

# 中国土壤侵蚀与其地理环境背景的空间关系

赵晓丽, 张增祥, 周全斌, 刘斌, 谭文彬, 王长有

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 土壤侵蚀是地理环境各因子综合作用的结果。为了比较不同单元之间的土壤侵蚀与其地理环境背景的空间关系, 在计算土壤侵蚀综合指数的基础上, 利用遥感和 GIS 技术, 对不同地理环境背景下的土壤侵蚀进行了空间分析, 主要参与的地理环境背景因子为: 降雨量、植被、坡度、地貌类型、高程、土地利用类型。通过对土壤侵蚀不同类型及强度等级下的各地理环境背景分析, 揭示出中国土壤侵蚀与其地理环境背景的空间关系。

**关键词:** 遥感; GIS; 土壤侵蚀; 地理环境; 空间关系

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

土壤侵蚀以及各种土壤侵蚀环境下的成土作用, 受到众多地理环境因子, 诸如气候、地形地貌、土壤、植被等的影响; 实际生产中土地利用方式及人类各种社会经济活动也都明显地影响着土壤侵蚀的发生和发展过程, 土壤侵蚀是地理环境各因子综合作用的结果。本文利用第二次全国土壤侵蚀遥感调查数据和全国宏观资源遥感调查项目的背景数据, 在 GIS 技术的支持下, 针对影响其地理环境因子, 在全国宏观尺度上选取降雨量、植被、坡度、地貌类型、高程、土地利用等专题数据与土壤侵蚀数据进行叠加分析, 探讨土壤侵蚀与其地理环境背景各因子的空间关系, 为土壤侵蚀综合防治、水土保持规划、环境监测等提供依据。

## 1 土壤侵蚀的空间分布规律

根据第二次全国土壤侵蚀遥感调查成果, 轻度以上土壤侵蚀面积占全国面积的 50.78%。

土壤侵蚀的空间分布受侵蚀营力与环境系统的制约, 表现出明显的地域分异规律。全国土壤侵蚀类型主要包括水力侵蚀、风力侵蚀和冻融侵蚀。青藏高原和新疆等地分布有现代冰川的高原、高山地区 and 大小兴安岭等一些高寒地区, 是冻融侵蚀为主的类型区; 新疆、甘肃的河西走廊、青海的柴达木盆地、宁夏、陕北、内蒙等地的风沙地区, 是风力侵蚀为主的类型区; 其余的所有山地丘陵地区, 则是以水力

侵蚀为主的类型区。其中, 水蚀、风蚀、冻融侵蚀面积分别占全国总面积的 17.35%、20.07%、13.36%。强度等级包括 6 个。轻度以上各强度等级中面积比例依次是: 轻度占 23.39%; 中度占 11.75%; 强度占 8.22%; 极强度占 3.47%; 剧烈占 3.94%。可见, 随着强度等级的升高, 其占有的面积在缩小。

为了对不同单元内的土壤侵蚀情况进行比较分析, 就需要能反映这些单元内土壤侵蚀强度的一个综合指标, 该指标的大小反映土壤侵蚀的严重程度, 可用土壤侵蚀的综合指数 (INDEX)  $ID$  来表示, 其计算公式

$$ID = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} A_{ij} \quad (1)$$

式中  $W_{ij}$  为第  $i$  类第  $j$  级土壤侵蚀强度分级值;  $A_{ij}$  为第  $i$  类第  $j$  级土壤侵蚀强度面积比重。

土壤侵蚀类型及强度等级的分级值划分如下: 水蚀和风蚀分别用 1 和 2 表示, 其强度为微度、轻度、中度、强度、极强与剧烈, 对应的分值为 0、2、4、6、8、10; 冻融侵蚀用 3 表示, 其强度为微度、轻度、中度、强度与极强, 对应的分值为 0、2、4、6、8。土壤侵蚀指数越大, 表明土壤侵蚀越强, 反之, 则越小。

## 2 土壤侵蚀的地理环境背景分析

1:10 万土壤侵蚀数据是以 1995 ~ 1996 年为主的 TM 影像为数据源, 经过人机交互判读、ARC/

收稿日期: 2002-01-17; 改回日期: 2002-02-07。

基金项目: 水利部合作项目“全国土壤侵蚀遥感调查”, “全国土壤侵蚀的动态遥感监测与数据库更新”。

作者简介: 赵晓丽(1963-), 女, 副研究员, 长期从事资源环境遥感应用研究工作, 发表论文 30 余篇。

INFO 软件编辑而得到的数字图。

所有数据用 ARC/INFO 软件转成 100m×100m 的栅格,再把土壤侵蚀图与地理环境背景各因子层进行叠加。数据均转换成统一坐标和投影下。采用的投影为等面积割圆锥投影,用全国统一的中央经线和双标准纬线,中央经线为 105°E,双纬线为:25°N 和 47°N,所采用的椭球体是克拉索夫斯基椭球体。

2.1 降雨与土壤侵蚀的空间关系

降雨量的数据是通过对全国 1 915 个站点从建站到 1996 年为止,所采集到的多年气象数据,通过平均而得到的年平均数据。利用 GIS 对降雨数据进行空间插值,通过空间化,从而得到相应的面状数字数据。将降雨量划分为 6 个等级<sup>[1]</sup>,不同的等级对应着不同的降雨带和气候类型。各降雨等级分布的

总趋势为,从东南到西北,其降雨等级呈现出由高到低的分布。

2.1.1 降雨与侵蚀类型

将降雨等级数据分别与各土壤侵蚀类型数据进行叠加统计分析,从表 1 可以看出:

在水蚀类型区,轻度以上水蚀面积占所在降雨等级面积的百分比和水蚀综合指数基本是随降雨等级的升高而降低,最高值在降雨量为 250mm ~ 400mm 的半干旱农牧交错区,分别为 55.7%和 182;最低值在降雨量> 1 600mm 的过湿地带,分别为 12.9%和 43;在降雨量< 250mm 的干旱地带,轻度以上水蚀面积所占百分比和水蚀综合指数分别为 44.5%和 119。

表 1 降雨等级与土壤侵蚀类型的关系  
Table 1 Grade of rainfall and the relationship to the soil erosion type

降雨量 (mm)	气候 类型	水力侵蚀			风力侵蚀			冻融侵蚀		
		ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)	
			微度	轻度以上		微度	轻度以上		微度	轻度以上
< 250	干旱	119	55.5	44.5	640	7.2	92.8	192	39.8	60.2
250 ~ 400	半干旱	182	44.3	55.7	300	24.2	75.8	153	45.8	54.2
400 ~ 800	半湿润	140	61.9	38.1	169	49.8	50.2	109	60.4	39.6
800 ~ 1000	湿润	114	66.1	33.9	15	94.0	6.0	40	80.3	19.7
1000 ~ 1600	潮湿	91	72.8	27.2	226	0.0	100.0	36	82.2	17.8
> 1600	过湿	43	87.1	12.9	220	0.0	100.0	0	0.0	0.0

在风蚀类型区,降雨量为 800mm ~ 1 000mm 的湿润地带,轻度以上风蚀面积所占百分比及风蚀综合指数值最低,分别为 6%和 15;风蚀综合指数的最高值为 640,在降雨量< 250mm 的干旱地带;在降雨量从< 250mm ~ 1 000mm 的干旱到湿润地带内,轻度以上风蚀面积占所在降雨量等级面积的百分比和风蚀综合指数均逐渐降低;在降雨量> 1 000mm 的潮湿和过湿地带上,轻度以上风蚀面积所占百分比均为 100%,风蚀综合指数值分别为 226 和 220,主要分布在沿河环湖滨海区。

在冻融侵蚀类型区,轻度以上冻融侵蚀面积占所在降雨等级面积的百分比和冻融侵蚀综合指数随着降雨量的增加而逐渐降低;其最大值分别为 60.2%和 192,在降雨量< 250mm 的干旱区域;冻融侵蚀主要分布在干旱到半湿润地带内,轻度以上冻融侵蚀面积占所在降雨等级面积的百分比在39.6%以上。

2.1.2 降雨与侵蚀强度

将降雨等级数据与侵蚀强度面积数据进行叠加分析统计可知:强度等级为剧烈、极强和强度侵蚀面积占干旱地带的百分比最大,分别为 16.5%、12.0%和 13.1%;中度和轻度侵蚀面积占半干旱地带面积的百分比最大,分别为 18.2%、33.7%,其占半湿润地带百分比次之,分别 12.6%和 19.8%。

2.2 植被指数与土壤侵蚀的空间关系

植被的覆盖情况可以由归一化植被指数 (NDVI) 来反映。NDVI 是利用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 图像的近红外波段与红光波段之差除以二者之和。NDVI 最大值的生成基于每个季节中最底云量时相的图像数据,所采用的 NOAA/AVHRR 数据时段为 1997 年春季至 1999 年春季共 9 个季相的最小云量中国影像数据集。原影像数据集已经过一系列的制图处理过程,包括太阳高度角校正、几何纠正后的地图投影、基于反射率物理量转换基准上的影像增强处理、数字镶嵌等。将植被指数划分为 8 级(表 2)。

表 2 植被指数等级与土壤侵蚀类型的关系

Table 2 Grade of NDVI and the relationship to the soil erosion type

植被指数 分级	水力侵蚀			风力侵蚀			冻融侵蚀		
	ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)	
		微度	轻度以上		微度	轻度以上		微度	轻度以上
-0.1~0	83	71.1	28.9	731	4.6	95.4	87	75.8	24.2
0~0.1	187	41.8	58.2	596	6.1	93.9	200	36.8	63.2
0.1~0.2	273	37.6	62.4	330	21.4	78.6	162	46.0	54.0
0.2~0.3	173	52.7	47.3	232	35.1	64.9	120	57.2	42.8
0.3~0.4	117	65.0	35.0	174	40.7	59.3	95	61.3	38.7
0.4~0.5	89	72.5	27.5	140	47.0	53.0	81	62.7	37.3
0.5~0.6	75	76.2	23.8	147	42.5	57.5	91	56.2	43.8
0.6~1.0	82	73.7	26.3	248	34.7	65.3	103	51.5	48.5

2.2.1 植被指数与侵蚀类型

将植被指数等级数据分别与各土壤侵蚀类型数据进行叠加统计分析,从表 2 可以看出:

在水蚀类型区,当植被指数在 0~0.1 和 0.1~0.2,轻度以上水蚀面积占所在植被指数等级面积的百分比均在 58.2%以上;而在 0.4~1.0 和-0.1~0,轻度以上水蚀面积所占百分比均在 28.9%以下;在植被指数为 0.1~0.2 时,轻度以上水蚀面积所占百分比最大,为 62.4%,最小值在植被指数为 0.5~0.6 时为 23.8%;随着植被指数从-0.1~0.2,水蚀综合指数逐渐增加,而从 0.1 到 0.6,逐渐降低,植被指数在 0.5~0.6 时达到最低 75,在 0.1~0.2 时达到最大 273;其轻度以上水蚀面积占所在植被指数等级面积的百分比的变化趋势也与此相似。

在风蚀类型区,植被指数为-0.1~0.1 时,轻度以上风蚀面积所占百分比最大,均在 93.9%以上;植被指数为-0.1~0.5 风蚀综合指数和轻度以上风蚀面积占所在植被指数等级面积的百分比均从高到低;而植被指数为 0.4~0.6 则从低到高;其最低值出现在 0.4~0.5,而其最高值则出现在-0.1~0。

在冻融侵蚀类型区,植被指数为 0~0.2 时,轻度以上冻融侵蚀面积占所在植被指数等级面积的百分比均在 54%以上。而在植被指数为-0.1~0,轻度以上侵蚀面积所占百分比最低;植被指数为 0~0.5 时,冻融侵蚀综合指数和轻度以上冻融侵蚀面积占所在植被指数等级面积的百分比均由高到低。

2.2.2 植被指数与侵蚀强度

将植被指数等级数据与侵蚀强度面积数据进行叠加统计分析可知:侵蚀强度为剧烈和极强度侵蚀面积占所在植被指数等级面积的百分比随植被指数等级的增加而降低,其最大值分别为 26.3%和

24.6%,分布在植被指数为-0.1~0;在植被指数为 0~0.1 时,中度侵蚀面积所占百分比最大,为 21.4%;在植被指数为 0.1~0.2 时,轻度侵蚀面积所占百分比最大,为 27.8%。

2.3 坡度与土壤侵蚀的空间关系

在 ARC/INFO 软件支持下,利用 1:25 万数字地图数据建立地面数字高程模型。并利用坡度函数,生成坡度数据,然后将坡度分为 6 级(表 3)。虽然 1:25 万数字地图比例尺偏小,但其坡度分级可以反映全国宏观尺度上的分布规律。

2.3.1 坡度与侵蚀类型

将坡度等级数据分别和各土壤侵蚀类型数据进行叠加和统计分析,从表 3 可以看出:

在水蚀类型区,从坡度>5°开始,轻度以上水蚀面积占所在坡度等级面积的百分比逐渐降低;在坡度<5°区域,轻度以上水蚀面积所占百分比和水蚀综合指数最低,分别为 29.3%和 98。从 2 级到 6 级,其水蚀综合指数比较接近;水蚀综合指数最高为 153,在 5°~8° 区域;水蚀主要分布在 5°~35° 的区域,而分布在平坦和坡度较大处的情况相对较少。

在风蚀类型区,各坡度等级上轻度以上风蚀所占百分比均在 86.8%以上,其最高值出现在>35° 的区域,为 97.5%;在坡度为 5°~8°,其风蚀综合指数最高,为 653;坡度从 5°~35°,其风蚀综合逐渐降低。

在冻融侵蚀类型区,坡度从>5°开始,轻度以上冻融侵蚀面积占所在坡度等级的百分比逐渐降低;其最高值在 5°~8° 的区域,为 59.0%;其最低值在>35° 的区域,为 34.3%;就冻融侵蚀综合指数而言,从坡度<5°~15°逐渐增加,然后从坡度由 15°到>35°

表 3 坡度等级与土壤侵蚀类型的关系

Table 3 Grade of the slope and the relationship to the soil erosion type

坡度等级	水力侵蚀			风力侵蚀			冻融侵蚀		
	ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)	
		微度	轻度以上		微度	轻度以上		微度	轻度以上
< 5°	98	70.7	29.3	555	13.2	86.8	151	46.7	53.3
5° ~ 8°	153	54.8	45.2	653	4.2	95.8	180	41.0	59.0
8° ~ 15°	144	59.2	40.8	579	4.2	95.8	187	41.8	58.2
15° ~ 25°	132	62.3	37.7	484	4.4	95.6	173	47.7	52.3
25° ~ 35°	129	62.8	37.2	455	3.6	96.4	145	54.8	45.2
> 35°	130	63.6	36.4	460	2.5	97.5	100	65.7	34.3

又逐渐减小;其最高值为 187,在坡度为 8°~15°区域;而其最低值为 100,在坡度>35°区域。

2.3.2 坡度与侵蚀强度

将坡度等级数据与侵蚀强度面积数据进行叠加统计分析可知:侵蚀强度为强度、极强和剧烈侵蚀面积占所在坡度等级面积的百分比随着坡度等级的升高而逐渐降低;在坡度为 5°~8°时轻度和中度侵蚀面积所占百分比最大,分别为 25.2%和 17.4%;在坡度为 8°~15°时次之,分别为 21.8%和 16.7%。

2.4 地貌类型与土壤侵蚀的空间关系

将全国 1:400 万地貌数据和土壤侵蚀数据进行空间叠加和统计<sup>[2]</sup>,从表 4 可以看出:

风积地貌、黄土梁峁、黄土塬、剥蚀平原、盐湖平原、洪积平原等地貌类型土壤侵蚀综合指数较大,其

中风积地貌综合指数最大。强度以上风力侵蚀主要发生在风积地貌;强度以上水力侵蚀主要发生在黄土梁峁、黄土塬等地貌类型。

在我国丘陵地分布在各种不同的海拔高度上,面积很大。由于丘陵地形起伏小于 200m,相对高度比山地小,人为活动频繁,林地开垦为坡耕地后,使土壤侵蚀加剧。

洪积平原由间歇性的水流搬运的物质堆积而成,主要分布在西北干燥地区,其地面倾斜度较大,组成物质也比较粗,通常受到暂时水流的强烈切割,侵蚀严重。黄土塬是隆起的黄土覆盖的地面,受流水侵蚀作用而呈现高原的特点,其地表平坦,沟谷深切,侵蚀很严重。而黄土台塬主要分布在渭河冲积平原两边,地势呈阶梯状分布,侵蚀较轻。

表 4 不同地貌类型的土壤侵蚀综合指数

Table 4 Soil erosion index of different physiognomy type

地貌类型	侵蚀指数	地貌类型	侵蚀指数	地貌类型	侵蚀指数	地貌类型	侵蚀指数
丘陵	245	海积台地	23	剥蚀台地	214	洪积平原	404
山地	156	湖积台地	211	海积平原	15	沉积平原	192
黄土梁峁	523	冲积台地	88	湖积平原	151	冰碛平原	176
黄土台塬	144	洪积台地	176	盐湖平原	404	熔岩堆积平原	167
黄土塬	435	沉积台地	208	冲积扇平原	82	剥蚀平原	432
风积地貌	702	堆积台地	69	冲积平原	122	低河漫滩	28

2.5 高程与土壤侵蚀的空间关系

利用 1:25 万的 DEM 数据,将全国分成 8 个高程带<sup>[3]</sup>(见表 5)。

2.5.1 高程与侵蚀类型

将高程数据分别与各土壤侵蚀类型数据进行叠加统计分析,从表 5 可以看出:

在水蚀类型区,3 500m 以下随着高程的升高,轻度以上水蚀面积占所在高程带面积的百分比和水蚀综合指数逐渐增加,而在 3 500m 以上,又逐渐减少;在 1 000m~3 500m 之间,轻度以上水蚀所占的

百分比和水蚀综合指数最高,分别为 49.2%和 180。

在风蚀类型区,100m 以上随着高程的升高,轻度以上风蚀面积占所在高程带面积的百分比逐渐增加;风蚀综合指数在 200m~3 500m 逐渐增加;在 1~3 级和 6~8 级却逐渐降低。在 4~8 级,轻度以上风蚀所占百分比均在 81.6%。

在冻融侵蚀类型区,冻融侵蚀主要分布在 3 500m 以上的区域,且冻融侵蚀综合指数随着高程的增加而增大;在>5 000m 的区域,轻度以上冻融侵蚀面积所占百分比和冻融侵蚀综合指数最大,分

表 5 高程带与土壤侵蚀类型的关系

Table 5 Altitude zone and the relationship to the soil erosion type

高程带 (mm)	地貌	水力侵蚀			风力侵蚀			冻融侵蚀		
		ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)		ID	面积百分比(%)	
			微度	轻度以上		微度	轻度以上		微度	轻度以上
< 0	低凹地	3	99.3	0.7	207	62.4	37.6	0	91.0	0.0
0~100	低平原	25	92.1	7.9	188	46.1	53.9	0	90.6	0.0
100~200	低平原	80	74.9	25.1	160	55.1	44.9	0	72.0	0.0
200~500	高平原	93	69.5	30.5	457	18.4	81.6	0	80.8	0.0
500~1000	低山	120	65.7	34.3	553	13.3	86.7	94	52.9	47.1
1000~3500	中山	180	50.8	49.2	599	8.9	91.1	118	46.2	53.8
3500~5000	高山	157	51.7	48.3	545	6.1	93.9	140	51.8	48.2
> 5000	极高山	132	55.0	45.0	507	2.2	97.8	218	37.1	62.9

别为 62.9%和 218;最小值在 500m~1 000m 的区域,分别为 47.1%和 94,主要分布在大小兴安岭等地区。由此可见,高程对冻融侵蚀的影响是非常显著的。

2.5.2 高程与侵蚀强度

将高程数据与侵蚀强度面积数据进行叠加统计分析可知:侵蚀强度为强度、极强度和剧烈侵蚀面积占所在高程带面积的百分比的最高值均在 1 000m~3 500m 区域,其值分别为 10.3%、11.9%、10.7%;在3 500m~5 000m 的区域,轻度侵蚀面积所占百分比最高,为 27.8%;在高程> 5 000m 的区域,中度侵蚀面积所占百分比最高,为 27.3%。

2.6 土地利用与土壤侵蚀的空间关系

1:10 万土地利用数据是以 1995—1996 年为主的 TM 影像为数据源,经过人机交互判读、ARC/INFO 软件编辑而得到的数字图<sup>[4]</sup>。

2.6.1 土地利用类型与侵蚀类型

将土地利用数据与各土壤侵蚀类型数据进行叠加统计分析,从表 6 可以看出:

在水蚀类型区,土地利用类型中低覆盖草地的水蚀综合指数最高达 371,而轻度以上水蚀所占百分比为 87.4%,而高覆盖度草地和中覆盖度草地的水蚀综合指数分别为 128、236,轻度以上水蚀所占百分比分别为 40.6%、72.8%,这说明草地侵蚀严重;耕地中的旱地侵蚀严重,水蚀综合指数较高,为 159;在林地中,疏林地和其它林地(指未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地)侵蚀明显,其水蚀综合指数分别为 165 和 92。

在风蚀类型区,沙地与戈壁的风蚀综合指数最大,分别为 806、917;在低、中、高覆盖草地的风蚀综合指数分别为 431、257、150,轻度以上风蚀面积所占百分比分别为 97.4%、86.8%、56.4%,这表明草地的沙化严重,主要分布于我国西部地区;疏林地和灌木林地的土壤侵蚀指数分别为 288、200,轻度以上风蚀面积所占百分比为 81.3%、76.3%。

在冻融侵蚀类型区,高、中、低覆盖草地的冻融侵蚀综合指数分别为 261、205、160,轻度以上冻融侵蚀面积所占百分比分别为 80.1%、64.6%、53.7%,

表 6 土地利用类型与土壤侵蚀类型的关系

Table 6 Land use type and the relationship to the soil erosion type

土地利用 类型	水蚀轻度以上		风蚀轻度以上		冻融轻度以上		土地利用 类型	水蚀轻度以上		风蚀轻度以上		冻融轻度以上	
	ID	面积比	ID	面积比	ID	面积比		ID	面积比	ID	面积比	ID	面积比
旱地	159	41.0	198	57.0	85	39.1	城镇	8	2.9	57	20.0	53	26.4
有林地	33	11.6	127	38.5	90	43.0	河流	15	5.1	75	21.0	75	35.8
灌木林地	82	29.6	200	76.3	103	36.6	湖泊	0	0.0	0	0.0	22	9.5
疏林地	165	50.1	288	81.3	77	37.9	冰川	0	0.0	0	0.0	15	4.7
其它林地	92	28.5	138	40.7	92	45.9	滩地	0	0.0	0	0.0	18	6.0
高覆盖草地	128	40.6	150	56.4	261	80.1	沙地	0	0.0	806	99.7	209	68.1
中覆盖草地	236	72.8	257	86.8	205	64.6	戈壁	0	0.0	917	99.8	147	73.3
低覆盖草地	371	87.4	431	97.4	160	53.7	盐碱地	0	0.0	0	0.0	105	43.3
工矿建设	26	7.5	114	30.0	31	15.7	沼泽地	0	0.0	57	20.8	147	71.8
农村居民点	25	8.4	136	43.0	80	38.3	其它	297	66.9	397	97.2	240	76.2

主要分布在青藏高原,及内蒙、黑龙江东北部。

### 2.6.2 土地利用与侵蚀强度

将土地利用数据与侵蚀强度面积数据进行叠加统计分析可知:剧烈侵蚀主要分布在戈壁和沙地,其侵蚀百分比分别为 67.3%和 27.4%;极强度侵蚀主要分布在沙地和戈壁,其侵蚀百分比分别为 52.2%和 14.3%;强度侵蚀主要分布在裸土地和沙地,其侵蚀百分比分别为 28.2%和 15.4%;中度侵蚀主要分布在其它未利用土地、低覆盖草地和裸土地,其侵蚀百分比分别为 39.7%、36.4%和 30.9%,其次分布在盐碱地、中覆盖草地和疏林地,其侵蚀百分比分别为 22.9%、22.4%和 20.5%。

## 3 结语

### 3.1 降雨等级与土壤侵蚀

在降雨量为 250mm~400mm 的半干旱农牧交错区水蚀最为严重。风蚀和冻融侵蚀在降雨量<250mm 的干旱地区相对严重。在湿润、潮湿和过湿的地带上主要以水蚀为主,均占 96%以上;在半干旱地带,水蚀、风蚀和冻融侵蚀接近于各占 30%。在干旱地带,以风蚀为主,占 58.6%。

### 3.2 植被指数等级与土壤侵蚀

在植被指数为 $-0.1 \sim 0$ ,以风蚀为主,占 80.7%;在植被指数为 $0 \sim 0.1$ ,以冻融侵蚀和风蚀为主,分别占 46.0%和 42.2%。在植被指数为 $0.1 \sim 0.2$ ,水蚀、冻融侵蚀和风蚀所占的比例比较接近。植被指数为 $0.1 \sim 1.0$ ,以水蚀为主,且随着植被指数的增加,水蚀所占比重逐渐加大,而风蚀和冻融侵蚀所占的比重均逐渐降低。

### 3.3 坡度等级与土壤侵蚀

在各坡度等级均以水蚀为主,占 46%以上,其最高为 73.8%,在坡度为 $15^\circ \sim 25^\circ$ ;坡度在 $<15^\circ$ 的区域,其轻度侵蚀所占百分比和土壤侵蚀综合指数均相对较高,而在坡度 $>15^\circ$ ,二者均相对较低;由于在坡度等级较低的区域,人为活动多,土地利用程度

高,对植被的破坏较大,而导致这种现象。总之,坡度对水蚀的影响是最显著的。

### 3.4 地貌类型与土壤侵蚀

地貌类型影响土壤侵蚀的方式和空间分布规律。强度以上风力侵蚀主要发生在风积地貌;强度以上水力侵蚀主要发生在黄土梁峁、黄土塬等地貌。

### 3.5 高程带与土壤侵蚀

高程 $>3\,500\text{ m}$ 的区域以冻融侵蚀为主,且冻融侵蚀综合指数随着高程的增加而增大。由于冻融侵蚀的限制因子是温度,其分布受纬度、海拔高度、低温气候的影响,与多年冻土有明显的相关关系。此次遥感调查根据冻融发生的温度条件,拟定年平均气温 $<-1^\circ \sim -2^\circ$ 作为划分冻融侵蚀类型的指标<sup>[3]</sup>,并结合其它相关指标划分冻融侵蚀类型。因为地面大气温度是随着高程的升高而递减,所以高程对冻融侵蚀的影响是显著的。

### 3.6 土地利用类型与土壤侵蚀

土地利用各类型均受到不同程度的侵蚀,以沙地、戈壁、裸土地最为严重,其次为草地,耕地,疏林地和其它林地。耕地中以旱地侵蚀为主,轻度以上侵蚀面积所占百分比为 42.4%,且以水蚀为主,占 90.8%。

致谢:对杨存建博士在数据处理方面所做的工作表示衷心的感谢!

### 参考文献:

- [1] 丘宝钊,卢其饶.农业气候区划及方法[M].北京:科学出版社,1987.141~142.
- [2] 王思远,刘纪远,张增祥,等.不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律研究[J].水土保持学报,2001,15(3):48~51.
- [3] 李维能,方贤铨.地貌学[M].北京:测绘出版社,1983.11~13.
- [4] 邹亚荣,张增祥,杨存建,等.中国土地资源的土壤侵蚀状况分析[J].水土保持学报,2001,15(3):44~47.
- [5] 赵羽,等.内蒙古土壤侵蚀研究—遥感技术在内蒙古土壤侵蚀研究中的应用[M].北京:科学出版社,1989.

## Spatial Relationship of Soil Erosion and Its Geographical Environment Background in China

ZHAO Xiao-li, ZHANG Zeng-xiang, ZHOU Quan-bin, LIU Bin, TAN Wen-bin and WANG Chang-you

(*Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 China*)

**Abstract:** Soil erosion is a result of comprehensive effect of geographical environment factors. In order to compare spatial relationship of soil erosion and its geographical environment background, soil erosion index is counted here to describe the heavy of soil erosion in each unit. Technologies of remote sensing and geographical information system are used to analyze the relationship of in different geographical environment background and its soil erosion status in China, geographical environment factors: rainfall, vegetation, slope, physiognomy type, altitude, land use type. By analyzing each unit of geographical environment background under different soil erosion type and intensity, we show the spatial relationships between soil erosion in china and its geographical environment background.

**Key words:** remote sensing; GIS; soil erosion; geographical environment ; spatial relationship