

分类号: Q14

学校代码: 10269

密 级:

工 号: 20164074



華東師範大學

博士后研究工作报告（封面）

整合多源遥感和地面数据估算亚热带森林地上生物量

博士后姓名: 张荣
合作导师: 周旭辉 教授
流动站（一级学科）: 生态学
院系（所）: 生态与环境科学学院
研究工作开始时间: 2016 年 10 月
研究工作完成时间: 2021 年 9 月

华东师范大学（上海）
2021 年 9 月

整合多源遥感和地面数据估算亚热带森林地上生物量

Estimating aboveground biomass for subtropical forests in China by
integrating multisource remote sensing and ground data

博 士 后 姓 名 张荣

流动站（一级学科）名称 华东师范大学生态学博士后流动站

专 业（二级学科）名称 全球变化生态学

研究工作起始时间 2016 年 10 月 18 日

研究工作期满时间 2021 年 9 月 18 日

华东师范大学（上海）
2021 年 9 月

内容摘要

森林是陆地生态系统中最大的碳库,准确估算森林地上生物量是量化森林生态系统固碳速率变化的重要指标,对区域碳收支的估算及减缓全球气候变化具有重要意义。目前,区域尺度森林地上生物量的估算因数据不完整、调控机制不清楚、估算模型不合理等原因,存在较大的不确定性。本研究以我国亚热带森林为研究对象,首先,通过整合 2000-2014 年的地面调查数据,构建亚热带森林地上生物量地面调查数据库,阐明影响亚热带不同森林类型地上生物量的主要因子;其次,整合多源遥感和地面调查数据,绘制亚热带森林地上生物量空间分布图。最后,利用独立地面数据对结果进行验证,并与前人结果进行比较,揭示不同来源数据对森林地上生物量估算不确定性的影响程度和机制。主要结论如下:

(1) 本文共收集到 1268 条地面调查数据。从区域来看,亚热带中部的地上生物量密度最高,北部最低,平均地上生物量分别为 131.8 Mg/ha 和 113.4 Mg/ha;从森林类型来看,8 种森林类型的地上生物量差异显著。其中,亚热带云杉林的地上生物量最高,亚热带和热带竹林及竹丛的地上生物量最低;从龄级结构来看,幼龄林、中龄林、近熟林和成熟林的平均地上生物量分别为 68.8 Mg/ha、118.1 Mg/ha、142.2 Mg/ha 和 221 Mg/ha。其中,幼龄林和中龄林占总数的 64%,说明亚热带森林具有较大的碳汇潜力。广义可加线性结果表明,亚热带森林地上生物量与海拔、年均温、降水和林龄呈显著相关关系。

(2) 影响亚热带森林地上生物量估算最重要的因子分别为归一化植被指数、红光波段、绿光波段、归一化水指数、短波红外波段 1、近红外波段和地表水分指数。在大多数森林类型中,源于遥感数据的波段信息和植被指数的重要性显著高于其他变量;在低或高地上生物量密度的区域,当植被指数无法解释地上生物量的变化时,气候和地形变量将显著影响地上生物量的估算精度。此外,在本研究区,MODIS 数据的估算精度显著高于 Landsat 数据,Landsat 数据在地上生物量的估算过程中,存在明显的光谱饱和问题。

(3) 亚热带森林地上生物量的总量为 $(266 \pm 9.1) \times 10^6$ Mg,地上生物量的变化范围为 0~392 Mg/ha,平均值为 123.2 Mg/ha。基于 16 个环境变量的机器学习模型能够解释 75%的亚热带森林地上生物量变化,均方根误差和偏差分别为 45.5 Mg/ha 和 5.8Mg/ha。独立验证数据表明与之前的研究相比,本研究亚热带森林地上生物量的估算精度显著提高,均方根误差和偏差显著降低。

本研究显著提高了亚热带森林地上生物量的估算精度,这不仅为国家和全球尺度的碳储量估算提供了可靠的科学依据和有效的技术手段,也为解释全球碳收支不平衡问题提供重要依据,同时也是评估我国在应对气候变化时所采取的提高森林固碳能力、增加碳汇措施效果的重要标准。

关键词: 亚热带森林, 地上生物量, 碳储量, 林龄, 机器学习

Abstract

Forest is the largest carbon sink of terrestrial ecosystems. Accurate estimation of aboveground biomass (AGB) in forest is not only important to evaluate the carbon sequestration rate of forests, but also crucial to assess regional carbon budget. However, there is large uncertainty in the estimation of AGB in forests due to lack of data, unclear understanding on mechanisms, and inappropriate models. In this study, we firstly collect a large amount of ground survey data through literature review to build database of subtropical forest aboveground biomass, to determine the main drivers of AGB in different forest types. Secondly, we produced a new 1-km spatial resolution AGB map by synthesizing an unprecedented number of ground AGB observations from published studies, and developed an AGB mapping method using a combination of ground observations, MODIS data, forest cover/gain/loss maps based on Landsat, GLAS forest canopy height, and climatic and terrain data, to accurately estimate spatial patterns in AGB of forest in subtropical area. Finally, we validated our estimates using independent testing data and compared our estimates with three previous AGB maps, to quantify the magnitude of estimate uncertainty and elucidate the uncertainty sources.

(1) A total of 1268 ground plots data were collected in this study. Overall, the forest AGB was higher in the central part, lower in the northern part of the study area. The average AGB is 131.8 Mg/ha and 113.4 Mg/ha, respectively. The AGB varied by forest types. Among 8 forest types, subtropical *Picea-Abies* forest had the highest AGB, subtropical and tropical bamboo and scrub forest had the lowest AGB. The average AGB of young forest (stand age < 20 years), middle-age forest (20 years < stand age < 40 years), mature forest (40 years < stand age < 60 years) and old forest (stand age > 60 years) is 68.8 Mg/ha、118.1 Mg/ha、142.2 Mg/h and 221 Mg/ha, respectively. The young and middle-age forest account for 64% of the total forest, which indicated a large potential carbon sink of subtropical forests of China. Based on our Generalized Additive Model (GAM) exploratory analysis, a significant correlation ($P < 0.001$) existed between ground observed AGB and digital elevation model (DEM), mean annual temperature (MAT), annual precipitation (AP), and forest age.

(2) The most important factors influencing the estimation of above-ground biomass of subtropical forests are normalized vegetation index (NDVI), followed by red band, green band, normalized water index (NDWI), shortwave infrared 1 (SWIR1), near-infrared (NIR) band and land surface water index (LSWI). In most forest types, the

band information and vegetation index derived from remote sensing data are more important than that of other variables. In areas with low or high biomass density, when the band information and/or vegetation index cannot explain the variation of AGB, the climate and topographical variables will significantly affect the estimation accuracy of AGB. In this study area, the estimation accuracy of MODIS data is significantly higher than that of Landsat data. There is an obvious spectral saturation issue in the process of estimating AGB of Landsat data.

(3) The results indicate that the total AGB stock in the subtropical forest of China is $(266 \pm 9.1) \times 10^6$ Mg, with an average AGB of 123.2 Mg/ha. Based on sixteen explanatory variables, our ensemble mean model explains 75% of the variance in forest AGB, with an RMSE of 45.5 Mg/ha. Comparison using all observation data shows that our map has a significantly lower RMSE and bias than previous maps, where the RMSE and bias tended to vary with forest types.

This study improved the accuracy of AGB estimation in subtropical forests and provide a practicable method and a defensible scientific basis for future forest biomass estimation at both national and global scales.

Keywords: Subtropical forest, aboveground biomass, carbon stock, forest age, machine learning

目录

内容摘要.....	i
Abstract.....	ii
目录.....	iv
第一章 绪论.....	1
1.1 碳循环与森林地上生物量.....	1
1.2 森林地上生物量的主要估算方法.....	2
1.2.1 基于样地调查数据的估算.....	2
1.2.2 长时间序列模型模拟估算.....	4
1.2.3 空间区域尺度的遥感反演.....	5
1.3 亚热带森林及其地上生物量研究现状.....	6
1.4 科学问题和研究内容.....	8
第二章 亚热带森林地上生物量地面调查数据库.....	10
2.1 引言.....	10
2.2 材料与方法.....	10
2.2.1 研究区概况.....	10
2.2.2 地面数据来源.....	12
2.2.3 数据质量控制.....	13
2.2.4 统计分析.....	15
2.3 结果.....	15
2.3.1 不同区域地上生物量特征.....	15
2.3.2 不同森林类型地上生物量特征.....	16
2.3.3 不同龄级地上生物量特征.....	17
2.3.4 环境变量与地上生物量的关系.....	17
2.4 讨论.....	18
2.4.1 亚热带森林地上生物量特征.....	18
2.4.2 地面数据存在的问题及建议.....	19
2.5 小结.....	20
第三章 影响亚热带森林地上生物量估算的因子.....	21
3.1 引言.....	21
3.2 材料与方法.....	22
3.2.1 MODIS 数据.....	22

3.2.2 Landsat 数据	23
3.2.3 基于 GLAS 的森林冠幅高度数据	23
3.2.4 气候和地形数据	24
3.2.5 机器学习方法	24
3.2.6 变量重要性	26
3.2.7 模型精度评估	26
3.3 结果	27
3.3.1 不同遥感数据地上生物量的估算差异	27
3.3.2 不同森林类型地上生物量的估算差异	30
3.3.3 不同等级森林地上生物量的估算差异	33
3.3.4 估算模型中环境变量的重要性	35
3.4 讨论	37
3.4.1 光谱饱和对地上生物量估算的影响	37
3.4.2 植被指数对地上生物量估算的影响	38
3.4.3 气候地形对地上生物量估算的影响	39
3.4.4 其他影响地上生物量估算的因子	39
3.5 小结	40
第四章 亚热带森林地上生物量空间分布特征及其不确定性	41
4.1 引言	41
4.2 材料与方法	42
4.2.1 定义森林面积	42
4.2.1 数据及制图流程	43
4.2.2 其他地上生物量数据集	43
4.2.3 不确定性分析	45
4.3 结果	45
4.3.1 地上生物量空间分布	45
4.3.2 与前人研究的比较	46
4.3.3 本研究的不确定性	54
4.4 讨论	55
4.4.1 森林面积的不确定性	55
4.4.2 地面数据的不确定性	56
4.4.3 遥感数据的不确定性	58
4.4.4 估算方法的不确定性	58
4.4.5 未来可改进的方法	59

4.5 小结.....	61
第五章 结论与展望.....	62
5.1 结论.....	62
5.2 展望.....	63
附录.....	65
参考文献.....	100
致谢.....	111
博士后个人简历.....	112
博士后期间发表的学术论文、专著、重要科研成果.....	113