

DOI: 10.5846/stxb201801180132

黄龙生,王兵,牛香,宋庆丰.济南市森林生态系统服务功能空间格局研究.生态学报,2019,39(17): - .

Huang L S, Wang B, Niu X, Song Q F. Spatial pattern of the ecosystem service function of forests in Ji'nan City. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): - .

济南市森林生态系统服务功能空间格局研究

黄龙生,王兵,牛香*,宋庆丰

中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,国家林业局森林生态环境重点实验室,北京 100091

北京林果业生态环境功能提升协同创新中心,北京 102206

摘要:森林生态系统服务同人类福祉密不可分,日益成为全球经济的重要组成部分。依据《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008),以济南市森林生态系统为研究对象,对济南市森林生态系统服务功能进行量化评估,得出济南市年森林生态系统涵养水源、保育土壤、固碳释氧、林木积累营养物质、净化大气环境、森林防护、生物多样性保护、森林游憩的价值为264.41亿元,其中涵养水源、固碳释氧、生物多样性保护排在前3位;各区/县年森林生态系统服务功能价值量排序为:历城区>长清区>章丘市>平阴县>商河县>济阳县>市中区>天桥区>历下区>槐荫区;除森林防护功能以外,其他各项森林生态系统服务功能价值量的空间格局分布大体上均呈现南部>北部>中部的趋势。

关键词:森林生态系统;服务功能;空间格局;济南市

Spatial pattern of the ecosystem service function of forests in Ji'nan City

HUANG Longsheng, WANG Bing, NIU Xiang*, SONG Qingfeng

Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with Forestry and Fruit Trees, Beijing 102206, China

Abstract: The ecosystem services of forests are closely related to human welfare and have become an important component of the global economy. In this study, we estimated the ecological benefits of forests in Ji'nan, according to the assessment standards of the People's Republic of China (LY/T1721—2008 Specifications for assessment of forest ecosystem service in China). We concluded that the forest ecosystem in Ji'nan has an annual value of 26.44 billion yuan for water conservation, soil conservation, carbon fixation and oxygen release, nutrient accumulation, purification of atmospheric environment, biodiversity conservation, forest protection, and forest recreation. Among these, water conservation, carbon fixation and oxygen release, and biodiversity conservation were ranked as the top three most valuable services. The value of forest ecosystem services in different counties could be ordered as follows: Licheng > Changqing > Zhangqiu > Pingyin > Shanghe > Jiyang > Shizhong > Tianqiao > Lixia > Huaiyin. In addition to the forest protection function, the spatial pattern distribution of the value of other forest ecosystem services generally shows the following trend: Southern part > Northern part > Central part.

Key Words: forest ecosystem; service function; spatial pattern; Ji'nan City

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFC0503804);中国森林核算及纳入绿色经济评价研究(2018-R28);科技创新服务能力建设-协同创新中心-林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心)(市级)(PXM2018_014207_000024)

收稿日期:2018-01-18; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: niuxiang@caf.ac.cn

生态系统功能涉及生态系统的生境、生物或系统性质或过程,而生态系统服务功能则代表人类直接或间接从生态系统功能中获得的好处^[1-2]。作为陆地生态系统的重要组成部分,森林在为社会和地球的生命支持系统提供多样化(如生物多样性、固碳、水和木材)的生态系统服务和产品等方面起着不可替代的作用^[3-5]。因此,森林生态系统服务功能有助于人类福祉,是全球总经济价值的重要组成部分。

随着可持续发展观念的不断深入,人们日益发现生态系统服务功能对于可持续发展的重要性,且评估生态系统服务功能已成为当前研究的热点问题^[6-8]。自 Costanza 等^[1]联合世界上 13 位科学家率先评估了全球生物圈生态系统服务价值而引起学术界巨大反响以后,国外学者相继在不同尺度上对生态系统服务展开研究。2005 年,千年生态系统评估(MA)工作组就全球以及 33 个区域等尺度上对生态系统与人类福祉的关系进行了研究^[9]。随后的几年中,人们则更多的是关注生态系统服务的空间异质性以及与社会经济的关联性^[10-12]。我国生态系统服务功能及价值研究萌芽于 20 世纪 80 年代^[13],该阶段研究主要围绕的是森林资源价值核算及综合效益评价等^[14-15]。进入 90 年代以后,相关学者对森林环境资源进行了定义和分类,并对其价值评价,认为要建立完善的森林环境资源实物量及价值量核算方法体系,进而纳入国民经济核算体系之中^[16]。随后,受到 Costanza 等论文的启发,我国学者逐步引入生态系统服务功能的概念、理论及研究方法,并对我国生态系统服务价值展开探索性研究^[17-21]。进入 21 世纪后,在我国生态系统服务在理论及方法上得到广泛的认知并应用到不同尺度不同类型的生态服务功能研究,同时一些评估模型也逐渐应用到对应的研究领域,并且将生态系统服务理论与方法同其他研究方向进行融合的思想也慢慢得到实践^[22-24,13]。

济南市北部为黄河冲击平原,南部背靠泰山北麓,中部主要为城市生活区,其森林资源主要由平原生态防护林、山区水源涵养林和城市森林所构成。开展济南市森林生态系统服务功能空间格局研究,对济南市平原森林、山地森林及城市森林的生态服务功能评价和生态安全评估,明确不同区域森林生态系统服务功能的强弱分布,探索济南市森林生态系统服务功能空间格局分布特征具有重大现实意义。因此,本文以济南市森林植被为研究对象,依托济南市周边的森林生态站,依据林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)(国家林业局,2008)(以下简称“规范”)开展济南市森林生态系统服务功能研究。以期为科学开展生态环境保护及制定相关社会经济发展政策提供重要科学依据,从而促进济南市乃至山东省生态环境的改善和可持续发展。

1 研究区概况

济南市地处山东省西北部($E116^{\circ}11'—117^{\circ}44'$, $N36^{\circ}2'—37^{\circ}31'$),地势南高北低,由南向北依次为南部低山丘陵区、中部山前平原区、北部黄河冲击平原区。该区海拔最高 988.8 米,位于长清区摩天岭。受胶东丘陵以及鲁中南山地丘陵阻挡,海洋性气候不明显,属于暖温带半湿润季风型气候,年平均气温 14.1°C ,无霜期在 190—235d 之间,年日照时数 2490—2730h,多年平均降水量在 585—800mm,降雨集中在 6—9 月。土壤发育受生物和气候条件影响,地带性规律明显,主要以棕壤、褐土、潮土、风沙土等为主。济南市森林植被以人工林占绝大多数,天然林分布较少,森林面积约 24.46 万 hm^2 。主要树种有侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carrière)、麻栎(*Quercus acutissima* Carruth.)、白杨(*Populus alba*)、黑杨(*Populus nigra*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、泡桐(*Paulownia*)等^[25]。

2 研究方法

2.1 森林资源数据来源

本研究森林资源数据来自 2015 年济南市林业局发布的森林资源二类调查数据。根据济南市周边的泰山和黄河三角洲森林生态站长期、连续及定位观测数据集和第八次山东省森林资源生态服务功能评估,将济南市按照其行政区划分为:历下区、市中区、槐荫区、天桥区、历城区、长清区、章丘市、平阴县、济阳县和商河县等 10 个区/县,每个区/县按照森林资源统计结果,划分为柏类(侧柏)、落叶松、松类(油松、黑松)、栎类(麻栎)、

刺槐、白杨、黑杨、泡桐、落叶松、其他软阔类、经济林和灌木 12 个林种。以各林种为基本测算单元,分别测算出各区/县的森林生态系统服务功能,进而统计出整个济南市的森林生态系统服务功能。

2.2 指标选取及测算公式

本研究依据《规范》,从森林生态系统涵养水源、保育土壤、固碳释氧、林木积累营养物质、净化大气环境、森林防护、森林游憩及生物多样性保护等 8 项功能开展测算研究。其中,生物多样性保护功能的评估计算在依据《规范》中 Shannon 指数法基础上,引入濒危指数体系、特有种指数体系和古树年龄指数体系^[26-28]进行修正,进而重新参照《森林生态系统生物多样性监测与评估规范》(TY/T2241—2014)进行计算。指标体系及相关计算公式详情参照[23,29-33]。此外,本研究还对济南市森林游憩功能进行了核算研究,采用林业旅游与休闲产值替代法进行核算。

2.3 物质量向价值量转化的社会公共数据来源

本研究中物质量换算价值量时运用的社会公共数据主要由我国权威机构所发布,并参照济南市物价局官网,以及中国森林资源核算研究和全国第八次森林生态系统服务功能评估的参数。主要数据如下:

1) 水库库容投资参照中华人民共和国审计署 2013 年第 23 号公告中三峡工程总投资,取值为 6.89 元/ m^3 ;水的净化费用参照济南市自来水现价,取值为 4.20 元/t。

2) 挖取土方费用参照济南市《人工定额济建标字[2015]1 号文》及《中华人民共和国水利部建筑工程预算定额》,取值为 46.20 元/ m^3 。

3) 磷酸二胺含 N 量、磷酸二胺含 P 量、氯化钾含 K 量参照化肥产品说明,分别取 16%、48% 和 55%。

4) 磷酸二胺化肥及氯化钾化肥价格参照济南市市物价局官网,分别取值 3160 元/t 和 2730 元/t;有机质价格参照中国供应商网取值 800 元/t。

5) 固碳价格,参照 2013 年瑞典碳税价格,贴现至 2015 年为 917.18 元/t。

6) 制造氧气价格,参照中国供应商网,取值 4826.67 元/t。

7) 负离子产生费用,根据企业生产的适用范围 30 平方米(房间高 3 米)、功率为 6 瓦、负离子浓度 1000000 个/ m^3 、使用寿命为 10 年、价格每个 65 元的 KLD-2000 型负离子发生器而推断获得,其中负离子寿命为 10 分钟;根据济南市物价局官方网站济南市电网销售电价,居民生活用电现行价格为 0.5469 元/千瓦时,计算得到取值 7.96 元/ 10^8 个。

8) 二氧化硫、氟化物、氮氧化物和降尘清理费用征收标准分别取值 1.26 元/kg、0.69 元/kg、0.63 元/kg 和 0.15 元/kg。

9) $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 造成健康危害经济损失,根据 David 等(2013)文章中每吨 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 所造成的 危害经济损失,分别取值 4665.12 元/kg 和 30.34 元/kg。

10) 草方格固沙成本,根据《草方格沙障固沙技术》和《沙坡头人工植被防护林体系防风固沙功能价值评价》取值为 23.67 元/t。

11) 生物多样性保护价值,根据 Shannon-Wiener 指数计算生物多样性保护价值,即:Shannon-Wiener 指数 <1 时, $S_{\text{生}}$ 为 3000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; $1 \leq \text{Shannon-Wiener 指数} < 2$, $S_{\text{生}}$ 为 5000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; $2 \leq \text{Shannon-Wiener 指数} < 3$, $S_{\text{生}}$ 为 10000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; $3 \leq \text{Shannon-Wiener 指数} < 4$, $S_{\text{生}}$ 为 20000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; $4 \leq \text{Shannon-Wiener 指数} < 5$, $S_{\text{生}}$ 为 30000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; $5 \leq \text{Shannon-Wiener 指数} < 6$, $S_{\text{生}}$ 为 40000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; Shannon-Wiener 指数 ≥ 6 时, $S_{\text{生}}$ 为 50000 元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。

3 结果与分析

3.1 济南市森林生态系统服务功能物质量测算结果

结合相关计算公式可测算出济南市森林生态系统服务功能物质量(表 1)。由表 1 可知,济南市森林生态系统年涵养水源量为 8.26 亿 m^3 ;年固土量为 1448.57 万 t;年固碳量为 76.81 万 t;年释氧量为 160.12 万 t;年

林木积累营养物质质量合计为 2.08 万 t; 年提供负氧离子 20.87×10^{24} 个, 年吸收二氧化硫量为 4340.61 万 kg, 年吸收氟化物 69.61 万 kg, 年吸收氮氧化物 192.97 万 kg; 年吸滞 TSP 635.40 万 t, 年滞纳 PM_{10} 1979.27t, 年滞纳 $PM_{2.5}$ 502.48t。从物质质量的测算结果可以看出, 济南市森林在维持其生态系统服务功能方面效果显著。

表 1 济南市各县/市辖区森林生态服务功能物质质量评估结果

Table 1 Physical of forest ecosystem services of the different counties in Ji'nan

区/县 County	$G_{\text{调}}$	$G_{\text{固土}}$	$G_{\text{固N}}$	$G_{\text{固P}}$	$G_{\text{固K}}$	$G_{\text{固M}}$	$G_{\text{固碳}}$	$G_{\text{释氧}}$	G_N
历下区	0.06	4.30	0.41	0.43	1.69	7.13	0.49	1.07	0.87
市中区	0.24	15.95	1.54	1.59	6.60	26.45	1.95	4.38	3.59
槐荫区	0.01	1.00	0.10	0.10	0.73	1.66	0.19	0.47	0.52
天桥区	0.07	5.85	0.56	0.59	5.19	9.70	1.36	3.36	3.57
历城区	2.33	407.81	81.82	15.13	60.11	882.56	17.13	32.57	30.18
长清区	1.97	317.51	57.66	12.04	36.6	671.35	15.02	29.58	28.03
章丘市	1.36	314.82	56.81	14.50	34.83	612.43	19.81	43.37	44.20
平阴县	0.78	183.70	37.37	7.55	28.30	406.48	8.43	17.63	16.51
济阳县	0.65	68.12	49.37	9.89	4.56	122.59	5.07	11.24	11.33
商河县	0.79	129.51	100.88	20.46	4.35	188.21	7.37	16.44	16.80
合计	8.26	1448.57	386.52	82.28	182.96	2928.56	76.81	160.12	155.60
区/县 County	G_P	G_K	$G_{\text{负离子}}$	G_{SO_2}	G_{HF}	G_{NO_x}	G_{TSP}	$G_{\text{PM}_{10}}$	$G_{\text{PM}_{2.5}}$
历下区	0.05	0.16	17.81	69.74	1.43	2.04	10.32	32.91	8.40
市中区	0.21	0.71	67.31	236.49	4.75	7.15	34.69	108.93	27.82
槐荫区	0.02	0.23	4.01	7.00	0.19	0.41	0.89	2.99	0.81
天桥区	0.19	1.15	25.76	35.62	0.60	2.39	4.13	13.26	3.65
历城区	1.84	9.22	573.77	1335.68	23.25	56.70	204.66	642.81	161.73
长清区	1.72	7.22	438.55	938.38	16.46	36.59	144.97	462.49	115.62
章丘市	2.50	13.83	394.05	704.25	9.92	34.42	100.94	341.49	86.24
平阴县	1.03	3.88	187.50	506.34	8.92	19.58	76.16	235.39	60.42
济阳县	0.68	2.85	164.56	222.52	1.72	14.76	25.96	60.33	16.37
商河县	0.99	4.36	213.66	284.60	2.36	18.95	32.70	78.66	21.42
合计	9.23	43.61	2086.99	4340.61	69.61	192.97	635.40	1979.27	502.48

$G_{\text{调}}$: 涵养水源, Water conservation ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); $G_{\text{固土}}$: 固土物质质量, Soil fixation (10^4 t/a); $G_{\text{固N}}$: 固氮物质质量, Nitrogen fixation (10^2 t/a); $G_{\text{固P}}$: 固磷物质质量, Phosphorus fixation (10^2 t/a); $G_{\text{固K}}$: 固钾物质质量, Kalium fixation (10^2 t/a); $G_{\text{固M}}$: 固定有机质物质质量, Organic matter fixation (10^2 t/a); $G_{\text{固碳}}$: 森林固碳物质质量, Carbon sequestration (10^4 t/a); $G_{\text{释氧}}$: 释放氧气物质质量, Oxygen release (10^4 t/a); G_N : 林木积累氮物质质量, Accumulation of nitrogen for forest (10^2 t/a); G_P : 林木积累磷物质质量, Accumulation of phosphorus for forest (10^2 t/a); G_K : 林木积累钾物质质量, Accumulation of kalium for forest (10^2 t/a); $G_{\text{负离子}}$: 提供负离子物质质量, Negative ion supply (10^{21} 个/a); G_{SO_2} : 吸收二氧化硫物质质量, Physical of absorption of SO_2 (10^4 kg/a); G_{HF} : 吸收氟化物物质质量, Physical of absorption of HF (10^4 kg/a); G_{NO_x} : 吸收氮氧化物物质质量, Physical of absorption of NO_x (10^4 kg/a); G_{TSP} : 吸滞 TSP 物质质量, Physical of absorption of TSP (10^4 t/a); $G_{\text{PM}_{10}}$: 滞纳 PM_{10} 物质质量, Physical of absorption of PM_{10} (t/a); $G_{\text{PM}_{2.5}}$: 滞纳 $PM_{2.5}$ 物质质量, Physical of absorption of $PM_{2.5}$ (t/a)

3.2 济南市森林生态系统服务功能物质质量空间格局特征

济南市森林年涵养水源量在 0.01—2.33 亿 m^3 , 年固土量在 1.00—407.81 万 t, 年保肥 (森林固 N、P、K、M) 量在 2.59—1039.62 $\times 10^2 \text{ t}$, 年固碳量在 0.19—19.81 万 t, 年林木积累营养物质质量在 0.77—60.53 $\times 10^2 \text{ t}$, 年提供负离子量在 4.01—573.77 $\times 10^{21}$ 个, 年吸滞 TSP 量在 0.89—204.66 亿 kg, 年滞纳 PM_{10} 量在 2.99—642.81 万 kg, 年滞纳 $PM_{2.5}$ 量在 0.81—161.73 万 kg。各项森林生态系统服务功能物质质量在 10 个区/县的空间格局分布总体趋势均为南部>北部>中部 (图 1a—i)。在历城区、长清区和章丘市的森林生态系统各项服务 (涵养水源、固土、保肥、固碳、林木积累营养物质、提供负离子、吸滞 TSP、滞纳 PM_{10} 、滞纳 $PM_{2.5}$) 功能物质质量均分别位列前三位, 而在天桥区、历下区和槐荫区的森林生态系统各项服务物质质量则均分别位列后三位。

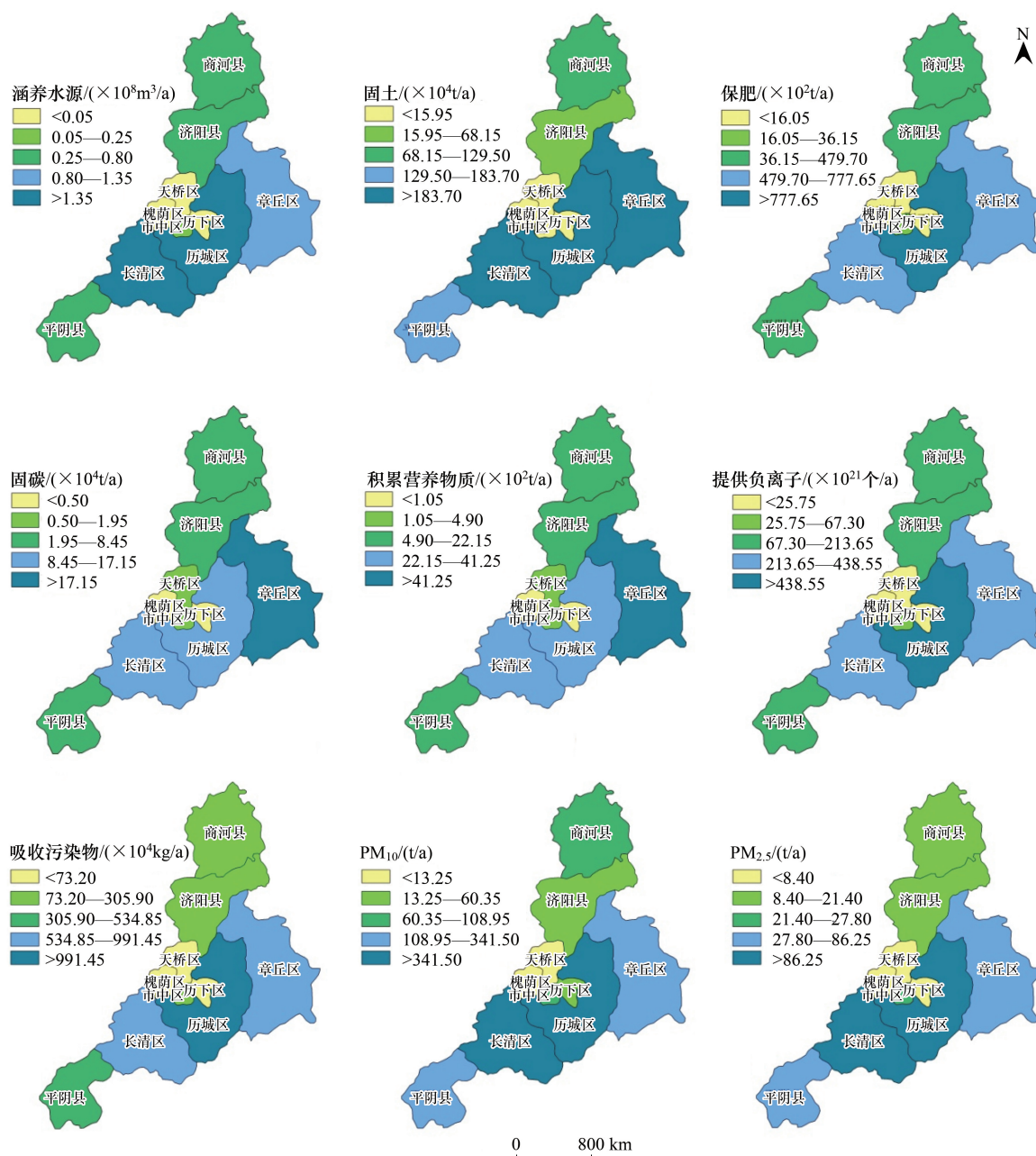


图1 济南市各区/县森林生态系统服务功能物质质量空间分布格局

Fig.1 Quality of spatial distribution for forest ecosystem services in different counties in Ji'nan

3.3 济南市森林生态系统服务功能价值量测算结果

由表2可知,济南市年森林生态系统服务功能价值为264.41亿元,其中,济南市森林年涵养水源价值为90.68亿元,保育土壤价值为19.64亿元,固碳释氧价值为65.01亿元,林木积累营养物质价值为3.95亿元,净化大气环境价值为34.21亿元,滞纳 PM_{10} 价值为0.59亿元,滞纳 $PM_{2.5}$ 价值为23.43亿元,森林防护价值为0.61亿元,生物多样性保护价值为38.31亿元,森林游憩价值为12.00亿元。由测算结果可知,济南市森林生态系统涵养水源价值最高,其次为固碳释氧价值,森林防护价值量最低。

从图2可知,济南市森林生态系统涵养水源、固碳释氧、生物多样性保护和净化大气环境4项服务功能的价值量分别占济南市森林生态系统服务功能总价值量的34.29%、24.59%、14.49%和12.94%,合计占到总生态系统服务功能价值量的86.31%,体现了相当大的优势。济南市森林生态系统服务功能价值量从大到小排序

为:涵养水源>固碳释氧>生物多样性保护>净化大气环境>保育土壤>森林游憩>林木积累营养物质>森林防护。

表 2 济南市各县/市辖区森林生态服务功能价值量评估结果/亿元

Table 2 The value of forest ecosystem services of the different counties in Ji'nan

区/县 County	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}	$U_{总}$
历下区	0.70	0.04	0.43	0.02	0.57	0.01	0.39	0.01	0.35	0.12	2.24
市中区	2.64	0.17	1.77	0.09	1.88	0.03	1.30	0.40	1.22	0.42	8.59
槐荫区	0.11	0.01	0.19	0.01	0.05	<0.01	0.04	<0.01	0.09	0.02	0.49
天桥区	0.73	0.08	1.34	0.09	0.24	<0.01	0.17	0.04	0.42	0.13	3.08
历城区	25.58	4.85	13.36	0.77	11.00	0.20	7.54	<0.01	9.13	3.56	68.26
长清区	21.67	3.59	12.09	0.71	7.85	0.14	5.39	<0.01	6.97	2.50	55.36
章丘市	14.88	3.58	17.52	1.13	5.75	0.10	4.02	0.09	5.77	2.05	50.76
平阴县	8.58	2.23	7.15	0.42	4.10	0.07	2.82	<0.01	4.77	1.23	28.48
济阳县	7.11	1.71	4.53	0.29	1.21	0.02	0.76	<0.01	4.19	0.86	19.90
商河县	8.68	3.38	6.63	0.42	1.56	0.02	1.00	0.07	5.40	1.11	27.25
合计 Total	90.68	19.64	65.01	3.95	34.21	0.59	23.43	0.61	38.31	12.00	264.41

U_1 :涵养水源价值, Value of water conservation; U_2 :保育土壤价值, Value of soil conservation; U_3 :固碳释氧价值, Value of carbon fixation and oxygen released; U_4 :林木积累营养物质价值, Value of nutrients accumulation; U_5 :净化大气环境价值, Value of purification of atmosphere environment; U_6 :滞纳 PM_{10} 价值, Value of absorb PM_{10} ; U_7 :滞纳 $PM_{2.5}$ 价值, Value of absorb $PM_{2.5}$; U_8 :森林防护价值, Value of forest protection; U_9 :生物多样性保护价值, Value of biodiversity conservation; U_{10} :森林游憩, Value of forest recreation; $U_{总}$:总价值量, Total value

3.4 济南市森林生态系统服务功能价值量空间格局特征

济南市 10 个区/县年森林生态系统服务(涵养水源、保育土壤、固碳释氧、林木积累营养物质、净化大气环境、森林防护、生物多样性保护、森林游憩)功能价值量中(图 3), 历城区最高, 为 68.26 亿元, 其次是长清区, 为 55.36 亿元, 年森林生态系统服务功能价值量最低的是槐荫区, 为 0.49 亿元。各区/县年森林生态系统服务功能价值量排序为:历城区>长清区>章丘市>平阴县>商河县>济阳县>市中区>天桥区>历下区>槐荫区(图 3a)。

从各项森林生态服务功能价值量来看,除了森林防护功能以外,其他各项功能价值量在济南市 10 个区/县的空间格局分布大体上均呈现南部>北部>中部的趋势(图 3b—i)。

从各区/县森林生态服务功能价值量所占比例来看,位列前三位的历城区、长清区和章丘市森林生态系统服务功能价值占全市森林生态系统服务功能价值量的 65.95%,而位列后三位的天桥区、历下区和槐荫区森林生态系统服务功能价值仅占全市的 2.20%(图 4)。

4 讨论

济南市森林生态系统服务功能的空间格局与济南市各区/县森林资源自身的属性和所处地理位置有直接关系。其空间格局分布存在以下特征:

1)与土地利用类型有关。济南市南部山区和东部丘陵,占全市森林总面积的约 70%,集中分布在平阴县、章丘市、历城区和长清区,同时该区还是全市水源涵养林的主要分布区,人口密度较小,且实施自然保护区和森林公园建设,对森林干扰较小,利于森林生态系统服务功能的提升,因此,森林生态系统服务功能较强。

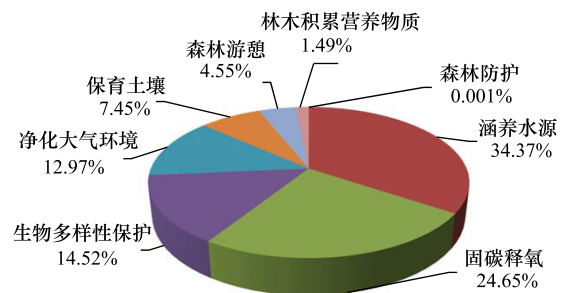


图 2 济南市森林生态系统服务功能价值量比例

Fig.2 The proportion of the value of forest ecosystem services in Ji'nan

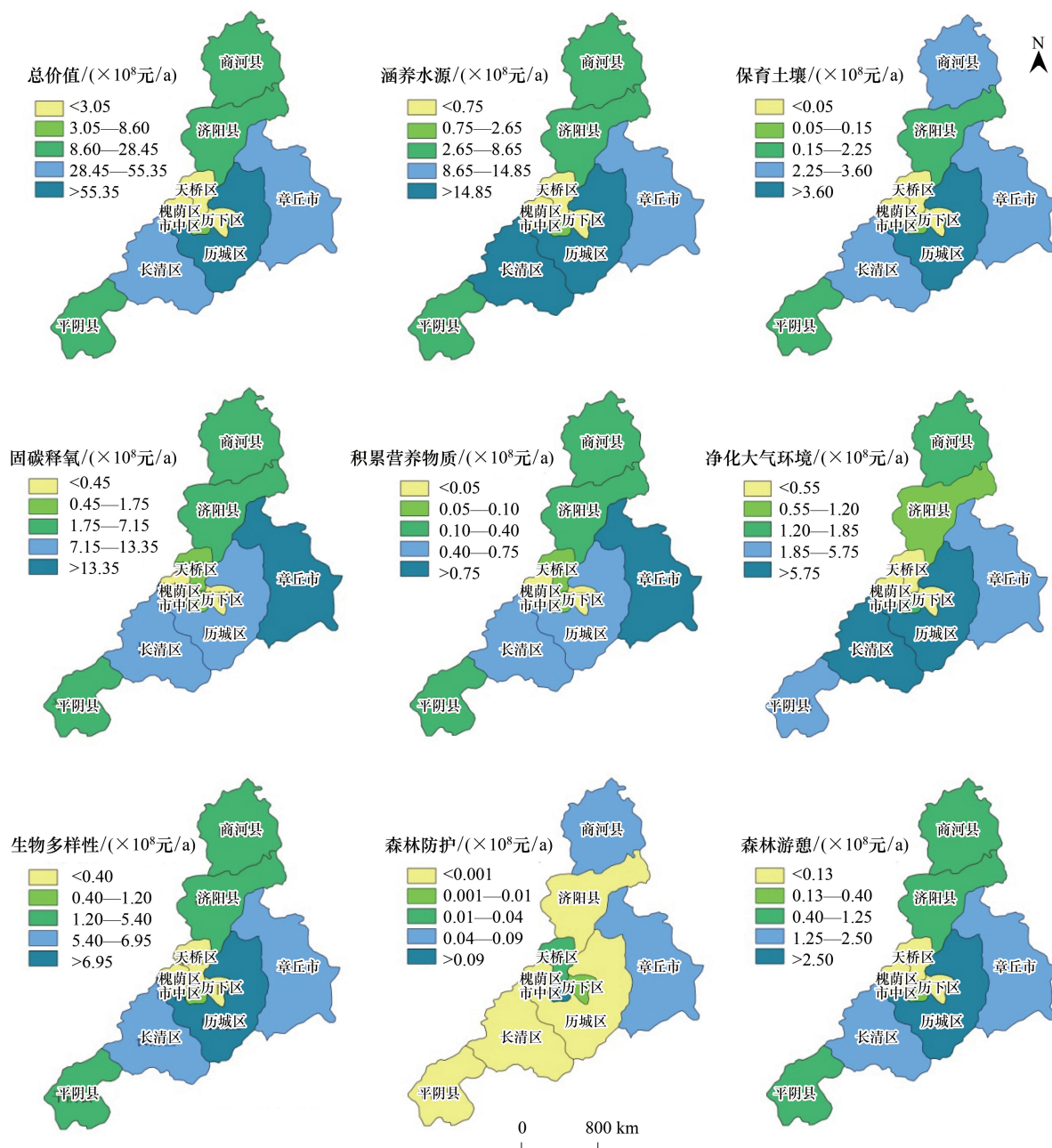


图3 济南市各区/县森林生态系统服务功能价值量空间分布格局

Fig.3 Value of spatial distribution for forest ecosystem services in different counties in Ji'nan

中部地区属于城市繁华地带,人口密集,社会经济活动频繁,长期受人类活动干扰,植被覆盖率低,主要指市中区、天桥区、历下区和槐荫区,故森林生态系统服务功能较弱。北部济阳县和商河县,地处黄河沿岸平原,水土保持林和经济林分布较多,因此,也显示出一定的森林生态服务功能。

2) 与气候因素有关。在气候因素当中,温度和降水能够对林木生长造成影响,因为水热条件限制着林木的生长^[34]。一定范围内,温度越高,林木生长越快,其生态系统服务也就越强。主要原因是,温度升高增加了植物蒸腾速率,植物体内会积累更多营养元素,进而增加生物量;在水分充足条件下,温度越高,植物叶片气孔完全打开,呼吸作用增强,为光合作用提供充足的二氧化碳^[35];温度还通过控制叶片中淀粉的降解和运转、糖分和蛋白质的转化,进而起到控制光合速率的作用^[36-37]。济南市处于中纬度地带,属于暖温带半湿润季风型气候,多年平均气温在 14.1℃,平均气温南部低山丘陵区低于北部平原区,这对济南市森林系统服务功能的空

间分布格局产生一定影响。此外,降水与森林生态效益呈正相关关系,主要由于降水量作为参数被用于森林涵养水源的计算,与涵养水源生态效益呈正相关;同时,降水量的大小还会影响生物量的高低,进而影响固碳释氧功能^[38]。济南市多年平均降水量在 585—800mm 之间,总的分布趋势为南部大于北部。降水还与森林滞纳颗粒物的高低有直接关系,降水量大意味着一年内雨水对植物叶片的清洗次数增加,由此带来森林滞尘功能的增强。因此,降水也会对济南市森林生态系统服务功能空间格局产生影响。

3) 与林种结构组成有关。林种结构组成一定程度

上反映了某区域在林业规划中所承担的林业建设任务。比如,当某区域分布着大面积的防护林,则该区域林业建设侧重防护功能。如果某区域由于地形、地貌等原因,容易发生水土流失,那么构建的防护林体系则为水土保持林,主要起到固持水土功能;如果某一区域位于大江大河源头,或者是重要水库的水源地,那么构建的防护林体系则为水源涵养林,主要起水源涵养和调洪蓄洪的功能。由济南市森林资源调查数据得出,济南市涵养水源林主要分布在南部低山丘陵区的平阴县、长清区、历城区和章丘市,这些地区恰是本市河流或水库的水源地,分布着全市约 80% 的水源涵养林。此外,济南市北部平原地区的济阳县、商河县,其防风固沙林和农田防护林所占比例分别约为 70% 和 75%,该区属于黄河下游,且平原农业活动较强,因此需要防风固沙林和农田防护林的保护。因此,由于树种结构组成的不同,促使济南市森林生态系统服务功能呈现目前的空间格局。

4) 与生态建设政策有关。济南市在推进国家森林城市建设过程中,结合全市实际,开展了城镇绿化提升工程、南部山区营造林工程、北部平原风沙治理工程、水系生态绿化工程、湿地恢复与保护工程、破损山体治理工程、绿色通道工程、森林公园与自然保护区建设工程、现代林业示范区建设工程、林业产业化推进工程等一系列的林业生态工程。全市林业生态工程布局日趋合理,以低山丘陵、山前平原、沿黄平原三大绿化体系形成的框架日趋完善。未来,济南市森林生态系统服务功能将得到大幅提升,全市生态环境也将得到进一步改善。

本文采用分布式测算方法^[39]对济南市森林生态系统服务功能进行测算。由于森林生态系统服务功能的测算涉及内容多样,为了科学评估这一庞杂的系统工程,将研究内容划分成多个均质化的生态系统服务功能测算单元进行评估是行之有效的方法^[40]。该方法目前在诸多森林生态系统服务功能评估的研究案例中得到运用,且能够保证评估结果的准确性和可靠性^[30]。济南市森林生态系统服务功能评估过程中,运用分布式测算方法,按照行政区、优势树种(组)和林龄组等三级测算单元,并结合不同立地条件,最终确定了 600 个相对均质化的生态系统服务功能测算单元,进而保证了济南市森林生态系统服务功能评估的科学性。将各个均质化的生态系统服务功能测算单元相叠加,最终汇总出济南市每个行政区域和整个济南市的森林生态系统服务功能。因此,鉴于该方法的测算原则,在本文的结果分析中以行政区域界限划分森林生态系统服务功能的评估区域,而非以自然地理单元作为区域划分的依据。

5 结论

本研究依托森林生态定位观测研究站,依据《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008)结合济南市森林资源二类调查数据以及国家权威部门公布的社会公共数据,从涵养水源、保育土壤、固碳释氧、林木积累营养物质、净化大气环境、森林防护、生物多样性保护、森林游憩等 8 项生态服务功能对济南市森林生态系统服务功能空间格局进行研究,得出以下主要结论:

1) 济南市年森林生态系统服务功能价值为 264.41 亿元,各项服务功能价值量从大到小排序为:涵养水源

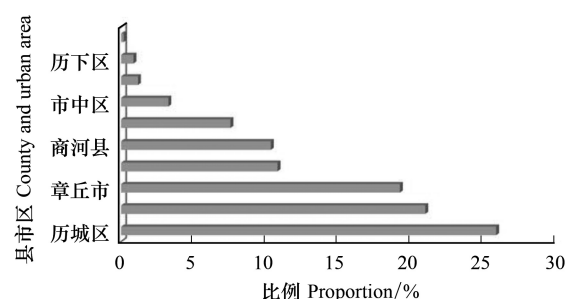


图4 济南市各区/县森林生态系统服务功能价值量排序

Fig.4 The order of the value of forest ecosystem services in Ji'nan

>固碳释氧>生物多样性保护>净化大气环境>保育土壤>森林游憩>林木积累营养物质>森林防护。表明济南市森林生态系统服务功能以涵养水源、固碳释氧和生物多样性保护为主。

2)济南市 10 个区/县年森林生态系统服务功能价值量中,历城区最高,为 68.26 亿元。各区/县年森林生态系统服务功能价值量排序为:历城区>长清区>章丘市>平阴县>商河县>济阳县>市中区>天桥区>历下区>槐荫区。表明济南市各区/县森林生态系统服务功能空间格局存在异质性,森林生态服务功能较弱的区/县应抓住济南市生态建设政策实施的契机,努力提升自身生态服务功能,进而使得济南市各区/县森林生态系统服务功能相协调。

3)除了森林防护功能以外,其他各项森林生态系统服务功能价值量在济南市 10 个区/县的空间格局分布大体上均呈现南部>北部>中部的趋势。

基于济南市森林生态系统服务功能现有的空间分布格局,并结合济南市森林生态系统所具备的林种资源,今后济南市森林生态建设和森林生态系统服务功能提升过程中:北部黄河冲积平原区应扩大适生乡土树种覆盖面积,以增强水土保持和农田防护等功能;中部山前平原区适宜种植经济林种,在扩大森林覆盖提升森林生态系统服务功能的同时也相应增加当地农民的经济收入;中部城区及其周边应适当种植滞尘功能较强的针叶树种,以提升森林治污减霾和森林“氧吧”功能,从而净化城市大气环境,提高居民生活质量;南部低山丘陵区在保护现有森林资源的同时,进一步增加本地乡土树种及灌木的覆盖,巩固该区森林涵养水源、固土保肥等功能。济南市森林生态系统总体服务功能提升的建议可为该区和其他区域的生态建设工作提供参考。

参考文献 (References):

- [1] Costanza R, D'ARCE R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] Richardson L, Loomis J, Kroeger T, Casey F. The role of benefit transfer in ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 2015, 115: 51-58.
- [3] Chisholm R A. Trade-offs between ecosystem services: Water and carbon in a biodiversity hotspot. *Ecological Economics*, 2010, 69(10): 1973-1987.
- [4] Onaindia M, De Manuel B F, Madariaga I, Rodríguez-Loinaz G. Co-benefits and trade-offs between biodiversity, carbon storage and water flow regulation. *Forest Ecology and Management*, 2013, 289: 1-9.
- [5] Cademus R, Escobedo F J, McLaughlin D, Abd-Elrahman A. Analyzing trade-offs, synergies, and drivers among timber production, carbon sequestration, and water yield in *Pinus elliotii* forests in Southeastern USA. *Forests*, 2014, 5(6): 1409-1431.
- [6] Zheng H, Li Y F, Robinson B E, Liu G, Ma D C, Wang F C, Lu F, Ouyang Z Y, Daily G C. Using ecosystem service trade-offs to inform water conservation policies and management practices. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2016, 14(10): 527-532.
- [7] Runtung R K, Bryan B A, Dee L E, Maseyk F J F, Mandle L, Hamel P, Wilson K A, Yetka K, Possingham H P, Rhodes J R. Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: a review. *Global Change Biology*, 2017, 23(1): 28-41.
- [8] 周鸿升, 敖安强, 李保玉, 王兵, 牛香, 王晓燕. 退耕还林工程重点监测省份生态效益评估. *林业经济*, 2014, (5): 37-41.
- [9] MA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Washington, DC, USA: Island Press, 2005: 829-838.
- [10] Martínez-Sastre R, Ravera F, González J A, Santiago C L, Bidegain I, Munda G. Mediterranean landscapes under change: Combining social multicriteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning. *Land Use Policy*, 2017, 67: 472-486.
- [11] Wang X C, Dong X B, Liu H M, Wei H J, Fan W G, Lu N C, Xu Z H, Ren J H, Xing K X. Linking land use change, ecosystem services and human well-being: A case study of the Manas River Basin of Xinjiang, China. *Ecosystem Services*, 2017, 27: 113-123.
- [12] Dominati E, Patterson M, Mackay A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 2010, 69(9): 1858-1868.
- [13] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 1-10.
- [14] 张嘉宾. 关于西双版纳傣族自治州森林涵养水源功能的计量和评价. *林业资源管理*, 1982, (1): 29-33.
- [15] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9.
- [16] 孔繁文, 戴广翠, 何乃蕙, 高岚. 森林环境资源核算及补偿政策研究. *林业经济*, 1994, (4): 34-47.
- [17] 欧阳志云, 王如松. *生态系统服务功能与可持续发展——社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究*. 北京: 中国环境科学出版社,

1999: 47-56.

- [18] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析. 应用生态学报, 2000, 11(2): 290-292.
- [19] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.
- [20] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [21] 李文华, 欧阳志云, 赵景柱. 生态系统服务功能研究. 北京: 气象出版社, 2002: 56-58.
- [22] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 魏彦昌. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 自然资源学报, 2003, 18(4): 443-452.
- [23] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-6.
- [24] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 宋长春, 刘纪远, 张惠远, 吕一河, 郑华, 谢高地. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576.
- [25] 李景全, 牛香, 曲国庆, 黄龙生, 商凯, 李传文. 山东省济南市森林与湿地生态系统服务功能研究. 北京: 中国林业出版社, 2017: 26-31.
- [26] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录 第一卷: 红色名录. 北京: 高等教育出版社, 2004: 17-19.
- [27] 苏志尧. 植物特有现象的量化. 华南农业大学学报, 1999, 20(1): 92-96.
- [28] 全国绿化委员会. 全国绿化委员会关于开展古树名木普查建档工作的通知. (2001-09-26). <http://www.51wf.com/print-law?id=1115434>.
- [29] 国家林业局. LY/T 2241—2014 森林生态系统生物多样性监测与评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2014: 1-10.
- [30] 牛香, 王兵. 基于分布式测算方法的福建省森林生态系统服务功能评估. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 36-43.
- [31] 王兵, 李少宁, 郭浩. 江西省森林生态系统服务功能及其价值评估研究. 江西科学, 2007, 25(5): 553-559, 587-587.
- [32] 王兵, 鲁绍伟, 尤文忠, 任晓旭, 邢兆凯, 王世明. 辽宁省森林生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1792-1798.
- [33] 中国森林资源核算研究项目组. 生态文明制度构建中的中国森林资源核算研究. 北京: 中国林业出版社, 2015: 86-164.
- [34] Nikolaev A N, Fedorov P P, Desyatkin A R. Effect of hydrothermal conditions of permafrost soil on radial growth of larch and pine in Central Yakutia. Contemporary Problems of Ecology, 2011, 4(2): 140-149.
- [35] Smith N G, Dukes J S. Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO₂. Global Change Biology, 2013, 19(1): 45-63.
- [36] Ali A A, Xu C G, Rogers A, McDowell N G, Medlyn B E, Fisher R A, Wullschlegel S D, Reich P B, Vrugt J A, Bauerle W L, Santiago L S, Wilson C J. Global-scale environmental control of plant photosynthetic capacity. Ecological Applications, 2015, 25(8): 2349-2365.
- [37] Calzadilla P I, Signorelli S, Escaray F J, Menéndez A B, Monza J, Ruiz O A, Maiale S J. Photosynthetic responses mediate the adaptation of two *Lotus japonicus* ecotypes to low temperature. Plant Science, 2016, 250: 59-68.
- [38] Niu X, Wang B, Liu S R, Liu C J, Wei W J, Kauppi P E. Economical assessment of forest ecosystem services in China: characteristics and implications. Ecological Complexity, 2012, 11: 1-11.
- [39] 董秀凯, 王兵, 耿绍波. 吉林省露水河林业局森林生态连清与价值评估报告. 长春: 吉林大学出版社, 2014: 56-57.
- [40] 师贺雄, 王兵, 牛香. 基于森林生态连清体系的中国森林生态系统服务特征分析. 北京林业大学学报, 2016, 38(6): 42-50.