

生态学实验真实性的追求

——以有效性、准确性、精确性的考量为基础

肖显静

华南师范大学公共管理学院哲学研究所, 广州 510006

摘要 在传统科学实验中,较高的有效性、准确性、精确性与较高的真实性相对应。但在生态学实验中,情况有所不同,只有保证有效性,才能获得真实性。鉴此,应该努力保证实验过程中“测量的概念”涵盖,但不与来自“研究的概念”或“想象的概念”重叠,在确立生态学实验有效性的过程中测量真实事物。准确性与真实性相对应,但在生态学实验中,“真实”的参考价值很难获取,甚至获取了也可能不太可靠,由此,提高仪器的技术性能,改进实验的操作流程,采取其他的方法如“空白值”试验,提高准确性以努力获得准确的结果,或者依赖相关的理论和经验分析,来定性地判断该生态学测量实验数据是否准确或者在多大程度上准确,就是必须的了。精确性与可靠性正相关,在生态学实验过程中,应该增加精确性,以保证可靠性,否则,即使获得了真实的实验结果,也可能因此精确性(可靠性)差而不被相信并不被接受;而且,一般地,对于不同类型的生态学实验,从数学模型,到数字的有机体,再到人工生命系统(宇宙实验),最后到不受干扰或处理的自然系统,复杂性越来越大,精确性越来越小,真实性越来越差,据此,必须针对具体的研究案例,选择恰当的实验类型,权衡实验的精确性和真实性。

关键词 生态学实验;真实性;有效性;准确性;精确性

生态学实验的目标是反映自然界中生物与环境之间的关系。由此,它尤其注重还原所研究现象的“真实性”(reality, 又称“实在性”)。这也使得生态学实验和传统科学实验有显著的不同,主要不同不是以实验室中人工事实的建构为旨趣,而是以野外实验客观反映自然事实为目标,即以“野外实验所获得的认识是否与自然界中存在的相合”为目标。这是生态学实验的“自

然性特征”,是另外一种形式的实在论,是生态学实验必须遵循的基本原则。问题是:这一原则如何实现?生态学实验如何在提高实验的有效性(effectiveness)、准确性(accuracy)和精确性(precision)基础上,保证生态学实验的“真实性”?这是生态学者以及科学哲学家必须考虑的问题。本文对这一问题做一系统探讨。

收稿日期:2018-05-21;修回日期:2018-07-17

基金项目:国家社会科学基金重大项目(16ZDA112);教育部人文社会科学研究规划基金项目(13YJA720019)

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:xxjing@ucas.ac.cn

引用格式:肖显静. 生态学实验真实性的追求——以有效性、准确性、精确性的考量为基础[J]. 科技导报, 2018, 36(18): 81-88; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.18.009

1 确立有效性以测量真实事物

对于生态学实验,往往是探索性的,“真实性”的实验过程和结果往往事先并不知晓,实验者能做的一点就是提高实验的“有效性”。

以生态学测量实验为例,福特(Ford D)认为,测量的“有效性”涉及的问题是:“概念被完全描述了吗?测量了正确的事情了吗?”具体而言,就是“‘测量的概念’应该涵盖但不与‘来自研究的概念’或‘想象的概念’重叠”^[1]。

所谓“测量的概念”,指的是“用于检验假设的逻辑结果的数据”^[1]。“最为重要的是,不要预设测量准确表征了被设计的概念。测量在有效性、准确性和精确性上可能会有限制,并且多个测量的概念会给出关于同一个‘来自研究的概念’和‘想象的概念’的信息。”^[1]

所谓“来自研究的概念”,指的是“我们在对理论中确定性更大的部分,即原理的描述中所用的思想”^[1]。“所有的研究方案都使用来自研究的某些概念,它们不是建立在其他科学家已经完成的概念的基础上,就是建立在科学家对相同主题进行的先前研究的基础上。”^[1]

所谓“想象的概念”,“是在形成假设的过程中所用的思想。它们可能会通过对正在接受检验的理论进行逻辑推理,或与其他理论进行比较推理,或者通过考虑从前未被考量过的事物而得出”^[1]。

例如,你想要形成有关控制物种A增长的理论。该物种的增长可以被想象成非常接近于分类学上与物种A近缘的物种B的增长模式。由于物种B已被很好地研究,并且与其增长模式相关的理论也明确确立了,因此,研究者就可以将物种B的理论推广到物种A。不过,这样做时必须做出如下假定:分类学标准界定的两个近缘种,能被用来预测彼此的增长控制过程。如果你想把物种B的增长控制理论用于物种A的研究,则对物种A的研究来说,物种B的增长控制理论中的概念就是来自“研究的概念”;如果你想通过物种A重复已经在物种B上做过的调查,来检验物种B的增长控制理论的某些方面,则该研究中使用的概念就是“想象的概念”。你会使用其他信息,或许是非编码知识来决定是否同意物种B的理论是适用的,或者是否要重复某些调查^[1]。

所谓“测量的概念应该涵盖但不与来自研究的概

念或想象的概念重叠”,指的是测量的有效性。反过来,如果被测量的东西“部分地表征来自研究的概念或想象的概念所阐明的东西”^[2],则就是“无效的”。

如对于植物吸收CO₂情况的测量,可以用叶室封闭几个植物叶片,并记录气流通过叶室后CO₂浓度的变化。不过,莱韦伦茨(Leverenz J W)和哈尔格伦(Hallgren J E)指出,这种技术的应用是存在问题的,因为“围封”改变了叶片周围的环境,尤其是温度和湿度,由此导致叶室的内部条件与外部条件不同,使得测量改变了正在度量的东西,研究者无法获得一片树叶在自然条件下对CO₂吸收情况的纯粹测量,换句话说就是,该测量没有对CO₂吸收情况给出完全有效的描述,是无效的^[3]。

为解决这一问题,可以选择测量整个冠层。为此,可以尝试使用涡度相关技术,对CO₂浓度和垂直风速做一个短期的测量,用以计算白天降至冠层上方的CO₂的实际流量。这种方法确实做到了没有改变正在测量的过程,由此保证了相关测量的有效性。不过,在此过程中由于仪器的精密性而导致的测量结果的不准确,则是另外一个问题。

例如,“中国野生东北虎数量监测方法”的运用,也与测量的有效性相关。

对老虎的监测方法有:信息收集网络法、传统的样线法、占有法、基于猎物多度或生物量估算食肉类种群数量法等。张常智等^[2]在2002—2011年,用东北虎信息收集网络法、样线调查法、猎物生物量和捕食者关系法,对东北虎数量进行监测表明:1)用“老虎信息收集网络法”研究2006年完达山东部地区东北虎的种群现状,结果显示完达山东部地区2006年东北虎数量为6~9只,有1只成年雄虎,2~3只成年雌虎,2~4只亚成体虎和1只小于1岁的幼体虎;2)用“猎物生物量和捕食者关系法”得到完达山东部地区2002年东北虎的密度为0.356只/100 km²,该地区能容纳22~27只东北虎;3)用“样线法”在黑龙江的老爷岭南部和吉林省大龙岭北部面积1735.99 km²的区域内设置样线64条,总长609 km,没有发现东北虎足迹链。样线调查的结果表明,2011年2—3月该调查区域东北虎的数量为0只^[2]。由上述观测结果可知,用“猎物生物量和捕食者关系法”以及“样线法”观测得到的老虎数量偏差较大。这是什么原因造成的?

运用“猎物生物量和捕食者关系法”测得的老虎数

量,似乎远远大于可能的真实数据。究其原因,主要在于:确定有蹄类特别是确定大型有蹄类动物绝对密度的调查方法,相当困难。在实际样本调查中,或者在单个样方统计中,由于调查队伍的经验有限,以及初次应用此方法时的经验不足等因素,调查结果难免出现误差;在调查的区域,老虎的数量确实与其捕食的有蹄类动物如鹿、麝、野兔、狼、熊、羚羊和野猪等有关,一般而言,更多数量的老虎,会导致上述动物数量的减少。不过,必须清楚,从现在的情况看,野外考察所得到的“这些有蹄类动物数量的减少”结论,很可能是人类的捕食以及相关活动导致的,而非相应的较多数量的老虎捕食所致。如果不考虑这一点,必然会导致“由猎物可获得性调查出来的老虎数量高于实际的老虎数量”^[12]这一状况。可以说,上述运用“猎物生物量和捕食者关系法”观测东北虎“失效”的最重要原因,就在于在具体的测量过程中,预设的基本的概念“老虎是唯一的取食有蹄类的食肉类动物”——“测量的概念”,出现了问题,没有涵盖并且忽视了“研究的概念”——“其他动物以及人类对蹄类动物的数量的影响”,从而导致错误的测量结果。

对于“样线法”,测得的数据为“0”,似乎也不可靠。造成这种情况的主要原因在于,没有弄清楚“样线法”运用的条件。其实,“样线法”起源于俄罗斯,在俄罗斯应用悠久。此方法针对的是特定区域及整个景观中的老虎数量的调查和监测。它基于足迹丰富度、分布和特点,估计东北虎数量时,仅适用于东北虎以某一密度存在的情况(定居虎)。这样,沿着路线行走时,遇见老虎足迹的几率才较高,也才能用单位样线长度老虎足迹密度作为东北虎真实密度的指标。

但在中国,对东北虎的生态学了解比较少,而且更重要的是东北虎的分布密度极低,从而导致在绝大多数样线中不能发现东北虎足迹,在同一样线上发现多个老虎足迹的概率几乎为零。此时,如果没考虑到这一点,仍然运用“样线法”去监测中国的东北虎,会导致其不能涵盖“研究的概念”或“想象的概念”,造成监测结果的“无效”^[14]。

总之,通过考察生态学实验中“测量的概念”、“研究的概念”、“想象的概念”之间的关系,努力保证实验过程中“测量的概念”涵盖但不与来自“研究的概念”或“想象的概念”重叠,是提高生态学实验“有效性”并进而提高实验“真实性”的一个有效途径。

2 提高准确性以降低系统误差

“准确性”的含义是“与事实、标准或真实情况相符合的程度”。在自然科学中,它常被称作“准确度”,指的是被测量对象的测得值与其参考值的一致程度,故也被称为“测量准确度”(accuracy of measurement)。准确度越高,意味着测量值与参考值越接近;反之,则越疏远。这种“远近”可由“系统误差”表示,即:测量的准确性的高或低,指的是其系统误差较小或较大,事实上是所得到的测量数据的平均值偏离参考值较少或较多。

福特对生态学中的测量准确性进行了探讨。他认为,准确性指的是被测对象能被很好地不带偏差地测量^[1]。当然,鉴于生态学测量对象和背景的复杂性,生态学实验的测量往往是不准确的。在福特看来,所谓“不准确”,“通常是由于测量和取样系统的技术性困难可能导致的偏差”^[11]。

如对于光合速率的野外测量,通常包括:1) 在一个透明的叶室中将叶片封闭起来,使得叶片能够被照射到;2) 在叶室中通入一定量的气流;3) 使用红外气体分析仪测量在气流通过叶室前后 CO₂浓度的变化;4) 用 CO₂浓度变化乘以气流流速来计算光合速率。

在上述实验中,红外气体分析仪对于 CO₂浓度测量的准确性就是一个关键。早期的红外气体分析仪不太完善,使用的是实验室标准的交流电,其响应时间很长,总是无法给出稳定的输出。鉴此,不得不将叶室放置在叶片周围数分钟的时间,以确保得到较为准确的测量。不过,在此期间,如果光照强烈的话,叶室,尤其是气体与叶室内的叶片会被加热,从而导致测量不准确。为抵消这种过度加热,针对叶室发展出了恒温控制冷却系统。

另外,气体流速也很难测量,尤其对于小气流,通常要封闭大量的叶片,以给出较大气流的 CO₂浓度差异。在测量植物水分状况时也有类似的技术考虑,并且在解释光合作用测量时必须考虑大气湿度。

随着快速响应红外气体分析仪和电子控制的发展,测量的稳定性得到了更好的保障,研究人员能够在野外使用便携式光合测量系统来测量在气流通过叶室前后 CO₂浓度的变化。这样的测量只要将小型叶室放置到叶片上一小段时间,在不需要复杂的温度控制的情况下,就可完成。所有这些都提高了测量的准确性。

不过,必须注意,生态学测量实验中的参考值的选取与传统科学的有所不同。传统科学实验中的参考值,既可以来源于理论预测,也可以来源于已经完成的实验,而不论来源于哪一个,一般都视为准确的,由此,相关实验的准确度一般可以通过计算准确地获得。对于生态学实验,由于其理论往往不具有普遍性,不能涵盖待测样本,因此,根据理论预测不能得到准确的或普遍的参考值,参考值的选取只能依赖于已经完成的测量实验数据的经验统计。不过,由于经验统计出来的相关数据可能(事实上是很可能)存在着不准确性,因此,对于某类生态学测量实验,即使研究者拥有这样的经验统计数据,可以凭此获得参考值,并且进一步衡量相应的测量数据的准确度,但是,由此完成的准确度的衡量本身有可能(事实上是很可能)不准确。更何况在较多情况下,与经验统计数据或参考值相关的实验没有完成,没有相关的参考值可以参考。此时,相应的生态学测量实验的准确度是不能由计算得出的,只能依赖其他方法如“空白值”试验,确定应该选择什么样的实验条件,以获得准确的结果;或者依赖相关的理论和经验分析,来定性地判断该生态学测量实验数据是否准确,或者在多大程度上准确。总氮案例之“空白值试验”就表明了这一点。

在水质分析中,总氮测定常采用《GB 11894—89 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度计法》。在实际操作中,该方法经常存在空白值偏高的现象,影响测定准确度。有学者从实验用水、过硫酸钾、消解温度和时间、玻璃器皿4个方面对此系统地进行了研究,并提出提高准确性的建议^[5]。

1) 实验用水。使用去离子水和超纯水的测定结果与使用无氨水基本没有差异,都达到了空白值的要求,因此在实验中如果需要就可以使用这两种实验用水来代替;而新鲜蒸馏水由于没有经过重蒸馏等处理,导致空白值较高,不宜在总氮测定实验中使用。但由于去离子水和超纯水在放置一段时间后会导导致电导率上升,使空白值大大增高而达不到实验要求,所以从提高工作效率和质量的角度考虑,可以使用新配制的去离子水,有条件的实验室可以使用新配置的超纯水。

2) 过硫酸钾。第一,关于它的纯度,国产过硫酸钾基本上很难达到国标规定的空白值要求,因此建议实验时选用进口的过硫酸钾,国产的过硫酸钾必须是分析纯试剂,最好经过重结晶提纯后使用。第二,关于它

的配置方法,过硫酸钾溶解速度慢,常常需要加热溶解,但在60℃时,过硫酸钾会分解成原子态氧和硫酸氢钾,失去强氧化的效果。因此,当需要加热溶解过硫酸钾时,温度要控制在60℃以下。另外,应该采用A方法(即分别称取过硫酸钾和氢氧化钠,直接混合,再加水定溶),或者采用B方法(即先配置氢氧化钠溶液,待其温度降至室温后再加入过硫酸钾溶液,两者在加水时应缓慢加水,同时搅拌),来配置碱性过硫酸钾,这样可以避免氢氧化钠溶解时放热使温度升高引起局部的过硫酸钾失效。第三,关于它的放置时间,时间过长会影响其氧化能力,碱性过硫酸钾的存放时间最好不要超过3天,最多不能超过7天,否则它会大大提高空白值。

3) 消解温度和时间。过硫酸钾会随着温度的升高而逐步分解,但要分解完全,要求温度达到120℃以上,否则,残余的过硫酸钾也会干扰测定结果。在实验中,应消解时间30 min以上,以确保过硫酸钾完全分解。如果所需测定的试样成分比较复杂,含有某些难氧化的物质,则为保证消解完全,需适当延长消解时间至60 min。

4) 玻璃器皿。试验用玻璃器皿的洁净程度对空白值有一定影响,这是由于消解过程中玻璃壁上难以清洗的有机物及其他物质混入介质中而使空白试验值偏大。使用液酸浸泡过的玻璃器皿,其空白值明显低于普通清洗的玻璃器皿的空白值,因此用液酸浸泡玻璃器皿是降低空白试验值的重要手段。

上述提高总氮测定准确性的4个方面的措施,不是直接将实验值与参考值进行比较,而是采取其他所有可能的改变了的措施,以测定测试仪器的噪声、试剂中的杂质、环境及操作过程中的沾污等因素对样品产生的综合影响,衡量的准确准确性。一般来说,空白试验值越低,数据离散程度越小,分析结果的精度越高,分析方法及分析操作者的测试水平越高。反之,则准确性越低,此时就要全面检查试验用水、试剂、量器和容器的沾污情况、测量仪器的性能及试验环境的状态等,以便尽可能地降低空白试验值。

3 增加精确性以实现其与真实性双赢

生态学实验的真实性是与其可靠性紧密关联的。一般而言,可靠性越大,其真实性越大。而可靠性与实验测量的精确性紧密相关。由此,增加精确性以保证

可靠性和真实性,就是生态学实验的重要目标了。

3.1 增加生态学实验的精确性以保证可靠性

“精确性”的含义是“非常正确,精密而准确”。在大多数自然科学的应用中,“precision”被译为“精密度”,表示的是:在相同条件下,对被测量对象进行多次反复测量,所测得值之间的一致(符合)程度。故它也被称为“测量精密度(precision of measurement)”^[6]。精确性所反映的是测得值的随机误差,精确性高意味着偶然误差比较小,此时测量数据相对比较集中,否则,测量数据分散分布,差异很大。一般来说,测量的“精确性”可以表示测量的可靠性,因为“精确性”越高,表示相应的测量差异性越小,由条件差异和随机性差异引起的测量值的变动越小,所测得的值越稳定,显著性差异就越小,测量结果就越可靠,并越能被人们接受。

例如,在古生态研究中,考察不同化石样品中的物种丰度发现,即使这些样品来自相同位置的地平线上的露头或岩心部分,但是,由于实验所获得的样品中的物种的丰度数据基本上不会完全一致,准确性较低,因此,对于此类古生态学实验数值,其可靠性是值得怀疑的,也很难被人们接受。

为解决上述问题,生态学家对造成这种情况的原因进行了考察。他们猜想,造成这种情况的原因可能是原先的环境梯度、群落结构中断或本地群落摘除变化。本宁顿(Bennington J B)和卢瑟福(Rutherford S D)对此加以系统研究,结果出人意料:造成这种情况的原因,是抽样误差和斑块在露头化石的分布变异^[7]。相应地,改进样品的采集工作,避免抽样误差以及减少“斑块在露头化石的分布变异”,就成为提高这类实验的精确性和可靠性的关键。

一般而言,精确性由各地的平均物种丰富度的估计值的置信区间(CI)表示,相比之下更精确的估计有较窄的置信区间。而可靠性是指重复样品的附加条件产生等效置信区间的可能性。高可靠性意味着意外收集的重复样品,让周围异常丰富的物种估计或宽或窄的置信区间在一个地方的概率很低。

仍然以上述案例为例加以说明。根据上述定义,在样品的采集工作中,采集的样品数量越多、样品越大,精确性和可信性应该越好。但是,在这样做时必须考虑到现实可行性。在实际的采样过程中,研究者需要从野外实地基质中识别并除去无用的化石,并且还要进行计数。有时,这一工作需要耗费大量的人力、物

力、财力和时间,难以承受。为解决这一难题,研究者往往会从露头提取岩石大样,进行简单处理,并将经过简单处理的样品带回实验室进行研究。在露头收集,可以以较小的额外费用获得更多的重复样品;在一个地方提取样品,是基于一个地方有意义的度量标识出来的计数试样的总数,它使得研究者不必拘泥于那些差别不大的样本是否来自一个大样本或多个小样本。这样做的目的就是,尽可能少地进行采集工作并且尽可能多地获得相关信息。这也贯彻了以下生态学实验的原则:精确性和可靠性是由样本大小和抽样数量决定的,因此需要生态学家们在设计抽样方案时,最大限度地提高实验的精确性和物种丰度估计的可靠性。

对于上述案例研究,本宁顿和卢瑟福改进了取样工作:一是增加取样工作,收集更多样本;二是仍然增加取样工作,收集较大样本;三是恒定采样工作,收集更多但较小的样本。然后,他们进一步采用计算机模拟的方式,从两个均匀片状的物种丰度分布的随机和重复产生的样本入手,通过编程计算以重复执行各种采样协议,来检验不同级别的取样工作,以及不同数量的重复样品所得出的集群置信区间行为,从而最终评价并且改进取样工作。这样就可获得较高的精确度和可信性^[8]。

对于精确性,在生态学实验中,由于随机误差和偶然误差几乎无法避免,因此研究人员可以做的是要保证合理的、最低水平的取样工作。而要做到这一点,研究人员就要增加野外和实验室工作的时间、相关取样区域和取样数量和相关项目的预算。而且,在这样做时,还要经常采取重复抽样的方式,而且越多越好。因为,这可以在一定程度上保证较高的实验精确性,让实验结果在统计意义上更具有说服力,也有助于提高普遍性。

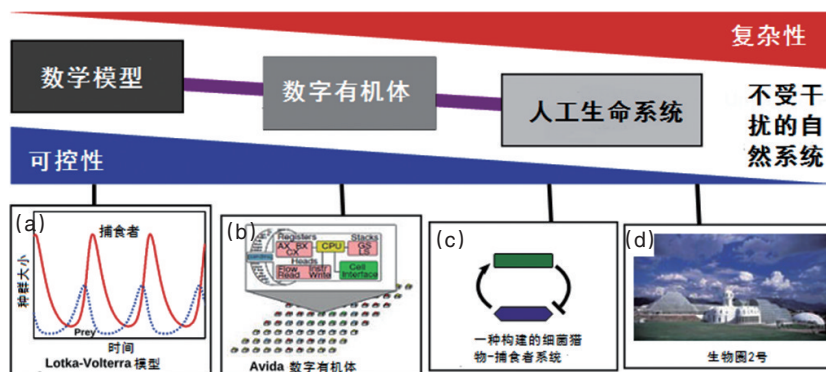
3.2 选择适当的实验类型,实现精确性与逼真性的双赢

如对于物种之间的共生群丛在生态学和分类学上是普遍存在的,并且在生态和进化的形成过程中常常起着关键作用。然而,通过操作并控制共生物种或者它们的栖息地,或者直接观察它们的早期进化,去获得相关的认识,是不可能的。因此,关于共生的形成、留存、进化的许多假说,在没有人工系统的帮助下,都不可能完全检验。

为了完全检验这些假说,生态学研究建构了数

学模型 (mathematical models)、数字有机体 (digital organisms)、人工生命系统 (artificial living systems) 等人工系统。对于这些系统, 具有什么特征? 它们的复杂

性、可控性以及对未受干扰的自然系统的反映——真实性如何? 莫梅尼 (Momeni B) 等^[9]在图 1 中一般性地展现了这种关系。



其中插图显示了可控性的不同尺度: (a) 洛特卡-沃尔泰拉 (Lotka-Volterra) 数学模型, 研究捕食者-猎物系统的动态^[10]; (b) Avida 数字有机体, 研究进化^[7]; (c) 构建的细菌系统, 研究捕食者-猎物相互作用^[11]; (d) 生物圈 2 号项目, 研究地球生物圈的综合生态系统^[12]

图 1 研究共生的人工系统, 说明了在系统可控性与复杂性之间的权衡^[9]

Fig. 1 An artificial system for studying symbiosis, illustrating the trade-off between system controllability and complexity

根据图 1, 普遍地, 从数学模型-数字有机体-人工生命系统-不受干扰的自然系统, 其复杂性越来越高, 可控性越来越低, 真实性越来越高。数学模型和数字有机体倾向于抽象出生命系统最基本的和一般的方面, 反映的是支配生态学的和进化的动力学抽象法则, 其可控性最强, 精确性最高, 但是, 它们不能彻底地对生物性质和进化变化进行取样, 而是在实验基础上对自然对象进行了抽象化的模型和数学处理, 其复杂性最低, 真实性最低, 其高的精确性是以低的真实性为代价的。人工生命系统由一系列小的生命有机体组成的系统, 也叫“微宇宙”, 保持了自然系统中生命实体丰富的行为特征和进化趋势, 但是, 又降低了自然系统中大量相互作用的物种的网络复杂性以及物种间的关联度, 因此, 其与自然系统有较大的契合, 控制性较高, 精确性较高, 复杂性较高, 真实性与较高。不受干扰的自然系统, 在这里不是指没有受到人类活动影响的自然系统, 而是指没有受到实验者干扰但是可能受到人类活动影响的自然系统, 由于实验者对该对象系统没有进行任何处理, 因此相较于前述几种系统, 它的复杂性、真实性是最高的, 控制性、精确性最差, 其高的真实性是以差的精确性为代价的。

考察上述系统, 由生态学者选择人工生命系统是比较恰当的。因为, 与数学模型以及数字有机体

这样的数学系统相比, 人工生命系统以较差的精确性换取了较高的真实性。但是, 与不受干扰的自然系统相比, 人工生命系统又以较高的精确性换取了较低的真实性。因此, “人工生命系统起到了中间体的作用, 填补了抽象的数学模型和不受干扰的自然系统之间的空隙。”^[13]出于生态学实验精确性与真实性之间的双赢或平衡, 应该选择人工生命系统进行实验。

正是在上述认识的基础上, 莫梅尼等通过利用实验室环境下的人工系统探索生物共生。他们认为, 生命的网络是由物种之间多样性的共生编织的; 共生从对抗性的相互作用如竞争到互利的相互作用如共栖变化; 共生的起源和留存基础如何? 什么影响了共生的生态和进化? 共生体的伙伴如何进化和共同进化? 这些问题通过自然系统很难回答, 但是通过人工系统可以回答, 因为人工系统具有降低的复杂性和可控性, 非常有助于理解自然系统, 可以作为自然系统有用的模型。他们描述了所形成的人工共生的多样序列, 包括自动机器的 (robotic)、数字的 (digital), 经过遗传工程处理的 (genetically engineered) 生物, 以及在实验室的环境下所具有的更自然的相互作用 (more natural interactions)。这些人工系统用来研究各种共生以及推进更密切的共生群集的环境条件下的生态学 and 进化。人工共生的研究证实了理论的预言——对抗性的相互作用

既能够增进物种的多样化,也能够增进进化的速率。在几个不同的人工共生系统中的空间栖息地和迁移格局的操纵表明,空间的异质性允许多样性的产生和保持,并且强化了有代价的协作的稳定性。这些结果可以解释共生关系是如何形成的,以及为什么某些物种形成紧密的物理群丛(physical associations)。而且,一旦形成了,共生的相互作用会产生生态格局,在人工系统中的定量研究就有望揭示出来^[13]。

上面的案例表明,减少复杂性,增加控制性,人工生命系统能够作为自然系统的有用模型发挥作用。随着更多的人工共生系统的形成,以及它们被用来检验一系列关于物种相互作用的假说,去辨别普遍的、分类学上影响各种各样的共生的生态学的和进化的原则,是可能的。从抽象的到鲜活的人工系统,已经被构建以便把握自然共生作用的本质特征,并且回答某些关键的问题。

生态学实验是复杂的,生态学实验的“真实性”与实验的类型及其选择,与实验的“有效性”“准确性”“精确性”紧密相关。一般而言,生态学实验的“真实性”与“有效性”、“准确性”是对应的,提高生态学实验的“有效性”、“准确性”会提高此实验的“真实性”,但是,提高生态学实验的“精确性”不一定会提高其“真实性”,因为,“准确性”与“可靠性”相对应,“准确性”越高,“可靠性”肯定越高,但其“真实性”不一定越高。鉴此,选择合适的实验类型,以获得“精确性”与“真实性”的双赢就非常重要。一般而言,选择“微宇宙”——人工生命系统,能够达到这一点。不过,在具体的生态学研究实践中,究竟是采用数学系统,还是采用人工生命系统,甚至采用自然系统进行实验,要视具体情况而定。

参考文献(References)

- [1] 大卫·福特. 生态学研究的科学方法[M]. 肖显静, 林祥磊, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 2012: 52-56.
David Ford. Scientific method for ecological research[M]. Xiao Xianjing, Lin Xianglei, trans. Beijing: China Environmental Science Press, 2012: 52-56.
- [2] 张常智, 张明海, 姜广顺. 中国野生东北虎数量监测方法有效性评估[J]. 生态学报, 2012(9): 5943-5952.
Zhang Changzhi, Zhang Minghai, Jiang Guangshun. Effectiveness evaluation of monitoring methods for Wild Amur tiger in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012(9): 5943-5952.
- [3] Leverenz J W, Hällgren J E. Measuring photosynthesis and respiration of foliage[M]//Lassoie J P, Hinckley T, ed. Techniques and Approaches in Forest Tree Ecophysiology. Boca Raton: CRC Press, 1991: 303-328.
- [4] Hayward G D, Miquelle D G, Smirnov E N, et al. Monitoring amur tiger populations: Characteristics of track surveys in snow [J]. Wildlife Society Bulletin, 2002, 30(4): 1150-1159.
- [5] 侯建平. 提高总氮测定实验准确性方法研究[J]. 资源节约与环保, 2014(8): 49-51.
Hou Jianping. Research on improving the accuracy of total nitrogen determination experiment[J]. Resource Conservation and Environmental Protection, 2014(8): 49-51.
- [6] 赵芹, 杨俊志. 测量准确度及相关术语辨析[J]. 测绘科学, 2011, 36(1): 75-76.
Zhao Qin, Yang Junzhi. Analysis of measurement accuracy and related terms[J]. Surveying Science, 2011, 36(1): 75-76.
- [7] Ofria C, Wilke C O. Avida: A software platform for research in computational evolutionary biology[J]. Artificial Life, 2004, 10 (2): 191-229.
- [8] Bennington J B, Rutherford S D. Precision and reliability in paleocommunity comparisons based on cluster-confidence intervals: How to get more statistical bang for your sampling buck [J]. Palaios, 1999, 14(5): 506-515.
- [9] Momeni B, Chen C, Hillesland K L, et al. Using artificial systems to explore the ecology and evolution of symbioses[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2011, 68: 1353-1368.
- [10] Murray J D. Mathematical biology I: An introduction[M]. 3rd ed. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007.
- [11] Balagadde F K, Song H, Ozaki J, et al. A synthetic Escherichia coli predator-prey ecosystem[J]. Molecular Systems Biology, 2008, 4(1): 187.
- [12] Walter A, Lambrecht S C. Biosphere 2 center as a unique tool for environmental studies[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2004, 6(4): 267-277.
- [13] Babak Momeni, Chi-Chun Chen, Kristina L Hillesland, et al. Using artificial systems to explore the ecology and evolution of symbioses[J]. Cell Mol Life Sci, 2011, 68: 1353-1368.

The pursuit of the authenticity of ecological experiments

—Based on validity, accuracy, and precision considerations

XIAO Xianjing

Institute of Philosophy, School of Public Administration, South China Normal University, Guangzhou 510006, China

Abstract In traditional scientific experiments, validity, accuracy, and precision correspond to authenticity. However, in ecological experiment the situation is quite different and only by ensuring validity can we obtain authenticity. In light of this, we should strive to ensure that the “concept of measurement” is covered but not overlapped with the “concept of research” or “concept of imaginary” in the experimental process, and measuring real things in the process of establishing the validity of ecological experiments. Accuracy corresponds to authenticity, however, in ecological experiments, the “true” reference value is difficult to obtain. Even the acquisition may not be reliable, thus improving technical performance of the instrument, improving the operating flow of experiment, and adopting other methods such as “blank value” test are required. It is necessary to improve accuracy in an effort to obtain accurate results, or qualitatively determine whether or to what extent the experimental data in the ecological measurement are accurate, according to the relevant theoretical and empirical analysis. Precision is positively related to reliability. In ecological experiment, precision should be increased to guarantee reliability, otherwise, even if the true experimental result is obtained, it may not be believed due to poor precision (reliability). Generally, for different types of ecological experiments, from mathematical models to digital organisms to artificial life systems (cosmological experiments) and finally to the natural system that is not disturbed or processed, the complexity is increasing, the precision is decreasing and the authenticity is getting worse. Therefore, we must select the appropriate type of experiment and weigh the precision and authenticity of the experiment with case study.

Keywords ecology experiment; authenticity; validity; accuracy; precision ●



(责任编辑 陈广仁)