

广东省林业碳汇解析及提升潜力分析*

王湘龙¹ 魏龙² 张方秋³ 李小川² 潘文² 张谦²
蔡坚² 高常军² 肖石红² 吴琰² 易小青² 吴惠珊^{2,3}

(1. 广东省森林资源保育中心, 广东广州 510173; 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; 3. 广东生态工程职业学院, 广东广州 510520)

摘要 森林经营在增强二氧化碳吸收方面具有重要作用, 在全球气候变化背景下, 本文阐述了《联合国气候变化框架公约》中我国的履约目标, 并评估了2005年和2010年广东省土地利用变化和林业领域的固碳量。结果显示广东省2005年森林生物量生长碳吸收合计总量为 47.02×10^9 kg二氧化碳当量, 乔木林固碳占总固碳量的88.87%, 采伐消耗温室气体排放 11.47×10^9 kg二氧化碳当量, 采伐消耗温室气体排放二氧化碳当量占总排放量的76.12%。2010年固碳量增长11.68%, 采伐消耗温室气体排放增加了19.85%。通过对比分析, 探讨了广东省林业碳汇的提升潜力及方向。

关键词 气候变化; 温室气体; 林业碳汇; 潜力; 广东省

中图分类号: X37

文献标志码: A

文章编号: 2096-2053(2019)03-0007-06

Analysis of Forest Carbon Sequestration and Its Promotion Potential in Guangdong Province

WANG Xianglong¹ WEI Long² ZHANG Fangqiu³ LI Xiaochuan²
PAN Wen² ZHANG Qian² CAI Jian² GAO Changjun²
XIAO Shihong² WU Yan² YI Xiaoqing² WU Huishan^{2,3}

(1. Forest Resources Conservation Center of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510173, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. Guangdong Eco-engineering Polytechnic, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Forestry management plays an important role in enhancing carbon dioxide absorption. In this paper, the performance objectives of our country in (UNFCCC) under the background of global climate changes were introduced. The changes of greenhouse gases fixation and emission in the forestry field of Guangdong province were accurately analyzed by comparing the changes of land use and forestry greenhouse gases sequestration and emission in 2005 and 2010. The results showed that forest and other woody biomass carbon sequestration were 47.02×10^9 kg CO₂ equivalence in 2005. The carbon sequestration of arboreal forest accounted for 88.87% of the total carbon sequestration. The emissions of carbon dioxide by cutting were 11.47×10^9 kg. The emissions of carbon dioxide by cutting accounted for 76.12% of the total emissions. Forest and other woody biomass carbon sequestration increased by 11.68% in 2010, while greenhouse gases emissions from cutting increased by 19.85%. Based on the comparison of forest resources between Guangdong province and other

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目(2017KJCX038)和(2018KJCX011)。

第一作者: 王湘龙(1978—), 男, 高级工程师, 主要从事森林资源调查、林业资源监督管理工作, E-mail: 36682616@qq.com。

通信作者: 魏龙(1976—), 男, 高级工程师, 主要从事林业碳汇、沿海防护林生态系统研究, E-mail: 443515951@qq.com。

蔡坚(1973—), 男, 高级工程师(教授级), 主要从事森林、湿地生态系统生物多样性保护与监测、碳汇、生态服务功能效益监测与评价等研究, E-mail: 525535839@qq.com。

province with similar geographical and climatic conditions, the potential of improving forest carbon sequestration in Guangdong province in the future was discussed.

Key words climate change; greenhouse gases; forestry carbon sequestration; potential; Guangdong province

随着气候变化和温室效应的加剧,温室气体排放引起世界各国政府、公众的广泛关注,低碳发展已成为全球共识,有效减少温室气体排放成为学者们研究的热点问题。《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)是国际社会在全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架。《公约》将世界各国划分为两大类:附件I国家和非附件I国家。附件I国家指那些对气候变化负有较大历史责任的国家,非附件I国家主要由发展中国家构成,我国在条约签署时属于非附件I国家。1996年《公约》明确要求所有缔约方提供温室气体排放源和吸收汇的国家温室气体清单,并规定了非附件一缔约方清单报告内容^[1]。

在减缓气候变化进程中,林业活动具有十分重要和不可替代的地位和作用,集中体现在增强二氧化碳吸收汇、保护碳储存和碳替代3个方面。国际规则中,通过造林、再造林、毁林、森林管理、农地管理、草地管理和植被恢复等人为活动引起的温室气体源排放和汇清除,可通过适当的方式用于抵消发达国家承诺的温室气体减排指标,发达国家可以通过在其他国家的包括土地利用变化和林业活动在内的透明的、可证实和核查的项目活动获得的排放减少或增汇,来帮助其实现承诺的温室气体减排指标^[2]。这就要求对林业活动等引起的排放减少或增汇进行科学监测和评价,而此类监测和评价也可以为如何增强森林碳汇提供一些借鉴和启示,这也是直接为国家应对气候变化战略服务的一项基础性的工作^[2]。

我国于2001—2004年历时3年完成了《中国气候变化初始国家信息通报》中1994年国家温室气体清单的编制工作。2008年国家发展和改革委员会再次组织国内有关政府部门,根据《公约》有关非附件一国家信息通报编制指南,启动了第二次国家信息通报的编写工作,完成了《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》,包括2005年国家温室气体清单^[3]。面对气候变化问题,2007年国务院颁布了《中国应对气候变化国家方案》,2009年国务院常务会议决定将“到2020年我国单位国内

生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%”作为约束性指标纳入国民经济统计及社会发展中长期规划,并制定政府工作相应的监测、考核办法^[4]。

温室气体减排成为各级政府的考核指标,工业、能源、废弃物处理、农业、土地利用变化和林业是温室气体清单编制的五大领域,通过温室气体排放清单可以精准地了解各个行政区域排放源分布及其结构,掌握碳排放特征,支撑政府的低碳战略和减排政策。广东省在现阶段,土地利用变化和林业领域是唯一的净碳汇即净减排领域。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

广东省位于中国大陆的南部,东邻福建,西连广西,北接湖南、江西,西南端隔琼州海峡与海南省相望。全境位于20°09′~25°31′N、109°45′~117°20′E之间。全省陆地面积17.97万km²,约占全国陆地总面积的1.87%。广东具有热带、亚热带季风海洋性气候的特点,年降水量在1500~2000mm之间,有些区域达2000mm以上,是全国降水量较充沛的地区。截止2018年末广东省全省森林面积1053万hm²,森林覆盖率58.59%,森林蓄积量5.52亿m³。

1.2 研究方法

通过对比2005年和2010年在森林经营管理下,广东省森林和其他木质生物质生物量碳储量变化和森林转化温室气体排放变化,以及森林资源的变化,探讨广东林业碳汇的变化原因及未来提升潜力。

1.2.1 土地利用变化和林业温室气体源/汇的界定 广东省土地利用变化和林业领域温室气体的固定汇和排放源的解析,参照国家发展和改革委员会气候司2011年《省级温室气体清单编制指南》(以下简称“省级指南”)的方法。确定编制的范围与内容是以下两种森林经营活动引起的温室气体吸收或排放:一、森林和其他木质生物质生物量碳储量变化,包括乔木林生长生物量吸收、散生木、四旁树、疏林生长生物量碳吸收;竹林、

经济林、灌木林生物量碳储量变化；活立木消耗（包括采伐消耗和枯损消耗）碳排放；二、森林转化温室气体碳排放。

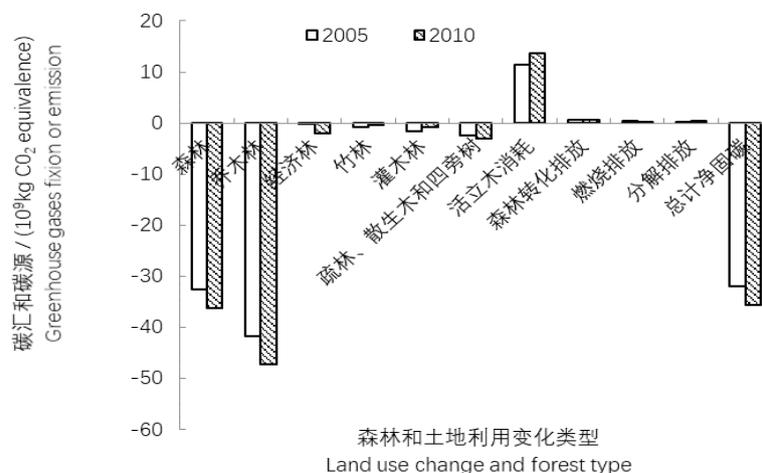
1.2.2 温室气体汇/源估算方法 森林和其他木质生物质生物量碳储量变化大类中的乔木林和散生木、四旁树、疏林，以及活立木消耗中的采伐消耗、枯损消耗及森林转化、分解碳储量变化采用材积源生物量法；竹林、经济林、灌木林通常在最初几年生长迅速，并很快进入稳定阶段，生物量变化较小，因此主要根据竹林、经济林、灌木林面积变化和单位面积生物量来估算生物量碳储量变化。森林转化温室气体排放包括燃烧排放和分解排放，燃烧排放包括现地燃烧（即发生在林地上的燃烧，如炼山等）和异地燃烧（被移走在林地外进行的燃烧，如薪柴等），估算现地燃烧产生直接的二氧化碳（CO₂）排放以外，还估算排放的甲烷（CH₄）和氧化亚氮（N₂O）两种温室气体。森林转化分解碳排放，主要考虑燃烧剩余物的缓慢分解造成的 CO₂ 排放。

1.2.3 森林资源数据和来源 2005年和2010年广东省土地利用变化和林业温室气体清单编制中的活动水平数据利用第六、七次全森林资源调查数据经过内插法和外推法估算，排放因子数据使用缺省推荐值或通过不确定性评判后引用发表的研究文献^[4-12]。

2 结果与分析

2.1 广东省 2005 年和 2010 年土地利用变化和林业温室气体减排量

广东省 2005 和 2010 年土地利用变化和林业



注：负值为固定，正值为排放，其中数据为二氧化碳当量 Note: Negative values for fixation and positive values for emission. And the data is carbon dioxide equivalence

图 1 广东省 2005 年和 2010 年土地利用变化和林业部门温室气体固定和排放量 Fig.1 The changes of land use change and forestry greenhouse gas fixation and emission in 2005 and 2010

温室气体消减变化如图 1 所示，换算成二氧化碳当量后，负值为固定，正值为排放。2005 年，森林和其他木质生物质生物量碳储量变化中，乔木林、经济林、竹林、灌木林和疏林、散生木、四旁树生物量生长碳吸收合计总量为 47.02×10^9 kg 二氧化碳当量，其中乔木林、经济林、竹林、灌木林分别固定 41.79×10^9 kg、 0.25×10^9 kg、 0.84×10^9 kg 和 1.70×10^9 kg 二氧化碳当量，疏林、散生木和四旁树固定 2.24×10^9 kg 二氧化碳当量，采伐消耗排放 11.47×10^9 kg 二氧化碳当量，枯损消耗排放 3.01×10^9 kg 二氧化碳当量，森林转化为非林地排放为 0.59×10^9 kg 二氧化碳当量；去除各项排放后 2005 年净固定为 31.96×10^9 kg 二氧化碳当量。

2010 年，广东省乔木林、经济林、竹林、灌木林和疏林、散生木、四旁树二氧化碳固定合计总量为 53.51×10^9 kg 二氧化碳，其中乔木林、经济林、竹林分别固定二氧化碳 47.27×10^9 kg、 2.10×10^9 kg、 0.30×10^9 kg，灌木林固定二氧化碳 0.87×10^9 kg，疏林、散生木和四旁树固定二氧化碳 2.97×10^9 kg，采伐消耗排放二氧化碳 13.75×10^9 kg，枯损消耗排放二氧化碳 3.41×10^9 kg，森林转化为非林地排放温室气体 0.60×10^9 kg 二氧化碳当量；去除各项排放后 2010 年净固定为 35.76×10^9 kg 二氧化碳当量。

2.2 广东省 2005 年和 2010 年土地利用变化和林业温室气体汇/源的变化

广东省土地利用变化和林业领域温室气体 2010 年相对 2005 年的变化如图 2 所示。森林和其他生物质碳储量增加 11.69%。其中，作为森

林固碳量主体部分的乔木林固定二氧化碳增加了13.12%，2010年相对2005年经济林固碳增加了753.40%，竹林固碳减少了64.29%，灌木林固碳减少了48.98%，疏林、散生木和四旁树固碳增加了21.47%，采伐消耗碳排放增加了19.85%，枯损消耗增加了13.58%。2010年相对2005年森林转化碳排放增加了1.04%，其中燃烧排放减少了44.63%，分解排放增加了100%。

2.3 广东省2005年和2010年土地利用变化和林业温室气体汇/源的组成比例

广东省2005年和2010年土地利用变化和林业温室气体汇/源的组成比例见表1。2005年，在广东省土地利用变化和林业领域，乔木林固碳占总固碳量的88.87%，经济林占0.52%，竹林占1.79%，灌木林占3.62%，疏林、散生木和四旁树占5.19%，而采伐消耗排放二氧化碳当量占总排放量的76.12%，枯损消耗排放二氧化碳当量约占总排放量的19.95%；森林转化排放二氧化碳当量约占总排放量的3.93%，其中燃烧排放占2.69%，分解排放占1.24%。2010年，在广东省土地利用变化和林业领域，乔木林固定占总固碳的88.34%，经济林占3.93%，竹林占0.56%，灌木林占1.62%，疏林、散生木和四旁树占5.54%，采伐消耗排放二氧化碳约占温室气体总排放的77.41%，枯损消耗排放二氧化碳约占19.23%；森林转化排放温室气体约占3.37%。

2.4 广东省土地利用变化和林业资源的变化

森林作为可再生资源，其经营管理水平决定了每年林业碳汇的净增加量。第六、七、八期广

东省森林资源调查15年期间变化如表2所示^[4]，广东省在1999-2013年15年间，通过森林经营管理，森林面积增加了9.57%，在有限的面积增长下，活立木蓄积增长了27.17%，单位面积森林蓄积量提高了16.28%，这些方面的增量也是广东省林业碳汇净温室气体减排量增加的主要原因。

2.5 广东省土地利用和林业资源横向对比

林业碳汇的基础是森林资源的培育和保护利用，通过对比地理和水热等条件相近的广东省相邻省份广西和福建等区域（表3），结果表明虽然3个省份间林地面积有差异，但森林占林地面积的比例、单位面积森林蓄积量和森林覆盖率均高于广东，尤其是福建省，单位面积森林蓄积量是广东的2倍，两省林地面积相近，说明广东省林业资源存量与相近省份存在一定的差距，有较大的提升潜力。

3 结论与讨论

土地利用变化和林业领域2010年相对2005年总计净二氧化碳固定增加11.88%。其中，乔木林是林业碳汇最主要的贡献来源；经济林受市场导向的影响比较大，两期温室气体清单编制之间变化率最大。竹林面积和生物量在多年历史期间变化不大，年际间的起伏变化对整体林业碳汇贡献有限；疏林、散生木和四旁树主要由乔木组成，且对改善人居环境有重要作用，城市林业、乡村绿化美化等林业政策的实施将会快速推动这一部分的贡献率。

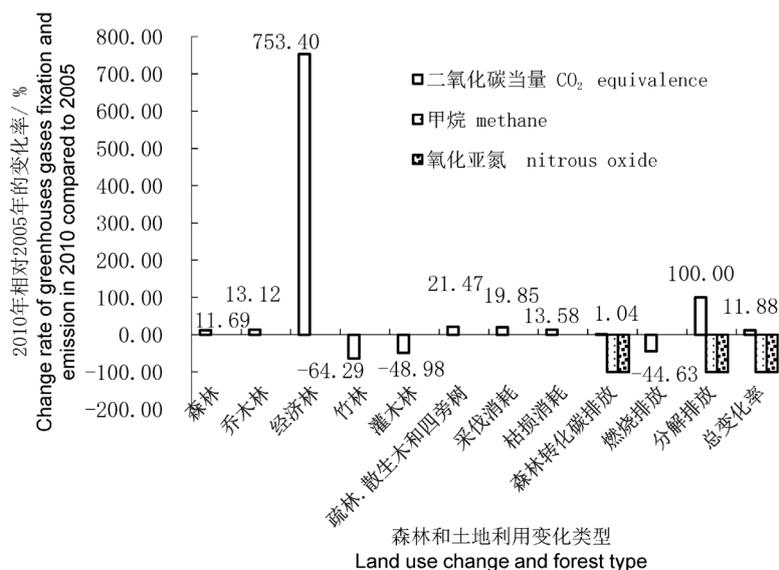


图2 2010年相对2005年温室气体固定和排放变化率

Fig.2 The change rate of Greenhouses gases fixation and emission in 2010 compared to 2005

表 1 广东省 2005 年和 2010 年土地利用变化和林业温室气体汇 / 源的组成比例

%

Table1 The proportion of the land use change and forestry greenhouse gas composition as sink/source in Guangdong province in 2005 and 2010

碳汇 / 源 Carbon sink/Source	森林和土地利用变化类型 Land use change and forest type	2005	2010
森林和其他木质生物 质碳汇 Forest and other woody biomass as carbon sink	乔木林 Arboreal forest	88.87	88.34
	经济林 Economic forest	0.52	3.93
	竹林 Bamboo forest	1.79	0.56
	灌木林 Shrubbery	3.62	1.62
	疏林、散生木、四旁树 Sparse woodland; scattered trees; trees beside the villages, houses, roads and water bodies	5.19	5.54
森林消耗及森林转化 碳排放源 Forest consumption and forest conversion emissions as carbon source	采伐消耗 Cutting	76.12	77.41
	枯损消耗 Mortality	19.95	19.23
	燃烧排放 Combustion	2.96	0
	分解排放 Decomposition	1.24	3.37

表 2 广东省森林资源从 1999–2013 年共 15 年期间的变化

Table2 The changes of forest resources of Guangdong province between 1999 and 2013.

年份 Year	森林面积 /10 ⁶ m ² Forest area	活立木蓄积 /10 ² m ³ Timber stock	乔木林蓄积 /10 ² m ³ Timber stock of arboreal forest	单位面积蓄积 /10 ² m ³ Timber stock per hectare	森林覆盖率 /% Forest coverage rate
1999–2003	82 700	2 970 335	2 836 563	43	46.49
2004–2008	87 398	3 216 074	3 018 337	44	49.44
2009–2013	90 613	3 777 459	3 568 271	50	51.26
15 年间表观增长率 Average growth rate during the 15yrs	9.57	27.17	25.80	16.28	10.26

表 3 广东、广西和福建第八次全国森林资源调查 (2009–2013) 数据

Table3 The 8th national forest resources survey data in Guangdong, Guangxi and Fujian province (2009–2013)

省 Province	林地面积 /10 ⁶ m ² Forestry land area	森林占林地 面积比例 /% Proportion of forest to forestry land	活立木蓄积 /10 ² m ³ Timber stock	单位面积 蓄积 /10 ² m ³ Timber stock per hectare	森林覆盖率 /% Forest coverage rate	林地占国土 总面积比例 /% Proportion of forestry land to total area
广东 Guangdong province	107 644	84.18	3 777 459	50	51.26	60.9
广西 Guangxi province	152 717	87.92	5 581 660	56	56.51	64.30
福建 Fujian province	92 682	86.45	6 667 462	100	65.95	76.3

森林采伐消耗是林业碳汇损失的最大来源，广东省作为全国商品林生产和木材储备基地，碳汇和木材不能皆得的情况下就需要加强商品林经营水

平，在生态与经济之间平衡。这就需要根据现实需求，通过政府政策促进林下经济、森林康养产业等多种经营模式增加林地收入，通过财政投入提高生

态公益林补偿,为公众获取森林碳汇功能之外,有巨大价值但尚未形成市场定价交易的生态系统服务功能,通过开展开发碳汇市场交易等途径补充森林资源经营管理资金来源,通过宣传教育等方式提高全社会对林业在气候和自然环境调节改善方面作用的认识,用政府和市场两种手段调节以简单木材收获为需求的森林采伐消耗。

广东省在2009-2013年15年间森林面积和森林蓄积量的增加是广东省林业碳汇净温室气体减排量增加的主要原因。但随着社会发展,公共基础设施建设和经济开发新增征占林地的面积不断增加,将来通过增加国土绿化面积增加林业碳汇的潜力在不断减小。相比地理和水热等气候资源相近省份,广东省通过增加单位面积蓄积量提高林业碳汇是当前潜力最大的途径。虽然单位面积蓄积量潜力主要是由森林发展演替阶段和林地天然立地条件决定的,但是通过应用森林固碳和森林有机碳积累机理方面的科学发现及计量理论的创新,将森林演替及森林转化过程中土壤碳库的增加计入评估范围,也是提高森林经营管理水平,提升森林碳汇潜力的重要方式,这已经在下一步国家温室气体清单计算方法中开始试行。另外,由于商品林采伐后木材固碳有很大比例是经过较长的生命周期,才完成由木质生物质碳转换为二氧化碳排放,所以从国家层面改进在碳排放清单计算中把每年森林采伐消耗直接作为当年全部碳排放量的评估方法,按木材平均使用寿命周期分年度计量评估采伐消耗的碳排放,是促进国家木材战略储备生产基地建设和集约化经营商品林建设与低碳发展战略统一的需要,也是提高广东省土地利用和林业碳汇潜力的重要方式^[13-14]。

政府对以林业为主体的生态建设的重视程度及在森林经营管理方面的人力、资金等投入也是林业碳汇提升的重要保障。近年来,在广东省政府持续地提高生态公益林补偿标准,以及在国有林场以生态公益林建设为主导的经营导向的集体林权制度改革、林业科技创新专项资金的投入,碳汇造林等林业工程和政策的支撑下,广东省的森林资源及土地利用和林业温室气体固定也呈现了持续的增长^[15]。从森林资源管理政策和持续增加的各项林业投资来看,未来广东省林业碳汇可持续提升的潜力很大,这将进一步为广东省低碳发展战略下的温室气体减排提供有力的支撑。

致谢

感谢国家林业和草原局广东沿海防护林森林生态系统国家定位观测研究站的平台支撑。

参考文献

- [1] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories Volume 4 agriculture, forestry and other land use. [EB/OL] (2014-06-25)[2019-04-25] <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm>.
- [2] 李怒云, 杨炎朝, 陈叙图. 发展碳汇林业 应对气候变化: 中国碳汇林业的实践与管理[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(1):13-16.
- [3] 马翠梅, 王田. 国家温室气体清单编制工作机制研究及建议[J]. 中国能源, 2017, 39(4):20-24.
- [4] 郝丽, 孙娴, 张文静, 等. 陕西省温室气体排放清单研究[J]. 陕西气象, 2016 (2):5-9.
- [5] 全国林业信息化工作领导小组办公室. 中国林业数据库. [DB/OL]. (2014-12-31)[2019-04-25] <http://www.forestry.gov.cn/data.html>
- [6] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5):497-508.
- [7] FANG J Y, WANG G G, LIU G H, et al. Forest biomass of China: An estimate based on the biomass-volume relationship[J]. Ecological Applications, 1998, 8(4): 1084-1091.
- [8] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in Forest Biomass Carbon Storage in China Between 1949 and 1998[J]. Science, 2001, 292: 2320--2322.
- [9] 曾伟生. 云南省森林生物量与生产力研究[J]. 中南林业调查规划, 2005, 24(4):1-3, 13.
- [10] 周传艳, 周国逸, 王春林, 等. 广东省森林植被恢复下的碳储量动态[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2):60-65.
- [11] 张茂震, 王广兴. 浙江省森林生物量动态[J]. 生态学报, 2008, 28(11):5665-5674.
- [12] ZHOU C Y, WEI X H, ZHOU G Y, et al. Impacts of a Large-scale Reforestation Program on Carbon Storage Dynamics in Guangdong, China. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 847-854.
- [13] Zhou G Y, Liu S, Li Z, et al. Old-Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils[J]. Science, 2006, 314(5804):1417-1417.
- [14] Zhang W X, Chen Y Q, Shi L L, et al. An alternative approach to reduce algorithm-derived biases in monitoring soil organic carbon changes[J]. Ecol Evol. 2019, 00:1-11. <https://doi.org/10.1002/ece3.5308>.
- [15] 罗勇. 广东省造林再造林碳汇项目发展潜力的评价指标初探[J]. 林业与环境科学, 2010, 26(1):33-36.