

东南湿润丘陵区县域生态资产评估及分区研究

——以溧阳市为例

徐艳玲^{1, 2} 许晨^{1, 2} 杨桂山^{1, 21}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国科学院流域地理重点实验室,

江苏 南京 210008; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

【摘要】: 生态资产核算作为两山理论转化的重要桥梁, 有利于厘清区域生态本底, 为生态补偿等工作提供客观依据。研究选取东南湿润丘陵区溧阳市为研究区域, 构建了县域生态资产清单, 并根据生态资产价值空间分布进行了分区并提出分区管理策略。基于 InVEST 模型、市场价值法、替代成本法等评估方法, 评估水源涵养、水质净化、生物多样性保护、休闲游憩以及产品供给等重要生态系统服务价值, 运用净现值法计算了溧阳市生态资产价值为 3105.85 亿元, 单位面积生态资产价值 245.10 万元/hm²。休闲游憩价值、产品供给价值和水源涵养价值对生态资产总价值贡献较大, 生物多样性保护和水质净化价值较小。有形生态资产价值和无形生态资产价值空间分布具有较大差异。4 种无形生态资产价值高值区在空间分布上表现重叠, 表明溧阳市充分利用了自然资源禀赋实现生态资源价值转化。水域和林地的生态资产总价值较大, 是生态资产价值的重要载体。根据生态资产价值分级分布, 得到生态资产价值综合分区, 高值区主要是分布在丘陵地区的林地和水域, 是溧阳市需要重点保护区域; 低值区以耕地为主, 需要关注耕地因地不同生态资产价值间的权衡/协同关系。东南湿润丘陵区溧阳市生态资产价值评估与分区研究, 对加快构建溧阳市人与自然和谐共生的国土空间开发与保护格局有重要实践意义。

【关键词】: 生态资产 生态系统服务 价值评估 生态分区

【中图分类号】: X171.1; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)07-1572-12

生态资源是存在于生态系统中的自然资源, 能够为人类社会提供生存环境和物质产品, 维持和调控生态系统安全, 是人类经济社会生存和发展的基础。生态资产是指能够在一定时空范围内可为人们带来效益的生态系统^[1], 生态资产评估即评估生态系统为人类生产生活提供的物质产品和生态系统服务^[2], 通常以价值量形式进行统计。生态资产是自然资源资产的重要组成部分, 摸清生态资产本底是衡量绿水青山与金山银山权衡关系的重要桥梁^[3]。开展生态资产评估与核算, 是加快资源环境核算体系与国民经济核算体系集成进程, 推进我国自然资源资产负债表编制等工作的重要研究课题^[4]。

由于对生态资产概念的认识尚未一致, 导致生态资产评估方法上存在差异, 价值量的评价指标尚不统一, 评价方法有待完善^[2,5]。现阶段生态资产评估主要分为三大体系, 一是对自然资源价值和生态系统服务价值进行直接汇总^[6,7], 二是评估生态资产质量和数量, 以计算核算时期内产生的生态系统生产总值作为生态资产的价值体现^[1,3,8], 三是以联合国 2021 年发布的环境经济统计

作者简介: 徐艳玲(1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究资源利用与环境效应方向。E-mail: xuyanling18@mails.ucas.ac.cn; 杨桂山 E-mail: gsyang@niglas.ac.cn

基金项目: 中国科学院“美丽中国生态文明建设科技工程”专项(XDA23020201)“长三角生态环境协同管理与综合治理示范”项目

与生态统计体系(SEEA-EA)^[9]为主,认为生态系统提供的产品和服务其未来预期流量的净现值总和可表示为生态资产总价值^[10],并可进一步通过净现值的变化评估生态系统的退化程度^[11,12]。生态资产评估体系不统一导致不同研究结果存在量级差异,从而对生态资产评估结果的对策应用产生较大影响^[13]。现有的生态资产评估模型,如 InVEST(Integrate Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs Tool)模型^[14]、ARIES(Article Intelligence For Ecosystem Services)模型^[15]、ESValue 和 EPM(Ecosystem Portfolio Model)模型^[16]等,主要采用了物质量法和价值量法进行度量,并且主要集中在对生态系统服务类资产进行静态、动态和流动转移的评估分析等方面,缺乏包括自然资源类和生态系统服务类的生态资产综合评估模型^[17]。其中以净现值法计算生态资产价值可以较好地地区分生态资产与生态系统服务之间“投入”与“产出”的关系,有利于突出生态系统的价值体现^[18]。

不同空间尺度,生态资产核算的重点、方法与结果略有不同^[13]。目前,生态资产价值评估尺度主要聚焦在国家尺度^[17,19]、省市域尺度^[1,3,20]、生态保护区域尺度^[21,22],县域尺度研究中涵盖了半湿润半干旱区^[6,22]、湿润区^[23]等气候区。溧阳市位于中国东南湿润区,具有山地丘陵区独特的生态优势,是太湖流域重要生态屏障区,承担着极重要生态系统服务功能^[24],被命名为全国“绿水青山就是青山银山”实践创新基地和国家全域旅游示范区。近年来由于人类活动干扰强度加大,导致生态系统服务价值快速缩减^[25]。因此,以溧阳市县域为评估单元,选取产品供给、水源涵养、水质净化、生物多样性保护、休闲游憩服务等重要生态系统服务,构建溧阳市生态资产清单,评估生态资产价值并进行分区,不仅有利于清晰地认识溧阳市高生态价值的来源,促进生态价值与经济价值之间的相互转化,对加快构建溧阳人与自然和谐共生的国土空间开发与保护格局有重要实践意义;也可省域、区域等大尺度生态资产评估提供有效的精度验证^[6],对指导县域生态建设、保障生态安全具有一定的理论指导价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

溧阳市位于苏浙皖三省交界,作为江苏省常州市下属县级市,总面积 153587hm²,下辖十余个乡镇和街道,其中包括天目湖国家级旅游度假区^[26,27](图 1)。溧阳市地处北亚热带边缘,属于东南湿润丘陵区,是江苏省物种资源最集中的地区之一,也是江苏省提供生态产品的重要区域^[28]。溧阳市生态区位重要,其“三山一水六分田”的分布格局和良好的生态环境,为太湖提供重要生态屏障作用,也是长三角地区重要生态功能区。

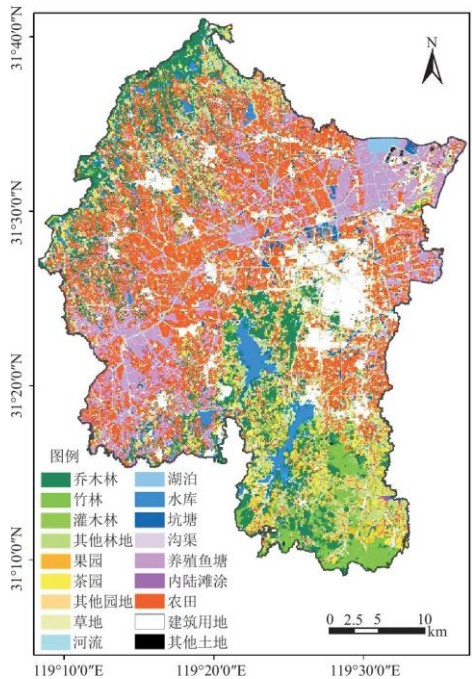


图 1 2018 年溧阳市土地利用图

1.2 生态资产价值评估指标体系构建

溧阳市拥有天目湖、长荡湖等重要水体，以及南山、瓦屋山、曹山等森林资源，分布有饮用水水源地、生物多样性保护区等重要生态功能区，并基于丰富的生态资源禀赋构建了全域生态旅游格局，因此本文基于溧阳实际，将生态资产分为森林、园地、草地、水体、农田等五大生态系统类型，确定无形生态资产价值包括水源涵养、水质净化、生物多样性保护等调节服务价值和休闲游憩文化服务价值；有形生态资产价值包括林产品、农产品、渔产品、畜牧产品及水资源提供的经济价值。由于溧阳市城镇公园与绿地的占地面积不足溧阳市总面积的 0.1%，因此评估没有包含城镇公园与绿地的生态资产价值。

1.3 研究方法

1.3.1 InVEST 模型评估及价值化

根据溧阳市生态资产现状，对水源涵养、水质净化、生物多样性保护、休闲游憩服务以及产品供给服务等运用 InVEST 模型、市场价值法、替代成本法等评估方法，构建适合溧阳市的生态资产评估体系。

(1) 水源涵养服务

水源涵养服务是生态系统拦截滞留降水，增强土壤下渗、蓄积，涵养土壤水分、调节保育径流和补充地下水，增加可利用水资源的功能。InVEST 模型中的产水模块主要基于水量平衡原理得到产水量^[14]，结合土壤特征、地形特征以及土地利用状况等因素，得到水源涵养量^[29]，计算公式如下：

$$Y_x = \left(1 - \frac{AET_x}{P_x} \right) P_x$$

$$R = \min\left(1, \frac{249}{v}\right) \times \min\left(1, \frac{0.9 \times TI}{3}\right) \times \min\left(1, \frac{K}{300}\right) \times Y_x$$

式中：R 为栅格单元 x 的水源涵养量(mm)； Y_x 为栅格单元 x 的产水量(mm)； AET_x 为栅格单元 x 的实际蒸散量(mm)； P_x 为栅格单元 x 的年降水量(mm)； Y_x 为栅格单元 x 的年产水量(mm)；v 为流速系数(无量纲)；TI 为地形指数(无量纲)；K 为土壤饱和导水率(cm/d)。

为提高研究结果的可信度，本研究对 InVEST 模型模块参数进行本地化调整。在产水量模块计算中，溧阳市的季节常数 Z 为 8.43，是由坡度、经纬度、海拔和土壤有效含水量等参数推导得到^[30]，与自然条件较为接近的研究对比，西苕溪流域 Z 值为 6.5^[31]、闽三角城市群 Z 值为 6.8^[29]、湖南湘江流域 Z 值为 7^[32]，本研究 Z 值与之相近，较为合理。

根据影子工程法^[19]计算不同类型的涵养水源价值，最终加总得到溧阳市涵养水源总价值量(元)，公式如下：

$$E_w = W_f \cdot P$$

式中： W_t 为区域内总的水源涵养量(m^3)； P 为建设单位库容的投资价格(元/ m^3)。

(2) 水质净化服务

水质净化服务是指森林、草地等生态系统对径流中氮、磷等营养盐进行转换或储存等方式截留的过程和能力^[33]。InVEST 模型 NDR 模块可计算出各栅格中氮、磷输出量，输出量越高表明该区域对氮、磷的净化作用越小^[14]。产水量模块和 NDR 模块中的生物物理系数表，参考江苏省相关研究数据^[33, 34, 35]进行设置。计算公式如下：

$$ALV_x = HSS_x \cdot pol_x$$

式中： ALV_x 为栅格单元 x 调节后的氮、磷输出值(kg)； pol_x 为栅格单元 x 的输出系数； HSS_x 为栅格单元 x 的水文敏感得分值。

根据替代成本法^[36]计算各栅格净化氮、磷价值量，公式如下：

$$E_p = \sum_{i=1}^2 c_{pi} \times P_{pi}$$

式中： E_p 为净化水质价值(元/a)； c_{pi} 为治理水体污染物总氮、总磷的成本(元/t)。

(3) 生物多样性保护服务

生物多样性保护服务在林地、园地、草地、水域和耕地等生态系统发挥着维护基因、物种和生态系统多样性的重要作用^[37]。InVEST 模型生境质量模块通过以生境质量指数和生境退化指数对区域生境质量的评价间接反映区域的生物多样性高低，人类活动越频繁会造成生境质量越差，而生境质量越好的区域，生物多样性也会越高^[14]。模型计算公式如下：

$$Q_{sj} = H_j(1 - (D_{sj}^z / D_{sj}^z + k^z))$$

式中： Q_{sj} 为生境类型 j 中栅格单元 x 的生境质量指数； H_j 为生境类型 j 的生境适宜度； D_{sj} 为生境类型 j 中栅格单元 x 的生境退化指数； k 为半饱和常数。该模块中威胁源数据、威胁因子数据等系数参考长三角地区相关研究数据进行设置^[37, 38, 39]。

生物多样性保护价值运用当量因子法计算^[40]，公式如下：

$$E_s = A_k \times E_a \times F_{ks}$$

式中： E_s 为生物多样性保护服务价值(元)； A_k 为第 k 类土地利用类型面积(hm^2)； E_a 为溧阳市 1 个标准当量生态系统服务价值(元/ hm^2)； F_{ks} 为第 k 类土地利用类型生物多样性保护服务价值系数。

(4) 休闲游憩文化服务

旅游业作为溧阳市主导产业,丰富的农业资源和自然资源,为人们提供了休闲观光农业、自然休闲游憩和乡村旅游等多重游憩服务,成为溧阳市生态资产评估中不可缺少的重要组成部分。本文基于景观多样性、自然度、河流湖泊元素、景点等级、可达性和服务设施等指标^[41],从游憩潜力和游憩机会两个方面对溧阳游憩文化服务量进行评估。运用旅游收入代表休闲游憩服务价值^[20],并基于不同用地类型休闲游憩服务量的等级分布,按比例对各用地类型休闲游憩价值量进行赋值。

(5) 产品供给服务

溧阳市有形生态资产包括林产品、渔产品、农产品等生态系统产品,有形生态资产的实物量由产量表征,反映某一时段内研究区域内所产出某一种有形生态资产的能力。因生态系统产品拥有相应的经济市场及直接的市场价格,即利用直接市场法通过对生态系统产品的市场价值进行估算,获得有形生态资产的实物量及价值量^[1],计算公式如下:

$$EPV_f = \sum_{i=1}^n FP_i \times FPP_i$$

式中: EPV_i 为产品价值(元); FP_i 为第 i 类产品产量(株或 m^3 或 t); FPP_i 为第 i 类产品的价格(元/株或元/ m^3 或元/t)。

1.3.2 生态资产价值量评估

生态资产价值可以用生态系统每年提供的生态系统服务价值净现值的总和表示^[9,10,19],通过净现值法将溧阳市生态系统服务未来预期每年产生的价值量折算成现值,公式如下:

$$ECV = \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{ES_l}{(1+r_f)^{(i-1)}}$$

式中: ECV 为生态资产价值(元); ES_l 为第 l 项生态系统服务的价值(元/a); r_f 为贴现率,未来货币化的折现率与当代人类偏好有关; m 为生态系统服务类型数量; n 为计算期(年)。

1.3.3 生态资产价值分区

将有形生态资产价值和无形生态资产价值汇总得到溧阳市生态资产总价值。在溧阳市生态资产价值空间异质性的基础上,将每种单项生态资产价值标准化后在 ArcGIS 中进行空间叠加,采用自然断点法对图层进行重分类作为分区的依据,由低到高等级重要性分别为生态资产低值区、生态资产较低值区、生态资产较高值区和生态资产高值区^[42],得到溧阳市生态资产价值最终分区结果。

1.4 数据来源

本研究生态资产本底数据来源于 2018 年高分一号遥感影像提取的 2m 分辨率土地利用分布状况,溧阳市行政面积仅为 153587.00 hm^2 ,2m 分辨率有利于提高小尺度区域的空间异质性分析精度。气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>),主要涉及溧阳市及周边共 26 个国家级气象站点,数据时间周期为 2008~2018 年,利用近 10 年数据的平均值剔除异常气象年份数据的扰动,排除气象因素对生态资产的干扰。土壤数据来源于世界土壤参比和信息中心(World Soil Information, ISRIC(<https://data.isric.org/>)),获取了分辨率为 250m 的土壤深度、土壤质地等指标数据,以及中国南京土壤所张甘霖团队

提供的 1:5 万溧阳土壤容重、有机碳含量等指标数据^[43]。地形数据来源于地理空间数据(<http://www.gscloud.cn>), 空间分辨率为 30m。溧阳经济社会数据主要来源于溧阳市统计局编制的《2019 年溧阳统计年鉴》(<http://www.liyang.gov.cn/images/czly/lynj/2019.pdf>), 包括人口、GDP、农林牧渔业产量和产值、旅游总收入、旅游总人口等指标。通过对数据重采样统一空间分辨率为 30m。

2 结果与讨论

2.1 生态资产价值评估

根据溧阳市生态资产清单(表 1), 溧阳市生态资产总价值 3105.85 亿元, 单位面积价值 245.10 万元/hm²。其中产出产品供给的有形生态资产价值 811.98 亿元, 耕地的农产品、水域的水资源及园地的经济产品价值总量较高, 分别占有形生态资产价值的 39.82%、33.75%和 21.41%; 林地提供的有形生态资产价值较低, 草地无有形生态资产价值。溧阳市 2018 年无形资产价值 2293.86 亿元, 水源涵养和休闲游憩价值最高, 产品供给价值次之, 水质净化价值对生态资产总价值贡献最低。从溧阳市不同用地类型来看, 水域生态资产价值最大, 为 1146.68 亿元, 其次是林地、耕地、园地, 草地的生态资产价值最小, 分别占 2018 年溧阳市生态资产总价值的 36.92%、33.00%、17.10%、12.28%和 0.69%。

根据溧阳市生态资产价值评估空间分布图(图 2), 水源涵养、水质净化和生物多样性保护的高值区主要集中分布在溧阳南部和西北部丘陵地区, 该区域主要为林地, 植被覆盖度高, 海拔较高, 植被根系深度大导致截留和净化径流能力强。休闲游憩价值高值区主要分布在南部的天目湖旅游度假区和南山养生度假区, 西北部的曹山旅游旅游度假区和瓦屋山文化体验区, 以及东部的长荡湖休闲旅游区。产品供给价值高值区多为分布于溧阳市平原河网地区, 以养殖坑塘和耕地为主, 渔产品和农产品经济产值大。从用地类型上看, 林地的水源涵养、水质净化、生物多样性保护和休闲游憩服务价值与其他用地服务价值相比, 均处于高值区; 位于南部天目湖流域的两大水库和长荡湖湖体的水域也属于水质净化和休闲游憩服务价值的高值区; 耕地和园地的产品供给服务价值较为突出。

表 1 溧阳市生态资产清单

生态资产类型	面积(hm ²)	核算指标		物质量(t)	资产价值量(万元)	单位面积价值量(万元/hm ²)
林地	36495.72	产品供给		木材 4417m ³ 毛竹、淡竹、 篙竹 216 万根板栗、竹笋 7156.00t	104632.30	2.87
		水源涵养		26529460.11	2093305.45	57.36
		水质净化	氮净化	998.68	1293.56	0.04
			磷净化	64.98	140.29	0.00
		生物多样性保护		—	410403.50	11.25
		休闲游憩		—	7084420.61	209.34
		总计			10249857.84	280.85

园地	9240.84	产品供给		水果、坚果、茶叶 84683.00t	1738707.78	188.15
		水源涵养		6089450.72	480487.74	52.00
		水质净化	氮净化	-8040.38	-10414.50	-1.13
			磷净化	-2873.92	-6204.19	-0.67
		生物多样性保护		-	59846.24	6.48
		休闲游憩		-	1552927.55	168.05
		总计			3815350.62	412.88
草地	1280.25	水源涵养量		513269.36	40499.49	31.63
		水质净化	氮净化	63.30	81.98	0.06
			磷净化	5.29	11.41	0.01
		生物多样性保护		-	6699.70	5.23
		休闲游憩			167587.94	130.90
		总计			214880.53	167.84
水域	35471.43	产品供给		鱼类、虾蟹类、贝类及其余淡水产品 85450.00t	2740231.51	186.30
				生活用水、工业用水、 农业用水和环境用水 426000000.00t	303192.47	8.55
		水体氮磷净化		1207.66	4144.22	0.12
		生物多样性保护		-	248488.39	7.01
		休闲游憩		-	8170754.19	230.35
		总计			11466810.76	323.27
耕地	44228.70	产品供给		粮食作物、油料、棉花、 糖料、瓜果、蔬菜等 828320.00t	3233092.19	73.10
		水源涵养		20412408.78	1610639.89	36.42
		水质净化	氮净化	868.08	-37029.13	-0.84
			磷净	850.67	-3039.60	-0.07

			化			
		生物多样性保护		—	26834.19	0.61
		休闲游憩		—	481079.00	10.88
		总计		—	5311576.55	120.09
总计	126716.94				31058476.30	245.10

2.2 生态资产价值分区

根据各类型生态资产价值分区结果(表 2、图 3),水源涵养价值高值区占溧阳市总面积的 28.88%,林地和园地贡献最大;低值区主要分布水域,占总面积的 23.33%。水质净化高值区占溧阳市总面积的 14.45%,主要由林地和沙河水库、大溪水库以及长荡湖湖体构成;较低值区占总面积的 28.92%,以耕地和园地为主,种植活动需要施入大量化肥和有机肥,导致耕地和园地氮磷输入量大于净化能力,需要投入额外的氮磷治理成本,因此耕地和园地的水质净化价值为负值^[44]。生物多样性保护价值高值区占溧阳市总面积的 23.83%,主要分布于丘陵地区的林地;较高值区占总面积的 23.56%,与水质净化高值分布类似。产品供给价值高值区占溧阳市总面积的 42.54%,以分布较广的养殖坑塘和耕地为主;较低值区以林地为主,占溧阳市总面积的 24.15%。

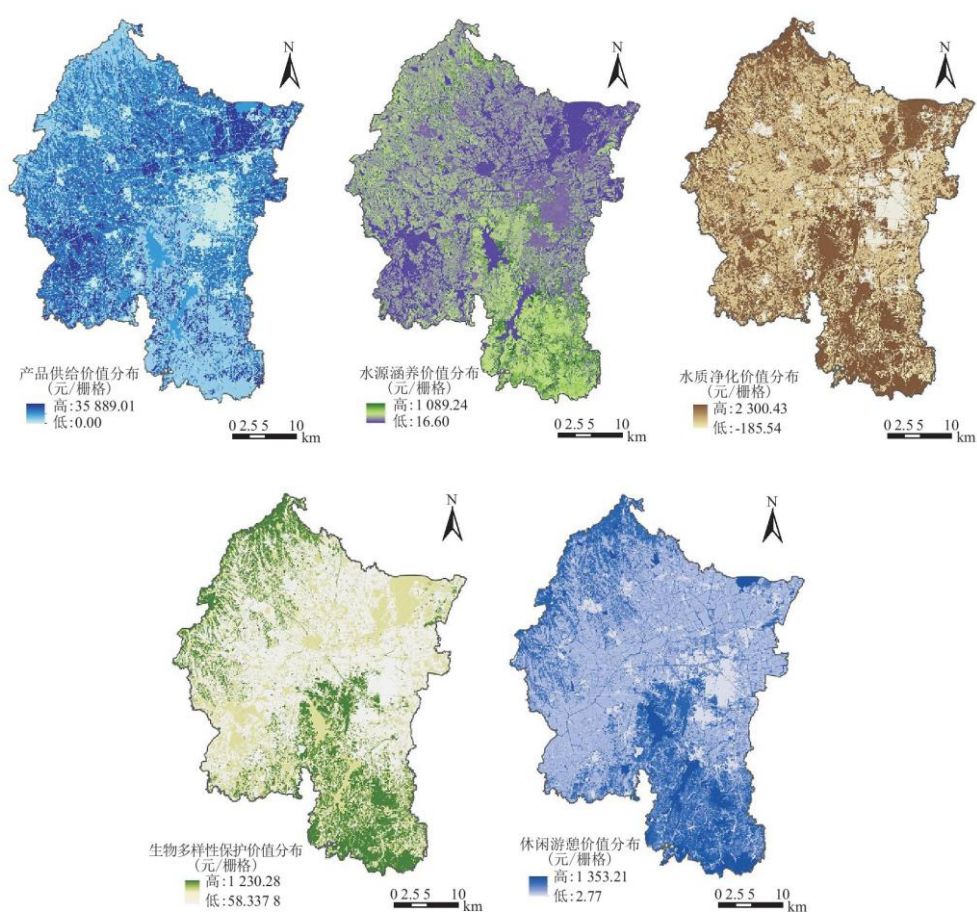


图 2 溧阳市生态资产价值评估空间分布图

表 2 溧阳市生态资产价值分区统计表

生态资产类型	高值区		较高值区		较低值区		低值区	
	面积(hm ²)	比例(%)	面积(hm ²)	比例(%)	面积(hm ²)	比例(%)	面积(hm ²)	比例(%)
水源涵养	483076	28.88	515802	30.83	283708	16.96	390291	23.33
水质净化	246331	14.45	861798	50.54	493212	28.92	67997	3.99
生物多样性保护	406297	23.83	401752	23.56	118141	6.93	778996	45.68
休闲游憩	312811	18.34	345276	20.25	762468	44.71	284631	16.69
产品供给	725467	42.54	267883	15.71	411756	24.15	300080	17.60

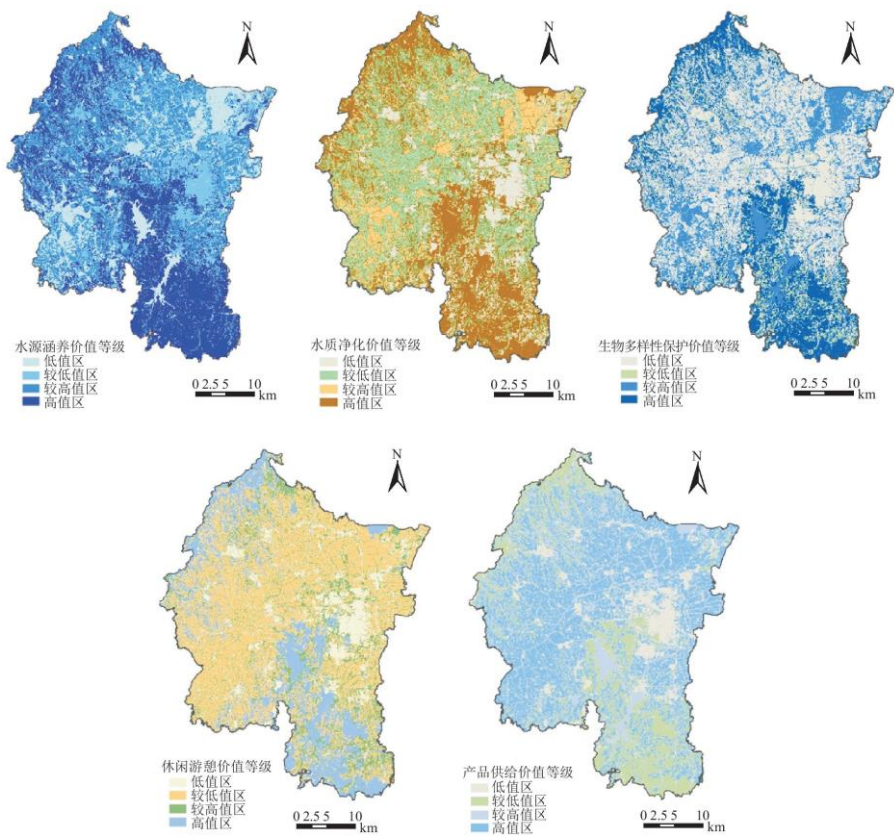


图 3 溧阳市生态资产价值分级图

2.3 生态资产价值综合分区

对溧阳市各类生态资产价值归一化后，等权叠加并进行分级得到生态资产价值综合分区结果(图 4a)，生态资产高值区、较高值区、较低值区和低值区分别占溧阳市总面积的 27.73%、26.40%、25.79%和 20.08%。在综合分区的基础上，根据溧阳市生态资产价值评估及分区结果，识别溧阳市重要生态资产区(图 4b)。

生态资产高值区：主要由林地和水域构成，包括了溧阳市南部的重要水源地一天目湖流域、西北部茅山余脉和东北部长荡湖湖体及周边河网地区，提供县域内最高的水源涵养、水质净化、生物多样性保护和休闲游憩价值(图 5)；是生态资产价值的主要承载用地，不仅为溧阳市提供大量生态系统服务，而且为维持区域生态安全具有积极作用。生态资产价值高反映了该区域的生态系统提供生态系统产品或服务的能力强，对无形生态资产高值区应实行最严格的管控措施，确保人类活动对生态系统服务和功能的影响最小，继续积极推进退耕还林、退渔还湖等生态工程，扩大绿色生态空间；对有形生态资产高值区，要优化水产养殖业、果茶产业布局和种养殖方式，减少种养殖对生态价值的损害，促进生态与社会经济协调发展。

生态资产较高值区：多分布于生态资产高值区周边地区，多为丘陵与平原的接壤处，以园地和草地为主，园地提供较高的果茶产品供给价值、水源涵养价值和生物多样性保护价值；草地面积较小，但其提供水质净化和水源涵养价值的能力强。该区应以生态保护为重点，实行差别化的管控措施，严禁有损主导功能的开发建设活动，严格控制土地开发强度，对园地和草地的开发利用要以不损害生态资产价值为原则。

生态资产较低值区和低值区：主要分布耕地，集中在溧阳中部平原地区，耕地主要提供农产品供给价值。该区应在坚守耕地红线的基础上，加强农业面源污染治理，改善土壤和水环境质量，协调保护与开发关系为重点，在不损害生态资产价值的前提下同时兼顾合理地开发与城镇发展。

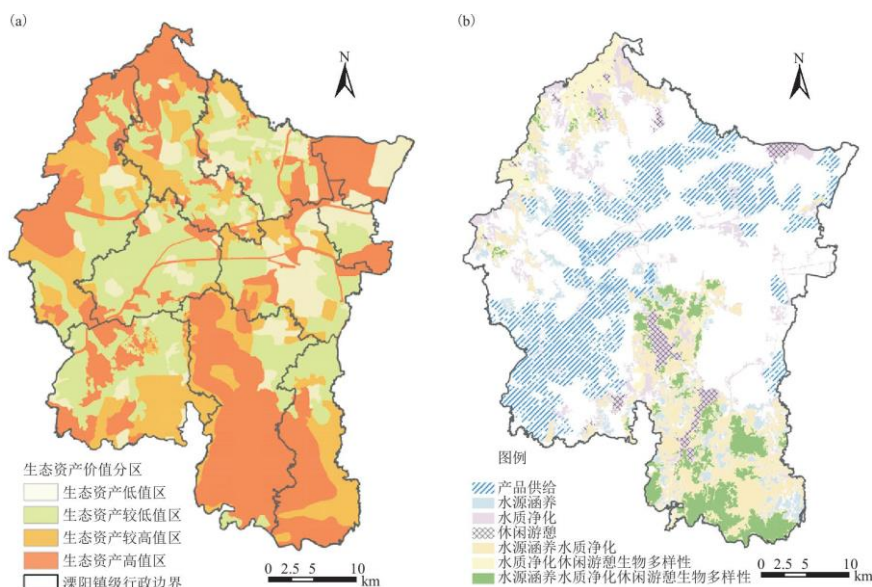


图 4(a)生态资产价值综合分区图；(b)重要生态资产主导功能分区图

3 结论

3.1 主要结论

本研究基于高精度的溧阳市生态资源本底调查数据，选取重要生态资产类型进行评估，获取溧阳县域生态资产清单，并进行价值分区，提出分区管控策略，为促进区域生态价值和经济价值协调发展提供参考。主要结论如下：

(1)2018 年，溧阳市生态资产价值为 3105.85 亿元，单位面积生态资产价值 245.10 万元/hm²。从不同生态资产价值类型上看，溧阳市休闲游憩价值和产品供给价值最高，表明溧阳市充分利用自然资源禀赋创立特色旅游品牌，是生态资源价值实现的重要手段。水源涵养价值和生物多样性保护价值次之，水质净化价值最小。这与溧阳市生态保护红线中水源涵养类型区占红线区总

面积的 59.48%情况一致。从不同用地类型上看,水域和林地提供的生态资产价值较高,耕地和园地生态资产价值次之,草地生态资产价值因其面积较小而较低。

(2)溧阳市生态资产价值高值区主要由林地和水域构成,包括了溧阳市南部的重要水源地一天目湖流域、西北部茅山余脉和东北部长荡湖湖体及周边河网地区,提供县域内最高的水源涵养、水质净化、生物多样性保护和休闲游憩价值,是生态资产价值的主要承载用地。

3.2 不足与展望

本研究主要基于高精度生态资源本底调查数据,采用 InVEST 模型对东南湿润区具有重要区域生态屏障功能的溧阳市开展重要生态资产评估,获取溧阳县域生态资产清单和价值分区。InVEST 模型的应用是一种为了使生态系统服务空间化并能清晰找出生态系统服务空间分异规律的手段,对区域自然资产规划和管理有着显著的效果^[47],但溧阳市自然环境具有高度复杂性和不确定性,基于 InVEST 模型运行结果得到的模拟值与实测值之间存在一定误差,如通过 InVEST 模型产水量模块输出结果与实测计算的《常州市水资源公报》中溧阳市水资源总量比较,模型估算的 2018 年水资源总量($8.90 \times 10^8 \text{ m}^3$)和水资源公报的总量($8.06 \times 10^8 \text{ m}^3$)相比,误差约 10.42%,需要对生态系统服务实际状况进行更加准确的评估。其次,运用 2018 年生态系统服务价值折算成生态资产价值的计算中,未考虑溧阳市未来人类活动对生态系统状况变化^[48]和人类偏好选择的影响,可能会低估或高估生态系统服务的未来预期收益,导致生态资产价值评估结果具有差异。

与半湿润半干旱高原山地区^[6]、半湿润半干旱低山丘陵区^[21]、半湿润黄土高原丘陵沟壑区^[22]等其他气候地貌类型区的生态资产评估研究结果相比,东南湿润区降水丰沛、植被覆盖度高,加之人口稠密人类活动干扰强度大,产品供给、水源涵养、水质净化、休闲游憩等生态系统服务极为重要,大气调节、土壤保持等服务相对次之,对该类型区域生态资产价值评估有助于缓解生态保护和经济发展之间的矛盾,为生态补偿和生态资源交易提供依据。

从研究结果上看,溧阳市单位面积生态资产价值 245.10 万元/ hm^2 稍高于美国新泽西州^[49]单位面积生态资产价值 130.19 万元/ hm^2 ,溧阳林地单位面积生态资产价值 222.49 万元/ hm^2 与博文静^[19]研究得到的江苏省森林单位面积生态资产价值 213.3 万元/ hm^2 结果相近,溧阳市生态资产产生的 2018 年单位面积生态系统服务价值 23.42 万元/ hm^2 略小于浙江省丽水市^[3]2018 年单位面积生态系统生产总值 29.04 万元/ hm^2 。与其他研究结果对比,不同评估体系得到的结果之间有所差异,并且由于大气调节、土壤保持等生态系统服务在东南湿润区县域生态资产核算体系中占比相对较小,加之高精度的土壤数据和气象数据较难获取,本研究未将其纳入评估体系,并且由于城市公园和绿地面积小也没有计算在内,导致价值评估不够全面。

在未来研究中,希望依据更多的实测数据来优化模型参数,提高评估精度,并将更多的生态资产类型涵盖其中。同时,可以通过对比多年生态资产物质量和价值量的变化,在厘清生态资产现状与变化的基础上,区分不同生态资产内容的转移或运输路径,探究生态资产的供需关系,识别生态资产的受益对象与受益强度,疏通生态资产价值产生对人类经济社会有效益的社会价值的路径,为能够将生态资产更好地纳入决策过程打下夯实基础。

参考文献:

[1]OUYANG Z Y,SONG C S,ZHENG H,et al.Using gross ecosystem product (GEP) to value nature in decision making[J].Proceedings of the National Academy of Sciences,2020,117(25):1911439.

[2]COSTANZA R,GROOT R D,BRAAT L,et al.Twenty years of ecosystem services:How far have we come and how far do we still need to go?[J].Ecosystem Services,2017,28:1-16.

-
- [3] 欧阳志云, 林亦晴, 宋昌素. 生态系统生产总值 (GEP) 核算研究——以浙江省丽水市为例[J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(6):80-85.
- [4] 耿建新, 胡天雨, 刘祝君. 我国国家资产负债表与自然资源资产负债表的编制与运用初探——以 SNA 2008 和 SEEA 2012 为线索的分析[J]. 会计研究, 2015, 327(1):15-24, 96.
- [5] BARBIER E B. Economics: account for depreciation of natural capital. *Nature*, 2014, 515(7525):32-33.
- [6] 王红岩, 高志海, 李增元, 等. 县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例[J]. 生态学报, 2012, 32(22):7156-7168.
- [7] BAO Y S, CHENG L L, LU Q. Assessment of desert ecological assets and countermeasures for ecological compensation[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2019, 10(1):56-62.
- [8] 谢高地. 生态资产评价: 存量、质量与价值[J]. 环境保护, 2017, 45(11):19-23.
- [9] UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. System of environmental-economic accounting—ecosystem accounting: final draft[EB/OL]. https://unstats.un.org/unsd/statcom/52nd-session/documents/BG-3f-SEEA-EA_Final_draft-E.pdf, 2021-02-05.
- [10] EDENS B, HEIN L. Towards a consistent approach for ecosystem accounting[J]. *Ecological Economics*, 2013, 90:41-52.
- [11] HEIN L, BAGSTAD K, EDENS B, et al. Defining ecosystem assets for natural capital accounting[J]. *PloS ONE*, 2016, 11(11):e0164460.
- [12] OBST C, HEIN L, EDENS B. National accounting and the valuation of ecosystem assets and their services[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2016, 64(1):1-23.
- [13] 刘焱序, 傅伯杰, 赵文武, 等. 生态资产核算与生态系统服务评估: 概念交汇与重点方向[J]. 生态学报, 2018, 38(23):8267-8276.
- [14] SHARP R, DOUGLASS J, WOLNY S, et al. InVEST 3.9.0 User's Guide[EB/OL]. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2020.
- [15] BAGSTAD K J, VILLA F, JOHNSON G W, et al. ARIES-Artificial Intelligence for Ecosystem Services:a guide to models and data, version 1.0[J]. ARIES report series, 2011.
- [16] BAGSTAD K J, SEMMENS D, WINTHROP R, et al. Ecosystem services valuation to support decisionmaking on public lands—a case study of the San Pedro River Watershed, Arizona[J]. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2012-5251, 93 p.
- [17] OUYANG Z Y, HUA Z, YANG X, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital[J]. *Science*, 2016, 352(6292):1455-1459.

-
- [18]侯鹏,付卓,祝汉收,等.生态资产评估及管理研究进展与展望[J].生态学报,2020,40(24):8851-8860.
- [19]博文静,王莉雁,操建华,等.中国森林生态资产价值评估[J].生态学报,2017,37(12):4182-4190.
- [20]白杨,李晖,王晓媛,等.云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究[J].自然资源学报,2017,32(7):1100-1112.
- [21]王燕,高吉喜,邹长新,等.生态保护红线划定及其生态资产变化研究[J].中国环境科学,2017,37(6):2369-2376.
- [22]皮泓漪,夏建新.生态功能区县域生态资产价值评估[J].林业经济问题,2019,39(1):83-90.
- [23]冯源,朱建华,曾立雄,等.县域土地利用变化下生态系统服务价值损益预测——以重庆市巴南区为例[J].生态学报,2021,41(9):3381-3393.
- [24]肖善才,欧名豪.基于生态位适宜度模型的江苏省陆域生态保护红线划定研究[J/OL].长江流域资源与环境:1-18[2021-09-02].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1320.X.20210824.1956.002.html>.
- [25]丁梦婷,裴凤松,胡引翠,等.基于LUCC的江苏省生态系统服务价值时空变化特征研究[J].生态学报,2020,40(19):6801-6811.
- [26]向梦杰,胡晓亮.溧阳市耕地质量空间分布特征与保护分区研究[J].土壤通报,2020,51(1):18-25.
- [27]汤傅佳,黄震方,徐冬,等.水库型旅游地生态安全时空分异及其关键影响因子分析——以溧阳市天目湖为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(5):1114-1123.
- [28]胡义涛,朱颖,莫晓琪,等.溧阳市生物多样性评价[J].贵州农业科学,2016,44(7):130-132.
- [29]王保盛,陈华香,董政,等.2030年闽三角城市群土地利用变化对生态系统水源涵养服务的影响[J].生态学报,2020,40(2):484-498.
- [30]XU X,LIU W,SCANLON B R,et al.Local and global factors controlling water-energy balances within the Budyko framework[J].Geophysical Research Letters,2013,40(23):6123-6129.
- [31]ZHANG C Q,LI W H,ZHANG B,et al.Water yield of Xitiaoxi River basin based on InVEST Modeling[J].Journal of Resources and Ecology,2012,3(1):50-54.
- [32]YANG D,LIU W,TANG L,et al.Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model[J].Landscape and Urban Planning,2019,182:133-143.
- [33]CHEN J,CUI T,WANG H,et al.Spatio-temporal evolution of water-related ecosystem services:Taihu Basin, China[J].PeerJ,2018,6:e5041.
- [34]顾铮鸣,金晓斌,沈春竹,等.近15a江苏省水源涵养功能时空变化与影响因素探析[J].长江流域资源与环境,2018,27(11):2453-2462.

-
- [35]ZHANG W S,LI H P,KENDALL A D,et al.Nitrogen transport and retention in a headwater catchment with dense distributions of lowland ponds[J].Science of the Total Environment,2019,683:37-48.
- [36]WANG Y Y,ATALLAH S,SHAO G F.Spatially explicit return on investment to private forest conservation for water purification in Indiana,USA[J].Ecosystem Services,2017,26:45-57.
- [37]吴健生,毛家颖,林倩,等.基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例[J].地理科学,2017,37(1):28-36.
- [38]欧维新,王宏宁,陶宇.基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化[J].生态学报,2018,38(17):6337-6347.
- [39]张学儒,周杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J].地理学报,2020,75(1):160-178.
- [40]谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [41]郭洋,杨飞龄,王军军,等.“三江并流”区游憩文化生态系统服务评价研究[J].生态学报,2020,40(13):4351-4361.
- [42]刘慧明,高吉喜,刘晓,等.国家重点生态功能区 2010-2015 年生态系统服务价值变化评估[J].生态学报,2020,40(6):1865-1876.
- [43]SONG X D,WU H Y,JU B,et al.Pedoclimatic zone-based three-dimensional soil organic carbon mapping in China[J].Geoderma,2020,363:114145.
- [44]高伟,杜展鹏,严长安,等.污染湖泊生态系统服务净价值评估——以滇池为例[J].生态学报,2019,39(5):1748-1757.
- [45]燕守广,张慧,李海东,等.江苏省陆地和生态红线区域生态系统服务价值[J].生态学报,2017,37(13):4511-4518.
- [46]王敏,江波,白杨,等.上海市生态资产核算体系研究[J].环境污染与防治,2018,40(4):484-490.
- [47]唐尧,祝炜平,张慧,等.InVEST 模型原理及其应用研究进展[J].生态科学,2015(3):204-208.
- [48]严金明,张东昇,夏方舟.自然资源资产管理:理论逻辑与改革导向[J].中国土地科学,2019,33(4):1-8.
- [49]LIU S,COSTANZA R,TROY A,et al.Valuing New Jersey's Ecosystem Services and Natural Capital:A Spatially Explicit Benefit Transfer Approach[J].Environmental Management,2010,45(6):1271-1285.