

辽宁省冻融侵蚀发生的气候环境条件分析

张瑞芳, 范昊明, 王 瑄, 周丽丽, 武 敏, 刘艳华

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161)

摘 要:利用辽宁省1961—2006年的气温、降水等资料,分析了近46 a来辽宁地区气温和降水变化对冻融作用与冻融侵蚀的影响。结果表明,辽宁地区气候变化主要表现在年平均气温的波动上升且十分显著,而降水呈波动下降趋势;年内冬、春季平均气温增加率较高,以2—4月比较强烈;冬季降水基本不变,其它季节降水均减少。在气温和降水变化的情况下,辽宁地区土壤冻结期有推后的趋势,解冻期有提前的趋势,所以冻融期有所缩短,土壤化冻期有所提前。此外,土壤冻结深度有减小的趋势;随着初春(3月)温度的显著上升,冻融侵蚀有加重的趋势。

关键词:环境条件;冻融侵蚀;辽宁省

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)02-0008-04

Climatic Environmental Condition of the Freeze-thaw Erosion in Liaoning Province

ZHANG Rui-fang, FAN Hao-ming, WANG Xuan, ZHOU Li-li, Wu Min, LIU Yan-hua

(College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In this paper, the material of temperature and precipitation in Liaoning province during the period of 1961—2006 was used to analyze the impact of the variation of temperature and precipitation on the freeze-thaw function and freeze-thaw erosion. The results show that the annual mean temperature has increased distinctly, together with a decreasing precipitation. Temperature mainly rises in spring and winter, especially from February to April. Meanwhile, in the area, the variation of precipitation in winter is stable, while other seasons all have decreased respectively. With the variation of temperature and precipitation in Liaoning province, the frozen date of soil has a postponed trend and the thaw date of soil has an advanced trend. Therefore, the frozen duration of soil become short and the thaw duration of soil also become short. In addition, the decreasing of the frozen soil depth is in accordance with the climate change. With the rising of air temperature in the spring (rising of the air temperature in March), the freeze-thaw erosion has an aggravated trend.

Key words: environmental condition; freeze-thaw erosion; Liaoning Province

1 引 言

冻融侵蚀在我国分布较广、面积较大,相对严重冻融侵蚀主要分布在东北北部山区,西北高山地区,青藏高原地区^[1]。冻融侵蚀严重威胁着耕地及各种建筑物,已有研究表明,反复的冻融过程会影响土壤的物理性质,如团聚体稳定性、水分传导率、抗剪切力、可蚀性等,进而加重土壤侵蚀^[2]。目前,国内外对冻融侵蚀研究开展的相对较少。

气候变化可导致地球表层土的冻结和融化作用,并在一定区域形成季节冻土和多年冻土。冻融侵蚀是一个非线性变化的过程,有时冻融环境的改变会导致冻融侵蚀的突变^[3]。季节冻结和融化深度不仅依赖于气候条件,同时与地层的岩性、含水量、地中热流以及影响地面温度变化进程的地形特征和地面性质有关^[4],但气候条件,尤其是气温与降水是影响冻融作用与冻融侵蚀发生的最主要环境因素。温

度调节着冻结层和融化层的深度,温差越大,其深度也越大,持续时间也越长,发生冻融作用的可能性与程度也越大。这是冻融侵蚀发生的必要条件。此外,冻融作用的发生还要具备一定的降水量,尤以秋季后期降水量多少最为关键。足够的降水能够下渗到地表内必要的深度,作为冻融作用的驱动主体。当温度在0℃上下变化时,土壤孔隙或岩石缝隙中的水在冻结成冰时,体积膨胀(增大9%左右)^[5],因而使土壤孔隙或岩石裂缝加大增多。当土壤的冻融作用同其它侵蚀营力复合起来作用时,则会发生更为严重的侵蚀现象,如土壤冻融具有时间和空间的非一致性,当土体表层解冻,底层未解冻时形成一个不透水层,水分沿交接面流动,使两层间的摩擦阻力减小,此时的融雪径流和原本不具有侵蚀性的降雨,都可能导致土壤侵蚀的发生。在前人研究的基础上,探索辽宁省冻融侵蚀发生的气候环境条件,以辽宁省46 a

收稿日期:2007-06-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40601054);辽宁省教育厅高等学校科学研究青年基金资助项目(05L403);沈阳农业大学青年教师科研基金项目

作者简介:张瑞芳(1982—),女,内蒙古乌兰察布人,硕士,主要从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail:zhangruifang12@126.com

通信作者:范昊明(1972—),男,吉林白山人,博士,主要从事流域侵蚀、产沙与水土保持规划研究。

(1961—2006年)的气温与降水等气候资料为依据,分析冻融作用随气候变化的发展趋势。

2 研究区概况

辽宁省位于我国东北地区南部,在东经 $118^{\circ}48' - 125^{\circ}42'$,北纬 $43^{\circ}27' - 38^{\circ}30'$ 之间。全省地势由北向南逐渐降低,东西两侧较高,中部和沿海地区地势较低。地貌条件造就了冻融侵蚀发生所需要地形、坡度以及朝向等因子。辽宁东南部土壤多发育在现代残积母质上,质地较粗,西北部土壤多发育在砂、粉砂含量高的黄土母质上,质地偏轻。而辽北、沈阳地区及西南部土壤多发育在黄土性母质上,质地较黏,利于形成冻土。辽宁省地处温带,气候类型属于温带大陆性季风气候。由于地形较为复杂,有山地、平原、丘陵、沿海,所以省内各地气候也不尽相同。总的气候特点是:寒冷期长,平原风大,东湿西干,雨量集中,日照充足,四季分明。年 0°C 以下天数基本局限于 120 d/a ,大约是年总天数的 $1/3$ 。多年平均降水量在 $400 \sim 1\,000\text{ mm}$ 之间,而秋季降水量达到全年降水量的 15% 左右。显然,辽宁省具备冻融侵蚀作用发生的气候条件。

3 气候变化对冻融侵蚀的影响分析

20世纪80年代以来全球气候变暖已是不争的事实。随着气候变暖,我国冻土的面积不断缩小,冻土分布的地理南界在不断北移,最大冻土深度在减小等^[6-7]。气候变化势必对冻融侵蚀有一定的影响。冻融作用是气候的日、年和多年变化可能导致特定气候区域地球表层一定范围土的冻结和融化作用^[4]。辽宁地区地表均有不同程度的冻融作用发生。冻融作用程度与温度变化和降水量大小有关。一般情

况下,地球表层受冻结的时间越长、冻结温度越低,则冻结越深,冻结程度越重,土体所受的机械破坏越严重,冬季降雪量越大,春季气温回升的越快,则土壤受到的侵蚀越重^[8]。土壤的冻结与融化过程受土壤含水量影响,土壤冻结温度随含水量的增大而升高(含水量大的土相潜热大),所以在气候条件、土质、温度动态大致相同的情况下,含水量高的土壤先冻结,迟融化。因此,随着年降水量的变化,也会通过改变土壤含水量、土壤水势等因素影响土壤的冻融作用过程。

3.1 辽宁省气候变化特征

3.1.1 资料来源与分析方法

所用的资料来源于中国气象局提供的辽宁省54站气象资料,资料时段为1961—2006年,共46a,使用的要素有年、月、日平均的气温、降水量等。采用一元回归、趋势系数等方法分析气候变化。

3.1.2 气温和降水变化

(1)气温和降水的年际变化。由图1a可以看出,近46a来辽宁地区的气温呈波动增加的趋势,线性拟合增加率为 $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,并且通过了 $\alpha=0.01$ 的置信度检验,说明近46a来辽宁地区气温的上升趋势是十分显著的。气温的变化大致可以分为2个暖期和1个冷期。即20世纪60年代前期以前的相对暖期、60年代中期至70年代后期的偏冷期和80年代至今的暖期。对同期年降水进行分析(图1b)可以看出,降水的变化与气温的变化相反,呈波动减少的趋势,线性拟合递减率为 $21.75\text{ mm}/10\text{a}$,20世纪60年代初至70年代后期、90年代期间降水量呈递减趋势,80年代初至90年代初降水量呈增加趋势。

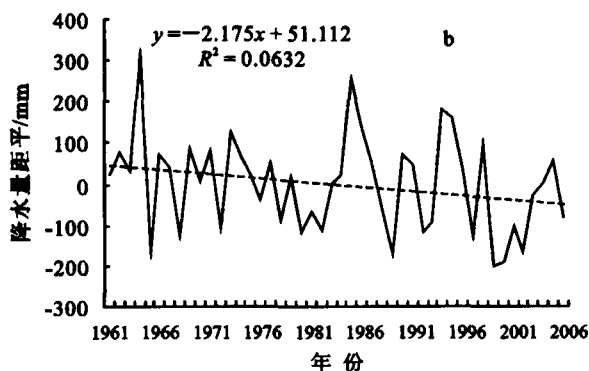
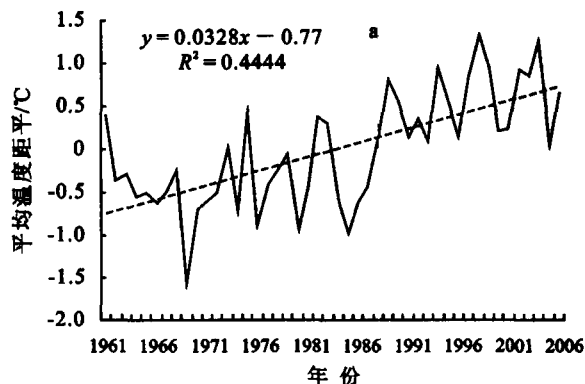


图1 辽宁省1961—2006年气温与降水量的变化及其趋势

(2)气温和降水的季节变化。为了进一步说明气温的季节变化,分析四季平均气温变化(图2)发现,冬、春季节平均气温增加率较高,分别为 $0.42^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,而夏、秋季节平均气温增加率较低,分别为 $0.115^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.227^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。此外,对气温年与季节之间的关系进行显著性水平检验,得到四季与年平均气温的相关系数值分别为 $0.77, 0.52, 0.57, 0.80$,均通过了 0.01 的显著性水平检验。

由以上分析可以看出,辽宁地区1961年以来气温季节变化的特点是四季变暖都比较显著,尤其是春、冬两季的显著升温,导致了年平均气温显著增加。说明20世纪80年代以来的气温上升主要是冬、春季造成的。

对同期年内季节平均降水量变化进行分析可以看出(图3),春、夏、秋季平均降水量总体呈减少趋势,其减少率分别为 $0.30\text{ mm}/10\text{a}$, $3.22\text{ mm}/10\text{a}$, $1.60\text{ mm}/10\text{a}$ 。只有冬季降水基本不变,其减少率只有 $0.07\text{ mm}/10\text{a}$ 。进行显著性水平检验,得到降水量年度和春、夏、秋季的相关系数分别为 $0.58, 0.92, 0.23$,除秋季外,春、夏季通过了 0.01 的显著性水平检验,而与冬季的相关系数为 -0.12 。图4是该地区月平均降水,说明年降水主要集中在6—9月,占总降水量的 75% 左右。

从以上分析不难看出,在全球气候变暖的背景下,辽宁地区的降水量在季节分配上发生了变化,表现为春、夏、秋季

降水量呈逐步减少的趋势,夏季减少最为明显,依次是秋季、春季,而冬季降水基本不变。这说明夏季降水量的变化对年降水量变化的影响比较显著。

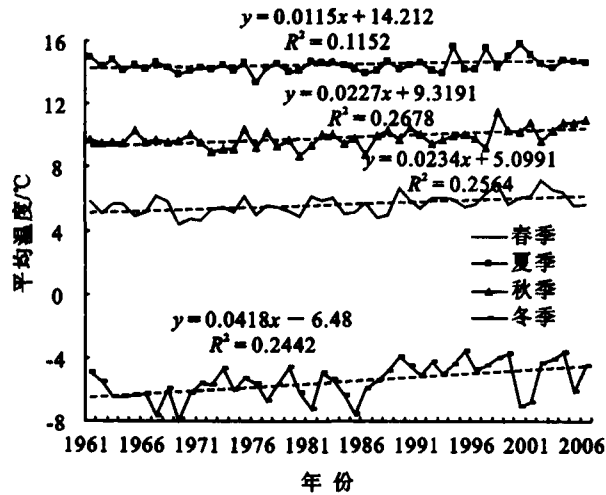


图 2 1961—2006 年季节平均气温变化及趋势

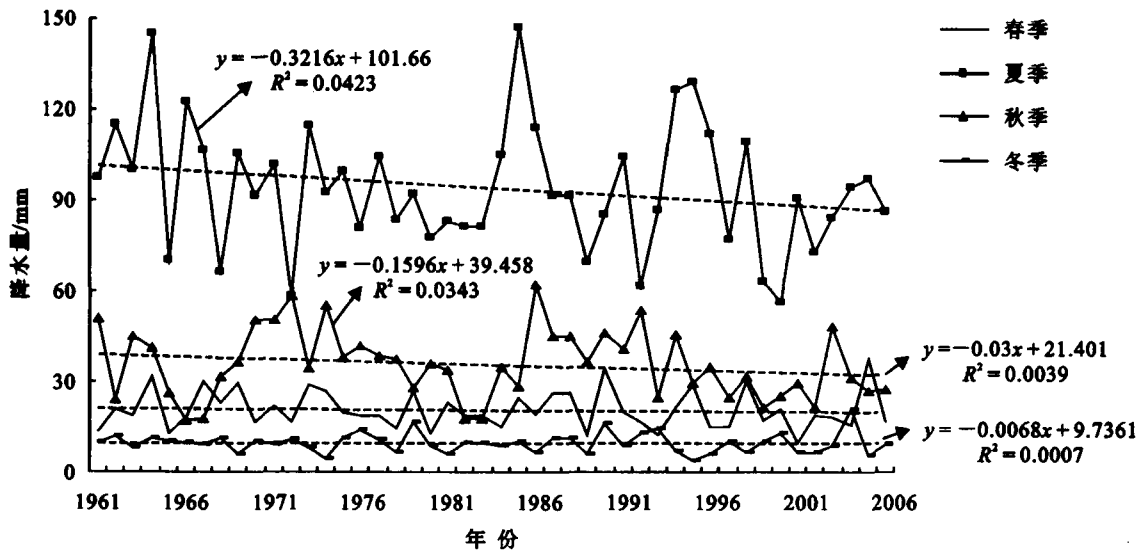


图 3 辽宁省 1961—2006 年季节平均降水曲线及其趋势

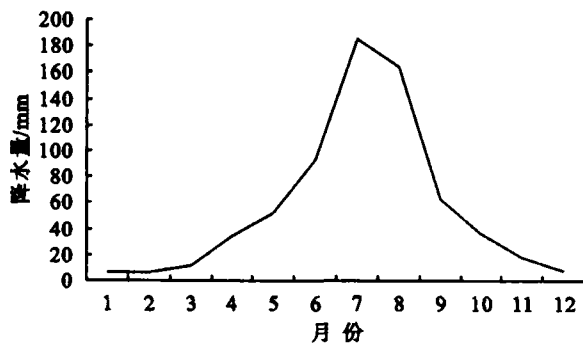


图 4 辽宁省 1961—2006 年月平均降水量

冬季平均气温与最大冻土深度有同步的变化趋势,即冬季气温低的年份,最大冻土深度深,而冬季气温高的年份,最大冻土深度浅^[10]。由图 2 可以看出辽宁省四季气温有不同程度的增加,尤以冬季增温最为明显,这将会使冬季最大冻土深度减小。

图 5—10 为辽宁省 1961—2006 年对土壤冻结和融化影

3.2 气候变化对冻融作用的影响

冻土是气候变化的敏感指示器,尤其是季节性冻结和融化层在温度年变化层的上部,更接近地表,对气候变化更为敏感,反应更为迅速。研究表明,年平均气温升高尤其是冬季气温升幅大,导致我国多年冻土的退化^[6,9]。因此,辽宁地区气候变化势必影响冻融作用的变化。土壤的温度会随着气温的显著升高而升高,这样会对冬季土壤的冻结和来年春季冻土的融化产生一定的影响。同时随着年降水量的变化,也会通过改变土壤含水量、土壤水势等因素影响土壤的冻融作用。

3.2.1 气温变化对冻融作用的影响

辽宁地区冬季寒冷地面雪被不厚,导致土壤具有深厚而又为时较长的季节性冻层。初冬,当地表日均温降到 0℃ 以下,夜冻大于日消,便形成季节性冻土。该区一般在 10 月下旬、11 月初进入冬季,地表土壤随着温度的变化开始出现冻结现象,随着温度的降低,土壤冻结深度不断加深,至翌年 2、3 月冻土深度达到最大。次年冬末春初,土壤开始解冻。

响较大的冬(11 月至翌年 2 月)、春季(3—5 月)月均气温变化曲线及其趋势图,从图 5 可以看出,历年初冬 11 月温度有微小增加的趋势,但不显著。20 世纪 80 年代以后温度增加较大,这将使土壤冻结期有所推后。随后进入 12 月,从图 6 看出 12 月的温度也有增加的趋势。1 月是最冷月,从图 7 可以看出 1 月温度也有增加的趋势但不显著没有通过 $\alpha = 0.05$ 信度检验,增加率达 0.43℃/10a。这说明冬季最低温度也有增加的趋势,而冬季最高温度即 11 月温度增加较 1 月不明显,因此,冻结期温差有减小的趋势,这也会影响土壤的冻结深度,使其有减小的可能。从图 8 中发现 2 月温度有显著上升的趋势,增加率达 0.84℃/10a,且通过了 $\alpha = 0.01$ 信度检验。从统计资料中看出,各个站点进入 2 月温度开始回升,随着温度的升高土壤大约在 3 月中下旬开始解冻(据辽宁农业气象实用手册)。从图 9 发现 3 月温度有显著上升趋势,增加率达 0.48℃/10a,且通过了 $\alpha = 0.01$ 信度检验。这将会导致土壤解冻期的提前。从图 10 看出 4 月温度也有显著上升趋势,增加率达 0.44℃/10a,且通过了 $\alpha =$

0.01信度检验,这将会使土壤化通期提前。总之,该地区在气温变化的情况下,土壤冻结期有推后的趋势,相反解冻期

有提前的趋势,所以冻融期有缩短的趋势,土壤化通期有提前的趋势。此外,土壤冻结深度有减小的趋势。

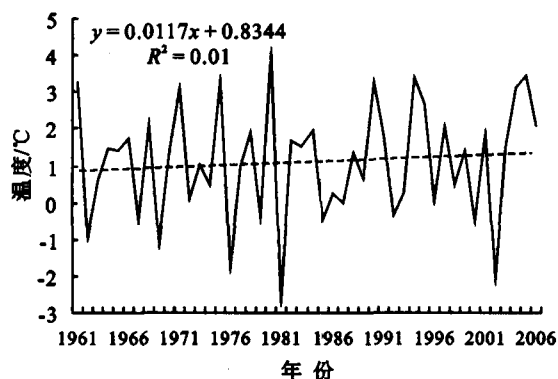


图5 1961—2006年11月温度变化及其趋势

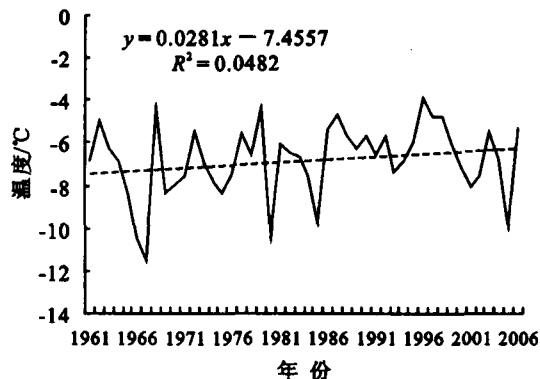


图6 1961—2006年12月温度变化及其趋势

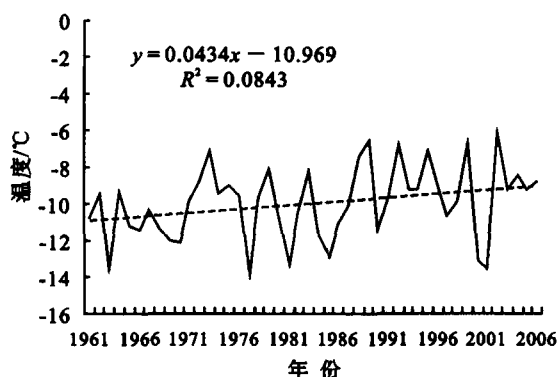


图7 1961—2006年1月温度变化及其趋势

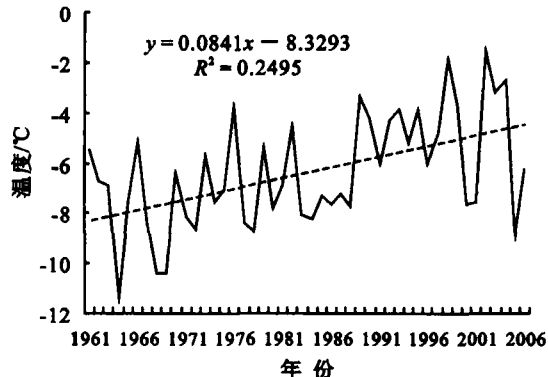


图8 1961—2006年2月温度变化及其趋势

3.2.2 降水变化对冻融作用的影响

同样,降水量的变化也会影响土壤的冻结、融化。土壤冻结与融化过程受到土壤含水量影响,土壤冻结温度随含水量的增大而升高(含水量大的土相变潜热大),所以在相同的气候条件、土质、温度动态大致相同的情况下,含水量高的土

先冻结,迟融化。对秋季降水来说,足够的降水能够下渗到地表内必要的深度,作为冻融作用的驱动主体。由图3可以看出辽宁省1961—2006年秋季降水有减少趋势,这会使土壤冻结前含水量减小。因此,土壤有迟冻结,早融化的趋势。

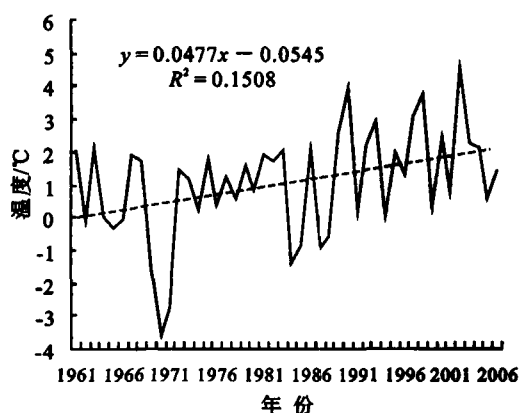


图9 1961—2006年3月温度变化

对冬季降雪来说,雪盖对土壤的升温作用,对季节融化深度的影响不大而对减小季节冻结深度的作用是明显的^[11]。如上所述,辽宁省1961—2006年冬季降水量基本不变,这对季节冻结深度影响不大。

冻融侵蚀大都发生于土体融化后。初春融雪时的降雨能将热量传递给积雪而且雨水击溅会产生动力作用,加速积雪融化的速度,增加融雪侵蚀的复杂性,加剧土壤侵蚀。温

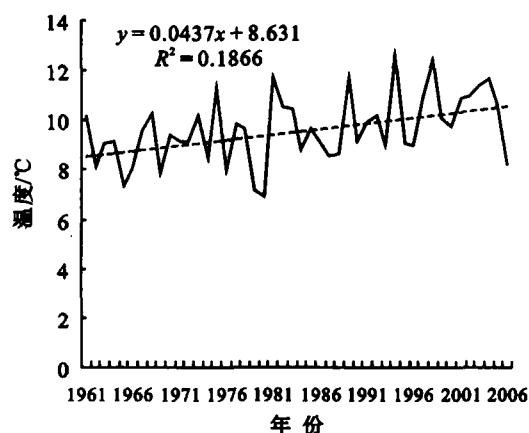


图10 1961—2006年4月温度变化

度突然回升、暖湿气流入侵、融雪季节中出现的降雨事件对融雪侵蚀贡献高达60%~70%(Zuzel等,1993)。随着春季气温回升,冰雪开始融化,表层土壤也开始融化,而下层冻土传热慢,融化也慢,因此在土壤中形成一个不透水层,随着冰雪融化,不透水层上部的土壤达到饱和状态后,多余的水分就不能及时入渗到下层土壤中,因而产生地表径流,而此时解冻的表层土壤在反复的冻融过程中其团聚体大小及稳定

被破坏^[2],极易造成土壤侵蚀。此外,降雪量越大、气温越高,冰雪融化的会更快,一次性产生的地表径流越大,对表层土壤侵蚀也越严重。因此,辽宁地区随着初春(3月)温度的上升,土壤侵蚀有加强的趋势。

总之,该地区在降水变化的情况下,土壤冻结期有推后的趋势,而解冻期有提前的趋势,冻融期有缩短的趋势。此外,土壤冻结深度有减小的趋势。

4 结 论

(1)辽宁省冻融侵蚀的发生是在自然地理条件、气候条件等因素的综合作用下发生的。

(2)通过对辽宁地区1961—2006年温度和降水等气候因子进行统计分析发现:近46a来辽宁地区的气温呈波动增加的趋势且十分显著;降水的变化与气温的变化相反,呈波动减少的趋势。对年内温度和降水分析发现:冬、春季平均气温增加率较高,分别为 $0.42^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;而夏、秋季平均气温增加率较低,分别为 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。这说明20世纪80年代以来的气温上升主要是冬、春季造成的,且冬季升温对年均气温的上升贡献较大;该地区年降水主要集中在6—9月,占总降水量的75%左右。冬季降水基本不变,其它季节均处于减少的趋势,其中夏季减少最为明显,依次为秋、冬季。

(3)随着气候的变暖,在气温和降水变化的情况下,辽宁地区土壤冻结期有推后的趋势,而解冻期有提前的趋势,冻融期有缩短的趋势,土壤化通期有提前的趋势。此外,土壤冻结深度有减小的趋势,随着初春(3月)温度的上升,冻

融侵蚀有加强的趋势。

参考文献:

- [1] 陈雷,焦居仁,刘震,等.土壤侵蚀图册[M].北京:中国标准出版社,2002.
- [2] 林燕,谢云,王晓岚.土壤水蚀模型中的融雪侵蚀模型研究[J].水土保持学报,2003,17(3):16-20.
- [3] 董瑞琨,许兆义.含水量变化对冻融指标影响试验研究[J].中国水土保持,2003(8):12-25.
- [4] 李述训,南卓铜,赵林.冻融作用对系统与环境间能量交换的影响[J].冰川冻土,2002,24(2):109-115.
- [5] 康尔泗.西北干旱区内陆河流域出山径流变化趋势对气候变化响应模型[J].中国科学,1999,29(增刊):47-54.
- [6] 刘小宁,李庆祥.我国最大冻土深度变化及初步解释[J].应用气象学报,2003,14(3):299-307.
- [7] 鲁国威,等.中国东北部多年冻土的地理南界[J].冰川冻土,1993,15(2):214-218.
- [8] 景国臣.冻融侵蚀的类型及其特征研究[J].中国水土保持,2003(10):17-18.
- [9] 金会军,等.气候变化对中国多年冻土和寒区环境的影响[J].地理学报,2000,55(2):161-173.
- [10] 王秋香,等.1961—2002年新疆季节冻土多年变化及突变分析[J].冰川冻土,2005,27(6):820-826.
- [11] 石剑,等.黑龙江省季节冻土形成发育规律及特征[J].黑龙江气象,2003.

(上接第7页)

参考文献:

- [1] 钱征寒,倪晋仁,薛安.黄河断流严重程度分级与判别方法[J].地理学报,2001,56(6):691-699.
- [2] 刘昌明,成立.黄河干流下游的断流序列分析[J].地理学报,2000,55(3):257-264.
- [3] 徐勇,田均良,沈洪泉,等.生态重建模式的评价方法:以黄土丘陵区为例[J].地理学报,2004,59(4):621-628.
- [4] 陈利顶,傅伯杰,Ingmar Messing.黄土丘陵沟壑区典型小流域土地持续利用案例研究[J].地理研究,2001,20(6):713-722.
- [5] 景可.黄土高原中部生态农业建设探讨[J].地理研究,1999,18(增刊):51-56.
- [6] Li Xiaojian, Jim Peterson, Liu Gangjun et al. Assessing regional sustainability: the case of land use and land cover change in the middle Yiluo catchment of the Yellow River Basin[J]. Applied Geography, 2001, 21(1):87-106.
- [7] 许炯心.黄土高原生态环境建设的若干问题与研究需求[J].水土保持研究,2000,7(2):10-13.
- [8] 王飞,李锐,温仲明.退耕工程生态环境效益发挥的影响因素调查研究:以安塞县退耕还林(草)试点为例[J].水土保持通报,2002,22(3):1-4.
- [9] 黄占斌,徐炳成,苏敏,等.延安飞马河试验示范区农业生产的调查研究[J].水土保持通报,2002,22(3):73-75.
- [10] 傅泽强,蔡运龙,杨友孝,等.中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J].自然资源学报,2001,16(4):313-319.
- [11] 田均良,刘普灵,张翼.治理水土流失再造山川秀美延安:对中尺度生态环境建设中落实朱总理指示的认识和思考[J].水土保持研究,2000,7(2):4-9.
- [12] 彭文英,张科利,李双才.黄土高原退耕还林(草)紧迫性地域分级论证[J].自然资源学报,2002,17(4):438-443.
- [13] 田均良,梁一民,刘普灵.黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [14] 徐勇,甘国辉,王志强.基于WIN-YIELD软件的黄土丘陵区作物产量地形分异模拟[J].农业工程学报,2005,21(7):61-64.
- [15] 李荣生.论黄土高原中部丘陵区养羊业[J].地理研究,1999,18(增刊):57-65.