

数学模型与自然保护科学

邬建国 (美国Miami大学植物学系)

Q141

【摘要】 日益加剧的人类干扰和景观破碎化已危及全球的生物多样性。自然保护成为人类所面临的最重要也最富有挑战性的任务。指导这一实践的理论原则极为需要。本文试图综述与自然保护科学有关的几个学科在理论和实际研究(尤其是模型)方面的近期成果以及发展趋势,从而提出自然保护模型的发展方向。文中涉猎基于不同方法论、不同组织水平的模型,并对数学模型在自然保护科学中的作用和实用性加以讨论。

关键词 自然保护 数学模型 景观破碎化 岛屿生物地理学理论 种群动态学

Mathematical modelling and nature conservation. Wu Jianguo (Dept. of Botany, Miami University, Oxford, OH 45056, U.S.A.) - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1992, 3(3): 286-288.

Increasing human-induced disturbances and habit fragmentation have jeopardized the biological diversity of the world. Nature conservation becomes a utmost important and quite challenging task. Theories and principles to guide conservation practices are urgently needed. A major attempt is made here to synthesize some recent theoretical and empirical studies in several different fields which are related to conservation science. Models which are based upon distinct perspectives and at different organizational levels are reviewed and, applicability and roles of mathematical modelling in nature conservation are examined.

Key words: Nature conservation, Mathematical modelling, Landscape fragmentation, Island biogeography theory, Population dynamics.

1 引言

自然景观破碎化日趋严重,生境岛屿化(habitat insularization)已危及全球生物多样性。显而易见,昔日连绵的森林景观已多成为相对孤立的拼块(patch)或生境岛(habitat islands)。许多生物种,尤其是稀有种和生境敏感种,已经生存危机,濒临绝灭。

因此,保护生物学(conservation biology)近年来应运而生,并逐渐形成一门既相对独立又高度综合的学科。Soule^[1,2]指出,保护生物学是一门面向危机(crisis-oriented),以受干扰和不利影响的种群、群落和生态系统的动态及其问题为研究对象的学科。它

将把科学理论在自然保护中的应用推向新阶段。作为生态学中新的综合集成学科模式(integrative paradigm),应用生态学对保护生物学的发展起着重要作用。新兴学科,如扰动生态学(perturbation ecology)、景观生态学、生态毒理学(ecological toxicology)、恢复生态学(restoration ecology)以及农业生态系统生态学,亦必将对自然保护科学的发展做出重要贡献。数学模型可以高度综合不同学科的成果,赋予生态学家以预测预报能力,是发展自然保护科学理论和实际应用的重要途径。

2 MacArthur-Wilson模型

岛屿生物地理学平衡理论(MacArthur-Wilson模型)一直是许多自然保护区以及

*感谢Miami大学 J.L.Vankat 教授对英文稿的审阅。
本文于1990年8月11日收到。

各种零散化生境研究的概念构架和理论依据。该模型认为, 岛状生境中物种丰富度取决于迁入和绝灭两个过程的动态平衡, 而岛屿面积和隔离程度通过影响这两个基本过程而影响种丰富度^[1]。

基于岛屿生物地理学理论, 一些有关自然保护区设计的一般性原则(如大、近、圆)已广为传播^[2,8]。然而, MacArthur-Wilson模型的有效性及其在自然保护中的可用性一直处于争议之中。例如, 平衡态假设是该模型的核心问题, 但至今尚缺乏确凿的直接证据来说明大陆生境岛动态平衡的存在^[3,4]。此外, 该模型已被用来作为优化自然保护区面积大小的理论依据, 但不少人认为这是不合理的^[5]。再者, 因为上述岛屿生物地理学模型只着眼于种丰富度, 且把多种影响因素囊括为面积和隔离程度两个变量, 使其无法或很难对景观中零散生境的种群动态和绝灭的机理作一解释。不过, 该理论在考虑许多生态学问题(如昆虫与植物的关系, 景观斑块间物种、基因等流动现象)中的启发作用仍然是有价值的, 尤其是对于那些未曾或只是模糊地涉及到的问题, 岛屿生物地理学理论可以引导生态学者建立初步的概念构架, 诱发研究思路^[7]。

3 种群动态与种群遗传学模型

种群模型可利用与具体物种有关的信息, 从而能够为自然保护问题提供有价值的资料。传统的种群动态模型多侧重于同质生境(homogeneous habitat)中种群行为, 数学上多为确定型。合理地引入随机变量, 以反映种群统计学特征(demographic characteristics)和环境的变化, 会增加模型的合理性和预测能力^[6]。研究破碎化景观时, 种群动态模型还须包括环境异质性(environmental heterogeneity)。关于斑块系统(patchy systems)的模型研究是近期种群动态学中的热点之一。无论是从数学上还是从生态学上来讲, 这仍是

一个富有挑战性的课题^[15]。

异质生境中种群动态的数学模型大致可分为两类。一类是“斑块占有率”模型(patch-occupancy models)。这类模型采用种群或某分类单元所占据生境斑块的百分率作为主要状态变量, 一般不考虑斑块面积及斑块间距离的作用^[4]。另一类是“扩散-反应”模型(diffusion-reaction models)。这些模型以梯度扩散微分方程为基本数学骨架, 具有一套较系统的分析方法^[9]。因为以种群大小为其状态变量, 并易于考虑异质生境的空间格局及其变化, 这类模型更受推崇。DeAngelis(1979)等基于这一途径, 发展了一系列景观斑块系统中种群动态模型。他们的模型以种群大小为状态变量, 考虑迁入、迁出、生长诸过程及斑块内距离等因素, 在数学上采用了M-矩阵方法。然而, 尽管这类模型的数学表达形式优美且具有一致性, 还能藉助于扩散理论的丰富成果, 但它们所涉及的数学复杂性严重地限制了其应用和推广范围。这一途径对建立自然保护模型不仅有启发性而且有指导性作用。

基于种群遗传学原理之上的模型考虑“瓶颈效应”(bottle-neck effect)、近交抑郁(inbreeding depression)和随机性基因漂变(gene drift)对种群动态及种持续生存(species persistence)的影响。根据这些模型预测的“遗传学有效种群大小”(Ne, genetically effective population size)在自然保护中有着显而易见的实用价值。由于在种群遗传学、生态学方面的资料不足和数学模型的复杂程度所限, 现有的模型往往不能同时考虑上述三个方面的影响。而且, 这类模型常忽视种群统计学特征对种持续生存的影响。对于自然保护来说, 适用而可靠的种群持续生存模型必须同时考虑遗传和种群统计学两个方面的因素。需要强调的是, Ne 的值究竟是多少尚有待于进一步探究。根据一些模型所估测的 Ne (如500或50)只具有一般性的参考价值, 而实

际上不可能有一个“神奇数”(magic number)会符合所有物种的遗传学有效种群大小。

4 综合集成模型

Shaffer^[10]提出了有关种持续生存及绝灭的综合观点。针对局部绝灭往往是生境岛中主导过程的这一事实, Shaffer 首次精确地把“最小存活种群”(MVP, minimum viable population)定义为,在考虑种群统计学特征、遗传学特征和环境3种随机变异性以及自然灾害的情况下,能够有99%的机率存活1000年的最小种群^[10]。这一概念将种群大小与种存活概率或绝灭概率直接联系在一起。Gilpin 和 Soule^[6,13]进而提出了估计最小存活种群的概念构架和一般方法,并将此过程称为“种群脆弱性分析”(PVA, population vulnerability analysis)。严格说来,估计最小存活种群应该同时考虑种的生物学、生态学特征以及环境因素的不可预测的随机性。因此,前几部分所提及的模型,从结构上和功能上均不足以产生可靠而精确的 MVP。单独使用这些模型时,应倍加慎重。

既实用又可靠的自然保护模型应该是综合集成动态模型(comprehensive, integrative and dynamic models), 一个重要的课题就是如何尽可能全面地考虑影响种持续生存的诸方面因素,并充分利用种群动态学、种群遗传学、景观生态学以及岛屿生物地理学等学科中的有关原理,使模型的合理性、精确度和复杂性达到最佳统一^[15]。这一任务是解析模型方法(analytical modelling methodology)难以胜任的。因此,籍助于电子计算机的模拟模型途径(simulation modelling approach)必然会在这一方面起重大作用^[11,14]。就其方法论来讲,自然保护的综合集成模型应以等级系统理论(hierarchy theory)为指导,不但要考虑生态系统的简化论特征(reductionistic characteristics),也要同时顾及其整体论特征(holistic characteristics)。无疑,

把发展中的保护生物学与先进的计算机技术相结合的综合集成模拟模型,将对自然保护科学的发展起到深远影响。

参 考 文 献

- 1 郭建国. 1989. 岛屿生物地理学理论: 模型与应用. 生态学杂志, 8(8): 34-39.
- 2 Burgess, R.L. and D.M. Sharpe (eds). 1981. Forest Island Dynamics in Man-dominated Landscapes. Springer-Verlag, New York, 310pp.
- 3 Burgman, M.A., H.R. Akcakaya and S.S. Loew. 1988. The use of extinction models for species conservation. Biol. Conser., 43: 9-25.
- 4 Gilbert, F.S. 1980. The equilibrium theory of island biogeography: fact or fiction. J. Biogeogr., 7: 209-235.
- 5 Gilpin, M.E. and M.E. Soule. 1986. Minimum viable populations: Processes of species extinction. in Conservation Biology, ed. by M.E. Soule. Sinauer, Sunderland, pp. 19-34.
- 6 Goodman, D. 1987. The demography of chance extinction. in Viable Populations for Conservation, ed. by M.E. Soule. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 189pp.
- 7 Haila, Y. and O. Jarvinen. 1982. The role of theoretical concepts in understanding the ecological theatre: a case study on island biogeography. in Conceptual issues in ecology, ed. by E. Saarinen, D. Reidel, Dordrecht, pp. 261-276.
- 8 Harris, L.D. 1984. The Fragmented Forest. Univ. of Chicago Press, Chicago, 211pp.
- 9 Okubo, A. 1980. Diffusion and Ecological Problems: Mathematical Models. Springer-Verlag, Berlin.
- 10 Shaffer, M.L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. BioScience, 31: 131-134.
- 11 Shaffer, M.L. 1983. Determining minimum viable population sizes for the grizzly bear. Intern. Conf. Bear Res. Manag., 5: 133-139.
- 12 Soule, M.E. 1985. What is conservation biology. BioScience, 35: 727-734.
- 13 Soule, M.E. (ed). 1987. Viable Populations for Conservation. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 189pp.
- 14 Wu, J., Y. Barlas and J.L. Vankat. 1990. Modelling patchy ecological systems using the system dynamics approach. Proc. 1990 Intern. System Dynamics Conference, Boston.
- 15 Wu, J. and J.L. Vankat. 1989. A framework for studying species population dynamics of landscape patches. Proc. 4th Ann. Landscape Ecol. Symp, IALE-US, pp. 47.