

典型黑土区小流域浅沟侵蚀季节差异分析

张永光¹, 伍永秋^{2,*}, 汪言在², 刘宝元¹

(1 北京师范大学地理与遥感科学学院, 北京 100875; 2 北京师范大学防沙治沙教育部工程研究中心,
北京师范大学中国沙漠研究中心, 北京 100875)

摘要: 通过 2005 年对黑龙江鹤山农场两个小流域进行定位观测, 研究了典型黑土区浅沟侵蚀特征及其季节差异, 并对作物类型和耕作措施对浅沟侵蚀的影响进行了分析。结果表明, 两流域年浅沟侵蚀量达 $285.9 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$ 和 $290.8 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$, 仅浅沟侵蚀量就超过了黑土区的土壤允许侵蚀量。浅沟侵蚀量呈现出沿坡面波动的变化, 沿坡面向下存在浅沟侵蚀的强弱交替带。春夏浅沟侵蚀在侵蚀强度、浅沟形态及主要影响因素 3 个方面存在差异, 春季浅沟侵蚀受融雪、冻融影响显著, 侵蚀较夏季严重; 与春季相比, 夏季浅沟长度变短、宽度变大、深度变浅, 浅沟体积与长度的相关性较春季差, 这与夏季暴雨历时短、雨强大以及植被盖度大有关。耕作措施和作物类型影响浅沟侵蚀深度和浅沟分布, 尤其在夏季比较明显。

关键词: 浅沟侵蚀; 典型黑土区; 小流域; 季节差异

文章编号: 1000-0585(2008)01-0145-10

浅沟是发生于耕地上由集中水流引起的沟道, 通常在一个地方重复出现, 而且每年会被耕作消除, 若不加以治理会发展成切沟^[1]。国内外的研究表明浅沟侵蚀对总土壤流失的贡献率在 10%~83% 之间^[2,3]。以往的研究多侧重于小区尺度上的片蚀和细沟侵蚀过程, 而浅沟侵蚀往往被忽略, 大多数土壤侵蚀模型如 USLE 及 RUSLE 也不包括浅沟侵蚀^[4]。但近年来的研究表明, 浅沟侵蚀是坡耕地上主要的侵蚀产沙方式之一, 其输沙能力要比细沟大, 而且是将径流和泥沙从上游坡地向谷底及永久沟道输移的主要输沙通道^[2,3]。

近年来, 国内外学者在浅沟发生的地形临界条件(坡度与汇水面积的 $S-A$ 关系式: $SA^b > t$)^[5~8]、浅沟侵蚀过程的定量实验研究等方面有了很大的进展^[9], 并初步建立了单条浅沟侵蚀预报模型^[11]。但当前浅沟侵蚀实测资料依然稀少, 尤其是小流域浅沟侵蚀资料十分匮乏。另外, 对中高纬度地区融雪和冻融作用引起的浅沟侵蚀研究较少^[10], 对不同季节浅沟侵蚀的差异性也缺乏研究, 尤其是在东北黑土区更是空白。

东北黑土区是我国主要的商品粮基地, 大部分的耕地已有几十年甚至上百年的耕种历史。但自开垦以后, 水土流失严重, 进而造成耕地土壤表层有机质降低, 土壤养分“贫化”^[11~13]。东北黑土区具有与我国其他地区不同的特有侵蚀过程, 春季融雪侵蚀和夏季暴雨侵蚀都比较严重, 而且在影响土壤侵蚀的地形因子中, 坡长的影响作用十分突出。黑土区坡耕地上土壤侵蚀加剧的表现形式主要是侵蚀沟的发育和扩张^[14,15]。浅沟是坡耕地上最初的侵蚀沟, 也是细沟向切沟发展的过渡类型。野外调查表明, 黑土区坡耕地上的浅沟发育相当普遍, 尤其是在春季解冻期和夏季雨季两个时段。但国内对黄土高原地区的浅沟

收稿日期: 2007-01-19; 修订日期: 2007-07-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究(2007CB407204)”资助。

作者简介: 张永光(1980-), 男, 河南周口人, 博士生。主要进行土壤侵蚀和流域侵蚀产沙研究。E-mail: zyg@ires.cn

* 通讯作者: 伍永秋, 教授, 博士生导师。E-mail: yqw@bnu.edu.cn

侵蚀研究较多,对黑土区的浅沟侵蚀研究却鲜有论及。因此,研究黑土区的浅沟侵蚀特征及其春夏侵蚀的差异,对揭示黑土区水土流失规律和流域侵蚀产沙模拟有重要意义。本文根据野外勘测对典型黑土区小流域浅沟侵蚀特征及其季节差异,作物类型和耕作方式对浅沟侵蚀的影响进行探讨,以期在当地农业可持续发展和水土保持规划等提供依据。

1 研究区概况和研究方法

研究区位于黑龙江省农垦九三分局鹤山农场(东经 $125^{\circ}16'$,北纬 $48^{\circ}58'$),地处小兴安岭南麓丘陵漫岗地带,地形起伏和缓,坡长较长,一般达500~4000m,当地人称之为“漫川漫岗”,隶属于典型黑土区。该区平均年降水量在550mm左右,降雨集中于夏季。样区选在鹤山农场六队附近的两个小流域,将它们分别命名为2号和8号小流域(图1),流域面积分别为 3.6 km^2 和 2.8 km^2 ,土地利用方式主要是耕地,分别占90%和85%。黑土多为粘壤土和粉质粘土(粘粒35%~45%、粉砂40%、粗砂7%~20%),生长季表土层(0~20cm)容重可达 1.36 g cm^{-3} 左右,坡耕地黑土层厚度和犁底层深度在30cm左右^[16]。每年冬季至第二年春季4、5月份,耕地处于休闲状态,地表完全裸露,容易发生融雪侵蚀。农作物主要是大豆和春小麦,每年4、5月份播种,大豆为起垄种植。2005年2号和8号流域夏季土地利用如图1B、图1D所示,两流域农作物以大豆为主,2号流域大豆种植面积占62.5%,小麦为25.7%,草地为0.7%,其他为林地;8号流域大豆种植面积达80.2%,小麦只有1.0%,玉米和尿炕地分别为2.8%和2.0%,草地和灌丛占了2.5%,其他为林地。大豆多采用垄作种植,起垄方向与林带方向一致,与等高线斜交,近等高耕作。

春季冻融时期和夏季是研究区发生严重水土流失的季节,也是发生浅沟侵蚀的两个时段。2005年4~8月,我们对2号和8号流域的浅沟侵蚀进行了监测,分别在4月份及7月份监测到一次浅沟侵蚀。发生浅沟侵蚀后,对流域内的所有浅沟进行了勘测。对每一条浅沟,用手持GPS定位(精度约5m),春季每隔10~30m、夏季每隔10m进行断面测量,在浅沟拐弯和跌坎处增加测量断面,每个断面测量一个宽度、三个深度。根据浅沟长度,测量的断面个数在4~32之间。降水和地温数据取自于离两个小流域约800m的径流小区观测资料。表层土壤容重和饱和导水率采用标准方法进行测定。浅沟的体积利用断面面积和断面间距计算得到^[17]。

2 结果与分析

2.1 浅沟空间分布季节差异

图1是两流域春夏浅沟分布情况,可以看出,春季浅沟除了大部分发育于坡面的低洼水线处外,还有一部分浅沟容易沿车辙和耕地边排水沟形成。这类浅沟在空间分布上比较随机,如2号流域的EG7、EG10和8号流域的EG1、EG2、EG3、EG10,在夏季也不再出现。由于其是受耕作活动引起,可以通过改变耕作活动来避免此类浅沟的发生。

夏季浅沟全部形成于坡面的低洼水线处,多数位置与春季相同。2号流域的10条浅沟有9条与春季发生在同一位置,8号流域16条中有11条和春季处于同一位置。浅沟分布受作物类型及耕作措施影响明显。这在2号流域尤为明显,该流域10条浅沟有9条分布在大豆地中,阳坡坡面浅沟EG2、EG4、EG5和EG6都形成于豆地中,在豆地上方和下方的麦地中都没有发生浅沟侵蚀。野外观察到,沿浅沟纵向上,上坡的麦地中有径流冲

刷痕迹，但只是导致集流水道上的小麦倒伏，浅沟从豆麦交界处开始形成；而在下坡的麦地中，集流水道上的小麦也只发生了倒伏，而且由于来水量增大倒伏更严重，同时也发生了挂淤，但没有发生侵蚀。小麦地中只有一条发育（图 1B 中的 EG14），而该浅沟的形成与麦地中的涝泽地有一定关系，在下部的麦地中也发生了明显的沉积。

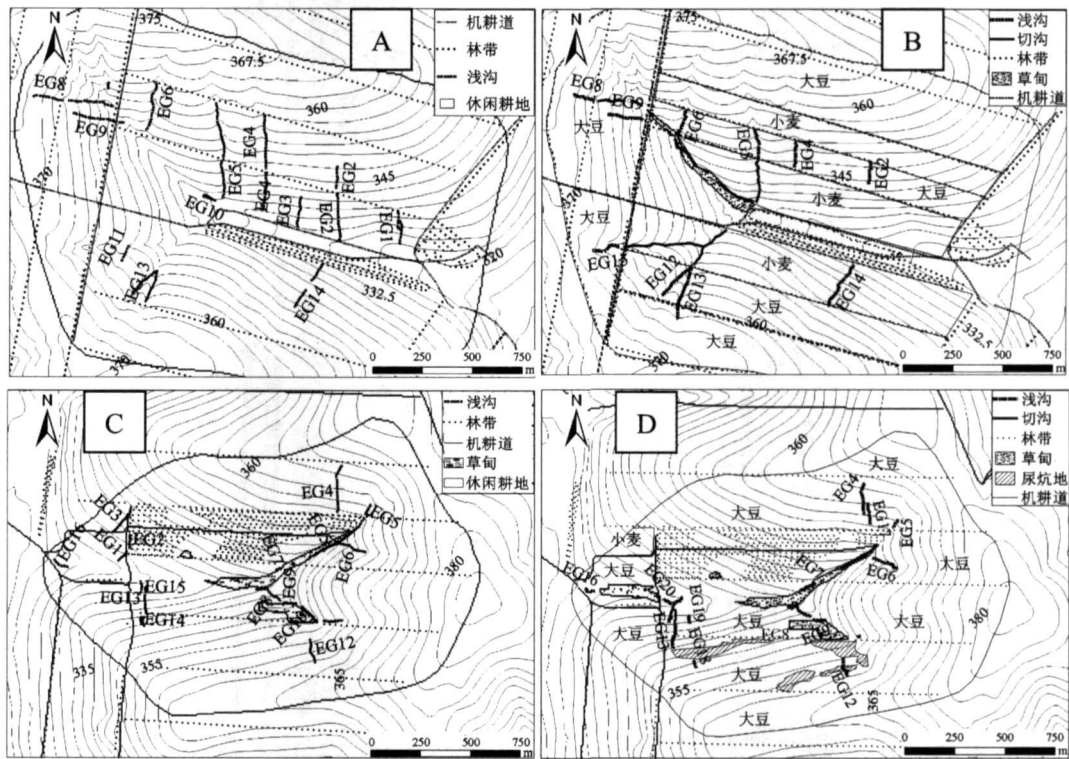


图 1 浅沟侵蚀分布
(A: 2 号流域春季浅沟分布; B: 2 号流域夏季浅沟及切沟分布;
C: 8 号流域春季浅沟分布; D: 8 号流域夏季浅沟及切沟分布)

Fig 1 Spatial distribution of ephemeral gully erosion in catchments 2 and 8

2 2 春夏浅沟形态季节差异

春夏浅沟形态也存在季节差异，主要表现在浅沟长度、宽度和深度上。为了便于对比，这里只对两流域春夏均出现的浅沟进行比较，共 20 条浅沟。春季 2 号流域浅沟长度在 169~ 480m 之间，平均为 293m；深度在 0.14~ 0.32m 之间，平均为 0.21m。8 号流域的浅沟长度在 36~ 410m 之间，平均 155m；深度在 0.13~ 0.35m 之间，平均为 0.22m^[17]。与春季相比，夏季浅沟条数减少，长度变短，宽度变大，深度变浅。2 号流域夏季浅沟长度在 116~ 250m 之间，平均为 174m；深度在 0.07~ 0.18m 之间，平均为 0.13m。8 号流域浅沟长度在 25~ 181m 之间，平均为 99m；深度在 0.05~ 0.41m 之间，平均为 0.20m(表 1)。

春夏都出现的 20 条浅沟中有 14 条春季平均深度比夏季大。而夏季的浅沟宽度普遍较大，在 0.68~ 2.87m 之间，92% 的浅沟宽度 > 1m，平均宽度达 1.63m；而春季浅沟宽度在 0.41~ 1.52m 之间，平均宽度只有 0.88m。浅沟宽深比上也有类似差异，春季浅沟宽深比在 2.82~ 12.99 之间，平均为 7.06；而夏季浅沟的宽深比在 5.97~ 37.31 之间，平

均 1.61，是春季的 2 倍多。

表 1 2 号和 8 号流域夏季浅沟形态参数
Tab 1 Main characteristics of the ephemeral gullies formed in summer

2 号流域						8 号流域					
浅沟	长度 (m)	体积 (m ³)	平均宽 度 (m)	平均深 度 (m)	平均宽 深比	浅沟	长度 (m)	体积 (m ³)	平均宽 度 (m)	平均深 度 (m)	平均宽 深比
EG2	120	16	1.22	0.1	17.09	EG4	150	17	1.03	0.1	10.82
EG4	137	11	1.22	0.07	17.24	EG5	50	2	0.91	0.05	17.76
EG5	150	76	2.32	0.15	22.84	EG6	130	17	2.29	0.06	37.31
EG6	130	63	2.87	0.18	20.09	EG7	100	16	1.64	0.23	9.55
EG8	116	20	1.76	0.09	19.74	EG8	144	77	1.97	0.35	10.68
EG9	200	26	1.27	0.1	15.44	EG9	70	8	1.29	0.19	7.37
EG12	230	76	1.69	0.18	11.48	EG11	25	5	1.24	0.17	10.05
EG13	230	53	1.4	0.15	11.19	EG12	90	17	1.14	0.16	10.41
EG14	250	57	1.61	0.14	9.17	EG13	181	91	1.74	0.32	9.68
EG15	150	36	1.73	0.14	14.05	EG15	90	38	2.49	0.2	18.41
						EG16	58	27	1.99	0.41	5.97
						EG17	50	27	2.43	0.09	22.76
						EG18	120	2	0.68	0.08	9.89
						EG19	40	4	0.96	0.1	9.38
						EG20	120	40	1.77	0.18	11.44

春夏浅沟体积与长度的关系也存在差异。图 2 是对数坐标下春夏浅沟体积与浅沟长度的拟合关系，可以看到，春季浅沟体积与长度的相关系数达 0.81，浅沟长度可以决定其体积的 65%；而夏季浅沟体积和长度的相关系数只有 0.64，浅沟长度仅决定其体积的 41%。夏季浅沟侵蚀体积与长度相关性差，主要是在于夏季浅沟的宽度较大。

2.3 浅沟侵蚀量及春夏差异

研究区 2005 年浅沟侵蚀状况如表 2 和表 3 所示。由于发生浅沟侵蚀后会在春季播种前和秋季收获后被耕作消除，而且夏季浅沟也大多与春季浅沟位置相同，因而在计算流域的年浅沟密度时，以两季节中的数值大者当作年浅沟密度值。从 2005 年的情况来看，春季的浅沟密度值较大，即 2 号和 8 号流域年浅沟密度分别为 766 m km⁻²、908 m km⁻²。流域的年浅沟侵蚀量或侵蚀深度则是春夏之和，即两流域年浅沟侵蚀量分别为 285.9 m³ km⁻²、290.8 m³ km⁻²（表 2 和表 3）。这里用体积侵蚀量是为了避免土壤容重季节的差异。通过一年的监测，可以看出研究区浅

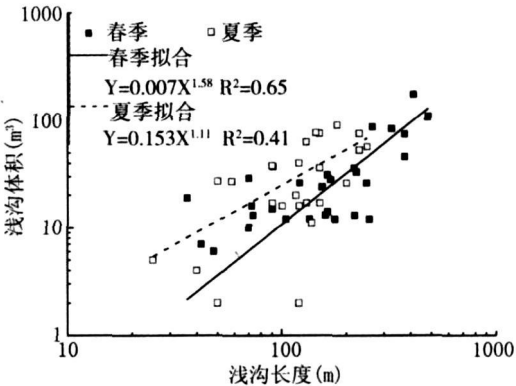


图 2 春夏浅沟体积与长度关系差异
Fig 2 Relationships between the length and eroded volume of the ephemeral gullies in spring and summer

沟侵蚀十分严重, 水利部制定的东北黑土区土壤允许侵蚀量为 $200 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 而仅仅浅沟的侵蚀量就超过了该值。

表 2 2005 年 2 号流域浅沟侵蚀情况

Tab 2 Ephemeral gully erosion in 2005 in Catchment 2

时段	浅沟数	浅沟侵蚀量 ($\text{m}^3 \text{ km}^{-2}$)	浅沟密度 (m km^{-2})	侵蚀深度 (mma^{-1})
春季	14	165.3	908	0.17
夏季	10	120.6	476	0.14
全年	15	285.9	908	0.31

表 3 2005 年 8 号流域浅沟侵蚀情况

Tab 3 Ephemeral gully erosion in 2005 in Catchment 8

时段	浅沟数	浅沟侵蚀量 ($\text{m}^3 \text{ km}^{-2}$)	浅沟密度 (m km^{-2})	侵蚀深度 (mma^{-1})
春季	16	157.9	766	0.16
夏季	15	132.9	507	0.14
全年	19	290.8	766	0.30

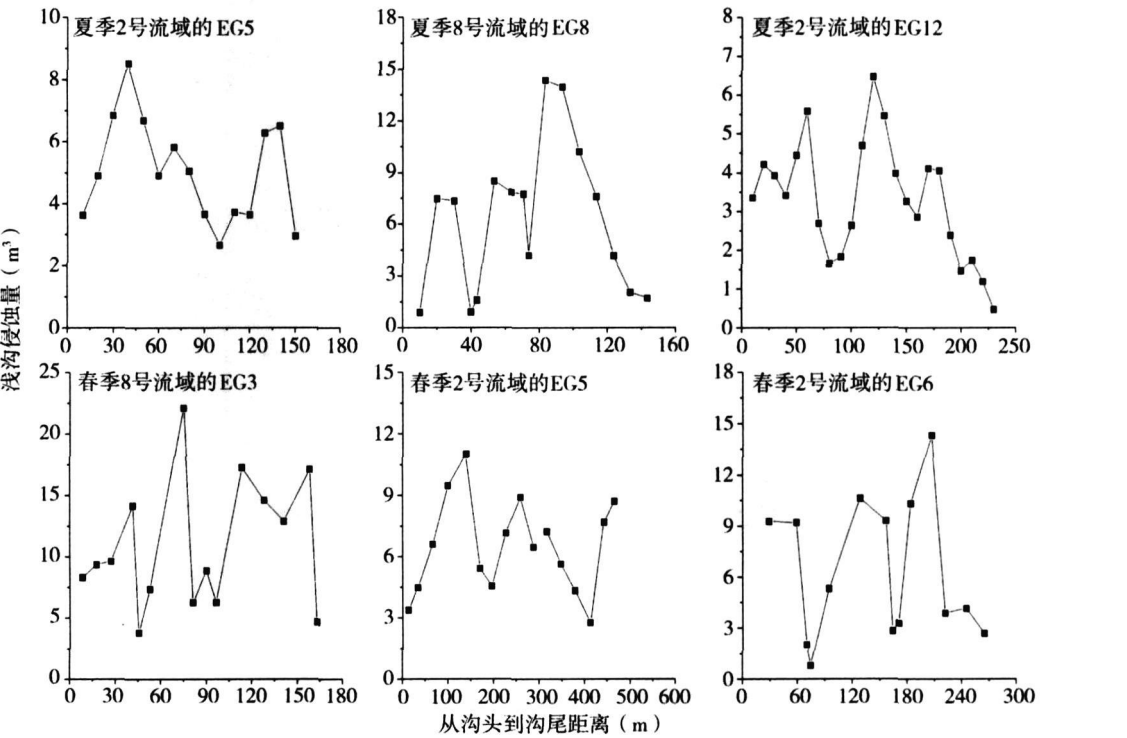


图 3 浅沟侵蚀量沿坡面纵向的变化

Fig. 3 Changes in the eroded volumes of the ephemeral gullies as a function of distance downslope

浅沟侵蚀量沿坡面呈波动变化 (图 3), 即从浅沟沟头发生处开始, 沿坡面向下存在浅沟侵蚀的强弱交替带。但总的来看, 浅沟中部侵蚀量较大, 而在沟头和沟尾处略小 (图 3)。浅沟的这种变化与浅沟沟道纵比降和水流泥沙含量的沿程变化有关。从图 4 给出的四

个浅沟的纵剖面变化来看, 浅沟沟道纵比降呈略微下凹的特征, 这就使得水流在浅沟中部侵蚀动能较大。但浅沟沟道纵剖面下凹并不是特别明显。因此, 浅沟沟道径流含沙量沿程变化是浅沟中部侵蚀量最主要原因。这也与前人在实验室内的模拟实验结果接近, 大型水槽实验表明最大侵蚀量和饱和含沙量均出现在浅沟中部, 这种现象的原因就在于从浅沟沟头往下径流含沙量逐渐增大, 在其中部达到水流携沙能力, 浅沟中下部侵蚀增加的泥沙已超过径流携沙力, 于是在中下部发生淤积, 成为弱侵蚀带^[18]。

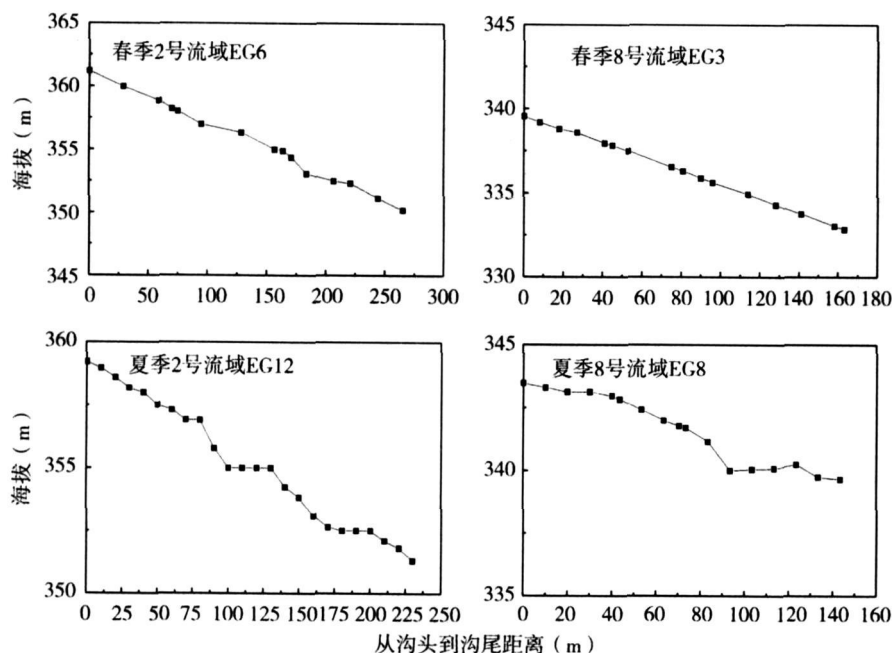


图 4 浅沟纵剖面的变化

Fig 4 Changes of longitudinal bed profile of the ephemeral gullies

两季节相比, 春季浅沟侵蚀较夏季严重。2 号和 8 号流域春季浅沟侵蚀量是夏季的 1.37 倍和 1.19 倍。两流域春季浅沟侵蚀量占全年侵蚀量的 57.8% 和 54.3%, 平均达 56%。原因在于春季裸露的地表和土壤特征都易于遭受径流侵蚀, 而夏季地表作物则对径流进行了部分拦截、延阻, 相应地减弱了流水的侵蚀能力。就造成春季和夏季浅沟侵蚀的降水而言, 春季 4 月 16 日大雪后至 22 日累计降水量为 41mm, 而夏季暴雨量为 72mm, 夏季降雨侵蚀力也比春季要大得多。

3 讨论

3.1 降水径流对浅沟侵蚀的影响

春夏浅沟侵蚀的差异主要在于造成两季节浅沟侵蚀的降水及产流方式有很大的不同。春季浅沟侵蚀主要是由 4 月中旬的融雪径流引起, 并受冻融作用影响。野外调查表明, 表层流和壤中流活跃, 产流方式为蓄满产流, 而且产流时间长。融雪及降雨、表层土壤解冻、地表裸露和下层冻土层导致产生了较大的径流, 两流域出口的量水堰观测资料表明, 2005 年 4 月份融雪及降雨形成的径流持续了 6 天, 2 号和 8 号流域的径流深度分别达

6.8 mm 和 7.7 mm。同时，表层土壤由于反复的冻融作用，可蚀性增大，再加上土壤水分接近饱和，使其易于分散、输移和崩塌^[19,20]。这些作用使得春季浅沟侵蚀过程持续时间长，沟壁崩塌现象明显，进而造成浅沟长度、深度都较大。

春季土壤温度变化对浅沟侵蚀也有影响。2005 年 4 月 16 日降雪后，研究区地表温度回升较快，尤其是表层 10 cm 土壤。从图 5 可以看出，自 4 月 19 日开始表层 10~20 cm 土壤温度在零度以上，到 4 月 26 日表层 10 cm 的土壤温度升到 3℃ 以上，但 30 cm 以下土壤温度仍在冰点以下，说明此时下层土壤仍处于冻结状态。表层土壤温度的快速回升，使得地表积雪融化和表层冻结土壤解冻速度加快，产生较大的融雪水，而下层冻土使其不能及时下渗导致表层土壤处于高含水条件，壤中流活跃，进而形成较大的地表径流和侧向表层流。

土壤解冻深度对浅沟侵蚀深度有直接的影响。调查时冻土层融化深度在 30 cm 左右，冻土层的土壤强度较大、抗冲性强，不仅阻止水分下渗，也阻碍了浅沟的进一步下切。从图 5 可以看出，两流域浅沟平均深度大多小于 30 cm。

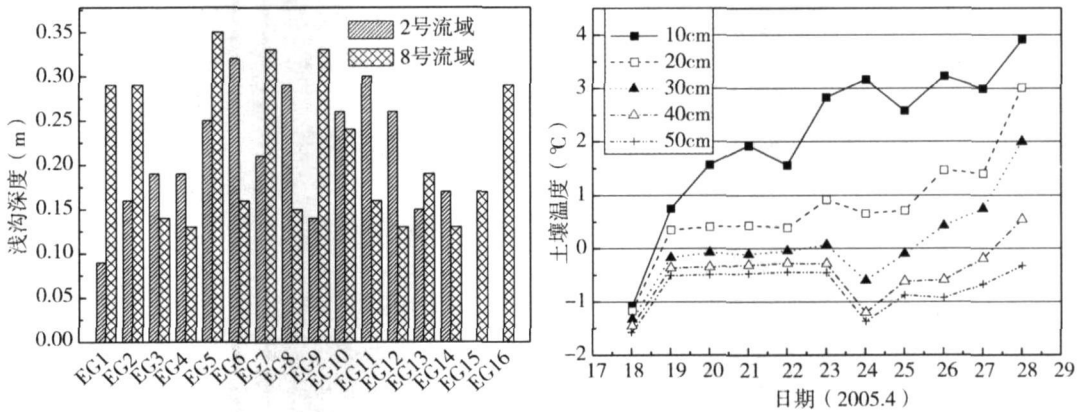


图 5 两流域浅沟深度与 2005 年 4 月 18~28 日 10~50 cm 土壤温度变化对比

Fig 5 Ephemeral gully depth and soil temperatures in the top 50 cm of soil from April 18 to 28, 2005

夏季浅沟侵蚀由暴雨形成的径流造成。2005 年夏季 7~9 月降水总量 201 mm，偏低于同期多年平均值，仅于 7 月 17 日凌晨出现一次暴雨。这次暴雨具有历时短、强度大的特点，最大 30 分钟雨强达 65 mm h^{-1} ，历时仅 3 个多小时，总雨量达 72 mm，其中 54 mm 雨量发生在 1 h 内，降雨侵蚀力达 $1111 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 。暴雨形成的径流持续 9 个小时，强度之大导致量水堰被冲毁，观测到的资料表明，2 号和 8 号流域的径流深要大于 23.0 mm 和 12.2 mm。这种短历时、高雨强的暴雨是导致夏季浅沟宽度大、深度浅的主要原因。Poesen 等在比利时中部也发现短历时的暴雨造成的浅沟 $\text{WDR} > 1$ ，而长历时、低雨强的降雨通常会造成 $\text{WDR} < 1$ 的窄浅沟^[21]。宽浅的浅沟危害更大，因为其侵蚀掉的是表层 20 cm 左右的耕层土壤，而这层土壤肥力高，有机质含量最高；农药残留也最大，这部分的土壤流失也会对下游造成严重的水质污染^[16]。

另一方面，该区在大豆播种后为了保墒一般要利用机械碾压垄台和垄沟，以压实表层土壤，这就使得表层土壤水分入渗能力减弱，而土壤抗剪切强度增大。这次暴雨的雨强远大于豆地表层土壤的饱和导水率 (19.1 mm h^{-1})。这样，在暴雨发生时，雨水来不及下渗

而形成超渗产流,且产汇流时间较短。在流域出口的量水堰野外观测时看到,从暴雨开始到流域出口观察到产流不到半个小时。径流历时短、表层土壤抗剪强度大以及径流的下切作用不强,导致径流宽度相应变大,进而造成浅沟宽度较大、深度较浅。

3.2 作物类型及耕作措施对浅沟分布和形态的影响

春季浅沟受翻耕、残茬覆盖影响明显,与未翻耕地块相比,秋季翻耕地块中的浅沟深度较大;另外,车辙、排水沟等人为要素也易引起浅沟侵蚀。

人类对土地的利用方式影响浅沟的发生程度。这一作用表现在农作物的差异上,夏季流域浅沟分布型式主要受不同作物种植密度和种植方式差异的影响。2005年夏季浅沟侵蚀主要发生于大豆地中。小麦地的作物一般只被冲倒而未被冲走,冲倒的小麦平铺在径流的流路上,削弱了径流速度和雨滴打击作用,径流侵蚀作用降低。而在大豆地中,径流发生时,集流水道上的土壤和作物同时被侵蚀掉,浅沟侵蚀严重。7月份大豆地与小麦地植被盖度差异不大,前者80%左右,后者在90%以上。但小麦种植密度和植株高均比大豆的大,这可能是小麦在削弱雨滴击溅、增强表层土壤抗蚀性等方面的作用要比大豆大的原因。再加上两种作物种植方式上的差异,使得小麦地未发生浅沟侵蚀。

耕作措施对浅沟侵蚀的影响一方面体现在表层土壤容重的差异上,机械压实使得麦地表层10cm土壤的容重(1.36gcm^{-3})大于豆地的(1.26gcm^{-3}),而土壤容重是土体密实程度和总孔隙度大小的反映,土壤容重越大,说明土体较密实,孔隙度越小,不易压缩,抗剪强度越大^[22]。另一方面,由于大豆地中起垄方向与等高线斜交(图1),不是等高耕作,当暴雨发生时,降雨来不及下渗,浅沟集水区内的坡面径流便沿垄沟迅速汇集,径流顺垄沟汇向低洼处的集流水道,当水量增多漫过犁垄时,使垄沟在此处决口,形成冲刷力很强的集中水流而发生浅沟侵蚀。麦地由于不是起垄耕作,径流沿自然微地貌形态顺坡向下流动,再加上作物密度大,低洼处两侧坡面的汇水就相对减少,而只有其上方坡面的汇水。同时小麦地中低洼水线处由于小麦种植密度大,既阻止了径流的下切,又拦截了上方坡面的来水来沙,因此就发生了挂淤现象。可以说,浅沟的形成不仅与流域的地形特征有关,也与作物类型和耕作措施有很大的关系。Papy等也发现作物种类和农业措施对法国Pays de Caux地区的土壤侵蚀有相当大的影响,而且土地利用的影响更大^[23]。

上述作物类型对浅沟侵蚀的影响,对浅沟治理有一定启示作用。鉴于种植小麦能防止浅沟侵蚀,可以考虑在发生浅沟的集流水路上种植同样密度的草堡,形成草水道,这样既能防止浅沟侵蚀发生,又能拦截上方和两侧坡面的来沙。

4 结论

根据以上分析,得到如下主要结论:

(1) 研究区浅沟侵蚀多发生于坡面低洼水线处;由于集中水流侵蚀动能的变化,沿坡面向下存在浅沟侵蚀的强弱交替带,浅沟中部侵蚀量最大。

(2) 两流域年浅沟侵蚀量达 $285.9\text{m}^3\text{km}^{-2}$ 和 $290.8\text{m}^3\text{km}^{-2}$,仅浅沟侵蚀量就超过了黑土区的土壤允许侵蚀量。春季浅沟侵蚀比夏季严重。春季浅沟侵蚀有融雪径流导致,并受土壤冻融作用影响显著,沟蚀是春季的主要侵蚀类型;夏季浅沟侵蚀由暴雨造成,浅沟分布受耕作措施和作物类型影响。在形态上,春季浅沟长度和深度均较大,夏季宽度较大、长度和深度减小。

(3) 耕作措施和作物类型影响浅沟侵蚀强度和分布。春季发生在秋翻地中的浅沟深

度较大, 未翻地块中的浅沟较浅; 秋季残茬覆盖可减少春季浅沟侵蚀, 种植小麦可防止夏季浅沟侵蚀; 夏季浅沟绝大多数分布于大豆地中, 农作物种植密度、耕作措施的不同是导致这种分布的主要原因。

很显然, 浅沟侵蚀对黑土区坡耕地造成的破坏是不容忽视的。但由于研究区浅沟侵蚀的实测资料相当少, 有必要进行长期的小流域浅沟侵蚀监测, 以研究其发生发展规律及主要影响因素, 并且在今后的研究中对影响因子进行定量研究, 以期水土保持提供依据。

致谢: 野外工作中得到北京师范大学地理与遥感科学学院的张天宇、于艳、边柳和黑龙江鹤山农场有关人员的大力支持, 在此表示谢意。

参考文献:

- [1] Woodward D E. Method to predict cropland ephemeral gully erosion. *Catena*, 1999, 37: 393~ 399.
- [2] Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten, *et al.* Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 2003, 50: 91~ 133.
- [3] Casal J, Lopez J J, Giráldez J V. Ephemeral gully erosion in southern Navarra (Spain). *Catena*, 1999, 36: 65~ 84.
- [4] Foster G R. Modeling ephemeral gully erosion for conservation planning. *International Journal of Sediment Research*, 2005, 20(3): 157~ 175.
- [5] Vandaele K, Poesen J, Govers G, *et al.* Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology*, 1996, 16: 161~ 173.
- [6] Vandekerckhove L, Poesen J, Wijdenes D, *et al.* Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. *Catena*, 1998, 33(3-4): 271~ 292.
- [7] Desmet P J J, Poesen J, Govers G, *et al.* Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies. *Catena*, 1999, 37: 377~ 392.
- [8] De Santisteban L M, Casal J, Lopez J J, *et al.* Exploring the role of topography in small channel erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2005, 30: 591~ 599.
- [9] Bennett S J, Casal J, Robinson K M, *et al.* Characteristics of actively eroding ephemeral gullies in an experimental channel. *Transactions of the ASAE*, 2000, 43(3): 641~ 649.
- [10] Oygarden L. Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway. *Catena*, 2003, 50: 217~ 242.
- [11] 全国土壤普查办公室. 中国土种志. 北京: 中国农业出版社, 1994 276~ 286.
- [12] 熊毅, 李庆逵. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1990 648~ 662.
- [13] 阎百兴, 汤洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响. *地理研究*, 2005, 24(4): 499~ 506.
- [14] 张金福, 李喜奎, 刘绪军. 黑龙江省黑土区沟壑侵蚀的危害及其治理. *水土保持科技情报*, 1999, (3): 52~ 53.
- [15] 胡刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. GPS 和 GIS 进行短期沟蚀研究初探. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 16~ 41.
- [16] 刘宪春. 东北漫岗黑土层厚度空间分布规律研究. 北京师范大学, 博士论文, 2005.
- [17] 张永光, 伍永秋, 刘宝元. 东北漫岗黑土区春季冻融期浅沟侵蚀. *山地学报*, 2006, 24(3): 306~ 311.
- [18] Bennett S J, Casal J, Robinson K M, *et al.* Characteristics of actively eroding ephemeral gullies in an experimental channel. *Transaction of ASAE*, 2000, 43(3): 641~ 649.
- [19] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型. 北京: 中国科学技术出版社, 2001 82~ 84.
- [20] Kok H, McCool D K. Freeze-thaw effects on soil strength. In: Cooley K R (ed.). *Proceedings of the International Symposium on Frozen Soil Impacts on Agricultural, Range and Forest Lands*, US Army Cold Regions Research Engineering Laboratory Special Report 90-1, 1990 70~ 76.
- [21] Poesen J, Govers G. Gully erosion in the loam belt of Belgium: Typology and control measures. In: Boardman J, Foster I D L, Dearing J A (eds.). *Soil Erosion on Agricultural Land*. Chichester: Wiley, 1998 513~ 530.

- [22] 张爱国, 李锐, 杨勤科. 中国水蚀土壤抗剪切强度研究. 水土保持通报, 2001, 21(3): 5~ 10.
- [23] Cerdan O, Bissonnais Y L, Couturier, *et al.* Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. Soil & Tillage Research, 2002, 67: 99~ 108.

Seasonal discrepancy of ephemeral gully erosion in Northeast China with black soils

ZHANG Yong-guang¹, WU Yong-qiu^{2,*}, WANG Yan-zai², LIU Bao-yuan¹

(1 College of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2 MOE Engineering Center of Desertification and Blown-sand Control at Beijing Normal University, China Center of Desert Research at Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Ephemeral gully erosion can be a major sediment source serving as main conduits to convey runoff and sediment from most farmland. Ephemeral gully erosion is similar to but differ from both rill and classical gully erosion. But ephemeral gully erosion is often overlooked, and it is also not estimated with rill-interrill erosion prediction models such as the Revised Universal Soil Loss Equation. Soil erosion is increasingly severe in Northeast China with black soils, in which ephemeral gully erosion is an important type of water erosion. However, the existing literature indicated that little research on ephemeral gully erosion has been done in this area. In this paper, ephemeral gully erosion was investigated in spring and summer of 2005 in black soil regions of two small catchments on Heshan Farm of Heilongjiang Province. The aim of the study was to present the characteristics of ephemeral gullies and their seasonal discrepancies and controlling factors. The results show that soil losses due to ephemeral gully erosion fluctuate along the slope, and the high erosivity belts alternate with the low belt. There are also great differences in the morphology, the erosion intensity and controlling factors of ephemeral gully erosion between spring and summer. Ephemeral gully erosion in spring is mainly resulted from snow storm and is significantly influenced by freeze-thaw and snowmelt runoff. Ephemeral gully erosion in spring is slightly severer than that in summer. Ephemeral gully erosion was caused by storm. Compared with that in spring, ephemeral gullies in summer were shorter and shallower, but wider due to the storm characterized by high intensity and low duration. Furthermore, the depth and distribution of ephemeral gully are significantly influenced by tillage practice and crop type, especially in summer.

Key words: ephemeral gully erosion; black soil regions; tillage practices; seasonal discrepancy