

分类号: _____ Q14 _____

学校代码: _____ 10269 _____

密 级: _____

工 号: _____ 20194112 _____



華東師範大學

博士后研究工作报告

干旱与养分限制对亚热带森林碳存储的影响：基 于数据-模型融合方法

博士后姓名: 杜正刚

合作导师: 杨凯 教授

流动站（一级学科）: 环境科学

院系（所）: 生态与环境科学学院

研究工作开始时间: 2019 年 9 月

研究工作完成时间: 2021 年 8 月

华东师范大学（上海）

2021 年 8 月

干旱与养分限制对亚热带森林碳存储的影响：
基于数据-模型融合方法

Effects of drought and nutrient limitation on terrestrial carbon storage in subtropical
forests: Based on a data-model fusion method

博 士 后 姓 名 杜正刚

流动站（一级学科）名称 华东师范大学环境科学博士后流动站

专 业（二级学科）名称 全球变化生态学

研究工作起始时间 2019 年 9 月 20 日

研究工作期满时间 2021 年 8 月 20 日

华东师范大学（上海）

2021 年 8 月

内容摘要

随着全球气候变化和人类活动的持续加剧,导致区域内极端干旱事件的频率和强度显著增加和氮、磷等养分输入的不平衡,在亚热带地区更趋明显。探讨干旱与养分输入不平衡将如何影响亚热带森林碳动态,是深入理解生态系统碳循环过程以及准确预测全球碳收支对气候变化响应的前提条件。然而,目前的研究多以单因素分析为主,对干旱与养分限制对亚热带森林碳存储综合影响还存在诸多困难和不确定性。本研究主要依托浙江天童森林生态系统国家野外观测研究站的大型极端干旱和氮磷添加控制实验平台长期定位观测数据,利用数据-模型融合方法,通过定量干旱、氮磷限制、以及干旱和氮磷限制的综合效应等对生态系统碳动态的影响,探讨干旱与养分限制对亚热带森林碳存储动态的调控机制,并预测未来变化趋势,分析不确定来源。本文的主要结论是:

(1) 短期干旱对植被的影响,主要是降低了叶生物量(-23%),增加了根生物量(+52%),对植被总体碳储量影响较小。而模拟长期干旱显著降低了木质部生物量(-8%),进而降低了植被总体碳储量(-5%)。而干旱对土壤的影响短期与长期趋势一致,即由干旱导致的输入增加和周转减慢导致慢性土壤碳的累积,最终导致土壤碳累积的增加(+34%)。

(2) 天童山的碳储量主要受到磷的限制(-42%),而千烟洲主要氮限制降低(-44%)。木材生物量和土壤微生物的化学计量比是自然生态系统氮磷有效性的良好指标。不同树种和树龄对养分的需求,以及慢周转池和土壤微生物的弹性化学计量的代表性,对于改善未来生态系统碳储量预测是必要的。

(3) 与单独模拟干旱与养分限制相比,二者的共同影响显著降低了亚热带森林碳存储量(降低 36%)。虽然共同效应大于单一效应(分别降低 14%与 26%)但小于二者之和(40%)。表明亚热带区域森林在面临气候变化多因素压力下,自身具有一定的适应性能力,这种适应性能力与生态系统结构与功能密切相关。

关键词: 数据-模型融合, 亚热带森林, 干旱, 养分限制, 碳循环, 氮限制, 磷限制

Abstract

The frequency and intensity of extreme drought events and unbalanced nutrient input in the region have increased significantly, especially in the subtropical region. Exploring how drought and nutrient imbalance will affect the carbon dynamics of subtropical forests is a prerequisite for deeply understanding the ecosystem processes and effectively predicting the response of global carbon budget to climate change. However, at present, most relevant studies are based on single factor analysis, and there are still many difficulties and uncertainties in studying the comprehensive impact of drought and nutrient constraints on carbon storage in subtropical forests. Based on the long-term observation data of the large-scale extreme drought and nitrogen and phosphorus addition control experimental platform of Tiantong forest, this study uses the data-model fusion method to study its impact on ecosystem carbon dynamics and regulation mechanism and analyze the sources of uncertainty. Our main findings are:

Drought had a positive effect on fine root pool and slow organic matter carbon pool, but a negative effect on leaf biomass and microbial carbon pool. The long-term effects of simulated drought on fine root biomass and metabolic litter are positive, while the long-term effects on soil chronic and inert organic matter, microbial biomass, soluble organic carbon, vegetation total carbon pool, soil total carbon pool and ecosystem total carbon pool are negative. For structural litter, the long-term effects of drought predicted by different structural models are different. This shows that the decrease of vegetation growth caused by drought leads to the decrease of soil input. Although it reduces the availability of microbial substrate, the decrease of available substrate sources, that is, the decrease of soil carbon input, is the main factor for the decline of microbial carbon pool.

The carbon storage of Tiantong site is mainly limited by phosphorus, while the Qianyanzhou is mainly limited by nitrogen. The stoichiometric ratio of wood biomass to soil microorganisms is a good indicator of nitrogen and phosphorus availability in natural ecosystems. The different nutrient requirements of different tree species and tree ages, as well as the representativeness of the elastic stoichiometry of slow turnover pools and soil microorganisms, are necessary to improve the prediction of ecosystem carbon reserves in the future.

Compared with drought and nutrient limitation alone, the combined effects of drought and nutrient limitation significantly reduce the carbon storage of subtropical forests. Although the common effect is greater than the single effect, it is less than the sum of the two. It shows that the subtropical forest has a certain adaptability under the pressure of climate change, which is closely related to the structure and function of ecosystem.

Keywords: data-model fusion, subtropical forest, drought, nutrient limitation, carbon cycle, nitrogen cycle, phosphorus cycle

目录

内容摘要.....	II
Abstract.....	III
目录.....	IV
第一章 绪论.....	1
1.1 全球变化与陆地生态系统碳循环.....	1
1.2 干旱与养分限制对亚热带森林碳循环的影响.....	2
1.2.1 干旱对亚热带森林碳循环的影响.....	2
1.2.2 养分限制对亚热带森林碳循环的影响.....	5
1.3 模拟亚热带森林碳循环的不确定性.....	7
1.3.1 亚热带森林碳循环对干旱响应的模拟.....	7
1.3.2 亚热带森林碳循环对氮磷限制响应的模拟.....	8
1.4 数据-模型融合方法在陆地生态系统碳循环模拟中的应用.....	9
1.5 科学问题与研究内容.....	10
第二章 干旱对亚热带森林碳存储的影响.....	13
2.1 引言.....	13
2.2 材料与方法.....	13
2.2.1 模型描述.....	13
2.2.2 数据来源.....	15
2.2.3 实验设计与参数敏感性分析.....	16
2.3 结果.....	17
2.3.1 模型验证.....	17
2.3.2 极端干旱对碳动态的影响.....	18
2.3.3 碳动态对干旱响应的敏感性.....	21
2.4 讨论.....	22
2.4.1 微生物过程对极端干旱下土壤碳动态模拟的影响.....	22
2.4.2 干旱对亚热带森林碳过程的影响.....	23
2.4.3 微生物过程（酶模块）影响土壤碳过程模拟的机制.....	24
2.5 小结.....	25
第三章 养分限制对亚热带森林碳存储的影响.....	27
3.1 引言.....	27
3.2 材料与方法.....	28
3.2.1 模型描述.....	28
3.2.2 数据来源.....	32
3.2.3 参数反演.....	33
3.2.4 实验设计.....	33
3.2.5 数据分析.....	34
3.3 结果.....	34

3.3.1 参数估计与比较.....	34
3.3.2 养分限制对预测碳存储的影响.....	38
3.3.3 养分模块对预测碳存储的信息贡献.....	41
3.4 讨论.....	42
3.4.1 两个亚热带森林受到氮、磷限制的不同影响.....	42
3.4.2 氮、磷对碳动态预测的限制.....	44
3.4.3 模型不确定性来源.....	45
3.5 小结.....	46
第四章 评估干旱与养分限制对亚热带森林碳存储动态的综合影响.....	47
4.1 引言.....	47
4.2 材料与方法.....	48
4.2.1 数据来源.....	48
4.2.2 实验设计.....	49
4.3 结果.....	50
4.3.1 模型参数优化以及观测与模拟结果比较.....	50
4.3.2 干旱与养分限制对碳库预测的共同影响.....	52
4.3.3 碳库对参数的敏感性.....	54
4.4 讨论.....	54
4.4.1 干旱与养分限制对碳储存单一与综合影响比较.....	54
4.4.2 干旱和养分限制对碳存储的影响.....	55
4.4.3 模拟干旱和养分限制对碳存储影响的不确定性.....	56
4.5 小结.....	57
第五章 结论与展望.....	58
5.1 结论.....	58
5.2 展望.....	59
参考文献.....	61
致谢.....	68
博士后个人简历.....	69
博士期间发表的学术论文、专著、重要科研成果.....	70
博士后期间发表的学术论文、专著、重要科研成果.....	71
永久通讯地址.....	72

