

东北水保工程项目区水土保持效益评价

李续峰^{1,2}, 张兴义¹, 高燕³, 陈渊¹, 李浩¹, 孙涛¹, 宋春雨¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 黑土区农业生态院重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081;
2. 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 3. 水利部 松辽水利委员会, 吉林 长春 130021)

摘要: 在国家农业综合开发东北黑土区水土流失治理一期工程区内, 选取新型大垄、垄向区田(3°和 5°)、3°垄沟深松、改垄、梯田、地埂、草地、林地共 8 个不同的水土保持措施地块作为试验小区, 以传统 3°和 5°顺坡垄作为对照小区, 开展全年水土保持监测, 并以此进行了田块尺度上的各项水土保持措施的效益分析。研究表明, 水保工程措施总体优于水保耕作措施, 在耕作措施中新型大垄密植水保效果最佳。各项措施水土保持效益排序为: 草地>林地>新型大垄>改垄>梯田>地埂>深松>3°区田>5°区田。新型大垄、区田和深松措施水保作用具有时效性。

关键词: 东北地区; 黑土区; 工程区; 水土保持效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0043-05

中图分类号: S157

Benefits Assessment for Soil and Water Conservation Projects in Black Soil Region of Northeast China

LI Xu-feng^{1,2}, ZHANG Xing-yi¹, GAO Yan³, CHEN Yuan¹, LI Hao¹, SUN Tao¹, SONG Chun-yu¹

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China*; 2. *College of Resources and Environment, Northeast Agriculture University, Harbin, Heilongjiang 150030, China*; 3. *Songliao Water Resources Commission, Changchun, Jilin 130021, China*)

Abstract: In order to evaluate the benefits of engineering measures for soil and water conservation in the black soil region, the novel large ridge, interval ridged-furrow (3°, 5°), ridge and furrow subsoiling, change ridge, terrace field, field bund, grassland and forest were selected as experimental plots, and two conventional cultivation, longitudinal ridge (3°, 5°), were selected as control treatment in project areas of "integrated control of erosion in black soil region of comprehensive agricultural development" in the Hailun City, Heilongjiang Province. Soil and water conservation were monitored during the rainy season from June to September in 2011. The results indicated that the engineering measures for soil and water conservation were superior to cultivation measures, and large ridge closing planting was the most benefit measures for soil and water conservation among all the measures of cultivation. The benefits for soil and water conservation under eight land use types were different, as grassland>forest>navel large ridge>change ridge>terrace field>field bund>3° interval ridged-furrow>5° interval ridge-furrow. Measures such as novel larger ridge, interval ridge-furrow and ridge and furrow subsoiling had the obvious timeliness.

Keywords: Northeast China; black soil region; project areas; benefits of soil and water conservation

东北黑土区水土流失面积高达 $2.76 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占土地总面积的 26.8%, 主要发生在坡耕地, 而且水土流失强度不断增加, 面积不断扩大^[1-3]。自 2003 年以来, 国家先后投入 11 亿元, 启动了东北黑土区水土流失综合治理试点工程、农发一期和二期等工程, 治理水土流失面积达 8382 km^2 ^[4]。尽管这些工程的开

展取得显著成效, 但有关该类工程措施的水土保持监测和效益评价明显滞后, 制约了东北黑土区水保工程的实施效果。当前, 仅以“试点工程”配套建设的 5 个标准径流观测场所获取的保水保土数据, 来综合评价整个工程的水保效益。但小区尺度的监测结果与工程区实际情况差异较大, 且有些工程措施难以在标准

收稿日期: 2012-07-12

修回日期: 2012-09-26

资助项目: 国家科技支撑计划项目“松嫩平原侵蚀黑土农田保水保肥及修复关键技术集成于示范”(2009BADB3B04); 水利部公益项目(201001026)

作者简介: 李续峰(1986—), 男(汉族), 黑龙江省富锦市, 硕士研究生, 主要从事黑土侵蚀过程研究。E-mail: lxf19870817@163.com。

通讯作者: 宋春雨(1962—), 男(汉族), 黑龙江省哈尔滨市, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事黑土生态研究。E-mail: cys@neigaeherb.ac.cn。

径流小区上布设。因此,东北黑土区各市县水保工程项目区只能对措施的效果进行估计,未能对各项工程实施效果进行科学评价。本研究依托 2010 年水利部设立了“东北黑土区水土保持治理措施效益评价”公益性行业科研专项,利用自主创新研发已获国家发明专利的“可移动径流观测装置”^[5],在黑龙江省海伦市农发一期工程区,在田块尺度上,开展了水土保持效益监测,旨在明确工程项目区野外实际情况下各项水土保持措施的保水保土效益,以期为东北黑土区水土保持工作提供支撑。

1 材料与方法

1.1 项目区概况

本研究在国家农业综合开发“东北黑土区水土流失综合治理一期工程”的黑龙江省海伦市项目区完成。项目区位于黑龙江省海伦市前进乡光荣小流域(47°21'N,126°50'E),为典型漫川漫岗黑土区。垦殖率高达 85%,以坡耕地为主,占总耕地面积在 80%以上,坡度多在 1.5°~7°,有 4 个大侵蚀沟。多处黑土被严重侵蚀,呈现“破皮黄”现象。土壤为典型中层黑土,耕层土壤有机质含量约在 4%。该区属寒温带大陆性季风气候,一年一熟制,冬季寒冷干燥,夏季温热多雨,年均气温 1.5℃,极端最高温度为 37℃,极端最低温度为-39.5℃,多年平均降水量 530 mm,年均有效积温 2 450℃,年均日照时数为 2 600~2 800 h,无霜期为 125 d,地下水水位埋深 40 m 以上。2008—2010 年,海伦项目区国家投资 1 200 万元,重点开展以改垄、地埂植物带、梯田及水土保持耕作

主要措施的坡耕地水土流失综合治理,辅以生态恢复、侵蚀沟等综合治理等,项目区水土流失治理面积比例达 70%以上^[6]。

1.2 试验设计

在工程项目区选取东北黑土区较为常见的 8 项水保措施,以 5°顺坡垄、3°顺坡垄和 1.8°顺坡垄作为对照的田块(表 1),对 2011 年整个雨季水土流失进行监测,以此确定不同措施的保水保土效益^[7-8]。

(1) 耕作措施。① 新型大垄种植。秋季收获后将地旋平,深度大于 20 cm,用大垄整地机起 130 cm 大垄,并在最后一次中耕完成后,用阻挡犁在垄沟间隔 70~100 cm 范围内修筑比垄台高 3~5 cm 的挡水埂。② 传统顺坡垄作(对照)。以农民传统的 70 cm 小垄为对照。③ 垄向区田(3°和 5°)。在最后一次中耕完成后,用阻挡犁在垄沟间隔 70~100 cm 修筑比垄台略高的挡水埂。④ 苗期垄沟深松。在苗期最后一次中耕后,用深松犁对垄沟位置进行深松,深度为 20 cm 以上。

(2) 工程措施。① 改垄。秋季收获后将地旋平,深度大于 20 cm,参照 1:5 000 地形图,沿等高线进行旋松起垄,垄台镇压后越冬。② 地埂。在项目区选取坡度为 4°,埂间距 50 m,垄向坡度为 1.7°的埂带措施区。③ 梯田。在项目区选取坡面坡度为 4°梯田,埂间距 12 m,垄向坡度为 1.7°的措施区。

(3) 生物措施。① 草地。在黑龙江海伦市项目区选取坡度为 42°的自然恢复 5 a 的草地,用聚乙烯板围成 29 m² 的汇水区。② 林地。在黑龙江海伦市项目区选取退耕还林地,人工栽植杨树,树龄 10 a,采用人工修筑拦水埂。

表 1 田块尺度水土保持措施监测区概况

观测区编号	水保措施	坡面坡度/(°)	垄向坡度/(°)	观测区面积/m ²	耕作措施	植被状况
1	梯田	1.70	1.7	1 124	横坡垄作	大豆
2	改垄	5.80	1.5	6 679	横坡垄作	大豆
3	地埂	1.28	1.3	544	横坡垄作	大豆
4	3°垄向区田	2.89	0	405	垄向区田	大豆
5	3°对照	2.89	0	405	顺坡垄作	大豆
6	3°垄沟深松	2.89	0	405	垄沟深松	大豆
7	5°对照	4.98	0	517	顺坡垄作	大豆
8	5°垄向区田	4.98	0	517	垄向区田	大豆
9	草地	43.10	0	29	自然恢复	草
10	新型大垄	1.80	0	550	大垄区田	大豆
11	大垄对照	1.80	0	550	顺坡垄作	大豆
12	林地	3.60	0	600	退耕还林	杨树

1.3 测定设备、方法和数据处理

降雨量观测采用人工和自动雨量计观测相结合,人工观测每次降雨总量,自动雨量计(rain collector

boxcar II)观测降雨过程及总量。

地表径流和输沙量:监测设备为自主研发的可移动式地表径流观测装置(专利号:ZL200610163240.9)。

在地块下边缘用土埂围成汇水出口,安置观测装置。每产 2.5 kg 径流记录 1 次发生时间,每产生 250 kg 径流采集 1 次泥沙样品,获取径流和输沙过程数据。

2 结果分析

2.1 坡耕地耕作措施水土保持效益

2011 年监测结果表明,项目区水土保持耕作措施都具有不同程度的水土保持效益,均有效降低了地表径流量和土壤侵蚀量(表 2)。

在 1.8° 农田上实施新型大垄水保措施与农民的传统耕作相比,新型大垄产流产沙次数比传统耕作都少 9 次,新型大垄的径流量比传统耕作的减少了 91.9%,侵蚀模数仅为 7.5 t/(km²·a)并低于东北黑土区允许土壤侵蚀量 200 t/(km²·a),较传统耕作减少了 94.2%。表明采用新型大垄措施能有效的减少地表径流发生次数和地表径流及输沙量,可作为黑土区的坡度较小时的水保措施,其保水保土的原因可归纳两方面,与传统耕作相比,一是垄沟面积减少了 1/3,垄台面积增加了 1/3,即减小了垄沟汇水的面积,同时增大了垄台的面积,使更多的降雨降落到垄台上,被疏松的垄台吸收,从而减少地表径流的产生,进而减少了地表径流对垄沟的冲刷而产生的土壤侵蚀;另一方面是借鉴了垄向区田技术,在新型大垄水保栽培中,垄沟也修筑了区田埂。将雨水分隔在每个

垄沟的汇水池中,延长了雨水渗透时间,减少地表径流。

3° 坡水保耕作措施与对照相比,垄沟深松和垄向区田的径流次数和输沙次数比仅减少了 1 次,但径流量和侵蚀模数数据显示,垄沟深松的径流量比对照减少了 54.7%,而垄向区田的径流量比对照减少了 46.2%;垄沟深松和垄向区田的侵蚀模数分别减少了 805 t/(km²·a)和 720 t/(km²·a),减少土壤流失 60% 以上。这说明在 3° 的坡面条件下,深松和区田都有减少地表径流和土壤侵蚀的作用,但是深松和区田的侵蚀模数还是在 200 t/(km²·a) 以上,这可能是由于不同降雨年侵蚀强度差异所致。

5° 垄向区田和 5° 顺坡传统垄作(对照)的产流次数和输沙次数虽相同,但实施垄向区田的径流量和侵蚀模数都比对照小,径流量和侵蚀模数分别比对照降低了 48.9% 和 38.1%。表明在 5° 坡耕地上实施垄向区田仍有较好的水土保持效果,但是其侵蚀模数仍高于东部黑土区坡耕地允许流失量的 200 t/(km²·a)。

水土保持耕作措施,除新型大垄措施外,3° 坡耕地和 5° 坡耕地实施垄向区田和垄沟深松水土保持耕作措施均具有显著的水保作用,垄向区田措施在坡度较缓的 3° 坡效果优于坡度较大的 5° 坡,但土壤流失量均高于东北黑土区最大允许的 200 t/(km²·a) 土壤侵蚀模数。

表 2 坡耕地水土保持耕作措施效益

水保措施	降水量/mm	产流次数	径流深/mm	径流系数/%	输沙次数	侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
大垄对照	503	15	11.9	2.4	15	128.9
新型大垄	503	6	1.0	0.2	6	7.5
3°深松	503	13	19.7	3.9	13	370.8
3°对照	503	14	43.5	8.7	14	1 175.2
3°区田	503	14	23.4	4.7	14	455.1
5°区田	503	19	25.3	5.0	19	875.6
5°对照	503	19	49.5	9.8	19	1 412.7

注:降雨量为 3—10 月份降雨总量。下同。

2.2 坡耕地工程措施水土保持效益

2011 年监测结果表明,工程措施相比于耕作措施具有更好的水土保持效果(表 3)。改垄措施田块,坡面坡度为 5.8°,改垄后垄向坡度为 1.5°,监测结果显示,2011 年共发生了 12 次地表径流,年径流系数为 0.65%,侵蚀模数仅为 150.8 t/(km²·a),小于东北黑土区最大允许侵蚀量。与 5° 坡的顺坡垄作相比,径流系数下降了 93.3%,侵蚀模数下降了 89.3%。与 3° 顺坡垄相比,径流系数下降了 92.4%;侵蚀模数下降了 87.2%。

梯田措施实施地块,坡面坡度为 6.2°,修筑梯田

后的垄向坡度为 1.7°,2011 年监测结果显示,发生了 12 次地表径流,径流系数为 1.09%,每年有 5.48 mm 的降雨资源流失掉。侵蚀模数仅为 160.6 t/(km²·a),小于东北黑土区允许侵蚀量。与 5° 坡的顺坡垄相比,径流系数下降了 88.9%,侵蚀模数下降了 88.6%。与 3° 顺坡垄相比,径流系数下降了 87.4%;侵蚀模数下降了 86.3%。

地埂植物带措施实施地块,坡面坡度为 3.2°,垄向坡度为 1.28°,2011 年发生了 14 次地表径流,径流系数为 2.49%,每年有 12.53 mm 的降雨流失掉。侵蚀模数为 413.1 t/(km²·a),大于东北黑土区允许侵

蚀量。与 5° 坡的顺坡垄相比,径流系数下降了 74.7%,每年少流失雨水 36.94 mm;侵蚀模数下降了 70.7%。与 3° 顺坡垄相比,径流系数下降了 71.2%;侵蚀模数下降了 64.8%。

改垄措施与垄向区田措施相比,径流系数分别比 5° 区田和 3° 区田分别减少 87.1% 和 84.1%,相当于少流失 22.05 和 20.13 mm 的降雨资源;与深松相比也下降 83.4%,相当于少流失 16.2 mm 的降雨。改垄措施的侵蚀模数相比于 5° 区田、3° 区田、深松也分别下降 82.8%、66.9% 和 59.3%。

梯田措施相比 5° 和 3° 垄向区田措施,径流系数分别下降 78.3% 和 76.6%,相当于少流失 19.84 和 17.92 mm 的降雨资源;相比 3° 深松也下降 72.2%,相当于少流失 14.24 mm 的降雨资源。梯田措施的侵蚀模数相比于 5° 区田、3° 区田、3° 深松也分别下降

82.1%、64.7% 和 56.7%。

地埂植物带措施与 5° 和 3° 垄向区田措施相比,径流系数分别下降了 50.5% 和 46.5%,相当于少流失 12.79 和 10.87 mm 的降雨资源;相比 3° 深松下降 36.47%,相当于比深松措施少流失 6.67 mm 的降雨资源。地埂植物带措施的侵蚀模数与 5° 区田和 3° 区田相比分别下降了 52.8% 和 9.2%,比 3° 深松增加了 11.4%。

改垄、地埂和梯田 3 种工程措施,改垄和梯田产流产沙次数均为 12 次,径流系数也是改垄和梯田相近。而地埂的产流和产沙次数为 14 次,最高。地埂的产流分别为改垄和梯田的 3.83 和 2.28 倍,侵蚀模数分别为改垄和梯田的 2.74 和 2.57 倍。

除地埂水保工程措施外,梯田和改垄两项水保工程措施的土壤流失量均低于于东北黑土区的允许的 200 t/(km²·a) 土壤侵蚀模数。

表 3 坡耕地水土保持工程措施水保效益

处理类型	坡面坡度/ (°)	垄向坡度/ (°)	降水量/ mm	产流 次数	径流量/ mm	径流系数/ %	输沙次数	侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)
改 垄	5.8	1.5	503	12	3.3	0.7	12	150.8
梯 田	6.2	1.7	503	12	5.5	1.1	12	160.5
地 埂	3.2	1.3	503	14	12.5	2.5	14	413.1
3°对照	3.0	0	503	14	43.5	8.7	14	1 175.2
5°对照	5.0	0	503	19	49.5	9.9	19	1 412.8
3°深松	3.0	0	503	13	19.7	3.9	13	3 70.8
3°区田	3.0	0	503	14	23.4	4.7	14	455.1
5°区田	5.0	0	503	19	25.3	5.0	19	875.6

2.3 生物措施的水土保持效益

监测结果显示,退耕还草和退耕还林这两项生物措施是水土保持效果最佳的措施,可降低 99% 的径流量和输沙量(表 4)。

在降雨量 503 mm,自然恢复地块无径流发生,未发生地表径流,一方面说明退耕还草可有效防止水土流失,另一方面也说明草地开垦为农田是导致水土流

失加剧的最主要原因。林地地也只发生一次径流,径流系数仅为 0.02%,3.6° 的 10 龄的林地与田块尺度 5° 顺坡垄作相比径流系数下降了 99.8%,侵蚀模数下降了 99.9%。

与田块尺度 3° 顺坡垄相比径流系数和侵蚀模数分别下降 99.8% 和 99.9%。可见栽种林地也是防治水土流失的有效措施。

表 4 生物措施的水土保持效益

处理类型	垄向坡度/(°)	降水量/mm	产流次数	径流量/mm	径流系数/%	输沙次数	侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
草 地	43.1	503	0	0	0	0	0
林 地	3.6	503	1	0.08	0.02	1	0.76
3°对照	3.0	503	14	43.5	8.7	14	1 175.2
5°对照	5.0	503	19	49.5	9.9	19	1 412.8

2.4 耕作措施的水保效益时效分析

本研究中水土保持耕作措施的实施除新型大垄(新型大垄是在春季播种时就进行起垄的)外都在最后一次中耕(7 月初)后进行,实施后随着时间的推移,土壤的物理结构发生变化,其功能诸如渗透速率、

容重、比重等都发生变化,导致其水土保持能力改变,进而各项措施的水土保持效果随着时间的推移也均发生不同程度的变化。

2.4.1 5° 区田和对照降雨产流量分析 5° 区田的总径流量相对于对照减少了 50%(表 2),而从图 1 可以

见,7月21日之前,因为没有进行区田的修筑,所以区田和对照的产流量无差别,但是在21日完成区田的修筑后,到7月30日的几场降雨后区田的产流量较对照锐减,说明区田的修筑对减少地表径流量起到了很好的效果,但是7月30日后区田的径流量也减少但是并未比对照少很多,其原因可能是修筑的区田的高度较低,经过几次地表径流后经过土壤的回蚀和雨滴的溅蚀致使径流中夹带的泥沙淤积区田,或使土壤降低从而导致其减少地表径流的效果减弱。

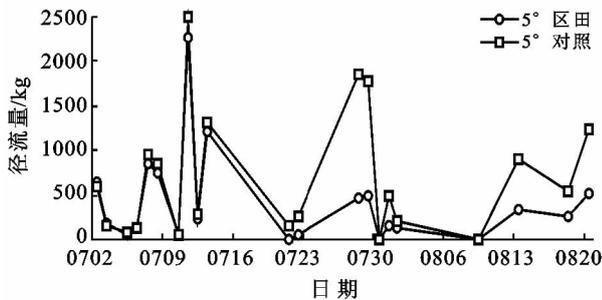


图1 耕作措施中5°区田和对照的降雨产流量

2.4.2 新型大垄和对照降雨产流量分析 2011年传统小垄的总产流量是新型大垄的12倍(表2),监测结果显示每场降雨新型大垄的产流量都很低而且有很多次降雨后都没有产流。并且新型大垄的水土保持效果与传统小垄相比始终表现很好,比较稳定,其时效性与区田比起来较弱。

2.4.3 垄沟深松和对照降雨产流量分析 2011年3°对照的总径流量是深松的2.2倍(表2),在7月21日之前,因为没有进行垄沟深松,所以垄沟深松和对照的产流量无差别,但是在21日完成垄沟深松后,到7月30日的几场降雨后垄沟深松的产流量比对照锐减(图2),说明实施垄沟深松对减少地表径流量起到了很好的效果,但是从7月30日后垄沟深松的径流量也减少但是并未比对照少很多,其原因可能是因为经过几次降雨使原来实施垄沟深松的土壤因含水量和雨滴溅蚀而造成土壤容重增大,导致土壤入渗速率下降,从而降水未能及时入渗到深层土壤而导致其减流效果减弱。

3 结论

(1) 水土保持耕作措施中以新型大垄水保效益最佳,可有效减少产流和输沙次数,径流系数和土壤侵蚀模数。

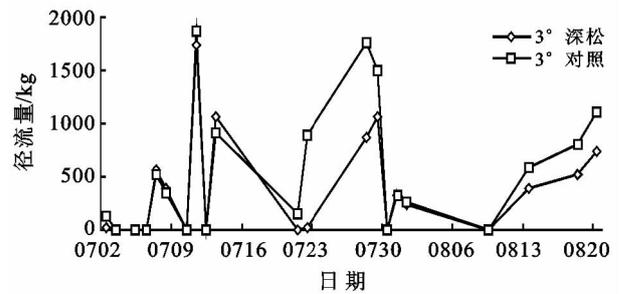


图2 耕作措施中垄沟深松和对照的降雨产流量

(2) 水土保持工程措施水土保持效果好于水土保持耕作措施,改垄、梯田和地埂的径流系数均小于3°和5°坡上的各项耕作措施;水土保持工程措施中以梯田最佳,其次为改垄和地埂。

(3) 水土保持耕作措施的水土保持作用具有一定的时效性。因此,在进行水土流失治理措施选取和实施期间应该尽量避免因时效性问题而导致治理效果减弱。

(4) 各项水土保持措施的效益由大到小的顺序为:草地>林地>新型大垄>改垄>梯田>3°垄沟深松>地埂>3°垄向区田>5°垄向区田。

[参考文献]

- [1] 唐克丽. 土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 81-86.
- [2] 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全: 东北黑土卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 阎百兴, 王育红, 刘兴士, 等. 东北黑土区土壤侵蚀现状与演变趋势[J]. 中国水土保持, 2008(12): 26-31.
- [4] 钟云飞. 东北黑土区小流域水土保持综合治理效益分析[D]. 吉林 长春: 吉林大学, 2011: 26-27.
- [5] 张兴义. 一种可移动式地表径流观测装置: 中国, ZL200610163240. 9[P]. 2009-04-12.
- [6] Chen Y, Liu S, Li H, et al. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China[J]. Soil and Tillage Research, 2011(115/116): 56-61.
- [7] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. US: Science and Education Administration, US Dept. of Agriculture, 1978: 62.
- [8] Christine A, Ervin, David E. Factors affecting the use of soil conservation practices: Hypotheses, evidence, and policy implications[J]. Land Economics, 1982, 58(3): 277-292.