

森林界面生态学研究现状与展望^{*}

韩士杰

(沈阳应用生态研究所 沈阳 110016)

摘要 论述了生态界面的内涵与拓延,并以森林界面生态学的研究为例,介绍了界面生态学研究对象(生态界面)的刻画方法、功能作用及过程的动力学机制,分析了其发展前景。

关键词 森林, 界面生态学, 现状, 展望



1 引言

“界面”术语最早源于物理学,是指两个不同物相间的分界面。界面现象在自然界中普遍存在,小到细胞水平,大到宇宙。就界面问题开展的研究工作,在自然科学的诸多领

域异常活跃,并且几乎是各个领域的前沿研究内容。

界面生态学(interface ecology)作为生态学的分支学科,最早由已故中国科学院院士马世骏于 1990 年提出,并指出今后界面生态学的发展趋势^[1]。当时,马世骏提出的“界面生态学”术语是建立在其好友——南京林业大学熊文愈教授率领的研究组从事的“生态界面(ecor boundary layer)”研究工作基础之上的。早在 1985 年,熊文愈等就指出:生态界面作为居间的作用系统,在系统组分或系统之间的能量流动、物质交换及信息传递过程中起到“关、卡、门、闸”的作用,调节系统的生态平衡^[2]。翌年,他们又具体定义了林木个体的“生态界面”,指出:陆生植物地上部分的生态界面指的就是与植物器官相

接触的“空气薄层”;植物根系的生态界面指的就是与根系相接触的“土壤薄层”。随后,王汉杰等(1990)又将这种界面称为“器官生态界面”,并扩展至“生态边界层”^[3]。

笔者认为,马世骏院士所提出的界面生态学就是以“生态界面”为研究对象的一门生态学分支学科。应着重解决“生态界面”的结构、过程规律、功能作用及动力学机制等问题。

目前,我国正进行西部大开发,实施天然林保护工程和退耕还林计划等,协调包括人类活动在内的环境与生物之间的界面关系,实现界面上能物流的平衡,将是国家实施重大生态环境建设的关键。同时,作为界面生态学领域的科学问题,在界面水平上如何将环境作用与生物功能作用有机地统一起来也一直困扰着人们,特别是揭示界面上物质过程的动力学机制被认为是“生态学”的学科前沿,或许界面生态学的学科发展能为我们走出这种困惑提供帮助。

2 生态界面的内涵与拓延

2.1 最初“生态界面”研究的局限性

生态界面既不完全等同于气象学中的边界层(Boundary layer in Meteorology),也不是小气候(Microclimate),而是作为一个存在于生物系统与非生物系

^{*} 修改稿收到日期:2002 年 4 月 4 日

统之间的物质交换、能量流动和信息反馈系统。因此,对它的全面研究既要考虑到其自身的结构与功能、运动规律及其综合的生态效应,又要顾及与其关联的生物系统和环境系统,缺少哪一方面的研究都是不全面的。

譬如,Fuller H. J. (1948) 仅就林冠上方大气边界层中的 CO_2 浓度动态进行刻画,定性描述森林的生命活动对大气边界层物质状态的影响^[4]; Gates D. M. (1963) 采用微波折射计定性证实了叶片边界层中水分梯度的存在^[5]; Grace J. (1976) 也仅仅是研究了风速这一环境因子对边界层的影响等等^[6]。这些都表现了对“边界层”研究的片面性,要么是证实边界层的客观存在,要么是定性描述下垫面(生物相)对边界层中某一因子变率的影响,而未能将边界层中的物质过程与生物和环境有机结合在一起作为整体加以考虑。60 年代末,物理学家、生态学家和生理学家们合作提出了生物与环境耦合(Coupling)的概念并应用于植被及其大气环境中^[7],对发生在植被表面的一些基本过程有了较好的理解,界面(interface)、生态边界(ecor boundary)、边缘效应(edge effect)及过渡带(ecotone)研究热点足以佐证。

Interface、ecor boundary、edge effect 和 ecotone,可以说是“生态界面”的雏形。不过,在 70 年代中叶进行的与土壤根际养分过程相关的研究中,过多注重的是养分在与根表面接触的土壤薄层中的行为,对根系而言它仍属环境部分,而由根表面向生物相延伸的薄层中的物质过程常被忽略;在生态边界和过渡带的研究中,经常发生相反的问题,又过多注重物质过程而忽视环境梯度力的驱动。总之,它们依然未能将发生在界面上的物质过程与生物和环境之间有机地耦合起来,导致界面研究中生态意义的不明显。

1985 年熊文愈等在“论生态系统工程”论文中注意到与植物体表相接触的“空气薄层”和与根系相接触的“土壤薄层”在相关研究中的关键作用与生态学意义,提出“生态界面”的概念。随后,王汉杰与熊文愈又将这种生态界面直接定义为“生态边界层(ecor boundary layer)”。在他们的学术思想中,将界面属性与邻近植物和环境直接联系在一起,并直接赋予生态学内涵,使界面研究的生态学意义更

加明显。

随着研究的不断深入,我们发现,熊文愈等最初提出的概念仍有局限性,这种局限性主要体现在缺乏对界面上物质过程的对称性考虑。

2.2 生态界面概念的拓展与延伸

边界层是风速受粗糙表面的拖曳作用而形成的,它的生态学意义在于其上的物质(能量)过程。在研究植物体与环境间物质交换(养分或基本代谢物)时,边界层中的物质状态(浓度梯度分布)虽然受制于生物和环境,但它仍在植物的环境一侧。显然,在生物与环境之间进行物质交换时,从物质交换的连续性考虑,物质在穿越不同物相(或异质物相)分界面时,必将在界面两侧(生物与环境)中具有一定的分布,在生物相中也存在某种物质薄层,它与边界层相对于界面呈准对称,其中的物质梯度的变化与边界层中一样活跃。因此,在与界面过程的相关研究中,生态界面的内涵中必须充分考虑生物相中邻近界面的物质薄层。这也就是本文对生态界面概念扩展的对称性考虑。

因此,生态界面内涵的扩展应该是:在生态学意义下,包括不同物相之间的几何分界面在内且与该界面毗邻物相中物质浓度梯度分布区域的总合。简言之,就是以物质梯度刻画的“双向边界层”。这里的“梯度分布”既包括了生态界面的刻画方式,也反映出物质过程的动力学机制——生物与环境的合力作用:“区域”强调的是生态界面的空间属性;“总和”体现出生物与环境的耦合作用^[8]。

可见,生态界面所具有的物质属性是由构成系统物相之间的分界面和穿越其上的物质浓度分布体现的,它具有相邻物相的属性、特征或功能的表达,格局也一定与物质浓度在分界面两侧的某一区域关联。对“生态界面”的这种认识,界面过程的生态学意义会更明显,也能使界面理念在生态学的意义下统一起来,尤其是解释发生在系统界面上能量流动和物质交换受环境与生物的联合作用机制。

2.3 森林生态系统林冠-大气生态界面研究范例

我们以长白山阔叶红松林生态系统的林冠/大气之间的生态界面为对象,具体阐述生态界面的刻画方式及界面的功能作用。

我们选取大气二氧化碳(或水汽)浓度为参量,

依据它们在林冠上下沿垂直方向的梯度变化(廓线法)定量刻画冠/气生态界面(图1)。冠/气生态界面由两部分组成,厚度 $\delta = \delta_1 + \delta_2$ 。其中 δ_1 位于林冠上部的大气薄层,几近森林大气边界层; δ_2 位于生物相一侧,几乎包含了整个林冠层。

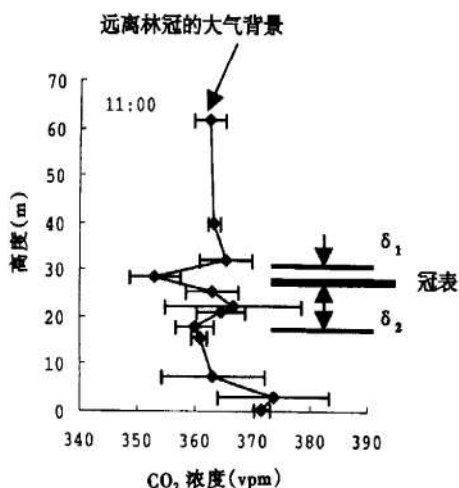


图1 以 CO_2 为参量的“冠/气生态界面”刻画示意

显然,将林冠的特征和 CO_2 在冠表附近的梯度分布状态统一考虑,有助于认识森林与大气之间 CO_2 交换的过程机制。林冠表面作为生物相与大气的分界面,林冠层在生态界面的生物一侧,它的光合等生理过程对生态界面中的物质($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$)具有选择和调节作用;而林冠之上的大气薄层作为生态界面的环境一侧,风温强度因子对生态界面中的物质具有强制作用,风速大且林冠光合作用强时,森林的冠/气生态界面薄,界面有利于物质在系统与环境间的交换。可见,冠/气生态界面的 CO_2 梯度分布,取决于环境和生物的调节与选择两者的联合作用。两种作用的“生态合力”是冠/气生态界面过程的驱动力。

跟踪“冠/气生态界面”的日动态时,能够看出,自黎明时起,林冠界面的格局开始表现,10—13时左右冠/气生态界面的厚度最薄,此时,林冠表现为碳的汇,并随着冠/气生态界面变薄,最小 CO_2 浓度位置将向林冠层深处延伸。20时以后,随着林冠 CO_2 源的作用加剧,冠/气生态界面的空间范围逐渐扩大,直至23时左右几近无穷大。此时,林内外的 CO_2 浓度几近相同,达到一种动态平衡^[9]。

森林界面生态学作为界面生态学的分支学科,就是以森林生态系统的生态界面为对象,研究生态界面的结构、功能作用,重点解决界面过程的动力学机制。

3 研究进展与发展趋势

界面生态学作为生态学的新兴交叉学科,国家在“八五”和“九五”期间就对其基础研究给予了一定的投入,资金来源主要是国家基金委和中国科学院的“百人计划”特殊支持。研究队伍以南京林业大学王汉杰教授和中国科学院韩士杰研究员率领的研究群体为主,研究尺度已从树木个体扩展到景观水平,研究领域也从森林生态系统扩展至草地和农田生态系统。技术和理论体系在逐步发展之中。

中国科学院“百人计划”特殊支持项目(1998—2001)“森林界面生态学”研究成果,尤其能够代表我国界面生态学发展的现状。沈阳应用生态研究所韩士杰率领青年博士团队,从生态场和耗散结构理论出发,系统研究森林生态系统的关键界面——“林冠/大气生态界面”、“土壤/大气生态界面”和“根系/土壤生态界面”过程问题,并解决了森林生态多参数(三维风速、脉动温度、二氧化碳和水汽)同步梯度数据采集与数据分析技术难点,为学科的发展奠定了良好的基础。

可以说,在生态界面位置处,环境胁迫最易富集,物质交换与能量流动也最频繁,生物调节也最活跃,因而是植被与环境耦合的核心部位,也是生态学家们关注的主题。随着全球性生态与环境可持续发展问题的严峻,随着人类活动诱发生态系统界面上的能物流的失衡,系统界面过程的构建或调控显得尤其重要。不仅如此,在全球变化和人类活动的双重压力下,生态界面的过程及调控无疑是至关重要的。若将生态系统与气候变数及社会、政治和经济等要素之间的关系(或阈值)也包括在广义的生态界面范畴中,通过调控气候变化和人类活动与系统之间的界面关系,亦能为解决重大生态学的科学问题起到理论指导作用。

界面生态学作为生态学的新兴分支学科,目前尚属研究发展时期,其理论体系和实验技术亦在探索之中。学科的研究对象——“生态界面”,虽然不

属于新的物质层次,但鉴于它在连接生物与环境之间物质交换、能量流动与信息传递的纽带作用,学科发展倍受关注。伴随我国森林界面生态学的研究进展和国家生态环境重大工程的启动,人们在解决“草地三化”、“中国西部水资源与植被恢复的关系”、“作物根际养分的富集与亏缺”及“退化生态系统的恢复与重建”等问题时,界面生态学与其它学科交叉的深入和研究尺度的不断扩大,会不断诞生诸如“草地界面生态学”和“农田界面生态学”等分支学科,并将对解决相关学科的重大生态学问题做出创新性贡献。纵观界面生态学的研究现状与发展趋势,随着学科间的不断交叉和渗透以及众多科学家的联手研究,可以预言,界面生态学学科会日新月异,前景更加广阔。

主要参考文献

- 1 马世骏. 20 世纪生态科学的过去、现在与未来. 生态学进展, 1988, 5(1): 1- 2.
- 2 熊文愈等. 论生态系统工程. 南京林学院学报, 1985, (1): 1- 10.
- 3 王汉杰等. 生态界面理论研究的最新进展. 南京林业大学学报, 1990, (15): 6- 10.
- 4 Fuller H J. Carbon dioxide concentration of the atmosphere above Illinois forest and grassland. American Midland Naturalist, 1948, 39: 247- 249.
- 5 Gates D M et al. Measurement of moisture boundary layers and leaf transpiration with a microwave refractometer. Nature, 1963, 197: 1 070- 1 072.
- 6 Grace J et al. The boundary layer over a Populus leaf. J. Exper. Bot., 1976, 27(97): 231- 241.
- 7 Richard lee. Forest Microclimatology. New York. USA: Columbia University Press, 1976.
- 8 韩士杰等. 关于森林界面生态学的思考. 应用生态学报, 1998, 9(5): 538- 542.
- 9 Han S J et al. The boundary layer ecology—a new and developing branch of ecology. J. Northeast Forest University, 1995, 6(3): 122- 126.

Present Situation and Prospect of Eco-boundary Ecology

Han Shijie

(Shenyang Institute of Applied Ecology, CAS, 110016 Shenyang)

Eco-boundary Layer is the mid-system between biology and environment. The driving force for material processes within this zone is the resultant force between biology and environments. As the new branch of Ecology, Eco-boundary ecology is in its initial stages at present, for it's potential to solve the most serious ecological problems (e. g. reconstruction of degenerated ecosystems), and will have a great future.

韩士杰 中国科学院沈阳应用生态研究所研究员, 博士生导师。1956 年 5 月生于黑龙江省依兰县。博士学位。曾在东北林业大学理论物理专业任教 20 年, 1997 年入选中国科学院“百人计划”。长期从事界面生态学研究, 在该领域主持国家自然科学基金项目 4 项; 主持中国科学院“百人计划 A”——森林界面生态学研究; 主持中国科学院知识创新工程重大项目课题——森林生态系统碳循环研究。出版专著 1 部, 获黑龙江省教委科技进步奖二等奖 1 项, 获中国科学院 1997 年度“百人计划”优秀团队奖。