doi:10.3969/j.issn 0253-9608.2012.01.003

全球变暖与地球三极生态环境变化

高登义

研究员,中国科学院大气物理研究所,北京 100029

关键词　全球变暖　地球三极　生态环境

近百年来,全球地面气温平均升高了 0.74 ℃,与此相应,地球三极(南极、北极和青藏高原)的生态环境都发生了相应变化。本文探讨了全球变暖的原因,揭示了地球三极地区对于全球变暖的不同响应,讨论了生物和人类对于全球变暖的适应问题。

根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007 年第四次评估报告指出,在 1906～2005 年的 100 年里,全球平均地面气温上升了 0.74 ℃(0.56～0.92 ℃),比 1901～2000 年的 100 年平均上升的 0.6 ℃(0.4～0.8 ℃)提高了 0.14 ℃;而最近 50 年的升温率几乎是过去 100 年的 2 倍。海洋验潮站资料指出,1961～2003 年,全球平均海平面上升的平均速率为每年 1.8 mm,而 1993～2003 年卫星观测到的海平面升高平均速率为每年 3.1 mm[1]。

可见,全球气候变暖的趋势似乎在越来越剧烈,全球气候变暖也正在影响着环境与生态变化。这应该引起人类更大的关注。

另一方面,世界气象组织公布的既然是全球平均的结果,显而易见,在这 100 年中,地球上的不同地区的地面气温变化情况不尽相同。也就是,有的地方地面气温升高幅度比全球平均结果高,有的接近平均值,有的低于平均值,还有的可能是在降温。因此,上述气温变化情况对于地球三极环境与生态的影响也是不尽相同。

所谓地球三极是指南极、北极和青藏高原,青藏高原是地球的第三极。自 1980 年 5 月在北京召开"北京国际青藏高原科学讨论会"以来,中国科学家们先后在专著中再次阐述"青藏高原是地球第三极"的观点[2-3],之后,关于"青藏高原是地球第三极"的观点逐渐为世界地学家与生物学家所认可。

观测研究表明,近 100 年来,在全球地面气温平均升高的条件下,对于南极、北极和青藏高原环境和生态的影响却不尽相同。另外,从全球变暖的极端情况(即假如使得东南极的冰盖也融化)来看,全球变暖有利于南极臭氧洞面积减小,南极上空臭氧总量增加。显然,全球变暖对于地球三极环境的影响是有利有弊的。

在全球气候逐渐变暖的过程中,自 1966 年以来,笔者曾经多次赴地球三极(南极、北极和青藏高原)科学考察,从取得的科学考察资料和亲身体验的南极、北极和青藏高原生态、环境变化情况来看,全球气候变暖的确对于地球三极地区的环境和生物习性有很大的影响;而以生物本身来看,他们对于全球气候变暖也能够逐渐适应并求得生存和发展。

1 气候变暖的科学内涵

不言而喻,按照世界气象组织在 2007 年公布的最新结果,近 100 年来全球地面气温平均升高了 0.74 ℃。这是气候变暖的科学内涵之一。

气候变暖的科学内涵之二是,气候变暖的原因是什么?

笔者认为,气候变暖的主要原因是地球自身的变化规律,或者说,是地球与宇宙中其他星体相互作用的结果;而人类活动的强迫作用对于全球气候变暖的影响不是主要因素,但它可以加剧或减缓气候变暖的趋势。

图 1 是根据南极冰芯反演的近 42 万年来全球气温变化资料,可以看出,近 42 万年以来,全球地面气温出现了 5 个高峰值,分别于 42 万年前后、33 万年前后、25 万年前后、13 万年前后和最近 100 年来。对比这 5 个气

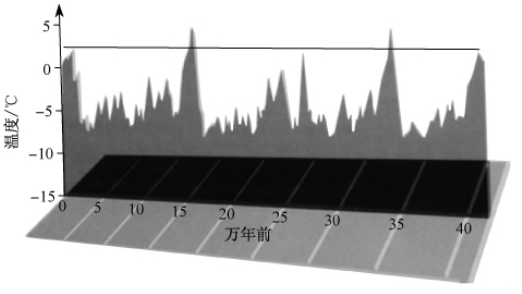


图 1　南极冰芯反演近 42 万年来全球地面气温变化资料[4]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

温高峰值可见，13万年前后和33万年前后的高温值远远大于近100年来的高温值，高出3～4 ℃。

众所周知，在13万年前后和33万年前后，人类处于“智人”阶段，只会制造和使用石器，根本没有任何工业排放温室气体。这些年代的高温显然与人类活动无关。

上述表明，近42万年来的全球气温变化主要是地球自身变化的结果。

图2是中国近120年来平均地面气温变化，可以看出，有30～40年变化的准周期，即1880～1920年为低温期，1921～1950年为高温期，1951～1980为低温期，而1981年来为高温期。也就是说，中国地面气温变化在近120年来是波浪式的，而不是直线上升。

然而，全球二氧化碳含量近200年来是直线上升的(图3)，这种温室气体的直线上升并没有影响中国地面气温也直线上升。

显然，人类排放的二氧化碳并不能够说是影响中国气候变化的主要原因。

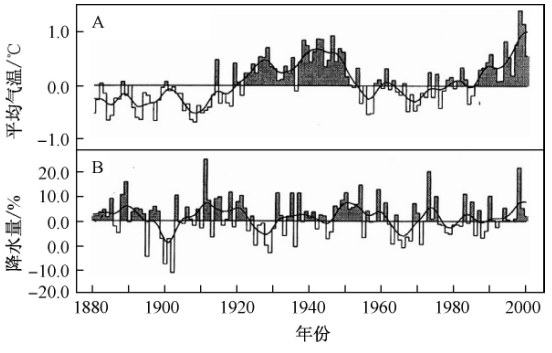


图2 近120年来中国地面气温平均变化[5]

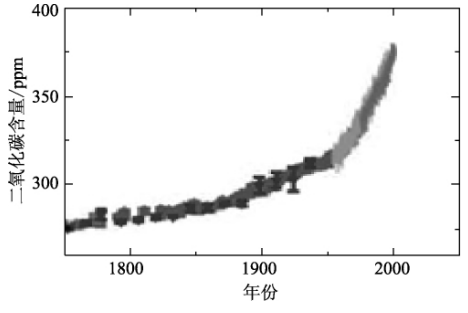


图3 近200年来全球二氧化碳含量变化[6]

2 气候变暖与珠峰冰雪变化

珠峰北坡地区(以距离珠峰北坡大本营约60 km的定日站为代表)自1971年到2009年的39年中，气温增加了0.90 ℃(表1)，比全球气候变暖(0.74 ℃/100 a)显著。气候变暖对于珠峰的冰雪有什么影响呢？

表1 珠峰北坡(定日站)地面气温变化 ℃

年代	1970 s	1980 s	1990 s	2010 s
平均值	2.7	2.7	3.1	3.6

2.1 气候变暖与珠峰顶附近冰雪厚度变化关系

21世纪初，中国测绘部门给出一个数据，1966至1999年，珠峰顶峰冰雪厚度减小1.3 m。该数据公布以后，科学家们纷纷探讨珠峰顶部冰雪厚度减小的原因。

有科学家认为，这是由于气候变暖使得珠峰顶部的冰雪融化，因而珠峰顶部的冰雪厚度减小了。

作者认为，如果中国测绘部门公布的珠峰顶部冰雪厚度减小的数据准确的话，其原因并不是气候变暖的结果。

根据我们在珠峰北坡大本营绒布寺的高空气象观测资料(图4)，可以看出，即使在一年中气温比较高的5月，在每天的8次观测中，在珠峰顶峰附近(海拔8 900 m)的月平均气温，仍然都在零下26 ℃左右。如此低的气温，在气温增加两三摄氏度的情况下，不可能使得珠峰顶峰附近的冰雪融化。

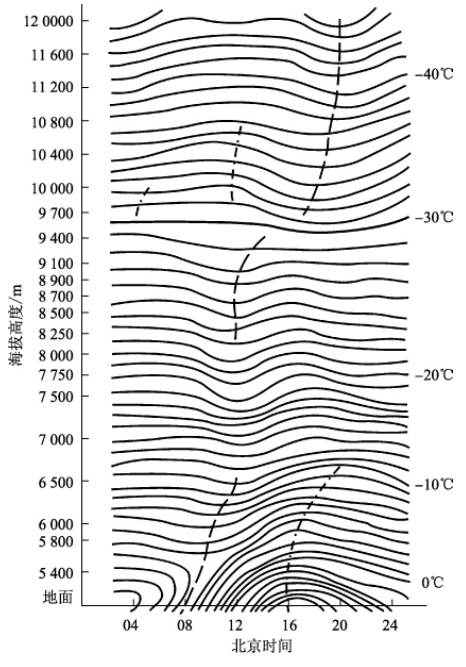


图4 1975年5月珠峰北坡绒布寺地面至海拔12 000 m的气温日变化[7](单位：℃)

实际上，1966～1999年期间，如果珠峰顶部冰雪厚度减小的话，主要是人类频繁的登山活动造成的结果。

根据周正[8]的统计，1966年之前，人类登上珠峰顶峰者仅为20人，而1966～1999年期间，人类登上珠峰顶峰者达到了1 142人次以上，其中，同一天登顶珠峰的人数最多为81人，那是1993年5月10日。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

众所周知，珠峰顶部为一长方形的倾斜表面，面积约为 30 m^2。一千多人次的登山者穿着带有金属钉的登山鞋在顶峰上活动，必然破坏冰雪表面，特别是当数十人同时登上珠峰顶峰时，对于顶部冰雪表面的破坏那就更严重了。一旦珠峰顶部的冰雪被破坏粉碎后，在 8 级以上大风的吹拂下，珠峰顶部的冰雪厚度必然逐渐减小，即，珠峰顶部冰雪积累的速度低于被登山者的登山鞋粉碎后被大风吹走的速度。

2.2 气候变暖对于珠峰北坡冰塔林的影响

从冰塔林的历史资料来比较一下珠峰北坡冰塔林自 1966 年以来的变化便可知道气候变暖与珠峰冰塔林演变的关系。

1966 年 5 月下旬的一天，我们进入中绒布冰川海拔 5 300～5 600 m 的地区采集冰雪样品，并拍摄了当年的冰塔林照片。

在海拔 5 400 m，冰塔林中出现了孤立的、一人多高的宛如骆驼的冰塔（照片 1，见封二），在一座山峰下，一大片冰塔林似乎是斜卧在山坡上，远望，一位队友说似乎像堆积了很多白色的炮弹，我倒觉得像是一座取走了笔的“冰笔架”（照片 2，见封二），在海拔 5 600 m 附近，科考队员进入了神奇的冰塔林（照片 3，见封二）。

1975 年 3 月中旬的一天，我们又来到珠峰北坡冰塔林区采集冰雪样品，同时拍摄了冰塔林照片。

在海拔 5 400 m 附近，宽阔的冰湖在阳光照射下闪闪发光，冰湖被多座高高的冰塔林环绕，科考队员行进于冰塔林中，目测冰塔林高差可达 50 m 以上（照片 4，见封二），队友们在冰塔林中前进（照片 5，见封二），近景是高大的冰塔，远景是雄伟壮丽的珠峰（照片 6，见封二）。

1980 年 4 月中旬的一天，我们来到珠峰北坡 6 000 m 的冰塔林区，协助拍摄《中国冰川》电影，在完成拍摄电影工作的同时，我拍摄了从冰塔林融洞中眺望珠峰的照片（照片 7，见封三），这张照片更显示了珠峰北坡冰塔林的美丽。1980 年珠峰北坡冰塔林的状况与 1975 年大同小异。

自 1992 年以来，随着珠峰北坡气温升高，珠峰北坡绒布冰川中的冰塔林分布逐渐向高海拔地区退缩，冰塔林的美貌一天不如一天了。照片 8 是 1992 年绒布冰川中海拔 5 900 m 的冰塔林，她已不如过去丰满。2004 年，在 5 500 m 以下已经几乎没有冰塔林分布，即使在海拔 5 900～6 500 m，冰塔林的高差已经很小（照片 9，见封三）；2005 年，海拔 5 300 m 的冰湖已经变化为水湖了（照片 10，见封三），在海拔 5 900 m，那儿的冰湖已部分在融化了（照片 11，见封三）。

研究表明[9]，要形成珠峰北坡千姿百态的冰塔林，必须有如下 3 个条件：①要有适当坡度的地形，才有利于冰川在运动过程中产生多种褶皱和断裂的状态，成为冰塔林的雏形；②在消融季节，要有适当的太阳辐射和适当的太阳高度角（70～80 度），才能使冰面上的不同部位消融不同，尤其是使得冰面的低凹处接受较多的热量，消融强烈，才逐渐形成冰塔的高低错落；如果太强的太阳辐射和接近 90 度的太阳高度角，那么，冰面很快就融化了，冰面不同部位的融化差别就很小，不会形成冰塔的高低错落；③在消融季节，要气候干燥，冰塔才容易由固态直接转化为气体状态，而且在冰塔雏形的不同高度风速不同，才能使得固态转换为气态的量不同。这种由于在冰塔上不同部位消融量不同、汽化量不同，就容易形成高低错落的奇特外观。

对比 1966～2005 年期间珠峰北坡冰塔林与气温变化（表 1）的关系，又根据形成壮丽冰塔林的第 2 个条件，不难看出，由于气候变暖，使得珠峰北坡冰塔林在消融季节的太阳辐射太强，是珠峰北坡冰塔林融化崩塌的主要原因。

如果未来珠峰北坡的气温降低，一旦达到符合冰塔林形成的条件，珠峰北坡冰塔林也许会恢复 20 世纪 60～80 年代的状况；如果未来珠峰北坡的气温继续升高，珠峰北坡冰塔林将继续融化崩塌。

3 气候变暖与南极冰盖变化

早在 20 世纪初，世界上就有科学家预言，由于人类排放过多的温室气体，50～100 年内南极冰盖会全部融化，海平面会上升 60～70 m，人类将面临毁灭性灾难。之后，更多的科学家从不同角度再次阐述了与此相同的观点。自此，人们对于未来前途感觉非常渺茫。与此相应，“后天”和“2012”电影先后问世，一时间，似乎地球的末日就要来到了。

那么，迄今为止，到底南极的冰雪在如何变化呢？

这里，重点介绍世界第一大冰盖——南极冰盖的冰雪变化。

我们知道，南极冰盖储藏的冰雪总量约 2 700 万 km^3，占全世界可用淡水的 72%。可见，南极冰盖的冰雪变化对全球水循环非常重要。

中国科学家于 2003 年 1 月在南极东南极的冰盖上建立了 3 个自动气象观测站，位于中国南极中山站和昆仑站之间，距离中山站约 160 km 处。观测站分 3 层，第 2 层离地为 2 m。2005 年 1 月，即两年后，3 个自动气象站的 2 m 以下全为雪掩埋（照片 12，见封三）。初步估算，东南极每年积雪 1 m，约相当于 20 mm 降雪，每年在东南极冰盖上约增加 280 亿 t 雪。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

与此相应，根据法国《科学与未来》杂志 2005 年 5 月 20 日报道，法国科学家借助欧洲航天局 ERS－1 和 ERS－2 卫星，研究了东南极大陆冰层（约占 70％的南极洲冰层），发现从 1992 到 2003 年东南极地区的冰层每年上升约 1.81 cm。粗略估算，东南极地区的冰层大约每年获得降雪 450 亿 t。

可以看出，中国与法国科学家用不同手段观测的结果基本一致，即，在全球气候变暖条件下，东南极冰雪不仅没有融化、减少，而且在增加。

美国宇航局根据卫星观测，于 2006 年 3 月公布，2002 年 4 月至 2005 年 8 月，西南极冰盖每年融化约 152 km^3。

同样是在全球气候变暖的前提下，为什么南极冰盖在东南极与西南极的冰雪变化截然不同呢？

我们知道，南极大陆形状像一个蝌蚪，它的“大头”就是东南极，它的“尾巴”就是西南极。东南极的纬度高（南纬 70～90 度）、海拔高度高（平均 3～4 km），西南极纬度低（南纬 60～85 度）、海拔高度低（平均 1 km 左右）。

那么，在南极洲东南极和西南极的地面气温在如何变化呢？

中国长城站位于西南极的南端，它的地面气温变化可以代表西南极；中国中山站位于东南极的南纬 69 度附近，可以代表东南极。由图 5 可见，近 20 年来，代表东南极的中山站，其地面气温不仅没有增加，而且在以 0.6 ℃/100 a 的幅度下降；相反，代表西南极的中国长城站，其地面气温是以 6.0 ℃/100 a 幅度增加，为全球平均升温率的 8 倍多。

上述表明，本来年平均地面气温远远低于 0 ℃的东南极，近 20 年来，地面气温不仅没有增加，而且其降低的速率几乎与全球平均气温上升速率的绝对值相同，其冰雪当然不会融化减少了；而纬度低、冰盖厚度远远低于东南极的西南极，本来在夏季就会出现高于 0 ℃的气温，在如此大幅度气温增加的条件下，冰雪融化当然就非常显著了。

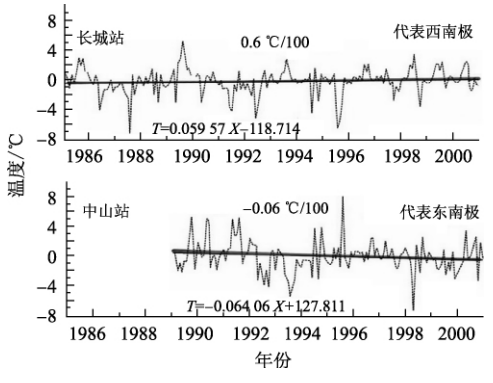


图 5　南极长城站和中山站地面气温逐年变化（℃）

4 气候变暖与南极臭氧洞变化

图 6 显示了南极臭氧洞面积于 1980 至 2008 年期间的变化。由图 6 可见，1980～1987 年期间，南极臭氧洞面积迅速增加约 2 千万 km^2；1988 年突然减小到约 1 千万 km^2；1989～1998 年，南极臭氧洞面积增加到 2.6 千万 km^2 左右；1999～2008 年，除 2002 年和 2004 年两年臭氧洞面积突然减小之外，基本稳定少变，面积维持在 2～2.5 千万 km^2。

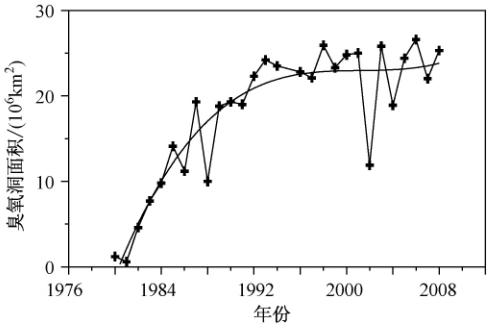


图 6　南极臭氧洞面积变化[10]（1980—2008 年）

近 100 年来，全球地面平均气温在升高，而南极臭氧洞面积的变化并没有随着气候变暖而一直增加；看来，全球变暖似乎与臭氧洞变化没有什么直接联系。

然而，如果我们了解南极臭氧洞形成的原因，结论似乎不如上述。

研究表明，南极臭氧洞形成的原因，一是由于南极冰盖的冷源作用使得在过度季节的南极上空平流层气温出现低于－78 ℃的气温，形成冰晶云，使得二氧化氮含量减小，与此相应，臭氧总量也随着减小（图 7），这是南极臭氧洞形成的自然原因。人类排放的氟里昂气体在冰晶云形成的条件下，有利于氟里昂气体中的氯离子发生化学反应，分解 O_3 为 O_2 和 O，从而减小臭氧总量，这是臭氧洞形成的人为因素。

图 7 给出了南极臭氧总量与二氧化氮含量变化的关系。由图 7 可见，南极臭氧总量与二氧化氮含量变化是一致的，即臭氧总量随二氧化氮含量增加（减小）而增加（减小）。

由南极臭氧洞形成的自然原因可见，如果全球变暖进一步加剧，以至于使得东南极冰盖全部融化，那么，在过度季节，南极平流层不会出现低于－78 ℃的气温，因而也不能够形成冰晶云，南极臭氧总量会增加，臭氧洞面积会减小。也就是说，如果全球变暖到可以全部融化东南极冰盖的程度，南极臭氧洞面积会减小，这是对于

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

人类有益的。

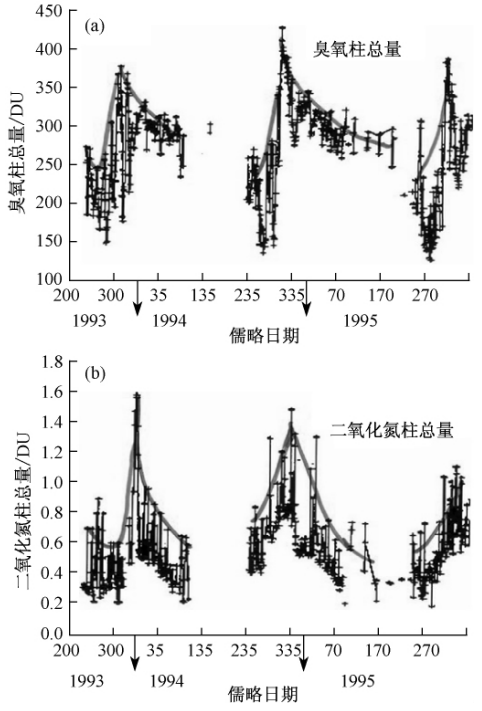


图 7　南极臭氧总量与二氧化氮含量变化关系图[10]

5 气候变化改变北极环境与生物生存道路

北极地区是近百年来全球增暖最显著的区域，而且不同时段变化趋势也不同。1880～1938 年，特别是 20 世纪的 20 年代至 30 年代升温迅猛，并在 30 年代末温度达近百年最高，20 世纪 40 年代至 60 年代温度降低，70 年代后又进入了升温期（图 8）[10]。中国北极黄河站（78.925°N，11.950°E，海拔高度 11 m）所在的斯瓦尔巴 Ny-Ålesund 地区，近十余年来增温率达 1.97 ℃/10 a，是全北极增温较大的地区之一。

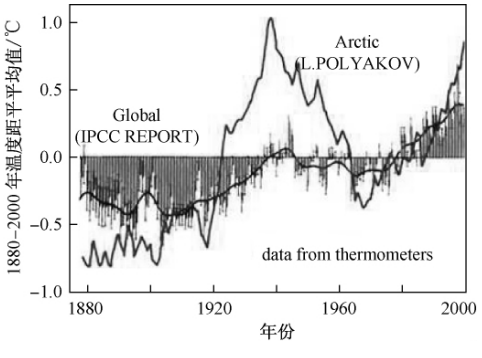


图 8　1880—2000 年北极与全球地面气温变化[10]

北极气候变暖影响北极浮冰面积的变化。根据美国冰雪资料中心给出的每年 4 月北极浮冰面积变化的卫星资料（图 9），可以表明，自 1979 年有卫星观测北极浮冰面积变化以来，北极浮冰面积的确是在波动地减小，直到 2007 年达到有卫星资料以来的最低值，是年北极浮冰面积比 1979 年减小了 10.8%。然而，2008 至 2010 年，北极浮冰面积逐渐增加，于 2010 年几乎恢复到了 1979 年的 95%，但 2011 年，北极浮冰面积再度减小。

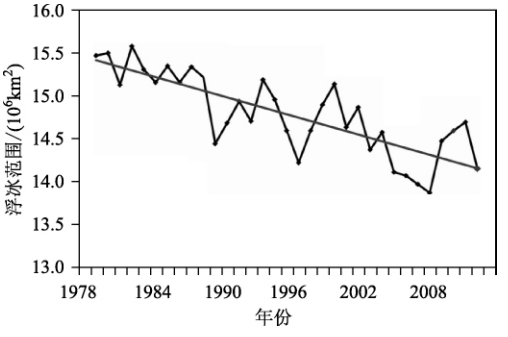


图 9　北极 4 月月平均浮冰面积逐年变化（1979—2011）

北极浮冰面积减小，对于历来依靠浮冰捕食海豹、海象的北极熊，显然会受到影响。

众所周知，历来北极熊以在浮冰上捕食海豹和海象为生。然而，由于北极浮冰面积减小，再加上人类在北极大量捕杀海豹（照片 13，见封三），生活在北极浮冰范围的北极熊的生存面临威胁。

在上述条件下，一部分北极熊从浮冰上迁徙到鱼类丰富的海湾，改变历来的生活习惯，转而捕食鱼类（照片 14，见封三）和海带（照片 15，见封三），不仅得以生存，而且个个长得又肥又壮。

6 认识并适应气候变化和气候预测的不确定性

图 10 是地质历史气候变化和 100 年后气候预测曲线，它显示自 12 亿年以来地球地质历史气温变化情况以及世界多个气候研究中心数值预测未来 100 年的全球气温变化。

由图 10 可见，12 亿年以来，地质历史气候可以划分为 4 个阶段，且这 4 个阶段没有重复出现。即 12 亿年～2 亿年、2 亿年～200 万年、200 万年～1 万年和一万年以来 4 个阶段。在 12 亿年～2 亿年，地球气温变化幅度大，约在低于平均值 5 ℃至高于平均值 2 ℃之间；在 2 亿～200 万年，地球都处于高温期，比平均值高出 1～4

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

℃；在 200 万年～1 万年，是地球的冰河期，比平均值低 4～8 ℃；近 1 万年来，地球气温变化相对缓和，在±2 ℃范围内。上述 4 种气候变化类型没有重复出现过，它表明，未来气候变化到底会是什么类型非常不确定。

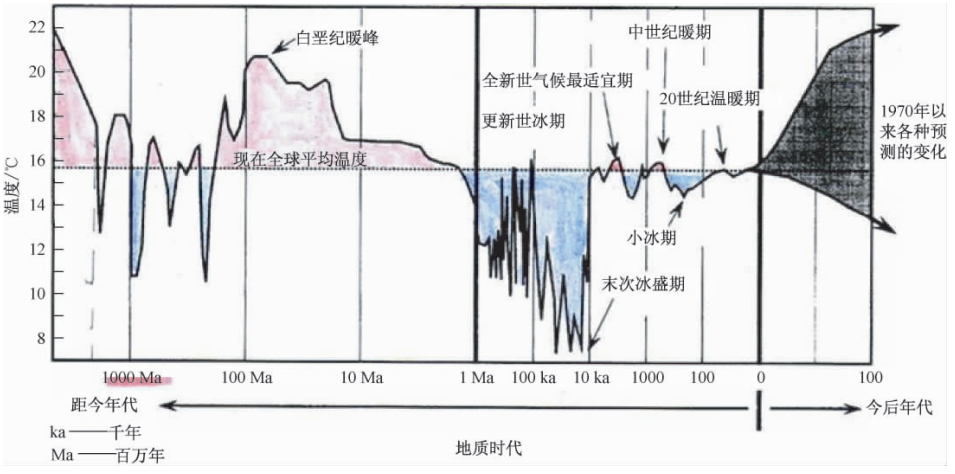


图 10　全球地质历史气温变化与未来 100 年气温预测[11]

图 10 中的黑色阴影部分是 1970 年世界上 10 个知名气候研究中心数值预测未来 100 年的全球气温变化。由这些预测曲线可见，预测全球变暖最高的一条曲线，其增温值比地质历史气温的最高值高出 2 ℃左右；预测全球气温变冷的一条曲线，其最低值约为地球近 1 万年来最低值的两倍。这种数值预测未来 100 年的气候变化存在如此大的差异，令人不可置信。可见，气候数值预测也是非常不确定的。

最近，叶笃正等研究指出[12]，目前，世界气候预测的不确定性至少有三种原因：一是数值模拟系统的混沌行为，也就是说，差异极小的两个气候初始场经过数值模拟后，可以发展成完全不同的气候状态；其次，人类对于气候系统的各子系统，即大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈物理机制的认识仍然有限，因而，各科学家建立的子系统模式不同，预测结果也随之不同；最后，不确定性还来自对气候系统外强迫力的不准确认识，人类活动已经成为影响地球系统变化的一种强迫力，如何定量描述这一外强迫力，目前尚无妥善的办法。

由此可见，无论是根据地质历史变化的气候类型来推测未来气候变化类型，还是数值预测未来气候的变化，都是非常不确定的。

对于人类来说，重要的或许不是追问一个确定性的答案，而是理性看待科学预测的局限，学会适应的办法，并有远见地改变生活方式，未雨绸缪地安排生活，而非依赖预测，盲目恐慌。这里，用得着英国哲学家罗素的名言："哲学探索的意义不在于对这个不确定的世界给出最终确定的答案，而在于使我们在不确定性中确定地生活。"

（2011 年 12 月 19 日收到）

[1] 中国科学技术学会主编. 大气科学学科发展报告 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2010.
[2] 地理知识编辑部. 考察在西藏高原上 [M]. 上海：上海教育出版社，1981.
[3] 张荣祖，郑度，杨勤业. 西藏自然地理 [M]. 青藏高原科学考察丛书. 北京：科学出版社，1982.
[4] 康建成，王芳，郑琰明，吴涛. 南极冰雪圈与全球变化研究——冰盖与全球气候环境记录 [J]. 自然杂志，2005，27(6)：351-356.
[5] 王绍武，赵宗慈，龚道溢，周天军. 现代气候学概论 [M]. 北京：气象出版社，2005.
[6] 王绍武. 现代气候学研究进展 [M]. 北京：气象出版社，2001.
[7] 高登义，王鼎新，丁国安，等. 气象与环境，珠穆朗玛峰科学考察报告(1975) [M]. 北京：科学出版社，1980.
[8] 周正. 探险珠峰 [M]. 厦门：鹭江出版社，2004.
[9] 谢自楚，王富葆，施雅风，等. 现代冰川与地貌，珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968) [M]. 北京：科学出版社，1975.
[10] 陆龙骅，卞林根. 近 30 年中国极地气象研究进展 [J]. 极地研究，2011，(1)：5-9.
[11] E·布赖恩特，著. 气候过程和气候变化 [M]. 刘东生，等，编译. 北京：科学出版社，2004.
[12] 叶笃正，严中伟，戴新刚，等. 未来的天气气候预测体系 [J]. 气象，2006(4)：4-9.

Global Warming and Ecology Environment Change in the Three Poles of Earth

GAO Deng-yi

Professor, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, *China*

Abstract　There was a 0.74 ℃ of temperature increase during recent 100 years. Accordingly, the ecology environment in the region of the three poles including Antarctic, Arctic and Tibet Plateau was also changed. This paper discussed the reason of the global warming, the different response on the global warming in the region of the three poles of the earth, and the adaptability of living things and mankind for the global warming.

Key words　global warming, three poles of the earth, ecology environment

（编辑：沈美芳）

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



照片7（1980年摄）



照片8 冰塔发育不丰满了（1992年摄）



照片9 2004年拍摄的冰塔林



照片10 冰湖已经变为水湖（2005年摄）



照片11 冰塔林开始崩塌冰湖开始融化（2005年摄）



照片12 东南极冰盖上的冰雪变化（效存德摄）



照片13 加拿大大量捕杀海豹



照片14 北极熊捕食鱼为生



照片15 北极熊捕食海带

参见“全球变暖与地球三极生态环境变化”一文

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



照片1 东绒布冰川的冰蘑菇（1966年 殷虹摄）



照片2 冰雕笔架（1966年摄）



照片3 海拔5.6 km附近神奇的冰塔林



照片4 海拔5.4 km附近壮观的冰塔林（1975年4月摄）



照片5 科考人员穿越冰塔林（1975年摄）



照片6 珠峰冰塔林和远处的珠峰（1975年摄）

参见 “全球变暖与地球三极生态环境变化” 一文

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net