

太阳辐射与温室效应*

丁惠萍 张社奇 冯秀绒

(西北农林科技大学生命科学院 杨凌 712100)

摘要 人类活动引起大气中温室气体增加,导致大气中温室效应增强,这一点已引起世界各国的普遍关注.目前,世界各国都在积极采取有效措施,大力控制人为因素所导致的温室效应,不断改善日益恶劣的气候条件.文章简要阐述了温室效应产生的原因,对生态环境的影响,并提出了减缓温室效应的途径.

关键词 太阳辐射,温室效应,气候变化

PRELIMINARY STUDIES ON SOLAR RADIATION AND THE GREENHOUSE EFFECT

DING Hui-Ping ZHANG She-Qi FENG Xiu-Rong

(College of Life Sciences, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract The increase in greenhouse gases caused by human activities has led to heightening of the greenhouse effect, and is attracts universal attention. Many countries are taking effective measures to control this effect to improve the worsening climate and clean up the atmospheric environment. In this paper we analyse the cause of the greenhouse effect, its influence on the eco-environment and propose a way to slow it.

Key words sun radiation, greenhouse effect, climatic variation

地球大气的温室效应,创造了适合生物生存的环境.在工业革命以前,地球上人口稀少,生产力低下,人类对大自然的影响是区域性的、缓慢的.自工业革命以来,随着生产力提高、人口猛增及科技发展的突飞猛进,人类大量地使用石化燃料(煤、石油等),砍伐森林,开垦荒地,使大气中温室气体的含量不断增加,温室效应对人类的影响日益增强.

1 太阳辐射与大气温度

太阳辐射包括太阳大气层向宇宙空间发射的电磁波和粒子流,通常指电磁辐射.它分布在从X射线到无线电波的整个电磁波谱内,99.9%以上的能量都集中在0.2—10 μ m的波段内,最大辐射强度位于0.48 μ m处.分布在紫外(波长 $\lambda < 0.40\mu$ m)、可见光(0.40 μ m $< \lambda < 0.76\mu$ m)和红外波段($\lambda > 0.76\mu$ m)的能量分别占总辐射能的9%、44%和47%^[1].

太阳表面温度约6000K,在紫外、可见光和红外波段太阳辐射可看作是6000K的黑体辐射.太阳的辐射照度 E 与辐射能量密度 u 的关系为

$$E = cu/4, \\ u = aT^4,$$

其中 c 为光速 $a = 7.57 \times 10^{-16} \text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-4}$.

设太阳半径为 R_{θ} ,则其表面积为 $4\pi R_{\theta}^2$,发光度为

$$L_{\theta} = 4\pi R_{\theta}^2 E_{\theta} = \pi R_{\theta}^2 caT_{\theta}^4.$$

令 r_{θ} 代表日地平均距离,则阳光在地球轨道处的辐射照度为

$$E = \frac{L_{\theta}}{4\pi r_{\theta}^2} = \left(\frac{R_{\theta}}{r_{\theta}}\right)^2 \cdot \frac{caT_{\theta}^4}{4}. \quad (1)$$

在(1)式中代入相关数据 $T_{\theta} = 6000\text{K}$, $R_{\theta} = 6.96 \times 10^8 \text{m}$, $r_{\theta} = 1.50 \times 10^{11} \text{m}$, $c = 3.0 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以及 a 值,得太阳常数

$$E = 1.37 \times 10^3 \text{W} \cdot \text{m}^{-2},$$

* 2002-08-30 收到初稿,2002-10-21 修回

即为与太阳光垂直的大气上界处单位面积上,每单位时间内接受的所有波长的太阳辐射总能量.

地球接受阳光的总辐射功率 P 为向着太阳一面的垂直投影面积 πR_{\oplus}^2 (R_{\oplus} 为地球半径) 乘以太阳常数 E , 即

$$P = \pi R_{\oplus}^2 E. \quad (2)$$

其中云层将太阳辐射的 34% 直接反射到太空中去, 剩下 66% 的太阳辐射经过大气、海洋、地面复杂的吸收、输运和转化过程, 最后还要以辐射的形式将能量发放到太空中去. 地表的温度是很不均匀的, 高层大气温度相对来说比较均匀. 地球向太空的辐射可看成某等效温度为 T_{\oplus} 的黑体辐射, 地球的发光度为

$$L_{\oplus} = \pi R_{\oplus}^2 caT_{\oplus}^4. \quad (3)$$

按照地球辐射收支平衡理论, 应有

$$L_{\oplus} = 0.66P = 0.66\pi R_{\oplus}^2 E. \quad (4)$$

将 (1) (3) 式分别代入 (4) 式得

$$\frac{T_{\oplus}}{T_{\odot}} = \left[\frac{0.66}{4} \left(\frac{R_{\odot}}{r_{\oplus}} \right)^2 \right]^{1/4}.$$

代入相关数据, 估算得

$$\begin{aligned} T_{\oplus} &\approx 4.21 \times 10^{-2} T_{\odot} \\ &= 4.21 \times 10^{-2} \times 6000\text{K} = 253\text{K} \\ &\approx -20^{\circ}\text{C}, \end{aligned}$$

这与地球上层大气实际的平均温度 -18°C 差不多^[2].

2 温室效应

上面导出上层大气的温度为 -20°C , 但地表的平均温度为 15°C , 只有这样的温度才适合生物的生长. 两者之间差了 35°C , 其原因可以从以下几个方面来说明.

2.1 大气的成分及作用

太阳辐射的电磁波能量主要集中在 $0.25\text{--}3.0\mu\text{m}$ 的可见光和近红外区域, 如图 1 所示. 图中的曲线 1 2 3 分别表示 6000K 的黑体辐射、大气层外的太阳辐射、到达地球表面的太阳辐射. 太阳辐射的电磁波必须穿过厚厚的大气层才能到达地面. 大气各个成分中吸收与透射作用比较显著的有: O_3 (主要吸收紫外线), CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_2 以及水汽等 (主要吸收中、远红外). 这些气体对可见光和近红外辐射吸收很少 (通过曲线 2 3 对比可知), 所以到达地面的太阳辐射, 其波长大多集中在 $0.25\text{--}2.5\mu\text{m}$ 的范围内^[3].

2.2 温室效应

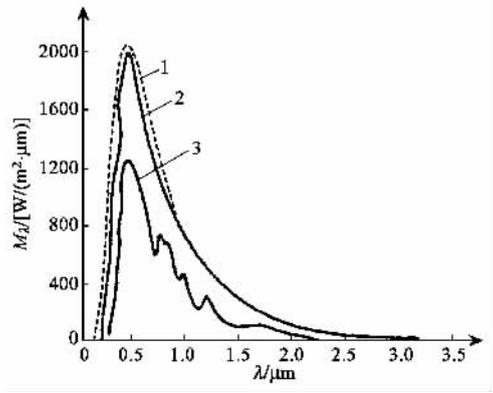


图 1

到达大气顶部的太阳辐射大约有 50% 可到达地表而被吸收. 地表接受辐射能后, 也向外作热辐射, 由于地表的温度比太阳表面的温度低得多, 所以地表辐射可看成是 15°C 的黑体辐射, 其辐射主要集中在 $\lambda \approx 10\mu\text{m}$ 数量级的红外波段内. 从图 2 可以看出, 大气中的 CO_2 和水汽等恰好是这波段的强吸收体. 只需 2m 厚一层含 0.03% CO_2 的大气, 就可以将 $\lambda \approx 15\mu\text{m}$ 的全部红外辐射吸收掉. 对于 $18\mu\text{m}$ 以上和 $8.5\mu\text{m}$ 以下的辐射, 水汽是最主要的吸收体. 在 $8.5\text{--}12\mu\text{m}$ 之间, 有一个可让大部分地球辐射通过的“窗口”. CO_2 和水汽等吸收红外辐射, 重新发射红外辐射, 是向四面八方的辐射, 其中有一半返回到地表. 在夜晚持续辐射, 使地表不致因缺乏太阳辐射而变得太冷. CO_2 和水汽等这种保护地热量散失的作用, 叫做温室效应^[2]. 能够产生温室效应的气体叫做温室气体. 正是大气中温室气体的存在, 使地表维持在 15°C 的平均温度上, 为人类和整个生物圈提供了一个温暖的环境.

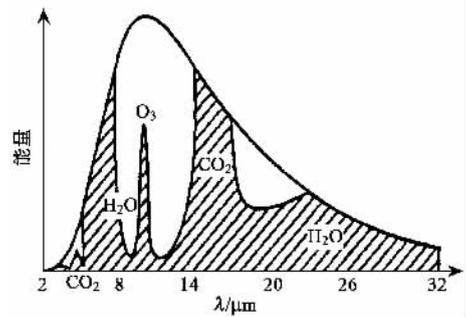


图 2 温室效应

2.3 温室气体

大气中的温室气体除了上述的 CO_2 和水汽以外, 还有 CH_4 , N_2O , NO_2 等, 其增温效果有所不同. 由人类活动产生温室气体的主要来源及增温效果

(以 CO_2 为基准)见表 1. 从表 1 中可以看出,在所有温室气体中,虽然 CO_2 的增温效果最小,不过由于 CO_2 在大气中的含量(约占温室气体总量的 70% 以上)远远大于其他气体,因此 CO_2 的温室效应仍是最大的.

表 1 温室气体的种类、来源及增温效应

温室气体	来源(人类活动)	增温效应
CO_2	石化燃料等的燃烧	1
CO_4	农业活动	21
$\text{N}_2\text{O}, \text{NO}_2$	农业活动(NO_2) 物质燃烧(N_2O)	270
$\text{C}_n\text{Cl}_m\text{F}_x$	工业制品	10000

千百万年来,大气中的温室气体如同忠实的卫士,维持着地球上的能量流动和辐射平衡.自然界中每年大约有 $4-10^{10}\text{t}$ 的 CO_2 被绿色植物光合作用所固定.每年动、植物呼吸,微生物分解及燃料燃烧等,又把相当数量的 CO_2 释放到大气中去.所以,一百多年前大气中 CO_2 的含量基本保持不变,长期稳定在 280ppmv (即一百万单位体积气体中含有 280 单位体积的 CO_2).

工业革命以来,人类活动产生大量的温室气体,并将其排放到大气中.与工业革命前相比, CO_2 由 280ppmv 增加到 380ppmv ; CH_4 由 700ppbv (即十亿单位体积气体中含有 700 单位体积的 CO_2)增加到 1721ppbv ; $\text{N}_2\text{O}, \text{NO}_2$ 由 275ppbv 增加到 311ppbv ; $\text{C}_n\text{Cl}_m\text{F}_x$ 以前在大气中根本就不存在,它是现代工业生产出现的一族化学合成物质,尔后迅速增加.近年来,由于蒙特利尔公约禁用氟氯碳化物,其含量已不再增加.

上述温室气体的另一个特点是它们在大气中停留的时间(即生命期)相当长. CO_2 的生命期为 50—200 年, CH_4 的生命期为 12—17 年, $\text{N}_2\text{O}, \text{NO}_2$ 为 120 年, $\text{C}_n\text{Cl}_m\text{F}_x$ 为 102 年.这些气体一旦进入大气,几乎无法回收,只有靠自然的过程让它们逐渐消失.由于它们在大气中的生命期长,对气候的影响是长久和全球性的,所以即使人类立刻停止所有人造温室气体的排放,从工业革命后累积下来的温室气体仍将继续发挥它们的温室效应,影响地球的气候.

3 温室效应与气候

在所有温室气体中 CO_2 的含量最高,增加速度也最快,所以人们讨论最多的也是 CO_2 . 当今人类每年向大气中排放 230 多亿吨 CO_2 , 比上世纪初增加

了 30%, 而且还在以每年 0.5% 的速度递增. 另一方面,近年来滥砍滥伐森林现象日益加剧,使得森林面积逐年减少,光合作用固定 CO_2 的数量大幅度下降,使大气中 CO_2 浓度逐年增加,如图 3 所示.

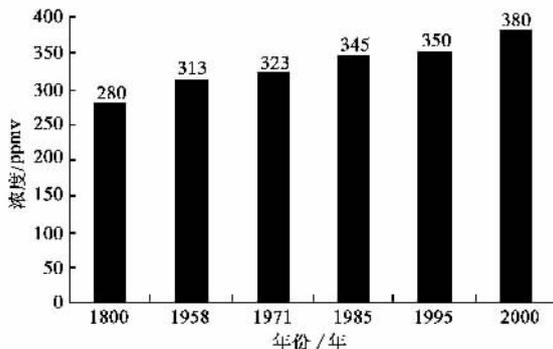


图 3 CO_2 浓度的变化

近十几年来全球平均气温升高幅度之大,已创一百多年来的最高记录.图 4 是根据大气中不同阶段 CO_2 的浓度和温度资料点绘的^[4], CO_2 浓度变化与温度成指数关系.气象专家预测,若大气中的 CO_2 的浓度增加一倍,即达到 560ppmv ,全球地面温度将提高 $1-5^\circ\text{C}$ 左右,但 CO_2 浓度的增加并不一定使地球上不同地区产生相同的温度变化.一般说来,增温在两极大于赤道,高纬地区大于低纬地区,冬季大于夏季.当 CO_2 浓度加倍时,两极地区低层升温可能达到 10°C 以上,而低纬则 $2-3^\circ\text{C}$.

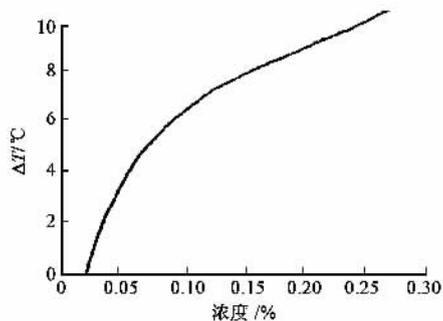


图 4 温度与 CO_2 浓度的关系

4 温室效应对未来气候的影响

温室气体急速增加之后,地表的温度也随之上升,首当其冲的就是海平面上升的问题.如果大气中温室气体含量持续升高(不可避免的事实!)全球平均气温将持续升高.由于海洋热容量大,不太容易增温,陆地的气温上升将大于海洋,其中又以北半球高纬度地区升温幅度最大,因为北半球陆地较多.眼下

北半球的冬天,比一百多年前整整缩短了 18 天. 在过去的一百多年里,全世界的海平面一共上升了 18cm. 目前地球已进入了海平面“加倍上升期”. 如果人类再不采取措施,那么到 2050 年全球海平面将平均升高 30—50cm. 那时世界各地海岸线的 70%, 美国海岸线的 90% 将被海水淹没;印度洋上的马尔代夫共和国,尼罗河三角洲的 1/3,巴基斯坦国的 1/5 都将被海水淹没;东京、大阪、曼谷、威尼斯、圣彼得堡等许多沿海城市将完全或局部被淹没. 我国的气象学家估计,若海平面上升 0.2m,中国大陆沿海将有 110 万公顷的土地遭淹没,若海平面持续升高,沿海低地将沉没海中,当地居民将流离失所,变成难民,因此可能导致社会、经济及政治的动荡不安. 另外,中纬度地区会面临干旱的威胁,许多农业地区将变成不毛之地或沙漠化.

除海平面上升之外,全球变暖还会助长热带疾病的孳生和蔓延,造成生态混乱、物种灭绝、粮食减产、害虫逞凶、水源短缺、土地荒芜、森林减少、风暴增多、干旱无雨及洪水频繁等一系列自然灾害. 据科学预测,未来 50 年间,气候的变动(或振荡)会愈来愈显著,各地出现创纪录的异常天气现象将愈来愈频繁,其中温室效应的影响将是不可忽视的因素.

5 全球动员,抑制温室效应

为了缓和气温上升的速率,必须使大气安定化,就是使大气中 CO_2 的浓度不再继续增加,若要经济发展只进不退的情况下,这是很难达成的目标. 但如果人类能达成拯救地球的共识,以下几点是可行的:

自我做起:降低能源的使用量,提高能源的使用效率,从内心去珍惜能源、爱惜环境. 在日常生活中,随手关灯,节约用电;出门多乘公交少打的,能骑自行车或步行更好,以节约汽油的消耗量. 这是我们每个人都能做到的事.

开源节流:研究开发洁净无污染的能源,如太阳能、地热、风力、水力、潮汐及氢燃料等,这些新能源的使用,一方面避免 CO_2 等气体的产生,防止空气污染,另一方面又能充分利用资源. 各国政府应鼓励

发展低耗能、低污染产业,积极改善或淘汰高耗能、高污染产业,加强产业升级,引进相关技术,削减 CO_2 排放量.

绿色处方:由于绿色植物的光合作用需要 CO_2 , 产生 O_2 , 其中森林尤其是原始森林的作用最大. 因为植被尤其是森林的覆盖面积影响到对阳光的反射率和大气中温室气体 CO_2 的沉降,所以我们一方面要阻止现有森林的破坏,另一方面要有计划地造林,大量培养绿色植物,以发挥其净化大气的功能.

由于海藻适宜于在低温下生长,所以在南北两极,有计划地大面积种植海藻,吞吸大气中的温室气体 CO_2 ,可以降低大气中温室气体的浓度,适当降低大气的平均温度,从而在一定程度上减小温室效应对人类的破坏作用.

6 结束语

本文就温室效应产生的原因、温室效应对气候和环境的影响以及削弱温室效应的策略等作了详细的阐述,但温室效应是全球性的,任何一个国家排放的温室气体,其影响必然是超越国界的. 因为人类共同拥有一个大气层,况且温室气体的生命期很长,所以温室效应导致的气候变暖也是一个全球性的问题,必须有世界各国的共同努力,才能及时、有效地抑制温室效应的发展,减缓气温上升的速率,让人类免遭更多的灾害.

参 考 文 献

- [1] 孟素兰. 物理通报,1998(4):77[Meng S L. Physics Bulletin, 1998(4):77(in Chinese)]
- [2] 赵凯华. 新概念物理:热学. 北京:高等教育出版社,2000 [Zhao K H. New Concept Physics:Heat. Beijing:Higher Education Press,2000(in Chinese)]
- [3] 马文蔚. 物理学原理在工程技术中的应用. 北京:高等教育出版社,2001[Ma W W. Application of Physics Principles in Engineering & Technology. Beijing:Higher Education Press,2001(in Chinese)]
- [4] 赵玉萍. 哈尔滨师范大学自然科学学报,1999(1):96[Zhao Y P. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 1999(1):96(in Chinese)]