

654-658

(11)

第19卷第5期
1999年9月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 5
Sept., 1999

城市化对森林植被、土壤和景观的影响

Sta, P.

张金屯¹, Pickett STA²

5718.524

(1. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 2. Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, USA)

摘要:用纽约市“城区-郊区-农区”140km长的森林生态样带研究了城市化对森林植被、土壤重金属含量和森林景观的影响。随着距市中心的距离加大,森林植被的类型、种类组成及结构有明显的不同;土壤主要重金属含量逐渐降低;森林景观斑块数量减少,斑块面积增大,景观异质性降低,这些变化与交通密度、道路密度、人口密度以及城市土地利用有显著的相关性。人类活动及大气污染是影响森林的主要因素。生态样带是研究“城区-郊区-农区”环境变化的好手段。

关键词:森林生态样带;城市化;景观格局;土壤重金属污染

Effects of urbanization on forest vegetation, soils and landscape

ZHANG Jin-Tun¹, Pickett STA² (1. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, USA)

Abstract: A 140km “Urban-suburban-rural” gradient in New York City was set up and used to study the effects on urbanization on forest vegetation, forest soils and forest landscape. Along the gradient from urban to rural area, the types, composition and community structure of forest vegetation very obviously. The contents of main heavy metals in forest soils go down gradually. The number of forest patches decreases, their size increases, the heterogeneity of landscape decreases. These variations are closely related to traffic density, road density, population density and urban land use. Human activities and air pollution are the main factors affecting the forest. Ecological gradient is a good tool at the study of changes of urban-suburban-rural environment.

Key words: forest ecological gradient; urbanization; landscape pattern; soil heavy metal pollution

文章编号: 1000-0933(1999)05-0654-05 中图分类号: Q149 文献标识码: A

随着人口的不断增加,全球城镇的数量和面积发展很快,城市化成为当今世界发展的重要特征。城市中人类经济活动十分频繁、工业发展迅速。因此,城市化对植被、土壤、大气等自然环境影响甚大^[1]。城市化对大气污染、水污染、城区植被和土壤的影响已有一些人做过研究^[2-4],这些研究大多集中在城区之内,或延伸到近郊^[2-4],但通过“城市-郊区-农区”森林生态样带研究城市化对自然环境影响的研究很少,有人在美国新泽西和纽约用样带研究过城市化对森林土壤重金属 Pb 含量的影响^[4-5]。城市化对景观的影响也有人做过不少研究,主要集中在城市化对景观异质性、景观破碎化、景观格局等的影响上^[6,7],大多为定性分析,量化研究较少^[8],用“城市-郊区-农区”生态样带研究人类活动与景观关系的就更少。

本文以美国纽约市“城区-郊区-农区”森林生态样带为基础,研究城市化对落叶阔叶林植物群落组成和结构、森林土壤重金属含量、森林景观等的影响,分析各种因子之间的生态关系。

1 方法

1.1 森林生态样带

为更好地研究城市化对自然环境的影响,设立了一条长 140km,宽 20km 的森林生态样带。样带从纽约市中心的 Bronx 县向北偏东方向延伸,经过纽约州的 Westchester 县到达克莱蒂克州的 Litchfield 县。沿样带自然地理条件变化不大,温度因纽约市的热岛效应而偏高,纽约市年均温为 12℃,而 Litchfield 为

基金项目:国家教委优秀归国留学生基金资助

收稿日期:1997-10-20;修订日期:1998-07-24

8.5℃。年降水量纽约市为 1080mm,而 Litchfield 为 1030mm,一年中降水分布均匀,土壤质地基本一致,沿样带均为 Chorlton 和 Hollis 土系。森林植被均为以栎树(*Quercus*)占优势的落叶阔叶林。

1.2 取样

沿着样带,选 9 个森林样地,均为林龄 60a 以上的栎林,且近期没有干扰迹象,样地均在半坡上,坡度坡向尽量一致。每个样地,取 3 个 $20 \times 20\text{m}^2$ 的样方进行土壤取样,样地 7 只有两个样方。故土壤样方共 26 个,其中在每个样地的两个 $20 \times 20\text{m}^2$ 样方中进行植被取样,样地 5 取有 3 个植被样方,共有植被样方 19 个。

在样方中进行植被常规调查,记录所有乔木种的株数、高度、盖度、胸径、基径等数据。然后将样方分成 16 个 $5 \times 5\text{m}^2$ 的小样方,调查乔木种的频度。随机选 1 个 $5 \times 5\text{m}^2$ 的小样方调查灌木种和草本植物的盖度、高度等。本文植被数据使用重要值综合指标。

土壤样品是将 $20 \times 20\text{m}^2$ 样方分为 16 个 $5 \times 5\text{m}^2$ 小样方后,随机选取其中 4 个取样。土样用直径为 2cm 的不锈钢土钻取至 15cm 深,每个小样方中取 10~15 个土芯,充分混合后取一份作为该小样方的样品,土样风干后研磨过筛,在室内进行化学分析。取适量的土样,置于 450℃ 的马福炉中处理 8h,将其灰用 8mol/L 的 HNO_3 消化 8 h,再用电感耦合等离子仪(inductively coupled plasma)测定 Cu、Ni、Pb、Mn、Co、Zn 和 Cr 重金属元素的含量,土壤 pH 和通导性用 pH 计和电导仪在土壤:水为 2:1 的溶液中测得。

森林景观数据是以每个样地为中心,在 1:25,000 土地利用图上,测定 $10 \times 10\text{km}^2$ 范围内的森林斑块数,斑块大小、形状、边界长度等。土地利用率和公路密度(m/km^2)用航片和 1:24,000 的地形图测得;机动车密度($\text{辆}/\text{km}^2$)和人口密度($\text{人}/\text{km}^2$)用美国县级普查数据(1990 年)。

1.3 数据分析

对植被和土壤数据,本文先用国际上最常用的多元排序方法除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)^[8,9]综合信息,再用普通的回归分析研究植被变化、土壤重金属格局与人文因素的关系。在 19 个植被样方中,共记录了 86 个植物种,所以植被数据矩阵为 19×86 维。土壤数据由 7 个重金属元素的含量和土壤通导性 8 个因子组成,由于方差分析结果表明土壤 pH 值在样方中差异不显著,故删除其,所以土壤数据矩阵为 26×8 维矩阵。景观格局沿生态样带的变化同样用回归分析研究。

2 结果分析

2.1 植被分析

首先用 DCA 对植被数据进行分析,结果见图 1。图中数码为样方的代号,样方是从市中心开始编号,即 1 号为市中心,而 19 号为距市中心最远的样方。很明显, DCA 第一排序轴从左到右反映了距市中心由近到远的生态梯度,沿着样带,森林植被可分 3 类:一是城市森林(样方 1~4),其优势种为黑橡(*Quercus velutina*);二

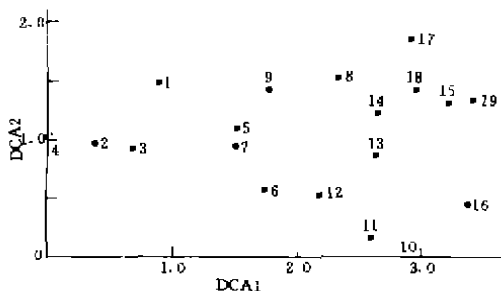


图 1 植被数据的 DCA 排序图

Fig. 1 DCA ordination plot of vegetation data

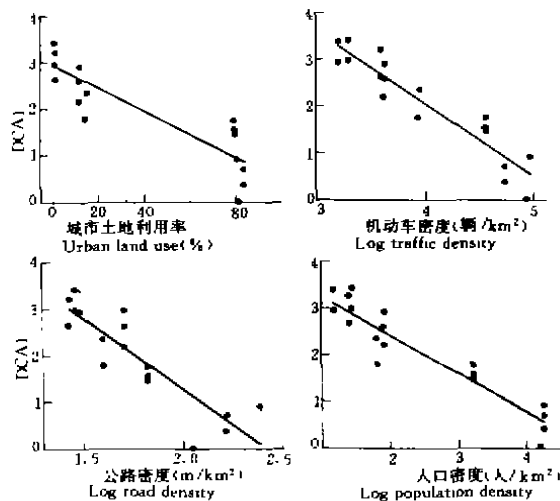


图 2 植被与人文因素的关系

Fig. 2 Relationships between vegetation and urban factors

是郊区森林(样方 5~12),以白橡(*Q. alba*)和大花青岗(*Fagus grandifolia*)占优势;三是农区森林(样方 13~19),以北方红橡(*Q. rubra*)占优势。这 3 类森林在种类组成和环境组成上有着明显的差异,而这些差异与人类活动(人文因素)有着密切关系,这可以从图 2 中看出来。

DCA 排序是一综合信息的过程^[10],所以,它的排序轴包含了大量的植被信息,本文用 DCA 第一轴作为植被变化数据与人文因素作回归分析(图 2),4 种人文因素与植被的回归方程列在表 1 中,从表 1 和图 2 中可以看出,植被的变化与城市土地利用率、机动车密度、公路密度和人口密度有着极显著的相关性。从城区到郊区再到农区,城市土地利用率逐渐下降,机动车密度逐渐降低,公路密度和人口密度也逐渐减少,而植被排序值则在逐渐升高,说明沿生态样带,植被结构逐渐复杂化,种类组成有明显变化,主要是种类有更替现象,即从城区种类到郊区种类再到农区种类的变化。

表 1 植被排序轴与人文因素的关系

Table 1 Relationships between vegetation ordination axes and human factors

人文因素 Human factors	回归方程 Regression formula	r^2	P
城市土地利用率 Urban land use(%)	$y = 2.9356 - 0.02468x$	0.791	$<0.001(n=19)$
交通密度 Traffic density	$y = 8.32441 - 1.56397x$	0.880	$<0.001(n=19)$
公路密度 Road density	$y = 7.3897 - 3.062135x$	0.776	$<0.001(n=19)$
人口密度 Population density	$y = 4.07829 - 0.83316x$	0.883	$<0.001(n=19)$

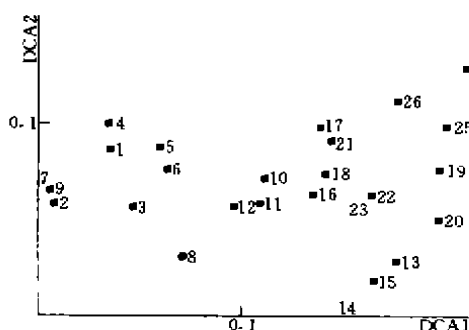


图 3 土壤重金属含量数据的 DCA 排序图

Fig. 3 DCA ordination plot of soil heavy metal data

一排序轴作为土壤重金属元素变化数据,与人文因素进行回归分析(结果见表 2 和图 4),表明森林土壤重金属含量与城市土地利用率、交通密度、公路密度和人口密度都有极显著的相关性,因为这些人文因素都是导致大气污染和水污染的直接原因,沿城区-郊区-农区样带,城市土地利用率、交通密度、公路密度和人口密度逐渐下降,因此,大气污染逐渐减弱,大气颗粒污染物减少,所以,森林土壤中重金属含量逐渐降低。

2.3 森林景观变化

用回归分析研究森林斑块大小、斑块数目和森林与城市边界率(F-U 边界率)随距市中心距离的变化关系(见图 5 和表 3)。随着距市中心距离的增加,森林斑块面积逐渐增大,而森林斑块的数量则逐渐减少,森林与城市因素的边界率也逐渐降低,也就是说景观

2.2 土壤重金属含量分析

对土壤数据矩阵同样用 DCA 排序分析,结果见图 3,图中数码仍为样方代号,样方 1~26 顺序也是从市中心开始(1 号)依距市中心的距离排列。由图 3 可知,DCA 第一排序轴明显地反映了土壤重金属含量变化的梯度,排序图从左到右,随着距离的增加,从城区到郊区再到农区,土壤重金属含量逐渐降低。这与人类活动,环境污染密切相关。尤其是 Cu、Ni、Pb、Mn、Cr 等重金属元素变化非常明显。同样用 DCA 第

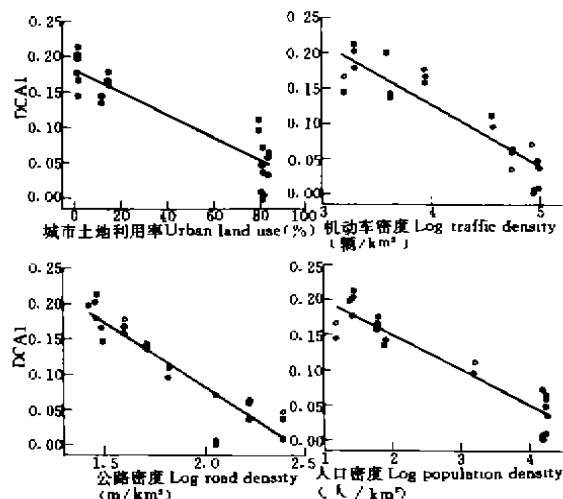


图 4 土壤重金属含量与人文因素的关系

Fig. 4 Relationships between contents of soil heavy metals and urban factors

表 2 土壤重金属排序轴与人文因素的关系

Table 2 Relationships between soil heavy metal ordination axes and human factors

人文因素 Human factors	回归方程 Regression formula	r^2	P
城市土地利用 Urban land use(%)	$y=0.1815-0.0016x$	0.807	$<0.001(n=26)$
交通密度 Traffic density	$y=0.4792-0.0880x$	0.807	$<0.001(n=26)$
公路密度 Road density	$y=0.4525-0.1856x$	0.853	$<0.001(n=26)$
人口密度 Population density	$y=0.2477-0.0492x$	0.880	$<0.001(n=26)$

表 3 森林景观格局与距离的关系

Table 3 Relationships between forest landscape and distance

景观因子 Landscape factors	回归方程 Regression formula	r^2	P
斑块平均面积 Mean area of patch	$y=1.5309+8.987x$	0.656	$<0.001(n=9)$
斑块数量 Number of patches	$y=41.952-0.296x$	0.679	$<0.001(n=9)$
F-U 边界率 F-U boundary(%)	$y=95.368-0.728x$	0.778	$<0.001(n=9)$

格局破碎性逐渐降低,因为,离城市越远,人类活动越弱,公路密度、人口密度降低,城市土地利用比例减少,因此,对森林斑块的砍伐破坏及切割减弱,所以斑块数目减少,但斑块面积增大。说明人类活动及城市化发展对森林景观格局的形成和发展有重要的影响。

3 讨论

植被的变化一般与气候、土壤、地形等因素有关。在选择样地样方时,尽量使森林土壤质地相近,地形地势保持一致,虽然样带绵延 140km,但气候因素变化不大,从群落类型来讲,都是栎类林。所以,这里所揭示的森林植被结构、种类组成等方面的差异可以说主要是人类活动,即城市化的影响所致。沿着生态样带,森林植被可分为城区森林群落、郊区森林群落和农区森林群落,它们在结构和组成上有明显差异,即从城区到郊区再到农区,森林群落结构逐渐复杂化,种类组成明显变化,优势种也发生更替,由黑橡到白橡再到北方红橡,这种变化与人文因素密切相关(表 1,图 2),植被的变化趋势与土壤重金属变化格局以及森林景观格局的变化相一致。

重金属元素在土壤中的分布同样与土壤质地、森林种类组成、大气污染等诸多因素有关,但本生态样带土壤重金属的含量主要与大气污染有关,也就是说主要是人类活动影响的结果。沿着样带,从城区到郊区再到农区,重金属离子总量逐渐减少,尤其是 Pb、Cu、Ni、Cr 主要污染离子变化明显,排序分析(图 3)和回归分析(表 2,图 4)都说明了这一点,这一地区并不是工业区,重金属污染主要与汽车尾气、城市垃圾、煤气燃烧等有关,其中汽车尾气是最大的污染源。尽管美国早已普及无铅汽油,但其 Pb 的污染仍是重金属污染的主要成分。土壤中重金属的含量是长时间积累的结果。重金属污染与城市土地利用、交通密度、人口密度等有着显著的相关性,因为这些人文因素都是导致大气

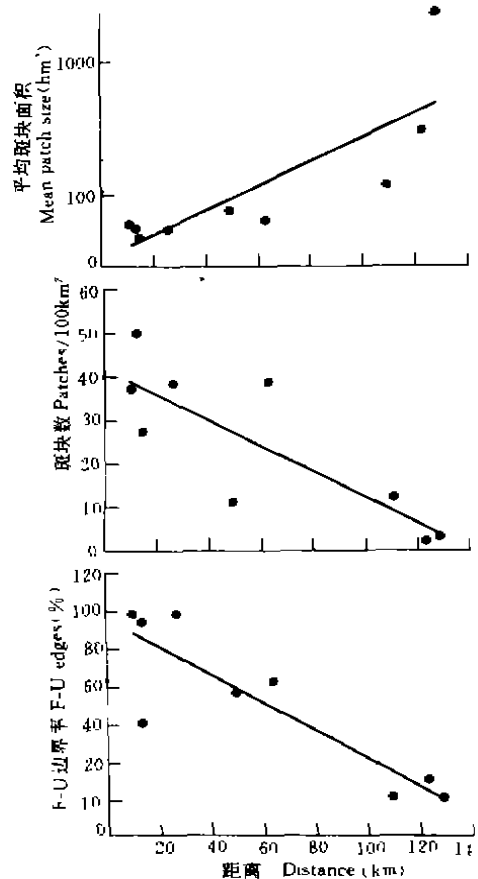


图 5 景观特征随距市中心距离的变化

Fig. 5 The change of landscape features along the gradient

污染和水污染的直接原因。

森林景观格局沿“城区-郊区-农区”生态梯度的变化与森林植被和土壤表现出一致的趋势,随着距市中心距离的增加,森林斑块面积增大,斑块数量减少,森林与城市边界率下降,说明景观异质性减小,破碎性也降低,这都是由于人类活动的减弱所致。反过来,由于城市化的发展,人口密度增大,所以扩建住宅及商业区,修建公路等必然增大城市土地利用比例,增大交通密度,自然景观必然要受到切割破坏,景观格局就要发生较大变化,破碎性和异质性增大。

森林植被、土壤和景观是相互联系的,将它们三者结合起来研究城市化对自然环境的影响更具说服力。“城区-郊区-农区”生态样带是研究人类经济活动、城市化对环境影响的好方法。生态样带可以将自然因素和人文因素结合起来,综合信息,提供可靠之结果。同时,样带一旦建立起来,可以定期取样,做动态研究。

参考文献:

- [1] Smith W H. *Air pollution and forests, interaction between air contaminants and forest ecosystems*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1990.
- [2] Steinfild J H. Urban air Pollution; State of the Science. *Science*, 1989, **243**: 745~752.
- [3] McDonell M J and Pickett S T A. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 1990, **71**: 1231~1237.
- [4] Airola J M and Bucholz K. Species structure and soil characteristics of five urban forest sites along the New Jersey Palisades. *Urban Ecology*, 1984, **8**: 149~164.
- [5] White CS & McDonell. Nitrogen cycling processes and soil characteristics in an Urban versus rural forest. *Biogeochemistry*, 1988, **5**: 243~262.
- [6] Forman R T T. *Land mosaics, the theory of landscapes and regions*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- [7] Franklin J F. Lessons from old-growth. *Journal of Forestry*, 1993, **91**: 10~13.
- [8] ter Braak C J F. CANOCO-a Fortran program for canonical community ordination. Agriculture Mathematics Group, Wageningen, 1988.
- [9] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [10] Zhang J-T. and Oxley R. A comparison of three methods of multivariate analysis of upland grasslands in North Wales. *J. Veg. Sci.*, 1994, **5**: 71~76.