国营清溪林场生态产品价值空间分布特征研究*

陈 进[1] 古文强[1] 陶贝贝[2] 许冬山[1] 梁燕飞[1]
杨进良[1] 闫东明[1] 张中瑞[2]
（1. 东莞市银瓶山森林公园，广东 东莞 523603；
2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院，广东 广州 510520）

摘要 东莞市国营清溪林场保存有典型的南亚热带常绿阔叶林，是恢复、重建南亚热带常绿阔叶林生态系统的天然参照系统，具有极为重要的经济和生态价值。经过实地调研勘测，构建了支持、调节、供给、文化这四大类服务功能组成的清溪林场森林生态产品价值核算指标体系，从保育土壤、林木养分固持、涵养水源、固碳释氧、净化大气、生物多样性、森林康养 7 类 18 项功能对林场下辖的 318 处小班进行评估。评估结果显示：清溪林场森林生态系统生态产品价值为 7.98E+08 yuan/year。其中固碳释氧（3.99E+08 yuan/year）>涵养水源（2.28E+08 yuan/year）>生物多样性（7.96E+07 yuan/year）>文化服务（5.76E+07 yuan/year）>净化大气（1.61E+07 yuan/year）>土壤保育（1.36E+07 yuan/year）>林分养分固持（4.63E+06 yuan/year），整体来看，清溪林场总生态价值量呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势。

关键词 清溪林场；生态产品；价值评估；森林生态系统
中图分类号：X826，S788 **文献标志码**：A **文章编号**：2096-2053（2023）06-0074-08

Evaluation of the Value of Ecological Products of Forest Ecosystem in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

CHEN Jin[1] GU Wenqiang[1] TAO Beibei[2] XU Dongshan[1]
LIANG Yanfei[1] YANG Jinliang[1] YAN Dongming[1] ZHANG Zhongrui[2]
（1. Dongguan Yinpingshan Forest Park，Dongguan，Guangdong 523603，China；
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture，Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry，Guangzhou，Guangdong 510520，China）

Abstract The state-owned Qingxi Forest Farm in Dongguan city preserves a typical southern subtropical evergreen broad-leaved forest，which is a natural reference system for restoring and reconstructing the ecosystem of the southern subtropical evergreen broad-leaved forest，and has extremely important economic and ecological value. After field investigation and survey，the value accounting index system of forest ecological products in Qingxi Forest Farm was constructed，which was composed of four types of service functions：support，regulation，supply and culture，and was evaluated from 18 functions in 7 categories：soil conservation，forest nutrient sequestration，water conservation，carbon sequestration and oxygen release，air purification，biodiversity，and forest health care. The assessment results show that the value of ecological products of forest ecosystem in

第一作者：陈进（1965—），男，工程师，主要从事森林资源管理和保护研究，E-mail：1285083843@qq.com。
通信作者：张中瑞（1987—），男，高级工程师，主要从事森林土壤研究，E-mail：zhangzhongrui126@126.com。

Qingxi Forest Farm is 798 million yuan/year. Among them, carbon sequestration and oxygen release (399.012 million yuan/year) > water conservation (227.635 million yuan/year) > biodiversity (79.595 million yuan/year) > cultural services (57.631 million yuan/year) > air purification (16.116 million yuan/year) > soil conservation (13.62 million yuan/year) > nutrient sequestration (4.637 million yuan/year). On the whole, the total ecological value of Qingxi Forest Farm gradually increased and then decreased from south to north.

Key words Qingxi Forest Farm; ecological products; valuation; forest ecosystems

生态产品是指在自然生态系统及人类社会共同作用下形成的，与农产品与工业品并列的，能够满足人类美好生活需求的最终产品和服务，它具有自然和经济的双重属性[1]。森林生态产品类型丰富，其类型的划分与价值实现途径是紧密相关的。作为地球三大生态系统之一，森林具有重要的生态、经济和社会价值，能够有效调节生态平衡、保护生物多样性、保护水资源，因此它对于促进永续发展和人类福祉意义重大[2]。而目前对森林生态产品价值评估的研究甚少，又多集中于生态系统服务功能的评估研究，因此亟需针对森林范围内开展针对性的价值评估工作并系统研究其空间分布特征，进一步推动生态产品价值评估应用水平，缓解经济发展与生态保护之间的矛盾[3]。

东莞市国营清溪林场自然条件良好，生态产品丰富，但目前缺少对其进行生态产品价值空间分布研究。鉴于此，基于小班精度探寻东莞市国营清溪林场森林生态系统生态价值空间分布特征极为重要。通过对林场生态产品价值进行总体评价和空间分布特征分析，明确林场生态优势，为推进生态产业化和产业生态化，协同推进东莞市经济高质量发展和生态环境高水平保护提供重要依据，也为清溪林场生态系统精准管理指引方法，为建立生态产品价值实现机制、生态保护补偿、明确生态发展路径等提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

东莞市国营清溪林场（以下简称“清溪林场”）位于广东省东莞市谢岗镇、清溪镇、樟木头镇境内，总面积4 733.95 hm^2。清溪林场山体隶属罗浮山系，为罗浮山东延余脉，主体属低山丘陵地貌，地势主要呈现东面及中间高、南北两侧低的走势[4-6]。位于北回归线以南，属南亚热带季风气候。年均气温 21.0 ~ 22.2℃，年平均降水量 1 802.5 mm。

1.2 研究方法

1.2.1 *数据来源* 以森林生态系统长期定位观测方法为衡量实测数据可用性的依据。生态站实测数据是生态产品价值评价最可靠的数据源，因此在评价中以2023年生态站实测数据及样点实测数据为主。

1.2.2 *指标确定* 指标体系共分为支持服务、调节服务、供给服务、文化服务四大功能，土壤保育、林木养分固持、涵养水源、固碳释氧、净化大气、生物多样性、森林康养等7类，固土、保肥（减少氮流失、减少磷流失、减少钾流失）、氮固持、磷固持、钾固持、涵养水源、固碳（植物固碳、土壤固碳）、释氧、提供负氧离子、吸收二氧化硫、吸收氟化物、吸收氮化物、滞纳TSP、生物多样性、森林康养18个指标（图1）[7-8]。各指标计算方法依据国家标准《森林生态系统服务功能评估规范》（GB/T 38582—2020）[9]。

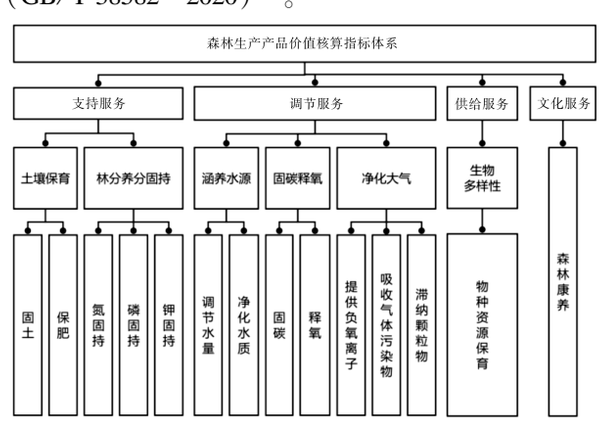

图1 森林生态产品价值核算指标体系
Fig. 1 Index system of forest ecological product value accounting

1.2.3 *样点布设* 选择针叶林、阔叶林、桉树林、荔枝 *Litchi chinensis* 林等特色植物群落的典型类型代表性地带，每种类型各设置5个样点共计20个样点进行专项调查。样点布设见图2。

1.3 统计分析

采用Microsoft excel 2016对生态产品基础数据

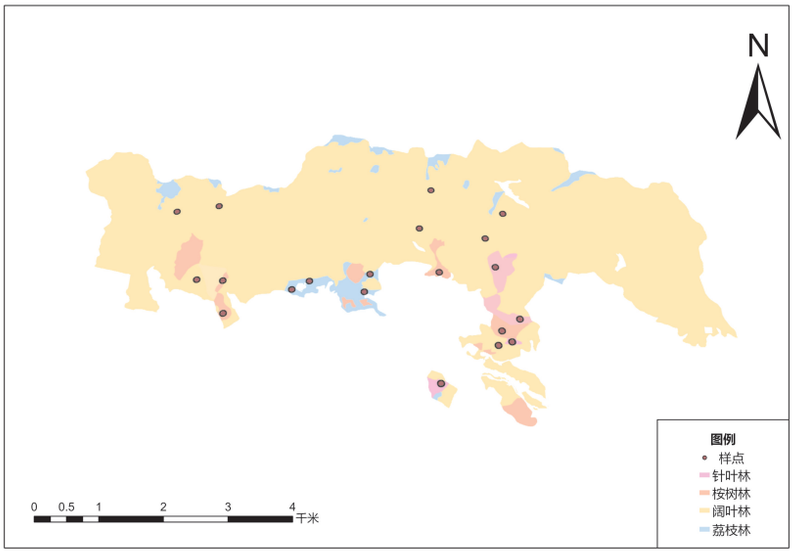

图 2 样点布设示意
Fig. 2 Layout of sample points

进行描述性统计，利用 Arcgis 10.8 进行各生态产品价值空间分布插值，并生成空间分布图。

2 结果与分析

2.1 核算结果

对清溪林场下辖的 318 个小班，按照四大服务类别、7 类 18 项功能进行评估。评估结果显示（表 1），清溪林场森林生态系统生态产品价值为 7.98E + 08 yuan/year，其中保育土壤价值量为 1.36E + 07 yuan/year，林分养分固持价值量为 4.63E +06 yuan/year，涵养水源价值量为 2.28E + 08 yuan/year，固碳释氧价值量为 3.99E +08 yuan/year，净化大气价值量为 1.61E +07 yuan/year，生物多样性价值量为 7.96E + 07 yuan/year，文化服务价值量为 5.76E +07 yuan/year。

清溪林场的总生态价值的空间分布状况如图 3 所示。清溪林场总生态价值量分布在 41 064 ~ 262 626 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部及东北部少部分地区总生态价值分布处于 41 064 ~ 111 443 yuan/ha/year；南部及东北部少部分总生态价值分布处于 111 443 ~ 145 329 yuan/ha/year；南部及北部地区总生态价值分布处于 145 329 ~ 173 133 yuan/ha/year；中部区域总生态价值分布处于 173 133 ~ 202 674 yuan/ha/year；中部大部分区域总生态价值分布处于 202 674 ~ 262 626 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场总生态价值量呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势。

2.2 支持服务

2.2.1 保育土壤 （1）固土 森林的树冠、凋落物层与根系共同形成固结土壤的屏障。清溪林场森林生态系统年固土量为 168 904.38 t。清溪林场的固土价值的空间分布状况如图 4 所示。清溪林场固土价值量分布在 546 ~ 833 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部少部分地区固土价值分布处于 546 ~ 684 yuan/ha/year；南部及中部少部分地区固土价值分布处于 684 ~ 759 yuan/ha/year；中部极少部分区域固土价值分布处于 759 ~ 818 yuan/ha/year；中部大部分区域固土价值分布处于 818 ~ 823 yuan/ha/year；北部大部分区域固土价值分布处于 823 ~ 833 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场固土价值量呈现为由南向北逐渐增高的变化趋势。

（2）保肥 清溪林场森林生态系统年保肥总量为 589.16 t，其中减少氮流失 430.37 t，减少磷流失 129.36 t，减少钾流失 29.42 t。清溪林场的保肥价值的空间分布状况如图 5 所示。清溪林场保肥价值量分布在 2 091 ~ 2 310 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部少部分地区保肥价值分布处于 2 091 ~ 2 310 yuan/ha/year；南部及中部少部分地区保肥价值分布处于 2 310 ~ 2 607 yuan/ha/year；北部及中部小部分区域保肥价值分布处于 2 607 ~ 2 884 yuan/ha/year；北部及中部大部分区域保肥价值分布处于2 884 ~ 3 108 yuan/ha/year；

表 1　国营清溪林场森林生态产品功能量及价值量

Table 1　Functional quantity and value scale of forest ecological products in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

类别 category	项目 Item	因子 Factor	功能量总计/（t/year）Total amount of functionality	价值量总计/（yuan/year）Total value volume
支持服务 Support Services	保育土壤	固土	168 904.38	2.74E+06
		减少氮流失	430.37	9.56E+06
		减少磷流失	129.36	1.12E+06
		减少钾流失	29.42	1.93E+05
	林木养分固持	氮固持	5 777.24	4.16E+06
		磷固持	237.50	4.37E+05
		钾固持	18.21	3.61E+04
	涵养水源	涵养水源/（m^3/year）	75 878 390.43	2.28E+08
调节服务 Reconciliation services	固碳释氧	植被固碳	138 592.05	2.54E+07
		土壤固碳	14 298.93	2.62E+06
		释氧	371 033.01	3.71E+08
	净化大气	提供负氧离子/（个/year）	2.738 07E+22	2.16E+05
		吸收二氧化硫	305 162.06	1.54E+07
		吸收氟化物	8 215.78	2.38E+05
		吸收氮化物	2 105.89	5.57E+04
		滞纳 TSP	35 893.18	2.26E+05
供给服务 Provision of services	生物多样性	物种资源保育	/	7.96E+07
文化服务 Cultural services	文化服务	森林康养	/	5.76E+07
总计				7.98E+08

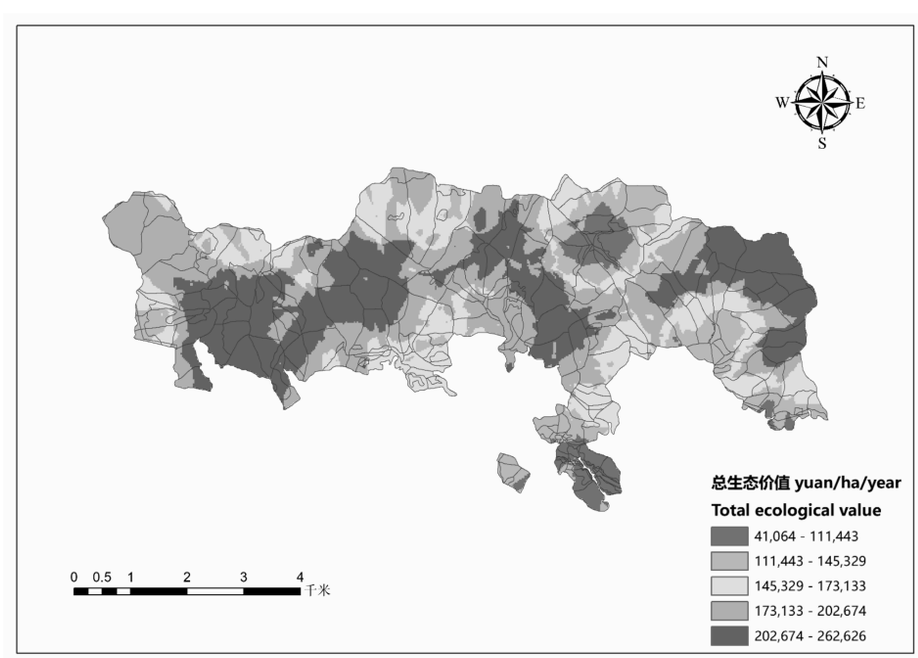

图 3　国营清溪林场总生态价值分布

Fig. 3　Distribution of total ecological value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

中部部分区域保肥价值分布处于 3 108 ~ 3 332 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场保肥价值量呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势。

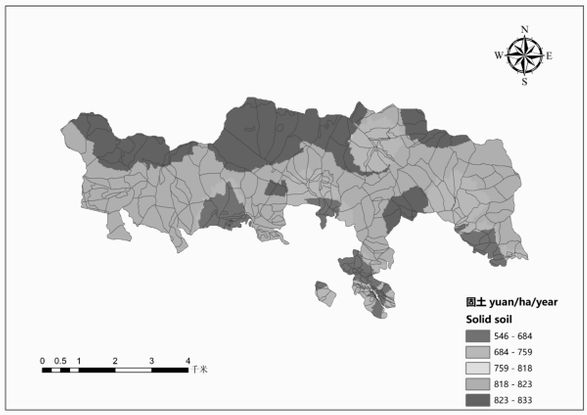

图 4 国营清溪林场固土价值分布
Fig. 4 Distribution of soil consolidation value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

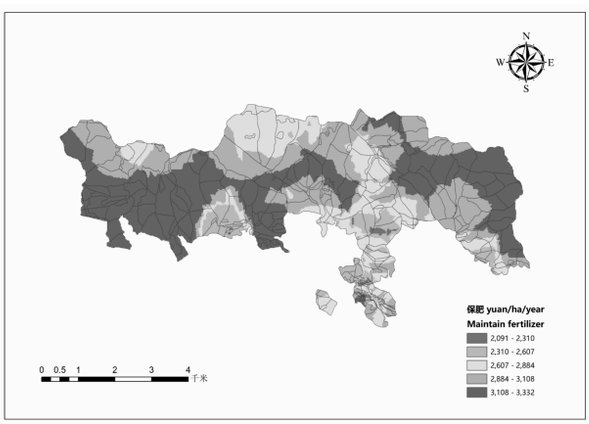

图 5 国营清溪林场保肥价值分布
Fig. 5 Distribution of fertilizer conservation value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

2.2.2 林分养分固持 选取植物体内积累量较高的氮、磷和钾 3 种元素作为评估指标，评估森林资源固持营养物质的效益。

清溪林场森林生态系统年林木养分固持总量为 6 032.95 t，其中氮固持 5 777.24 t，磷固持 237.50 t，钾固持 18.21 t。清溪林场的养分固持价值的空间分布状况如图 6 所示。清溪林场养分固持价值量分布在 181 ~ 1 706 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部及北部地区养分固持价值分布处于 181 ~ 803 yuan/ha/year；中部大部分地区养分固持价值分布处于 803 ~ 1 018 yuan/ha/year；北部及中部大部分区域养分固持价值分布处于1 018 ~ 1 198 yuan/ha/year；中部大部分区域养分固持价值分布处于 1 198 ~ 1 383 yuan/ha/year；东部及西部小部分区域养分固持价值分布处于 1 383 ~ 1 706 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场养分固持价值量呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势。

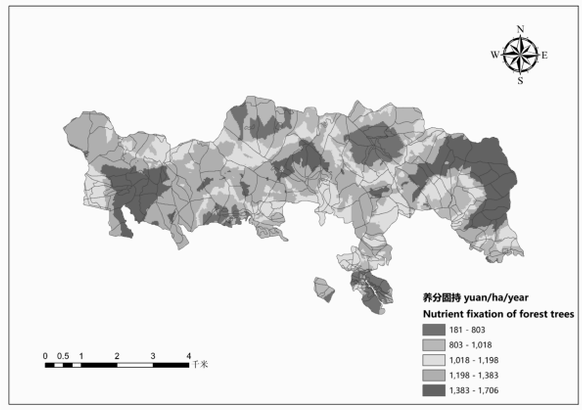

图 6 国营清溪林场林分养分固持价值分布
Fig. 6 Distribution of nutrient sequestration value of stands in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

2.3 调节服务

2.3.1 涵养水源 森林深厚的枯枝落叶层及发达的根系，具有很强的水源涵养能力，是“天然水库”。清溪林场森林生态系统年林木涵养水源总量为 75 878 390.43 t。清溪林场的涵养水源价值的空间分布状况如图 7 所示，清溪林场涵养水源价值量分布在 78 ~ 102 947 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部大部分地区涵养水源价值分布处于 78 ~ 17 424 yuan/ha/year；南部及中部大部分地区涵养水源价值分布处于 17 424 ~ 31 947 yuan/ha/year；中部大部分区域涵养水源价值分布处于 31 947 ~ 45 259 yuan/ha/year 北部大部分区域涵养水源价值分布处于 45 259 ~ 61 396 yuan/ha/year；北部极小部分区域涵养水源价值分布处于 61 396 ~ 102 947 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场涵养水源价值量呈现为由南向北逐渐增高的变化趋势。

2.3.2 固碳释氧 （1）固碳 清溪林场森林生态系统年林木固碳总量为 523 923.99 t，其中植被固持 138 592.05 t，土壤固持 14 298.93 t。清溪林场的固碳价值的空间分布状况如图 8 所示。清溪林场固碳价值量分布在 1 597 ~ 10 148 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部及北部地区固碳价值分布处于 1 597 ~ 5 017 yuan/ha/year；南部及北部大部分地区固碳价值分布处于 5017 ~ 6 291 yuan/

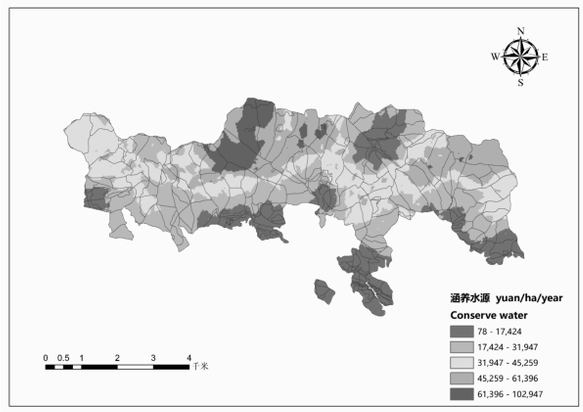

图 7　国营清溪林场涵养水源价值分布
Fig. 7　Distribution of water conservation value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

ha/year；中部大部分区域固碳价值分布处于6 291 ~ 7 365 yuan/ha/year；中部大部分区域固碳价值分布处于7 365 ~ 8 371 yuan/ha/year；东部及西部大部分区域固碳价值分布处于 8 371 ~ 10 148 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场固碳价值量呈现为东西高，南北低的变化趋势。

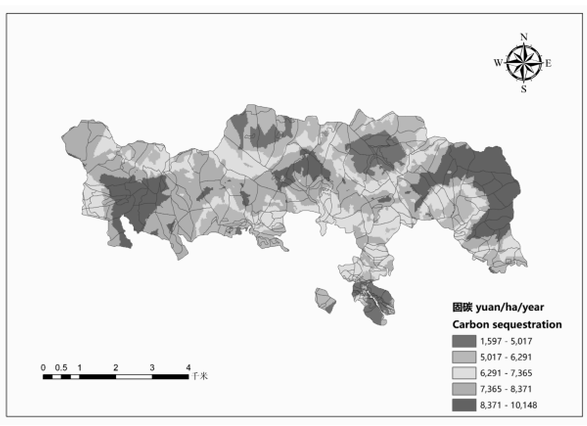

图 8　国营清溪林场固碳价值分布
Fig. 8　Distribution of carbon sequestration value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

（2）释氧　清溪林场森林生态系统年林木释氧总量为371 033. 01 t。清溪林场的释氧价值的空间分布状况如图 9 所示。清溪林场释氧价值量分布在 14 508 ~ 136 657 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部及北部地区释氧价值分布处于 14 508 ~ 63 367 yuan/ha/year；南部及北部地区释氧价值分布处于63 367 ~ 82 049 yuan/ha/year；中部大部分区域释氧价值分布处于 82 049 ~ 96 889 yuan/ha/year；中部大部分区域释氧价值分布处于 96 889 ~ 111 269 yuan/ha/year；东部及西部区域释氧价值分布处于 111 269 ~ 136 657 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场释氧价值量呈现为东西高，南北低的变化趋势。

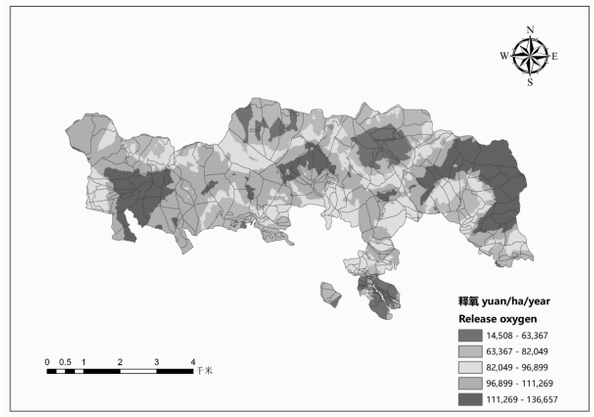

图 9　国营清溪林场释氧价值分布
Fig. 9　Distribution of oxygen release value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

2. 3. 3　*净化大气*　森林在治理大气环境污染方面比起人工净化方式具有投资少、见效快以及作用持久等优势。根据森林资源统计数据显示，清溪林场的森林植被以针叶林、阔叶林、其他类型为主，占比林场森林面积的 95% 以上。清溪林场森林生态系统年提供负氧离子 2. 74E +22，吸收气体污染物 315 483. 73，其中，吸收二氧化硫305 162. 06 t，吸收氮化物 8 215. 78 t，吸收氮化物2 105. 89；滞纳 TSP 35 893. 18 t。

清溪林场年净化大气价值量分布在 3 107 ~ 7 527 yuan/ha/year 范围之间图 10，其中，清溪林场北部少部分地区年净化大气价值分布处于 3 107 ~ 4 060 yuan/ha/year；北部及东部部分地区年净化大气价值分布处于4 060 ~ 4 684 yuan/ha/year；北部及中部大部分区域年净化大气价值分布处于 4 684 ~ 5 221 yuan/ha/year；南部及北部小部分区域年净化大气价值分布处于 5 221 ~ 6 019 yuan/ha/year；南部极小部分区域年净化大气价值分布处于 6 019 ~ 7 527 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场年净化大气价值量呈现为由中心高四周低的变化趋势。

2. 4　供给服务

2. 4. 1　*生物多样性*　生物多样性指植物、动物和微生物在物种内、物种间以及生态系统的多样性，是地球生命系统长期演化形成的珍贵财富。清溪林场的生物多样性价值的空间分布状况如图 11 所示。

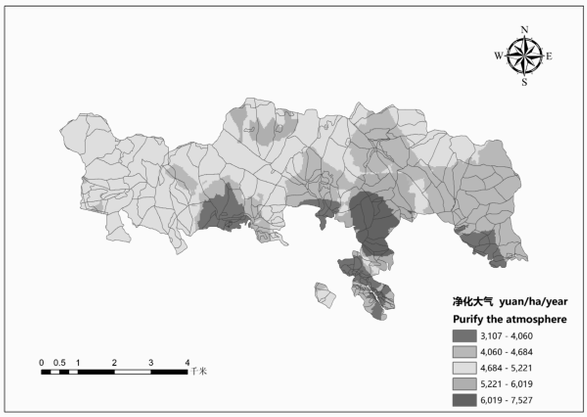

图 10 国营清溪林场净化大气价值分布
Fig. 10 Distribution of air purification value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

清溪林场生物多样性价值量分布在 16 059 ~ 24 089 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场南部地区生物多样性价值分布处于 16 059 ~ 18 987 yuan/ha/year；北部地区生物多样性价值分布处于 18 987 ~ 21 349 yuan/ha/year；北部及中部大部分区域生物多样性价值分布处于 21 349 ~ 22 609 yuan/ha/year；中部少部分区域生物多样性价值分布处于 22 609 ~ 23 333 yuan/ha/year；东部及西部小部分区域生物多样性价值分布处于 23 333 ~ 24 089 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场生物多样性价值量呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势。

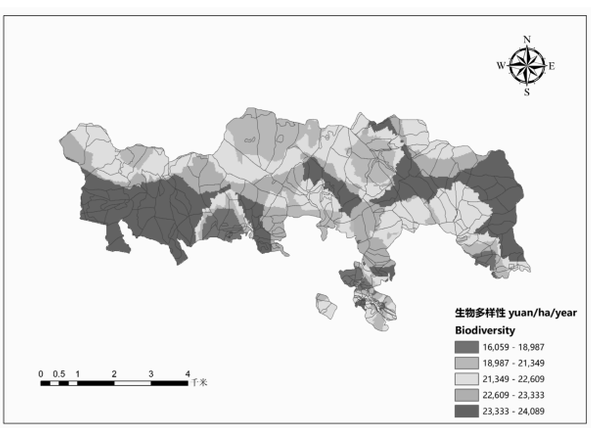

图 11 国营清溪林场生物多样性价值分布
Fig. 11 Map of biodiversity values in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

2.5 文化服务

2.5.1 森林康养 森林康养是大健康产业与森林旅游业高度融合的新业态，在森林生态环境保护的基本前提下，通过优美的景观、清新的大气环境等资源优势，调节游客身心健康状态。清溪林场的森林康养价值的空间分布状况如图 12 所示。清溪林场森林康养价值量分布在 0 ~ 73 736 yuan/ha/year 范围之间，其中，清溪林场北部大部分地区森林康养价值分布处于 0 ~ 9 542 yuan/ha/year；中部地区森林康养价值分布处于 9 542 ~ 25 157 yuan/ha/year；中部区域森林康养价值分布处于 25 157 ~ 39 904 yuan/ha/year；南部区域森林康养价值分布处于 39 904 ~ 54 073 yuan/ha/year；南部小部分区域森林康养价值分布处于 54 073 ~ 73 736 yuan/ha/year。整体来看，清溪林场森林康养价值量呈现为由南向北逐渐降低的变化趋势。

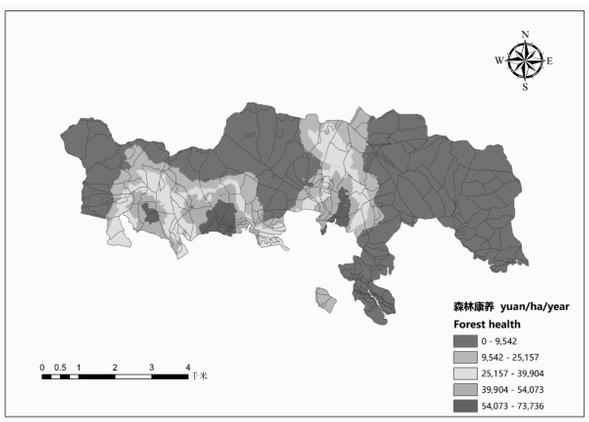

图 12 国营清溪林场森林康养价值分布
Fig. 12 Distribution of forest health value in Dongguan State-owned Qingxi Forest Farm

3 讨论与结论

本研究对清溪林场森林生态系统生态产品价值进行评估，总价值为 7.98E + 08 yuan/year，价值排序最高的前三类分别为固碳释氧（3.99E + 08 yuan/year）、涵养水源（2.28E + 08 yuan/year）、生物多样性（7.96E + 07 yuan/year），因此清溪林场固碳释氧、涵养水源、生物多样性功能突出，由此可见林场生态价值显著。整体来看，清溪林场总生态价值量呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势，其中，保肥、林分养分固持、固碳、释氧、生物多样性与总价值空间分布相似，呈现为由南向北逐渐增高再降低的变化趋势，这主要由于林分类型的影响。固土、涵养水源表现为由南向北逐渐增高的变化趋势，净化大气价值量呈现为中心高四周低的变化趋势，这与实测林分高度相关。森林康养价值量呈现为由南向北逐渐降低的变化趋势，这取决于其距离林场内主干道路的远近。

清溪林场生态产品价值实现面临诸多问题和挑战，如科技和人才支撑薄弱、生态补偿机制有待健全、基础制度和政策工具仍待完善、市场化交易机制亟待建立健全、产品开发和传播有待提升、产业配套基础设施建设不足等问题和挑战[10]。因此建立健全清溪林场生态产品价值实现机制，既是践行习近平生态文明思想的重要手段，也是从清溪林场推动生态环境领域国家治理体系和治理能力现代化的必然要求，对提升生态保护修复成效、实现当地生态产品价值、推动清溪林场经济社会全面绿色发展、实现区域可持续发展具有重要意义。

参考文献

[1] 秦国伟,董玮,宋马林. 生态产品价值实现的理论意蕴、机制构成与路径选择[J]. 中国环境管理,2022,14(2):70-75,69.

[2] 石燕香,叶钦良,张蒙. 自然保护区森林生态系统服务功能评估方法与指标研究综述[J]. 林业与环境科学,2019,35(4):123-127.

[3] ZHENZHEN Z,KANGNING X,HUANHUAN C,et al. A review of eco-product value realization and ecological civilization and its enlightenment to karst protected areas [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2022,19(10):5892-5892.

[4] 黄练忠,熊基粦,陈进. 广东东莞短萼仪花的资源分布与观赏特性研究[J]. 广东林业科技,2008,24(1):63-66.

[5] 古文强,梁燕飞,许冬山,等. 东莞市银瓶山森林公园森林生态系统生态服务功能价值评估[J]. 林业与环境科学,2022,38(3):111-118.

[6] 古文强,梁燕飞,陈进,等. 银瓶山森林公园润楠属植物群落多样性研究[J]. 林业与环境科学,2021,37(6):176-181.

[7] 高常军,范秀仪,易小青,等. 广东海丰鸟类省级自然保护区湿地生态系统服务价值评估[J]. 林业与环境科学,2017,33(2):14-20.

[8] YANG B,ZHANG Y,XIONG K,et al. A review of eco-product value realization and eco-industry with enlightenment toward the forest ecosystem services in karst ecological restoration[J]. Forests,2023,14(4):

[9] 国家标准化管理委员会. 森林生态系统服务功能评估规范:GB/T 38582—2020[S]. 北京:中国标准出版社,2020.

[10] 孙博文. 建立生态产品价值实现机制:“五难”问题及优化路径[J]. 天津社会科学,2023(4):87-97.