

# 沙漠化的地质指标体系

申建梅, 宋淑红, 刘海坤

SHEN Jian-mei, SONG Shu-hong, LIU Hai-kun

中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061

*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, Hebei, China*

**摘要:**沙漠化是人类面临的最严重的生态环境问题之一, 直接影响着人类的生存环境和社会稳定。以过去对沙漠化环境地质调查评价和研究为工作基础, 重点对存在沙漠化环境地质问题的生态环境脆弱区进行实地调研, 建立沙漠化地质指标体系, 确定调查指标和监测指标, 为科学评价地质环境变化和完善地质环境监测预警体系提供技术支撑。

**关键词:**沙漠化; 调查指标体系; 监测指标体系

中图分类号: X141 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2011)11-1763-06

Shen J M, Song S H, Liu H K. Geoindicator system of desertification. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(11): 1763-1768

**Abstract:** Desertification, as one of the most serious environment problems in the world, is threatening the quality of human habitat and the stability of society. In this study, based on investigation and assessment of the environmental geological aspects of desertification, especially on the investigation of environmentally vulnerable areas affected by desertification, the authors built up a geo-environmental indicator system for desertification assessment, and determined a group of factors for investigation and monitoring. The results have brought technological support to the scientific assessment of geo-environment change and the improvement of the geo-environment monitoring and early warning system.

**Key words:** desertification; investigation geoindicator system; monitoring geoindicator system

沙漠化(sandy desertification)是荒漠化(desertification)的主要类型, 在空间上既可发生在原非沙漠地区, 又可以发生在原系沙漠的地域; 在时间上, 既可以发生在人类历史时期, 也可以发生在地质历史时期<sup>[1-2]</sup>。无论是从地质还是人类时间尺度看, 导致沙漠化发生与发展的基本条件, 一是气候背景, 即干旱气候条件, 二是物质基础, 即丰富的沙源<sup>[3]</sup>。

近年来, 随着中国土地沙漠化研究的不断深入, 一些研究者也认识到“沙漠化过程的起因主要包括气候和人类活动两个方面, 两者在土地沙漠化中的贡献率及其耦合效应是国际科学界长期悬而未决的问题<sup>[4-5]</sup>。如何复原特征时期沙漠与沙漠化土地的空间格局, 通过对比、个例分析和系统分析, 建立和提

取沙漠化过程响应气候变化和人为干扰的判据指标与量化方法, 是必须解决的关键问题”。

从目前国内外的研究趋势来看, 地学方法正在成为探讨自然沙漠化对气候环境响应过程的最重要的研究途径之一。土地沙漠化地学指标体系的建立, 已成为国内外自然沙漠化过程与地质环境研究中十分关注的首要议题。为此, 笔者拟在大量的土地沙漠化研究资料的基础上, 结合地学方法, 针对土地沙漠化及其生态环境脆弱区的地质环境, 基于实地调查, 研究土地沙漠化地质指标体系。为科学地评价中国北方地质环境演化与土地沙漠化的发展过程, 监测生态地质环境质量与土地沙漠化的程度, 分析地质环境变化与土地沙漠化的趋势, 结合人类活动的影

收稿日期: 2010-07-19; 修订日期: 2011-10-27

资助项目: 中国地质调查局项目《生态环境变化地质指标体系研究》(编号: 1212010535502)

作者简介: 申建梅(1965-), 女, 研究员, 从事水文地质、环境地质研究。E-mail: shenjianmei1965@sina.com

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

响,从自然环境地学角度提供技术支撑。

1 沙漠化调查指标体系

从地学角度来看,土地沙漠化的风蚀、风积过程,是地球表面正在进行的以风营力为主的气圈、水圈、生物圈、岩土圈相互作用的地质过程。土地沙漠化的发生、发展与地质、地理、自然气候环境变迁有着不可分割的因果关系。这种自然过程 and 变化(发生在土壤、基岩、地表水和地下水之中的物理、化学过程)决定了地表景观和物化环境的基本特征,进而影响着地表生物的演替与生存<sup>[6]</sup>。基于此种动态的自然环境背景下人类不合理的经济活动,在一定区域内加剧了当地沙漠化的强度和土地沙漠化的正向进程。

为此,以沙漠化发生、演化的环境地质过程研究为基础,以地球各圈相互作用为驱动,以地表(或近地表)的表征景观和物化地质环境特征为标志,以自然生态功能平衡为基准,进行地质环境指标体系的初步研究和设计。依据土地沙漠化过程的定义、成因、发展过程及其危害,以短时间尺度各类地质作用为影响因子(影响指标),分析各因子对地质环境变化的驱动量度(状态指标),及其产生的各类表征(后果指标),确定调查指标体系,即影响指标、状态指标和后果指标。

沙漠化影响指标:沙漠化是在特定条件下由过度的人为活动造成的,其中干旱、多风与疏松地表构

成的脆弱生态环境是沙漠化发生与发展的物质与动力基础,强化的人为因素则是沙漠化的触发因子。土地沙漠化的调查应包括上述 2 个方面的有关指标的调查,通过对脆弱生态环境与各种人为活动的监测与分析,揭示中国干旱半干旱区土地沙漠化过程的脆弱性及其程度,区内人口-资源、环境-经济问题的复杂关系等。

沙漠化状态指标:指在一定时间、一定地区发生沙漠化变化的状态监测。这是沙漠化过程最直接的反映,通过对沙漠化发展的速度、程度等指标的调查和分析,揭示沙漠化的运行规律,预测其发展趋势,为沙漠化防治提供重要的科学依据。

沙漠化后果指标:后果指标调查主要指沙漠化的危害调查。沙漠化的发生与发展,引发自然环境中地表形态、土壤、植被等方而的急剧变化,影响到生态系统的发展,危及到调查区内的农牧业生产。对沙漠化危害的调查可以全面反映土地沙漠化的本质特征以及沙漠化土地整治的紧迫性和重要性。

土地沙漠化影响指标(形成条件)、状态指标(状态变化)与后果指标(危害)3 个方面构成沙漠化调查指标体系(表 1)。其中沙漠化状态监测是其核心,是沙漠化过程最直接、最重要的反映,形成条件、影响因素调查和危害调查对沙漠化的状态调查起着辅助与补充说明的作用。

1.1 影响指标

影响指标相关的类别有气候、社会经济和水文。

表 1 沙漠化调查指标体系  
Table 1 Indicator system for desertification investigation

指标类型	类 别	指 标	可测量的参数
影响指标	气候	降水	年降水量
		蒸发	年蒸发量
		风	年风速(大风、尘暴)
	社会经济	土地利用状况	土地利用率
		人口	人口超载率
		牧畜	牲畜超载率
状态指标	水文	地表水	径流量、径流面积、溶解性总固体
		地下水	潜水位埋深、溶解性总固体
	土壤	物理指标	土壤粘粒率、土壤粒径、含水率
		化学指标	土壤有机质、P、K、N、盐分含量
后果指标	生态	植被	植被盖度、植被类型
	环境	尘暴	尘暴强度、频率
	地表形态	沙丘	流动沙丘面积
		风蚀	风蚀深度
		风积	风积厚度

其中气候类别包括降水、蒸发和风 3 项指标;社会经济类别包括土地利用状况、人口和牧畜 3 个指标;水文类别包括地表水和地下水 2 个指标。

气候:气候因素对沙漠化的作用主要是干旱的影响,是指 1~2 年或更多年份内降雨量低于多年平均值的情况,或者是一个干旱时期持续达 10 年之久的干旱化,干旱程度的变化可以加速或延缓沙漠化的进程<sup>[7]</sup>。因此,以风速、降水量和蒸发量来表征气候因素对沙漠化的影响。

社会经济:人为活动是沙漠化的主要触发因子,因此社会经济对土地沙漠化的影响中重点考虑人口和牲畜 2 个因素,土地利用状况受两者的影响。

人口的增加是沙漠化发展因素之一。人口的增长加大了土地资源利用的压力,不合理的垦荒、滥牧、滥樵等方式造成地表植被和土壤的破坏。在干旱气候作用下,土地沙漠化尤其是风蚀沙漠化急剧增强,这种沙漠化速度高出了自然状态下数倍、数十倍甚至百倍<sup>[8]</sup>。它们之间的相关关系是很密切的(表 2)。因此,人口快速增长是诱发沙漠化的重要因素,土地沙漠化地区也是人口集中分布的地区。

牧畜数量的增加使草场负荷量过大。超负荷的草原植被变得低矮,覆盖率降低,裸露的地表面积不断增大,在牲畜的践踏下,土地表层结皮碾碎,形成裸露沙地,成为风力作用的突破口,为土地沙漠化提供了条件。

水文:在干旱区水资源是最主要的限制因素,水资源利用不当,会导致植被衰退和死亡,进而导致土地沙漠化的发生和发展。

自古以来,中国干旱地区绿洲的兴衰大多与水资源的变化有关。“无水是荒漠,有水是绿洲”,所以稳定和充足的水源是绿洲可持续存在与发展的条件。尤其在内陆河的下游地段,表现最为明显。如新疆塔里木河沿岸,随着中上游地段农业开发用水量不断增大,下游水资源显著减少,甚至断流,地下水

位也随之下降,溶解性总固体上升。随着水分条件的变化,天然植被生长衰退,灌木丛大量死亡,胡杨林也失去了更新能力,加之人为活动,地表裸露,沙漠化面积逐渐扩大。因此水资源利用不当,是关系到生态环境的一个重要问题,在水文对沙漠化的影响中考虑地表水和地下水 2 项因素。

1.2 状态指标

状态指标相关的类别仅土壤指标,包括物理指标和化学指标。

土壤:是覆盖在地球陆地表面上能够生长植物的疏松层,是人类赖以生存和生产的物质基础和条件。土壤的有机质含量、生物和物理化学质量均对植被的类型和生长状态具有决定性的作用,土壤一旦丧失,将使生物失去存在的基础,生态系统将极难以恢复到稳定的高等级状态。因此,对植物来说,土壤环境质量的好坏,水分养分供给能力的强弱,将直接关系到植被的生存和繁衍。而在土地沙漠化过程中,土壤蚀积常导致土壤质地和水肥条件的恶化,进而对植被产生危害,最终导致风沙环境的形成。因此本文选择土壤的物理和化学指标作为调查的指标。土壤物理指标包括土壤粘粒率、土壤粒径、含水率;土壤化学指标包括土壤有机质、P、K、N、盐分含量等。

1.3 后果指标

后果指标相关的类别有生态、环境和地表形态。其中生态类别以植被作为代表;环境类别以尘暴指标为代表;地表形态类别包括沙丘、风蚀和风积 3 个指标。

植被:土地沙漠化的生态过程,最明显的直观特征是植被的迅速退化。地表植被也是保护表土层免受风蚀的重要条件。沙漠化特征在生态上主要反映在 2 个方面,一是植被组成的变化,二是植被覆盖度的变化。

尘暴:尘暴是干旱和半干旱地区风搬运粉尘和其它微细粒沉积物的结果,与土地沙漠化紧密相关。一方面沙尘暴是土地沙漠化的恶果,因为土地发生沙漠化,地面失去植被保护,水分条件变差,为沙尘暴的发生建立了地面的条件;另一方面,沙尘暴又是土地沙漠化的暴发过程。沙尘暴发生时,破坏地面植被,对地面产生强烈的侵蚀,地面物质、土壤有机质和微量元素又一次在沙尘暴的作用下损失,土地沙漠化迅速发展。因此沙尘暴是沙漠化环境变化的重

表 2 沙漠化单因子相关分析<sup>[9]</sup>

Table 2 Single-factor correlation analysis of desertification

项 目	相关方程形式	相关系数	沙漠化表征形式
人口密度	$y=a+bx$	0.854	沙漠化程度指数
人口增长率	$y=ab^x$	0.664	沙漠化土地占地
畜均草场	$y=ax^b$	-0.909	沙漠化面积
畜超载率	$y=a+bx$	0.836	沙漠化程度指数
人畜超载率	$y=a+bx$	0.837	沙漠化面积

表 3 沙漠化监测指标体系

Table 3 Indicators for monitoring desertification

指标类型	类 别	指 标	可测量的参数
压力指标	水环境	地表水	径流量、溶解性总固体
		地下水	潜水位埋深、溶解性总固体
状态指标	土壤环境	物理指标	土壤粒径、含水率
		化学指标	土壤有机质、P、K、N含量
影响指标	生态环境	植被	植被盖度

要体现。

地表形态:这是沙漠化最明显的标志,往往是衡量沙漠化发展各阶段的主要指征,以沙丘、风蚀和风积来表征。由于不同沙漠化类型地区沙漠化过程的差异,所引起的地表形态也不相同。

2 沙漠化监测指标体系

根据沙漠化调查指标体系,综合考虑沙漠化演化趋势和防治对策,结合沙漠化的类型特点,初步确定了土地沙漠化监测指标体系,包括压力指标、状态指标和响应指标(表 3)。

2.1 水环境

在干旱、半干旱地区,水资源对沙漠化的进程具有重要的控制作用。水资源是可以控制和人为调节的,是控制和预防沙漠化进程的监测指标之一。

水的影响首先表现为潜水面面对风蚀作用的制约。Nash 在研究地下水与风沙作用过程中指出,由于孔隙水的表面张力作用,靠近潜水面附近的湿润沙粒粘合力增大,不易被风力吹移<sup>[10]</sup>。风洞试验也表明,只有在沙的含水率小于 1%时,沙粒才能起动<sup>[11]</sup>。而在这种情况下,风总是先吹干地面,再将沙粒吹离地面产生迁移。因此,潜水面也是沙漠区的风蚀基准面。

地下水水质和潜水位埋深对植物生长的影响,也会进而影响沙漠化进程。在地下水水位适宜的地方,溶解性总固体一般不超过 3~5g/L,林木植被发育良好;当地下水溶解性总固体大于 10g/L,植被绝大多数死亡<sup>[12]</sup>。植物需要有适宜其自身生长的地下水位,其最低水位称为凋萎水位。由于气候、土壤质地等因素不同,同一种植被在不同地区生长的潜水位埋深范围可能存在差异。因此,对于一个具体地区来说,则以大多数植被的生长状态要求的地下水位埋深作为植被的地下水位临界埋深指标。如在内陆盆地,大多数植被呈良好生长状态的潜水位埋深下限指标在 2.0~2.5m 之间,出现稀疏衰败状态的潜水位埋深临界指标是 4~4.5m<sup>[13]</sup>。一般沙生植物的适生水位深度为 1~5m<sup>[14]</sup>。一旦地下水位低于凋萎水位,植物即发生枯死。这是土地沙漠化的主要原因之一。

2.2 土壤环境

土壤是土地沙漠化的物质基础,是主要的监测指标。土壤的粘结性、流动性与沙漠化密切相关。而土壤的粘结性和流动性主要受土壤机械组成(质地)的影响,土壤的机械组成还制约着土壤温度和湿度的变化,进而影响土壤的肥力和地面植被的生长。因此,土壤是制约沙地生态系统稳定性的关键因素,也是地质环境监测的重要指标。

土地沙漠化首先起源于土壤风蚀,而土壤抗风蚀的能力又由土壤的机械组成所决定。实验表明,不同粒径的土壤颗粒启动风速不同,相同风速下不同粒级的吹蚀也有很大差异。在 12.47m/s 风速下,中细沙的吹蚀量是粉沙的 1000 倍<sup>[2]</sup>。伴随着土壤风蚀,形成了土壤粗化过程。

土壤粗化过程是土地沙漠化过程中最为普遍的现象。土地开始发生沙漠化,首先表现为土壤粒级中细粒物质的减少,粗大物质占绝对优势<sup>[15]</sup>(如表 4 所示)。

随着地表物质细颗粒的吹蚀,土壤中的养分也随着沙漠化的发展发生了由多到少的变化。土壤中东养分的减少导致了土壤的贫瘠化,从而使沙漠化土地的生产潜力下降,促使土地进入恶性循环。

大量风洞实验结果表明,沙土含水量对抗风蚀能力的影响比较大。当沙土含水量达到饱和持水量 4.73%时,抗风蚀极限风速稳定在 14m/s 左右,即可抗御 6~7 级大风<sup>[16]</sup>。而当风速一定时,沙土风蚀模数随含水量的减少而增加。流沙在干燥的情况下启动



表 4 沙漠化土地粒级组成的变化<sup>[15]</sup>

Table 4 Particle size distribution in lands subjected to different extents of desertification

沙漠化类型	深度 /cm	粒 级 组 (mm) (%)							
		>1	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	<0.001	<0.01
潜在沙漠 化土地	0~12	0	7.39	72.17	12.22	1.04	2.68	4.50	8.22
	12~28	0	0.55	21.18	38.10	9.59	13.47	17.11	40.17
	28~60	0	0	25.96	37.79	8.40	13.12	14.73	36.25
	60~90	0	1.16	62.59	22.05	2.61	3.99	7.60	14.20
轻度沙漠 化土地	0~10	0	2.97	92.15	3.56	0.47	0.07	0.78	1.32
	10~20	0	1.39	90.76	4.74	0.43	0.88	1.80	3.11
	30~48	0	11.10	64.49	16.39	1.18	3.40	3.44	8.02
	48~	0	40.28	43.56	6.88	1.70	3.62	3.96	9.28
中度沙漠 化土地	0~15	0	4.19	67.72	19.09	0.75	2.36	5.89	9.00
	15~35	0	4.79	75.70	11.03	1.42	1.94	5.12	8.48
	35~60	0	4.05	75.40	12.47	0.45	2.48	5.15	9.08
	60~	0	0.05	43.89	48.26	3.12	3.15	1.53	7.80
强度沙漠 化土地	0~5	0	2.53	87.27	6.45	0.13	1.15	2.47	3.75
	5~15	0	1.74	92.55	3.82	0.26	0.04	2.09	2.39
	15~60	0	3.58	91.93	0.40	0.40	0.97	1.60	4.09

风速较低, 约为 4.5~5.0m/s。随着土壤含水量的提高,启动风速也迅速提高。当达到最大持水量时,起沙风速需要提高近 2 倍。在中国西北地区,当土壤含水率小于 7%时,天然植被开始退化,土地开始沙化;当土壤含水率小于 5%时,植被退化,土地沙化明显;当土壤含水率小于 3%时,基本无植被生长,土地严重沙化。在科尔沁地区,对于大部分粒级 0~2cm 的表层土壤,其含水量在春季不足 1%,甚至低于 0.3%<sup>[17]</sup>。如此低的含水量,植被大量死亡,地面裸露,大约 4~5m/s 的风速即可引起风蚀,这为多风的科尔沁沙地土壤风蚀、沙化奠定了基础。

综上所述,土壤含水量、地表物质颗粒组成及其营养物质是土壤沙漠化的基础,也是沙漠化监测的主要指标。

2.3 生态环境

植被是表述沙漠化土地的基本指标之一,它直接影响风沙地貌的形成、发育和演化,特别是在风沙地貌形成之初和衰亡之时,这种影响成为沙漠化土地等级划分工作中的难点与关键。也是易于判断沙漠化程度的指标,可以作为直接信息衡量土地沙漠化的程度。

在沙漠化过程中,植被的盖度和种群基本反映了沙漠化的程度(表 5)。

综上所述,沙漠化监测指标是从地学的角度表达在自然和人为压力下沙漠化这一过程和现象的指

表 5 不同沙漠化土地类型植被盖度和类型

Table 5 Vegetation coverage rates and types of lands subjected to different extents of desertification

土地沙漠化 程度	植 被 特 征
轻度沙漠化	植被覆盖度 30%~60%; 出现大小不等灌丛沙堆,灌丛茂密; 植被类型为灌丛和多年生禾草
中度沙漠化	植被覆盖度 10%~30%; 灌丛有叶子期仍不能覆盖整个沙堆, 堆迎风坡显现流沙; 植被类型为多年生禾草、蒿类和杂草
重度沙漠化	覆盖度小于 10%; 流沙严重,基本为裸地,见低矮植被; 植被类型为沙生植物
严重沙漠化	几乎没有植被生长,偶见低矮植被

标,是表示沙漠化的变量,而不一定是控制沙漠化本身的变量。

3 结 语

土地沙漠化作为一个全球性的生态环境问题,一直是学术界关注的焦点。国内外对沙漠化的评价指标也进行了大量的研究工作,但在指标因子的选择、实用性等方面都存在一定的局限性:①指标的选择主要体现为生态、地貌景观、气候等自然因素指标,地质背景对沙漠化的影响指标研究较少;②选取的评价指标繁杂,多为间接性指标,实用性差;③指

标选取各不相同,可比性小,难以在地理分异复杂的大范围应用;④指标选取多为主观性判断,难以客观地反映和准确地评价沙漠化的状况。

本次工作针对沙漠化形成的地质生态因素,根据土地沙漠化形成演化的因果关系,遵循影响-状态-响应的地质环境指标框架,构建了沙漠化地质环境调查指标体系,划分出影响、状态和响应的地质环境指标。并以压力-状态-应对框架,抽取沙漠化的主控因子,确定了土地沙漠化地质环境监测指标,是沙漠化指标研究的新尝试。对沙漠化的评价和监测具有重要意义。

地质指标是地表、近地表地质过程和现象的测量指标。因此,必须综合地质学、地球化学、地球物理学、地貌学、水文学和其它地球学科知识,在地质环境短时间内,进行地质指标变化的追踪,研究其变化趋势,对不同沙漠化土地中地表水体水位、地表水体水化学、地下水水位、土壤地球化学等指标进行详细的研究,获得更加详实的资料,在坚持地质环境指标的整体性、稳定性和可持续性的基础上,对地质环境指标体系进行补充和完善。

致谢:本文承蒙岑嘉法教授、赵运昌教授审阅和指导,在此表示诚挚的感谢。

参考文献

[1]李瑞敏,鞠建华,等.生态环境地质指标研究[M].北京:中国大地出版社,2009:40-70.  
[2]吴正.风沙地貌研究论文集[C].北京:海洋出版社,2004:51-123.

[3]段怡春,陈建平,厉青,等.沙漠化:从圈层耦合到全球变化[J].地质前缘,2002,(2):277-285.  
[4]王涛.中国沙漠与沙漠化[M].石家庄:河北科学技术出版社,2003:32-140.  
[5]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.  
[6]Kuehl R O,Breckenridge R P,Panda M.Integrated response plot designs for indicators of desertification[M]. Proceedings of the International Symposium and Workshop in Tucson,Arizona,VSA,1994.  
[7]朱震达,陈广庭.中国土地沙质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994,12(1):46-98.  
[8]董光荣,李长治,金炯,等.关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果[J].科学通报,1987,(4):297-301.  
[9]董玉祥.人文因子在荒漠化中的应用[J].中国沙漠,1992,12(1):19-29.  
[10]FAO,UNEP. Provisional methodology for assessment and Mapping of Desertification[S]. Nairobi:1984: 12,31,46,49,58.  
[11]贺大良,高有广.沙粒跃移运动的高速摄影研究[J].中国沙漠,1988,8(1):21-32.  
[12]张长春,邵景力,李慈君,等.地下水位生态环境效应及生态环境指标[J].水文地质工程地质,2003,(3):6-10.  
[13]姚斐,周金龙.新疆平原地下水资源开发利用与生态环境保护[J].地下水,1997,19(4):171-173.  
[14]崔亚莉,邵景力.西北地区地下水位的地质生态环境调节作用研究[J].地质前缘,2001,8(1):191-192.  
[15]朱俊凤,朱震达.中国沙漠化防治[M].北京:中国林业出版社,1999:10-18.  
[16]王涛,吴薇,赵哈林,等.科尔沁地区现代沙漠化过程的驱动因素分析[J].中国沙漠,2004,24(5): 519-528.  
[17]赵哈林,赵学勇,张铜会,等.科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理[M].北京:海洋出版社,2003:193-216.