

DOI: 10.5846/stxb201306271789

高祥伟, 费鲜芸, 张志国, 窦长娥, 顾晶晶, 王婷. 基于卷积运算的城市公园绿地聚集度评价. 生态学报, 2014, 34(15): 4446-4453.

Gao X W, Fei X Y, Zhang Z G, Dou C E, Gu J J, Wang T. The aggregation degree evaluation of urban park green space based on convolution method. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4446-4453.

基于卷积运算的城市公园绿地聚集度评价

高祥伟¹, 费鲜芸¹, 张志国^{2,*}, 窦长娥¹, 顾晶晶¹, 王 婷¹

(1. 淮海工学院测绘工程学院, 连云港 222005; 2. 上海应用技术学院生态学院, 上海 201418)

摘要:为使公园绿地聚集度计算能够充分反映其辐射效应,提出基于卷积运算的局部网格单元和整个城市公园绿地聚集度评价方法。基于高分辨率遥感影像获取山东省 37 个主要园林城市公园绿地分布图,利用 GIS 技术,采用 500 m 网格将城区网格化;建立 3×3 绿地聚集度卷积模板,基于卷积运算计算城市网格单元公园绿地聚集度;选择评价因子,依据 37 个城区公园绿地网格单元聚集度分布现状确定其分级值,建立整个城市公园绿地聚集度评价模型,并对东营市和泰安市进行实例评价。研究结果显示:基于卷积运算的网格单元公园绿地聚集度计算方法能够有效量化相邻网格单元绿地的辐射效应,计算由网格内部及相邻区域绿地共同作用产生的绿地聚集度,其取值范围为 0—4;整个城市公园绿地聚集度分为 1 级(极弱)、2 级(弱)、3 级(中等)、4 级(强)、5 级(极强)共 5 个等级,评价结果与研究区 37 个城市绿地现状相对应。实例评价结果显示,东营市网格单元公园绿地聚集度主要分布在>0—0.2 之间,整个城市公园绿地聚集度为 2 级;泰安市网格单元公园绿地聚集度以 0 为主,整个城市公园绿地聚集度为 5 级。

关键词:公园绿地;聚集度评价;卷积运算;遥感;地理信息系统

The aggregation degree evaluation of urban park green space based on convolution method

GAO Xiangwei¹, FEI Xianyun¹, ZHANG Zhiguo^{2,*}, DOU Chang'e¹, GU Jingjing¹, WANG Ting¹

1 School of Geodesy & Geomatics Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China

2 School of Ecology Technology and Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

Abstract: To fully reflect radiation effects of urban park green space (UPGS) service functions and obtain UPGS aggregation degree (AD) produced by a combination of UPGS in a local area and adjacent ones, the UPGS AD evaluation method for grid units and entire urban area were established based on a convolution operation. Based on high spatial resolution remote sensing images, UPGS maps of 37 cities in Shandong Province were constructed. Then, urban areas were segmented by 500-m grids and GIS technology, thereby obtaining UPGS grid maps. At the same time, a 3×3 AD evaluation convolution mask was constructed and UPGS AD in each grid unit was attained by the convolution operation. Based on the calculation of UPGS AD in each grid unit, two evaluation factors were selected, namely the area ratio of urban space for which AD at each grid was zero, and AD standard deviation of all grids whose AD was larger than zero, for UPGS AD evaluation model construction of the entire urban area. The graded value of the two factors was acquired according to the distribution of UPGS AD in each grid unit of the study area. Using the two factors, the UPGS AD evaluation model of the entire urban area was constructed by a weighted overlay method. Dongying and Tai'an were taken as typical examples for UPGS AD evaluation. The study result showed that the UPGS AD evaluation method of each grid unit based on convolution calculation could quantify the UPGS radiation effect in adjacent grids well. The method obtained AD values produced by the

基金项目:国家自然科学基金项目(31070626; 31270745);江苏省高校“青蓝工程”项目;江苏省“六大人才高峰”项目

收稿日期:2013-06-27; **修订日期:**2014-05-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zgzhangan@163.com

combination of UPGS in any grid unit and adjacent units. The value of AD ranged from 0 to 4. A value of 0 meant that there was no UPGS in the grid unit and adjacent grids and no AD in the grid unit. With increase of GPGS in the grid unit or adjacent grids, the AD value increased. For AD of 4, all the area in the grid unit and adjacent grids was UPGS, and AD became maximum. The UPGS AD evaluation result of each grid unit could be used to directly guide UPGS planning. The UPGS AD of entire urban area was categorized into five classes, including 1st grade (extremely weak), 2nd grade (weak), 3rd grade (moderate), 4th level (strong) and 5th level (extremely strong). The increase of both area ratio of urban space for which AD in each grid was zero and AD standard deviation of all grids whose AD was larger than zero would cause UPGS AD of the entire urban area to rise. However, the level of contrast of UPGS AD corresponded with the 37 cities in the study area, so the result of AD evaluation could be used both for contrast analysis among different cities and to help avoid the phenomenon of going after uniform simply. The evaluation result of two example cities showed that the value of grid-unit PGS AD in Dongying was mainly in the range of $>0-0.2$, and the PGS AD level of the entire urban area was weak. Values of grid-unit PGS AD in Tai'an were mainly zero, and the PGS AD level of entire urban area was extremely strong.

Key Words: park green space; aggregation degree evaluation; convolution; remote sensing; GIS

城市公园绿地在发挥各项功能时,具有辐射效应^[1-2],任意区域公园绿地聚集度应由区域内部和相邻区域绿地共同作用产生,如何对其进行计算,并在此基础上评价整个城市公园绿地聚集度,是适应当前城市用地紧张现状,提出的公园绿地空间结构评价研究的重要问题^[3-4]。

空间实体聚集度评价在地理学中已有较多研究,其中,空间自相关分析主要针对空间实体相关性开展均衡性研究^[5-9];景观聚集度指标用于指示不同绿地景观类型之间的聚集度^[10-11],二者均无法指示城市各区域绿地聚集程度;绿地可达性分析能够一定程度反映绿地的辐射效应,指示绿地的聚集状态,并已发展有较多评价模型^[12-15],但受可操作性和可比性影响,只有缓冲区分析方法在绿地评价实践中得到广泛应用^[2]。缓冲区分析能够指示绿地服务盲区,但无法指示服务范围内绿地聚集状态^[16-18],不能全面指示城区绿地的聚集度。高祥伟等基于 800 m 网格建立评价模型,对缓冲区分析方法进行改进^[19]。改进后的模型仍不能全面反映服务范围内城区绿地的辐射效应,需进一步改进。

针对以上研究现状,本研究提出了基于卷积运算的公园绿地聚集度评价方法。卷积运算又称邻域运算,能够有效地反映绿地的辐射效应^[20-22],适于计算局部区域公园绿地聚集度,并在此基础上建立整个城市公园绿地聚集度评价模型。评价模型建立后,将对城区面积和绿数量都相似的东营市和泰安市进行实例评价。

1 公园绿地聚集度概念及评价因子

如图 1 为某城市公园绿地分布图,为了计算各区域的聚集度,首先需采用适宜尺度的网格将其网格化(图 2)。依据《城市园林绿化评价标准》,我国公园绿地服务范围为 500 m^[2],为了适应标准要求,保证任意区域市民都能快速进入公园绿地,同时又避免网格尺度过小,本研究采用 500 m 网格将城区网格化(图 2),得到公园绿地网格图,每个网格单元内的绿地数量用 A_{ij} 表示。

在城区网格化基础上,公园绿地聚集度概念包括网格单元公园绿地聚集度(b)和整个城区公园绿地聚集度(以下简称为城市公园绿地聚集度 Agg)两个不同的概念。

网格单元公园绿地聚集度 b 是指网格单元公园绿地聚集数量(B_{ij})与网格单元面积之比,是由网格单元内部及其相邻网格单元公园绿地共同作用产生的公园绿地聚集程度,反映了公园绿地在局部区域的聚集状况。依据标准把相邻网格限定为八邻网格,例如,在图 2 中任取 I、II、III、IV 4 个单元格,根据定义, I 单元格的绿地聚集度大于 III 单元格绿地聚集度; II 单元格大于 IV 单元格。

城市公园绿地聚集度(Agg)是由局部网格单元 b 大小不同而引起的整个城区公园绿地的不均匀分布程度。其中 $b=0$ 的区域,由于没有绿地聚集,产生了服务盲区,该区域面积大小是城市绿地聚集程度的重要决定因素^[15-17],也是当前绿地质量评价和建

设的关注点^[2,19];同时,从长远发展需求考虑,服务范围内的绿地聚集度 b 也要保持一定的均匀性。

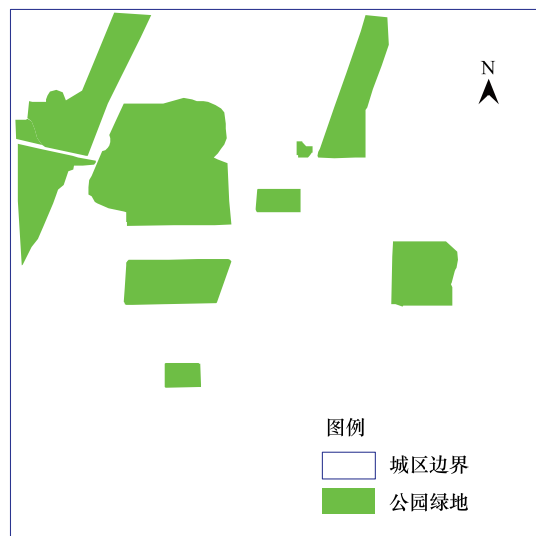


图1 公园绿地分布图

Fig.1 Park green space map

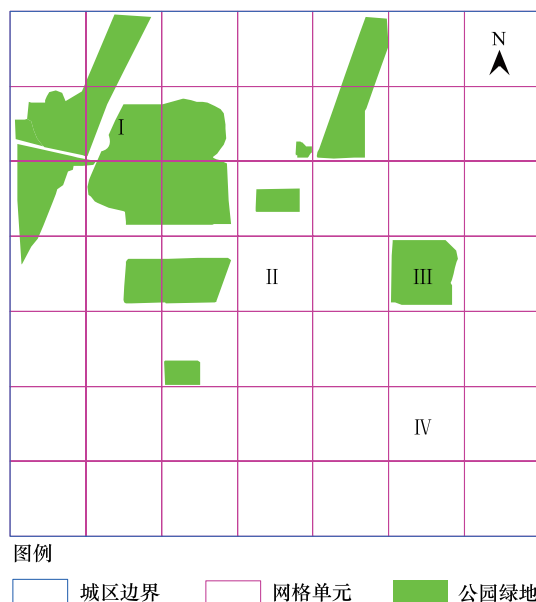


图2 公园绿地网格图

Fig.2 Park green space grid map

因此,将 Agg 评价模型因子确定为:(1)绿地 0 聚集区面积比例因子(x_1)。指由 $b=0$ 的区域占城区面积的比例所决定的聚集度评价因子,指示服务盲区的大小。(2)绿地聚集区 b 值的标准差因子(x_2)。指由 $b>0$ 的区域网格单元间 b 值标准差决定的评价因子,指示服务范围内绿地均匀性。

公园绿地聚集度的概念指示了公园绿地在城市大背景下的分布状态,其评价结果面向不断发展变

化的整个城区,该模型没有引入人口密度分布状况,区别于公园绿地服务功能的公平性。

2 研究区及研究数据的选取

选择山东省 2005 年以来 37 个主要园林城市为研究区,利用高分辨率遥感影像获取公园绿地分布图,各城区影像数据参见文献^[19]。山东省处于我国东部,城市绿化质量与南方城市有所差距,相比西部城市又具有一定的优势,绿地现状具有代表性。目前,37 个城市公园绿地数量都符合省级园林城市标准,但大多数城市的公园绿地空间分布不均匀,聚集度有差别,需要通过绿地建设进一步改善和提高。依据这 37 个城市绿地分布现状,确定评价因子及其分级值,建立聚集度评价模型,评价结果将具有较好的可比性和现实性。

3 研究方法

3.1 卷积运算及卷积模板设计

对于离散的二维空间,卷积运算是一种邻域运算,广泛用于图像处理、DEM 分析等众多研究领域。为求取网格单元公园绿地聚集度,首先要利用卷积运算求取网格单元的公园绿地聚集数量 B_{ij} 。

确定一个像元个数为 $m \times n$ 的绿地聚集函数模板 $\Phi(m, n)$,然后在公园绿地网格图上开一个相同大小的活动窗口 $A(m, n)$,其中 m, n 一般为奇数,每个窗口对应一个中心像元,将绿地聚集模板 $\Phi(m, n)$ 与窗口对应网格的绿地数量相乘再相加,把最后的结果赋予模板中心点,求取该网格单元的公园绿地聚集数量 B_{ij} ^[20-22]:

$$B_{ij} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \Phi(m, n) A(m, n) \quad (1)$$

将窗口从左到右,从上到下每次滑动一个像元,产生一个新窗口,按(1)式计算,得到新窗口中心网格值,依次类推,产生公园绿地网格图的卷积运算图,求得每个单元格的绿地聚集数量 B_{ij} 。

绿地聚集模板的大小代表了空间聚集度计算时所涉及的空间范围,每个网格单元数值代表了该网格在聚集度计算中的权重。根据城市公园绿地功能特点,建立 3×3 卷积模板如公式(2);依照地理学第一定律,所有的地理事物都相关,但距离近的事物相关性更强^[23],所以,本研究根据相邻网格单元与中心网格之间的位置关系,对卷积运算模板进行赋值,

如公式(3)。

采用 500 m 网格将研究区网格化,得到公园绿地网格图,利用卷积模板公式(2)和公式(3),对其进行卷积运算,求得网格单元绿地聚集数量 B_{ij} ,根据定义计算网格单元公园绿地聚集度 b :

$$\begin{vmatrix} (i-1, j-1) & (i-1, j) & (i-1, j+1) \\ (i, j-1) & (i, j) & (i, j+1) \\ (i+1, j-1) & (i+1, j) & (i+1, j+1) \end{vmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{vmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 \end{vmatrix} \quad (3)$$

3.2 聚集度评价因子分级值及权重的确定

采用加权叠置法建立城市公园绿地聚集度评价模型,其中,评价因子根据研究区公园绿地分布现状进行统一分级,即通过卷积运算,获取 37 个城市网格单元公园绿地聚集度分布图,计算各城区 x_1 和 x_2 的值,根据二者的分布现状确定其分级值。权重由城市建设部门和园林部门专家依据现有绿地标准及绿地现状打分汇总求出。

4 公园绿地聚集度计算及模型建立

4.1 网格单元公园绿地聚集度计算

根据定义,计算网格单元公园绿地聚集度 b_{ij} ,同时计算网格单元公园绿地率:

$$b_{ij} = \frac{B_{ij}}{500\text{m} \times 500\text{m}} \quad (4)$$

$$a_{ij} = \frac{A_{ij}}{500\text{m} \times 500\text{m}} \quad (5)$$

对于任意网格单元,公园绿地率的取值范围为 $0 \leq a_{ij} \leq 1$, a_{ij} 反映了单元格内绿地数量大小,对相邻网格单元的辐射效应无法体现,经卷积运算后,任意网格单元的绿地聚集度 b_{ij} 与 a_{ij} 的关系为:

$$b_{ij} = a_{ij} + 0.5 \sum \text{边相邻网格单元绿地率} + 0.25 \sum \text{点相邻网格单元绿地率} \quad (6)$$

任意网格单元都有 4 个边相邻和 4 个点相邻网格,可以得出,网格单元公园绿地聚集度 b 定量地指示了以 500 m 网格单元为中心,1.5 km×1.5 km 城区范围内公园绿地产生的聚集度,其取值范围为 $0 \leq b \leq 4$ 。当 $b=0$ 时,表示网格单元自身及其相邻网格内都没有绿地,网格单元内没有绿地聚集;随着网格

单元自身或者相邻网格绿地数量增大,网格单元的绿地聚集度也在增大,当 $b>1$ 时,绿地聚集数量超过了网格单元面积,可以认为该区域的公园绿地聚集达到了较大程度;当绿地聚集度 $b=4$ 时,网格单元内部和相邻网格全部为绿地,绿地聚集度达到最大。可见,公园绿地聚集度 b_{ij} 能够反映相邻网格绿地的辐射效应,计算由网格内部及相邻区域绿地共同作用产生的绿地聚集度,实现了网格单元绿地聚集度的量化计算。

卷积运算时,如果相邻网格单元位于边界之外,则其绿地率按其实际情况取值;网格化时边缘生成的不完整网格作为独立网格保留,如果面积过小,引起聚集度过度增加,则将聚集度 b 大于 4 的网格进行删除,小于 4 的进行保留,以体现绿地分布于城区边缘时引起的不公平聚集。

对于每个城市, $b=0$ 的区域应是绿地规划和建设的重点;其次是聚集度较小的区域(如 $0 < b \leq 0.2$)。对于这些区域的网格单元,在网格内部或其相邻网格增加绿地,都能增加其绿地聚集度;同时,在聚集度较大的网格及周围都应避免绿地的重复建设。

由于城市用地紧张,用于绿地规划和建设的空间有限;同时为保证其各项功能,单个公园绿地也需要具备一定面积,所以简单地要求各网格单元绿地数量均匀是不现实的。基于卷积运算的公园绿地聚集度分布图不论用于老城区的单项增绿工程,或是用于新城区的土地利用规划,都可充分利用绿地的辐射效应,引导绿地规划灵活地适应各种用地矛盾,减少服务盲区、提高公园绿地聚集度,具有较好的适应性和现实性,可作为城市绿地规划的基础依据。

4.2 城市公园绿地聚集度评价模型建立

如图 3 为研究区 37 个城市评价因子数据分布散点图。可以得出,评价因子 x_1 主要分布于 0—0.5 之间; x_2 主要分布在 0—1 之间,差距特别大时会大于 1。根据其分布状况将评价因子分为 6 级,求得的分级值及评价因子的权重如表 3。采用加权叠置法建立城市公园绿地聚集度评价模型:

$$Agg = w_1 x_1 + w_2 x_2 \quad (7)$$

根据评价评价因子的分级状况及评价模型公式,得出 Agg 的取值范围为 1—6,将其按等间隔由小到大分成 5 级,得到城市公园绿地聚集度 Agg 的分级值如表 1。

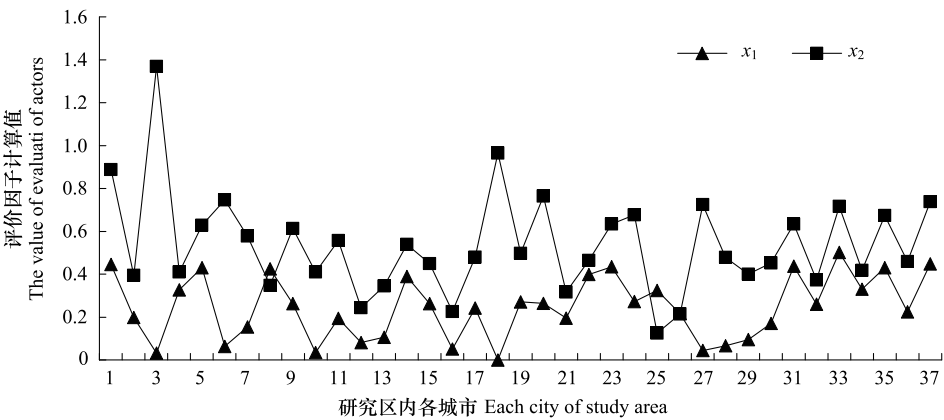


图3 研究区评价因子数据分布散点图
Fig.3 The data scatter map of evaluation factors in study area

表1 聚集度评价因子及其权重、聚集度分级值

聚集度评价因子分级值以及其权重 the evaluation factors grading and their weight				城市公园绿地聚集度及其分级值
$x_1/\%$	x_1 分级值 x_1 and its grading (权重 Weight $w_1=0.6$)	x_2	x_2 分级值 x_2 and its grading (权重 Weight $w_2=0.4$)	Agg and its grading
≤ 10	1	≤ 0.2	1	1级 ($1 \leq Agg < 2$) (聚集度极弱)
10—20	2	0.2—0.4	2	2级 ($2 \leq Agg < 3$) (聚集度弱)
20—30	3	0.4—0.6	3	3级 ($3 \leq Agg < 4$) (聚集中等)
30—40	4	0.6—0.8	4	4级 ($4 \leq Agg < 5$) (聚集度强)
40—50	5	0.8—1	5	5级 ($5 \leq Agg \leq 6$) (聚集度极强)
> 50	6	> 1	6	

当一个城市已具备一定数量的公园绿地,但某些公园绿地面积过大或者距离太近,都会造成城市部分区域绿地聚集度 $b=0$ 或者很小,影响绿地的生态和社会功能发挥。由城市绿地聚集度评价模型可以看出, $b=0$ 的区域比例越大、 $b>0$ 的区域 b 值标准差越大,城市绿地聚集度越大。

由于城市公园绿地聚集度评价因子分级值是根据研究区 37 个城市公园绿地分布现状分析比较获取,所以城市公园绿地聚集度的强弱对比也是与 37 个城市的绿地现状相对应,这种评价结果既可用于不同城市之间的对比,又可避免产生片面追求均匀度的现象,具有较好的可比性和现实性。

5 实例评价分析

以东营市和泰安市为典型区域,分别计算两城市网格单元公园绿地率、网格单元公园绿地聚集度及城市公园绿地聚集度,并进行评价分析。其中泰安市和东营市的城区面积分别为 95.89、110.27 km², 公园绿地面积分别为 9.28、8.56 km²。

5.1 网格单元公园绿地聚集度评价分析

通过卷积运算,分别生成两城市网格单元公园绿地聚集度分布图(图 4 和图 5),对 a 和 b 之间关系进行统计分析(表 2);同时在两城区内以 0.2 为区间分别统计绿地聚集度的分布状况(表 3)。

由图 4 和图 5 可以看出,由于城区内个别公园面积过大或者某些公园绿地距离过近,两城区都存在网格单元公园绿地聚集度大小不均匀的现象,某些网格单元公园绿地聚集度较大,更多的网格单元聚集度很少或者没有。如表 2,在东营市和泰安市中,存在大量网格单元,其内部没有绿地(即网格单元内绿地率 $a=0$),两城区内该区域面积分别为 54.73%和 72.47%;其中部分网格单元相邻网格内具有绿地,由于辐射效应产生一定量的绿地聚集度,最终两城市内没有绿地聚集(即 $b=0$)的区域面积分别为 15.72%和 44.32%。

由于绿地分布不均匀,网格单元间相互辐射现象普遍,如表 2,两城区内 $b=a>0$ 的区域(即网格单元内有绿地但相邻网格没有绿地,不存在相互辐射

现象的区域) 分别只有 0.52% 和 0.15%, 其中部分网格单元间相互辐射的绿地数量较大, 导致绿地聚集度较大, 在城区内产生 $b > 1$ 的区域(表 3)。

两城市绿地聚集状况也有明显区别, 由表 3 得出, 东营市网格单元公园绿地聚集度范围为 $0 \leq b \leq$

3.08, 泰安市为 $0 \leq b \leq 3.84$; 东营市网格单元聚集度主要分布在 $0 < b \leq 0.2$ 之间, 占城区面积的 43.51%, 泰安市网格单元聚集度以 $b = 0$ 为主, 占城区面积的 44.32%。

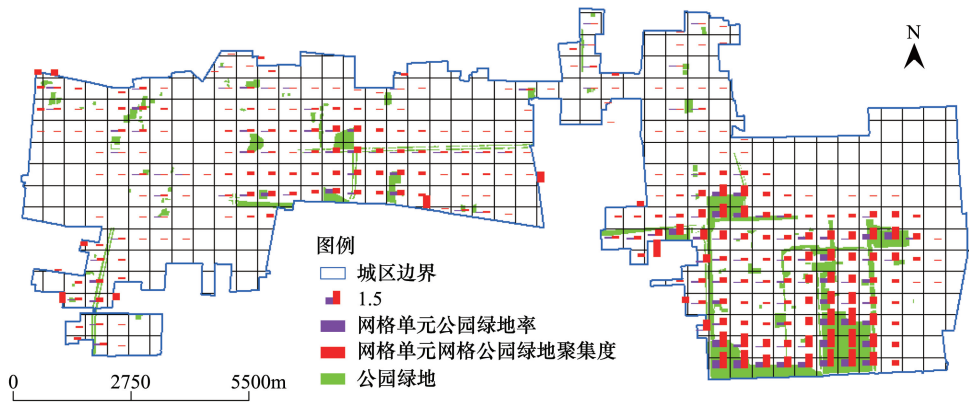


图 4 东营市网格单元公园绿地聚集度分布图

Fig.4 The park green space aggregation degree in each grid unit of Dongying city

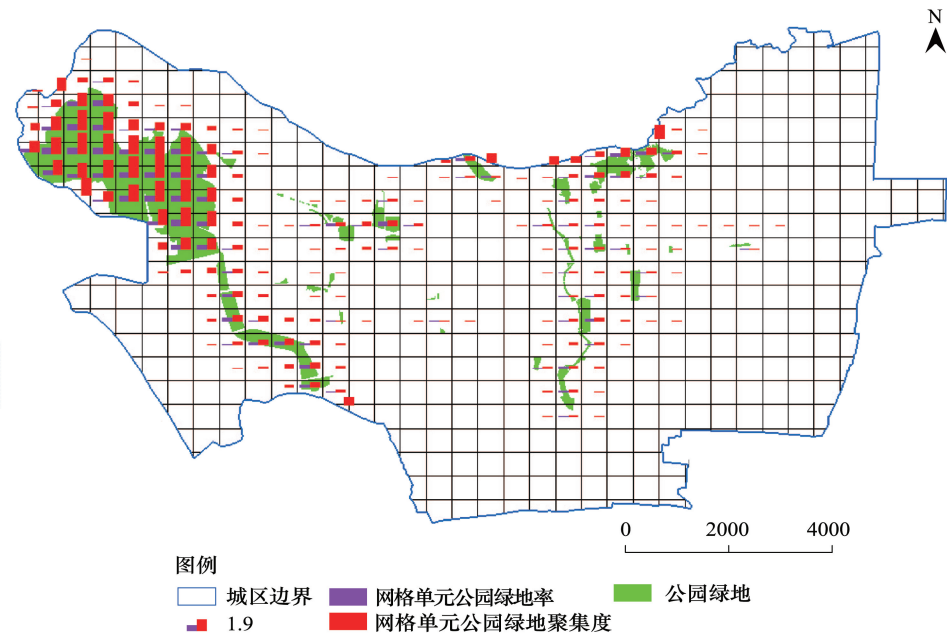


图 5 泰安市网格单元公园绿地聚集度分布图

Fig.5 The park green space aggregation degree in each grid unit of Tai'an city

表 2 公园绿地聚集度 b 与绿地率 a 关系

Table 2 The relationship between b and a

城市名称 Cities name	统计内容 Statistics content	$a = 0$		$a > 0$		合计
		$b = a$	$b > a$	$b = a$	$b > a$	
东营市	面积 Area/ km^2	15.07	37.41	0.50	42.91	95.89
	百分比 Percent/%	15.72	39.01	0.52	44.75	100
泰安市	面积 Area/ km^2	48.87	31.04	0.16	30.20	110.27
	百分比 Percent/%	44.32	28.15	0.15	27.38	100

表 3 城区内不同聚集度网格单元分布状况

Table 3 The scatter status of UPGS aggregation degree in two cities

城市名称 Cities name	统计内容 Statistics content	$b=0$	$0<b\leq 0.2$	$0.2<b\leq 0.4$	$0.4<b\leq 0.6$	$0.6<b\leq 0.8$	$0.8<b\leq 1$	$b>1$	最大值 Maximum
东营市	面积 Area/ km^2	15.07	41.72	15.91	7.90	3.91	3.67	7.71	3.08
	百分比 Percent/%	15.72	43.51	16.59	8.24	4.08	3.83	8.03	
泰安市	面积 Area/ km^2	48.87	29.76	10.46	5.41	2.85	2.50	10.42	3.84
	百分比 Percent/%	44.32	26.99	9.49	4.90	2.58	2.27	9.45	

5.2 城市公园绿地聚集度评价分析

由图 4 和图 5 可以看出,两城市公园绿地都存在不同程度的聚集现象;其中东营市主要聚集在东南部;泰安市主要聚集在西北部;泰安市由于个别公园绿地面积过大,绿地聚集现象更加明显。通过计算两个城市的绿地 0 聚集区面积比例因子(x_1)和绿地聚集区 b 值的标准差因子(x_2)的分级值,利用评价模型得出整个城市公园绿地聚集度,如表 4。

由表 4 可以得出,东营市两个评价因子的分级值都较少,分别为 2 级和 3 级,整个城市公园绿地聚集度等级弱;泰安市两个评价因子的分级值都达到较大值,城市公园绿地聚集度等级达到极强。

可见,东营市尽管也出现了面积较大的公园绿地,但在 37 个城市中仍然是属于聚集度较弱的城市,而泰安市则属于聚集度很强的城市。

表 4 两城市公园绿地聚集度评价结果

Table 4 Agg evaluation result in two cities

城市名称 Cities name	x_1	x_1 分级值($w_1=0.6$) The grading value of x_1	x_2	x_2 分级值($w_2=0.4$) The grading value of x_2	聚集度评价结果 The Agg evaluation result
东营市	15.72%	2	0.58	3	2.4(2 级,聚集度弱)
泰安市	44.32%	5	0.89	5	5(5 级聚集度极强)

6 结论

基于卷积运算的网格单元绿地聚集度 b 定量地指示了以 500 m 网格单元为中心,由 1.5 km $\times$ 1.5 km 城区范围公园绿地产生的聚集度,有效地量化了相邻网格单元绿地的辐射效应,得到由网格内部及相邻区域绿地共同作用产生的绿地聚集度,取值范围为 $0\leq b\leq 4$,评价结果可直接用于指导绿地规划设计。

以绿地 0 聚集区面积比例(x_1)和绿地聚集区 b 值的标准差(x_2)为评价因子,建立城市公园绿地聚集度评价模型,将城市绿地聚集度分为 1 级(极弱)、2 级(弱)、3 级(中等)、4 级(强)、5 级(极强)5 个等级。由于聚集度的强弱对比与 37 个城市的绿地现状相对应,评价结果可用于不同城市之间的对比分析,也可有效避免产生片面追求均匀度的现象。

通过实例评价分析得出,东营市网格单元公园绿地聚集度范围为 $0\leq b\leq 3.08$,聚集度主要分布在 $0<b\leq 0.2$ 之间,占城区面积的 43.51%;整个城市公园

绿地聚集度为 2 级,聚集度弱;泰安市网格单元公园绿地聚集度范围为 $0\leq b\leq 3.84$,聚集度以 $b=0$ 为主,占城区面积的 44.32%;整个城市公园绿地聚集度为 5 级,聚集度极强。

基于卷积运算的城市公园绿地聚集度评价方法能较好反映公园绿地服务功能的辐射能力,评价结果指示了公园绿地在城市大背景下的聚集状态,如果需要进行绿地服务功能公平性评价,还需要结合人口密度进一步研究。

References:

[1] Hamada S, Ohta T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. Urban forestry & urban greening, 2010, 9(1): 15-24.

[2] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China (GB/T 50563—2010): Evaluation standard for urban landscaping and greening. China Architecture & Building Press, 2010: 21-22.

[3] Chen A L, Sun R H, Chen L D. Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2372-2380.

- [4] Wang X J. Analysis of problems in urban green space system planning in China. *Journal of Forestry Research*, 2009, 20(1): 79-82.
- [5] Chen Y G. Reconstructing the mathematical process of spatial autocorrelation based on Moran's statistics. *Geographical Research*, 2009, 28(6): 1449-1462.
- [6] Gao C, Jin F J, Fu J, Liu H. Spatial pattern of population and its evolution in South Africa during 1996—2011. *Progress in Geography*, 2013, 32(7): 1167-1176.
- [7] Gong J, Xie Y C, Sun P, Xie Y W. Spatio-temporal change on township scale of Jinta oasis in the latest 20 years. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(11): 3470-3479.
- [8] Wang P A, Luo W H, Bai Y P. Comparative analysis of aggregation detection based on spatial autocorrelation and spatial-temporal scan statistics. *Human Geography*, 2012, 27(2): 119-127.
- [9] Cao Z D, Zeng D J, Zheng X L, Wang Q Y, Wang F Y, Wang J F, Wang X L. Spatio-temporal evolution of Beijing 2003 SARS epidemic. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2010, 53(7): 2017-2028.
- [10] Yusupjiang A, Alimujiang K. Dynamic changes and driving force analysis of green space landscape pattern in Urumqi city. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2013, 33(9): 93-97.
- [11] Li X Z, Bu R C, Chang Y, Hu Y M, Wen Q C, Wang X G, Xu C G, Li Y H, Huo H S. The response of landscape metrics against pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123-134.
- [12] Comber A, Brunsdon C, Green E. Using a GIS-based network analysis to determine urban greenspace accessibility for different ethnic and religious groups. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 86(1): 103-114.
- [13] Tao Y, Li F, Wang R S, Zhao D. Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2330-2342.
- [14] Sang L J, Shu Y G, Zhu W P, Su F. Accessibility of urban green spaces in Hangzhou City. *Progress in Geography*, 2013, 32(6): 950-957.
- [15] Gui K P, Xu J G, Zhang X. Optimization of urban green space spatial arrangement based on supply-demand analysis: A case study in Nanjing City, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(5): 1215-1223.
- [16] Yu B L, Hu Z M, Wu J P, Qian J, Hu C L, Tan W Q, Guo Z Y. Analyzing the social service function of urban public green space for the residential districts quantitatively—a case study of the central area of Shanghai, China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(7): 871-879.
- [17] Tong L G, Ning X L, Zhang J. Combining GIS and RS technique to understand recreational service radius of city green spaces in Baotou City, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(3): 202-208.
- [18] Oh K, Jeong S. Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 82(1/2): 25-32.
- [19] Gao X W, Zhang Z G, Fei X Y. Grid evaluation model for uniformity degree of the urban park green space spatial location. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2013, 37(6): 96-100.
- [20] Mu X D, Liu H P, Wang H B. Application of image convolution to extract the urban extent. *Journal of Remote Sensing*, 2011, 15(6): 1289-1300.
- [21] Qian Y G, Ge Y H, Kong X S. Research on image mosaic algorithm based on convolution method. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(6): 811-816.
- [22] Liu X J, Zhang P, Zhu Y. Suitable window size of terrain parameters derived from grid-based DEM. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2009, 38(3): 264-271.
- [23] Li X W, Cao C X, Chang C Y. The first law of geography and spatial-temporal proximity. *Chinese Journal of Nature*, 2007, 29(2): 69-71.
- 参考文献:**
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中华人民共和国国家标准(GB/T 50563—2010): 城市园林绿化评价标准. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 21-22.
- [3] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 绿地格局对城市地表热环境的调节功能. *生态学报*, 2013, 33(8): 2372-2380.
- [5] 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进. *地理研究*, 2009, 28(6): 1449-1462.
- [6] 高超, 金凤君, 傅娟, 刘鹤. 1996—2011 年南非人口空间分布格局与演变特征. *地理科学进展*, 2013, 32(7): 1167-1176.
- [7] 巩杰, 谢余初, 孙朋, 颜耀文. 乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化. *生态学报*, 2013, 33(11): 3470-3479.
- [8] 王培安, 罗卫华, 白永平. 基于空间自相关和时空扫描统计量的聚集比较分析. *人文地理*, 2012, 27(2): 119-127.
- [10] 玉苏普江·艾麦提, 阿里木江·卡斯木. 乌鲁木齐市绿地景观格局动态变化及驱动力分析. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(9): 93-97.
- [11] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 胡远满, 问青春, 王绪高, 徐崇刚, 李月辉, 贺红仕. 景观格局指标对不同景观格局的反应. *生态学报*, 2004, 24(1): 123-134.
- [13] 陶宇, 李锋, 王如松, 赵丹. 城市绿色空间格局的量化方法研究进展. *生态学报*, 2013, 33(8): 2330-2342.
- [14] 桑丽杰, 舒永钢, 祝炜平, 苏飞. 杭州城市休闲绿地可达性分析. *地理科学进展*, 2013, 32(6): 950-957.
- [15] 桂昆鹏, 徐建刚, 张翔. 基于供需分析的城市绿地空间布局优化——以南京市为例. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1215-1223.
- [16] 余柏菡, 胡志明, 吴健平, 钱杰, 胡春凌, 谈文琦, 过仲阳. 上海市中心城区公园绿地对居住区的社会服务功能定量分析. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(7): 871-879.
- [17] 同丽嘎, 宁小莉, 张靖. 基于 RS 与 GIS 的包头市城市公园绿地休闲游憩服务半径研究. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(3): 202-208.
- [19] 高祥伟, 张志国, 费鲜芸. 城市公园绿地空间分布均匀度网格评价模型. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(6): 96-100.
- [20] 穆晓东, 刘慧平, 王宏斌. 应用图像卷积运算提取城市范围. *遥感学报*, 2011, 15(6): 1289-1300.
- [21] 钱永刚, 葛永慧, 孔祥生. 基于卷积运算的影像镶嵌算法研究. *遥感学报*, 2007, 11(6): 811-816.
- [22] 刘学军, 张平, 朱莹. DEM 坡度计算的适宜窗口分析. *测绘学报*, 2009, 38(3): 264-271.
- [23] 李小文, 曹春香, 常超一. 地理学第一定律与时空邻近度的提出. *自然杂志*, 2007, 29(2): 69-71.