

城市群生态屏障植被固碳释氧效益评估

——以大湾区外围生态屏障为例

庄伟^{ID}, 严明, 刘建新, 邓运泉, 涂家财

广东省工程技术研究所有限公司生态中心, 广东 广州

收稿日期: 2026年9月9日; 录用日期: 2026年9月29日; 发布日期: 2026年10月12日

摘要

研究区大湾区外围丘陵浅山生态屏障, 是保障大湾区生态安全的重要区域。通过分析植被遥感、土地利用和气象数据, 说明研究区植被固碳量分区特征, 揭示气象、植被和土地利用等因素对植被固碳量的影响。主要结论如下: (1) 研究区林地占比超过90%, 是植被固碳量的主要贡献者; (2) 东江北干流南侧的东区光温水组合最为优越, 植被固碳量全区最高; (3) 西江干流南侧的西区北部位于天露山和云雾山北侧雨影区, 因受较低的年降水量、较高的人类活动影响, 是大湾区外围生态屏障植被固碳释氧服务功能的薄弱环节, 建议加强该区域生态保护和修复。

关键词

净初级生产力, 林地贡献, 生态修复

Carbon Sequestration and Oxygen Release Value Evaluation for Megalopolis Ecological Barriers

—A Case Study at Ecological Barriers Surrounding Greater Bay Area

Wei Zhuang*, Ming Yan, Jianxin Liu, Yunquan Deng, Jiakai Tu

Guangdong Institute of Engineering Technology Research Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

Received: September 9, 2026; accepted: September 29, 2026; published: October 12, 2026

Abstract

Ecological barrier surrounding Greater Bay Area is an important area for ensuring ecological

*通讯作者。

文章引用: 庄伟, 严明, 刘建新, 邓运泉, 涂家财. 城市群生态屏障植被固碳释氧效益评估[J]. 林业世界, 2026, 15(4): 843-849. DOI: 10.12677/wjf.2026.154098

security for Greater Bay Area. Using vegetation remote sensing, land use, and meteorological data, the spatial differentiation of vegetation carbon sink was described, the influences of meteorological factors, vegetation and land use on vegetation carbon sink were revealed. The main conclusions are as follows: (1) Forest occupies over 90% of study area and is the main contributor on vegetation carbon sink; (2) The eastern sub-region (*i.e.* area at the south side of the main stream of Dongjiang River) has the most superior combination of light, temperature and precipitation, and the highest vegetation NPP in the entire region; (3) Due to relatively low precipitation and high population pressure, the northern part of the western region is a weak area in the vegetation productivity of the ecological barrier surrounding the Greater Bay Area. It is recommended to strengthen ecological conservation and restoration in this area.

Keywords

Net Primary Production, Forest Contribution, Ecosystem Restoration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

绿色植被通过光合作用同化并固定二氧化碳,生产有机物,释放氧气,这一固碳释氧服务功能起到了重要的气候调节作用。提升植被固碳释氧服务功能,增强植被碳汇,是实现“碳中和”“碳达峰”目标的需求。固碳释氧价值评估,是生态产品总值(GEP)核算的重要内容之一。开展固碳释氧价值评估,有助于贯彻生态文明理念,促进区域可持续发展。

植被净初级生产力(Net Primary Production, NPP)是指绿色植物通过光合作用形成的有机物并扣除自养呼吸后的剩余固碳量,它是生态系统中一切异养生物生存和繁衍的物质基础,是驱动生态系统物质循环和能量流动的基础生产力[1]。植被 NPP 是生态系统发挥固碳释氧、水源涵养、水土保持、生物多样性维持等所有生态功能的基础,是评估生态环境质量时空变化的重要生态指标[2],常用于固碳释氧服务功能评估[3]。

生态屏障的概念源于恢复生态学在我国生态环境建设中的经验总结和理论概括。生态屏障的科学定义是,处于某一特定区域的生态系统,其结构与功能符合人类生存和发展的生态要求[4]。我国已将生态屏障体系建设纳入到国土规划、利用和管理中。为筑牢生态屏障,广东省提出构建“三屏五江多廊道”的生态安全格局[5]。三屏是指南岭生态屏障、大湾区外围丘陵浅山生态屏障和蓝色海洋生态屏障。其中,大湾区外围丘陵浅山生态屏障(简称大湾区外围生态屏障)属南亚热带季风气候,拥有全世界独一无二的季风常绿阔叶林,水土保持和水源涵养功能突出,是大湾区的重要水源地,是保障大湾区生态安全的重要区域。大湾区以珠江口为依托,聚集了珠三角 9 个城市和 2 个特别行政区,是我国经济活力最强的区域之一。受城市群高强度社会经济活动的影响,大湾区外围生态屏障生态系统受干扰及受损情况较为突出,生态空间破碎化,生态空间连通性和功能完整性受到影响。广东省、各市的生态安全屏障区生境状况相对敏感脆弱,受气候波动和人类活动等多重因素影响会出现固碳量降低、植被破碎化等问题[6]。守住生态安全底线,筑牢生态屏障,方可支撑大湾区的可持续发展。开展大湾区外围生态屏障区域植被固碳释氧服务功能研究,有助于评估植被碳汇变化和生态修复效果,为广东省构建生态安全格局、实现“双碳”目标提供支撑。

遥感手段结合生态模型,是研究植被固碳释氧服务功能的有效方法,具有时空连续性好的优点[1][7][8]。前人利用遥感手段对广东省及大湾区植被固碳释氧服务功能进行了研究,发现:广东省植被固碳量(以 NPP 衡量)区域差异显著,粤北、粤西、粤东、珠三角区域由高到低依次降低[9][10];按“三生空间”划分,生态空间植被固碳量最高,生活空间最低[11];城市化带来的土地覆被变化对珠三角区植被固碳量影响显著[12];珠三角区植被固碳量多年平均值在各生态功能分区中最低,需要周边生态区为其提供生态系统服务[13];大湾区外围生态屏障植被 NPP 是大湾区核心区的 2.29 倍[14]。前人研究多侧重大湾区[15],或者广东全境[10][12],专门针对外围丘陵浅山生态屏障区域植被固碳释氧服务功能研究仍有待加强[14]。大湾区外围生态屏障区域跨越粤东至粤西多个市级区域,科学评估大湾区外围生态屏障区域植被固碳释氧服务功能,需要将其作为一个管理和评估单元,识别在省级尺度研究中被平均化或忽略的内部关键脆弱节点。本研究在前期研究[14]基础上,利用植被遥感、土地利用、人口密度和气象数据,分析研究区 2001~2022 年植被固碳释氧服务空间分布特征,比较林地、草地、耕地和建设用地等不同土地利用类型对研究区植被固碳释氧服务的贡献,揭示气象要素、植被要素、人口密度和土地利用等对研究区植被固碳释氧服务功能空间分异的影响。本研究将大湾区外围生态屏障作为研究区,通过分析研究区植被固碳释氧服务空间异质性及其成因,识别生态屏障的薄弱环节,为制定针对性的区域生态系统修复或补偿方案提供科学支撑。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

本文研究区大湾区外围生态屏障,主要涉及大湾区城市群外围,包括南昆山-罗浮山、莲花山南段、鼎湖山、天露山、三桂山-笔架山等大湾区山体屏障,属于海拔高于 100 m 的丘陵山地地带。以西江、北江和东江干流划分,本研究将研究区分为西区、西北区、东北区和东区四个分区。西区位于西江干流南侧,包含云雾山和天露山。西北区位于西江与北江干流之间,分布着罗壳山、北岭等山脉,鼎湖山国家级自然保护区位于该区北岭山脉。东北区位于北江干流和东江北干流之间,青云山、九连山、罗浮山等山脉余脉。东区位于东江北干流南侧,包含莲花山南段等浅山丘陵区域。珠三角区的范围,取自《广东省环境保护规划》中珠江三角洲平原农业-都市经济生态区范围[16],另含 2 个特别行政区范围。

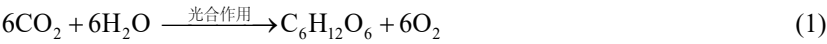
2.2. 数据来源

研究区 2001~2022 年 NPP 数据来自 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)产品系列中 MOD17A3HGF 6.1 版本 NPP 数据集(<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3hgf061/>)。该产品采用光能利用率模型估算 NPP,空间分辨率 500 m [8]。叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)数据来自 MODIS 产品系列中的 MOD15A2H 6.1 的 LAI 数据集,空间分辨率 500 m (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod15a2h061/>)。

森林冠层高度数据来自全国 30 米森林冠层高度产品[17];该产品采用深度学习方法,融合了全球生态系统动态调查(GEDI)、冰-云-陆地海拔卫星-2 (ICESat-2)、高级地形激光测高系统(ATLAS)、无人机激光雷达等遥感产品。土地利用数据来自土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC, <http://www.resdc.cn/>),土地利用类型划分为林地、耕地、草地、水域、建设用地和未利用地等六种一级类型,空间分辨率 1 km。气象栅格数据来自区域地面气象要素驱动数据集(CMFD v2.0, 1951 年~2024 年,空间分辨率 0.1°, <https://cstr.cn/18406.11.Atmos.tpd.302088>)。全球 2001~2022 年人口密度栅格数据(WorldPop et al., 2018)作为表征人类活动的因子。森林冠层高度、土地利用、人口密度和气象栅格数据经重采样到 500 m 分辨率,与 NPP 数据进行空间统计分析。

2.3. 研究方法

植被固碳量直接采用 NPP 表示。根据光合作用化学方程式：



绿色植被每固定 1.00 kg 碳，释放 2.67 kg 氧气。因此，释氧量由固碳量乘以 2.67 换算得到。固碳释氧价值是固碳量和释氧量的货币价值总和。

$$V = A \times (V_c G_c + V_o G_o) \times 10^{-6} \tag{2}$$

式中，*V* 为植被固碳释氧价值(元)；*V_c* 表示固碳价格，采用瑞典碳税率(1200 元/吨)；*V_o* 为氧气价格(1000 元/吨)；*G_c*，*G_o* 分别为固碳物质质量和释氧物质质量；*A* 为植被面积(m²)。

通过比较 2020 年和 2000 年土地利用数据，分析林地、草地、耕地和建设用地占比的年际变化特征。前期分析发现广东省 NPP 空间统计分布呈现明显的分段特征[13]，以 2020 年植被 NPP 为例，采用自然间断点分级法将广东省 NPP 分为 3 段，结合土地利用数据，研究不同土地利用类型对植被 NPP 统计分布的贡献。利用 LAI、森林冠层高度和气象栅格等数据，分析 2001~2022 年多年平均植被 NPP 与植被、气候要素的空间相关性。以上空间统计分析通过 R 语言(<https://www.r-project.org/>)和 ArcGIS 10.8 的空间分析模块完成。

3. 结果与分析

3.1. 研究区固碳释氧服务的空间格局

表 1 显示，按照单位面积评估，大湾区外围生态屏障 2001~2022 年多年平均固碳量为 1193.50 g·C·m⁻²·a⁻¹，多年平均释氧量 3186.65 g·m⁻²·a⁻¹；按照区域总量的多年平均值评估，大湾区外围生态屏障 2001~2022 年总固碳量为 2.34 × 10⁷ t·C·a⁻¹，总释氧量 6.26 × 10⁷ t·a⁻¹，总固碳释氧价值为 906.92 亿元。按照大湾区外围生态屏障的分区来看，东区多年平均固碳量最高(1281.66 g·C·m⁻²·a⁻¹)，其次为东北区(1211.75 g·C·m⁻²·a⁻¹)、西北区(1149.36 g·C·m⁻²·a⁻¹)，西区最低(1110.35 g·C·m⁻²·a⁻¹)。大湾区外围生态屏障 2001~2022 年多年平均固碳量(1193.50 g·C·m⁻²·a⁻¹)显著高于珠三角区(520.20 g·C·m⁻²·a⁻¹)，为大湾区城市群建立一道有效的生态屏障。

Table 1. Evaluation table for carbon sequestration and oxygen release service at the study area during 2001~2022

表 1. 研究区 2001~2022 年多年平均固碳释氧服务评估一览表

区域	多年平均固碳量 (g·C·m ⁻² ·a ⁻¹)	总固碳量 (10 ⁶ t·C·a ⁻¹)	多年平均释氧量 (g·m ⁻² ·a ⁻¹)	总释氧量 (10 ⁶ t·a ⁻¹)	固碳释氧价值 (亿元)
大湾区外围生态屏障	1193.50	23.43	3186.65	62.57	906.92
东区	1281.66	6.31	3422.03	16.85	244.28
东北区	1211.75	7.38	3235.37	19.71	285.68
西北区	1149.36	5.38	3068.79	14.37	208.25
西区	1110.35	4.36	2964.63	11.64	168.70
珠三角区	520.20	500.69	1388.93	1336.84	193.95

3.2. 土地利用类型对研究区植被固碳量的贡献

比较 2020 年和 2000 年土地利用数据，发现 2000 年林地占比最高 90.83%，其次为耕地(6.53%)，草

地(2.28%), 建设用地(0.36%)。2020 年林地占比最高 90.64%, 其次为耕地(6.43%), 草地(2.16%), 建设用地(0.83%)。2020 年较 2000 年, 林地、耕地和草地占比分别降低了 0.11%, 0.18%和 0.12%, 建设用地则增加了 0.47%。生态空间(林地与草地)面积占比由 2000 年的 93.11%, 降低到 2020 年的 92.8%。林地和草地面积均有微弱降低。

Table 2. Proportion of vegetation NPP during the year 2020 at ecological barrier surrounding greater bay area
表 2. 大湾区外围生态屏障 2020 年植被固碳量比例构成

固碳量范围 ($\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	面积占比 (%)	各土地利用类型占比 (%)			
		林地	耕地	草地	建设用地
≥ 1208.84	67.35	96.07	2.05	1.73	1.73
[817.82, 1208.84)	22.16	80.93	15.09	2.93	2.93
< 817.82	10.48	72.36	20.01	3.47	3.47

大湾区外围生态屏障 2020 年植被固碳量统计直方图有 3 个峰值, 采用自然间断点分级法将植被固碳量(NPP)分为 3 段, 各段土地利用类型占比见表 2。NPP $\geq 1208.84 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 的高值区占总面积的 67.35%, 其中林地占比(96.07%)有绝对优势。817.82 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 至 1208.84 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 的 NPP 中等区间占总面积的 22.16%, 林地占 80.93%, 耕地占 15.09%。NPP $< 817.82 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 的低值区占总面积的 10.48%, 土地利用类型以林地(72.36%)和耕地(20.01%)为主。

3.3. 研究区植被固碳释氧服务与气象、植被要素的关系

利用空间统计分析研究区多年平均植被固碳量与植被、气候要素的空间相关性, 发现: 与植被固碳量(NPP)空间分布的相关度最高的要素是 LAI (0.75), 其次为冠层高度(0.35), 年平均太阳辐射总量(0.22), 年降雨量(0.08)。而年平均气温与 NPP 空间分布呈现负相关(-0.12)。年降水量的低值区、LAI 的低值区与 NPP 的低值区呈现较好的对应性, 尤其在西区的北部最为明显。

Table 3. Differences on carbon sink, meteorological and vegetation factors among the sub-zones at the study area during 2001~2022
表 3. 研究区 2001~2022 年植被固碳量、气象与植被要素的分区差异

区域	固碳量 ($\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	LAI ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$)	森林冠层 高度(m)	年降水量 (mm)	年平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	全年太阳辐 射总量 ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	海拔 (m)	人口密度 (人 km^{-2})
外围屏障	1193.50	2.89	6.89	1858.30	20.61	5024.63	293.32	97.12
东区	1281.66	3.13	6.86	1805.42	20.69	5203.96	295.10	98.56
东北区	1211.75	2.92	8.07	1996.67	20.12	4978.33	307.08	72.94
西北区	1149.36	2.74	7.16	1797.31	20.51	4878.11	278.57	115.21
西区	1110.35	2.72	5.45	1801.76	21.36	5029.13	287.22	111.03
西区北部	1048.94	2.36	4.35	1600.56	21.68	4931.96	262.58	159.72

表3显示四个分区,东区有最高的NPP ($1281.66 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),最高的LAI ($3.13 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$),最高的全年太阳辐射总量($5203.96 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$);西北区的全年辐射总量最低($4878.11 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$),受辐射影响最明显。四个分区中,东北区平均海拔高度最高(307.08 m),造成其气温最低(20.12°C),特殊的地形又使得它年降水量最高(1996.67 mm)。受山地地形影响,东北区受人为活动影响较少,加之拥有广东省最大的水库——新丰江水库,水源地植被保护较好,因此森林冠层高度在研究区中最高(8.07 m)。受保护的天然林冠层高度一般高于人工林。从森林冠层高度判断,东北区和西北区的森林冠层高度显著高于研究区平均值,说明这些区域的天然林保护效果较好。四个分区中,西区则有最低的NPP ($1110.35 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),最低的森林冠层高度(5.45 m),最低的LAI ($2.72 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$),最高的气温(21.36°C)。而西区北部又属于西区植被NPP的低值区($1048.94 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),森林冠层高度(4.35)、LAI ($2.36 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$)、年降水量(1600.56 mm)均低于研究区平均值,人口密度(159.72 人/km^2)高于研究区平均值(97.12 人/km^2),说明该区域植被生长受年降水量影响,同时受人类活动影响较为明显。

4. 讨论与结论

从区位贡献来看,大湾区外围生态屏障植被固碳量是大湾区核心区珠三角区的2.29倍[14],使其成为大湾区城市群外围的坚实生态屏障。林地是研究区植被固碳量高值区的主要贡献者,这与广东省的有关研究一致[13]。从空间格局来看,西区北部位于天露山和云雾山的北侧雨影区,是整个研究区降水量低值区,人口密度全区最高,气候条件和人类活动的影响,使得该区域森林冠层高度、LAI、植被NPP等植被指标均为全区最低值,该区域成为大湾区外围生态屏障的薄弱环节[6]。年际尺度上,与研究区植被固碳量空间分布相关性最强的植被和气象要素分别是LAI(0.75)和年平均太阳辐射总量(0.22)。受气溶胶-云-降水交互影响,我国亚热带太阳辐射总量低于全国平均水平。太阳辐射总量是我国亚热带植被生产力的主要气象影响因素之一[18]。四个分区中,西北区受辐射影响最明显,东区年平均太阳辐射总量最高,这使得东区植被固碳量最高。

综上,以植被固碳量作为生态环境质量评估指标来看,大湾区外围生态屏障是大湾区城市群外围的有效生态屏障。分区来看,东江北干流南侧的东区光温水等气象要素组合最为优越,植被固碳量全区最高。北江干流和东江北干流之间的东北区海拔高度、年降水量和森林冠层高度均为最高,天然林植被保护效果较好。西江与北江干流之间的西北区植被生产力的辐射影响最为明显。由于年降水量相对较低,西江干流南侧的西区北部是大湾区外围生态屏障植被生产力的薄弱环节,建议重视该区域的生态保护和修复,降低开发强度,加强林地抚育,以提升植被固碳释氧服务功能。大湾区核心区(即珠三角区)人口和产业密集,受益于外围生态屏障的固碳释氧等生态服务功能。建议发挥林业碳普惠价值,建立大湾区核心区与外围生态屏障区之间的生态补偿机制,为持续在大湾区外围生态屏障的生态保护和修复工程提供稳定的政策和经济支持。

参考文献

- [1] Cramer, W., Kicklighter, D.W., Bondeau, A., Iii, B.M., Churkina, G., Nemry, B., *et al.* (1999) Comparing Global Models of Terrestrial Net Primary Productivity (NPP): Overview and Key Results. *Global Change Biology*, 5, 1-15. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1999.00009.x>
- [2] 李登科, 王钊. 基于MOD17A3的中国陆地植被NPP变化特征分析[J]. 生态环境学报, 2018, 27(3): 397-405.
- [3] 桑福民, 张善红. 秦岭山地森林固碳释氧价值评估[J]. 林业世界, 2026, 15(3): 520-529.
- [4] 王玉宽, 孙雪峰, 邓玉林, 等. 对生态屏障概念内涵与价值的认识[J]. 山地学报 2005(4): 4431-4436.
- [5] 叶玉瑶, 张虹鸥, 任庆昌, 等. 省级国土空间生态修复规划编制的思路与方法——以广东省为例[J]. 热带地理, 2021, 41(4): 657-667.

- [6] 向男, 王明旭, 张宏锋, 廖宝淦. 生态保护重要性分区及其长时间序列生境状况时空分异研究——以广东省为例[J]. 生态环境学报, 2024, 33(6): 958-968.
- [7] 庄伟, 刘建新, 严明, 等. 陆域植被固碳释氧服务生态效益评估——以广东省为例[J/OL]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(2): 80-84. <http://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=1000003991273>, 2026-09-18.
- [8] Zhao, M., Heinsch, F.A., Nemani, R.R. and Running, S.W. (2005) Improvements of the MODIS Terrestrial Gross and Net Primary Production Global Data Set. *Remote Sensing of Environment*, **95**, 164-176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.011>
- [9] 郭志华, 彭少麟, 王伯荪. 基于 GIS 和 RS 的广东陆地植被生产力及其时空格局[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1444-1449, 1569.
- [10] 邓玉娇, 王捷纯, 徐杰, 等. 广东省植被固碳量时空变化及气象贡献率研究[J]. 生态环境学报, 2022, 31(1): 1-8.
- [11] 吕俊捷. “三生空间”视角下广东地区植被净初级生产力时空格局及驱动力研究[J]. 地理科学研究, 2023, 12(3): 449-462.
- [12] 姜春, 吴志峰, 程炯, 等. 气候波动和土地覆盖变化对广东省植被净初级生产力的相对影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(4): 397-405.
- [13] 庄伟, 严明, 伦见强, 等. 基于生态功能分区的广东省植被净初级生产力变化特征研究[J]. 环境生态学, 2024, 6(4): 131-137.
- [14] Zhuang, W., Qiu, S., Sun, C., Wang, Y., Jiang, J. and Yan, J. (2025) Spatiotemporal Dynamics and Controls of Vegetation Net Primary Production at Greater Bay Area Outer Ecological Barrier. *Biological Diversity*, **2**, 154-162. <https://doi.org/10.1002/bod2.70013>
- [15] 温宥越, 孙强, 燕玉超, 等. 粤港澳大湾区陆地生态系统演变对固碳释氧服务的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8482-8493.
- [16] 王子葵, 吕凤林, 等. 广东省环境保护规划[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 134-143.
- [17] Liu, X., Su, Y., Hu, T., Yang, Q., Liu, B., Deng, Y., *et al.* (2022) Neural Network Guided Interpolation for Mapping Canopy Height of China's Forests by Integrating GEDI and ICESat-2 Data. *Remote Sensing of Environment*, **269**, Article ID: 112844. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112844>
- [18] Li, D., Ju, W., Lu, D., Zhou, Y. and Wang, H. (2015) Impact of Estimated Solar Radiation on Gross Primary Productivity Simulation in Subtropical Plantation in Southeast China. *Solar Energy*, **120**, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.033>