

湛江市雷林桉树人工林生态价值估算量化研究

梁学明¹, 杨永忠², 杜鹄鹏², 吴天顺³, 揭凡², 王开轩², 刘革², 李俊^{2*} (1. 中林集团雷州林业局有限公司, 广东湛江 524000; 2. 中林集团中林(广东)林业发展有限公司, 广东广州 510700; 3. 岑溪市西林林业发展有限公司, 广西岑溪 543200)

摘要 [目的]研究湛江市雷林桉树人工林生态价值, 讨论人工林生态效益分布趋势。[方法]选定中林集团雷州林业局有限公司桉树林作为研究对象, 从涵养水源、固定土壤、碳汇功能、生物多样性、森林景观效益等指标研究人工林生态效益价值。[结果]2019年雷林桉树人工林涵养、保育土壤、固碳价值、制氧价值、生物多样性、森林康养、各林场林木综合生态经济价值分别为56 524.66万、13 800.11万、1 509.601百万、503.200百万、2 480.429百万、744.614万、498 584.31万元。雷林桉树人工林的生态价值巨大, 北坡、纪家与成熟林、近熟林生态价值分别与其的面积、蓄积占比相关, 两者在单位上具有相关一致性。生物多样性、固定碳储与制备放氧机制分别与成熟林、幼龄林呈相关一致性。[结论]该研究可为桉树人工林可持续经营利用提供科学依据。

关键词 桉树林; 生态价值; 估算; 量化

中图分类号 S 792.39 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)14-0101-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.14.026



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Estimation and Quantification of Ecological Value of Leilin *Eucalyptus* Plantation in Zhanjiang City

LIANG Xue-ming¹, YANG Yong-zhong², DU Kun-peng² et al (1. Zhonglin Group Leizhou Forestry Bureau Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524000; 2. Zhonglin Group Zhonglin (Guangdong) Forestry Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510700)

Abstract [Objective] To study the ecological value of *Eucalyptus* plantation in Leilin of Zhanjiang City, and discuss the ecological benefit distribution trend of planted forests. [Method] The *Eucalyptus* trees of the forest farm of Leizhou Forestry Bureau Co., Ltd. of Zhanjiang Zhonglin Group Leizhou Forestry Bureau Co., Ltd. were selected as the research area to study the ecological benefits of artificial forests from indicators such as water conservation, soil fixation, carbon sink function, biodiversity, and forest landscape benefits. [Result] In 2019, Leilin's tree plantation conservation, soil conservation, carbon sequestration, oxygen release, biodiversity, forest health and maintenance, and comprehensive ecological and economic value of forest trees in each forest farm were 565.246 million yuan, 138 011.00 million yuan, 150.960 1 million yuan, 503.200 million yuan, 248.290 million yuan, 744.614 million yuan, 498.584 million yuan respectively. The ecological value of Leilin *Eucalyptus* plantation was huge. The high ecological value of the northern slope, Jijia and mature forests, and near-mature forests were related to their area and accumulation, and the two were related in unity. Biodiversity, fixed carbon storage, and oxygen release mechanisms were correlated with mature forests and young forests, respectively. [Conclusion] This study can provide scientific basis for sustainable management and utilization of *Eucalyptus* plantation.

Key words *Eucalyptus* forest; Ecological value; Estimation; Quantification

据科学测算, 森林可为人类提供 60% 的 O₂。林木每生长 1 m³, 平均可吸收 1.83 t CO₂, 挥放 1.62 t O₂。优质森林生态系统可减少土壤冲刷量 90%, 可降低风速 60%~80%, 可吸收 35%~75% 的太阳辐射, 可增加空气湿度 15%~20%^[1]。国家第九次森林资源清查数据显示, 我国森林面积 22 044.62 万 hm², 人工林面积 8 003.10 万 hm², 桉树林面积 546.74 万 hm²。桉树作为一种速生丰产人工林用材树种, 因其特殊的制造工艺和木材性质, 我国在开发桉树当年成林的同时应更进一步地研究其生态效益的特点^[2-3]。国家储备林桉树人工林生产实践表明, 大径级用材林蓄积量可达 400 m³/hm², 更是精准提升森林生态质量的示范田^[4-6], 其地位在我国南方林业生产和生态建设中举足轻重^[7]。新西兰桉树人工林木材供给与生态保育协调发展^[8]。巴西的桉树人工林经营发展是世界的成功案例, 其森林资源培育利用方面亦有良好的生态效益^[9-10]。澳大利亚桉树天然林保护工程的实施和经济发展对木材需求的扩大, 使桉树人工林在澳大利亚的经济、生态功能日益提高^[11]。近年来, 桉树人工林规模不断扩大, 社会对其生态功能有更多的关注^[12]。桉树林的生态

价值已经发展为当前森林生态系统可持续研究的重要主流方向^[13-15]。保护生态环境, 建设生态文明, 是新时代的新课题, 生态效益下的经济效益正成为国家林业发展的战略新动向^[16]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

1.1.1 地理位置。研究区位于广东省湛江市, 我国大陆南端、广东省西南部, 109°31'~110°55'E, 20°12'~21°35'N, 包括整个雷州半岛及半岛北部的一部分, 东濒南海, 南隔琼州海峡与海南省相望, 西临北部湾, 西北与广西壮族自治区的合浦、博白、陆川县毗邻, 东北与广东省茂名市的茂南区 and 电白、化州县接壤。该地是我国生产桉树的重要地区。

1.1.2 地形地貌。陆地结构由半岛和岛屿组成, 地势中轴高而东西两侧低, 南北高而中间低, 起伏平缓, 多为平原和台地, 山地多呈扁馒头形小山丘, 沟谷较宽, 丘陵疏矮, 起伏不大。缓坡台地, 三面临海。既有热带土壤基本类型, 又有滨海地带土壤分布。

1.1.3 气候状况。属于热带北缘季风气候, 终年受海洋气候调节, 冬无严寒, 夏无酷暑, 年平均气温在 22.7~23.5℃, 由北向南递增, 南北相差 1.5℃, 年均降雨量约 1 730 mm, 年均日照时数约达 2 039 h, 4—9 月为多雨季节, 该气候条件有利于林业生产。低压、热带风暴、台风登陆影响较为频繁。

1.1.4 森林资源。研究区水热资源丰富, 海拔优势表现突

作者简介 梁学明(1974—), 男, 广东湛江人, 从事桉树生态价值评估研究。* 通信作者, 高级工程师, 博士, 从事人工林森林资源培育生产实践与管理森林研究。

收稿日期 2020-10-21

出,植物资源丰富且具典型的地带性分布。林木可四季生长,是建设桉树速生丰产林基地的理想之地。雷州林业局公司森林覆盖率 69.1%,地跨湛江市的遂溪县、徐闻县、雷州市、廉江市、麻章区、坡头区等县市区。

1.2 数据获取 采用雷州林业局有限公司 2019 年度森林资

源规划设计调查基本数据及研究指标相应的气象气候数据等。研究区桉树林分布最为广泛且面积最大,为进行林场划区及估算不同类型桉树林分的生态价值,获取 5 个龄级尺度的基本数据(表 1)。

表 1 雷林桉树人工林各龄林木面积和蓄积分布

Table 1 The distribution of area and accumulation of each age of *Eucalyptus robusta* plantation in Leilin

林场 Forest farm	幼龄林 Young forest		中龄林 Middle-aged forest		近熟林 Near mature forest		成熟林 Mature forest		过熟林 Over mature forest		未成林及 其他面积 Area of immature forest and others//hm ²
	面积 Area hm ²	蓄积 Accum- ulation m ³	面积 Area hm ²	蓄积 Accum- ulation m ³	面积 Area hm ²	蓄积 Accum- ulation m ³	面积 Area hm ²	蓄积 Accum- ulation m ³	面积 Area hm ²	蓄积 Accum- ulation m ³	
北坡 Beipo	9 701.7	16 079	7 419.5	37 251	34 304.4	260 449	60 900.1	475 484	1 638.0	11 883	24 610.3
纪家 Jijia	16 454.6	27 028	9 962.5	41 846	21 489.3	134 243	46 642.2	317 785	9 337.8	62 838	19 621.5
廉江 Lianjiang	3 795.8	3 168	2 579.9	8 312	9 338.6	54 249	7 614.0	43 037	19 443.1	118 409	43 184.9
龙门 Longmen	2 979.0	2 569	3 410.5	14 069	3 942.1	23 570	13 421.8	95 698	5 300.8	42 255	35 163.8
石岭 Shiling	9 584.8	11 720	6 445.5	27 194	14 718.0	85 520	3 568.3	19 331	4 063.0	18 363	12 833.4
遂溪 Suixi	14 299.7	17 589	12 705.7	50 154	28 490.4	171 683	22 649.4	145 711	4 948.8	18 171	58 258.5
唐家 Tangjia	11 776.0	12 625	6 552.2	31 871	8 916.4	73 409	51 790.5	326 557	5 901.4	35 270	19 629.2

1.3 研究指标与方法

1.3.1 涵养水源价值评价。根据水量平衡原理,森林涵养水源量由森林区域的降水量与蒸散量及其他耗水量差值确定。水量平衡原理是估算森林水源涵养度量的可行方法,该法应用简单,根据蒸散量,可得到一致的水源涵养量。因此,该研究参考水量平衡原理计算现存桉树人工林的涵养水源量,水量平衡方程式如下:

$$YW = S \times (P - E - C) \times L \times 10^{-3}$$

式中, YW 为桉树人工林涵养水源量, m³; P 为年平均降水量, mm/a; E 为林地年平均蒸散量, mm/a; C 为林地地表径流量, mm/a; S 为桉树人工林林地面积, hm²; L 为水容重, 取值 -1 t/m³; 10⁻³ 为换算系数(mm 换算为 m, hm² 换算为 m², 元换算为万元)。

1.3.2 固土价值评价。森林林层和地下根系层可滞留、转移及分散地表径流,同时增强土壤腐质层及团聚体含量,具有固持土壤,防治水土流失作用。该研究估算森林减少土壤流失的总量是用无林地与有林地的土壤侵蚀差异来度量,即无林地与有林地的土壤侵蚀模数差值与相对应森林面积可计算出森林固土量^[17],公式如下:

$$M_{sl} = S \times (D_1 - D_2) \times 10^{-2}$$

式中, M_{sl} 为减少土壤侵蚀量, t; D₁ 为有林地土壤侵蚀模数, t/(km²·a); D₂ 为裸地土壤侵蚀模数, t/(km²·a); S 为桉树人工林面积, hm²; 10⁻² 为单位换算系数, hm² 换算为 km²。

1.3.3 碳汇功能价值估算。森林生态系统是生物多样性的载体,是陆地主要碳库。森林应对气候变化和碳平衡的维系有突出作用。桉树人工林不仅有木材产生的经济效益,还有生态涵养功能及其价值^[18]。

根据公式森林植被每积累 1 t 干物质可以固定 1.63 t CO₂, 释放 1.19 t O₂。

林分生物量和固碳量的计算式:

IPCC 生物量一般式 $C = V \times D \times BEF$

式中, V 为蓄积, m³; D 为木材密度, t/m³; BEF 为树干到林分的生物量扩展系数, $BEF = a + b/x$ (a, b 是参数, x 是蓄积量), 其中桉树的方程: $BEF = 0.8873 + 4.5539/x$ 。

再将生物量 C 乘以干物质的碳部分 CF 系数(采用国际默认值 0.5) 求出碳含量。

1.3.4 生物多样性价值评价。生物多样性是指生物及其环境相互关系形成各种生态过程的总和,它是人类生存和发展、人与自然和谐共生的重要基础。森林系统的年生物物种资源价值(U_{生物}, 元)的计算公式如下:

$$U_{生物} = S_{生} \times A$$

式中, U_{生物} 为年生物物种资源价值, 元; S_生 为单位面积森林年生物物种资源保护价值, 元/hm²; A 为林分面积, hm²。

根据 Shannon - Wiener 指数估算生物物种资源价值, Shannon - Wiener 指数共划分 6 个等级: 当 S ≤ 1 时, S = 5 000 元/(hm²·a); 当 1 < S ≤ 2 时, S = 10 000 元/(hm²·a); 当 2 < S ≤ 3 时, S = 20 000 元/(hm²·a); 当 3 < S ≤ 4 时, S = 30 000 元/(hm²·a); 当 4 < S ≤ 5 时, S = 40 000 元/(hm²·a); 当 S > 5 时, S = 50 000 元/(hm²·a)。

1.3.5 森林康养效益评价。森林康养效益是基于森林中有形和无形因子提供的“五感”体验形成的对人们综合康养等方面的效益。估算评价时可采用间接反映与直接替代相结合的方法。参考国内外相关评估方法,简单分析评价与估算森林各类型面积的康养效益价值^[19],公式如下:

$$V = S \times K$$

其中, V 为森林景观效益经济评价价值, 元; S 为森林面积, hm²; K 为单位面积可能的旅游价值(按林分 12 元、疏林 6 元、其他 8 元计算)。

2 结果与分析

2.1 涵养水源价值 根据徐大平等^[20]在西江林科所得出桉

树人工林林地蒸散量约 799.7 mm/a, 桉树人工林地地表径流量为 585 mm/a, 湛江市多年平均降雨量取平均值 1 550 mm, 湛江市非居民生活用水价格参照 2020 年政府规定 4.17 元/m³, 计算雷林桉树人工林涵养水源量及经济价值量,

结果见表 2。由表 2 可知, 雷林桉树人工林涵养水源总量 82 002.98 m³, 经济价值总量 56 524.66 万元, 表现突出的是北坡成熟林、近熟林, 遂溪中龄林。

表 2 雷林桉树人工林涵养水源量及经济价值量

Table 2 Water conservation and economic value of *Eucalyptus* plantation in Leilin

林场 Forest farm	幼龄林 Young forest		中龄林 Middle- aged forest		近熟林 Near mature forest		成熟林 Mature forest		过熟林 Over mature forest		合计 Total	
	涵养量 Conse- rvation capacity m ³	涵养经济 Conserve economic value 万元	涵养量 Conse- rvation capacity m ³	涵养经济 Conserve economic value 万元	涵养量 Conse- rvation capacity m ³	涵养经济 Conserve economic value 万元	涵养量 Conse- rvation capacity m ³	涵养经济 Conserve economic value 万元	涵养量 Conse- rvation capacity m ³	涵养经济 Conserve economic value 万元	涵养量 Conse- rvation capacity m ³	涵养经济 Conserve economic value 万元
北坡 Beipo	1 603.69	1 105.42	1 226.44	845.39	5 670.52	3 908.69	10 066.79	6 939.04	270.76	186.64	18 838.20	12 985.17
纪家 Jijia	2 719.95	1 874.86	1 646.80	1 135.14	3 552.18	2 448.52	7 709.96	5 314.47	1 543.54	1 063.96	17 172.42	11 836.95
廉江 Lianjiang	627.45	432.50	426.46	293.96	1 543.67	1 064.05	1 258.59	867.55	3 213.94	2 215.37	7 070.11	4 873.43
龙门 Longmen	492.43	339.43	563.76	388.60	651.63	449.17	2 218.62	1 529.30	876.22	603.98	4 802.66	3 310.47
石岭 Shiling	1 584.37	1 092.10	1 065.44	734.41	2 432.89	1 676.99	589.84	406.58	671.61	462.94	6 344.15	4 373.02
遂溪 Suixi	2 363.74	1 629.33	2 100.25	1 447.70	4 709.46	3 246.23	3 743.95	2 580.70	818.04	563.87	13 735.44	9 467.84
唐家 Tangjia	1 946.57	1 341.77	1 083.08	746.57	1 473.88	1 015.95	8 560.97	5 901.08	975.50	672.41	14 040.00	9 677.77
合计 Total	11 338.19	7 815.42	8 112.23	5 591.76	20 034.23	13 809.59	34 148.72	23 538.71	8 369.62	5 769.18	82 002.98	56 524.66

2.2 固土价值 根据邓燊^[21]在海南热带桉树林生态效益研究结果, 桉树人工林可以减少土壤侵蚀量 4.48 t/(km²·a), 计算桉树人工林森林保育土壤单位面积价值为 278.18 元/(hm²·a), 雷林桉树人工林固土量及保育土壤经济

价值量见表 3。由表 3 可知, 雷林现有桉树人工林每年可保育土壤总量 22 224.64 t, 经济价值总量 13 800.11 万元, 表现突出的是廉江过熟林, 纪家中龄林、幼龄林。

表 3 雷林桉树人工林固土量及保育土壤经济价值量

Table 3 Soil consolidation and conservation soil economic value of *Eucalyptus* plantation in Leilin

林场 Forest farm	幼龄林 Young forest		中龄林 Middle- aged forest		近熟林 Near mature forest		成熟林 Mature forest		过熟林 Over mature forest		合计 Total	
	固土量 Soil consol- idation t	保育经济 Ssoil consol- idation economic value 万元	固土量 Soil consol- idation t	保育经济 Ssoil consol- idation economic value 万元	固土量 Soil consol- idation t	保育经济 Ssoil consol- idation economic value 万元	固土量 Soil consol- idation t	保育经济 Ssoil consol- idation economic value 万元	固土量 Soil consol- idation t	保育经济 Ssoil consol- idation economic value 万元	固土量 Soil consol- idation t	保育经济 Ssoil consol- idation economic value 万元
北坡 Beipo	434.64	269.88	332.39	206.40	1 536.84	954.28	2 728.32	1 694.12	73.38	45.57	5 105.57	3 170.24
纪家 Jijia	737.17	457.73	446.32	277.14	962.72	597.79	2 089.57	1 297.49	418.33	259.76	4 654.11	2 889.91
廉江 Lianjiang	170.05	105.59	115.58	71.77	418.37	259.78	341.11	211.81	871.05	540.87	1 916.16	1 189.81
龙门 Longmen	133.46	82.87	152.79	94.87	176.61	109.66	601.30	373.37	237.48	147.46	1 301.63	808.23
石岭 Shiling	429.40	266.63	288.76	179.30	659.37	409.43	159.86	99.26	182.02	113.02	1 719.41	1 067.64
遂溪 Suixi	640.63	397.79	569.22	353.45	1 276.37	792.55	1 014.69	630.06	221.71	137.67	3 722.61	2 311.51
唐家 Tangjia	527.56	327.58	293.54	182.27	399.45	248.04	2 320.21	1 440.71	264.38	164.17	3 805.16	2 362.76
合计 Total	3 072.90	1 908.08	2 198.60	1 365.19	5 429.72	3 371.52	9 255.07	5 746.82	2 268.35	1 408.51	22 224.64	13 800.11

2.3 碳汇功能价值 林分生长量和固碳量计算中, *D* 参照 2004 年中国土地利用变化和林业温室气体排放清单专题报告, 取阔叶树种平均值 0.50 t/m³, 固碳价值量按目前碳汇市场价格 1 200 元/t 计, 制氧价值按工业制氧的市场价 400 元/t 计, 雷林桉树人工林固碳量及固碳制氧经济价值量见表 4。由表 4 可知, 雷林桉树人工林每年可固定碳总量 1 258 000.46 t, 固碳经济总价值 1 509.601 百万元, 制氧经济总价值 503.2 百万元。其中, 有比较优势的是廉江过熟林, 遂溪中龄林。

2.4 生物多样性价值 桉树人工林种质资源较天然林少很多, 故桉树人工林的 Shannon-Wiener 指数按小于 1 级别计。雷林桉树人工林生物多样性经济价值量估算分布见表 5。由表 5 可知, 雷林桉树人工林生物多样性保护价值为 2 480.429 0 百万元。从林龄来看, 成熟林价值量最高, 其次是近熟林。

2.5 森林康养效益 由表 6 可知, 雷林桉树人工林森林康养经济效益总值为 744.614 万元。其中, 表现显著的是廉江过熟林, 北坡成熟林和未成林也具有较高的康养效益。

2.6 生态综合效益 由表7可知,雷林桉树人工林各林龄林木生态综合经济效益达520 243.05万元。其中,各林龄综合生态经济价值占比从大到小依次为成熟林、近熟林、幼龄林、过熟林(中龄林),各林龄生物多样性价值贡献最大,达248 043.0万元,固定储碳较其他指标表现好。由表8可知,雷

林桉树人工林各林场林木生态综合经济价值达498 584.31万元。其中,各林场综合生态经济价值从大到小依次为北坡、纪家、唐家、遂溪、廉江、石岭、龙门,各林场生物多样性价值较高,制备放氧较其他指标表现较好。

表4 雷林桉树人工林固碳量及固碳制氧经济价值量

Table 4 Carbon sequestration and economic value of carbon sequestration and oxygen production of *Eucalyptus* plantation in Leilin

林场 Forest farm	幼龄林 Young forest			中龄林 Middle-aged forest			近熟林 Near mature forest		
	固碳量 Carbon sequest- ration//t	固碳价值 Economic value of carbon seq- uestration 百万元	制氧价值 Economic value of oxygen production 百万元	固碳量 Carbon sequest- ration//t	固碳价值 Economic value of carbon seq- uestration 百万元	制氧价值 Economic value of oxygen production 百万元	固碳量 Carbon sequest- ration//t	固碳价值 Economic value of carbon seq- uestration 百万元	制氧价值 Economic value of oxygen production 百万元
北坡 Beipo	7 135.725	8.562 870	2.854 290	16 528.680	19.834 420	6.611 473	115 550.50	138.660 60	46.220 190
纪家 Jijia	11 993.250	14.391 900	4.797 300	18 567.250	22.280 710	7.426 902	59 559.18	71.471 02	23.823 670
廉江 Lianjiang	1 407.760	1.689 312	0.563 104	3 689.896	4.427 875	1.475 958	24 069.85	28.883 81	9.627 938
龙门 Longmen	1 142.014	1.370 417	0.456 806	6 243.989	7.492 787	2.497 596	10 459.11	12.550 93	4.183 643
石岭 Shiling	5201.855	6.242 226	2.080 742	12 066.900	14.480 270	4.826 758	37 943.22	45.531 87	15.177 290
遂溪 Suixi	7 805.637	9.366 764	3.122 255	22 253.100	26.703 720	8.901 240	76 169.44	91.403 33	30.467 780
唐家 Tangjia	5 603.358	6.724 030	2.241 343	14 141.850	16.970 220	5.656 738	32 570.18	39.084 22	13.028 070
合计 Total	40 289.600	48.347 520	16.115 840	93 491.660	112.190 000	37.396 670	356 321.50	427.585 70	142.528 600

林场 Forest farm	成熟林 Mature forest			过熟林 Over mature forest			合计 Total		
	固碳量 Carbon sequest- ration//t	固碳价值 Economic value of carbon seq- uestration 百万元	制氧价值 Economic value of oxygen production 百万元	固碳量 Carbon sequest- ration//t	固碳价值 Economic value of carbon seq- uestration 百万元	制氧价值 Economic value of oxygen production 百万元	固碳量 Carbon sequest- ration//t	固碳价值 Economic value of carbon seq- uestration 百万元	制氧价值 Economic value of oxygen production 百万元
北坡 Beipo	210 950.800	253.140 90	84.380 300	5 274.170	6.329 004	2.109 668	355 439.875	426.528	142.176
纪家 Jijia	140 987.600	169.185 10	56.395 040	27 880.360	33.456 430	11.152 140	258 987.640	310.785	103.595
廉江 Lianjiang	19 095.640	22.914 77	7.638 257	52 534.430	63.041 320	21.013 770	100 797.576	120.957	40.319
龙门 Longmen	42 458.690	50.950 43	16.983 480	18 748.710	22.498 450	7.499 483	79 052.513	94.863	31.621
石岭 Shiling	8 578.475	10.294 17	3.431 390	8 149.022	9.778 826	3.259 609	71 939.472	86.327	28.776
遂溪 Suixi	64 646.960	77.576 35	25.858 780	8 063.841	9.676 609	3.225 536	178 938.978	214.727	71.576
唐家 Tangjia	144 879.300	173.855 10	57.951 720	15 649.810	18.779 770	6.259 925	212 844.498	255.413	85.138
合计 Total	63 1597.400	757.916 90	252.639 000	136 300.300	163.560 400	54.520 140	1 258 000.460	1 509.601	503.200

表5 雷林桉树人工林生物多样性经济价值量

Table 5 Economic value quantity of biodiversity of *Eucalyptus* plantation in Leilin

百万元

林场 Forest farm	幼龄林 Young forest	中龄林 Middle-aged forest	近熟林 Near mature forest	成熟林 Mature forest	过熟林 Over mature forest	合计 Total
北坡 Beipo	48.508 5	37.097 5	171.522 0	304.500 5	8.190 0	569.818 5
纪家 Jijia	82.273 0	49.812 5	107.446 5	233.211 0	46.689 0	519.432 0
廉江 Lianjiang	18.979 0	12.899 5	46.693 0	38.070 0	97.215 5	213.857 0
龙门 Longmen	14.895 0	17.052 5	19.710 5	67.109 0	26.504 0	145.271 0
石岭 Shiling	47.924 0	32.227 5	73.590 0	17.841 5	20.315 0	191.898 0
遂溪 Suixi	71.498 5	63.528 5	142.452 0	113.247 0	24.744 0	415.470 0
唐家 Tangjia	58.880 0	32.761 0	44.582 0	258.952 5	29.507 0	424.682 5
合计 Total	342.958 0	245.379 0	605.996 0	1 032.931 5	253.164 5	2 480.429 0

3 结论与讨论

该研究参考涵养水源、保育土壤、碳汇功能、生物多样性、

森林康养效益等指标研究了桉树人工林生态效益价值。结果表明,2019年雷林桉树人工林涵养水源总量82 002.98 m³,经济

表 6 雷林桉树人工林森林康养效益经济价值

Table 6 Economic value of health benefits of *Eucalyptus* plantation forest in Leilin

万元

林场 Forest farm	幼龄林 Young forest	中龄林 Middle-aged forest	近熟林 Near mature forest	成熟林 Mature forest	过熟林 Over mature forest	未成林及其他 Immature forest and other	合计 Total
北坡 Beipo	11.642	8.903	41.165	73.080	1.966	17.227	153.984
纪家 Jijia	19.746	11.955	25.787	55.971	11.205	13.735	138.399
廉江 Lianjiang	4.555	3.096	11.206	9.137	23.332	30.229	81.555
龙门 Longmen	3.575	4.093	4.731	16.106	6.361	24.615	59.480
石岭 Shiling	11.502	7.735	17.662	4.282	4.876	8.983	55.039
遂溪 Suixi	17.160	15.247	34.188	27.179	5.939	40.781	140.494
唐家 Tangjia	14.131	7.863	10.700	62.149	7.082	13.740	115.664
合计 Total	82.310	58.891	145.439	247.904	60.759	149.311	744.614

表 7 雷林桉树人工林各林龄林木综合生态经济价值

Table 7 Comprehensive ecological and economic value of various ages of *Eucalyptus* plantation in Leilin

万元

林龄 Forest age	涵养水源 Water con- servation	保育土壤 Soil con- servation	固定储碳 Carbon seq- uestration and storage	制备放氧 Preparation of oxygen release system	生物多样性 Bio- diversity	森林康 养效益 Forest health benefits	合计 Total
幼龄林 Young forest	7 815.42	1 908.08	4 834.75	1 611.58	34 296.0	82.31	50 547.94
中龄林 Middle-aged forest	5 591.76	1 365.19	11 219.00	3 739.67	24 538.0	58.89	46 512.41
近熟林 Near mature forest	13 809.59	3 371.52	42 758.57	14 252.86	60 600.0	145.44	134 937.58
成熟林 Mature forest	23 538.71	5 746.82	75 791.69	25 263.90	103 293.0	247.90	233 882.17
过熟林 Over mature forest	5 769.18	1 408.51	16 356.04	5 452.01	25 316.0	60.76	54 362.95
合计 Total	56 524.66	13 800.12	150 960.05	50 320.02	248 043.0	595.30	520 243.05

表 8 雷林桉树人工林各林场林木综合生态经济价值

Table 8 Comprehensive ecological economic value of *Eucalyptus* plantation forest trees in Leilin

万元

林场 Forest farm	涵养水源 Water con- servation	保育土壤 Soil con- servation	固定储碳 Fixed carbon storage	制备放氧 Preparation of oxygen release system	生物 多样性 Bio- diversity	森林康 养效益 Forest health benefits	合计 Total
北坡 Beipo	12 985.17	3 170.24	42 019.88	14 006.63	56 981.90	153.98	129 317.75
纪家 Jijia	11 836.95	2 889.91	27 732.87	9 244.29	51 943.20	138.40	103 785.63
廉江 Lianjiang	4 873.43	1 189.81	5 791.58	1 930.53	21 385.70	81.56	35 252.60
龙门 Longmen	3 310.47	0 808.23	7 236.46	2 412.15	14 527.10	59.48	28 353.89
石岭 Shiling	4 373.02	1 067.64	7 654.85	2 551.62	19 189.80	55.04	34 891.98
遂溪 Suixi	9 467.84	2 311.51	20 505.02	6 835.01	41 547.00	140.49	80 806.86
唐家 Tangjia	9 677.77	2 362.76	23 663.36	7 887.79	42 468.30	115.66	86 175.60
合计 Total	56 524.65	13 800.11	134 604.02	44 868.02	248 043.00	744.61	498 584.31

价值总量 56 524.66 万元;可保育土壤总量 22 224.64 t,经济价值总量 13 800.11 万元;固碳量 1 258 000.460 t,固碳经济总价值 1 509.601 百万元,制氧经济总价值 503.200 百万元;生物多样性保护价值为 2 480.429 0 百万元;森林康养经济效益总价值为 744.614 万元;各林龄林木生态综合经济效益达 520 243.05 万元;各林场林木生态综合经济价值达 498 584.31 万元。单因素分析可知,各林龄综合生态经济价值成熟林、近熟林表现最高,各林场综合生态经济价值占比北坡、纪家最好,生物多样性、固定储碳、制备放氧在生态经济价值贡献大且依次递减;多因素分析可知,北坡成熟林、廉江过熟林在生态经济价值评价贡献大,生物多样性、固定储碳、制备放氧生态价值量集中在纪家幼龄林。综上,雷林桉树人工林的生态价值日益显著,说明生态效益下的经济效益日益成为林业发展的战略新动向。

目前,有关于桉树及其人工林产业优势地位尚未得到正确认识,纯粹定性其不符合生态林业发展方向,桉树被称为“抽水机”“抽肥机”。该研究选取湛江雷林桉树林对其生态价值进行评估,结果表明,其生态系统服务功能价值巨大。发现北坡、纪家生态价值高与其面积占比相关,成熟林、近熟林生态价值高与其蓄积占比相关。森林生态效益精准评价制度是生态价值科学、合理方向的基础,适应生态效益下经济效益的大发展。因评估方法、数据库标准、学科融合、数据获取、动态模型的缺乏,该研究结果仅从部分相关指标及公式计算得出,未测算复杂多样完整的森林生态系统,缺乏对历年研究数据的比较和参考,因此未建立相关的数学动态模型,这有待于今后进步研究,以便科学估算评价。

(下转第 109 页)

化及干扰事件对植被生长过程的影响,基于谐波模型拟合能够较好地消除时间序列异常值和季节波动对植被变化监测的不利影响,通过对火灾、泥石流和滑坡 3 种典型干扰事件影响下的时间序列 NDVI 分析,发现 3 种干扰事件均导致 NDVI 显著降低,其中火灾和泥石流导致植被的变化程度分别为 22.7% 和 20.5%,滑坡则导致植被的下降程度达 42.7%。灾后植被均呈现快速的恢复,但恢复过程存在一定差异,火灾、泥石流和滑坡对植被所造成的破坏分别需要 4、6 和 5 年恢复到灾前植被覆盖水平。

该研究中火灾所导致的干扰面积较大,而泥石流和滑坡则仅发生在有限的几个像元内,且存在一定的混合像元,可能会低估地质灾害对植被的破坏能力。泥石流发生的区域,虽然 NDVI 表明植被覆盖良好,但由于处于山核桃种植区,林下植被多被清理,水土流失严重,是发生泥石流的重要原因。在火灾发生区域,部分像元灾后土地利用类型发生了变化,由森林转为农田、苗木和建设用地,使得整个火灾区域的植被恢复更为复杂,更为详细地评估火灾对植被的影响需要在像元尺度开展。此外,部分像元干扰发生后,NDVI 呈现持续下降的趋势,表明干扰发生后植被呈现持续恶化,这些特征需在具体的灾害评估中进一步明确其影响因素。

参考文献

- [1] 于立忠,朱教君,张艳红,等.森林干扰度评价[J].生态学杂志,2009,28(5):976-982.
- [2] 高伟,韩孟孟,辛秀,等.干扰理论及其对森林资源的影响[J].中国城市

- 林业,2009,7(5):16-18.
- [3] 刘孝富,王文杰,李京,等.灾后生态恢复评价研究进展[J].生态学报,2014,34(3):527-536.
- [4] MENG Y Y, LIU X N, WU L, et al. Spatio-temporal variation indicators for landscape structure dynamics monitoring using dense normalized difference vegetation index time series[J/OL]. Ecological indicators, 2019, 107[2020-04-28]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105607>.
- [5] 李洛晔,沈润平,李鑫慧,等.基于 MODIS 时间序列森林扰动监测指数比较研究[J].遥感技术与应用,2016,31(6):1083-1090.
- [6] MUNROE D K, SOUTHWORTH J, TUCKER C M. Modeling spatially and temporally complex land-cover change: The case of western Honduras[J]. Professional geographer, 2004, 56(4):544-559.
- [7] KENNEDY R E, COHEN W B, SCHROEDER T A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics[J]. Remote sensing of environment, 2007, 110(3):370-386.
- [8] POTAPOV P V, TURUBANOVA S A, HANSEN M C, et al. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data[J]. Remote sensing of environment, 2012, 122:106-116.
- [9] ZHU Z, ZHANG J X, YANG Z Q, et al. Continuous monitoring of land disturbance based on Landsat time series[J/OL]. Remote sensing of environment, 2020, 238[2020-04-28]. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.009>.
- [10] 罗火钱,陈文惠.火烧迹地森林恢复的植被指数时间序列特征谱研究[J].四川林勘设计,2012(1):23-30.
- [11] 梁超,赵廷宇,史常青,等.基于 NDVI 的汶川大地震前后北川县次生地质灾害区植被破坏评估[J].中国水土保持科学,2013,11(4):86-92.
- [12] 侍昊,王笑,薛建辉,等.基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林火灾快速评估方法:以贵州省为例[J].生态学报,2012,32(11):3359-3367.
- [13] 李京忠,曹明明,邱海军,等.汶川地震区灾后植被恢复时空过程及特征:以都江堰龙溪河流域为例[J].应用生态学报,2016,27(11):3479-3486.
- [14] 王爱爱,臧淑英,王翠珍,等.重建 NDVI 时间序列及火后森林恢复时空动态分析[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2017,33(4):54-61.
- [15] 沈文娟,李明诗.基于长时间序列 Landsat 影像的南方人工林干扰与恢复制图分析[J].生态学报,2017,37(5):1438-1449.

(上接第 105 页)

参考文献

- [1] 赵金龙.广西桉树人工林的生态服务功能研究[D].南宁:广西大学,2011.
- [2] 杨民胜,彭彦.中国桉树纸浆材现状与发展趋势[J].纸和纸浆,2006,25(S1):17-20.
- [3] 刘晓蔚.桉树人工林复合经营模式综合效益评价体系构建及综合效益评价[D].南宁:广西大学,2012.
- [4] 国家林业局.林业产业政策要点[A].2007.
- [5] 汪利燕.桉树人工林生态效应分析[J].广西林业科学,2010,39(3):165-167.
- [6] 刘晓蔚,蒋燧,刘秀.广西桉树人工林复合经营模式综合效益评价体系的构建[J].西部林业科学,2013,42(4):96-99.
- [7] 何龙.桉树林木资产评估技术研究[D].长沙:中南林业科技大学,2011.
- [8] 高学政,慕宗昭.巴西林业与人工林的集约经营[J].山东林业科技,2008,38(3):110-111.
- [9] 庞正轰.巴西桉树人工林考察报告[J].广西林业,2006(5):39-41.
- [10] 蒋云安,谢守鑫,靳爱仙,等.巴西新一代人工桉树林经营策略及其启示[J].林业资源管理,2018(6):125-129.
- [11] 张国武,罗建中,尹国平.澳大利亚·巴西桉树人工林经营特点及其启

- 示[J].安徽农业科学,2009,37(7):2965-2967.
- [12] 黄玉梅.桉树人工林地力衰退及其成因评述[J].西部林业科学,2004,33(4):21-26.
- [13] 陶玉华,冯金朝,马麟英,等.柳州市短周期桉树人工林生态系统碳储量研究[J].中国农学通报,2012,28(7):80-84.
- [14] 邱荣虎.桉树人工林的可持续发展性研究[J].南方农业,2015,9(15):109-110.
- [15] 苏晨辉.湛江桉树人工林经济、社会效益评价研究[J].桉树科技,2018,35(2):21-26.
- [16] 国家林业局与草原局.国家储备林建设规划(2018-2035年)[A].2018.
- [17] 杜阿朋,张婧,谢耀深.深圳市桉树人工林生态效益量化评估研究[J].桉树科技,2012,29(1):13-17.
- [18] 李忠伟,陈少雄,吴志华,等.桉树人工林的固碳放氧功能和价值分析:以樟木头林场为例[J].桉树科技,2008,25(1):11-14.
- [19] 何国强.云南省思茅市森林资源生态效益计量与经济评价[J].思茅师范高等专科学校学报,2005,21(3):18-21.
- [20] 徐大平,张宁南.桉树人工林生态效应研究进展[J].广西林业科学,2006,35(4):179-187,201.
- [21] 邓燾.海南省热带天然林生态效益评估和补偿机制研究[D].儋州:华南热带农业大学,2007.