

荒漠化与气候变化间反馈机制研究进展

慈龙骏, 杨晓晖\*

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:**荒漠化和气候变化是全球关注的重大环境问题,两者间的反馈机制是目前科学研究的热点之一。从荒漠化与气候变化间的反馈机制和荒漠化及其防治对碳源/汇的影响两方面对其研究进展进行了评述。以往的研究表明,荒漠化对区域乃至全球气候变化的影响主要通过荒漠化过程中植被覆盖降低-地表反射率提高和(或)土壤含水量降低-降雨量降低-植被覆盖降低这样一个正反馈机制(荒漠化生物地球物理模型“Charney 假说”及其衍生理论)来实现的,此外大气中悬浮的沙尘具有明显抑制降雨的作用,土地荒漠化所导致的沙尘暴频发及其影响范围之大也将对全球气候变化产生显著影响。气候变化对荒漠化的影响则表现在对荒漠化的范围、发展速度和强度以及潜在危险性及干旱生态系统的结构、功能及生产力的影响上。同时作为全球重要的碳贮存地,干旱区的变化从一定程度上影响到大气中 CO<sub>2</sub> 的收支,据估算全球荒漠化所导致的碳损失总量为 18~28 Pg C,其中中国近 40a 来因土地沙质荒漠化导致的 CO<sub>2</sub> 净释放量为 91Mt C,如果 UNEP 建议的退化土地治理措施得以实施,每年可固定 37 Pg 的碳,约占 CO<sub>2</sub> 年排放量的 15%,其投入低于一些限制 CO<sub>2</sub> 排放的措施,因此具有很大的吸引力。从目前的研究进展来看,大多数研究尚处于定性描述阶段,虽然有一些量化的尝试,但多停留在低精度的外推或估算上,因此今后有关荒漠化与气候变化间反馈机制研究的重点应放在:(1)量化气候变化过程对干旱生态系统弹性、生物多样性、生物生产力和总体健康的影响,(2)模拟荒漠化发生发展对区域和全球的气候变化影响,(3)评价荒漠化防治对气候变化的可能影响及其程度,特别是一些大范围的生态建设工程在防治土地荒漠化方面的作用及其对气候变化的可能影响。简言之,从科学和政策的角度来看弄清荒漠化与气候变化间的反馈机制不仅有利于区域和全球尺度荒漠化防治的开展,而且也将为国际气候变化框架条约中相关部分的协商及谈判提供依据。

**关键词:**荒漠化;气候变化;碳源/汇;荒漠化防治

Progress in feedback mechanism between desertification and climate change

CI Long-Jun, YANG Xiao-Hui (Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 755~760.

**Abstract:** Desertification and climate change are two of globally environmental issues, and feedback mechanism between them is becoming one of research forefronts. In this paper, we review research progress on this topic from feedback between desertification and climate change and effects of desertification and its control on carbon source/sink. The existing results show that on the one hand, the effects of desertification on regional and global climate change result mainly from a positive feedback loop as vegetation cover decreasing-albedo increasing and (or) soil moisture decreasing-precipitation decreasing-vegetation cover decreasing (Charney's hypothesis and its derivative theories), and that sand dusts suspending in atmosphere can suppress precipitation, and high-frequent dust storms and their large cover scope will also overlap their effects on global climate change; on the other hand, climate change influences on extent, rate, intensity and potential risk of desertification, and on structure, function and productivity in dryland ecosystem. In meanwhile, as globally important carbon store, dryland change will affect budget of carbon in atmosphere to the extent, it is estimated that total carbon loss from desertification is 18~28 Pg C globally,

**基金项目:**国家自然科学基金重大资助项目(399990490);国家自然科学基金资助项目(30171205)

**收稿日期:**2002-12-23;**修订日期:**2003-12-16

**作者简介:**慈龙骏(1935~),女,安徽省桐城人,博士,研究员,主要从事景观生态学与荒漠化防治方面研究。E-mail: cilj@caf. forestry. ac. cn

**通讯作者** Author for correspondence. E-mail: yangxh@caf. ac. cn

**Foundation item:**Key National Natural Science Foundation of China (No. 399990490) and National Natural Science Foundation of China (No. 30171205)

**Received date:**2002-12-23;**Accepted date:**2003-12-16

**Biography:**CI Long-Jun Ph. D., Professor, mainly engaged in landscape ecology and desertification combating.

and net CO<sub>2</sub> amount released from desertified sandy lands of china is about 91Mt C, if all the land restoration measures suggested by UNEP were adopted, the net effect on carbon sequestration would be over 37 Pg per year, accounting for 15 percent of atmospheric CO<sub>2</sub> emissions, and the input is actually considerably lower than the cost of some carbon source limitation measures and seems very attractive. From aspects of current research progress, despite of building of regionally numerical model, the majority of results is gotten by extrapolation or estimation, hence future emphases should be put on the development of new numerical models and scale-up of them, including (a) to quantify the impacts of climate change on resilience, biodiversity, productivity and health of dryland ecosystem, (b) to model the impacts of desertification on regional and global climate change, and (c) to evaluate the influence of desertification combating, particularly some large-scale ecological projects such as Three North Protection Forest Project, on climate change. In conclusion, it is very important to better understand the feedback mechanism between desertification and climate change from science and policy views, which not only is helpful in implementing global or regional desertification control, but provide scientific base for negotiation of UN Convention to climate change.

**Key words:** desertification; climate change; desertification control; carbon source/sink

文章编号: 1000-0933(2004)04-0755-06 中图分类号: Q143 文献标识码: A

20 世纪 90 年代以来,荒漠化和气候变化日益成为全球关注的重大环境问题,1992 年世界环发大会更是将两者列为全球优先行动的领域,《联合国防治荒漠化公约》中将气候变异和人类活动确定为荒漠化的两大主要原因<sup>[1]</sup>,《联合国气候变化框架公约》也充分考虑到了两者间的紧密联系,并建议采取协同行动来减缓两者对人类的影响<sup>[2]</sup>。目前全球干旱区<sup>①</sup>面积约为 5169.2km<sup>2</sup>,占土地面积的 40%,其中约 20%发生了不同程度的退化<sup>[3]</sup>,这种以植被破坏和土壤侵蚀为主要特征的陆面变化必然会对气候变化产生一定的影响,同时气候变化也将对原本脆弱的干旱区生态系统产生显著的影响。根据大多数 GCM 模型预测的结果,今后 50a 内由于大气中 CO<sub>2</sub> 含量的加倍,干旱区的温度将提高 1~3℃,潜在蒸散量(PET)提高 75~225mm/a,如果区域内降水没有显著变化,降水和潜在蒸散的比值将降低 4%~5%,从而加剧干旱程度,进一步增加了荒漠化发生的潜在危险<sup>[4]</sup>。

有关荒漠化与气候变化反馈机制的研究始于 20 世纪 70 年代中期,而基于碳源/汇过程的相互作用则始于气候变化框架公约的签署前后,并随京都议定书的签署而成为全球研究的热点。

## 1 荒漠化对气候因子的影响

20 世纪 70 年代中期,非洲萨赫勒地区持续的特大干旱使得有关干旱区生态系统退化(荒漠化)对气候因子影响的研究达到了高潮,其中以萨赫勒地区荒漠化生物地球物理模型“Charney 假说”为代表,该假说的核心内容是:人为或自然因素引起的干旱区植被减少将提高地表反射率,降低地表温度和对流,从而降低区域降水,而降水的减少反过来限制了植被的生长,从而形成了一个正向反馈环,萨赫勒地区地表植被减少引起的地表反射率变化是这一地区干旱持续发生的主要诱因<sup>[5]</sup>,同期的一些研究成果从不同角度验证了这一假说<sup>[6,7]</sup>;但也有许多研究者对此提出异议,他们认为植被减少引起的土壤水分变化才是改变干旱区表面能量平衡的主导因子<sup>[8,9]</sup>,此后的一些研究成果则证实了地表反射率和土壤水分变化在干旱区气候变化均起着十分重要的作用,在不同地区两者的影响力不尽相同<sup>[10~12]</sup>。近来在“全球能量和水循环试验(GEWEX)”项目中一个主要的田间水文大气定位试验(HAPEX-SAHEL)在非洲尼日尔开展,该试验旨在量化萨赫勒地区土地表面过程及其与当地及区域气候间的相互关系,为更准确地模拟该地区荒漠化与气候间的反馈关系奠定了基础<sup>[13]</sup>。

荒漠化不仅影响干旱区气候,对全球气候也有一定的影响。Franchito 和 Rao(1992)分别以南北纬 15 度为中心各选取一个带,通过改变带内反射率和水分状况来模拟荒漠化对气候的影响,结果表明荒漠化使得当地净辐射、土壤湿度、蒸发和降水降低,地表及近地表温度升高,并对非荒漠化区域的温度和降水产生了一定的影响<sup>[14]</sup>;Balling 等人从 1977 年全球荒漠化图中选取具代表性的严重荒漠化区域进行分析后指出,20 世纪这些地区的温度平均提高了 0.5℃,将该结果外插到全球 90%的干旱区上后得出荒漠化显著增加了全球变暖的趋势<sup>[15]</sup>,尽管这一结果受到一些同行专家的批评<sup>[16]</sup>,但荒漠化对全球气候的影响仍可见一斑。近来 Rosenfeld 等人通过沙尘样品和 NASA/TRMM 卫星云图的研究指出大气中悬浮的沙尘具有明显抑制降雨的作用,尽管这种作用比植被燃烧所产生的烟雾要弱一些<sup>[17]</sup>,但沙尘暴发生及其影响范围足以使得这一作用具有全球重要性<sup>[18]</sup>。Williams 等人在《气候和荒漠化间的相互作用》一书中就荒漠化对区域和全球尺度气候的影响作了十分详尽的论述,为这方面的研究提供了极具参考价值的基础资料<sup>[19]</sup>。

## 万方数据

① 本文中干旱区泛指《联合国荒漠化公约》规定的干旱、半干旱和亚湿润干旱区(湿润指数为 0.05~0.65)

表 1 草地及旱地的生态区和碳库过去、现在及未来的变化<sup>[25]</sup>

Table 1 Changes in biome areas and carbon pools for grasslands and drylands for past, present and future

生态区 <sup>①</sup> Bio-region	划分 方法 <sup>②</sup> Method	生态区面积 Biome areas (M hm <sup>2</sup> )			碳库 <sup>③</sup> carbon pools (Pg)			
		潜在	现状	预测	过去	现状	预测(退化)	预测(可持续)
		Potential	Current	Future	Past	Current	Future (regressive)	Future (sustainable)
半荒漠 Semi-desert	A	499.5	499.5	298.9	27.620	27.620	—	15.740(−11.9)
	B	626.0	626.0	374.6	34.615	34.615	—	19.726(−14.9)
	C	137.1	137.1	82.0	7.581	7.581	5.2(−2.38)	4.318(−3.3)
寒冷草/灌区 Cool grass/shrub	A	571.3	272.5	121.3	11.642	5.553(−6.1) <sup>④</sup>	—	1.789(−3.7)
	B	791.0	377.3	167.9	16.120	7.689(−7.6)	—	2.477(−5.2)
	C	304.0	145.0	86.8	6.195	2.955(−3.2)	2.26(−6.95)	1.280(−1.7)
温暖草/灌区 Warm grass/shrub	A	1180.5	1016.4	1460.3	51.258	44.133(−7.1)	—	63.725(+19.6)
	B	2821.0	2428.9	3489.5	122.493	105.466(−17.0)	—	152.282(+46.8)
	C	1892.6	1629.5	2341.1	82.178	70.755(−11.4)	63.00(−7.75)	102.166(+31.4)
炎热沙漠 Hot desert	A	1945.5	1945.5	2004.1	34.336	34.336	—	35.651(+1.3)
	B	934.0	934.0	962.1	16.484	16.484	—	17.115(+0.6)
	C	—	—	—	—	—	—	—
合计 Total	A	4196.8	3733.9	3844.6	124.856	111.642(−13.2)	—	116.905(+5.6)
	B	5172.0	4366.2	4994.1	189.712	164.254(−25.5)	—	191.600(+27.0)
	C	2333.7	1911.6	1509.9	95.954	81.291(−14.7)	70.46(−10.82)	107.764(+26.8)

① 采用 Prentice 等人的划分方法<sup>[22]</sup>; ②A Prentice 等人定义的生态区面积, B 基于 UNEP 干燥指数的生态区面积<sup>[23]</sup>, C 基于 Bailey 的生态区域方法的生态区面积<sup>[24]</sup>; ③ 碳库是指用 Century 模型计算出的 20cm 土壤中的碳, 1m 土壤内的碳可以通过将上述值乘以 3~4 而近似求得, 故目前草地和旱地 1m 土壤中的碳可近似估算为 417 Pg; ④ 括号中的值表示不同时期的碳库净变化 ①Biomes as defined by Prentice *et al.*; ② A Areas for biomes defined by Prentice *et al.*, B Areas derived from UNEP-based aridity index (UNEP, 1991), C Areas derived from Bailey Ecoregions (Bailey, 1988); ③ Carbon pools are total soil C to 20cm depth as modeled using CENTURY. An approximate value for soil C to 1.0m depth may be obtained by multiplying these values by 3~4, thus current grassland and dryland soil carbon is approximately 417 Pg to a depth of 1.0m; ④ Values in parentheses indicate net flux in C pools from one period to the next

2 气候变化对荒漠化的影响

气候变化对荒漠化的影响一方面表现在对荒漠化的范围、发展速度和强度以及潜在危险性的影响上<sup>[20]</sup>。在通常进行的荒漠化评价结果中, 可能很大一部分是由气候变化引起的。例如 Tucker 等人用 1980~1989 年 10a 间 NDVI 的变化得出撒哈拉沙漠, 年扩展率为 41000km<sup>2</sup><sup>[21]</sup>, 而沙漠面积年际变化的 83% 是由降水引起, 只有 17% 由其他因子引起<sup>[16]</sup>。Ojima 等人根据 3 种全球生态区的划分方法<sup>[22~24]</sup>, 用 GFDL/GCM 模型预测了 2040 年 CO<sub>2</sub> 加倍的情况下天然草地和旱地(干燥指数为 0.05~0.8)面积的变化, 结果表明前两种划分方法(方法 A、B)的面积分别提高了 2.96% 和 14.38%, 而后一种划分方法(方法 C)的面积减少了 21.01% (表 1)<sup>[25]</sup>, 尽管 3 种生态区的划分方法得出的结果相差甚远, 但却从一个侧面反映了气候变化对荒漠化气候类型区的可能影响。

另一方面气候变化还会影响干旱区生态系统的结构、功能及生产力。美国环境保护局(EPA)在 20 世纪 90 年代初组织了一些科学家用 CENTURY 和 ERHYM-II 模型模拟了未来 40a 气候变化对北美 4 个主要沙漠土壤特性的影响<sup>[26]</sup>, 结果表明, 在 5 种气候变化模式中, 土壤物理和化学结皮, 土壤微泡层, 氮挥发, 土壤侵蚀和盐分积累均有所提高, 而微生物结皮则明显下降, 土壤有机 C 和 N 有所下降, 而 C/N 比则降至最低值, 在夏季降水无显著增加的情况下 N 的固定也会下降, 土壤的 P、S 和微量元素含量则变化很小, 此外枯落物数量变化相对较小, 但由于植被组成从多年生向 1 年生过渡, 枯落物的化学质量将下降, 养分循环将加快。CENTURY 模型的模拟结果还表明温度变化对土壤有机质含量的影响要大于降水。

大气中 CO<sub>2</sub> 的增加对植物生长的影响主要表现在增强光合作用, 进而提高生产力, 降低气孔导度和蒸腾, 提高水分利用效率(WUE), 这将使得世界大多数旱地上生产力都有所增加<sup>[4]</sup>, Melillo 等预测大气中 CO<sub>2</sub> 的加倍将使沙漠生态系统的年初级生产力提高 50%~70%<sup>[27]</sup>。然而一些初步研究结果表明, 在 CO<sub>2</sub> 增加的环境下, 沙漠生产力的年际变异增大, 同时一些外来的 1 年生植物对 CO<sub>2</sub> 的增加更加敏感, 这将导致多年生的灌木为多样性低的 1 年生外来植物所代替, 从而使生态系统功能发生显著的退化<sup>[28,29]</sup>。可见气候变化对干旱生态系统的结构和功能的影响十分复杂, 尚有待于进一步研究。

基于以往大量的研究成果, Schlesinger 等人深入探讨了全球荒漠化过程中气候变化、环境变化和人类活动间生物学反馈机制<sup>[30]</sup>, 为进一步研究荒漠化与气候变化间相互作用提供了理论框架。

3 荒漠化动态与碳源/汇间的相互关系

尽管荒漠化对温室气体累积量的贡献率仅为 5%~10%<sup>[19]</sup>,其动态变化似乎不会对全球气候变化产生显著的影响,但应该看到的是,干旱区土壤的有机碳含量虽然较低,但土壤碳酸盐含量较高,目前大约有 300~369 和 473~546 Pg C 分别以土壤有机碳(SOC)和土壤碳酸盐(CAC)的储存在干旱区土壤中,分别占世界陆地总储量的 20%~25%和 68%~79%,虽然它并不像有机碳一样能迅速参与全球碳循环中去,但土壤的过度利用也将加快这些碳的释放<sup>[31,32]</sup>;其次干旱生态系统的潜在生产力是不可忽视的<sup>[33]</sup>,其年固碳的潜力高达 1.0Gt<sup>[34]</sup>。Ojima 等人采用 CENTURY 模型对全球草地和旱地碳收支的估测结果表明,1800~1990 年间由于刀耕火种扩大农地而导致的碳损失量为 13.2~25.5Pg C,到 2040 年 CO<sub>2</sub> 加倍的情况下可持续的土地经营将使碳固定量净增 5.6~26.8 Pg C,相反碳损失量将净增 10.82 Pg C (表 1)<sup>[25]</sup>。根据以往的文献,Lal 估算了全球荒漠化导致土壤有机碳的损失量,全球因土地退化引起的碳损失总量约为 8~12Pg C,植被退化导致的碳损失总量约为 10~16 Pg C,因此荒漠化所导致的碳损失总量约为 18~28 Pg C,这一结果与 Ojima 等人的结果近似;Lal 还估算了不同荒漠化防治和旱地恢复措施的固碳潜力(表 2),结果表明各项措施总固碳潜力为 0.9~1.9 Pg C/a,其中以采用生物燃料替代化工燃料的潜力最大,达 0.4 Pg C/a<sup>[35]</sup>。可见干旱区作为全球重要的碳的贮存地,其变化从一定程度上影响到大气中 CO<sub>2</sub> 的收支<sup>[36]</sup>,因此尽管受到资金、土地和实施过程和效果评价等诸多因素的限制,通过全球尺度的植被恢复和土壤改良来吸收过量的二氧化碳仍具有一定的吸引力<sup>[37]</sup>。如果 UNEP 建议的土地恢复措施得以实施的话,每年将有 37 Pg 的碳被贮存,约占 CO<sub>2</sub> 年排放量的 15%<sup>[38]</sup>,其投入则低于一些限制二氧化碳排放的措施,每吨碳的投入约为 5~20 美元<sup>[39]</sup>。大部分受荒漠化影响的国家是发展中国家,受荒漠化影响的人口达 10 亿多人,荒漠化防治不仅能有利于改善区域内的人居环境,而且可以保护生物多样性,同时可以增加大气中 CO<sub>2</sub> 的固定,从一定程度上减缓气候变化对环境的影响<sup>[40]</sup>,无论是从全球角度还是从干旱区的角度,通过荒漠化防治将干旱区变为碳库都是一个双赢的结果<sup>[25]</sup>。

4 国内有关荒漠化与气候变化反馈关系的研究进展

1999 年中国第 2 次荒漠化监测数据表明,全国荒漠化土地总面积为 267.4 km<sup>2</sup>,占国土总面积的 27.9%,其中风蚀荒漠化面积为 187.3 km<sup>2</sup>,水蚀荒漠化面积 26.5 km<sup>2</sup>,土壤盐渍化面积 17.3 km<sup>2</sup>,冻融荒漠化面积 36.3 km<sup>2</sup>,荒漠化的趋势是局部逆转,总体扩展<sup>[41]</sup>,同时在全球气候变化的大背景下,近几十年来我国北方呈现干旱化的趋势<sup>[42]</sup>,荒漠化和气候变化对我国北方生态、经济和社会的可持续发展带来了严重的影响,因此加强气候变化和荒漠化间反馈关系的研究变得极为迫切。

目前国内有关荒漠化与气候变化间反馈机制的研究尚处于初始阶段,且大多集中在分析现有气象记录与荒漠化间的关系上<sup>[43,44]</sup>。如史培军等<sup>[45]</sup>利用 NOAA/AVHRR—NDVI 影像与同期的降水和温度进行比较,提出温度升高是中国北方气候日趋干化的主要影响因子;魏文寿<sup>[46]</sup>分析了近 40a 古尔班通古特沙漠区水热过程对气候变化的响应与反馈作用,认为干旱区降水增加对沙漠逆过程发展的作用是缓慢的,但降水略有减少对沙漠正过程发展的作用则是明显而迅速的<sup>[46]</sup>;慈龙骏等采用 HADCM2 模型模拟两种气候变化模式下荒漠化生物气候类型区变化,结果表明气候变化下荒漠化生物气候类型区明显扩大,这将增加荒漠化发生的可能性<sup>[47]</sup>。与此同时有关荒漠化对碳源/汇影响研究也已开始。Qi 等用中国 17 个典型沙漠(地)不同退化程度地块 1m 深土层内有机碳的含量及沙质荒漠化动态的评价结果,估算出中国沙质荒漠化土壤中有有机碳储量为 7.84Pg,碳酸盐类碳的储量为 14.9Pg<sup>[48]</sup>,在过去 40a 中因沙质荒漠化而损失的土壤有机碳总量为 2812Tg,而逆转过程固定的有机碳总量为 644Tg,即有机碳的净损失量为 2168Tg。如果沙质荒漠化扩展的速率保持不变,到 2000 年和 2030 年土壤有机碳的损失量将分别增加 151Tg 和 1243Tg<sup>[49]</sup>;Duan 等根据 20 世纪 50 年代以来沙质荒漠化土地的变化动态,计算得出 0~50cm 土层中有有机碳储量为 855Mt,近 40a 来(1955~1992 年)因土地沙质荒漠化导致的 CO<sub>2</sub> 释放总量为 150Mt C,沙质荒漠化逆转过程中 CO<sub>2</sub> 固定总量为 59Mt C,因此 CO<sub>2</sub> 的净释放量为 91Mt C,如果目前沙质荒漠化的程度都相应地降低一个数量级,那么 CO<sub>2</sub> 固定总量将达到 236Mt C,这表明沙质荒漠化土地具有极强的 CO<sub>2</sub> 固定潜力<sup>[50]</sup>。

表 2 荒漠化防治和土地恢复的固碳潜力(Pg C/a)

Table 2 Potential of desertification control and land restoration to sequester C (Pg C/a)			
过程 Process	范围 Range	均值 Mean	占总潜力的比例(%) % of total potential
侵蚀控制对 C 损失量的降低 Emission reduction through erosion control	0.2~0.3	0.25	18
侵蚀土地的恢复 Restoration of eroded lands	0.2~0.3	0.25	18
物理和化学退化土壤的恢复 Restoration of physically and chemically degraded soil	<0.01	<0.01	—
盐化土壤的垦复 Reclamation of salt-affected soils	0.2~0.4	0.3	21
未退化土壤上的农业集约化经营 Agricultural intensification on undegraded soils	0.01~0.02	0.015	—
生物燃料比化工燃料 C 排放量的降低 Fossil fuel C offset through biofuel production	0.3~0.5	0.4	29
土壤中次生碳酸盐的积累 Sequestration as secondary carbonates	0.01~0.4	0.2	14
合计 Total 万方数据	0.9~1.9	1.4	100



## 5 荒漠化与气候变化间反馈的研究展望

综上所述,近年来荒漠化与气候变化间反馈机制的研究取得了大量的成果,为区域和全球尺度的协同行动提供了科学参照和总体框架,然而,许多研究尚处于定性描述阶段,虽然建立了一些区域模型,但对大尺度的反馈关系多是采用外推或估算的方法<sup>[32]</sup>,因此今后有关荒漠化与气候变化间反馈机制的研究应更多着眼于如何科学地量化两者间的关系并推演到较大尺度上。近期的研究重点应主要集中在以下几方面:

(1)气候变化过程对干旱区生态系统弹性、生物多样性、生物生产力和总体健康的影响,气候变化将使生态系统的生物生产力有所提高<sup>[4]</sup>,同时又可能使得生态系统功能退化,生物多样性降低<sup>[29]</sup>,如何量化两种影响从而扬长避短,是在气候变化的框架下科学地制定干旱区退化生态系统恢复和重建的基础;

(2)荒漠化发生发展对区域和全球的气候变化影响,这方面的研究应集中在两方面,一方面是通过区域气候变化模型或GCM模型模拟因荒漠化引起的陆面变化对气候变化的影响,另一方面采用地面定位观测和遥感影像来定量确定荒漠化过程中土壤侵蚀和植被退化对干旱区生态系统碳源/汇的影响;

(3)荒漠化防治对气候变化的可能影响及其程度,特别是一些大范围的生态建设工程在防治土地荒漠化方面的作用及其对气候变化的可能影响。例如中国正在进行与荒漠化防治相关的“三北”防护林体系工程、京津风沙源治理工程,退耕还林草工程,天然林保护工程等均以保护和恢复植被为主要目的,三北防护林体系工程迄今已经实施了 26a,其对区域气候变化的影响尚有待进一步研究。

简言之,从科学和政策的角度来看弄清荒漠化与气候变化间的反馈机制是十分重要的,这不仅有利于区域和全球尺度荒漠化防治的开展,保护干旱区生物多样性,同时也将为国际气候变化框架条约中相关部分的协商及谈判提供依据。

## References:

- [1] ICCD. *International convention to combat desertification*. New York:United Nations General Assembly, 1994.
- [2] IPCC. *Land use, land-use change and forestry, a special report of the IPCC*. Cambridge:Cambridge University Press, 2000.
- [3] Middleton N J and Thomas D S G, eds. *World atlas of desertification*. second edition. London:Edward Arnold, 1998.
- [4] Le Houerou H N. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 1996, **34**:133~185.
- [5] Charney J G, Stone P H and Quirk W J. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 1975, **187**:434~435.
- [6] Otterman J. Baring high-albedo soils by overgrazing: A hypothesized desertification mechanism. *Science*, 1974, **186**:531~533.
- [7] Charney J G, Quirk W J, Chow S *et al.* A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *Journal of Atmospheric Science*, 1977, **34**:1366~1385.
- [8] Jackson R D and Idso S B. Surface albedo and desertification. *Science*, 1975, **189**:1012~1013.
- [9] Ripley E A. Drought in the Sahara: Insufficient biogeophysical feedback? *Science*, 1976, **191**:100.
- [10] Cunningham W M and Rowntree P R. Simulation of the Saharan atmosphere - dependence on moisture and albedo. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1986, **112**:971~999.
- [11] Bounova L and Krishnamurti T N. Influence of soil moisture on the Sahelian climate prediction II. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1993, **52**:205~224.
- [12] Xue Y and Shukla J. The influence of land surface properties on Sahel climate. Part 1: Desertification. *Journal of Climate*, 1993, **6**:2232~2245.
- [13] Goutorbe J P T, Lebel A, Tinga P, *et al.* HAPEX-Sahel - a large-scale study of land-atmosphere interactions in the semi-arid tropics. *Annals of Geophysics*, 1994, **12**:53~64.
- [14] Franchito S H and Rao V B. Climatic change due to land surface alternations. *Climatic Change*, 1992, **22**:1~34.
- [15] Balling Jr R C. Impact of desertification on regional and global warming. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1991, **72**:232~234.
- [16] Hulme M and Kelly M. Exploring the links between desertification and climate change. *Environment*, 1994, **35**(6): 5~11, 39~45.
- [17] Rosenfeld D, Rudich Y and Lahav R. Desert dust suppressing precipitation - a possible desertification feedback loop. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2001, **98**(11):5975~5980.
- [18] UN. *Global alarm: Dust and sandstorms from the world's drylands*. United Nations, 2002. 345.
- [19] Williams M A J and Balling Jr R C. Interactions of desertification and climate. London: Arnold, 1996. 269.
- [20] Thomas D S G. Reconstructing ancient arid environments, In: Thomas D S G ed. *Arid zone geomorphology: process, form and change in drylands*, 2<sup>nd</sup> edition, Chichester: Wiley, 1997. 577~606.
- [21] Tucker C J, Dregne H E and Newcomb W W. Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 1991, **253**: 299~301.
- [22] Bailey R G. Explanatory supplement to Ecoregions Map of the Continents. *Environmental Conservation*, 1989,**16**: 307~309.
- [23] UNEP. UNEP governing council decision - desertification. *Desertification Control Bulletin*, 1991, **20**:3~5.
- [24] Prentice I C, Werger M J A, Harrison S P, *et al.* A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, 1992, **19**:117~134.

- [25] Ojima D S, Dirks B O M, Glenn E P, *et al.* Assessment of C budget for grasslands and drylands of the world. *Water Air & Soil Pollution*, 1993, **70**:643~657.
- [26] West N E, Stark J K, Johnson D W, *et al.* Effects of climatic change on the edaphic features in arid and semi-arid lands of western North America. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1994, **8**:307~351.
- [27] Melillo J M, McGuire A D, Kicklighter D W, *et al.* Global climatic change and terrestrial net primary production. *Nature*, 1993, **363**:234~240.
- [28] Jordan D N, Zitzer S F, Hendrey G R, *et al.* Biotic, abiotic and performance aspects of the Nevada Desert Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) Facility. *Global Change Biology*, 1999, **5**:659~668.
- [29] Smith S D, Huxman T E, Zitzer S F, *et al.* Elevated CO<sub>2</sub> increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, 2000, **408**:79~82.
- [30] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, *et al.* Biological feedback in global desertification. *Science*, 1990, **247**:1043~1048.
- [31] Sampson R N, Apps M, Brown S, *et al.* Terrestrial biospheric carbon fluxes: quantification of sinks and sources of CO<sub>2</sub>. *Water, Air & Soil Pollution*, 1993, **70**:3~15.
- [32] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 1996, **47**:151~163.
- [33] Ludwig J A. Primary productivity in arid lands: myths and realities. *Journal of Arid Environments*, 1987, **13**:1~7.
- [34] Ojima D, Stafford Smith D M, Veardley M. Factors affecting carbon storage in semi-arid and arid ecosystems. In: UNEP/U, ed. *Combating Global Climate Change by Combating Land Degradation*, Tucson: University of Arizona Press, 1997. 93~115.
- [35] Lal R. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Climatic Change*, 2001, **51**:35~72.
- [36] Adams J M, Faure H, Faure-Dencard L, *et al.* Increases in terrestrial carbon storage from the Last Glacial Maximum to the present. *Nature*, 1990, **348**:711~714.
- [37] Squires V R and Glenn E P. Creating an economic linkage between fossil fuel burning, climate change and rangeland restoration, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Rangelands Congr.* Salt Lake City, 1995. 531~532.
- [38] Glenn E P, Squires V R, Olsen M, *et al.* Potential for carbon sequestration in the drylands. *Water, Air & Soil Pollution*, 1993, **70**:341~355.
- [39] Flour D. *Energy and economic evaluation of CO<sub>2</sub> removal from fossil-fuel power plants*, Report IE~7365. Palo Alto, CA:Electric Power Research Institute, 1991.
- [40] Trexler M C and Meganck R. Biotic carbon offset programs: sponsors or impediments to economic development? *Climate Research*, 1993, **3**:129~136.
- [41] Zhou S X, eds. *Grand activities for rebuilding beautiful environments*, Beijing: China Forestry Press, 2002.
- [42] Fu C B, An Z S. Study of aridification in northern China—A global change issue facing directly the demand of nation. *Earth Science Frontiers*, 2002, **9**(2):271~275.
- [43] Zhu Z D. Global changes and desertification. *Earth Science Frontiers*, 1997, **4**(1~2):213~219.
- [44] Zhao H L, Zhang T H, Cui J Y, *et al.* Effect of climatic changes on environment and agriculture in the past 40 years in interlaced agro-pasturing areas of north China. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(supp. ):1~6.
- [45] Shi P J, Li X B, Zhou W G. Detection of vegetation response to climate change in northern China using 3S technology. *Quaternary Science*, 2000, **20**(3):220~228.
- [46] Wei W S. Response and feedback of modern desert to climate change—A case study in Gurbantunggut Desert. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(6):636~641.
- [47] Ci L J, Yang X H, Chen Z X. The potential impacts of climate change scenarios on desertification in China. *Earth Science Frontiers*, 2002, **9**(2):287~294.
- [48] Qi F, Cheng G and Kunihiro E. Carbon storage in desertified lands: A case study from North China. *Geo. Journal*, 2001, **51**:181~189.
- [49] Qi F, Cheng G and Masao M. The carbon cycle of sandy lands in China and its global significance. *Climatic Change*, 2001, **48**:535~549.
- [50] Duan Z, Xiao H, Dong Z, *et al.* Estimate of total CO<sub>2</sub> output from desertified sandy land in China. *Atmospheric Environment*, 2000, **35**:5915~5921.

#### 参考文献:

- [41] 周生贤主编. 再造山川秀美的壮举. 北京:中国林业出版社, 2002.
- [42] 符淙斌, 安芷生. 我国北方干旱化研究——面向国家需求的全球变化科学问题, 地学前缘, 2002, **9**(2):271~275.
- [43] 朱震达. 全球变化与荒漠化. 地学前缘, 1997, **4**(1~2):213~219.
- [44] 赵哈林, 张铜会, 崔建垣, 等. 近 40 年我国北方农牧交错区气候变化及其与土地沙漠化的关系——以科尔沁沙地为例. 中国沙漠, 2000, **20**(supp. ):1~6.
- [45] 史培军, 李晓兵, 周武光. 利用 3S 技术检测我国北方气候变化的植被响应. 第四纪研究, 2000, **20**(3):220~228.
- [46] 魏文寿. 现代沙漠对气候变化的响应与反馈:以古尔班通古特沙漠为例. 科学通报, 2000, **45**(6):636~641.
- [47] 慈龙骏, 杨晓晖, 陈仲新. 未来气候变化对中国荒漠化的潜在影响. 地学前缘, 2002, **9**(2):287~294.