

430-436

3968(14)

森林衰退与全球气候变化

肖辉林

S718.512

(广东省土壤研究所, 广州, 510650)

A

摘要 工业革命以来的人类活动,改变着大气的化学组成,从而改变着全球的气候,气候变率影响着森林的生长,甚至能导致森林衰退。全球气候变化引起森林衰退的机制可能有几种。全球变暖、降水模型的变化以及蒸散作用的提高,将给一些森林带来高温胁迫和水分胁迫,危害植物的生理过程,CO₂的施肥作用及其与气温升高的协同效应,将促进植物的新陈代谢,加速树木的成熟和衰老。在全球气候变化条件下,植物种竞争和分异将加强,气候变率和极端气候干扰将增加,因而森林生态系统将更易发生涨落。

关键词: 森林衰退, 全球气候变化, 可能机制。

全球气候变化及其对经济、社会发展和生态环境的影响是当前世界各国政府和科学家所关注的重大问题。大气圈与生物圈之间有不可分割的联系,气候变化必将对森林产生某些影响。有关研究指出,气候变化能导致森林衰退^[1-9]。森林衰退与全球气候变化之间的关系已成为当代生态学研究的重要课题。本文试图根据国内外的研究进展,概述全球气候变化的情景,并探讨全球气候变化引起森林衰退的可能机制。

1 全球气候变化

在人类历史的漫长发展过程中,人类在绝大部分时间内并未对气候产生足够大的影响,气候仍在其基本因子的作用下变化着^[1]。但在工业革命后的200年间,地球上人口剧增,生产规模迅速扩大,人类对气候的影响越来越大。现代工业、农业和能源利用过程都排放着大量的温室气体,森林的破坏也使大气中的CO₂和CH₄大为增加^[9-11]。目前已知的温室气体主要是CO₂、CH₄、N₂O、CFC₁₁、O₃等。表1列举了几种温室气体在大气

表1 大气中几种温室气体的浓度变化
Table 1 Concentration change in several greenhouse gases in the atmosphere

温室气体 Greenhouse gases	大气中的浓度(nl/L) Concentration in the atmosphere		目前年增长率 Annual growth rate at present
	工业化前 Before industrialization	1990年 In 1990	
CO ₂	280 × 10 ⁹	350 × 10 ⁹	0.4%
CH ₄	700	1650	1.0%
N ₂ O	210	304	0.25%
CFC ₁₁	0	0.23	5.0%
CFC ₁₂	0	0.4	5.0%

* 根据文献[10-12]编制。Compiled from the reference[10-12].

中的浓度变化状况^[10-12],它表明了CO₂、CH₄、N₂O、CFC₁₁浓度正在急剧上升。O₃的浓度和分布受光化学反应的强烈影响而变化较大,其浓度的全球尺度变化尚不明显,但平流层O₃总量显示出长期逐渐下降的趋势,对流层下部O₃浓度则有所增加^[10]。对流层O₃的变化可以直接通过改变原来的对流层之辐射增温率而影响气候;平流层中的O₃变化可通过平流层和对流层之间的辐射与动力耦合机制而影响对流层的气候^[11]。痕量气体的作用是不可低估的,与同浓度的CO₂相比,CH₄的温室效应能力为其40倍,N₂O为其100倍,O₃为其1000倍,而CFC₁₁为其10000倍^[12]。

1990年IPCC公布,按照现在大气中CO₂浓度的增长速率,至2030年左右,大气CO₂浓度将是工业革命前的2倍;CO₂倍增时,全球平均气温将上升1.5—4.5℃,降水将增加3%—15%^[11]。这个数据与常用的4种大气环流模式(GCMs)相当接近(表2)。根据它们的推算,CO₂倍增时,全球平均温度将升高2.8—5.2℃,降

收稿日期:1993 05 15.

水将增加 7.8%—15.0%^[14-17]。这将使人类有可能面临最严重的气候剧烈变化^[10]。

表 2 4 种大气环流模式预言 CO₂ 倍增时全球平均温度和降水量变化

Table 2 Changes in global mean temperature and mean annual precipitation under double-CO₂ condition as predicted by four general circulation models

大气环流模式 GCM	温度(°C) Temperature	降水(%) Precipitation	参考文献 Reference
俄勒冈州立大学 Oregon State University(OSU)	+2.8	+7.8	[14]
美国地球物理流体动力学实验室 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory(GFDL)	+4.0	+8.7	[15]
美国戈达德空间研究所 Goddard Institute for Space Studies(GISS)	+4.2	+11.0	[16]
联合王国气象局 United Kingdom Meteorological Office(UKMO)	+5.2	+15.0	[17]

研究表明,1881—1984 年约 100a 中,全球气温是上升的,南半球陆地气温上升 0.51°C,北半球上升 0.52°C^[18,19]。也有类似的结果指出,从 1900—1987 年地球表面温度升高 0.7°C,这个数目包括地球上的“热岛”升温,若不计算“热岛”升温,则全球表面升温约为 0.5°C^[20]。

近 100a 来降水量的变化大体上是:中纬度地区的雨量变化(尤其是冬季的雨量变化)与半球的平均气温变化有反位相的关系,即暖期雨量少,冷期潮湿^[10]。这种降水变化对世界植被

的影响是不利的,它容易导致暖期干旱,给植物带来水分胁迫和高温胁迫。降水量的变化最引人注目的是 70 年代非洲萨赫尔(Sahel)地区的干旱和印度季风雨中断现象的频繁出现。西非季风区则在 1968—1973 年出现持续的干旱,撒哈拉沙漠的南缘每年以 9.1km 的速度向南推进^[20]。

从地球进化史来看,森林就是大气圈的光、热、水、CO₂、O₂ 的状况变化的产物^[21]。因此,全球气候变化必将对森林产生重要的影响。

2 森林衰退案例

森林衰退(forest decline)指立地上许多树木能被明显地观察到丧失其活力,常绿树种树上的大部分叶片凋落,而落叶树种则不适季节地落叶。顶梢枯死(dieback)是这种现象的进一步发展,在树冠叶片凋落之后,随之而来的是死亡。这种过程可能很快,也可能很慢,有的可能持续数十年。本世纪有许多森林发生衰退,下面是气候变化引起森林衰退的几个例子。

30—50 年代,在美国华盛顿州和加拿大不列颠哥伦比亚省一带的加州山松(*Pinus monticola*)发生林冠顶梢枯死。据调查^[22],其衰退原因不是地区性空气污染而是极端气候变化所引起的。1936 年该地区异常的冬天解冻条件及其以后的若干年内夏天的高温胁迫和水分胁迫,破坏了加州山松的根系组织,使水分运输受到阻碍,从而影响木质部组织的正常生长及功能的运行,导致木质部的空化(cavitation),于是,顶梢枯死便发生。类似的极端气候条件也引起了北美洲东部和欧洲中部的森林发生衰退^[1]。

60—70 年代,夏威夷岛铁心木属(*Metrosideros*)雨林群落区发生大面积森林衰退。有关研究表明^[23],它的衰退是由下列若干因素在连锁反应中引起的:森林结构简单,土壤承载力随着森林的成熟而增加,当森林达到生长停滞阶段时,极端气候干扰触发顶梢枯死。

70 年代末至 80 年代初,法国东北部孚日山(Vosges mountains)的欧洲冷杉(*Abies alba*)森林发生衰退。据研究^[24],该森林的生产力在 1850—1940 年迅速增长,然后趋于稳定阶段。在最近 40 年中发生了严重的气候危机。而干旱在其中扮演着关键的角色,气候是导致这种原来健康和充满生命力的森林发生衰退的主要因素。

70 年代后期和整个 80 年代,加拿大魁北克(Quebec)东部阿巴拉契亚山脉发生大面积的森林衰退,其主要树种是糖槭(*Acer saccharum*)。现已基本查明,其衰退原因主要是气候变化、土壤养分不平衡和虫害,而气候变化在该地区又主要表现为夏天干旱和异常的高温^[25]。

上述的案例表明,气候变化能直接或间接地引起森林衰退。其实,这种概念现在已被森林病理学家所广

泛接受⁽⁷⁾。Hepting 在 1963 年就已经指出,变化着的气候可以是那些与任何原初病原体无关的森林衰退的主要原因⁽⁸⁾。他称这种衰退为“生理病”(physiogenic)。当然,并不是所有的森林衰退都是气候变化所引起的,病虫害⁽⁹⁾、工业污染⁽²²⁾或土壤性质变化⁽²³⁾等因素也能引起森林衰退。

3 全球气候变化引起森林衰退的可能机制

3.1 高温胁迫

植物缺乏有效地调节自身的温度,所以它们在世界范围内和较小生态区域内的分布都受到环境温度的强烈影响。世界各种气候带具有独特的植被类型,这些植被类型是在对温度和降雨的反应中由自然选择建立的⁽²⁴⁾。现有的自然森林在一定气候带内或一定区域内的分布,是树种经过漫长的进化过程的结果,它们的生理过程已适应于过去那种变化着而又相对稳定的气候模型。虽然植物在进化过程中有时可通过基因突变来适应环境变化,但这种现象不是各种植物都经常发生的。多数植物是通过渐变来适应环境的,而渐变意味着需要漫长的过程。工业革命以来的人类活动对环境的破坏和对气候的影响越来越大,原有的气候模型正在剧烈地改变,因而植物固有的生理过程也受到严重的干扰。

表 3 高温和水分胁迫对植物生长发育(1)、代谢(2)和调节(3)过程的影响⁽²⁶⁾

Table 3 Effects of heat and water stress on developmental(1), metabolic(2) and regulatory (3) process

过程 Process	高温胁迫 Heat stress	水分胁迫 Water stress
(1)衰老 Senescence	+	+
生长 Growth	-	-
(2)叶绿素降解 Chlorophyll degradation	+	+
纤维素合成 Cellulose synthesis	-	-
呼吸作用 Respiration	+	+
淀粉分解力 Amylolytic activity	+	+
CO ₂ 固定 CO ₂ fixation	-	-
(3)细胞分裂素代谢 Cytokinin metabolism	+	+
细胞分裂素活性 Cytokinin activity	-	-
脱落酸含量 Abscisic acid content	+	+

就植物对温度的反应而言,各种植物都有其最适温度。据研究,嗜冷植物适应在 15℃ 以下的环境中生长,嗜温植物适应于 30—45℃⁽²⁵⁾,嗜中温植物则适应于 20—35℃⁽²⁴⁾。温度高于它们各自的上限都有可能成为高温胁迫。而高温胁迫常伴随着水分胁迫,这两者都影响植物的代谢和调节过程,抑制植物生长,促进衰老、枯萎和落叶^(26,27)(表 3)。

高温胁迫引起森林衰退已被证实。据 Auclair 等人的统计⁽⁷⁾,约位于北纬 42°—60° 的不列颠哥伦比亚

省(加拿大)、华盛顿州和俄勒冈州(美国),1950—1990 年共发生了与极端气候有关的森林顶梢枯死事件 68 起,其中,高温胁迫引起的有 7 起,夏秋干旱(drought)和冬天干化(drying)引起的有 41 起,其它的有 20 起。这说明了高温胁迫能引起森林衰退,而且它在北方地区的森林衰退中还占有一定的比例。

全球变暖将给对温度敏感的植物带来高温胁迫。Cohen 的模拟实验⁽²⁸⁾指出了全球变暖可通过树木对日温的反应而直接地、也可通过提高蒸散作用并因此增加干旱胁迫而间接地影响森林的生长,全球变暖将使森林发生衰退,某一森林主要树种将被另一树种所替代。

3.2 水分胁迫

区域水分平衡是地球上大多数生物群落的生物量、叶面积和生长形态的主要控制因素⁽²⁹⁻³¹⁾。一个生物群落内的植物在其生长季节内似乎通过蒸腾而损失大多数土壤有效水分。在这个季节内,如果土壤有效水分越多,生长出的叶面积就越大,通过蒸腾作用损失的水分就越多。如果土壤水分在植被生长季末之前已亏缺,水分胁迫就会引起植被顶梢枯死和叶面积衰减。这样,蒸腾的水分数量将减少⁽³²⁾。在特定地区,有效水分的季节性和数量也似乎支配植被的类型和状态,例如,决定乔木占优势还是灌木占优势⁽³¹⁻³³⁾。上述情况适合于中、低纬度植被。相对于水分有效性,高纬度植被则更多地受制于区域能量平衡⁽³⁴⁾。

CO₂ 倍增的气候情景显示了世界大多数地区的气温将上升,这可能导致潜在的蒸散作用(PET)的加强。虽然全球降雨将有所增加,但地球陆地上的降雨变化将更大,植被可利用的水分在某些地区将更少。例如,对于美国,PET 将上升 50 至大于 100mm/a,说明在美国大部分地区,植物可利用的水分将更少,干旱胁迫的增

加将导致地区性叶面积的衰退^[35]。

在 CO₂ 倍增的情况下,由于温度上升,干旱胁迫在生长季节将被加剧。较长的生长季节将增加现存植被的蒸腾需要。较暖的冬天将减少降雪和缩小地区性雪堆,导致冬天贮存水分(供应于生长季节)的减少^[36,37]。如果深层土壤的水分释放依靠雪的融化,则贮存在深层处的水分将更少,这样,在下一个生长季节里植被可利用的有效水分就更少。干旱引起的顶梢枯死将是这些变化的结果。

3.3 CO₂ 施肥作用及其与气温升高的协同效应

C₃ 植物对于增加的 CO₂ 具有很大的吸收能力,增加大气 CO₂ 对树木具有施肥作用^[38-42],当然也存在着树种和生境的限制。但如果其它环境资源满足要求,大气 CO₂ 浓度的增加则能提高森林初级生产和增大林冠,促进新陈代谢,加快生长速率,从而缩短树木的生命期。当树木达到成熟的高峰期,增加大气 CO₂ 浓度有可能加速衰老的到来^[39]。虽然未见报道增加 CO₂ 对整株树木的衰老过程有促进作用的实验,但对于其它一些 C₃ 植物,如 *Nemophila menziesii*、*Layia platyglossa*、*Clarkia rubicunda* 和 *Gossypium hirsutum* (陆地棉)等,却已被实验所证实^[43,44]。

近 100 年来全球平均气温约升高 0.5℃^[19,20],这个数字似乎难以与森林衰退联系起来。但近来的研究发现^[45],全球变暖主要是在夜间升高温度而日间则维持在原来的水平(这可能与云量和温室气体的增加以及它们对红外线的屏蔽作用有关)。夜间温度升高将加速植物的代谢过程,从而与 CO₂ 肥料一起,对缩短 C₃ 植物的生命期起协同作用,导致过早衰老。当然,如果温度超过植物的适应范围而造成高温胁迫,则植物对 CO₂ 的固定反而减弱(表 3),但此时高温胁迫也能促使植物过早衰老,这已在前面予以论述。

3.4 促进植物种竞争和分异

森林在地球上分布的格局与气候因子密切相关^[21]。据报道^[47,48],Smith 等人应用 4 种大气环流模式进行模拟实验,结果表明,在 CO₂ 倍增时的气候情景下,热带外的森林将向两极推移,冻原、北方森林将缩小,温带森林将扩大,热带半干旱林地和热带雨林面积将增加,而热带季雨林面积将减少(表 4),地球植被有 16%—56% 将从某种生物群落转变为另一种生物群落。例如,据蒋有绪的预测^[49],2020 年左右我国大兴安岭南部的樟子松(*Pinus sylvestris* var *mongolica*)、兴安落叶松(*Larix gmelinii*)其天然分布将向高海拔迁移;大兴安岭

表 4 4 种大气环流模式预言的各种植被类型的区域范围变化^[47]

Table 4 Change in areal extent of different vegetation types as predicted by four GCMs

Holdridge 生物带 Holdridge life zone	面积(10 ⁶ km ²) Area	生物群落面积差额(10 ⁶ km ²) Difference in biome area			
		GFDL	GISS	OSU	UKMO
冻原 Tundra	9.30	-6.11	-5.50	-4.56	-6.43
寒带疏树草原 Cold parklands	2.79	0.03	-0.41	-0.10	-1.09
森林冻原 Forest tundra	8.90	-5.02	-3.03	-2.90	-5.50
北方森林 Boreal forest	15.03	-5.45	-1.54	-0.89	-4.85
温带森林 Temperate forest	9.94	1.92	3.49	1.63	3.04
暖温带森林 Warm temperate forest	3.17	-1.22	-1.25	-0.72	-0.29
寒漠 Cool desert	4.01	-0.97	-1.67	-0.82	-1.93
干草原 Steppe	7.39	4.20	-0.46	1.30	-0.21
热漠 Hot desert	20.85	-0.20	-3.22	-1.42	-0.92
查帕拉尔群落 Chaparral	5.58	1.83	-0.13	-0.69	2.99
热带半干旱群落 Tropical semiarid	9.56	4.43	7.18	2.58	7.07
热带干旱森林 Tropical dry forest	14.86	4.71	4.49	0.00	11.19
热带季雨林 Tropical seasonal forest	15.13	-5.11	-7.24	-4.98	-7.48
热带雨林 Tropical rain forest	6.46	6.95	8.85	11.57	4.40
合计 Total	134.97	0.00	0.00	0.00	0.00

林区的树种组成和植物区系将有逐步的变化,一些含有极地成分的林型如岩须-落叶松林型可能逐渐消失,温带长白山区系成分将有更多的渗入。有关研究指出,森林组分和分布的变化可通过两条根本不同的途径进行,即通过上层树种与更适应于新气候条件的树种之间的逐渐竞争替代而缓慢地进行,或者,通过干旱引起的顶梢枯死或野火的燃烧而灾害性地发生^[50]。

这种全球气候变化促使生物群落发生变化和促进植物种竞争的假说似乎与 Strain 的结论^[52]是一致的。Strain 在总结若干学者(包括他们自己)对北美的火炬松(*Pinus taeda*)、西黄松(*Pinus ponderosa*)森林及其它生态系统的研究之后指出,CO₂和全球变化的所有其它环境因素以分异的方式影响着物种,随着时间的进展,物种反应的差异将使生态系统中的植物区系和动物区系发生生态学变化。适者生存,不适者淘汰。根据上述的假说,可以说,森林如果不能有效地通过改变树种的遗传基因和生理过程来适应全球气候变化而继续占据某一立地,则可能在竞争和分异中走向衰退。

3.5 增加气候变率,促使生态系统发生涨落

森林生态系统与土壤系统有着不可分割的联系。土壤系统是森林生态系统的重要组成部分。森林生态系统的稳定性依赖于土壤系统的稳定性。气候变化对土壤系统的影响可能是深刻的^[52,53]。地球温度和降水模型的变化将改变土壤的化学、物理和生物性质,这种性质的改变将反过来影响植被的分布、生长状况和生产力。一旦物种组分开始变化,土壤性质就会受到新的影响,因为物种影响着养分的循环过程^[54,55]。因此,气候变化可能干扰植物-土壤的联系,导致生态系统的长期不稳定^[56]。

全球变暖不可能在空间上均匀升高温度。大气环流模式预示了温度变化的地区性差异^[50]。这种差异将影响过去大气的一般循环规律,增加气候变率^[57]。Overpeck 应用气候模式也预言了在 CO₂浓度增加的条件下,风暴度和天气扰动频率将增加,而且预言了树木死亡和森林顶梢枯死将加快^[58]。前面已提到的夏威夷雨林顶梢枯死,就是由于 1900—1984 年极端风暴-涝灾和极端干旱的频率的增加所触发的^[2]。

阿巴拉契亚山脉红云杉(*Picea rubens*)的衰退也是这方面的典型例子。有关研究表明^[6],生长在阿巴拉契亚山脉的红云杉在过去的 150a 间,受到气候变率(climatic variability)和气候变化的强烈影响;在 20 世纪的大部分时间里,它与气候环境不平衡,变化着的气候似乎超过了该树种某些生理反应的限度,这种情况可能破坏已建立的物候学、碳分配和耐寒模型,使红云杉更易受短期极端气候事件和长期的大气污染的危害。

由此可见,全球气候变化可通过增加气候变率,促使森林生态系统发生涨落。这些涨落一旦在高温胁迫、水分胁迫、病虫害或大气污染等条件的协同下得到放大,达到失稳的临界点,系统的结构就无法平息涨落,森林衰退就可能发生,原系统就演化为另一种系统。

参 考 文 献

- 1 Auclair A D *et al.* A case study of forest decline in western Canada and the adjacent United States. *Water, Air & Soil Pollut.* 1990, 53: 13—31
- 2 Mueller-Dombois D. A dieback in Hawaii, 1984 synthesis and evaluation. *Pac. Sci.* 1985, 39: 50—170
- 3 Becker M *et al.* Silver fir decline in the Vosges mountains (France), role of climate and silviculture. *Water, Air & Soil Pollut.* 1989, 48: 77—86
- 4 Bernier B *et al.* Natural stresses, nutrient imbalances and forest decline in southeastern Quebec. *Water, Air & Soil Pollut.* 1989, 48: 239—250
- 5 Staley J M. Decline and mortality of red and scarlet oaks. *For. Sci.* 1965, 11: 2—17
- 6 Cook E C and Johnson A H. Climate change and forest decline, a review of the red spruce case. *Water, Air & Soil Pollut.* 1989, 48: 127—140
- 7 Manion P D. *Tree Disease Concepts*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1981
- 8 Hepting G H. Climate and forest decline. *Ann. Rev. Phytopath.* 1963, 1: 31—32
- 9 中国科学技术委员会. 气候. 北京, 科学技术文献出版社, 1990
- 10 叶笃正, 曾庆存, 郭裕福主编. 当代气候研究. 北京, 气象出版社, 1991
- 11 IPCC (Intergovernment Panel on Climatic Change). *Scientific Assessment of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990
- 12 毛文永. 温室气体与气候变迁——兼论科学不确定性. 生态学报, 1992, 12(2): 186—192

- 13 刘健,邹进上. 大气臭氧的时空分布及其气候效应. 天地生综合研究进展(第三届全国天地生相互关系学术讨论会论文集). 北京:中国科学技术出版社,1989
- 14 Schlesinger M E *et al.* Seasonal climate change introduced by doubled CO₂ as simulated by the OSU atmospheric GCM/mixed-layer ocean model. *J. Climate*, 1989, 2, 429—495
- 15 Manabe S *et al.* Large-scale changes in soil wetness induced by an increase in carbon dioxide. *J. Atmos. Sci.* 1987, 4, 1211—1235
- 16 Hansen J *et al.* Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies' three-dimensional model. *J. Geophys. Res.* 1988, 93, 9341—9364
- 17 Mitchell J F B. The "greenhouse" effect and climatic change. *Rev. Geophys.* 1989, 27, 115—139
- 18 Jones P D *et al.* Northern Hemisphere surface air temperature variations, 1851—1984. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 1986, 25, 161—179
- 19 Jones P D *et al.* Southern Hemisphere surface air temperature variations, 1851—1984. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 1986, 25, 1213—1230
- 20 Henderson-Seller A. Modelling and monitoring "greenhouse" warming. *Trends. Ecol. & Evol.* 1990, 5, 270—275
- 21 蒋有绪,徐德应. "天-地-生"宏观研究中的森林与大气间相互关系. 邹进上主编. 气候学研究——"天、地、生"相互影响问题. 北京,气象出版社,1989
- 22 Schuze E D *et al.* *Forest Decline and Air Pollution*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1989
- 23 Zoetli H W and Huettl R F (eds). *Management of Nutrition in Forests under Stress*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991
- 24 Sutcliffe J. *Plants and Temperature* (Studies in Biology no. 86). Edward Arnold (Publ.) Ltd. London, 1977
- 25 Turner N C and Kramer P J (eds). *Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress*. Wiley-Interscience, New York, 1980
- 26 Irai C and Ben-Zioni A. Regulation of plant response to high temperature. in: Bielek R L *et al.* (eds). *Mechanisms of Regulation of Plant Growth*. Roy. Soc. N. Z. Bull. 1974, 12, 477—482
- 27 Milborrow B V. Abscisic acid and other hormones. in: Paleg L G and Aspinall D (eds). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press, Australia, 1981
- 28 Cohen Y *et al.* The responses of a forest model to serial correlations of global warming. *Ecology*, 1991, 72, 1161—1165
- 29 Woodward F I. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, London, 1987
- 30 Stephenson N L. Climatic control of vegetation distribution, the role of the water balance. *Amer. Nat.* 1990, 135, 649—670
- 31 Neilson R P *et al.* Regional and local vegetation patterns, the responses of vegetation diversity to subcontinental air masses. in: Hansen A (ed). *Landscape Boundaries, Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows* (Ecological Studies 92). Springer-Verlag, New York, 1992
- 32 Whittaker R H. *Communities and Ecosystems*. MacMillan Publishing Co. Inc., New York, 1975
- 33 Daubenmire R. Soil moisture in relation to vegetation distribution in the mountains of Northern Idaho. *Ecology*, 1968, 49, 431—438
- 34 Bonan G B *et al.* Environmental factors and ecological processes in boreal forests. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1989, 2, 1—28
- 35 Neilson R P *et al.* *Sensitivity of Ecological Landscapes and Regions to Global Climate Change*. USEPA, Washington D C, 1989
- 36 Gleick P H. Regional hydrologic consequences of increase in atmospheric CO₂ and other trace gases. *Clim. Change*, 1987, 10, 137—161
- 37 Gleick P H. The development and testing of a water balance model for climate impact assessment: modeling the sacramento Basin. *Water Resour. Res.* 1987, 23, 1049—1061
- 38 Woodward F I *et al.* The effects of elevated concentration of carbon dioxide on individual plants, Populations, communities and ecosystems. *Ann. Bot.* 1991, 67 (Supplement): 23—38
- 39 LaMuche V C *et al.* Increasing atmospheric and carbon dioxide, tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. *Science*, 1984, 225, 1019—1021
- 40 Downton W J S *et al.* Consequences of increased atmospheric concentration of carbon dioxide for growth and photosynthesis of higher plants. in: Pearman G I (ed). *Carbon Dioxide and Climate, Australian Research*. Australian Academy of Sciences, Canberra, 1980
- 41 Wong S C. Effects of elevated partial pressure of CO₂ on rate of CO₂ assimilation and water use efficiency in plants. in: Pearman G I (ed). *Carbon Dioxide and Climate, Australian Research*. Australian Academy of Sciences, Canberra, 1980
- 42 Kickert R N and Krupa S V. Forest responses to tropospheric Ozone and climate change: an analysis. *Euron. Pollut.* 1990, 68, 29—65

- 43 Dahlman R C *et al.* Research on the response of vegetation to elevated atmospheric carbon dioxide. *J. Environ. Qual.* 1985, **14**:1—8
- 44 St. Omer L and Horvath S M. Elevated carbon dioxide concentration and whole plant senescence. *Ecology*, 1983, **64**:1311—1314
- 45 Chang C W. Carbon dioxide and senescence in cotton plants. *Plant Physiol.* 1975, **55**:515—519
- 46 Karl T R *et al.* Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change. *Geophys. R. L.* 1991, **18**:2253—2256
- 47 Dixon R K *et al.* The global carbon cycle and climate change: Responses and feedbacks from below-ground systems. *Environ. Pollut.* 1991, **73**:245—262
- 48 King G A and Neilson R P. The transient response of vegetation to climate change, a potential source of CO₂ to the atmosphere. *Water, Air & Soil Pollut.* 1992, **64**:365—383
- 49 蒋有绪. 全球气候变化与中国森林的预测问题. *林业科学*, 1992, **28**:431—438
- 50 Hennon R E *et al.* Dynamics of decline and mortality of *Chamaecyparis nootkatensis* in Southeast Alaska. *Can. J. Bot.* 1990, **68**:651—662
- 51 Strain B R *et al.* Field measurements of CO₂ enhancement and climate change in natural vegetation. *Water, Air & Soil Pollut.* 1992, **64**:45—60
- 52 Burke I C *et al.* Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1989, **53**:800—805
- 53 Adams R M *et al.* Global climate change and US agriculture. *Nature*, 1990, **345**:219—224
- 54 Stone E L. Effects of species on nutrient cycles and soil. *Philos. Trans. Roy. Soc. Lond. B.* 1975, **271**:149—162
- 55 Turner D P and Franz E. The influence of western hemlock and western red cedar on microbial numbers, nitrogen mineralization and nitrification. *Plant & Soil*, 1985, **88**:259—267
- 56 Perry D A *et al.* Species migrations and ecosystem stability during climatic change: the below-ground connection. *Biol. Conserv.* 1990, **4**:266—274
- 57 Hare F K. Climate variation and variability: empirical evidence from meteorological and other sources. *Proc. World Clim. Conf.* Geneva, WMO, 1979, (537). 51—87
- 58 Overpeck J T. Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature*, 1990, **343**:51—53

FOREST DECLINE AND THE GLOBAL CLIMATE CHANGE

Xiao Huilin

(Guangdong Institute of Soil Science, Guangzhou, 510650)

Since the industrial revolution, the anthropogenic activities have been changing the chemical compositions of the atmosphere, and hence have been changing the global climate. Many studies showed that climate change could influence the growth of forests, and even could result in forest decline. There would be several possible mechanisms in forest decline induced by the global climate change. The global warming, precipitation pattern change and evapotranspiration enhancement would bring heat stress and water stress to some forests, which might be detrimental to plant physiological processes. The CO₂ fertilization and its cooperation with the rising atmospheric temperature would promote the metabolism in plants, and accelerate the mature and senescence of trees. Under the condition of the global climate change, the competition and differentiation between plant species would be strengthened, climatic variability and extreme climatic disturbance would be increased, and therefore forest ecosystems would be easier to fall into fluctuation.

Key words: forest decline, global climate change, possible mechanism.