

# 全球变化与中国东北样带(NECT)

周广胜,王玉辉,蒋延玲

(中国科学院 植物研究所 植被数量生态学开放研究实验室,北京 100033)

**摘要:**全球变化陆地样带是从机理上理解陆地生态系统对全球变化的响应,预测全球变化对陆地生态系统的可能影响,实现预警、调节和减小全球变化不良影响,科学地规划和管理陆地生态系统的有效研究平台。在介绍国际全球变化陆地样带提出的背景与选定标准、中国东北样带的位置与特征的基础上,较系统地总结了近年来中国东北样带的研究进展;建立了用于模型发展和比较的不同时间和空间尺度的中国东北样带数据集,从机理上初步探讨了全球变化对于森林、草甸草原和典型草原的可能影响,发展了用于古植被-气候重建的植物种与表土花粉类型的定量关系模型、多尺度耦合的羊草草原生态系统动态模型和基于林窗原理的森林生态系统动态模型,并对全球变化对中国东北样带的影响进行了初步评估,进而针对我国作为发展中国家,财力有限的特点,提出未来中国东北样带研究拟充分利用我国特殊的生态环境与区域特色,围绕“生态过程与生态安全及其对全球变化的响应与反馈”这一关键科学问题,做出一些在国际上既有显示度,又服务于我国社会经济可持续发展的研究成果。

**关键词:**中国东北样带;全球变化;古全球变化;模型;遥感

**中图分类号:**Q948;X14;S181 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2002)01-0198-19

以“气候变暖”为标志的全球变化及其对人类生存环境的严重影响已经引起了科学家、各国政府与社会各界的严重关注<sup>[1]</sup>。发展监测与预测陆地生态系统变化的模式,找出应对全球变化不良影响的策略、方法和途径,以达到预警、调节和最大限度地减小全球变化不良影响的效果,保证地球成为一个适于人类生存与持续发展的生命支持系统已经成为当前迫切需要解决的生存问题。正是在这一形势下,国际科联(ICSU)于1986年制定了旨在研究温室效应所造成的全球环境变化及其对生态系统影响的“国际地圈-生物圈计划”(IGBP)。该计划的实施标志着世界科学界对“全球变化”这一全球性问题展开了全面的联合研究。目前,全球变化研究主要是由四个相互独立、相互依存的国际科学研究计划组成:以研究气候系统中物理问题为主的世界气候研究计

划(WCRP),以研究地球系统中生物地球化学循环及过程为主的国际地圈-生物圈计划(IGBP),以研究全球环境变化的人类因素为主的全球环境变化的人类因素计划(IHDP)和生物多样性科学国际计划(DIVERSITAS)。

## 1 全球变化陆地样带提出的背景与意义

陆地生态系统是人类赖以生存与持续发展的功能基础,是全球变化研究的核心。全球变化不仅影响植物的生理生态特征,而且在植物叶片、个体、群落、生态系统、景观、区域等层次都有不同程度的反映。要全面准确地理解全球变化与陆地生态系统之间的相互作用,达到预测全球变化对陆地生态系统影响的目标就必须了解全球变化对陆地生态系统各个层次的反应机理,对不同时间和空间尺度的观测资料进行系统的集成分析。正是在这一形势下,1993年8月由国际地圈-生物圈计划的核心项目“全球变化与陆地生态系统(GCTE)”组织,美国国家航天局(NASA)实施的“生态过程和模拟计划”项

收稿日期:2001-12-29;修订日期:2002-01-04

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G1999043407);国家自然科学基金项目(30028001;39730110)

作者简介:周广胜(1965—),男,博士,研究员,生态学专业,中国国际地圈-生物圈计划国家委员会委员(IGBP-CNC)及中国“全球变化与陆地生态系统”工作组组长。

目资助,在美国加利福尼亚的马可尼会议中心举办了“全球变化与陆地生态系统关系”研讨会。在这次会议上提出了全球变化的陆地样带研究方法,并确定了首批启动的4条IGBP陆地样带:北澳大利亚热带样带、北美中纬度样带、中国东北样带和阿根廷样带<sup>[2,3]</sup>。

全球变化的陆地样带<sup>[2]</sup>是由一系列沿着某种具有控制陆地生态系统结构、功能和组成,生物圈-大气圈的痕量气体交换和水分循环的全球变化驱动力:温度、降水和土地利用梯度变化的生态研究站点、观测点和研究样地组成的研究平台,其长度应不小于1000 km,以确保覆盖气候和大气模式以及决策尺度,并有足够宽度(数百 km)以涵盖遥感影像范围。这一地理范畴的要求也是为适应大气环流模式(GCMs)运行的最小单元(4°·4°或8°·10°(经度、纬度))。全球变化陆地样带反映了全球变化的某一主要驱动因素的梯度变化,但一些非主要驱动因素也会在样带上得到一定程度的体现,这对于确定多变量的相对重要性及其相互关系是有益的。由于陆地样带可以作为分散的研究站点的观测研究与一定的空间区域综合分析的桥梁以及不同时间尺度和空间尺度模型之间的耦合与参数转换的媒介,尤其是进行全球变化驱动因素梯度分析的有效途径,很快被国际地圈-生物圈计划的其它核心项目及非国际地圈-生物圈计划的研究项目(如生物多样性研究)所采用,成为一种重要和有效的研究手段。同时,由于样带能够促使不同学科领域与不同单位和国家的科学工作者在同一地点进行研究,共同使用研究设备,便于学术交流与融合,不仅是促进与加强IGBP各核心项目之间协作的一种有效手段,也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<sup>[4]</sup>。因此,到1995年,国际地圈-生物圈计划基于不同地区全球变化驱动因素的不同以及全球变化的潜在反馈作用强度的不同,在全球4个关键地区共启动了14条IGBP陆地样带(表1),中国东北样带即为IGBP陆地样带之一<sup>[2,5]</sup>。

尽管各陆地样带的研究内容因研究的对象、地区和特征而不同,但基本上包括<sup>[5]</sup>:(1)气候-植被的相互作用;(2)生态系统生理学(ecosystem physiology);(3)生态系统的结构、功能与动态;(4)不同层次生物多样性与气候变化的关系;(5)生物地球化学过程(如痕量气体的发散,碳或氮循环等);(6)净第一性生产力形成过程;(7)土地利用的格局与强度;

(8)遥感分析与监测;(9)环境历史演变规律;及(10)动态模型及变尺度耦合。

表1 国际地圈-生物圈计划陆地样带的优先区域、特征及其陆地样带

Table 1 Prior regions, characteristics and IGBP-terrestrial transects in the world

关键地区	样带名称及编号	陆地植被	全球变化的主要驱动因素	全球变化的次要驱动因素
潮湿热带地区	卡拉哈里样带(1) 稀树草原样带(2) 北澳大利亚热带样带(3)	热带森林及其农业派生群落	土地利用强度	降水
中纬度半干旱地区	阿根廷样带(4) 中国东北样带(5) 北美中纬度样带(6)	森林-疏林-灌丛	降水	降水与养分状况
高纬度地区	西伯利亚远东样带(7) 西西伯利亚样带(8) 欧洲样带(9) 北方林样带(10) 阿拉斯加纬度样带(11)	北方森林-冻原	温度	土地利用强度
半干旱热带地区	亚马逊样带(12) 迈阿密宝森林样带(13) 东南亚样带(14)	森林-疏林-灌丛 (稀树草原)	降水	土地利用强度与养分状况

## 2 中国东北样带的位置与特征

中国东北样带(NECT: NorthEast China Transect)又称中国东北温带森林-草原样带,最初是在1991年张新时院士承担以叶笃正院士为首席科学家主持的国家85攀登项目“我国未来(20~50年)生存环境变化趋势的预测研究”第四课题“典型环境敏感区的监测及其对气候变化响应的研究”时提出的。当时,该样带包括长白山森林生态系统定位研究站,内蒙古锡林郭勒草原生态系统定位研究站与毛乌素沙地草地生态系统定位研究站。张新时先生根据IGBP/GCTE样带设置的要求设定了中国东北样带的确切位置,应用中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室自行研制的地理信息系统软件-生态信息系统(EIS)进行了中国东北样带的生态分析。1993年8月在美国加利福尼亚的马可尼会议中心举办的“全球变化与陆地生态系统关系”研讨会上报告了该样带的初步分析结果,并正式将中国东北样带的英文名缩写定名为NECT,被IGBP正式列为IGBP陆地样带之一<sup>[3]</sup>。

### 2.1 地理位置

NECT位于东经112°、130°30'范围内,沿43°30'为中线设置,东西长约1600 km,样带宽跨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部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。

## 2.2 样带特征

NECT 之所以被选定为 IGBP 的陆地样带, 成为我国第一条国际性的全球变化研究样带, 其设置具有重要的意义<sup>[5]</sup>。

(1) 气候: 沿样带由东向西表现为温带湿润区, 温带湿润半干旱区, 以及温带半干旱、干旱区, 代表着由海洋性湿润气候逐渐过渡到大陆性干旱气候, 也是由季风型气候向内陆反气旋高压中心的过渡。

该样带东部地处欧亚大陆东缘, 东临日本海, 西接内蒙古高原。冬季经常受蒙古高压的控制, 气候严寒而干燥; 夏季受海洋气团影响, 暖热多雨, 属典型的海洋性气候。样带的中西部地处内蒙古高原典型草原区, 是欧亚大陆草原区的东缘, 具有典型的内陆半干旱气候特点。在大气环流上表现为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。样带的西部地处阴山山脉以北的层状高平原区——乌兰察布高原东北部的荒漠草原区域, 其气候直接受蒙古高压支配, 海洋季风影响较弱, 已进入内陆干旱区范围。夏季在东南季风的影响下也有一定的降水, 但蒸发作用强烈, 全年多风, 热量高于典型草原区。

沿样带由东向西表现出明显的降水梯度变化, 反映了东亚中纬度温带最显著与关键性的气候变化因素。在样带最东端的长白山北麓与张广才岭, 年降水量可达 700 mm, 长白山北坡高处的降水量可达 800 mm; 中部农业区的降水量为 580~600 mm; 大兴安岭山地草甸草原区域的降水量仍可达 500 mm; 大兴安岭南缘西段及内蒙古高原典型草原区的年降水量为 250~400 mm; 而样带最西端的荒漠草原区, 年降水量则少于 200 mm。表 2 给出了沿样带的降水/湿润梯度变化。由于该样带沿纬度设置, 各地热量的差异主要是由于地形起伏而造成, 以中部松辽平原的热量指数最高, 东西两端的山地或高原区则较低(表 2)。

表 2 沿中国东北样带(43°30′)的降水/湿润梯度和热量梯度  
Table 2 Precipitation /moisture and thermal gradients along NECT

降水/湿润梯度指标	变化范围	热量梯度指标	变化范围
年均降水	177~706 mm	年均气温	1.8~5.8℃
一月降水	0.3~10.5 mm	一月均温	-20.6~-12.0℃
七月降水	67~197 mm	七月均温	19.8~23.6℃
湿度指数 (IM, Thornthwaite)	-35.5~45.0 mm	生物温度	7.2~9.5℃
湿度系数 (K, Kira)	2.6~9.3	潜在蒸散	423~558 mm
辐射干燥度 (RDI, Budyko)	0.6~1.94	温暖指数 (Kira)	53.6~78.7℃
潜在蒸散率 (PER, Holdridge)	0.62~2.68	寒冷指数 (Kira)	-98~-63.2℃

(2) 地形: 沿 NECT 海拔高度从 117~1700 m, 没有太高的山脉, 最高海拔位于内蒙古高原。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。地形(地貌)沿样带由东向西基本上可分为 3 段(张新时等, 1997): 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 500~1200 m, 在地貌上属垒堑构造上的断隆山地。②中部的松嫩平原与西辽河谷地; 这一地区地势平坦开阔, 以冲积平原为主, 间有微起伏的岗地, 海拔高度在 50~400 m, 为先裂后拗的现代掀升萎缩盆地地貌。③西段的大兴安岭南部山地和内蒙古高原; 大兴安岭南段属中低山, 高处不过 1200 m, 地貌上属断褶构造上的微掀斜盆地。大兴安岭南部山地以西的内蒙古高原为宽坦起伏的高原, 海拔高度为 1000~1300 m, 其上有缓隆低山, 高度不过 300 m, 是水平岩层构成的蚀余高原地貌。

地质构造是形成地貌和成土母质的基础, 沿 NECT 样带的地质构造相当复杂, 样带的中部地区大致为比较稳定的平地, 东西两侧山地多属地槽, 西侧为大兴安岭和内蒙古褶皱带, 东侧为地槽和地面之间的过渡性标准褶皱带及太平岭和乌苏里褶皱带。沿样带 43°一线为界, 北部为东北地块, 南部为华北地块。

(3) 土壤: 沿样带由东向西, 地带性土壤类型有暗棕壤、黑土、黑钙土、栗钙土和棕钙土 5 类; 非地带性土壤, 又称隐域性土壤, 主要是由于受水文、地貌以及成土母质等局地因素的影响而造成, 主要有白浆土、沼泽土、草甸土、碱土、冲积土、苏打盐土及海滨氯化物盐土 7 类。①暗棕壤: 是暗棕色森林土的

简称, 又称灰棕色森林土, 系温带湿润地区针阔混交林下发育的森林土壤, 其原生植被是以红松为主的针阔叶混交林, 主要分布北纬  $42^{\circ} \sim 46^{\circ}$ 、东经  $126^{\circ} \sim 131^{\circ}$ , 包括东北平原以东的广阔山地。该地区山地暗棕壤的母质几乎全是残积或坡积类型, 排水良好; 平地暗棕壤的母质或为坡积类型、或为湖积、冲积类型, 排水不良。

② 黑土: 主要分布在长白山的山前波状起伏台地的中上部或丘陵平原上, 成土母质主要为洪积黄土状粘土, 排水良好, 土壤具有深厚的腐殖质层、肥力高。

③ 黑钙土: 该类土壤的成土母质主要由壤质或轻壤质黄土状淤积物构成, 气候条件较暗棕壤和黑土干燥, 植被主要为草原或草甸草原, 目前大多已开垦为农田。

④ 栗钙土: 系典型草原下发育的土壤, 气候条件属温带半干旱大陆性气候, 光照条件好, 降水较少。沿着样带由东向西气温逐渐升高、降水则逐渐减少, 导致栗钙土的色质稍有差异, 由东向西表现为暗栗钙土、栗钙土、淡栗钙土。

⑤ 棕钙土: 系荒漠草原下发育的土壤, 气候条件属温带干旱大陆性气候, 光照条件好, 降水少, 蒸发强。该类土壤腐殖质含量低, 土壤腐殖质深度一般约  $15 \sim 20 \text{ cm}$ , 主要集中于  $5 \sim 10 \text{ cm}$  深处, 表面常有盐分聚集。

⑥ 白浆土: 又称灰化土、生草灰化土、棕色灰化土、脱碱土, 是一种滞水发育性半水成土壤, 一般在腐殖质层下 (通常是  $20 \text{ cm}$  以下处) 有一灰白色土层, 土壤表层和地表水丰富, 主要分布于海拔  $300 \text{ m}$  以上的山间谷地、盆地和山前台地, 主要植被类型为疏林和草甸。

⑦ 沼泽土: 是由于地形、气候、水分和母质等因素引起的土壤表层长期或周期性积水而形成的, 由泥炭层和潜育层组成, 有利于喜湿性植物生长, 形成各种沼泽植物群落。主要分布于地势低洼地段, 山地分水岭的碟形地, 封闭的沟谷盆地, 冲积扇前缘或扇形地间的洼地, 河流会合点等。

⑧ 草甸土: 是在草甸植被作用下, 表层土壤有机质积累和土层下部直接受地下水浸润形成的, 有季节性氧化-还原交替过程或称潜育化过程。母质以淤积物为主, 也有少量的洪积物。土壤腐殖质含量高, 有时可高达  $5\% \sim 10\%$ 。主要分布于冲积平原、泛滥地及低阶地中的低洼地, 植被主要由喜湿性的草甸植被组成。

⑨ 碱土与盐土: 这两类土壤发生关系密切, 除滨海地区仅是盐土外, 其它地区这两类土壤均成复区存在, 统称盐渍土或盐碱土, 主要是由地下水和地表水携带可溶性盐通过土壤毛细管或由地表流入低洼平坦排水不良地段, 经多年累积形成。该

类土壤从低平的阶地、湖滨、缓坡洼地到切割的剥蚀高原都有分布。由于大量盐分的聚集, 严重地抑制了植物的生长, 甚至出现地表无植被的光板地。

(4) 植被及其多样性: 沿该样带的植被类型或地带性可分成东、中、西 3 段, 即东部温带针阔叶混交林地带, 中部低地草甸、农田地带与西部温带草原地带 (含 3 个亚带)。受气候、地形、基质和人为干扰等因素的作用, 沿样带植被自东至西依次表现为温带针阔叶混交林 (红松 *Pinus koraiensis*、杉松 *Abies holophylla*)、暖温带次生落叶阔叶林 (蒙古栎 *Quercus mongolica*)、松辽平原农业区 (水稻、玉米、小麦), 松辽平原草甸草原 (羊草 *Aneurolepidium chinenses*、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, 并包含了各植被区或植被地带之间的生态过渡区<sup>[6,7]</sup>。

① 温带针阔叶混交林区域: 位于北纬  $42^{\circ} \sim 46^{\circ}$ 、东经  $126^{\circ} \sim 131^{\circ}$ , 包括东北平原以东的广阔山地。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, 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。主要植物群落类型有: 红松-鱼鳞云杉-红皮云杉-臭冷杉林群落 (*Pinus koraiensis*, *Picea jezoensis*, *Picea koraiensis*, *Abies nephrolepis*)、红松-紫椴-枫桦林群落 (*Pinus koraiensis*, *Tilia murensis*, *Betula costata*)、红松林群落 (*Pinus koraiensis*) 和沙冷杉-春榆-红松林群落 (*Abies holophyllum*, *Ulmus japonica*, *Pinus Koraiensis*)。红松针阔叶林被破坏后, 常形成次生落叶阔叶林 (蒙古栎林, 杂木林, 山杨白桦林)。

② 松辽平原栎林草原、农田区域: 位于北纬  $42^{\circ} 30' \sim 46^{\circ}$ 、东经  $121^{\circ} \sim 126^{\circ}$ , 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过渡的地带。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 松辽平原草甸草原区域:位于北纬  $42^{\circ}30' \sim 46^{\circ}$ 、东经  $117^{\circ} \sim 125^{\circ}$ ,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。该区域主要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 armemiacavar. 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-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*) 等半灌木群落。草甸及沼泽植被广布于各种低湿生境上。

④ 大兴安岭山地草甸草原区域:位于北纬  $44^{\circ} \sim 46^{\circ}$ 、东经  $117^{\circ} \sim 122^{\circ}$ ,大兴安岭的西南侧,沿山前丘陵呈带状延伸。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征;在植物区系方面,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,常见群系有贝加尔针茅-线叶菊草原、贝加尔针茅-丛生小禾草草原和贝加尔针茅-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。

⑤ 内蒙古高原典型草原区:位于北纬  $42^{\circ} \sim 46^{\circ}$ 、东经  $113^{\circ} \sim 119^{\circ}$  的内蒙古高原中部。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、洽草 (*Koeleria cristata*) 以及寸草苔 (*Carex stenophylla*)、黄囊苔 (*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、糙隐子草草原和冷蒿草原。

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,最具代表性的是戈壁针茅草原群系。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*)、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。

(5) 土地利用格局:土地利用格局的形成是人类社会经济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。中国东北样带由东向西表现为纯森林区-一半林半农区-纯农业区-(城市/工业区)-一半农半牧区-纯牧区的完整序列与过渡,土地利用的强度也有着显著的变化。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,本样带自西至东可划分成3段<sup>[6,9]</sup>: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部分,面积约 300 000 km<sup>2</sup>,占整个样带的 50%。该区土地利用最突出的特点是草地占据了绝大部分面积,以牧业为主。② 农牧交错的中部平原:主要包括样带区内的白城、松源、四平、辽源、铁岭、阜新、长春等及哈尔滨、哲里木盟的部分,面积约 270 000 km<sup>2</sup>。该区土地利用特点是中段平原以农牧为主,东段以林为主。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%。③ 以林为主的东部山地:主要包括样带区内的四平-长春-榆树一线以东的多列式山地的丘陵,可分为延边一

通化中山低山区和吉林—辽源低山丘陵区,面积约130 000 km<sup>2</sup>。该区以林地为主,其面积约占本区总面积的60%~70%,是全国重要林业生产基地;耕地面积仅占7%~10%,以旱地为主,但山间盆地种植水稻的比例占整个样带区水稻种植面积的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。

综上所述,样带土地利用方式多种多样,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,尤其是近年来气候变暖,在草原和森林过渡区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发生巨大变化,为研究土地利用在全球变化中的作用及其对于陆地生态系统的影响提供了广阔的研究场所。特别是,该区是全国玉米、大豆、水稻的集中产区,为研究C<sub>4</sub>/C<sub>3</sub>植物的不同反应机制,水稻田中的痕量气体释放,森林与草原生态系统中的植物功能型(PFTs)提供了理想的研究地点。

(6) 环境历史演变:沿着样带的一系列湖泊沉积与沼泽湿地的泥炭沉积为环境历史演变研究提供了实验地,而沿样带丰富的历史文献资料为研究样带的人文、土地利用与环境变迁的关系提供了基础。

(7) 长期生态定位研究站及研究贮备:沿样带已有4个建立多年、有长期定位观测积累与研究工作的生态台站,它们是属于中国科学院生态台站网络系统(CERN)重点站与国际人与生物圈计划(MAB)自然保护网络站的长白山森林生态系统定位研究实验站(属于中国科学院沈阳应用生态研究所)和内蒙古锡林格勒草原生态系统定位研究站(属于中国科学院植物研究所),以及长岭(松嫩平原)草地实验站(东北师范大学草地生态研究所)和乌兰敖都(科尔沁)沙地实验站(属于中国科学院沈阳应用生态研究所)。这些定位研究站已对样带区内的温室气体排放、养分与物质(C、N、H<sub>2</sub>O等)循环、能量转换、水蚀—风蚀过程、盐分积累等的变化规律进行了大量的观测与研究,具有较强的科研力量与研究储备。

### 3 中国东北样带研究进展

中国东北样带自1993年8月在美国加利福尼亚的马可尼会议中心举办的“全球变化与陆地生态系统关系”研讨会上被正式列为IGBP陆地样带以后,1994年发表的GCTE核心研究报告中进一步提

出了发展IGBP陆地样带系统的全球概览,在国际上明确地提出了NECT(GCTE Core Project Office, 1994)。1995年IGBP于北京召开第四次科学顾问委员会(SAC IV)国际学术会议上又特邀张新时先生以NECT为主题作大会报告,受到大会强烈关注。1995年IGBP的36号报告中提出在全球四个关键地区启动IGBP陆地样带,NECT即为中纬度半干旱区的IGBP陆地样带之一<sup>[2]</sup>。不仅如此,IGBP的36号报告还突出地报告了NECT的研究现状,在其彩色图版的全部5幅彩图中,4幅取自NECT,另一幅为IGBP全球样带分布图,明显标注了NECT的位置。NECT还受到日本生态界的极度重视,1995年京都大学生态研究所提出与中国科学院植物研究所合作于1996年5月6—8日在北京召开“全球变化与生物多样性的样带研究国际学术会议”。来自美国、俄罗斯、英国、加拿大、日本、法国、韩国、中国等16个国家和地区的科学家提交了论文摘要,来自11个国家的近85名科学家出席了大会。

可见,中国东北样带(NECT)被确定为国际地圈—生物圈计划的陆地样带不仅是由于该样带的科学选择具有很大的代表性和关键意义,还意味着我国的全球变化研究,特别是全球变化与陆地生态系统相互关系的研究已具有相当的基础,在理论与方法方面均达到了国际水平,并具有自己的特色和突出的方面。这对于我国全球变化的研究无疑是一个极其重要的步骤。全球变化的绝大部分研究焦点与重要方面均可在样带上进行,可得到更精于面上与更广泛于点上研究的效果,而且样带的研究成果亦具有重要而具体的示范意义。

中国东北样带研究的关键科学问题是水分变化(和土地利用变化)如何影响植物功能类型的组成、土壤有机质、净第一性生产力、痕量气体通量和土地利用分布。具体而言,中国东北样带研究的目的在于了解全球变化对于中国东北样带的影响机制,建立多尺度耦合的生态系统动态模型,预测全球变化对陆地生态系统的可能影响,评估陆地生态系统碳收支,进而探讨陆地生态系统对于全球变化的适应对策。

在国家自然科学基金委员会、国家科技部和中国科学院的大力资助下,特别是在国家“八五”攀登项目“我国未来生存环境变化趋势预测研究”和国家自然科学基金委“九五”重点项目“全球变化的中国

东北森林-草原样带研究”的共同资助下,以中国东北样带为研究对象,以样带上3个长期定位生态观测台站:长白山森林生态系统定位研究实验站、内蒙古锡林格勒草原生态系统定位研究站和长岭(松嫩平原)草地实验站为研究基点,采用野外样带调查与考察、生态系统定位观测、样带优势植物对环境胁迫的模拟试验、室内分析、生态建模及地理信息系统相结合的综合研究方法,综合研究中国东北样带对气候变化的反应,大大促进了中国全球变化的研究,取得了丰硕的成果。

### 3.1 全球变化的中国东北样带数据库

大量准确的观测资料是研究中国东北样带对气候变化响应的机理及建立模型的关键。基于中国东北样带各种背景图件(地形、地质、地貌、土壤、水文、气候等)的数字化,沿中国东北样带每25 km一采样点的高密度高强度综合野外考察(1994年,1997年,1998年和2001年),以及在样带上3个长期定位生态观测台站:长白山森林生态系统定位研究实验站、内蒙古锡林格勒草原生态系统定位研究站和长岭(松嫩平原)草地实验站的典型生态系统的叶片-个体-生态系统不同层次的综合观测、样带优势植物对环境胁迫(水分、温度和CO<sub>2</sub>浓度)的模拟试验,结合遥感资料、相关文献资料的收集,借助于计算机及地理信息系统,首次建立了用于模型发展和比较研究的不同时间和空间尺度的全球变化中国东北样带数据集,包括用于古气候和古植被重建的表土花粉和剖面孢粉数据库、现代的用于景观至区域尺度气候-植被关系研究的植被、土壤、地形、土地利用、气象、遥感(NDVI)、植被生物量和生产力、样带植物叶片的光合作用数据库,以及用于个体至生态系统水平动态模拟的土壤呼吸作用、主要优势种植物的光合生态生理特性、优势植物群落的光合作用及地上/地下生物量与生产力、土壤理化性状、凋落物分解、优势植物C、N、P、S含量、小气候梯度的动态监测等数据库。这些数据库的建立为研究各因子之间的相互关系,尤其是气候与植被/生态系统的相关性与动态趋势,及其对农林牧业的影响,并通过遥感照片对样带进行动态监测,揭示生态系统对气候变化的响应机制、建立多尺度集成的全球变化生态模型,加深对全球变化及其可能影响的了解及提出应对的策略奠定了基础。

### 3.2 古植被-气候重建的表土花粉与植被定量关系

沿着中国东北样带存在着一系列的湖泊沉积与

沼泽湿地的泥炭沉积,借助于孢粉学研究方法,可以建立中国东北样带的时空环境历史演变序列,从而了解植被的过去,认识植被现在的分布格局,为进一步预测未来植被的变化奠定基础。

表土孢粉资料作为古孢粉-古植物二者间的参照和对比物,能够检验孢粉分析用于植被恢复、重建的敏感性和能力,以判定古孢粉资料应用于古植被复原时的准确性。要利用古孢粉资料准确地重建古植被必须对表土孢粉与古植被的关系进行深入研究,才能将基于古孢粉资料恢复古植被的误差降到最小。基于中国东北样带东部森林区的植被样方调查和表土花粉资料,李宜垠等<sup>[4]</sup>定量分析了每种植物与表土花粉类型的关系,指出花粉类型与植物关系密切。在 $\alpha=0.05$ 显著水平时植被花粉类型的相关系数 $C$ (correlative coefficient)大都在0.5以上;表土花粉组合与植物群落间有较大的相似性,相似系数( $C_c$ )大于50%。利用定量描述花粉与植物关系的参数:联合指数 $A$ (association index)、超代表性指数 $O$ (over-representation index)、低代表性指数 $U$ (under-representation index)、相关系数 $C$ 和代表性系数 $R$ (representation coefficient),结合TWINSPAN分类、PCA排序和回归分析方法,将东北样带东部森林区69种表土花粉类型划分成4个传粉生物学特性及其对植被的代表性有着明显差异的花粉类群组:(1) Group 1包含的花粉种类有:栎(*Quercus*)、白蜡树(*Fraxinus*)、丁香(*Syringa*)、椴(*Tilia*)、榆(*Ulmus*)、马鞍树(*Maackia*)、鹅耳枥(*Carpinus*)、茶藨子(*Ribes*)、鼠李(*Rhamnus*)、胡枝子(*Lespedeza*)、悬钩子(*Rubus*)、铁线莲(*Clematis*)、沙参(*Adenophora*)、苦苣菜(*Ixeris*)、委陵菜(*Potentilla*)、鸢尾(*Iris*)、野豌豆(*Vicia*)、堇菜(*Viola*)、落新妇(*Astilbe*)、蒲公英(*Taraxacum*)。(2) Group 2包括的种类有:松(*Pinus*)、桦(*Betula*)、胡桃(*Juglans*)、柳(*Salix*)、榛(*Corylus*)、五加(*Acanthopanax*)、菊科(*Compositae*)、蒿(*Artemisia*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、蓼科(*Polygonaceae*)。(3) Group 3包括的种类有:云杉(*Picea*)、落叶松(*Larix*)、黄菠萝(*Phellodendron*)、槭(*Acer*)、莢迷(*Viburnum*)、山梅花(*Philadelphus*)、黄芩(*Scutellaria*)、绣线菊(*Spiraea*)、溲疏(*Deutzia*)、柴胡(*Bupleurum*)、禾本科(*Gramineae*)、酢浆草(*Oxalis*)、碎米荠(*Cardamine*)、唐松草(*Thalictrum*)、山茄子

(*Brachybotrys*)、茜草(*Rubia*)、唇形科(*Labiatae*)、虎耳草(*Saxifraga*)、卫矛(*Euonymus*)、扁蓿豆(*Melissitus*)。(4) Group 4 包括的种类有: 乌头(*Aconitum*)、莎草(*Cyperaceae*)、糙苏(*Phlomis*)、孩儿参(*Pseudostellaria*)、百合科(*Liliaceae*)、苔草(*Carix*)、蔷薇科(*Rosaceae*)。

Group 1 称为具代表性类群组, 能够正确地反映植被类型; 超代表性类群组(Group 2), 常具有高花粉值, 与植被不成比例。Group 1 和 Group 2 中既有乔木、灌木, 也有草本。低代表性类群组(Group 3)的花粉很难分离提取, 该类群组以虫媒植物花粉占绝对优势, 并且以草本为主, 乔木和灌木很少。低代表性类群组(Group 4)全为草本, 风媒和虫媒植物花粉都有, 其花粉在土壤地层中较常见。一些风媒植物花粉一落叶松、云杉、禾本科等具有低代表性, 主要是由于在土壤中不易保存所致。

李宜垠<sup>[10]</sup>对 Davis(1963)的代表性系数  $R$  与描述花粉与植物关系的参数联合指数  $A$ 、超代表性指数  $O$  和低代表性指数  $U$  进行了比较, 指出它们有着显著的区别。前者是用花粉百分含量与相对植物盖度的比率来定义, 主要受当地植物成分和花粉产量的影响。 $R$  值随时空变化, 无法处理外来花粉的影响, 具有不稳定性, 因而使用该参数进行花粉类型反演时容易出现不准确性。后者是由花粉散布特性及花粉产量所决定, 考虑了外来花粉的影响, 是一个稳定的值, 主要与传粉方式、花的特性和花粉粒的大小有关。但两类系数均是校正地层花粉数据的良好参数, 并建立了联合指数  $A$  与代表性系数的回归关系<sup>[9, 10]</sup>:

$$A = -0.0421R^2 + 0.2425R + 0.3926$$

$$(r^2 = 0.6021)$$

松(*Pinus*)、桦(*Betula*)、栎(*Quercus*)、椴(*Tilia*)、槭(*Acer*)、榆(*Ulmus*)、蒿(*Artemisia*)、藜(*Chenopodiaceae*)、禾本科(*Gramineae*)和莎草科(*Cyperaceae*)是花粉分析中常见的和重要的类型, 它们与植被类型的定量关系对于重建生物群区有着重要的作用。但以往的研究主要集中在乔木花粉, 并且对同一种花粉类型在不同植被类型中与植被定量关系的对比研究较少。李宜垠<sup>[11]</sup>基于中国东北样带植被样方调查和表土花粉资料, 比较分析同一种花粉类型在中国东北样带东部森林区和西部草原区的回归参数变化, 指出这 10 种花粉类型除松外, 都与植物类型存在着显著的相关性。其中, 栎属的

相关系数最高, 达到 0.89; 松粉与植物的相关性不显著。在样带东部森林区, 乔木花粉松、桦、栎、椴与植物类型显著相关, 相关系数均大于 0.69, 而槭和榆及草本植物花粉蒿、藜、禾本科、莎草科则与植物类型的相关性不显著。在西部草原区, 草本花粉蒿、藜、莎草科却与植物类型显著相关, 相关系数均大于 0.6; 乔木花粉除榆外, 其余的花粉由于缺乏自变量的非零值无法计算相关系数<sup>[9]</sup>。

花粉百分含量与植物重要值的斜率和截距是源地花粉量和外来花粉数量的函数, 斜率反映了源地花粉产量间的差异, 而截距则反映了花粉数量的多少。因此, 斜率和截距可使不同种属间的花粉-植物关系的对比研究简化。李宜垠等<sup>[9]</sup>分析了样带上 30 个样方的植被调查和表土花粉资料, 指出松、桦、藜、蒿有相对高的截距和斜率, 属于超代表性类型; 栎、椴、榆的斜率和截距是互为消长的, 花粉百分比与植被重要值近相等, 属于具代表性类型; 槭、莎草和禾本科的斜率和截距都较低, 花粉的百分比小于植被重要值, 属于低代表性类型。但是, 各个地区之间常见花粉百分比的截距值和斜率值并不相等, 这预示着用斜率和截距来研究花粉类型对植被类型的代表性还有一定的局限性。

### 3.3 中国东北样带的气候-植被定量关系

(1) 植物光合功能型: 不同光合型( $C_3$ ,  $C_4$  和 CAM)植物对环境因子的响应差异很大, 了解样带上不同光合型植物的分布是准确模拟植物光合作用及其对全球变化响应的关键。唐海萍<sup>[12]</sup>发现沿中国东北样带  $C_4$  植物分布呈现出两低两高趋势, 即东部森林区、草甸草原和典型草原区  $C_4$  植物分布较少, 而中部的松辽谷地和西端的荒漠草原区  $C_4$  植物分布较多。基于植物生理生态参数(光合速率、气孔导度和叶温与大气温度之差)构建了植物光合功能型判别模型<sup>[13, 14]</sup>, 用马氏距离和后检验判别准则回判的准确率达到 98.48%。影响  $C_4/C_3$  植物( $Y$ )分布的主导环境因子为年均温( $T_a$ )和 2 月( $P_2$ )及 9 月份( $P_9$ )的降水, 并应用回归分析方法分别建立了整个样带及样带草原区  $C_4/C_3$  与环境因子的相关方程<sup>[15]</sup>:

$$\text{整个样带: } Y = 0.043823 + 0.10787T_a - 0.464594P_2 + 0.040049P_9$$

$$(p < 0.001, n=5, R=0.8325)$$

$$\text{样带草原区: } Y = 1.0525 + 0.3974P_1 - 0.00074H - 0.61596P_2 - 0.070361P_9 +$$



0.044 353P<sub>6</sub>

( $p < 0.001$ ,  $n = 5$ ,  $R = 0.8710$ )

式中:  $H$  为海拔高度(m)。C<sub>4</sub>/C<sub>3</sub> 植物分布与环境因子关系的建立为基于植物光合功能型进行模型外推及准确评估植物光合作用提供了依据。

(2) 植物水分利用效率: 植物水分利用效率是了解植物对于全球环境变化适应性以及预测全球变化影响的重要组成部分。基于  $\delta^{13}C$  值对中国东北样带草原区植物长期水分利用效率的分析发现<sup>[16]</sup>, 羊草(*Leymus chinensis*)、家榆(*Ulmus pumila* L.)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.) 等随着年均降水量和年均温的增加而呈不同程度的降低趋势, 中间锦鸡儿(*Caragana intermedia* Kuang et H. C. Fu.)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla* Pojark.) 和冷蒿(*Artemisia frigida* Willd.) 则随环境因子变化不大。这表明, 羊草、家榆、小叶锦鸡儿等将可能由于全球变暖而不同程度地衰退, 中间锦鸡儿、狭叶锦鸡儿和冷蒿则可能在全球变化条件下成为优势种。在退化草地生态系统恢复实践中应该选择具有较强耐旱能力的植物种作为先锋恢复物种。

(3) 植物多样性及植物群落结构的多样性测度: 沿中国东北样带生物多样性随降水的减少而减少, 呈现明显的梯度变化。关于  $\alpha$  多样性指数表现为: 森林 > 草甸草原 > 典型草原 > 荒漠草原, 分布于典型草原与荒漠草原之间的沙地类型的多样性指数高于荒漠草原。自然林群落 > 人工林群落; 草甸草原中, 羊草 > 线叶菊; 典型草原的大针茅 + 克氏针茅 + 羊草群落的多样性指数最高, 浑善达克沙地 > 科尔沁沙地 > 岭南沙地。  $\beta$  多样性沿样带由东向西逐渐降低, 表明群落内物种被替代的速率变慢<sup>[17]</sup>。

为研究群落结构多样性测度, 李镇清<sup>[18]</sup> 通过将群落的总复杂性分解为基于无序的复杂性和结构复杂性, 提出了用描述群落最小剩余码的平均码长测度的群落总复杂性与用 Shannon-Wiener 熵和 Renyi 熵测定基于无序复杂性之差表示的群落结构多样性定量指标, 并利用中国东北样带调查的 30 个典型植物群落样方资料进行了验证。

(4) 土地利用变化对草地群落的影响

土地利用方式的变化也是中国东北样带的驱动力, 是影响生态系统变化的重要因素。基于松嫩平原 5 个主要群落类型放牧干扰梯度对植物多样性影响的分析表明<sup>[19]</sup>, 放牧过程通过牲畜的啃食、践踏

作用干扰草场环境, 使草地群落的物种组成发生变化, 植物种群的优势地位发生更替, 导致生物多样性变化。随着放牧干扰强度加重, 从盐湿化草甸到典型草原, 群落植物种的丰富度呈下降趋势。  $\beta$  多样性显示各群落放牧干扰植物多样性的稳定性次序为: 荒漠草原 > 典型草原 > 草甸草原 > 盐湿化草甸; 羊草群落和羊草-杂类草群落植物多样性的耐牧性较差, 而贝加尔针茅-羊草群落、贝加尔针茅-杂类草群落和贝加尔针茅-线叶菊群落的物种组成表现出较高的稳定性。

对于整个样带草地群落放牧干扰植物多样性变化的研究表明<sup>[20]</sup>, 中牧或重牧阶段指数达最大值, 形成中牧(重牧) > 重牧(中牧) > 轻牧 > 过牧的规律。群落物种丰富度、均匀度与多样性的相关分析表明, 均匀度变化对多样性变化具有更大的贡献率, 而丰富度呈下降趋势, 即轻牧(中牧) > 中牧(轻牧) > 重牧 > 过牧。沿样带草地群落植物多样性的分布格局是: 草甸草原 > 典型草原 > 荒漠草原 > 碱化草甸, 并且群落物种丰富度对多样性贡献率最大。

### 3.4 典型生态系统的生物地球化学循环过程

(1) 羊草叶片的光合作用生理生态特性: 晴朗天气条件下, 羊草叶片的净光合速率日变化呈双峰型, 蒸腾速率属单峰型。叶片的光合作用速率、蒸腾速率以及气孔导度在整个生长季受多个环境因子的共同影响, 不同时期起主导作用的环境因子不同。碱化草甸土羊草的光合作用速率和气孔导度均低于风沙土羊草<sup>[21]</sup>。影响羊草叶片气孔导度的主要环境因子是光合有效辐射( $P_{AR}$ )、叶片与空气之间的水汽压亏损( $V_{PL}$ )、以及空气温度( $T_a$ ), 而影响羊草叶片净光合速率的主要因子是胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度、空气  $CO_2$  浓度及蒸腾速率<sup>[22]</sup>。

不同土壤类型生境下羊草的生物学特性存在明显的差异。对碱化草甸土和风沙土生境下羊草个体和群落生物学特征的分析表明<sup>[21]</sup>, 碱化草甸土羊草的叶宽、净光合速率和气孔导度均低于风沙土羊草, 而单株重则高于后者; 叶长、蒸腾速率和水分利用效率的差异却不显著。碱化草甸土羊草的群落密度、地上生物量以及羊草群落土壤的呼吸作用均高于风沙土羊草, 而根冠比则低于风沙土羊草; 植物株高、凋落物量及地下生物量的差异不明显。

(2) 典型草原的土壤呼吸作用: 草地生态系统在全球碳循环中起着十分重要的作用, 草地不仅占全球土地总面积的 1/3, 而且也是目前人类活动影响

最为严重的区域,对草地生态系统碳循环及其影响因素的研究是认识全球碳循环的关键之一。草原生态系统区别于森林等其它陆地生态系统的其中之一就是它不具有固定而明显的地上碳库,其碳素贮量绝大部分集中在地下土壤中,而实际上草地生态系统碳循环的主要过程也是在土壤中完成的。因此,草地土壤呼吸作用是理解草地生态系统碳循环的重要环节。

对内蒙古锡林河流域大针茅草原整个生长季土壤  $\text{CO}_2$  排放速率季节动态及其与生物量和环境因子关系的研究发现<sup>[24]</sup>,大针茅草原土壤  $\text{CO}_2$  排放速率的季节动态呈梯形曲线,在 8 月下旬达到最大值  $2.51 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (碳);土壤  $\text{CO}_2$  排放速率的季节变化与地上生物量,特别是地上绿色生物量的季节动态相一致,而与地下生物量的季节变化趋势不同步,甚至相反;地表凋落物有减缓土壤向大气排放  $\text{CO}_2$  的作用;并建立了土壤  $\text{CO}_2$  排放速率 ( $Y, \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (碳))与土壤湿度 ( $X, \%$ ) 相关关系:

$$Y = 3.469 \lg X - 2.053 \quad (r = 0.92, p < 0.01)$$

同时,大针茅群落土壤  $\text{CO}_2$  排放速率的年际变化很大,过度放牧不仅大大降低了群落的生物量,而且也降低了土壤  $\text{CO}_2$  排放量<sup>[21]</sup>。而羊草草原土壤  $\text{CO}_2$  排放速率的季节动态呈单峰型曲线,在 7 月下旬达到最大值;土壤  $\text{CO}_2$  排放速率 ( $Y, \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (碳))与气温 ( $T, ^\circ\text{C}$ )、土壤含水量 ( $X, \%$ ) 显著相关:

$$\ln Y = 5.8596 + 0.0125X +$$

$$0.0394T - 0.0049T \cdot X \quad (r = 0.84)$$

羊草无放牧群落生长季的土壤  $\text{CO}_2$  排放总量在  $249.4 \sim 320.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (碳),放牧群落生长季的土壤  $\text{CO}_2$  排放总量在  $237.0 \sim 305.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (碳),表明从整个生长季而言,放牧尽管对土壤  $\text{CO}_2$  排放有减弱作用,但减少幅度不大<sup>[25]</sup>。

(3) 水热梯度变化对草原群落的影响机制:水热变化对锡林河流域草原群落植物的多样性和初级生产力有着显著的影响<sup>[26]</sup>;物种的丰富度、多样性和群落初级生产力与海拔高度、年降水量和土壤有机 C 和全 N 含量呈正相关,而与年均气温、干燥度呈负相关;土壤有机 C 含量和干燥度是草原群落物种丰富度和初级生产力的主要影响因子。

降水量及其季节分配对克氏针茅群落初级生产力的影响研究表明<sup>[27]</sup>;制约克氏针茅草原群落生产力年度波动的限制因子是水分,降水量的年际变化及其季节分配直接导致了克氏针茅草原群落初级生

产力的年际变化;1 月上旬至 4 月上旬和 6 月下旬至 8 月下旬的旬降水对群落生产力具正效应,且前者大于后者,表明早期水分条件对多年生植物的越冬、返青和生长发育极为重要;4 月中旬至 6 月中旬的旬降水则表现为负效应,表明该期间较少的降水有利于植物根系的生长和贮藏营养物质的积累,为植物进入速生期做物质和能量的准备。同时,降水量对植物群落初级生产力的影响具有放大作用。

内蒙古高原 4 类地带性针茅 (*Stipa*) 草原:贝加尔针茅 (*S. baicalensis*) 草原、大针茅 (*S. grandis*) 草原、克氏针茅 (*S. krylovii*) 草原和小针茅 (*S. klemenzii*) 草原群落的多样性在同一取样面积下,沿着降水量逐渐递减生态梯度,从贝加尔针茅群落至小针茅群落物种数目逐渐递减,群落丰富度指数(群落物种数、Margalef 指数)逐渐降低。多样性指数中, Simpson 指数逐渐增大, Shannon-Wiener 指数逐渐降低,非常丰富种 ( $N_2$ ) 及丰富种 ( $N_1$ ) 的数量均不断减少<sup>[28]</sup>。而在同一取样面积下,4 类群落的 Whittaker 指数 ( $\beta$  多样性) 比较接近,表明这 4 类群落的物种更替程度相近<sup>[29]</sup>。

利用海拔高度引起的温度梯度,结合网袋法,对温度和降水变化下的草甸草原、羊草草原和大针茅草原混合凋落物分解过程的可能影响研究表明<sup>[30]</sup>:在气温升高  $2.7^\circ\text{C}$ 、降水量基本保持不变的条件下,3 种草原凋落物的分解速率分别提高了 15.38%、35.83% 和 6.68%;而在气温升高  $2.2^\circ\text{C}$  或更高时,降水量减少 20% 或更高的条件下,3 种草原凋落物的分解速率将降低。各种凋落物的分解动态对所模拟的气候情景响应不同,但没有发现其与凋落物本身 C、N、C/N 之间的密切关系。

基于盖顶 PVC 管法,将锡林河流域海拔 1469 m 处的草甸草原原状土柱分别移植到海拔 1187 m 和 960 m 低海拔处培养以研究温度变化对土壤氮素的净氨化速率、净硝化速率和净矿化速率的可能影响,对一个生长季培养的结果分析表明<sup>[31]</sup>;试验所选 3 个地点,从高海拔至低海拔的年均气温分别为  $-0.5^\circ\text{C}$ 、 $2.2^\circ\text{C}$  和  $4.4^\circ\text{C}$ ,移植培养草甸草原土壤氮素的净氨化速率 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  (氮)) 分别为 0.05、0.76 和 0.26;净矿化速率 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) 分别为 0.10、0.89 和 1.35,反映出未来全球变暖将可能促进草甸土壤氮素的净矿化作用,从而将促进陆地生态系统生产力生产。

(4) 羊草种群结实特性与气候年变化的关系:植

物生长发育需要一定的气候条件, 气候变化必将影响到植物的某些生长发育过程, 从而在植物的个体或器官的大小、重量等数量性状上有所反映。羊草是根茎型禾草, 营养繁殖力较强, 天然种群结实有明显的丰欠年现象, 研究其对于气候变化的响应有助于揭示羊草结实数量及其籽实质量与气候的内在关系, 为羊草种子田的科学管理提供理论依据。杨允菲等<sup>[32]</sup>基于 3 个固定样地的羊草种群连续 12~16 年的调查和测定及其与不同生长发育阶段气候因子的相关分析发现, 羊草种群结实数量和籽粒重均与形成这些性状的生育期内及其以前各生育期不同阶段的光照时间、积温、降水量有一定程度的相关性。从分蘖株的营养生长到生殖生长, 包括开花、授粉、受精、胚株发育为种子的形成过程中, 较低的温度和生长季前期较多的光照对结实有促进作用, 而较高的积温和较少的光照时间则不利于受精、结实, 从返青到籽粒成熟期, 较多的光照时间对籽实养分积累有促进作用, 较高的积温则有不利影响。从返青到乳熟期较多的降水对籽实的养分积累有促进作用; 但从乳熟期到完熟期较多的降水则有不利的影响。基于前一年 8—9 月份的光照时间( $t$ , h)和当年 5 月份的降水量( $P$ , mm)可预报羊草种群的结实数量( $S_A$ : 平均单穗种子数,  $S_P$ : 平均单穗结实率(%))和籽实重量(平均籽实千粒重,  $W_{TS}$ (g)):

$$S_A = 104.90 - 0.177t \quad (n = 16, R^2 = 0.29)$$

$$S_P = 145.00 - 0.235t \quad (n = 16, R^2 = 0.33)$$

$$W_{TS} = 2.14 - 0.003P \quad (n = 16, R^2 = 0.36)$$

(5) 中国东北样带主要森林树种的空间分布特性: 森林树种的空间分布体现着该树种对环境的适应性, 是利用模型进行模拟及预测气候变化影响的基础。基于中国东北样带内 1989 年吉林省的 287 个固定森林样地树种空间分布特征的空间自相关分析, 发现所研究的 16 种主要树种(属)呈斑块状分布, 红松(*Pinus koraiensis*)、枫桦(*Betula costata*)、云杉(*Picea* spp.) 分别呈显著正自相关; 黄檗(*Phellodendron amurense*)、胡桃秋(*Juglans mandshurica*)、榆(*Ulmus* spp.)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、落叶松(*Larix* spp.) 呈显著负相关。红松、榆和花曲柳(*Fraxinophylla*) 的斑块大小约 12 km, 胡桃秋、山杨(*Populus davidiana*)、落叶松的斑块约 4~5 km, 枫桦、云杉、臭松(*Abies nephrolepis*) 的斑块约 20 km, 白桦、水曲柳、蒙古栎(*Quercus mongoli-*

*ca*)、黄檗、黑桦(*B. dahurica*) 和椴(*Tilia* spp.) 的斑块大小分别为 70, 147, 100, 510, 300 和 400 km。比较这 16 个树种 1986 年和 1994 年的地理分布、出现的频率、优势度和空间相关性发现, 红松、花曲柳分别向西和向东扩展最快, 红松、山杨、黄檗、胡桃秋、水曲柳、黑桦、云杉、臭松、落叶松的斑块减小, 其它树种的斑块则增大<sup>[33-34]</sup>。

(6)  $CO_2$  浓度倍增对长白山阔叶红松林主要树种的影响: 大气  $CO_2$  浓度增加是引起以气候变暖为标志全球变化的主因, 植物不仅受到由于  $CO_2$  浓度增加引起的气候变化的间接影响, 而且还受到作为光合作用参与者的  $CO_2$  浓度的直接影响。研究长期  $CO_2$  浓度倍增条件下树木生理特性的变化, 了解不同树种的光合能力、呼吸作用及生长等动态变化规律对于预测东北阔叶红松林生态系统中主要乔木树种的变化趋势及其相互作用具有重要意义。

长白山阔叶红松林的主要树种: 红松(*Pinus koraiensis*)、云杉(*Picea koraiensis*)、落叶松(*Larix olgensis*)、大青杨(*Populus ussuriensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、椴树(*Tilia amurensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*) 和色木(*Acer mono*) 对大气  $CO_2$  浓度倍增的 2 个生长季模拟试验结果表明<sup>[35]</sup>: ① 幼树生长: 各试验树种树高生长有不同程度的提高, 提高幅度在 10.12%~73.86% 之间, 其中阔叶树白桦、色木、大青杨增加幅度最大, 而针叶树(云杉、落叶松、红松) 增加幅度较小; 各树种的直径生长也有较大幅度的增加。② 幼树叶绿素含量: 高  $CO_2$  浓度下阔叶树叶绿素平均含量低于对照, 下降幅度在 8%~30% 之间, 色木下降最多, 椴树最小; 而衡量植物光合作用能量指标的叶绿素  $a/b$ , 除红松外, 均增加, 增加幅度在 4%~9% 之间, 针叶树中云杉与阔叶树相似, 落叶松、红松则相反。红松叶绿素  $a/b$  降低原因可能与其为阳性树种有关。③ 幼树光合作用: 高  $CO_2$  浓度下试验幼树的净光合速率有不同程度的提高, 其中阔叶树绝对增量较大, 针叶树绝对增量较小, 且存在“驯化”现象。④ 幼树水分利用效率: 高  $CO_2$  浓度下试验幼树的蒸腾速率有所下降, 水分利用率显著提高, 其中喜光并有一定耐荫性的色木、椴树提高最大, 荫性树种云杉增量最小。

对长白落叶松(*Larix olgensis*) 幼苗光合作用的分析还表明, 高  $CO_2$  浓度与正常  $CO_2$  浓度下, 长白落叶松幼苗的光合速率日变化差异不显著, 且都表

现出一定的“午休”现象;整个生长季生物量积累的差异也不显著<sup>[36]</sup>。

### 3.5 中国东北样带遥感监测与模拟

卫星遥感具有丰富的信息和实时数据处理与传输能力,作为全球变化研究的新信息源已经引起了人们的极大关注。面对日趋明显的全球环境变化及其产生的后果,以遥感信息作为信息源的陆地生态系统动态实时监测与模拟研究愈来愈显出其巨大的优越性。

(1)天然林净第一性生产力的遥感监测与模拟: $N_{DVI}$ 可以很好地反映植物叶面积的变化,基于遥感信息快速监测与预测植被生产力的动态变化一直是生态学研究的热点。郑元润和周广胜<sup>[37]</sup>利用我国云杉(*Picea asperata*)、华山松(*Pinus armandi*)、黄山松(*P. taiwanensis*)、高山松(*P. densata*)、红松(*P. koraiensis*)、柏木(*Cupressus funebris*)、山地杨桦林、常绿阔叶林、常绿—落叶阔叶林、硬叶常绿阔叶林典型分布区的叶面积指数资料建立了森林叶面积指数( $L_{AI}$ )与年均 $N_{DVI}$ 的关系:

$$L_{AI} = -4.9332 - 86.2804 \cdot \ln(1 - N_{DVI})$$

并进而分析了森林净第一性生产力(NPP,  $t DM \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )与其叶面积指数( $L_{AI}$ )的关系:

$$N_{PP} = 3.1951 + 0.7773 \cdot L_{AI}$$

经我国13组森林植被生产力数据的验证表明,基于遥感信息的森林生产力模型与实测值相符较好,且在总体上优于Chikugo模型和综合模型<sup>[36]</sup>的模拟结果。

(2)定居放牧区变化的遥感动态监测:人类活动是引起锡林河流域植被空间格局变化的重要因素,一方面由于载畜量急剧增加造成了草场的大面积退化;另一方面是由于定居方式取代了长时间的游牧方式加速了草场的局部退化。及时了解定居放牧方式对植被的影响对于区域畜牧业管理措施的制定和评价以及科学地管理草地生态系统具有十分重要的科学意义和实践价值。基于遥感归一化植被指数( $N_{DVI}$ )对内蒙古锡林河流域定居放牧方式下植被状况的空间变化特征的研究表明<sup>[49]</sup>: $N_{DVI}$ 随定居点距离的变化格局可划分为3个阶段,即草原处于原生阶段的第一阶段, $N_{DVI}$ 不随距离变化;定居点附近开始局部退化的第二阶段, $N_{DVI}$ 随距离增加而增大;退化区域扩大的第三阶段, $N_{DVI}$ 不随距离变化。在草场局部退化阶段, $N_{DVI}$ 随距离的变化呈对数变化规律,定居点的放牧区具有放牧半径、原生 $N_{DVI}$ 值、

$N_{DVI}$ 变化率等特征。

(3)中国东北样带植被动态遥感监测:肖乾广等<sup>[40]</sup>利用极轨气象卫星的归一化植被指数( $N_{DVI}$ )分析了样带上不同植被地带:荒漠草原、典型草原、草甸草原、农耕地和森林区的 $N_{DVI}$ 的年际变化特征以及旬 $N_{DVI}$ 与旬降水量之间的关系,指出根据 $N_{DVI}/A_{VHRK}$ 经平滑处理的 $N_{DVI}$ 的时间变化廓线可以用来监测植被的季节变化、植被生长状况和气候年际波动。样带上各植被地带的 $N_{DVI}$ 与东亚季风进退的关系极为密切,样带上每年 $N_{DVI}$ 随时间变化的曲线形状可以作为每年季风气候变化特征的量度。

郭亮等<sup>[41]</sup>提出了基于遥感信息估算中国东北样带蒸发散计算公式:

$$E = a \cdot e^{b \cdot N_{DVI}}$$

式中: $E$ 为单位时间内该地区的实际蒸散量(mm), $N_{DVI}$ 为研究时段内研究地区的植被指数均值,通常选取某年内 $N_{DVI}$ 的月均值, $a$ 和 $b$ 为经验参数。

基于这一公式,郭亮等<sup>[41]</sup>分析了中国东北样带的年实际蒸散量变化特征,指出在中国东北样带内蒸散量由西向东变化梯度较大,与植被类型由荒漠草原、典型草原、草甸草原、农耕地和森林区的变化相一致;而南北方向变化小。

### 3.6 全球变化的中国东北样带动态模拟

预测植被/生态系统对全球变化的反应以采取科学的对策是全球变化研究的核心,而模型是理解和预测全球变化可能影响的关键工具之一,亦是“点”的研究结果向“面”上拓展的重要手段。近年来,基于中国东北样带的观测与模拟试验资料,结合卫星遥感信息,对生态系统的能量、水分、碳和养分循环以及气候-植被分布进行了大量的研究,发展了一系列用于中国东北样带对全球变化响应模拟研究的模型。

肖向明等<sup>[42]</sup>将国际著名的草地生态系统模型——CENTURY模型应用到内蒙古典型草原生态系统,在利用实测资料检验该模型的基础上,模拟了未来气候变化对羊草草原和大针茅草原的生物量和土壤有机质含量的可能影响。

在利用国外模型进行中国东北样带的生态系统动态模拟的同时,针对中国生态系统的特点开展了中国东北样带生态系统的模拟研究。

(1)多尺度耦合的羊草草原生态系统动态模型:建立水分驱动下的反映生态系统生物地球物理/化

学过程的多尺度集成生态系统动态模型是定量解释陆地生态系统对于干旱化的适应与调整机制, 以及预测陆地生态系统对全球变化响应的关键。而弄清植物叶片气孔导度和光合作用的影响因子, 并建立相关模型是最终建立多尺度集成生态系统动态模型的基础。

以反映水分梯度变化的中国东北样带 (NECT) 上的松嫩平原羊草草甸草原为研究对象, 从影响羊草叶片光合作用的机理出发, 基于松嫩平原草甸草原羊草叶片的光合生理生态特性、羊草群落小气候梯度以及羊草群落生物量等的野外动态观测, 分析了羊草叶片的光合生理特性动态特征, 指出影响羊草叶片气孔导度的主要环境因子是光合有效辐射 ( $P_{AR}$ )、叶片与空气之间的水汽压亏损 ( $V_{PD}$ )、以及空气温度 ( $T_a$ ), 影响羊草叶片净光合速率的主要因子是胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度、空气  $CO_2$  浓度及蒸腾速率。在此基础上, 通过对当前国际上 2 类代表性气孔导度模型比较, 指出基于 Jarvis 模型所改建的气孔导度模型比依据 Leuning 改进的 Ball 模型所建立的气孔导度模型具有更好的模拟效果, 并据此建立了适于羊草叶片的气孔导度模型<sup>[45]</sup>:

$$g_s = P_{AR}(-2.01T_a^2 - 147.74T_a - 232.1.11) / [(444.62 + P_{AR})(-538.04 + V_{PD})]$$

该模型的建立不仅有助于从数量上探讨羊草叶片气孔的习性, 而且为进一步模拟叶片光合作用和通过尺度化方式对羊草群落、区域尺度的生态系统生产力以及土壤-植被-大气系统间的水热交换模拟研究奠定了基础。

基于建立的羊草叶片气孔导度模型, 与叶片光合生化模型、边界层导度模型和能量平衡方程相结合发展了羊草叶片净光合速率模型, 与野外观测资料比较表明该模型有能力预测环境因子, 如  $CO_2$ 、温度、辐射、湿度及风速等对羊草叶片净光合速率、气孔导度等的影响<sup>[44, 47]</sup>。在此基础上, 通过大叶模式和多层模式相结合的尺度化方法, 同时考虑到羊草群落的呼吸作用, 最终建立了多尺度集成的羊草群落净第一性生产力动态模型。据比较, 该模型的模拟结果与实际观测值有一致的变化规律, 而且比国际著名草地生态系统模型—CENTURY 模型对于生产力的模拟结果更接近于实际观测值。

(2) 阔叶红松林凋落物的分解、积累与归还模拟模型研究: 森林凋落物在森林生态系统的生物地球化学循环中有着重要的作用, 基于阔叶红松林林地

死根量和分解速率资料, 结合用以描述森林生态系统生物量随时间变化的 Mitscherlich 模型建立了阔叶红松林生态系统凋落物的年凋落量、年分解量和累积量关系模型, 以及以林地死根总量和根系的分解速率推算森林生态系统根系的年死亡量模型, 从而解决了在计算森林生态系统根系的生产力时因无法直接测定根系的死亡量而带来的困难<sup>[46]</sup>。

(3) 红松针阔叶混交林动态模拟: 红松针阔叶混交林是我国东北东部地带性植被, 也是全球温带针阔叶混交林的组成部分, 不仅蕴藏着巨大的森林资源, 而且调节和维护着该地区的气候, 是东北大平原农业发展的屏障。但是, 正在发生的全球变化将通过改变大气温度、降水和  $CO_2$  含量, 直接或间接地影响森林群落。因此, 探讨红松针阔叶混交林群落对于全球变化的潜在反应具有重要意义。

陈雄文和王凤友<sup>[47]</sup>基于林窗模型建模原理, 建立了适于红松针阔叶混交林动态模型 (BKPF 林窗模型)。该模型包括树木最优生长模型、光与林木相对生长速率关系模型、气温与林木相对生长速率关系模型、 $CO_2$  浓度倍增与林木相对生长速率关系模型、土壤湿度与林木相对生长速率关系模型、基于生长状况和年龄的林木枯死随机判定模型等。该模型尽管与其它林窗模型大同小异, 但对模型参数的选择更适合于红松针阔叶混交林; 并基于小兴安岭地区伊春红松林演替过程对模型进行了验证, 模拟结果与该地区真实红松林演替过程基本一致<sup>[48]</sup>。

(4) 中国东北森林生长演替模拟模型 (NEW-COP) 研究: 为了模拟区域森林生态系统的动态及其对于气候变化的响应, 延晓冬等<sup>[49]</sup>基于长白山森林生态系统的研究, 针对当前的林窗模型难以在区域尺度应用的不足, 并考虑到树种的生活史, 结合当前流行的 FORET 林窗模型和 Zelig 模型发展了长白山森林生态系统的林窗模型——NEW-COP (North Eastern Woods Competition Occupation Processor)。该模型由 7 个子模型组成: 生长模型, 死亡模型, 更新模型, 土壤模型, 生物气候模型, 林冠模型和干扰模型。目前, 该模型涉及东北地区重要的森林树种共 34 种, 在整个东北林区, 即大兴安岭、小兴安岭和长白山地区都得到极好的验证。该模型不仅可模拟目前气候条件下东北地区森林的水平分布和垂直分布, 而且也可再现森林的更新演替和生产力。

(5) 遥感信息驱动的中国东北样带区域植被模

型;高琼等<sup>[30]</sup>运用系统空间仿真方法,建立了遥感信息驱动的中国东北样带区域植被模型。该模型假定模拟区域的植被结构(植被类型)不会发生改变,将植被类型的生物量分成绿色和非绿色生物量两部分,利用植物绿色生物量与卫星遥感植被指数的关系,将遥感数据作为模型参数化和校验的资料。模型假定植物生物量的积累速率是大气 CO<sub>2</sub> 浓度和无量纲辐射的双曲函数,大气温度的单峰函数,土壤水分的线性函数。同化物在绿色和非绿色生物量之间的分配受控于植物的物候和土壤水分,物候被表达成时间的线性函数,土壤水分亏损导致同化物主要向植物根部积累,以扩大根系吸收更大范围的水分。模型还假定所有植被类型的相对生长速率在大气 CO<sub>2</sub> 浓度倍增后增加 10%,植物生物量由于死亡、放牧、收割和采伐等而消失的速率与现存生物量成比例。尽管该模型还处于发展初期,但其以遥感信息作为模型参数化与校验资料对推动未来模型向区域发展具有重要的促进作用。

### 3.7 中国东北样带对全球变化的响应

(1) 典型草原生态系统对全球变化的响应:基于国际著名的草地生态系统模型—CENTURY 模型,结合气候变化的情景预测,对内蒙古锡林河流域羊草草原和大针茅草原在全球变化下的趋势预测表明<sup>[42]</sup>:气候变化将导致羊草草原和大针茅草原初级生产力和土壤有机质含量的显著下降,且羊草草原下降幅度略大于大针茅草原,从而对锡林河流域的畜牧业带来不利影响;在同时考虑 CO<sub>2</sub> 浓度倍增作用时,羊草草原和大针茅草原初级生产力下降的幅度显著降低,土壤有机质含量下降幅度也略有减少;CO<sub>2</sub> 浓度倍增对于土壤有机质含量的变化没有直接的影响。

(2) 阔叶红松林对气候变化的响应:基于建立的森林动态模型 BKPF,结合美国地球流体动力学实验室(GFDL)的大气环流模式(GCM)对未来 50 年气候变化的预测结果:温度增加 4.0℃,降水增加 8.7%,CO<sub>2</sub> 浓度线性增加到现在的一倍,达到 700×10<sup>-6</sup>,模拟研究了典型红松针阔叶混交林对气候变化和 CO<sub>2</sub> 浓度倍增的反应<sup>[47,48]</sup>,结果表明:在气候变化 50 年后,现存的天然红松林林木总数将减少 20%以上,地上部分生物量将减少 90%,蒙古栎的生物量占林分的 57%,林分生产力略较现在气候条件下高 4%,但主要以蒙古栎、山杨、白桦为主;林分叶面积指数大幅度减少,表明耐旱树种将是未来该

地区的优势树种;黑龙江省伊春地区红松针阔叶混交林采伐迹地上森林演替在未来 50 年后红松和硬阔叶树的数量增加,落叶松、山杨与白桦减少,林分密度略有降低,林分生产力增加约 7%~28%,林分地上部分总生物量增加约 15%~24%,叶面积指数约增加 5%~8%,表明气候变化有利于采伐迹地阔叶红松林恢复。

基于 NEWCOP 模型模拟的小兴安岭地区阔叶红松林对气候变化(GFDL)的反应结果表明<sup>[51]</sup>:小兴安岭森林对气候变化具有敏感性,在未来 100 年现存森林可能有一个快速衰退过程,随后可恢复为落叶阔叶树(如蒙古栎)为主要树种的森林,从而取代目前针叶树种在森林树种组成中的优势地位。

(3) 东北森林生态系统对气候变化的响应:延晓冬等<sup>[49]</sup>基于 NEWCOP 模型,结合 GFDL 和 GISS 的大气环流模式(GCMs)对大气 CO<sub>2</sub> 浓度倍增下气候变化的预测结果,模拟了中国东北森林生态系统对气候变化的响应,结果表明:中国东北森林的种类组成将发生很大的变化,落叶阔叶树将取代目前在长白山、小兴安岭的红松和大兴安岭的兴安落叶松,成为东北森林的主要树种;而针叶树将在地带性森林中占很小的比重,阔叶树中的蒙古栎将成为小兴安岭和大兴安岭的主要树种。东北地区适于森林生长的区域将大幅度减少,这些变化主要发生在气候变化的过渡期。东北森林对不同的气候变化情景有不同响应,但总的趋势是未来东北森林中落叶阔叶树的比例将大幅度增加。这一研究对于我国东北地区在全球变化背景下合理地选择造林树种及制定现有森林的保护经营策略具有重要的参考价值。

(4) 中国东北样带对气候变化和 CO<sub>2</sub> 浓度倍增的响应:张新时等<sup>[6]</sup>对中国东北样带的模拟研究表明:在温度增加 2℃ 条件下全样带区域内的植物绿色生物量将在 30 年内下降 25%;而保持当前气候条件不变时,30 年内 CO<sub>2</sub> 浓度倍增的直接效应则将导致全样带区域内的植物绿色生物量平均增加 30%。与上述效应相比,降水增加 10%,而温度和 CO<sub>2</sub> 浓度维持当前状态时,全样带区域内的植物绿色生物量在 30 年内仅增加 3%。模拟 CO<sub>2</sub> 浓度倍增、10%降水增量和 2℃ 温度增量的综合作用将使得全样带区域内的植物总绿色生物量在 30 年内增加约 8%。而由于气温和降水的变化,全样带区域内的森林和灌丛在全球变化后面积将减小。假定在未来 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%, 草地面积将增加, 特别是丛生禾草和矮半灌木将大大增加, 增加幅度达 46%~51%, 草甸和草本沼泽的面积将减少 37%~67%, 农作物面积不会有很大变化。样带植被, 不论是东部还是西部, 均受到水分匮乏的限制, 特别是西部地区。而 CO<sub>2</sub> 浓度的倍增则将加剧水分胁迫形势。

基于周广胜和张新时<sup>[38]</sup>建立的自然植被净第一性生产力模型, 张新时等<sup>[6]</sup>分析了中国东北样带对于气候变化的响应, 指出沿样带由西向东植被生产力(t DM·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)呈递增趋势, 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。植被生产力与样带的水分梯度呈明显的正相关, 反映出样带的主要驱动力。在降水减少 10%、温度增加 1.5℃ 时, 整个半湿润和湿润地区植被的生产力将有所增加, 表现在生产力高于 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℃ 时, 生产力高于 7 的区域继续增加, 而荒漠草原区则变化不大, 表明在水分不变条件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℃ 时, 整个半湿润和湿润地区植被的生产力将大幅度增加, 表现在生产力高于 7 的区域大幅度增加, 生产力水平低于 2 的区域趋于消失。

高琼等<sup>[39]</sup>关于中国东北样带对全球变化响应的预测模拟表明, 在当前 CO<sub>2</sub> 浓度条件下, 温度升高 4℃ 导致的蒸散增加将可使全样带的自然植被的平均生物量和生产力分别下降 32.1% 和 41.9%。而在降水仅增加 20% 条件下, 样带自然植被的平均生物量和生产力分别上升 12.2% 和 17.1%。由于 CO<sub>2</sub> 浓度和降水增加的正向效应和温度升高的负向效应的相互抵消作用, CO<sub>2</sub> 浓度倍增、温度升高 4℃ 和降水增加 20% 的综合交互作用将使全样带自然植被平均生物量和生产力均下降 2%。

需要指出的是, 全球气候变化因地而异, 现有的模拟预测还没有考虑到植被对于气候的滞后、遗传变异和动态演变, 只是根据气温和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可能影响, 需要进一步发展与完善。

#### 4 中国东北样带研究展望

全球变化的陆地样带是从机理上理解陆地生态

系统对全球变化的响应, 预测全球变化对陆地生态系统的可能影响, 实现预警、调节和减小全球变化不良影响, 科学地规划和管理陆地生态系统的有效研究平台。尽管近年来在国家自然科学基金委等部门的大力资助下, 对以水分驱动的全球变化中国东北样带开展了大量的观测与研究, 不仅建立了用于模型发展和比较的不同时间和空间尺度的中国东北样带数据集, 而且从机理上初步探讨了全球变化对于森林、草甸草原和典型草原的可能影响, 发展了用于古植被—气候重建的植物种与表土花粉类型的定量关系模型、多尺度耦合的羊草草原生态系统动态模型和基于林窗原理的森林生态系统动态模型, 在资料和研究方法上对进一步探讨全球变化的三个热点问题: 水循环、碳循环以及食物和纤维均具有重要的贡献。正因为如此, 全球变化的中国东北样带研究受到了国内外学者的高度重视, 并与美国科罗拉多大学、哥伦比亚大学, 加拿大森林服务, 日本岐阜大学和千叶大学等有合作关系, 并在国家基金委的大力支持下在中国首次举办了“第 12 次国际全球变化与陆地生态系统科学委员会会议”。但是, 总体而言, 目前人类对于自然与农业生态系统对未来气候反应的预测能力还很有限, 特别是在我国反应得尤为明显。

我国作为发展中国家, 财力有限。因此, 我国的全球变化研究应针对我国陆地生态系统的特点, 充分利用我国特殊的生态环境与区域特色, 做出一些在国际上既有显示度, 又服务于我国社会经济可持续发展的研究成果, 特别是要为我国发展战略西移的实施、履行《京都议定书》以及制定适应与减缓全球变化的我国陆地生态系统可持续发展模式提供科学依据。为此, 未来中国东北样带研究拟在注重各科学计划交叉集成的同时, 加强以下方面研究:

- (1) 陆地生态系统生态安全机制与调控;
- (2) 碳、氮、磷生源要素在土-水-气系统及其界面间的生物地球化学过程;
- (3) 陆地碳库类型转化的增汇机理及优化模式;
- (4) 尺度转换和参数化理论, 以及遥感信息驱动的、多尺度集成生态模型的发展;
- (5) 陆地生态系统生产力的时空格局、发展趋势发展;
- (6) 陆地表面过程、陆地碳平衡和植被动态相耦合的生物圈模型, 及其与大气环流模式(GCMs)的耦合与参数转换;

(7)集数据库、模型库和专家系统于一体的陆地生态系统数字系统的建立,以实现陆地生态系统对全球变化响应的动态仿真与海量数据管理,便于政府针对全球变化做出适宜的对策。

## References [参考文献]:

- [1] IGBP Science. The terrestrial biosphere and global change: implications for natural and managed ecosystems[J]. *A Synthesis of GCTE and Related Research*, 1998, 1: 10.
- [2] KOCH G W, SCHOLLES R J, STEFFEN W L, et al. The IGBP Terrestrial Transects: Science Plan[A]. *IGBP Report* [R]. Stockholm: IGBP, 1995(3b): 136-141.
- [3] IGBP Secretariat. IGBP transects[J]. *Global Change Newsletter*, 1993, 16: 1.
- [4] STEFFEN W L. Rapid progress in IGBP transects[J]. *Global Change Newsletter*, 1997, 24: 15-16.
- [5] GCTE Core Project Office. *GCTE Core Research: 1993 Annual Report* [R]. Canberra: GCTE, 1994(1).
- [6] ZHANG X S, GAO Q, YANG D A, et al. A gradient analysis and prediction on the Northeast China Transect (NECT) for global change study[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(9): 785-799 (in Chinese). [张新时, 高琼, 杨奠安, 等. 中国东北样带的梯度分析及其预测[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 785-799.]
- [7] Editorial Committee of Chinese Vegetation. *Chinese Vegetation* [M]. Beijing: Science Press, 1980 (in Chinese). [中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.]
- [8] WU C J, GUO H C. *Land Use in China* [M]. Beijing: Science Press, 1994 (in Chinese). [吴传均, 郭焕成. 中国土地利用[M]. 北京: 科学出版社, 1994.]
- [9] LI Y Y, ZHANG X S, ZHOU G S. Study of quantitative relationships between vegetation and pollen in surface samples in the eastern forest area of Northeast China Transect [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(1): 81-88 (in Chinese). [李宜垠, 张新时, 周广胜. 中国东北样带(NECT)东部森林区的植被与表土花粉的定量关系[J]. 植物学报, 2000, 42(1): 81-88.]
- [10] LI Y Y. A method of study on the quantitative relationships between vegetation and pollen in surface samples [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, 4: 45 (in Chinese). [李宜垠. 植被-表土花粉定量关系研究的一种方法[J]. 第四纪研究, 1998, 4: 45.]
- [11] LI Yiyin, ZHANG Xinshi, ZHOU G S. Quantitative relationships between vegetation and several pollen taxa in surface soil from North China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(16): 1519-1523.
- [12] TANG H P. Distribution of C<sub>3</sub> plants along the Northeast China Transect (NECT), and its correlation to the environmental factors [J]. *Chin Sin Bull*, 1999a, 44(1): 416-420 (in Chinese). [唐海萍. 中国东北样带(NECT)的C<sub>3</sub>植物分布及其与环境因子的相关性[J]. 科学通报, 1999a, 44(1): 416-420.]
- [13] TANG H P, JIANG G M, ZHANG X S. Application of discriminant analysis in distinguishing plant photosynthetic types—a case study in Northeast China Transect (NECT) area [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1999b, 41(10): 1132-1138 (in Chinese). [唐海萍, 蒋高时, 张新时. 判别分析方法在鉴别C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>植物中的应用——以中国东北样带(NECT)的研究为例[J]. 植物学报, 1999b, 41(10): 1132-1138.]
- [14] TANG H P, ZHANG X S. A new approach to distinguishing photosynthetic types of plants: a case study in Northeast China Transect (NECT) platform [J]. *Photosynthetica*, 1999, 37(1): 97-106.
- [15] TANG H P. Distribution of C<sub>3</sub> plants along the Northeast China transect and its correlation to the environmental factors [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(14): 1316-1320.
- [16] SU B, HAN X G, LI L H, et al. Responses of  $\delta^{13}C$  value and water use efficiency of plant species to environmental gradients along the grassland zone of Northeast China Transect [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 648-655 (in Chinese). [苏波, 韩兴国, 李凌浩, 等. 中国东北样带草原区 $\delta^{13}C$ 值及水分利用效率对环境梯度的响应[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 648-655.]
- [17] TANG H P, ZHANG X S. A gradient study on the ecosystem diversity along Northeast China Transect (NECT) [J]. *Quaternary Sciences*, 1999c, 5: 1048 (in Chinese). [唐海萍, 张新时. 中国东北样带的生态系统多样性梯度研究[J]. 第四纪研究, 1999c, 5: 1048.]
- [18] LI Z Q. The complexity and diversity of typical plant communities along the Northeast China Transect (NECT) [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(9): 971-978 (in Chinese). [李镇清. 中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究[J]. 植物学报, 2000, 42(9): 971-978.]
- [19] YANG L M, LI J D, YANG Y F.  $\beta$ -diversity of grassland communities along gradient to grazing disturbance [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 442-446 (in Chinese). [杨利民, 李建东, 杨允菲. 草地群落放牧干扰梯度 $\beta$ 多样性研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(4): 442-446.]
- [20] YANG L M, HAN M, LI J D. Plant diversity change to grassland communities along a grazing disturbance gradient to the Northeast China Transect [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(1): 110-114 (in Chinese). [杨利民, 韩梅, 李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 110-114.]
- [21] WANG Y H, ZHOU G S. Primary study on characteristics of *Leymus chinensis* in two soil types [J]. *Acta Agraria Sinica*, 2000, 8(3): 220-225 (in Chinese). [王玉辉, 周广胜. 两种土壤类型对羊草生物学特征的影响[J]. 草地学报, 2000, 8(3): 220-225.]



- [22] WANG Y H, ZHOU G S. Analysis on ecophysiological characteristics of leaf photosynthesis of *Aneurolepidium chinense* in Songnen grassland[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 75-79 (in Chinese). [王玉辉, 周广胜. 松嫩草地羊草叶片光合作用生理生态特征分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 75-79.]
- [23] CHEN S Q, CUI X Y, ZHOU G S, et al. Study on the  $CO_2$  release rate of soil respiration and litter decomposition in *Stipa grandis* Steppe in Xiltn River Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(6): 645-650 (in Chinese). [陈四清, 崔晓勇, 周广胜, 等. 内蒙古锡林河流域大针茅草原土壤呼吸和凋落物分解的  $CO_2$  排放速率研究[J]. 植物学报, 1999, 41(6): 645-650.]
- [24] CUI X Y, CHEN S Q, CHEN Z Z.  $CO_2$  release from typical *Stipa grandis* grassland soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 390-394 (in Chinese). [崔晓勇, 陈四清, 陈佐忠. 大针茅典型草原土壤  $CO_2$  排放规律研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 390-394.]
- [25] LI L H, WANG Q B, BAI Y F, et al. Soil respiration of a *Leymus chinensis* grassland in the Xiltn River Basin as affected by over-grazing and climate[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 680-686 (in Chinese). [李凌浩, 王其兵, 白云飞, 等. 锡林河流域羊草草原群落土壤呼吸及其影响因子研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 680-686.]
- [26] BAI Y F, LI L H, WANG Q B, et al. Changes in plant species diversity and productivity along gradients of precipitation and elevation in the Xiltn River Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000c, 24(6): 667-673 (in Chinese). [白云飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. 植物生态学报, 2000c, 24(6): 667-673.]
- [27] BAI Y F. Influence of seasonal distribution of precipitation on primary productivity of *Stipa Krylovii* community[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 155-160 (in Chinese). [白云飞. 降水量季节分配对克氏针茅草原群落初级生产力的影响[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 155-160.]
- [28] BAI Y F, XU Z X, LI D X. Study on  $\alpha$  diversity of four *Stipa* communities in Inner Mongolia Plateau[J]. *Chinese Biodiversity*, 2000a, 8(4): 353-360 (in Chinese). [白云飞, 许志信, 李德新. 内蒙古高原针茅草原群落  $\alpha$  多样性研究[J]. 生物多样性, 2000a, 8(4): 353-360.]
- [29] BAI Y F, XING X R, XU Z X, et al.  $\beta$ -diversity of four *Stipa* communities in Inner Mongolia Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000b, 11(3): 408-412 (in Chinese). [白云飞, 邢雪荣, 许志信, 等. 内蒙古高原针茅草原群落  $\beta$  多样性研究[J]. 应用生态学报, 2000b, 11(3): 408-412.]
- [30] WANG Q B, LI L H, BAI Y F, et al. Effects of simulated climate change on the decomposition of mixed litter in three steppe communities[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000a, 24(6): 674-679 (in Chinese). [王其兵, 李凌浩, 白云飞, 等. 模拟气候变化对3种草原植物群落混合凋落物分解的影响[J]. 植物生态学报, 2000a, 24(6): 674-679.]
- [31] WANG Q B, LI L H, BAI Y F, et al. Field experimental studies on the effects of climate change on the nitrogen mineralization of meadow steppe soil[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000b, 24(6): 687-692 (in Chinese). [王其兵, 李凌浩, 白云飞, 等. 气候变化对草甸草原土壤氮素矿化作用影响的实验研究[J]. 植物生态学报, 2000b, 24(6): 687-692.]
- [32] YANG Y F, YANG L M, ZHANG B T, et al. Relationships between the fruit-bearing characters of *Leymus chinensis* population and annual climatic variations in natural meadow in Northeast China[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(3): 294-299 (in Chinese). [杨允非, 杨利民, 张宝田, 等. 东北草原羊草种群结实特性与气候年变化的关系[J]. 植物学报, 2000, 42(3): 294-299.]
- [33] CHEN X W, ZHANG X S, ZHOU G S, et al. Spatial distribution characteristics of major tree species at NECT-geostatics and fractal methods[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000a, 36(6): 35-38 (in Chinese). [陈雄文, 张新时, 周广胜, 等. 中国东北样带(NECT)森林区域中主要树种空间分布特征[J]. 林业科学, 2000a, 36(6): 35-38.]
- [34] CHEN X W, ZHANG X S, ZHOU G S, et al. Spatial characteristics and change for tree species(Genera) along Northeast China transect(NECT)[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000b, 42(10): 1075-1081 (in Chinese). [陈雄文, 张新时, 周广胜, 等. 中国东北样带树种(属)的空间特性及变化[J]. 植物学报, 2000b, 42(10): 1075-1081.]
- [35] WANG M, DAI L M, HAN S J, et al. Effect of elevated  $CO_2$  concentration on growth of dominant tree species in pine broadleaf forest of Changbai mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000a, 11(5): 675-679 (in Chinese). [王森, 代力民, 韩世杰, 等. 高  $CO_2$  浓度对长白山阔叶红松林主要树种生理生态特性的影响[J]. 应用生态学报, 2000a, 11(5): 675-679.]
- [36] CHEN X W, ZHOU G S, WANG F Y. Simulation of dry matter accumulation in Changbai larch seedlings under controlled environment[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000c, 17(3): 246-250 (in Chinese). [陈雄文, 周广胜, 王凤友. 长白山落叶松幼苗在受控条件下干物质积累的模拟[J]. 植物学通报, 2000c, 17(3): 246-250.]
- [37] ZHENG Y R, ZHOU G S. A forest vegetation NPP model based on NDVI[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 9-12 (in Chinese). [郑元润, 周广胜. 基于NDVI的中国天然森林植被净第一性生产力模型[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 9-12.]
- [38] ZHOU G S, ZHANG X S. A natural vegetation NPP model[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19: 193-200 (in Chinese). [周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[J]. 植物生态学报, 1995, 19: 193-200.]
- [39] LIU X H, CHEN Z Z, TSUYOSHI Akiyama, et al. Modeling the spatial pattern of normalized difference vegetation index(NDVI) under a post-nomadic sedentary grazing system

- [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 21(6): 662-666 (in Chinese). [刘先华, 陈佐忠, 秋山侃, 等. 定居放牧方式下归一化植被指数 (NDVI) 的空间变化特征[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 662-666.]
- [40] XIAO Q G, CHEN W Y, DU P, et al. Remote sensing monitor study on the ecological ecotone in East Asia Monsoon area using meteorological satellites [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(9): 826-830 (in Chinese). [肖乾广, 陈维英, 杜鹏, 等. 用气象卫星对东亚季风区的生态过渡带的遥感监测研究[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 826-830.]
- [41] GUO L, DU P, CHEN W Y, et al. Monitor the annual change of the evapotranspiration of climatic sensitive zone in Chinese monsoon area using meteorological satellite remote sensing [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(9): 841-844 (in Chinese). [郭亮, 杜鹏, 陈维英, 等. 用气象卫星遥感方法监测中国季风区气候敏感带蒸散量的年际变化[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 841-844.]
- [42] XIAO X M, WANG Y F, CHEN Z Z. Dynamics of primary productivity and soil organic matter of typical steppe in the Xilin River Basin of Inner Mongolia and their response to climate change [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(1): 45-52 (in Chinese). [肖向明, 王义凤, 陈佐忠. 内蒙古锡林河流域典型草原初级生产力和土壤有机质的动态及其对气候变化的反应[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 45-52.]
- [43] WANG Y H, ZHOU G S. Analysis and quantitative simulation of stomatal conductance of *Aneurolepidium chinense* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 739-743 (in Chinese). [王玉辉, 周广胜. 羊草叶片气孔导度对环境因子的响应模拟[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 739-743.]
- [44] WANG Y H, ZHOU G S. Simulation of net photosynthesis rate of *Aneurolepidium chinensis* [A]. ZHOU G S. *Northeast China Transect (NECT) and Global Change—Aridification, Human Activity and Ecosystem* [M]. Beijing: Meteorology Press, 2002 (in press) (in Chinese). [王玉辉, 周广胜. 羊草叶片净光合速率的模拟研究[A]. 周广胜. 中国东北样带 (NECT) 与全球变化——干旱化、人类活动与生态系统 [M]. 北京: 气象出版社, 2002 (待版).]
- [45] WANG Y H, ZHOU G S. Simulation of production of *Aneurolepidium chinense* community in Songnen Plateau [A]. ZHOU G S. *Northeast China Transect (NECT) and Global Change—Aridification, Human Activity and Ecosystem* [M]. Beijing: Meteorology Press, 2002 (in press) (in Chinese). [王玉辉, 周广胜. 松嫩平原羊草群落生产力的模拟研究[A]. 周广胜. 中国东北样带 (NECT) 与全球变化——干旱化、人类活动与生态系统 [M]. 北京: 气象出版社, 2002 (待版).]
- [46] WANG M, LIAO L P, DAI L M, et al. Model of litter decomposition, accumulation and return to forest ecosystem [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000b, 11 (Suppl): 151-154 (in Chinese). [王淼, 廖利平, 代力民, 等. 森林生态系统中凋落物的分解、积累与归还模型的研究[J]. 应用生态学报, 2000b, 11 (增刊): 151-154.]
- [47] CHEN X W, WANG F Y. Simulation of the potential responses of mixed coniferous and broad-leaved Korean pine communities by BKPF model [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000a, 24(3): 327-331 (in Chinese). [陈雄文, 王凤友. 林窗模型 BKPF 模拟红松阔叶混交林群落对气候变化的潜在反应[J]. 植物生态学报, 2000a, 24(3): 327-331.]
- [48] CHEN X W, WANG F Y. Simulation of potential responses of clear-cut of mixed coniferous and broadleaved Korean pine forest in Yichun to climate change by BKPF model [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000b, 11(4): 513-517 (in Chinese). [陈雄文, 王凤友. 林窗模型 BKPF 模拟伊春地区红松阔叶混交林采伐迹地对气候变化的潜在反应[J]. 应用生态学报, 2000b, 11(4): 513-517.]
- [49] YAN X D, ZHAO S D, YU Z L. Modeling growth and succession of Northeastern China forests and its application in global change studies [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000a, 21(1): 1-8 (in Chinese). [延晓冬, 赵士洞, 于振良. 中国东北森林生长演替模拟模型及其在全球变化研究中的应用[J]. 植物生态学报, 2000a, 24(1): 1-8.]
- [50] GAO Q, YU M, ZHANG X S, et al. Dynamic simulation of the responses of Northeast China Transect to global change—a regional vegetation model driven by remote sensing data [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(9): 800-810 (in Chinese). [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[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 800-810.]
- [51] YAN X D, FU C B, SHUGART H H. Simulating the effects of climate changes on Xiaoxing'an mountain forests [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000b, 24(3): 312-319 (in Chinese). [延晓冬, 符淙斌, SHUGART H H. 气候变化对小兴安岭森林影响的模拟研究[J]. 植物生态学报, 2000b, 24(3): 312-319.]

## GLOBAL CHANGE AND WATER-DRIVEN IGBP-NECT, NORTHEAST CHINA

ZHOU Guang-sheng, WANG Yu-hui, JIANG Yan-ling

(Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese  
Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** IGBP terrestrial ecosystem is an effective platform for global change studies, in order to understand how terrestrial ecosystems will respond to global change, to predict and evaluate the possible effects of global change, and to ensure the sustainable development of our life-supporting system. First of all, the background of IGBP terrestrial transect and its selection standards as well as the allocation and characteristics of Northeast China Transect (NECT) are described, and then the advance in NECT during recent years is presented systematically. The achievements related to NECT include: (1) the development of NECT database; (2) primary elucidation of the responsible mechanisms of typical terrestrial ecosystems (forest, meadow steppe and typical steppe) along NECT to global change; (3) developments of quantitative relationships between vegetation and several pollen taxa in surface soil for past global change studies, multi-scale coupling ecosystem dynamic model of *Leymus chinensis* grassland, and gap-based forest ecosystem dynamic models; and (4) preliminary prediction on the possible effects of global change on NECT. Finally, considering the financial and man-power conditions of China and its special eco-environment, the authors emphasize that the future NECT study should pay more attention to the key science problem, i. e., "the ecological processes/ecological security and their responses to global change".

**Key words:** Northeast China Transect (NECT); global change; past global change; models; remote sensing