

张超, 吴群, 彭建超, 等. 城市绿地生态系统服务价值估算及功能评价——以南京市为例[J]. 生态科学, 2019, 38(4): 142–149.
ZHANG Chao, WU Qun, PENG Jianchao, et al. Calculation of the value and evaluation of the function for ecosystem services of urban green space: a case study in Nanjing[J]. Ecological Science, 2019, 38(4): 142–149.

城市绿地生态系统服务价值估算及功能评价——以南京市为例

张超^{1,2}, 吴群^{1,2,*}, 彭建超^{1,2}, 王锋³, 刘柄麟⁴, 周文静^{1,2}

1. 南京农业大学不动产研究中心, 南京 210095
2. 南京农业大学公共管理学院, 南京 210095
3. 哈尔滨工业大学(深圳)土木与环境工程学院, 深圳 518055
4. 南京大学, 中国南海研究协同与创新中心, 南京 210023

【摘要】城市绿地作为城市复合生态系统的重要组成部分, 拥有巨大的生态系统服务价值, 对改善城市环境、促进人体健康、维持生态稳定具有重要作用。以南京市为例, 在统计该市绿地面积的基础上, 根据生态经济学原理和方法, 对该市 2006—2015 各年度的城市绿地生态系统服务价值进行了估算, 并采用全排列多边形图示法对该市绿地生态系统服务功能进行评价。结果表明: (1)就南京市绿地系统的生态服务总价值而言, 2006—2015 年该市绿地系统的生态服务总价值总体呈上升趋势, 由 2006 年的 125.2144 亿元上涨到 2015 年的 164.3537 亿元, 净增加了约 39.1392 亿元, 表明该市绿地系统的生态服务价值巨大, 且随时间的推移不断增值。(2)就南京市绿地系统的生态服务价值构成而言, 该市绿地系统各项生态服务价值历年均值由大到小依次为: 降温(调节气温)>涵养水源>释氧>固碳>减噪>滞尘>吸收氮氧化物>吸收二氧化硫。(3)就南京市绿地系统的生态服务功能而言, 该市绿地系统的生态服务功能由弱变强, 不断改善。通过本文研究, 可为该市绿地系统的科学规划提供理论依据。

关键词: 生态系统服务价值与功能; 城市绿地; 全排列多边形图示法; 南京市

doi:10.14108/j.cnki.1008-8873.2019.04.020 中图分类号: X196 文献标识码: A 文章编号: 1008-8873(2019)04-142-08

Calculation of the value and evaluation of the function for ecosystem services of urban green space: a case study in Nanjing

ZHANG Chao^{1,2}, WU Qun^{1,2,*}, PENG Jianchao^{1,2}, WANG Feng³, LIU Binglin⁴, ZHOU Wenjing^{1,2}

1. Real Estate Research Center, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China
2. School of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China
3. School of Civil and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China
4. Nanjing University, Collaborative Innovation Center for the South China Sea Studies, Nanjing 210023, China

Abstract: Urban green space plays an important role in urban compound ecological system, having great value of ecosystem services, beneficial to improving the urban environment, promoting human health and maintaining ecological stability. Based on the statistics of the city green space area, this paper taking Nanjing as an example, estimated the value of ecosystem services of urban green space from 2006 to 2015 according to the principle and the methods of ecological economics, and used the method of entire-array-polygon diagram to evaluate the function of the ecosystem services of urban green space. The results show that: (1) In terms of the total ecological service value of Nanjing green space, from 2006 to 2015, the total ecological service value of Nanjing green space was on the rise in general, rising from 12.52144 billion yuan (2006) to 16.43537 billion yuan (2015), and net value increased about 3.91392 billion yuan.

收稿日期: 2017-03-14; 修订日期: 2019-07-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“我国土地资源效率提升能力与系统建设研究——基于转变经济发展方式的视角”(71233004); 国家自然科学基金面上项目“‘后土地财政’制度环境下地方政府土地财税策略选择及其行为响应”(71673140)

作者简介: 张超(1993—), 男, 江苏省南京市人, 博士研究生, 主要研究方向为资源环境与可持续发展, E-mail: 1247555640@qq.com

***通信作者:** 吴群, 博士, 教授, 博导, 主要从事资源环境经济学、地价与不动产研究, Email: wuqun@njau.edu.cn

billion yuan, showing that the ecological service value of Nanjing green space was very high and on the rise over time. (2) In terms of the composition of ecological service value of Nanjing green space, average of various ecological service values were arranged as cooling (temperature reduction)>water conservation>oxygen releasing>carbon sequestration>noise reduction>dust detention>Nox absorption>SO₂ absorption. (3) In terms of the function of ecological service of Nanjing green space, the function of ecological service of Nanjing green space experienced the changing process from weak to strong, and the function gradually got better. Through this study, we can provide the theoretical basis for the scientific planning of the city green space system.

Key words: value and function of ecosystem services; urban green space; entire-array-polygon diagram method; Nanjing city

0 引言

随着城市化和工业化进程的不断加快,城市的社会经济得到了快速发展,与此同时也引发了一系列资源环境问题,尤其是近年来的大气污染、城市内涝、热岛效应等对人类的生产生活构成了严重威胁^[1]。作为长三角城市群重要一员的南京市,伴随持续多年的工业化城市化进程,其生态环境问题也日益显现。尤其是近年来房地产业的快速发展,使得该市建筑物逐年增加,绿色植被覆盖的下垫面日趋减少,打破了城市生态系统固有的平衡,导致该市雾霾事件频频发生、热岛效应愈发明显。城市生态环境的日趋恶化使人们更加清晰地意识到绿地生态系统在促进城市生态系统健康、优化城市生态系统结构、提高城市生态系统功能方面具有重要意义^[2]。城市绿地是城市复合生态系统的重要组成部分,在改善城市环境质量、促进人体健康发展、维持生态系统稳定等方面发挥着巨大作用,被誉为城市环境的“绿色卫士”^[3]。因此,正确认识和科学评价南京市绿地生态系统服务价值与功能是对该市绿地系统进行合理规划和有效管理的前提,也是该地创建生态文明城市、实现绿色发展的必要条件^[4]。而正确认识和科学评价该市绿地生态系统服务价值与功能的先决条件就是要深刻理解生态系统服务的内涵。

1 文献综述

生态系统服务这一概念,最早可追溯到上世纪70年代,由 Holden 和 Ehrlich 提出^[5]。

随后,越来越多的学者开始关注这一领域,对生态系统服务开展了相关研究。其中最具代表性的人物当属 Daily^[6]和 Robert Costanza^[7],1997年 Daily 主编的《自然的服务——社会对自然生态系统的依赖》的问世和 Costanza 撰写的《世界生态系统服务与自然资本的价值》的发表^[8],对生态系统服务的研究具有划时代意义,开创了生态服务价值研究的里程碑^[2],在全球范围掀起了研究热潮。此后,国内外

学者针对不同的生态系统选取不同的价值评估方法,对各生态系统的服务价值与功能做出评价。就城市绿地生态系统而言,国内外学者从不同的视角对城市绿地系统的生态服务价值与功能进行了监测与评价^[4]。McPherson 于上世纪90年代初根据绿地投入产出的时空变化评价了城市绿地生态系统的服务价值,为城市绿地的规划、建设、管理提供了重要的参考依据^[9];Zoulia 等人以雅典城市为例,监测评估了该市绿地系统对缓解城市热岛效应的作用^[10];Mitchell and Popham 认为城市绿地系统与人类身心健康密切相关,揭示了健康的城市绿地系统对人类机体活动和心理调节具有促进作用^[11]。Hamada 和 Ohta 则以日本名古屋为例,探究了城市绿地系统对该市的温度调节作用^[12]。我国学者在借鉴国外研究的基础上,对我国不同城市的绿地生态系统服务价值进行了估算。张文娟等人以兰州市为例,采用多种生态经济模型对该市绿地生态系统服务价值进行了估算,但未能系统考虑各类型生态服务产生的综合效应^[13];柳云龙等人综合运用多种生态经济研究方法对上海市绿地系统的生态服务价值进行了估算,也未能从系统角度综合评价各类型生态服务的整体功能^[14];张绪良等人从固碳释氧、滞尘减噪等多方面估算了青岛市绿地系统的环境净化服务价值,但就城市绿地系统各类型服务的整体功能未做进一步研究^[15];胡小飞和傅春则以南昌市为例,运用多种核算方法对该市绿地系统的生态调节服务价值进行了估算,也未能进一步综合评价该市绿地系统的整体服务功能^[4]。此外,还有一些学者对校园绿地系统^[16-17]、城市风景名胜区^[18-19]绿地系统开展了生态系统服务的相关研究。纵观上述研究,国内外学者为我们进行城市绿地生态价值测算与功能评估提供了较好的理论框架和价值评估方法,但根据估算方法测算的服务价值与实际价值存在偏差,或偏高或偏低,精确性不够。尽管如此,这些估算值还是可以较好地反映城市绿地生态系统服务功能的强弱。但今后在研究城市绿地生态系统服务时,要注重定性

与定量相结合,不能仅估算生态系统服务价值这一偏差较大的绝对量,而更应该在价值量测算的基础上通过一定的方法消除或减小绝对量偏差的干扰,使评价更具科学性。全排列多边形图示法对克服上述缺陷具有一定的优势,它从系统角度出发,综合评价各要素相互作用的整体效益,并通过定量的方法来定性描述系统功能的强弱。近年来该方法已应用于土地利用多功能性评价^[20-21]、土地集约利用评价^[22-24]、土地资源可持续利用评价^[25]等与土地评价相关的领域,但鲜见于生态系统服务的相关研究。

本文以南京市绿地生态系统为研究对象,在估算绿地系统不同类型生态服务价值的基础上,通过全排列多边形图示法对不同类型生态服务价值进行标准化,测算综合指数,并根据综合指数的大小来定性反映生态服务功能的强弱,有利于克服绝对量计算产生的偏差。本文的研究不仅填补了南京市绿地生态系统服务价值估算的空白,而且科学地揭示了该市绿地生态系统服务功能强弱的年际变化,还有利于督导该市合理地规划、建设和管理城市绿地系统,为该市生态构建、绿色发展提供了理论依据。

2 研究区概况

南京市地处长江中下游平原,位于东经 118°22′—119°14′,北纬 31°14′—32°37′,属亚热带季风气候,冬冷夏热,四季分明。该市坐落在江苏省西南部,市域面积约为 6597 km²。截至 2015 年,该市的建成区面积约为 755 km²,常住人口约为 823.59 万人,其中城镇人口约 670.4 万人,城镇人口比重高达 81.4%。该市的经济发展水平也遥遥领先,2015 年该市的地区生产总值高达 9720.77 亿元,位列全省第一,人均地区生产总值约为 11.82 万元,第三产业占比高达 57.32%,正向以服务业为主导的后工业化时代迈进。就园林绿化情况而言,该市的园林绿地面积由 2006 年的 74276 hm² 增长至 2015 年的 88910 hm²,年均增长约 1463.4 hm²,人均公园绿地面积由 2006 年的 13.2 m² 增长至 2015 年的 15.1 m²,净增长了约 1.9 m²,截至 2015 年,建成区绿化覆盖率高达 44.5%,接近国家生态园林城市创建标准(≥45%)。

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

本文选用的数据大部分来自《南京市统计年

鉴》^[26]和《江苏省统计年鉴》^[27],部分参数的选取参考了公开发表的文献资料^[28]。

3.2 研究方法

3.2.1 绿地系统生态服务指标体系构建

本文在选取指标时充分考虑数据的可得性、连续性和可用性,遵循科学、合理、可操作等原则,结合南京市的地域特点,借鉴国内外学者的研究成果,选取涵养水源、固定二氧化碳、释放氧气、吸收氮氧化物、吸收二氧化硫、滞尘、降温、减噪 8 个指标来构建绿地生态系统服务价值评估体系。本文先根据生态经济学原理和价值估算方法测算出 8 个指标的价值量,再运用全排列多边形图示法测算生态服务价值的综合指数,最后根据综合指数的大小定性评估绿地生态系统服务功能的强弱。

3.2.2 绿地系统生态服务价值估算

(1) 绿地系统涵养水源的价值

本文采用影子工程法对南京市绿地系统水源涵养价值进行估算,计算公式如下:

$$Y_w = A \times P \times \lambda \times F_w$$

式中: Y_w 为城市绿地涵养水源的价值; A 表示绿地的面积(hm²); P 为降水量(mm); λ 为涵水系数,有研究结果表明:我国林地年蒸散量占年降水量的 30%-80%,年平均蒸散量约为年降水量的 56%^[29],本文以此为参考,取 λ 为 44%; F_w 为水库单位库容造价,取 6.1107 yuan·m⁻³。

(2) 绿地系统固定 CO₂ 的价值

本文采用国际通用的碳税法对南京市绿地系统固碳价值进行估算,计算公式如下:

$$Y_c = A \times Q_c \times T_c$$

式中: Y_c 为城市绿地固碳价值; A 为绿地面积; Q_c 为单位绿地面积固碳量(t·hm⁻²),本文参考王骊鹞、刘振波的研究成果^[30],取 5.5015 t·hm⁻²; T_c 为碳税率(yuan·t⁻¹),本文采用得到较多国家环境经济学家认可的瑞典碳税率^[14],取值 150 \$·t⁻¹,但不同年份美元对人民币的汇率会有变动,因此在计算的过程中要进行折算。

(3) 绿地系统释放 O₂ 的价值

本文采用工业制氧影子价格法对南京市绿地系统的释氧价值进行估算,计算公式如下:

$$Y_o = A \times Q_o \times P_o$$

式中: Y_o 表示城市绿地释氧价值; A 为绿地面积; Q_o

为单位绿地面积释氧量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 本文参考王骊鹂、刘振波的研究成果^[30], 利用碳氧转化系数求得其值, 约为 $14.67 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_O 中国近年来平均工业制氧价格, 取值为 $700 \text{ yuan}\cdot\text{t}^{-1}$ ^[15]。

(4) 绿地系统吸收 NO_x 的价值

本文在估算绿地系统吸收 NO_x 的价值时采用恢复成本法, 计算公式如下:

$$Y_N = A \times Q_N \times P_N$$

式中: Y_N 表示城市绿地吸收 NO_x 的价值; A 为绿地面积; Q_N 为单位绿地面积吸收 NO_x 的量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 本文参照相关研究成果^[31], 取值为 $0.38 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_N 为 NO_x 的治理费用, 取值为 $630 \text{ yuan}\cdot\text{t}^{-1}$ ^[2]。

(5) 绿地系统吸收 SO_2 的价值

本文在估算绿地系统吸收 SO_2 的价值时也采用恢复成本法, 计算公式如下:

$$Y_S = A \times Q_S \times P_S$$

式中: Y_S 表示城市绿地吸收 SO_2 的价值; A 为绿地面积; Q_S 为单位绿地面积吸收 SO_2 的量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 本文参考相关文献^[4], 根据阔叶林对 SO_2 的吸收量进行估算, 取值为 $88.65 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_S 为 SO_2 的治理费用, 取值 $1200 \text{ yuan}\cdot\text{t}^{-1}$ ^[2]。

(6) 绿地系统滞尘的价值

本文在估算绿地系统的滞尘价值时同样采用恢复成本法, 计算公式如下:

$$Y_D = A \times Q_D \times P_D$$

式中: Y_D 表示城市绿地滞尘的价值; A 为绿地面积; Q_D 为单位绿地面积滞尘量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 本文参考相关文献^[32], 根据阔叶林滞尘的平均能力进行估算, 取值为 $10.11 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_D 为除尘费用, 本文用工业削减粉尘费用进行估算, 取值为 $170 \text{ yuan}\cdot\text{t}^{-1}$ ^[2]。

(7) 绿地系统降温的价值

根据国内外相关研究测定, 每公顷绿地在夏天平均每日可从环境中吸热 81.8 MJ , 相当于 189 台空调全天工作的制冷效果^[33]。因此, 本文将空调器作为城市绿地降温功能的替代物, 测算空调器降低同样温度的耗电费, 以此作为城市绿地系统的降温价值^[19]。其计算公式如下:

$$Y_M = A \times D_M \times M \times G \times P_G \times 24$$

式中: Y_M 表示城市绿地降温的价值; A 为绿地面积; D_M 为降温天数, 本文取 60 d ^[19]; M 为单位面积空调的数量; G 为空调的功率(kW), 本文参照相关资料^[33], 取 0.86 kW ; P_G 表示电价, 本文选取南京市近十年的

电价平均值 $0.5 \text{ yuan}\cdot\text{kWh}^{-1}$ 。

(8) 绿地系统减噪的价值

绿地系统在减弱城市噪音方面作用巨大, 能为城市居民创造良好的生活环境^[34]。本文在估算绿地系统减噪价值时采用目前运用较多的造林成本法, 绿地系统的减噪价值以造林成本的 15%计^[15], 计算公式如下:

$$Y_J = A \times B \times C \times 0.15$$

式中: Y_J 表示城市绿地减噪的价值; A 为绿地面积; B 为单位面积成熟林木材蓄积量, 值为 $80 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$; C 为中国平均造林成本, 值为 $240.03 \text{ yuan}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

3.2.3 绿地系统生态服务功能评估

本文在绿地系统生态服务价值测算的基础上, 运用全排列多边形图示法对城市绿地系统的生态服务功能进行评估。全排列多边形图示法有其自身的优点: 该方法既能表征单项指标, 又能表征综合指标; 既有直观图示, 又有数值表示; 只需确定最大值、最小值和临界值而无需考虑权重系数的确定^[2]。其基本原理是将各个分指标进行标准化后的值按不同的排列方式进行首尾相连, 组成多个不规则的多边形, 求出多个不规则多边形的平均面积, 然后将平均面积与标准多边形(正多边形)的面积作比, 最后根据比值的大小来划分等级进行评价^[35-37]。

首先, 对估算的 8 类生态服务价值进行标准化, 其计算公式如下:

$$S_i = \frac{(U_i - L_i)(x_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2T_i)x + U_iT_i + L_iT_i - 2U_iL_i}$$

式中: S_i 表示第 i 项生态服务价值经标准化的数值, 依照全排列多边形的原理, 其值所属区间为 $[-1, 1]$; U_i 、 L_i 和 T_i 分别表示第 i 项生态服务价值的最大值、最小值和临界值, 本文的临界值取评价对象的均值; X_i 为某年第 i 项生态服务的实际价值。

各指标经标准化后, 进行生态服务价值综合指数的计算, 其公式如下:

$$S = \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(S_i + 1)][S_j + 1], i \neq j$$

式中: S_i 和 S_j 分别代表第 i 和第 j 个分项指标指数; S 为各分项指标的综合指数, 这一综合指数结合了各个分项指标能全方位地评估城市绿地系统生态服务功能的强弱^[2]; n 为指标个数, 本文取 8。

依据全排列多边形图示法的原理, 可知 S 的取值在 $[0, 1]$ 之间, 且 S 值越大越好, 我们参照相关研

究成果^[38], 将S值划分为4个等级, 对城市绿地生态服务功能做出定性评价, 如表1所示:

4 结果与分析

4.1 南京市绿地系统生态服务价值

本文根据上述价值评估方法计算了 2006——2015 年南京市绿地系统的生态服务价值, 其结果见表2:

表2 2006—2015 年南京市绿地系统生态服务实际价值(单位: 亿元)

Table 2 Ecological service value of urban green space system in Nanjing from 2006 to 2015 (Unit: 0.1 billion yuan)

年份	涵养水源	固碳	释氧价值	吸收氮氧化物	吸收二氧化硫	滞尘	降温	减噪	生态服务总价值
2006	22.1035	4.8864	7.6274	0.1778	0.0790	1.2766	86.9243	2.1394	125.2144
2007	21.7712	4.7447	7.7646	0.1810	0.0804	1.2995	88.4878	2.1779	126.5072
2008	20.0064	4.3739	7.8370	0.1827	0.0812	1.3117	89.3129	2.1982	125.3039
2009	27.6926	4.2582	7.7570	0.1808	0.0804	1.2983	88.4012	2.1758	131.8442
2010	26.9112	4.3067	7.9161	0.1845	0.0820	1.3249	90.2140	2.2204	133.1598
2011	23.3909	4.3055	8.2950	0.1934	0.0859	1.3883	94.5324	2.3267	134.5181
2012	20.3691	4.3030	8.4819	0.1977	0.0879	1.4196	96.6623	2.3791	133.9006
2013	20.8019	4.4011	8.8434	0.2062	0.0916	1.4801	100.7817	2.4805	139.0864
2014	25.8364	4.5183	9.0438	0.2108	0.0937	1.5136	103.0661	2.5367	146.8194
2015	42.2072	4.5695	9.1302	0.2129	0.0946	1.5281	104.0503	2.5609	164.3537

根据表2, 可以得知: 2006—2015 年南京市绿地系统的生态服务总价值整体上呈上升趋势, 由2006年的125.2144 亿元上涨到2015 年的164.3537 亿元, 净增加了约39.1392 亿元, 年均增幅近4 亿元, 年均增长率约为3.14%, 表明南京市绿地系统的生态服务价值巨大, 且随时间的推移不断增值; 就不同的阶段而言, 2012 年之前, 该市绿地系统的生态服务价值增长较为缓慢, 自2006 至2012 年, 总价值仅增加了8.6861 亿元, 平

表1 城市绿地生态服务功能等级划分标准

Table 1 Classifying criterion for ecosystem services of urban green space

S 取值范围	等级划分	城市绿地生态服务功能
[0,0.25]	4	弱
[0.25,0.50]	3	一般
[0.50,0.75]	2	较强
[0.75,1.0]	1	强

均每年增长不到1.5 亿元, 而2012 到2015 年, 总价值就增加了30.4531 亿元, 平均每年增长高达10.15 亿元, 该阶段的增加值约为上阶段的7 倍, 表明自十八大以来, 南京市积极响应中央号召, 全面推行生态文明建设, 不断加强城市绿地建设, 成果颇为显著。

为了直观表达历年来南京市绿地系统各项生态服务价值所占的比重, 可根据表2 数据绘制百分比堆积柱形图, 如图1 所示:

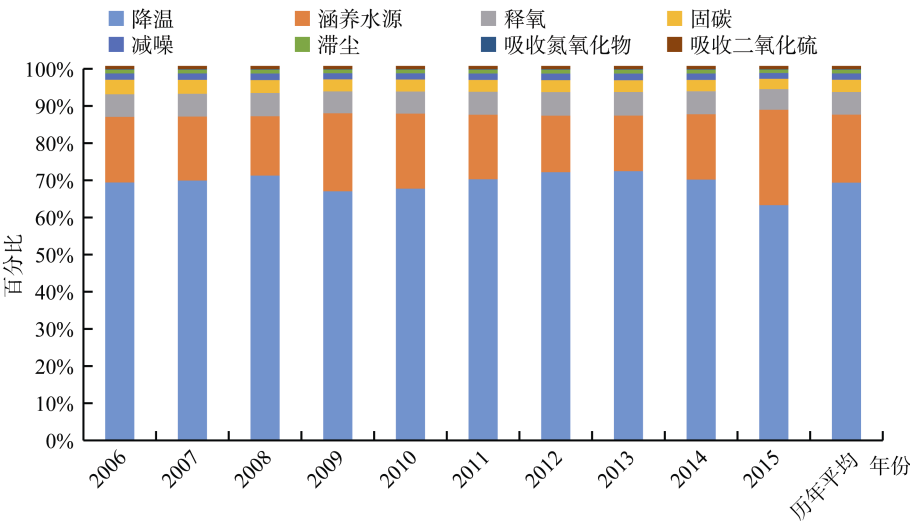


图1 2006—2015 年南京市绿地系统各项生态服务价值构成

Figure 1 The composition of ecological service value of urban green space system in Nanjing from 2006 to 2015

根据图 1, 可以清晰地发现: 就同一年份各项生态服务价值构成而言, 南京市绿地系统的降温(调节温度)的价值所占比重最大, 其次是涵养水源的价值占比, 再次是释氧价值占比, 这三项价值占比已超 90%, 余下各项生态服务价值占比不到 10%; 就不同年份各项生态服务价值比重的变化而言, 2006—2015 年该市绿地系统各项生态服务价值的占比变化并不显著, 比值相对稳定; 就南京市绿地系统各项生态服务价值占比的历年平均值而言, 其值由大到小依次为: 降温(调节气温)>涵养水源>释氧>固碳>减噪>滞尘>吸收氮氧化物>吸收二氧化硫。综上分析, 可以发现南京市绿地系统的生态服务总价值主要体现在降温、涵养水源和释氧三个方面, 相较固碳释氧价值而言, 城市绿地的降温和涵养水源作用具有空间的不可移动性, 对所在地生态系统影响巨大, 经估算我们发现南京市的降温和涵养水源价值巨大, 它们在减轻城市热岛效应、保育水土、调节微气候等方面发挥着巨大的作用, 对南京市生态环境的改善和人体健康的保障具有重要意义。

4.2 南京市绿地系统生态服务功能

本文根据南京市绿地系统各项生态服务价值的估算结果, 采用全排列多边形图示法表征绿地系统生态服务的各分项指数, 进而测算出该市绿地系统的生态服务综合指数, 其结果见图 2 和图 3。

根据图 2, 可以得知: 就南京市绿地系统生态服务价值的分项指数而言, 固碳指数和涵养水源指数忽高忽低, 年际波动较大, 究其原因主要是固碳价值的估算受不同年份的汇率变动影响较大, 而涵养水源的价值则与不同年份的降水量多少有关; 除固

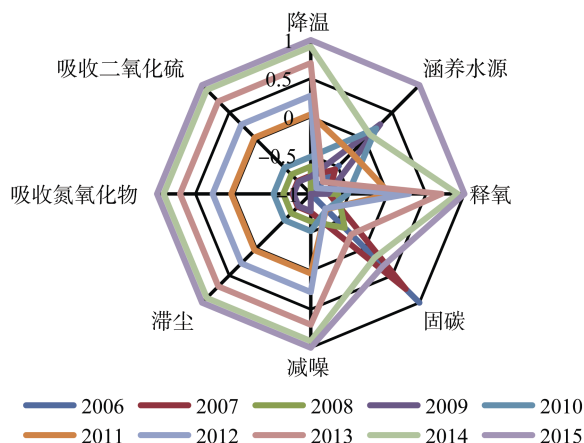


图 2 2006—2015 年南京市绿地系统生态服务价值分项指数
Figure 2 Each individual index of the ecological service value of urban green space system from 2006 to 2015

碳指数和涵养水源指数外, 其余分项指数均呈逐年递增态势, 表明这些分项生态服务功能正不断趋好增强; 就分项指数首尾连接围成的面积大小而言, 多边形的面积呈逐年扩大的态势, 这表明各分项生态服务功能形成的综合服务功能在不断趋好增强。

根据图 3, 可以清晰地发现: 就南京市绿地系统生态服务综合指数的动态变化趋势而言, 2006—2015 年南京市绿地系统生态服务综合指数总体呈上升态势, 其值由 2006 年的 0.009 增至 2015 年的 0.916, 表明南京市绿地系统生态服务功能在不断增强, 对该市生态化建设与作用愈来愈大; 就不同的时间段而言, 南京市绿地系统生态服务综合指数的增幅也不同, 2006—2009 年综合指数的增幅微乎其微, 经 2007 年的微小增长后连续两年下跌, 至 2009 年综合指数仅为 0.022, 相比 2006 年仅提高了约

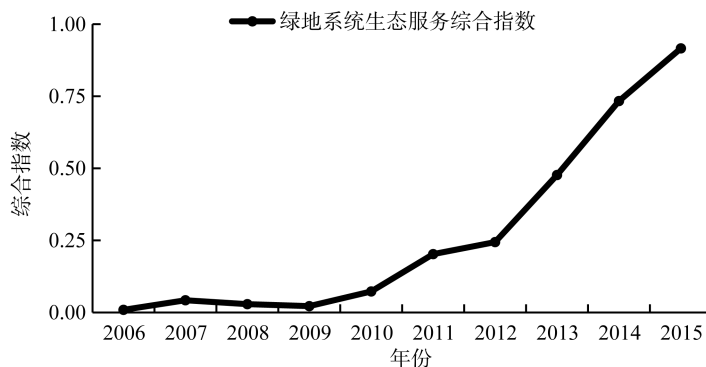


图 3 2006—2015 年南京市绿地系统生态服务综合指数

Figure 3 The comprehensive index of ecological service values from 2006 to 2015

0.013, 2009—2012 年综合指数的增幅较为明显, 由 2009 年的 0.022 增至 2012 年的 0.244, 增加了约 0.222, 增加量约为上一阶段 17.23 倍, 2012—2015 年综合指数的增幅最为显著, 由 2012 年的 0.244 跃升到 2015 年的 0.916, 增加了约 0.672, 增加量约为第一阶段的 52.13 倍、第二阶段的 3.03 倍。综上分析, 可以发现南京市自十八大以来, 积极贯彻生态文明理念, 不断加强城市绿地建设, 对城市绿地系统进行了合理地规划和科学地管理, 获得的成效十分显著。

本文根据综合指数测算的结果, 按照全排列多边形图示法的原理, 来定性评价该市绿地系统生态服务功能的强弱, 其结果见表 3。

根据表 3, 可以得知: 就南京市绿地系统的生态服务等级而言, 该市从 2006 至 2012 始终稳定在第 4 等级, 这种状态维持了 7 年, 但 2012 年后这种状态迅速被打破, 一年一级跳, 2013 年变为第 3 等级, 2014 年变为第 2 等级, 2015 年更是跃为第 1 等级; 就南京市绿地系统的生态服务功能而言, 类似于生态服务等级的变化特征, 经历了由弱到强的过程, 以 2012 年为分界点, 之前生态服务功能始终为弱, 而后迅速趋好、不断增强。综上分析, 南京市绿地系统的生态服务级别在不断提升, 生态服务功能在不断增强。

5 结论与讨论

本文在统计南京市绿地面积的基础上, 根据生态经济学原理和方法, 估算了该市 2006—2015 各年度的城市绿地生态系统服务价值, 并采用全排列多

边形图示法对该市绿地生态系统服务功能进行评价。一方面实现了该市绿地系统生态服务功能的货币化, 另一方面从系统的角度对各指标因子的综合效应做出了定性与定量相结合的评价, 具有一定的科学性和合理性, 为该市绿地系统的科学规划和有效管理提供了理论依据。通过本文研究, 可得出如下基本结论:

(1)就南京市绿地系统的生态服务总价值而言, 2006—2015 年该市绿地系统的生态服务总价值总体呈上升趋势, 由 2006 年的 125.2144 亿元上涨到 2015 年的 164.3537 亿元, 净增加了约 39.1392 亿元, 表明该市绿地系统的生态服务价值巨大, 且随时间的推移不断增值。

(2)就南京市绿地系统的生态服务价值构成而言, 该市绿地系统各项生态服务价值历年均值由大到小依次为: 降温(调节气温)>涵养水源>释氧>固碳>减噪>滞尘>吸收氮氧化物>吸收二氧化硫。

(3)就南京市绿地系统的生态服务功能而言, 该市绿地系统的生态服务功能由弱变强, 不断改善。

当然, 本文在构建评价指标体系时由于部分指标难以量化、相关数据缺失, 仅选择了 8 项指标来衡量城市绿地系统的生态服务价值与功能, 未对城市绿地的娱乐休闲、生物多样性保护、景观美学等生态服务价值进行估算。因此, 本文估算的南京市绿地系统生态服务总价值比实际绿地系统的生态服务总价值要低。此外, 本文在进行城市绿地系统生态服务功能评价时, 仅以各项生态服务价值为基础, 今后还需从城市绿地的类型、结构、空间布局等多角度综合评价, 这样的评价结果会更加客观真实。相比前人对城市绿地生态系统的研究, 本文在估算绿地系统各类型生态服务价值后又从系统角度运用全排列多边形图示法综合评价各类型生态服务的整体功能, 实现了整体与部分的有机结合, 对其他城市绿地系统的生态服务功能综合评价具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 刘柄麟, 张超. 城市能源消耗碳足迹研究述评[J]. 绿色科技, 2016, 12: 68–69.
- [2] 段彦博, 雷雅凯, 吴宝军, 彭丹丹, 田国行. 郑州市绿地系统生态服务价值评价及动态研究[J]. 生态科学, 2016, 35(2): 81–88.
- [3] 赵煜, 赵千钧, 崔胜辉, 等. 城市森林生态服务价值评估

表 3 南京市绿地生态服务功能等级划分

Table 3 Classifying the function of ecosystem services of urban green space in Nanjing

年份	生态服务价值综合指数	生态服务等级	生态服务功能
2006	0.009	4	弱
2007	0.042	4	弱
2008	0.029	4	弱
2009	0.022	4	弱
2010	0.073	4	弱
2011	0.202	4	弱
2012	0.244	4	弱
2013	0.477	3	一般
2014	0.733	2	较强
2015	0.916	1	强

- 研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6723–6732.
- [4] 胡小飞, 傅春. 南昌城市绿地系统生态调节服务功能价值动态分析[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(1): 230–237.
- [5] HOLDEN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment[J]. American Scientist, 1974, 62(3): 282–297.
- [6] DAILY G C. Nature's service: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [7] COSTANZA R, ARGE R D, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253–260.
- [8] 荆克晶, 鞠美庭. 对长春市绿地生态系统服务价值的探讨分析[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2005, 35(6): 13–17.
- [9] MCPHERSON E G. Accounting for benefits and costs of urban greenspace[J]. Landscape & Urban Planning, 1992, 22(1): 41–51.
- [10] ZOULIA I, SANTAMOURIS M, DIMOUDI A. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 156(1-4): 275–292.
- [11] MITCHELL R, POPHAM F. Effect of exposure to natural environment on health inequalities: An observational population study[J]. The Lancet, 2008, 372(9650): 1655–1660.
- [12] HAMADA S, OHTA T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(1): 15–24.
- [13] 张文娟, 张峰, 严昭, 等. 兰州市绿地生态价值的初步分析[J]. 草业科学, 2006, 23(11): 98–102.
- [14] 柳云龙, 朱建青, 施振香, 等. 上海城市绿地净化服务功能及其价值评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(5): 28–32.
- [15] 张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等. 青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2576–2584.
- [16] 冯悦怡, 李恩敬, 张力小. 校园绿地夏季小气候效应分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(5): 812–818.
- [17] 徐华清, 杨水平, 陈玉碧, 等. 城市绿地生态服务功能价值评估——以北京林业大学为例[J]. 宁夏农林科技, 2014, 55(02): 48–51.
- [18] 刘娇妹, 李树华, 杨志峰. 北京公园绿地夏季温湿效应[J]. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1972–1978.
- [19] 陈波, 卢山. 杭州西湖风景区绿地生态服务功能价值评估[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(6): 686–690.
- [20] 张路路, 郑新奇, 原智远, 等. 基于全排列多边形综合图示法的唐山市土地利用多功能性评价[J]. 中国土地科学, 2016, 30(06): 23–32.
- [21] 张路路, 郑新奇, 蔡玉梅, 等. 基于全排列多边形图示指标法的湖南省土地多功能性评价[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 298–303.
- [22] 周伟, 曹银贵, 乔陆印. 基于全排列多边形图示指标法的西宁市土地集约利用评价[J]. 中国土地科学, 2012, 26(04): 84–90.
- [23] 程龙, 董捷. 基于全排列多边形综合图示指标法的武汉城市圈土地集约利用评价[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 183–187.
- [24] 张禾裕, 张建勇, 陈亚凯, 等. 基于 GIS 与全排列多边形的长沙市土地节约集约利用评价[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(8): 1943–1948.
- [25] 余光英, 员开奇. 基于两型社会建设的武汉城市圈土地可持续利用评价[J]. 国土资源科技管理, 2013, 30(5): 46–52.
- [26] 2007-2015 年南京市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社.
- [27] 2007-2016 年江苏省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社.
- [28] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721—2008)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [29] 毛文永, 自选宏, 李忠. 资源环境常用数据手册[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [30] 王骊鹂, 刘振波. 江苏省植被净初级生产力时空分布格局研究[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2012, 4(4): 321–325.
- [31] 彭建, 王仰麟, 陈燕飞, 等. 城市生态系统服务功能价值评估初探——以深圳市为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2005, 41(4): 594–604.
- [32] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607–613.
- [33] 王如松, 胡聃, 王祥荣, 等. 城市生态服务[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [34] 肖滋民, 王立华, 郝亮, 等. 潍坊市城市绿地生态系统环境净化服务价值研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19): 3929–3933.
- [35] 吴琼, 王如松, 李宏卿. 生态城市指标体系与评价方法[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2090–2095.
- [36] 龚艳冰, 张继国, 梁雪春. 基于全排列多边形综合图示法的水质评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 26–31.
- [37] 乔艳丽, 王振兴, 王烨. 全排列多边形图示指标法区域能效评价[J]. 煤气与热力, 2015, 35(4): 24–29.
- [38] 李锋, 王如松. 城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究——以扬州市为例[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1929–1936.