



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology, Beijing, China

城市生态学：一个面临新挑战的生态学领域

朱伟兴¹ 郭建国² 张利权²

1 亚利桑那州立大学环境研究中心, Tempe, AZ85287

2 亚利桑那州立大学生命科学系, Phoenix, AZ 85069

摘要 城市环境是受人类活动极度影响的生态系统的典型代表。城市生态学研究对许多传统的生态学理论提出了挑战。然而，城市生态学研究又为发展、丰富、修改和检验生态学理论提供了一个重要的基地。为了改善人类的生存环境，合理地管理自然资源，以及保护全球的生物多样性，我们必须发展和完善城市生态学理论和实践。城市生态学有多种途径来研究和理解城市系统的结构、功能和动态。本文着重阐述两种。生态系统生态学途径注重于城市生态系统中的能流、物流和生物种类的研究；而城市景观生态研究途径注重于景观中空间异质性的产生以及这些异质性是怎样影响城市生态系统中的能流、物流、生物种类和信息流等生态学过程的。北美城市生态学长期研究正是以这两种主要研究途径相结合为特征的。毫无疑问，城市生态学长期研究对于认识并解决由于全球城市化趋势的加速和城市发展过程中出现的一系列问题，如人口膨胀、资源紧缺、城市布局不合理、环境污染等等，具有重要意义。

Abstract Zhu¹, W., J. Wu², and L. Zhang² (1 Arizona State University, Tempe, AZ85287, USA; 2 Arizona State University - West, Phoenix, AZ85069, USA). Urban Ecology: An Ecological Field Facing New Challenges. Urban environment represents ecological systems that are most drastically transformed by human activities. The study of urban ecosystems represents a challenge to classical ecological theory. Indeed, most ecological theories have been developed without an explicit consideration of urban environments. We assert that the urban ecosystem is one of the ideal places to develop, modify and test current ecological theory, as we struggle to improve the living environment for human being, manage the natural resources of the planet and preserve its biodiversity over the coming decades and beyond. Two ecological approaches are mainly adopted to understand and manage the structure, function and dynamics of urban ecosystems. The ecosystem approach studies cities as systems, focusing on energy flow, material cycling and species in them. On the other hand, a landscape ecological approach focuses on the creation of the spatial heterogeneity within landscapes and how that heterogeneity influences the flow of energy, matter, species and information across the landscape. Long-term Ecological Research projects in USA are characterized by integrating these two research approaches. This paper reviews these approaches and discusses new opportunities in urban ecology.



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology. Beijing, China

一、前言

城市生态学研究起源于欧洲，其发展历史可追溯到第二次世界大战后有关欧洲城市废墟上植物区系的研究。此后，城市生态学在世界各地迅速发展。对于城市植被、动物、土壤和气候的研究已有丰富的文献记载（Rebele, 1994）。全球人与生物圈计划（MAB）中的城市生态学项目对于 70 年代迅速发展中的香港做了非常全面的生态和社会学研究。近年来，城市生态学作为生态学中一个分支学科，其重要性不断提高（McDonnell 和 Pickett, 1990; Sukopp 等, 1995; Pickett 等, 1997）。城市生态学是一个多学科交叉的、发展迅速的新兴领域。它是生态学、地理学、地质学、社会学、经济学、政治学等多方位的组合。城市生态学成为生态学中一个重要分支学科（McDonnell 和 Pickett, 1990; Sukopp 等, 1995; Pickett 等, 1997）。它的兴起为我们研究全球城市化趋势提供了科学基础。

在北美，城市生态学在 90 年代进入一个新阶段。一个重要标志就是两个城市生态学长期研究（Urban LTER）项目的建立：一个是美国东部城市巴尔地摩（Baltimore）（网址：<http://baltimore.umbc.edu/lter/>），另一个是美国西部新兴城市凤凰城（Phoenix）（网址：<http://caplter.asu.edu/>）。城市生态学在北美迅速兴起，并逐渐成为生态学研究中的一个前沿领域。北美城市生态学重点突出了生态系统生态学、景观生态学、社会科学、地理信息系统（GIS）和遥感技术的紧密结合。城市生态学不仅为生态学开辟了一个崭新的研究领域，而且也带来了新的机遇和挑战。McDonnell 和 Pickett（1990）指出城市生态系统提供了检验生态学理论的新的实验基地。生态学家从而可以在自己的居住环境中研究与人类城市化有关的生态学课题（表 1）。然而，城市生态系统是非常复杂的系统，在许多方面不同于自然生态系统。在接受新挑战的同时，生态学家不仅将为全球城市化趋势的研究做出贡献，而且也将创造出新思想、新理论和新方法去充实生态学学科本身。

表 1 城市生态系统中的生态学课题

生态学课题	定义与举例
干扰	干扰频率（增加 / 减少），干扰程度（增加 / 减少），干扰类型
生物种类构成	主要种类为人类，伴人种类（寄生虫、杂草、害虫等）增加，外来种增加，本地种和稀有种减少。
景观构成	人为景观占优势，建筑物取代植被，不透性覆盖取代土壤覆盖。
胁迫	污染、噪音影响城市生物（包括人类）的生理反应，种群密度影响生物行为。
文化、经济、政治	城市生态过程不仅取决于物理、化学和生物因素，同时也取决于人类特有的文化、经济、政治等因素。
能量流动	与大部分自然生态系统不同，异养生态系统是城市的重要特征。
物质循环	大规模物质输入和输出，不完全的物质循环。



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology. Beijing, China

二、城市作为一个综合生态系统

从生态学角度来看,城市可以被认为是大型的、异养的、具有大量能量和物质输出和输入的综合生态系统。生态学上定义外来输入能量大于本身光合固定能量的系统为异养系统 (heterotrophic system) (表 2)。城市运转所需要的能量大部分来自城市以外,其本身经光合作用获得的能量 (生态系统能量的最终来源) 是非常有限的。在七十年代的香港城市生态系统研究中,香港行政区本身 (包括大量城郊组成部分) 经光合作用形成的能量仅占整体能量消耗的 12.5% (Boyden 等, 1981)。异养生态系统即使在工业革命以前也是区分城市与非城市系统的一个重要标志。工业革命之前的城市,如中国的北京、欧洲的罗马、伦敦、巴黎 (政治中心) 或苏州、杭州 (商业中心), 无不依赖于城市以外的食物、燃料的输入, 从而形成生态学上显然的异养生态系统特征。工业革命以后的现代城市, 由于化石燃料 (石油、煤炭和天然气) 的大量使用, 更进一步加深了城市的异养程度 (Boyden 和 Dovers, 1992)。当今, 西方大中型城市 (经济商业中心) 所消耗能量的 99% 来自于外部输入, 其本身经光合作用所获得的能量来源已不再重要。城市的这一异养特征对于城市生态学的研究非常重要, 因为大多数自然生态系统是自养系统, 即其主要能量来源于本身的光合作用 (但少数生态系统如林间溪流其能量输入可超过其本身光合固定, 而成为异养系统)。由于城市运转和发展决定于能量输入, 能量输入的保障程度、效率和渠道成为城市发展的第一制约因子, 这也是城市生态系统研究中必须考虑的首要因子之一。表 3 列举了从能量和资源水平上研究城市对其它生态系统依赖性的多种测量指标。

表 2 不同生态系统的能量消费特征 (Odum 和 Odum, 1980)

生态系统	年消费能量或“能量密度” (千卡/平方米)
完全靠太阳能维持的系统: 大部分地球表面, 如海洋, 沙漠、苔原等	1, 000 - 10, 000
太阳能加其它自然能源维持的系统: 生产过量有机物的、具有很高维持生命能力的高产系统, 如海岸河口、某些热带雨林等	10, 000 - 40, 000
太阳能加人类辅助能源维持的系统: 由辅助燃料支持或其它人类提供的能量生产食物、建筑材料等, 如农业、林业种植、养鱼场等	10, 000 - 40, 000
燃料支持的城市工业: 大量使用化石燃料, 往往是聚集的并由运输道路相连, 如城镇、郊区等	100, 000 - 3, 000, 000

表 3 城市生态系统对其它生态系统依赖性的测量



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology. Beijing, China

测定量	解释
P/RE	总初级生产力 (P) 与生态系统呼吸 (RE) 之比 (大多数生态系统: ≥ 1 ; 城市生态系统: < 1)
P/ (RE+RI)	总初级生产力 (P) 与生态系统呼吸加上工业呼吸 (RI; 由于化石燃料燃烧和其它非生物氧化造成的能量损失) 之比 (城市生态系统: $< < 1$)
In/O	总能量输入 (In=P+I) 与总能量输出 (O=RE+RI+E) 之比, 这里输入 (I) 和输出 (E) 包括大气、水文、生物载体和人类专门的运输。
I/ (RE+RI)	能量输入与生态系统呼吸加上由于化石燃料燃烧和其它非生物氧化造成的能量损失之比
I/E	能量输入与能量输出之比
生态足迹 (Ecological footprint)	一个城市生态系统消耗物质所需要的总土地面积
相对于地区的生态足迹	考虑到城市周围实际景观的生产力和资源可利用性而计算的生态足迹
专一物质的生态足迹	以氮、碳、水或其它资源, 及其所产生的过量物质 (废氮、碳、有害物质等) 同化过程为对象的生态足迹
加权平均依赖距离	某资源输入到城市的加权平均距离
净初级生产力占用率	由于城市化而造成的净初级生产 (NPP) 力的损失或改变。
经济指标	输入物品所需要的总运输费用

城市不仅依赖于外界能量输入, 它同时依赖于外界的物质输入, 包括城市用水和原材料输入。以香港为例, 即使包括了 87% 的城郊土地 (13% 农业用地), 仍需要从广东省输入 25% 的城市用水 (Boyden 等, 1981)。世界各大城市绝大多数依赖于外界的水供应, 即使在水资源丰富地区的上海、纽约也不例外。空气的输入和输出往往被忽视, 因为空气流动不直接受人控制, 但城市运转每天消耗大量氧气, 产生大量二氧化碳及其他有害气体。如果空气流动短暂停滞 (如无风季节的香港, 位于谷地的城市洛杉矶), 城市运转将直接受到影响。

现代城市一个更急迫的问题是污染物和废物的大量产生。在自然生态系统中, 所有的有机物来自于光合作用, 最终经过分解过程还原为无机物。在城市生态系统中, 废物的“分解”基本上由以下三条途径进行: 1) 废物处理 (如污水处理厂), 2) 废物储存 (如垃圾填埋), 3) 废物外运 (即将废物转移到城市外)。途径 1 受处理技术和费用制约, 途径 2 和 3 又受可用土地的制约。大量的城市废物不仅包括对人体有害的物质 (如城市废气、CO、O₃、NO_x 等), 而且也包括大量原本无害的、甚至是必需的养分物质, 如氮和磷的积累而形成富营养化。农业和城市的氮和磷输出是造成水体 (河流、湖泊和海洋) 污染的主要原因 (Carpenter 等, 1998), 而水域生态环境的恶化反过来又制约城市的发展 (城市用水、水产品减少等)。



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology, Beijing, China

尽管很多城市生态学研究以城市行政区为其研究单元，许多物质流动，如降雨后的地表水与物质流动往往涉及整个景观或流域。流域生态学（watershed ecology）是生态系统生态学中的一个新途径，已经在自然生态系统研究中被广泛采用（Likens 和 Bormann, 1995）。根据流域来确定生态系统边界的优点是可以通过追踪水和物质的流动，把流域内不同的覆盖单元（住宅、公路、厂矿、企业和绿化带等）有机地联系起来。城市所在的流域的自然特征在很大程度上被人造不透水的地面物、管道铺设、河道挖掘等改变（图 1）。巴尔地摩和凤凰城两个城市长期研究项目都把流域生态学研究作为其重要组成部分。

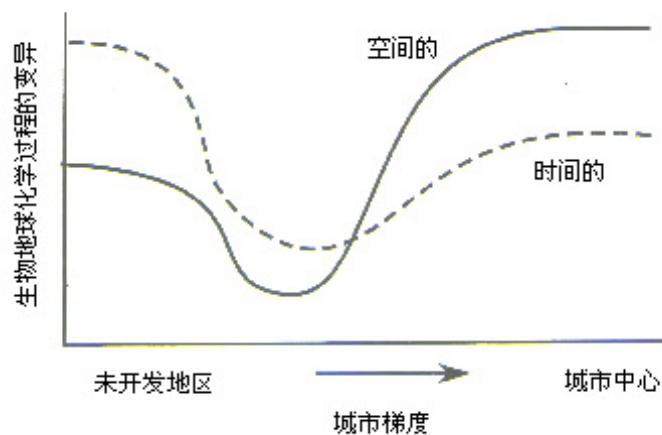


图 1 生物地球化学过程沿城市化梯度的变异程度的假设（引自 Collins 等，2000）。以半干旱或干旱地区城市为例，水分是生物生产力的限制因子。生态系统过程（如土壤呼吸）的空间差异可能从未受干扰的自然生态系统到城市边缘而降低，到达城市中心又急剧增高。时间上的变化在未受干扰的自然生态系统中一般比较高，城市边缘相对较低，但在城市中心又相对增高。

近年来，生态足迹（ecological footprint）的概念被广泛应用于城市生态学研究。生态足迹非常形象化地表达了城市对周边环境乃至全球环境的压力和需求。通过计算城市对食物、燃料等的需求可得出满足这些需求所需要的土地面积。生态足迹通常表示为维持一个城市所需的周边土地面积与城市土地面积之比。由于城市对于周边环境所需要的不仅仅是食物和燃料等，所以还可以分别计算处理废物、废水和废气所需的土地、供水所需的流域面积等等。Folke 等（1997）计算了 29 个北欧最大城市的生态足迹，尽管所有城市的总面积仅为 2216 平方公里，总人口二千二百万，他们需要比城市面积大 133 倍的海洋面积来提供水产品、50 倍的耕地面积提供各种食物、18 倍的森林面积提供木材、27—75 倍的湿地生态系统面积处理城市的氮排放。尽管生态足迹概念在应用上尚有不少需改进之处，它的提出和应用为城市生态学研究提供了一种新的角度和方法（Luck 等，2000）。图 2 是对一个自然生态系统与一个城市生态系统的生态足迹的比较。



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology, Beijing, China

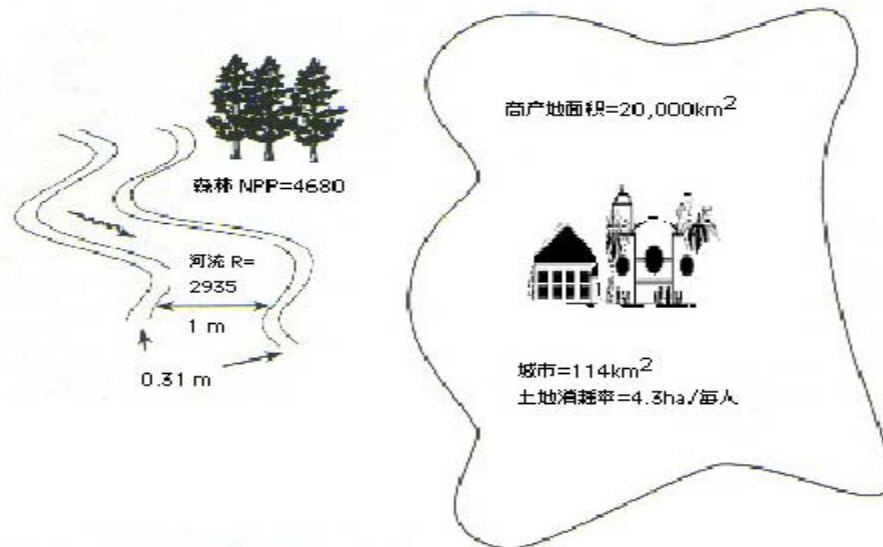


图2 一个异养林间溪流生态系统（左边，仿 Fisher 和 Likens，1973）。如果生态系统中所有能量消耗（呼吸，R，2935 千卡/平方米/年）取决于来自周围森林（初级生产率，NPP，4680 千卡/平方米/年）的有机物输入，一米宽的溪流将需要相应于两边各 0.31 米宽的溪边林带的有机物输入。该面积是林间溪流生态系统面积的 62%。作为对照（右边），加拿大 Vancouver 城（仿 Wackeragel 和 Rees，1996）消耗相应于 20,000 平方公里高产土地所生产的物质，这是该城市占地面积的 180 倍（见 Collins 等，2000）。

三、城市作为不同生态单元的镶嵌体

生态系统生态学途径把城市看作是一个整体系统，并集中研究其能量和物质的输入、输出和运转。城市生态学研究另一个传统途径是注重对城市单元或缀块的分析。城市的不同单元可被视为独立的生态系统，在此水平上研究其结构、功能和动态，并且也有可能进行独立的实验处理。许多所谓的城市生态学研究就是在城市内某个公园或残留自然植被片段中进行的生理生态、种群或群落学方面的研究（例 Sukopp 等，1995）。然而，正在兴起的景观生态学途径强调研究城市景观缀块系统的结构、功能和动态。因此，研究城市单元之间相互关系是城市景观生态学的重要组成部分（邬建国，2000）。基于这种城市景观镶嵌体概念，Zipperer 等人（2000）提出了研究城市生态学的一系列生态学原理（又见 Wu，2000；Wu 和 Pickett，2000）。凤凰城和巴尔地摩城市生态学研究正是应用这些原理的具体体现。

凤凰城城市生态学期研究项目的一个重要组成部分是城市景观缀块水平上的研究。凤凰城 6400 平方公里研究区域被系统地划分成 400 个小区。城市中心的 100 个小区内各设一个调查样方，城市边缘地区（包括城郊农业用地、荒漠植被等）每 3 个小区设一个调查样方，总共 200 个调查样



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology, Beijing, China

方。调查样方为 30x30m，随机设置于小区内，其位置由全球定位系统（GPS）定位。样方调查每五年一次，在春季 2—4 月之间。调查者在每个样方内记录动植物组成，采集土壤样品，观察记录小气候、土地利用类型和程度，同时记录样方内结构组成，包括植物的三维结构、建筑物结构、道路与非道路界限等，再经 GIS 将其数值化。这些实地调查数据和结合遥感数据为分析和研究城市单元的结构、分布、功能和动态，以及为城市生态系统建模提供了必要的基础。

城市生态系统的一个重要特征是，其主要生物种类是人或与人类有关的动植物和微生物。作为主要物种，人类往往并不只是消费城市范围内的初级生产力，其食物还往往来源于城市以外的地区。城市产生的废物主要通过运输而输出，但输出有时并不完全。同时，人类对城市单元内的动植物也有很大的影响。城市外来种的引进及其对城市生态结构的影响也是城市生态学研究中的一项重要课题（如城市外来种的引进会改变城市鸟类的分布，或带入病菌，从而影响种群动态及其它生态学过程）。图 3 表明，随着城市化过程的加剧，物种丰富度也发生变化。而这些格局与非城市生态演替预期的格局（破折线）显然不同。时间轴相应于自从一个地区最初被人类定居为城市的时间（城市化）或自从干扰后开始演替的时间生态演替）。城市群落中外来种百分比是随人口增长的渐进饱和函数，假定随着迁入城市的人口增加他们将带入更多的外来种。因为城市化导致自然生境的破坏，物种丰富度（影线）在城市化的最初阶段会降低，但随着外来种百分比的增加，物种丰富度在城市化中期阶段达到低值后又会增加。最后阶段的物种丰富度（包括外来种）可能超过初期阶段。

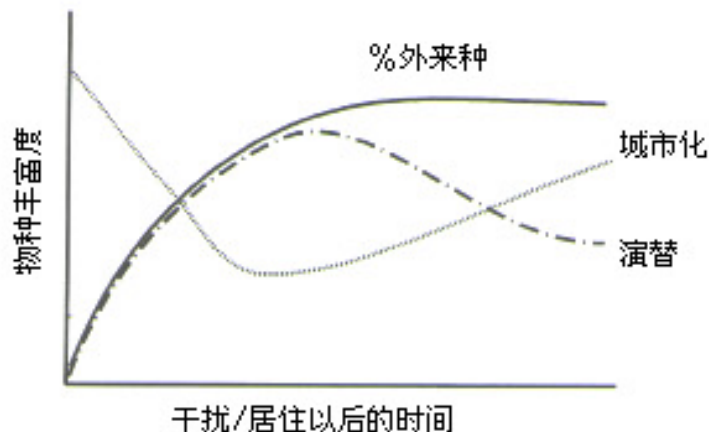


图 3 城市生态系统中物种丰富度（点线）和外来种百分比（实线）随时间变化的假设（引自 Collins 等，2000）

城市系统的另一个明显特征是高比率的地表不透水覆盖。城市地表往往有约 50 % 的不透水的人为覆盖物（道路、建筑物等）。这些人为覆盖物影响到系统的水分和物质的流动，辐射能量的分配和流动。这些变化又反馈影响城市单元中的动植物及人类的健康和行为。典型的例子是城市内土



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology, Beijing, China

壤对降水的吸收能力大大降低，城市表面积水需经由人为铺设管道排出，并往往造成对城市周围水源的污染或造成城市积水。水泥和沥青覆盖在白天吸收太阳辐射能，夜里释放长波热量而造成城市热岛效应。城市地表人为铺设的覆盖大大降低了城市绿化面积，从而影响城市生物及人类，影响城市噪音控制和空气污染控制等等。

城市景观中缀块的类型、面积和分布都有异于自然景观。城市景观缀块的类型在很大程度上取决于人类的土地利用（Zipperer 等，2000），如居民用地、商业用地、工业用地、机关学校用地、城市绿化用地、城郊农田、自然地、道路及水域等。从城郊到城市中心，土地利用类型从相对单一到复杂多样，缀块平均面积逐渐减小。

城市生态系统研究中的一个重要方面是人类对城市环境的影响。人类直接和间接地改变城市环境，而城市环境的改变又反馈影响人类和城市生物。城市热岛效应就是人类直接或间接活动的结果。在瑞士某一城市的研究中，Baur 和 Baur（1993）发现一种蜗牛（land snail）的孵化率取决于其栖居绿地的土壤温度，而土壤温度则与周围环境中城市建筑物和道路有关。城市热岛效应引起该物种孵化率的降低，而这些影响又与城市绿地缀块和非绿地缀块的空间分布密切相关（Baur 和 Baur，1993）。

人类对城市环境的另一重要影响是多种氧化氮气体（ N_2O 、 NO 、 NO_2 ）的排放。尽管氮气在大气层中非常稳定，氧化氮气体是氮循环中非常活跃的物质。一氧化氮更是城市臭氧形成的重要因子。由于氮是植物生长的重要养分，固定化的氮化合物（如氧化氮）含量影响植物的生长和分布。城市中氧化氮气体主要来自于汽车内燃过程。凤凰城城市生态学研究表明，城市土壤中的无机氮含量普遍高于城郊未开发的荒漠土地，近道路的土壤又高于远道路的土壤。表明城市氮循环不仅在整体上，而且在城市缀块水平上也不同于自然生态系统。

城市绿化是减少空气污染、改善城市环境的重要手段。最新研究表明，树木可以改善城市空气质量，但在某些情况下也可能降低城市空气质量。例如，对树木挥发性有机物（volatile organic compounds, VOCs）的研究表明，树木中的自然产物异戊间二烯（isoprene）和单萜（monoterpene）参与城市空气污染中的光化学反应；在高浓度的氧化氮（ NO_x ）情况下，它们与氧化物反应形成臭氧而造成低大气层中的空气污染，从而影响城市中人类以及其它动植物的生理健康（Lerdau 等，1997）。然而，在自然界低氧化氮的情况下，这些挥发性有机物与氧化物反应会降低臭氧浓度而净化空气。城市中多种环境因素会影响植物挥发性有机物在城市中的释放。例如，城市热岛效应、高浓度的二氧化碳和土壤氮含量都可能使树木挥发性有机物的释放增加。在位于谷地的城市洛杉矶，树木挥发性有机物的释放是造成城市空气污染的重要因素之一（Taha，1996）。

城市景观中的缀块处在不断与周围缀块和基底环境进行能量和物质交换过程中，而且各类缀块自身也处在不断的变迁中。研究这类动态变化的、高度复杂的生态系统是城市生态学研究中的重要



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology. Beijing, China

挑战。生态学研究中的许多新概念、新理论和新方法，如尺度、时空异质性、非线性、缀块—廊道—基底模式、复合种群理论、等级缀块动态理论、遥感、地理信息系统、空间统计学等等，正被应用于城市生态学研究之中，从而促进了城市生态学的发展（Pickett 等，1997；Zipperer 等，2000）。

四、城市生态学的长期研究

长期生态学研究对于认识生态系统的结构、功能和动态是非常重要的。凤凰城城市生态学长期研究项目包括八个核心组成部分，其中前五个部分主要以城市中自然生态系统为研究对象，后两个部分主要以城市经济学和社会学为研究对象，最后一个部分涉及到环境教育。

（1）初级生产力的控制和格局

初级生产力是经光合作用和化能合成作用合成的有机物的产生率。该部分研究主要包括 a) 自然植被和农田转变为城郊并进而转变为城市用地对初级生产力的影响；b) 研究城市小气候、城市用水等对初级生产力的影响；c) 大尺度上，土地利用格局的长期变化趋势对初级生产力的影响。

（2）食物链中具代表性的种群动态

生物个体、种群、群落和资源是典型的缀块式分布。城市中人类活动已大大改变了这些缀块的频率、质量、分布和生存期。所有这些因素都可能通过食物链和局部灭绝率影响原有种和外来种的局部种群、复合种群和群落的动态。该部分的研究对象主要为人类、节肢动物、鸟类和植物。其内容包括：a) 当地植物物种多样性保护；b) 多层次食物链在城市生态系统中的作用；c) 城市土地利用与外来种入侵的关系。

（3）土地表层和沉积物中有机物积累的控制和格局

该部分主要研究内容包括：a) 城市地表覆盖；b) 植物种类和数量的变化；c) 城市小气候对土壤代谢和有机物积累的影响。

（4）养分在城市生态系统组分中的输入格局和动态

生物地球化学循环是生态系统研究中的重要组成部分。这部分中的主要研究内容包括：a) 城市和城郊沙漠流域碳、氮（通过水）输出在时间和空间上的变化；b) 地下水中硝酸铵的积累；c) 土壤和水体的盐渍化。

（5）城市生态系统的干扰频率和格局

在此项研究中，干扰主要是指火灾、洪水和其它一些对城市生态系统造成影响的突发事件。干扰具有不同的强度、大小、地点、空间分布和出现周期。



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology, Beijing, China

(6) 人类对土地利用与土地覆盖的变化和生态系统动态的影响

城市土地利用是人类城市活动的重要组成部分。城市的土地利用与社会经济、文化、行政等因素密切相关。可以从五个方面识别、监测和预测城市土地利用过程对生态系统动态的影响：a) 土地利用类型和密度；b) 土地利用的演替；c) 土地利用的尺度；d) 土地利用的位置（城郊或市区等）；e) 土地利用的格局（聚集分布或零散分布及其与道路的关系）。

(7) 社会—经济和生态系统的长期监测数据

长期监测、搜集和记录社会—经济与生态系统数据是城市长期生态学研究项目的重要组成部分。这些数据可经由以下途径获得：a) 统计局数据；b) 各政府机关数据；c) 遥感数据；d) 实地调查数据。凤凰城城市生态学期研究项目的监测也包括了人类决策和活动以及影响行政和个人决策的驱动因素（如经济环境、政治环境和人们的环境观念）。这些不仅为城市生态学研究提供技术基础，而且也将为改善今后的决策提供可靠的科学基础。

(8) 生态与环境教育

城市生态学的研究不仅仅取决于科学家们的努力，在很大程度上也取决于全民生态环境意识和参与。因此，北美的两个城市长期生态学研究项目都把全民生态环境教育作为一个重要组成部分。凤凰城城市生态学期研究中专列了城市中小生态环境教育项目。安排专业教育人员参与并负责联络和协调，定期组织生态学工作者与中小学教师交流，组织安排中小學生参与部分研究项目，并安排生态环境教学、培训和实验室短期实习。

五、结语

城市环境代表了被人类活动极大改变了的生态系统。城市生态系统研究对传统的生态学理论提出了挑战：如果生态学理论真正具有普遍性的话，那么它们是否也应该能够解释城市环境中包括人类和有关生物的分布、丰富度以及与环境之间的相互关系。由于大部分生态学理论的发展并没有考虑到城市环境，我们认为城市生态系统的研究将是发展、丰富、修改和检验生态学理论的重要领域之一。要改善人类的生存环境，合理管理自然资源以及保护全球的生物多样性，就必须发展和完善城市生态学理论和实践。

传统的城市生态学研究或者着眼于单个缀块，或者只注重于城市系统中的能流、物流。而新兴的城市景观生态学研究途径注重于景观中空间异质性的产生以及这些异质性是怎样影响城市生态系统中的能流、物流、生物种类和信息流等生态学过程的。凤凰城城市生态学期研究正是以这种研究途径为特征的。

就全球而言，城市化趋势正在不断加速。十九世纪以前，全球只有百分之几的人口居住在城市，而当今的城市已居住了全球人口的 50% 左右。城市是以人类为主体的自然—社会—经济复合生



第二届现代生态学讲座 中国·北京

The second International Symposium on Modern Ecology. Beijing, China

态系统。毫无疑问,城市生态学期研究对于认识并解决由于全球城市化加速和城市发展过程中出现的一系列问题,如人口膨胀、资源紧缺、城市布局不合理、环境污染等等,具有重要意义。

致谢 本文承蒙申卫军帮助整理,在此鸣谢。同时,我们感谢凤凰城城市生态学期研究项目为本文提供的资料。

参考文献:

- 邬建国, 2000, 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级, 高等教育出版社, 北京。
- Baur B., and A. Baur, 1993, Climatic warming due to the radiation from an urban area as possible cause for the local extinction of a land snail. *Journal of Applied Ecology*, 30:333-340.
- Boyden S. and S. Dovers, 1992, Natural-resource consumption and its environmental impacts in the western world: Impacts of increasing per capita consumption. *Ambio*, 21: 63-69.
- Boyden S., S. Miller, K. Newcome and B. O'Neill, 1981, *The Ecology of A City and Its People: the Case of Hong Kong*. Australian National University Press, Canberra, Australia.
- Carpenter S., N.F. Varoco, D.L. Correll, R.W. Howarth, A.N. Sharpley and V.H. Smith, 1998, Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8: 559-568.
- Collins, J.P., A.P. Kinzig, N.B. Grimm, W.F. Fagan, D. Hope, J. Wu and E.T. Borer. 2000. A new urban ecology. *American Scientist* 88:416-425.
- Fisher S.G. and G.E. Likens, 1973, Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: An integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecological Monographs*, 43: 421-439.
- Folke C., A. Jansson, J. Larsson, and R. Costanza, 1997, Ecosystem appropriation by cities. *Ambio*, 26:167-172.
- Lerdau M., A. Guenther and R. Monson, 1997, Plant production and emission of volatile organic compounds. *BioScience*, 47: 373-383.
- Likens G.E. and F.H. Bormann, 1995, *Biogeochemistry of A Forested Ecosystem* (2nd ed.), Springer-Verlag, New York.
- Luck, M. A., G. D. Jenerette, J. Wu and N. B. Grimm. 2000. The urban funnel model and spatially heterogeneous ecological footprint. (Submitted to *Ecosystems*)
- McDonnell M.J. and S.T.A. Pickett, 1990, Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71: 1232-1237.
- Odum H.T., and E.C. Odum, 1980, *Energy Basis for Man and Nature*. New York: McGraw Hill.
- Pickett S.T.A., W.R. Burch, Jr., S.E. Dalton, T.W. Foresman, J.M. Grove and R. Rowntree, 1997, A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. *Urban Ecosystems*, 1: 185-199.
- Rebele F. 1994, Urban ecology and special features of urban ecosystems. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 4: 173-187.
- Sukopp H., M. Numata, and A. Huber (eds), 1995, *Urban Ecology as The Basis of Urban Planning*. SPB Publishing, The Hague, Netherlands.
- Taha H., 1996, Modeling impacts of increased urban vegetation on ozone air quality in the south coast air basin. *Atmospheric Environment*, 30: 3423-3430.
- Wackernagel M. and W. E. Rees, 1996, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, British Columbia, Canada.
- Wu, J. 2000. A landscape ecological approach to the study of urban systems. Proc. 15th Annual Symposium of US-IALE (International Association for Landscape Ecology), Fort Lauderdale, April 15-19, 2000. pp.161.
- Wu, J. and S. Pickett. 2000. Symposium introduction: New paradigms in urban ecology. 2000 Annual Meeting of Ecological Society of America, Snowbird, August 6-10, 2000.
- Zipperer, W. C., J. Wu, R. V. Pouyat, and S. T. A. Pickett. 2000. The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes. *Ecological Applications*: 685-688.