

引用格式:周日平.中国荒漠化分区与时空演变[J].地球信息科学学报,2019,21(5):675-687. [ Zhou R P. Zonation and spatio-temporal evolution of China's Desertification[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(5):675-687. ] DOI:10.12082/dqxxkx. 2019.180676

# 中国荒漠化分区与时空演变

周日平

中煤地质集团北京大地高科地质勘查有限公司,北京 100040

## Zonation and Spatiotemporal Evolution of China's Desertification

ZHOU Riping\*

China Coal Geology Group Beijing Dadi High-Tech Geological Exploration Company, Ltd, Beijing 100040, China

**Abstract:** Land desertification is one of the most serious eco-environmental problems in the world, and is among the top ten environmental and development problems that threaten the survival of human beings. China has severe desertification, and desertification has greatly affected China's eco-environment and social development. In this context, the research on desertification is of great significance to China. The evolution of desertification is mainly manifested in the change of desertification area, the area change, change of desertification types, vegetation change, and so on. In this paper, the 31 provincial regions of China (excluding Taiwan, Hong Kong, and Macau) were included as the study area. Remote sensing was utilized to study the spatiotemporal evolution of the thematic factors of desertification, salinization, and erosion-induced desertification. Following the principles of regional differentiation, genesis, and multi-level sequences, China was divided into 8 desertification zones, 42 desertification sub-regions, and 36 desertification communities. Based on the desertified land type maps of 1975, 2000 and 2017, we analyzed the desertification evolution by focusing on the changes in the area and gravity center of China's desertification. According to the percentage of increase or decrease of desertified land area over a certain period of time, the evolution types of desertification can be divided into 7 categories. The present study reveals the current situation of China's desertification, and analyzes the spatiotemporal evolution and the gravity center movements of different desertification regions. Next, the key target areas and management suggestions of desertification control in China were discussed. Our findings are as follows. (1) There are many kinds of deserts and desertified lands in China, of which the area of severe desertification is  $25.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ , accounting for 19.59% of the total desertification area. (2) From 1975 to 2017, China's desertification has been significantly reversed, and the dynamic characteristics of desertification in 1975–2000 differed from 2000–2017. The intensity of desertification in 2000–2017 significantly reduced as compared to 1975–2000, thanks to the decrease in aggravated areas and increase in weakened areas. (3) The migration value of desertification center of gravity can indirectly reflect the development trend and degree of dynamic change of desertification, the greater the migration, the more significant the difference of desertification change in this region, and the direction of center of gravity migration is the area where desertification area increases. The coordinate migration of desertification barycenter points in different periods has the same orientation.

收稿日期:2018-11-22;修回日期:2019-03-11.

基金项目:全国自然资源遥感综合调查与信息系统建设(DD20160077)。[ **Foundation item:** National Integrated Remote Sensing Survey and Information System Construction, No. DD20160077. ]

作者简介:周日平(1965-),女,辽宁岫岩人,高级工程师,主要从事生态环境遥感方面的研究。E-mail: zhou\_rp@sina.com

**Key words:** desertification; zonation; spatiotemporal evolution; desertification prevention; remote sensing monitoring; China

**\*Corresponding author:** ZHOU Riping, E-mail: zhou\_rp@sina.com

**摘要:**荒漠化被列入威胁人类生存的十大环境与发展问题之一,中国作为世界上荒漠化严重的国家,荒漠化形势十分严峻。本文通过遥感手段,以中国陆域国土范围(除台湾、香港和澳门)的31个省、市、自治区为研究区域,对1975年、2000年与2017年研究区数据进行沙化、盐渍化、水蚀荒漠化专题因子时空演变的综合研究,根据地域分异、发生学及多级序列等原则将中国划分为8个荒漠-荒漠化区,42个荒漠-荒漠化亚区和36个荒漠-荒漠化小区。以不同时期荒漠化土地类型图为依据,采用荒漠化面积变化量与荒漠化重心迁移轨迹指标进行荒漠化演化分析。为具体说明不同区域荒漠化程度,本研究根据一定时期内荒漠化土地面积增加或减少的百分比将荒漠化演化分为7种类型,通过分析得到不同荒漠化区域的时空演化及不重心迁移,据此提出中国荒漠化的重点治理目标区及防治建议。研究结果表明:①中国荒漠、荒漠化土地种类较多,重度荒漠化面积 $25.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占荒漠化总面积的19.59%;②1975-2017年,中国荒漠化发生明显逆转,与1975-2000年相比,2000-2017年全国的荒漠化强度显著下降,原因是荒漠化加重区面积减少以及荒漠化减弱区面积增加;③1975-2000年与2000-2017年,各区内荒漠化重心点坐标迁移具有同向性。本研究在分析荒漠化土地分布、形成和演变机制的基础上,进行了荒漠化分区。通过对不同荒漠化地区的面积百分比变化的比较,得到了不同时期荒漠化的时空演化模式,并分析了荒漠化演化的特点和差异。

**关键词:**荒漠化;分区;时空演变;荒漠化防治;重心迁移轨迹;遥感监测;中国

## 1 引言

荒漠化是指人类不合理经济活动和脆弱生态环境相互作用而造成土地生产力下降直至土地资源丧失,地表呈现类似荒漠景观的土地资源衰退演变过程<sup>[1-2]</sup>。1992年联合国环境与发展大会上将荒漠化定义归纳为由于气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化。其物理过程为水蚀风蚀作用下使土壤发生物质流失,或沙漠化、盐碱化的过程,导致土壤的理化和生物性质退化,植被生产力降低等<sup>[3-4]</sup>,荒漠化作为严重的生态环境问题,其危害性主要表现在对社会、经济和生态的影响3个方面<sup>[5]</sup>,如受荒漠化危害的人口数量、受荒漠化侵袭的耕地面积、受荒漠化威胁的草地面积、由于荒漠化造成的经济损失等,它已经是生态环境发生严重退化的重要反映<sup>[6]</sup>,加上不合理的人类活动加速了荒漠进程<sup>[7]</sup>。

中国的荒漠化演化研究分为2个阶段,第一阶段,从1977-1991年,以沙质荒漠化演化为研究中心,中国科学院寒区旱区研究所提出了沙质荒漠化按其发生性质可以分为沙质草原的沙质荒漠化、固定沙丘(地)活化和沙丘前移3种类型;第二阶段,从1992年至今。随着国际上荒漠化定义的发展,在研究北方沙质荒漠化演化过程的同时,开展了南方因流水侵蚀形成的土地荒漠化和化学作用荒漠化、工矿型荒漠化演化的研究。

中国对荒漠与荒漠化形成地质环境的研究开展时间较晚且研究程度低,主要侧重于荒漠化土地形成的人为因素和气候因子研究<sup>[8-9]</sup>,从单种荒漠化类型研究较多<sup>[10-13]</sup>,且沙质荒漠化<sup>[14-16]</sup>的研究程度高于水蚀荒漠化<sup>[17-18]</sup>与盐碱质荒漠化<sup>[19-20]</sup>,但从多种荒漠化类型的组合研究较少,对荒漠化的地质成因仅进行了部分定性研究,对物源区的岩性、厚度、分布范围、时代和人类活动与物源区的关系等均未进行深入研究,缺乏基于荒漠化地质背景的全面系统性成果<sup>[21]</sup>。刘连友等<sup>[22]</sup>对雅鲁藏布江江当宽谷地区沙源物质进行了分析。对盐碱质荒漠化的地质因素分析多侧重于地下水矿化度的分析,林年丰等<sup>[23]</sup>分析了松嫩平原苏打盐分的来源、分布与富集规律与盐碱化荒漠化的关系。李森等<sup>[24]</sup>根据自然地域系统、沙漠化土地分布形式与分布指数、土地利用类型、人为活动频率和沙漠化发展程度等指标,对青藏高原的沙质荒漠化进行了区划。朱震达<sup>[25]</sup>根据荒漠化成因过程的空间分布特征与气候将中国划分为荒漠化半干旱带、干旱带、半湿润地带、湿润地带、高寒地带等5个气候区。

在已有的研究中,荒漠化指标体系建立被多次探讨<sup>[26-28]</sup>,但目前尚未形成一套被普遍认可的评价指标体系<sup>[29]</sup>。荒漠化遥感监测能够帮助我们迅速了解区域荒漠化演化过程<sup>[30-31]</sup>,通过对荒漠化地区的监测,掌控荒漠化的现状及其动态演变,对于预防及治理荒漠化而言十分重要。遥感技术具有宏

观性、高效性和经济性等特点<sup>[32]</sup>,本文基于遥感手段,通过对荒漠化时空演化展开综合研究,分析荒漠化分布时空变化特征和演变趋势,并对荒漠化可能发生区域进行预测及荒漠化分区,由于全国范围内湿润地区的土地退化程度较低,面积较小,为结合调查结果以及研究方便,本文主要以荒漠化这一定义对全国进行分区研究。研究还探讨了荒漠化演化与第四纪地质、气候变化与人类活动的关系,研究荒漠化发展对国民经济发展及人居环境的影响,提出荒漠化防治建议。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

荒漠是指气候干燥、降水稀少、蒸发量大、植被贫乏的地区,荒漠化是由于气候变化和人类活动所造成的土地退化,地质环境对荒漠、荒漠化土地类型的分布有着明显的控制作用;① 地质环境是荒漠化形成的物质基础,如中国沙质荒漠化形成的构造环境与物质环境特征是分布于高原、平原或盆地的第四系冲湖积物质、冲积物、冲洪积物堆积区或部分基岩风化区,盐碱质荒漠化形成的构造环境与物质环境特征是分布于断陷或拗陷盆地、平原的冲积物、冲湖积物、冲洪积物和湖积物等堆积区,水蚀荒漠化形成的构造环境与物质环境特征是分布于构造隆升的丘陵、山地的红土、黑土和黄土堆积区与基岩风化形成的残坡积物区;② 地质环境对人类活动的方式与强度有着重要的影响;③ 不同的地质单元气候条件也具有明显的差异性,西部内陆盆地以干旱气候为丰要特征,中部高原是受季风系统中夏季风和冬季风的消长变化影响最为显著的地区,东部地区则以暖湿气候为午,受夏季风控制。气候格局的形成造就了荒漠化土地的分布,气候的波动则是沙漠化发展或逆转的控制因素。为了科学反映荒漠或荒漠化的空间分布差异性与第四纪地质与地貌的关系,荒漠、荒漠化分区应遵循的原则包括:

#### (1)地域分异原则

在一定区域内,沙漠、沙质荒漠化土地的景观有着明显的差异性,如河西走廊农业生态系统和内蒙古高原草原生态系统的沙质荒漠化土地的景观有着很大不同。

#### (2)发生学原则

是指荒漠化发生的一致性,包括发生条件、发

生过程的一致性。例如河西走廊包括疏勒河、黑河、石羊河等流域,但各个流域的沙质荒漠化的发生条件都是在干旱气候条件下的由于过度垦荒和不合理的水资源利用形成的冲积平原地区沙质荒漠化。

#### (3)多级序列原则

荒漠化是一个较为复杂的过程,其总体特征存在着由大同到小异,由普遍到特殊的客观过程。

为了科学反映荒漠与荒漠化土地分布的第四纪地质背景差异性,根据荒漠与荒漠化土地分布的分布特征、构造地貌及第四系地层等指标进行分区,等级划分为3级,荒漠化土地区(一级区)的分区指标为区域第四纪地质单元及区域地貌的组合类型,主要反映影响荒漠化土地发生和发展的大地貌等主要自然条件的区域差异性,如西北盆地与山地荒漠、荒漠化区;荒漠化土地亚区(二级区)的划分指标为次一级第四纪地质单元与大地貌类型,主要反映影响荒漠化土地的地质地貌和荒漠与荒漠化土地组合等要素的一致性,如塔里木盆地荒漠、荒漠化亚区;荒漠化小区(三级区)的分区指标为次一级地貌与荒漠或荒漠化土地相关的第四纪地层、荒漠或荒漠化土地类型,主要反映地貌、人类活动类型和荒漠、荒漠化土地类型及荒漠化土地分布的一致性,如塔克拉玛干沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区。

荒漠化的演化主要表现在荒漠化面积变化、荒漠化程度类型的面积变化和相互转化、植被变化等方面,为了全面反映中国荒漠化演化趋势,本研究在1975-2000年、2000-2017年荒漠化动态变化图反映中国荒漠化土地的面积变化、不同荒漠化程度类型面积变化、不同荒漠化程度类型的相互转化强度等荒漠化演化指标的基础上,确定以荒漠化地质背景分区为评价单元,以1975、2000与2017年荒漠化土地类型图为依据,采用荒漠化面积变化量与荒漠化重心迁移轨迹指标进行荒漠化演化分析,为具体说明不同区域荒漠化程度,本研究根据一定时期内荒漠化土地面积增加或减少的百分比将荒漠化演化类型分为7种(表1)。

参考土地资源重心计算公式,建立荒漠化中心计算模型:

$$X_i = \sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{ii} \quad (1)$$



表1 荒漠化演化类型分类指标  
Tab. 1 Indicator for classifying desertification evolution types

荒漠化演化类型	一定时期内荒漠化土地面积变化的比例
加速发展区	面积增加>30%
明显发展区	面积增加 10%~30%
缓慢发展区	面积增加 5%~10%
基本稳定区	面积增加或减少<5%
缓慢减少区	面积减少 5%~10%
明显减少区	面积减少 10%~30%
快速减少区	面积减少>30%

$$Y_i = \sum^n(C_{ii} \times Y_i) / \sum^n C_{ii} \tag{2}$$

式中： $X_t$ 、 $Y_t$ 分别为第  $t$  年荒漠化分布重心的平面直角坐标； $C_{ii}$ 为第  $t$  年第  $i$  个荒漠化斑块的面积； $X_i$ 、 $Y_i$ 表示第  $i$  个荒漠化斑块重心的平面直角坐标。

2.2 数据来源

本研究遥感数据获取于国土资源部航遥中心，以 1975 年 MSS、2000 年 ETM 和 2017 年 CBERS-2 沙质荒漠化、水蚀荒漠化与盐碱质荒漠化三期现状与两期动态变化调查结果为基础，按照区域、省域、流域三级统计原则，完成全国陆域荒漠化专题因子三期分布现状、二期动态变化遥感调查监测数据的统计。以荒漠化土地分布与形成、演化机制分析为依据，进行全国荒漠化分区，通过对不同荒漠化区的面积百分比变化等指标进行对比，得到不同时期荒漠化时空演变图（1:25 万比例尺），分析不同时期荒漠化演化特征及差异性。以不同区域荒漠化形成的地质环境背景为主要因子，有机结合人类活动的区域差异性，依据发生学原理，以潜在性为目标，采用条件同源性的分析原则，预测荒漠化的可能发生区，实现荒漠化发展趋势预测。

3 全国荒漠化分区与演化过程分析  
（1975–2017年）

3.1 全国荒漠化土地分布的基本特征

中国荒漠、荒漠化土地种类多、分布范围广，荒漠化土地面积大于荒漠面积，荒漠、荒漠化面积共计  $234.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占国土面积的 24.48%，其中，荒漠面积占国土面积的 11.03%，包括沙漠与砾漠，分布于内蒙古、青海、宁夏、新疆、甘肃等 8 个省市（自治区）；荒漠化土地面积占国土面积的 13.45%，包括沙质荒漠化、水蚀荒漠化与盐碱质荒漠化，广泛分布于除台湾、上海外的其余 30 个省市（自治区）（表 2）。中国荒漠化强度较大，重度荒漠化面积  $25.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占荒漠化总面积的 19.51%；中度荒漠化面积共  $49.38 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占荒漠化总面积的 38.26%；轻度荒漠化面积分布最广，为  $54.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占荒漠化总面积的 42.23%。其中，重度沙质荒漠化面积占沙质荒漠化土地总面积的 24.33%；重度水蚀面积占水蚀荒漠化面积的 8.46%；重度盐碱质荒漠化面积占盐碱质荒漠化面积的 28.66%。可以看出，中国的重度荒漠化以沙质荒漠化为主，水蚀荒漠化次之，盐碱质荒漠化面积较小。沙质荒漠化、水蚀荒漠化与盐碱质荒漠化面积分别为  $58.71 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $45.58 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $24.76 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，分别占国土面积的 6.12%、4.75%和 2.58%。沙漠面积  $47.01 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占中国国土面积的 4.90%，分布于新疆、甘肃、青海、宁夏与内蒙古 5 个省及自治区，其中，新疆、内蒙古是中国沙漠分布的主要省份。砾漠面积  $58.91 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占中国国土面积的 6.14%，分布于新疆、甘肃、西藏、青海、宁夏、内蒙古等 8 个省市（自治区），按其成因与地面组成物质，划分为两大类型：碎屑石质砾漠与砂砾石砾漠。

表2 2017年中国荒漠、荒漠化土地类型面积统计结果  
Tab. 2 Statistics of the deserts and desertified land types in China in 2017

类型	沙质荒漠化土地			水蚀荒漠化土地			盐碱质荒漠化土地			沙漠	砾漠
	重度	中度	轻度	重度	中度	轻度	重度	中度	轻度		
面积/ $10^4 \text{ km}^2$	14.29	25.34	19.09	3.82	16.83	24.93	7.07	7.21	10.48	47.01	58.91
面积统计/ $10^4 \text{ km}^2$		58.71			45.58			24.76			
占国土面积百分比/%		6.12			4.75			2.58		4.90	6.14



### 3.2 1975–2000 年与 2000–2017 年动态变化对比及发展趋势

2000–2017 年与 1975–2000 年相比,呈现加重区减小与减弱区增大,荒漠化强度明显减弱,长江以南减弱程度明显高于长江以北地区。沙质荒漠化总体呈现加重区减少与减弱区增大,加重区明显减少区域主要位于青藏高原、塔里木盆地、毛乌素沙地、河西走廊、科尔沁沙地、乌珠穆沁沙地及以北地区、呼伦贝尔沙地,其中,塔里木盆地南缘及西北部、毛乌素沙地与科尔沁沙地减少幅度最大,但浑善达克沙地、松嫩沙地与阿拉善高原一带呈现加重区面积增大现象。水蚀荒漠化总体呈现加重区减小与减弱区增大。加重区明显减少区域主要位于秦岭、大巴山、燕山、太行山、黄土高原的陇东塬区及云贵高原的大部,但黄土高原晋陕峡谷的西北部、南岭、云贵高原的湖南西部、重庆与贵州接壤地区与贵州的东南部呈现加重区面积增大现象。盐碱质荒漠化总体呈现加重区减小与减弱区增大。加重区明显减少区域主要位于塔里木盆地、河西走廊、松嫩平原、海河平原、青藏高原,但准噶尔盆地、辽西平原的西北部呈现加重区增大现象。

### 3.3 荒漠、荒漠化地质环境分区

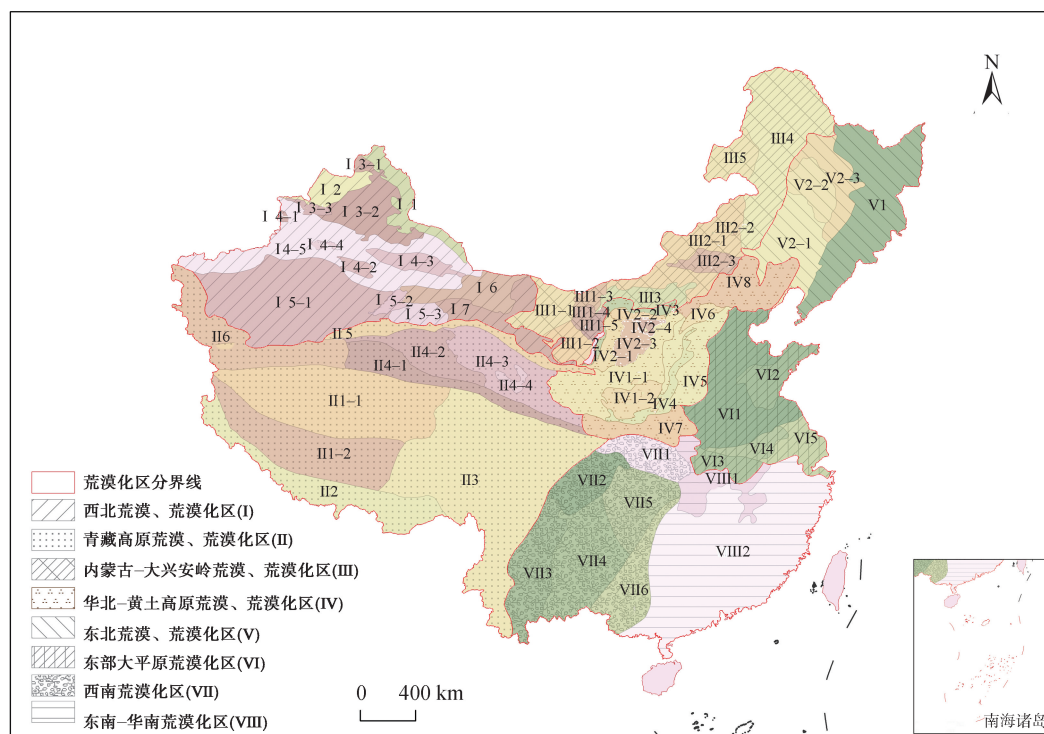
本文以地质的区别为划分基础,结合荒漠、荒漠化划分原则,将中国划分为 8 个荒漠、荒漠化区,42 个荒漠、荒漠化亚区和 36 个荒漠、荒漠化小区(图 1),分区对比以及不同区域荒漠化成因等具体见表 3。

### 3.4 荒漠化演化的主要特征

#### 3.4.1 不同荒漠化区荒漠化的演化类型

1975–2017 年,西北荒漠、荒漠化区,东南、华南荒漠化区以减少为主,其中西北荒漠、荒漠化区面积增长幅度在 $-30\%\sim 5\%$ 之间,东南、华南荒漠化区面积增长幅度在 $-30\%$ 以下;内蒙古–大兴安岭荒漠、荒漠化区东部面积增长幅度在 $30\%$ 以上、中部荒漠化面积增幅在 $-30\%\sim -10\%$ 之间、西北基本稳定,面积增幅在 $-5\%\sim 5\%$ 之间;青藏高原荒漠、荒漠化区,华北–黄土高原荒漠、荒漠化区与东部大平原荒漠化区以稳定为主,荒漠化面积增幅多在 $-5\%\sim 5\%$ 之间;但西南荒漠化区北部荒漠化快速减少,面积增幅在 $-30\%$ 以下,南部则缓慢发展,面积增幅最高达到 $10\%$ (图 2)。

1975–2000 年,西北荒漠、荒漠化区北部以减少为主,面积增长幅度在 $-30\%\sim -10\%$ 之间;南部则以增加为主,面积增长幅度在 $10\%\sim 30\%$ 之间;青藏高原



注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作,底图无修改。

图1 2017年中国荒漠化分区

Fig. 1 Zonation map of China's desertification in 2017

2000-2017年,西北荒漠、荒漠化区荒漠化面积减少,增幅大多在-5%以下;青藏高原荒漠、荒漠化区基本稳定;内蒙古-大兴安岭荒漠、荒漠化区东部

**Tab. 3 Zonation of China's deserts and desertification regions**

荒漠、荒漠化区	荒漠、荒漠化亚区	荒漠、荒漠化小区
西北荒漠、荒漠化区(Ⅰ)(地貌主要受古生代-中生代的大地构造控制,形成山岭与盆地的组合体,第四纪以来气候的冷暖波动与日趋干旱,决定了第四纪沉积物的岩性组合与成因类型,形成了中国沙漠、砾漠、盐碱质荒漠化与沙质荒漠化分布最为广泛的地区)	阿尔泰山荒漠、荒漠化亚区(Ⅰ1) 准噶尔西部山地荒漠亚区(Ⅰ2) 准噶尔盆地荒漠、荒漠化亚区(Ⅰ3)   天山荒漠、荒漠化亚区(Ⅰ4)   塔里木盆地荒漠、荒漠化亚区(Ⅰ5)   北山荒漠亚区(Ⅰ6) 河西走廊荒漠、荒漠化亚区(Ⅰ7)	哈巴河荒漠、荒漠化小区(Ⅰ3-1) 古尔班通古特沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅰ3-2)   准噶尔盆地西南部荒漠、荒漠化小区(Ⅰ3-3) 伊犁盆地荒漠、荒漠化小区(Ⅰ4-1) 焉耆盆地荒漠、荒漠化小区(Ⅰ4-2) 吐哈盆地荒漠、荒漠化小区(Ⅰ4-3) 尤尔图斯盆地荒漠、荒漠化小区(Ⅰ4-4) 天山山地荒漠、荒漠化小区(Ⅰ4-5) 塔克拉玛干沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅰ5-1) 罗布泊冲湖积平原荒漠化荒漠、荒漠化小区(Ⅰ5-2) 库姆塔格沙漠及周缘荒漠、荒漠化亚区(Ⅰ5-3)
青藏高原荒漠、荒漠化区(Ⅱ)(青藏高原海拔平均4500米以上,总的地势是西北高、东南低,以低山、丘陵、宽谷、盆地组成平坦、开阔的高原面,纵横伸展着巨大山系,构成高原地貌的格架,现代冰川十分发育,分为6个亚区,是中国沙质荒漠化、砾漠、盐碱质荒漠化分布的主要地区之一)	藏北高原荒漠、荒漠化亚区(Ⅱ1)  藏南高原荒漠、荒漠化亚区(Ⅱ2) 藏东-滇西荒漠、荒漠化亚区(Ⅱ3) 青海荒漠、荒漠化亚区(Ⅱ4)   阿尔金山、祁连山荒漠、荒漠化亚区(Ⅱ5) 昆仑山荒漠、荒漠化亚区(Ⅱ6)	藏北高原北部荒漠、荒漠化小区(Ⅱ1-1) 藏北高原南部荒漠、荒漠化小区(Ⅱ1-2)   唐古拉山荒漠、荒漠化小区(Ⅱ4-1) 柴达木盆地荒漠、荒漠化小区(Ⅱ4-2) 哈拉湖-大板山荒漠、荒漠化小区(Ⅱ4-3) 共和、青海湖盆地荒漠、荒漠化小区(Ⅱ4-4)
内蒙古-大兴安岭荒漠、荒漠化区(Ⅲ)(内蒙古-大兴安岭荒漠、荒漠化区分为5个亚区,大部海拔在1000米至1500米,局部可达2000米,是中国沙质荒漠化、沙漠分布最为广泛的地区。第四纪地层主要由更新统冲洪积、洪积物和全新统风积层、湖积层、冲洪积层组成)	阿拉善高原荒漠、荒漠化亚区(Ⅲ1)   内蒙古东部高原荒漠、荒漠化亚区(Ⅲ2)   阴山荒漠、荒漠化亚区(Ⅲ3) 大兴安岭荒漠化亚区(Ⅲ4) 海拉尔盆地荒漠化亚区(Ⅲ5)	巴丹吉林沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅲ1-1) 腾格里沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅲ1-2) 海里与博格台沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅲ1-3) 乌兰布和沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅲ1-4) 亚玛雷克沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅲ1-5) 内蒙古波状高原荒漠、荒漠化小区(Ⅲ2-1) 乌珠穆沁沙地荒漠化小区(Ⅲ2-2) 浑善达克沙地荒漠化小区(Ⅲ2-3)

续表3

荒漠、荒漠化区	荒漠、荒漠化亚区	荒漠、荒漠化小区
华北-黄土高原荒漠、荒漠化区(Ⅳ) (华北-黄土高原荒漠、荒漠化区位于中国地势的第二阶梯中部,黄土高原荒漠、荒漠化亚区第四系自下更新统至上更新统分别堆积了午城黄土、离石黄土与马兰黄土,是中国水蚀荒漠化最为严重的地区。根据黄土侵蚀地貌组合,可划分为两大地区,一类是黄土高原沟壑区,另一类是黄土丘陵沟壑区,分布极为广泛)	黄土高原荒漠、荒漠化亚区(Ⅳ1) 鄂尔多斯高原荒漠、荒漠化亚区(Ⅳ2) 银川-河套平原荒漠、荒漠化亚区(Ⅳ3) 汾渭盆地荒漠化亚区(Ⅳ4) 吕梁山-太行山荒漠化亚区(Ⅳ5) 大同-阳原盆地荒漠化亚区(Ⅳ6) 秦岭山地荒漠化亚区(Ⅳ7) 燕山荒漠化亚区(Ⅳ8)	黄土高原沟壑荒漠化小区(Ⅳ1-1) 黄土丘陵沟壑荒漠化小区(Ⅳ1-2) 宁夏河东高原荒漠化小区(Ⅳ2-1) 库布齐沙漠及周缘荒漠、荒漠化小区(Ⅳ2-2) 毛乌素沙地荒漠化小区(Ⅳ2-3) 鄂尔多斯高原东部荒漠化小区(Ⅳ2-4)
东北荒漠化区(Ⅴ)(是中国沙质荒漠化与盐碱质荒漠化较为严重的地区,在小兴安岭有冲积层发育;长白山以冰碛物堆积为主,全新统由冲积层发育;三江平原第四系分布广泛,厚度大,以冲积、湖积为主)	小兴安岭、长白山、三江平原荒漠化亚区(Ⅴ1) 松辽平原荒漠化亚区(Ⅴ2)	科尔沁沙地及周边荒漠化小区(Ⅴ2-1) 松嫩沙地及周边荒漠化小区(Ⅴ2-2) 松辽平原东北部荒漠化小区(Ⅴ2-3)
东部大平原荒漠化区(Ⅵ) (是中国受盐碱质荒漠化影响较大的地区,同时有部分沙质荒漠化土地分布。黄淮海平原荒漠化亚区第四系极为发育)	黄淮海平原荒漠化亚区(Ⅵ1) 胶东半岛荒漠化亚区(Ⅵ2) 江淮、苏北丘陵南部荒漠化亚区(Ⅵ3) 江淮、苏北丘陵北部荒漠化亚区(Ⅵ4) 长江下游平原荒漠化亚区(Ⅵ5)	
西南荒漠化区(Ⅶ) (位于中国地势第二阶梯的南部,除四川盆地的川西平原外,大部分地区基岩裸露,第四系主要堆积于小的山间盆地或河流两侧的阶地,分为6个亚区。由于地处特殊的地质地貌,以及人口密度较大,因此,是中国南方水蚀荒漠化最严重的地区)	米仓山-大巴山荒漠化亚区(Ⅶ1) 四川盆地荒漠化亚区(Ⅶ2) 滇中-川南荒漠化亚区(Ⅶ3) 滇东-黔西荒漠化亚区(Ⅶ4) 川东南-黔东南荒漠化亚区(Ⅶ5) 广西荒漠化亚区(Ⅶ6)	
东南-华南荒漠化区(Ⅷ) (大部分地区为低山丘陵,其间有汉江平原、鄱阳湖平原、洞庭湖平原,以及珠江三角洲。分为2个亚区,荒漠化类型有沙质荒漠化、水蚀荒漠化与盐碱质荒漠化,但荒漠化程度较轻)	长江中下游荒漠化亚区(Ⅷ1) 东南-华南沿海平原及丘陵荒漠化亚区(Ⅷ2)	

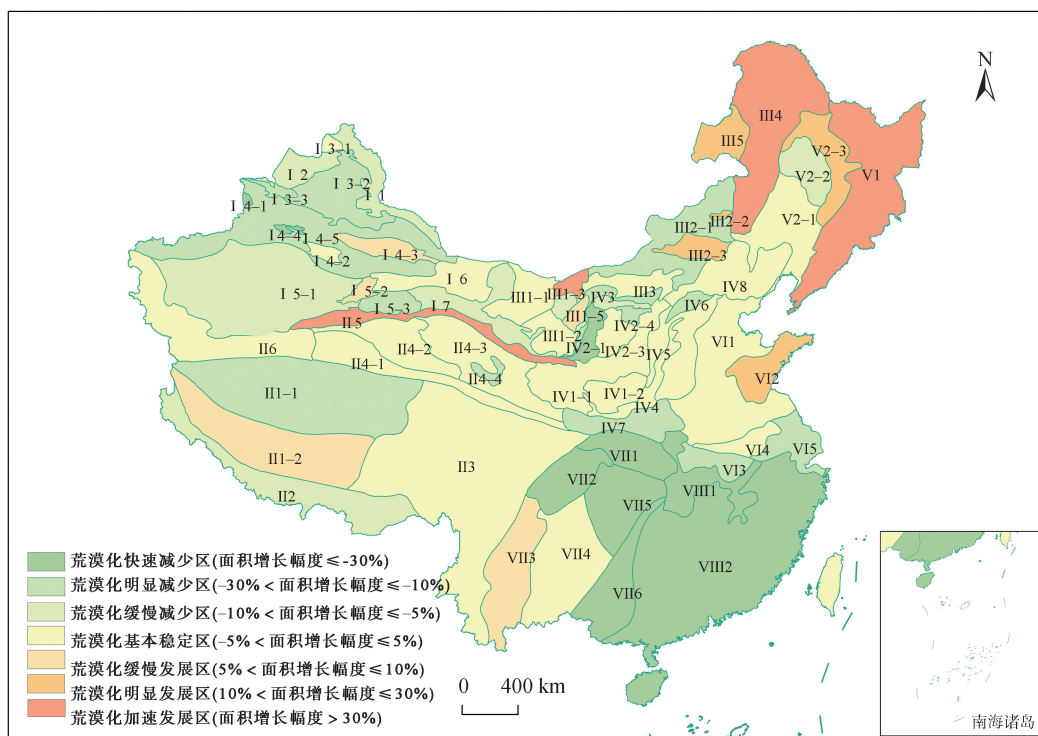
增加幅度在30%以上,西部面积减少,增幅多在-30%~-10%之间;华北-黄土高原荒漠、荒漠化区基本稳定;东北荒漠化区局部荒漠化面积减小,但大部分区域荒漠化面积增加30%以上,;东部大平原荒漠化区以稳定为主;西南荒漠化区和东南-华南荒漠化区均以减少为主,面积增幅大部分在-10%以下(图4)。

### 3.4.2 不同荒漠化区的重心迁移

1975-2000年与2000-2017年,各区内荒漠化重心点坐标迁移具有同向性。西北荒漠、荒漠化区

(Ⅰ)重心点位于塔里木河东岸,逐渐向东南方向迁移,说明北疆准噶尔盆地地区的荒漠化面积呈减少趋势,与中国行政单元荒漠化土地重心迁移规律一致;青藏高原荒漠、荒漠化区(Ⅱ)、东北荒漠、荒漠化区(Ⅴ)和西南荒漠化区(Ⅶ)荒漠化重心点均向西南方向迁移;内蒙古-大兴安岭荒漠、荒漠化区(Ⅲ)、华北-黄土高原荒漠、荒漠化区(Ⅳ)和东南-华南荒漠化区(Ⅷ)荒漠化重心则向东北方向移动;东部大平原荒漠化区(Ⅵ)荒漠化重心则向西北方向迁移(图5)。

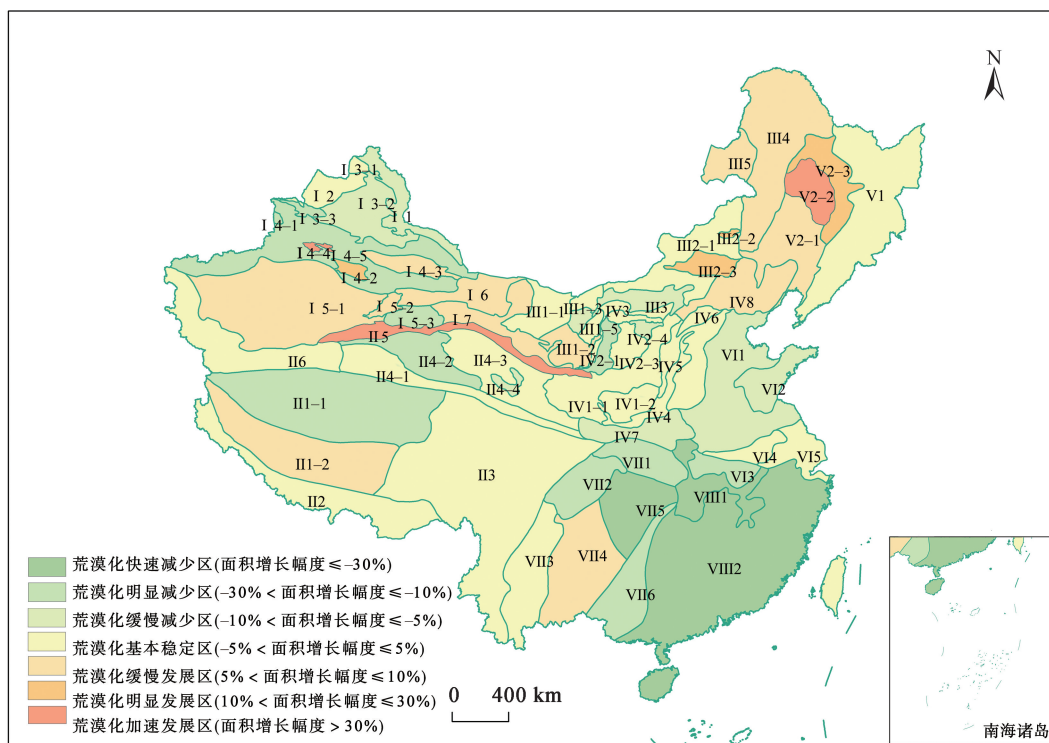




注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作,底图无修改。

图2 1975-2017年中国荒漠化演化(基于荒漠化分区)

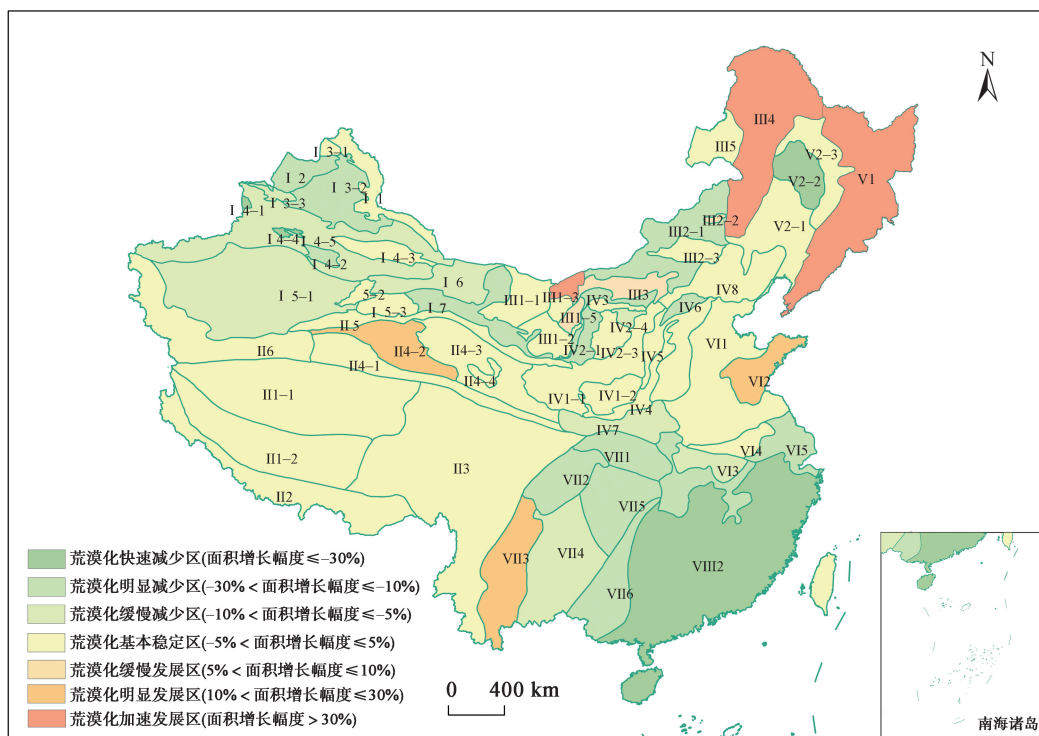
Fig. 2 Evolution pattern of China's desertification during 1975-2017 (based on the zonation)



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作,底图无修改。

图3 1975-2000年中国荒漠化演化(基于荒漠化分区)

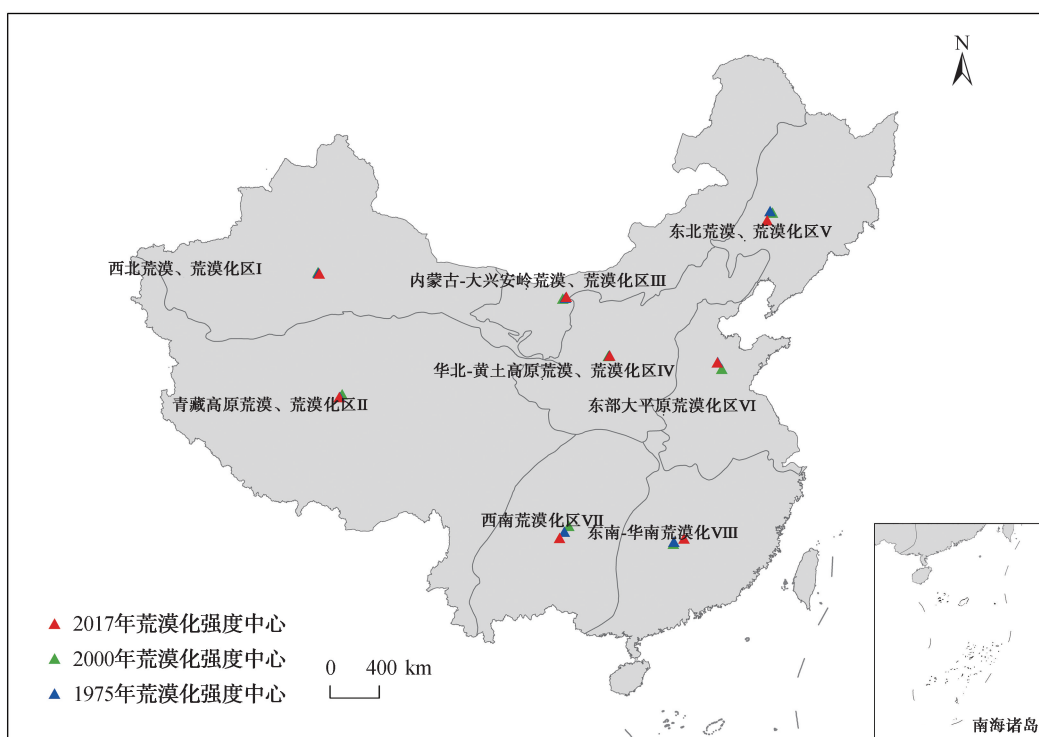
Fig. 3 Evolution pattern of China's desertification during 1975-2000 (based on the zonation)



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作,底图无修改。

图4 2000-2017年中国荒漠化演化(基于荒漠化分区)

Fig. 4 Evolution pattern of China's desertification during 2000-2017 (based on the zonation)



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作,底图无修改。

图5 1975-2017年中国荒漠化土地重心迁移(基于荒漠化分区)

Fig. 5 Gravity center movements of China's desertification zones during 1975-2017 (based on the zonation)

荒漠化重心迁移量数值大小可以间接反映荒漠化的动态变化发展趋势和变迁程度,迁移量越大,说明该区域荒漠化变化差异显著,重心迁移方向为荒漠化面积增长的区域,反向则为荒漠化面积减少区,同时也直接反映了生态环境状况的改变,具有宏观指导性。从荒漠化重心空间位置前移量来看,西南荒漠化区(Ⅶ)和东南-华南荒漠化区(Ⅷ)迁移量最大,分别为 95.88 km 和 75.39 km;东北荒漠、荒漠化区(Ⅴ)和东部大平原荒漠化区(Ⅵ)迁移量较大,为 58.45 km 和 49.78 km;青藏高原荒漠、荒漠化区(Ⅱ)、内蒙古-大兴安岭荒漠、荒漠化区(Ⅲ)和西北荒漠、荒漠化区(Ⅰ)次之;华北-黄土高原荒漠、荒漠化区(Ⅳ)重心迁移量最小,为 7.37 km,说明 32 年来,该区荒漠化面积变化幅度最小,生态环境变化较为稳定(表 4)。

4 讨论与结论

4.1 讨论

目标区选择的依据以 1975-2000 年、2000-2017 年荒漠化动态变化分析成果,以及荒漠化分区与演化研究结果为基础,以荒漠化现状、荒漠化变化类型和危害程度等位主要指标,目前荒漠化程度高的地区,是指 2017 年荒漠化类型以重度为主的地区;荒漠化危害程度高的地区,是指对耕地、草地、城镇及公路、铁路等危害大的荒漠化区;2000-2017 年荒漠化加重区面积大的地区,是指 2000-2017 年荒漠化变化类型主要为加重区的荒漠化区;2000-2017 年荒漠化加重区与减弱区之比大于 1975-2000 年的地区,特别是 1975-2000 年荒漠化程度降低,而 2000-2017 年荒漠化程度增高的地区。

荒漠化重点治理区的主要特征根据确定的中国荒漠化重点治理区选择的依据,确定的中国目前重点荒漠化治理区有科尔沁沙地、松嫩沙地、浑善达克沙地、小兴安岭东麓、阿拉善高原、黄土高原晋

陕峡谷的西北部,南岭东部,云贵高原东北部,准噶尔盆地、塔里木盆地北缘东段、青藏高原措勒-尼玛区等十一个重点荒漠化治理区(图 6)。

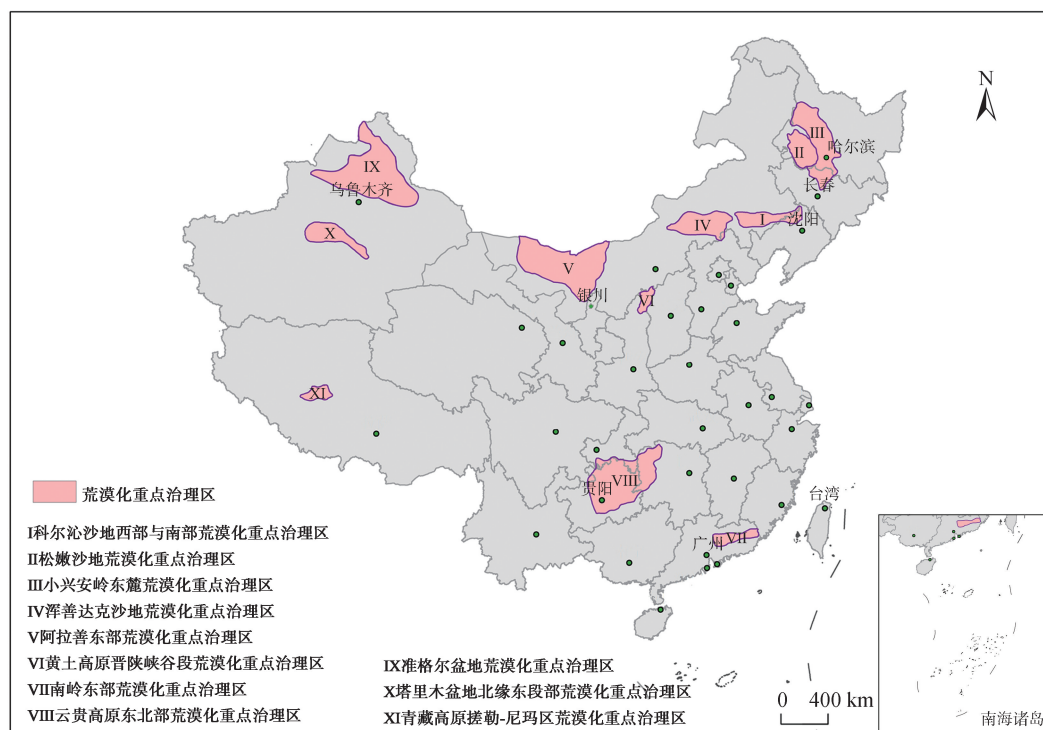
科尔沁沙地西部与南部主要表现为沙质荒漠化程度高,且 2000-2017 年较 1975-2000 年加重区与减弱区之比明显较大,沿东南向具有明显扩展特征;松嫩沙地主要表现为 2000-2017 年较 1975-2000 年加重区与减弱区之比明显增大,沙丘出现明显活化特征;小兴安岭东麓主要表现为水蚀荒漠化程度高,且 2000-2017 年较 1975-2000 年加重区明显增加,黑土出现加速退化特征;浑善达克沙地主要表现为沙质荒漠化程度高,且 2000-2017 年较 1975-2000 年加重区与减弱区之比明显增大,南部沙质荒漠化程度出现小面积降低的同时,北部沙质荒漠化程度出现大面积增强,对京津地区的沙城提起可能会产生较大影响;阿拉善高原西部主要表现为沙质荒漠化程度高,且 2000-2017 年较 1975-2000 年加重区与减弱区之比明显增大,对草原的危害增大;黄土高原晋陕峡谷段西北部主要表现为沙质与水蚀荒漠化程度高,由于煤炭资源的开发,呈现由 1975-2000 年的荒漠化程度减弱变为 2000-2017 年增强,对煤炭资源开发及农牧业的发展有明显的影

表 4 1975-2017 年中国荒漠化区重心迁移轨迹

Tab. 4 Movement trajectories of the gravity centers of China's different desertification zones during 1975-2017

荒漠化区	荒漠化重心 迁移方向	荒漠化重心 迁移量/km	荒漠化区	荒漠化重心 迁移方向	荒漠化重心 迁移量/km
西北荒漠、荒漠化区(Ⅰ)	东南	12.53	东北荒漠、荒漠化区(Ⅴ)	西南	58.45
青藏高原荒漠、荒漠化区(Ⅱ)	西南	26.01	东部大平原荒漠化区(Ⅵ)	西北	49.78
内蒙古-大兴安岭荒漠、荒漠化区(Ⅲ)	东北	25.84	西南荒漠化区(Ⅶ)	西南	95.88
华北-黄土高原荒漠、荒漠化区(Ⅳ)	东北	7.37	东南-华南荒漠化区(Ⅷ)	东北	75.39





注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作，底图无修改。

图6 2017年中国荒漠化重点治理区分布

Fig. 6 Map of key areas for the desertification management of China in 2017

1975–2000年沙质加重区与减弱区之比明显增大，对草原的危害较大。

## 4.2 结论

荒漠化在国际社会上被广泛关注，各个国家均对荒漠化防治工作高度重视，许多学者也对此进行了大量的研究。以往的荒漠化研究多是基于地面调查的荒漠化监测，例如根据气候、土壤、植被、风沙地貌面积比例、植被盖度、沙土含水量、沙土有机质含量等指标进行监测。而基于遥感技术的荒漠化监测尚在发展阶段，当前通过选取合适的指标建立荒漠化监测体系的研究已成为热点并且取得了部分成果，但仍然存在一些问题亟待解决，例如对荒漠化类型的详细区分以及对荒漠化影响的评估等。本研究通过遥感手段明晰中国荒漠化土地的基本情况，以荒漠化土地分布与形成、演化机制分析为依据，通过对不同荒漠化区的面积百分比变化等指标对比，得到不同时期荒漠化时空演变图，进而分析演化特征及差异性。利用1975–2000年和2000–2017年荒漠化的时空演化研究成果，进行了荒漠化治理效果评价，在此基础上结合演化机制分析结果，探讨荒漠化防治的可行性。本文通过全面

客观地分析荒漠化特征、现状、演化过程等，可为评估荒漠化影响和响应提供有效的科学参考。研究的主要结论包括：

(1) 中国荒漠化强度较大，重度荒漠化面积  $25.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占荒漠化总面积的19.59%。其中，重度沙质荒漠化面积  $14.29 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占沙质荒漠化土地总面积的24.33%；重度水蚀面积  $3.82 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占水蚀荒漠化面积的8.46%；重度盐碱质荒漠化面积  $7.07 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占盐碱质荒漠化面积的28.66%。

(2) 1975–2017年，荒漠化明显逆转，但1975–2000年与2000–2017年荒漠化动态变化特征具有不一致性，1975–2000年荒漠化呈发展状态，而2000–2017年荒漠化呈逆转状态。

(3) 根据荒漠、荒漠化划分原则，将中国划分为8个荒漠化、荒漠化区，42个荒漠化、荒漠化亚区和36个荒漠化、荒漠化小区。1975–2000年与2000–2017年，各区内荒漠化重心点坐标迁移具有同向性。

## 参考文献(References):

- [1] 李清河, 孙保平. 荒漠化动态监测与评价研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 67–73. [Li Q H, Sun B P. Research advances of the dynamic monitoring and assess-

- ment of desertification[J]. Journal of BeiJing Forestry University, 1998,20(3):67-73. ]
- [ 2 ] 慈龙骏.我国荒漠化发生机理与防治对策[J].第四纪研究,1998,18(2):97-107. [ Ci L J. Mechanism of desertification and sustainable strategies to combat desertification in China[J]. Quaternary Sciences, 1998,18(2):97-107. ]
- [ 3 ] 丁国栋.区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究——以毛乌素沙区为例[J].水土保持学报,2004,18(1):158-160. [ Ding G D. Study on indicative feature and cover classification of vegetation in regional desertification assessment: Taking Mu Us sand land as an example [J]. Journal of Soil and Water Conserv ation, 2004,18(1): 158-160. ]
- [ 4 ] 卢琦,郭剑亮.荒漠化监测评价的标准与指标体系[J].世界林业研究,1999,12(2):44-49. [ Lu Q, Guo J L. Criterion and indicators for desertification monitoring and evaluation [J] World Forestry Research, 1999,12(2):44-49. ]
- [ 5 ] 张钦仁,张玉峰,柴秀梅,等.人类活动对我国西北地区沙质荒漠化影响与对策研究[J].中国沙漠,2010,30(2):228-234. [ Zhang T R, Zhang Y F, Chai X M, et al. Impact of human activities on sandy desertification of northwestern China and countermeasures analysis[J]. Journal of Desert Research, 2010,30(2):228-234. ]
- [ 6 ] 朱震达.中国的脆弱生态带与土地荒漠化[J].中国沙漠,1991(4):15-26. [ Zhu Z D. Fragile ecological zones and land desertification in China[J]. Journal of Desert Research, 1991(4):15-26. ]
- [ 7 ] 于淑萍.土地荒漠化的成因、危害及防治对策[J].环境科学与管理,2006(1):16-17. [ Yu S P. Causes, harm of terrain desertification and the policy of restoration[J]. Environmental Science and Management, 2006(1):16-17. ]
- [ 8 ] 白蓉.我国新疆地区荒漠化现状、成因及对策的研究[J].中国林业经济,2017(2):81-82. [ Bai R. Study on the present situation, causes and countermeasures of desertification in Xinjiang[J]. China Forestry Economics, 2017(2): 81-82. ]
- [ 9 ] 胡光印,董治宝,逯军峰,等.近30年来长江源区沙漠化时空演变过程及成因分析[J].干旱区地理,2011,34(2):300-308. [ Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, et al. Land desertification monitoring in the source region of Yangtze River from 1975 to 2005 and the analysis of its causes[J]. Arid Land Geography, 2011,34(2):300-308. ]
- [ 10 ] 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. [ Li B L, Zhou C H. Sandy desertification in west of northeast China plain in the past 10 years[J]. Acta Geographica Sinica. 2001,56(3): 307-315. ]
- [ 11 ] 王涛,吴薇,王熙章.沙质荒漠化的遥感监测与评价——以中国北方沙质荒漠化区内的实践为例[J].第四纪研究,1998(2):108-118. [ Wang T, Wu W, Wang X Z. Remote sensing monitoring and assessing sandy desertification:an example from the sandy desertification region of northern China[J]. Quaternary Sciences, 1998(2):108-118. ]
- [ 12 ] 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(z1):18-20. [ Zhang W P, Jiang D W, Huang S C. A study of the method for remote sensing information extraction of water erosion desertification[J]. Remote Sensing for Land and Resource, 2010, (z1):18-20. ]
- [ 13 ] 周忠学,孙虎,李智佩.黄土高原水蚀荒漠化发生特点及其防治模式[J].干旱区研究,2005,22(1):29-34. [ Zhou Z X, Sun H, Li Z P. Study on mechanism of water-eroded desertification and its control in the Loess Plateau[J]. Arid Zone Research, 2005,22(1):29-34. ]
- [ 14 ] 谭克龙,王晓峰,高会军,等.塔里木河流域综合治理生态要素变化的遥感分析[J].地球信息科学学报,2013,15(4):604-610. [ Tan K L, Wang X F, Gao H J, et al. Analysis of ecological elements of comprehensive harnessing in Tarim river basin using remote sensing[J]. Journal of Geo-Information Science, 2013,15(4): 604-610. ]
- [ 15 ] 李欢,武丹,姚建华.甘肃河西走廊草地沙质荒漠化监测与治理对策[J].中国资源综合利用,2017,35(11):96-98. [ Li H, Wu D, Yao J H. Monitoring and harnessing countermeasures of sandy desertification in Hexi corridor of Gansu[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2017,35(11):96-98. ]
- [ 16 ] 王葆芳,刘星晨,王君厚,等.沙质荒漠化土地评价指标体系研究[J].干旱区资源与环境,2004,4:23-28. [ Wang B F, Liu X C, Wang J H, et al. Study on monitoring and assessment indicator systems of sandy desertification in China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004,4:23-28. ]
- [ 17 ] 史青云,赵志芳,宋坤,等.基于RS和GIS的滇池流域水蚀荒漠化动态监测[J].国土资源遥感,2017(S1):101-105. [ Shi Q Y, Zhao Z F, Song K, et al. Dynamic monitoring of water erosion desertification in Dianchi watershed based on RS and GIS[J]. Remote Sensing for Land and Resource, 2017(S1):101-105. ]
- [ 18 ] 黄树春,赵帅军,杨玲,等.从基础地质角度研究洞庭湖流域水蚀荒漠化状况及成因[J].长春工程学院学报(自然科学版),2015,16(3):79-83. [ Huang S C, Zhao S, Yang L, et al. A study on water-eroded desertification status and causes of the Dongting lake from the perspective of elementary geology[J]. Journal of Changchun Institute of Technology(Nature Sciences Edition), 2015,16(3):79-83. ]

- [19] 邵婷婷,姜琦刚.通榆县2000–2014年沙质及盐碱质荒漠化监测[J].世界地质,2018,37(1):296-301. [ Shao T T, Jiang Q G. Monitoring of sandy and saline-alkali desertification in Tongyu County during 2000–2014, *Global Geology*, 2018,37(1):296-301. ]
- [20] 卞建民,林年丰,汤洁.土地盐碱荒漠化预警理论及实证研究[J].农业环境科学学报,2003(2):207-209. [ Bian J M, Lin N F, Tang J. Precaution theory and study on alkaline desertification of soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003(2):207-209. ]
- [21] Reynolds J F, Grainger A, Smith D M S, et al. Scientific concepts for an integrated analysis of desertification processes. *Land Degrad Dev*[J]. *Land Degradation & Development*, 2011,22(2):166-183.
- [22] 刘连友,刘志民,王建华,等.雅鲁藏布江江当宽谷地区沙源物质与现代沙漠化过程[J].中国沙漠,1997,17(4):377-382. [ Liu L Y, Liu Z M, Wang J H, et al. Sand source of sand dune and modern desertification process in Jiandang wide valley area of Yarlung Zangbo River[J]. *Journal of Desert Research*, 1997,17(4):377-382. ]
- [23] 林年丰,汤洁.松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析[J].第四纪研究,2005,25(4):72-81. [ Lin N F, Tang J. Study on the environment evolution and the analysis of causes to land salinization and desertification in Songnen Plain[J]. *Quaternary Sciences*, 2005,25(4):72-81. ]
- [24] 李森,董玉祥,董光荣,等.青藏高原土地沙漠化区划[J].中国沙漠,2001(4):103-112. [ Li S, Dong Y X, Dong G R, et al. Regionalization of land desertification on Qinghai - Tibet Plateau[J]. *Journal of Desert Research*, 2001(4):103-112. ]
- [25] 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. [ Zhu Z D. Concept, cause and control of desertification of China[J]. *Quaternary Sciences*, 1998(2):145-155. ]
- [26] Reining P. Handbook on desertification indicators[P]. Handbook on Desertification Indicators, 1978.
- [27] Dregne H E, Boyadgiev T G, Rome L, et al. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification[J]. *Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification*, 1983,73:XF2006240997.
- [28] 高尚武,王葆芳,朱灵益.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. [ Gao S W, Wang B F, Zhu L Y. Monitoring and evaluation indicator system on sandy desertification of China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998,34(2):1-10. ]
- [29] Kairis O, Kosmas C, Karavitis C, 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(5):971.
- [30] 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. [ Han L Y, Wan X, Fang F, et al. Desertification assessments of Hexi regions in Gansu province by remote sensing[J]. *Arid Zone Geography*, 2013,36(1):131-138. ]
- [31] 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. [ Cui Y P, Liu T, Zhao Z P, et al. Using multi-spectral remote sensing data to extract and analyze the vegetation change of the western gurbantunggut desert[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2011,13(3):305-312. ]
- [32] 周振超,李贺,黄翀,等.红树林遥感动态监测研究进展[J].地球信息科学学报,2018,20(11):1631-1643. [ Zhou Z C, Li H, Huang C, et al. Review on dynamic monitoring of mangrove forestry using remote sensing[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2018,20(11):1631-1643. ]