

沙质荒漠化遥感监测与环境影响研究进展

曾永年¹, 冯兆东²

(1. 中南大学信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 荒漠化、全球变暖和生物多样性的减少是人类面临的最主要的环境问题, 其中沙质荒漠化又是困扰当前人类社会最严重的环境—社会经济问题。由此, 就沙质荒漠化的遥感监测及环境影响研究方面进行了评述与展望。自 1977 年联合国荒漠化大会以来, 通过 20 多年的努力与研究实践, 沙质荒漠化遥感监测已建立了一套以遥感目视解译为主的经验性指标体系, 但目前尚未形成一个完全适应于遥感监测的指标体系; 沙质荒漠化遥感监测方法从定性走向定量, 从主观走向客观。但仍缺乏有效的沙质荒漠化遥感监测方法与技术路线; 沙质荒漠化对全球变化的响应的研究相对薄弱, 如何准确预测未来气候变化对沙质荒漠化过程的影响是值得深入开展的一项研究工作; 沙质荒漠化对气候变化的影响研究多以数值模拟为主, 其中沙质荒漠化对区域气候产生根本性影响的作用机制的研究有待进一步深化; 沙质荒漠化对碳循环的影响研究近年来得到重视, 但沙质荒漠化对陆地生态系统碳循环的影响研究仍比较薄弱, 沙质荒漠化土地土壤碳流失及固碳潜力是有待进一步研究的重要问题。

关键词: 沙质荒漠化; 遥感监测; 环境影响; 全球变化; 碳循环

中图分类号: TP79, P931. 3 **文献标识码:** A

近半个世纪以来, 全球变化的自然因素与人类活动的负面效应相耦合而导致的荒漠化, 在世界范围出现了人们始料未及的扩展, 全球陆地的 1/4 和近 10 亿人口受到荒漠化的影响, 荒漠化土地每年以 $5 \sim 7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的速度扩展。由此造成的经济损失, 估计每年为 423 亿美元。中国地处生存环境脆弱多变的东亚季风区, 在全球变化和社会经济高速发展的影响下, 环境问题尤为突出。尤其是近 20 多年来, 中国的改革开放一方面创造了空前的物质文明和前所未有的经济的高速持续增长, 另一方面经济的发展和人口增长的双重压力对自然生态系统及其生境的影响程度也超过了历史上的任何时期, 生态环境在长期的高负荷之下, 呈现出严重退化的态势, 其中沙质荒漠化是中国最严重的生态环境问题之一。中国也是世界上受沙质荒漠化影响最严重的国家之一, 沙质荒漠化土地约 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$, 并以沙质荒漠化发展迅速、对环境和社会经济的影响深刻

而倍受世人的注目^[1-3]。目前从区域到全球沙质荒漠化已成为困扰当前人类社会最严重的环境—社会经济问题^[1-11]。沙质荒漠化不仅造成了可利用资源的丧失, 严重制约了人类社会自身的生存与发展。同时, 沙质荒漠化过程通过对陆地生态系统生物地球化学循环、水循环、能量交换等的影响, 进而对全球气候变化产生着深刻的影响。因此, 沙质荒漠化问题和全球变暖一样, 已成为人类面临的最主要的环境问题之一, 日益受到各国政府及国际科学界的广泛重视。沙质荒漠化对全球气候变化的响应与影响已成为全球变化与陆地生态系统研究的重要内容, 是人为活动引起的土地覆被变化对陆地生态系统影响研究中最基础的工作之一。沙质荒漠化土地治理与生态恢复和重建研究也已成为当前世界科学研究的热点之一。

自 1977 年联合国荒漠化大会以来, 在国际社会的推动和科学界的努力下, 相继开展了全球及区域

收稿日期(Received date): 2004- 09- 10; 改回日期(Accepted): 2004- 12- 25。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(NO. 40071066); 教育部骨干教师资助项目; 教育部重大项目[The Item Was Supported by National Science Foundation of China, No. 40071066; Key Teacher Program of Chinese Education Ministry; Key Project of Chinese Education Ministry]

作者简介(Biography): 曾永年(1959 -), 男(汉), 青海省西宁市人, 教授, 主要从事遥感与地理信息系统的应用研究。E-mail: ynzeng@mail.csu.edu.cn [Zeng Yongnian was born in 1959 and come from Xining, Qinghai Province. Now he is professor. His research interests center around the application of remote sensing and GIS in environment.]

沙质荒漠化研究^[1-3,11-21]。沙质荒漠化的研究从基础理论、监测与评价方法到治理模式与技术等方面进行了广泛而深入的开展, 沙质荒漠化的研究与治理取得了巨大的进展。中国沙质荒漠化的研究伴随着中国北方沙质荒漠化研究、北方干旱地区自然资源的开发利用, 经历了近 50 a 的探索历程, 为国民经济建设和中国沙质荒漠科学体系的建立与发展做出了重要贡献, 对有关沙质荒漠化环境背景、沙质荒漠化物理学与生物学、沙质荒漠化监测与评价、沙质荒漠化景观生态学、沙质荒漠化的植被逆境生理学、沙质荒漠化地区水土资源的高效利用与可持续发展、沙质荒漠化整治模式和技术体系等领域开展了广泛而深入的研究^[22]。然而, 沙质荒漠化的研究尚存在许多科学与技术的问题有待进一步研究与深化。目前存在缺乏有效的沙质荒漠化遥感监测方法与技术路线; 沙质荒漠化过程和机制尚不完全明确; 缺乏对沙质荒漠化因素的空间定量分析与评价; 沙质荒漠化对区域环境及全球气候影响研究不足; 研究区域上不平衡等问题。

仍有大量的研究工作亟待开展。为此, 本文着重就沙质荒漠化遥感监测与沙质荒漠化对区域乃至全球气候与环境影响方面的研究进展做一评述。

1 沙质荒漠化遥感监测

1.1 监测指标

为实现全球沙质荒漠化治理的战略目标, 必须正确评价和预测沙质荒漠化的发展进程, 于是沙质荒漠化监测与评价问题得到国际社会的广泛关注。20 多年来, 国际社会及许多国家都在沙质荒漠化监测方面进行了大量的研究, 并根据各自对沙质荒漠化概念的理解, 从不同角度和深度提出了各种各样的监测指标。

联合国粮农组织 (FAO) 和联合国环境规划署 (UNEP) 于 1984 年制定了《荒漠化评价和制图条例》, 该条例从荒漠化的状态、发展、速率、内在危险性、人口和牲畜压力五个方面提出了一整套的评价指标与方法, 提出了轻、中、重、极重四级划分的方法, 这是迄今为止最为详细的荒漠化分类分级评价体系与方法^[23,24]。但由于这一评价指标体系过余庞杂, 而且各指标和数据收集与使用比较困难, 在实际荒漠化监测中应用甚少。在实际应用中, 都根据具体情况和条件进行相应的修改, 制定具体的指标

与方法。

中国沙质荒漠化监测指标的研究始于 1980 年代初, 众多学者对此进行了探索并应用于具体沙质荒漠化遥感监测的实践。朱震达等从地理景观及地表形态学角度提出了以沙质荒漠化土地年扩展率, 流沙占地率及地表形态组合因素的评价体系^[25]。该指标体系由定量与定性指标相结合进行沙质荒漠化程度的评价, 简单实用, 因而在国内沙漠化遥感监测中得到广泛应用。根据沙质荒漠化监测实践与理论总结, 朱震达 (1998)、朱俊风等 (1999) 对原有沙质荒漠化监测指标体系进行了完善^[26,27], 在原有评价指标中加入了生态学的参数, 形成了以风沙地表形态占地率, 风沙地表形态年扩展率、植被覆盖度, 地表景观综合特征、土地生产量下降为指标, 从地理景观、生态学及地表形态的角度全面评价土地沙质荒漠化程度的指标体系, 并在全国沙质荒漠化遥感监测与治理中得到应用。高尚武等 (1998) 依据地表形态和生态状况的变化, 以植被盖度、裸沙地占地率和土壤质地三个因子, 提出了适用于沙质荒漠化遥感监测的指标体系^[28]。王涛等 (1995, 1998) 根据中国北方沙质荒漠化过程、人类活动的特点以及对已有监测研究结果的总结, 从地理景观、生物学的角度提出了适应于遥感技术与计算机信息提取与分析的评价体系, 该评价体系由风蚀地或流沙面积占地率, 风蚀地或流沙面积扩展率、地表植被覆盖度、生物量四个因子组成。应用该指标体系在“七五”、“八五”期间开展了我国北方沙质荒漠化遥感监测^[29,30]。

另外, 随着遥感技术的发展与应用, 国内外学者都在尝试应用单一的遥感数据提供的指标进行沙质荒漠化监测与评价。Tucker 等 (1990) 利用 NOAA - AVHRR 的 NDVI 数据推断了非洲撒哈拉地区沙漠的进退。龙晶 (1998) 应用 NOAA - AVHRR 的 NDVI 为指标对中国荒漠化类型及程度进行了评价分析^[31]。裴浩等 (1997) 应用 NOAA - AVHRR 第三通道的红外辐射信息作为监测指标, 对科尔沁沙地进行监测^[32]。李宝林等 (2002) 利用 NOAA - AVHRR 数据计算出植被生长季累积的土壤调节植被指数 (MSAVI), 并以此为指标对东北平原西部沙地近 10 a 的沙质荒漠化进行遥感监测^[33]。

纵观国内外沙质荒漠化监测指标体系的研究与进展, 沙质荒漠化评价指标体系大多为多因素的综合指标, 这种综合指标体系可归纳为三大类指标, 即自然指标、生物学和农学指标、社会指标。自然指标

与社会指标反映了沙质荒漠化成因和动力机制,而生物学指标则反映了自然与人为因素共同作用的结果。目前大多数沙质荒漠化监测指标体系均由这三个方面的指标构成,只不过不同的指标体系各自的侧重点不同,具体细节上存在着一定的差异。在具体指标制定上逐步由定性向定量化发展。指标获取上逐步采用遥感与地理信息系统技术相结合的方法。

总的来说,20多年来通过联合国有关机构及各国专家的努力,伴随着沙质荒漠化定义的逐步完善,沙质荒漠化遥感监测指标体系从无到有、从繁到简,逐步建立了一套以遥感目视解译为主,依靠常规技术支持的经验性指标体系,并以此为标准,多次指导全球及重点地区的沙质荒漠化监测,在全球及区域性沙质荒漠化的评价中发挥了应有的作用^[33],但目前尚未形成一个完全适应于沙质荒漠化遥感监测的指标体系。因此,寻求一种简单实用,具有较普遍适用性,又能通过遥感技术直接能够获取的沙质荒漠化遥感监测指标是荒漠化研究中亟待解决的问题。

1.2 监测方法

现代遥感对地观测技术的宏观性、动态性和综合性使其优于传统的由点及面的地面调查方法,并成为当前解决人类社会面临的资源与环境问题的有力技术支撑。遥感对地观测能够在全局及区域尺度上提供资源与环境状况的高时间分辨率、高空间分辨率和高光谱分辨率的实时及动态数据。随着遥感信息提取方法向定量化的发展,具有全球观测能力的遥感技术与GIS的结合已成为全球与区域环境监测、评价、分析与预测中重要而不可替代的技术手段。同时也是沙质荒漠化监测与分析的有效途径。实际上,在沙质荒漠化监测的伊始,遥感技术就得到了应用,并随着遥感技术的发展和GIS应用,在沙质荒漠化监测中的应用日益广泛而深入。在全球及区域沙质荒漠化时空分布及动态变化研究中遥感技术正发挥着越来越重要的作用,并成为沙质荒漠化监测的重要手段和技术支撑。

1.2.1 以目视解译为主,依靠常规技术支持的遥感监测方法

1980年代国内外沙质荒漠化监测与评价以航空遥感为主^[34]。遥感监测方法主要是通过室内目视解译绘制草图,结合野外典型地段线路考察验证,最终获得沙质荒漠化评价图与数据。朱震达等

(1981)利用1950年代和1970年代中期的航空像片,经目视解译对比分析和野外考察发现,中国北方农牧交错带是近半个世纪以来沙质荒漠化蔓延最明显的地区,以此揭示了人类活动在中国北方土地沙质荒漠化中的作用。董光荣等(1993)利用1950年代和1980年代的航空象片,通过目视解译获得黄河上游共和盆地土地沙质荒漠化的动态变化信息,并以此为依据研究了共和盆地沙质荒漠化成因、演化与防治途径与措施^[35]。随着航天遥感技术的飞速发展和广泛应用,目前在沙质荒漠化监测中更多地使用高时间分辨率、高空间分辨率和高光谱分辨的航天遥感数据,但目视解译方法在沙质荒漠化监测中则一直沿用至今^[30,34-37],并且是目前我国沙质荒漠化遥感监测的主要方法。这种传统的目视解译方法不仅受人为因素的影响大,而且工作强度大、效率低。同时这种传统的遥感信息提取方法对遥感信息的利用程度低,从而影响了丰富的遥感信息在沙质荒漠化监测中发挥应有的作用。

1.2.2 沙质荒漠化专题信息提取方法

为解决沙质荒漠化定量评价难题,许多研究者利用植被指数进行了研究,植被指数作为反映地表植被状况的有效参数在全球植被监测、生物量反演等方面得到了广泛应用,并在土地覆盖分类与动态监测中得到了普遍应用,取得了良好的应用效果。在沙质荒漠化监测中利用植被指数已开展了许多定量与半定量研究。

早在1990年代初期,Tucker等(1991,1994)利用NOAA-AVHRR卫星数据获取归一化植被指数(NDVI),并依此指数监测了1980~1990年,1980~1995年两个时段,撒哈拉大沙漠的分布与进退,并证明沙漠的进退与降水变化存在着密切相关关系^[38]。国内也有类似的研究,龙晶(1998)应用NOAA-AVHRR数据获取8月归一化植被指数,对中国荒漠化程度进行了分析评价。李宝林等(2002)应用NOAA-AVHRR数据获取植被生长季的土壤调节植被指数(MSAVI),对东北平原西部沙地进行遥感监测。目前沙质荒漠化遥感专题信息提取方法比较单一,仅以可见光、近红外波段遥感信息获得的植被指数为主。在干旱与半干旱地区,NDVI与植被覆盖度、生物量、生物生产能力有很好的相关关系^[39]。因此,用NDVI可大致划分沙漠与半干旱草原的界线,并可确定植被的生物量。然而以土地退化为特征的沙质荒漠化过程还包括了许多其

他方面的变化。对利用植被指数进行沙质荒漠化遥感监测的有效性及其可靠性,许多学者都提出了质疑,Ludwig(1986)认为植被指数能够用来估计植被净初级生产力,但作为土地退化的指标是不可靠的。Milich and Weiss(2000)利用详尽的地面测量数据和NDVI数据检验了荒漠化的证据,结果表明,NDVI与生态系统过程之间的相关性不强,而NDVI的年际变化通常与景观退化和干旱有关^[40]。因此,NDVI或MSVI并不是荒漠化监测的最适用的指标。

1.2.3 沙质荒漠化自动分类方法

沙质荒漠化的遥感自动分类方法,大多利用可见光波段的数据,采用常规图像分类方法直接划分荒漠化类型和程度。Ringrose等(1990)利用Landsat MSS多时相数据,采用最大似然法进行土地利用/覆盖的监督分类,然后根据植被类型将土地利用/覆盖类型归纳为五种土地退化类型,对1978~1987年博茨瓦纳东南草地退化及成因进行了研究^[41]。Delvalle等(1998)利用NOAA-AVHRR数据结合野外调查,直接通过监督与非监督分类法确定了阿根廷Patagonian地区的荒漠化类型。国内许多研究在以目视解译为主的同时,在典型地区利用TM数据通过自动分类方法获取沙质荒漠化分布及发展程度^[29,42]。由于遥感图像自动分类仅以光谱特征信息为依据,对于复杂多变的荒漠化类型,存在着严重的“同物异谱”与“异物同谱”现象,从而影响到分类精度。尤其在大范围的分类与动态监测中,这一问题显得尤为突出。

1.2.4 遥感与GIS支持的定量模型评价方法

在资源环境的应用中,人们已逐渐发现,单纯利用遥感信息进行目标的识别与分类存在着一定的局限性。进入1990年代,虽然遥感对地观测技术的迅猛发展为资源与环境研究提供了“海量”的空间数据,但遥感信息提取无论在理论上还是在方法上都相对滞后,并成为遥感应用的瓶颈问题,阻碍了遥感技术广泛而深入的应用。为了改变遥感单一光谱信息结构的缺憾,人们尝试了不同数据的综合方法。最为典型的是利用地学辅助信息参与分类,GIS的发展和广泛应用为此提供了数据保证和技术的支持。遥感与GIS的结合已成为当前发展的主要趋势,并在沙质荒漠化监测中得到广泛的应用。Tripathy等(1996)在对印度Gulbarga地区荒漠化监测中,利用Landsat-MSS和印度资源卫星数据,提取地表反照率,归一化植被指数,利用土壤通用侵蚀方

程和气象数据获取土壤侵蚀速率和土壤水分,通过GIS的数据融合获得了研究区荒漠化三级分类^[43]。

近年来,国内已采用遥感与GIS支持的定量评价方法开展了多项沙质荒漠化监测研究与实验,这些研究和实验,虽然具体方法各有差异,但其模式可归纳为:利用遥感与常规方法分别获取沙质荒漠化评价因子数据,然后对各评价因子进行分级量化,建立多指标综合定量评价模型。最后在GIS支持下,实现沙质荒漠化类型及程度的定量评价。其中在遥感信息的利用方面根据研究尺度不同,分别采用航空与航天遥感数据,除利用常规的Landsat-MSS、TM,NOAA-AVHRR数据外,还采用航空高光谱数据,遥感信息的提取方法包括了传统的目视解译、自动分类、专题信息提取方法,也采用现代遥感定量反演的方法^[28,37]。这种定量评价方法代表了目前沙质荒漠化监测领域的最新发展趋势,但应用并不广泛。

以GIS为基础,综合利用遥感与非遥感数据,通过建模进行沙质荒漠化定量监测的方法,是一个具有良好发展前景的研究途径。但目前这一方法在实际应用上还存在着许多问题。一是对模型参数选择的随意性较大,许多研究在参数选择上,没有充分利用现有的以实地观测和大量统计为基础建立的沙质荒漠化分级理论及相应的指标体系。二是通过长期理论研究和实践,现已有较多可供利用的沙质荒漠化分类分级指标体系,而且大部分分类体系对各因子进行了指标量化,然而沙质荒漠化土地的评价不仅仅是各因子指标量值的简单叠加,在模型评价中对各因子必须给出相应权重指数,才能获得沙质荒漠化土地评价的综合定量指标。而目前各参数权重指数的确定大部分靠经验确定,人为因素的影响程度较大。另外,参数量化及参数之间时空尺度的差异等影响了模型评价结果的客观性与精度。因此,以GIS为基础模型评价方法仍然是一种半定量的评价方法。

总之,沙质荒漠化遥感监测方法伴随着遥感与GIS的进步而不断完善,并随着沙质荒漠化研究的深入而不断向前发展。1980年代以来,沙质荒漠化遥感监测与评价随着理论的成熟、技术的进步和方法的完善,逐步从定性走向定量,从主观走向客观。但沙质荒漠化遥感监测在理论和方法上还存在许多问题有待进一步完善和深化。

2 沙质荒漠化对全球变化响应与影响

2.1 对全球变化的响应

1992 年巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会制定的《21 世纪议程》中, 将荒漠化、气候变化和生物多样性列为全球三大主要优先研究领域, 给予了高度的重视, 其中气候变化与沙质荒漠化之间的反馈机制更是吸引了众多科学家的关注。沙质荒漠化是气候变化与人类活动共同作用的结果, 由于目前这两个因素对沙质荒漠化的影响还不能有效地加以区分, 这使得气候变化对沙质荒漠化影响的研究显得非常困难。尽管如此, 许多科学家都在为此而努力。

Tucker 等 (1991) 利用 NOAA - AVHRR 的 NDVI 值推算降水量, 并以 200 mm 等降水量线作为撒哈拉沙漠与周边干旱草原的分界线, 研究了 1980 年代撒哈拉沙漠变化与气候之间的关系^[44]。此项研究表明, 沙质荒漠化与气候干旱之间存在着同步变化的密切关系。之后的研究表明, 这种干旱与土地退化同步发展的情况在澳洲和非洲都存在^[38]。受全球气候变暖的影响, 近年来我国北方干旱逐年加重, 由此导致了沙质荒漠化蔓延和沙尘暴的频发, 这说明全球气候的变化对沙质荒漠化发展有着显著的影响。大量气候模拟试验结果表明, 由于大气 CO₂ 含量的成倍增加, 未来 50 a 内干旱地区的温度将提高 1~3 °C, 潜在蒸发散量将相应提高 75~255 mm/a, 假设此期间年降水量又没有显著变化, 则两者的比值将下降 4%~5%^[45], 这将显著地影响全球旱地面积的变化, 进而影响到沙质荒漠化的发生与发展。

国内有关全球气候变化研究, 多以气候变化对农业生产和陆地生态系统的影响为主^[46-50]; 而气候变化对沙质荒漠化影响研究, 多集中在过去气候变化对沙质荒漠化的影响方面^[51, 52]。而未来气候变化与沙质荒漠化关系的研究较少, 慈龙骏等^[53, 54] (1994, 2002) 通过实测数据和模型预测相结合的方法, 分析了全球变化对我国沙质荒漠化的潜在影响, 得出随着温室气体的增加, 沙质荒漠化生物气候类型区将进一步增加, 即使全球温室气体增量按《京都协议》确实降低到 0.5%, 我国未来沙质荒漠化生物气候型区的面积仍会以相当的比例增加, 区域干旱程度也会进一步加剧。随着全球气候的变暖, 我国沙质荒漠化的面积会进一步扩大, 沙质荒漠化程度

会进一步加重。如何准确预测未来气候变化对我国沙质荒漠化过程的影响, 是值得深入开展的一项研究工作。

2.2 对气候变化的影响

相对而言, 沙质荒漠化对气候变化的影响研究开展得较多。对这一问题的研究除了少量的实验观测外, 大多采用数值模拟方法。

在过去 20 多年中, 有关沙质荒漠化对气候的影响一直是国内外学者关注的焦点之一。要想获得沙质荒漠化对气候影响的观测证据相当困难, 这是因为几乎不可能区分自然变化和沙质荒漠化引起的各种变化。因此, 几乎无法证明沙质荒漠化对不同尺度的气候影响。鉴于这种困难, 大部分研究致力于探讨沙质荒漠化对与气候有关的下垫面因子的作用, 进而推断沙质荒漠化对气候变化的影响程度。

受 20 世纪 60 年代非洲撒哈拉地区特大干旱的影响, 科学家们开始对沙质荒漠化过程中植被破坏与干旱间的关系进行研究^[55], 其中最具有代表性并被学术界称为“Charney 假说”的生物物理模型部分地解释了大沙漠边缘地区干旱重发现象^[56]。之后 Charney (1977) 利用 Giss 模式证实了他的假说^[57]。这一生物物理模型的核心内容为: 由于人类或自然因素引起的旱地植被的减少将提高地表反射率, 降低地表温度和空气对流, 从而降低局地 and 区域降水, 降水的减少反过来限制了植被的生长, 从而形成一种生物物理反馈机制^[56, 57]。此后大量的实地观测与模拟试验均围绕这一假说进行, 一些研究成果进一步证实了这一假说^[58]。Sud 等 (1982) 研究了反射率对大气环流和能量平衡的影响, 其结果与 Charney 的假说理论相一致^[59]。Anthes (1984) 的研究认为半干旱地区植被覆盖的中尺度变化将促进对流性降水^[60]。Nobre 等 (1991) 和 Wright 等 (1992) 分别利用大气环流模式进行的研究表明, 毁林导致亚马逊流域降水和蒸发减少, 温度上升, 从而使干旱加重^[61, 62]。罗哲贤 (1985) 进行的数值试验表明, 低反射率比高反射率造成的上升运动和降水都有所增加, 高反射率使黄土高原严重干旱, 并使干旱得以持续。任瑾 (1993) 的研究指出, 大面积森林砍伐可导致对流性降水的减少。林贤超等 (1993) 从大气热力学能量方程, 水汽守恒方程以及降水与大气水汽含量和相对湿度的经验关系出发, 建立模型研究了华北平原下垫面沙质荒漠化和绿化对气候的影响^[63]。Zhao 等 (2002) 研究了由于土地利用导致

的植被退化对局地气候变化的影响, 结果表明地表反射率的加大及地面热通量的变化造成中国北方降水量的减少和温度的增加^[64]。而另一些学者则认为, 大多旱地植被减少所引起的水文效应而非反射率效应是影响旱地表面能量平衡的主导因子^[65, 66]。沙质荒漠化对地气能量平衡的另一个根本性的影响源于对水文循环的破坏。多数情况下, 植被减少或消失, 升高了地表和近地表温度, 提高了近地表的风速, 降低了近地表层的大气温度, 进而导致了地表径流和潜在蒸散的增加, 上述结果将直接减少土壤水分, 加速了用于蒸发和蒸散的能量递减速率。当能量方程中潜热减少时, 便意味着有更多的能量被用于地表升温或空气升温, 此时的 Bowen 比在沙质荒漠化地区明显升高^[67]。这些与水文循环有关的能量平衡的变化常常能削弱对大气反射率, 表面粗糙度及大气尘埃造成的影响。Phillips(1993)^[68]总结了这一现象并提出假说: 旱地的土壤水分直接与植被覆盖度、降水量和水蚀成正比, 而与反射率、温度和风蚀成负相关。近年来随着研究的深入, 科学家们已逐步认识到沙质荒漠化通过地气能量平衡的影响而引起的地表及大气组分的变化, 肯定会对区域及小气候产生影响, 并已被多数数值模拟和野外观测所证实。沙质荒漠化对区域气候产生根本性影响的机制, 就是通过干扰地气系统能量交换平衡而产生效力的。具体表现在对地表反射率、地表粗糙度、土壤水分、水分交换及地气能量平衡的扰动, 从而对中、小尺度的区域气候产生影响^[69-73]。但其作用机制目前尚不太清楚, 有待进一步研究。

2.3 对碳循环的影响

沙质荒漠化过程不仅通过生物物理反馈机制影响区域气候变化, 而且通过生物地球化学反馈影响陆地生态系统的碳循环及温室气体的排放, 进而影响区域乃至全球气候变化^[74]。陆地生态系统碳循环及对大气 CO₂ 汇效应的研究是当前气候学、地学、生态学界所关注的热点问题^[4, 75-77]。土壤是陆地生态系统中最大的碳库, 大约是植被碳库的 4 倍和大气碳库的 3 倍^[78-80]。因此, 陆地土壤碳库的变化对陆地生态系统碳循环及 CO₂ 的排放有重大的影响。而已有研究表明, 沙质荒漠化对土壤碳库的变化影响较大。

上世纪末大气中 CO₂ 由工业革命前的 200 mg/kg 增加到 365 mg/kg, 年增长 0.5%^[81], 化石燃料燃烧对大气 CO₂ 的贡献为 270 ± 55 PgC^[82], 而土壤

碳库的流失量达 66~90 PgC, 其中由日益加剧的土壤侵蚀造成的碳流失量达 19~32 PgC, 荒漠化土地每年的流失量达 0.21~0.26 PgC^[83]。我国陆地生态系统碳循环及碳储量研究已取得了巨大的进展, 但沙质荒漠化对陆地生态系统碳循环的影响研究显得十分不足。段争虎等(1996)根据我国不同地区沙漠化类型的面积、土壤有机质含量及沙质荒漠化正逆转化速率, 计算了中国沙质荒漠化土地有机碳的变化^[84]。结果表明, 中国沙质荒漠化土地 0~50 cm 土层中有机碳的总储量为 753.143 Mt。近 40 年来因土地沙质荒漠化释放到大气中的 CO₂ 总量达 173.286 Mt, 而逆转过程中固定的 CO₂ 量为 59.124 Mt。近 40 年来土地沙质荒漠化导致的净碳流失量为 124.475 Mt, 占全球温带和寒带土地每年释放 CO₂ 量的 93.5%。Duan 等(2001)对中国沙质荒漠化土地碳储量进行估算, 在 0~50 cm 土层中沙质荒漠化土地碳储量为 855.45 Mt^[85]。近 40 年来, 沙质荒漠化土地向大气释放的 CO₂ 量相当于 150.03 Mt 的碳, 占储量的 17.5%, 即平均每年有 3.75 Mt 的碳以 CO₂ 形式排放到大气中, 而沙质荒漠化的治理又使 59.12 Mt 的碳得到固定。由此得出沙质荒漠化土地 CO₂ 的净排放量为 90.9 Mt 的碳。尽管对我国沙质荒漠化土地碳储量及 CO₂ 排放量的研究, 由于研究对象的差异, 具体估计量有一定差异, 但从两次估算研究结果可以看出, 我国沙质荒漠化土地碳储量大, 而且目前沙质荒漠化土地是陆地生态系统中的碳源, 沙质荒漠化对温室气体的排放、大气 CO₂ 增加以及全球气候变暖具有较大的影响。同时也可看到, 沙质荒漠化土地治理与生态恢复, 又能使大量 CO₂ 重新在恢复的土壤中得到固定。Lal 等(1998)曾估计, 在理想状态下干旱土地通过恢复退化土壤和荒漠化的治理, 碳固存总的潜力将为 0.9~1.9 Pg/a⁻¹, 平均为 1.48 Pg/a⁻¹。这相当于目前化石燃料燃烧排放量的 23%^[86]。Lal(2002)对荒漠化和土壤退化十分严重的西亚北非地区(WANA)的研究表明, 这一地区土壤贫瘠, 但历史时期土壤碳库的排放量为 6~12 Pg, 假设通过荒漠化治理、生态的恢复和重建使 60% 的碳排放量得到固存的话, 西亚北非地区未来土壤固碳潜力为 3~7 Pg^[87]。Lal(2003)指出通过土地利用的合理转换、退化土壤及生态系统的恢复、以及农业和森林土壤的有效管理, 全世界土壤中固定的碳为 1~2 PgC/a, 这一固定量是石化燃料燃烧导致的总碳排

放量(8.0 PgC/a)的约 $1/4^{[88]}$ 。据 Duan 等(2001)估算,我国沙质荒漠化土地固碳潜力为 360.04 Mt^[85]。这些研究说明,沙质荒漠化土地治理与恢复对全球碳循环和缓解 CO₂ 排放具有重大的影响,沙质荒漠化土地固碳潜力的研究对全球气候变化及实施《京都协议》具有重要的科学与现实意义。因此,应重视开展我国沙质荒漠化土地固碳潜力及对陆地生态系统碳储存及碳循环的研究。

3 结语

目前从全球到区域沙质荒漠化的形势十分严重,沙质荒漠化的治理与环境重建是一项迫在眉睫亟待解决的环境工程。要完成这样一项宏大的生态工程,首先必须对沙质荒漠化过程以及演变趋势做出科学解答,并从理论上探讨沙质荒漠化的驱动因子,以及沙质荒漠化对区域生物地球化学循环、水循环、能量交换的深刻影响,进而回答沙质荒漠化对全球变化的响应与影响程度。解决上述诸多方面的问题无论从理论上还是实践上都具有特别重要的意义。其中沙质荒漠化遥感监测与评价是荒漠化研究的基础,一方面可为决策部门提供科学的依据,提高沙质荒漠化治理和区域生态环境恢复与重建的决策水平和治理效果。另一方面,可为沙质荒漠化过程、机理的研究,沙质荒漠化对区域乃至全球气候变化的影响研究提供依据,进而为当前全球变化研究做出贡献。因此,沙质荒漠化遥感监测及沙质荒漠化对区域和全球环境的影响研究是沙质荒漠化研究的一个十分重要的内容,随着对地观测技术的发展及各种陆面过程模型的完善和地-气耦和模型的发展,沙质荒漠化遥感监测的方法和技术路线将会得到进一步的完善,沙质荒漠化对区域和全球环境的影响也将会得到更加深刻的理解与认识。

参考文献(References):

[1] CCICCD. China country paper to combat desertification [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996. 18~ 31.
 [2] UNEP. Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of action to combat desertification[R]. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1992.
 [3] Wang Tao, Zhao Halin, Xiao H. Advances in desertification research of China [J]. *Journal of Desert Research*. 1999, **19**(4): 299~ 311 [王涛,赵哈林,肖洪浪. 中国沙漠化研究的进展[J]. 中国沙漠, 1999, **19**(4): 299~ 311.]
 [4] Eddy J. A. Global change in the Geosphere-biosphere [M]. Wash-

ington, D. C.: National Academy Press, 1986.
 [5] Gretchen C. Daily. Restoring Value to the World's Degraded lands [J]. *Science*, 1995, **269**: 350~ 354.
 [6] Schlesinger W. H., Reynolds J. F., Cummingham G. L., et al.. Biological Feedbacks in Global Desertification [J]. *Science*, 1990, **247**: 1043~ 1048.
 [7] Vitousek P. M., Mooney H. A., Lubchenco J., et al.. Human Domination of Earth's Ecosystems [J]. *Science*, 1997, **277**: 494 ~ 499.
 [8] William B. M., Tumer B. L. Change in land use and land cover: a Global perspective [M]. London: Cambridge University Press, 1994, 7~ 10.
 [9] Fu Congbin. Development of Global change sciences [J]. *Science in China*, 2000, **52**(6): 3~ 5 [符凉斌. 全球变化科学的发展[J]. 科学, 2000, **52**(6): 3~ 5.]
 [10] Shi Yafeng. Predicted significant environment changes in Tibetan Plateau [N]. *Science Times*, 2000 [施雅风. 可预见的青藏高原环境大变化[N]. 科学时报, 2000]
 [11] Zhu Zhenda. Desertification status and its development in China [J]. *Journal of Desert Research*, 1985, **5**(3): 1~ 10. [朱震达. 中国北方沙漠化现状及其发展趋势[J]. 中国沙漠, 1985, **5**(3): 1 ~ 10.]
 [12] UNCED. Agenda 21. United Nations Conference on Environment and Development[R]. United Nations, New York, 1992.
 [13] UNEP. United Nations Convention to Combat Desertification [R]. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1995.
 [14] Brandt, C. J., Thores, J. B. Mediterranean desertification and land use [M]. London: Johns Wiley & Sons, Ltd, 1996.
 [15] Nicholson E., Tucker C. J., Ba M. B. Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the west African Sahel [J]. *Bull. Am. Met. Soc.*, 1998, **79**: 815.
 [16] Darkoh. The nature, cause, and consequences of desertification in the drylands of Africa [J]. *Land Degradation & Development*, 1998, **9**: 1~ 20.
 [17] Dregne. Desertification of arid lands [J]. *Economic Geography*, 1977, **53**(40).
 [18] Asner. Imaging Spectroscopy Measures Desertification in United States and Argentina [N]. EOS, 2001, December 4.
 [19] Dregne. Land Degradation in the Drylands [J]. *Arid Land Research and Management*, 2002, **16**: 99~ 132
 [20] Houerou. Man-made deserts: desertization processes and threats [J]. *Arid Land and Management*, 2002, **16**: 1~ 36
 [21] Wang Tao, Zhu Zhenda. Studies on the sandy desertification in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, **9**(2): 7~ 12. [王涛,朱震达. 中国沙漠化研究[J]. 中国生态农业学报, 2001, **9**(2): 7~ 12.]
 [22] Odingo. The Definition of Desertification: its Programmatic Consequences for UNEP and the International Community [R]. *Desertification Bulletin*, 1990, **18**: 31~ 49.
 [23] FAO/UNEP. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification [R]. *Desertification Control Bulletin*. Rome,

- 1984.
- [25] Zhu Z., Liu S. Concept on desertification and detecting its severity [J]. *Journal of Desert Research*, 1984, **4**(3): 2~ 8. [朱震达, 刘恕. 关于沙漠化概念及其发展程度的判断[J]. 中国沙漠, 1984, **4**(3): 2~ 8.]
- [26] Zhu Z. Concept, cause and control of desertification in China [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, **2**: 145~ 155 [朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治[J]. 第四纪研究, 1998, **2**: 145~ 155]
- [27] Zhu J., Zhu Z. Desertification combats in China [M]. Beijing: Chinese Forest Press, 1999. [朱俊凤, 朱震达. 中国沙漠化防治 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.]
- [28] Gao Shangwu, Wang Baofang, Zhu Lingyi, et al. Monitoring and evaluation indicator system on sandy desertification of China [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, **34**(2): 1~ 10 [高尚武, 王葆芳, 朱灵益, 等. 中国沙质荒漠化土地监测评价指标体系[J]. 林业科学, 1998, **34**(2): 1~ 10.]
- [29] Wang Tao, Wu Wei, Wang Xizhang. Remote sensing monitoring and assessing sandy desertification: a example from the sandy desertification region of northern China [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, **2**: 108~ 118 [王涛, 吴薇, 王熙章. 沙质荒漠化的遥感监测与评价[J]. 第四纪研究, 1998, **2**: 108~ 118]
- [30] Wu Wei. The method and application of sandy desertification monitoring by remote sensing [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1997, **12**(4) [吴薇. 沙漠化遥感动态监测的方法与实践[J]. 遥感技术与应用, 1997, **12**(4).]
- [31] Long Jing. The application of AVHRR data in desertification monitoring of China [A]. *The Advancement in Remote Sensing [C]*. 1998. [龙晶. AVHRR 数据在中国荒漠化宏观监测中的应用研究 [A] 98 遥感进展 [C]. 1998.]
- [32] Pei Hao, Li Yunpeng. Monitoring Keerqing desert using satellite remote sensing data [J]. *Grassland of China*, 1997, **6**: 46~ 68 [裴浩, 李云鹏. 利用极轨卫星监测科尔沁沙地[J]. 中国草地, 1997, **6**: 46~ 68.]
- [33] Li Baolin, Zhou Chenghu. A study on monitoring sandy desertification in sandy land of west northeast China Plain [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, **6**(2): 117~ 122. [李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地沙质荒漠化的遥感监测研究[J]. 遥感学报, 2002, **6**(2): 117~ 122.]
- [34] Wang Yimou. Sandy desertification monitoring by aerial photos [J]. *Journal of Desert Research*, 1988, **6**(4): 47~ 55. [王一谋. 彩色红外航空像片解译方法在现代沙漠化环境监测中的应用 [J]. 中国沙漠, 1988, **6**(4): 47~ 55]
- [35] Dong Guangrong, Gao Shangyu, Jin Jiong. et al. The study on the desertification and ways to combat it in Gonghe Basin, Qinghai [M]. Beijing: Science Press, 1993. [董光荣, 高尚玉, 金炯, 等. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径 [M] 北京: 科学出版社, 1993.]
- [36] Yang Ping, Dong Guangrong, Li Sen. et al. The application of the remote sensing in the general investigation of desertification in Tibet and the valuation of precision [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1998, **13**(4): 14~ 20. [杨萍, 董光荣, 李森, 等. 西藏沙漠化普查的遥感手段及其成图精度估算 [J]. 遥感技术与应用, 1998, **13**(4): 14~ 20.]
- [37] Fan Wenyi. Hyperspectral remote sensing information method for desertification degree assessment [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, **38**(2): 61~ 67. [范文义. 荒漠化程度评价高光谱遥感信息模型 [J]. 林业科学, 2002, **38**(2): 61~ 67.]
- [38] Tucker et al. Desertification, aridity and vegetation: a case study in Sahel, west Africa [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2000, **2**: 41~ 46. [Tucker et al. 荒漠化、干旱与植被—以西非萨赫勒为例 [J]. 气象科技, 2000, **2**: 41~ 46.]
- [39] Nicholson. The influence of soil type on the relationship between NDVI, rainfall, and soil moisture in Semi-arid Botswana, NDVI Response to rainfall [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, **50**: 107~ 120.
- [40] Milich L., Weiss E. GAC NDVI interannual Coefficient of Variation (CoV) images: ground truth sampling of the Sahel along North-South Transects [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, **21**: 235~ 260.
- [41] Ringrose S., Matheson W., Tempest F. et al. The development and causes of Range Degradation Features in Southeast Botswana using Multi-temporal Landsat MSS Imagery [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, **56**(9): 1253~ 1262.
- [42] Li Baolin, Zhou Chenghu. Sandy Desertification in west of northeast China plain in the Past 10 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(3): 307~ 315. [李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地近 10 年的沙质荒漠化 [J]. 地理学报, 2001, **56**(3): 307~ 315.]
- [43] Tripathy G. K., Ghosh T. K., Shah S. D. Monitoring of desertification process in Karnataka State of India using multi-temporal remote sensing and ancillary information using GIS [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, **17**(12): 2243~ 2257.
- [44] Tucker C. J., Dregne H. E., Morton S. R. Expansion and contraction of Sahara desert from 1980 to 1990 [J]. *Science*, 1991, **253**: 299~ 301.
- [45] Le Houerou H. N. Climate change, drought and desertification [J]. *Journal of Arid Environment*, 1996, **34**: 133~ 185.
- [46] Gao Q., Yu M., Yang X. An analysis of sensitivity of terrestrial ecosystems in China to climatic change using spatial simulation [J]. *Climatic Change*, 2000, **47**: 373~ 400.
- [47] Smit B., Yunlong C. Climate change and agriculture in China [J]. *Global Environmental Change*, 1996, **6**(3): 256~ 263.
- [48] Zhang Xinshi, Zhou Guangsheng, Gao Qiong, et al. Study of global change and terrestrial ecosystems in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 1997, **4**(1, 2): 137~ 144. [张新时, 周广胜, 高琼, 等. 中国全球变化与陆地生态系统关系研究 [J]. 地学前缘, 1997, **4**(1, 2): 137~ 144.]
- [49] Zhao Maosheng, Ronald P. Neilson, Yan Xiaodong, et al. Modelling the vegetation of China under changing Climate [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, **57**(1): 28~ 38. [赵茂盛, Ronald P. Neilson, 延晓冬, 等. 气候变化对中国植被可能影响的模拟 [J]. 地理学报, 2002, **57**(1): 28~ 38.]
- [50] Yu Mei, Gao Qiong, Xu Hongmei, et al. Responses of vegetation distribution and primary production of the terrestrial ecosystems of China to climatic change [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, **21**(4):

- 281~ 293. [喻梅, 高琼, 许红梅, 等. 中国陆地生态系统植被结构和净第一生产力对未来气候变化响应[J]. 第四纪研究, 2001, **21** (4): 281~ 293.]
- [51] Dong Guangrong, Shen Jianyou, Jin Jiong. The relationship between global changes and desertification [J]. *Quaternary Sciences*, 1990, **1**: 91~ 98. [董光荣, 申建友, 金炯. 试论全球气候变化与沙漠化的关系[J]. 第四纪研究, 1990, **1**: 91~ 98.]
- [52] Zhu Zhenda. Global changes and desertification [J]. *Earth Science Frontiers*, 1997, **4**(1, 2): 213~ 219. [朱震达. 全球变化与荒漠化[J]. 地学前缘, 1997, **4**(1, 2): 213~ 219.]
- [53] Ci Longjun. Influence of global change on China's desertification [J]. *Journal of Natural Resources*, 1994, **9**(4): 289~ 303. [慈龙骏. 全球变化对我国荒漠化的影响[J]. 自然资源学报, 1994, **9** (4): 289~ 303]
- [54] Ci Longjun, Yang Xiaohui, Chen Zhongxin. The Potential Impacts of climate change scenarios on desertification in China. *Earth Science Frontiers*, 2002, **9**(2): 287~ 294. [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[J]. 地学前缘, 2002, **9**(2): 287~ 294.]
- [55] Otterman. Baring high-albedo soils by overgrazing: a hypothesized desertification mechanism [J]. *Science*, 1974, **186**: 531~ 533.
- [56] Charney J. G., Stone P. H., Quirk W. J. Drought in Sahara: A biogeophysical feedback mechanism [J]. *Science*, 1975, **187**: 434 ~ 435.
- [57] Charrey J. G., Quirk W. T., Chow S. H., Komfield J. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semiarid regions [J]. *Journal of Atmospheric Science*, 1977, **34**: 1366~ 1385.
- [58] Sagan C., Toon O. B., Pollak J. B. Anthropogenic albedo changes and the earth's climate [J]. *Science*, 1979, **206**: 1363~ 1368.
- [59] Sud Y. C., Fennessy M. A. A study of the influence of surface Albedo on July circulation in semiarid regions using the GLAS GCM [J]. *Journal of Climatology*, 1982, **2**: 105~ 125.
- [60] Anthes. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative in semiarid regions [J]. *J. Climate Appl. Meteorol.*, 1984, **23**(4): 541~ 551.
- [61] Nobre C. A., Sellers P. J., Shklla J. Amazonian deforestation and regional climate change [J]. *J. Climate*, 1991, **4**: 957~ 988.
- [62] Wright I. R., Gash J. H. C., Da Rocha H. R. Dry season micro-meteorology of central Amazonian range land [J]. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 1992, **118**: 1083~ 1099.
- [63] Lin Xianchao, Yin Siming, Li Kerang. A study of the effect of earth surface change on climate [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, **48**(6): 552~ 562. [林贤超, 尹思明, 李克让. 华北平原下垫面荒漠化和绿化对气候的影响[J]. 地理学报, 1995, **48**(6): 552~ 562.]
- [64] Zhao M., Zeng X. A theoretical analysis on the local climate change induced by the change of landuse [J]. *Advances in Atmospheric Science*, 2002, **19**(1): 45~ 63.
- [65] Idso S. B., Deardoff J. W. et al. Comments on "the effect of variable surface albedo on atmospheric Circulation in desert regions" [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1978, **17**: 560.
- [66] Jackson R. D., Idso S. B. Surface albedo and desertification [J]. *Science*, 1975, **189**: 1012~ 1013.
- [67] Li Shenggong, Zhao Halin, He Zongying, et al. Miceo-meteorological changes and grassland desertification due to overgrazing in Naiman, Inner Mongolia, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(5): 697~ 704. [李胜功, 赵哈林, 何宗颖, 等. 不同放牧压力下草地微气象的变化与草地荒漠化的发生[J]. 生态学报, 1999, **19**(5): 697~ 704.]
- [68] Phillips. Biophysical feedbacks and risks of desertification [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1993, **83**: 630~ 640.
- [69] Cunningham W. M., Rowntree P. R. Simulation of the saharan atmosphere dependence on moisture and albedo [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, 1986, **112**: 971~ 999.
- [70] Xue Y., Shukla J. The influence of land-surface properties on sahel climate, Part I: Deforestation [J]. *J. Climate*, 1993, **6**: 3260~ 3275.
- [71] Zhu Qianggen, Lan Hongping, Shen Tongli. Numerical Study of the Influence of soil moisture and surface albedo on climate of north part of China [J]. *Acta Meteorological Sinica*, 1996, **54**(4): 493 ~ 500. [朱乾根, 兰红平, 沈桐立. 1996. 土壤湿度和地表反射率变化对中国北方气候影响的数值研究[J]. 气象学报, **54**(4): 493~ 500.]
- [72] Wang Geli, Chen Wanlong, Zhou Suoquan. Sensitivity experiments of southwest Vortex rain to vegetation cover and soil moisture [J]. *Plateau Meteorology*, 1997, **16**(3): 243~ 249. [王革丽, 陈万隆, 周锁钰. 植被和土壤湿度对西南低涡降水影响的敏感性试验[J]. 高原气象, 1997, **16**(3): 243~ 249.]
- [73] Li Shenggong, He Zongying, Shen Jianyou. Heat budget of Naiman Grassland in Inner Mongolia [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, **5**(2): 214~ 216. [李胜功, 何宗颖, 申建友. 内蒙古奈曼草地热量平衡的研究[J]. 应用生态学报, 1994, **5** (2): 214~ 216.]
- [74] UNEP. World Atlas of desertification. 2nd edition [M]. London: Edward Arnold, 1998. 182.
- [75] Lal R. Carbon sequestration in drylands [J]. *Annals of Arid Zone*, 2000, **39**(1): 1~ 10.
- [76] Follett R. F. Soil management concepts and Carbon sequestration [J]. *Soil & Tillage Research*, 2001, **61**: 77~ 92.
- [77] Swift R. S. Sequestration of Carbon by soil [J]. *Soil Science*, 2001, **166**: 858~ 871.
- [78] Batjes N. H. The total Carbon and Nitrogen stocks in the soils of the World [J]. *Eur. J. Soil. Sci.*, 1996, **47**(2): 151~ 163.
- [79] Batjes N. H., Dijkshoorn J. A. Carbon and Nitrogen stocks in the soils of the Amazon region [J]. *Geoderma*, 1999, **89**: 273~ 286.
- [80] Lal R. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon [J]. *Advances in Agronomy*, 2001, **71**: 145~ 191.
- [81] IPCC. Climate change 1995. World group 1[R]. Cambridge University Press: Cambridge, 1995.
- [82] IPCC. Land Use, Land Use Change and Forestry, Special Report [R]. Cambridge University Press: Cambridge, 2000.

- [83] Lal R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect [J]. *Progress in Environmental Science*, 1999, **1**: 307~ 326
- [84] Duan Z , Liu X. , Qu J. Atmospheric CO₂ content affected by desertification in China *Journal of Arid Land Resources and environment* [J]. 1996, **10**(2): 89~ 94. [段争虎, 刘新明, 曲建军. 中国土地沙漠化对大气 CO₂ 含量的影响 干旱区资源与环境[J]. 1996, **10**(2): 89~ 94.]
- [85] Duan Z , Xiao H. , Dong Z , *et al.* . Estimate of total CO₂ Output from Desertified Sandy Land in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**: 5915~ 5921.
- [86] Lal R. , Kimble J. M. , Folletten R. F. , *et al.* . The potential of US cropland to sequester Carbon and mitigate the greenhouse effect [M]. Chekeea: Ann Arbor Press, MI, 1998, 128.
- [87] Lal R. Carbon sequestration in dryland ecosystems of west Asia and north Africa[J]. *Land Degradation & Development*, 2002, **13**: 45~ 59
- [88] Lal R. Offsetting global CO₂ emissions by restoration of degraded soils and intensification of World agriculture and forestry [J]. *Land Degradation & Development* , 2003, **14**: 309~ 322.

Advances in Sandy Desertification Detecting and Its Environmental Impacts

ZENG Yongnian¹, FENG Zhaocong²

(1. School of Info- Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. National Laboratory of Western China's Environmental System, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Desertification, global warming, and biodiversity decreasing are the severe environmental issues confronted in human. Among them desertification is the most serious environmental and social economic problem. Since the United Nations' Conference on Desertification (UNCOD) in 1977, the scientific communities and many governments are focused on the sandy desertification and its impacts on environment from regional to global scale. The researches on basic theory, detecting and assessing method, controlling and halting pattern have achieved great advances. This paper reviews the progress in sandy desertification researches on sandy desertification indicators, monitoring methods, and environmental impacts. Now the sandy desertification indicators for visual interpretation have been established, but there have not been ones that are entirely suitable for sandy desertification detecting by remote sensing. Therefore, the efficient method is lacking in sandy desertification detection using remotely sensed data. Although there are some advances in impacts of sandy desertification on environment, we need a deep understanding of the feedback mechanism between climate change and sandy desertification. The soil carbon emission caused by sandy desertification is an important issue to be further study.

Key words: sandy desertification; detecting method; environmental impacts; remote sensing; GIS