

## 略谈理论和模型在生态学中的作用\*

邬建国

(美国内华达大学系统、荒漠研究所生物科学中心)

**Overview on the Role of Theory and Model in Ecology.** Wu Jianguo (Biological Sciences Center, Desert Research Institute, University of Nevada System, Reno, NV 89506-0220, U. S. A.). *Chinese Journal of Ecology*, 1994, 13(3): 76-79.

In ecology, theory should be considered not only as a conceptual framework for research, but an ultimate product of ecological studies as well. Model may serve as the basic unit for many theoretical and applied studies. Theory and model can be used to generate new hypotheses, to clarify and test existing hypotheses, to identify key components in complex systems, to suggest critical experiments, to synthesize knowledge across disciplines and scales, and to make assessment or optimization for decision-making processes. Models become indispensable when we deal with both spatial and temporal dynamics of systems simultaneously, and when the scales of the phenomenon become large. Ecologists should keep themselves up-to-date of the state-of-the-art in their field, and try to equip themselves with advanced methods and approaches. Empirical and theoretical ecology are interdependent and interactive. Minimizing the gap between theoreticians and empiricists will certainly help promote the development of the science of ecology.

**Key words:** theory, model, ecology.

### 1 绪 言

关于理论和模型在生态学中的作用,甚至于发展它们的必要性,长期以来一直不乏疑虑和争议<sup>[17]</sup>。在70年代末、80年代初,即国际生物学计划(IBP)结束前后,这种情形颇为明显<sup>[18]</sup>。也许正是这种原因,Robert M. May和Simon A. Levin在1980年同时阐述和强调了生态学理论和模型的重要性和如何正确理解及应用它们<sup>[11,16]</sup>。Charles A. S. Hall和Donald L. DeAngelis(1985)指出了对生态学理论及模型的几种主要批评意见和疑虑,分析和肯定了模型[包括解析(analytical)和模拟(simulation)模型]的重要作用。在生态学迅速发展的今天,我想有必要对理论和模型在生态学中的地位 and 作

用做一简要而一般性的讨论。

### 2 理论与模型在生态学中的作用概述

为了更有“说服力”,我想从Charles Darwin的评述谈起。Darwin在谈及理论在进化生物学中的作用时曾说,“让理论指导你的观察”,“所有的观察结果必须是支持或反对某种观点,否则将毫无用处!”与物理学家所见略同,Darwin相信理论和概念可为具体的事实和观察结果提供结构框架和内在联系。否则,这些零散的资料只会象“躺在建筑工地的一堆砖块”,难言

\* 作者谨将此文献给已故的前内蒙古大学生物学系生态学教授曾泗弟先生,以示纪念。作者对Orie L. Loucks及中华海外生态学者协会数位同仁对该文初稿的建议表示感谢。

作者简介:邬建国,现为美国内华达大学系统、荒漠研究所生物科学中心助教授、中国科学院系统生态学研究室客座副研究员。发表论文30多篇。

其功能所在<sup>[21]</sup>。回顾 Darwin 的具有历史意义的精辟论述,将会对我们正确理解和评价理论和模型在生态学中的作用有极大帮助。

“理论研究的基本单元是模型”<sup>[14]</sup>。模型可以简单地定义为,人们对真实系统的某种抽象或简化。模型是人们认识和研究自然必不可少的。概而言之,我们对自然界各种现象和过程的理解无非是对它们的某种抽象化或简化,即广义的模型。实际上,了解任何复杂系统的最有效的,也许是唯一的途径就是从各种“噪音”中过滤出“信号”,从而使系统得以简化。Richard Levins(1968)指出,“理论是一组模型和它们产生的稳健(robust)结果。”这一论述有助于进一步理解理论与模型之间的关系。但我们必须认识到,理论是具有内在联系和统一性的知识体系,而“一组模型和它们产生的稳健结果”本身并不保证其内在的联系性和统一性。一个完整的理论应该具有基于一定科学范式之上的一系列概念、变元及逻辑关系,以至于它不但能解释并能预测某一或某些过程或现象。

生态学中的理论和模型可以数学或其他方式来表达。大家公认, Darwin 是最伟大的进化生物学家和生态学家,尽管他自称不擅数学(见 Roughgarden 等, 1989)。然而,现代生态学中的多数理论是由某种数学形式表达的<sup>[21]</sup>。数学可为生态学者提供一种最精确的语言来描述复杂现象,最理想的工具来预测过程的将来。确实,数学的精确性和逻辑性迫使我们准确地、明白地陈述假设和前提,从而使结论明确而不含糊其辞。一般说来,对于自然现象或社会现象的认识和理论综合是从定性到定量。与此对应,文字陈述的理论和模型渐为数学表达式取代,以此明确其范畴,增加其精度,赋予其可检验性和预测性。

无论是什么形式,理论和模型在生态学中的作用可以从以下几个方面加以讨论。但是在这里,我只拟作一简要讨论,详细例证可参见文中所提及的文献。首先,象 Darwin 所述,理论和模型可以作为结构框架和关系纽带,通过提供秩序和连贯性将经验资料综合、加工成为真正

有用的“知识”。 Darwin 的物种起源和自然选择理论堪称这一方面的典范。事实上,进化论仍然是现代生态学思想和研究中的核心概念之一。有些学者认为,如果不凭籍进化和适应的观点,生态学中的一切现象便会无从解释。当然,这种说法是否完全妥当尚有待于明确进化、适应以及自然选择的范畴。我们应该认识到,单凭盲目的经验信息积累不一定会增加对某一现象的认识,更谈不上促使科学进步。

生态学理论和模型可以启发生态学者制定有效的野外和室内观察及实验研究方案。例如, MacArthur 和 Wilson 发展的岛屿生物地理学平衡理论激发和指导了不胜枚举的观察和实验研究,为促进生物地理学和生态学的发展做出了重要贡献<sup>[1,2,25,26]</sup>。Lindeman(1942)的营养动态学说在生态系统生态学和系统生态学发展中的作用也是极好的例子之一。数学模型已成功地用于产生和检验生态学假设,分析复杂系统的行为和功能,综合多学科知识为一体,以及充当有效的评价和优化手段以改善决策过程。无论是解析模型还是模拟模型,这些方面的实例均不乏存在。苏联生态学家 Georgii F. Gause(1934)的著名竞争实验就是在 Lotka-Volterra 数学模型的启发和指导下产生的。当我们同时研究生态系统的时空动态时,或研究大尺度现象时,数学模型便成为必不可少的途径。迅速发展的计算机模拟模型大大增加了我们对自然以及人类活动已产生的和将会产生的影响的认识和研究能力,也为发展高度综合、统一性生态学理论提供了重要手段<sup>[9,19]</sup>。我们对全球性环境问题(如酸雨、温室效应等)的理解和预测大多是基于模型研究之上的<sup>[5,20]</sup>。

近年来,等级(系统)理论(hierarchy theory)作为一个概念构架对于景观生态学、系统生态学、群落演替,以及进化生态学诸领域的发展起到了积极推动作用<sup>[3,4,22]</sup>。尤其是在景观生态学中,等级系统理论在研究设计、建模以及实地观察研究中均有突出指导作用<sup>[3,24]</sup>。仍处于发展之中的缀块动态(patch dynamics)理论代表着一种强调自然界异质性、等级结构性、局

部随机性以及结构-功能-动态的尺度依赖性的新生态学范式。缀块动态理论不但为许多领域(如:种群动态、景观格局与过程)提供了一个概念构架,同时也为跨生态系统、跨研究领域的比较研究和综合研究奠定了理论基础<sup>[4,22-24,27]</sup>。

### 3 理论生态学与经验生态学之间的关系

生态学的发展有赖于理论生态学家和经验生态学家相互之间的了解和合作。但是,这一点在生态学中仍然是常被忽视,或只是停留在口头上或形式上。Levin(1981)有趣地把理论生态学和经验生态学之间的关系描述为类似于DNA双螺旋结构(图1)。这种比喻十分恰当,独具风格,显然不同于传统的“现实-模型-现实-模型”循环式观点。Levin认为,理论生态学和经验生态学可以互相促进、互受启发、平行发展,各自具有一定的独立性。他认为,理论研究和实际观察应该视作同等重要的智力实践,但任何一方的成功都有赖于两者之间的桥梁作用(图1中的化学键)。Levin(1989b)进而指出,没

有经验信息,理论便会空洞无效,而没有理论的话,经验信息则无从解释。譬如,在60至70年代间,诸多数学、物理学及系统科学领域的理论被搬到生态学中(如线性系统稳定性理论,热力学理论,信息论,控制论等等)(见邬建国1991及文中有关参考文献)。许多生态学家为之欣然,还有一些甚至认为生态学会因此而很快变为“硬科学”<sup>[3,17,18]</sup>。然而,由于生态系统的复杂性和缺乏具体的、系统的实验或野外观测资料,这些理论在生态学中的指导作用至今尚很有限。从另一方面讲,经验信息本身并不具有结构,尚不是知识;它的重要作用只有在某种理论的指导下其内涵得以合理的解译时,方能体现出来。当然经验信息本身又是许多理论产生的源泉,同时又是其检验的标准。60年代初生物地理学家和生态学家们广泛发现物种数目与生境、岛面积之间存在着某种指数关系。但这些观测数据和相应的统计模型均不能解释为什么如此。直到岛屿生物地理学平衡理论形成之后,对此才有一个较为合理的、动态的机制性解释<sup>[1,25]</sup>。

为了合理地评价和应用理论和模型,把它们的解释作用和预测作用区分开来是很重要的。正如Levin(1989a)指出的那样,这两种作用是“截然不同的动物”,不能混为一谈。只从一个方面来否定一个理论或模型的价值是不客观和不足取的。Kareiva(1989)认为,“要求模型即刻表达为可检验形式是不明智的。要求模型严格地遵从现实是愚蠢的,虽然它们应该以某种可观测的形式来反映现实;理论的优点之一就是想象力不受细节的约束,有利于新关系脱颖而出。”这种说法强调理论和模型的相对独立性和抽象性,这是无可非议的。但是,理论生态学者必须要熟悉所研究对象的生态学内涵,避免抛出毫无生物学意义的、空洞而无效的理论或模型。不容否认,这种“无用产品”在一些杂志和刊物上也是时而可见的。理论探究和数学游戏是有严格区别的。

当Lindeman(1942)有关营养动态的经典性论文第一次投往美国“生态学”杂志

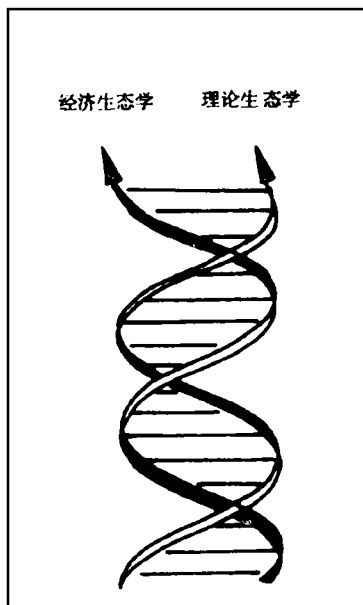


图1 经验生态学与理论生态学之间的关系:相互依赖,相互作用,相互独立(根据Levin 1981)

Fig. 1 Relationship between empirical ecology and theoretical ecology: interdependent, interactive and mutual independent

(Ecology)时,竟因“桌面工作”太多,“经验资料不足”为由而拒刊<sup>[6]</sup>。Robert H. Whittaker 在首次发表他的有关梯度分析的论文时也遇到许多困难。不过其原因大致是由于文中包含太多与当时盛行的生态学观点相违的成分。这类情形不但反映了当时某些经验生态学家的专业“自私”观念,也反映了不少生态学家受博物学传统影响甚深。我想强调的是,生态学是一门科学,逻辑思维、理论探索、实验研究和定量综合不但是象物理学这样的科学的“专利”,也是生态学研究的根本途径。如前所述,理论和实际是相辅相成的,“桌面工作”和野外工作在生态学研究都是不可缺少的。

Evelyn G. Hutchinson (1941)在写给美国“生态学”杂志动物学编辑 Thomas Park 的一封信中指出,由于野外获取资料需时较长,“因此,极端重要的是所有生态学家都应该不失时机地使自己熟悉那些能指导资料收集的理论,而且应把能够客观地理解和把握具有潜在重要性的理论性假设作为自己的职责”<sup>[6]</sup>。Peter Kareiva 在 1989 年尖锐指出,“生态学家在数学生态学方面的普遍性低劣训练是不可原谅的。大致说来,生态学是一门有关出生、死亡、数目、变化率和流通量的科学,这是不可逃避的事实。但生态学家一直怯于持之以恒地熟悉或掌握数学技能。如果实验生态学家仍然畏惧或不懂基本的数学推理,那么生态学的进展将是缓慢的。”对于某些生态学家而言,上述论点似乎有点过激,但确实指出了生态学中长期存在的问题之一。虽然传统的博物学观察方法在生态学研究仍然是、将来也会是很重要的,生态学家必须不断发展新概念、新范式(paradigm),学习新方法、新途径,以使生态学早日成为一门有预测预报能力,并皆有理论指导意义和实际应用价值的学科。

#### 4 讨论与结论

理论和模型在生态学发展中起着重要作用。就此,本文试从几个方面作了概括论述。其目的一非说理论生态学可以脱离现实生态学系

统,二非称所有的生态学者都应该从事理论和模型的研究。其真正的目的是以抛砖引玉的方式激发生态学同行学习、应用以至于发展当代生态学理论和模型,促进从事不同领域研究的学者们之间的相互理解、相互交流,以及相互合作。

生态学中应提倡“多元论”<sup>[17,18]</sup>。复杂的自然界须得以多种途径、方法来研究。理论生态学家应该享有进行高度抽象思维、大量“桌面研究”的自由,正如野外生态学家享有选择观察对象的自由一样。但是,理论生态学家必须要了解和熟悉所研究对象的生物学、生态学意义,尽管这可以通过直接的或间接的途径来实现。无疑,缩小理论生态学与经验生态学之间的距离对该学科的进步大有益处。绝对的生态“理论家”不需要,而绝对的生态“经验家”(empiricists)亦不足取。生态学中的重大突破有赖于观察、实验、与理论诸途径在不同时空尺度上的综合和统一<sup>[13]</sup>。

追求和探究生态学理论和模型是当代生态学家所应有的科学态度。但与此同时,我们必须随时准备修正、改进,或摒弃某些现有理论与模型,从而做到去粗取精、去伪存真。只有这样,生态学作为一门科学方能得以不断更新,不断发展,并日益完善。

#### 参考文献

- [1] 郭建国. 岛屿生物地理学理论:模型与应用. 生态学杂志, 1989, 8(6): 34-39.
- [2] 郭建国. 自然保护区学说与麦克阿瑟-威尔逊理论. 生态学报, 1990, 10(2): 187-191.
- [3] 郭建国. 耗散结构、等级系统理论与生态系统. 应用生态学报, 1991, 2(2): 181-186.
- [4] 郭建国等. 缀块性和缀块动态: I. 概念与机制. 生态学杂志, 1992, 11(4): 41-45.
- [5] Armentano, T. V. et al. Assessment of Temporal Dynamics of Selected Terrestrial Carbon Pools. HRI Paper no. 23, Butler University Holcomb Research Institute, 1984.
- [6] Cook, R. E. Raymond Lindeman and the trophic-dynamic concept in ecology. *Science*, 1977, 198: 22-26.
- [7] Gause, G. F. *The Struggle for Existence*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1934.

(下转封底)

(Ecology)时,竟因“桌面工作”太多,“经验资料不足”为由而拒刊<sup>[6]</sup>。Robert H. Whittaker 在首次发表他的有关梯度分析的论文时也遇到许多困难。不过其原因大致是由于文中包含太多与当时盛行的生态学观点相违的成分。这类情形不但反映了当时某些经验生态学家的专业“自私”观念,也反映了不少生态学家受博物学传统影响甚深。我想强调的是,生态学是一门科学,逻辑思维、理论探索、实验研究和定量综合不只是象物理学这样的科学的“专利”,也是生态学研究的根本途径。如前所述,理论和实际是相辅相成的,“桌面工作”和野外工作在生态学研究都是不可缺少的。

Evelyn G. Hutchinson (1941)在写给美国“生态学”杂志动物学编辑 Thomas Park 的一封信中指出,由于野外获取资料需时较长,“因此,极端重要的是所有生态学家都应该不失时机地使自己熟悉那些能指导资料收集的理论,而且应把能够客观地理解和把握具有潜在重要性的理论性假设作为自己的职责”<sup>[6]</sup>。Peter Kareiva 在 1989 年尖锐指出,“生态学家在数学生态学方面的普遍性低劣训练是不可原谅的。大致说来,生态学是一门有关出生、死亡、数目、变化率和流通量的科学,这是不可逃避的事实。但生态学家一直怯于持之以恒地熟悉或掌握数学技能。如果实验生态学家仍然畏惧或不懂基本的数学推理,那么生态学的进展将是缓慢的。”对于某些生态学家而言,上述论点似乎有点过激,但确实指出了生态学中长期存在的问题之一。虽然传统的博物学观察方法在生态学研究仍然是、将来也会是很重要的,生态学家必须不断发展新概念、新范式(paradigm),学习新方法、新途径,以使生态学早日成为一门有预测预报能力,并皆有理论指导意义和实际应用价值的学科。

#### 4 讨论与结论

理论和模型在生态学发展中起着重要作用。就此,本文试从几个方面作了概括论述。其目的一非说理论生态学可以脱离现实生态学系

统,二非称所有的生态学者都应该从事理论和模型的研究。其真正的目的是以抛砖引玉的方式激发生态学同行学习、应用以至于发展当代生态学理论和模型,促进从事不同领域研究的学者们之间的相互理解、相互交流,以及相互合作。

生态学中应提倡“多元论”<sup>[17,18]</sup>。复杂的自然界须得以多种途径、方法来研究。理论生态学家应该享有进行高度抽象思维、大量“桌面研究”的自由,正如野外生态学家享有选择观察对象的自由一样。但是,理论生态学家必须要了解和熟悉所研究对象的生物学、生态学意义,尽管这可以通过直接的或间接的途径来实现。无疑,缩小理论生态学与经验生态学之间的距离对该学科的进步大有益处。绝对的生态“理论家”不需要,而绝对的生态“经验家”(empiricists)亦不足取。生态学中的重大突破有赖于观察、实验、与理论诸途径在不同时空尺度上的综合和统一<sup>[13]</sup>。

追求和探究生态学理论和模型是当代生态学家所应有的科学态度。但与此同时,我们必须随时准备修正、改进,或摒弃某些现有理论与模型,从而做到去粗取精、去伪存真。只有这样,生态学作为一门科学方能得以不断更新,不断发展,并日益完善。

#### 参考文献

- [1] 邬建国. 岛屿生物地理学理论: 模型与应用. 生态学杂志, 1989, 8(6): 34-39.
- [2] 邬建国. 自然保护区学说与麦克阿瑟-威尔逊理论. 生态学报, 1990, 10(2): 187-191.
- [3] 邬建国. 耗散结构、等级系统理论与生态系统. 应用生态学报, 1991, 2(2): 181-186.
- [4] 邬建国等. 缀块性和缀块动态: I. 概念与机制. 生态学杂志, 1992, 11(4): 41-45.
- [5] Armentano, T. V. et al. Assessment of Temporal Dynamics of Selected Terrestrial Carbon Pools. HRI Paper no. 23, Butler University Holcomb Research Institute, 1984.
- [6] Cook, R. E. Raymond Lindeman and the trophic-dynamic concept in ecology. *Science*, 1977, 198: 22-26.
- [7] Gause, G. F. *The Struggle for Existence*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1934.

(下转封底)