

东北薄层黑土区作物轮作防治坡面侵蚀的效果与C值研究

富涵¹, 郑粉莉^{1,2}, 覃超¹, 王磊¹

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 作物轮作通过影响通用土壤流失方程(USLE)中作物覆盖和管理因子C值的变化和改良土壤性质而减少坡面土壤侵蚀。基于东北薄层黑土区连续6年大豆—红小豆轮作和裸露休闲坡面小区的径流泥沙和降雨资料,分析了2011—2016年研究区侵蚀性降雨特征,探讨了作物轮作防治坡面土壤侵蚀的效果,研究了作物轮作C值的年内和年际动态变化。结果表明:研究区所有侵蚀性降雨皆发生在5—10月,其降雨量占全年降水量的32.5%~68.1%,且年内和年际分布不均。对于5°坡度的裸露小区,土壤侵蚀主要发生在6—8月,坡面径流量和土壤流失量分别为48.4 mm和1 388.2 t/(km²·a);对于5°坡度的作物轮作小区,土壤侵蚀主要发生在5—7月,坡面径流量和土壤流失量分别为19.5 mm和166.7 t/(km²·a)。与裸露休闲小区相比,作物轮作小区可使黑土坡面年径流量和土壤流失量减少59.7%和88.0%。大豆—红小豆轮作措施的多年平均C值为0.12,其中大豆作物的C值为0.04,变化范围0.007~0.080;红小豆作物的C值为0.38,变化范围0.28~0.46。大豆和红小豆作物的C值月变化分别为0.01~0.24和0.01~0.80,呈先减少后增加的变化趋势。大豆—红小豆轮作对东北薄层黑土区坡面土壤侵蚀防治有明显效果,研究结果可为薄层黑土区土壤侵蚀定量评价和预报模型的建立提供基础数据。

关键词: 轮作; 黑土区; C值; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0014-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.01.003

Effects of Crop Rotation on Preventing Hillslope Soil Erosion and Its C Factor's Variation in Thin Layer Mollisol Region of the Northeast China

FU Han¹, ZHENG Fenli^{1,2}, QIN Chao¹, WANG Lei¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Crop rotation affects dynamic changes of C factor in USLE and reduces hillslope soil erosion by improving soil properties. Based on six years observation data of runoff, soil loss and rainfall from the soybean-red adzuki bean rotation and bare-fallow runoff plots in the thin layer Mollisol region of the Northeast China, this paper analyzed erosive rainfall characteristics, discussed effects of crop rotation on preventing hillslope soil erosion, and explored yearly and monthly changes (May-October) of C factor (crop cover and management) during 2011—2016. The results showed that all erosive rainfall in the study area occurred from May to October, which occupied 32.5% to 68.1% of annual precipitation, and its distribution of inter-annual was uneven. For the bare-fallow runoff plot with 5° slope gradient, soil erosion mainly occurred in June to August and annual runoff and soil loss was 48.4 mm and 1 388.2 t/(km²·a) respectively; while for the crop rotation plot with 5° slope gradient, soil erosion mainly occurred in May to July and annual runoff and soil loss was 19.5 mm and 166.7 t/(km²·a) respectively. Compared with the bare-fallow plots, average annual runoff and soil loss from crop rotation plot under 5° slope gradient were decreased by 59.7% and 88.0%, respectively. Average yearly C value for crop rotation plots was 0.12. For soybean crop, C value was 0.04,

收稿日期: 2018-08-26

资助项目: 国家自然科学基金项目(41571263); 国家重点研发计划资助(2016YFE0202900)

第一作者: 富涵(1994—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: six@nwfu.edu.cn

通信作者: 郑粉莉(1960—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与环境效应研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn

ranging from 0.007 to 0.080; and for red adzuki bean, C value was 0.38, ranging from 0.28 to 0.46. Monthly C values of soybean and red adzuki bean varied between 0.01 ~ 0.24 and 0.01 ~ 0.80, respectively. The soybean-red adzuki bean rotation had a significant effect on preventing hillslope soil erosion in the thin layer Mollisol region of the Northeast China. The results provided scientific basis for quantitative evaluation of soil erosion and prediction model establishment in thin layer Mollisol region of the Northeast China.

Keywords: crop rotation; black earth area; C value; soil erosion

东北黑土区是我国重要的商品粮供应地,粮食产量占全国的 1/4,其土地资源的合理和高效利用直接关系到国家粮食的战略安全。然而,在 103 万 km² 面积的黑土地中,土壤侵蚀面积达 27.8 万 km²,占我国黑土区总面积的 27%^[1-2]。因此,如何防治黑土区土壤侵蚀,“不让黑土地在我们这代人手中变少变瘦”成为了各级政府、科技工作者和普通百姓共同关注的焦点^[3]。

《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030 年)》^[4]指出,调整优化结构,养地补肥,探索、推广适宜的轮作模式是提升黑土资源利用和生产能力可持续性的技术手段之一。作物轮作可以在提高土壤质量和经济效益的同时减缓土壤侵蚀^[5-6],并提高土壤水分利用率和恢复能力。目前对作物轮作的研究多集中于作物轮作对土壤性质、土壤水分及作物产量的影响^[7-9],且研究区域多集中在陕北^[10]和华北^[6]地区。而在黑土区关于作物轮作减少土壤侵蚀效果的研究较少^[11-12]。作物轮作对土壤侵蚀有重要影响,其在 USLE(Universal Soil Loss Equation)、RUSLE(Revised Soil Loss Equation)和 MUSLE(Modified Soil Loss Equation)预报模型中被量化为 C 值^[13-14]。C 值是相同条件下作物小区与裸露休闲小区土壤流失量的比值^[13],完全裸露小区 C 值为 1,保护良好的小区 C 值为 0.001^[11]。而国内对 C 值的研究多集中在黄土高原^[15]和红壤地区^[16],少有研究涉及到作物轮作对黑土侵蚀防治效果的研究以及 C 值动态变化。据此,本文基于东北薄层黑土区连续 6 年径流泥沙观测资料,分析大豆—红小豆轮作防治坡面土壤侵蚀的效果,估算不同月份作物轮作 C 值的动态变化,其研究结果不但为该地区坡面水土保持措施布设提供科学依据,也为土壤侵蚀预报提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

野外径流小区布设在黑龙江省哈尔滨市的典型薄层黑土区的农耕地,其地理坐标为 127°24′41.5″ E 和 45°45′8.6″ N。该区地貌特征以漫岗丘陵地形为主,海拔在 160~220 m,地势较为平缓,耕地地表坡度多分布于 1°~7°,坡长可达数百米,最长可达数千米。气候属温带大陆性季风气候,年际温差较大,年均气温 3.9 ℃,极端低温达 -33.7 ℃,平均无霜期 147 d。

雨季集中于 6—9 月,占全年总降水量的 64.0%^[17],降雨量年际间分布不均。成土母质为第四纪中更新世黄土状亚黏土,土壤类型为黑土,该区主要土壤侵蚀类型为水力侵蚀,主要农作物为玉米和大豆。

1.2 野外径流小区布设

本试验设计 2 个地表处理的径流小区,分别为大豆—红小豆轮作和裸露休闲(对照),各径流小区长 5 m,宽 2 m,地面坡度为 5°。作物轮作小区在每年 4 月初进行播种前的翻耕整地,然后在 4 月底播种大豆或红小豆,10 月下旬进行收获。裸露休闲小区也在每年 4 月进行翻耕整地,其整地方式与轮作小区相同,在每年观测期间定期对地表进行除草处理,消除植被对土壤侵蚀的影响。

1.3 降雨和径流泥沙观测方法

用虹吸式自记雨量计(SL-2 型)观测次降雨过程。径流小区泥沙观测采取传统集流桶观测方法,共设二级径流桶,其中一级径流桶为分流桶,分流孔数为 11 个;二级径流桶为集流桶。具体径流泥沙观测过程为:(1)每次侵蚀性降雨结束后 6 h 内,先清理掉径流桶内的枯枝落叶等漂浮物,然后分别垂直量测各分流桶和集流桶的水位高度 4 次,取 4 次量测的平均值作为对应径流桶的水位高度;(2)对各径流桶进行充分搅拌,然后快速用 500 mL 取样瓶采集径流泥沙样,径流泥沙样采集重复 3 次;(3)待径流泥沙样品采集完成后,打开径流桶底部的放水阀门,放掉收集的径流泥沙,并用清水将集流桶冲洗干净;然后关闭底部阀门,盖好桶盖,为下次径流泥沙收集做好准备;(4)将所有采集的径流泥沙样品带回实验室,称取质量,置放在 105 ℃ 的烘箱烘干,然后称重并计算径流含沙浓度和侵蚀量。

1.4 数据处理与分析

(1)侵蚀性降雨的确定:根据裸露休闲小区实测径流泥沙资料 and 自记雨量计记录的降雨资料,将引起裸露休闲小区发生径流的次降雨作为侵蚀性降雨标准。其中,次降雨的确定参考了美国的标准(即降雨间歇 6 h 以内算 1 次降雨过程,否则视为 2 次降雨过程)。2011—2016 年共监测 411 场次降雨包括 69 场侵蚀性降雨,通过这 69 场侵蚀性降雨过程的记录纸判读,结合 RainRecord V 1.06 和 Excel 2010 软件进

行侵蚀性降雨的特征分析。

(2)C 值计算:本研究基于作物小区的侵蚀量与邻近裸露休闲小区的侵蚀量的比值,估算大豆—红小豆轮作措施下年平均 C 值和各月份的 C 值。由于作物轮作小区地表处理与裸露休闲小区处理相同(皆为平坡播种),故不受 USLE 中水保措施 P 因子的影响。其年均和月均计算公式为:

$$C = \frac{A_C}{A_B} \quad (1)$$

式中:C 为作物覆盖与管理因子,无量纲;当计算多年平均 C 值时, A_C 为作物轮作小区多年平均侵蚀量(t/km^2); A_B 为裸露休闲小区多年平均侵蚀量(t/km^2);当计算月平均 C 值时, A_C 为作物轮作小区月平均侵蚀量(t/km^2); A_B 为裸露休闲小区月平均侵蚀量(t/km^2)。

(3)数据分析:利用标准差 SD 和变异系数 CV

描述侵蚀性降雨的离散程度。当 $CV \leq 0.1$ 时为弱变异; $0.1 < CV < 1$ 为中等变异; $CV \geq 1$ 为强变异^[18]。

2 结果与分析

2.1 2011—2016 年侵蚀性降雨特征

由表 1 可知,观测期间所有侵蚀性降雨均发生在 5—10 月,月侵蚀性降雨量为 10.8~141.7 mm,其侵蚀性降雨量占全年总降雨量的 32.5%~68.1%,且侵蚀性降雨量在年内分布不均,变异系数为 5.7%~102.0%,属中等变异。本研究结果与刘燕玲等^[17]在该地区的研究结论类似,他们认为该地区的主要降水集中在每年 5—9 月,其占年均降雨量的 64.5%。年侵蚀性降雨量为 143.4~318.9 mm,且分布不均,最大年份年侵蚀性降雨量(2013 年)是最小年份年侵蚀性降雨量(2014 年)的 2.2 倍。

表 1 2011—2016 年期间侵蚀性降雨统计

| 时间 (年-月) | 月侵蚀性降雨 | | | | 年侵蚀性 降雨量/mm | 年降 雨量/mm | 轮作 作物 |
|-------------|---------------|-------------|----------------|------------|----------------|-------------|----------|
| | 侵蚀性 降雨量/mm | 变化 范围/mm | 平均值± 标准差/mm | 变异 系数/% | | | |
| 2011-05 | 32.9 | 5.2~14.6 | 11.0±5.1 | 46.4 | | | |
| 2011-06 | 10.8 | 10.8~10.8 | 10.8±0 | | 184.6 | 374.2 | 大豆 |
| 2011-07 | 100.2 | 5.6~54.4 | 20.0±20.4 | 102.0 | | | |
| 2011-08 | 40.7 | 10.1~16.1 | 13.6±3.1 | 22.8 | | | |
| 2012-06 | 115.3 | 8.6~40.2 | 19.2±12.7 | 66.1 | | | |
| 2012-07 | 42.5 | 8.5~33.9 | 18.8±12.4 | 66.0 | 306.1 | 449.5 | 红小豆 |
| 2012-08 | 62.8 | 30.1~32.7 | 31.4±1.8 | 5.7 | | | |
| 2012-09 | 83.0 | 20.1~62.9 | 41.5±30.3 | 73.0 | | | |
| 2013-05 | 22.4 | 1.4~21.0 | 21.0±13.9 | 66.2 | | | |
| 2013-06 | 18.2 | 18.2~18.2 | 18.2±0 | | 318.9 | 491.3 | 大豆 |
| 2013-07 | 136.6 | 3.8~53.2 | 22.8±18.5 | 81.1 | | | |
| 2013-08 | 141.7 | 11.2~36.0 | 20.2±10.3 | 51.0 | | | |
| 2014-06 | 54.7 | 15.9~22.5 | 18.2±3.7 | 20.3 | | | |
| 2014-07 | 88.7 | 8.4~37.0 | 14.8±11.1 | 75.0 | 143.4 | 440.8 | 红小豆 |
| 2015-05 | 41.0 | 16.2~24.8 | 20.5±6.1 | 29.8 | | | |
| 2015-06 | 20.9 | 6.5~14.4 | 10.5±5.6 | 53.3 | | | |
| 2015-07 | 32.8 | 11.0~21.8 | 16.4±7.6 | 46.3 | 152.2 | 407.3 | 大豆 |
| 2015-08 | 45.5 | 15.3~30.2 | 22.8±10.5 | 46.1 | | | |
| 2015-09 | 12.0 | 12.0~12.0 | 12.0±0 | | | | |
| 2016-06 | 38.4 | 6.4~25.6 | 12.8±11.1 | 86.7 | | | |
| 2016-07 | 53.4 | 24.9~28.5 | 26.7±2.6 | 9.6 | | | |
| 2016-08 | 38.1 | 38.1~38.1 | 38.1±0 | | 214.3 | 393.9 | 红小豆 |
| 2016-09 | 69.7 | 25.8~43.9 | 34.9±12.8 | 69.7 | | | |
| 2016-10 | 14.7 | 14.7~14.7 | 14.7±0 | | | | |

2.2 作物轮作防治坡面土壤侵蚀效果分析

大豆—红小豆年际轮作能有效减少坡面径流量和土壤流失量。由表 2 可知,对于 5°坡度的作物轮作小区,多年平均径流量、径流系数和土壤流失量分别为 19.5 mm、0.09 和 166.7 t/($km^2 \cdot a$),而对于 5°坡度的裸露休闲小区,多年平均径流量、径流系数和土壤流失量分别

为 48.4 mm、0.20 和 1 388.2 t/($km^2 \cdot a$)。与裸露小区相比,轮作小区多年平均径流量和土壤流失量分别减少 59.7%和 88.0%,说明作物轮作防治坡面土壤侵蚀效果较好,其减少坡面径流量的幅度为 27.3%~91.4%,减少坡面土壤流失量的幅度为 53.6%~99.3%。本研究结果与肖继兵等^[5]在辽西地区和卢宗凡等^[10]在陕北

地区的研究结果类似。肖继兵等^[5]的研究表明,多年轮作作物在 10°小区上的径流量和侵蚀量分别减少 81.7% 和 96.1%,但在 5°小区坡面上未发生土壤侵蚀,其原因是肖继兵等^[5]的作物轮作小区有水土保持保护性耕作措施,因而在 5°小区坡面上未发生土壤侵蚀。本研究中,作物轮作小区没有耕作措施而是采用平坡耕作,所

以在 5°坡面上产生了侵蚀。而卢宗凡等^[10]的研究表明,轮作与裸露地相比减少径流量和侵蚀量分别介于 1.5%~44.8% 和 5.9%~77.1%,其防治土壤侵蚀的效果小于本研究结果,其原因可能为卢宗凡等^[10]试验小区在黄土区,其试验土壤、坡度和坡长均与本研究试验小区不同造成的。

表 2 轮作小区与裸露小区多年平均径流量和土壤流失量

| 年份 | 裸露休闲小区 | | | 作物轮作小区 | | | | |
|------|------------|--|----------|------------|--------------|--|----------------|----------|
| | 径流量/ mm | 土壤流失量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹) | 径流 系数 | 径流量/ mm | 径流量 减少量/% | 土壤流失量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹) | 土壤流失量 减少量/% | 径流 系数 |
| 2011 | 43.8 | 3372.6 | 0.24 | 22.5 | 48.6 | 149.7 | 95.6 | 0.12 |
| 2012 | 68.3 | 1983.0 | 0.22 | 49.6 | 27.3 | 549.9 | 72.3 | 0.16 |
| 2013 | 81.5 | 1022.9 | 0.26 | 7.0 | 91.4 | 7.4 | 99.3 | 0.02 |
| 2014 | 29.4 | 139.8 | 0.21 | 8.9 | 69.7 | 56.6 | 59.5 | 0.06 |
| 2015 | 37.9 | 1574.9 | 0.25 | 17.3 | 54.3 | 127.1 | 91.9 | 0.11 |
| 2016 | 29.3 | 236.0 | 0.14 | 11.5 | 60.8 | 109.4 | 53.6 | 0.05 |
| 多年平均 | 48.4 | 1388.2 | 0.20 | 19.5 | 59.7 | 166.7 | 88.0 | 0.09 |

2.2.1 轮作小区和裸露小区径流量和土壤流失量的年际变化 轮作小区的年径流量和土壤流失量均呈波动变化,且变化趋势相同。其主要原因与年际间侵蚀性降雨变化特征及侵蚀性降雨发生时间和作物生长期有关。如 2013 年侵蚀性降雨量是 2016 年的 1.5 倍,但 2013 年轮作小区的径流量和土壤流失量分别较 2016 年减少了 39.1% 和 93.2%,其原因是 2013 年的侵蚀性降雨主要发生在 7—8 月(表 2),尤其是 8 月为豆类作物开花结荚期,地表覆盖度、叶面积指数和根系生物量均达到最大,能有效防治土壤侵蚀的发生。而 2016 年侵蚀性降雨主要发生在 6—7,9—10 月,期间作物地表覆盖度、叶面积指数和根系生物量均小于开花结荚期,2 年种植作物不同进而导致 2016 年小区的土壤流失量较大。虽然 2016 年侵蚀性降雨量大于 2011 年,但裸露小区的径

流量和土壤流失量在 2016 年小于 2011 年,其主要原因是裸露小区在第 1 次侵蚀性降雨发生前的 2 个月,因降雨极少导致土壤水分长期处于干燥状态,使得土壤降雨入渗量较大,进而径流量和土壤流失量较少。而 2011 年在 4 月发生了多次非侵蚀性降雨,其平均降雨量为 4.2 mm,平均 I_{30} 仅为 4.7 mm/h,使得前期土壤含水量在 5 月侵蚀性降雨发生前较大,从而导致坡面径流量和土壤流失量增加。

由图 1 可知,2013—2016 年期间,裸露小区土壤流失量呈波动变化趋势,而轮作小区土壤流失量差异不明显,且从 2015 年开始趋于稳定,说明经过多年轮作,作物轮作的防蚀效果呈增加的趋势,其原因可能与大豆—红小豆轮作提高了土壤抗侵蚀性有关,还需要进一步研究。

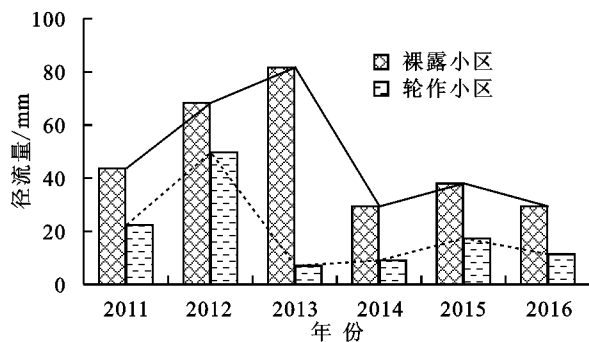


图 1 轮作小区与裸露小区年径流量和土壤流失量的年际变化

2.2.2 裸露小区和轮作小区径流量与土壤流失量逐月变化 裸露小区和轮作小区的月径流量和土壤流失量与月侵蚀性降雨量的变化趋势基本相同(图 2),侵蚀性降雨发生的最大月份也是裸露小区和轮作小区发生土壤流失量的最大月份。2011—2016 年观测期间,裸露小区月径流量和土壤流失量分别为 1.3~

55.6 mm 和 15.4~1 928.8 t/km²,轮作小区月径流量和土壤流失量分别为 0.3~36.9 mm 和 0.3~473.5 t/km²。与裸露小区相比,轮作小区月径流量和土壤流失量的变化幅度均小于裸露小区,主要原因是轮作小区各月径流量和土壤流失量变化主要受月侵蚀性降雨和作物生长发育的共同影响,而裸露小区

月径流量和土壤流失量变化主要受侵蚀性降雨的影响。如 2013 年轮作小区的径流量变化相对较少,虽然当年 7、8 月侵蚀性降雨量大于 5、6 月(表 1),但由

于 7、8 月大豆生长处于旺盛期,地表覆盖度、叶面积指数和根系生物量均趋于最大值,从而有效减少了地表径流的发生。

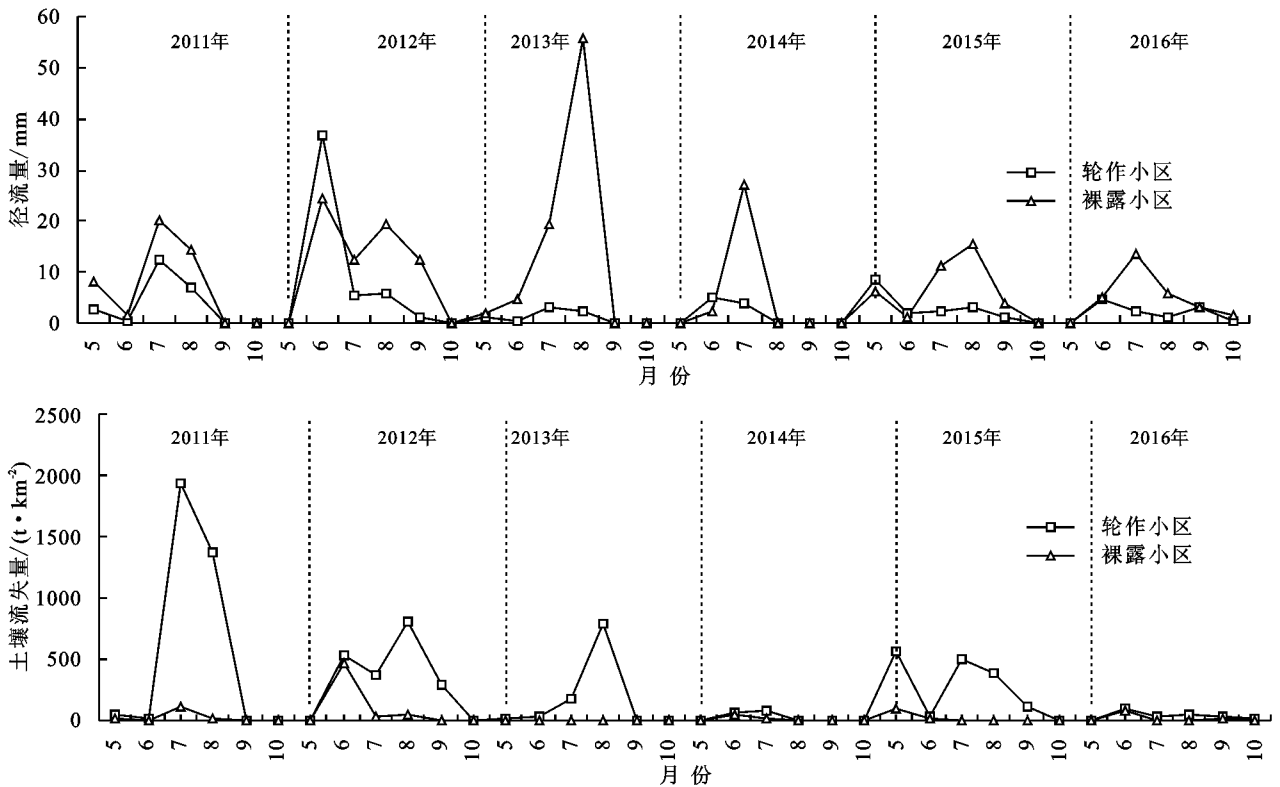


图 2 轮作小区和裸露小区径流量和土壤流失量的月变化

裸露小区内发生土壤侵蚀多集中在 6—8 月(图 2),与该地区年内侵蚀性降雨集中分布的月份相同(表 2)。这与张宪奎^[19]在东北黑土区的研究结果相一致。轮作小区内发生的土壤侵蚀主要集中在 5—7 月,较之裸露小区土壤侵蚀集中发生月份明显提前 1 个月,其主要原因:一是轮作小区前期种植作物对表层土壤进行了扰动,致使土壤抗侵蚀能力减弱;二是作物生长处于幼苗期,地表覆盖度较低和根系生物量较小,导致作物尚不能很好的控制坡面土壤侵蚀的发生,从而使轮作小区在每年雨季初期(5 月或 6 月)的土壤流失量达到最大,其在随后的月份呈减少趋势。

2.3 作物覆盖与管理因子 C 值的估算

作物覆盖与管理因子 C 值是反映作物对土壤侵蚀控制能力的指标之一^[20],在不同耕作措施、作物类型和管理方式条件下变化幅度较大,该值不仅受到作物生长周期的影响,而且侵蚀性降雨的年内分布也是影响因素之一^[14]。据此,这里基于 6 年观测资料,估算大豆—红小豆轮作措施的 C 值,分析其动态变化规律(表 3)。研究区大豆—红小豆轮作措施的多年平均 C 值为 0.12,其变化范围为 0.007~0.460,其中 2016 年最大,2013 年最小,与张宪奎^[19]对黑龙江省克山县估算的 C 值的结果相类似。对于轮作小区的红小豆和大豆而言,多年平均 C 值分别为 0.38 和 0.04,变

化范围分别为 0.28~0.46 和 0.007~0.080。其中大豆的 C 值在不同月份变化范围为 0.01~0.24,红小豆的 C 值在不同月份变化范围为 0.01~0.80。对于红小豆和大豆,雨季开始的 5 月和雨季结束的 9 月 C 值较高,而 6—8 月 C 值较低,这与 Preiti 等^[14]的研究结果一致。这主要是 5 月为作物幼苗末期,作物的叶面积指数迅速增加且根系初步形成,减小了雨滴对坡面的打击和轮作小区土壤流失量。因此,C 值在作物生长 1 个月后(即 6 月)迅速减小。8 月是大豆和红小豆生长旺盛期,此时作物覆盖度和叶面积指数迅速增加,且根系充分发育,对土壤有良好的固结作用,此时 C 值最小;此后作物生长进入成熟期,叶片开始萎缩并在风力等自然因素作用下脱落,地面覆盖度的减小导致 C 值增大。

表 3 轮作小区不同月份的 C 值

| 轮作作物 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 多年平均 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 大豆 | 0.24 | 0.13 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | | 0.04 |
| 红小豆 | | 0.80 | 0.13 | 0.05 | 0.16 | 0.01 | 0.38 |

3 结论

(1)研究区侵蚀性降雨均发生在 5—10 月,侵蚀性降雨量占全年总降雨量的 32.5%~68.1%,且年内和年际分布不均匀,年内变异系数为 5.7%~102.0%。

(2)对于 5°坡度的裸露小区,土壤侵蚀主要发生在 6—8 月,年土壤流失量为 1 388.2 t/(km²·a);对于 5°坡度的作物轮作小区,土壤侵蚀主要发生在 5—7 月,年土壤流失量为 166.7 t/(km²·a)。与裸露小区相比,轮作小区多年平均径流量减少 59.7%,土壤流失量减少 88.0%,说明大豆—红小豆轮作能有效防治坡面土壤侵蚀。

(3)大豆—红小豆轮作措施的多年平均 C 值为 0.12,其中大豆为 0.04,变化范围为 0.007~0.080,红小豆为 0.38,变化范围为 0.28~0.46。大豆和红小豆作物的 C 值月变化范围为 0.01~0.24 和 0.01~0.80,呈先减少后增加的变化趋势,其中 7—8 月 C 值较低,而 5,6,9 月 C 值较高。

参考文献:

- [1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失与生态安全:东北黑土卷[M]. 北京:科学出版社,2010:57-80.
- [2] 郑粉莉,王占礼,杨勤科. 我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望[J]. 自然杂志,2008,30(1):12-16,63.
- [3] 韩长赋. 加强东北黑土地保护,推进农业绿色发展[N]. 人民日报,2018-02-05(7).
- [4] 中华人民共和国农业部. 东北黑土地保护规划纲要(2017—2030 年). [EB/OL]. (2017-06-15) [2018-06-10]. http://http://jiuban.moa.gov.cn/zwillm/tzgg/tz/201706/t20170623_5725947.html.
- [5] 肖继兵,孙占祥,蒋春光,等. 辽西地区坡耕地垄膜沟耕对土壤侵蚀和作物产量的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(20):3904-3917.
- [6] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,等. 长期施肥对华北小麦—玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究[J]. 土壤学报,2009,46(3):520-525.
- [7] 宋丽萍,罗珠珠,李玲玲,等. 陇中黄土高原半干旱区苜蓿—作物轮作对土壤物理性质的影响[J]. 草业学报,2015,24(7):12-20.
- [8] 杨宁,赵护兵,王朝辉,等. 豆科作物—小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系

[J]. 生态学报,2012,32(15):4827-4835.

- [9] 黄高宝,郭清毅,张仁陟,等. 保护性耕作条件下旱地农田麦豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J]. 生态学报,2006,26(4):1176-1185.
- [10] 卢宗凡,张兴昌,苏敏,等. 陕北坡耕地轮作方式对水保效应的影响[J]. 西北农业学报,1993,2(2):81-84.
- [11] 张雪花,侯文志,王宁. 东北黑土区土壤侵蚀模型中植被因子 C 值的研究[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):797-801.
- [12] 吴限,魏永霞,王敏,等. 不同农田植被条件下黑土坡耕地产流和产沙特征[J]. 水土保持通报,2015,35(3):101-104,111.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains [J]. Agricultural Handbook, 1965, 282.
- [14] Preiti G, Romeo M, Bacchi M, Monti M. Soil loss measure from Mediterranean arable cropping systems: Effects of rotation and tillage system on C-factor [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 170: 85-93.
- [15] 胡良军,邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报,2001,16(1):40-43.
- [16] 于东升,史学正,吕喜玺. 低丘红壤区不同土地利用方式的 C 值及可持续性评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):72-77.
- [17] 刘燕玲,刘滨辉,王力刚,等. 黑龙江省降雨侵蚀力的变化规律[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):24-29.
- [18] Nielsen D R, Bouma J. Soil spatial variability: Proceedings of a workshop of the ISSS, Las Vegas (USA) [J]. Geoderma,1986, 39(2): 158-159.
- [19] 张宪奎. 黑龙江省土壤流失方程应用简介[J]. 国土与自然资源研究,1995(1):30-32.
- [20] Gabriels D, Ghekiere G, Schiettecatte W, et al. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium [J]. Soil and Tillage Research, 2003, 74(1): 47-53.

(上接第 13 页)

- [12] 郑海金,胡建民,黄鹏飞,等. 红壤坡耕地地表径流与壤中流氮磷流失比较[J]. 水土保持学报,2014,28(6):41-45.
- [13] 周林飞,郝利朋,孙中华. 辽宁浑河流域不同土地类型地表径流和壤中流氮、磷流失特征[J]. 生态环境学报,2011,20(4):737-742.
- [14] 狄霖. 苏北平原河网区农田养分含量分布与磷素流失规律研究[D]. 江苏扬州:扬州大学,2011.
- [15] 陈玲,刘德富,宋林旭,等. 不同雨强下黄棕壤坡耕地径流

养分输出机制研究[J]. 环境科学,2013,34(6):2151-2158.

- [16] 彭梦玲,吴磊,乔闪闪. 不同雨强下黄土裸坡水—沙—氮磷流失耦合模拟[J]. 中国环境科学,2018,38(3):1109-1116.
- [17] 冯勇. 不同坡度和雨强条件下紫色壤中流氮磷养分流失特征研究[J]. 水土保持应用技术,2014(4):4-6.
- [18] 徐国策,李鹏,成玉婷,等. 模拟降雨条件下丹江鹦鹑沟小流域坡面径流磷素流失特征[J]. 水土保持学报,2013,27(6):6-10.