

中国区域植被地上与地下生物量模拟

黄 玫¹, 季劲钧^{1,2}, 曹明奎¹, 李克让¹

(1. 中国生态系统网络研究中心,中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; 2. 中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

摘要:应用大气-植被相互作用模型 AVIM2 在 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 经纬度网格上估算了中国区域植被总生物量、地下和地上生物量以及根茎比的空间分布格局。研究了植被生物量和根茎比的空间分布与水热限制条件的关系。研究表明:中国植被总生物量、地下和地上生物量受水热条件影响明显,空间分布趋势基本相似,即在暖湿的东南和西南地区生物量大,而在干冷的西部地区生物量小。同类植被生物量的空间分布有显著区域差异,气温高、降水量大的区域植被生物量大;低温和干旱地区的植被生物量小。除灌木以外,植被生物量大小的空间分布受水分的影响大于温度。中国区域植被根茎比的空间分布存在明显区域差异,全国大致以大兴安岭、太行山、秦岭以及青藏高原东南侧一线为界线,界线东南植被根茎比较小;界线以西,植被根茎比较大。植被根茎比的空间分布与年平均气温、土壤湿度和年降水量显著反相关,水分因子对根茎比空间分布的影响大于温度。

关键词:生物量; 根茎比; AVIM2; 中国

文章编号:1000-0933(2006)12-4156-08 中图分类号:Q948.15 文献标识码:A

Modeling study of vegetation shoot and root biomass in China

HUANG Mei¹, JI JinJun^{1,2}, CAO Ming-Kui¹, LI Ke-Rang¹ (1. The Synthesis Research Center, Chinese Ecosystem Research Network, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4156 ~ 4163.

Abstract: The spatial patterns of total vegetation biomass, shoot and root biomass, as well as root to shoot (R/S) ratio were estimated by the atmospheric-vegetation interaction model (AVIM2) at the resolution of $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ grids across China. The relationships between soil moisture, precipitation, temperature, and the spatial distributions of vegetation biomass as well as the R/S ratio were also studied.

The results indicate that the spatial distributions of total biomass, root and shoot biomass as well as R/S ratio were limited by both water and energy. During the study period of 1961–1990, total carbon stocks in vegetation in China is estimated to be 14.04 G C ($1\text{G} = 10^{15}\text{g}$), with a mean value of 1.54kg C/m^2 . The total vegetation biomass and shoot biomass have the same overall pattern in spatial distributions: the highest values occurred at the northeast and northwest areas of China and the lowest value located at the west areas of China. In terms of regional distribution, valley bottom area of southwestern China are dominated by evergreen broadleaf forest and needle leaf forest where water and heat conditions are excellent and total biomass is the highest, above 10kg C/m^2 . Part of hilly and mountainous areas in southeastern coastal zone of China where dominated by evergreen needle leaf forest, with total vegetation biomass of $5\text{--}10\text{kg C/m}^2$. In southern part of Qinghai-Tibet Plateau, hilly and mountainous areas of southwestern province Yunnan and Guizhou, part of the areas south of the Huaihe River as well as Great Xing'an and Changbai mountains in Northeast China, vegetation is dominated by deciduous broadleaf forest, deciduous needle leaf forest and mixed forest, with vegetation total biomass above 5kg C/m^2 . Total crop biomass in northern China is about 0.7kg C/m^2 ; the total

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB412500);中国科学院百人计划资助项目;自然科学基金杰出青年基金资助项目(40425103)

收稿日期:2005-08-11;修订日期:2005-12-20

作者简介:黄玫(1968~),女,贵州人,博士,副研究员,从事气候变化与陆地生态系统碳循环研究。E-mail: huangm@igsrr.ac.cn

Foundation item: This work was financially supported by the National Key Basic Research Project (No. 2002CB412500), A Hundred Talents Plan of Chinese Academy of Science and Nature Science Outstanding Young People Foundation (No. 40425103)

Received date: 2005-08-11; **Accepted date:** 2005-12-20

Biography: HUANG Mei, Associate Professor, mainly engaged in climate change and terrestrial ecosystem carbon cycle. E-mail: huangm@igsrr.ac.cn

biomass of alpine steppe and desert steppe in Inner Mongolia Plateau and southern part of Qinghai Tibet Plateau ranges mostly from 0.2 to 0.5 kg C/m²; and that in desert and semi-desert areas of western China is less than 0.2 kg C/m².

For the same vegetation type, the total biomass is positively correlated with precipitation, soil moisture, and temperature. Vegetations growing in warm and humid areas, their total biomass is greater than those growing in the cold and dry area. Excepting for shrub lands, the correlation coefficients of total vegetation biomass to precipitation and soil moisture are greater than that to temperature. This means that the influence of water availability on the spatial distribution of total biomass is greater than energy.

The spatial patterns of R/S ratio in China have significant spatial variation. A boundary was found along Great Xing'an, Taihang Mountain, Qin Mountain and the southeast of Tibetan Plateau. The R/S ratios on the southeast areas of the boundary are much smaller than those on the west areas. The simulated mean R/S ratios of croplands, shrub lands, deserts and grasslands are 0.19, 0.91, 5.5 and 5.2, respectively. The R/S ratios of forest in China range from 0.19 to 0.36. The spatial distribution of R/S ratio is negatively related to that of annual mean temperature, soil moisture and annual precipitation. The correlation coefficients of R/S ratio to precipitation and soil moisture are greater than that to temperature, suggesting that the R/S ratios of vegetations growing in warm and humid areas are smaller than those growing in cold and dry areas, and the influence of the water on the spatial distribution of R/S is greater than energy.

Key words: root to shoot ratio R/S ; AVIM2; China; spatial distribution

生物量是研究植被净初级生产力的基础,是植被碳库的度量,是评价生态系统结构与功能的重要参数。生物量对研究生态系统的营养物质分配和碳循环具有重要意义^[1,2]。目前区域尺度估计生物量的方法主要有3种,分别是观测、遥感反演和模型模拟。从观测估算来说,在生态系统尺度上对植被生物量的测定方法有多种。在不破坏植被的情况下,常常通过测定的胸径、树木密度和树高推算植被生物量。观测估算方法相对来说费时、费力且在全球没有统一标准,更由于样本量少而使得其缺少代表性^[3]。目前通过尺度转换(Upscaling)将森林清查资料转换到区域尺度的生物量仍然是个挑战^[4],而且尺度转换方法只适用于样本密度足够大的区域^[5~8]。生物量估计还可通过对遥感反演资料的推算而获得,Myneni 和 Dong 探索性的将遥感反演的 NDVI 与地面森林清查资料结合推算出陆地尺度的植被生物量,而直接从遥感来测量生物量的工作尚待展开^[3,9,10]。估计区域尺度生物量的第三种方法就是模型模拟,由于模型具有普适性与可预测性的优点,因而通过模型估算生物量是一种有效的方法^[11]。

目前对中国区域植被生物量的研究已有很多^[12~19],其中大部分研究都是在全国森林和草地资源清查资料的基础上,通过常规统计和尺度转换等方法计算得到区域尺度植被的总生物量。李克让等利用 CEVSA 模型模拟了国家尺度的植被总碳储量,但对于地上和地下植被生物量的大小和分布格局没有进行过研究。Jackson 指出植被地下生物量的大小和分布对于研究土壤在生态系统碳循环中的作用具有重要意义^[20]。Mahfouf, Jackson 和 Schenk 的研究也证明了根生物量的大小和分布在大气与植被相互作用研究中的重要性^[21~23]。

本研究利用大气——植被相互作用模式(AVIM2)模拟了中国区域植被的总生物量、地上和地下生物量以及根茎比的空间分布格局,研究了植被总生物量和根茎比的空间分布与水热条件的关系。研究在 0.1°×0.1°经纬网格上将植被按照其功能型进行分类以代表每个格点的植被状况,从而计算单位面积平均植被地上和地下生物量。

1 研究资料与方法

1.1 模型简介

本研究采用的大气-植被相互作用模型(AVIM2)是在 1995 年 Ji^[24]提出的 AVIM 的基础上经过对其中土壤过程、物候过程以及光合产物的分配方案等的改进而形成的。该模型包含反映植被、大气与土壤三者之间的热量和水分交换的生物物理过程、反映植被光合、呼吸等 CO₂ 交换的植物生理过程以及反映土壤有机碳的转化和分解、氮的矿化作用等生物地球化学过程。3 个过程的不同时间尺度:物理过程最快,时间步长取 0.5h;

植物生理过程中光合、呼吸过程等随着气温、湿度的变化而有明显的日变化,时间步长取为 1h;同化物的分配、器官生物量的积累以及土壤有机质的分解等时间步长取为 1d,3 个过程相互作用和反馈而构成一个系统。

物理子模块的详细结构和过程参数化在文献^[25,26]中已有描述。植物生长过程子模块详见文献^[24,27]。土壤子模块是在 CENTURY^[28]和 CEVSA^[29]模型的土壤碳、氮转换过程子模块的基础上经修改而形成的。本文主要介绍与生物量模拟直接相关的一些过程,如光合产物在植物体的叶、茎和根的分配和物候期等。

根据质量守恒原理,植物各器官生物量的变化为:

$$\frac{dM_i}{dt} = \eta_i (1 - \sigma_i) (A - R_m) - L_{oss_i} M_i \quad i = f, s, r \quad (1)$$

式中, A 为光合速率; σ_i 是生长呼吸系数; R_m 为维持呼吸; η_i 为对各器官(叶、茎、根)的分配比例系数; L_{oss_i} 为植被的凋落率,茎和根的凋落率与生物量成正比,叶子的凋落率与叶丛的生物量和植物的物候期有关。下标 f, s, r 分别代表叶、茎和根。

AVIM2 对光合产物在植物体的分配采用以下分配方案。即在生长季初期,光合同化物较多地分配给叶子部分,以利于吸收更多的 CO_2 , 随着生长季的变化,叶面积指数增大,分配给非同化器官的部分逐渐增多,从而可以满足植物生长对营养和水分的需求^[24,30~32]。

对叶、茎、根的分配比例系数 η_f, η_s, η_r 的计算如下:

$$\begin{cases} \eta_f = (1 - \alpha_1) \exp(-b1(LAI/LAIM)^2) \\ \eta_s = \alpha_2 (1 - \eta_f) \\ \eta_r = (1 - \alpha_2) (1 - \eta_f) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $LAIM$ 为特征叶面积指数,依植物群落种类不同而不同; $b1$ 是经验常数; α_1 和 α_2 是由物候决定的对各器官的分配。

物候是植物在生长过程中对外部因子如辐射、温度、湿度、昼长等季节性变化而出现的诸如种子的萌发、芽的开放、叶的展开、开花、叶褪色和衰老等现象,是植物季节性生长过程中的重要环节,也是生长模式中必须表达的过程。由于植被物候的多样性和复杂性,要定量描述各种植被类型的物候期在目前是困难的。本模型对不同植被功能型的物候变化做了以下假定:(1)热带、亚热带常绿树只给定迅速展叶时的相应温度,一般在 10 左右,叶子的凋落由其生命期(life time)长短而定。(2)温带落叶林和草原迅速展叶的温度较低,一般为 2~5 ;(3)每种植被的光合作用有一个最低温度,温带在 0 左右;(4)当日平均气温连续数日低于一临界值(5)或积温大于一阈值,落叶期开始并迅速凋落,直到叶面积到达一最低值(茎面积指数)。

1.2 数据来源和数据预处理

本研究的空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 经纬度网格,模式所需的 1961~1990 年 679 个气象站点累年气候数据,即 30a 平均月气温、降水、风、相对湿度、云量资料来源于中国气象局国家气象中心气候资料中心。本研究使用澳大利亚 ANUSPLIN3.1 插值软件,采用样条函数插值法对气候要素进行空间插值,在对温度的插值中考虑了高度的影响。在对气候数据插值的基础上,采用天气发生器 WGEN^[33] 由逐月气候数据产生每日的气象数据作为模型的输入数据。

本研究所用土壤质地数据为中国 1:400 万土壤质地类型图,它主要反映各地土壤表层内矿质颗粒大小的比例情况和我国境内不同土壤质地的地理分布特点及规律。该图以建国以来的大量土壤质地调查结果为基础,以 1981 年中国制土壤质地为标准,以 1:400 万中国成土母质类型图为底图,并参考中国科学院南京土壤研究所编制的中国土壤图编制而成。其图像精度在 1.4~6.4km,经数字化后在 ARC-GIS 软件中进行坐标转换并重采样,得到分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 经纬度网格的中国土壤质地图^[34]。

所用的植被分类数据是在对两类数据进行数据融合的基础上产生的。第 1 类数据是由美国 Boston 大学遥感中心陆地研究小组根据 2000 年 10 月 15 日至 2001 年 10 月 15 日期间中等解析度成像分光辐射计(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, 简称 MODIS) 卫星遥感数据反演得到的分辨率为 1km 的全球土

地覆被资料,其植被分类采用国际地圈生物圈计划(IGBP)分类系统;第2类数据是中国科学院植物研究所1979年编制的1400万中国植被图。在ARCVIEW平台上对两类数据进行了融合,方法是根据1400万中国植被图将IGBP分类系统中的草地进一步细分为草地、高寒草甸和荒漠草原,并应用地理信息系统(GIS)方法进行重采样从而形成了模式运行所需的 $0.1^{\circ}\times0.1^{\circ}$ 经纬度网格的中国植被分类图^[35]。

2 结果与讨论

2.1 我国植被总生物量的空间分布

模拟结果表明,中国区域植被总生物量为14.04GtC,全国平均植被总生物量为 1.54kg C/m^2 。本文模拟的结果略高于李克让等应用CEVSA模型在 $0.5^{\circ}\times0.5^{\circ}$ 网格上计算的结果。李等计算的中国植被总碳贮量为13.34GtC,平均植被碳密度为 1.47kg C/m^2 。

图1为模拟的年平均中国区域植被总生物量(叶、茎、根的总和)的空间分布图。图1表明我国总生物量的分布主要受水分条件的限制,整体呈现东南部高而西北部低的趋势。从区域分布来看,我国云南西南部河谷地带,水热条件好,植被以常绿针叶林和常绿阔叶林为主,总生物量达 10kg C/m^2 以上。东南沿海的部分丘陵山地植被以常绿针叶林为主,总生物量在 $5\sim10\text{kg C/m}^2$ 之间。青藏高原西南侧、云南、贵州的丘陵山地、淮河以南的部分区域以及东北大兴安岭、长白山地区植被以落叶阔叶林、落叶针叶林和针阔混交林为主,总生物量均在 5kg C/m^2 以上。华北地区农作物总生物量在 0.7kg C/m^2 左右;内蒙古草原以及青藏高原东南部的高寒草甸和荒漠草原的总生物量在 $0.2\sim0.5\text{kg C/m}^2$ 之间;西部荒漠、半荒漠地区生物量在 0.2kg C/m^2 以下。

表1给出AVIM2模拟的全国范围各植被类型总生物量的平均值与其它研究结果的比较。从表1可见,本研究模拟的各植被类型的平均总生物量与李克让等应用CEVSA模型模拟的结果较为接近,也在方精云等估算的范围内。对森林的估算除了混交林外,其余几种森林的估算均高于周玉荣等的研究。对草地的估算低于Ni的研究。由于各研究采用的方法不同,研究分辨率不同,且使用的植被分类系统以及研究时段不同,因此各研究估算有一定差异是自然的,总体来看本研究的模拟结果是基本合理的。

表1 模拟的中国陆地植被类型平均总生物量(kg C/m²)与其它估算的比较

Table 1 Comparisons of simulated vegetation total biomass (kg C/m ²) with other researches		文献 References			
植被类型 Vegetation types	AVIM2				
		[18]	[12]	[17]	[15]
研究时段 Study periods	1961~1990	1981~1998	1989~1993	1989~1993	20世纪80年代 1980s
常绿针叶林 Evergreen needle leaf forest	7.98	7.9	5.82~8.5	2.95~7.56	
常绿阔叶林 Evergreen broad leaf forest	12.08	14.24	8.4~12.75	7.37~10.07	
落叶针叶林 Deciduous needle leaf forest	10.09	12.09	10.26~15.67	4.33~6.02	
落叶阔叶林 Deciduous broad leaf forest	7.01	8.09	6.86~9.45	4.78	
混交林 Mixed forest	4.95	5.34	9.72~14.71	6.47	
郁闭灌丛 Closed shrub lands	1.08	0.11~1.2			
稀疏灌丛 Open shrub lands	0.79	0.11~1.2			
有林草地 Woody savannas	2.59	2.66			
草地 Grasslands	0.41	0.34	0.3~0.75		0.64~2.37
高寒草甸 Arctic-alpine Steppe	0.28				
农作物 Croplands	0.71	0.57	0.68~0.93		
农作物/自然植被 Cropland/nature vegetation mosaic	2.24				
荒漠草原 Desert Steppe	0.08				
荒漠 Barren or Sparsely vegetated	0.07				

2.2 中国植被地上与地下生物量的空间分布特征

地上生物量的空间分布图2(a)与总生物量的分布基本一致。西南地区 and 东南沿海的丘陵山地地上生物量较大,达 5kg C/m^2 以上;东北大兴安岭和长白山地区地上生物量在 $3\sim5\text{kg C/m}^2$;长江流域以南的大部分区域在 $2\sim3\text{kg C/m}^2$ 之间;松辽平原、华北平原和四川盆地的农作物在 $0.4\sim0.8\text{kg C/m}^2$ 之间;青藏高原东南部和内蒙古草原在 $0.05\sim0.2\text{kg C/m}^2$ 之间。西部荒漠、半荒漠地区地上生物量在 0.05kg C/m^2 以下。

图 2(b) 为模拟的我国植被根生物量的空间分布,由此看出,除了东部的农作物以外,我国植被根生物量呈现出从东南向西北减少的趋势。青藏高原东南侧、云南、贵州的丘陵山地、东南沿海的部分丘陵山地、秦岭等川、陕部分区域以及东北大兴安岭、长白山地区植被根的生物量较高,大多在 1.5kg C/m² 以上;四川盆地的农作物、内蒙古草原以及青藏高原东南部的高寒草甸和荒漠草原根的生物量在 0.1~0.2 kg C/m² 之间;松辽平原、华北平原的部分农作物以及西部荒漠、半荒漠地区根生物量在 0.1 kg C/m² 以下。

将根茎比定义为 8 月份植被根生物量除以植被的地上生物量(茎和叶生物量之和)的比值,经计算得到我国根茎比的空间分布(图 3)。由图 3 可见,根茎比的空间分布存在明显区域差异。全国大致以大兴安岭、太行山、秦岭以及青藏高原东南侧一线作为分界,界线以东和以南,根茎比较小,界线以西根茎比较大。我国长白山地区、东南沿海的部分丘陵山地、青藏高原西南侧、云南和贵州的丘陵山地以及淮河以南的部分区域,植被以阔叶林、针叶林和针阔混交林为主,这些区域的根茎比值一般在 0.2~0.4 之间;华北平原和四川盆地农作物的根茎比则在 0.2 以下;内蒙古草原以及青藏高原东南部的高寒草甸和荒漠草原的根茎比值在 1.5~6 之间变化;西部荒漠、半荒漠地区根茎比值在 6 以上。

Jackson 等^[20]在总结了全球 250 个根生物量数据集的基础上总结出全球各种类型植被的根茎比值,为便于比较将其研究的植被类型进行合并,同时对本研究的各植被类型的根茎比值也进行合并求平均,二者比较于表 2 中。

从表 2 可看出,模拟的荒漠的根茎比值最大,达 5.5,其次是草地,达 5.2。农作物的平均根茎比值最小,为 0.19。森林和灌木的根茎比值小于 1。通过与 Jackson 等的研究比较可知,模拟的森林、农作物和灌木的根茎比值与全球平均相近,模拟的荒漠和草地的平均根茎比值略高于全球平均。据 Luo 等^[36]在青藏高原高寒植被样带上的观测表明,草地的根茎比值最大,其次是灌木,最后是森林,它们的根茎比值分别在 6.8~12.1、0.9~1.6、0.02~0.7 之间变化。此观测结果与本模拟基本一致,由此说明本研究对根生物量的模拟是基本合理的。

由于 Jackson 等和 Luo 等的根茎比估算是根据点上的观测得到,而本研究模拟的是 0.1°×0.1°经纬度网格上的平均,二者研究的尺度不同,结果有差别是可以理解的。

2.3 中国植被总生物量和根茎比的空间分布与水、热条件的关系

为了探求影响植被总生物量和根茎比空间分布的控制因子,首先将植被类型按照森林、灌丛、草地、农作物和荒漠进行了合并归类,然后在社会科学统计软件包(Statistical Program for Social Sciences, SPSS)操作平台上计算了各类型像素点上植被的总生物量与 6~8 月份平均土壤湿度、年降水量、年平均气温的空间相关系数,结果见表 3。

表 2 模拟的各类型植被平均根茎比值与全球平均比较

Table 2 Comparisons of simulated root/shoot with global mean

植被类型 Vegetation types	文献 References	
	[20]	本研究 This study
森林 Forests	0.17~0.32	0.17~0.36
农作物 Croplands	0.1	0.19
荒漠 Deserts	4.5	5.5
灌木 Shrub lands	1.2	0.91
草地 grasslands	3.7	5.2

表 3 植被总生物量与 6~8 月份平均土壤湿度、年降水量、年平均气温的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between total biomass and June to August soil moisture, annual precipitation and annual mean temperature

植被类型 Vegetation types	森林 Forest	灌木 Shrub land	草地 Grassland	农作物 Cropland	荒漠 Desert	所有植被 All vegetations
样本量 Samples	11120	10095	26038	26091	20991	94335
土壤湿度 Soil moisture	0.701	0.743	0.452	0.511	0.231	0.422
降水量 Precipitation	0.547	0.771	0.749	0.414	0.253	0.546
气温 Temperature	0.390	0.773	0.589	0.351	0.218	0.305

表中相关系数均达到 0.01 置信度 The correlation coefficients are all exceed the confidence level of 0.01

从表 3 来看,森林、灌丛、草地、农作物和荒漠总生物量与土壤湿度、年降水量和年平均气温的空间相关皆为正相关。表明同一种植被类型其总生物量的空间分布格局为:高温和降水量大的区域植被的生物量相对较

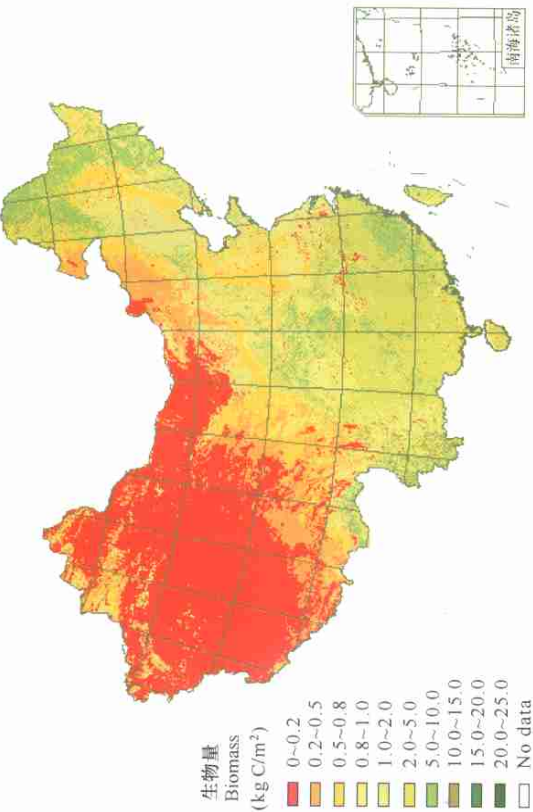


图1 中国植被总生物量空间分布图
Fig. 1 The spatial patterns of vegetation total biomass in China

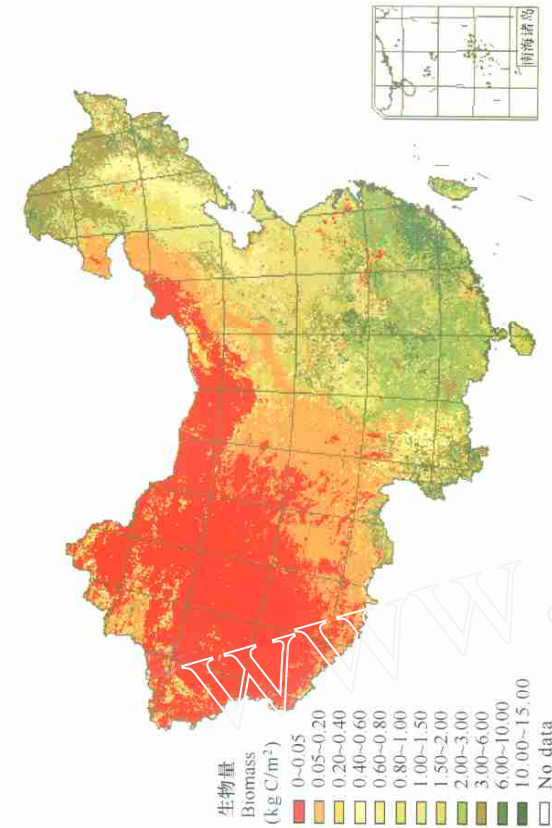


图2 中国区域地上生物量空间分布图
Fig. 2 The spatial patterns of shoot biomass in China

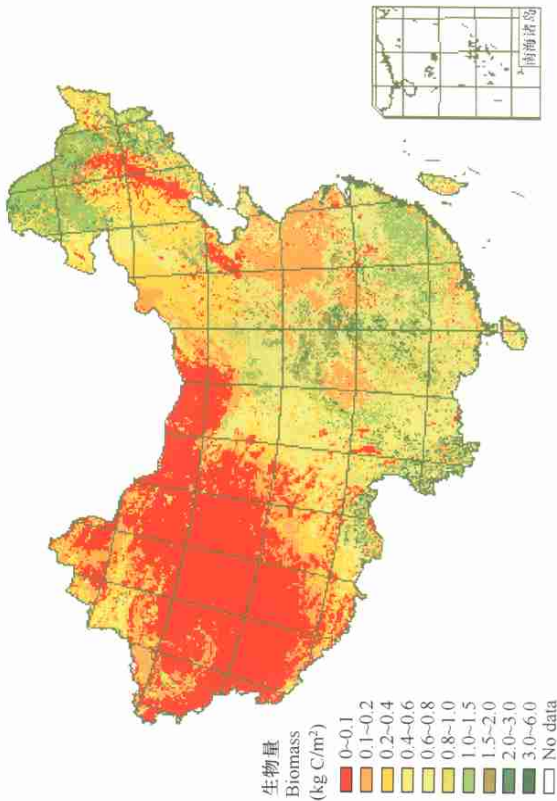


图3 中国区域根生物量空间分布图
Fig. 3 The spatial patterns of root biomass in China



图4 中国区域植被根茎比空间分布图
Fig. 4 The spatial patterns of root/shoot in China

大。从相关系数的比较来看,除灌木以外,各植被类型与降水的相关系数均大于与气温的相关,说明相对而言植被受水分的影响更大,这其中草地生物量受水分的影响最大。草地的样本量仅次于农作物,但其与降水量的相关系数却高达 0.749,可以解释草地生物量变化的 56%。表 2 亦说明,如果不分植被类型,对所有植物而言,气温高和降水量高的区域,植物的生物量大。

植被根茎比与土壤湿度、气温和降水量的关系相对复杂。不分植被类型,计算了研究区域内所有植被的根茎比与 6~8 月份平均土壤湿度、年降水量和年平均气温的相关系数。它们分别为 -0.195, -0.334 和 -0.190,均超过 0.01 置信度。相关系数反映了在空间上从森林、灌丛、草地到荒漠,随着土壤湿度、降水量和气温的减少,植被根茎比增加。根茎比与降水量的相关系数高于气温,说明根茎比的空间分布受水分因子的限制更大。

3 结论

本研究应用大气-植被相互作用模型 AVIM2 在 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 经纬度网格上估算了中国植被总生物量、地下和地上生物量以及根茎比的空间分布特征,研究了植被生物量和根茎比的空间分布与水热条件限制的关系,得出以下结论:

(1) 中国植被总生物量、地下和地上生物量的空间分布受水热条件影响明显,分布基本相似。总的趋势是在暖湿的东南和西南地区生物量较大,而在干冷的西部地区生物量较小。地上生物量与总生物量的分布基本一致。根生物量的空间分布除东部农作物根生物量较低外,其余地区根生物量的分布趋势与总生物量基本一致。

(2) 植被总生物量的空间分布与降水量、土壤湿度和气温呈正相关关系。除灌木以外,植被总生物量的分布与年降水量和土壤湿度的相关系数大于与气温的相关系数,即水分因子对生物量空间分布的影响大于热量因子。

(3) 植被根茎比空间分布的区域差异明显,全国大致以大兴安岭、太行山、秦岭以及青藏高原东南侧一线作为分界,界线以东和以南地区,植被根茎比较小;界线以西地区,植被根茎比较大。模拟的农作物平均根茎比为 0.19;森林的根茎比在 0.17 到 0.36 之间;灌木、荒漠和草地的平均根茎比值分别为 0.91、5.5 和 5.2。植被根茎比的空间分布与年平均气温、土壤湿度和年降水量呈显著反相关关系,与降水量和土壤湿度的相关系数大于与气温的相关系数,即暖湿地区植被的根茎比小,而干冷地区植被根茎比大;水分因子对根茎比空间分布的影响大于热量因子。

References:

- [1] Zheng D, Rademacher J, Chen J, *et al.* Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 93: 402~411.
- [2] Brown S L, Schroeder P, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 1999, 123: 81~90.
- [3] Hese S, Lucht W, Schimmler C, *et al.* Global biomass mapping for an improved understanding of the CO₂ balance — the Earth observation mission Carbo-3D. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 94: 94~104.
- [4] Janssens I A, Freibauer A, Gais P, *et al.* Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12 % of European anthropogenic CO₂ emissions. *Science*, 2003, 300: 1538~1542.
- [5] Kuuppi P E, Mielikinen K, Kuusela K. Biomass and carbon budget of European forests 1971—1990. *Science*, 1992: 256, 70~74.
- [6] Liski J, Kozlov A V, Prins C F, *et al.* Increased carbon sink in temperate and boreal forests. *Climatic Change*, 2003, 61: 89~99.
- [7] Nabuurs G J, Schelhaas, M J, Mohren G M J, *et al.* Temporal evolution of European forest sector sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology*, 2003, 9: 152~160.
- [8] Shvidenko A, Nilsson S. Dynamics of Russian Forests and the Carbon Budget in 1961—1998: An assessment based on long-term forest inventory data. *Climatic Change*, 2002, 55: 5~37.
- [9] Dong J, Kaufmann R K, Myneni R B, *et al.* Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: Carbon pools, sources and sinks. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84: 393~410.
- [10] Myneni R B, Dong J, Tucker C J, *et al.* A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *PNAS*, 2001, 98(26): 14784~14789.
- [11] Peng C. From static biogeographical model to dynamic global vegetation model: A global perspective on modelling vegetation dynamics. *Ecological*

- Modelling, 2000, 135: 33 ~ 54.
- [12] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16 (5): 497 ~ 508.
- [13] Zhao M, Zhou G S. Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 2005, 207: 295 ~ 313.
- [14] Ni J. Net primary productivity In forests of China: scaling-up of national inventory data and comparison with model predictions. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176: 485 ~ 495.
- [15] Ni J. Carbon storage in grasslands of China. *Journal of Environments*, 2002, 50: 205 ~ 218.
- [16] Wang S Q, Zhou C H, Luo C W. Studying carbon storage spatial distribution of terrestrial natural vegetation in China. *Progress in Geography*, 1999, 18 (3): 238 ~ 244.
- [17] Zhou Y R, Yu Z L and Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types, *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (5): 518 ~ 522.
- [18] Li K R, Wang S Q, Cao M K. Vegetation and soil carbon storage in China. *Science in China (Series D)*, 33 (1), 72 ~ 80.
- [19] Fang J, Chen A, Peng C, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 22 (292): 2320 ~ 2322.
- [20] Jackson R B, Canadell J, Ehleringer J R, *et al.* A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 1996, 108: 389 ~ 411.
- [21] Mahfouf J F, Cirt C, Ducharme A, *et al.* Analysis of transpiration results from the RICE and PILPS workshop. *Global and Planetary Change*, 1996, 13: 73 ~ 88.
- [22] Jackson R B, Schenk H J, Jobbagy J, *et al.* Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. *Ecological Applications*, 2000, 10: 470 ~ 483.
- [23] Schenk H J, Jackson R B. The global biogeography of roots. *Ecological Monographs*, 2002, 72(3): 311 ~ 328.
- [24] Ji J. A climate-vegetation interaction model-simulating the physical and biological processes at the surface. *Journal of Biogeography*, 1995, 22, 445 ~ 451.
- [25] Ji J J, Hu Y C. A multi-level canopy model including physical transfer and physiological growth processes. *Climate and Environmental Research*, 1999, 4 (2): 152 ~ 164.
- [26] Cassardo C, Ji J, Longhetto A. A study of the performance of a land surface processes model. *Boundary Layer Meteorology*. 1995, 75: 87 ~ 121.
- [27] Li Y, Ji J. Model estimates of global carbon flux between vegetation and the atmosphere. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18: 807 ~ 818.
- [28] Parton W J, Schimel D S, Cole C V, *et al.* Division S-3-soil microbiology and biochemistry, Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, 51: 1173 ~ 1179.
- [29] Cao M, Woodward F I. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystems and their responses to climate change. *Global Change Biology*, 1998, 4: 185 ~ 198.
- [30] Farrar J F. The whole plant: carbon partitioning during development. In: Pollock C J and Gordon A J, eds. *Carbon partitioning within and between organisms Bios*. Scientific Publishers Limited, Oxford, U. K., 1992. 163 ~ 179.
- [31] Dickson R E, Shaikh M, Bryant R, *et al.* Interactive canopies for a climate model. *Journal of Climate*, 1998, 11: 2823 ~ 2836.
- [32] Lu J and Ji J. A simulation study of atmosphere-vegetation interactions over the Tibetan Plateau. Physical fluxes and parameters. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2002, 26 (1): 111 ~ 126.
- [33] Richardson C W, Wright D A. WGEN: A model for generating daily weather variables: U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1984.
- [34] Zhang S, Peng G, Huang M. The feature extraction and data fusion of regional soil textures based on GIS techniques. *Climatic and Environmental Research*, 2004, 9 (1): 65 ~ 79.
- [35] Zhang S, Peng G, Huang M. Derivation of earth surface parameters in vegetation properties supported by GIS techniques. *Climatic and Environmental Research*, 2004, 9 (1): 80 ~ 91.
- [36] Luo T, Brown S, Pan Y, *et al.* Root biomass along subtropical to alpine gradients: global implication from Tibetan transect studies. *Forest Ecology and Management*, 2005, 206: 349 ~ 363.

参考文献:

- [12] 方精云,刘国华,徐嵩龄.我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16 (5): 497 ~ 508.
- [16] 王绍强,周成虎,罗承文.中国陆地自然植被碳量空间分布特征探讨. *地理科学进展*, 1999, 18(3): 238 ~ 244.
- [17] 周玉荣,于振良,赵士洞.我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518 ~ 522.
- [18] 李克让,王绍强,曹明奎.中国植被和土壤碳贮量. *中国科学(D)辑*, 2003, 33(1): 72 ~ 80.
- [25] 季劲钧,胡玉春.一个植物冠层物理传输和生理生长过程的多层模式. *气候与环境研究*, 1999, 4(2): 152 ~ 164.
- [32] 吕建华,季劲钧.青藏高原大气-植被相互作用的模拟试验.物理通量和参数. *大气科学*, 2002, 26(1): 111 ~ 126.
- [34] 张时煌,彭公炳,黄玫.基于地理信息系统技术的土壤质地分类特征提取与数据融合. *气候与环境研究*, 2004, 9(1): 65 ~ 79.
- [35] 张时煌,彭公炳,黄玫.基于遥感与地理信息系统支持下的地表植被特征参数反演. *气候与环境研究*, 2004, 9(1): 80 ~ 91.