

嫩江流域春季解冻期土壤侵蚀对气候变化的响应^{*}

张德禹, 范昊明, 周丽丽, 武敏, 刘佳, 冯莉颖

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161)

摘要: 利用嫩江流域控制站大赉水文站的春季解冻期径流量和输沙量资料和同期嫩江流域16个气象站的气象资料, 分析了1963–1988年嫩江流域春季解冻期土壤侵蚀对气候变化的响应。结果表明: 随着春季解冻期平均气温的升高, 温差呈明显减少趋势, 降水呈增加趋势; 平均气温和降水量均对径流量的增加有正向作用, 但降水较气温对径流的影响更为显著; 通过对平均气温、降水量、径流量(包括融雪径流)和输沙量进行偏相关分析, 春季解冻期的降水量和径流量对输沙量的影响显著, 且为正相关, 与平均气温成负相关, 但影响不显著。

关键词: 气候变化; 春季解冻期; 径流量; 输沙量; 嫩江流域

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0112-04

Response of Soil Erosion of Spring Thaw Period to Climate Change in Area of Nenjiang River

ZHANG De-yu, FAN Hao-ming, ZHOU Li-li, WU Min, LIU Jia, FENG Li-ying

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

Abstract: Based on hydrological data recorded by Dalai Hydrologic Station and the same period of meteorological data by the 16 stations in area of Nenjiang River, we analyzed the climate change of spring thaw period from 1963 to 1988 and its influence on soil erosion. Results show that the trend of temperature appeared a downward trend and increasing trend of precipitation amount, with the average temperature of spring thaw period increasing. The average temperature and precipitation amount has a positive role on the increasing of the river runoff, but the effect of precipitation on river runoff was even more significant than temperature. Passing on the average temperature, precipitation, runoff (including snowmelt runoff) and sediment discharge to partial correlation analysis, spring thaw period of precipitation and river runoff on the impact of sediment discharge was even more significant and positive correlation with the average temperature was negatively correlated, but no significant impact.

Key words: climate change; spring thaw period; river runoff; sediment discharge; area of Nenjiang River

在全球气候变暖的大背景下, 我国东北地区近50年的气温呈现出明显的增暖趋势, 平均升温幅度为 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 高于全国平均增温水平 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 四季气温均呈上升趋势, 其中对东北地区年均气温上升趋势贡献率最大的是冬季和春季^[1]。全球气候的变化加剧土壤侵蚀的强度, 土壤侵蚀强度的增加反过来也会加大全球气候变暖的程度^[2]。全球气候变化将会对降水的时空变化产生重要影响, 而对流域径流量和输沙量产生影响。东北黑土区是我国重要的粮食生产基地和老工业基地, 但严重的

土壤侵蚀已威胁到该区工农业生产的基础。东北黑土区的土壤侵蚀有其独特的侵蚀特点, 春季解冻期土壤侵蚀是该区主要侵蚀类型之一, 且危害较大。春季解冻期土壤侵蚀实质上是水力、重力与冻融作用于土壤造成的一种侵蚀, 侵蚀程度相当严重。已有研究结果表明, 冻融作用可以改变土壤的性质, 进而影响土壤的可蚀性。冻融作用是东北地区春季解冻期坡面、沟道侵蚀发生的主要外营力之一, 据松辽委调查报告, 部分东北黑土侵蚀区土壤冻融侵蚀的速度已不亚于暴雨造成的水土流失^[3-4]。黑土区日

^{*} 收稿日期: 2009-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(40601054); 沈阳农业大学青年科学“东北黑土区气候变化对流域侵蚀产沙的影响研究”

作者简介: 张德禹(1985-), 男, 内蒙古兴安盟人, 硕士, 主要从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail: zhangdeyu_1325@126.com

通信作者: 范昊明(1972-), 男, 吉林白山人, 博士, 副教授, 主要从事流域侵蚀、产沙与水土保持规划方面的研究。E-mail: fanhaoming

@163.com

温差、年温差较大, 冻融交替明显, 作用时间长。春季解冻后的土壤疏松, 抗蚀能力明显降低^[5], 同时, 随着气候的变暖, 积雪融化速度加快, 加之, 未完全解冻层的存在, 产生的侵蚀越发严重, 加剧东北地区春季解冻期土壤侵蚀发展。春季解冻期土壤侵蚀所占比例较大, 但至今很少有对春季解冻期的土壤侵蚀与气候变化的关系进行深入研究。本文对嫩江流域春季解冻期(3-4月)的气温、降水量、径流量和输沙量进行统计分析, 揭示嫩江流域春季解冻期土壤侵蚀对气候变化的响应, 对嫩江流域春季水土保持工作和决策具有重要的指导意义。

1 流域概况

嫩江发源于大兴安岭山脉伊勒呼里山南麓, 自北向南流, 在三岔河口与第二松花江汇合。流域全长 1 369 km, 流域面积 $28.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大赉站为嫩江水系控制站(如图 1)。嫩江流域属寒温带大陆性季风气候, 多年平均降水量为 447 mm, 降水主要集中于汛期 6-9 月, 占全年总降水量的 81%。流域属于季节性冻土区, 冻土深度 1.5~2.0 m, 冬季寒冷少雪, 春季干旱多风, 夏季温热雨集, 秋季凉爽少雨。

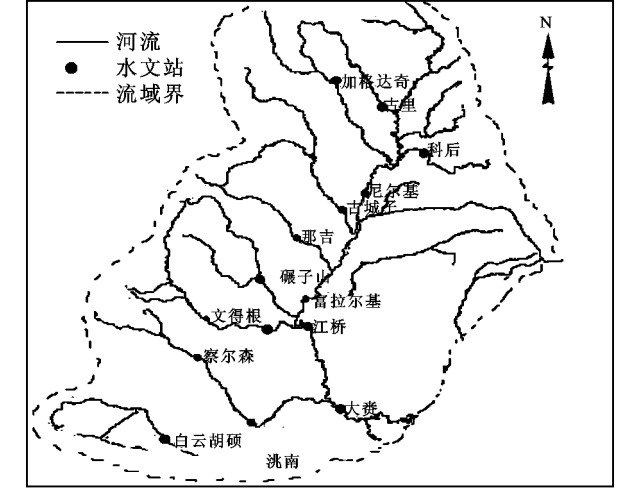


图 1 嫩江流域流域及其水文站位置

2 资料来源与分析方法

该区的水文资料和气象数据较为丰富, 本文选择数据记录较为完整的 1963-1988 年水沙数据和气象数据, 这一时期人类活动相对较弱(主要是水利水土保持措施和工程建设等方面), 更能反映土壤侵蚀对气候变化响应的科学性和可靠性。通过对嫩江流域 1963-1988 年气温数据的统计和观察, 3、4 月份气温在 0°C 上下变化, 这是冻融侵蚀发生的必备条件, 而 5 月平均最高气温和平均最低气温都在 0°C 以上, 此时气候环境已不能达到冻融作用的要求, 土壤的冻融交替停止, 所以将 3-4 月定义为春季解冻

期。本研究所依据的径流量和输沙量资料, 来自嫩江流域控制站大赉站, 以该站的 1963-1988 年春季解冻期(3-4 月)的径流量和输沙量作为嫩江流域春季解冻期的产水量和产沙量。同期的气象资料, 来自嫩江流域的 16 个气象站资料。采用回归分析和相关分析法。

3 结果分析

3.1 春季解冻期气候变化特征

3.1.1 春季解冻期气温和降水变化趋势 由图 2 中春季解冻期平均气温变化趋势线可以看出, 1963-1988 年春季解冻期的多年平均气温为 -0.105°C , 平均气温呈上升趋势, 线性拟合增加率约为 $0.24^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 。由图 2 中春季解冻期平均降水量变化趋势线可以看出, 嫩江流域 16 个气象站春季解冻期降水量在 4.64~37.07 mm 之间变动, 多年平均降水量为 12.28 mm, 最大值出现在 1983 年, 线性拟合增加率约为 $1.67^\circ\text{C}/10 \text{ a}$, 春季解冻期降水量总体呈上升趋势, 跃变点发生在 1983 年, 1983 年以前呈波浪式上升趋势, 1983 年以后呈下降趋势, 且下降速度很快。

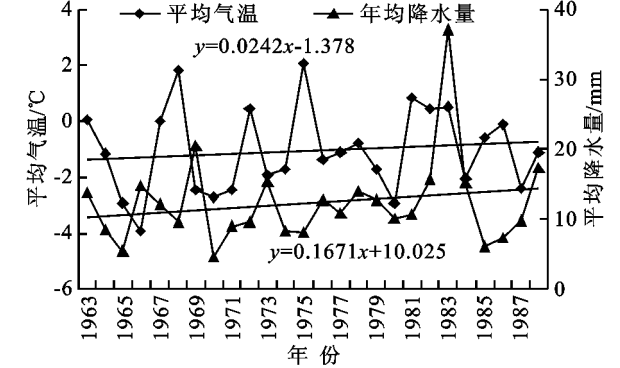


图 2 春季解冻期平均气温和降水量变化及趋势

3.1.2 春季解冻期温差变化趋势 冬季土壤冻结, 春季则融化, 尤其是在初春时, 昼夜交替形成的反复过程会影响土壤岩石的性状, 如土壤团聚体稳定性、可蚀性等, 总体上使得土壤岩石的性质向更易于侵蚀的方向发展。气温是影响侵蚀量多少的决定性因素, 气温调节冻结层与融化层的深度, 温差越大, 其深度也越大, 持续时间越长, 发生冻融侵蚀的可能性与程度也越大^[6]。

用春季解冻期的平均最高气温减去平均最低气温得到春季解冻期温差。由图 3 可知, 春季解冻期多年平均温差为 14°C , 最大温差为 15.40°C , 出现在 1963 年, 最小温差为 12.58°C , 出现在 1983 年, 二者相差 0.82 倍。1963-1988 年, 春季解冻期温差呈波动下降趋势, 与图 4 描述的规律, 平均最低气温变化幅度高于平均最高气温变化幅度的规律是一致的。

的,线性拟合减少率约为 $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,并通过了 0.01 的置信检验,说明嫩江流域春季解冻期温差减少趋势十分明显。因此,随着春季解冻期气温的升高,温差呈明显减少趋势,导致土壤冻结层与融化层的深度减小,发生冻融侵蚀的程度也将随之降低。

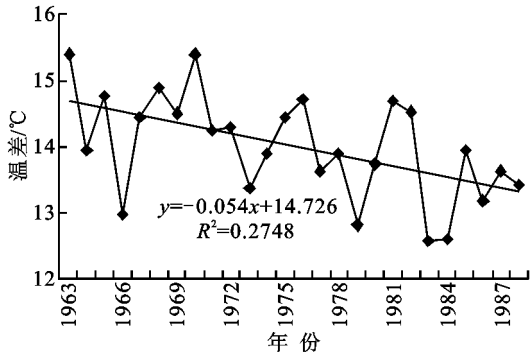


图 3 春季解冻期温差变化及趋势

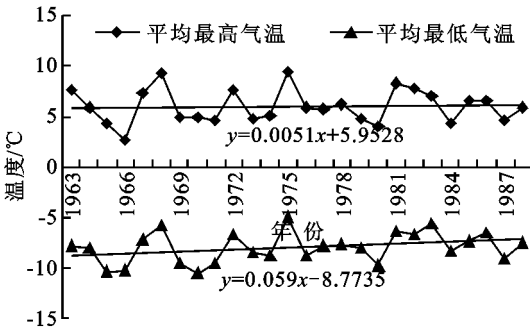
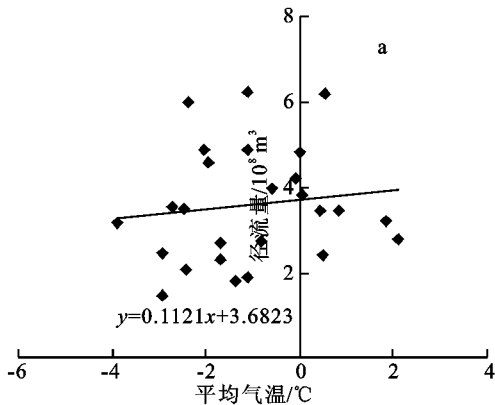


图 4 春季解冻期平均最高气温和平均最低气温变化及趋势

3.2 春季解冻期径流量对气候变化的响应

嫩江流域春季解冻期径流量多年平均为 $3.56\times 10^8\text{ m}^3$ 。由图 7 知,1980 年春季解冻期径流量最小,为 $1.49\times 10^8\text{ m}^3$,1988 年径流量最大,为 $6.23\times 10^8\text{ m}^3$ 。两者相差 4.2 倍,春季解冻期径流量总体呈上升



趋势,跃变点发生在 1980 年,1980 年以前呈波浪式下降趋势,1980 年以后呈上升趋势,且上升速度很快。由表 1 知,20 世纪 60 年代和 70 年代径流量距平为负值,其中 70 年代负距平最大,80 年代径流量距平为正值,与降水量距平、平均气温距平变化一致。

绘制春季解冻期径流量与平均气温、降水量的关系曲线,图 5a 中趋势线为径流量与平均气温的线性回归,其倾向率为正,显示嫩江流域的径流量随平均气温的增高,呈现正向增大的趋势。图 5b 中趋势线为径流量与降水量的线性回归,其倾向率为正,显示嫩江流域的径流量随降水量的增高,也呈现正向增大的趋势。通过对 1963–1988 年春季解冻期的径流量与平均气温、降水量进行偏相关分析,平均气温、降水量与径流量的偏相关系数分别为 0.094 和 0.369 ,二者均未通过 0.05 的显著性检验,说明平均气温和降水量均对径流量的增加有正向作用,但降水较气温对径流的影响更为显著。

由以上分析知,春季解冻期的降水量越大,气温越高,加剧融雪径流对地表径流的补充,再加之,1963–1988 年秋季和冬季的降水量均呈增加趋势(见图 6),从而导致土壤含水率和冬季积雪增加,最终导致径流量呈增大趋势。

表 1 不同年代嫩江流域春季解冻期输沙量、径流量、降水量、平均气温与温差距平值

年代	输沙量距平/ 10^4 t	径流量距平/ 10^8 m^3	降水量距平/ mm	平均气温距平/ $^{\circ}\text{C}$	温差距平/ $^{\circ}\text{C}$
	平/ 10^4 t	平/ 10^8 m^3	平/ mm	距平/ $^{\circ}\text{C}$	距平/ $^{\circ}\text{C}$
60 年代	-1.06	-0.07	-0.15	-0.17	0.42
70 年代	-2.06	-0.74	-1.73	-0.09	0.07
80 年代	3.12	0.87	2.04	0.23	-0.41

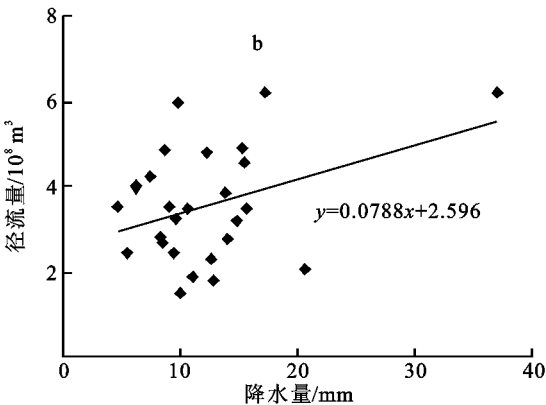


图 5 春季解冻期平均气温、降水量与径流量的关系

3.3 春季解冻期输沙量对气候变化的响应

春季解冻期多年平均输沙量 $3.76\times 10^4\text{ t}$,多年平均侵蚀模数为 $0.13\text{ t}/\text{km}^2$ 。由图 7 知,1983 年春季解冻期输沙量最大,为 $21.38\times 10^4\text{ t}$ 。输沙量最小的时段出现在 1974–1980 年,平均输沙量为 $0.67\times 10^4\text{ t}$ 。对春季解冻期输沙量和平均气温、降水量、

径流量(包含融雪径流)进行偏相关分析,分析结果:春季解冻期输沙量与平均气温的偏相关系数为 -0.312 ,未通过 0.05 的显著水平检验;与降水量和径流量的偏相关系数分别为 0.738 , 0.787 ,且均通过了 0.01 的显著性水平检验。由以上分析可以看出,春季解冻期降水量和径流量(包含融雪径流)对

输沙量的影响显著, 且为正相关; 与平均气温成负相关, 但不显著, 说明随着春季解冻期气温的升高, 输沙量有减少的趋势。

20 世纪 60 年代和 70 年代输沙量、径流量、降水量与平均气温的距平值均为负, 温差距平为正值, 80 年代的变化与之相反, 70 年代输沙量距平负值最大(见表 1)。由表 2 知, 70 年代为少降水少径流少沙时期; 60 年代和 80 年代为多降水多径流多沙时期且 80 年代变化最大, 最大输沙量值为 6.88×10^4 t, 侵蚀模数为 0.24 t/km^2 。春季解冻期输沙量与径流量呈正相关, 相关系数为 0.763, 并且通过了 0.01 的显著性检验。输沙量变化与平均气温、温差、降水量、日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 日数最为密切, 与风速的也有一定的关系, 由于风力侵蚀使输沙量大量增加, 但影响不显著。

由以上分析知, 随着春季解冻期气温的升高, 温差呈明显减少趋势, 导致冻结层与融化层的深度减小, 发生冻融侵蚀的程度也将随之降低, 最终导致输沙量有减少的趋势。但随着气温的升高, 冰雪融化速度越快, 这样更多的地表径流就由融雪径流来补充, 加之, 春季解冻期降水量也相应增加, 导致一次

性产生的地表径流量增大, 输沙量增大。

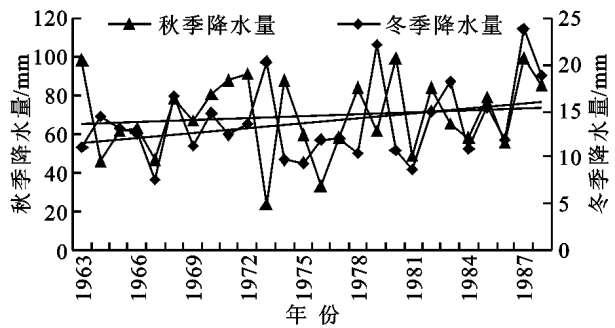


图 6 秋、冬季降水量变化及趋势

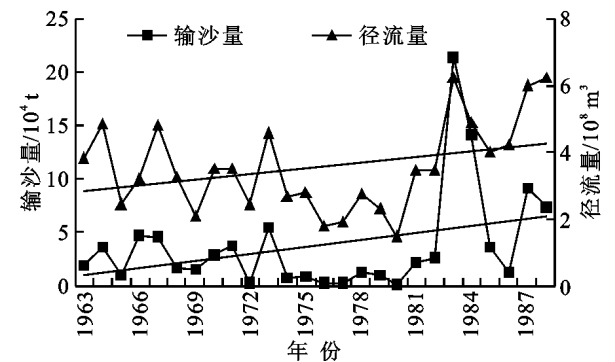


图 7 大赉站春季解冻期输沙量和径流量
随时间的变化及趋势

表 2 嫩江流域春季解冻期不同年代侵蚀产沙与气象要素的关系

年代	侵蚀模数/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$)	输沙量/ 10^4 t	径流量/ 10^8 m^3	春季解冻期温度		春季解冻期降水量			平均风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
				平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	温差/ $^{\circ}\text{C}$	降水量/ mm	降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 日数/ d		
60 年代	0.10	2.70	3.50	- 1.22	14.42	12.13	5.05	4.32	
70 年代	0.06	1.70	2.83	- 1.13	14.07	10.55	4.98	4.02	
80 年代	0.24	6.88	4.44	- 0.82	13.59	14.32	5.28	3.72	

4 结论

通过对 1963–1988 年嫩江流域春季解冻期的气温、降水量、径流量、输沙量等进行统计分析得到:

- (1) 春季解冻期气温与降水量的变化趋势一致, 呈正相关; 春季解冻期降水量总体呈上升趋势, 1983 年以前呈波浪式上升趋势, 1983 年以后呈下降趋势, 且下降速度很快, 跃变点发生在 1983 年。通过对 1963–1988 年春季解冻期的径流量与平均气温、降水量进行偏相关分析, 平均气温、降水量和径流量均呈正相关, 但降水较气温对径流的影响更为显著。
- (2) 通过对平均气温、降水量、径流量(包括融雪径流)和输沙量进行偏相关分析, 春季解冻期的降水和径流量对输沙量的影响显著, 且为正相关。与平均气温成负相关, 但影响不显著。
- (3) 春季解冻期输沙量的变化与径流量、平均气温、温差、降水量、日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 日数最为密切, 与风速的也有一定得关系, 但影响不显著。
- (4) 随着春季解冻期气温的升高, 温差呈明显减少趋势, 冻结层与融化层深度也随之减小, 导致春季

解冻期输沙量有减少趋势。但随着气温的升高, 冰雪融化速度加快, 这样更多的地表径流就由融雪径流来补充, 加之, 春季解冻期降水量也相应增加, 导致一次性产生的地表径流量增大, 输沙量增大。

参考文献:

[1] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(3): 942-956.

[2] Mielnick P C, Dugas W A. Soil CO₂ flux in a tall grass prairie[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 221-228.

[3] 堀野治彦, 陈晓飞, 丸山利辅. 应用 TDR 系统进行土壤冻结深计测的基础实验[C]// 农业土木学会论文集(日本). 1994: 173, 71-77.

[4] 杨香云, 陈晓飞, 丁加丽, 等. 溶质种类和浓度对棕壤土水分扩散率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(3): 440-448.

[5] 范昊明, 蔡强国, 王红闪. 中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 66-70.

[6] 张瑞芳, 范昊明, 王瑄, 等. 辽宁省冻融侵蚀发生的气候条件分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 8-15.