王海，王连喜，杨祖祥，等. 荒漠化遥感监测与评估的应用研究动态[J]. 灾害学，2017，32(4)：153－161.［WANG Hai，WANG Lianxi，YANG Zuxiang，et al. The Application of Remote Sensing Monitoring and Evaluation of Desertification Research Dynamic[J]. Journal of Catastrophology，2017，32(4)：153－161. doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2017.04.026.］

荒漠化遥感监测与评估的应用研究动态*

王 海[1]，王连喜[2,3]，杨祖祥[4]，李 琪[2,3]

（1. 湖北省气象服务中心，湖北 武汉 430205；2. 江苏省农业气象重点实验室，江苏 南京 210044；
3. 南京信息工程大学 应用气象学院，江苏 南京 210044；4. 安徽省气象台，安徽 合肥 230031）

摘 要：对土地荒漠化遥感监测的研究进行了综述和展望，并指出通过加强多种类荒漠化土地分类指标体系的构建、提高监测精度、不断探讨新的方法及方法的适用性、明确荒漠化遥感监测的宏观技术路线与流程、深入开展成因与影响因子分析以及充分利用多源与多种数据信息等几个方面可以不断对土地荒漠化遥感监测技术进行完善。一方面可为相关决策部门提供有力的科学依据，进而提高荒漠化治理、区域生态环境恢复与重建的水平和效果；另一方面，可为荒漠化发生发展过程、荒漠化机理研究，沙质荒漠化对相关区域乃至未来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。

关键词：土地荒漠化；遥感监测；荒漠化土地分类指标；荒漠化评估

中图分类号：P941.73；TP79；X43　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000－811X(2017)04－0153－09

doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2017.04.026

土地荒漠化是全球性的重大生态环境问题，全球已经受到及预计会受到荒漠化影响的地区占全球土地总面积的 35% 以上，中国是世界上荒漠化最严重的国家之一。广义的荒漠化是指在人为和自然因素的综合作用下，使得干旱、半干旱甚至半湿润地区自然环境退化(包括盐渍化、草场退化、水土流失、土壤沙化、狭义沙漠化、植被荒漠化、历史时期沙丘前移入侵等以某一环境因素为标志的具体的自然环境退化)的总过程。狭义的荒漠化(即：沙漠化)是指在脆弱的生态系统下，由于人为过度的经济活动破坏其平衡，使原非沙漠地区出现了类似沙漠景观的环境变化过程。因此，具有发生沙漠化过程的土地都称之为沙漠化土地，沙漠化土地还包括了沙漠边缘风力作用下沙丘前移入侵的地方和原来的固定、半固定沙丘由于植被破坏发生流沙活动的沙丘活化地区。荒漠化遥感监测是一种能够快速了解区域荒漠化演化的手段[1]，通过对荒漠化的监测，进而掌握荒漠化的现状、程度及其动态演变的规律，是有效预防和治理荒漠化的必要前提。遥感应用于土地荒漠化监测的 30 多年来，在技术上和方法上均取得了极大进步，但监测过程却受到各种不同因素的影响，例如，荒漠化复杂的成因、多样的表现形式、卫星遥感影像的分辨率、图像处理方法及分析过程等，与此同时，荒漠化还存在着面积大、表现类型复杂等特点，所以利用遥感方法对荒漠化监测与评估的科学性和有效性等方面还需要不断的深入探讨。

荒漠化遥感监测方法正在从定性向定量、主观向客观演变，但仍缺乏公认的、有效地荒漠化遥感监测方法与技术路线；缺乏对荒漠化要素的空间定量分析与评价；缺乏明晰的荒漠化发生、发展过程和演变机制；此外，荒漠化对全球气候变化的遥响应研究相对薄弱，而未来气候变化对荒漠化过程产生的影响是一项十分值得深入开展的研究工作；同时，荒漠化对于区域气候产生根本性影响的作用机制研究[2]、荒漠化对陆地生态系统碳循环的影响研究、荒漠化土地土壤碳流失及固碳潜力等都是有待进一步研讨的重要问题。再者，一些相对基本的问题尚未得到很好地解决，如不同荒漠化程度的地表所产生光谱反射的具体特征有何区别，这些问题都将影响荒漠化评价中遥感技术应用的深度和广度[3]。

而荒漠化遥感监测与评价目前存在的主要问题包括：荒漠化评价指标体系尚不完善、评价方法尚未成熟、采用不同方法所得到的结果缺乏可

* 收稿日期：2017－04－14　　修回日期：2017－06－01
基金项目：湖北省气象局科技发展基金项目(2016Q12)
第一作者简介：王海(1987－)，男，河南郑州人，硕士，主要从事大气遥感方面的研究. E-mail：wanghai871016@163.com

比性，以及由此所产生的一系列相关理论与技术问题。因此，根据荒漠化的成因、条件和地域特点来完善和补充现有的指标体系；选择合理、规范、统一的评价方法；并利用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术对荒漠化目标进行解译、指征荒漠化因子，最终合理划分荒漠化类型并进行评价等问题已成为荒漠化评价、监测和预警过程中面临的重要问题。正是缺少理论指导和规范、系统的方法，导致荒漠化评价、监测和预警在防治荒漠化的宏观决策中难以发挥其应有的作用[3-4]。

在全球信息化浪潮的推进下，遥感技术必将在21世纪迎来跨越式发展，其发展趋势主要包括：多波段、多光谱、多角度及多极化遥感的综合应用；多分辨率传感器并存；RS、GIS和全球定位系统(GPS)相结合的“3S”技术等。随着相关卫星、遥感图像处理技术和分辨率的提高与遥感技术自身的长足发展及进步，遥感技术在荒漠化监测中所扮演的角色也将愈发重要。同时，荒漠化遥感监测的定量程度、精度、实时性方面也必定会随之得到极大的提高。进而，通过遥感技术对荒漠化地区进行监测，及时地获取荒漠化地区准确、全面的相关信息，开展相关评估分析，得到科学、准确的监测结果，为掌握荒漠化的动态及土地治理提供有力的技术支撑，为荒漠化防治提供决策依据[4-5]。

1 土地荒漠化遥感监测中的主要问题与展望

1.1 加强多种类荒漠化土地分类指标体系的构建

在过去的近40年中，众多学者先后提出过多种荒漠化指标体系[6-13]，但到目前为止仍未达成共识，形成一套被普遍认可、完整实用的评价指标体系。其中存在的主要问题有：①指标虽多但代表性差。多数指标体系均包含众多指标，有些指标间存在相互交叉问题[14]；而且大多是强调不同荒漠化类型间的差异，较少考虑、涉及到不同荒漠化类型之间的共性与特性。②评价没有层次性。不少学者常把描述荒漠化的成因、现状、发展趋势和速度与荒漠化地区的社会、经济指标等混杂在一起构建评价指标体系，缺乏层次性[15]。③所选指标的尺度合理性较差。很多定量指标只适合小尺度范围的地面调查，而不适用于大尺度、较大范围的荒漠化遥感评价。④土地荒漠化分类系统相对复杂，因划分类型和划分方法各不相同，难以形成较为统一的划分标准[16-17]。

曾永年等[2]指出，自1977年联合国荒漠化大会以来，通过近40年的不懈努力和实践，荒漠化遥感监测已构建了一套以遥感目视解译为主的经验性指标体系，但尚未形成一个完全适应于遥感监测的指标体系。并且，通过现有的荒漠化理论研究所形成的较为完整的分类评价指标体系，其中相当一部分指标并非物理参数，这制约了从遥感数据中直接提取指标的应用，对分类精度的提高造成了一定程度的影响[18]。

总之，已有研究对荒漠化本质在认识上的模糊性，导致了荒漠化评价指标大多是针对特定区域或基于经验判断而制定的，缺乏缜密的科学分析和牢靠的理论基础[3]，从而难以避免以下问题：①出于对荒漠化概念理解的不同，造成所选指标各不相同，可比性低，很难在地理分异复杂的区域大范围应用；②制定评价指标体系时目标不明确，出发点相异，对后续工作和结果产生影响[19]；③评价指标过于繁杂、且多为间接指标，各因子的信息量层次不清晰，难以通过遥感技术获取所需指标、实用性差[20]。

所以，在选择荒漠化监测指标应遵循一定的原则和标准，以获取反映研究区域内荒漠化现状及变化的客观信息为目的。通过对荒漠化遥感监测指标更加深入的探讨和研究，逐步完善、改进，得到可被广泛应用的荒漠化遥感监测指标和体系，这也是此领域当前需要重点考虑的任务之一[1]。随着3S技术的迅猛发展，今后荒漠化评价指标必将基于不同学科视角向集成化、高效与实用等方面发展[3]。

此外，在解译标志或判读指标的选取和建立方面仍需要不断的补充和完善[21]。目标地物在不同时相、不同波段组合时表现出的特征会有很大差异，所以应考虑对其分别建立解译标志，或实现任一时间、任一波段组合图像上的通用解译标志，这样才能更好地提高分类精度。随着发展，GPS定位精度及遥感图像分辨率的大幅度提高，所建立的解译标志将会更符合实际情况，从而使判读更为精准[22]。

1.2 不断探讨新的方法及方法的适用性

荒漠化评估的遥感信息模型精度主要取决于现有荒漠化评价方法，包括：评价指标是否科学合理、专家给定的权重和等级标准是否客观以及各指标数据的获取精度[23]。

遥感技术应用于土地荒漠化监测经历了30多年的发展，通过诸多专家、学者的共同努力，已有许多方法在荒漠化遥感监测中得以应用，并取得了较好的效果。总的来看，目前的遥感提取方法各有优劣，针对某一特定区域，没有最优的监

测方法。其中一些相对好的方法，但也存在没有将这些方法和相关指标组合在一起进行更深入研究与应用的不足，例如：在利用植被指数获取土地荒漠化信息时，植被指数虽能反映地表的植被覆盖情况，但随着研究的深入，如果加入水分、土壤等气候环境因子和高程、坡度等地形因子，应该能得到更准确、更全面表达土地荒漠化发生、发展动态状况的土地荒漠化指数模型。因此，综合指标与综合方法的集成应用，是当今也是未来土地荒漠化监测的一个重要研究方向[1]。同时，荒漠化遥感定量评价方法也是极具价值的研究课题[20]。

目前，土地荒漠化遥感信息提取方法存在的主要问题是：在利用计算机自动识别或提取分类信息时，难以解决“同物异谱”和“异物同谱”问题[1]，除计算机自动提取算法本身外，造成此种现象的原因可归纳为自然原因和人为原因。自然原因主要包括地形地貌、土壤及植物含水量、季节和植物状况、云量及太阳电磁波的影响等[24]。人为原因则包括分辨率较低、仪器的稳定性和灵敏度不高、数据源及年限不同等。而利用计算机进行自动分类的方法中，决策树分层分类、人工神经网络提取这两种方法具有良好的发展前景，未来可以把遥感的地物识别专家系统知识库引入其中，再结合遥感影像的纹理信息，从而消除或降低“同物异谱”和“异物同谱”的影响，进一步提高土地荒漠化信息提取的精度[1]。张苑平等[25]在分层地表信息提取方法的研究中，充分利用不同土地覆盖植被类型的波谱特征，发掘波段间蕴藏的内在联系，放大其中的敏感信息，达到了提取更准确地表覆盖信息的目的。与非监督分类和监督分类等常规的分类方法相比，这种方法有效地避免了将各个波段光谱值作为同等重要的参量进行信息提取所产生的“异物同谱”和“同物异谱”现象，从方法上表明可以提高遥感图像分类精度，同时与较为复杂的混合像元分类方法相比，更为简单实用。

总之，以下几方面是方法应用的重点。

(1)国内外学者利用多种动态检测方法对变化检测开展过深入研究，这些方法主要有比值估计变化检测技术、基于独立主成分变换的动态变换检测技术、图像差值法、主成分分析法、变化矢量分析法、光谱特征变异分析法、波段交叉相关分析法等。例如 M. A. Popov 等通过动态非线性模型对撒哈拉沙漠进行荒漠化监测[26]，这些主要基于像素对整个图像或整个研究区域进行动态检测的方法均可以考虑应用在荒漠化土地的变化监测中，并在此基础上，研发出地块内部分异识别检测、地块地类变化识别检测的相关模型。

(2)为了充分发掘和增强各类土地退化类型间在光谱特征、空间结构特征、纹理特征、线状地物特征和边缘特征等方面的特异性，需要对多源遥感数据做进一步的处理，以生成多元遥感特征数据。在光谱特征增强方面主要有针对单波段和多波段的各种线性和非线性增强方法。如植被指数法、K－L 变换、主成分变换等；在纹理特征增强方面，有共生矩阵法、马尔科夫随机场纹理分析法等；在多源遥感数据融合方面，主要有基于主成分变换、基于 IHS 变换和小波变换的融合分析方法；在融合的层次上有基于像元、特征和目标的融合；在线状地物和边缘特征增强方面有各种滤波增强算法，如边缘锐化滤波、SOBEL 边缘识别滤波、基于高斯尺度空间的多尺度滤波方法、基于小波分析的多尺度边缘处理等；对于高精度荒漠化土地遥感监测而言，需要综合应用上述方法，加以改进并进行创新。

(3)在荒漠化土地分类方面，应考虑在目前常规应用方法的基础上，如最小距离分类法、最大似然判别分类法、动态聚类法、决策树分类法、模糊分类法、人工神经网络分类法等，进一步对数据挖掘技术开展研究，最终实现多尺度荒漠化土地植被波谱与多元特征提取的快速分类方法和模型构建。

(4)一些时间序列分析的方法，如小波分析、傅立叶变换等，这些方法能够从高时间分辨率遥感影像中提取诸如物候信息的植被特征。另外目前已应用的时间序列检测方法，如非参数趋势检验，则能够更加准确地揭示植被的时空动态演变过程，这些都将是未来荒漠化监测与评价的重要研究手段[17]。

(5)从利用植被指数进行荒漠化监测的相关研究结果来看，运用 NDVI－CoV 分析干旱区植被退化状况的方法较为优越[27－29]，主要是该方法充分考虑了植被的年际变异，目前国内的荒漠化评价已经开始应用[30]，近年来还有学者开始尝试将 NDVI 与降水等气象因子有机地结合起来进行荒漠化评价与分析，也取得了较好效果[31－32]。这些方法对中国的荒漠化评价具有很好的借鉴意义。

此外，应用各种方法与反演的不同参量开展土地荒漠化遥感监测时，还应注意所用方法及参数的适用范围与局限性等。

(1)土壤含水量的反演方法仅适用于地形较平坦、植被较稀疏的区域。研究发现，基于土壤热惯量的含水量模型则具有一定的抗植被干扰能力，

这可能是植被的含水量与其热惯量高度相关，而植被含水量又与土壤含水量密切关联的缘故。然而，土壤的含水量与植物蒸散耗水还与根系吸水有关系，特别是在植被覆盖度较大时的作用机理更为复杂，需要进行更为深入的研究[23]。

(2)植被是区域尺度荒漠化评价最有效的指示因子[17]。目前普遍应用的植被指数是其代表，现已提出了众多的植被指数用于土地荒漠化信息的提取，但荒漠化地区的植被生长状况一般都比较差，所以在提取时较为困难，同时，目前所用的植被指数均为植被生长状况的表达，还没有一个指数可以直接反映和表达土地荒漠化的发生及其发展程度[1]。此外，植被指数是基于纯像元对植被进行提取的，从先验知识和理论上都可以显现出其应用于干旱荒漠区植被提取中的局限性，吴见[3]的研究表明：NDVI 在提取植被目标时，受到土壤背景的干扰很大。

(3)受干旱荒漠区土壤背景类型复杂多样、植被分布较为稀疏及遥感影像空间分辨率较低等不利因素的影响，运用遥感技术提取植被覆盖度有一定困难[33]。若采用光谱混合分析(Spectral Mixture Analysis，SMA)和 RGB 彩色合成法，可得到一个用少量遥感数据进行长时间、大尺度研究的基本框架。未来，这种利用少量数据获取较长时间段植被生长动态变化信息的方法将会得到更广泛的推广和应用[34]。但根据前人的研究成果，植被实际覆盖度较小时用光谱混合分析的效果不佳，其检验的精度范围在 ±4.0% 之间[35]。因此，在利用光谱混合分析模型提取荒漠区植被覆盖度时，应注意该方法的局限性[33]。

(4)目前已被普遍应用的构建植被特征空间的技术方式在其物理意义、荒漠化遥感分级标准和检验等方面仍需深入探讨与完善[36]。而植被与自然因素统计类模型也受适用范围的制约，例如何磊[37]建立的植被生长 - 自然因素响应模型，通过分析得出在农业灌溉区不适用、在植被对地下水依赖较大的区域应用效果亦不理想的结论。在混合像元分解方面，诸多因素都限制着线性光谱分解的精度，如在基本组分的选取上存在主观误差、非反射体以及阴影区域组成的成分复杂、分解的结果误差相对较大等，都需要进一步研究与探索[36]。

(5)虽然 SMA 技术比植被指数法更适合提取干旱区的植被信息，但当植被覆盖度低于 30% 时，多端元光谱混合分析(Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis，MESMA)也仅能较准确地提取土壤类型，而无法具体区分不同植被的类型[38]；尽管目前仍需发掘更多适用于干旱区植被信息提取的技术方法，如可以检测出极弱信号的匹配滤波技术的应用[39]，但就目前看来，MESMA 技术仍是干旱区植被提取的最佳选择之一。

1.3 不断提高监测精度

遥感技术应用最核心的问题就是精度，影响精度的因素很多，但主要是数据、指标、方法和基准。可以说，监测与反演精度始终是遥感技术应用中最重要的方面，为提高反演精度，许多学者都做出了大量卓有成效的工作，但仍是遥感应用领域不断努力追求的目标。

未来的研究重点毫无疑问应是：提升各种监测方法反演结果验证的准确性与稳定性，减小其不确定性；提高反演结果评价方法本身的精度。同时，还应考虑如何利用实测光谱校正影像光谱并结合应用，从源数据方面提高反演精度，明确不同尺度遥感数据对相关反演参数产生的影响等[40]。

此外，鉴于荒漠化遥感监测的特点，以下几方面也需认真考虑。

(1)干旱、半干旱区的荒漠界线相对不稳定，所以在这些过渡地区的植被变化性很强，特别是随季节变化较大，如丰水期可能会呈现荒漠化逆转的假象，而在干旱年份植被的生长状况则出现衰退，这些气候条件会误导人们对荒漠化的真实判断并影响最终反演精度。因此，探讨荒漠化的可逆问题时应多方求证，在一定的时间尺度上，更需要结合当年的实际气候条件加以分析[41]。

(2)干旱、半干旱区这种过渡区域所具有的时空动态性，如退化草地还将受到周围环境、气候、植被等因素的综合影响，不同季相的植被覆盖度存在一定差异。因此，应考虑对草地不同季相的植被状况进行长期定位监测，结合地面实测光谱来分析退化草地覆盖度的变化，进而研究草地退化状况，为荒漠化草地的监测、评估、管理等提供切实、可靠的基础数据与科学依据[42]。

(3)目前土地退化遥感评价与监测研究中的植被指标大多采用净初级生产力(NPP)的替代量，如植被覆盖度、NDVI 等，以此来评价净初级生产力及其变化会产生一定偏差并影响精度。此外，评估中所涉及到的各种参数与指数本身的准确性也有待深入研究与提高，这些参数与指数在不同区域应用时的适用性及精度变化还需进一步分析与验证[14]。

(4)荒漠化的本质是土地退化，而土地退化是相对于初始或曾经的状态而言，其中涉及到一个基准(benchmark)问题，这是目前土地退化(荒漠

化）评价面临的难题之一，所开展的研究也较少[14]。另外，荒漠化是一种区域尺度的生态退化过程，即区域生态系统结构和功能的退化。荒漠景观与荒漠化之间并没有必然联系。因此，在荒漠化监测与评估中还需从荒漠化定义方面加以审视与规范[17]。

（5）由于各种相关因素都会影响到不同尺度草地退化遥感监测的精度，给荒漠化监测结果带来不确定性。所以，建立一个以遥感和 GIS 为平台、以卫星与航空遥感技术、野外监测站网的地面观测系统为基础的草地生态系统监测与管理的方法体系，并引入联合国的生态系统评估理念，获取长期的区域草地生态系统信息，结合生态学理论、技术方法和模型，研究探讨草地生态系统的状况和未来变化趋势，可达到提高草地生态系统监测、研究和管理水平的目的[43-44]。

（6）不同荒漠化类型可分布在同一地区，同一荒漠化类型也可分布在不同区域。地形、地貌、土壤、植被、气候等影响要素的不同使其在遥感影像上表现出不同的影像特征，但也可能会产生不同地类却表现出相同的影像特征，即遥感应用中的“同物异谱”和“异物同谱”现象，这与地类的波谱特征及其背景的综合波谱特征有关。此情形下最直接的处理方式就是进行实地调查修正，使其判别精度达到专业要求[40]。

1.4　明确荒漠化遥感监测的方向、技术路线与流程

确定一个研究的大方向在任何领域都是十分重要的，荒漠化遥感监测同样如此。荒漠景观的特点及其监测的意义对荒漠化监测、评价都具有一定价值，所以荒漠景观的空间格局与过程成为荒漠化研究的核心问题之一[45]，在今后的研究当中，可考虑从不同尺度着手，选取适用的指标，从格局－过程的角度出发，结合空间分布与面积信息等，进行综合评价并注重动态变化。同时，以下几个方面则是指导具体研究的重要原则。

（1）对荒漠景观的研究应更注重斑块的离散或聚合、景观形状的动态变化等，要选择可充分反映荒漠化程度在景观格局方面的指标，但由于荒漠景观变化会出现聚合－破碎的反复变化，所以景观格局的指示意义应与面积和空间分布信息结合起来进行分析[46]。

（2）植被因子作为监测指标中的重要因子，其定量反演与植被类型密切相关，一种较为可行的方式是在植被分类的基础上进行反演模型构建，不过反演模型的实用性会受到一定影响[47]，但考虑到荒漠景观植被类型的具体情况，目前尚不需要在复杂植被类型以及定量反演植被因子时如何处理植被类型方面做深入探究。

（3）针对荒漠化监测与评估的目的，应在综合分析与深入研究的基础上提出适用的荒漠化范围确定方法、荒漠化土地类型划分体系、遥感影像荒漠化信息提取技术、坡耕地荒漠化评价技术、遥感影像的分类与成图技术等方面的宏观技术路线，用于指导该领域的具体研究工作，这也是构建荒漠化监测系统的关键技术之一[48]。

（4）综合性原则和主导性原则是荒漠化评价中必须坚持的重要原则[10,49]，基于地理单元尺度的荒漠化程度定量化评价方法，是以该区域植被覆盖度作为荒漠化程度的判定指标，这符合综合性、主导性原则，并解决了基于像元的评价结果中存在大量噪音的不足，以地理单元与以像元为尺度相比的荒漠化程度定量化评价结果，明显具有更高的精度，也更加符合实际情况。不过，通过监督分类的方法对地理单元进行分类与提取，以及仅利用纹理特征作为荒漠化地理单元提取依据的普适性还有待进一步的研究证明[18]。

1.5　深入开展成因与影响因子分析

已有学者涉及此方面的研究，并取得了一定的成效，但区分人类活动和自然因素在荒漠化过程中的相对作用及其验证仍面临诸多困难[37]。目前主要采取历史文献资料的对比分析，但该方法有局限性，如不能识别人类活动所包含的具体驱动因素，不适用于灌溉区分析荒漠化等[50]。有研究表明[51]：总体上中国在逐渐变“绿”，荒漠化的状况在 21 世纪有所改善，但此改善是由于气候变化还是人类活动影响的结果，尚需深层次研究与验证。如青藏高原生态环境的好转可能是受到气候变暖、冰川和积雪融水补给量短期加大等因素共同影响导致了植被覆盖度的增加所致；而从长远来看，这种生态环境的好转可能只是在冰川、积雪、冻土等影响下水资源增加、气候变化有利于植被生长的短期现象，这也是青藏高原生态环境变迁研究中的重要问题，需要长期的研究和论证[52]。

目前，在土地荒漠化监测的定量研究中对于土地生产力变化的驱动因子研究不多，如何定量区分土地生产力变化的气候因素和人为因素这两大驱动力是荒漠化监测的重点与难点，这也使得开展区域土地荒漠化防治工作缺乏科学依据[14]。利用相关的人文、水文数据资料如人口变化、放牧牲畜数量变化、生态移民情况、河流各段来水变化及历年河水径流量等来开展荒漠化驱动力分析也是丰富成因分析的一个重要方面[37]。

另外，如何在更长的时间尺度上，从自然因素(这里主要为气象要素)和人文因素(这里的人类活动包括正、负两方面的影响)的角度入手深入进行荒漠化过程及成因分析、定量评估各影响因素对荒漠化正、逆向演替的贡献率将是进一步研究的工作[53]。

再者，在植被退化监测研究中，植被净初级生产力与气候条件的相关分析大多为线性相关，但气候系统十分复杂，简单的线性关系不足以表达其复杂性；那么，如何更准确的分析研究区域的气候变化特征及描述其对植被造成的影响是需要深入研究的问题。并且，由于各种气象要素变化对不同生态系统的影响不同，且与物种特性、土地类型、土壤养分、水分等方面相关，所以目前有关 NPP 与气候因子的关系研究仍存在诸多不确定性，需要继续进行长期系统的观测和实验积累。而土地退化研究的结果也需要进一步对比分析[14]。

总之，中国乃至全球土地荒漠化的形势十分严重，荒漠化的治理与该类脆弱生态环境的重建是一项不容忽视、亟待解决的环境大工程。要实现这一宏大目标，必须首先通过研究对土地荒漠化过程以及演变趋势作出科学结论，并多方面探讨、分析土地荒漠化的驱动因子，以及土地荒漠化对区域生物、地球化学循环、水循环、能量交换的深刻影响，进而通过遥感技术等科学手段研究分析土地荒漠化对全球气候变化的响应与影响程度。上述问题的研究与解决无论在理论还是实践上都具有非常重要的意义。随着遥感技术的发展、陆面过程模型的完善和地 - 气耦合系统模型的不断改进，土地荒漠化与区域及全球环境的相互作用也将会得到更加深刻的理解与认识[2]。

1.6 充分利用多源与多种数据信息

学者们已认识到利用多元与多种数据信息能更好地提高土地荒漠化遥感监测精度并开展了相关监测评价工作，如高光谱遥感图像的窄波段特点可使其包含更多的特征信息，据此反演荒漠化区域的植被状况更为准确；航空遥感因其飞行高度低、较少受云量影响及灵活性高等优点，可作为辅助手段与卫星影像相结合应用于荒漠化监测[10]；此外，雷达遥感的全天候探测能力能弥补常规卫星遥感影像受天气条件限制的不足。崔耀平[34]指出：在开展分析时，若能综合其他数据(如长时间序列的 NDVI 数据和相关气象资料)进行判定[54]，所得研究区植被情况及其变化结论将更为可信。何磊[32,37]提出在进行荒漠化程度评价时可以考虑加入 NPP(净初级生产力)、Albedo(反照率)和 LST(地表温度)等指标以提高评价效果。韩兰英[1]的研究指出：开展不同尺度遥感数据的综合研究将是未来发展的一个可能方向。可以说，充分利用多元与多种数据信息已成为提高反演和分类精度的重要方式，并取得了很好地效果。但在实际工作中需注意不同源之间数据的配准问题、归一化问题、尺度转换问题等，简述如下。

(1)多源时空数据配准技术问题。多元时空数据配准技术主要有：①基于区域的配准，②基于变换域的配准，③基于特征的图像配准这三大类。此三类配准方法各有优劣，如第一类方法不适用于特性和分辨率不同的图像。第二类方法对同种图像配准较好，但对异质图像则可能失效。第三类方法虽然对同质和异质图像都适用，但对图像特性的依赖性很大。因此，适合多源时空数据的自动配准技术研发是提高荒漠化土地监测精度乃至遥感技术领域的重要发展方向。

(2)多源多时相遥感数据归一化技术问题。在多源多时相遥感数据协同应用方面，需要进行多源多时相遥感数据的归一化处理[16]。主要方法有基于全景或波谱稳定子集的统计参数法和自动散点控制回归技术。但统计参数法不能解决气候条件差异、物候期差异所带来的影响。自动散点控制回归技术对水陆并存区比较适用，而对其它区域的适用性还有待于进一步的验证。就土地荒漠化遥感监测应用而言，需要综合应用并对其进行再创新。

(3)地面观测数据与遥感数据的耦合模型问题。遥感影像反映的是实际地物的光谱反射特征，结合地面实测数据反演有关生态环境参数已成为国内外研究的热点[55]。地面观测数据与遥感数据的耦合模型是针对有关生态环境信息参数，借助地面观测数据，实现对遥感数据的反演。许多研究结果表明，通过遥感光谱可以提取到生态环境的相关参数，且在区域尺度上是最有效的方式。应用遥感进行反演的有关生态环境参数有许多，如土壤水分，陆表温度，叶面积指数和植被净初级生产力(NPP)。我们可以借助于构建的遥感反演模型进行有关生态环境信息参数反演并对反演结果进行精度分析和验证。

(4)地面监测数据与遥感监测数据的同化研究问题。数据同化的理论、概念和方法主要来源于大气和海洋科学的研究成果，在数学上则借助了控制论、优化方法、估计理论和误差估计理论等。数据同化的目的是解决多源、多分辨率空间数据的融合、集成和尺度推绎等一系列问题。其中包括：①如何集成直接观测(如土壤水分和土壤温度

的直接观测）和间接观测（如被动微波仪器观测得到的亮温数据间接反演土壤水分）；②如何集成观测数据和模型模拟结果（前者在时空上不连续，而后者具有时空连续特征）；③如何集成来自于不同观测系统（常规观测和遥感观测）的数据；④高、低分辨率卫星遥感数据融合后相应的评价方法问题[3]；⑤在融合多源数据的同时，如何有效的解决数据分辨率不一致问题，即升尺度与降尺度问题。

针对遥感数据异构、多尺度、动态、海量等特点，研究基于网格环境的遥感数据元数据模型，研究网格环境下如何对分散、异构的遥感数据资源进行获取，并实现动态的更新和整合，研究在网格环境下定制统一的异构数据访问接口，实现数据的可靠传输，研究网格计算技术，设计、计算优化算法，提高数据处理速率。构建基于网格环境的计算服务平台或智能化荒漠化监测预警系统，实现对荒漠化区域的监测、评估、模拟以及未来变化趋势的预测也是今后荒漠化遥感监测研究中的一个重要方面。另外，利用知识发现技术，在多源时空数据协同应用的土地荒漠化监测中也很有必要深入探讨。

除以上几点外，通过归纳总结他人的工作，以下几方面也应在具体分析工作中加以注意。

（1）目前在土地退化评价研究中多采用两期或多期瞬时状态的数据来评价土地退化状态，但植被与气候因子关系密切，在干旱区降水是主导因子[14]。所以瞬时状态特别是随机选择年份的植被生长状况受气象因素的影响非常大，而据此得到的有关土地退化结论存在客观性问题。因此，在评价中至少应对所选择年份的气象条件进行宏观分析，并确认所选遥感资料年份的气象条件相似或大致相同，如都处于三种（偏多、偏少或正常）状态中的同一状态。还应考虑所选数据的时间（季节、晴雨天等）能否代表研究区植被状况。多年生植被状况反映的是其多年来的综合生长情况。所以应尽量避开一些短寿命草本植被的干扰，将侧重点放在多年生灌木、草本植被信息的提取与分析，其更能代表荒漠植被的生长状况。另外，在利用多时段多幅遥感影像数据对植被变化进行监测时，消除大气影响和传感器的差异会使结果更加准确[29]。

（2）从植被和土壤水分角度判断研究区的绿洲化和荒漠化过程时，应注意：目前 MODIS/NDVI 和地表温度产品在国内外均得到了广泛应用，大多数的研究所用关键数据均涉及到 MODIS/NDVI 产品和地表温度产品，由于很难对历史数据进行评价，研究中基本上均认可了这些产品数据的可靠性，这可能会存在一定的误差[56]。

（3）通过高光谱数据反演出的荒漠化区域植被生物量和覆盖度是较为可靠的。当研究区植被类型单一时，采用线性模型仍有较高精度，但模型的应用区域范围将受到一定限制，只能采取分块计算的方式加以解决；但当研究区灌木和草地同时存在时，多项式模型的精度要明显高于线性模型。综合来看，后者的反演效率反而会高一些[23]。

（4）结合荒漠化土地的区域分布规律、特征与结构等数据，确定适合多尺度荒漠化土地识别的最佳识别单元（尺度）和最佳分类参数，建立荒漠化土地贮备波谱和特征参数识别数据库，以减少识别误差，提高识别精度是在具体工作都应考虑的问题。

2　结束语

土地荒漠化遥感监测与评价是荒漠化研究的基础，一方面可以为荒漠化过程、机理的研究，土地荒漠化对区域乃至全球气候变化的影响研究提供依据。另一方面可为相关决策部门提供科学依据与技术支撑，提高荒漠化治理水平，提升区域生态环境恢复与重建的治理效果。因此，荒漠化遥感监测及荒漠化对区域和全球环境的影响研究是荒漠化研究的重要组成部分，随着遥感技术、陆面过程和地－气耦合模型的发展，荒漠化遥感监测的方法和技术路线也将会得到进一步的提升与完善，使我们更加深刻的理解与认识荒漠化对区域和全球环境产生的影响[2]。

此外，还应加强荒漠化监测的综合研究。荒漠化是一种独特的生态环境现象，仅仅依靠对自然环境因素的监测与研究来控制荒漠化、使其逆转是不可能的，必须对自然因素和人为因素的共同影响进行综合监测与分析。为实现这一目标，可以通过更多的途径对荒漠化进行监测，并建立历史荒漠化演化数据库。如在重度荒漠化区域，可采取典型监测和重点监测相结合的方式，建立更为完善的监测指标和监测体系，实现快速监测并制定有效的防治计划[10]。

如今世界上对“3S”技术运用的高潮正在兴起，随着计算机技术的不断完善与提升，“3S”技术在各领域、各学科都将得到更好、更充分的应用。由于荒漠化、土地退化问题涉及自然、人文、社会等多方面因素，以“3S”技术为基础的综合集成应用作为主要技术手段，将上述诸多因素与荒漠化、土地退化与沙化研究结合在一起实现中大尺度范围的荒漠化动态监测，这对土地荒漠化监测与评价研究具有重大的现实意义[48]。

参考文献:

[1] 韩兰英，万信，方峰，等. 甘肃河西地区沙漠化遥感监测评估[J]. 干旱区地理，2013，36(1)：131－138.

[2] 曾永年，冯兆东. 沙质荒漠化遥感监测与环境影响研究进展[J]. 山地学报，2005，23(2)：218－227.

[3] 吴见，彭道黎. 基于遥感的荒漠化评价技术研究进展[J]. 世界林业研究，2009，22(5)：34－39.

[4] C Kosmas，Or Kairis，Ch Karavitis，et al. Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring：Types of degradation，causes，and implications for management [J]. Environmental Management. 2014，54：971 － 982.

[5] 王志刚，李月娟. 遥感技术在荒漠化监测中的应用[J]. 林业勘查设计，2009(1)：122－124.

[6] Berry L ，Ford R B. Recommendations for a system to monitor critical indicators in areas prone to desertification[M]. Massachusetts：Clark University，1977.

[7] Reining P. Handbook on Desertification Indicators[M]. Washington DC：American Association for the Advancement of Science，1978.

[8] Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification[M]. Food &Agriculture Organization of the United Nations，1983.

[9] 朱震达，刘恕. 关于沙漠化的概念及其发展程度的判断[J]. 中国沙漠，1984，4(3)：2－8.

[10] 王君厚，孙司衡. 荒漠化类型划分及其数量化评价体系[J]. 干旱环境监测，1996，10(3)：129－138.

[11] 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.

[12] 贾宝全，慈龙骏，高志海，等. 绿洲荒漠化及其评价指标体系的初步探讨[J]. 干旱区研究，2001，18(2)：19－24.

[13] 董玉祥，刘玉璋，刘毅华. 沙漠化若干问题研究[M]. 西安：西安地图出版社，1995.

[14] 王红岩. 基于NPP和植被降水利用效率土地退化遥感评价与监测技术研究[D]. 北京：中国林业科学研究院，2013.

[15] C Kosmas，Or Kairis，Ch Karavitis，et al. Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring：Methodological approach [J]. Environmental Management. 2014，54：951 － 970.

[16] 李亚云，杨秀春，朱晓华，等. 遥感技术在中国土地荒漠化监测中的应用进展[J]. 地理科学进展，2009，28(1)：55－62.

[17] 殷贺，李正国，王仰麟. 荒漠化评价研究进展[J]. 植物生态学报，2011，35(3)：345－352.

[18] Shulin Liu，Tao Wang，Wenping Kang，et al. Several challenges in monitoring and assessing desertification[J]. Environmental Earth Sciences，2015，73：7561 － 7570.

[19] 王大鹏，王周龙，李德一，等. 荒漠化程度遥感定量化评价中的尺度问题[J]. 自然灾害学报，2007，16(6)：140－144.

[20] 范文义，徐程扬，叶荣华，等. 高光谱遥感在荒漠化监测中的应用[J]. 东北林业大学学报，2000，28(5)：139－141.

[21] SONG Xiang，WANG Tao，XUE Xian，et al. Monitoring and analysis of aeolian desertification dynamics from 1975 to 2010 in the Heihe River Basin，northwestern China [J]. Environmental Earth Sciences，2015，74：3123 － 3133.

[22] 李霞，盛钰，王建新. 新疆荒漠化土地TM影像解译标志的建立[J]. 新疆农业大学学报，2002，25(2)：18－21.

[23] 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.

[24] 郭景峰. 浅谈鄂尔多斯市鄂托克旗遥感TM影像在荒漠化及沙化土地监测中的运用[J]. 内蒙古林业调查设计，2006，29(6)：34－35.

[25] 张苑平，姜端午，黄树春. 水蚀荒漠化遥感信息提取方法研究[J]. 国土资源遥感，2010，22(S1)：18－20.

[26] Mikhail A Popov，Sergey A. Stankevich，et al. Satellite Desertification Monitoring in Sahara[C]//Use of Satellite and In－Situ Data to Improve Sustainability，2011：241－244.

[27] Milich L，Weiss E. Characterization of the Sahel：implications of correctly calculating interannual coefficients of variation (CoVs) from GAC NDVI values[J]. International Journal of Remote Sensing，1997，18(18)：3749－3759.

[28] Milich L，Weiss E. GAC NDVI interannual coefficient of variation (CoV) images：ground truth samp ling of the Sahel along north－south transects [J]. International Journal of Remote Sensing，2000，21(2)：235－260.

[29] Weiss E，Pfirman E S，Marsh S E. Application of NOAA－AVHRR NDVI time-series data to assess changes in Saudi Arabia's rangelands[J]. International Journal of Remote Sensing，2001，22(6)：1005－027.

[30] 阎福礼，李震，邵芸，等. 基于NOAA/AVHRR数据的西部植被覆盖变化监测[J]. 兰州大学学报(自然科学版)，2003，39(2)：90－94.

[31] YANG L，Wylie B，Tieszen L L，et al. An analysis of relationships among climate forcing and time-integrated NDVI of grasslands over the U. S. Northern and Central Great Plains[J]. Remote Sensing of the Environment，1998，65：25－37.

[32] Holm A McR，Cridland SW，Roderinck M L. The use of time integrated NOAA NDV I data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of western Australia[J]. Remote Sensing of the Environment，2003，85：145－158

[33] 崔耀平，王让会，刘彤，等. 基于光谱混合分析的干旱荒漠区植被遥感信息提取研究——以古尔班通古特沙漠西缘为例[J]. 中国沙漠，2010，30(2)：334－340.

[34] 崔耀平，刘彤，赵志平，等. 干旱荒漠区植被覆盖变化的遥感监测分析[J]. 地球信息科学学报，2011，13(3)：305－312.

[35] 李明泽，应天玉，范文义，等. 嫩江沙地沙质荒漠化程度遥感定量评价——以杜尔伯特蒙古族自治县为例[J]. 中国水土保持科学，2009，7(1)：57－61.

[36] 潘竟虎，李天宇. 基于光谱混合分析和反照率——植被盖度特征空间的土地荒漠化遥感评价[J]. 自然资源学报，2010，25(11)：1960－1969.

[37] 何磊. 基于遥感方法的阿拉善盟荒漠化研究[D]. 兰州：兰州大学，2013.

[38] Okin G S，OkinW J，Murray B，et al. Practical limits on hyperspectral vegetation discrimination in arid and semi－arid environments[J]. Remote Sensing of Environment，2001，77：212－225.

[39] Okin G S RobertsD A. Remote Sensing in Arid Regions：Challenges and Opportunities[C]//Ustin S(ed.). Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring，Manual of Remote Sensing，Volume 4，2004，John Wiley &Sons.

[40] 廖春华，张显峰，刘羽. 基于多端元光谱分解的干旱区植被覆盖度遥感反演[J]. 应用生态学报，2012，23(12)：3243－3249.

[41] 韦振锋，任志远，张翀，等. 1999－2010年陕甘宁黄土高原区荒漠化空间特征[J]. 中国沙漠，2014，34(5)：1230－1236.

[42] 杨峰，李建龙，钱育蓉，等. 天山北坡典型退化草地植被覆盖度监测模型构建与评价[J]. 自然资源学报，2012，27

(8)：1340 – 1348.
[43] 杜自强，王建，李建龙，等. 黑河中上游典型地区草地植被退化遥感动态监测[J]. 农业工程学报，2010，26(4)：180 – 185.
[44] 樊江文，钟华平，陈立波，等. 我国北方干旱和半干旱区草地退化的若干科学问题[J]. 中国草地学报，2007，19(5)：95 – 101.
[45] 段翰晨，王涛，薛娴，等. 科尔沁沙地沙漠化时空演变及其景观格局——以内蒙古自治区奈曼旗为例[J]. 地理学报，2012，67(7)：917 – 928.
[46] 钱大文，巩杰，高彦净. 近 35 年黑河中游临泽县荒漠化时空分异及景观格局变化[J]. 干旱区资源与环境，2015，29(4)：85 – 90.
[47] 杜春英，刘宏伟. 荒漠化地区植被因子的定量反演方法[J]. 东北林业大学学报，2010，38(8)：133 – 135.
[48] 高志海，魏怀东，丁峰. 基于 3S 技术的荒漠化监测技术系统研究[J]. 遥感技术与应用，2002，17 (6)：330 – 336.
[49] 董玉祥，陈克龙. 中国沙漠化程度判定与分区初步研究[J]. 中国沙漠，1995，15(2)：170 – 174.
[50] 孙建国，王涛，颜长珍. 气候变化和人类活动在榆林市荒漠化过程中的相对作用[J]. 中国沙漠，2012，32(3)：625 – 630.
[51] 刘爽，宫鹏. 2000 – 2010 年中国地表植被绿度变化[J]. 科学通报，2012，57(16)：1423 – 1434.
[52] 张继承，潘新春. 基于 RS/GIS 和 AHP – GPCA 模型的青藏高原生态环境变迁综合评价[J]. 地球科学与环境学报，2011，33(4)：434 – 440.
[53] 闫峰，吴波. 近 40 年毛乌素沙地荒漠化过程研究[J]. 干旱区地理，2013，36(6)：987 – 996.
[54] 方精云，朴世龙，贺金生，等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学 C 辑：生命科学，2003，33(6)：229 – 240.
[55] ZHANG Yuanzhi，CHEN Zhengyi，ZHU Boqin，et al. Land desertification monitoring and assessment in Yulin of Northwest China using remote sensing and geographic information systems (GIS)[J]. Environmental Monitoring and Assessment，2008，147：327 – 337.
[56] 田静，苏红波，陈少辉，等. 黑河中游绿洲化荒漠化的时空变化遥感分析[J]. 资源科学，2011，33(2)：347 – 355.

The Application of Remote Sensing Monitoring and Evaluation of Desertification Research Dynamic

WANG Hai[1]，WANG Lianxi[2, 3]，YANG Zuxiang[4] and LI Qi[2, 3]

(1. *Hubei Meteorological Service Center*，*Wuhan* 430205，*China*；2. *Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology*，*Nanjing* 210044，*China*；3. *School of Applied Meteorology*，*Nanjing University of Information Science& Technology*，*Nanjing* 210044，*China*；4. *Anhui Province Meteorological Observatory*，*Hefei* 230031，*China*)

Abstract：The research of remote sensing monitoring of land desertification were summarized and prospected. And pointed out that by strengthening variety of desertification land classification index system construction，improve the monitoring accuracy，and constantly explore new ways and methods of applicability，clear macro technical route and process of remote sensing monitoring of desertification，in-depth analysis to carry out the causes and influence factors，and make full use of multi-source and several aspects，such as a variety of data information can be continuously to improve the land desertification remote sensing monitoring technology. On the one hand can provide scientific basis for the decision-making departments，improve the governance and desertification area ecological environment restoration and reconstruction of the decision – making level and governance effect；On the other hand，can be the researches on the mechanism of the desertification process，sandy desertification influence on regional and global climate change research，and thus contribute to the global change research.

Key words：land desertification；remote sensing monitoring；the desertification land classification index；desertification assessment

《灾害学》2017 年期刊主要评价指标

总被引频次	影响因子	即年指标	他引率	引用刊数	开放因子	学科影响指标	学科扩散指标	被引半衰期	H 指标
1989	1. 432	0. 325	0. 85	632	62. 58	0. 78	35. 11	6. 2	9
来源文献量	文献选出率	平均引文数	平均作者数	地区分布数	机构分布数	海外论文比	基金论文比	引用半衰期	扩散因子
163	0. 99	20. 93	3. 79	27	169	0. 006	1	7. 07	31. 77

注：据《2017 年版中国科技期刊引证报告(扩刊版)》(万方数据股份有限公司，2017 年 9 月)。