

基于地表定量参数的沙漠化遥感监测方法

曾永年¹, 冯兆东², 向南平¹

(1. 中南大学信息物理工程学院, 中南大学空间信息技术与可持续发展研究中心, 长沙 410083;
2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 利用野外沙漠化调查的定位数据和 ETM⁺ 遥感数据, 在实验分析的基础上, 探讨了沙漠化程度与地表参数之间的定量关系, 即沙漠化与植被指数 (NDVI)、地表辐射温度 (LST) 之间的关系, 提出了综合反映沙漠化土地生物物理特征的遥感监测指数——沙漠化遥感监测差值指数 (DDI), 为沙漠化遥感监测提供有效的定量化方法。

关键词: NDVI; LST; 监测指数; 遥感; 沙漠化

中图分类号: TP 79; P 941.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2005)02-0040-05

0 引言

尽管目前沙漠化理论研究已为沙漠化监测提供了较完整的分类分级体系, 并提供了相应的量化指标, 但大多数的指标无法从遥感数据中直接获得, 这就导致目前在沙漠化遥感监测的实践中, 主要采用以目视解译或自动分类为主的方法对沙漠化信息进行定性分析。由于沙漠化土地景观的空间异质性强, 从而导致沙漠化遥感自动分类结果不甚理想。为解决沙漠化定量评价问题, 许多研究者利用植被指数进行了研究^[1~4]。然而, 对仅利用植被指数进行沙漠化监测的有效性及其可靠性许多学者提出了质疑^[5,6]。随着地理信息系统技术的发展和广泛应用, 近年来发展了以 GIS 为基础, 综合利用遥感与非遥感数据, 进行沙漠化监测的模型方法。然而, 目前以 GIS 为基础的模型评价方法仍然是一种半定量的评价方法。因此, 研究反映地表沙漠化过程的定量化遥感模型, 将已有的沙漠化分类分级定量指标转换到像元尺度上, 实现沙漠化遥感监测的定量化, 是当前沙漠化监测中亟待解决的问题。

本文从沙漠化发生机理出发, 通过研究沙漠化土地发生区域的能量场与遥感多维空间数据场之间的关联关系, 试图建立能反映沙漠化土地生物物理特性的遥感监测指数模型。为此, 采用野外沙漠化样点调查的局地研究与景观尺度的遥感分析相结合的方法, 研究土地沙漠化过程与地表参数——地表

温度 (LST) 与植被指数 (NDVI) 的关系, 进而建立沙漠化监测的遥感模型, 为沙漠化遥感监测提供有效的定量化方法。

1 数据及处理

选择黄河源区为研究区域, 并以 2000 年夏季黄河源区 ETM⁺ 数据为信息源, 进行沙漠化监测方法研究。在具体方法研究之前, 对遥感数据做了必要的辐射与几何校正。

1.1 辐射校正

首先, 采用 PCI 图像处理软件的 ATCOR 大气纠正模块提供的“快速大气模型”^[7], 并采用中纬度夏季大气模式和乡村气溶胶模式, 根据遥感数据获取时的光照条件和地面高程参数, 将包含大气和地面辐射的 ETM⁺ 可见光与近红外波段的原始辐射图像进行辐射定标与大气校正处理, 然后转换为反映地面辐射特性的反射率图像。采用 PCI 图像处理软件提供的 ATCORT 模块和上述各项参数对 ETM⁺ 热红外波段进行辐射定标与大气校正, 并进行亮温换算, 最后, 利用线性内插方法反演出地表辐射温度 (LST)。

1.2 几何校正

以 1:5 万比例尺地形图为准, 采用二元多项式拟合校正法, 在 PCI 图像处理软件的几何校正模块下完成。首先, 在遥感图像和地形图上选择目标较小、特征明显、易于识别的同名地物点作为控制点; 然后, 经实验分析与比较, 选用二元二次多项式

作为校正模型,采用最邻近法进行图像重采样,完成图像的几何校正。图像重采样像元为 $30 \times 30 \text{ m}^2$,几何校正误差(*RMS*)在半个像元之内。

1.3 植被指数计算及其处理

首先,利用经过辐射和几何校正的 ETM^+ 红外和近红外波段的反射率数据计算归一化植被指数 *NDVI*; 然后,统计整景图像 *NDVI* 和 *LST* 的最大、最小值,并利用统计值进行数据处理,即

$$N = [(NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})] \times 100\% \quad (1)$$

$$T = [(LST - LST_{\min}) / (LST_{\max} - LST_{\min})] \times 100\% \quad (2)$$

式中,*N*、*T* 为经上式处理的植被指数和地表辐射温度。

2 沙漠化与地表参数的关系分析

为研究沙漠化定量监测方法,首先需要分析和选择与沙漠化发生机理相关的地表参数,进而确定这些参数与沙漠化过程的定量关系。在此基础上,建立沙漠化遥感定量监测指数方法。

2.1 地表参数的选择

研究证明,*NDVI* 能有效地用于植被的监测、植被覆盖度、植被叶面积指数的估算,是反映地表植被状态的重要的生物物理参数^[8~10]。沙漠化研究也表明,随着沙漠化程度的加重,地表植被首先遭受严重破坏,地表植被盖度降低和生物量减少是沙漠化的主要特征之一,也是判定沙漠化程度的主要指标之一^[11~16]。因此,*NDVI* 是反映沙漠化程度的重要生物物理参数。

由遥感数据反演的地表辐射温度 *LST*,是指示地表覆盖特征的重要物理参数,在地—气之间的物质、能量和动量交换过程中起着重要的作用。定位观测与数值模拟表明^[16~19],沙漠化过程不仅表现为地表植被盖度的降低和生物量的减少,还表现在由于能量与水分平衡的破坏导致地表感热通量的增加,地表能量通量的再分配提高了地表及近地表温度。因此,*LST* 可作为反映沙漠化程度的重要物理参数。

2.2 *LST* - *NDVI* 空间的沙漠化过程

为研究沙漠化过程与地表生物物理参数之间的定量关系,即沙漠化过程与 *NDVI*、*LST* 之间的定量关系,首先,根据研究区沙漠化土地野外判定指标,确定不同沙漠化土地的野外样点,并用 GPS 确定各样点的地理坐标;然后,在 *NDVI*、*LST* 图像上标定不同的沙漠化土地,并读取其相应区域的 *NDVI*、*LST* 值。

对不同沙漠化程度的样点数据进行统计分析,获得不同程度沙漠化土地对应的 *NDVI*、*LST* 的平均值。据此,在 *NDVI* 和 *LST* 组成的二维空间中,得到不同沙漠化程度土地的分布图(图 1)。

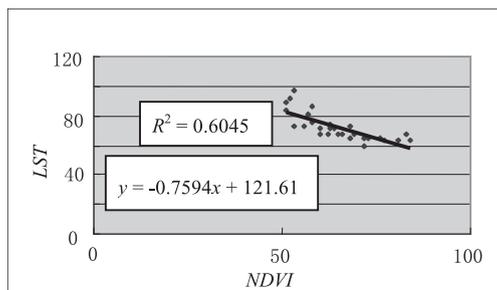


图 1 不同程度沙漠化土地分布规律

统计分析表明,在 *NDVI* - *LST* 特征空间中,不同沙漠化土地类型对应的 *NDVI* 和 *LST* 具有显著的线性负相关性,即

$$LST = 121.61 - 0.7594 NDVI \quad (R^2 = 0.6045) \quad (3)$$

式中,*NDVI*、*LST* 为经处理的植被指数和地表辐射温度。可以看出,随着沙漠化程度的增加,*NDVI* 逐渐减少,而地表温度则逐渐增加。沙漠化过程及其相应的地表特性的变化能在 *LST* - *NDVI* 特征空间中得到明显直观的反映(图 2)。

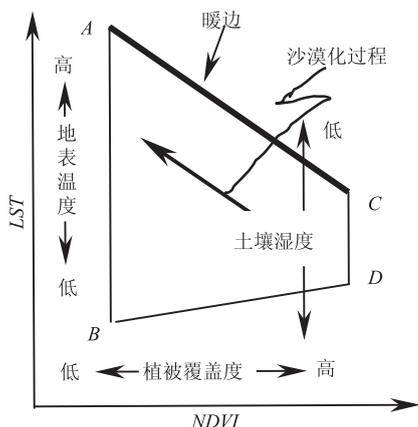


图 2 *LST* - *NDVI* 空间特征及沙漠化过程

3 沙漠化遥感监测指数确定

上述分析结果说明,在 *LST* - *NDVI* 特征空间中,利用植被指数和地表辐射温度的组合信息,通过选择反映沙漠化程度的合理指数,可将不同沙漠化土地加以区分,从而实现沙漠化时空分布与动态变化的定量监测与研究。

在 *LST* - *NDVI* 特征空间,不同沙漠化土地对应的植被指数(*NDVI*)和地表温度(*LST*)具有显著的线

性负相关性。根据前人在遥感光谱指数方面研究的经验与总结^[20],在 $NDVI - LST$ 空间中,选择基于代表沙漠化趋势线的垂线来建立区分不同沙漠化土地的最优指数(图 3),即在这些垂直方向上划分 $LST -$

同沙漠化土地较好地区分离开来。从实验区沙漠化景观(图 4)、地表参数(图 5,6)以及沙漠化监测指数图

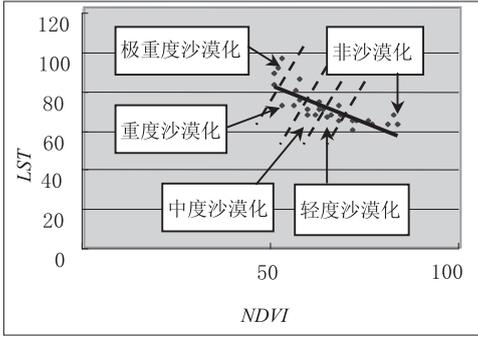


图 3 $LST - NDVI$ 空间中 DDI 图形表达

$NDVI$ 特征空间,就可以将不同的沙漠化土地区分开来。而垂线方向在 $LST - NDVI$ 特征空间的位置可以用 $LST - NDVI$ 特征空间中简单的二元线性多项式加以表达,即

$$DDI = a \cdot NDVI - LST \quad (4)$$

式中, DDI 为沙漠化遥感监测指数——沙漠化差值指数; a 为常数; $NDVI$ 为归一化植被指数; LST 为地表辐射温度。

本研究中, DDI 的具体表达式如下

$$DDI = 1.317 NDVI - LST \quad (5)$$

式中,常数 1.317 由式(3)获得。

利用实验数据和公式(5)获得了研究区不同沙漠化土地的 DDI 值,如表 1 所示。

表 1 不同沙漠化土地 DDI 值

沙漠化程度	$DDI(a)$	$DDI(b)$
非沙漠化土地	37.7	27.9
轻度沙漠化土地	20.3	11.7
中度沙漠化土地	10.9	2.9
重度沙漠化土地	-3.5	-10.7
极重度沙漠化土地	-22.4	-29.0

不同类型沙漠化土地之间 DDI 值差异较大,非沙漠化土地、轻度沙漠化土地、中度沙漠化土地、重度沙漠化土地和极重度沙漠化土地 DDI 的平均值分别为 37.7、20.3、10.9、-3.5 和 -22.4 ($DDI(a)$),而同一类型沙漠化土地之间 DDI 值则相差甚微。因此, DDI 值可以反映区域土地沙漠化的过程与程度。在 $LST - NDVI$ 空间中, DDI 在直观上表现为垂直于沙漠化趋势线的各等值线的位置,其意义则反映了不同沙漠化土地在 $LST - NDVI$ 空间的地表水热组合与变化的差异。实验与对比分析发现, DDI 能将不

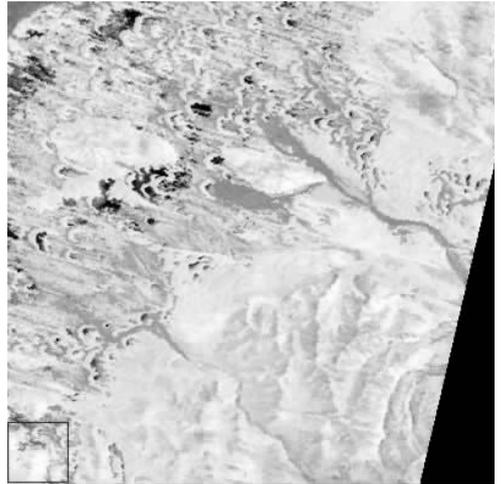


图 4 沙漠化景观

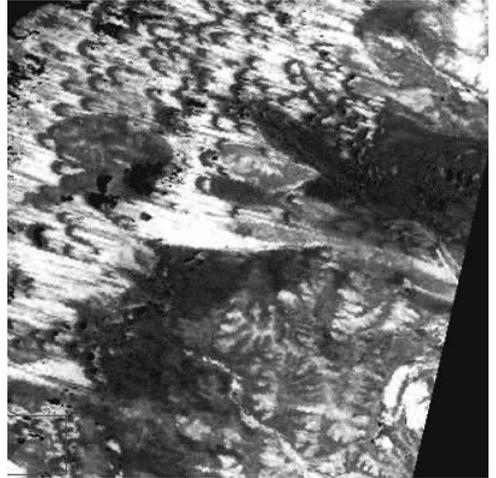


图 5 植被指数(NDVI)

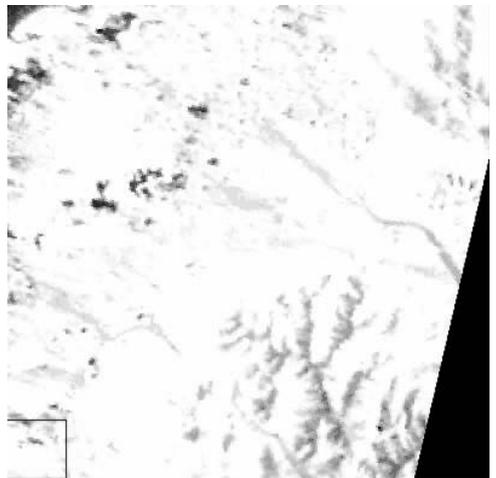


图 6 地表辐射温度(LST)

像(插页彩片 3)比较可以看出,沙漠化监测指数图像较之任何单一的地表参量更能客观的反映沙漠化

的分布与程度。因此,在沙漠化监测实践中,可选用能够反映地表水热组合与变化的 *DDI* 值作为监测的指标。

在 *LST - NDVI* 特征空间中(图 2),像元梯形散点图上边界 *A - C*(暖边)反映了干旱状态下,植被覆盖与地面辐射温度之间存在着明显的线性变化关系^[21~26]。而且 *A - C* 边与沙漠化过程在 *LST - NDVI* 空间的趋势线很接近。因此,垂直于 *A - C* 边的直线也能将不同沙漠化土地有效地区分开来。在实际应用中为减少采样点代表性对式(4)的影响,其常数 *a* 可根据 *LST - NDVI* 特征空间中像元散点图上边界 *A - C*(暖边)的斜率来确定。本研究中,由暖边确定的沙漠化差值指数 *DDI* 值如表 1 中 *DDI*(b)所示,据此指数,同样可将不同沙漠化土地明显地区分开来。

4 结论与讨论

研究发现,沙漠化程度与植被指数(*NDVI*)、地表辐射温度(*LST*)存在显著的线性相关性。在 *LST - NDVI* 特征空间中,沙漠化趋势与过程能得到明显的反映。基于以上的分析结果,提出了综合反映沙漠化土地生物物理特征的遥感监测模型,即沙漠化遥感监测差值指数模型。模型充分利用了遥感信息,反映了沙漠化土地地表覆盖、水热组合及其变化,具有明确的生物物理意义。且简单、易于获取,有利于沙漠化的定量分析与监测。

本文提出的沙漠化遥感监测指数会随季节而变化,在实际应用中为进行沙漠化的动态监测,注意季节的选择。在研究中也发现,以 Landsat 遥感数据为信息源,利用沙漠化指数(*DDI*)进行沙漠化遥感监测时,存在两个问题。一是 TM 数据可见光、近红外波段数据地面分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,而热红外波段分辨率为 $120\text{ m} \times 120\text{ m}$ ($60\text{ m} \times 60\text{ m ETM}^+$),也就是说构成 *LST - NDVI* 空间的两个坐标的空间分辨率相差较大,这就影响到由 *NDVI* 和 *LST* 获得的沙漠差值指数的空间分辨率,使其中高空间分辨率的原始信息受到一定程度的损失。二是 TM 热红外波段的地表温度反演相对较为困难,而且目前尚无理想的反演方法。因此,以 Landsat 遥感数据为信息源,利用本文提出的指标模型进行沙漠化监测时,存在一定的不足。为此,试图寻找一种既能够较好地反映地表温度及水分变化,又能反映沙漠化过程的指标来代替地表辐射温度,进行沙漠化遥感监测,是有待于进一步研究的一个问题,也是我们在本文研究基

础上正在探讨的问题。

参考文献

- [1] Tucker, et al. African land - cover classification using satellite data [J]. Science, 1985, 227(2): 369 - 375.
- [2] Tucker C J, Dregne H E, Newcomb W W. Expansion and contraction of Sahara desert from 1980 to 1990 [J]. Science, 1991, 253: 299 - 301.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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 - 60.
- [6] Milich L, Weiss E. GAC NDVI images; relationship to rainfall and potential evaporation in the grazing lands of The Gourma (northern Sahel) and in the croplands of the Niger - Nigeria border (southern Sahel) [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21: 261 - 80.
- [7] Richter R. A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images [J]. International Journal of remote Sensing, 1990, 11(1): 159 - 166.
- [8] Huete A R, Jackson R D, Post D F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds [J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17: 37 - 53.
- [9] Ormsby J P, Choudary B J, Owe M. Vegetation spatial variability and its effect on vegetation indices [J]. International Journal of Remote Sensing, 1987, 8: 1301 - 1306.
- [10] Tucker C J, Sellers P J. Satellite remote sensing of primary production [J]. International Journal of Remote Sensing, 1986, 7: 1395 - 1416.
- [11] 朱震达,陈广庭. 中国沙质荒漠化 [M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 李森,董玉祥,董光荣. 青藏高原沙漠化问题与可持续发展 [M]. 北京: 中国藏学出版社, 2001.
- [16] Li S G, Harazono Y, Oikawa T, et al. Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 102: 125 - 137.
- [17] 李胜功,何宗颖,申建友. 奈曼荒漠化对草地微气象特征影响的研究 [J]. 大气科学, 1994, 18(6): 758 - 763.
- [18] 申建友,等. 关于奈曼地区沙漠化过程与小气候变化特征研究 [A]. 奈曼站论文集(1) [C]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
- [19] 刘树华. 半干旱区植被覆盖度对边界层气候影响的数值模拟 [J]. 沙漠生态系统研究, 1995, (1): 24 - 31.
- [20] Verstraete M M, Pinty B. Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 34(5): 1254 - 1265.

[21] Lambin E F, Ehrlich D. The surface temperature - vegetation index space for land cover and land - cover change analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(3):463 - 487.

[22] Gillies R R. Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models [J]. Journal of Applied Meteorology, 1995, 34:745 - 756.

[23] Gillies R R, Carlson T N, Cui J, et al. A verification of the triangle method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the normalized difference vegetation index (NDVI) and surface radiant temperature [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(5):3145 - 3166.

[24] Carlson T N, Sanchez - Azofeifa A. Satellite remote sensing of land use and surface microclimate changes in San Jose, Costa Rica [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 70:247 - 256.

[25] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use - land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25:49 - 65.

[26] Owen T W, Carlson T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely - sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(9):1663 - 168.

THE REMOTE SENSING SYNTHETIC INDEX MODEL FOR DESERTIFICATION DETECTION

ZENG Yong - nian¹, FENG Zhao - dong², XIANG Nan - ping¹

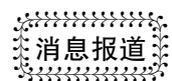
(1. School of Info - Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. National Laboratory of Western China's Environmental System, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on experiments and theoretical reasoning, the authors have analyzed quantitatively the relationship between the desertification and vegetation index (NDVI) and the land surface temperature (LST). The combined information contained in the LST - NDVI space is extracted to form a new index, namely difference index of desertification (DDI), which is then used to identify the severity of desertification. With this index, we can easily get to know biophysical properties of the land surface.

Key words: NDVI; LST; Index of detection; Remote sensing; Desertification

第一作者简介: 曾永年(1959 -),男,教授,博士,主要从事遥感与地理信息系统及其应用研究。

(责任编辑: 周树英)



“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目取得了阶段性成果

由中国国土资源航空物探遥感中心承担的“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目取得了重要的阶段性成果,得到了广泛关注。

(1) 青藏高原的冰川面积 30 年来共减少 4 420.78 km², 平均每年减少 147.36 km², 总减少率达 9.05%; 绝大部分冰川的冰舌处于退缩状态, 大部分雪线在上升, 上升最多处有几百米; 青藏高原冰川的消减程度依山系、位置不同而不同 - 帕米尔高原、喜马拉雅山、冈底斯山和喀喇昆仑山的冰川消减最为严重, 念青唐古拉山、祁连山和昆仑山的冰川消减为其次, 唐古拉山和横断山的冰川消减程度最小, 只有青藏高原腹地的羌塘高原和阿尔金山地区的冰川出现了微弱的增长现象。

(2) 青藏高原的荒漠化总体面积虽然变化不大, 但荒漠化程度却明显加大。从上世纪 70 年代到本世纪初的 30 年来, 荒漠化面积增加了 38 743.07 km², 增长率为 8.3%, 其中增长最大的是重度沙漠化土地、中度沙漠化土地和沙漠, 分别达到 311.5%、68.9% 和 86.9%; 盐渍化土地面积上世纪 70 年代为 99 442.64 km², 本世纪初为 79 343.30 km², 减少了

20.2%, 减少的盐渍化土地基本转向了沙漠化土地。伴随着荒漠化程度的加重, 青藏高原出现了严重的草地退化现象, 山间洼地草地从上世纪 70 年代的 57 814.16 km² 减少到目前的 43 741.68 km², 减少了 24.3%。

(3) 青藏高原分布有大型 - 超大型崩塌、滑坡、泥石流地质灾害点 2118 处。灾害大多发生在地形复杂、坡度大、切割深的高山峡谷地段, 大致以拉萨 - 西宁一线为界, 西北部以泥石流为主, 东南部为崩塌、滑坡、泥石流共存。

(4) 青藏高原新构造运动具有南北分带、东西分块、边部挤压收缩、腹部伸展跨塌的动力学特征, 是青藏高原迅速的差异性升降运动的原因。由此引发的高原内部微气候变化和全球性的气候变干、变暖所造成的降雨量减少, 导致了该地区生态环境的进一步恶化。而且, 近年来越来越多的人为活动, 如过度放牧、旅游区开发以及一些大型工程建设等, 也加速了这种趋势的发展。

(本刊编辑部)