

基于 RS 和 GIS 的长沙市森林景观结构研究

何友军¹, 李际平², 颜立红¹, 赵春燕², 向光锋¹

(1. 湖南省森林植物园,湖南 长沙 410116;2. 中南林业科技大学,湖南 长沙 410004)

摘要:为了研究长沙市森林景观的结构特征,以 2011 年长沙市 TM 卫星遥感数据、地形图和实际调查数据为数据源,从斑块水平和景观水平选择 17 个格局指数,运用 Fragstats 进行景观指数计算。结果表明:1)从斑块水平分析长沙市城市景观结构:林地景观面积占研究区总面积的 65.17%,最大斑块指数、斑块形状指数和平均斑块面积均显著高于其他类型景观,表明林地景观在研究区域内占绝对优势;耕地的斑块数量最多,存在较高的连通性,且空间形状复杂;草地与未利用地的斑块数量、斑块面积都比较小。2)从斑块水平分析长沙市森林景观结构:长沙市城市森林各类型景观斑块面积最大为附属城市森林,达到 3 644.87 hm²,其斑块数量明显也多于其他类型的城市森林,呈现极显著的优势。其余几种景观斑块面积大小依次为:附属城市森林>公共城市森林>生产城市森林>防护城市森林>道路城市森林。3)从景观水平分析,长沙市森林景观的形状指数为 114.85,高于长沙市城市景观的形状指数 101.28,表明构成长沙市总体景观的斑块形状更加复杂;长沙市城市景观 Shannon 多样性指数为 1.23,低于长沙市城市景观 Shannon 多样性指数 1.45,因为总体景观的各个组成类型较为齐全。

关键词:城市森林;森林景观结构;地理信息系统技术;景观格局

中图分类号:S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)04-0203-06

A Study on the Forest Landscape Structure Based on GIS & RS in Changsha

HE You-jun¹, LI Ji-ping², YAN Li-hong¹, ZHAO Chun-yan², XIANG Guang-feng¹

(1. Hunan Forest Botanical Garden, Changsha, Hunan 410116, China;

2. Central South University of Forestry & Technology, Changsha, Hunan 410004, China)

Abstract: In order to understand the forest landscape structure in Changsha, an investigation was conducted by using the TM satellite remote sensing data in 2011, the topographic map and the site survey data. Seventeen pattern indices from the patch level and landscape level were selected, and the Fragstats landscape indices were calculated. The results showed that 1) to analyze the urban landscape of Changsha from the patch level: forest landscape occupied 65.17% of the total area, the index of maximum patch, index of patch shape, and average patch area were all higher than those of other landscape types, showing its absolute priority and complexity of the spatial shape within the study area. For cultivated land, the patch number was the highest, high connectivity existed among the patches, and the space shape was complex. For the grass land and uncultivated land, their patch number and area were small. 2) To analyze the urban forest landscape of Changsha from patch level: the attached urban forests presented the largest patch area and patch number, with a total area of total 3 644.87 hm². The patch areas of different forest types were in the order of attached urban forest>public urban forest>productive urban forest>shelter urban forest>road side urban forest. 3) From the vies of landscape, the shape index of the urban forest landscape of the city

收稿日期:2016-11-09 修回日期:2017-02-21

基金项目:国家林业公益性行业科研专项“美丽城镇森林景观的构建技术研究与示范”项目(201404301);湖南省林业厅:长株潭地区美丽城镇森林景观构建技术研究(XLK201419);湖南省自然科学基金项目(2015JJ3175)。

作者简介:何友军,男,博士,教授,研究方向:森林景观学。E-mail:373097977@qq.com

was 114.85, higher than that of the overall urban landscape of the city (101.28), showing the complexity of the patch shape of the overall landscape of the city. The Shannon diversity index of urban landscape of the city was 1.23, lower than that of the overall urban landscape of the city, due to the completeness of the landscape types of the overall urban landscape of the city.

Key words: urban forest; forest landscape structure; geomatics technology; landscape pattern

森林是时间和空间高度异质性的生态系统,是陆地生态系统的主体,对调节生态平衡具有不可替代的作用。随着社会经济迅速发展与环境持续的恶化,森林景观结构与格局研究成为热点^[1-2],主要体现在森林景观格局对各种生态过程的影响^[3],以及森林景观结构组成特征和空间配置关系的分析方法。随着城市化水平提高,城市森林的地位与作用、经营与保护越来越受到重视^[4]。城市森林景观结构的组成与景观斑块相互关系的定量研究,对城市森林的建设、美丽城镇的规划都具有重要意义。

目前森林景观研究主要集中在森林景观格局、景观动态变化和景观生态过程模拟等方面^[5-6]。随着 GIS 技术的成熟,利用高分辨率遥感影像数据,选取景观格局指数进行森林景观结构及其异质性的研究越来越多。叶伟^[1]等基于 3S 技术对福建永安的森林景观结构格局进行研究,表明城市森林各景观类型分布均匀,但城市森林整体分布不均衡。申依宁^[7]等以遥感影像为信息源,对杨凌区城镇景观格局动态变化进行分析,结果表明景观格局不断演替,城市总体景观异质性增加,但景观破碎化程度加深。周亚东^[8]等基于 GIS 与 Fragstats 对海南岛森林资源二类调查数据对森林景观格局进行研究,华昇^[9]基于 GIS 研究长沙市森林景观格局,在此基础上提出动态优化技术。本研究以长沙市城市森林景观为研究对象,以 2011 年长沙市 TM 卫星遥感数据、地形图和实际调查数据为数据源,选择 17 个景观格局指标,研究长沙市斑块类型水平和景观水平的森林景观结构特征,研究结果为长沙市城市森林的建设和规划提供理论依据。

1 研究区概况

长沙市位于湖南省东部,介于 $111^{\circ}53' - 114^{\circ}15'E$, $27^{\circ}51' - 28^{\circ}41'N$,湘江与浏阳河交汇的河谷地,现辖天心、开福、芙蓉、岳麓和雨花 5 区,长沙、望城和宁乡 3 县与浏阳市。属典型的亚热带湿润季风气候,年均气温 $17.2^{\circ}C$,年平均相对湿度 80%,年均降水量 1 422 mm。长沙市土壤形成红土和河流冲击土壤 2 大类,红土为地带性土壤,为酸性土。海拔高程在 23~1 607 m 之间。

据长沙市第 5 次森林清查统计资料,长沙市面

积为 $11 819 \text{ km}^2$,林业用地面积为 $6 104.38 \text{ km}^2$,森林覆盖率为 51.6%。区域内植物属亚热带常绿阔叶林群落类型^[10],植物种类繁多,有高等植物 1 822 种,161 科,占高等植物的近 80%。常绿树种 462 种,落叶树种 525 种,长沙从外引进樟科、木兰科等绿化树种 55 种。主要植被类型有针叶林、针阔混交林、常绿阔叶林和竹林等,现有的主要植被为马尾松 (*Pinus massoniana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、竹(bamboo)等^[11-12]。

2 研究方法

2.1 数据收集与预处理

收集 2011 年长沙市 TM 卫星遥感数据,空间分辨率为 30 m,长沙市 1:100 00 地形图,湖南省森林植物园、岳麓山和潇湘大道、湘江中路等地的实际调查数据。

对遥感影像进行大气校正、几何校正、灰度调节和云去除处理,采用 Erdas9.2 影像处理软件进行遥感影像的监督分类,Fragstats 景观指数软件从斑块类型和景观水平上计算了景观格局指数。

2.2 景观类型的划分

依据长沙市用地的分布情况与 TM 遥感影像特点,参考叶伟等关于城市森林景观类型的划分^[1],将长沙市城市景观划分为耕地、林地、草地、城镇用地、水体和未利用土地等 6 类(表 1)。

表 1 长沙市城市景观类型与特点

Table 1 Types and characteristics of urban landscape of Changsha

景观类型	影像特征	形状	分布特征
林地	绿色	形状较规则,面积较大	公园、绿地等
耕地	褐色	非线性、较规则	道路旁、林地周围
草地	紫色调	斑块状、条带状	山体地体感强
城镇用地	红色,影像致密均匀	规则,矩形、圆形较多	成片分布,多集中在中心城区
水体	蓝色	弯曲线性较多	池塘、水塘和带状河流
未利用地	黄色、白色	不规则	开发建设区域

将长沙市城市森林景观分为公共城市森林、道路城市森林^[13]、附属城市森林、防护城市森林和生

产城市森林等5类(表2)。依据长沙市城市景观的6类和长沙市城市森林景观5类对象具有不同形状、纹理、颜色等特性,利用Erdas9.2将这些特性参与进行分类。

2.3 景观格局指数选取

选取斑块面积和斑块数量等反映景观组分属性特征分析景观格局分析^[14]。斑块的面积(TA)决定景观的范围以及分析的最大尺度,是计算其他指标的基础。斑块比例(PLAN)表示景观中某类景观的面积占整个景观面积的百分率。斑块数量(NP)表示景观中各种斑块类型的度量,与斑块类型的面积变异系数相结合判别景观中斑块的碎化程度。斑块密度(PD)是单位面积某种景观类型的斑块数目,反映景观破碎程度,斑块密度越大,斑块则越小,景观的破碎化程度就越大。

表2 长沙市城市森林景观类型与特点

Table 2 Types and characteristics of urban forest in Changsha

类型	分布区域	基本特点
公共城市森林	城市公园、公共绿地	斑块面积较大
道路城市森林	城市道路两侧	呈线性分布,结构单一
附属城市森林	居住小区、单位绿化	长方形、正方形或圆形,结构单一,形状差异小
防护城市森林	城市边缘或河流两侧	形状复杂,形状差异大
生产城市森林	城市菜地、苗圃地	长方形较多,结构单一

景观形状指数(LSI)为景观要素和景观水平上的度量指标,公式为:

$$LSI = \frac{e_i}{\text{mine}_i} \quad (1)$$

式中, e_i 为第 i 种斑块类型的总周长; mine_i 为第 i

种斑块类型总面积的正方形周长。

平均斑块面积(AREA-MN)为斑块类型面积除以该斑块的数量,用以表示不同景观的破碎程度,也可以表示景观各类型之间的差异。

景观格局通过斑块丰富指数、多样性指数、聚集度指数指标分析长沙市森林景观的格局。

斑块丰度指数(PRD)是指景观中所有斑块类型总数,采用每百公顷斑块类型数度量,公式为:

$$PRD = \frac{m}{A} (10000) \times (100) \quad (2)$$

式中, m 为景观中斑块类型数; A 为景观总面积; $(10000) \times (100)$ 表示转化为 100 hm^2 。

Shannon 多样性指数(SHDI)反映景观类型的异质性^[11],能较为敏感地反映景观中各斑块类型的非均匀分布状态,公式为:

$$SHDI = - \sum (P_i \ln P_i) \quad (3)$$

式中, P_i 为斑块类型 i 在景观中所占的比例。

Simpson 多样性指数含有斑块类型的丰富度和各斑块类型在面积上分布的均匀程度,公式为:

$$SIDI = 1 - \sum P_k^2 \quad (4)$$

式中, P_k 为第 k 种的个体数占群落中总个体数的比例, n 为群落中物种数目。

3 结果与分析

3.1 长沙市城市景观类型与分布

本研究按人类影响强度、土地利用方式、植被类型和地貌特征,将长沙市的景观类型划分为6个:耕地、林地、城镇用地、草地、水体和未利用土地。

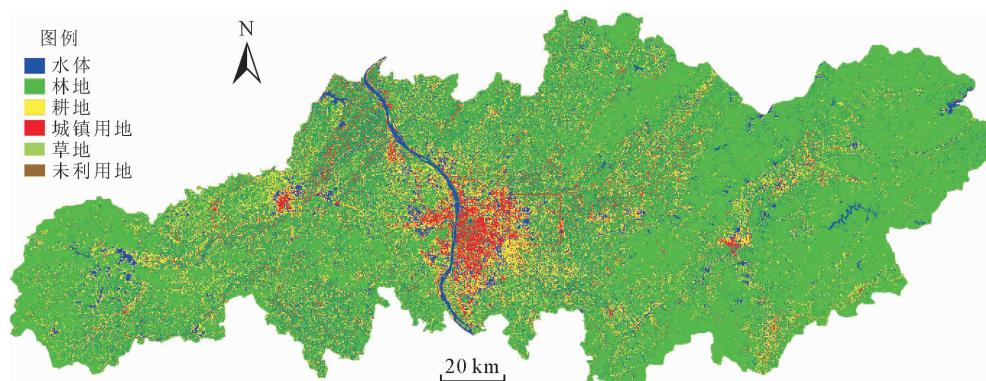


图1 长沙市景观图

Fig. 1 Landscape map of Changsha

3.2 长沙市城市景观结构

3.2.1 长沙市景观的类型水平 在景观分类的基础上,在类型水平上选择了8个景观指数:类型的面积、斑块的数量、类型比例、斑块的密度、最大斑块指数、景观形状指数、平均斑块面积和斑块面积变异系

数,分析长沙市景观的类型水平进行计算。类型面积大小依次为林地>耕地>城镇用地>水体>草地>未利用地,斑块数量依次为耕地>林地>城镇用地>水体>草地>未利用地,林地的斑块数量少于耕地斑块数量。总体来说:1)分布面积占研究区总

面积达 65.17% 为林地景观, 其最大斑块指数、斑块形状指数和平均斑块面积均显著高于其他类型景观, 表明长沙市森林景观在研究区域内占绝对优势, 其连接性与完整性均优于其他景观类型, 长沙市森林景观可作为基质。但森林景观存在比较明显的空间异质性, 空间形状复杂, 表明受到强烈的人工干

扰; 2)耕地的斑块数量最多, 达到 6 397 块, 耕地的斑块总面积也较大, 表明耕地在研究区存在较高的连通性, 且空间形状复杂, 也受到人为活动强烈干扰; 3)草地和未利用地的斑块数量、斑块面积都比较小, 其中未利用地的斑块总数为 68, 所占的比例最小(表 3)。

表 3 长沙市景观类型水平指数

Table 3 Landscape type level index of Changsha

类型	类型面积 TA/ hm^2	类型比例 PLAND/%	斑块数量 NP/块	斑块密度 PD/(块· 100 hm^{-2})	最大斑块 指数 LPI/%	景观形状 指数 LSI	平均斑块面积 AREA-MN/ hm^2	斑块面积 变异系数 AREA-CV/%
耕地	355 149	29.97	6 397	0.57	7.58	124.48	50.91	1330.22
林地	772 145	65.17	6 361	0.53	23.77	85.52	145.47	793.25
草地	5 685	0.48	161	0.01	0.12	13.09	81.91	171.51
城镇用地	30 793	2.59	2 277	0.19	0.66	54.37	37.31	133.56
水体	18 360	1.55	860	0.07	0.07	32.12	31.32	618.38
未利用地	2 730	0.24	68	0.01	0.13	2.76	42.39	175.21

3.2.2 长沙市景观的景观水平 选取景观总面积、斑块总数量、斑块密度、最大斑块指数、景观形状指数、斑块面积变异系数、斑块丰富度、Shannon 多样性指数和 Simpson 多样性指数 9 个指数, 从景观水平上分析长沙市景观格局的分布特征(表 4)。

长沙市城市景观的形状指数为 101.28, 表明构成长沙市总体景观的斑块形状比较复杂; 长沙市总体景观 Shannon 多样性指数比较高, 为 1.45, 因为总体景观的各个组成类型较为齐全, 各类型景观中斑块面积差异较大, 因此对城市森林的保护和发展有待进一步加强。

3.3 长沙市城市森林的景观结构

3.3.1 长沙市森林景观的类型水平 长沙市森林景观包括公共城市森林、防护城市森林、生产城市森林、道路城市森林和附属城市森林 5 种类型, 一起构

成长沙市景观的基底(表 5)。按照各类型景观的斑块面积来说, 最大为附属城市森林, 面积达 1 516.50 hm^2 , 其他类型景观的斑块面积大小依次为: 公共城市森林、生产城市森林、防护城市森林, 最小的为道路城市森林, 道路城市森林面积仅 88.90 hm^2 , 占 1.46%。附属城市森林的斑块面积明显多于其他类型的城市森林, 呈现极显著的优势。

防护城市森林与公共城市森林在最大斑块所在比例均大于其他城市森林类型, 说明这 2 种城市森林分布比较集中, 而其他类型的城市森林分布相对分散。从斑块数量来说, 占优势的为道路城市森林和附属城市森林, 表明防护城市森林与公共城市森林的连通性较好, 以大斑块为主, 附属城市森林和道路城市森林的连通性较差, 以小面积斑块的分布为主, 碎化程度较高。

表 4 长沙市景观水平的指数

Table 4 Index of landscape level in Changsha

景观指数	景观 总面积 TA/ hm^2	斑块 总数量 NP/块	斑块密度 PD/(块· 100 hm^{-2})	最大斑块 指数 LPI	景观形状 指数 LSI	斑块面积 变异系数 AREA-CV/%	斑块 丰富度	Shannon 多样性指数 SHDI	Simpson 多样性指数 SIDI
	1 184 845	16 124	1.36	22.13	101.48	3 216.98	15	1.45	0.68

表 5 长沙市森林景观类型水平指数

Table 5 Forest landscape type index in Changsha

类型	类型面积 TA/ hm^2	类型比例 PLAND/%	斑块数量 NP/块	斑块密度 PD/(块· 100 hm^{-2})	最大斑块 指数 LPI/%	景观形状 指数 LSI	平均斑块面积 AREA-MN/ hm^2	斑块面积 变异系数 AREA-CV/%
公共城市森林	1 516.50	24.84	481	12.03	14.58	13.58	3.15	1 025.33
道路城市森林	88.90	1.46	1 250	4.35	0.02	35.45	0.07	125.98
附属城市森林	3 644.87	59.71	8 466	116.55	0.91	120.36	0.43	256.45
防护城市森林	216.39	3.54	139	19.97	14.73	56.25	1.56	645.21
生产城市森林	637.61	10.45	389	8.01	3.97	68.12	1.64	125.56

从平均斑块面积来说,各种类型城市森林的平均斑块面积较小,平均斑块面积最大的公共城市森林仅为 3.15 hm^2 ,但斑块面积的变异系数比较大,面积最大的公共城市森林为岳麓山,面积较小公共城市森林主要分布在社区公园。

3.3.2 长沙市森林景观的景观水平 长沙市城市森林景观的形状指数为114.85,高于长沙市城市景观的形状指数,表明构成长沙市森林景观的斑块形

状更加复杂;长沙市森林景观Shannon多样性指数为1.23(表6),从植物种类多样性^[15-16]来说,长沙市森林景观略低于长沙市城市景观的1.45。长沙市森林景观和长沙市土地景观的斑块面积变异系数均较大,但森林景观面积变异系数小于土地景观的面积变异系数,表明城市各种类型景观斑块的面积差异明显。

表6 长沙市森林景观水平指数

Table 6 Forest landscape index in Changsha

景观指数	景观总面积 TA/hm^2	斑块总数量 $NP/\text{块}$	斑块密度 $PD/(块 \cdot 100 \text{ hm}^{-2})$	最大斑块指数 LPI	景观形状指数 LSI	斑块面积变异系数 $AREA-CV/\%$	斑块丰富度 $\%$	Shannon多样性指数 $SHDI$	Simpson多样性指数 $SIDI$
	6 104.27	10 725	20.31	14.52	114.85	2 165.27	5	1.23	0.54

4 结论与讨论

选择高分辨率的遥感影像作为数据源,利用ArcGIS的空间处理和空间分析功能,选择景观结构指数进行森林景观结构分析,能够更直观地实现城市景观空间格局与结构的分析,为城市景观格局和结构的评价和优化提供理论依据。对长沙市城市景观的类型水平和景观水平分析结果表明,林地景观面积占研究区总面积的65.17%,最大斑块指数、斑块形状指数和平均斑块面积均显著高于其他类型景观,表明林地景观在研究区域内占绝对优势;耕地的斑块数量最多,存在较高的连通性,且空间形状复杂;草地与未利用地的斑块数量、斑块面积都比较小。因此,长沙市森林景观作为基底。结合城市森林景观分析,城市森林效应发挥不够,长沙市城市森林各类型景观斑块面积最大为附属城市森林,达到 $3 644.87 \text{ hm}^2$,其斑块数量明显也多于其他类型的城市森林,呈现极显著的优势。其余几种景观斑块面积大小依次为:附属城市森林>公共城市森林>生产城市森林>防护城市森林>道路城市森林,公共城市森林的斑块数量少,面积较大,附属城市森林斑块数量多,面积较大,斑块面积的变异系数也较大,且斑块破碎化程度高,连通性较低,多为小面积斑块。道路城市森林从斑块数量和斑块面积所占比重均较小。从景观水平分析,长沙市森林景观的形状指数为114.85,高于长沙市城市景观的形状指数101.28,表明构成长沙市总体景观的斑块形状更加复杂。

参考文献:

[1] 叶伟,吴荣良,赖日文,等.基于3S技术的森林城市景观结构分析[J].中南林业科技大学学报,2015,35(1):56-60.

- YE W,WU R L,LAI R W,*et al*. Analysis on forest city landscape structure based on geomatics technology[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2015,35(1):56-60. (in Chinese)
- [2] 鲁绍伟,陈吉虎,余新晓,等.华北土石山区不同林分结构与功能的研究[J].水土保持学报,2007,21(4):77-80.
- LU S W,CHEN J H,YU X X,*et al*. Studys on configuration and function of forests in rocky mountain area of northern China[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2007,21(4):77-80. (in Chinese)
- [3] ALARIO M. Science,democracy, and the politics of urban ecosystemmanagement:ecosystem restoration as green urbanizing policy[J]. International Journal of Contemporary Sociology,2005,37(1):51-65.
- [4] 龚直文,亢新刚,顾丽,等.天然林林分结构研究方法综述[J].浙江林学院学报,2009,26(3):434-443.
- GONG Z W,KANG X G,GU L,*et al*. Research method on natural forest stand structure :a review[J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2009,26(3):434-443. (in Chinese)
- [5] 董灵波,刘兆刚,李凤日.大兴安岭盘古林场森林景观的空间分布格局及其关联性[J].林业科学,2015,51(7):28-35.
- DONG L B,LIU Z G,LI F R,Spatial point patterns and associations of forest landscapes in Pangu forest farm in Daxing'an Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae,2015,51(7):28-35. (in Chinese)
- [6] 胡美娟,侯国林,周年兴,等.庐山森林景观空间分布格局及多尺度特征[J].生态学报,2015,35(16):5294-5304.
- HU M J,HOU G L,ZHOU N X,*et al*. Spatial distribution patterns and multi-scale features of the Lushan forest landscape [J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(16):5294-5305. (in Chinese)
- [7] 申依宁,弓弼,贾浩洋,等.杨凌区城镇景观格局动态变化分析[J].西北林学院学报,2016,31(4):319-324.
- SHEN Y N,GONG B,JIA H Y,*et al*. Analysis on the dynamic changes of landscape pattern in Yangling[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(4):319-324. (in Chinese)
- [8] 周亚东,周兆德.基于GIS与Fragstats的海南岛森林景观格局研究[J].中南林业科技大学学报,2015,35(5):78-82.

- ZHOU Y D, ZHOU Z D. Study on forest landscape patterns based on GIS and Fragstats in Hainan Province[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2015, 35(5):78-82. (in Chinese)
- [9] 华昇. 基于 GIS 的长沙市景观格局分析与优化研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [10] 张克荣, 刘应迪, 朱晓文, 等. 长沙岳麓山马尾松林的群落类型划分及物种多样性分析[J]. 林业科学, 2011, 47(4):86-93.
- ZHANG K R, LIU Y D, ZHU X W, et al. Community types and species diversity of *Pinus massoniana* forests of Yuelu Mountain, Changsha[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(4): 86-93. (in Chinese)
- [11] 黄宗胜, 彭重华, 王建兵. 岳麓山风景名胜区枫香群落研究[J]. 湖南林业科技, 2005(3):24-26.
- HUANG Z S, PENG Z H, WANG J B, et al. Research on the *Liquidambar formosana* communities in landscape resort of Yuelu Mountain[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2005(3):24-26. (in Chinese)
- [12] 邢元军, 徐金铎. 长沙市边缘区城市森林景观格局梯度分析[J]. 中南林业调查规划, 2012, 31(4):22-27.
- XING Y J, XU J D. Gradient analysis of urban forest landscape in urban fringe area of Changsha City[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2012, 31(4):22-27. (in Chinese)
- [13] 罗贵斌. 汉中市中心城区常绿行道树综合评价[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2):302-308.
- LUO G B. Comprehensive evaluation of the evergreen street trees planted in the downtown of Hangzhong City[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2):302-308. (in Chinese)
- [14] 陈尧, 蒋文伟, 陈闪, 等. 基于 RS 和 GIS 城镇生态脆弱性评价研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6):242-249.
- CHEN Y, JIANG W W, CHEN S, et al. Ecological vulnerability of towns: a case study of longshan township in Cixi, China [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 242-249. (in Chinese)
- [15] 彭羽, 刘雪华. 城市化对植物多样性影响的研究进展[J]. 生物多样性, 2007, 15(5):558-562.
- PENG Y, LIU X H. Research progress in effects of urbanization on plant biodiversity[J]. Biodiversity Science, 2007, 15(5):558-562. (in Chinese)
- [16] 陈建忠, 龚辉, 刘剑斌, 等. 福建北部邓恩桉林分植物多样性的特征[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6):76-80.
- CHEN J Z, GONG H, LIU J B, et al. Characteristics of plant diversity of *Eucalyptus dunnii* stand in northern Fujian[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 76-80. (in Chinese)
- [17] 付晖, 付广. 基于 GIS 的海口市绿地适宜性评价研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4):291-297.
- FU H, FU G. Land suitability evaluation of urban green space based on GIS in Haikou[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4):291-297. (in Chinese)

(上接第 123 页)

- [12] LOQUÉ D, VON W N. Regulatory levels for the transport of ammonium in plant roots[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(401):1293-1305.
- [13] YUAN L, LOQUÉ D, KOJIMA S, et al. The organization of high-affinity ammonium uptake in arabidopsis roots depends on the spatial arrangement and biochemical properties of AMT1-type transporters[J]. The Plant Cell, 2007, 19(8): 2636-2652.
- [14] RIOS-GONZALEZ K, ERDEI L, LIPS S H. The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources[J]. Plant Science, 2002, 162(6):923-930.
- [15] 袁秀平, 张存旭. 不同因素对红王子锦带愈伤组织诱导的影响[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(4):80-82.
- YUAN X P, ZHANG C X. Influence of different factors on callus induction of *Weigela florida* cv. 'red-prince'[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(4):80-82. (in Chinese)
- [16] 孟强, 董丽芬, 邵崇斌. 长俊木瓜组培苗叶片数及外源激素对生根影响的研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1):67-69.
- MENG Q, DONG L F, SHAO C B. A Study on the effects of NAA, IBA and the number of leaves on the rooting of *Chaenomeles speciosa*[J]. Journal Of Northwest Forestry University, 2007, 22(1):67-69. (in Chinese)