,则生态学实验对象的操作尺度,也即方法论意义上的尺度(表征尺度),就是人类用来认识本体论意义上的生态学实验对象尺度(本征尺度)的工具,所得到的相关理论在很多情况下只具有经验的适当性而不具有认识的真理性的。

第三,从生态学实验的研究对象呈现看,其是生态实体共存或交叉重叠于不同尺度混合表现出来的结果,存在着一对多、多对一的因果联结关系,十分复杂。其中有些不能被我们所感知,有些虽然能够被感知,但存在不完整、不确定的状况。由此,某些生态学实验者走向模型经验建构论。列文斯(Levin S A)说:“在某些情况下,人们刻意地选择

观察的尺度以便阐明自然系统的关键特征;更多的时候,尺度是被我们的感知能力或技术的、逻辑的限制强加给我们的。在具体个案中,系统的观察变量在关于尺度的描述中是有条件的。”<sup>[20]</sup>言下之意是,在大多数情况下,生态学实验的对象尺度是存在的,但是,生态学者对此不能在本原意义上加以认识,而只能是在现有条件下阶段性的、有限的、人为建构性的认识。如果是这样,则本体论意义上的生态学实验的对象尺度就不能被认识,表征尺度与本征尺度就没有契合,契合的只是生态学实验对象的操作尺度与在这种尺度操作下的生态学的实验现象呈现。

上述工具论和经验建构论或者认为时空不存在,或者认为时空尺度不存在,或者认为这些虽然存在,但无从认识,不知道它是一种什么样的存在。工具论或者经验建构论与实在论是不同的:前者存在的和被认识的只是认识者建构的,后者存在的和被认识的都是原本意义上的存在;前者可以没有本体论承诺,后者不仅有本体论承诺,而且还要在认识过程中实现这一承诺,以实现物自体意义上的认识的正确。

针对生态学实验对象,其时空关联的工具论和经验建构论是反实在论的,也是错误的,因为它们一定意义上违背了生态学研究的最终目标,即研究自然界中存在的生物与环境之间的关系。事实上,在生态学实验研究中,应该追求生态学实验时空尺度关联实在论,即深刻理解生态学实验的对象尺度属性,采取一切可能的措施,以努力实现生态学实验的表征尺度与本征尺度相契合。

在具体贯彻生态学实验尺度实在论的过程中会存在很多困难。但是,这种困难绝对不是生态学实验者走向经验建构论等的理由,相反应该成为他们采取多种方法论策略和措施的动力,最终目标是实现表征尺度与本征尺度的契合。这是另一种本征意义上的科学实在论,是一种形而上学实在论。

第一,生态学实验者应该多向物理学家学习,了解科学上各种各样的时空观,理解这种种时空观相对于生态学实验研究的意义,寻求合适的时空观,并在此基础上探讨合适的方法,加以进一步认

识。这样的选择应该是从绝对时空观到相对时空观,再到演化时空观,最后到关系时空观。

第二,生态学实验者应该了解人类思想史上某些哲学家如康德、黑格尔、海德格尔等否定时空客观存在的各种观点,理解其对于生态学研究的本体论意义上的不合理性,以及认识论、方法论上的某些可借鉴性。

第三,生态学实验者应该坚守生态学实验时空尺度关联实在论,而不应该由此追求过程中的困难,而走向工具论、经验建构论乃至相对主义。不过,鉴于研究的历史性局限性和阶段性,生态学实验者在科学实在论的追求中,可以坚持外在的实在论、非充分决定论、渐近实在论与弱实在论等。

第四,生态学实验者不应该受到“‘不发表就出局’文化”(publish or perish)等的影响,凭借所谓“研究人员的自由度”(researcher degrees of freedom),放任自己。生态学家不应该或者根本就不考虑生态学实验对象的时空尺度属性,而将此作为认识的工具或解释实验现象的权宜之计,走向工具论或经验建构论;或者将生态学实验对象的时空尺度简化为牛顿绝对时空观下的时空尺度,而不考虑其他属性;或者不考虑或少考虑生态学实验对象尺度的真实存在,出现“用度失当”“聚集性偏差”“鼠夹捕大象”以及“生态学谬误”等错误现象。这是“成问题的研究实践”(questionable research practices,简称QRPs),是一种隐性的学术不端行为,应该批判和杜绝。当然,对于生态学实验者也不可苛求。生态学的出现才100多年,生态学不同于传统科学,生态学的研究对象是复杂的,许多生态学的研究范式还没有建立,处于发展期,因此,任何对生态学求全责备以及急功近利地去追求理想,都是不恰当的。不过,有学者通过研究得出相关结论:“在景观动态研究中,对尺度问题的涉及最多,其中25.9%的研究忽视了尺度问题,18.5%的研究仅特指某个单尺度,22.2%的研究进行跨尺度外推的研究,但很少进行多尺度取样和分析研究。”<sup>[11]</sup>这表明,当前生态学实验者在很大程度上还存在着无视、轻视或错误地对待生态学实验对象时空尺度的存在及其属性的倾向。在这种情况下,生态学界当务之急是要坚持生态学实验对象的时空尺度关联

实在论,反对工具论和经验建构论,对生态学实验对象的时空尺度和操作尺度深入研究,减少尺度选择和分析中可能出现的各种错误,以获得对自然界中存在的本体论意义上的生态学对象的时空尺度的真实认识。

何为本体论意义上生态学实验对象的时间和空间尺度?生态学家如何知晓这样的时间尺度和空间尺度就是本体论意义上的存在?这样的存在是否是真实存在?生态学家如何判断方法论意义上生态学实验对象的操作尺度与本体论意义上的生态学实验的对象尺度相契合,或者已经以此为鹄的?生态学家如何发挥理论思维和数学抽象之优势,通过一种建构去认识一种经验的展现并且为这样的建构辩护?这些问题是生态学家目前在研究实践中面临的且需要长期努力解决的问题,涉及到各种各样的生态学实践以及诸多实在论和反实在论,当在以后的研究中进一步探讨。

**致谢:**华南理工大学罗栋、华南师范大学张涛等专家对完成后的论文提出了很好的修改建议及一些观点。

## 参考文献(References)

- [1] 肖显静. 生态学实验实在论——如何获得真实的实验结果[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [2] 康德. 康德著作全集(第2卷)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2004: 412.
- [3] 张娜. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 18.
- [4] 孙贤斌, 刘红玉, 张晓红, 等. 斑块尺度湿地植物群落多样性的维持能力[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 579-585.
- [5] 肖显静, 林祥磊. 生态学实验的“自然性”特征分析[J]. 自然辩证法通讯, 2018(3): 10-17.
- [6] David W C, John R S, John E B, et al. Determination of ecological scale[J]. Landscape Ecology, 1989, 2(4): 203-213.
- [7] 姚依强. 华北落叶松树干液流速率主要影响因子及关系的时间尺度变化[J]. 干旱区资源与环境, 2017(2): 155-161.
- [8] Wiens, Allen, Hoekstra, et al. Spatial scaling in ecology [J]. Functional Ecology, 1989, 3: 385-397.
- [9] Allen T F H, Hoekstra T W. Role of heterogeneity in scaling of ecological systems under analysis[C]//Kolasa, Pickett S T A, ed. Ecological Heterogeneity. New York: Springer-Verlag, 1991: 47-68.
- [10] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法[J]. 生态学报, 2006, 6(7): 2340-2355.

- [11] Englund G, Cooper S D. Scale effects and extrapolation in ecological experiments[J]. *Advances in Ecological Research*, 2003(33): 161–213.
- [12] Chave J. The problem of pattern and scale in ecology: What have we learned in 20 years[J]. *Ecology Letters*, 2013(16): 4–16.
- [13] Petersen J E, Hastings A. Dimensional approaches to scaling experimental ecosystems: Designing mousetraps to catch elephants[J]. *The American Naturalist*, 2001,157(3): 324–333.
- [14] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 19.
- [15] Dungan J L, Perry J N, Rale M R T, et al. A balance view of scale in spatial statistical analysis[J]. *Ecography*, 2002(25): 626–640.
- [16] Michael K W, John E P, Robert H G. Scale-dependence and the problem of extrapolation implications for experimental and natural coastal ecosystems[C]//Robert H G, Michael K W, Victor S K, et al. *Scaling Relations in Experimental Ecology*. New York: Columbia University Press, 2001: 10–12.
- [17] Taylor P, Haila Y. Situatedness and problematic boundaries: Conceptualizing life's complex ecological context [J]. *Biology and Philosophy*, 2001(16): 521–532.
- [18] Turner M G, Gardner R H, Neill R V. *Landscape ecology in theory and practice*[M]. New York: Springer-Verlag, 2001: 22–34.
- [19] Allen T F H, Starr T B. *Hierarchy: Perspectives for ecological complexity*[M]. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1982:18.
- [20] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology [J]. *Ecology*, 1992, 73(6):1943–1967.

## The basic principle of spatio-temporal scale identification in ecological experiment: The operational scale of experimental objects is compatible with its own scale

XIAO Xianjing

Institute for Science, Technology and Society, South China Normal University, Guangzhou 510006, China

**Abstract** With the existence of the time and the space and the existence of the scale, we may infer the existence of the temporal and spatial scales of the ecological experimental objects (in the ontological sense, also called the "eigen scales"). The basic principle of understanding the spatio-temporal scale of the ecological experimental objects is to make the "spatio-temporal operational scale of the ecological experimental objects" (in the methodological sense, also called the "representational scale") correspond to the spatio-temporal scale of the ecological experimental objects (in the epistemological sense). This is the realism of the time-space scale relevance of the ecological experiments. In the process of specific ecological experiments, some ecologists either insist that the spatio-temporal scale of the ecological experimental objects does not exist, or insist that although they exist, they cannot be recognized, thus they are in the position of the instrumentalism and the empirical constructivism (as opposed to the realism). This position is at odds with the fundamental tenet of the ecological understanding—the understanding of the relationship between the living things and the environment in nature, and should be abandoned. Moreover, some ecologists have difficulties in understanding the spatiotemporal scale of the ecological experimental objects, or have the feeling of out of the picture without publishing, or for other reasons, they go to simplify the space-time scale of the ecological experiment object into the Newton's absolute space-time view, instead of the Einstein's relativistic space-time view, Prigogine's "inner-time" and even the extended "inner-space" space-time view, and the Leibniz's "space view" and even the extended "time view" of the relationship. The right "granularity" and "amplitude" are not properly considered to carry out the experiment, with the error of "improper use". Insufficient multi-scale analysis often results in "aggregation bias". Without an appropriate model, we come to the position of the "mousetrap for the elephant". The "characteristic scale" is not correctly identified, resulting in the "ecological fallacy". In view of the above shortcomings, the ecological experimenters should adhere to the correct view of the time and the space and take various measures for a correct understanding of the scale of the objects of the ecological experiments.

**Keywords** ecological experiment; object scale; operation scale; scale analysis; realism; antirealism ●



(责任编辑 陈广仁)