

# 中国植被及生态系统 对全球变化反应的研究与展望

周广胜\* 王玉辉 张新时

(植物研究所 北京 100093)

**摘要** 文章就近年来中国在自然植物及农作物对于  $\text{CO}_2$  浓度倍增与气候变化的反应机理研究,中国植被及生态系统的模拟研究所取得的进展进行了总结;指出未来全球变化与陆地生态系统的研究,拟注重各学科间的交叉,并提出应加强研究的领域。

**关键词** 中国植被,陆地生态系统,全球变化

陆地生态系统是人类赖以生存与持续发展的生命支持系统,但是人口增长,现代工业的迅速发展及化石燃料的利用,森林过伐,草原开垦与过牧等人类活动,引起了地球大气中“温室气体”,特别是  $\text{CO}_2$  浓度以前所未有的速度增加。由此引起的全球气候变暖、生态系统退化、植被带迁移、生物多样性丧失、荒漠化扩展、海平面上升等变化,造成了人类生存环境的严重恶化,已经引起科学家、各国政府与社会各界的严重关注。发展监测与预测陆地生态系统变化的模式,找出应对全球变化的策略、方法和途径,以达到预警、调节和最大限度地减少全球变化的不良影响,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,已成为一个迫切需要解决的问题。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),它的实施,标志着世界科学界对这一全球性问题展开全面的联合研究。

全球变化研究是迄今为止规模最大的跨学科、跨国界的国际合作研究活动,涉及到地球科学、生物科学、环境科学、天体科学及遥感技术、地理信息系统及网络化高技术的应用等众多的学科领域,规模大,持续时间长,经费投入多,代表着当前世界科学的发展趋势。目前,全球变化研究是由四个相互独立、相互依存的国际研究计划组成,包括:研究气候系统中物理问题为主的世界气候研究计划(WCRP),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),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)。

我国是 IGBP 的发起国之一,1985 年正式立项开展全球变化的研究。截至 1994 年 6 月,已确立的有关全球变化方面的研究项目 240 项,平均每年立项约 24 项;到 1993 年底,已完成

\* 植物研究所研究员  
收稿日期:1998 年 6 月 5 日

132 项,占项目总数的 55%;计划投入经费 12 518.3 万元,按每个科学家参加一个项目计算,全国参加全球变化研究的科学家达 5 706 人次。如此巨大的人力、物力及财力的投入,大大促进了中国全球变化的研究,取得了丰硕的成果。

全球变化研究最实质的过程与目标是研究由于人类活动引起的全球变化对于生态系统与人类生存环境的作用及其反应。正因为这样,国际地圈-生物圈计划(IGBP)的核心研究项目“全球变化与陆地生态系统”(GCTE)已成为当前国际上全球变化研究中最活跃和不断扩展的项目。为全面正确地评价全球变化对中国陆地生态系统的影响,揭示陆地生态系统对全球变化的反应机理,预测陆地生态系统对全球变化的反应以及探讨相应的科学对策,我国的科学家们从微观生物学在细胞与分子结构水平上的机理,中尺度生物群落的结构与功能,以及宏观范畴的植被-气候格局与演变三个不同的时空尺度,研究了中国陆地生态系统对全球变化的反应,取得了重大进展。本文仅就近年来我国在全球变化与陆地生态系统关系研究方面的新观点、新认识及新进展作一评述。

## 1 陆地生态系统对全球变化反应的机理

植被与生态系统对于全球变化的反应主要包括两个方面,即  $\text{CO}_2$  浓度倍增的直接效应和由此引起的气候变化的间接效应。

### 1.1 植物对 $\text{CO}_2$ 浓度倍增的反应

#### 1.1.1 豆科植物的 C-N

豆科植物的共生固氮在全球氮素循环与平衡中起着重要作用, $\text{CO}_2$  浓度倍增下的大豆(*Glycine max*)和紫花苜蓿(*Medicago sativa*)的生理生态试验结果表明植物的地上部 C-N 将增加,但地下部 C-N 降低。

#### 1.1.2 光合作用原初光能转换

$\text{CO}_2$  倍增使  $\text{C}_3$  植物光合速率提高,生物量增加,但其机理至今不清。在紫花苜蓿的研究中发现,倍增  $\text{CO}_2$  浓度对光合作用原初光能转换有明显的影响,其叶绿体对光有更强的吸收能力,叶片的光系统 II 原初光能转换效率、潜在活性、电子传递量子产量以及光系统 I 活化能力均有提高;同时荧光光化学猝灭组分增加,非光化学猝灭组分降低,表明  $\text{CO}_2$  浓度倍增下的紫花苜蓿对光能的利用更为有效,对光合作用起到促进作用,为  $\text{CO}_2$  浓度倍增条件下  $\text{C}_3$  植物净光合作用的提高,提供了生理、生化的依据。

#### 1.1.3 叶绿体超微结构效应

$\text{CO}_2$  浓度倍增对谷子和紫花苜蓿的叶绿体超微结构有明显影响,突出表现为淀粉粒的积累明显增加,尤以维管束鞘细胞更为明显,且  $\text{C}_4$  植物谷子的叶绿体比  $\text{C}_3$  植物紫花苜蓿积累的淀粉粒多,为解释  $\text{C}_3$  和  $\text{C}_4$  植物对  $\text{CO}_2$  浓度倍增的不同反应提供了依据。

#### 1.1.4 不同大小的种子与幼苗效应

在  $\text{CO}_2$  浓度倍增及正常日照条件下,种子越小,其幼苗的生长反应越大,生长速率越快,其结果可能是这类植物在未来的植物群落中更占优势。

#### 1.1.5 植物暗呼吸

在较低温度( $15^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ )下, $\text{CO}_2$  浓度倍增对植物的暗呼吸无显著影响;而在较高温度

(30℃, 35℃)下,  $\text{CO}_2$  浓度倍增对植物的暗呼吸有显著的促进作用, 与物种(C3 或 C4 类型、草本与木本)无关。

#### 1.1.6 农作物生长发育、产量形成及基本生理特征

对小麦、大豆、棉花、玉米四种农作物在  $\text{CO}_2$  浓度倍增下的试验结果表明, C3 和 C4 作物的反应虽有一定的差异, 但总的趋势为作物生长和发育加速, 生育期缩短, 物候期提前; 株高、生物量和产量均有所增加, C3 作物增加幅度大于 C4 作物; 光合作用加快且时间延长, 呼吸减弱, 植物蒸腾速率减小, 从而导致水分利用效率的提高。

#### 1.1.7 农作物籽粒品质

在  $\text{CO}_2$  浓度倍增条件下, 冬小麦和玉米的籽粒粗淀粉含量增加, 而粗蛋白质和赖氨酸含量则下降, 总体而言籽粒品质下降; 值得注意的是, 短时高  $\text{CO}_2$  浓度处理起着施肥作用, 对冬小麦籽粒赖氨酸形成则有促进作用; 棉花纤维质量对  $\text{CO}_2$  浓度倍增的反应不明显;  $\text{CO}_2$  浓度倍增对大豆的氨基酸和粗蛋白含量有降低作用, 而对粗脂肪、饱和脂肪酸和籽粒不饱和酸的含量则有增加作用。

### 1.2 植物对气候变化的反应

春小麦对温度升高反应的试验表明, 温度升高将导致生长期(播种-成熟)缩短, 各发育期的茎、叶重均下降, 即温度增加对于干物质积累和籽粒产量具有负作用; 由于温度升高有使肥效下降作用, 而  $\text{CO}_2$  浓度升高的施肥量增加(量)大于产量增加率, 这两种结果叠加将使单位重量肥料的增产率下降更为明显。

尽管关于全球变化( $\text{CO}_2$  浓度升高和气候变化)对于植物的反应已进行了大量的试验研究, 但是全球变化与陆地生态系统以及相关研究计划到目前为止的工作表明, 从单株植物的实验结果外推到整个生态系统对于全球变化的反应必须非常谨慎; 同时, 生态系统的功能和组成结构在不同的时间尺度存在内在联系。短期(时至 10 年)而言, 全球大气成分及气候变化的影响主要反映在生态系统生理学和物种的变化方面; 长期(10 年至 100 年)而言, 全球变化的影响主要反映在生态系统的组成和结构的变化, 以及与其相联系的生理特性的变化方面。

## 2 植被及生态系统对全球变化反应的模拟

预测植被及生态系统对全球变化的反应并据以采取科学的对策, 是全球变化研究的核心。近 10 年来, 为了阐明全球生物圈过程及评估其对人类活动的反应, 已经建立了大量的数值模型。总的来说, 这些模型已经发展到能独立地考虑陆地生态系统的结构(如植被覆盖、物种组成)和功能(如蒸散、光合作用), 可归纳为三类独立的全球陆地生物圈模型:

(1) 陆地表面模型。描述陆地表面与低层大气之间的生物物理作用, 它是根据给定的植被地理分布和土壤特征, 在大尺度上模拟土壤-植被-大气系统的能量与水分平衡, 主要用于大气环流模型中, 如 BATS, SiB, LSM。但这类模型没有考虑气候变化可能引起的植被分布变化对陆地表面特征(如反射率、根的深度)及生物地球物理的反馈作用。

(2) 生物地理模型。反应物理环境对植物功能类型的有效性、资源的竞争及达到平衡时植被覆盖的影响, 可用于模拟全球植被分布及其对气候变化的反应, 如 BIOME, DOLY, MAPSS 等。

(3) 生物地球化学模型。反应植被、表面凋落物和土壤有机质间的碳和养分(主要是氮)循环,可用于检验植被的净第一性生产力、碳贮存和养分利用及其对气候变化的反应,如 CENTURY, TEM, Biome-BGC 等。

由于这 3 类独立发展的生物圈模型都只描述陆地生态系统与大气相互作用的不同方面,还没有将整个生物圈作为一个整体来考虑,因而不能检验生态系统对于多个、潜在相互作用因子的反应,及陆地生物圈的变化如何影响地球系统;同时,几乎所有的生物圈模型都集中于描述生态系统达到平衡时的结构和功能,因而大大限制了预测陆地生态系统对气候变化反应的能力。正如前 GCTE 主席 B. H. Walker 所指出的,目前我们对于陆地生态系统变化对未来气候将产生多大的影响,以及未来气候对自然和农业生态系统将产生多大影响仍存在相当大的不确定性。

我国关于全球气候变化的研究起步较晚,“八五”期间有两个国家级的科研项目涉及到全球气候变化与陆地生态系统,即叶笃正先生主持的国家攀登项目“我国未来(20—50 年)生存环境变化趋势的预测研究”和张新时先生主持的国家基金重大项目“中国陆地生态系统对全球变化的反应模式研究”。前者着重于建立区域大气环流模式,并进行典型生态系统的观测与实验研究;后者则着重于建立气候-植被关系模式。尽管这两个项目都涉及到一些生态系统的能量、水分、碳及养分循环的研究,以及气候-植被分布研究,但是迄今还未建立起成熟的生物地理模型和生物地球化学模型。

在生物地理模型方面,张新时等首次将 Holdridge 生命地带系统及自然植被净第一性生产力模型——Chikugo 模型引进中国,并利用中国的实测资料对 Holdridge 生命地带系统的暖温带与亚热带的界线和雪线界线进行了修正,建立了修正的 Holdridge 生命地带系统。为克服 Holdridge 生命地带系统在中国应用的不足,以及该系统利用局地潜在蒸散进行区域尺度的气候-植被分类的缺陷,周广胜与张新时提出了根据区域潜在蒸散对气候-植被分类的观点,并给出了热量和水分划分的指标:区域热量指数(RTI)和区域湿润指数(RMI),初步定量地研究了中国的气候-植被分类,同时利用预测的未来气候方案预测了中国植被的演变趋势。

在生物地球化学模型方面,周广胜和张新时根据植物的生理生态学特点,及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,建立了联系植物生理生态学特点和水热平衡关系的自然植被净第一性生产力模型。据比较,该模型克服了 Chikugo 模型应用潜在蒸散计算自然植被净第一性生产力的不足,优于 Chikugo 模型,特别是在干旱半干旱地区。

延晓东通过对长白山森林生态系统的研究,针对林窗模型难以在区域尺度应用的不足,强调考虑树种的生活史,基于 Zelig 模型建立了长白山森林生态系统的林窗模型——NEWCOP (North Eastern Woods Competition Occupation Processor)。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。肖向明等将国际著名的草地生态系统模型——CENTURY 模型应用到内蒙古草原生态系统,在利用实测资料检验该模型的基础上,模拟了羊草草原和大针茅草原的生物量动态和土壤有机质含量及其对未来气候变化的反应。

值得指出的是,高琼等对东北松嫩平原碱化草地景观动态及其对气候变化响应的模拟研究。该模型描述了碱化草地的植被动态和土壤碱化相互耦合的过程,考虑了局部土壤的碱化过

程,局部植物群落的演替过程,优势植物种的水平扩散过程,土壤碱化度的水平趋均过程,能将模型的空间耦合成分与局部机制成分分离开来分别加以处理,模型的局部机制可从相应的匀质斑块尺度模型中直接得到,从而很容易在前人的匀质斑块模型的基础上构造空间仿真模型。

### 3 植被与生态系统对全球变化反应的研究展望

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,在我国尤为明显。国际地圈-生物圈计划(IGBP)也已认识到了这一问题,并于1992年启动了旨在促进全球变化与陆地生态系统研究的核心项目“全球变化与陆地生态系统(GCTE)”。1993年提出了全球变化的陆地样带研究方法。我国学者张新时先生倡议的中国东北森林-草原陆地样带(NECT; Northeast China Transect)则被确定为IGBP的首批全球陆地样带之一。由于陆地样带可以作为分散研究站点的观测研究与一定空间区域综合分析的桥梁和不同时空尺度模型之间耦合与转换的媒介,又是进行全球变化驱动因素梯度分析的有效途径,这已经成为地圈-生物圈计划研究项目(如生物多样性研究)的重要研究手段。因此,可以说我们的研究目标已经明确,研究策略也已具备。特别需要强调的是,在以后的研究中应重视全球变化对于陆地生态系统影响机制的研究;同时,要充分利用现存的大量资料,建立不同时空尺度上有机耦合的预测性机理模型。为此,不仅需要国内科学家富有成效的合作,而且也要与国际有关研究接轨。

为了提高中国全球变化研究的整体水平,更准确地预测中国陆地生态系统对全球变化的反应,减少全球变化的不确定性,为制订国家和国际政策的科学行动计划提供依据,未来中国关于全球变化与陆地生态系统的研究,应注重以陆地样带研究为基础进行各科学计划间的交叉,并加强以下方面的研究:(1)中国植被与生态系统对全球变化反应的机理研究,加深关于陆地生态系统对全球变化反应的理解;(2)发展和建立中国植被功能类型指标体系,并与遥感技术相结合;(3)加强土壤圈对全球变化反应的研究;(4)发展和建立普适生物地球化学循环模型;(5)发展和建立普适生态系统演替模型;(6)发展和建立综合反应生态系统的结构和功能的耦生物地球化学循环和植被地理分布于一体的植被与生态系统动态模型;(7)建立模型尺度转换及参数化理论,以实现区域和全球水平的动态模拟;(8)加强土地利用与土地覆被变化的模拟与预测综合研究;(9)发展和建立包含陆地表面过程、陆地碳平衡和植被动态的综合生物圈模型,并实现与大气环流模型(GCMs)的耦合与参数转换,以模拟陆地生态系统对大气和气候变化的反应及其反馈效应;(10)建立集数据库、模型库和专家系统于一体的陆地生态系统信息系统,以实现陆地生态系统对全球变化反应的动态仿真,便于政府针对全球变化做出适宜的对策。

### 参考文献

- 1 孙成权,陈晔. 中国的全球变化研究项目评述. 地球科学进展,1995,10(1):70—74.
- 2 丁莉等. CO<sub>2</sub>倍增对紫花苜蓿碳氮同化与分配的影响. 植物学报,1996,38:83—86.