

研究综述

南极和北极地区变化对全球气候变化的 指示和调控作用

——第四次 IPCC 评估报告以来一些新认知

陈立奇^{1,2,3}

¹国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室,福建 厦门 361005;

²国家海洋局第三海洋研究所,福建 厦门 361005;

³国家海洋局极地考察办公室,北京 100860)

摘要 政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007年发布了第四次评估报告,全球气候变化问题再次成为一个重要的国际科学和政治议题。2007年以来,通过实施第四次国际极地年行动所获得的成果进一步证明,全球变暖所诱发极区出现的快速变化正在经历由量到质的转变,表明两极变化对全球气候变化起着一种指示和调控作用。一些研究指出:北冰洋会在2040年前后出现夏季无海冰并将引起北半球大范围的持续暴雪的寒冷冬季发生;2050年左右南极上空臭氧空洞可能消失并恢复到20世纪80年代水平,南极地区由此会发生快速升温并引起东南极冰盖融化和海冰覆盖面积减少,使海平面升高加速;极区海水温度快速升高会驱动极区表层海洋和上覆大气之间的CO₂分压加速平衡,极区海洋吸收大气CO₂并储存增多,并诱发海洋酸化从而损坏海洋生态系统和食物网。

关键词 南极 北极 气候变化 IPCC 指示和调控作用

doi:10.3724/SP.J.1084.2013.00001

0 引言

最近国际合作项目“全球碳项目(Global Carbon Project)”发布了2010年全球碳排放报告^[1]。指出全球碳排放量在2010年已达到破纪录的10¹⁰t,比2009年增加了5.9%,这一增幅也是自2003年以来百分比增幅最大的一年。报告称,目前所产生的碳排放主要来自于化石燃料燃烧、水泥生产、森林砍伐以及土地使用。所排放量中的一半滞留在大气中,其余的被海洋和陆地所吸收。这使得大气中二氧化碳浓度达到了389.6ppm的新高,而在工业革命之

前,大气CO₂高值仅为280ppm。该报告的发布给2011年德班联合国气候变化大会带来了许多变数和争论。

以政府间气候变化专门委员会(IPCC)为主流的科学界的观点认为由于人类活动产生的以CO₂为代表的温室气体导致全球气温升高,诱发气候异常事件频发。以人为温室气体排放为核心的气候变化问题成为国际社会、科技界和社会公众关注的焦点之一,并迅速成为了一个重要的国际科学和政治议题^[2-4]。非政府间气候变化专门委员会(NIPCC)对IPCC提出质疑,主要是对气候变化科学不确定性问题,认为气候变化主要由自然驱动而不是人为

[收稿日期] 2012年11月收到来稿,2012年11月收到修改稿

[基金项目] 南北极环境综合考察与评估专项项目(CHINARE2012-01-04-02, CHINARE2012-02-01, CHINARE2012-03-04-02)、国家自然科学基金重点项目(41230529):中美合作印度洋和南大洋碳循环与气候变化再分析研究(HC120601)和国家海洋局极地考察办公室对外合作支持项目(IC2010013, IC2011114, IC201201, IC201308)资助

[作者简介] 陈立奇,男,1945年生。研究员,博士生导师,主要从事海洋大气化学与全球变化科学研究。E-mail: Lqchen@soa.gov.cn

排放的温室气体效应^[5]。

2009年哥本哈根联合国气候变化大会的召开,使气候变化再度成为全球关注的焦点。在2009年发表的《哥本哈根诊断》^[6]中,与南极和北极地区相关的内容有:温室气体排放量骤增、冰架和冰川及冰盖的加速融化、北极海冰急剧消融、低估了现在海平面的上涨速度、重新对海平面可能上升高度进行预测评估等。2007/2008年实施第四次国际极地年,在南极和北极地区与气候变化相互作用研究中取得了重大进展,对两极出现快速变化及驱动机制有了新认识,进一步揭示了南极和北极地区变化对全球气候变化的指示和调控作用。

1 南极地区气候变化与环境变化

南极地区在地球气候系统中起着重要作用,一些至关重要敏感要素,包括地球最大冷源,地球表面最冷的温度在南极的东方站观测到 -89.2°C ;南极地区拥有地球最大的冰川和海冰,占全球的90%,其全部融化将使海平面升高63 m。冬季,南极海冰覆盖面积大约为 $1.9 \times 10^{17} \text{ km}^2$,夏季覆盖面积减少到冬季面积的20%。南极地区还是地球上环境最脆弱和反应最敏感的地区,表现为单一物种的依赖性和独特的食物网脆弱性,因此非常容易受到气候变化的影响;同时南大洋还拥有地球巨大碳汇池,吸收 CO_2 的能力占世界大洋的30%以上,但是大量吸收 CO_2 的南大洋正在改变着海洋碳酸盐的化学平衡。受到全球变暖作用,南极半岛50年温度上升了 3°C ,半岛西侧上升了 5°C ,并出现了半岛冰架的快速崩塌。南极绕极流是全球最大的环流,它与全球洋盆之间联系着而形成了著名的横跨大洋的温盐环流,也被称为大洋输送带(Great Ocean Conveyor Belt),对大洋冷热平衡起着调节作用,而南极绕极流却阻碍热量向南的输送,这与北半球直接向高纬度地区输送热量的情况形成鲜明的对照。

英国南极局的专家John Turner领导100多名从事南极研究的跨国科学家,于2009年出版了《南极气候变化和环境》^[7],揭示了影响全球变化的南极环境变异一些关键要素,如:(1)过去的30年臭氧洞屏蔽了南极大部分地区,使之免于全球变暖影响;(2)南大洋表层海水正在变暖,生态系统正在发生变化;(3)过去30年南极上空臭氧洞是引起东南

极海冰增加的主要原因;(4)古气候研究表明南极将会对全球气候产生非常重要的影响;(5)如果本世纪温室气体浓度增加一倍,预计南极周边将增加 3°C ;(6)西南极的融冰将对海平面升高产生重大影响等。

1.1 臭氧洞对南极响应全球变暖的屏蔽作用

根据美国宇航局报告^[8],南极上空臭氧空洞2010年最大面积为2 200万 km^2 ,最低臭氧浓度达116 DU,对应温度为 -61°C 。历史上记录的最大面积2 600万 km^2 出现在2006年,最低浓度92 DU是1994年,表明南极臭氧空洞正逐渐缩小。

南极臭氧洞自1985年英科学家报道以来^[9],每年大约2 000万 km^2 空洞面积一直维持出现在冬春之交的南极上空。Turner^[7]指出臭氧洞会对南极响应全球变暖起着屏蔽的作用,理由是平流层中臭氧耗损加剧了极涡增强,环南极大陆中心风力增强并改变了大陆的天气模态,致使南大洋上空夏秋季西风增强大约15%。强风有效地把南极从地球暖化中隔离开来,造成东南极大陆表面温度不增反减和降雪增加的趋势。

1.2 臭氧洞对南极海冰的作用

在过去30年里南极海冰面积出现异常情况,即东南极海区海冰不减反增现象,自20世纪70年代以来,南极海冰增加的速度提高到每10年10万 km^2 。Turner^[10]认为是由于臭氧洞维持东南极大陆的寒冷和促使夏秋风力增强,阿蒙森海低压使秋季海冰增加(10年增加了1%)。这可能是海冰覆盖范围在南北两极出现截然不同现象的原因之一。模式预测表明,到2070年引起南极臭氧空洞的氟利昂作用将完全消失,南极大陆上空的臭氧浓度可能恢复到1980年初的水平,其对全球变暖的屏蔽作用也将消失,东南极大陆冰盖会因温度升高而开始出现融化。因此,2070年是否是引起南极环境质的变化的年际阈值也是引起兴趣的另一个科学问题。

1.3 南极半岛冰架融化与海平面升高

Turner^[7]2009年的报告还指出,在西南极的南极半岛地区,与东南极地区的情况截然不同,受到强的西风带影响更加明显,全球变暖使得半岛东面夏季大部分时间气温升高,导致南极半岛90%的冰川发生了退缩和冰架崩塌。预估到21世纪末西南极冰川融化将导致海平面上升1.4 m。而IPCC第四次评估报告对海平面上升的评估为18—59 cm^[2],

Turner 的报告则高出 IPCC 评估的 2—9 倍。地球上有 1.46 亿人口居住在海平面 1 m 以下,1.4 m 海平面上升的预警对沿海大都市和外海平台等建筑都会产生严重威胁。

1.4 南大洋暖化及对南极水循环和海冰的影响

Liu 和 Curry^[11]于 2010 年在美国科学院刊发表了一篇题为“南大洋加速变暖及对水循环和海冰的影响”。所提出的观点被认为从另一个角度揭开了全球变暖但南极海冰不融反增之谜。Liu 基于 1950—2009 年海面温度和降水量等数据,应用 EOF 分析和模型模拟,发现 1950—1999 年的 EOF 第 1 模态揭示自然过程的驱动,第 2 模态则表达人为活动所驱动。

Liu 认为,20 世纪南大洋的降水主要是受自然过程所驱动。观测和分析表明,20 世纪的后 50 年间,南大洋海水温度升高促使南极上空降水量增多,而降水多数以“雪”的方式降落到南极洲大陆和周边海域。海表面雪量加厚具有 2 个作用,一是它反射了 90% 的太阳辐射从而隔离了表层海水接收太阳辐射而变暖,二是当海水上覆雪溶解时使得海洋最上面的表层和次表层含盐度降低,海水产生层化而阻止了通过密度梯度传递使温暖的深海洋流涌升到表层而融化海冰。Liu 通过 3 种 CO₂ 情景下对南极海冰范围模拟,发现 21 世纪初南极海域上空的降水将以第 2 模态出现,则由人为活动所驱动,表明随着温室气体排放不断增加南极周围的海洋也会升高,更多的南极降水可能以“雨”的形式出现,而这时的表层被雪覆盖产生的 2 种效应也将消失,出现海冰融化加速就像目前我们在北冰洋所看到的海冰快速后退的现象。

2 北极地区气候变化与环境变异

Corell 领导的国际北极研究科学家,经过近 10 年的努力,综合集成提出了北极气候变化影响评估报告^[12],认为北极地区在气候系统作用中出现快速变化,主要的环境敏感要素是:北极地区是地球重要冷源,最低气温在 -70℃;格陵兰冰川占全球冰川的 9%,全部融化将使海平面升高 7 m;北冰洋是一个潜在碳池,虽然只占大洋 3% 的面积,但吸收大气 CO₂ 的能力却占世界大洋的 10%;北极地区 30 年来上升 2℃;过去 20 年里,北冰洋海冰面积减少了

40%,平均厚度也从 3 m 减薄至 1.5 m。

2.1 北极海冰快速退缩及对气候变化影响

Wang^[13]通过模式研究,认为北极海冰将在 2035 年的夏天全部融化。

北冰洋快速融冰对海气交换会产生重要的影响,主要是高反照率的海冰被低反照率开阔水域代替后,太阳直接辐射海水而增加存储在上层海洋热焐,这样会通过热通量交换延长到对秋冬产生影响,大气环流结构也可能由此产生明显的变化。

2.2 北冰洋海冰融化与北半球出现寒冬关系

Petoukhov^[14]于 2010 年在地球物理杂志上发表文章,认为近年来北半球的一些地区出现的寒冬与全球变暖情景并不冲突,而是对这种情景的一种补充。近年来,整个北半球出现明显的变暖,但在北边大陆的一些年份却出现了寒冬,如在欧洲和北亚 2005/2006 年出现极端寒冷的冬季。Petoukhov 提出了这种北边大陆出现的寒冬是与巴伦支和卡拉海(BK 海)冬季海冰密集度异常减少相关联的。他们用 ECHAM5 环流模式模拟证明由于北冰洋东部的 BK 海的海冰减少会引起对流层下部的加热,因而可能导致极地海洋上空存在较强的反气旋异常和在欧亚大陆上空的大气东风平流异常,导致大范围的北边陆地的冬季变冷至 -1.5℃,这种寒冬的极端事件在欧洲大范围出现的概率会比平常多出 3 倍。

2012 年 4 月 27 日 Liu 等人^[15]在美国《国家科学院院刊》上发表论文,提出近几十年北极海冰减少会对北半球冬季降雪产生重要影响。结合观测资料分析和数值模式模拟,Liu 等发现:一方面,夏季北极海冰的大范围减少以及秋冬季北极海冰的延迟恢复可以引起冬季大气环流的变化,但这种环流变化却不同于北极涛动,因而减弱了北半球中高纬的西风急流,使其振幅增强,即变得更具波浪状。这种环流变化使得北半球中高纬阻塞形势出现的频率增加,进而增加了冷空气从北极向北半球大陆地区入侵的频率,造成北半球大陆地区出现低温异常。另一方面,夏季北极海冰的大范围减少以及秋冬季北极海冰的延迟恢复使得北极存在更多的开阔水域,从而将大量的局地水汽从海洋输送到大气。同时,北极的变暖也使得大气可以容纳更多的水汽。上述两方面结合在一起,导致近年来东亚、欧洲和北美大部分地区冬季的异常降雪和低温天气。该研究还指出,如果北极海冰继续减少,我们很可能在冬季遭

遇更多的降雪(特别是强降雪过程)和严寒天气。

3 极区海洋碳池变化性和脆弱性

3.1 北冰洋碳池变化性及海洋碳吸收潜力下降

北冰洋面积 1 350 万 km², 占世界大洋 3%。随着海冰快速退缩, 人们对北冰洋的碳吸收潜力寄以厚望^[16]。Bates 利用碳通量模式对北冰洋碳汇潜力评估认为, 如果海冰全部融化, 北冰洋将具有吸收大气 CO₂ 通量为世界大洋的 10% 潜力即大约 2×10^8 t 的碳。而 Cai 等^[17] 2010 年在美国《科学》(Science) 发表文章, 他们利用 2008 年中国第 3 次北极科学考察在加拿大海盆区的 CO₂ 实测数据, 应用水团混合模型和海气 CO₂ 交换模式, 发现在融冰后大气 CO₂ 会快速进入海水使表层海水 CO₂ 浓度快速升高并会接近大气 CO₂ 浓度, 从而揭示了无冰北冰洋海洋碳吸收能力会快速下降的机制, 并估算海盆区的碳吸收潜力只是 Bates 估算量的 1/7, 对北冰洋快速融冰下的碳吸收潜力进行了重大修正。

从 1999 年中国开始首次北极科学考察, 至 2010 年已进行了 4 次北冰洋的考察^[18]。从首次只能到达 75°N 到第 4 次可以深入到 88°N 的北冰洋中央, 表明 10 年来北冰洋海冰确实出现了快速后退的情景。4 次所观测到的北冰洋碳汇表明(见表 1, 负值表示海水从大气吸收 CO₂), 楚科奇海维持着强的碳吸收能力, 10 年变化平均为 $-20 \text{ mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 2010 年仍表现出强的汇区。由于楚科奇海属于边缘海, 生物生产力很强, 加上来自白令海水团源源不断补充富营养盐, 生物碳泵过程为碳汇的主要控制机制^[20]。而在加拿大海盆区, 从 2003 年吸收 $14.0 (\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$, 下降到 2008 年的 10.4 和 2010 年的 7.15, 平均每年每平方米下降 1.0 mmol 碳, 表明加拿大海盆对大气 CO₂ 的吸收能力快速下降。进一步对调查数据分析表明, 加拿大海盆融冰后的上层海水出现严重的层化现象, 生产力又很低, 严重地阻碍了表层海水吸收大气 CO₂ 后继续往深海的输送, 因此融冰后的加拿大海盆区, 生物碳泵却很弱, 而这时物理碳泵起到主驱动作用, 因此吸收碳的能力就大大下降。

3.2 南大洋碳池的年际变化性和脆弱性

南大洋面积 3 800 万 km², 占世界大洋面积 10%, 而它吸收大气 CO₂ 的能力却占世界大洋的

表 1 西北冰洋碳汇 10 年变化趋势 ($\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
Table 1. Decadal variations of carbon sinking in the western Arctic Ocean ($\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

年	楚科奇海	加拿大海盆
1999	-18.9 ± 6.8	冰覆盖
2003	-18.2 ± 7.0	-14.0 ± 2.7
2008	-16.5 ± 4.4	-10.4 ± 1.6
2010	-26.8 ± 9.2	-7.2 ± 2.8

25%—30%。对南大洋在过去 50 年观测数据分析和模拟研究显示, 由于气候强迫所引起表层海水温度升高和海面风速的减弱等因素影响, 南大洋被发现对大气 CO₂ 的吸收能力近几十年来出现了明显减弱趋势。

中国第 16 次和 21 次南极科学考察期间, 雪龙船往返于中山站和长城站之间 (80°E—60°W), 现场直接测定大气和表层海水二氧化碳 (pCO₂)、海水叶绿素 *a* 浓度 (Chl *a*) 和海表温度 (SST), 分别获得了 1999 年 12 月和 2000 年 1 月、2004 年 12 月和 2005 年 1 月的数据, 建立了 pCO₂ 与 Chl *a* 和 SST 的经验关系, 应用到遥感的 Chl *a* 和 SST 数据集, 估计每月的海-气碳通量和南大西洋及印度洋对大气中的二氧化碳的吸收量。结果表明, 在南大西洋和印度洋出现明显的碳通量的时空变化, 从 60°W 至 80°E 的 50°S 到南极冰边缘的海区, 每月吸收大气中的二氧化碳分别是 1999 年 12 月为 3.55 Tg C, 2000 年 1 月为 5.73 Tg C, 2004 年 12 月为 3.61 Tg C 以及 2005 年 1 月为 5.25 Tg C。

表 2 为南大洋海冰区海-气二氧化碳通量及相关参数的月 and 年际变化^[21]。从表中通量与其他相关参数比较中看出, 同样季节的碳通量的月变化, 如夏季 12 月份到 1 月份, 无论是 1999/2000 年度或 2004/2005 年度海冰区的 CO₂ 吸收通量都明显增加, 主要归因于生物泵的驱动作用, 因为 1 月份的叶绿素浓度比 12 月份升高。而年际间的变化, 虽然受到生物生产力因素影响, 但 2005 年 1 月份比 2000 年 1 月份, 碳通量吸收能力明显下降, 而表层海水温度升高 0.11°C (见表 3), 这种南大洋海冰区碳吸收能力的年际下降趋势更多诱因是与温度升高有关, 因此, 随着南大洋海水温度的持续升高, 南大洋的碳吸收能力将不断下降。Bednaršek 等^[21] 2012 年发表在英国《自然地理学》杂志上的科学报告认为, 随着海水变得更酸, 南极周边海域中某些翼足目纲的海螺外壳正在溶解, 表明了翼足目纲生物出现质变。这

也是首次在自然的环境中发现翼足目纲活的生物标本会受到海洋酸化明显腐蚀的证据,是对“海洋酸化会对海洋生态系统和食物链产生严重影响”等科学预言的有力佐证。

表 2 南大洋海冰区海-气 CO₂ 通量及相关参数的月和年际变化
Table 2. Monthly and Annually variations of sea-air CO₂ fluxes and relative parameters in the Southern Ocean

年-月	叶绿素 <i>a</i> / (mg · m ⁻³)	风速/ (m · s ⁻¹)	表层 温度/°C	通量/(mmol C · m ⁻² · m ⁻¹)
1999-12	0.387	5.956	0.951	-84.237
2000-01	0.42	6.092	1.439	-132.639
2004-12	0.367	5.756	0.917	-96.583
2005-01	0.4	5.653	1.548	-115.601

表 3 南大洋海冰区海-气 CO₂ 通量年际变化与温度关系
Table 3. Relationships between sea-air CO₂ flux and temperature

年-月	海表层温度/°C	通量/(mmol C · m ⁻² · m ⁻¹)
2004-12—1999-12	-0.03	-12.35
2005-01—2000-01	0.11	17.04

4 讨论

全球变暖引起了北冰洋快速升温,海冰融化并快速北退,出现了更多的开阔水域,吸收和储存更多的热量,延迟了秋冬季北冰洋的结冰,未冻冰的开阔

水域增加,向大气输送水汽而改变北极地区的大气环流模态,增强了富含水汽的北方寒流向北半球的大范围输送。这种冬季海冰密集程度与北半球出现寒冬频率所表现的相关性,应该引起重视,尤其在 25 年后北冰洋夏季海冰会全部融化,这种变化趋势对北半球尤其是中国是否意味着冬季会遭遇更早和更强的冰雪天气? 南极上空臭氧空洞和南大洋降雪覆盖这双重作用引起东南极海冰不降反升的异常现象,然而当这种双重作用消失后,南极地区是否会快速升温并诱发东南极冰盖和海冰出现快速融化,这种质变的年际阈值是否会出现 2070 年(预估届时氟利昂破坏臭氧作用会消失)或会更早? 海水温度升高对北冰洋海盆区和南大洋海冰区的碳吸收具有重要驱动作用^[22],大气 CO₂ 大量进入海水后,出现碳吸收饱和的年际阈值和对海水酸化、生态系统和食物链及气候的影响如何? 以上提出的这些关键科学问题,有些已为观测和模式所证实,但发生质变的年际阈值却存在着许多不确定性,还要更多观测数据、研究以及时间来证明或修正。

致谢 数据由中国极地研究中心和中国南北极数据中心建设的“极地科学数据共享平台(<http://www.chinare.org.cn>)”提供,在此表示感谢!

参考文献

- 1 GCP, Global Carbon Project. <http://www.globalcarbonproject.org>. 2011.
- 2 IPCC. 气候变化 2007: 综合报告 // Pachauri R K, Reisinger A. 政府间气候变化专门委员会第四次评估报告第一、第二和第三工作组的报告. 日内瓦: IPCC, 2007: 104.
- 3 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 等. 2050 年大气 CO₂ 浓度控制: 各国排放权计算. 中国科学, 2009, 39(8): 1009—1027.
- 4 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 等. 国际温室气体减排方案评估及中国长期排放权讨论. 中国科学, 2009, 39(12): 1659—1671.
- 5 Craig I, Singer S F. Climate Change Reconsidered; Report of the Nongovernmental Panel on Climate Change (NIPCC). Chicago, IL: The Heartland Institute, 2009.
- 6 Allison I, Bindoff N L, Bindschadler R A, et al. The Copenhagen Diagnosis: Updating the World on the Latest Climate Science. Sydney, Australia: The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), 2009.
- 7 Turner J, Bindschadler R A, Convey P, et al. Antarctic Climate Change and the Environment, Published in Cambridge by SCAR. ISBN 978-0-948277-22-1. 2009.
- 8 NASA; Ozone Hole Watch, NASA Official: Paul A Newman, Webmaster; Eric R. Nash (SSAI), 2011.
- 9 Farman J C, Gardiner B G, Shanklin J D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. Nature, 1985, 315(6016): 207—210.
- 10 Turner J, Comiso J C, Marshall G J, et al. Non-annular atmospheric circulation change induced by stratospheric ozone depletion and its role in the recent increase of Antarctic sea ice extent. Geophysical Research Letters, 2009, 36(8), doi: 10.1029/2009GL037524.
- 11 Liu J P, Curry J A. Accelerated warming of the Southern Ocean and its impacts on the hydrological cycle and sea ice. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, doi: 10.1073/pnas.1003336107.
- 12 ACIA. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 1042.

- 13 Wang M Y, Overland J E. A sea ice free summer Arctic within 30 years? *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(7): L07502, doi: 10.1029/2009GL037820.
- 14 Petoukhov V, Semenov V A. A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(D21): D21111, doi: 10.1029/2009JD013568.
- 15 Liu J P, Curry J A, Wang H J, et al. Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, doi: 10.1073/pnas.1114910109.
- 16 Bates N R, Mathis J T. The Arctic Ocean marine carbon cycle: evaluation of air-sea CO₂ exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks. *Biogeosciences*, 2009, 6(11): 2433—2459.
- 17 Cai W J, Chen L Q, Chen B S, et al. Decrease in the CO₂ uptake capacity in an ice-free Arctic Ocean basin. *Science*, 2010, 329(5991): 556—559.
- 18 陈立奇. 北极海洋环境与海气相互作用研究. 北京: 海洋出版社, 2003.
- 19 Chen L Q, Gao Z Y. Spatial variability in the partial pressures of CO₂ in the northern Bering and Chukchi seas. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2007, 54(23-26): 2619—2629.
- 20 Chen L Q, Xu S Q, Gao Z Y, et al. Estimation of monthly air-sea CO₂ flux in the southern Atlantic and Indian Ocean using in-situ and remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(8): 1935—1941.
- 21 Bednaršek N, Tarling G A, Bakker D C E, et al. Extensive dissolution of live pteropods in the Southern Ocean. *Nature Geoscience*, 2012, 5(12): 881—885.
- 22 陈立奇, 高众勇, 詹力扬, 等. 极区海洋对全球气候变化的快速响应和反馈作用, *应用海洋学学报*, 2013, 32(1): 138-144.

EVIDENCE OF ARCTIC AND ANTARCTIC CHANGES AND THEIR REGULATION OF GLOBAL CLIMATE CHANGE (FURTHER FINDINGS SINCE THE FOURTH IPCC ASSESSMENT REPORT RELEASED)

Chen Liqi^{1,2,3}

¹Key Laboratory of Global Change and Marine Atmospheric Chemistry, Xiamen 361005, China;

²Third Institute of Oceanography, Xiamen 361005, China;

³Chinese Arctic and Antarctic Administration, Beijing 100860, China)

Abstract

Changes in the climate of the Arctic and the Antarctic have been of great concern to international scientific and social communities since the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was released in 2007. Since then, many new findings have been reported from observations and research carried out in the Arctic and Antarctic during the 4th International Polar Year (IPY). There is evidence that rapid changes in the Arctic and Antarctic induced by global warming are occurring in a quantitative and qualitative sense, and Arctic and Antarctic regional changes could be used indicators of global climate change. Declining Arctic sea ice could impact on winter snowfall in much of the Northern Hemisphere, with colder winters and more snow. Projections suggest that summertime Arctic sea ice will disappear by 2040. By 2050, the Antarctic ozone hole will have recovered to the level of the early 1980s, when the production of freon was completely prohibited. With weakening the shielding effect of the ozone hole to the global warming, it will become warmer in Antarctica and East Antarctica, leading to melting of ice sheets and retreating sea ice. Sea level rise will be a serious issue. As sea surface temperature rises the air-sea exchange of CO₂ will be enhanced and surface water will take up more CO₂. This will lead to ocean acidification with important effects on ecological systems and food chains.

Key words the Antarctic, the Arctic, climate change, IPCC, indication and regulation