辽宁省侵蚀沟发育特性及地形分异特征

黄 萌,范昊明

(沈阳农业大学水利学院,沈阳 110866)

摘要:在不同层面对研究区数字高程模型(DEM)重分级,探讨地形因素对侵蚀沟发育的影响。以第一次全国水利普查侵蚀沟普查成果(2010 年)与辽宁省第五次土壤侵蚀普查侵蚀沟普查成果(2015 年)获取侵蚀沟分布数据,基于 1∶50 000 DEM 获取侵蚀沟高程、坡度、坡向、坡长和空间分异特征。在地理信息系统(GIS)和遥感(RS)技术的支持下,分析辽宁省侵蚀沟发育特性与地形分异特征。结果表明:5 年间研究区侵蚀沟密度增加 0.02 km/km^2,侵蚀沟高发区主要集中在辽西;70%以上区域密度变化值<50 m/km^2,大部分处于微度增加区;高程在 325~350 m 时密度变化值最大;坡向上南坡、西南坡为密度变化高值区;坡度在 1.5°~15°时密度变化曲线呈抛物线形,<1.5°和>15°时无明显变化;坡长在 600~800 m 时密度变化值最大,坡长>1 000 m 时密度变化值无明显差异。

关键词:土壤侵蚀;侵蚀沟地形分异;地理信息系统;侵蚀沟密度

中图分类号:S157.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-2242(2017)05-0093-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.05.015

Development Characteristics and Topographic Differentiation Features of Erosion Gully in Liaoning Province of China

HUANG Meng, FAN Haoming

(*College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang* 110866)

Abstract: In order to explore the influence of topographic factors on the development of erosion gully, regrading Digital Elevation Model(DEM) at different levels was conducted in the study area. The erosion gully distribution data were obtained from the results of the Erosion Gully Census in the First National Water Resources Census (2010) and the results of the Erosion Gully Census in the Fifth Soil Erosion Census In Liaoning Province (2015). Erosion gully elevation, slope, slope aspect, slope length and space differentiation were based on the 1∶50 000 DEM . This study analyzed the characteristics of erosion gully development and topographic differentiation in Liaoning province of China with the supported of geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) technology. The results showed that the erosion gully density increased 0.02 km/km^2 in the study area within 5 years, and the erosion gully mainly concentrated in the western Liaoning. The change value of the erosion gully density were less than 50 m/km^2 in more than 70% of the study area, most of them were in the micro enhancement zone. The change value of density was maximum when the elevation was between 325 m and 350 m. The change values of density of the south slope and southwest slope were the maximum. When the slope was between 1.5° and 15°, the graph of change density was parabolic, and there was no obvious change when the slope was less than 1.5° and more than 15°. The density change was the maximum when the slope length was between 600 m and 800 m, and there was no significant difference in density change when the slope length was more than 1 000 m.

Keywords: soil erosion; topographic differentiation of erosion gully; geographic information system; gully density

地形作为侵蚀沟产生的外部条件,通常被认为是侵蚀沟发育最重要的因素之一。在黄土丘陵沟壑区,坡面坡度、长度、坡向以及上坡长度是影响坡面浅沟数量的主要地形要素[1]。沈海鸥等[2]在黄土坡面通过模拟降雨试验发现坡面侵蚀速率和细沟侵蚀速率随坡度的增加呈幂函数增加。张会茹等[3]研究发现红壤坡面坡度对侵蚀产沙量的影响存在临界坡度(20°),但对临界坡度的研究未有一致定论,其与土壤

收稿日期:2017-04-04
资助项目:国家自然科学基金项目“东北黑土低山丘陵区融雪侵蚀机理与过程研究”(41371272)
第一作者:黄萌(1992—),女,在读硕士研究生,主要从事土壤侵蚀方面研究。E-mail:15640388829@163.com
通信作者:范昊明(1972—),男,教授,博士生导师,主要从事流域侵蚀产沙与水土保持规划方面研究。E-mail:fanhaoming@163.com

质地、降雨强度、植被覆盖等有关。李君兰等[4]通过室内模拟降雨试验发现以单宽产流速率为表征指标，降雨强度和坡长坡度交互效应促进产流，而单一坡度阻碍产流。朱云云等[5]以黄土高原不同坡向上的自然草地群落为研究对象发现较阳坡和半阳坡，阴坡半阴坡植物对资源利用率较高，种间竞争小、性状丰富度高，从而土壤侵蚀量相对较小。

在东北典型黑土区不同海拔、坡度、坡向导致侵蚀沟发育有较大差异[6]，东北黑土区通肯河东西坡度差异致使侵蚀沟密度存在较大不同[7]。宁静等[8]基于GIS和RS技术以黑龙江省宾县2个乡镇为研究区发现，“小坡长”+“小坡度”或“大坡长”+“小坡度”条件为横垄耕作最优选择，“小坡长”+“大坡度”或“大坡长”+“大坡度”条件为斜垄耕作最优选择。张永光等[9]通过对东北漫岗黑土区两小流域地形因子和浅沟侵蚀进行分析发现，浅沟侵蚀强度随坡面长度、汇水面积的增大而增大，浅沟长度、侵蚀体积与流域坡度呈负相关，原因在于坡度大的坡面坡长较短。葛翠萍等[10]以东北黑土区典型坡耕地海伦市光荣小流域为研究区，研究坡耕地地形因子对土壤水分和容重的影响，研究发现坡度、高程对两者影响显著，坡向影响则不显著。李浩等[11]研究发现坡度是影响典型黑土区村级尺度侵蚀沟演变的主要原因。李飞等[12]研究发现东北黑土区南部侵蚀沟裂度随坡度升高先增大后减小，阳坡高于阴坡，迎风坡高于背风坡。

以往学者虽在宏观层面分析过侵蚀沟变化，但大部分研究区域较小，时间周期较长，而针对辽宁地区的研究也主要是对影响因素的宏观概述[13]，或探讨降雨因素对侵蚀沟发育的影响[14]，缺少地形因素的针对性分析。因此本研究基于2010年和2015年数据对辽宁省(第一次沟道普查只涉及东北黑土区，故对本次研究区朝阳市、葫芦岛市建昌县、大连市长海县除外)侵蚀沟5年间发育情况进行对比分析，尝试将辽宁省侵蚀沟与地形因素之间的关系加以探讨，从而探讨辽宁省不同地形环境对侵蚀沟发育的影响，为当地或同类地区土地利用规划和侵蚀治理提供科学参考。

1 研究区概况

辽宁省位于我国东北南部，东以鸭绿江为界与朝鲜隔江相望，西北与内蒙古自治区接壤，西南、东北与河北省和吉林省为邻，辽东半岛及辽西走廊临渤海和黄海。总土地面积为14.81万km^2。温带大陆性季风气候，日照丰富，积温较高，冬长夏暖，春秋季短，雨水不均，东湿西干。年日照时数2 100～2 600 h。全省平均气温为5～10 ℃，受季风气候影响，各地差异较大，分布趋势是自西南向东北、自平原向山区递减，四季变化明显。平均无霜期130～200 d，大部分地区无霜期在150 d以上。辽宁省是东北地区降水量最多的省份，年平均降水量为400～1 200 mm，东部山地丘陵区年降水量在1 100 mm以上；西部山地丘陵区年降水量在400 mm左右，是全省降水量最少的地区；中部平原降水量比较适中，年平均降水量在600 mm左右。辽宁在地质构造上属于华北台块，主要分为辽东台背斜，燕山沉陷岸和下辽河内陆断陷3个构造单元，地质运动形成辽宁省自北向南，自东西向中间倾斜的鞍形地貌；东西两侧分别为辽东山地丘陵和辽西山地丘陵，中部为广阔的辽河下游平原；山地、丘陵、平原比例为25∶35∶40。省内山地丘陵土壤具有较强的地带性，辽东山地丘陵土壤主要类型为棕壤。辽西山地丘陵区除建平县、北票市、阜新市北部有土层不厚的褐土外，也多属棕壤。与内蒙接壤的彰武县、康平县、昌图县北部有风沙土。辽宁省河流众多，主要水系有辽河、浑河、太子河、柳河、绕阳河、鸭绿江、大洋河、大凌河、小凌河以及渤海西岸和辽东半岛直流入海诸河。

2 数据来源与研究方法

以分辨率为2 m遥感影像和1∶50 000 DEM作为数据源，在完成投影转换的前提下，对遥感影像进行辐射校正、去条带和斑点、影像镶嵌，然后对影像进行物理拼接，完成遥感影像与DEM、行政边界等图层拼接、配准等处理。通过GIS软件在影像上勾画侵蚀沟道，建立每条沟道的属性表。在侵蚀沟道遥感解译过程中，通过遥感影像预判读和实地调查复核的方式建立解译标志及类似侵蚀沟道标志，确保能够识别的侵蚀沟道全部识别，不遗漏、不误判。本文研究的侵蚀沟长度为100～5 000 m，在遥感影像上能清晰辨认出，这些侵蚀沟毁坏农田破坏土地，横断面呈“V”形或“U”形，具有明显的沟缘特征。

本研究利用ARCGIS 9.3软件将研究区DEM高程重分级，将其与2010年和2015年侵蚀沟长度图层进行叠加得到研究区高程分异。将研究区均分为300×300个网格求取正方形格网单位面积内的侵蚀沟密度，将该密度值赋予每个正方形的中心点，利用含有侵蚀沟密度值的点图层进行空间插值，最终得到侵蚀沟空间分异。利用ARCGIS 9.3空间分析SLOPE、ASPECT模块，将研究区DEM按坡度、坡向重分级，最终得到研究区坡度、坡向分异。运用LS-TOOL软件[15-16]对DEM进行数据处理，将坡长重分级后得到研究区坡长分异。

3 结果与分析

3.1 侵蚀沟发育状况对比

侵蚀沟密度为单位面积内侵蚀沟的长度，分布密度为单位面积内侵蚀沟的个数。沟谷的侵蚀主要指地表

径流对土壤的冲刷作用，单位面积内侵蚀沟长度越长对土地产生的侵蚀能力越大，故可用侵蚀沟密度作为考量研究区侵蚀沟发展程度的指标。将 2 次侵蚀沟数据与研究区边界进行叠加，形成侵蚀沟分布图。由图 1 中侵蚀沟分布可知，平均坡度 2°以内、平均高度 4 m 左右、地势平坦的辽中地区没有侵蚀沟分布，西部侵蚀沟有明显增多趋势。根据 2 次普查数据可知，2010 年侵蚀沟数量 47 193 条，侵蚀沟面积 198.60 km^2，侵蚀沟总长度 20 738.59 km，沟壑密度 0.17 km/km^2，分布密度 0.38 条/km^2。稳定沟 8 099 条，占沟道总数的 17.16％，发展沟 39 094 条，占沟道总数的 82.84％。2015 年研究区侵蚀沟数量为 54 477 条，侵蚀沟面积 622.90 km^2，侵蚀沟总长度 23 997.66 km，沟壑密度 0.19 km/km^2，分布密度 0.44 条/ km^2。稳定沟 12 815 条，占沟道总数的 23.52％，发展沟 41 662 条，占沟道总数的 76.48％。由表 1 可知，2015 年研究区侵蚀沟总量增加 7 284 条，平均每年增加 1 457 条相当于每天增加 4 条，如此速度发展下去对土地的迫害作用是相当严重的；长度总量增加3 259.07 km，平均每天增加 1.8 km，6 层楼高约 21 m，约 86 栋楼的长度，如此速度发展下去对农田、植被、道路的危害可想而知。面积增加 424.30 km^2，平均每天增加 0.24 km^2，居民居住面积 100 m^2，相当于每天就有 2 400 个房屋大小的地区发育成侵蚀沟，并且发育速率成年递增，土地损失惨重。沟壑密度增加 0.02 km/km^2，分布密度增加 0.06 条/km^2，稳定沟所占比例增加了 6.36％。分布密度增量大于沟壑密度增量，说明单位面积上侵蚀沟增加的数量大于侵蚀沟增加的长度，新增侵蚀沟多为“短小型”，处于发育初期。稳定沟所占比重增加，说明 5 年间部分侵蚀沟由发展沟向稳定沟过渡，最终趋于稳定。

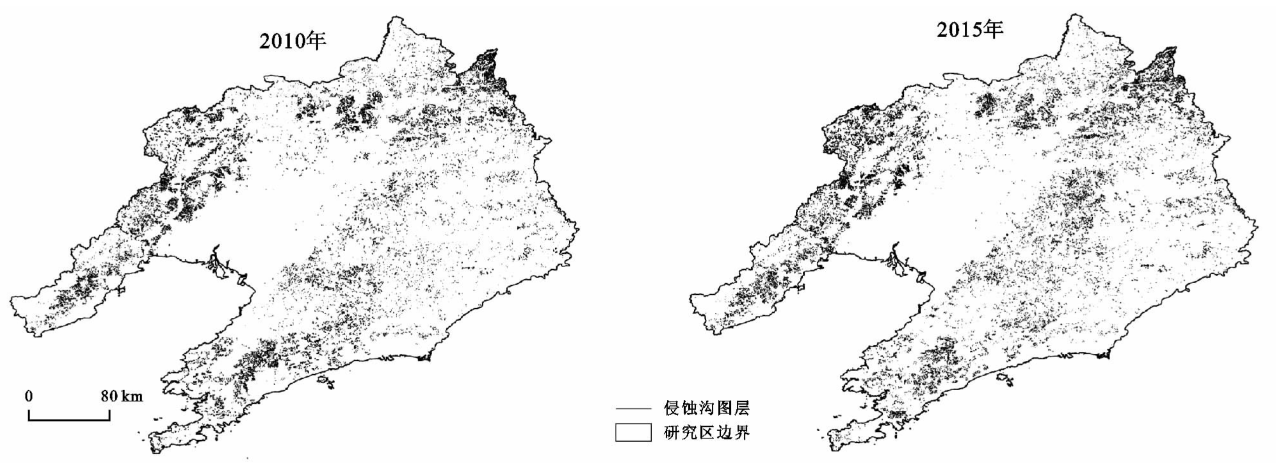

图 1　2010 年与 2015 年侵蚀沟分布

表 1　2010 年与 2015 年研究区侵蚀沟统计

属性	2010 年	2015 年	增量
数量/条	47193	54477	7284
长度/km	20738.59	23997.66	3259.07
面积/km^2	198.6	622.9	424.3
沟壑密度/($km \cdot km^{-2}$)	0.17	0.19	0.02
分布密度/(条$\cdot km^{-2}$)	0.38	0.44	0.06
稳定沟比例/％	17.16	23.52	6.36
发展沟比例/％	82.84	76.48	－6.36

3.2　侵蚀沟高程分异特征分析

将辽宁省高程按 25 m 间距分为＜175，175～200，200～225，225～250，……，325～350，＞350 m 9 个高程带，将侵蚀沟长度图层与高程分级图层进行叠加，得到不同高程带上侵蚀沟密度变化特征。

由图 2 可知，2010 年侵蚀沟密度从＜175 m 高程的168.61 m/km^2 上升到 175～200 m 高程的 245.50 m/km^2，在 200～225 m 高程的 228.84 m/km^2 到 300～325 m 高程的 253.30 m/km^2 间侵蚀沟密度曲线先升高再下降再升高，最后下降到高程＞350 m 的 70.83 m/km^2。2015 年侵蚀沟密度从＜175 m 高程的 180.42 m/km^2 上升到 175～200 m 高程的 303.73 m/km^2，在 200～225 m 高程的 290.27 m/km^2 到 300～325 m 高程的 326.46 m/km^2 间侵蚀沟密度曲线随高程增加而增加，最后下降到＞350 m 的 98.64 m/km^2。值得注意的是，在高程为 250～325 m 间 2 年侵蚀沟密度曲线变化趋势有所不同，5 年间侵蚀沟在高程为 300～325 m 时发展迅速，说明 5 年间人类对高海拔不宜耕种的地区进行了开发。2010 年侵蚀沟密度在高程为 275～300 m 时出现最大值 263.73 m/km^2，2015 年侵蚀沟密度在高程为 300～325 m 时出现最大值 326.45 m/km^2，侵蚀沟密度峰值点的上移反映出人类活动对环境的影响是自下而上进行的。高程在 300 m 左右辽宁省易发生沟蚀，此高度可作为沟蚀强弱转折点，为预防沟蚀发育提供参考。曲线变化趋势上呈现两边低中间偏高的规律，主要反映在高程较低的地区地貌主要为低凹地、洼地，这类地貌主要以淤积为主；高程较高的地区地貌主要为低山、台地丘陵，这类地貌坡度平缓，集水区面积小，无明显侵蚀发生；介于两者之间的低平原、山地丘陵区人类活动频繁，是土壤侵蚀主要高程带。

在高程＜175 m，……，＞350 m 9 个高程带之间侵蚀沟密度变化值分别为 11.82，58.23，61.43，61.23，59.65，52.32，73.16，79.94，27.81 m/km^2，高程在 175～300 m 侵蚀沟密度变化曲线差别不大，进一步分析可以发现，在第 8 高程带（325～350 m）侵蚀沟密度变化量达到最大值，说明 5 年间，人类对于高海拔、难耕作的地区进行了开垦，植被遭到破坏，同时没有采取良好的水保措施，加速侵蚀沟发育。

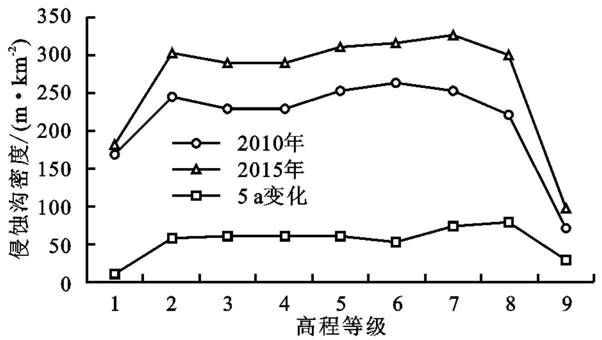

图 2 辽宁省侵蚀沟高程分异特征

3.3 侵蚀沟空间分异特征分析

将研究区均分为 300×300 个网格，叠加侵蚀沟长度图层，利用含有侵蚀沟密度值的点图层进行空间插值，最终形成侵蚀沟密度图。

图 3 为 2010 年、2015 年侵蚀沟密度空间分布、5 年间侵蚀沟密度变化特征。将侵蚀沟密度分为＜50，50～150，150～300，300～450，450～600，600～1 500，1 500～2 500，＞2 500 m/km^2 8 个等级。通过图 3 可得侵蚀沟密度变化值较大的区域集中在辽西、辽北部分地区，主要是因为辽西地区坡度较陡，常年干旱，土壤侵蚀敏感性高，加之不合理的人类活动，更容易促使侵蚀沟的发育。辽北地区侵蚀沟发育主要集中在铁岭市，该区降雨侵蚀力大、土地过渡开垦，加剧侵蚀沟发育。由图 4 可知，1～8 密度等级变化值分别占总体密度等级变化值的 70.47%，18.54%，7.17%，1.91%，0.89%，0.60%，0.39%，0.03%，随密度等级的增加侵蚀沟密度变化区所占比例减小，说明 5 年间辽宁省空间格局上 70%以上的区域侵蚀沟密度变化值＜50 m/km^2，主要是因为监测周期短，加之近年来辽宁省大部分地区水土保持措施取得了一定成效，大部分处于微度增加区。

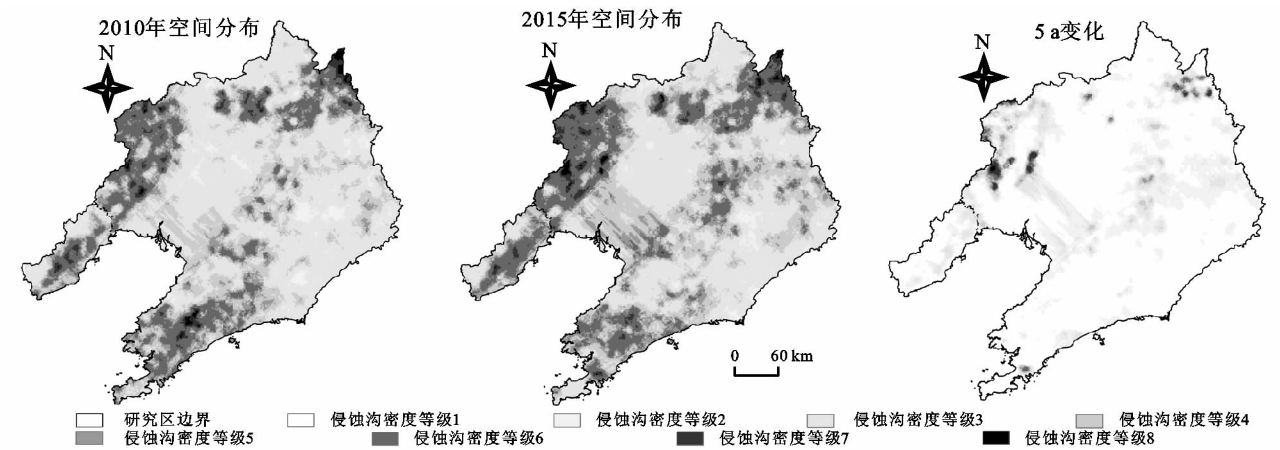

图 3 辽宁省侵蚀沟空间分异特征

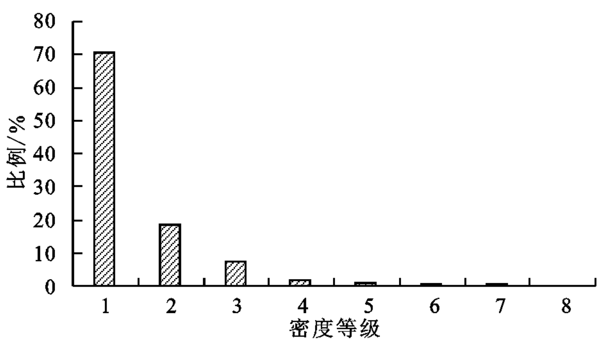

图 4 辽宁省侵蚀沟密度比例

3.4 侵蚀沟坡向分异特征分析

地形及下垫面状况是土壤侵蚀主要因素之一，而坡度、坡长与坡向则为重要的地形因子[17]。不同坡向接受的太阳辐射量有所不同，对水分的吸收能力也会受影响[18]，因此坡向是影响侵蚀沟发育的主要因素之一。

将辽宁省坡向分成北、东北、东、东南、南、西南、西、西北 8 个坡向，分析不同坡向上侵蚀沟的动态变化，探讨研究区坡向对于侵蚀沟发育的影响。由图 5 可知，不同坡向侵蚀沟发育差异较大。2010 年和 2015 年侵蚀沟密度分别为 112.49～220.19，140.64～241.49 m/km^2，5 年间密度变化值为 7.96～51.46 m/km^2，2010 年侵蚀沟密度在东坡、东南坡、南坡较大分别为 206.61，220.19，199.83 m/km^2，而 5 年间变化值在东坡、东南坡则相对较小分别为 7.96，16.50 m/km^2，虽然东坡、东南坡侵蚀沟密度基数大，侵蚀沟发育速率却较小，说明此坡向较其他坡向不适宜侵蚀沟发育，这与研究区风向、太阳辐射、日照时长存在很大关系。密度变化值较大区域主要集中在西南坡、南坡、西坡分别为 51.46，41.66，37.14 m/km^2，主要是因为研究区南坡坡度较陡，西南风较多以及太阳辐射

的作用导致南坡降雨动能加大,降雨侵蚀力加剧,促进侵蚀沟发育。曲线变化趋势在各个方向上侵蚀沟密度变化并不一致,说明坡向对研究区侵蚀沟发育具有相对作用。曲线变化趋势另一隐藏因素,2010 年侵蚀沟密度在东南坡向达到最大值 220.19 m/km^2,此坡向 2015 年密度值为 236.69 m/km^2,增值仅为 16.50 m/km^2,不排除侵蚀沟解译过程中受解译人员主观因素影响及影像的清晰度影响,侵蚀沟勾画存在一部分误差的可能性。

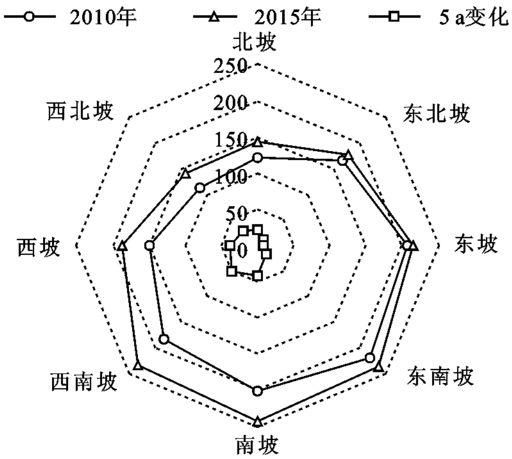

图 5　辽宁省侵蚀沟坡向分异特征

3.5　侵蚀沟坡度分异特征分析

查轩等[18]在对红壤地进行调查研究时发现在坡度为5°～25°的坡地上,土壤侵蚀分布较广,阴阳坡土壤侵蚀有较大差异,坡度是导致研究区土壤侵蚀的重要原因。在对本研究区进行分析时,此结论同样适用。

辽宁省地貌多为平原,坡度>25°的地貌极少。因此将辽宁省坡度分成<1.5°,1.5°～3°,3°～4°,4°～5°,5°～8°,8°～15°,15°～25°,>25° 8 个坡度带,得到不同坡度带侵蚀沟密度分布特征(图 6)。

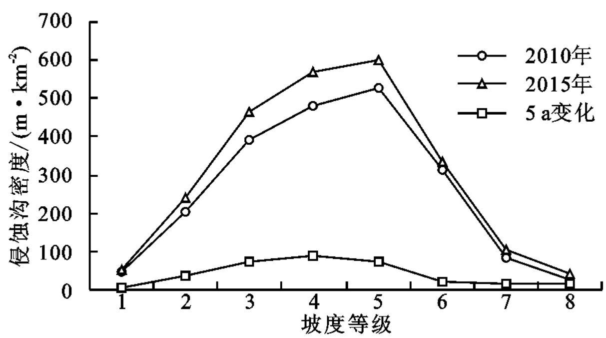

图 6　辽宁省侵蚀沟坡度分异特征

由图 6 可知,2010 年侵蚀沟密度从<1.5°坡度的 47.34 m/km^2 上升到坡度为 5°～8°的 526.94 m/km^2,然后降到坡度>25°的 25.38 m/km^2;2015 年侵蚀沟密度从<1.5°坡度的 53.18 m/km^2 上升到坡度为 5°～8°的 600.02 m/km^2,然后降到坡度>25°的 40.30 m/km^2。2010 年与 2015 年侵蚀沟密度在坡度为 5°～8°时都达到峰值,分别为 526.94,600.02 m/km^2,侵蚀沟密度变化值在 4°～5°达到最大值 89.74 m/km^2,虽然 2015 年研究区侵蚀沟在坡度为 5°～8°时侵蚀沟密度最大,侵蚀沟变化却没有坡度为 4°～5°时剧烈,说明 5 年间坡度为 4°～5°时侵蚀沟发育速率最快,此坡度带植被遭到破坏,沟头溯源侵蚀剧烈,5 年间辽宁省人工陡坡开荒情况加剧。由曲线走势可知,曲线先呈上升趋势主要是因为坡度增加坡面变陡,雨滴能量增大,降雨侵蚀力随之变大,土壤水分增加,土壤结构受到破坏,产生大量松散物质,加速侵蚀沟发育;曲线后半程下降主要因为超过一定坡度后,坡面承雨面积增加,降雨产流时间变长,挟沙能力下降,侵蚀沟发育减缓。侵蚀沟密度变化值在坡度<3°,>8°时变化很小,说明坡度<3°,>8°的坡面,坡度的大小已经不是影响侵蚀沟发育的主要因素,主要原因是坡度较小或较大时,侵蚀沟形成所需要的坡长和集水区等因子较小,不易于侵蚀沟的发育。

3.6　侵蚀沟坡长分异特征分析

坡长作为地形因子中的重要组成部分,当雨水冲刷地表时,坡长不同,坡面水流沿程的能量变化也有所不同[19]。因此,分析侵蚀沟在地形因素上的分异性,坡长因子不容忽视。

将研究区坡长按 200 m 间距分为<200,200～400,……,1 400～1 600,>1 600 m 9 个坡长等级,得到不同坡长带侵蚀沟密度分布特征。由图 7 可知,2010 年侵蚀沟密度为 9.98～258.87 m/km^2,2015 年侵蚀沟密度为 19.93～ 304.57 m/km^2。2010 年和 2015 年 2 年侵蚀沟密度均在坡长为 400～600 m 时达到峰值,分别为 258.87,304.57 m/km^2,说明研究区在坡长为 400～600 m 左右的坡面易发生土壤侵蚀。由曲线变化趋势可知,侵蚀沟密度在坡长<200 m 的等级上升到 200～400 m 等级,分析曲线前半程上升的原因,首先坡耕地由于农耕活动翻耕致使坡面土壤结构遭到破坏,土质松散,抗蚀性减小,随着坡长增加,坡面可供侵蚀的物质越来越多,侵蚀沟产流产沙路径延长,进而延长雨水沿程挟带物质的进程,导致产沙量增加,在上游来水、降雨的情况下,坡长较长区域延长雨水对地表的冲刷历时,加剧水蚀作用,加剧侵蚀沟的发育。侵蚀沟密度在坡长为 200～400 m 与坡长为 400～600 m 等级之间趋于稳定,然后急速下降到坡长为 800～1 000 m 等级,下降的原因主要是因为研究区坡长>800 m 的地区较少,而且此区域易于植物生长,对土壤起到保护作用不易产生侵蚀沟,另外研究区 88%左右的侵蚀沟

沟长<800 m,固坡长>800 m区域侵蚀沟分布较少。坡长>1 000 m时侵蚀沟密度曲线趋于稳定,侵蚀沟密度值很小,主要是因为研究区坡长>1 000 m的区域很少,且此区域侵蚀沟分布较少。侵蚀沟密度变化值在坡长600～800 m等级达到峰值为47.05 m/km^2,坡长在400～600 m等级达到次级峰值为45.71 m/km^2。坡长在600～800 m时,侵蚀沟密度较小,密度变化值最大,说明侵蚀沟在坡长为600～800 m时发育速率最快,主要是因为坡长在600～800 m时侵蚀沟多为发展沟,坡长条件适宜侵蚀沟长度的延伸,固坡长在600～800 m时侵蚀沟发育速率快。坡长为400～600 m时侵蚀沟密度值最大,密度变化值却小于坡长为600～800 m,说明坡长在400～600 m时侵蚀沟发育达到末期,稳定沟居多,侵蚀沟发育速率缓慢。坡长>1 000 m时,侵蚀沟密度、密度变化值均较小,说明此区间侵蚀沟分布较少且发育速率迟缓,应考虑除坡长以外的其他因素。

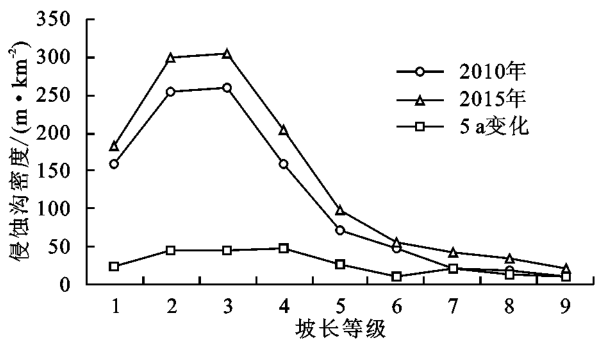

图7 辽宁省侵蚀沟坡长分异特征

4 结论

2010年侵蚀沟密度在高程为275～300 m时达到最大值,2015年侵蚀沟密度在高程为300～325 m时达到最大值,侵蚀沟密度变化值在高程为325～350 m时达到最大值,高程<175 m和>350 m时侵蚀沟密度、变化值均较小;空间分异方面,侵蚀沟密度变化值大部分处于微度增加带,高值区主要集中在辽西、辽北部分地区;南坡、西南坡方向侵蚀沟密度增值较大,东坡、东北坡侵蚀沟发育相对缓慢;坡度为3°～8°地区,研究区侵蚀沟发育显著,坡度<3°和>8°时密度变化值较小,<3°和>8°时,坡度已经不是影响侵蚀沟发育最主要的因素;坡长在600～800 m时侵蚀沟密度变化值最大,坡长>1 000 m的地区,侵蚀沟密度变化值较小且与坡长的变化无显著关系,在此区域应考虑除坡长外的其他因素。需要说明的是,数据处理过程中受解译人员主观因素及遥感影像清晰度的影响,侵蚀沟解译准确性存在相对误差,但总体判断不会影响侵蚀沟发育规律整体特征。

参考文献:

[1] 秦伟,朱清科,赵磊磊,等.基于RS和GIS的黄土丘陵沟壑区浅沟侵蚀地形特征研究[J].农业工程学报,2010,26(6):58-63.

[2] 沈海鸥,郑粉莉,温磊磊,等.降雨强度和坡度对细沟形态特征的综合影响[J].农业工程学报,2015,46(7):162-169.

[3] 张会茹,郑粉莉.不同降雨强度下地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响[J].水土保持学报,2011,25(3):40-43.

[4] 李君兰,蔡强国,孙莉英,等.降雨强度、坡度及坡长对细沟侵蚀的交互效应分析[J].中国水土保持科学,2011,9(6):8-13.

[5] 朱云云,王孝安,王贤,等.坡向因子对黄土高原草地群落功能多样性的影响[J].生态学报,2016,36(21):6823-6831.

[6] 王文娟,邓荣鑫,张树文,等.东北典型黑土区40年来沟蚀空间格局变化及地形分异规律[J].地理与地理信息科学,2012,28(3):68-71.

[7] 闫业超,张树文,岳书平.基于Corona和Spot影像的近40年黑土典型区侵蚀沟动态变化[J].资源科学,2006,28(6):154-159.

[8] 宁静,杨子,姜涛,等.东北黑土区不同垄向耕地沟蚀与地形耦合规律[J].水土保持研究,2016,23(3):29-36.

[9] 张永光,伍永秋,刘洪鹄,等.东北漫岗黑土区地形因子对浅沟侵蚀的影响分析[J].水土保持学报,2007,21(1):35-38.

[10] 葛翠萍,赵军,王秀峰,等.东北黑土区坡耕地地形因子对土壤水分和容重的影响[J].水土保持通报,2008,28(6):16-19.

[11] 李浩,张兴义,刘爽,等.典型黑土区村级尺度侵蚀沟演变[J].中国水土保持科学,2012,10(2):21-28.

[12] 李飞,张树文,李天奇.东北典型黑土区南部侵蚀沟与地形要素之间的空间分布关系[J].土壤与作物,2012,1(3):148-154.

[13] 方广玲,郭成久,范昊明,等.辽宁省土壤侵蚀和侵蚀沟发展的影响因素[J].安徽农业科学,2007,35(1):207-209.

[14] 张旭.辽宁省降雨侵蚀力时空变化研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2015.

[15] 杨勤科,郭伟玲,张宏鸣,等.基于DEM的流域坡度坡长因子计算方法研究初报[J].水土保持通报,2010,30(2):203-206,211.

[16] 张宏鸣,杨勤科,李锐,等.流域分布式侵蚀学坡长的估算方法研究[J].水利学报,2012,43(4):437-444.

[17] 郑子成,秦凤,李廷轩.不同坡度下紫色土地表微地形变化及其对土壤侵蚀的影响[J].农业工程学报,2015,31(8):168-174.

[18] 查轩,黄少燕,陈世发.退化红壤地土壤侵蚀与坡度坡向的关系—基于GIS的研究[J].自然灾害学报,2010,19(2):32-39.

[19] 孔亚平,张科利,曹龙熹.土壤侵蚀研究中的坡长因子评价问题[J].水土保持研究,2008,15(4):43-47.