

分子生态学

——生命科学领域的新学科*

黄勇平 朱湘雄

(上海生命科学研究院植物生理生态研究所 上海 200032)

摘要 分子生态学是应用分子生物学的原理和方法来研究生命系统与环境系统相互作用的生态机理及其分子机制的科学。它是生态学与分子生物学相互渗透而形成的一门新兴交叉学科,其研究内容包括种群在分子水平的遗传多样性及遗传结构,生物器官变异的分子机制、生物体内有机大分子对环境因子变化的响应、生物大分子结构、功能演变与环境长期变化的关系以及其它生命层次生态现象的分子机理等。分子生态学的理论和方法对传统学科有巨大的促进作用,同时,对解决诸如转基因、克隆技术应用中的生态安全、环境与人类健康等重大问题将产生深刻的影响。

关键词 分子生态学,生命科学,生态学

1 前言

20 世纪是人类历史上知识和财富积累最为迅速的世纪。表现在自然科学上,每一门学科都取得了巨大的发展。在这些学科中,生态学和分子生物学的出现和产生的效应尤

重要目的。任何生命的存在都与其特定环境密切相关,环境对生命活动的影响作用于生命的不同层次,生物体也是通过在不同水平上的调节来适应环境。生物对外必须适应宏观环境,对内必须适应微观环境,才能保持其最佳生命状态。几十年来,生态学研究在生物群落的种群结构及物种间相互关系方面取得了长足进展。生态学向微观方面的进一步发展,迫切要求用基因、蛋白质、酶等生物分子活动规律来阐释生态规律的进化、演变过程的本质和机制。而分子生物学作为一门微观基础学科,一方面渗透到生命科学的全部领域,另一方面也需要解释清楚在一定时空环境条件下,生物活性分子在微观环境中的动态变化规律。近 20 年来,分子生物学无论在基础理论还是在技术开发应用方面均取得了突飞猛进的发展,尤其是聚合酶链式反应(PCR)技术的产生和完善,使分子生物学不断向生物科学的各个领域渗透。这些技术的出现使生态学家能够用分子生物学的方法来解决其它方法难以解决的问题,而分子生物学家也尝试用自己的理论和技术来解决一些生态问题,这种结合就促成了分子生态学



为引人注目。一般认为生态学是从宏观的角度研究生物与环境关系的科学,它成为人们从个体、种群、群落、生态系统几个层次上探索物种多样性奥秘的基础学科。而分子生物学的主要任务是研究各种活性分子的结构功能及其表达调控机制,如核酸分子、激素分子、细胞素分子、癌蛋白和抑癌蛋白分子、酶分子、免疫球蛋白分子、受体分子、陪伴分子等。

揭示生命活动的基本规律是生命科学研究的

* 收稿日期:2003 年 3 月 5 日

的诞生。英国生态学学会主办的国际性杂志《分子生态学》于 1992 年创刊,可以说是分子生态学诞生的一个重要标志。分子生态学的理论与方法应用于生态学研究,为生态学带来了从宏观到微观全方位的蓬勃发展。

分子生态学作为一门刚刚起步的新兴学科,挑战很多,但魅力无穷。基因组、蛋白质组是生态适应与进化研究的分子基础,通过宏观与微观的结合,在核酸和蛋白质水平上阐明生命系统与环境系统的相互作用规律是分子生态学的基本目标。分子生态学研究对发展进化生物学,解决诸如转基因、克隆技术应用中的生态安全、环境与人类健康等重大问题也将产生深刻的影响。

2 学科的定义

分子生态学由于发展时间短,不同学者从各自的研究背景出发对它的定义有着不同的理解,至今尚无统一的概念。Hoelzel 和 Dover(1991)认为:分子生态学是用 DNA 和蛋白质的特征研究物种的进化、演化及种群生物学。1992 年创刊的《分子生态学》对它的定义是:分子生态学是生态学和种群生态学的交叉,它利用分子生物学的方法研究自然、人工种群与其环境的关系以及转基因生物(或其产物释放)所带来的一系列潜在的生态学问题。Moritz(1994)认为:分子生态学是用线粒体 DNA(mtDNA)的变化来帮助和指导种群动态的研究。向近敏等(1996)则认为:分子生态学是研究细胞内的生物活性分子特别是核酸分子与其分子环境的关系。

目前较为一致的看法是:分子生态学是应用分子生物学的原理和方法来研究生命系统与环境系统相互作用的机理及其分子机制的科学。它是生态学与分子生物学相互渗透而形成的一门新兴交叉学科,也是生态学分支学科之一。其特点是强调生态研究中宏观与微观的紧密结合,优势在于对生态现象的研究不仅注意外界的作用条件,而且注意分析内部的作用机制。

3 分子生态学的意义与应用

分子生态学的理论和方法融入传统学科,使传统学科获得了新的生机。例如,在杂交带的研究中,

以前较注重分类学方法和物种的形态描述,在相当长的一段时间内未取得太大进展。将分子生态学技术用于杂交带的研究后,使其有了迅速发展,成为进化生物学和生态学中最有活力的领域,现已将研究内容扩展到杂交带内两个或多个种群间的基因交流;杂交带的起源、结构、动态和发展;维持因素、对基因流的障碍作用;对理论模型的验证;杂种不适的遗传机制;生殖隔离形成的原因及作用;杂交带在物种分化、适应及形成中的作用等。

早期生态学的研究主要集中在物种的个体、种群、群落和生态系统等宏观领域,所观察到的从个体到生态系统之间的性状以及各种关系均只是表现特征,而确定这些表现特征的正是每一物种的遗传组成及与所处环境的综合作用,借助于分子生态学的理论和方法,恰能使研究深入到生物体内的各种生物活性分子以及这些分子在微环境中的作用,进而从宏观与微观结合的角度真实地反映出生态系统中生物个体和种群间关系的本质。

到目前为止,分子生态学研究已涉及到种群在分子水平的遗传多样性及遗传结构、生物器官变异的分子机制、生物体内生物有机大分子响应环境变化的信息传导途径、生物大分子结构、功能变化与环境之间的关系、功能演变与环境长期变化的关系以及其它生命层次生态现象的分子生态学机理等,凡涉及到结构与功能都不可能避开分子生态学。可以肯定,分子生物学的所有研究领域都将不同程度地应用分子生态学的原理与方法。

3.1 在物种起源与进化研究中的应用

自从达尔文的《物种起源》发表以来,生物物种的起源与进化一直是生物学家关注的焦点。生态适应和进化是生态学研究中的两个核心问题,争论的焦点是中心突变还是自然选择,澄清这一问题具有重要理论意义和应用价值。由于分子生态学能够直接应用分子生物学手段研究分子与环境间的相互作用,所以其研究成果就更能够直接阐明分子进化的理论。在物种的遗传进化研究中,除了进行结构基因的研究以外,研究调节基因成为另一个热点。调节基因是真核生物中对表达基因有调节作用的一些位点。它们决定在何种条件下表达哪些基因。

3.2 转基因生物释放的生态学评估应用

现在全世界已有多数大规模应用的转基因生物。美国有数十种转基因作物进入大田试验,在我国转基因棉花也已经大面积种植。不可否认,生物技术确实给人们带来了益处,如人类利用转基因的大肠杆菌生产人胰岛素,满足治疗糖尿病的需要;基因工程药物和基因治疗业已为人类彻底医治各种疑难病症带来了希望。但是,现代生物技术在给人类带来利益的同时也可能给人类带来危害。现在尚不能排除转基因生物对人体的副作用,如美国Monsanto公司生产的转基因豆,含有一种类似雌激素的物质,男性吃了乳房会反常地增大;如果发生基因逃逸有可能产生有害生物,危及生物群落甚至改变生态系统的演化过程,最终可能危及人类自身。如基因工程中大量使用的抗生素标记基因,进入环境后可能转移到某种病原体中,引起疾病流行,同时也存在产生新病毒甚至超病毒的可能性;转基因作物本身可能变为杂草或使其野生近缘种变为杂草;如果转基因生物有很高的适合度和竞争能力,就可能引起种群爆发,破坏生物多样性,从而改变生物群落的结构,影响生态系统的能流和物质循环。转基因生物对环境的种种影响,以前人们只能做一些预测,称之为潜在影响。然而这种潜在的影响现已陆续被一些研究所证实。

人类不应该拒绝新技术的应用,但是在使用新技术之前应该对技术有透彻的了解并掌握有效的控制措施。在这个过程中,分子生态学能起到重要作用。在决定是否使用转基因生物、如何使用以及使用效果等方面应该建立一套科学的评估体系,“生态学应该起一种护栏作用”。在进行风险评估时,首先要考虑转基因生物中插入了哪些DNA及其来源、功能及插入位置;其次是基因转移问题以及转基因生物的适合度(包括它在环境中的适应能力、繁殖能力、竞争能力等);第三是要避免转基因生物对非目标生物造成影响;最后要考虑转基因生物对生态系统的能流和物质循环的影响,以及它对生物多样性可能造成的破坏。

3.3 濒危物种的保护

濒危物种的保护是一个被广泛关注的问题,以前的研究主要从宏观角度进行探索,诸如物种生存

环境的改变对濒危物种的影响,食物及生存空间的不足对目标物种种群密度的影响等。实际上,物种自身的生态适应性也应该是重要的研究内容。外部环境无疑对物种的生存有重要意义,物种自身适应自然的遗传基础是确定物种最终能否长期生存的决定因素。在开展濒危物种保护生物学的研究中,应用分子生态学技术可以全面了解生命活动过程中起重要作用的生物大分子,如DNA、蛋白质的特性等。结合种群生态条件进行这些生命本质的分析,可以找到生物适应外部环境的遗传基础。这类研究以及资料的积累对种质资源、特别是濒危物种提供有效的生态保护以及制定具体的保护措施有重要的作用。

3.4 在医学上的应用

医学科学的发展经历了治疗医学、预防医学和保健医学三个阶段。如果治疗医学单纯是有病治病,预防医学是从群体、社会角度考虑对疾病的防治,那么保健医学则是更全面、更细致地去了解病原体与环境、病原体与人体、人体与环境等的相互关系,以达到使人类更健康、更长寿的目的。保健医学的这些方面实际上都涉及到分子生态学问题。要了解生命活动的本质,包括疾病过程,需要以分子生态学的观点去分析一切表象,不能只孤立地去对付病原体,而应该了解疾病和生命活动的本质,达到防治疾病和健康长寿的目的。例如,肿瘤的发展过程就可以用分子生态学原理加以解释。正常细胞有正常细胞的分子环境,它适合于细胞维持其生长的生理学平衡状态。一旦分子环境条件改变,打破了细胞原来的分子条件所维持的生理平衡状态,则将逐步地变为生长失去控制的癌细胞。

分子生态学在医学上已有较为广泛的应用。在疾病的诊断、病因的解释以及疾病的治疗过程中都贯穿着分子生态学的原理和方法。它主要表现在两个方面。一是利用分子生态学的观点,了解疾病发展过程及分子生态环境条件,通过改变条件,达到预防或治疗疾病的目的。二是发展分子生态制剂,一些制剂已在临床应用,如各种细胞因子。在免疫过程中,从分子生态学的观点来看,涉及到很多细胞因子参与,这些细胞因子(如各种白细胞介素、干扰素等)用于临床,已经取得明显的效果。

4 展望

分子生态学的发展在现有研究的基础上,通过寻找新的遗传标记,将会进一步扩充研究的内涵与外延,例如,大规模基因组学研究将会为 DNA 不同区域和类型的多态提供新的证据;不断增加的 DNA 序列将会进一步促进物种的系统发生与遗传进化研究,短散布核元件 (Short inter-spersed nuclear elements (SINEs)) 有望成为系统发生研究中更好的遗传标记,主要的任务将会是分离记录不同物种系统出现分离时的因子;在种群水平的研究包括:有效的种群大小、迁移速率、突变速率、过去和现在的基因流;多基因家族将会成为分子生态学研究的主要内容之一,因为它在保护物种方面起着重要作用;从核 DNA 和叶绿体 DNA 中分离出的微卫星标记将在亲子鉴定、种群结构、物种形成和遗传资源保护中起越来越大的作用;使用遗传连锁图研究数量性状将为分子生态学提供新的研究平台。

21 世纪在完成人类基因组测序之后,基因组科学研究所积累的数据和研究平台将会促使生命科学得到突飞猛进的发展。结合我国的国情,并基于国际上生命科学几个重要领域 (如基因组研究、干细胞研究、神经科学、资源生物学、生物技术、药物创新和生命伦理等) 的学科发展趋势,我院提出生命科学的几个重要发展方向为:人口与健康、农业生物技术和环境科学、生物资源与生物多样性、水生生物学、病毒学和生态学。在这些重大方向中,分子生态学将成为重要研究内容。

基因组学的发展为人们认识生命科学的奥秘

打开了一扇窗口,但是要利用基因组研究成果为人类服务,就离不开分子生态学。因为任何基因的表达都要在一定的条件下才能实现。人类在认识和改造宏观世界的过程中通过无数次残酷的惩罚才认识到合理利用资源和保护环境的重要性。在微观方面也需要汲取在宏观方面的教训,更要注意到任何基因的变化对其它生物以及环境的影响,英国克隆羊“多利”的早亡应该引起全人类的重视。

虽然我国已经认识到分子生态科学的重要性,但由于起步晚,我国分子生态学研究的整体水平与发达国家之间有较大的差距,如在国内发表的相关论文有 2/3 以上为综述性文章,在国际重要刊物上发表文章很少。然而,分子生态学是一门新兴学科,它的发展时间较短,如果我们能够审时度势,根据国家的战略需求,通过顶层设计,加大研究力度,从一个或几个方面进行协同研究,赶超世界先进水平应该不是一句空话。

主要参考文献

- 1 祖元刚,孙梅,康乐. 分子生态学理论、方法和应用. 北京:高等教育出版社,1999.
- 2 李国旗等. 生态风险研究评述. 生态学杂志,1999,18(4): 57-64.
- 3 Purugganan M.D. The molecular population genetics of regulatory genes. *Molecular Ecology*,2000,9:1 451-1 461.
- 4 Ohta Tomoko. Near-neutrality in evolution of genes and gene regulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*,2002,99(25): 16 134-16 137.

Molecular Ecology—A New Subject in Life Sciences

Yongping Huang Xiangxiang Zhu

(Shanghai Institute of Plant Physiology and Ecology, CAS, 200032 Shanghai)

Molecular Ecology is the subject that applies the theory and methods of Molecular Biology to pursue the interaction between the life system and its environment and the molecular mechanisms. The mutual penetration of Ecology and Molecular Biology directly resulted in the birth of a new subject, Molecular Ecology. The major objectives of the subject are to study: (1) the population genetic structure and diversity at the molecular level; (2) the variation of organism's organ under different environmental condition; (3) the response and functional variation of organic macromolecules to environmental variation; (4) the evolvement of structure and function of biological macromolecules with long-term environmental change; and so on. The Theory and method of Molecular Ecology not only

promote the development of other subjects but also are useful to be applied to the ecological safety evaluation, environment and human health as well as other major approaches in the life sciences.

Keywords molecular ecology, life sciences, ecology

黄勇平 上海生命科学研究院植物生理生态研究所研究员, 博士生导师。1963 年 4 月生。1993 年获中国科学院上海昆虫研究所博士学位, 1995 年受日本学术振兴会资助赴日本东京大学作博士后。1998 年代表日本 IKARI 环境事业团主持日本农林水产省两个研究项目。2001 年 4 月作为引进的“国外杰出人才”回国。现任该所环境生物学与分子生态学研究室主任。主要在植物与昆虫间的相互关系以及鳞翅目昆虫分子标记研究方面从事基础和应用基础研究。在国内外发表研究论文 30 余篇。

简讯

中国科学院 2003 年“科学与社会”系列报告出版

从 1997 年开始, 中国科学院每年组织编写“科学与社会”系列报告, 呈送全国人大和全国政协会议代表并向社会公开发行人, 该系列报告 2003 卷已于近日出版。

《2003 科学发展报告》分 9 部分: “科学回顾与展望”, “科学前沿介绍”; “2002 年诺贝尔奖评述”; “中国科学家具有代表性的工作”; “公众关注的科学热点”; “科技战略与政策”; “中国科学发展概况”; “科学家建议”; “附录”。介绍了世界科技和若干科学前沿热点领域发展态势; 我国科学家做出的世界水平的突破性成果和科学工作; 一些国家 21 世纪初的科技政策与发展战略以及中国科学院有关学部、课题组和科学家个人提出的重要建议。

《2003 高技术发展报告》以航空、航天和海洋技术为主题, 反映出中国科技界对有关高技术的发展趋势、高技术产业竞争力及其社会影响的看法与政策建议。内容包括 2002 年高技术的进展, 航空、航天和海洋技术的新进展及其社会影响, 高技术发展政策与产业评价以及专家论坛等。

《2003 中国可持续发展战略报告》——中国可持续发展综合国力评价, 从可持续发展战略的角度, 提出可持续发展综合国力的概念并研究了其内涵, 对 13 个主要国家的可持续发展综合国力进行了比较分析, 对提升我国可持续发展综合国力的对策进行了思考并提出了 5 项具体建议。

该系列报告内容翔实、丰富, 深入浅出, 图文并茂, 适合不同层次读者阅读。