

中国东北样带的梯度分析及其预测*

张新时 高琼 杨奠安 周广胜 倪健 王权

(中国科学院植物研究所植被数量生态学开放实验室, 北京 100093)

A 摘要 陆地样带研究已成为国际地圈-生物圈计划(IGBP)全球变化研究的重要手段与热点。中国东北样带(NECT)已被列为 IGBP 国际全球变化陆地样带之一。该样带在东经 112°与 130°30'之间沿北纬 43°30'设置, 长约 1 600 km, 是一条中纬度温带以降水为驱动因素的梯度, 具有由温带针阔叶混交林向温带草原的 3 个亚地带——草甸草原、典型草原与荒漠草原过渡的空间系列。该样带上有 4 个生态实验站。在大量的固定样地、实验调查研究资料与数据的基础上给出了样带的初步梯度分析及在全球变化图景下的预测, 包括其地理位置、设置意义、地形地貌、气候梯度、土壤类型、植被类型和土地利用格局, 一个遥感数据驱动的模型和 NPP 模型在整个样带上运行过。今后 NECT 将在生物地球化学循环(水、C、N、P 等与痕量气体 CO₂、CH₄ 等)、生态系统结构、功能与动态、生物多样性、土地利用与土地覆盖、动态全球植被模型(DGVM)以及高分辨率遥感数据应用等方面得到加强, 将成为我国全球变化与陆地生态系统(GCTE)与其它 IGBP 核心项目研究的前沿阵地。

关键词 全球变化, 陆地样带, 梯度分析, 中国东北样带

生物地理学

A GRADIENT ANALYSIS AND PREDICTION ON THE NORTHEAST CHINA TRANSECT (NECT) FOR GLOBAL CHANGE STUDY

Zhang Xin-shi, Gao Qiong, Yang Dian-an, Zhou Guang-sheng, Ni Jian and Wang Quan
(Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Abstract The terrestrial transect has already become an important approach and hot spot for International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) in the global change study. Northeast China Transect (NECT) is listed as one of the first set of IGBP transect. It is placed along the latitude 43°30' N, between longitudes 112° and 130°30' E, and approximately 1 600 km in length. NECT is basically a gradient driven by precipitation/moisture factors located in the mid-latitude of the temperate zone. The vegetation zones or biomes along the NECT consist of temperate mixed evergreen coniferous and broadleaf deciduous forest and temperate steppe, including three subzones, viz. meadow steppe, typical steppe, and desert steppe, along an east-westward continuous transitional spatial series, respectively. There are four ecological experimental stations with support from a great number of permanent samples and long-term experimental data on the transect. The initial gradient analysis and simulation for the predicted scenario under increasing temperature given for the transect included the geographical location, significance of setup, topography, geomorphology, climate, soil,

收稿日期: 1996-10-31 接受日期: 1997-03-03

唐海萍协助资料整理, 夏力协助图形打印, 特此致谢。

* 国家科委“八五”攀登项目(我国未来 20~50 年人类生存环境变化趋势与预测研究)及国家自然科学基金委“八五”重大项目(中国陆地生态系统对全球变化反应的模式研究)资助。

vegetation and pattern of land use. One remote sensing driven model and one NPP model have been tested and operated for the whole transect. The study on NECT will be enhanced by research project, concerning biogeochemical cycles (water, C, N, P, etc. and CO₂, CH₄ greenhouse gas emission), structure, function and dynamics of ecosystems, land use and land coverage, biodiversity, dynamic global vegetation modeling (DGVM), and high resolution remote sensing data. It will become a frontier for the studies of Global Change and Terrestrial Ecosystems (GCTE) and other IGBP core projects in China.

Key words Global change, Terrestrial transect, Gradient analysis, Northeast China Transect

陆地样带是国际地圈-生物圈计划(IGBP)全球变化研究中最引人注目的创新之一。它由分布在某种具有控制生态系统结构与功能的全球变化驱动因素,如温度、降水(干燥度)和土地利用强度等的梯度上较大地理范围(1 000 km 或更长,数百公里宽)内的一系列生态实验站、观测点和样地所构成,进行一系列综合性的全球变化研究。样带是用空间代替时间,从小尺度的过程研究到区域性与全球水平研究的耦合,以获取关于全球变化信息及其深入理解的重要方法。这种跨尺度的耦合是全球变化研究中最富于挑战性的任务之一。另一方面,样带被证明是促进与加强 IGBP 各核心计划(core projects)间协作的一个有效手段。此外,由于样带能使不同学科领域与不同单位及国家的研究者在同一地点进行工作,因而能共用研究设备,便于学术交流与融合,是一种资源节约型与增效型的科学手段,可望得到最大的研究效益^[1]。

目前在启动研究的 IGBP 陆地样带中,我国东北森林-草原陆地样带(Northeast China Transect, NECT)被国际上确定为全球范围内具有示范性的一条。该样带的前身最初是在 1991 年以叶笃正院士为首席科学家的国家科委“八五”攀登项目的第四课题中由作者提出的;当时包括长白山森林生态研究站、内蒙锡林郭勒温带草原生态系统研究站与毛乌素沙地的鄂尔多斯沙地草地生态研究站。作者根据 IGBP/GCTE 样带设置的要求设定了样带的确切位置,进行了地理信息的分析,1993 年 8 月在美国 Marshall 召开的 IGBP 国际样带学术会议上以该样带的初步梯度分析作了报告,并正式定名该样带为 NECT,被列为 IGBP 陆地样带之一^[2]。在 1994 年发表的 GCTE 核心研究中^[3]进一步提出了发展 IGBP 陆地样带系统的全球概览,在国际上明确提出了 NECT。1995 年 IGBP 的 36 号报告中^[4]提出在全球 4 个关键地区启动 IGBP 陆地样带,NECT 即为中纬度半干旱区的 IGBP 陆地样带之一。

1 NECT 的地理位置与意义

在 IGBP 的 36 号报告“IGBP 陆地样带:科学计划”^[4]中对样带作了如下的明确定义:“每条 IGBP 样带被选作来反映一个主要环境因素变异的作用,该因素影响生态系统的结构、功能、组成,生物圈-大气圈的痕量气体交换与水循环”,并提出每条样带均由分布在一个具有控制生态系统结构与功能的因素梯度的较大地理范围(1 000 km 或更大)内的一系列研究点所构成。这一长度距离的要求是由于要符合大气环流模型(GCM)运作的最小单元(4°×5°或 8°×10°(经度×纬度))。同时基于特定地区的全球变化因素可变性明显与其全球变化潜在反馈的强度,正式提出在全球 4 个关键地区启动 IGBP 陆地样带。这 4 个 IGBP 样带的优先地区(表 1)是:(1)正在经受土地利用变化的湿润热带系统;(2)从北

方森林延伸到冻原的高纬度地区；(3)从干旱森林到灌丛的热带半干旱区；(4)从森林或灌丛向草地过渡的中纬度半干旱区。

表 1 IGBP 样带的优先区域及其特征^[3,4]
Table 1 Priority regions and general characteristics of IGBP transects^[3,4]

区域 Region	陆地植被 Land cover	全球变化的主要梯度 Major global change gradient	次要梯度 Secondary gradient
湿润热带 Humid tropics	热带森林及其农业派生群落 Tropical forest and its agricultural derivatives	土地利用强度 Land use intensity	降水 Precipitation
半干旱热带 Semi-arid tropics	森林-疏林-灌丛(稀树草原) Forest-woodland-shrubland (the savannas)	降水 Precipitation	土地利用强度与养分状况 Land use intensity, nutrient status
中纬度半干旱区 Mid-latitude semi-arid	森林-草地-灌丛 Forest-grassland-shrubland	降水 Precipitation	降水与养分状况 Precipitation, nutrient status
高纬度区 High latitudes	北方森林-冻原 Boreal forest-tundra	温度 Temperature	土地利用强度 Land use intensity

1.1 各优先领域计划中的样带

各优先领域计划中的样带位置见图 1。

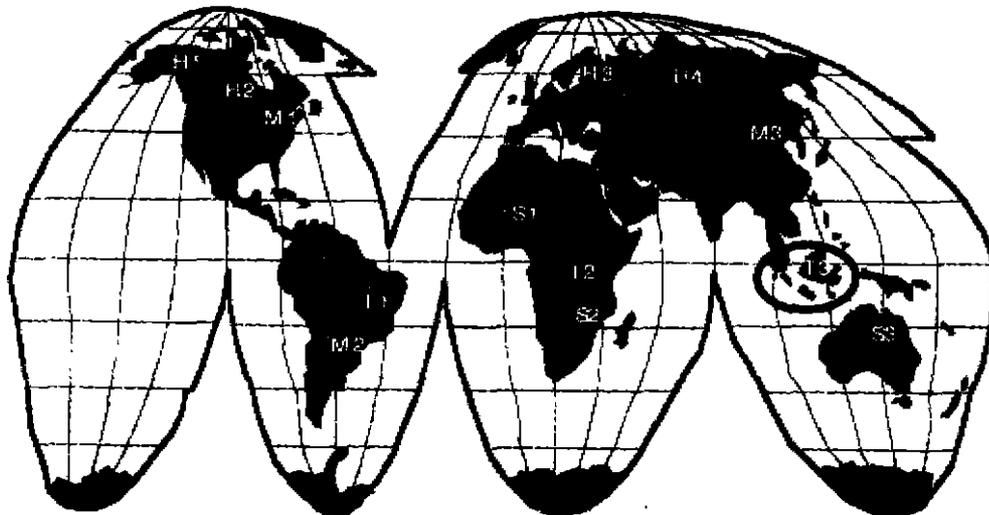


图 1 国际地圈-生物圈计划陆地样带

湿润热带森林：T1. 亚马逊盆地/墨西哥；T2. 中非/Miombo；T3. 东南亚/泰国。中纬度区：M1. 美国大平原；M2. 阿根廷 Mato Grosso；M3. 中国 NECT。高纬度区：H1. 阿拉斯加；H2. 加拿大 BFTCS(北方森林样带个案研究)；H3. 斯堪的纳维亚；H4. 西伯利亚。半干旱热带：S1. 西非 SALT；S2. 南非 Kalahari；S3. 澳大利亚 NATT。

Fig. 1 IGBP terrestrial transects

Humid tropical forest: T1. Amazon/Mexico; T2. Central Africa/Miombo; T3. Southeast Asia/Thailand. Mid-latitude: M1. Great Plains (USA); M2. Mato Grosso (Argentina); M3. NECT (Northeast China Transect). High latitude: H1. Alaska; H2. BFTCS (boreal forest transect case study, Canada); H3. Scandinavia; H4. Siberia. Semi-arid tropics: S1. Savannas in the Long Term (West Africa); S2. Kalahari (Southern Africa); S3. NATT (Northern Australia Tropical Transect).

IGBP 的陆地样带系统涉及若干个核心计划的研究，主要是全球变化与陆地生态系统(GCTE)、水循环中的生物圈方面(BAHC)、国际全球大气化学计划(IGAC)、海岸带的陆

海关系(LOICZ)和土地利用与土地覆盖变化(LUCC),以及国际生物多样性研究计划(DIVERSITAS)。各个陆地样带的研究内容因对象、地区和特征而不同,但基本上包括下列各方面的研究:1)气候-植被相互关系(climate-vegetation interaction);2)生态系统生理学(ecosystem physiology);3)生态系统结构、功能与动态;4)不同层次生物多样性与气候变化关系;5)生物地球化学过程(BGC);6)净第一性生产力(NPP)形成过程;7)土地利用格局与强度;8)遥感分析与监测;9)环境历史演变规律;10)动态模型及其变尺度耦合。

1.2 NECT 的地理位置与设置意义

NECT 在东经 112°~130°30'之间沿北纬 43°30'为中线设置,东西延伸约 1 600 km,带宽跨北纬 42°~46°,南北幅度约 300 km。样带西起内蒙古与蒙古人民共和国边界处的二连浩特,向东穿过内蒙古高原沿大兴安岭南端山地而下至西辽河谷地进入吉林省境与辽宁省西北隅,为松嫩平原的主要农业区——著名的东北玉米带,往东即以长春为中心的城市与工业区;再向东经延吉进入吉林东部延边的农业区与长白山北坡及张广才岭的低山森林地带而止于中、俄、朝边界的沿海山地与河口。

1.2.1 气候 NECT 表现了东亚中纬度温带最显著与关键性的气候变化因素——降水与湿润/干燥度的梯度,代表着由海洋性湿润气候向大陆性干旱气候的过渡,也是由季风型气候向内陆反气旋高压中心的过渡。

1.2.2 地形 NECT 没有太高的山脉,在 43°30'线上的最高点仅为 1 700 m。样带东半部为沿海低山与宽坦的河谷平原,西半部为和缓起伏的中等高度的高原,基本上具有水平地带性特征。

1.2.3 植被或生物群区(biome) NECT 反映着由强中生性的温带森林:红松针阔叶混交林-蒙古栎落叶阔叶林,温带草原的 3 个主要亚型:草甸草原-典型草原-荒漠草原的陆地生态系统空间更替系列。

1.2.4 生物多样性 NECT 包含了丰富多样的物种、生态系统、以至景观水平上的梯度,尤其在植物的功能类型(PFT)或光合途径类型(C₃或 C₄型植物)组成比例方面的东西向变化对气候变化的适应有良好的规律性。

1.2.5 土壤与基质 NECT 具有一系列东亚中纬度温带典型的土壤类型,其成土母质除有局部沙地与低湿沼泽外,大部分均为发育良好的显域性基质,与气候和植被有良好的对应关系。

1.2.6 生物地球化学循环与物理过程 NECT 均有梯度性的规律变化与显著的对比性,表现在温室气体的放散、养分与物质(C、N、H₂O等)循环、能量转换、水蚀-风蚀过程、盐分积累特点等各个方面。

1.2.7 土地利用格局 NECT 由东而西具有由纯森林区-半林半农区-纯农业区-(城市/工业区)-半农半牧区-纯牧区的完整序列与过渡。土地利用的强度也有显著变化。

1.2.8 环境历史演变 NECT 具有一系列的湖泊沉积与沼泽湿地的泥炭沉积,可供建立环境历史演变的序列与对比研究;根据历史文献资料尚可建立样带人文、土地利用与环境变迁的相互关系^①。

^① 根据北京师范大学张兰生教授、中国科学院地理研究所张玉远、葛全胜研究员与复旦大学满志敏教授的意见。

1.2.9 植被-气候-土壤系统的动态模型 NECT 已具有一定基础, 无论在长白山森林、松嫩草甸草原、内蒙古典型草原, 还是全样带归一化植被指数(NDVI)基础上的仿真模型方面均有较好的研究, 为在全样带建立个体-斑块-景观-区域尺度的全球变化耦合模型提供了较好的条件。

1.2.10 最重要的是在 NECT 范围内已有 4 个建立多年、有长期定位观测积累与研究工作的生态站 长白山森林生态系统实验站^① (1)、长岭(松嫩平原)草地实验站(2)、乌兰敖都(科尔沁)沙地生态实验站(3)与内蒙锡林郭勒温带草原生态系统实验站(4)。其中 1、4 两站属中国科学院生态台站网络系统(CERN)重点站和国际 MAB 自然保护网络站, 并是国家科委“八五”全球变化研究攀登项目的重要研究基地。这 4 个站分别属于中国科学院沈阳应用生态所(1、3)、东北师范大学草地生态研究所(2)与中国科学院植物研究所(4), 有比较强的科研力量与储备。

由于有上述良好的研究基础、较丰富的数据资料、较强的综合研究与较理想的环境变化梯度条件, NECT 得到国家(“八五”与“九五”)攀登项目的支持与国内有关部门的协作, 更得到了 IGBP 的充分肯定与国际有关同行的认可, 因而成为我国第一条国际性的全球变化样带。

2 NECT 的地形与气候梯度分析

2.1 NECT 的地形与地貌背景

在北纬 43°30' 一线上的 NECT 范围内基本上可分为 3 段地形(地貌)区(图版 I, 1)。

2.1.1 东部滨海的中低山区 包括长白山北麓与张广才岭的前山丘陵, 间有狭窄的河谷地带, 海拔高度一般在 500~1 200 m 之间, 在地貌上属垒堑构造上的断隆山地。

2.1.2 中部的松嫩平原与西辽河谷地 地势平坦开阔, 以冲积平原为主, 间有微起伏的岗地, 海拔高度一般在 50~400 m 上下, 为先裂后拗的现代掀升萎缩盆地地貌。

2.1.3 西段的大兴安岭南段山地和内蒙古高原 大兴安岭南段属中低山, 高处不过 1 200 m, 地貌上属断褶构造上的微弱掀斜盆地。大兴安岭南段山地以西的内蒙古高原为宽坦起伏的高原, 原面高度一般在 1 000~1 300 m, 其上有缓降低山, 高度不过 300 m, 是水平岩层构成的蚀余高原地貌。

2.2 NECT 的气候梯度

NECT 由东向西分属于温带湿润区、温带湿润半干旱区与温带半干旱、干旱区(图 2; 图版 I, 2)。

2.2.1 NECT 的热量条件 由于处在同一纬度带, NECT 的总体热量条件无大悬殊, 但由于地形高度起伏而造成垂直性的变化(表 2)。

从热量指数的剖面图(图版 I, 2)可以看出它们均与地形剖面呈明显的负相关, 以中部的松辽谷地为最高, 而在东西两端的山地或高原区则降低。

2.2.2 NECT 的降水与湿润度梯度 NECT 降水与湿润度梯度(表 3)呈现为明显的东高西低的曲线, 是控制样带植被结构、生产力与土地利用格局的关键因素, 也是样带全球变化的主要驱动因素。

^① 根据中国科学院沈阳应用生态研究所延晓冬同志提供的资料。

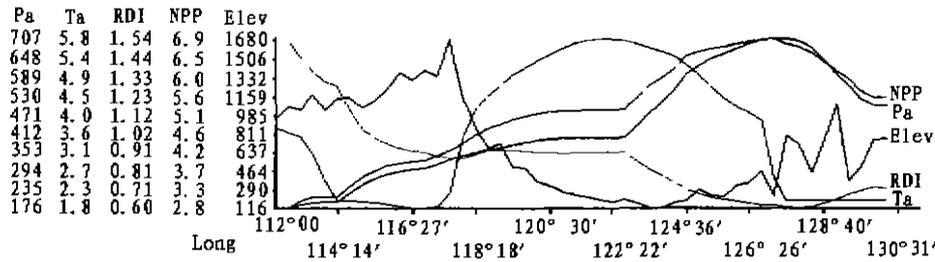


图 2 NECT 气候和净第一性生产力(NPP, t DW·hm⁻²·a⁻¹)梯度
气候指标包括沿经度(Long)、纬度(Lat, 43°30')和海拔高度(Elev, m)的年降水量(Pa, mm)、年平均气温(Ta, °C)和辐射干燥度(RDI)。

Fig. 2 Climatic and net primary production (NPP, t DW·hm⁻¹·a⁻¹) gradient along NECT
The climatic indices include annual precipitation (Pa, mm), annual average temperature (Ta, °C) and radiative dry index (RDI) along longitude (Long), latitude (Lat, 43°30') and elevation (Elev).

表 2 中国东北样带 (43°30') 的热量梯度

Table 2 Thermal gradient along Northeast China Trarsect (43°30')

指标 Indices	参数值 Value
年均温 Mean annual temperature (°C)	1.8 ~ 5.8
1 月均温 Mean temperature of January (°C)	- 20.0 ~ - 12.0
7 月均温 Mean temperature of July (°C)	19.8 ~ 23.6
生物温度 Annual biotemperature (°C)	7.2 ~ 9.5
潜在蒸散 Potential evapotranspiration (mm)	423 ~ 558
热量指数 Thermal coefficient	55.0 ~ 66.1
温暖指数 Warmth index (°C·month)	53.6 ~ 78.7
寒冷指数 Coldness index (°C·month)	- 98.0 ~ - 63.2

表 3 中国东北样带 (43°30') 的降水/湿润度梯度

Table 3 Precipitation/humidity gradient along Northeast China Transect (43°30')

指标 Indices	参数值 Value
年降水 Annual precipitation (mm)	177 ~ 706
1 月降水 Precipitation of January (mm)	0.3 ~ 10.5
7 月降水 Precipitation of July (mm)	67 ~ 197
潜在蒸散率 Potential evapotranspiration ratio	0.62 ~ 2.68
湿润指数 Moisture index	- 35.5 ~ 45.0
湿润/干燥度指数 Humidity/aridity index	2.6 ~ 9.3
辐射干燥度 Radiative dry index	0.6 ~ 1.94
潜在的净第一性生产力 Net primary production (t DW·hm ⁻² ·a ⁻¹)	2.6 ~ 6.9

NECT 的东端, 长白山北麓与张广才岭的年降水可达 700 mm, 在长白山北坡高处则可达 800 mm。中部农业区的降水在 580 ~ 600 mm。草原地带东部降水尚可达 500 mm, 在中部在 350 mm, 西端荒漠草原则降到 200 mm 以下。潜在蒸散率(PER)在东部森林区不过 0.5 ~ 1.0, 在中部农业区 1.1 ~ 1.6, 草原地带的东中西部相应为 1.1 ~ 1.6、1.2 ~ 1.4 与 1.5 ~ 3.5。潜在生产力(NPP, t DW·hm⁻²·a⁻¹) 在东部森林区可接近 7, 在中部农业区为 6, 草原地带为 2 ~ 5。可见植被生产力与降水成正比, 与干燥度成反比, 其多元回归公式为:

$$P = 0.069H + 24.448G - 2629.20$$

$$NPP = 0.648 + 0.010P$$

$$R^2 = 0.97$$

式中 P 是年降水量, H 是海拔高度, G 是经度, R 为复相关系数。

3 NECT 的植被与土壤类型及其梯度

NECT 的植被与土壤地理类型或地带性(图版 I, 3,4)亦可分为东、中、西 3 段,即东部的温带针阔叶混交林-暗棕壤地带,中部的低地草甸、农田-暗色草甸土地带与西部温带草原黑钙土-栗钙土-棕钙土地带(包括 3 个亚地带),这一植被-土壤梯度的生态含义极为丰富。受气候、地形、基质和人为干扰等因素的作用,植被自东至西依次是温带针阔叶混交林(红松(*Pinus koraiensis*)针阔叶混交林和红松、杉松(*Abies holophylla*)针阔叶混交林);暖温带次生落叶阔叶林(蒙古栎(*Quercus mongolica*)林);松辽平原农业区(水稻、玉米、小麦);松辽平原草甸草原(羊草(*Aneurolepidium chinense*)、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*、线叶菊(*Filifolium sibiricum*));大兴安岭山地灌丛、山前草甸草原;内蒙古高原典型干草原(羊草、大针茅(*S. grandis*);荒漠草原(克氏针茅(*S. krylovii*)、戈壁针茅(*S. gobica*))等大的生态类型,并包括了各植被区或地带之间的生态过渡区^[5]。

其植被和土壤类型与特征分别见表 4 和表 5。

3.1 温带针阔叶混交林区域

位于北纬 42°~46°、东经 126°~131°、包括东北平原以东的广阔山地,具有海洋型(湿润型)温带季风气候的特征,降水丰富,年平均气温较低,冬季长而夏季短。地质构造极为复杂,山地大多以花岗岩为主,地带性土壤为暗棕壤,又以山地暗棕壤为主,还有隐域性的草甸土、灰化沼泽土及沼泽土。植物种类繁多,仅维管植物即近 1 900 余种,为长白山植物区系成分,并有大量的典型亚热带植物成分和北方树种(南鄂霍次克植物区系成分)。地带性植被为温性针阔叶混交林,主要是以红松为主构成的,混有紫椴(*Tilia amurensis*)、风桦(*Betula costata*)等各种温带落叶阔叶树种,并多藤本植物,一般称为“红松针阔叶混交林”。种类组成极其丰富,植被分层明显。

3.2 松辽平原栎林草原、农田区域

位于北纬 42°30'~46°、东经 121°~126°,包括小兴安岭南端、张广才岭及长白山山前丘陵漫岗区,是松辽平原西南部的典型草原向周围落叶阔叶林区过渡的地带。受海洋季风的影响较强,气候的大陆性程度较低,为中温带的半湿润气候。土壤的发生类型很复杂,存在着暗棕壤、黑土、黑钙土、草甸黑土、草甸土及沼泽土等。本区属于温带北部草原亚地带的松辽平原外围栎林草原区,以兴安-蒙古草原成分占主导地位,植被类型的分布组合很复杂,边缘低山丘陵分布着森林、灌丛及五花草甸,建群种为贝加尔针茅、线叶菊、羊草等。

3.3 松辽平原典型草原区域

位于北纬 42°30'~46°、东经 117°~125°,占据了松辽平原的中部,包括松嫩平原、西辽河平原及大兴安岭南段的东南坡。由于该区地处大兴安岭以东,受南海季风的影响较明显,大陆度低于内蒙古高原,热量较高,属夏季温热多雨的半干旱气候。主要土壤类型为草甸土和黑钙土。主要的建群种和优势种为大针茅、克氏针茅、羊草、线叶菊、贝加尔针茅、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冰草(*Agropyron cristatum*),并拥有温带亚洲或东北、华

表 4 中国东北样带的植被和
Table 4 Vegetation, soil types and climatic

经度 42~46N ⁽¹⁾ Longitude (°) 43.5 N ⁽²⁾	108~113 110~113	112~119 113~117	117~120 117~122	117~122
海拔高度 Altitude (m)	1 000	1 000~1 200	900~1 300	700~1 200
植被地带 Vegetation zones	内蒙古温带草原 Temperate steppe in Nei Monggol			大兴安岭山地草原 Montane steppe in Daxingan mountain
植被亚地带 Vegetation subzones	荒漠草原 Desert steppe	典型草原 Typical steppe	草甸草原 Meadow steppe	草甸草原 Meadow steppe
代表群系 Typical formation	戈壁针茅 <i>Stipa gobica</i>	大针茅, 克氏针茅 <i>S. grandis</i> <i>S. krylovii</i>	贝加尔针茅, 羊草 <i>S. baicalensis</i> <i>Aneurolepidium chinense</i>	线叶菊 <i>Filifolium sibiricum</i>
土壤类型 Soil types	棕钙土 Brown soil	栗钙土 Chestnut soil	黑钙土 Chernozem	黑钙土 Chernozem
Ta (°C)	2~5	0~2	4.5~6.0	1.5~6.0
T1 (°C)	-15~-18	-18~-22	-14~-18	-13~-22
T7 (°C)	19~22	20~23	23~24	20~24
Pa (mm)	150~250	250~350	340~470	350~480
P1 (mm)	1.7~2.9	1.4~3.3	0.9~2.7	0.9~1.8
P7 (mm)	38.6~87.5	98.6~133.1	96.4~138.8	96.4~129.8
PE (mm)	611.0~1017.8	683.6~924.5	735.8~820.0	663.2~795.1
PA	2.3~6.0	1.8~2.2	1.9~2.2	1.4~2.5
APE (mm)	518.7~603.6	515.4~651.9	580.6~622.9	521.6~643.2
IM	-26.5~-45.3	-13.1~-25.7	-19.4~-23.2	-18.8~-23.2
BT (°C)	6.7~8.5	6.7~9.6	7.1~9.0	6.7~9.3
PER	1.5~3.5	1.0~1.6	1.2~1.4	1.2~1.4
WI (°C·mon)	48.3~80.3	51.3~67.7	50.4~78.0	50.4~76.0
CI (°C·mon)	-56.7~-89.1	-71.3~-109.3	-62.9~-75.2	-66.3~-98.9
K	3.6~5.7	1.6~3.9	4.0~4.7	4.0~4.9
NPP(t DW·ha ⁻² ·a ⁻¹)	2~4	3~5	3.5~4.5	4.5~5.5

Ta. 年平均气温; T1. 1月均温; T7. 7月均温; Pa. 年降水量; P1. 1月降水; P7. 7月降水; PE. Penman 可能蒸散; 温暖指数; CI. 寒冷指数; K. 干燥度指数; NPP. 净第一性生产

Ta. Annual average temperature; T1. Average temperature of January; T7. Average temperature of July; Pa. Annual piration; PA. Aridity; APE. Thornthwaite's potential evapotranspiration; IM. Moisture index; BT. Holdridge's humidity index; NPP. Net primary production (Zhou's model).

北的区系成分,如野古草(*Arundinella hirta*)、大油芒(*Spodiopogon sibiricus*)、兴安胡枝子(*Lespedeza davurica*)、委陵菜(*Potentilla chinensis*)、山杏(*Prunus armeniaca* var. *ansu*)、蒙古栎、油松(*Pinus tabulaeformis*)等。松辽平原西南部沙质及沙壤质土壤上,西辽河以北的大兴安岭山地平原区,主要分布着大针茅草原,最常见的群落类型有大针茅-丛生小禾草草原、大针茅-羊草草原及山杏灌丛化的大针茅草原。西辽河流域的沙丘上广泛分布着沙生植被,如沙蒿(*Artemisia arenaria*)半灌木群落。草甸及沼泽植被广布于各种低湿地生境上。

3.4 大兴安岭山地草甸草原区域

位于北纬 44°~46°、东经 117°~122°,大兴安岭的西南侧,沿山前丘陵呈带状延伸。基岩主要由花岗岩、安山岩、石英粗面岩等火成岩所组成。气候寒冷半湿润,地带性土壤东部为淋溶黑钙土,西部为黑钙土,岛状森林下发育了灰色森林土。本区东北面逐渐进入大兴安岭针叶林区,西面与内蒙古高原典型草原区相邻,处于草原向山地针叶林的过渡区。在植被组合上,以几种草甸草原、林缘草甸和白桦为主的岛状森林交互分布为特

土壤类型及其气候指标
indices of Northeast China Transect

121 ~ 126 122 ~ 123	122 ~ 124 123 ~ 124	125.5 ~ 131.5	123.5 ~ 130.0 124 ~ 130
130 ~ 400	50 ~ 250	400 ~ 600 ~ 1 000	500 ~ 1 200
松辽平原低地草甸/农田 Lowland meadow/farmland in Songliao Plain	温带落叶阔叶林 Temperate deciduous- broadleaved forest	温带针阔叶混交林 Temperate mixed coniferous-broadleaved forest (MCBF)	
草甸草原/农田 Meadow/farmland	辽河平原北部落叶阔叶林 Deciduous-broadleaved forest in northern Liao River Plain	小兴安岭完达山地 针阔叶混交林 Montane MCBF in Xiaoxingan and Wanda mountain	长白山地针阔叶混交林 Montane MCBF in Changbai mountain
栎林草原 Oak forest steppe	蒙古栎林 <i>Quercus mongolica</i> forest	红松针阔叶混交林 <i>Pinus koraiensis</i> MCBF	红松、杉松阔叶混交林 <i>P. koraiensis</i> , <i>Abies</i> <i>holophylla</i> MCBF
黑钙土 Dark meadow soil	棕壤 Brown earth	山地灰棕壤 Montane grey-brown soil	山地暗棕壤 Montane dark brown soil
4 ~ 6 ~ 14 ~ ~ 18 23 ~ 24	7.0 ~ 7.5 ~ 11 ~ ~ 12 24	~ 1 ~ 1 ~ 25 ~ ~ 30 20 ~ 26	3 ~ 6 ~ 15 ~ ~ 25 20 ~ 26
400 ~ 500 1.0 ~ 2.0 114.6 ~ 157.7	520 ~ 540 2.3 ~ 2.5 154.9 ~ 161.7	500 ~ 700 2.6 ~ 7.9 100.4 ~ 165.9	600 ~ 800 3.5 ~ 12.7 86.3 ~ 346.2
645.9 ~ 582.1 1.4 ~ 2.5	743.3 ~ 801.8 1.4 ~ 1.5	520 ~ 670 0.8 ~ 1.3	527 ~ 719 0.7 ~ 1.2
631.0 ~ 653.2 ~ 2.3 ~ ~ 28.1	663.0 ~ 670.7 ~ 10.4 ~ ~ 11.2	536.4 ~ 617.9 ~ 6.1 ~ ~ 18.9	500 ~ 644 ~ 6.5 ~ 44
9.0 ~ 9.5 1.1 ~ 1.6	9.8 ~ 10.0 1.1	7.1 ~ 8.7 0.7 ~ 1.0	7.1 ~ 9.4 0.5 ~ 0.9
73.2 ~ 79.1 ~ 67.4 ~ ~ 79.2 3.4 ~ 5.0	82.7 ~ 84.7 ~ 55.1 ~ ~ 58.1 5.1 ~ 5.2	51.5 ~ 69.2 ~ 80.5 ~ ~ 94.7 5.9 ~ 8.3	52 ~ 77 ~ 67 ~ ~ 85 5.8 ~ 9.3
5 ~ 7	5 ~ 6	5 ~ 7	5 ~ 7

PA. 干燥度; APE. Thornthwaite 潜在可能蒸散; IM. 水分指数; BT. Holdridge 生物温度; PER. 可能蒸散率; WI. Kira 力(周广胜模型)。1) 沿北纬 42° ~ 46° 之间; 2) 沿北纬 43.5°。

total precipitation; P1. Total precipitation of January; P7. Total precipitation of July; PE. Penman's potential evapotranspiration; PER. Potential evapotranspiration ratio; WI. Kira's warmth index; CI. Coldness index; K. Aridity/ 1) Latitude between 42° and 46° N; 2) Latitude along 43.5° N.

色。植物区系以兴安-蒙古种为主, 其中贝加尔针茅、线叶菊、羊草等均为本区优势群系的建群植物, 其次为欧亚温带和东亚分布的森林草甸种, 如裂叶蒿 (*Artemisia laciniata*)、野火球 (*Trifolium lupinaster*)、歪头菜 (*Vicia unijuga*)、大叶草藤 (*V. pseudo-orobus*) 等。最具代表性的草甸草原类型为贝加尔针茅-线叶菊草原, 多占据丘陵坡地的中部, 土壤为钙质黑钙土, 常见的群系有贝加尔针茅-线叶菊草原、贝加尔针茅-丛生小禾草原和贝加尔针茅-羊草-杂类草草原等, 另外还有线叶菊草原、羊草草原、五花草甸等重要植被类型。

3.5 内蒙古高原典型草原区域

位于北纬 42° ~ 46°、东经 113° ~ 119° 的内蒙古高原中部。具有典型的内陆半干旱气候特点。在大气环流上直接受蒙古高压的控制, 冬春季节气候寒冷, 夏季受海洋季风的影响, 温和多雨, 属中温带的半干旱气候。地带性土壤为栗钙土。植物区系以蒙古草原成分和更广泛的中亚东部(亚洲中部)草原成分为主, 最重要的种类是: 大针茅、羊草、克氏针茅、糙隐子草、冰草、苔草 (*Koeleria cristata*) 以及寸草苔 (*Carex stenophylla*)、黄囊苔

表 5 中国东北样带
Table 5 Vegetation and soil characteristics

植被地带 Vegetation zones	内蒙古温带草原 Temperate steppe in Nei Monggol		
植被亚地带 Vegetation subzones	荒漠草原 Desert steppe	典型草原 Typical steppe	草甸草原 Meadow steppe
生活型 Life form	多年生地下芽植物 + 落叶矮高位芽植物 Renascent geophytes + Nanophanerophytes, 多年生小型丛生禾草 + 小半灌木 Perennial pratum bunchgrass + Dwarf half-shrub	多年生地下芽植物 Renascent geophytes 多年生密丛禾草 Perennial closed bunchgrass	多年生地下芽植物 Renascent geophytes 多年生杂类草 + 丛生禾草 Perennial herbosa poion + bunchgrass
种数 Total species	74	104 ~ 132	150 ~ 200
生态型 Ecotype	强旱生, 旱生 Megaxeric, xeromorph	典型旱生, 中旱生 Typical xeromorph, mesoxeric	中生, 旱中生 Mesotrophy, dry-mesotrophy
冠层高度 Canopy height (m)	0.1 ~ 0.2	0.4 ~ 0.5	0.4 ~ 0.6
层次 Layer	1 草本层, 2 亚层 1 Herb, 2 sublayers	1 草本层, 3 亚层 1 Herb, 3 sublayers	1 草本层, 3 亚层 1 Herb, 3 sublayers
覆盖度 Coverage (%)	15 ~ 25	20 ~ 60	50 ~ 70
生物量 Biomass ($t \cdot hm^{-2}$)	0.2 ~ 0.6	0.6 ~ 1.5	1.65 ~ 2.25
土壤有机质含量 Soil organic matter (%)	0.3 ~ 1.0 (0.95)	1.2 ~ 3.3 (2.47)	4 ~ 7 (4.35)
土壤含氮量 Soil nitrogen (%)	0.05 ~ 0.11 (0.08)	0.11 ~ 0.21 (0.15)	0.18 ~ 0.3 (0.2)
pH 值	7.5 ~ 8.5	7.0 ~ 8.5	7.5 ~ 8.0

(*C. korshinskii*)、葱 (*Allium* spp)、细叶鸢尾 (*Iris tenuifolia*)、知母 (*Anemarrhena asphodeloides*)、星毛委陵菜 (*Potentilla acaulis*)、二裂叶委陵菜 (*P. bifurca*)、柴胡 (*Bupleurum chinense*)、草木樨状黄芪 (*Astragalus melilotoides*)、火绒草 (*Leontopodium leontopodioides*)、白婆婆纳 (*Veronica incana*)、麻花头 (*Serratula centauroides*)、冷蒿、小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 等, 都是典型的草原旱生植物。地带性植被为典型草原, 主要代表群系为大针茅草原、克氏针茅草原、羊草草原、线叶菊草原、羊茅草原、冰草草原、糙隐子草草原和冷蒿草原。

3.6 乌兰察布高原东北部的荒漠草原区域

位于北纬 $42^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、东经 $108^{\circ} \sim 113^{\circ}$ 。地貌类型比较单调, 全境处于阴山山脉以北的层状高平原区, 气候直接为蒙古高压气团所支配, 海洋季风影响不强, 已进入内陆干旱区的范围, 夏季在东南季风的湿润气团影响下也能形成一定的雨量, 但蒸发作用强烈, 全年多风, 热量高于典型草原区。地带性土壤是轻壤质棕钙土, 表土含粗沙及小砾石, 石质丘陵上形成粗骨土与砾石质棕钙土, 二连浩特一带普遍分布着沙质与沙壤质棕钙土。干河滩与盐湿低地上多发育为盐化草甸化棕钙土。地带性荒漠草原植被占显著的优势, 主要建群种都是曲膝芒组和须状芒组的几种小型针茅, 最有代表性的是戈壁针茅草

的植被和土壤特征
of Northeast China Transect

大兴安岭山地, 松江平原低地草原 Meadow steppe in Daxingan mountain and Songliao plain	温带落叶阔叶林 Temperate deciduous-broadleaved forest	温带针阔叶混交林 Temperate mixed coniferous-broadleaved forest (MCBF)	
草甸 Meadow	辽河平原北部落叶阔叶林 Deciduous-broadleaved forest in northern Liao River plain	小兴安岭完达山地针阔叶混交林 Montane MCBF in Xiaoxingan and Wanda mountain	长白山地针阔叶混交林 Montane MCBF in Changbai mountain
多年生地下芽植物 Renaissant geophytes + Nanophanerophytes 多年生杂类草 + 灌木 Perennial herbosa poion + shrub	落叶小-中高位芽植物 Deciduous micro-mesophanerophytes 乔木-灌木 Deciduous tree and shrub	常绿-落叶中高位芽植物 Evergreen-deciduous mesophanerophytes 乔木-灌木 Evergreen-deciduous tree and shrub	常绿-落叶中-大高位芽植物 Evergreen-deciduous meso-megaphanerophytes 乔木-灌木 Evergreen-deciduous tree and shrub
357	200	1 500	1 900
旱中生, 中生 Dry-mesotrophy, mesotrophy	中生 Mesic (semihumid)	中生(温和湿润) Mesic (humid)	中生耐阴 Mesic (humid)
0.4 ~ 0.8	5 ~ 10	20 ~ 32	20 ~ 40
1 草本层, 3 亚层 1 Herb, 3 sublayers	3 层, 乔木-灌木-草本-藤本 3 Tree-scrub-herb-liana	5 层, 乔木-下木-灌木-草本-地被-藤本 5 Tree-undergrowth-scrub-herb-ground-liana	4 层, 乔木-灌木-草本-地被-藤本 4 Tree-scrub-herb-ground-liana
70 ~ 80	50 ~ 80	70 ~ 80	70 ~ 80
1.35 ~ 2.00	100 ~ 300	300 ~ 600 (330)	300 ~ 600 (400)
2 ~ 6	4.14 ~ 7.46	6 ~ 8	5.5 ~ 14.2
0.14 ~ 0.26	0.15 ~ 0.19	0.15 ~ 0.3	0.26 ~ 0.75
7.9 ~ 8.2	5.0 ~ 5.6	5.0 ~ 6.0	5.6 ~ 5.8

原群系。植物区系成分以戈壁-蒙古荒漠草原种和中亚东部荒漠草原种为主, 小型针茅如戈壁针茅、沙生针茅 (*Stipa glareosa*)、石生针茅 (*S. klemenzii*)、短花针茅 (*S. breviflora*) 及无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*)、多根葱 (*Allium polyrrhizum*)、蒙古葱 (*A. mongolicum*) 等均为荒漠草原的建群种和优势种, 其中戈壁针茅的作用最突出, 短花针茅是从温带南部草原亚地带侵入的成分, 另外, 强旱生小半灌木女蒿 (*Hippolytia trifida*)、耆状亚菊 (*Ajania achilleoides*) 也是优势成分。

4 NECT 的土地利用

4.1 土地利用方式

NECT 在 42 北纬° ~ 46°、东经 110° ~ 132° 范围内的土地总面积约 690 086 km², 跨越黑龙江、吉林、辽宁 3 省和内蒙古自治区, 以吉林和内蒙古为主体。土地利用方式多样, 农、林、牧沿样带均占主要地位。按土地利用格局大致可以作如下划分^[6]:

4.1.1 耕地 约 224 968 km², 占本带总面积的 32.6%。其中水田 15 872 km², 占本带总面积的 2.3%, 旱地面积 209 096 km², 占全带总面积的 30.3%。主要分布在大兴安岭以东、吉林东部山地以西的松嫩平原的辽河平原北部地区。

4.1.2 林地 约 129 736 km², 占本带面积的 19.8%。主要分布于吉林东部的低山丘陵、

长白山熔岩台地与中山,以及西部大兴安岭东坡。

4.1.3 草地 约 264 303 km², 占本带总面积的 38.3%。主要分布于内蒙古高原、松嫩平原西部,与耕地相间分布。

4.1.4 难利用土地 包括裸露地、沙地以及荒地、沼泽地、盐碱地等,约 71 079 km², 占本带面积的 10%以上。主要有内蒙古锡林郭勒盟的浑善达克沙地和嘎亥额勒斯沙地及哲里木盟的科尔沁沙地等。

表 6 中国东北样带土地利用格局和特点
Table 6 Land use pattern and characteristics of the Northeast China Transect

	牧区 Pastoral area	农业区 Agricultural area		林区 Forest area
		农区和牧区 Farming and pastoral area	农区 Farming area	
地形 Topography	内蒙古高原 Nei Monggol plateau	内陆平原 Inland plain	内陆平原 Inland plain	丘陵山地 Hills and mountains
纬度 Latitude (沿 43.5° N)	112.5 ~ 119.2°E	119.2 ~ 122.5°E	122.5 ~ 126°E	125.5 ~ 130°E
面积 Area(km ²)	281 826	80 862	214 283	135 206
耕地 Cultivated land (%)	1.5	24.4	64	10.5
草地 Grassland (%)	85	56	20	5.5
林地 Forest land (%)	1.5	11	13	80
难利用地 Unuseable land (%)	12	8.6	3	4
主要产品 Main products	肉、皮、毛、干草、 奶制品 Meal, skin, wool, hay, milk products	玉米、小麦、水稻、大 豆、甜菜、向日葵、干草 Corn, wheat, rice, soy- bean, beet, sunflower, hay	玉米、谷子、水稻、 高粱、小麦、小豆 Corn, millet, rice, sorghum, wheat, soybean	水稻、大豆、玉米、 小麦 Rice, soybean, corn, wheat

4.2 土地利用格局

土地利用格局的形成是人类社会经济状况与自然环境条件长期相互作用的结果,在空间上具有明显的变异。根据土地利用现状结构与主要土地资源利用的限制性因素,本带可以划分为 3 段:以大兴安岭为界,西段是以牧业为主的内蒙古高原,中段平原的农牧交错带和以林为主的东段,农林结合的低山与丘陵区(表 6;图版 II, 1)。

4.2.1 以牧为主的内蒙古高原 主要包括内蒙古自治区的锡林郭勒盟以及哲里木盟的一部分,面积约 300 000 km², 占整个带区的二分之一。其土地利用结构最突出的特点是草地占据了绝大部分土地面积。在锡林郭勒盟其比例达 95%以上,而耕地及林地都小于 5%。这个比例在哲里木盟则降至 61.2%,宜林地和耕地增加。本段土地利用存在的主要问题是:(1)家畜超载,草场退化、沙化、盐碱化严重,有大约 48.63%的草地资源退化;(2)盲目开垦,扩大耕地;(3)非宜林地造林,防护林体系不完善,土壤风蚀、水蚀严重,其中已形成大片沙地。

4.2.2 农牧交错的中部平原 主要包括带区内的白城、松源、四平、辽源、铁岭、阜新、长春等及哈尔滨、哲里木盟的一部分,约 270 000 km²。以 400 mm 等雨量线为界,西部以牧业为主,但在灌溉条件下可以发展一部分旱地和水田,以 600 mm 等雨量线以及地貌差异与东部山地区分,主要以旱作农业为主。水分较充足地区则大力发展水稻。农作物主

要有玉米、高粱、大豆、小麦、水稻等,其中玉米最多,形成了中国的“玉米带”,超过粮食种植面积的 60%。本地区土地利用存在的主要问题是:(1)土地利用结构不尽合理,垦殖率过高,林牧用地偏少;(2)破坏性开发,耕地退化、沙化、碱化严重;(3)土地生产率偏低。

4.2.3 以林为主的东部山地 主要包括四平-长春-榆树一线以东的多列式山地和丘陵。可分为延边—通化中山低山区和吉林—辽源低山丘陵区,面积约 130 000 km²。土地利用结构以林地为主,其面积约占本地总面积的 60%~70%,是全国重要林业生产基地。耕地仅占 7%~10%,以旱地为主,但山间盆地中种植水稻的比例占整个 NECT 带区水稻种植的 85%以上,为东北稻米集中产区。农作物有马铃薯、玉米、高粱、谷子等。本亚区土地利用存在的主要问题是:(1)农、林、牧用地结构不尽合理;(2)过伐导致森林覆盖率下降;(3)农业用地少,产量低而不稳;(4)畜牧业基础差,草山、草坡利用不充分。

根据上述分析可以看出,NECT 中土地利用方式多样,且都存在不同程度的人类过度干扰,导致陆地生态系统的退化,尤其是在近年气候变暖情况下,在草原与森林区过渡处的草甸草原地带大规模开垦农田,造成土地利用强度与格局的巨大变化,为研究土地利用在全球变化中对陆地生态系统的影响提供了广阔的场所。尤其该区域是全国玉米、大豆、水稻的集中森林产区,对于研究 C₄/C₃ 植物的不同反应机制、水稻田中痕量气体释放、森林与草原生态系统中的植物功能型(PFTs)都是适当的背景条件。

5 NECT 的遥感与模型

在野外考查和资料收集的基础上,我们对样带的植被类型结构和第一性生产力的形成进行了分析和模拟,并对样带对全球变化的响应作出了初步预测^[7,8]。

NECT 样带的植被响应模拟包括两个方面:动态仿真模型预测未来 30 年内样带第一性生产力水平的变化;静态经验模型推断全球变化影响下的植被空间位移及其样带内植被的主要环境控制因子。NECT 动态仿真模型以样带内 12 种植被类型的绿色和非绿色生物量及 3 层土壤水分作为状态变量,模拟植被生物量和生产力在环境因素(包括 CO₂ 浓度及气候因素等)的控制下与土壤水分之间相互作用的过程。利用绿色生物量与卫星遥感植被指数之间的关系,将模型进行参数化和校验,所以,模型是以遥感数据驱动的,具有较高的可信度。另外,NECT 动态仿真模型利用的空间仿真(spatial simulation)技术,有可能同时模拟植被结构和生产力的变化,较之于世界上著名的模型,如 TEM 和 CENTURY 所用的空间参考(spatially referenced)技术,有较明显的优越性。

NECT 的动态仿真模型结果显示:在温度增加 2 ℃而其它输入变量保持当前状态时,全样带区域内的绿色生物量在 30 年内下降 25%。而保持当前气候条件不变,在 30 年内 CO₂ 浓度倍增的直接效应则将导致全样带平均绿色生物量增加 30%。与上述效应相比较,降水增加 10%,而温度和 CO₂ 浓度维持当前状态时,全样带平均绿色生物量在 30 年内仅增加 3%。模拟 CO₂ 浓度倍增、10%降水增量和 2 ℃温度增量的综合作用给出全样带的总绿色生物量在 30 年内增加大约 8%。

NECT 植被类型对气候变化的响应的静态经验模型结果表明:由于气温和降水的变化,NECT 样带区域内的森林和灌丛在全球变化后面积将减少。假设在未来 30~50 年内

不发生由灌丛向森林和从草地向灌丛的转化,森林面积将减少 47%~60%,灌丛将减少 33%~40%,草地面积将显著增加,特别是丛生禾草和矮半灌木将大大增加,增加幅度为 46%~51%,草甸和草本沼泽的面积将减少 37%~67%,农作物面积不会有大的变化。样带上的植被,不论东部还是西部,均受到水分匮乏的限制,特别是西部地区。在 CO₂ 浓度倍增后,这种水分胁迫将进一步加剧。

6 NECT 的净第一性生产力 NPP 对全球变化反应的预测

周广胜和张新时^[9]以植被表面的 CO₂ 通量方程(相当于 NPP)与水汽通量方程(相当于蒸散)之比确定的植被对水的利用效率为基础,根据所建立的联系能量平衡方程和水量平衡方程的区域蒸散模式,结合植物的生理生态学特点建立了联系植物生理生态学特点和水热平衡关系的植物的净第一性生产力(NPP)模型:

$$NPP = RDI \cdot \frac{rRn(r^2 + Rn^2 + rRn)}{(Rn + r)(Rn^2 + r^2)} \cdot \exp(- (9.87 + 6.25RDI)^{0.5})$$

式中, r 为降水量, Rn 为净辐射, RDI 为辐射干燥度(= Rn/r)。该模型较优于目前国际上流行的自然植被的净第一性生产力模型——Chikugo 模型,特别是对于干旱、半干旱地区。

根据该模型对样带植被的净第一性生产力进行了分析,如表 4 及图版 II 的图 2、图 3 所示。可见植被的净第一性生产力($t DW \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)分布基本上由西向东递增,由荒漠草原的 2~3 增加到温带针阔叶混交林地带的 5~7,最大可达 7 以上。植被净第一性生产力的分布与样带的水分梯度成明显的正相关,也就是说,样带的主要决定因素在自然植被净第一性生产力水平上也得到了明显的反应。在降水减少 10%、温度增加 1.5 °C 时,从植被净第一性生产力的分布区可见,整个半湿润至湿润区的生产力有所增加,反应在生产力高于 7 的区域有所增加,而荒漠草原区则略有减小,生产力水平低于 2 的区域明显增加;在降水不变、温度增加 1.5 °C 时,生产力高于 7 的区域继续增加,而荒漠草原区变化不大,表明在水分不变情况下,热量的增加有利于湿润地区的植被生长;在降水增加 10%、温度增加 1.5 °C 时,整个半湿润至湿润区的生产力大幅度增加,反应在生产力高于 7 的区域大大增加,生产力水平低于 2 的区域趋于消失。可明显看出,限制植被净第一性生产力的主要原因在于水分供应。当然,全球气候变化因地制宜,而且本研究也未考虑植被对气候的滞后、遗传变异和动态演变,只是根据气温及降水的变化给出了样带对于气候反应的定性趋势,以了解气候变化对于植被的影响。

7 结论与将深入研究的问题

NECT 的建立与深入研究将为我国全球变化与陆地生态系统关系(GCTE)与生物多样性的研究提供一个有利的平台和载体,其本身更是一个良好的研究与综合对象。以上公布的 NECT 背景资料与初步研究成果只是提供学术界对 NECT 进行了解和参考,以期得到各学科专家们的指导、关心与参与。

今后 NECT 将着重于下列方面的研究与工作:(1)样带上的生物地球化学循环与生物地球物理过程的研究及其沿梯度的变化,主要是 CO₂、H₂O、N、P、S 和 CH₄ 循环以及能量转换的梯度差异、变化机制及其与生物群区的关系;(2)通过样带进一步完善植被(生物

群区)-气候-基质的数量关系及其格局分析,为制定更适合我国国情的生物群区生态模型建立框架与奠定基础;(3)深入进行样带土地覆盖与土地利用格局研究的自然与经济基础及其调节措施与优化管理模式;(4)样带生物多样性各层次,尤其是景观与斑块层次的研究及其梯度分析,将着重于植物功能类型(PFTs)在样带上的分布;(5)遥感研究,除利用美国国家海洋与大气管理局(NOAA)的高分辨率辐射计(AVHRR)外,还要采用更高分辨率的陆地遥感卫星(LANDSAT)与地球观测系统(SPOT)进行样带的动态模型研究;(6)建立与完善样带的全球动态植被模型(DGVMs)系统,使我国的 GCTE 研究尽快在主要方面赶上国际先进水平,为我国的全球变化国策提供依据。

参 考 文 献

- 1 Steffen W L. Rapid progress in IGBP transects. *Global Change Newsletter*, 1995. 24:15~16
- 2 IGBP Secretariat. IGBP transects. *Global Change Newsletter*, 1993. 16:4
- 3 GCTE Core Project Office. GCTE Core Research: 1993 Annual Report, Report No.1. Canberra: GCTE, 1994.
- 4 Koch G W, Scholes R J, Steffen W L *et al*. The IGBP Terrestrial Transects: Science Plan. IGBP Report No. 36. Stockholm: IGBP, 1995.
- 5 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- 6 吴传钧, 郭焕成. 中国土地利用. 北京: 科学出版社, 1994.
- 7 Gao Qiong, Zhang Xin-shi. A simulation study on response of North east China Transect to elevated CO₂ and climate change. *Ecol Appl*, 1997. 7(2):470~483
- 8 高琼, 喻梅, 张新时等. 中国东北样带对全球变化响应的动态模拟——一个遥感信息驱动的区域植被模型. *植物学报*, 1997. 39:780~790
- 9 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探. *植物生态学报*, 1995. 19:193~200

图 版 说 明

图版 I 1. 中国东北样带(NECT)的地形剖面。2. NECT 的气候梯度: a. 净第一性生产力($t DW \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)。3. NECT 的植被类型: a. 冷温性和温性山地落叶针叶林; b. 温性山地常绿针叶林; c. 温性常绿针叶林; d. 温性落叶阔叶和常绿针叶混交林; e. 温带-亚热带落叶阔叶林; f. 温带-亚热带山地落叶小叶林; g. 温性落叶小叶疏林; h. 温带-亚热带落叶灌丛和矮林; i. 温带高山密灌丛冻原; j. 温性小半灌木荒漠; k. 温性禾本杂类草原; l. 温性针茅、羊草草原; m. 温性戈壁针茅草原; n. 温性草甸; o. 温性草本沼泽; p. 耕地。4. 中国东北样带的土壤类型: a. 北方水稻土; b. 黄壤土; c. 黄垆土; d. 黑软土; e. 潮土; f. 棕土; g. 黄棕土; h. 暗棕土; i. 漂白灰化土; j. 灰森林土; k. 黑土; l. 白浆土; m. 黑钙土; n. 栗钙土; o. 棕钙土; p. 暗草甸土; q. 灰草甸土; r. 沼泽土; s. 盐土; t. 流沙。

图版 II 1. NECT 的土地利用格局: a. 牧区; b. 农区和牧区; c. 农区; d. 林区。2. 全球变化后 NECT 的净第一性生产力(年平均气温增加 1.5℃, 年降水量不变), 图注为净第一性生产力等级。3. 全球变化后 NECT 的净第一性生产力(年平均气温增加 1.5℃, 年降水量增加 10%), 图注为净第一性生产力等级。

Explanation of Plates

Plate I Fig. 1. Topographic section of Northeast China Transect (NECT). Fig. 2. Climate gradients along NECT: a. NPP ($t DW \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$). Fig. 3. Vegetation types along NECT: a. Cool temperate and temperate montane deciduous coniferous forest; b. Temperate montane evergreen coniferous forest; c. Temperate evergreen coniferous forest; d. Temperate deciduous broadleaved-evergreen coniferous mixed forest; e. Temperate-subtropical deciduous broadleaved forest; f. Temperate-subtropical montane deciduous micro-leaved forest; g. Temperate deciduous micro-leaved woodland; h. Temperate-subtropical deciduous shrubland and elfin forest; i. Alpine scrub tundra in temperate zone; j. Temperate nanosuffruticose desert; k. Temperate gramineous-forb steppe; l. Temperate caespitose-gramineous steppe; m. Temperate caespitose-nanogramineous-nanosuffruticose steppe; n. Temperate meadow; o. Temperate herboso-bog; p. Agricultural land. Fig. 4. Soil types along NECT: a. Boreal rice paddy soil; b. Yellow yan soil; c. Yellow lu soil; d. Black mellow soil; e. Humid soil; f. Brown earth; g. Cinnamon soil; h. Dark brown earth; i. Bleached grey soil; j. Grey forest soil; k. Black earth; l. Whitish soil; m. Chernozem; n. Chestnut soil; o. Brown soil; p. Dark meadow soil; q. Grey meadow soil; r. Bog soil; s. Saline soil; t. Drift sand.

Plate II Fig. 1. Land use pattern along NECT: a. Pastoral area; b. Farming and pastoral area; c. Farming area; d. Forestry area. Fig. 2. NPP of NECT for global change ($T + 1.5^\circ C$, $P + 0\%$). The legend is class of NPP. Fig. 3. NPP of NECT for global change ($T + 1.5^\circ C$, $P + 10\%$). The legend is class of NPP.