

福州市生态系统生产总值核算

邓娇娇¹ 常璐¹ 张月¹ 周旺明¹ 齐麟² 周莉¹ 于大炮^{1*}

(¹中国科学院沈阳应用生态研究所森林生态与管理重点实验室, 沈阳 110016; ²沈阳大学生物入侵中心, 沈阳 110003)

摘要 开展生态系统生产总值(GEP)核算是推进生态文明制度建设的必要措施,也是将生态效益纳入经济社会发展评价体系的重要举措。本研究以福州市为研究对象,通过构建具有“山、海、城”特色的生态系统价值核算体系,对2015和2018年福州市GEP进行核算,从时空变化角度对福州市GEP进行对比。结果表明:2015、2018年福州市GEP分别为9205.92、10472.42亿元,人均GEP分别为13.02、14.39万元,生态产品供给服务价值分别为941.81、1102.61亿元,生态调节服务价值分别为6364.20、5988.51亿元,生态文化服务价值分别为1899.91、3381.3亿元。与2015年相比,2018年福州市GEP增加1266.50亿元,增幅为13.8%,主要得益于生态产品供给服务价值和生态文化服务价值的增加。然而,生态调节服务价值减少375.69亿元,降幅为5.9%,主要源于气候调节、水流动调节和水质净化服务价值的减少。福州率先探索建立一套具有山、海、城特色的核算体系,可以为福建省其他城市及我国其他地区的核算工作提供“福州样板”,同时助推建立生态价值实现的长效机制。

关键词 “山、海、城”特色;核算体系;生态系统生产总值;福州市

Accounting of gross ecosystem product in Fuzhou City, China. DENG Jiao-jiao¹, CHANG Lu¹, ZHANG Yue¹, ZHOU Wang-ming¹, QI Lin², ZHOU Li¹, YU Da-pao^{1*} (¹CAS Key Laboratory of Forest Ecology and Management, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016, China; ²Biological Invasion Center, Shenyang University, Shenyang 110003, China).

Abstract: Carrying out the accounting of ecological system gross ecosystem product (GEP) is a necessary measure to promote the construction of ecological civilization system and an important measure for the integration of ecological benefits into the economic and social development evaluation system. Taking Fuzhou City as the object, we constructed an ecosystem value accounting system with the characteristics of “mountain, sea, and city” to calculate the GEP of Fuzhou City in 2015 and 2018, and compared them from the perspective of temporal and spatial changes. The results showed that the GEP of Fuzhou in 2015 and 2018 was 920.592 and 1047.242 billion yuan, respectively. The per capita GEP in 2015 and 2018 was 130200 and 143900 yuan, the supply service value of ecological products was 94.181 and 110.261 billion yuan, the value of ecological regulation was 636.42 and 598.851 billion yuan, and the service value of ecological culture was 189.991 and 338.13 billion yuan, respectively. Compared with that in 2015, the GEP of Fuzhou City in 2018 increased by 126.65 billion yuan, with an increase of 13.8%, which was mainly due to the increases in ecological product supply service and cultural service. The value of ecological regulation services decreased by 37.569 billion yuan, with a reduction of 5.9%, which was mainly due to the decreases in climate regulation, water flow regulation and water purification services. Fuzhou City took the lead in exploring the establishment of accounting system with the characteristics of “mountain, sea, and city”, which could provide a “Fuzhou model” for the accounting work of other cities in Fujian Province and other regions in China, and promote the establishment of a long-term mechanism for realizing the value of ecological products.

Key words “mountain, sea, and city” feature; accounting system; gross ecosystem product; Fuzhou City.

本文由福州市生态系统价值核算科研服务资助项目([350100]HH[CS]2019001) 资助 This work was supported by the Research Services of Ecosystem Value Accounting in Fuzhou City([350100]HH[CS]2019001) .

2021-07-15 Received, 2021-08-09 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yudp2003@iae.ac.cn

生态系统生产总值(gross ecosystem product, GEP)包括生态产品供给服务、生态调节服务和生态文化服务价值3部分^[1-2],用于评价、分析某个区域内生态系统为人类福祉的贡献和对人类经济社会可持续发展的支撑作用。GEP是一套与国内生产总值(gross domestic product, GDP)相对应的单独核算体系^[3-6],GEP的核算不仅关系到人们的“钱袋子”,而且与人类生存环境密不可分,GEP的动态变化能够反映一个区域生态系统对经济社会发展支撑作用的变化趋势,能够用来衡量一个区域的可持续发展水平,考核一个地区生态保护成效,还可以作为定量评价生态文明建设的指标^[7-9]。习近平总书记关于“绿水青山就是金山银山”的科学论断表明,以绿水青山为代表的高质量森林、草地、湿地等生态资产为人们的生活生产提供了必需的生态产品和生态服务,产生了巨大的生态效益。GEP核算是构建生态文明制度体系的基础之一,是践行“绿水青山就是金山银山”的具体举措^[10-13],具有重要的理论价值和现实意义。通过GEP核算能够更好地认识区域之间的生态关联,了解各生态系统和各区域生态产品供给服务的实物量和价值量,生态调节服务实物量和价值量的变化情况,通过核算能够更好地将生态系统的保护、恢复和管理形成一个良性的回圈。

中央和地方各级政府高度重视GEP的核算研究和实践应用,广大国内外学者也相继在县域尺度^[11]、市域尺度^[14]、省域尺度^[15-16]、全国尺度^[17-18]和全球尺度^[19-20]开展了森林、湿地、草地、农田等不同生态系统GEP核算研究。然而,由于生态系统服务类型繁多、属性差异巨大,造成核算科目和指标体系间存在较大差别,导致同一地区核算结果差异较大。此外,现有生态系统生产总值的核算体系和核算方法多集中在自然生态系统,鲜有涉及日益成为人类活动主要载体的城市生态系统,而且尚鲜有研究深入考虑自然和城市生态系统由于结构、功能等特征差异而引起的服务功能及价值的相应差异。鉴于此,为了能够实现不同区域生态系统价值核算结果可重复、可比较、可推广,急需建立兼具自然生态系统和城市生态系统生态价值核算体系,从而为同类地区、同类生态系统建立统一、规范的核算科目和核算体系提供标尺。

福建省作为我国南方地区重要的生态屏障,是全国首个国家生态省、生态文明先行示范区和国家生态文明试验区。全面估算福州市生态系统的生产状况和生态系统生产总值是生态文明机制体制创新

的体现,能够为福州市高质量发展提供决策依据。鉴于此,本研究借鉴已有核算体系和研究成果,在国家环境经济框架的基础上,结合福州市自然社会经济的特点和目前GEP核算的进展,建立具有“山、海、城”特色的生态系统价值核算体系,针对福州市12个区县2015和2018年生态系统生产总值进行核算,从时空变化角度对福州市生态系统生产总值进行对比,有助于科学量化福州市生态产品供给能力、识别生态环境不足,为福州市生态环境质量改善、绿色发展和生态文明建设提供科学参考和决策支持,为全国其他地区“绿水青山”转变为“金山银山”提供重要的示范引领作用。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

福州市(25°15′—26°39′ N, 118°08′—120°31′ E)地处福建省东部,属亚热带季风气候,年均气温20~25℃,年降水量900~2100 mm。福州市陆地面积为11968 km²,森林覆盖率57.1%,建成区绿地率41.1%,海域面积10573 km²。福州市生态系统价值核算核算范围包括鼓楼区、仓山区、晋安区、台江区、马尾区、长乐区、福清市、闽侯县、罗源县、连江县、闽清县和永泰县12个区县。

1.2 核算体系构建

根据福州市生态系统的特点,以及核算GEP的目标,结合当前可获取的数据特点,借鉴已有的研究成果,构建具有“山、海、城”特色的GEP核算体系。首先,按照福州市土地利用类型划分陆地生态系统[自然(森林、草地、湿地)、半自然(农田)和人居环境生态系统(城市)]和海洋生态系统核算边界,城市生态系统以建成区为边界,边界以内的为城市生态系统。其次,将福州市生态系统GEP核算分为生态产品供给、生态调节服务和生态文化服务3大类;为体现城市生态系统在改善人居环境中的作用及价值,本研究将噪声消减和雨洪减排等功能纳入城市GEP核算(图1)。通过筛选,福州市陆地和海洋生态系统共设置13个一级指标和22个二级指标(表1)。

1.3 核算方法

1) 生态产品供给服务价值核算方法。生态系统产品供给服务价值指一定时期内生态系统提供的物质性产品和产出。本次核算中包含自然生态系统的农林牧渔产品及淡水资源产品。

$$V = \sum M_i P_i$$

表 1 福州市生态系统生产总值 (GEP) 核算指标体系
Table 1 Accounting index system of gross ecosystem product (GEP) in Fuzhou City

功能类别 Function category	核算对象表征 Accounting object representation			核算生态系统类型 Accounting ecosystem type					
	一级指标 First level indicator	二级指标 Secondary indicator	实物指标 Physical indicator	森林 Forest	草地 Grass- land	湿地 Wetland	农田 Farm- land	城市 Urban	海洋 Ocean
生态系统产品 Ecosystem product supply service (01)	农林牧渔产品	农林牧渔产品(0101)	农林牧渔产量	√	√	√	√	-	-
供给服务 Ecosystem product supply service (01)	水资源供给产品	水资源供给产品(0102)	淡水资源供给量	-	-	√	-	-	-
生态系统调节服务 Ecosystem regulation service (02)	土壤保持	土壤肥力保持(0201)	减少碳氮磷钾流失量	√	√	√	√	√	-
		减轻泥沙淤积(0202)	减少泥沙淤积量	√	√	√	√	√	-
	水流动调节	水源涵养(0203)	水源涵养量	√	-	√	-	-	-
		洪水调蓄(0204)	洪水调蓄量	-	-	√	-	-	-
		径流调节(0205)	径流调节量	√	√	-	-	√	-
		雨洪减排(0206)	雨洪减排量	-	-	-	-	√*	-
	水质净化	降解污染物(0207)	湿地污水处理量污染物排放量	-	-	√	-	x	√
	海岸带防护	海岸带防护(0208)	近海与海岸湿地面积	-	-	√	-	-	-
		吸收污染物(0209)	SO ₂ 和NO _x 污染物吸收量	√	√	√	√	√	-
	空气净化	滞尘(0210)	滞尘吸收量	√	√	√	√	√	-
		释放负离子(0211)	空气负离子释放量	√	√	√	-	√*	-
	气候调节	降温功能(0212)	降温蒸散吸热量	√	√	√	x	√	-
		固碳功能(0213)	固碳量	√	√	√	x	√	√
		释氧功能(0214)	释氧量	√	√	√	x	√	√
		物种保育更新(0215)	物种保育更新能值	√	√	√	-	-	√
	物种保育	物种多样性维持(0216)	海洋面积与物种数	x	x	x	x	x	√
噪声消减	噪声消减(0217)	噪声消减分贝	-	-	-	-	√*	-	
废物消纳	废物消纳(0218)	废物消纳实物量	-	-	-	√	-	-	
生态系统文化服务 Ecosystem cultural service (03)	观赏游憩	观赏游憩(0301)	观赏游憩人次	/	/	/	/	√*	/
	景观贡献	景观贡献(0302)	现住房建筑总面积	/	/	/	/	√*	/

√ 核算 Accounting; × 未核算 Not accounting; - 不适合核算 Not suitable for accounting; / 不适合分生态系统核算 Not suitable for sub-ecosystem accounting; * 体现城市人居环境需求 Reflected the needs of urban human settlements. 括号内数字为编码 Number in the bracket was code.

式中: V 为生态产品供给总价值; M_i 为第 i 种生态产品供给实物量; P_i 为第 i 种生态产品供给单价。其中核算价格采用市场价格。

2) 城市生态系统生态文化服务核算方法如表 2 所示。

3) 生态调节服务价值核算方法。生态调节服务是一定时期内生态系统提供的调节人类生存环境

质量的服务,包括土壤保持、水流动调节、水质净化、海岸带防护、空气净化、气候调节、物种保育、噪声消减、废弃物消解等功能(表 3)。

2 结果与分析

2.1 福州市各生态系统生产总值核算结果

2015年,福州市生态系统生产总值为9205.92

表 2 城市生态系统生态文化服务核算方法
Table 2 Accounting method of ecological cultural service of urban ecosystem

核算科目 Accounting item	核算公式 Accounting formula	公式说明 Formula description
科目一 Subject one	科目二 Subject two	
观赏游憩 Watch recreation	观赏游憩 $V_{ss} = N_t \times (C_c + C_s)$	V_{ss} 为观赏游憩价值 ($\times 10^4$ yuan); N_t 为景区接待游客总人次 (万人); C_c 为消费者支出 (yuan \cdot cap ⁻¹); C_s 为消费者剩余 (yuan \cdot cap ⁻¹)
景观贡献 Landscape contribution	生态景观 $V_{st} = A_{stf} \times r \times P_m \times R \times 10^{-4}$	V_{st} 为生态景观贡献价值 ($\times 10^4$ yuan); A_{stf} 为福州市城镇现住房建筑总面积 (m^2); r 为景观房面积贡献率; P_m 为商品住房平均价格 (yuan \cdot m ⁻²); R 为生态景观对房价的贡献率
	海景景观 $SLV_{hj} = A_{stf} \times r \times P_m \times R \times 10^{-4}$	SLV_{hj} 为海景景观贡献价值 ($\times 10^4$ yuan); A_{stf} 为福州市城镇现住房建筑总面积 (m^2); r 为海景房面积贡献率; P_m 为商品住房平均价格 (yuan \cdot m ⁻²); R 为海洋景观对房价的贡献率

表 3 生态调节功能核算方法

Table 3 Ecological regulation service value accounting method

核算科目 Accounting item		生态系统 Ecosystems	核算公式 Accounting formula	公式说明 Formula description
科目一 Subject one	科目二 Subject two			
土壤保持 Soil conservation	土壤肥力保持	森林、草地、湿地、农田	$A_{sf} = A_{si} \times F_i$ $E_{sf} = A_{sf} \times P_j$	E_{sf} 为土壤肥力保持价值 ($\times 10^4$ yuan); A_{sf} 为土壤肥力保持量 (t); P_j 为按照当地肥料价格折算的土壤有机碳、氮、磷、钾的单价 ($\text{yuan} \cdot \text{t}^{-1}$); F_i 为土壤有机碳、氮、磷、钾的平均含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); A_{si} 为土壤保持量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
	减轻泥沙淤积		$A_{ss} = A_{ci} / \rho_i \times 24\%$ $E_{ss} = A_{ss} \times P_c$	E_{ss} 为减轻泥沙淤积价值 ($\times 10^4$ yuan); A_{ss} 为减轻土壤淤积量 (m^3); ρ_i 为土壤容重 ($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$); A_{ci} 为土壤保持量 (t), 采用 RUSLE 模拟; P_c 为水库工程费用 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$)
水流动调节 Water flow regulation	水源涵养	森林	$T_Q = (P_i - R_i - AET_i) \times A_i \times 10^3$ $E_Q = T_Q \times P_v$	E_Q 为水源涵养价值 ($\times 10^4$ yuan); T_Q 为水源涵养量 (m^3); P_i 为降雨量 (mm); R_i 为地表径流量 (mm); AET_i 为实际蒸散量 (mm); A_i 为森林面积 (km^2); P_v 为单位库容价格 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$)
		湿地	$E_{rw1} = G_{rw1} \times P_v$	E_{rw1} 为蓄水价值 (yuan); G_{rw1} 为年末蓄水量 (m^3); P_v 为单位库容价格 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$)
	洪水调蓄	湿地	$G_{rw2} = Q_{ri} - Q_{re}$ $E_{rw2} = G_{rw2} \times P_v$	E_{rw2} 为洪水调蓄价值 ($\times 10^4$ yuan); G_{rw2} 为丰水期洪峰消减量 (m^3); Q_{ri} 为水库库容 (m^3); Q_{re} 为水库枯水期水量 (m^3); P_v 为单位库容价格 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$)
		森林	$A_{rf} = f_v \times A_f \times R \times (a_0 - a_f) \times 10^3$ $E_{rf} = A_{rf} \times P_v$	E_{rf} 为水源涵养价值量 ($\times 10^4$ yuan); A_{rf} 为水源涵养总量 (m^3); R 为年降水量 (mm); a_f 森林径流系数; a_0 裸地径流系数; A_f 为产流降雨量占降雨总量的比例; f_v 为植被覆盖度
	径流调节	草地	$G_{rg} = A_g \times P_g \times 0.6 \times R_g$ $E_{rg} = G_{rg} \times P_v$	E_{rg} 为径流调节价值 (yuan); P_v 为单位库容价格 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$); G_{rg} 为径流调节总量 (m^3); A_g 为草地面积 (hm^2); P_g 为草地降雨量 (mm); R_g 为与裸地相比, 生态系统减少的径流的效益系数
	城市	$G_{rc1} = R_c \times A_c \times \varphi_c \times 10$ $E_{rc1} = G_{rc1} \times P_v$	E_{rc1} 为水源涵养价值 ($\times 10^4$ yuan); G_{rc1} 为水源涵养量 (m^3); R_c 为降雨量 (mm); A_c 为绿地面积 (hm^2); φ_c 为绿地径流系数; P_v 为单位库容价格 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$)	
雨洪减排	城市	$G_{rc2} = R_c \times A_c \times (\omega_c - \varphi_c) \times 10$ $E_{rc2} = G_{rc2} \times P_v$	E_{rc2} 为雨洪减排价值 ($\times 10^4$ yuan); G_{rc2} 为雨洪减排量 (m^3); R_c 为降雨量 (mm); A_c 为绿地面积 (hm^2); ω_c 为不透水面径流系数; φ_c 为绿地径流系数; P_v 为单位库容价格 ($\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$)	
水质净化 Water quality purification	降解污染物	湿地	$E_{ww} = G_{ww} \times P_{ww}$ $G_{ww} = A_{ww} \times A_w$ $P_{ww} = E_{ww} / A_{ww}$	E_{ww} 为水质净化价值 ($\times 10^4$ yuan); P_{ww} 为污水处理成本 ($\text{yuan} \cdot \text{t}^{-1}$); G_{ww} 为废水处理量 (t); A_{ww} 为单位面积废水消纳量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$); A_w 为湿地面积 (hm^2); E_{ww} 为运行费用 ($\times 10^4$ yuan); A_{ww} 为实际污水处理量 (t)
	营养盐吸收	海洋	$A_{wm1} = Q_{Mi} \times R_N$ $E_{wm1} = A_{wm1} \times P_N$	E_{wm1} 为吸收营养盐价值 ($\times 10^4$ yuan); A_{wm1} 为吸收营养盐量 (t); Q_{Mi} 为第 i 类生物的产量 (t); R_N 为生物体内含氮量比率; P_N 为人工处理废水的单位价格 ($\text{yuan} \cdot \text{t}^{-1}$)
	废弃物消纳	海洋	$A_{wm2} = Q_{Pj}$ $E_{wm2} = A_{wm2} \times P_j$	E_{wm2} 为海洋生态系统降解污染物价值 ($\times 10^4$ yuan); A_{wm2} 为降解污染物量 (t); Q_{Pj} 为第 j 类污染物排放总量 (t); $j=1, 2, 3, \dots, j$, 分别代表排入海的不同污染物; P_j 为第 j 类污染物处理成本 ($\text{yuan} \cdot \text{t}^{-1}$)
海岸带防护 Coastal protection	海岸带防护	湿地	$E_{cw} = A_{co} \times P_{co}$	A_{co} 为近海与海岸湿地面积 (hm^2); P_{co} 为近海与海岸湿地防风消浪单位价 ($\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$); E_{cw} 为湿地的护岸价值 ($\times 10^4$ yuan)
空气净化 Air purification	污染物吸收	森林、草地、湿地、农田、城市	$Q_{api} = Q_{Si} + Q_{Ni}$ $Q_{Si} = u_{Si} \times A_i$ $Q_{Ni} = u_{Ni} \times A_i$ $E_{api} = P_S \times Q_{Si} + P_N \times Q_{Ni}$	E_{api} 为 i 生态系统吸收污染物价值 ($\times 10^4$ yuan); Q_{api} 为 i 生态系统污染物吸收量 (kg); Q_{Si} 和 Q_{Ni} 分别为 i 生态系统吸收 SO_2 量和 NO_x 量 (kg); u_{Si} 为单位面积吸收 SO_2 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); u_{Ni} 为单位面积吸收 NO_x 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); A_i 为 i 生态系统面积 (hm^2); P_S 和 P_N 分别为 SO_2 和 NO_x 治理费用 ($\text{yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	滞尘	森林、草地、湿地、农田、城市	$Q_{di} = u_{di} \times A_i$ $E_{adi} = P_d \times Q_{di}$	Q_{di} 为 i 类型生态系统滞尘量 (kg); u_{di} 为 i 类型生态系统单位面积年滞尘量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); A_i 为 i 类型生态系统面积 (hm^2); E_{adi} 为 i 生态系统滞尘价值 ($\times 10^4$ yuan); P_d 为降尘清理费用 ($\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$)

续表 3
Table 3 Continued

核算科目 Accounting item		生态系统 Ecosystems	核算公式 Accounting formula	公式说明 Formula description
科目一 Subject one	科目二 Subject two			
气候调节 Climate regulation	负离子	森林、草地、湿地、农田、城市	$Q_{aoi} = 5.256 \times 10^{15} \times A_i \times H_i \times (u_{oi} - 600) / L$ $E_{aoi} = Q_{aoi} \times P_o$	<p>E_{aoi} 为 i 生态系统负离子产生价值 ($\times 10^4$ yuan); Q_{aoi} 为 i 类型生态系统负离子产生量 (ions); P_o 为负离子生产费用 (yuan \cdot ions$^{-1}$); A_i 为 i 生态系统面积 (hm2); H_i 为 i 生态系统植被高度 (m); u_{oi} 为 i 生态系统产生负离子浓度 (ions \cdot cm$^{-3}$); L 为负离子寿命 (min)</p>
	降温作用	森林、草地	$Q_{cti} = A_i \times H_i \times t \times h_e \times h_o \times f_v \times 365 / (10^6 \times 3.6)$ $E_{cti} = P_{ele} \times Q_{cti}$	<p>Q_{cti} 为 i 生态系统降温服务吸收能量 (kWh); P_{ele} 为电价 (yuan \cdot kWh$^{-1}$); A_i 为 i 生态系统面积 (m2); t 为最大降温幅度 ($^{\circ}$C); f_v 为植被覆盖度; h_e 为气比热容 [$J \cdot (m^3 \cdot ^{\circ}C)^{-1}$]; h_o 为每日温度高于 26 $^{\circ}$C 的时长 (h \cdot d$^{-1}$); H_i 为 i 系统调温空间高度; E_{cti} 为 i 生态系统的温度调节价值 (yuan)</p>
		湿地	$Q_{ew} = A_w \times evap_{tw} \times \rho_w \times g_w / 100$ $E_{ew} = P_{ele} \times Q_{ew} / Q_h$	<p>E_{ew} 为湿地生态系统的温度调节价值 ($\times 10^4$ yuan); Q_{ew} 为湿地生态系统降温服务吸收能量 (kJ); P_{ele} 为电价 (yuan \cdot kWh$^{-1}$); Q_h 为电力热值 (3.6 kJ \cdot kWh$^{-1}$); A_w 为湿地生态系统的面积 (hm2); $evap_{tw}$ 为湿地生态系统水面单位面积蒸散量 (mm \cdot a$^{-1}$); ρ_w 为水的密度 (kg \cdot m$^{-3}$); g_w 为水的汽化热 (kJ \cdot kg$^{-1}$)</p>
		城市	$Q_{cc} = W_a \times E_p \times lhw \times Q_h \times 10^{-3} + G_a \times H_a \times Q_h \times 10^{-4}$ $E_{cc} = P_{ele} \times Q_{cc} / Q_h$	<p>E_{cc} 为城市生态系统降温价值 ($\times 10^4$ yuan); Q_{cc} 为城市生态系统降温服务吸收能量 ($\times 10^4$ kWh); W_a 为水体面积 (hm2); E_p 为年均蒸发量 (mm); lhw 为蒸发单位体积的水耗的能量 (kJ \cdot m$^{-3}$); Q_h 为电力热值 (3.6 kJ \cdot kWh$^{-1}$); G_a 为城市生态系统植被面积 (hm2); H_a 为植被单位面积吸收的热量 (kJ \cdot hm$^{-2}$); P_{ele} 为电价 (yuan \cdot kWh$^{-1}$)</p>
		森林	$Q_{cCi} = 1.62 \times 0.2727 \times NPP_i \times A_i$ $NPP_i = bf / (c \times n + d \times bf)$ $bf = \sum ((a \times sw + b) \times A_a / n)$ $E_{cCi} = P_C \times Q_{cCi}$	<p>E_{cCi} 为森林生态系统固碳价值 ($\times 10^4$ yuan); Q_{cCi} 为森林生态系统固碳量 (t); NPP_i 为林分净生产力; bf 为林分生物量 (m3); sv 为林分蓄积量 (m3); c 为林分类型常数; d 为林分类型常数; a 为生物量转化系数; b 为生物量转化系数; A_a 为森林面积 (hm2); n 为小班林龄 (年); P_C 为碳固定价格 (yuan \cdot t$^{-1}$)</p>
		固碳功能	湿地、草地、城市	$Q_{cCi} = 1.62 \times 0.2727 \times NPP_i \times A_i$ $E_{cCi} = P_C \times Q_{cCi}$
		海洋	$Q_{cCs} = Q_p + Q_a + Q_s$ $Q_p = P_p \times A_s$ $Q_a = dw_a \times c_a$ $Q_s = dw_s \times c_s + dw_{ss} \times c_{ss}$ $E_{cCs} = Q_{cCs} \times P_C$	<p>Q_{cCs} 为海洋渔业固碳量 (t); Q_p 为浮游藻类的固碳量 (t); Q_a 为大型藻类的固碳量 (t); Q_s 为贝类的固碳量 (t); P_p 为浮游藻类固碳量 (t \cdot hm$^{-2}$); A_s 为海域面积 (hm2); dw_a 为大型藻类的干重 (t); c_a 为大型藻类含碳量; dw_s 为贝类软体组织产量 (t); c_s 为贝类软体组织含碳量; dw_{ss} 为贝类贝壳产量 (t); c_{ss} 为贝类贝壳含碳量; E_{cCs} 为海洋渔业碳的固定价值 (yuan); P_C 为固碳价格 (yuan \cdot t$^{-1}$)</p>
		森林	$Q_{eOf} = Q_{cCi} \times 2.72$ $E_{eOf} = P_{O_2} \times Q_{eOf}$	<p>Q_{eOf} 为森林生态系统释放氧气量 (t); Q_{cCi} 为森林固碳量; 2.72 为固碳量与释氧量的转换系数; E_{eOf} 为森林生态系统释放氧气价值 (yuan); P_{O_2} 为工业制氧价格 (yuan \cdot t$^{-1}$)</p>
	释氧功能	草地、湿地、城市	$Q_{eOi} = 1.2 \times NPP_i \times A_i$ $E_{eOi} = P_{O_2} \times Q_{eOi}$	<p>Q_{eOi} 为 i 生态系统释氧量 (t); NPP_i 为 i 生态系统净初级生产力 (t \cdot hm$^{-2}$); A_i 为 i 类生态系统面积 (hm2); E_{eOi} 为 i 生态系统释氧价值 (yuan); P_{O_2} 为工业制氧价格 (yuan \cdot t$^{-1}$)</p>
		海洋	$E_{eOs} = P_{O_2} \times Q_{eOs}$ $Q_{eOs} = (Q_p + Q_a) \times 2.72$	<p>Q_{eOs} 为海洋藻类释放氧气量 (t); Q_p 为浮游藻类的固碳量 (t); Q_a 为大型藻类的固碳量 (t); E_{eOs} 为海洋藻类释放氧气价值 (yuan); P_{O_2} 为工业制氧价格 (yuan \cdot t$^{-1}$)</p>
物种保育 Species conservation	物种保育	陆地	$E_c = U_c / P_c$ $U_c = r_m \times \delta \times (N + 0.1 \times E_m \times N_m + 0.1 \times B_n \times N_n + 0.1 \times C_r \times N_r) \times \tau$	<p>U_c 为物种保育更新能值 (sej); r_m 为物种更新率; δ 为生境质量调整系数; N 为研究区物种数量; E_m 为物种 m 的珍稀濒危等级指数; B_n 为物种 n 的特有等级指数; C_r 为物种 r 的保护等级指数; N_m 为 m 珍稀濒危等级物种数量; N_n 为 n 特有等级物种数量; N_r 为 r 保护等级物种数量; τ 为单个物种的能值转换率; E_c 为物种保育更新价值 (yuan); P_c 为单位物种保育更新率价值 (sej \cdot yuan$^{-1}$)</p>

续表 3
Table 3 Continued

核算科目 Accounting item		生态系统 Ecosystems	核算公式 Accounting formula	公式说明 Formula description
科目一 Subject one	科目二 Subject two			
		海洋	$E_{cs} = A_s \times P_{cs}$	E_{cs} 为海洋物种保育价值($\times 10^4$ yuan); P_{cs} 为单位海域面积物种多样性维持价值(yuan \cdot hm^{-2}); A_s 为海域面积(hm^2)
噪声消减 Noise reduction	噪声消减	城市	$S = S_t - S_{gl}$ $E = S \times F \times R_1 / 10$	E 为城市平均噪声消减价值($\times 10^4$ yuan); S 为城市平均噪声消减量(db); S_t 为城市平均交通噪声值(db); S_{gl} 为城市平均环境噪声值(db); F 为市人工降噪幕墙建设成本 [yuan \cdot (m \cdot db) $^{-1}$]; R_1 为城市道路长度(km)
废弃物消解 Waste digestion	废弃物消解	农田	$Q = K \times A \times R \times \gamma$ $E = Q \times P$	Q 为农田生态系统废物消纳实物量(t); K 为农田生态系统推荐有机肥施用量(t \cdot hm^{-2}); A 为商品有机肥推广施用面积(hm^2); γ 为因堆沤过程原料与有机肥转换系数; R 为堆沤原料中有机废物占比; E 为农田生态系统废物消纳价值(元); P 为城市垃圾处理成本(yuan \cdot t $^{-1}$)

亿元,森林、草地、湿地、农田、海洋和城市生态系统分别为 4678.31 (50.8%)、11.48 (0.1%)、1764.87 (19.2%)、164.37 (1.8%)、569.50 (6.2%) 和 2017.40 (21.9%) 亿元。2018 年,福州市生态系统生产总值为 10472.42 亿元,森林生态系统最高,为 4426.38 亿元,占 42.3%, 然后依次为城市、湿地、海洋、农田和

草地生态系统,分别为 3487.65、1714.95、663.75、169.65 和 10.03 亿元(图 2)。2015—2018 年,福州市生态系统生产总值呈增长趋势,增幅为 13.8%。其中,森林、湿地和草地生态系统生产总值呈下降趋势,降幅分别为 5.4%、2.8% 和 12.7%,农田、海洋和城市生态系统生产总值呈增加趋势,增幅分别为 3.2%、16.6% 和 72.9%。

2.2 福州市生态系统生态服务价值量核算结果

2015、2018 年,福州市生态系统生产总值分别为 9205.92、10472.42 亿元,其中,生态产品供给服务价值分别为 941.81、1102.61 亿元,生态调节服务价值分别为 6364.20、5988.51 亿元,生态文化服务价值分别为 1899.91、3381.3 亿元。2015、2018 年福州市总人口分别为 707、728 万,人均 GEP 分别为 13.02、14.39 万元,人均生态调节服务价值分别为 9.00、8.23 万元,均高于全国水平(全国 2017 年人均 GEP 为 5.31 万元,人均生态服务调节价值为 3.68 万元)和福建省水平(福建省 2017 年人均 GEP 为 5.48 万元,人均生态调节服务价值为 3.11 万元)。

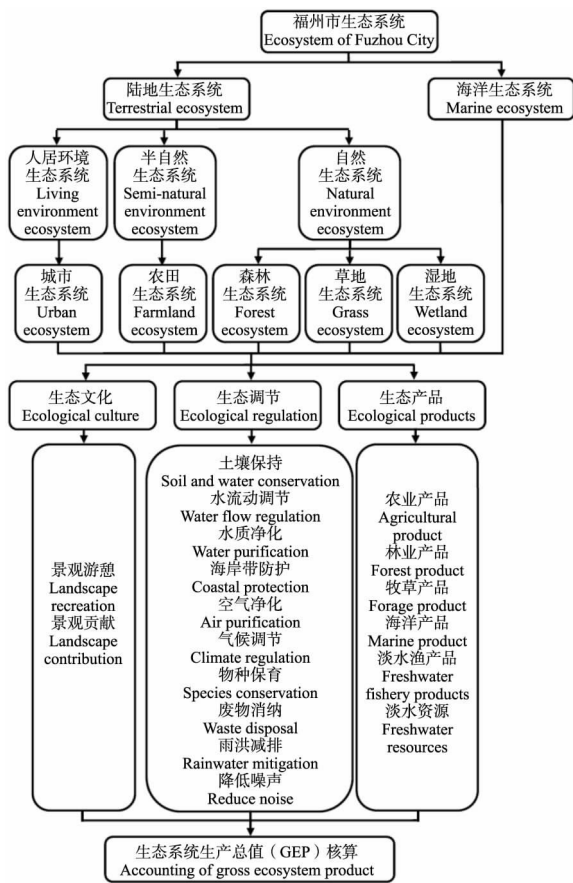


图 1 福州市生态系统生产总值(GEP)核算体系
Fig.1 Gross ecosystem product (GEP) accounting system of Fuzhou City.

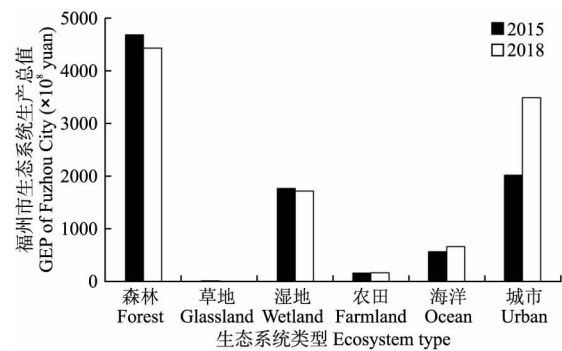


图 2 2015 和 2018 年福州市各生态系统生产总值(GEP)
Fig.2 Gross ecosystem product (GEP) of each ecosystem in Fuzhou City in 2015 and 2018.

2.2.1 福州市生态系统生态产品供给服务价值

2015年,福州市生态产品供给服务价值为941.81亿元,海洋渔业产品价值最大,为526.38亿元,占比55.9%,之后依次是湿地、农田和森林,草地生态产品服务价值最小,为1386.74万元(图3)。具体到福州各区县,连江县生态产品服务价值最大,为323.72亿元,占比34.4%,福清市次之,为229.94亿元,占比24.4%,主要原因是连江县和福清市海洋渔业产品价值量较高。台江区生态产品价值量最小,为2.99亿元,占比0.3%(图4)。

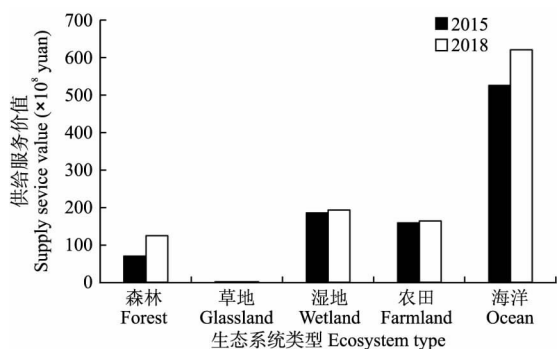


图3 福州市2015和2018年自然生态系统产品供给服务价值
Fig.3 Supply service value of natural ecosystem products of Fuzhou City in 2015 and 2018.

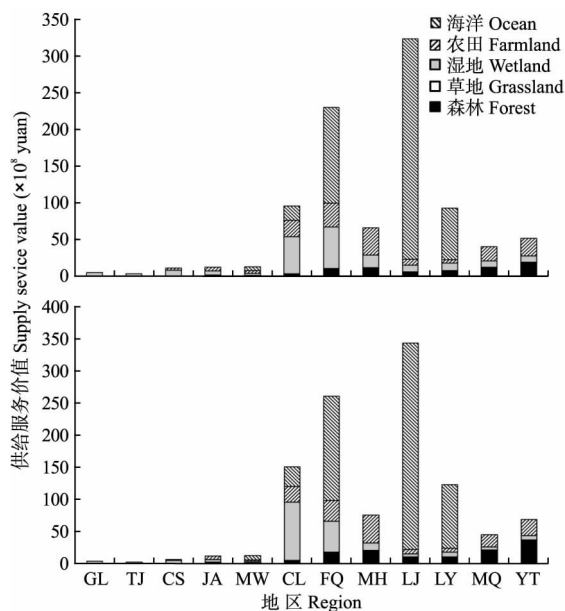


图4 2015和2018年福州市各区县生态产品供给服务价值
Fig.4 Supply service value of natural ecosystem products in each district and county of Fuzhou City in 2015 and 2018.

GL: 鼓楼区 Gulou District; TJ: 台江区 Taijiang District; CS: 仓山区 Cangshan District; JA: 晋安区 Jinan District; MW: 马尾区 Mawei District; CL: 长乐区 Changle District; FQ: 福清市 Fuqing City; MH: 闽侯县 Minhou County; LJ: 连江县 Lianjiang County; LY: 罗源县 Luoyuan County; MQ: 闽清县 Minqing County; YT: 永泰县 Yongtai County.

2018年,福州市生态产品总价值为1102.62亿元,海洋渔业产品服务价值最大,为620.66亿元,占比56.3%,然后依次是湿地、农田和森林,草地产品服务价值最小,为1376.53万元(图3)。具体到福州市各区县,连江县生态产品服务价值最大,为343.25亿元,占比31.1%,福清市次之,为280.74亿元,占比23.7%,台江区生态产品服务价值最小,为2.24亿元,占比0.1%(图4)。2015—2018年,福州市生态产品供给服务价值增加160.80亿元,增幅为17.1%,其中,森林、湿地、农田和海洋生态产品供给服务价值均增加,增幅分别为78.5%、3.5%、3.3%和17.9%,草地生态产品价值呈下降趋势,降幅为0.7%。

2.2.2 福州市生态系统生态调节价值量 2015、2018年,福州市生态系统生态调节服务价值分别为6364.20、5988.51亿元,陆地生态系统生态调节服务价值分别为6321.08、5945.42亿元,海洋生态系统生态调节服务价值分别为43.12、43.09亿元,气候调节分别为23.33、24.32亿元,水质净化分别为3.95、2.91亿元,物种保育均为15.85亿元。自然半自然生态系统生态调节服务价值分别为6203.59、5839.06亿元,其中,水流动调节服务价值最大,分别为4909.49、4527.25亿元,气候调节次之,分别为1131.77、1123.01亿元,空气净化最低,分别为6.18、6.34亿元。2015年,城市生态系统生态调节服务价值为117.49亿元,气候调节服务价值和水流动调节服务价值贡献较大,分别为62.41和53.23亿元。2018年,福州市城市生态系统调节服务价值有所减少,为106.36亿元。其中,降温增湿服务价值和城市雨洪减排服务价值分别减少8.90和2.87亿元(表4)。

2015—2018年,福州市生态系统生态调节服务价值减少375.69亿元,降幅为5.9%,其中,自然半自然生态系统生态调节服务价值减少364.53亿元,主要源于气候调节和水流动调节生态服务价值的减少;城市生态系统生态调节服务价值减少11.13亿元,主要源于气候调节和水流动调节生态服务价值的减少;海洋生态系统生态服务价值减少0.04亿元,主要源于水质净化调节服务价值的减少(表4)。

2.2.3 福州市生态文化服务价值 2015年,福州市生态系统文化服务价值为1899.91亿元,景观贡献服务价值最高,为1361.91亿元,占比71.7%,观赏游憩服务价值为538.00亿元,占比28.3%。与2015年相比,2018年福州市生态系统生态文化服务价值

表 4 福州市自然半自然生态系统生态调节服务价值

Table 4 Ecological regulation service value of natural and semi-natural ecosystem in Fuzhou City

核算类别 Accounting category	核算系统 Accounting system	核算指标 Accounting index	2015 ($\times 10^8$ yuan)	2018 ($\times 10^8$ yuan)	2015—2018 变化量 Variation ($\times 10^8$ yuan)	变化率 Change rate (%)
陆地生态系统 Terrestrial ecosystem	自然与半自然生态系统 Natural and semi-natural ecosystem	土壤保持	20.85	21.11	0.26	1.3
		气候调节	1131.77	1123.01	-8.76	-0.8
		空气净化	6.18	6.34	0.16	2.6
		物种保育	68.80	72.50	3.70	5.4
		水流动调节	4909.49	4527.25	-382.24	7.8
		水质净化	51.73	73.77	22.04	42.6
		海岸带防护	14.77	15.05	0.29	1.9
		废弃物消纳	27.24	304.74	277.50	1018.7
		小计	6203.59	5839.06	-364.53	-5.9
		土壤保持	0.12	0.10	-0.02	15.2
	气候调节	62.41	54.18	-8.23	13.2	
	空气净化	0.41	0.77	0.36	86.3	
	城市生态系统 Urban ecosystem	水流动调节	53.23	49.75	-3.48	6.5
		水质净化	0.07	0.09	0.02	27.9
噪声消减		1.25	1.47	0.22	17.9	
小计		117.49	106.36	-11.13	9.5	
海洋生态系统 Marine ecosystem	海洋生态系统 Marine ecosystem	固碳	7.06	7.48	0.43	6.0
		释氧	16.27	16.84	0.57	3.5
		水质净化	3.95	2.91	-1.03	26.2
		物种保育	15.85	15.85	0.00	0.0
		小计	43.12	43.09	-0.04	0.1
总计 Total		6364.20	5988.51	-375.69	5.9	

表 5 福州市生态文化服务价值

Table 5 Ecological cultural service value of Fuzhou City

核算科目 Accounting subject		价值量 Value ($\times 10^8$ yuan)			占比 Percentage (%)	
		2015	2018	变化量 Variation	2015	2018
观赏游憩 Watch recreation	观赏游憩 Watch recreation	538.00	1172.03	634.03	28.3	34.7
景观贡献 Landscape contribution	生态景观贡献 Ecological landscape contribution	990.58	1606.90	616.32	52.1	47.5
	海景景观贡献 Seascape landscape contribution	371.33	602.36	231.03	19.5	17.8
	小计 Subtotal	1361.91	2209.27	847.35	71.7	65.3
合计 Total		1899.91	3381.30	1481.38	100	100

有所增加,达到 3381.30 亿元,增幅为 78.0%,其中,景观贡献价值为 2209.27 亿元,观赏游憩服务价值为 1172.03 亿元(表 5)。

3 讨 论

科学评估和量化福州市“绿水青山”的价值对于“绿水青山就是金山银山”的“两山”基地建设具有重要意义。本研究通过核算福州市生态系统生产总值摸清了福州市生态系统的“生态家底”,展现了生态环境保护建设成效,诠释了生态系统蕴含着巨大服务功能,更重要的是为“绿水青山”转化为“金山银山”提供了依据,从而为推动生态保护建设和经济社会协同发展奠定了基础。本研究明确了福州市 GEP 核算对象的范围边界,为了保证福州市 GEP

核算各生态系统之间无重叠项、无遗漏项,以及各生态系统间的有效衔接,本研究根据福州市各行政区《土地利用现状分类(GB/T 21010—2017)》^[21]中各生态系统划分标准,结合福州市自然资源与规划局提供的二级土地利用分类数据划分陆地和海洋生态系统,将陆地生态系统分为自然、半自然和人居环境生态系统,构建了具有福州特色的“山、海、城”核算体系,其中,海洋生态系统核算面积由海洋与渔业局提供的统计数据为依据,城市生态系统调节服务价值核算边界为福州市建成区范围内的生态系统植被覆盖面积和水面。本研究确定福州市海洋生态系统服务价值核算包括生态产品供给服务(海水养殖产品和海洋捕捞产品供给)和生态调节服务(气候调节、水质净化和物种保育)两部分;福州市城市生态

系统服务价值核算指标体系,包括生态调节和生态文化 2 个功能类别,8 个一级核算指标和 14 个二级核算指标。在计算福州市生态文化服务价值部分,主要考虑福州市自然与人工生态景观的观赏游憩价值和生态景观、滨海景观的存在对社会的贡献价值。由于各生态系统精神文化服务功能主要体现的是人类活动努力的贡献影响,因此在城市生态系统核算中有所体现,且在福州市域内不区分生态系统类型进行核算,基本实现了福州市生态系统服务价值核算的可推广。

福州市生态系统价值核算以常规业务监测统计数据 and 资源清查数据为主要数据源,保证核算结果的客观精确性,为实现生态系统价值核算结果可重复提供了坚实的数据支撑。此外,还充分运用了多源遥感数据,弥补了核算数据的不足,且遥感数据可获得性较好,可以快速、准确获取福州市的相关数据,为后期的数据更新奠定了坚实基础。福州市生态系统价值核算方法在已有的规范、导则、文献等基础上,遵循实际发生性原则对核算方法(核算因子、模型、范围等)进行了改进,构建了符合福州特色的核算方法。

2018 年福州市生态系统生产总值比 2015 年增加 13.8%,主要得益于生态产品供给服务和生态文化服务价值的增加,其中,生态产品供给服务价值的增加源于林业产品和海洋产品供给价值的大幅增加。生态文化服务价值的增加主要是由于福州市对生态环境的重视,综合地增加了各生态系统的文化服务提供水准,不但吸引了大量市内外、国内外游客到福州,也大幅提高了各生态系统的潜在文化价值,对周边居住人群的生活产生了正面的积极影响。而生态调节服务价值减少 5.9%,主要是由于水流动调节、气候调节和土壤保持服务价值减少所致,而降水和生态系统面积减少是主要影响因素。根据福州市气象局给出的监测站点数据,2015 和 2018 年福清市、晋安区、连江县、罗源县、闽侯县、闽清县、永泰县和长乐区年降水总量之和分别为 14665.0 和 12246.5 mm,由于降水减少,潜在水源涵养、洪水调蓄及城市雨洪减排服务的核算量随之减少,然而,这种价值上的减少并不能直接说明生态环境衰退。另外,根据自然资源与规划局提供的二级土地利用分类数据来看,除海洋生态系统以外,其他生态系统的核算面积均有不同程度减少。其中,森林、草地和湿地生态系统面积分别减少 2040.11、105.30 和 1142.03 hm^2 ,从而造成气候调节服务价值量减少。生态系统调节服

务受降水等气候因素影响较大,各生态系统在核算中均反映出此类问题,由于全球气候异常,极端气候出现概率大大增加,而气候是否出现异常不是某个区域范围内生态系统可以单独决定的,因此在制定评估考核政策中,不应只看“总钱数”,还应综合考虑气候因素的影响,将气候干扰因素排除出去。

4 结 论

通过对福州市生态系统产品提供功能、调节功能和文化功能的指标确定,研究了福州市 GEP 总体特征。结论如下:

1) 2015 年,福州市生态系统生产总值为 9205.92 亿元,人均 GEP 为 13.02 万元,生态产品供给服务价值为 941.81 亿元,生态调节服务价值为 6364.20 亿元,生态文化服务价值为 1899.91 亿元。其中,森林、草地、湿地、农田、海洋和城市生态系统分别为 4678.31、11.48、1764.87、164.37、569.50 和 2017.40 亿元。

2) 2018 年,福州市生态系统 GEP 总值为 10472.42 亿元,人均 GEP 为 14.39 万元,生态产品供给服务价值为 1102.61 亿元,生态调节服务价值为 5988.51 亿元,生态文化服务价值为 3381.3 亿元。其中,森林、草地、湿地、农田、海洋和城市生态系统为 4426.38、10.03、1714.95、169.65、663.75 和 3487.65 亿元。相比 2015 年,2018 年福州市生态系统生产总值增加 1266.50 亿元,增幅为 13.8%,主要得益于生态产品供给服务价值和生态文化服务价值的增加,而生态调节服务价值减少 375.69,降幅为 5.9%,主要源于气候调节、水流动调节和土壤保持服务价值的减少。

3) 福州市生态系统生产总值核算研究是生态文明体制机制创新的体现,能够为福州市高质量发展提供决策依据,有助于完善发展成果考核评价体系,对区域生态文明建设、社会可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 欧阳志云, 靳乐山. 面向生态补偿的生态系统生产总值(GEP)和生态资产核算. 北京: 科学出版社, 2017 [Ouyang Z-Y, Jin L-S. Gross Ecosystem Product Accounting for Ecological Benefits Assessment: A Case Study of Qinghai Province. Beijing: Science Press, 2017]
- [2] 王莉雁, 肖焱, 欧阳志云, 等. 国家级重点生态功能区生态系统生产总值核算研究——以阿尔山市为例. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 146-154

- [Wang L-Y, Xiao Y, Ouyang Z-Y, *et al.* Gross ecosystem product accounting in the national key ecological function area: An example of Arxan. *China Population, Resources and Environment*, 2017, **27**(3): 146-154]
- [3] Camacho-Valdez V, Ruiz-Luna A, Ghermandi A, *et al.* Effects of land use changes on the ecosystem service values of coastal wetlands. *Environmental Management*, 2014, **54**: 852-864
- [4] Duraiappah AK. Ecosystem services and human well-being: Do global findings make any sense? *Bioscience*, 2011, **61**: 7-8
- [5] 李涛, 甘德欣, 杨知建, 等. 土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变. *应用生态学报*, 2016, **27**(12): 3787-3796 [Li T, Gan D-X, Yang Z-J, *et al.* Spatial-temporal evolution of ecosystem service value of Dongting Lake area influenced by changes of land use. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, **27**(12): 3787-3796]
- [6] 马国霞, 於方, 王金南, 等. 中国 2015 年陆地生态系统生产总值核算研究. *中国环境科学*, 2017, **37**(4): 1474-1482 [Ma G-X, Yu F, Wang J-N, *et al.* Measuring gross ecosystem product (GEP) of 2015 for terrestrial ecosystems in China. *China Environmental Science*, 2017, **37**(4): 1474-1482]
- [7] Zhao AZ, Zhang AB, Cao S, *et al.* Spatiotemporal patterns of water use efficiency in China and responses to multi-scale drought. *Theoretical and Applied Climatology*, 2020, **140**: 559-570
- [8] 马国霞, 赵学涛, 吴琼, 等. 生态系统生产总值核算概念界定和体系构建. *资源科学*, 2015, **37**(9): 27-33 [Ma G-X, Zhao X-T, Wu Q, *et al.* Concept definition and system construction of gross ecosystem production. *Resources Science*, 2015, **37**(9): 27-33]
- [9] 于淼, 金海珍, 李强, 等. 呈贡区生态系统生产总值 (GEP) 核算研究. *西部林业科学*, 2020, **49**(3): 41-48 [Yu M, Jin H-Z, Li Q, *et al.* Gross Ecosystem Product (GEP) accounting for Chenggong District. *Journal of West China Forestry Science*, 2020, **49**(3): 41-48]
- [10] Wei HJ, Fan WG, Wang XC, *et al.* Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review. *Ecosystem Services*, 2017, **25**: 15-27
- [11] 白玛卓嘎, 肖焱, 欧阳志云, 等. 基于生态系统生产总值核算的习水县生态保护成效评估. *生态学报*, 2020, **40**(2): 499-509 [Bai M-Z-G, Xiao Y, Ouyang Z-Y, *et al.* Assessment of ecological conservation effect in Xishui County based on gross ecosystem product. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(2): 499-509]
- [12] 宋昌素, 欧阳志云. 面向生态效益评估的生态系统生产总值核算研究——以青海省为例. *生态学报*, 2020, **40**(10): 57-67 [Song C-S, Ouyang Z-Y. Gross ecosystem product accounting for ecological benefits assessment: A case study of Qinghai Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(10): 57-67]
- [13] Tang XG, Zhou YL, Li HP, *et al.* Remotely monitoring ecosystem respiration from various grasslands along a large-scale east-west transect across northern China. *Carbon Balance and Management*, 2020, **15**: 6
- [14] 董天, 张路, 肖焱, 等. 鄂尔多斯市生态资产和生态系统生产总值评估. *生态学报*, 2019, **39**(9): 47-59 [Dong T, Zhang L, Xiao Y, *et al.* Assessment of ecological assets and gross ecosystem product value in Ordos City. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(9): 47-59]
- [15] 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. *自然资源学报*, 2017, **32**(7): 1100-1112 [Bai Y, Li H, Wang X-Y, *et al.* Evaluating natural resource assets and gross ecosystem products using ecological accounting system: A case study in Yunnan Province. *Journal of Natural Resources*, 2017, **32**(7): 1100-1112]
- [16] 翟琇. 给绿水青山定价给“两山”转化找路——关于内蒙古生态产品价值核算与转化应用研究的思考. *北方经济*, 2021(5): 16-18 [Zhai X. Price green water and green mountains and find a way for the transformation of “two mountains”: Reflections on the application research of ecological product value accounting and transformation in Inner Mongolia. *Northern Economy*, 2021(5): 16-18]
- [17] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算: 概念, 核算方法与案例研究. *生态学报*, 2013, **21**(21): 6747-6761 [Ouyang Z-Y, Zhu C-Q, Yang G-B, *et al.* Gross ecosystem product: Concept, accounting framework and case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **21**(21): 6747-6761]
- [18] Ouyang ZY, Zheng H, Xiao Y, *et al.* Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, **352**: 1455-1459
- [19] Costanza R, Groot R, Sutton PC, *et al.* Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, **26**: 152-158
- [20] Kubiszewski I, Costanza R, Anderson S, *et al.* The future value of ecosystem services: Global scenarios and national implications: ScienceDirect. *Ecosystem Services*, 2017, **26**: 289-301
- [21] 中国国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类 (GB/T 21010—2017). (2017-11-01) [2017-11-01]. <https://m.wang1314.com/doc/webapp/topic/209360-79.html> [China National Standardization Management Committee. Current Land Use Classification (GB/T 21010-2017). (2017-11-01) [2017-11-01]. <https://m.wang1314.com/doc/webapp/topic/2093-6079.html>]

作者简介 邓娇娇, 女, 1989 年生, 博士。主要从事森林生态学。E-mail: jiaojiaod@iae.ac.cn

责任编辑 杨弘

邓娇娇, 常璐, 张月, 等. 福州市生态系统生产总值核算. *应用生态学报*, 2021, **32**(11): 3835-3844

Deng J-J, Chang L, Zhang Y, *et al.* Accounting of gross ecosystem product in Fuzhou City, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, **32**(11): 3835-3844