

Landscape pattern analysis of the urban forest and green network structure in the Pudong district of Shanghai, China

Análisis del patrón del paisaje del bosque urbano y la estructura de la red ecológica en el distrito de Pudong en Shanghái, China

Jianan Wang; Hui Liu*; Zemin Wu; Yingying Li

Anhui Agricultural University, The Institute of Forestry and Landscape Gardening. Hefei 230036, China.

*Corresponding author: liuhui@ahau.edu.cn, tel.: +86 13956960916

Abstract

Introduction: Urbanization has altered the natural landscape in the world. The urban expansion has been occurring more rapidly than ever before in China.

Objective: To analyze the urban forest landscape pattern and ecological network structure in the Pudong district in Shanghai, China.

Materials and methods: The study area covers 553 km², including 253 km² of built-up area. Using Landsat 7 2008TM, 2007 Spot Image, Google Earth and city maps, the structural characteristics were analyzed. The landscape patterns of the urban forest and green network structure were interpreted using ArcGIS Software.

Results and discussion: The area of the urban forest patches (>900 m²) and the built-up area in the district were 5.15 % and 5.78 % respectively. The area of the green corridor network was 80.27 km² while the density was 1.99 km². The linkage of the green network was 1.30, circuitry was 0.19 and connectivity 0.47. The tree canopy coverage was 7.02 % in the entire study area, and 10.27 % in the built-up area. The tree canopy coverage can reach to 8.68 % ~ 9.79 % in the total study area, and 11.49 % ~ 12.3 % in the built-up area.

Conclusion: The green network has been constructed, but it was not well designed, so it is necessary to improve its structure. The existing trees cannot modify the forest environment for all the urban forest. Planting more trees is feasible to increase the tree canopy coverage.

Keywords: Green corridor, network, tree canopy coverage, distribution gradient, urban forest.

Resumen

Introducción: La urbanización ha alterado el paisaje natural del mundo. En China, la expansión urbana ha incrementado rápidamente.

Objetivo: Analizar el patrón del paisaje del bosque urbano y la estructura de la red ecológica en el distrito de Pudong en Shanghái, China.

Materiales y métodos: El área de estudio abarcó 553 km², la cual incluyó 253 km² de área urbanizada. Las características estructurales se analizaron utilizando Landsat 7 2008TM, 2007 Spot Image, Google Earth y City Maps. Los patrones del paisaje del bosque urbano y la estructura de la red ecológica se interpretaron con el software ArcGIS.

Resultados y discusión: El área de los parches forestales urbanos (> 900 m²) y el área urbanizada en el distrito representaron 5.15 y 5.78 %, respectivamente. La red de corredores verdes urbanos fue de 80.27 km² con densidad de 1.99 km². La conexión de la red ecológica fue de 1.30, el circuito de 0.19 y la conectividad de 0.47. La cubierta de dosel forestal fue de 7.02 % en toda el área de estudio y 10.27 % en el área urbanizada. La cubierta puede alcanzar 8.68 a 9.79 % en el área total de estudio, y 11.49 a 12.3 % en el área urbanizada.

Conclusión: La red ecológica está construida, pero no fue bien diseñada, por lo que es necesario mejorar su estructura. Los árboles existentes no pueden modificar el ambiente forestal para toda el área urbanizada. La plantación de árboles es factible, para aumentar la cubierta de dosel forestal.

Palabras clave:

Corredor verde, red ecológica, cubierta de dosel, gradiente de distribución, bosque urbano.

Introduction

Urbanization has tremendously altered the natural landscape in the world, which inevitably has resulted in various effects on the structure, function, and dynamics of ecological systems at a wide range of scales (Breuste, Feldmann, & Uhlmann, 1998). Over the past 10 to 20 years, urban expansion has been occurring more rapidly than ever before in China. Today, about 50 % of China's population lives in cities, compared to 26 % at the end of the 1980s, and the country is still rapidly urbanizing (Wu, Huang, Wu, & Zhang, 2008). Thus, city greening and environmental improvement have become very important issues, since many Chinese cities have air pollution problems (Shao, Tang, Zhang, & Li, 2006; Wu, McBride, Nowak, Yang, & Cheng, 2003). In recent years, the Chinese government has recommended and actively promoted the development of urban forests. In such circumstances, it is important to obtain a more detailed understanding of the status of urban forests in the country, in particular due to the characteristics of their structure at landscape scale, such as landscape pattern network (Liu, Liu, & Liao, 2009).

The urban forest is defined as the sum of all woody and associated vegetation in and around dense human settlements, ranging from small communities in rural settings to metropolitan regions (Miller, 1997; Nowak, 1994). In China, green spaces or systems as a terminology of city greening have been used more than urban forests. One key to studying urban forests is to understand their forest structure and its relationship to forest function. In most cases from an ecological viewpoint, urban forest structure is considered as including species composition, population structure, tree size and tree health situation (Rowantree, 1984, 1986). Information on this structure provides the basis for understanding the urban forest function that affects urban inhabitants and for improving management to maximize the environmental and social benefits of urban forests (Li, Wang, & Huang, 2011; McPherson, Simpson, Peper, Maco, & Xiao, 2005). In recent years, more researchers have paid close attention to urban forest structure at landscape scale, because its distribution configuration has great relevance to its functions (Kong, Chen, Zhao, Zhang, & Yin, 2002; Wu, Wu, Gao, & Zhang, 2003). Thus, a good understanding of the distribution pattern of an urban forest site at landscape scale is essential for information on urban forest structure. It is also fundamental for planning land usage, managing its natural resources, protecting city biodiversity and improving the city environment. However, so far only a few studies on urban forests at landscape scale have been reported in China. Some research has indicated that the size of the urban forest patch is smaller in general in most of the studied cities and distributed unevenly, thus limiting the functions

Introducción

La urbanización ha alterado el paisaje natural del mundo, lo que inevitablemente ha afectado la estructura, función y dinámica de los sistemas ecológicos (Breuste, Feldmann, & Uhlmann, 1998). En los últimos 10 a 20 años, la expansión urbana en China se ha acrecentado cada vez más rápido; alrededor de 50 % de la población vive en ciudades, en comparación con el 26 % a finales de la década de 1980. El país continúa urbanizándose de forma acelerada (Wu, Huang, Wu & Zhang, 2008), por tanto, el enverdecimiento de las ciudades chinas y la mejora del medio ambiente se han convertido en temas importantes, ya que muchas tienen problemas de contaminación atmosférica (Shao, Tang, Zhang, & Li, 2006; Wu, McBride, Nowak, Yang, & Cheng, 2003). En los últimos años, el gobierno chino ha recomendado y promovido el desarrollo de bosques urbanos. En tales circunstancias, es importante obtener un conocimiento más detallado de la situación de los bosques urbanos en el país, en particular, de las características de estructura, como la red de patrones del paisaje (Liu, Liu, & Liao, 2009).

El bosque urbano se define como la suma de toda la vegetación leñosa y asociada en y alrededor de asentamientos humanos densos, que van desde comunidades pequeñas en entornos rurales a regiones metropolitanas (Miller, 1997; Nowak, 1994). En China, las palabras espacios o sistemas verdes se han empleado con mayor frecuencia como terminología de la naturación urbana en comparación con el término bosque urbano. Una clave para estudiar los bosques urbanos es entender su estructura y relación con la función forestal. En la mayoría de los casos, desde el punto de vista ecológico, se considera que la estructura del bosque urbano incluye la composición de las especies, la estructura de la población, el tamaño de los árboles y la situación sanitaria de los mismos (Rowantree, 1984, 1986). La información de la estructura proporciona la base para entender la función de los bosques urbanos que atañe a los habitantes de las ciudades y para mejorar el manejo con el fin de maximizar los beneficios ambientales y sociales (Li, Wang, & Huang, 2011; McPherson, Simpson, Peper, Maco, & Xiao, 2005). En los últimos años, un mayor número de investigadores han prestado atención a la estructura de los bosques urbanos a nivel de paisaje, debido a que la configuración de distribución tiene gran importancia para sus funciones (Kong, Chen, Zhao, Zhang, & Yin, 2002; Wu, Wu, Gao, & Zhang, 2003). Por lo tanto, un buen entendimiento del patrón de distribución de un sitio forestal urbano, a nivel de paisaje, es esencial para obtener información sobre su estructura. También es fundamental para la planificación del uso de suelo, manejo de los recursos naturales, protección de la biodiversidad de la ciudad y mejora del entorno urbano. No obstante, hasta la fecha

of these urban forests (Wu, 2000). The establishment of a new urban forest system did not represent an obvious improvement to the ecological environment. This is mainly due to the limited knowledge of urban forest distribution at landscape level in China.

The aim of this paper was to analyze the urban forest landscape pattern and ecological network structure in the Pudong district in Shanghai, China.

Materials and methods

In this paper, 3S (remote sensing, global positioning system and geographical information system) techniques were employed to analyze urban forest patterns in the Pudong district of Shanghai city. This district is a rapidly urbanizing region, and its development model is representative of the urbanization trend in this country. This study mainly focused on green corridors and green networks. The gradient analysis of the urban forest patches was made from the commercial center to the suburbs along the west-east axis of city development, because its urban-to-rural gradient is also an important step in studying the relationship between human activities and the urban forest landscape pattern. The results could also be used to examine the relationships between the urban forest pattern and city development (Jenerette & Wu, 2001; Luck & Wu, 2002), and it will indicate if urban forest establishment is logical with urban development.

We used the terminology of green corridors, which are defined as an aggregate entity including trees, shrubs, ground plants and other elements. Usually they are a strip or linear green space attached to roads or rivers. In landscape planning, the design of a corridor or network is one of the most important issues, whereas only a few studies on city green networks have been reported so far (Li, Wang, & Song, 2008).

Study area

Pudong, situated in the eastern part of Shanghai city and bounded by the Huangpu River in the west and the East China Sea in the east, was selected as the study area, which is an administration district of the city (Figure 1), at 117° 11' to 117° 22' east longitude and 31° 48' to 31° 58' north latitude. Shanghai lies in the Yangtze River delta of China, the area of the entire territory is 6 340.5 km², and it has a population of 23 million. The entire study area covers 553 km², and its population reached 1.94 million in 2009. Since 1990 the district has undergone a rapid urbanization process, and the built-up area has extended eastward. A ring highway around the city could be regarded as the demarcation line between the built-up area and the suburbs. The built-up area covers 253 km² and the suburb area

se han reportado pocos estudios sobre bosques urbanos a nivel de paisaje. Wu (2000) indica que el tamaño del parche forestal urbano es pequeño en la mayoría de las ciudades estudiadas y que está distribuido de manera desigual, limitando así las funciones de los bosques urbanos. El establecimiento de un nuevo sistema forestal urbano no representa necesariamente una mejora del entorno ecológico. En China, esto se debe principalmente al conocimiento limitado de la distribución de los bosques urbanos a nivel de paisaje.

El objetivo de este estudio fue analizar el patrón del paisaje del bosque urbano y la estructura de la red ecológica en el distrito de Pudong en Shanghái, China.

Materiales y métodos

En este estudio se emplearon técnicas 3S (detección remota, sistema de posicionamiento global y sistema de información geográfica) para analizar los patrones de los bosques urbanos en el distrito de Pudong en la ciudad de Shanghái, China. Dicho distrito es una región con rápida urbanización y su modelo de desarrollo es representativo de tal tendencia en el país. Este trabajo se centró, principalmente, en corredores verdes y redes ecológicas. El análisis de gradiente de los parches forestales urbanos se llevó a cabo desde la zona comercial hasta la periferia a lo largo del eje oeste-este del desarrollo urbano, ya que su gradiente urbano-rural es también un paso importante en el estudio de la relación entre las actividades humanas y el patrón del paisaje del bosque urbano. Los resultados pueden utilizarse para examinar la relación entre el patrón del bosque urbano y el desarrollo urbano (Jenerette & Wu, 2001; Luck & Wu, 2002) e indicarán si el establecimiento del primero es razonable de acuerdo con el segundo.

En este estudio se empleó la terminología de corredores verdes, los cuales se definen como una entidad agregada que incluye árboles, arbustos, plantas terrestres y otros elementos. Por lo general se trata de franjas o espacios verdes lineales conectados con carreteras o ríos. En la planificación del paisaje, el diseño de un corredor o red es uno de los temas más importantes; sin embargo, se reportan pocos estudios sobre redes ecológicas en las ciudades (Li, Wang, & Song, 2008).

Área de estudio

El distrito de Pudong, situado en la parte este de la ciudad de Shanghái, delimitado al Oeste por el río Huangpu y al Este por el mar de China Oriental, fue seleccionado como el área de estudio. Pudong es un distrito administrativo urbano (Figura 1), localizado en las coordenadas 117° 11' - 117° 22' longitud este y 31° 48' - 31° 58' latitud norte. Shanghái se encuentra en el delta del río Yangtze en China; el área total del

covers 300 km². The greening percentage reached 37.3 % in 2008 and increased by 4.4 times compared to 8.54 % in 1993 (Shanghai Municipal Statistic Bureau, 1994, 2009).

The city is located in a subtropical climate zone with four distinct seasons, the annual average temperature is 15.7 °C, 234 days are frost-free per annum and annual precipitation is 1 119 mm. The zonal vegetation is evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, but primary vegetation in the region has vanished due to deforestation and human activities. The major tree species used in city greening are *Cinnamomum camphora* (Linn.) Pres, *Platanus orientalis* Linn., *Sophora japonica* Linn., *Celtis sinensis* Pers., *Ligustrum lucidum* Ait., *Metasequoia glyptostroboides* Hu et W. C. Cheng, *Osmanthus*

territorio es de 6 340.5 km² y cuenta con una población de 23 millones. El área total de estudio cubrió 553 km², la cual tenía una población de 1.94 millones en el 2009. Desde 1990, el distrito ha experimentado un proceso de urbanización veloz y el área urbanizada se ha extendido hacia el Este. Un anillo periférico alrededor de la ciudad puede considerarse como la línea de demarcación entre el área urbanizada (253 km²) y la periferia (300 km²). El porcentaje de naturación alcanzó 37.3 % en 2008, la cual aumentó 4.4 veces en comparación con 8.54 % en 1993 (Shangháí Municipal Statistic Bureau, 1994, 2009).

La ciudad se ubica en una zona climática subtropical con cuatro estaciones bien diferenciadas, con temperatura media anual de 15.7 °C, 234 días sin heladas por año y precipitación anual de 1 119 mm. La vegetación zonal

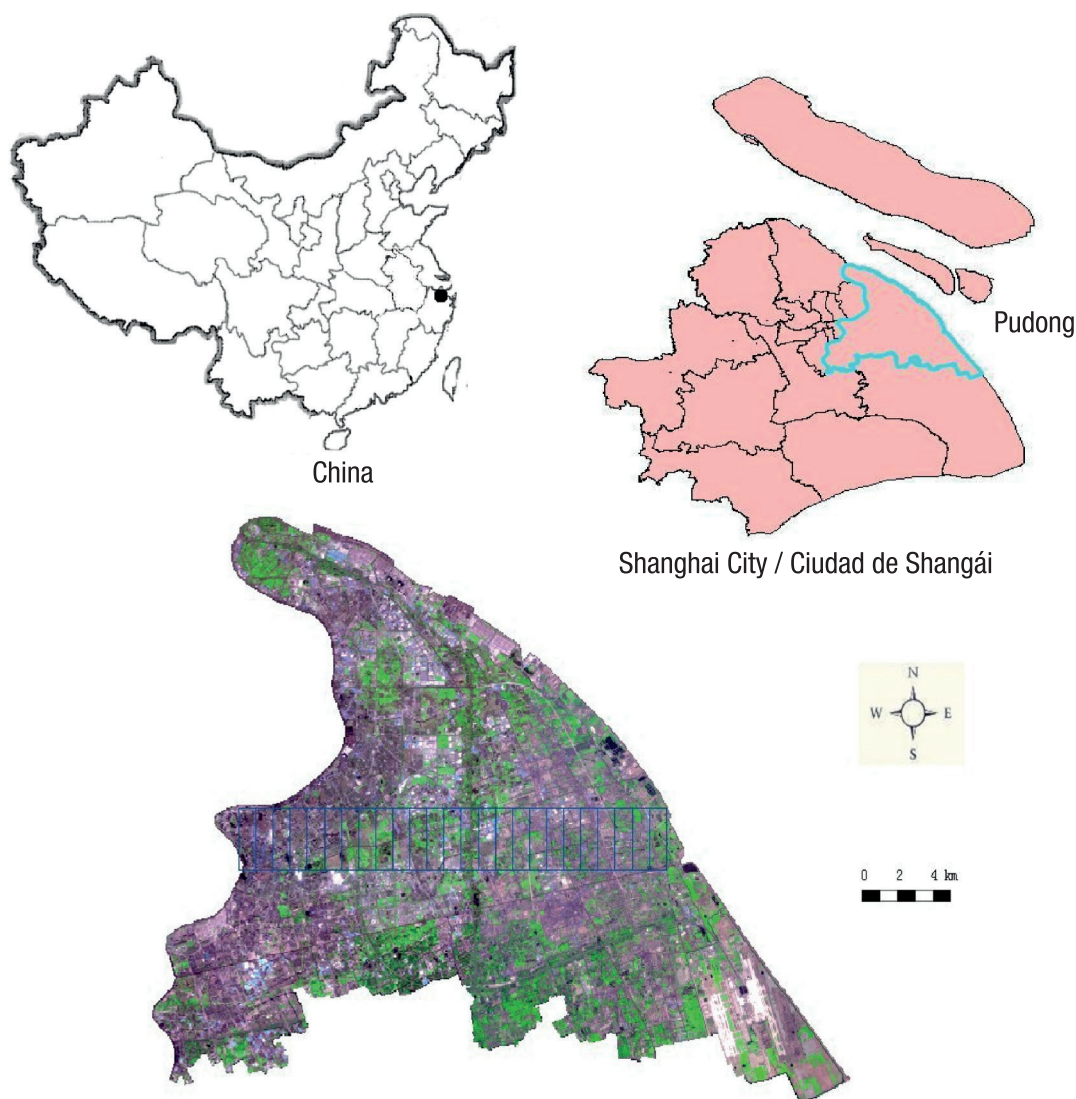


Figure 1. The location of study area and sample transect for gradient analysis of urban forest patches.

Figura 1. Ubicación del área de estudio y transecto muestra para el análisis de gradiente de los parches forestales urbanos.

fragrans (Thunb.) Lour., *Photinia* spp., *Ulmus* spp., *Populus* spp. and *Magnolia* spp.

Study methods

Using Landsat 7 2008TM, 2007 Spot Image, Google Earth and City Maps, the structural characteristics of the Pudong urban forest landscape were analyzed. The land use was classified as six “patch types” (or classes): urban forest, general green space, hard surface, agricultural field, water and bare land. Land with more than 30 % tree canopy coverage was classified as urban forest patch, while land with less than 30 % tree canopy coverage was classified as general green space; hard surface category includes various buildings, squares, city plazas, roads and other pavement areas; agricultural field in the city includes paddy and vegetable plots; water includes rivers, lakes and fish ponds.

Because of the 30-m pixel resolution for a TM remote image, areas greater than 0.09 ha could be identified as patches of urban forest or general green lands. Therefore, the area and occupation proportion for these two categories was less than that of city information data reported officially. Each color element of the satellite images was identified by ArcGIS, which was matched for each land-use category. Following computer analysis, the data set was verified using Google Earth and GPS in field. The accuracy rate determined by computer was 64.5 %, reaching 89.3 % after adjustments.

To detect the urban forest pattern gradient, a series of analyses was conducted along a west-east transect cutting across the entire study area, being the longer axis of the district (Figure 1). The transect was 3 km in width and 25 km in length. Relevant data were computed using a 3 km × 3 km overlapping moving window across the transect from west to east (Wang, Wu, Zhang, & Zhao, 2008); thus, the transect continuously had 12 sample blocks and covered 75 km² of area using 14.36 % of the entire study area (Mao, Whang, & Pu, 2006). The distance from the western edge of the district for each sample block in the transect is shown in Table 1.

es bosque perenne y bosque caducifolio; la vegetación primaria en la región ha desaparecido debido a la deforestación y actividades humanas. Las principales especies de árboles utilizadas en la naturación urbana son *Cinnamomum camphora* (Linn.) Pres, *Platanus orientalis* Linn., *Sophora japonica* Linn., *Celtis sinensis* Pers., *Ligustrum lucidum* Ait., *Metasequoia glyptostroboides* Hu et W. C. Cheng, *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour., *Photinia* spp., *Ulmus* spp., *Populus* spp. y *Magnolia* spp.

Métodos de estudio

Las características estructurales del paisaje forestal urbano de Pudong se analizaron con Landsat 7 2008TM, 2007 Spot Image, Google Earth y City Maps. El uso de suelo se dividió en seis “parches” (o clases): bosque urbano, espacio verde general, superficie dura, campo agrícola, agua y suelo baldío. El suelo con más de 30 % de cubierta de dosel se consideró como parche forestal urbano, mientras que el suelo con menos de 30 % se clasificó como espacio verde general; en la categoría de superficie dura se incluyeron edificios, plazas, carreteras y otras superficies pavimentadas; la categoría campo agrícola comprendió parcelas de arroz y hortalizas; y la categoría agua estuvo integrada por ríos, lagos y estanques de peces.

Debido a la resolución de píxeles (30 m) para una imagen remota TM, solo las áreas mayores de 0.09 ha pudieron ser identificadas como parches de bosque urbano o suelos verdes. Por lo tanto, el área y porcentaje de estas dos categorías fue menor que los datos reportados oficialmente. Cada elemento de color en las imágenes de satélite fue identificado con ArcGIS para cada categoría de uso de suelo. Tras el análisis por computadora, el conjunto de datos se verificó utilizando Google Earth y GPS en el campo. La tasa de exactitud calculada fue de 64.5 %, alcanzando 89.3 % después de los ajustes.

Para detectar el gradiente del patrón del bosque urbano, se llevó a cabo una serie de análisis a lo largo de un transecto oeste-este atravesando toda el área de estudio, siendo el eje más largo del distrito (Figura 1). El transecto fue de 3 km de ancho y 25 km de largo. Los

Table 1. The distance from the western edge of the district of Pudong for each sample block in the line transect.
Cuadro 1. Distancia desde el extremo occidental del distrito de Pudong para cada bloque muestra en el transecto lineal.

Ordinal number/ Número ordinal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distance (km)/ Distancia (km)	0-3	2-5	4-7	6-9	8-11	10-13	12-15	14-17	16-19	18-21	20-23	22-25

Several selected landscape indices were computed using Fragstats 3.3 (Chen, Xiao, & Li, 2002) to describe the characteristics of landscape patterns for the urban forest. They were: Patch area, number of patches, fractal dimension, landscape shape index, patch cohesion index, Shannon's diversity index, Shannon's evenness index, and density of landscape element patch (Cheng & Kang, 1996; Li & Wu, 2004).

Based on the characteristics of the urban green corridors in the study area, the corridor categories were classified into three classes: Roadside green corridor, riverside green corridor and ring forest strip. The ring forest strip (500~1000 m in width) surrounding the midtown is a special type. For the corridor network structure, a number of indices were computed such as size of mesh, ratio of line to node, circuitry, and connectivity (Forman, 2000; Hilty, Lidicker, & Merenlender, 2006). For urban tree canopy coverage (TCC), a sample patch size of 500 m × 500 m was used (Figure 2), and 100 sample boxes were evenly distributed across the study area. Considering the particularity of park and ring forest strip, seven more sample boxes were added and computed, and the TCC of all park areas was determined. Thus, the total sample area comprised about 5.64 % of the entire study area. These sample patches constituted the foundation for the visual interpretation and analysis (Michael, Grove, & O'Neil-Dunne, 2006; Poracsky & Lackner, 2004; Walton, 2008; Walton, Nowak, & Greenfield, 2008).

datos relevantes se calcularon utilizando una ventana móvil superpuesta de 3 × 3 km atravesando el transecto de oeste a este (Wang, Wu, Zhang, & Zhao, 2008); de este modo, el transecto tuvo continuamente 12 bloques muestra y abarcó 75 km² del área usando 14.36 % del área total de estudio (Mao, Whang, & Pu, 2006). En el Cuadro 1 se muestra la distancia desde el extremo occidental del distrito para cada bloque muestra en el transecto.

Varios índices de paisaje se calcularon utilizando Fragstats 3.3 (Chen, Xiao, & Li, 2002) con el fin de describir las características del bosque urbano, los cuales fueron: área del parche, número de parches, dimensión fractal, índice de forma del paisaje, índice de cohesión del parche, índice de diversidad de Shannon, índice de uniformidad de Shannon y densidad del parche del paisaje (Cheng & Kang, 1996; Li & Wu, 2004).

Con base en las características de los corredores verdes en el área de estudio, las categorías se clasificaron en tres grupos: corredor verde en carretera, corredor verde en río y franja de anillo forestal. La franja de anillo forestal (500 a 1 000 m de ancho) que rodea la periferia del centro de la ciudad es de tipo especial. Para la estructura del corredor, se obtuvieron los índices de tamaño de malla, relación línea-nodo, circuito y conectividad (Forman, 2000; Hilty, Lidicker, & Merenlender, 2006). Para la cubierta de dosel forestal (CDF) se utilizó un parche muestra de 500 m × 500 m

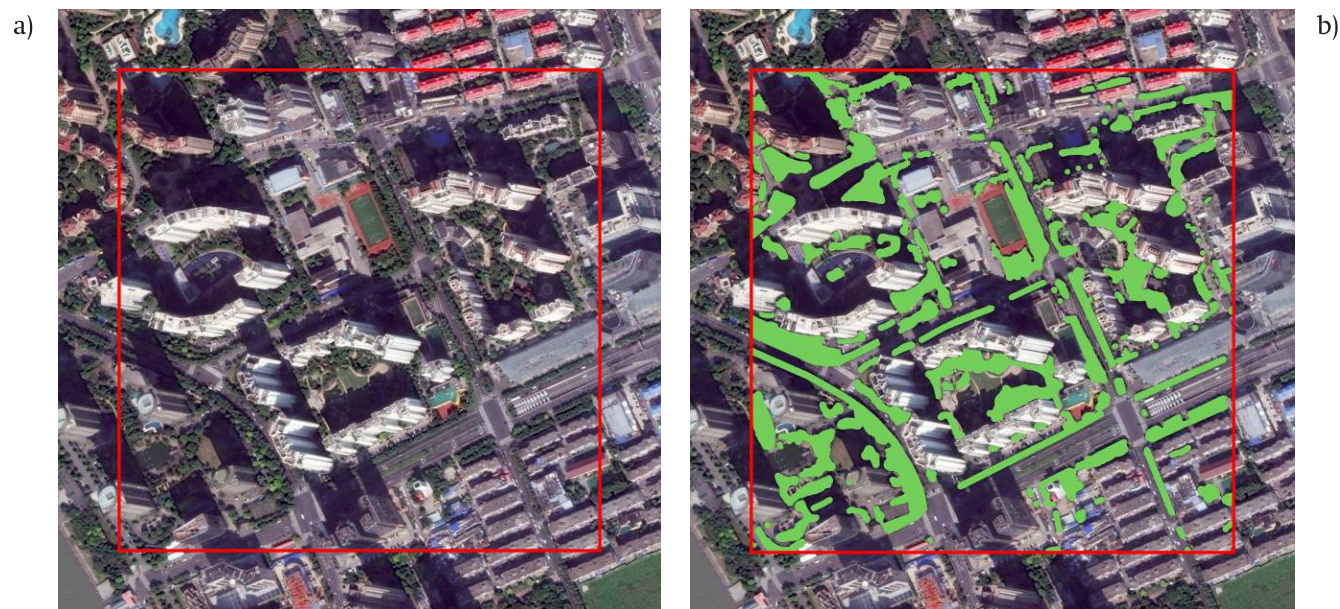


Figure 2. A sample patch for tree canopy cover drawing. a) Google earth; b) tree canopy coverage highlighted in green.
Figura 2. Parche muestra para el dibujo de la cubierta de dosel forestal. A) Google Earth; B) cubierta de dosel destacada en verde.

Results and discussion

General landscape characteristics in Pudong

The results showed that the area of urban forest patches was 2 743.47 ha in the total study area and 1 459.44 ha in the built-up area respectively (Figure 3). General greenspace amounted to 3 758.48 and 2 076.90 ha, totaling 12.2 % and 14.01 % of the land in the whole district and built-up area respectively; likewise, agricultural field 8 220.81 ha and 2 679.62 ha, water 1 972.30 ha and 974.67 ha.

The landscape diversity index is 1.28 and the landscape evenness index is 0.61 in the study area, but 1.22 and 0.58 respectively in the built-up area. Landscape evenness in Pudong was lower and more obvious in the built-up area. This situation is also the normal status for a city in this country.

(Figura 2), y 100 cuadros muestra se distribuyeron de manera uniforme a través del área de estudio. Considerando la particularidad del parque y la franja del anillo forestal, se añadieron y estimaron siete cuadros muestra y se determinó la CDF de todas las áreas del parque. Por lo tanto, el área total muestra comprendió aproximadamente 5.64 % del área total de estudio. Estos parches muestra constituyeron la base para la interpretación y el análisis visual (Michael, Grove, & O'Neil-Dunne, 2006; Poracsky & Lackner, 2004; Walton, 2008; Walton, Nowak, & Greenfield, 2008).

Resultados y discusión

Características generales del paisaje en Pudong

Los resultados mostraron que el área de los parches forestales urbanos fue de 2 743.47 ha en el área total de estudio y 1 459.44 ha en el área urbanizada (Figura 3).



Figure 3. The distribution pattern of urban forest patches (red part) in the Pudong district of Shanghai.
Figura 3. Patrón de distribución de parches forestales urbanos (en rojo) en el distrito de Pudong, Shanghái.

Urban forest patches

Based on the statistics of the landscape element feature, shown on Table 2, we found that the number of urban forest patches reached up to 2 403 in the whole district area and 1 548 in the built-up area, and the average urban forest patch area was 1.14 ha and 0.94 ha respectively. The shape index was 58.09 and 46.09, and the Patch fractal dimension was 1.48 and 1.48 in the whole and built-up area respectively (Table 2). The patch shapes were found to be more complicated, because in most cases the urban forest patches were in city parks, schoolyards or office building yards, which had more irregular boundaries.

The distribution gradient of urban forest patches from west to east

The urban forest element in each sample block in the transect was measured based on area occupation and patch number. Figure 4 shows the graphical representation of these variables. The number of patches increased from the first sample block (commercial center) on the transect and reached its peak in the fourth block, which was found 8 km from the commercial center. Subsequently, the number of patches decreased as the distance increased; from the fifth to the twelfth sample block, urban forest patches were less than 80. The results showed that the area of urban forest patches (% of the total landscape area)

El espacio verde ascendió a 3 758.48 y 2 076.90 ha, lo cual corresponde a 12.2 % del suelo en todo el distrito y 14.01 % en el área urbanizada. En el caso del campo agrícola se registraron 8 220.81 y 2 679.62 ha en las áreas total y urbanizada, respectivamente, y finalmente en la categoría del agua se encontraron 1 972.30 ha en el área total y 974.67 ha en el área urbanizada.

En el área total de estudio, el índice de diversidad del paisaje fue de 1.28 y el índice de uniformidad del paisaje fue de 0.61, mientras que en el área urbanizada fueron 1.22 y 0.58, respectivamente. La uniformidad del paisaje en Pudong fue más baja y más obvia en el área urbanizada. Esta situación es el estado normal para una ciudad china.

Parches forestales urbanos

De acuerdo con las características de los elementos del paisaje, mostradas en el Cuadro 2, se encontraron 2 403 parcelas forestales urbanas en toda la zona del distrito y 1 548 en el área urbanizada; el área promedio de las parcelas fue 1.14 y 0.94 ha, respectivamente. El índice de forma del paisaje fue de 58.09 en el área total y 46.09 en el área urbanizada; la dimensión fractal del parche fue 1.48 en ambas áreas. Las formas de los parches forestales urbanos fueron complejas, ya que, en la mayoría de los casos, los parches se localizaron en parques de la ciudad, patios escolares o patios de oficinas que contaban con límites irregulares.

Table 2. Characteristic values of urban forest elements in the Pudong district of Shanghai.

Cuadro 2. Valores característicos de los elementos del bosque urbano en el distrito de Pudong, Shanghái.

Catalogs/Catálogos	Study area/ Área de estudio	Built-up area/ Área urbanizada
Patch numbers/Número de parche	2 403	1 548
Average patch area (ha)/Área promedio del parche (ha)	1.14	0.94
Maxim patch area (ha)/Área máxima del parche (ha)	9.14	6.68
Density of landscape element patch/ Densidad del elemento del paisaje en el parche	87.59	106.07
Density of landscape patch/ Densidad del parche del paisaje	4.51	6.13
Patch shape index/Índice de forma del parche	58.09	46.09
Patch fractal dimension/Dimensión del parche fractal	1.48	1.48
Patch cohesion index/Índice de cohesión del parche	85.61	88.31

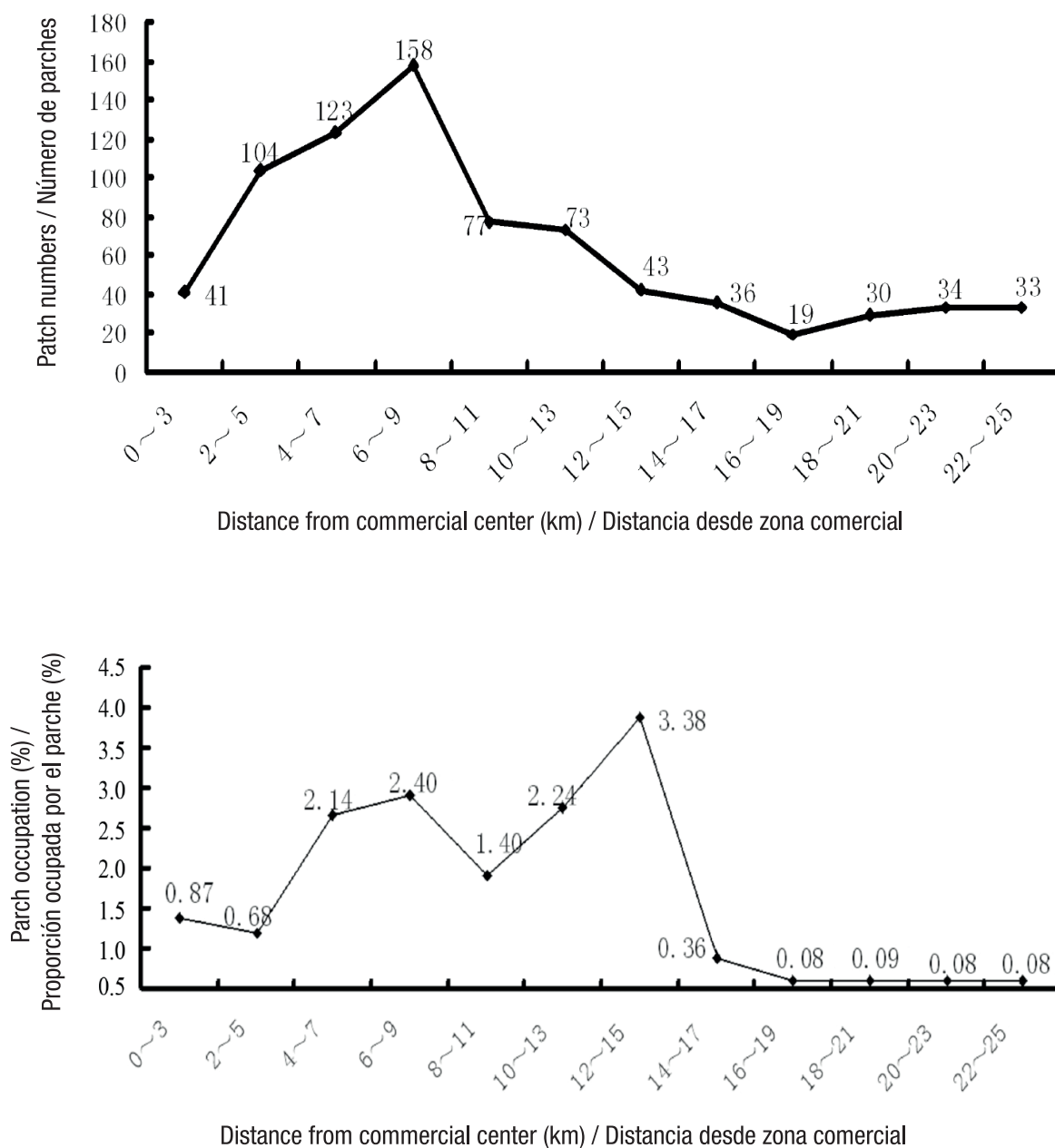


Figure 4. Urban forest patches in numbers and occupation in the transect from west to east in the district of Pudong, Shanghai.

Figura 4. Número de parches forestales urbanos y proporción ocupada en el transecto oeste-este del distrito de Pudong, Shanghai.

increased slightly from the commercial center (the first sample block in the transect) to the edge of the urbanized area, reaching a maximum in block 7, located 12 to 15 km from the commercial center, later the area decreased with increasing distance.

Characteristics of city corridors

The major types of corridors in the Pudong district were identified as roads, rivers and green patches (Figure 5). There were a total of 1 218 corridors, 3 255.41 km in

Gradiente de distribución de los parches forestales urbanos de Oeste a Este

El elemento bosque urbano en cada bloque muestra del transecto se obtuvo de acuerdo con el porcentaje ocupacional y el número de parches. La Figura 4 ilustra la representación gráfica de estas variables. El número de parches aumentó desde el primer bloque muestra (centro comercial) en el transecto y alcanzó su punto máximo en el cuarto bloque, el cual se encontró a 8 km de la zona comercial. Posteriormente, el número de

length, 140.05 km² in area, and 6.11 km·km² in density. These included: 547 road corridors, 1 494.7 km in length, 9.24 km² in area and 2.81 km·km² in density; 179 river corridors, 700.5 km in length, 20.54 km² in area and 1.31 km·km² in density; 492 greening corridors, 1 060.21 km in length, 80.27 km² in area and 1.99 km·km² in density).

Table 3 shows the characteristics of the green corridors found in the Pudong district. A total of 318 roadside green corridors were identified based on Spot image interpretation, totaling 685.39 km in length and 35.87 km² in area; they accounted for 64.64 % of the total number of green corridors, 64.65 % of total length and 44.69 % of total area. Corridor width ranged from 9 m to 122 m, and the density was 1.29 km·km². Roadside green corridors were classified into two subtypes: main road and secondary road. Both were about the same in length, but the former covers more area.

parches disminuyó al incrementar la distancia; desde el quinto al decimosegundo bloque muestra, los parches forestales urbanos fueron menos de 80. Los resultados mostraron que el área de los parches forestales urbanos (porcentaje del área total del paisaje) aumentó ligeramente desde la zona comercial (el primer bloque muestra en el transecto) hasta el borde del área urbanizada, alcanzando un máximo en el bloque muestra 7, localizado de 12 a 15 km de la zona comercial; posteriormente, el área disminuyó con el aumento de la distancia.

Características de los corredores urbanos

Los principales tipos de corredores en el distrito de Pudong fueron identificados en caminos, ríos y parches verdes (Figura 5). Existen en total 1 218 corredores urbanos que abarcan 3 255.41 km de longitud, 140.05 km² de área y 6.11 km·km² de densidad. Estos incluyen:

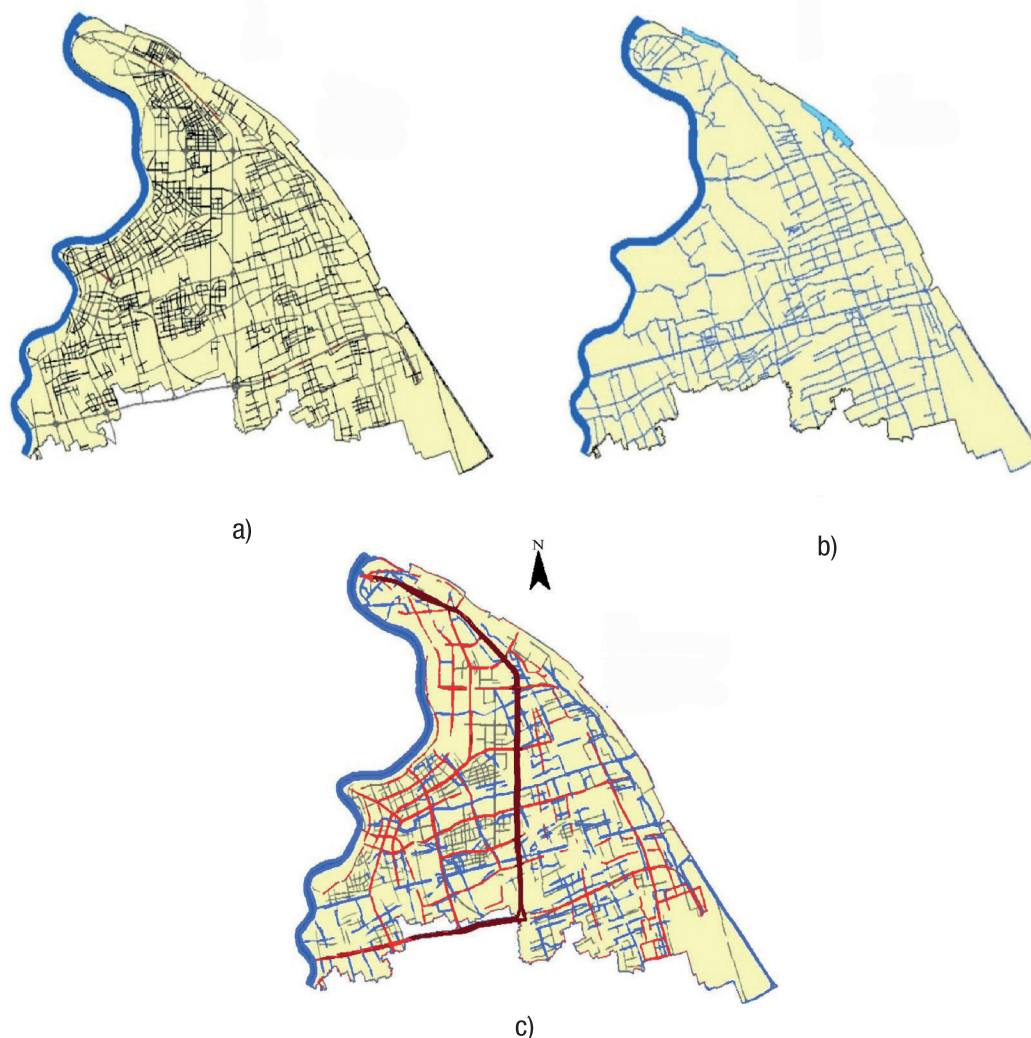


Figure 5. Corridors in the Pudong district of Shanghai: a) road system; b) river and stream; c) green corridors (— roadside green corridor, — riverside green corridor, — ring forest strip).

Figura 5. Corredores en el distrito de Pudong en Shanghai: a) sistema de carreteras; b) río y arroyo; c) corredores verdes (— Corredor verde en carretera, — corredor verde en río, — franja de anillo forestal).

Table 3. The green corridors in the Pudong district of Shanghai.
Cuadro 3. Corredores verdes en el distrito de Pudong, Shanghai.

Green corridor types/ Tipos de corredores verdes	Density (km·km ⁻²)/ Densidad (km·km ⁻²)	Corridor number/ Número de corredor		Corridor length/ Longitud de corredor		Corridor area/ Área del corredor	
		Numbers/ Número	Proportion (%)/ Porcentaje (%)	Length (km)/ Longitud (km)	Proportion (%)/ Porcentaje (%)	Area (km ²)	Proportion (%)/ Porcentaje (%)
I Total Road-side green corridor/ I Corredor verde total en camino	1.29	318	64.64	685.39	64.65	35.87	44.69
Main-roadside green corridor/ Corredor verde en camino principal	0.60	98	19.92	321.72	30.35	26.75	33.33
Second-roadside green corridor/ Corredor verde en camino secundario	0.68	220	44.72	363.67	34.30	9.12	11.36
II River side green corridor/ II Corredor verde en río	0.61	173	35.16	323.82	30.54	11.97	14.91
III Ring forest strip/ III Franja en anillo forestal	0.10	1	0.20	51	4.81	32.43	40.40
Total	1.99	492		1 060.21		80.27	

A total of 173 riverside green corridors were found, totaling 323.84 km in length, 11.97 km² in area, and 0.61 km·km⁻² in density; they accounted for 35.16 % of the total number of green corridors, 30.54 % of total length and 14.91 % of total area. Corridor width ranged from 6 m to 33 m, and averaged 20 m.

As an important green engineering project, the ring forest strip built in the 1990's is an open green space surrounding the whole built-up area of Shanghai city, which extended 51 km in length and covered 32.43 km² of the area in the Pudong district, and ranged from 500 m to 635 m in width (Cheng & Kang, 1996). Even though the strip occupied only 4.81 % of the total length of the green corridor, it contributed 40.40 % of the total green corridor area and almost equaled the whole area of the roadside green corridor (Table 3).

Green network structure

The structural characteristics of the green network such as linkage, connectivity, node and attached node and circuitry were shown in this paper. In the entire study area, the ratio of line to node for the total green corridor was 1.30, and 1.16 for the roadside green corridor

547 corredores en carreteras (1 494.7 km de longitud, 9.24 km² de área y 2.81 km·km⁻² de densidad); 179 corredores en ríos (700.5 km de longitud, 20.54 km² de área y 1.31 km·km⁻² de densidad); y 492 corredores en los parches verdes (1 060.21 km de longitud, 80.27 km² de área y 1.99 km·km⁻² de densidad).

El Cuadro 3 presenta las características de los corredores verdes encontrados en el distrito de Pudong. Un total de 318 corredores verdes en carretera (685.39 km de longitud y 35.87 km² de área) se identificaron con base en la interpretación de la imagen Spot, representando 64.64 % del número total de corredores verdes, 64.65 % de la longitud total y 44.69 % del área total. El ancho del corredor varió de 9 a 122 m, con densidad de 1.29 km·km⁻². Los corredores verdes en carretera se dividieron en dos subtipos: carretera y vía secundaria. Ambos tienen aproximadamente la misma longitud, pero el primero cubre más área.

Un total de 173 corredores verdes se encontraron en río, sumando 323.84 km de longitud, 11.97 km² de área y 0.61 km·km⁻² de densidad, y representando 35.16 % del número total de corredores verdes, 30.54 % de longitud total y 14.91 % del área total. El ancho del corredor varió de 6 a 33 m, con promedio de 20 m.

and 1.13 for the river- and streamside green corridor. The lower ratio of line to node indicated that the network structure was not complicated, so its conduit functions, such as for energy flow or small mammal activities, were lower. The vegetation corridor is the most important ecological corridor in a city environment, and the higher the linkage a network has, the more complex and higher the ecological functions will be. Following the structural analysis of the green network in the study area, there is a need to increase linkage to improve its structure (Table 4).

The connectivity of the whole green network was 0.47, with the river corridor ranking first followed by the roadside corridor and ring forest strip, having values of 0.55, 0.50 and 0.33 respectively. The circuitry of the network was as low as 0.19; this was mainly because there was a lack of connectivity for different green corridors, lower corridor connectivity and more breaks (gaps). Both network connectivity and circuitry are the most immediate level of network structure, because they have great relevance to functions involving the flows of water, mineral nutrients, and species.

Como proyecto importante de ingeniería ecológica, la franja del anillo forestal, construida en la década de 1990, es un espacio verde abierto que rodea toda la zona urbana de la ciudad de Shanghái, la cual se extendió 51 km de longitud y cubrió 32.43 km² de la zona del distrito de Pudong; el ancho varió de 500 a 635 m (Cheng & Kang, 1996). A pesar de que la franja ocupó solo 4.81 % de la longitud total del corredor verde, contribuyó con 40.40 % de la superficie total del mismo y casi igualó la superficie del corredor en carretera (Cuadro 3).

Estructura de la red ecológica

En este estudio se determinaron las características estructurales de la red ecológica tales como enlace, conectividad, nodo, nodo conectado y circuito. En el área de estudio, la relación línea-nodo para el corredor total fue de 1.30, 1.16 para el corredor verde en carretera y 1.13 para el corredor verde en río y arroyo. La relación línea-nodo más baja indicó que la estructura de la red no fue compleja, por lo que sus funciones, tales como flujo de energía o actividades de mamíferos pequeños, fueron menores. El corredor de vegetación

Table 4. Green network structure in the Pudong District of Shanghai.
Cuadro 4. Estructura de la red ecológica en el distrito de Pudong, Shanghái.

Green corridor type/ Tipo de corredor verde	Numbers of non-connected lines/ Número de líneas no conectadas	Numbers of connective lines/ Número de líneas conectadas	Node numbers/ Número de nodos	Ratio of line to node/ Relación línea-nodo	Circuitry/ Circuito	Connectivity/ Conectividad
I Roadside green corridor/ I Corredor verde en camino	23	295	249	1.166	0.21	0.504
Main-road green corridor/ Corredor verde en camino principal	13	85	70	1.214	0.373	0.644
Second-road green corridor/ Corredor verde en camino secundario	27	193	179	1.078	0.184	0.515
II River green corridor/ II Corredor verde en río	21	152	134	1.134	0.239	0.551
III Ring forest strip/ III Franja en anillo forestal	0	1	1	1.000	0.000	0.333
Total	17	476	384	1.301	0.196	0.478

Node and mesh of the green network

In total, 384 nodes were identified in the green network; 249 in the roadside green corridor and 134 in the river- or streamside corridor. In most cases, a single node of these two types covered a smaller area, but the nodes located under the highway overpass were larger. Most of these kinds of nodes were designed as a small garden or recreation plot and became the location for city dwellers to have social activities.

The mesh size of the green network ranged from 0.06 km² to 2.05 km², and averaged 0.70 km². Mesh scale has great relevance to habitats for small city mammals and birds. It is essentially the inverse of corridor density. The greater the corridor density, the smaller the mesh size and the lower the landscape resistance for some small animals and birds (Forman, 1995). Therefore, smaller size meshes in the green network are of advantage to the movement and emigration of wildlife around the city landscape.

In total, 87 attached nodes were identified along the corridors in the study area, including parks, larger green lands, wooded patches and nursery stock. The total attached nodes covered an area of 20.88 km². A total of 52 nodes with an area of 15.50 km² were attached to the roadside green corridor, and 35 nodes with a total area of 5.38 km² were attached to the riverside green corridor (Table 5).

The area of nodes attached to roadside green corridors ranged from 0.04 km² to 1.44 km², and averaged 0.30 km². The area attached to the riverside green corridors ranged from 0.02 km² to 0.49 km² and averaged 0.15 km². Some large size attached nodes were forest parks, city parks and green lands; thus, the wooded corridors combined with attached nodes were the distinguishing feature of the city green system of Pudong.

es el corredor ecológico más importante en un entorno urbano; cuanto mayor sea la conexión de la red, más complejas y mayores serán las funciones ecológicas. Tras el análisis estructural de la red ecológica en el área de estudio, existe la necesidad de incrementar el vínculo para mejorar la estructura (Cuadro 4).

La conectividad de toda la red ecológica fue de 0.47 con el corredor en río en primer lugar, seguido por el corredor en carretera y la franja de anillo forestal con valores de 0.55, 0.50 y 0.33, respectivamente. El circuito de la red fue bajo (0.19); esto se debió principalmente a la falta de conectividad de los diferentes corredores verdes y más fracturas (espacios). Tanto la conectividad como los circuitos son los niveles más urgentes en la estructura de la red, debido a su gran relevancia para las funciones que involucran los flujos del agua, nutrientes minerales y especies.

Nodo y malla de la red ecológica

En total, 384 nodos se identificaron en la red ecológica; 249 en el corredor verde en carretera y 134 en el corredor en río o arroyo. En la mayoría de los casos, un solo nodo de estos dos tipos cubrió un área menor, pero los nodos situados debajo de puentes en autopistas fueron mayores. La mayoría de estos tipos de nodos fueron diseñados para jardines pequeños o terrenos de recreación, los cuales se convirtieron en sitios donde los habitantes de la ciudad pueden realizar actividades sociales.

El tamaño de la malla de la red ecológica varió de 0.06 a 2.05 km², con un promedio de 0.70 km². La escala de la malla tiene gran relevancia para el hábitat de mamíferos y aves pequeñas de la ciudad; la escala es inversamente proporcional a la densidad del corredor. Cuanto mayor es la densidad del corredor, menor es el tamaño de la malla y menor la resistencia del paisaje para algunos animales y aves pequeños (Forman, 1995).

Table 5. The attached green node along wooded corridors in the Pudong district of Shanghai.

Cuadro 5. Nodo verde conectado a lo largo de corredores boscosos en el distrito de Pudong, Shanghai.

Type of attached node / Tipo de nodo adyacente	Total number / Número total	Maxim area (km ²) / Área máxima (km ²)	Minim area (km ²) / Área mínima (km ²)	Total area (km ²) / Área total (km ²)	Area occupation of total attached node (%) / Porcentaje ocupacional del total de nodos adyacentes (%)
Attached to Roadside green corridor / Corredor verde conectado con el camino	52	1.44	0.04	15.50	74.23
Attached to Riverside green corridor / Corredor verde conectado con el río	35	0.49	0.02	5.38	25.77
Total	87			20.88	

Tree canopy coverage

Based on statistics derived from the sample data, there were 3 743.15 ha of total tree canopy area in the district, providing 7.02 % coverage. TCC varied by land usage, with the ring forest strip ranking first (43.43 %) followed by park (40.3 %), road (12.68 %), neighborhood councils (6.90 %), other lands (5.37 %), agricultural field (3.04 %), industrial land (2.28 %), and commercial center (1.01 %). The ring forest strip with only 6.10 % of land area contributed about 37.6 % of tree canopy area, parks with 0.60 % of land area contributed about 3.56 % of tree canopy, and street trees and roadside woods with 5.33 % of land area contributed 9.62 % of tree canopy. By contrast, industrial land accounted for 16.4 % of the whole area but contributed only 5.30 % of tree canopy.

There were a total of 2 591.98 ha of tree canopy area in the built-up area and TCC was 10.27 %. TCC also varied due to land usage, with ring forest strip ranking first followed by park (34.01 %), road (13.11 %), neighborhood councils (7.52 %), other land (4.58 %), industrial land (2.7 %), agricultural field (1.51 %), and commercial center (1.01 %). Except for park, ring forest strip and roadside trees, all other land-use categories had a lower TCC contribution compared to their land possession rate.

The Pudong district had 17 parks in total, covering a 330.32 ha area; park size ranged from 1.84 ha to 140.39 ha, and their TCC varied from 16.49 % to 51.11 %; only seven parks had more than 40 % TCC.

The land area of neighborhood councils was 24.48 % in the built-up area. Therefore, more tree shading would be achieved by planting more trees. However, the present study estimated that the TCC in neighborhood councils in the built-up area ranged from 3.92 % ~ 14.21 %, and the average was as low as 7.52 %. This is much lower than that of park land and the average level in the built-up area of the studied city. It is also far lower than the level in other cities, such as Washington, D.C., where the existing TCC occupies 16 % of moderate-density residential parcels, and 11 % of medium –and high– density residential parcels (O’Neil-Dunne, 2009). It was concluded that there were fewer trees, particularly big trees. If more trees are planted in neighborhood council green space, then TCC can reach from 30 % to 50 %, thus neighborhood TCC could be increased by 9 % to 15 % and would result in more tree shading. Similarly, if tree plantings are increased in the whole built-up area, then the TCC could reach 12.3 %, which is a 2 % increase at least.

Using the method of total tree canopy area and average tree canopy area (Michael et al., 2006), the

Por lo tanto, las mallas de menor tamaño en la red ecológica favorecen el movimiento y la emigración de la fauna alrededor de paisaje urbano.

En total, se identificaron 87 nodos conectados a lo largo de los corredores, incluyendo parques, terrenos verdes más grandes, parches boscosos y viveros. El total de nodos conectados cubrió un área de 20.88 km². Un total de 52 nodos con área de 15.50 km² se conectaron con el corredor verde en carretera y 35 nodos con área total de 5.38 km², con el corredor verde del río (Cuadro 5).

El área de nodos conectados con los corredores verdes en caminos varió de 0.04 a 1.44 km² y promedió 0.30 km². El área de unión de los corredores verdes y la orilla del río osciló de 0.02 a 0.49 km² y promedió 0.15 km². Algunos nodos de gran tamaño fueron parques forestales, parques urbanos y tierras verdes; así, los corredores boscosos combinados con los nodos adyacentes fueron la característica distintiva del sistema verde de la ciudad de Pudong.

Cubierta de dosel forestal

Con base en las estadísticas derivadas de los datos de la muestra, en el área total del distrito hubo 3 743.15 ha de dosel, proporcionando una cubierta de 7.02 %. La CDF varió según el uso de suelo; la franja de anillo forestal ocupó el primer lugar (43.43 %) seguido por el parque (40.3 %), carretera (12.68 %), consejos vecinales (6.90 %), otras tierras (5.37 %), campo agrícola (3.04 %), suelo industrial (2.28 %) y centro comercial (1.01 %). La franja de anillo forestal con solo 6.10 % de la superficie terrestre contribuyó con alrededor de 37.60 % de la superficie de dosel forestal; los parques con 0.60 % de la superficie aportaron 3.56 % de la superficie de dosel forestal; y los árboles de alineación con 5.33 % de la superficie aportaron 9.62 % del dosel forestal. Por el contrario, los suelos industriales representaron 16.4 % del área total, pero solo contribuyeron con 5.30 % del dosel forestal.

En el área urbana hubo un total de 2 591.98 ha de área de dosel forestal y la CDF fue de 10.27 %. La CDF, al igual que en el área total, varió debido al uso de suelo; la franja de anillo forestal ocupó el primer lugar seguida por parque (34.01 %), carretera (13.11 %), consejos vecinales (7.52 %), otras tierras (4.58 %), tierras industriales (2.7 %), campo agrícola (1.51 %) y centro comercial (1.01 %). Excepto en el caso del parque, la franja de anillo forestal y los árboles en las carreteras, todas las demás categorías de uso de suelo tuvieron baja contribución de CDF en comparación con la tasa de posesión de suelo.

El distrito de Pudong tuvo 17 parques en total, que cubren un área de 330.32 ha; el tamaño del parque

total number of the existing trees in the study area was estimated in this paper. It is reported that the average diameter of city tree crown is 3.6 m in China (Wu, Xiao, & McPherson, 2008; Xuan, Hu, Wu, & Zhu, 2010). It is apparent that there were about 3.68 million trees in the whole district and 2.55 million in the built-up area. It is possible to plant 300 000~500 000 trees at least in the built-up area and 870 000 ~ 1 450 000 trees in the entire district to achieve the target TCC as characterized above. On the basis of the above estimation, the tree stocking density could be 127 individuals-ha⁻¹ in the built-up area.

In this paper, Spot Image and Google Earth were employed for corridor identification; in some cases, corridor width was the tree canopy extension, which does not present the real situation on the land surface. On the other hand, this paper described and discussed the green corridor from a vulture's view only. Meanwhile, the resolution of the TM images used to identify the urban forest patches is not high enough, and, as a result, patches smaller than 900 m² are missed. To avoid this, higher-resolution remote sensing images are needed.

Although Google Earth is not very accurate in terms of area in a geographic context, the fact that canopy cover is expressed as a percentage of area makes it a spatially-standardized measure. This means that the difference between raw area sizes is not an issue when making comparisons between different areas, and the differences in the sizes of the two places is not a concern (Poracsky & Lackner, 2004). Therefore, using Google Earth for TCC estimation is feasible, which cannot only result in higher pixel resolutions, but also reduced project spending.

Since the spatial pattern, width, and vegetation structure of forested corridors are linked to their intended functions, their establishment must be conducted with care (Smith & Helmmund, 1993; Zhu, Yu, & Li, 2005). Funds for their long-term ecological study must also be budgeted to measure the effectiveness of these corridors for their intended purposes in case design modifications are needed in the future.

In general, the TCC in Pudong is lower compared to some other cities in China, but if we consider the actual situation of Shanghai as a metropolis with a big population and limited land, this is an acceptable level for today. However, a higher TCC percentage is required for human health, so a more comprehensive city development plan that pays greater attention to environmental quality is needed in the future.

varió de 1.84 a 140.39 ha y su CDF varió de 16.49 a 51.11 %; solo siete parques tuvieron más de 40 %.

El área de suelo en los consejos vecinales fue de 24.48 % en el área urbana, por tanto, si se plantaran más árboles en el espacio disponible se obtendría mayor sombra de los mismos. El presente estudio estimó que la CDF en los consejos vecinales del área urbana varió de 3.92 a 14.21 %, con un promedio bajo de 7.52 %. Esto es mucho más bajo que el promedio del suelo del parque y del área urbana. La CDF promedio también es inferior al nivel en otras ciudades como Washington, D. C., donde ocupa 16 % de los terrenos residenciales de densidad moderada y 11 % de los terrenos residenciales de mediana y alta densidad (O'Neil-Dunne, 2009). Se concluyó que hubo menos árboles, particularmente árboles grandes. Si se plantan más árboles en el espacio verde del consejo vecinal, la CDF puede alcanzar de 30 a 50 %; es decir, la CDF vecinal podría incrementar 9 a 15 % lo que generaría más sombra. Del mismo modo, si las plantaciones de árboles aumentan en toda la zona urbanizada, entonces la CDF podría alcanzar 12.3 %, lo que representa un incremento de al menos 2 %.

El número total de árboles existentes en el área de estudio se estimó utilizando los métodos del área total y área promedio del dosel forestal (Michael et al., 2006). Se ha reportado que, en China, el diámetro promedio de las copas de los árboles de la ciudad es de 3.6 m (Wu, Xiao, & McPherson, 2008; Xuan, Hu, Wu, & Zhu, 2010). De acuerdo con la estimación, hubo aproximadamente 3.68 millones de árboles en todo el distrito y 2.55 millones en el área urbana. Es posible plantar 300 000 a 500 000 árboles al menos en la zona urbana y 870 000 a 1 450 000 árboles en todo el distrito para lograr la CDF meta. Sobre la base de la estimación anterior, la densidad poblacional de los árboles podría ser 127 individuos-ha⁻¹ en el área urbana.

En este estudio, los corredores se identificaron mediante el uso de Spot Image y Google Earth; en algunos casos, el ancho del corredor fue la extensión de dosel forestal, lo cual no presenta la situación real en la superficie terrestre. Por otra parte, este trabajo describió y analizó el corredor verde sin profundizar. Cabe mencionar que la resolución de las imágenes TM, utilizadas para identificar los parches forestales urbanos, no fue lo suficientemente alta y, por consiguiente, no se observaron los parches menores de 900 m². Para evitar lo anterior se necesitan imágenes de detección de mayor resolución.

Aunque Google Earth no es muy preciso en términos de área en un contexto geográfico, el hecho de que la cubierta de dosel se expresa como porcentaje de área hace que sea una medida espacialmente estandarizada.

Conclusions

The green network has been constructed, but it was not well designed. It is considered necessary to improve the structure of the green network by increasing corridor width, thereby enhancing network circuitry and connectivity. For the entire built-up area, the existing trees cannot produce a distinct forest environment as an urban forest should do because of the low tree canopy coverage and lower stocking density (127 individuals·ha⁻¹), particularly in residential areas which need more shade from trees. Our research showed that there is still some permeable land remaining and planting more trees is feasible. If more trees are planted in parts of the permeable lands in the built-up area, then the tree canopy coverage could increase to 12.3 %. Similarly, the coverage in parks is also as low as 40.3 %; it is concluded that the target tree canopy coverage of 51 % in parks could also be achieved by additional tree planting.

Acknowledgements

This study was supported by the National Science Foundation of China (Grant No. 41301650) and the Key Research and Development Program of Anhui Province (Grant No. 1704f0704063). The authors would like to thank Jim Kielbaso, Yuan Wang and Chenglin Huang for their constructive comments which greatly helped to improve this paper.

End of English version

References / Referencias

- Breuste, J., Feldmann, H., & Uhlmann, O. (1998). *Urban ecology*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Chen, W., Xiao, D., & Li, X. (2002). Classification, application, and creation of landscape indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(1), 121–125.
- Cheng, X. K., & Kang, W. (1996). The planning of green system of Pudong district of Shanghai (2000-2020). *Shanghai Construction Science & Technology*, 4, 42–44.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscape and regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Forman, R. T. T. (2000). Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14(1), 31–35. doi: 10.1046/j.1523-1739.2000.99299.x
- Hilty, J. A., Lidicker, W. Z., & Merenlender, A. M. (2006). *Corridor ecology*. Washington, DC, USA: Island Press.
- Jenerette, G. D., & Wu, J. G. (2001). Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona–Phoenix region, USA. *Landscape Ecology*, 16(7), 611–626. doi: 10.1023/a:1013170528551

Esto significa que la diferencia entre los tamaños de área bruta no es un problema al hacer comparaciones entre distintas áreas; es decir, las diferencias en los tamaños de los dos lugares no afectan (Poracsky & Lackner, 2004). Por lo tanto, el uso de Google Earth para la estimación de CDF es factible, lo que no solo puede dar lugar a mayores resoluciones de píxeles, sino también reducir gastos del proyecto.

Dado que el patrón espacial, el ancho y la estructura de la vegetación de los corredores boscosos están vinculados con funciones previstas, su establecimiento debe llevarse a cabo con cuidado (Smith & Helmmund, 1993; Zhu, Yu, & Li, 2005). Los fondos para el estudio ecológico a largo plazo también deben presupuestarse para medir la efectividad de estos corredores con base en los propósitos previstos, en caso de que en el futuro se necesiten modificaciones de diseño.

En general, la CDF en Pudong es más baja en comparación con algunas otras ciudades de China, pero si consideramos la situación real de Shanghái como una metrópoli con una población grande y tierras limitadas, esto es un nivel aceptable para este momento. Sin embargo, se requiere un mayor porcentaje de CDF para la salud humana, por lo que se necesita un plan de desarrollo urbano más completo que preste mayor atención a la calidad ambiental en el futuro.

Conclusiones

La red ecológica está construida, pero no fue bien diseñada, por lo que es necesario mejorar su estructura mediante el incremento del grosor del corredor, mejorando así los circuitos y la conectividad. Los árboles existentes no pueden modificar el ambiente forestal para toda el área urbanizada como lo haría un bosque urbano, debido a que la cubierta de dosel y la densidad de población (127 individuos·ha⁻¹) son bajas, particularmente en áreas residenciales que requieren mayor sombra. Esta investigación mostró que es probable que todavía exista suelo permeable restante y que la plantación de más árboles es algo factible. Si se plantan más árboles en sitios de suelo permeable en el área urbanizada, entonces la cubierta de dosel forestal podría alcanzar 12.3 %. De manera similar, la cubierta en los parques es baja (40.3 %); por tanto, la meta de 51 % también podría lograrse mediante la plantación de más árboles.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por the National Science Foundation of China (núm. 41301650) y el programa Key Research and Development de la provincia de Anhui (Otorgamiento núm. 1704f0704063). Los autores

- Kong, F. H., Chen, W., Zhao, S. L., Zhang, W., & Yin, H. W. (2002). Landscape heterogeneity analysis of urban forest in Jinan. In X. Y. He, & Z. H. Ning (Eds.), *Advances in urban forest ecology* (pp. 111–119). Beijing, China: Chinese Forestry Press.
- Li, Y. Y., Wang, X. R., & Huang, C. L. (2011). Key street tree species selection in urban areas. *African Journal of Agricultural Research*, 6(15), 3539–3550. Retrieved from http://www.academicjournals.org/article/article1380874371_Li%20et%20al.pdf
- Li, J. X., Wang, Y. J., & Song, Y. C. (2008). Landscape corridors in Shanghai and their importance in urban forest planning. In M. M. Carreiro, Y. C. Song, & J. G. Wu (Eds.), *Ecology, planning, and management of urban forests* (pp. 219–239). Berlin, Germany: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-0-387-71425-7_14
- Li, H., & Wu, J. G. (2004). Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 19(4), 389–399. doi: 10.1023/b:land.0000030441.15628.d6
- Liu, Q., Liu, Y. Q., & Liao, W. M. (2009). Study on the landscape patterns of green corridor in Nanchang City. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(24), 262–268.
- Luck, M., & Wu, J. G. (2002). A gradient analysis of urban landscape pattern: A case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 17(4), 327–339. doi: 10.1023/a:1020512723753
- Mao, S. S., & Wang, J. L., & Pu, J. L. (2006). *Advanced mathematical statistics* (2nd ed.). Beijing, China: Higher Education Press.
- McPherson, G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Maco, S. E., & Xiao, Q. F. (2005). Municipal forest benefits and costs in five US cities. *Journal of Forestry*, 411–416. Retrieved from https://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2005_mcpherson003.pdf
- Michael, F. G., Grove, J. M., & O'Neil-Dunne, J. (2006). *A report on Baltimore City's present and potential urban tree canopy*. Retrieved from http://www.fs.fed.us/nrs/utc/reports/2006.UTC_Report_Baltimore.pdf
- Miller, R. W. (1997). *Urban forestry: Planning and managing urban green spaces* (2nd ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Nowak, D. J. (1994). Understanding the structure of urban forests. *Journal of Forestry*, 92(10), 42–46. Retrieved from http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/1994/ne_1994_nowak_001.pdf
- O'Neil-Dunne, J. (2009). A report on Washington, D. C.'s existing and possible urban tree canopy. Retrieved from https://www.fs.fed.us/nrs/utc/reports/UTC_Report_DC.pdf
- Poracsky, J., & Lackner, M. (2004). *Urban forest canopy cover in Portland, Oregon, 1972-2002*. USA: Portland State University Cartographic Center. Retrieved from <http://web.pdx.edu/~poracskj/Cart%20Center/psucc200404-047.pdf>
- Rowantree, R. A. (1984). Ecology of the urban forest – Introduction to part I. *Urban Ecology*, 8(1-2), 1–11. doi: 10.1016/0304-4009(84)90003-2
- Rowantree, R. A. (1986). Ecology of the urban forest – Introduction to part II. *Urban Ecology*, 9(3-4), 229–243. doi: 10.1016/0304-4009(86)90002-1
- Shanghai Municipal Statistic Bureau. (1994). *Statistical yearbook of Shanghai*. Beijing, China: China Statistic Press.
- desean agradecer a Jim Kielbaso, Yuan Wang y Chenglin Huang por sus comentarios constructivos que ayudaron a mejorar este trabajo.

Fin de la versión en español

- Shanghai Municipal Statistic Bureau. (2009). *Statistical yearbook of Shanghai*. Beijing, China: China Statistic Press.
- Shao, M., Tang, X. Y., Zhang, Y. H., & Li, W. J. (2006). City clusters in China: Air and surface water pollution. *Frontiers in ecology and the environment*, 4(7), 353–361. doi: 10.1890/1540-9295(2006)004[0353:ccicaa]2.0.co;2
- Smith, D. S., Helmmund, P. C. (1993). *Ecology of greenways: design and function of linear conservation areas*. USA: University of Minnesota Press.
- Walton, J. T. (2008). Difficulties with estimating city-wide urban forest cover change from national, remotely-sensed tree canopy maps. *Urban Ecosystems*, 11(1), 81–90. doi: 10.1007/s11252-007-0040-9
- Walton, J. T., Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2008). Assessing urban forest canopy cover using airborne or satellite imagery. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6), 334–340. Retrieved from http://www.ncrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2008/nrs_2008_walton_002.pdf
- Wang, Y., Wu, Z. M., Zhang, H., & Zhao, X. (2008). Landscape pattern analysis and comprehensive assessment of urban forest in the three districts of Maanshan City based on RS and GIS. *Journal of Beijing Forestry University*, 30(4), 46–52. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2008.04.009
- Wu, J. G. (2000). *Landscape ecology, pattern, process, scale and hierarchy*. Beijing, China: Higher Education Press.
- Wu, Z. M., Huang, C. L., Wu, W. Y., & Zhang, S. J. (2008). Urban forest structure in Hefei, China. In M. M. Carreiro, Y. C. Song, & J. G. Wu (Eds.), *Ecology, planning, and management of urban forests* (pp. 279–292). Berlin, Germany: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-0-387-71425-7_17
- Wu, Z. M., McBride, J. R., Nowak, D. J., Yang, J., & Cheng, S. (2003). Effects of urban forest on air pollution in Hefei City. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 1(1), 39–43. doi: 10.3969/j.issn.1672-4925.2003.01.010
- Wu, Z. M., Wu, W. Y., Gao, J., & Zhang, S. J. (2003). Analysis of urban forest landscape pattern in Hefei. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(12), 2117–2122. doi: 10.13287/j.1001-9332.2003.0468
- Wu, C. X., Xiao, Q. F., & McPherson, E. G. (2008). A method for locating potential tree-planting sites in urban areas: A case study of Los Angeles, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(2), 65–76. doi: 10.1016/j.ufug.2008.01.002
- Xuan, T. T., Hu, H. R., Wu, Z. M., & Zhu, F. (2010). A comparative study on LIA of different urban forest community in ring park of Hefei city. *Journal of Anhui Agricultural University*, 37(2), 301–305. doi: 10.13610/j.cnki.1672-352x.2010.02.028
- Zhu, Q., Yu, K. J., & Li, D. H. (2005). The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica*, 25(9), 2406–2412.