#### DOI: 10.5846/stxb201909031825

杨艳芬,王兵,王国梁,李宗善.黄土高原生态分区及概况.生态学报,2019,39(20): - . Yang Y F, Wang B, Wang G L, Li Z S. Ecological regionalization and overview of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20): - .

# 黄土高原生态分区及概况

# 杨艳芬1,王 兵1,\*,王国梁1,李宗善2

1 西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,杨凌 712100 2 中国科学院生态环境研究中心,北京 100085

摘要:黄土高原地域广阔,水土流失区域差异显著。为了有效治理水土流失,评估水土流失治理技术和模式及生态恢复建设工程的成效性,需要对黄土高原进行区域划分。依据自然条件、水土流失治理技术和模式的区域性特征及差异,基于国家基础地理信息系统数据的县级行政界,对其进行合并,进行生态分区的划分,并分别统计其气候、地形地貌、植被特征及水土流失现状,以期为黄土高原水土流失治理技术和模式的改良优化提供依据。主要结论如下:(1)黄土高原分为黄土高塬沟壑区,黄土丘陵沟壑区,沙地和农灌区,土石山区及河谷平原区。其中黄土高塬沟壑区和黄土丘陵沟壑区分别划分为两个副区。(2)黄土高原的气候、植被、水土流失具有明显的分区差异。降水和植被覆盖度自东南向西北递减,二者在空间分布上具有很好的一致性,降水量大的分区,植被覆盖度也高。在年际变化方面,丘陵沟壑区 B2 副区降水量呈增加趋势,其他分区呈减小趋势,变化均不显著。80 年代以来,黄土高原和各生态分区的植被覆盖度均逐渐增加,黄土丘陵沟壑区的增加量最大。各分区的气温均呈非显著增加趋势,90 年代以来增温明显。(3)1970 年以来,黄土高原侵蚀产沙强度减弱趋势显著,至 2002—2015 年,多年平均输沙模数在 0.13—3924 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,侵蚀强度最大为中度侵蚀(2500—5000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>),但面积较小,主要分布于第二高塬沟壑区的泾河流域。

关键词:黄土高原;生态分区;气候;地形;植被;水土流失

# Ecological regionalization and overview of the Loess Plateau

YANG Yanfen<sup>1</sup>, WANG Bing<sup>1,\*</sup>, WANG Guoliang<sup>1</sup>, LI Zongshan<sup>2</sup>

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract**: The Loess Plateau covers a wide area where soil erosion is significantly different from region to region. To effectively control soil erosion and evaluate the effectiveness of soil erosion control technology, mode, and ecological restoration construction project, it is necessary to divide the Loess Plateau into several ecological regions. Given the regional characteristics and differences in the natural conditions of soil erosion control techniques and models, this study used the data in the National Fundamental Geographic Information System as references and re-divided the County boundary for appropriate ecological regionalization. The zonal characteristics of climate, topography, vegetation, and soil erosion status were analyzed to provide references for the improvement and optimization of soil erosion control technology and modes. The major findings are as follows. (1) The Loess Plateau was divided into five regions, namely, loess sorghum gully region, loess hilly and gully region, sandy land and agricultural irrigation region, earth-rocky mountainous region, and river valley plain region. The loess sorghum gully region and the loess hilly and gully region were then subdivided into two sub-regions. (2) The climate, vegetation, and soil erosion in the Loess Plateau showed clear regional differences. Precipitation and

基金项目:中国科学院科技服务网络计划(KFJ-STS-ZDTP-036)

收稿日期:2018-09-03; 修订日期:2019-10-09

<sup>\*</sup> 通讯作者 Corresponding author.E-mail: bwang@ms.iswc.ac.cn

vegetation coverage decreased from southeast to northwest and were consistent in spatial distribution; regions with high precipitation showed high vegetation coverage. In terms of interannual variation, precipitation in the B2 sub-region of the hilly and gully region tended to increase, while it tended to decrease in the other regions, but the changes were not significant. Since the 1980s, vegetation coverage of the Loess Plateau and its regions have been increasing gradually, the most significant increase lying in the loess hilly and gully region. The area-averaged temperature in each region showed a non-significant increase, and a clear temperature increase has occurred since the 1990s. (3) Since 1970, erosion intensity of the Loess Plateau has been remarkably weakened. The average sediment transport modulus ranged from 0.13 to 3924 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> until 2002 to 2015, and the maximum erosion intensity was moderate (2500—5000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), but the eroded area was small and lied in the Jinghe River basin, an area belonging to the B2 sub-region of the loess sorghum gully region.

Key Words: The Loess Plateau; ecological regionalization; climate; topography; vegetation; soil and water loss

黄土高原地域广阔,气候类型多样,自然地理条件复杂、空间组合变化明显,水土流失与治理模式区域差 异显著<sup>[1-2]</sup>。为了有效治理水土流失,因地制宜、科学化、区域化、具体化的配置治理方案与措施,需要对黄土 高原进行区域划分并分区提出防治对策<sup>[3-6]</sup>。黄秉维依据土壤侵蚀营力、类型、发展趋势及治理途径的区域 相似性和差异性,将黄土高原分为3个一级区(风蚀区、风蚀水蚀区、水蚀区),25个二级区,10个亚区<sup>[7]</sup>,奠 定了侵蚀分区研究的基础<sup>[4]</sup>。朱显谟基于生物气候特征和土地利用现状,将黄土高原划分为风沙草原地带、 草原地带、森林草原地带、森林地带,并进一步划分为25个区<sup>[8]</sup>。国家发展和改革委员会依据专题性分区、自 然条件和资源组合特征的相对一致性、综合治理措施的相对一致性、行政区界的相对完整性、综合治理方案实 施和监督管理的差异性、趋同性和类聚性等原则,将黄土高原划分为6个综合治理区,即黄土高塬沟壑区、黄 土丘陵沟壑区、土石山区、河谷平原区、沙地和沙漠区、农灌区<sup>[3]</sup>。考虑到黄土高原水土流失治理技术和模式 的区域性差异,本文在国家发改委分区的基础上,对上述6个分区进行合并和进一步划分,并探讨各分区的气 候、地形地貌、植被特征及水土流失现状,以期为黄土高原水土流失治理技术和模式的改良优化提供依据

#### 1 数据与方法

参照国家发改委的分区方法,依据自然条件、水土流失治理技术和模式的区域性特征及差异,在 ARCMAP界面中,基于国家基础地理信息系统数据的县级行政界,对其进行合并,进行生态分区的划分。

高程、坡度和坡长数据来自国家地球系统科学数据中心共享服务平台,数据分辨率均为90m。降水和气 温数据采用中国国家气象信息中心发布的CN05.1格点数据。该数据基于中国2416个气象站点,采用薄盘样 条法和角距权重法对实测逐日降水和气温数据进行插值。其空间分辨率为0.25°×0.25°,时间分辨率为日<sup>[9]</sup>。 植被数据采用 GIMMS 数据,空间分辨率为8 km,数据长度为1982—2015年,本研究采用最大合成法得到年 NDVI 数据。输沙量数据来自黄河流域和海河流域的水文年鉴,受序列长度所限,采用了黄土高原及其边界 附近2002—2015年247个水文站的输沙量数据。在生态分区的基础上,借助ARCMAP,对上述各要素进行分 区统计,探讨各要素的时空分布特征。

# 2 黄土高原生态分区及概况

#### 2.1 黄土高原生态分区

基于国家发改委的分区原则及方法,考虑了黄土高原水土流失治理技术和模式及生态恢复建设工程的区域性差异,通过分析和综合,本文将黄土高原划分为4个生态分区:(A)黄土高塬沟壑区,(B)黄土丘陵沟壑区,(C)沙地和农灌区,(D)土石山区及河谷平原区。其中黄土高塬沟壑区以六盘山为界,划分为A1和A2两个副区;黄土丘陵沟壑区以毛乌素沙漠南缘为界,划分为B1和B2两个副区,如图1所示。

黄土高塬沟壑区面积 21.8 km<sup>2</sup>,其中 A1 和 A2 副区面积分别为 12.4 km<sup>2</sup>和 9.4 km<sup>2</sup>,A1 副区包括甘肃、青

海、宁夏三省共51个县,A2 副区包括甘肃、陕西、宁夏 三省共41个县。黄土丘陵沟壑区面积12.9 km<sup>2</sup>,其中 B1和B2副区面积分别为5.5 km<sup>2</sup>和7.4 km<sup>2</sup>,B1副区包 括陕西、山西、内蒙三省共22个县,B2副区包括陕西和 山西两省共35个县。沙地和农灌区面积13.5 km<sup>2</sup>,包 括内蒙、宁夏两省共30个县。土石山区及河谷平原区 面积17.9 km<sup>2</sup>,包括内蒙、宁夏、陕西、河南四省共122 个县。

黄土高原地貌类型多样,由丘陵、高塬、阶地、平原、 沙漠、干旱草原、高地草原、土石山地等组成,其中山区、 丘陵区、高塬区占 2/3 以上<sup>[3]</sup>。

黄土高原高程落差较大,海拔在 85—5100 m 之间。 总的地势是西南高,东南低。黄土高塬沟壑区 A1 副区 地势最高,高程在 1186—5100 之间,均值为 2268 m;土 石山区及河谷平原区最低,在 85—3748 m 之间,均值为 1060 m;其他分区高程较为接近。坡度和坡长最大值分



图1 黄土高原生态分区

Fig.1 Ecological Regionalization of the Loess Plateau

A:黄土高塬沟壑区,A1:黄土高塬沟壑区 A1 副区,A2:黄土高塬 沟壑区 A2 副区,B:黄土丘陵沟壑区,B1:黄土丘陵沟壑区 B1 副 区,B2:黄土丘陵沟壑区 B2 副区,C:沙地和农灌区,D:土石山区及 河谷平原区

别在 77.4—87.3°之间和 1070—1860 m 之间。坡度和坡长也存在分区差异,且规律较为一致。都表现为黄土 高塬沟壑区坡度和坡长最大,丘陵沟壑区 B2 副区次之,坡度均值在 16.5—17.6°之间,坡长在 60.5—68.5 m 之 间。沙地及农灌区最小,坡度均值仅为 7.5°,坡长均值为 32.9 m。如图 2 和表 1 所示。



图 2 生态分区高程、坡度、坡长空间分布

Fig.2 Spatial pattern of elevation, slope and slope length for ecological regionalization

#### 2.2 降水和气温的时空分布

黄土高原位于我国东西部之间半湿润区向干旱区过渡地带<sup>[10]</sup>,降水地区分布很不平衡,总的趋势是由东 南向西北、由山地向平地递减<sup>[11-13]</sup>。降水量年际变化很大,丰水年和干旱年降水量相差 2—5 倍,干旱发生机 率高。降水年内分布很不均匀,且以暴雨形式为主<sup>[3]</sup>。

Table 1 Zonal statistics of elevation, slope and slope length									
<b><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u></b>	高程 Elevation/m			坡度 Slope/(°)			坡长 Slope length/m		
主动力区 Ecological regionalization	最小值	最大值	均值	最小值	最大值	均值	最小值	最大值	均值
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
黄土高塬沟壑区 A1 Loess sorghum gully region A1	1186	5100	2268	0.1	87.3	16.9	12.2	1376	68.4
黄土高塬沟壑区 A2 Loess sorghum gully region A2	329	2744	1328	0.1	82.5	17.6	12.2	1345	68.2
黄土丘陵沟壑区 B1 Loess hilly and gully region B1	718	2788	1290	0.1	77.4	13.1	11.6	1176	51.6
黄土丘陵沟壑区 B2 Loess hilly and gully region B2	377	2799	1240	0.1	79.3	16.5	12.0	1070	60.5
沙地及农灌区 C Sandy land and agricultural irrigation region C	979	3521	1292	0.1	81.0	7.5	11.5	1402	32.9
土石山区及河谷平原区 D Earth-rocky mountainous, and river valley plain region D	85	3748	1060	0.1	82.8	14.5	11.5	1860	55.9

表1 生态分区高程、坡度、坡长特征值统计

able 1 Zonal statistics of elevation, slope and slope length



图 3 生态分区不同年代降水量空间分布

Fig.3 Spatial pattern of precipitation for ecological regionalization in different decades

1961—2015年,黄土高原多年平均降水量为447 mm,具有很强的空间变异性,表现为从东南向西北递减的趋势。东南部的土石山区及河谷平原区、黄土高塬沟壑区 A2 副区、黄土丘陵沟壑区 B2 副区的多年平均降水量高于黄土高原平均水平。沙地及农灌区降水量最小,仅有266 mm。如图3 所示。

不同年代面均降水量显示(表 2),黄土高原范围内,降水量最大值出现于 60 年代,60—90 年代降水量持续减少,由 461 mm 减少到 428 mm,2000—2015 年降水量有所增加,均值为 454 mm。黄土高塬沟壑区、沙地及农灌区、土石山区及河谷平原区的最大降水量出现于 60 年代,黄土丘陵沟壑区的降水量最大值出现于 2000—2015 年,各分区降水量最小值出现于 80 或 90 年代。线性拟合结果显示,丘陵沟壑区 B2 副区降水量呈增加趋势,其他分区呈减小趋势,变化均不显著。

降水量越大的分区,年代降水量最大值和最小值差异也越大,说明年降水波动剧烈,其中黄土高塬沟壑区

5

A2 副区、土石山区及河谷平原区最大值和最小值分别相差 71 mm 和 73 mm,黄土高塬沟壑区 A1 副区、沙地 及农灌区的降水量小且较为稳定,最大最小值分别相差 27 mm 和 30 mm。

Table 2 Precipitation in different ecological regionalization									
生态分区	年代 Time								
Ecological regionalization	1961—2015	1961—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2015			
黄土高塬沟壑区 A1 Loess sorghum gully region A1	412	428	419	401	402	412			
黄土高塬沟壑区 A2 Loess sorghum gully region A2	556	584	558	571	514	556			
黄土丘陵沟壑区 B1 Loess hilly and gully region B1	442	454	443	410	435	458			
黄土丘陵沟壑区 B2 Loess hilly and gully region B2	467	444	471	464	441	495			
沙地及农灌区 C Sandy land and agricultural irrigation region C	266	278	274	248	271	263			
土石山区及河谷平原区 D Earth-rocky mountainous, and river valley plain region D	538	576	539	537	503	537			

表 2 黄土高原生态分区降水量/mm

黄土高原属大陆性季风气候,全年≥10℃的积温 2300—4500℃,无霜期 120—250 天,日照时数 1900—3200 小时<sup>[3]</sup>。

黄土高原 1961—2015 年多年平均气温为 7.3℃。气温的空间格局也存在很大变异性,如图 4 所示,东南部高塬沟壑区 A2 副区、土石山区和河谷平原区气温最高,土石山区及河谷平原区次之,均高于黄土高原平均水平,分别为 8.7℃、8.7℃、8.1℃,高塬沟壑区 A1 副区气温最低,仅为 4.9℃。

时间上,黄土高原和各分区的面平均气温都呈非显著增加趋势,60—80年代相对稳定,90年代以来增温明显,如表3所示。

Table 3 Temperature in different ecological regionalization									
生态分区	分区 年代 Time								
Ecological regionalization	1961—2015	1961—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2015			
黄土高塬沟壑区 A1 Loess sorghum gully region A1	4.9	4.4	4.4	4.4	5.0	5.6			
黄土高塬沟壑区 A2 Loess sorghum gully region A2	8.7	8.3	8.4	8.3	8.9	9.3			
黄土丘陵沟壑区 B1 Loess hilly and gully region B1	6.3	5.7	5.8	5.8	6.6	6.9			
黄土丘陵沟壑区 B2 Loess hilly and gully region B2	8.1	7.7	7.8	7.7	8.4	8.7			
沙地及农灌区 C Sandy land and agricultural irrigation region C	7.0	6.2	6.3	6.6	7.4	7.8			
土石山区及河谷平原区 D Earth-rocky mountainous, and river valley plain region D	8.7	8.3	8.4	8.3	8.9	9.			

表3 黄土高原生态分区气温/℃

# 2.3 植被特征

黄土高原 1982—2015 年多年平均 NDVI 为 0.56,存在很大的空间差异,整体上呈现从东南向西北递减的 趋势(图 5)。土石山区及河谷平原区、黄土高塬沟壑区 A2 副区的植被覆盖度最高,多年平均 NDVI 分别为 0.



图 4 生态分区不同年代气温空间分布

Fig.4 Spatial pattern of temperature for ecological regionalization in different decades



Fig.5

69 和 0.68,黄土丘陵沟壑区 B2 副区和黄土高塬沟壑区 A1 副区的植被覆盖度次之, NDVI 分别为 0.56 和 0. 55,黄土丘陵沟壑区 B1 副区的 NDVI 为 0.49,沙地及农灌区植被覆盖度最低, NDVI 仅为 0.36。

6

7

不同年代 NDVI 变化特征如表 4 所示。80 年代以来,黄土高原和各生态分区都表现为植被覆盖度逐渐增加。相对于 80 年代,90 年代的 NDVI 增加了 0.01—0.03,2000—2015 年增加了 0.02—0.07,2000 年以后植被覆盖增长速度高于 90 年代。相对于 80 年代,近 15 年黄土高原的 NDVI 增加了 0.04,各生态分区的增加量各有不同,其中黄土高塬沟壑区、土石山区及河谷平原区的增加量较小,为 0.02—0.03,黄土丘陵沟壑区的增加量最大,为 0.06—0.07,说明黄土丘陵沟壑区大面积的退耕还林(草)、修筑梯田等生态建设颇具成效,能够有效提高植被覆盖度。

	Table 4 NDVI in dif	fferent ecological	regionalization		
生态分区	年代	最小值	最大值	平均值	标准差
Ecological regionalization	Time	Min	Max	Mean	Standard deviation
黄土高塬沟壑区 A1	1982—2015	0.22	0.95	0.55	0.17
Loess sorghum gully region A1	1982—1989	0.18	0.95	0.53	0.19
	1990—1999	0.23	0.95	0.55	0.18
	2000—2015	0.22	0.95	0.56	0.17
黄土高塬沟壑区 A2	1982—2015	0.35	0.96	0.68	0.17
Loess sorghum gully region A2	1982—1989	0.34	0.96	0.66	0.18
	1990—1999	0.34	0.96	0.67	0.18
	2000—2015	0.37	0.96	0.69	0.16
黄土丘陵沟壑区 B1	1982—2015	0.28	0.90	0.49	0.12
Loess hilly and gully region B1	1982—1989	0.25	0.89	0.46	0.13
	1990—1999	0.27	0.89	0.49	0.13
	2000—2015	0.30	0.92	0.52	0.12
黄土丘陵沟壑区 B2	1982—2015	0.29	0.94	0.56	0.15
Loess hilly and gully region B2	1982—1989	0.26	0.95	0.53	0.17
	1990—1999	0.28	0.94	0.53	0.16
	2000—2015	0.31	0.94	0.60	0.14
土石山区及河谷平原区 C	1982—2015	0.33	0.97	0.69	0.13
Sandy land and agricultural	1982—1989	0.31	0.98	0.67	0.14
irrigation region C	1990—1999	0.31	0.97	0.69	0.13
	2000—2015	0.34	0.97	0.70	0.13
沙地及农灌区 D	1982—2015	0.07	0.85	0.36	0.13
Earth-rocky mountainous,	1982—1989	0.07	0.83	0.33	0.13
and river valley plain region D	1990—1999	0.08	0.91	0.36	0.14
	2000—2015	0.07	0.83	0.37	0.14
黄土高原	1982—2015	0.07	0.97	0.56	0.19
Loess plateau	1982—1989	0.07	0.98	0.54	0.20
	1990—1999	0.08	0.97	0.55	0.20
	2000—2015	0.07	0.97	0.57	0.19

表 4 黄土高原生态分区 NDVI

2.4 侵蚀产沙时空变化特征及水土流失现状

黄土高原侵蚀产沙受自然和人为双重因素的影响,具有明显的时空分异特征<sup>[14-16]</sup>。为了说明其时空变化,依据水电部(1984)侵蚀强度等级标准(表5),将不同时期各侵蚀强度所对应的面积比例进行对比,如表6所示。

大规模水土保持措施实施和水利工程建设以前(1970年以前),受人类活动影响相对较少,体现了自然状态下的侵蚀产沙状况。在该时期,微弱侵蚀(<1000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)区域的面积为 26.1%,强度侵蚀以上(>5000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)的面积比例为 25.7%,主要分布在渭河、泾河、北洛河上游地区以及无定河中下游、窟野河、秃尾河等

流域,这基本上与黄土丘陵沟壑区范围一致。其中,侵蚀产沙剧烈(>15000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)的区域面积占 4%,主要分布在延安-榆林一带和内蒙古砒砂岩地区<sup>[17]</sup>。

衣5 小电邮(1964) 医固广沙浊度守纵划万标准								
	Table 5 Classification standard of erosion intensity from Ministry of Water and Electricity (1984)							
侵蚀强度 Erosion intensity		微弱侵蚀 Weak erosion	轻度侵蚀 Light erosion	中度侵蚀 Moderate erosion	强度侵蚀 Strong erosion	极强度侵蚀 Very strong erosion	剧烈侵蚀 Severe erosion	
标准 Criterion /(t/k	m <sup>2</sup> )	<1000	1000—2500	2500—5000	5000	8000—15000	>15000	

表 5 水电部(1984)侵蚀产沙强度等级划分标准

#### 表 6 黄十高原侵蚀产沙强度时间变化特征

Table 6	Changes	of	erosion	intensity	on	the	Loess	Plateau
---------	---------	----	---------	-----------	----	-----	-------	---------

得仙强度	输沙模数	面积比例 Area proportion/%					
Erosion intensity	Sediment transport modulus/ (t km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	1970 年以前 Before 1970	1970s	1980s	2002—2015		
微弱侵蚀 Weak erosion	<1000	26.1	34.4	42.1	84.6		
轻度侵蚀 Light erosion	1000—2500	27.8	23.4	27.7	14.4		
中度侵蚀 Moderate erosion	2500—5000	20.4	23.1	20.5	1.1		
强度侵蚀 Strong erosion	5000—8000	10.7	11.5	7.9	—		
极强度侵蚀 Very strong erosion	8000—15000	11.0	7.1	1.6	—		
剧烈侵蚀 Severe erosion	>15000	4.0	0.6	0.1	_		

70年代,微弱侵蚀的面积增加到 34.4%,强度侵蚀以上的区域面积比例降低到 19.2%,主要分布于西峰-延安-榆林-东胜一带,极强度侵蚀在其范围内呈条带状分布<sup>[17]</sup>。

80年代,微弱侵蚀区域范围增加到 42.1%,强度侵蚀以上的区域面积比例进一步降低,占 9.6%,范围收缩为两个相对较小的区域,分别位于西峰-延安一带和东胜-朔州之间<sup>[17]</sup>。

2002—2015年,黄土高原侵蚀产沙的空间格局发生了重大变化,主要表现在侵蚀强度和范围两个方面 (图 6)。侵蚀产沙的强度显著减弱,多年平均输沙模数在 0.13—3924 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,中度侵蚀(2500—5000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)的区域范围较小,仅占 1.1%,主要分布于第二高塬沟壑区的泾河流域。轻度侵蚀(1000—2500 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)的区域范围稍大,面积比例为 14.4%,主要分布在泾河、无定河、清涧河、北洛河、苦水河、秃尾河、窟野河流域。其他大部分区域(面积比例 84.6%)的侵蚀强度都属于微弱侵蚀(<1000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)。80 年代强度 侵蚀以上的区域,侵蚀强度已降为中度侵蚀,且范围发生了明显萎缩;80 年代中度侵蚀和轻度侵蚀的区域,侵 蚀强度已降为轻度侵蚀或微弱侵蚀。各生态分区侵蚀模式特征值统计结果显示(表 7),高塬沟壑区 A2 副区 的土壤侵蚀最为严重,侵蚀模数在 155—3924 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,均值为 1118 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>。丘陵沟壑区 B2 副区次 之,侵蚀模数在 18.3—3245 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,均值为 994 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>。其他分区侵蚀模数的均值在 180—560 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,其中土石山区及河谷平原区的侵蚀模数最小。

2015年,黄土高原输沙模数在 0—4353 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,中度侵蚀(2500—5000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)的区域范围较小,仅占 1.1%,主要分布于第二高塬沟壑区的泾河流域。轻度侵蚀(1000—2500 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)的区域范围稍大,面积比例为 14.4%,主要分布在泾河、无定河、清涧河、北洛河、苦水河、秃尾河、窟野河流域。其他大部分区域(面积比例 84.6%)的侵蚀强度都属于微弱侵蚀(<1000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)。各生态分区侵蚀模式特征值统计结果显示(表 7),高塬沟壑区 A2 副区的土壤侵蚀最为严重,侵蚀模数在 155—3924 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,均值为 1118 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>。丘陵沟壑区 B2 副区次之,侵蚀模数在 18.3—3245 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,均值为 994 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>。其他分区



# 侵蚀模数的均值在180—560 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,其中土石山区及河谷平原区的侵蚀模数最小。

图 6 2002—2015 年黄土高原输沙模数空间分布(t km<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>) Fig.6 Spatial pattern of sediment transport modulus during 2002—2015

表 7 生态分区 2002—2015 年输沙模式特征值
-----------------------------

Table 7	Zonal statistics of	sediment	transport modulus	during 2002-2015
	House Statistics of	beament	mansport mountas	uuiiiig =001 =010

生态分区	侵蚀模数 Sediment transport modulus /(t km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )					
Ecological regionalization	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean			
黄土高塬沟壑区 A1 Loess sorghum gully region A1	8.5	1837	417			
黄土高塬沟壑区 A2 Loess sorghum gully region A2	154.5	3924	1118			
黄土丘陵沟壑区 B1 Loess hilly and gully region B1	0.2	3325	342			
黄土丘陵沟壑区 B2 Loess hilly and gully region B2	18.3	3245	994			
沙地及农灌区 C Sandy land and agricultural irrigation region C	8.3	2693	559			
土石山区及河谷平原区 D Earth-rocky mountainous, and river valley plain region D	0.1	1626	188			

# 3 结论

本文依据国家发改委的黄土高原生态分区,在考虑水土流失治理技术和模式的区域性差异的基础上,将 黄土高原划分为黄土高塬沟壑区,黄土丘陵沟壑区,沙地和农灌区,土石山区及河谷平原区。其中黄土高塬沟 壑区进一步划分为 A1 和 A2 两个副区;黄土丘陵沟壑区划分为 B1 和 B2 两个副区。

黄土高原多年平均降水量447 mm,丘陵沟壑区 B2 副区降水量呈增加趋势,其他分区呈减小趋势,变化均不显著。黄土高原多年平均气温为7.3℃,各分区气温均呈非显著增加趋势,90 年代以来增温明显。黄土高 原多年平均 NDVI 为0.56,80 年代以来,黄土高原和各生态分区的植被覆盖度均逐渐增加,黄土高塬沟壑区、 土石山区及河谷平原区的增加量较小,黄土丘陵沟壑区的增加量最大。 1970年以来,黄土高原侵蚀产沙强度减弱趋势显著,强度侵蚀以上等级的侵蚀强度范围明显萎缩。至2002—2015年,多年平均输沙模数在 0.13—3924 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,侵蚀强度最大为中度侵蚀(2500—5000 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>),但面积较小,主要分布于第二高塬沟壑区的泾河流域。

#### 参考文献(References):

- [1] 舒若杰,高建恩,赵建民,吴普特,张青峰.黄土高原生态分区探讨.干旱地区农业研究,2006,24(3):143-148,206-206.
- [2] 张青峰,吴发启.黄土高原生态经济分区的研究.中国生态农业学报,2009,17(5):1023-1028.
- [3] 国家发展改革委,水利部,农业部,国家林业局.《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010-2030年)》.(2010-12-30).http://www.gov.cn/ zwgk/2011-01/17/content\_1786454.htm.
- [4] 穆兴民, 赵广举, 高鹏, 孙文义. 黄土高原水沙变化新格局. 北京: 科学出版社, 2019.
- [5] 唐克丽. 中国水土保持. 北京:科学出版社, 2004.
- [6] 张洪江. 土壤侵蚀原理(第二版). 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [7] 黄秉维. 编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验教训. 科学通报, 1955, (12): 15-21, 14-14.
- [8] 朱显谟. 有关黄河中游土壤侵蚀区划问题. 土壤通报, 1958, (1): 1-6.
- [9] 吴佳,高学杰.一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比.地球物理学报,2013,56(4):1102-1111.
- [10] 晏利斌. 1961—2014 年黄土高原气温和降水变化趋势. 地球环境学报, 2015, 6(5): 276-282.
- [11] 孙智辉, 刘志超, 曹雪梅, 雷延鹏. 陕西省黄土高原地区侵蚀性降水变化特征. 水土保持通报, 2010, 30(4): 36-39.
- [12] 王麒翔, 范晓辉, 王孟本. 近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征. 生态学报, 2011, 31(19): 5512-5523.
- [13] 颜明, 王彩侠, 王随继, 闫云霞, 许炯心. 1958—2007 年黄土高原沙尘暴和降雨的时空变化研究. 中国沙漠, 2013, 33(3): 850-856.
- [14] 景可,陈永宗,李风新.黄河泥沙与环境.北京:科学出版社,1993.
- [15] 史德明,石晓日,李德成,梁音.应用遥感技术监测土壤侵蚀动态的研究.土壤学报,1996,33(1):48-58.
- [16] 尹忠东,周心澄,朱金兆.影响水土流失的主要因素研究概述.世界林业研究,2003,16(3):32-36.
- [17] 信忠保. 黄土高原地区植被覆盖和侵蚀产沙时空变化研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2008.