

东北黑土区不同地形垄向坡度的相对水土保持效益研究

赵玉明^{1,2}, 姜洪涛^{2,3}, 王世界¹

(1. 平顶山学院 资源与环境科学学院, 河南 平顶山 467000; 2. 北京师范大学 地表过程与国家生态
重点实验室/地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010020)

摘 要: 垄作是东北黑土区一种非常普遍而重要的耕作措施, 具有一定的水土保持效益, 但几乎没有学者对其进行研究。探讨黑土区不同地形垄作方向在空间上的分布规律及其具有的水土保持效益具有重要研究价值。以黑龙江省宾县为研究区, 用分层抽样的方法提取 168 个野外调查单元并进行实地填图调查, 根据坡度因子和垄向坡度计算公式, 利用 ArcMAP、SPSS 和 Excel 等软件进行了室内数据分析统计, 结果表明: 平原区、丘陵区、山区的平均地面坡度分别为 1.92° 、 6.20° 、 8.27° ; 平均垄向坡度分别为 1.33° 、 4.52° 、 6.45° , 分别为平均地面坡度的 70%、73%、78%; 垄作坡度引起的平均土壤流失相对量分别为地面坡度的 55%、69%、67%, 垄作的相对水土保持效益明显。在此基础上, 对垄作现状的原因进行了分析, 并提出一些改进措施。研究成果有助于了解东北黑土区不同地形耕地垄作方向的分布情况及其水土保持效益状况, 对当地水土保持措施的布设也具有重要的指导意义。

关键词: 东北黑土区; 垄作措施; 垄作方向; 土壤侵蚀; 水土流失调查; 水土保持效益

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0028-07

Study on Relative Soil and Water Conservation Benefits in Different Terrain Conditions in Black Soil Area of Northeast China

ZHAO Yu-ming^{1,2}, JIANG Hong-tao^{2,3}, WANG Shi-jie¹

(1. College of Resource and Environment Science, Pingdingshan University,

Pingdingshan, He'nan 467000, China; 2. State Key Laboratory of Surface Process and

Resource Ecology, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010020, China)

Abstract: Ridge tillage, which is a very common and important tillage measure in black soil area of northeast China has some water conservation benefits, but has received little attention. It is very important to explore the spatial distribution of the ridge direction of the arable land and its water conservation benefits in different terrain conditions in black soil area. So Binxian County of Heilongjiang Province was selected as the study area, and 168 field cells were extracted by stratified sampling method and investigated. According to slope gradient factor equations and tillage-induced directional slope gradient equation, and based on the software of ArcMap, SPSS and Excel, the investigation data were analyzed and counted. The results were as follows. The average land slope gradients in plain, hilly and mountain are 1.92° , 6.20° , 8.27° , respectively. The average tillage-induced directional slope gradients in plain, hilly and mountain is 1.33° , 4.52° , 6.45° , respectively, which are 70%, 73%, 78% of the average land slope gradient in the same terrain condition. The relative soil erosion in the present ridge tillage condition is about 55%, 69% and 67% of that in down-slope ridge tillage conditions in plain, hilly and mountain and ridge direction, respectively, so present ridge tillage has obviously relative water conservation benefits. Based on these results, the reasons for the present ridge tillage status were analyzed, and some reform measures were proposed. The result could help to comprehend the spatial distribution and soil and water conservation benefits of ridge tillage in black soil area of northeast

收稿日期: 2013-11-13

修回日期: 2013-12-08

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目“小流域分布式土壤侵蚀模型研究”(2007CB407204)

作者简介: 赵玉明(1983—), 男, 河南济源人, 博士, 讲师, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: zhaoyuming02@126.com

China, and it could be used to guide the local soil and water conservation measures too.

Key words: black soil area in northeast China; ridge tillage; ridge direction; soil erosion; water and soil loss investigation; soil and water conservation benefits

东北黑土区总面积 103 万 km^2 ^[1-3],与乌克兰大平原黑土区、美国密西西比河流域黑土区并称为世界著名的三大片黑土区^[4],是我国最重要的商品粮基地,素有“谷物仓库”之称^[5],在国民经济总体构架中占据重要地位。东北黑土区传统上以顺坡垄作为主^[6-8]。20 世纪 60 年代,杨荣厚^[6]、姜浩^[7]等提出等高垄作(横坡打垄或绕山打垄)的水土保持措施,但目前仍存在大量的顺坡或斜坡垄作。这种粗放的垄作方式,导致东北黑土区水土流失日趋剧烈,已成为我国四大水土流失区之一^[9]。据松辽委 2002 年统计,区内现有水土流失面积 27.59 万 km^2 ,占总面积的 27.09%^[10]。水利部的第一次全国水利普查表明,黑土区侵蚀沟道已高达 295 663 条^[11]。因此,研究目前条件下东北黑土区耕地垄向坡度的水土保持效益具有重要价值。

前人对垄作水土保持效益(水保效益)的研究主要集中于等高耕作。20 世纪 40 年代 Smith、Whitt 等^[12-13]对等高 P 因子进行了研究,认为当坡度为 0 时,因水流方向不确定,等高 P 因子为 1.0;在陡坡情况下,当坡度 $>25\%$ 时,等高 P 因子也为 1.0;当坡度为 2%时,取 Van Doren 等^[14]的小区研究结果 0.6;当坡度为 7%时,取 Smith 等^[15]的研究结果 0.5。近年来,斜坡垄作(垄作方向与等高线呈明显锐角)开始逐渐受到重视。Takken 等^[16-19]认为,在土壤侵蚀模型中,准确预报径流的模式是非常重要的,一般只根据地貌原则来计算径流流向,可能会导致预测的径流汇集地和径流坡度与实际产生很大误差,从而引起预测出来的侵蚀模式完全不同于观测到的侵蚀模式,并明确指出垄向的存在会对径流产生重大影响,导致水流不再沿着地面坡度流动,而是沿着垄作方向(垄向)流动,从而导致水流沿着地表流动的实际坡度明显减小,流速降低,水流对土壤的分散作用和挟沙能力也明显减小,进而起到了一定的水土保持作用。

随着土壤侵蚀模型与计算机的结合越来越紧密,利用栅格提取地形因子的情况越来越普遍。2006 年 Jenness 等提出方向性坡度的概念^[20],可根据特定方向上栅格间的高程差与水平距离来计算此方向的坡度。它的提出使更加符合田间实际情况的垄向坡度的计算成为可能,但局限在于只能计算与中心点相邻的 8 个方向的方向性坡度。但是,垄向坡度只能计算

8 个方向的坡度,这与野外的实际垄向差异很大,限制了它的应用。2007 年张天宇^[21]分析了地面坡度、垄向坡度、垄向与等高线之间的夹角(垄向角)3 者间的关系,提出了 3 者的转换公式,根据地面坡度、垄向角可计算出垄向坡度。与方向性坡度算法相比,后者能够计算任一方向的坡度,适用范围更加广泛,且直接在原有的地面坡度基础上进行计算,工作量小,简单易用,具有更强的实用性。2009 年刘学军等^[22]分析了地面坡度、任意方向坡度(垄向坡度)、垄向与地面坡向之间的夹角 3 者间的关系,得到相似的计算公式。由于张天宇^[21]采用垄向与等高线之间的夹角,刘学军等^[22]采用垄向与地面坡向之间的夹角,二者互为余角,两公式本质是相通的。上述学者虽然在方向性坡度或垄向坡度等方面提出了各自的算法,但都没有将其在大区域范围内进行应用研究。

基于美国通用土壤流失方程(USLE)^[23]和我国通用土壤流失方程(CSLE)^[24]对坡度因子计算公式和张天宇的垄向坡度算法^[21],以 2007 年黑龙江省宾县的水土流失野外调查数据为基础,分析东北黑土区不同地貌条件下耕地的地面坡度、垄向和垄向坡度的分布状况及其产生的水土保持效益,为查明东北黑土区耕地的基本情况和水保效益提供数据支持。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

宾县位于黑龙江省中部,松嫩平原东部,典型黑土区东缘,东经 $126^{\circ}55'41''$ — $128^{\circ}19'17''$,北纬 $45^{\circ}30'37''$ — $46^{\circ}01'20''$,东西宽,南北窄。典型寒温带大陆性季风气候,冬季漫长严寒,夏季温热多雨,秋季短促多变,年均温 3.9°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 $2\,826^{\circ}\text{C}$ 。通常 10 月下旬封冻,次年 3—4 月份解冻,冻土深度 $1.1\sim 4.93\text{ m}$ 。

东部和南部为山区,中部和北部为漫岗丘陵区,大河入江口及沿江附近为平原区。原始植被是红松为主的针阔叶混交林,遭破坏后,目前多是以落叶松、樟子松等为主的天然次生林。除南部和东部山区还有较大的林区外,中北部地区大部分已开垦为农田,只有零星的次生林。土壤主要有暗棕壤、黑土、草甸土、白浆土等,暗棕壤主要分布于南部山区,占全境的 38%;黑土主要分布于漫岗丘陵区,占全境的 28.5%;草甸土主要分布于冲积平原上,占全境的 25.4%;白浆土零星分布于山地丘陵接壤处,占全境的 4.7%。

1.2 野外调查单元的选取及调查底图的制作

采用分层抽样的方法^[25-26]对研究区的野外调查单元进行提取,共得到 168 个单元(图 1),提取方法、详细步骤及注意事项、调查底图的制作见赵玉明等^[27]文献。

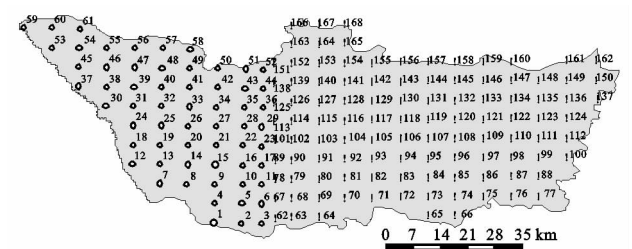


图 1 研究区野外调查单元空间分布

1.3 野外实地调查和室内数据处理

赵玉明等^[27]对野外实地调查和室内数据处理过程有详细说明,其中土地利用类型按照 2001 年 8 月 21 日国土资发[2001]255 号印发,2002 年 1 月 1 日起试行的标准;地块按照同一土地利用、同一盖度郁闭度、同一水保措施、空间上相连续的原则划分,其中耕地地块按照同一作物、同一盖度、同一水土保持措施、同一垄向、空间上相连续的原则划分;土地利用边界以 GPS 测定的边界拐点信息为基准勾绘;垄向采

用 GPS 自带的航向数据(以 0°为正北方向,按顺时针方向逐渐增大,90°为正东方向,180°为正南方向,270°为正西方向,并回归到 360°的正北方向);坡度因子的计算分别采用 McCool 等^[28]和刘宝元等^[29]提出的坡度因子公式;垄向坡度和垄作因子 P 的计算采用赵玉明等^[27]用到的计算公式。

1.4 野外调查结果

采用相对高差将调查单元分为 3 类不同地形, <200 m 为平原区,200~500 m 为丘陵区,>500 m 为山区。利用 ArcMap 和 SPSS 等软件统计 167 个单元(单元 59 位于松花江上,没有调查)的地貌类型及其所占面积(表 1)。调查单元以平原和丘陵为主,占调查单元的 90%左右。山区调查单元的面积平均值最大,平原区次之,丘陵区最小;山区调查单元的面积最大值和最小值均最大,平原区和丘陵区相近。原因可能为:山区地形高差大,小流域本身面积较大;平原区地形起伏小,多以 1 km² 的人为划定区域提取调查单元,使得平均值介于二者之间;丘陵区地形起伏较山区小,较平原区大,调查单元提取多按流域进行,只有少部分按 1 km² 的人为划定区域提取,因而平均值最小,最大值和最小值与平原区相近。

表 1 不同地形野外调查单元基本特征分布

| 地貌类型 | 流域个数 | 百分比/% | 面积/km ² | | | | 相对高差/m | | |
|------|------|-------|--------------------|------|------|------|--------|------|-----|
| | | | 总面积 | 平均值 | 最大值 | 最小值 | 平均值 | 最大值 | 最小值 |
| 平原区 | 79 | 47.3 | 44.78 | 0.58 | 1.06 | 0.14 | 26.7 | 47.5 | 2.0 |
| 丘陵区 | 68 | 40.7 | 30.21 | 0.43 | 1.00 | 0.16 | 117.3 | 195 | 55 |
| 山区 | 20 | 12.0 | 22.85 | 1.14 | 2.72 | 0.19 | 296 | 535 | 200 |
| 总计 | 167 | 100 | 98.84 | 0.59 | 2.72 | 0.14 | — | — | — |

2 结果与分析

2.1 地面坡度分布

地面坡度即顺坡方向的坡度,是自然状态下水流流向所在方向的坡度,是通过某点的所有地表坡度中的最大值。耕地作为调查区的主要土地利用类型,研究其地面坡度分布有利于了解当地土地利用状况。

文章统计了不同地形耕地的地面坡度(表 2)。由平原区到山区,随着相对高差的增大,耕地地面坡度的平均值、最大值、标准差均明显增加,且平原区明显小于丘陵区 and 山区;最小值则相同,均为 0°。

表 2 不同地形耕地地面坡度基本特征 (°)

| 地貌类型 | 平均值 | 最大值 | 最小值 | 标准差 |
|------|------|-------|-----|------|
| 平原区 | 1.92 | 29.24 | 0 | 2.71 |
| 丘陵区 | 6.20 | 37.05 | 0 | 4.98 |
| 山区 | 8.27 | 41.37 | 0 | 5.51 |

不同地形耕地地面坡度的具体分布状况见图 2。

平原区主要分布在 5°以下,特别是 1°以下;少部分在 5°~10°之间;只有极小部分在 10°以上。丘陵区和山区的地面坡度主要分布在 15°以下,且有相似的分布趋势,1°以下占比值略大,1°~5°之间随着坡度增加逐渐增大;5°以上随坡度增加又逐渐减小。二者的差异在于:10°以下的各坡度范围内,丘陵区均大于山区;10°~15°之间的各坡度范围内,丘陵区均小于山区;15°以上,丘陵区只占 5%左右,明显小于山区。

分析不同地形耕地地面坡度的基本特征和分布状况(表 2 和图 2),平原区耕地的平均地面坡度最小,只有丘陵区的 31%,山区的 23%;丘陵区次之,为山区的 75%;山区最大。随相对高差增大,耕地的地面坡度分布范围越来越大,5°以下的比例越来越小,5°以上的比例越来越大,陡坡利用更加普遍,平原区集中在 5°以下;丘陵区和山区耕地的地面坡度明显增大,集中在 15°以下,且山区在 0~15°之间分布更加均匀,并在 15°以上仍占相当比例。

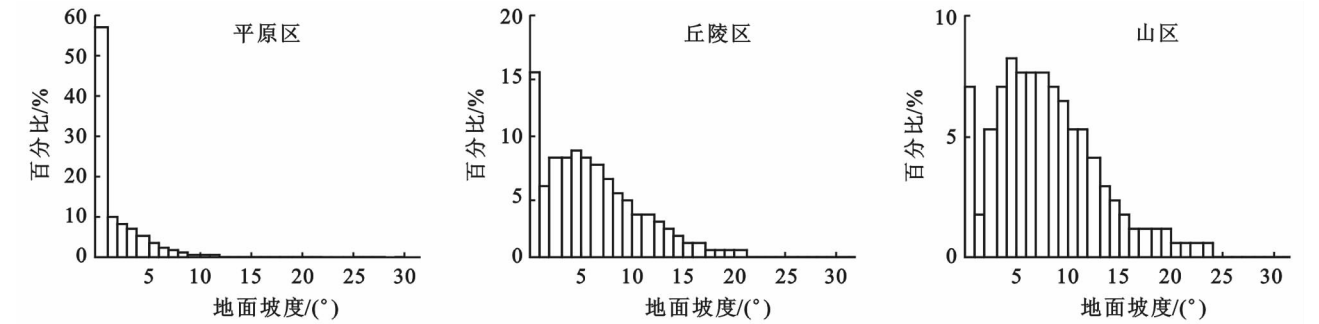


图2 不同地形耕地地面坡度分布

2.2 垄向角的分布

垄向角即垄向与等高线之间的夹角,用于描述耕地的垄作情况,即垄作是顺坡、横坡或斜坡。当垄向角为 0°左右时,垄向与等高线基本重合,即等高或横坡耕作;当垄向角为 90°左右时,垄向与等高线垂直,即顺坡耕作;当垄向角为 0~90°时,垄向与等高线为明显的锐角,即斜坡耕作。

不同地形耕地的垄向角统计分析结果见图 3。用 α 表示垄向角,垄向角分 $-1^{\circ}\leq\alpha<0^{\circ}$ (地面坡度为 0°时,即平地时,垄向角默认为 -1°), $0^{\circ}\leq\alpha<15^{\circ}$, $15^{\circ}\leq\alpha<30^{\circ}$, $30^{\circ}\leq\alpha<45^{\circ}$, $45^{\circ}\leq\alpha<60^{\circ}$, $60^{\circ}\leq\alpha<75^{\circ}$ 和 $75^{\circ}\leq\alpha\leq90^{\circ}$ 共 7 个级别进行统计。三者的平地(地

面坡度为 0°)分别占各自总面积的 30.6%,9.8%,3.8%,所占比例随海拔增加明显减少。三者的坡耕地(地面坡度>0°)都随着垄向角的增大所占比例逐渐增加,但平原区增长趋势比较缓慢;丘陵区 and 山区比较类似,45°之前基本呈均匀分布,且丘陵区各级略低于山区;45°之后有明显增长,且丘陵区增长速度略高于山区。总之,平地在三者中所占比例越来越小;坡耕地平原区垄作方式比较随意,虽有顺坡垄作的趋势,但不明显;丘陵区 and 山区在 0~45°间分布较为均衡,45°后则随着垄向角增大,所占比例逐渐增大,顺坡垄作趋势明显。

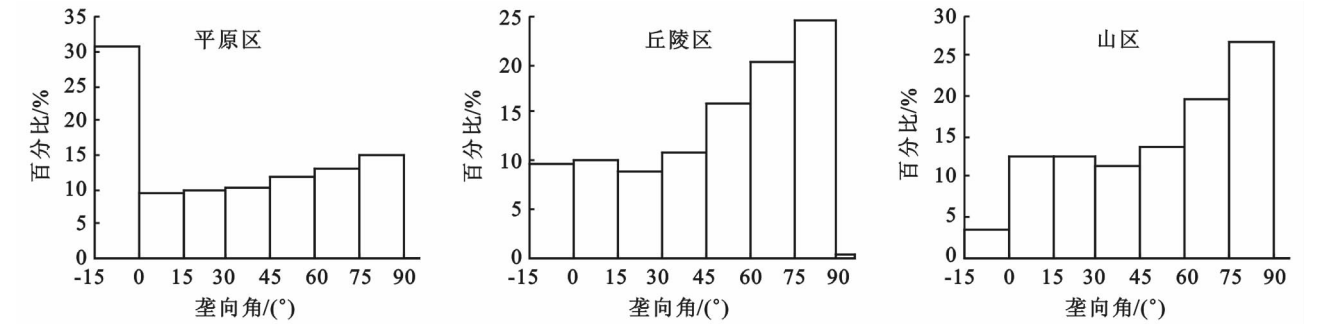


图3 不同地形耕地垄向角分布

2.3 垄向坡度的分布

垄向坡度即沿着垄作方向的坡度。与地面坡度相比,它更准确地表述了农地耕作时的实际坡度状况和水文状况,对垄向坡度的研究有利于更精确地估算坡耕地的水土流失状况。由不同地形耕地垄向坡度的统计可知(表 3),随着相对高差的增大,垄向坡度的平均值、最大值和标准差也逐渐增大,且前者明显小于后二者,这一趋势与地面坡度的变化类似;三者的最小垄向坡度均为 0°,与地面坡度相同。

| 表 3 不同地形耕地垄向坡度基本特征统计 (°) | | | | |
|--------------------------|------|-------|-----|------|
| 地貌类型 | 平均值 | 最大值 | 最小值 | 标准差 |
| 平原区 | 1.33 | 29.13 | 0 | 2.21 |
| 丘陵区 | 4.52 | 34.40 | 0 | 4.52 |
| 山区 | 6.45 | 40.65 | 0 | 5.63 |

由不同地形耕地垄向坡度的分布可知(图 4),三者非常相似,均随着垄向坡度的增大所占比例逐渐减

小。但耕地的垄向坡度在平原区基本都在 5°以下,尤其集中在 1°以下;只有 6.2%在 5°~10°之间;10°以上基本可忽略不计。丘陵区 and 山区主要集中在 15°以下,且在 5°以下,5°~10°,10°~15°三个级别间迅速减小,但丘陵区 15°以上可忽略不计,山区则高达 8.4%。

分析不同地形耕地垄向坡度的基本特征和分布状况(表 3 和图 4),平原区的平均值最小,只有丘陵区的 29%,山区的 21%;丘陵区次之,占山区的 70%;山区最大。垄向坡度的分布范围在平原区、丘陵区、山区依次增大,5°以下的比例逐步减小,5°以上的比例逐步增大,平原区最为集中;丘陵区 and 山区类似,随坡度增大有明显的减小趋势,但后者减小速率明显低于前者,且在 15°以上仍有相当比例。

对比不同地形耕地垄向坡度的分布,5°以下,平原区、丘陵区、山区所占比例明显降低,且前者远高于

后二者;5°~10°之间,平原区所占比例最低,山区最高,丘陵区介于两者之间,但略低于山区,远高于平原

区;10°以上,平原区、丘陵区、山区所占比例明显增大,且前者远低于后二者。

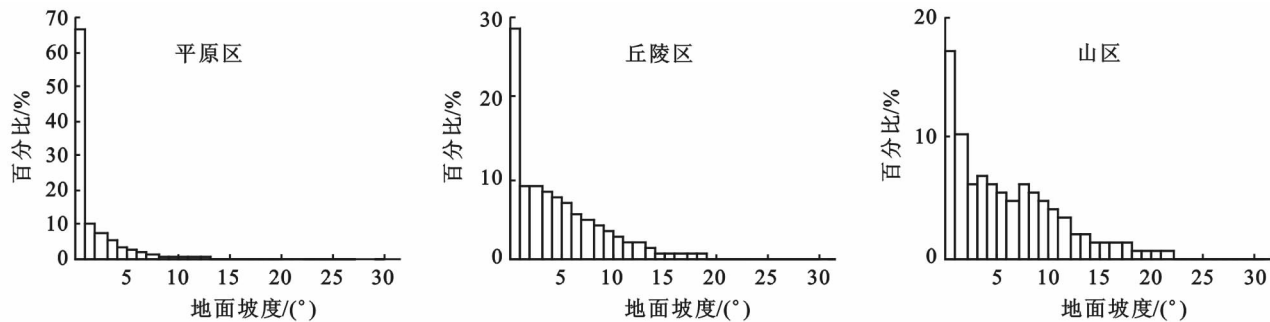


图 4 不同地形耕地垄向坡度分布

对比不同地形耕地的地面坡度和垄向坡度,垄向坡度均明显小于地面坡度。垄向坡度的平均值在平原区仅为地面坡度平均值的 70%左右,其中 5°以下的面积比例增加了 4.9%;5°~10°和 10°以上的比例分别减少了 3.8%和 1.1%。在丘陵区仅为地面坡度平均值的 73%左右,其中,5°以下的比例增加了 15.7%;5°~10°,10°~15°,15°以上的比例分别减少了 7.8%,5.1%,3.0%。在山区仅为地面坡度平均值的 78%左右,其中,5°以下的比例增加了 17.4%;5°~10°,10°~15°,15°以上的比例分别减少了 8.9%,5.8%,2.7%。总之,随着相对高差的增大,耕地垄向坡度的平均值与地面坡度平均值的比值逐渐增大,由 70%逐渐提高到 78%;用垄向坡度修正后,同一地形下,5°以下的耕地所占的面积比例均明显增大,5°以上的耕地所占的比例均明显减少;不同地形间,由平原区到山区,5°以下增加的面积比例越来越大,由 4.9%增加到 17.4%;5°以上减少的比例也越来越大,5°~10°之间,由平原区的 3.8%到山区的 8.9%;10°以上,由平原区的 1.1%到山区 10°~15°之间的 5.8%和 15°以上的 2.7%。

2.4 垄向坡度的相对水土保持效益因子 P_L 的分布

垄向坡度的相对水土保持效益因子 P_L (简称垄向 P_L) 为垄向坡度因子与地面坡度因子的比值,由于垄向坡度小于等于地面坡度,故 P_L 介于 0 和 1 之间。 P_L 越小,表示垄向坡度的相对水土保持效益越好; P_L 越大,表示垄向坡度的水土保持效益越差; P_L 为 1 时,表示垄向坡度没有起到任何水土保持效益。为表述方便,划分了 0~0.2,0.2~0.4,0.4~0.6,0.6~0.8,0.8~1.0 五个等级,分别代表优、良、中、可、差 5 个水土保持效益等级。其中,平地的 P_L 虽然为 1,但没有任何水土保持意义,不参与水保效益值的统计。

除平地以外的坡耕地在不同地形下的垄作 P_L 统计结果见表 4。坡耕地 P_L 的平均值在平原区、丘陵区、山区分别为 0.55,0.69,0.67,即在目前的垄作条

件下,平原区垄向坡度的相对水保效益为“中”,丘陵区 和山区为“可”。由平原区到丘陵区,随着相对高差的增大, P_L 逐渐增大,垄向坡度的相对水保效益逐渐减弱;由丘陵区到山区,随着相对高差的增大, P_L 又有轻微减小,坡向坡度的相对水保效益又略有增强。

表 4 不同地形耕地垄作 P_L 基本特征统计

| 地貌类型 | 平均值 | 最大值 | 最小值 |
|------|------|------|-----|
| 平原区 | 0.55 | 1.00 | 0 |
| 丘陵区 | 0.69 | 1.00 | 0 |
| 山区 | 0.67 | 1.00 | 0 |

由不同地形耕地垄作 P_L 分布可知(图 5),在平原区, $P_L < 0.8$ 时,随着 P_L 的增大所占耕地比例逐渐增大,由 0~0.2 的 5.2%逐渐增加到 0.4~0.6 的 13.9%,再突增到 0.6~0.8 的 63.4%; > 0.8 时,所占比例又急剧减小到 7.4%。在丘陵区和山区,垄作 P_L 的分布非常相似,耕地比例均随 P_L 增大而增大,且在 $P_L < 0.6$ 时增速缓慢, $P_L > 0.6$ 时增速很快。总之,除平原区 P_L 在 0.8~1 之间突然减小外,不同地形均存在耕地比例随 P_L 增大逐渐增大的现象,平原区 P_L 主要集中在 0.6~0.8 之间,占耕地比例的 63.4%;丘陵区和山区主要集中在 0.6~1 之间,分别占各自耕地比例的 73.7%和 66.1%。

3 结论和讨论

本文并不是通过研究顺坡垄作和目前斜坡垄作情况下各自的土壤侵蚀量来获得垄作的绝对水土保持效益;而是研究在目前的斜坡垄作情况下,由于水流方向沿着垄作方向流动,实际坡度降低所引起的坡度变化带来的水土保持效益,是一种相对水土保持效益。虽然垄作在导致垄向坡度发生变化时,还导致垄作坡长发生变化,但细沟、浅沟、切沟等的存在,使坡长因子的变化比较复杂,且在野外调查过程中沟蚀数据不全,主要是细沟数据缺失,因此文章只研究了垄向坡度的相对水土保持效益,具体结论如下:

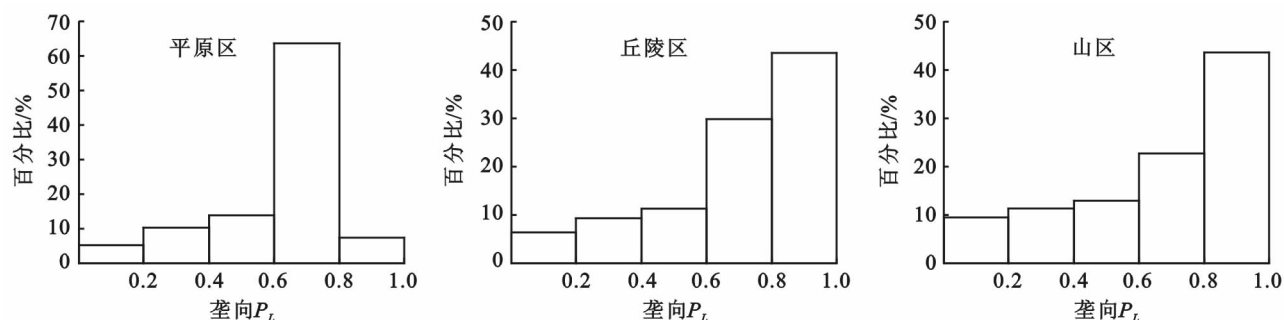


图 5 不同地形耕地垄作的 P_L 因子值分布

(1) 耕地地面坡度分布在平原区、丘陵区、山区分别集中在 5° 以下、 10° 以下和 15° 以下, 平均地面坡度分别为 1.92° , 6.20° , 8.27° , 随相对高差的增大, 5° 以下的比例越来越小, 5° 以上的比例越来越大, 陡坡利用更加普遍。

(2) 耕地中的平地(地面坡度为 0°) 在平原区、丘陵区、山区所占面积比例越来越小, 分别为 30.6% , 9.8% , 3.8% ; 而坡耕地(地面坡度 $>0^\circ$) 在平原区垄作方式比较随意, 虽有顺坡垄作的趋势, 但不明显; 在丘陵区 and 山区, 垄向角小于 45° 时分布较为均匀, 大于 45° 时随垄向角增大所占面积比例越来越大, 顺坡垄作趋势明显。

(3) 耕地垄向坡度分布在平原区、丘陵区、山区分别集中在 5° 以下、 10° 以下、 15° 以下; 平均垄向坡度分别为 1.33° , 4.52° , 6.45° , 分别为相同地形下平均地面坡度的 70% , 73% , 78% 。相对高差增大, 垄向坡度分布范围也越来越大。

(4) 在目前的垄作条件下, P_L 在平原区、丘陵区、山区分别集中在 $0.6 \sim 0.8$, $0.6 \sim 1.0$, $0.6 \sim 1.0$ 之间, 分别占各自耕地比例的 63.4% , 73.7% , 66.1% , 除平原区 P_L 在 $0.8 \sim 1.0$ 之间突然减小外, 不同地形耕地比例均随 P_L 增大而增大; 垄向坡度引起的平均 P_L 分别为顺坡条件下的 55% , 69% , 67% , 垄作的相对水土保持效益明显。

在研究垄作的相对水土保持效益的同时, 还对斜坡垄作在东北黑土区比较普遍的原因进行了探讨, 原因可能有三: 一是东北黑土区特别是丘陵区, 地形比较破碎, 坡面弯曲起伏比较厉害, 完全沿着等高线进行耕作多有不便; 二是东北黑土区地块较大, 一块农地往往由一整面坡构成, 沿着坡面方向常发育很多支沟, 形成很多次一级的坡面, 在大的方向上沿着等高线垄作时, 次一级的坡面就变成了顺坡或斜坡垄作; 三是地面坡度较大时, 大机械沿等高线进行耕作, 两边车轮不在一个水平面上, 车辆呈倾斜状在坡面上作业; 而在顺坡条件下, 两边车轮处在同一水平面上, 车辆作业非常平稳。此时, 当地农民不喜欢等高耕作,

而更喜欢顺坡耕作。

针对上述现象, 文章提出如下建议: (1) 在坡度 15° 以上的地方, 建议退耕还林。一般认为, 坡度 15° 已为陡坡, 不在适合耕作, 因此建议这部分退耕还林, 并且从文中可以看出, 这部分占的比例很小, 平原区几乎没有; 丘陵区约 6.2% ; 只有山区略高, 在 11.1% 左右; 三者合占调查面积的 3.9% 左右, 退耕还林后对粮食产量影响很小, 因此建议退耕还林。(2) 针对农民本来按照等高耕作进行, 但由于支沟的影响并为斜坡或顺坡耕作的问题, 建议对整个坡面都是一块农地的情况适当分割, 形成多块田地。分割时, 建议以支沟沟谷为分界线进行分割, 这样可能更符合农民沿着等高线跨山脊进行耕作的习惯。(3) 在一些地形弯曲起伏比较厉害的地区, 条件允许的话可以适当地进行一些工程改造, 使得坡面更加平直一些。

综合上述分析, 发现虽然在平原区、丘陵区 and 山区垄向坡度引起的平均 P_L 分别为顺坡条件下的 55% , 69% , 67% , 垄作的相对水土保持效益明显, 但是仍有相当大的改进余地。在此基础上, 对改进方法进行探讨, 希望它们能够进一步改善东北黑土区的水土流失状况。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 中华人民共和国水利部松辽委水保处. 东北黑土区暨典型黑土区水土流失情况资料[R]. 2004.
- [3] 李发鹏, 李景玉, 徐宗学. 东北黑土区土壤退化及水土流失研究现状[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 50-54.
- [4] 何万云. 试论海伦县农业现代化的战略措施(摘要)[J]. 东北农学院学报, 1982(1): 12.
- [5] 岳红光, 沈波, 刘运河. 保护黑土资源建好东北粮仓[J]. 吉林水利, 1999(1): 42-45.
- [6] 杨荣厚. 嫩江地区耕地黑土[J]. 土壤, 1959(7): 1-2.
- [7] 姜浩. 松花江地区的耕地黑土[J]. 土壤, 1961(2): 12-13.
- [8] 曾昭顺, 沈善敏, 乔樵, 等. 我国黑土农田生态系统的现状与调控途径[J]. 土壤通报, 1980(2): 15-20.

- [9] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1987.
- [10] 杨文文,张学培,王洪英. 东北黑土区坡耕地水土流失及防治技术研究进展[J]. 水土保持研究,2005,12(5):232-236.
- [11] 人民日报. 研究称东北黑土地面临土层变薄肥力下降威胁[EB/OL]. <http://news.163.com/13/1104/03/9cqcgim700014aed.html>. 2013-11-04.
- [12] Smith D D, Whitt D M. Estimating soil losses from field areas of claypan soil[J]. Soil Science Society of America Proceedings,1947,12:485-490.
- [13] Smith D D, Whitt D M. Evaluating soil losses from field areas[J]. Agric. Eng.,1948,29:394-398.
- [14] Van Doren C A, Stauffer R S, Kidder E H. Effect of contour farming on soil loss and runoff[J]. Soil Science Society of America Proceedings,1950,15:413-417.
- [15] Smith D D. Investigations in erosion control and reclamation of eroded Shelby and related soils at the conservation experiment station, Bethany, Mo., 1930-42 [M]. US Dept. of Agriculture, 1945.
- [16] Takken I, Beuselinck L, Nachtergaele J, et al. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM)[J]. Catena,1999,37(3):431-447.
- [17] Takken I, Govers G, Jetten V, et al. Effects of tillage on runoff and erosion patterns[J]. Soil and Tillage Research,2001,61(1):55-60.
- [18] Takken I, Govers G, Steegen A, et al. The prediction of runoff flow directions on tilled fields[J]. Journal of Hydrology,2001,248(1):1-13.
- [19] Takken I, Jetten V, Govers G, et al. The effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns [J]. Geomorphology,2001,37(1):1-14.
- [20] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation[M]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb., 1965,282.
- [21] 张天宇. 东北漫岗黑土区农田防护林对水土流失的影响[D]. 北京:北京师范大学,2007.
- [22] 刘学军,任志峰,王彦芳,等. 基于 DEM 的任意方向坡度计算方法[J]. 地域研究与开发,2009,28(4):139-141.
- [23] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An empirical soil loss equation [C]//Process of soil erosion and its environment effect volume II 12th ISCO. Beijing: Tsinghua Press,2002:21-25.
- [24] Jenness J. Directional slopes, v. 1.2a[EB/OL]. <http://www.jennessent.com/arcview/dir_slopes.htm>. 2006-10-06.
- [25] 曾宪勤. 水土流失调查方法研究[D]. 北京:北京师范大学,2007.
- [26] 水利部水土保持监测中心,北京师范大学. 第一次全国水利普查:水土流失普查培训手册(水蚀普查)[M]. 北京:北京师范大学,2010.
- [27] 赵玉明,刘宝元,姜洪涛. 东北黑土区垄向的分布及其对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2012,19(5):1-6.
- [28] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers,1987,30(5):1387-1396.
- [29] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE,1994,37(6):1835-1840.

(上接第27页)

- [4] 朱会义,徐勇. 黄土高原区流域生态环境建设的决策信息需求[J]. 水土保持研究,2003,10(4):15-18.
- [5] 董孝斌,高旺盛. 黄土高原丘陵沟壑区典型县域的能值分析[J]. 水土保持学报,2003,17(1):89-92.
- [6] 张希彪,王鑫,刘彬,等. 陇东黄土高原土地覆被变化的驱动力及生态环境效应[J]. 土壤通报,2006,37(4):696-700.
- [7] 傅伯杰,陈利顶,马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报,1999,54(3):241-246.
- [8] 温仲明,焦峰,赫晓慧,等. 纸坊沟流域黄土丘陵区土地生产力变化与生态环境改善[J]. 农业工程学报,2006,22(8):91-95.
- [9] 周文佐. 近 10 a 黄河三角洲 LUCC 及其驱动因素分析[J]. 农业工程学报,2010,26(1):341-345.
- [10] 伏洋,肖建设,校瑞香,等. 基于 RS 和 GIS 的西宁市 LUCC 分析及模拟预测[J]. 农业工程学报,2009,25(7):211-218.
- [11] 赵庚星,李静,王介勇,等. 基于 TM 图像和 GIS 的土地利用/覆被变化及其环境效应研究[J]. 农业工程学报,2006,22(10):78-82.
- [12] 赵娅奇,杨庆媛,严林,等. 生态绿当量在土地利用结构优化中的运用研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2006,31(1):170-174.
- [13] 胡华科,郑春燕. 土地利用变化的环境影响生态绿当量评价[J]. 农业现代化研究,2008,29(6):743-746.
- [14] 范小明,张成军,梁继忠,等. 固原市日降水量极大值的概率分布特征[J]. 安徽农业科学,2011,39(27):16875-16877.
- [15] 吴秉礼,石建忠,谢忙义,等. 甘肃水土流失区防护效益森林覆盖率研究[J]. 生态学报,2003,23(6):1125-1136.