

基于 RS 和 GIS 的甘肃省冻融侵蚀敏感性评价

李 东, 魏 霞, 李勋贵, 李耀军

(兰州大学 资源与环境学院, 兰州 730000)

摘 要:作为三大侵蚀类型之一的冻融侵蚀在高原地区作用明显,在破坏土壤性质威胁工程安全的同时,阻碍着区域经济社会的发展,但由于起步较晚相关研究很少。为了充实对冻融侵蚀强度与分布规律的研究,以甘肃省为研究对象,选取气温年较差(℃)、冻结期平均最低温度(℃)、解冻期平均降雨量(mm)、坡度、植被覆盖度(%)和年降水量(mm)作为冻融侵蚀影响因子分级评价指标,在 RS 和 GIS 技术支持下,采用综合评价指数与相对分级评价的方法,对研究区内的冻融侵蚀进行了侵蚀强度分级评价,同时利用多年实测气象数据对气温年较差进行多元线性回归分析,得出了更适用于甘肃地区的经验回归方程,并在此基础上完成了对甘肃地区冻融侵蚀区边界的界定和冻融侵蚀强度分布图,加深了对甘肃地区冻融侵蚀现状的认识。结果表明:甘肃地区冻融侵蚀敏感区主要集中在北部东南方向和南部的西南角,分别分布在酒泉东南部、嘉峪关、张掖西南部和甘南西部地区,全省冻融侵蚀面积为 3.88 万 km²,占全省总面积的 8.6%,省内冻融侵蚀下界海拔 3 300~4 400 m,冻融侵蚀强度总体上从西南向东北逐步减弱。

关键词:GIS; RS; 冻融侵蚀; 敏感性评价; 甘肃省

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0001-06

Sensitivity Evaluation of Freeze-Thaw Erosion in Gansu Province Based on RS and GIS

LI Dong, WEI Xia, LI Xungui, LI Yaojun

(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Freeze-thaw erosion is one of the three largest erosion types in plateau area, which destroys the soil properties and threatens the security of a project, at the same time, hinders the regional economic and social development, but research object on this type of erosion was rarely launched. In order to enrich the study on freeze-thaw erosion intensity and distribution, Gansu Province was taken as the case, the annual range of temperature, slope, vegetation coverage, annual precipitation and freezing and thawing period average rainfall period average minimum temperature were selected as the freeze-thaw erosion factors on evaluation indexes. With the support of RS and GIS technology, freeze-thaw erosion was evaluated by freeze-thaw erosion intensity classification in the region by using the method of comprehensive evaluation index and relative evaluation, multivariate linear regression analysis on the annual temperature range was carried out according to the measured meteorological data for many years, a regression equation more suitable for Gansu area was obtained. Definition of freeze-thaw boundary and freeze-thaw erosion intensity distribution map of Gansu were made, deepening the understanding of the area of freezing and thawing in Gansu Province, and the understanding of the erosion status. The results show that GIS and RS can rapidly provide technical support, and the sensitive areas of freeze-thaw erosion in Gansu Province mainly concentrate in the southeast of the northern direction, locate in the southeast of Jiuquan, Jiayuguan, southwest of Zhangye and the western region of Gannan, the freeze-thaw erosion area of Gansu Province is 38 800 km², accounting for 8.6% of the total area, frozen thawing erosion occurs in the areas with the least altitude between 3 300~4 400 m, freeze-

收稿日期:2014-03-10

修回日期:2014-06-24

资助项目:国家自然科学基金项目(41001154,51109103);中国博士后科学资助项目(20110490862);中央高校基本科研业务费专项资金资助(lzujbky-2012-139,lzujbky-2014-126)

第一作者:李东(1985—),男,辽宁辽阳人,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀。E-mail:1017557759@qq.com

通信作者:魏霞(1980—),女,陕西扶风人,博士后,副教授,主要从事土壤侵蚀与水土保持、水文学及水资源等方面的研究。E-mail:weix@lzu.edu.cn

thaw erosion intensity generally weakens from the southwest to the northeast.

Keywords: GIS; RS; freeze-thaw erosion; sensitivity evaluation; Gansu Province

冻融侵蚀是土壤侵蚀的主要方式之一,21 世纪随着生态环境的日趋恶化,冻融侵蚀引起了广泛重视,它主要发生在冬末春初时期,是指由于温度的频繁变化而造成的冻融交替所引起的土壤、岩石性质发生变化,进而造成的侵蚀作用^[1]。作为高海拔地区水土流失加剧的重要原因,冻融侵蚀一方面改变和破坏着土壤的物理性质,降低了耕地的生产能力,威胁着工程建筑的安全,另一方面冻融产物也是河流泥沙主要来源。相比较水力侵蚀,冻融侵蚀更为复杂,相关研究也相对较少,但地球上受冻融作用的区域面积占全球陆地总面积的 70% 以上,在我国冻融侵蚀区域面积占国土总面积的 13.4%^[2],其中侵蚀最严重的地区主要分布在西藏、青海、内蒙古、甘肃等省份^[3],有些高海拔地区受季节性冻融作用的影响,土壤流失量的 50% 以上都发生在冻土层解冻时期^[4],对人类生存生活和社会经济发展的影响非常明显,因此甘肃地区的冻融侵蚀研究对高原生态环境规划和经济可持续发展都具重要的参考价值和指导意义。由于冻融过程破坏了土壤的理化属性,土壤变得更为脆弱,使得侵蚀物质来源增加,加剧了混合侵蚀效果,以往研究表明冻融作用对土壤水分、密度、有机质和土壤的机械组成等因素都有不同程度的影响^[5]。随着冻融侵蚀对社会发展的影响越来越显著,人们对这一问题的关注与研究也越来越多。国际上,冻融侵蚀的研究以美国和加拿大最为前沿,我国尚处于起步阶段。刘佳等^[6]最早对春季解冻期黑土侵蚀进行了研究,结果表明春季解冻期即使降雨量不大,土壤的侵蚀能力仍然很强。景国臣等^[7]也对冻融侵蚀的形式和危害程度进行了研究,认为冻融侵蚀加快了土壤侵蚀速率。谢颢等^[8]对三江源地区水土流失成因与特点进行了分析。可见冻融侵蚀的研究非常欠缺,因此探索研究冻融侵蚀就显得尤为必要和重要,鉴于此,本文综合分析影响甘肃地区冻融侵蚀的各个影响因子,并对冻融侵蚀强度及分布特征进行分级评价与研究,以期能为该地区的冻融侵蚀防治工作和高海拔地区生态环境研究提供科学参考。

1 研究区概况

甘肃省位于祖国西部地区,地处黄河上游,向东与陕西相接,往南与四川青海相邻,西靠新疆,北部与内蒙宁夏相连,介于北纬 $32^{\circ}11' - 42^{\circ}57'$ 和东经 $92^{\circ}13' - 108^{\circ}46'$,总面积 45.37 万 km^2 ,占全国总面积

的 4.72%^[9]。全省太阳年辐射总量达 1 577 kWh/m^2 多年平均降水量为 302 mm,陇南山地和甘南高原降雨较充足且植被覆盖度大,沿西北方向植被覆盖度逐步降低。全国第二次土壤普查结果显示甘肃省共有 37 种土壤类型,水平地带性分布自东南向西北依次为北亚热带黄棕土,暖温带棕褐土,南部温带黑垆土、栗钙土和灰钙土,北部温带灰棕漠土和棕漠土。甘肃地区土壤垂直分布也十分明显,祁连山东段自下而上依次为灰钙土、栗钙土、灰褐土或黑钙土、高山草甸土和高山寒漠土。省内林地面积 135.45 万 hm^2 ,覆盖率为 2.98%,分布极不均匀,主要集中在东部和南部山地,树种以云杉、油松、华山松及各种杨树为主,草地主要分布于甘南草原、河西走廊和陇中北部,植被水平分布特征明显,自南而北依次为:常绿阔叶带、落叶阔叶混交林带、落叶阔叶林带、草原带和干旱荒漠带,其中陇南山地和甘南高原的降雨最为充足,林草覆盖度也最大,其余向北向西植被逐渐稀疏。甘肃位于祖国二级阶梯之上,地势自西南向东北倾斜,多种地貌交错分布,地势起伏多变,是古丝绸之路咽喉之地,也是黄土高原、青藏高原和内蒙古高原的枢纽地带,其中甘南高原是青藏高原的东部边缘一角,平均海拔超过 3 000 m,西南部的祁连山地海拔也在 3 500 m 以上,终年积雪冰川逶迤。甘肃包括 12 个市和 2 个自治州,在局部地区海拔高温差大,具备良好的冻融侵蚀条件,在冰雪覆盖的多年冻土区及其下界数百米内范围,冻融侵蚀起着主导作用,地貌类型具有明显的冰缘地貌特征。

2 材料数据获取处理与分析计算方法

2.1 数据来源

本文利用国际科学数据服务平台提供的 2009—2011 年甘肃地区的 TM 遥感卫星影像数据(分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,卫星数字产品号为 LANDSAT 4-5TM)通过筛选和几何精校正计算得到研究区域的归一化植被指数 NDVI 和植被覆盖度,其中 NDVI 影像具体时相分别为:2009 年 3 月 14 日、10 月 8 日、12 月 7 日,2010 年 3 月 17 日、10 月 5 日、12 月 5 日,2011 年 3 月 15 日、10 月 6 日、12 月 11 日各自 26 景影像数据。

坡度因子可以利用 DEM 数字高程模型获取,具体做法是依据 2010 年的甘肃省地形图(1 : 10 000),通过 GIS 软件经过数字化转换成为带有高程文件的数字高程模型,之后利用等高线文件和高程点文件生成 TIN 图并转化成为 DEM 格式,再通过边界面文

件裁剪、填洼和精度校准完成DEM建模,生成可供利用slope格式的DEM数字高程模型(等高线格式为shape file,分辨率为30 m×30 m)。

气象数据资料来源于中国气象科学数据共享服务网提供的甘肃省境内33个气象站25 a(1985—2010)的气象观测数据,包括观测场海拔高度、年降雨量、月降雨量、日最高和最低气温、月平均气温、月最高和最低地面温度和累计年气温年较差等。

2.2 冻融侵蚀强度分析与计算方法

研究冻融侵蚀分布规律首先要确定冻融侵蚀区分布范围,然后再根据冻融侵蚀作用的强度差异对冻融侵蚀区进行二次划分,冻融侵蚀强度大小可利用分级评级指标判定。通常冻融侵蚀有很多影响因子,在选择分级评价指标时应根据研究区域特点选择主要因素作为评级因子,例如陈剑桥等^[10]在大渡河流域进行冻融侵蚀分析研究时就采用四级分级法将气温年较差、年均降水量、坡度、坡向和植被盖度选定为评价指数;马金辉等^[11]在三江源地区进行冻融侵蚀强度评价时根据各因子的相对重要性,确定评级指标为气温年较差、地形因子、年降水量和植被覆盖度;李辉霞等^[12]在分析评价西藏自治区冻融侵蚀时,选择了气温年较差、地形起伏度和年均降水量三个定量指标对敏感性进行等级划分。

本文参照以往研究成果和甘肃地区冻融侵蚀特点,为了便于比较冻融侵蚀敏感程度,分别对气温年较差、冻结期平均最低温度、解冻期平均降雨量、坡度、坡向、植被覆盖度和年均降水量这7个因子进行抽样变量显著性检验(t 检验),结果表明坡向因子在 $\alpha = 0.05$ (显著性水平)时接受了原假设,没有通过检验,其中 $t_{\alpha/2}(n-k-1) = t_{0.025}(29) = 2.045$,7个影响因子的统计量 t 绝对值依次为3.306,2.219,1.249,2.271,2.052,2.635和3.297。根据计算结果最终选择影响最为显著的6个主要影响因子作为分级评价指标,分别是气温年较差(℃)、冻结期平均最低温度(℃)、解冻期平均降雨量(mm)、坡度、植被覆盖度(%)和年降水量(mm)。

2.2.1 冻融侵蚀区范围的界定方法 冻融作用是最普遍、最主要的外力侵蚀过程之一,但有冻融侵蚀作用的区域并不一定就是冻融侵蚀区,因为只有冻融侵蚀起主导作用的区域才能被认定为冻融侵蚀区。目前冻融侵蚀区范围划定的理论与方法有众多研究成果,其中最为公认的方法是取冰缘区的下界作为冻融侵蚀区的下界,取年平均温度 -2.5°C 线作为多年冻土带的下界,并认为冰缘区下界比多年冻土区下界要低200 m左右。因此本研究参照以往研究成果,利

用纬度(X)、经度(Y)与多年冻土区下界海拔(H_0)的线性回归方程计算得出年均气温 -2.5°C 的海拔高度,再减去200 m即得出研究区域冻融侵蚀区的下界海拔(H),计算公式为^[13]:

$$H = \frac{66.3032 - 0.9197X - 0.1438Y + 2.5}{0.005596}$$

2.2.2 气温年较差分级指标估算方法 冻融侵蚀变化与温度变化关系密切,气温年较差是影响冻融侵蚀最重要的因子,直接决定着冻结和融化的深度与程度^[14]。大多数情况下地温因子(T_1)不易获得,一般都是先通过经度(X)、纬度(Y)以及海拔(H)计算求出气温年较差(T),再利用气温年较差作为评价冻融侵蚀强度的分级因子,其中最具代表性的是邱国庆等^[15]在青藏高原冻土区总结并验证的经验公式:

$$T = 3.1052 + 1.2418Y - 0.2275X - 0.0004133H$$

研究证明气温年较差可以很好的反应出温度变化对冻融侵蚀过程的影响,本研究利用甘肃省境内33个气象站的25 a(1985—2010)气象观测数据,对气温年较差进行多元线性回归分析,最终得出计算气温年较差的回归方程:

$$T = 4.6049 + 1.8415Y - 0.3369X - 0.0006141H$$

2.2.3 分级评价指标及权重计算方法 冻融侵蚀强度分级应以冻融侵蚀区单位时间单位面积的土壤流失量作为分级依据,但冻融侵蚀区环境恶劣不易布设试验小区,冻融侵蚀数据也不易获取,所以目前国内主要研究方法是利用冻融侵蚀影响因子作为分级指标对冻融侵蚀强度进行分级评价,研究证明冻融侵蚀强度相对分级研究方法是可行的,可以识别出冻融侵蚀区侵蚀作用强度的大小。

本研究将得到的气温年较差、冻结期平均最低温度、解冻期平均降雨量、坡度、植被覆盖度和年降水量数据整理作为冻融侵蚀强度评价指标,并根据指标数据的具体分布与取值情况,参照以往研究成果确定各指标的等级赋值标准(表1),以降雨量为例,首先将全部降雨量数据从大到小有序排列,选择算术平均值作为中间点,以样本数据的0.5倍标准差作为步长从中间点向两端各确定一个分界点,再以1倍标准差作为步长从这两个分界点出发向两端再各自确定一个分界点,从而将整个数据样本分为5个等级,再根据指标的相对重要性确定其判断矩阵(表2),对表2进行判断矩阵的一致性检验,结果 $CR(\text{一致性比例}) = 0.036 < 0.1$,证明符合研究要求。

2.2.4 综合评价指数计算方法 综合评价指数是用来总体评价冻融侵蚀敏感程度的指标,指数愈大冻融侵蚀愈强烈,根据水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级

标准(SL190—2007)》,并参考野外调查结果将研究区域的冻融侵蚀作用强度划分为微度侵蚀、轻度侵

蚀、中度侵蚀、强烈侵蚀和剧烈侵蚀五个等级,综合评价指数可采用式(1)进行计算^[10]。

表1 评价指标分级赋值标准^[10]

指标	不敏感	一般敏感	敏感	非常敏感	极敏感
气温年较差/℃	≤32.5	32.5~36.5	36.5~40.5	40.5~44.5	>44.5
年降水量/mm	≤100	100~200	200~300	300~400	>400
坡度/(°)	0~10	10~20	20~30	30~40	>40
植被覆盖度/%	>60	45~60	30~45	15~30	0~15
解冻期平均降雨量/mm	≤50	50~110	110~170	170~230	>230
冻结期平均最低温度/℃	≤-4.5	-4.5~-9.0	-9.0~-13.5	-13.5~-18.0	>-18.0
赋值	1	2	3	4	5

表2 评价指标的判断矩阵^[11]

指标	气温年较差	坡度	植被覆盖度	年均降水量	解冻期平均降雨量	冻结期平均最低温度
气温年较差	1	1/2	2	1	1	1
坡度	2	1	3	3	2	2
植被覆盖度	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1/2
年均降水量	1	1/3	2	1	1/2	1
解冻期平均降雨量	1	1/2	2	2	1	1
冻结期平均最低温度	1	1/2	2	1	1	1

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

式中: I ——冻融侵蚀综合评价指数; I_i ——各单因子评价指标分级值; W_i ——各单因子评价指标对应的权重; n ——单因子数。

3 结果与分析

3.1 气温年较差计算结果可靠性分析

将计算得出的气温年较差数据与实际气象观测数据进行对比分析,在检验经验回归方程计算结果准确性的同时验证该方法在研究区域的适用性。

通过数据对比发现利用多元线性回归方程计算得出的气温年较差与实测结果基本相符,计算精度可靠,其中甘肃中南部地区估算值略微偏低,西北地区计算值一般偏高,最大误差为12.4%,平均相对误差为6.48%。图1为利用经验公式计算的气温年较差与实际观测值的比较结果,可以看出研究区域的实测气温年较差变化与计算预测结果基本一致,能很好地

反映出甘肃地区冻融侵蚀气温变化规律,所以选用该经验公式计算研究区域内的气温年较差 T 并作为分级评价指标进行冻融侵蚀强度分析评价是可行的。为了进一步说明计算结果的可靠性,利用实测数据分别对该多元线性回归方程进行拟合优度检验和方程显著性检验。

拟合优度检验结果显示,可决系数 R^2 为0.971 2,校正后可决系数为0.968 5,说明该回归方程计算结果对样本实测数据的和拟合效果良好。

方程显著性检验结果当 $\alpha=0.05$ 时, $F=325.98 > F_{0.05,3,29}=2.93$,也就是说在95%的置信概率下,方程的线性关系成立,经纬度和海拔高度对气温年较差的解释作用显著,另外由于 $R^2=0.971 2 > 95\%$,因此该多元线性回归方程的计算结果精度可靠性符合研究要求。

3.2 冻融侵蚀敏感性分析

根据表2中的判定矩阵,运用层次分析法计算得出甘肃地区的冻融侵蚀分级评价指标单因子权重如表3所示。

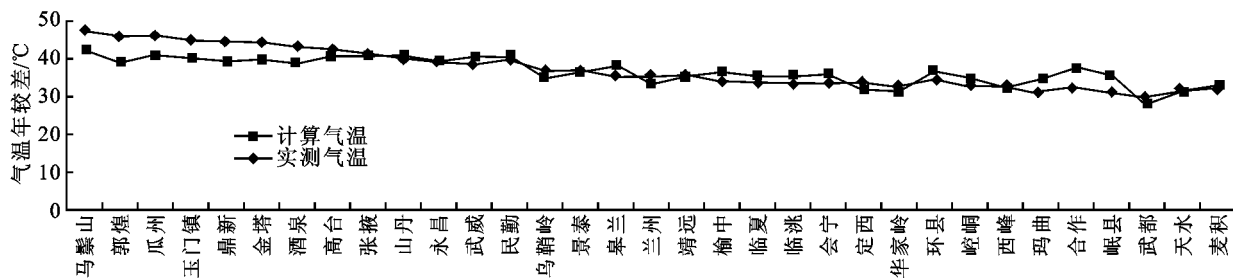


图1 利用回归方程计算得出的计算值与实测值比较

表 3 冻融侵蚀单因子评价指数权重

指标	气温年较差	坡度	植被覆盖度	年均降水量	解冻期平均降雨量	冻结期平均最低温度
权重	0.31	0.12	0.12	0.08	0.15	-0.22

利用上述综合评价指数 I 的计算方法进行估算并依据《土壤侵蚀分类分级标准(SL190—2007)》得出该研究区域的冻融侵蚀强度分级标准,如表 4 所示。

表 4 冻融侵蚀强度分级标准

冻融侵蚀强度	微度	轻度	中度	强烈	剧烈
综合评价指数	1~1.7	1.7~2.2	2.2~2.5	2.5~3.0	3.0~3.7

研究表明冻融侵蚀的强度随温差变化的增大而增大,一般情况下气温年较差越大冻融侵蚀作用就越强烈,甘肃省地处三大高原交汇地带,有很强的季风性气候,局部地区属高寒区,温差大且辐射强,全省年均气温由东南向西北递减,平均气温年较差为 37.14℃,随海拔变化明显,为冻融侵蚀的发生提供了必要的气候条件,是最为重要的影响因子,权重值为 0.31。作为负温因子的冻结期平均最低温度是影响冻融侵蚀强度仅次于气温年较差的主要影响因子,权重值为 0.22,说明无论是温度变化幅度还是冻结期的负温水平都是决定冻融侵蚀强度的最主要因素,两个因子对冻融侵蚀的共同影响作用超过 50%以上。

与温度不同,降雨为冻融侵蚀提供了物质来源,从表 3 可以看出年均降雨量对冻融侵蚀的影响有限,权重只有 0.08,但解冻期平均降雨量对冻融侵蚀强度的影响却很显著,权重值为 0.15,这与三江源地区的相关研究结论相似,说明不同时期的降雨过程对冻融侵蚀强度的影响有很大差别。按冻融过程的不同时期可把降雨分为冻结期降雨,消融期前期降雨和消融期后期降雨三类,冻结期降雨对土壤的冻融侵蚀具有很强的推动作用,这类降雨的增多直接导致了表层含水率增多,冻结时由于水体的物理性质改变而体积增大,从而对土体结构的破坏性也随之增强,在消融期前期冻结速度大于消融速度,降水由于环境气温较低而大多转化成冰雪,从而加大了地表的整体比热,减小了地面与大气的温差,会降低土层的消融,减轻土壤的冻融侵蚀效果,在后期冻结速度小于消融速度,冰雪融水对土壤有搬运和侵蚀作用,冻融侵蚀量会随着降水增多而增大。

坡度是冻融侵蚀发生的动力条件,影响着土壤冻融侵蚀量和侵蚀产物被带离的位移大小,研究表明坡度因子的权重值为 0.12,以往研究也表明几乎所有

冻融侵蚀发生都必须具备一定地形条件,而且坡度变化越大冻融侵蚀的强度等级也越大,另外通过实地观测还发现坡向对冻融侵蚀也有一定影响,阳坡面比阴坡面的太阳辐射量大,因此地面昼夜温差也较大,冻融侵蚀效果也更为敏感。

植被对冻融侵蚀强度具有明显的削弱效果,权重值为 0.12,这是因为植被可以增加土体的稳定性,对地表有保护作用,可以减轻冻融侵蚀过程对土壤的破坏,缓解冻融期降雨的混合侵蚀,另外植被的根系对土壤有固结缠绕作用,在消融期后还具有固结和修复效果。遥感数据表明甘肃是一个少林地区,平均森林覆盖率只有 16.55%,主要以云杉为主。草地主要分布在海拔 2 400 m 以上的甘南草原和祁连山地,在海拔 3 000 m 以上的地区牧草的生长期短枯草期长,因此这一区域冻融侵蚀强度一般较大。

3.3 冻融侵蚀强度空间分布特征

将上述计算结果在 GIS 软件中进行叠加,为了最终确定冻融侵蚀区的侵蚀强度分布情况,将处理后的 DEM 数据由平面坐标(m)转化成为经纬度坐标(度),并利用 Projection Wizard 工具进行投影,再利用数据生成函数对图像进行裁剪校正和人工解译,最后再减去冰川区和非冻融侵蚀区可得到冻融侵蚀区强度等级分布图(图 2)。



图 2 冻融侵蚀区强度等级分布

结果表明多年冻土虽然通常出现在年平均气温为负值的地区,但由于研究区地形复杂多变,在年均气温为正的地方也存在有离散冻土区。全省冻融侵蚀强度分布总体上由东北向西南方向递增,冻融侵蚀区下界海拔分布在 3 300~4 400 m,冻融侵蚀区总面积为 3.88 万 km²。从甘肃省冻融侵蚀区强度等级分布图中可以看出,甘肃只有少部分地区属于冻融侵蚀区,冻融侵蚀强度较高的区域主要集中在北部的东南

方向,东部地区虽然降水量较西部地区要大许多,但由于冻融侵蚀基本不起主导作用,所以几乎没有冻融侵蚀区存在。甘肃省的冻融侵蚀区主要分布在酒泉东南部、嘉峪关、张掖西南部和甘南西部,结合实测资料可以发现这些区域气温年较差一般较大,虽然局部地区的年降水量很小,但冻融侵蚀作用依然十分明显。从地图上看,省内北部地区冻融侵蚀基本上呈带状分布,而南部地区呈片状分布且侵蚀强度主要以微度侵蚀和轻度侵蚀为主。

4 结论

本研究基于 GIS 和 RS 技术获取甘肃地区植被覆盖度及地形参数,并结合同时期的气象观测数据资料,对甘肃地区的冻融侵蚀强度分布进行了分级评价,同时利用修正后的经验公式界定了研究区冻融侵蚀范围,丰富了冻融侵蚀研究的应用与理论依据。取得的主要研究结论如下:

1) 甘肃省冻融侵蚀强度分布由西南向东北方向递减,冻融侵蚀区的下界海拔在 3 300~4 400 m 之间,省内冻融侵蚀区面积为 3.88 万 km²,只有少部分地区属于冻融侵蚀敏感区,主要集中在甘肃北部的东南方向和南部的西南角。

2) 酒泉东南部、嘉峪关、张掖西南部和甘南西部地区是省内主要的冻融侵蚀区,冻融侵蚀作用明显,其中张掖西南部和酒泉东南部的冻融侵蚀强度较高,主要以中度侵蚀和强烈侵蚀为主。2010 年全省冻融侵蚀面积占土地总面积的 8.6%,占土壤侵蚀面积的 28.9%,冻融侵蚀区平均下界海拔是 3 860 m,从西南向东北逐渐降低。

3) 在甘肃地区气温年较差大小和冻结期平均最低温度是影响冻融侵蚀强度变化的最主要影响因子,

其次是解冻期平均降雨量、坡度和植被覆盖度,年降雨量变化对甘肃地区冻融侵蚀强度影响的敏感性相对最低。

参考文献:

- [1] 范吴明,蔡强国.冻融侵蚀研究进展[J].中国水土保持科学,2003,1(4):50-55.
- [2] 中国土壤侵蚀图册[M].北京:中国标准出版社,2002.
- [3] 魏霞,丁永建,李勋贵.冻融侵蚀研究的回顾与展望[J].水土保持研究,2012,19(2):271-275.
- [4] 张瑞芳,范吴明,王瑄,等.辽宁省冻融侵蚀发生的气候环境条件分析[J].水土保持研究,2008,15(2):8-12.
- [5] 景国臣,任宪平,刘绪军,等.东北黑土区冻融作用与土壤水分的关系[J].中国水土保持科学,2008,6(5):32-36.
- [6] 刘佳,范吴明,周丽丽,等.春季解冻期降雨对黑土坡面侵蚀影响研究[J].水土保持学报,2009,23(4):64-67.
- [7] 景国臣,任宪平,刘丙友,等.黑龙江省冻融侵蚀形式及其危害[J].中国水土保持科学,2003,1(3):99-101.
- [8] 谢颀,熊成品,刘寻续.三江源地区水土流失成因,特点及防治对策[J].中国水土保持,2007(11):19-21.
- [9] 徐左军.西部开发过程中甘肃农业结构的调整[J].甘肃省经济管理干部学院学报,2004,17(3):12-14.
- [10] 陈剑桥,周利军.大渡河流域冻融侵蚀监测与分析[J].水土保持应用技术,2013(4):14-16.
- [11] 李成六,马金辉,唐志光,等.基于 GIS 的三江源区冻融侵蚀强度评价[J].中国水土保持,2011(4):41-43.
- [12] 李辉霞,刘淑珍,钟祥浩,等.基于 GIS 的西藏自治区冻融侵蚀敏感性评价[J].中国水土保持,2005(7):44-46.
- [13] 张建国,刘淑珍.界定西藏冻融侵蚀区分布的一种新方法[J].地理与地理信息科学,2005,21(2):32-34.
- [14] 董瑞琨,许兆义.青藏高原的冻融侵蚀问题[J].人民长江,2000,31(9):39-41.
- [15] 周幼吾,郭东信,邱国庆,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000.