

# 东北黑土区垄向的分布及其对土壤侵蚀的影响

赵玉明, 刘宝元, 姜洪涛

(北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室/地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

**摘要:** 垄作是东北黑土区一种非常普遍而重要的耕作制度, 垄作方向(垄向)的分布及其水土保持作用研究, 对于了解和改进黑土区的水土保持状况具有非常重要的意义。以典型黑土区东缘的宾县为研究区域, 采用分层抽样的方法, 提取了 168 个野外调查单元, 通过野外实地调查和室内数据分析, 研究了东北黑土区农地的地面坡度分布、垄向分布和垄向坡度分布, 在此基础上根据不同坡度条件下的坡度因子公式求出农地的坡度因子和垄向坡度因子, 探讨垄向的水土保持作用, 得到以下研究成果: 黑土区农地平均地面坡度为  $2.96^{\circ}$ ; 黑土区中占农地 75% 的坡耕地中, 顺坡耕作趋势明显, 斜坡耕作非常普遍, 随着垄向与等高线之间夹角的增大, 坡耕地所占的比例也逐渐增大, 垄向角在  $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$  间的坡耕地所占的比例约 9.7%, 仅为  $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$  间的一半左右; 采用垄向坡度后, 平均坡度为  $2.15^{\circ}$ , 仅为原来地面坡度的 72%, 坡度明显减小; 在目前的垄作情况下, 其水土流失量仅为顺坡耕作下的 60%。上述研究表明: 在东北黑土区, 可以通过调整垄作方向而改进目前较严重的水土流失状况。

**关键词:** 东北黑土区; 垄向; 土壤侵蚀; 水土流失调查

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)05-0001-06

## Distribution of Tillage-induced Direction and Its Effect on Soil Erosion in Black Soil Area of Northeast China

ZHAO Yu-ming, LIU Bao-yuan, JIANG Hong-tao

(State Key Laboratory of Surface Process and Resource Ecology,  
School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Ridge tillage is a common and important tillage practice in black soil area of northeast China. The distribution of ridge direction and its protection for soil are very important significance to understand and improve the situation of soil and water conservation in northeast China. According to the method of stratified samplings, 168 field cells were selected and surveyed in Binxian County, which is on the east border of the typical Chernozem region in northeast China, and their land-use types as well as ridge directions were drafted on corresponding relief maps according to data recorded with GPS locator instrument. After digitalizing 1 : 10 000 relief maps and converting the information above into a multitude of numbers, the terrestrial slope, the angle included between contour line and ridge direction, tillage-induced directional slope and the benefits induced by the ratio of the terrestrial slope factor and the responding tillage-induced directional slope factor were calculated, analyzed, classified, arranged and then displayed on a series of maps and tables with Arcmap, SPSS, Origin and other software. And several conclusions were drawn from this study: (1) in the farmlands of the whole study area, the average terrestrial slope was  $2.96^{\circ}$ ; (2) the area generally increased while the angle between contour line and ridge direction enlarged in 75% sloping fields; when the angle was between  $0^{\circ}$  to  $15^{\circ}$ , its area was about 9.7% in the whole farmlands; however, when the angle was between  $75^{\circ}$  to  $90^{\circ}$ , its area was about 17.3%; the former was only about 50% of the latter; (3) when the ridge slope was adopted in the whole study area, its average slope declined down to  $2.15^{\circ}$ , which was about 72% of  $2.95^{\circ}$ ; (4) water and soil loss in the present tillage system was only 60% of that in the up-and-down tillage system. So, improving tillage-induced di-

收稿日期: 2011-12-02

修回日期: 2012-03-30

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407204)

作者简介: 赵玉明(1983—), 男, 河南济源人, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀及水土保持研究。E-mail: zhaoyuming02@126.com

通信作者: 刘宝元(1958—), 男, 陕西佳县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: baoyuan@bnu.edu.cn

rection may reverse the serious soil and water loss situation in black soil area in northeast China.

**Key words:** black soil area in northeast China; tillage-induced direction; soil erosion; soil and water loss investigation

我国东北黑土区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<sup>[1]</sup>,总面积约 103 万  $\text{km}^2$ <sup>[2-4]</sup>,是我国最重要的商品粮基地,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耕作为主<sup>[5-7]</sup>。20 世纪 60 年代前后,杨荣厚<sup>[5]</sup>、姜浩<sup>[6]</sup>等曾提出在东北黑土区可实行等高耕作(横坡打垄或绕山打垄)的水土保持耕作措施。但到目前为止,区内仍存在大量的顺坡耕作。这种不合理的耕作制度,以及过度垦殖和掠夺式经营,使得近几十年来,区内水土流失日趋剧烈。松辽委 2002 年的统计报告显示,区内现有水土流失面积 27.59 万  $\text{km}^2$ ,占整个黑土区的 27.09%<sup>[8]</sup>,为我国四大水土流失区之一<sup>[9]</sup>。

影响水土流失的因子众多,其中地形因子直接影响土壤侵蚀,土地管理因子则通过影响地形因子等而间接影响土壤侵蚀。早在 20 世纪 40 年代,Zing<sup>[10]</sup>发表第一个计算田间土壤流失量的方程时,就将坡度作为影响土壤侵蚀的一个重要因子,其后的一系列研究也都支持上述的观点<sup>[11-13]</sup>,并最终形成了 USLE 和 RUSLE 的坡度因子系列计算公式<sup>[14-16]</sup>。这些公式以标准小区为研究基础,以顺坡耕作为研究对象,取顺坡方向的最大坡度进行坡度因子的计算,没有考虑斜坡耕作等土地管理影响下坡面水流等沿着斜坡进行流动而造成的坡度因子发生变化的情况,即没有解决斜坡耕作方式中坡度因子的计算问题。Jenness 等<sup>[17]</sup>对斜坡问题进行了探讨,提出了方向性坡度(directional slope)算法,其采用插值的方法,对某一方向的两个相邻单元格之间的水平距离进行插值计算,再根据两者间高程差与水平距离间的关系来计算此方向的坡度。此算法虽然能够解决斜坡耕作中斜坡方向上的坡度,但是不易于与前人的研究成果进行对比。张天宇<sup>[18]</sup>分析了坡度、垄向坡度、垄向与等高线之间的夹角三者间的关系,提出了三者间的换算公式,根据此公式,可在已知坡度、垄向与等高线之间的夹角的情况下计算垄向坡度。与方向性坡度算法相比,后者直接在原来的坡度上进行计算,简单易用,工作量小,且方便与以前的顺坡耕作情况进行对比,具有更强的适用性,更适宜于计算斜坡耕作中垄向的水土保持作用。

基于 USLE 的坡度因子系列计算公式和张天宇的垄向坡度算法,本研究以黑龙江省宾县的水土流失

野外调查数据为基础,研究了东北黑土区农地垄向在空间上的分布规律、垄向坡度的变化以及由此产生的水土保持效益,为摸清我国东北黑土区农田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

研究区宾县位于黑龙江省中部,松嫩平原东部,处于典型黑土区东缘,东经  $126^{\circ}55'41''$ — $128^{\circ}19'17''$ ,北纬  $45^{\circ}30'37''$ — $46^{\circ}01'20''$ 。气候为典型的寒温带大陆性季风气候,冬季漫长而严寒,夏季温热且雨量充沛,秋季短促而气候多变,多年累计年平均气温  $3.9^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温  $2\ 826^{\circ}\text{C}$ 。通常每年 10 月份下旬土壤开始封冻,到次年的 3 月、4 月份解冻,冻土深度  $1.1\sim 4.93\text{ m}$ 。

研究区东部、南部为山区,中部、北部为漫岗丘陵区和平原区,其中,平原区主要分布于大河入江口及沿江地区。原始植被是以红松为主的针阔叶混交林,遭破坏后,植被多以落叶松、樟子松等为主的天然次生林。目前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被开垦为农田,只有零星的次生林分布。本区的土壤主要有暗棕壤、黑土、草甸土、白浆土等,以及零星分布的水稻土、沼泽土、泛滥土、泥炭土等。其中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%;白浆土则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

本研究采用分层抽样的方法<sup>[19-20]</sup>,首先把研究区划分为一级分区、二级分区、控制区和抽样单元区四级,其控制面积分别为  $50\text{ km}\times 50\text{ km}$ ,  $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ ,  $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ ,  $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 。正常情况下,每个一级分区包括 25 个二级分区,每个二级分区包括 4 个控制区,每个控制区包括 25 个抽样单元区。

其次选择控制区的中心抽样单元区作为野外调查单元区,以其为基准,选取其内部或与其相交的一个小流域或区域作为野外调查单元。野外调查面积设计为每个控制区内  $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ ,抽样调查率为 4%。选取野外调查单元时,以 1:1 万地形图的高斯—克里格 3°投影分带为基础,以其中央经线与赤

道焦点右上角所在的  $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ ,  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ ,  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$  分别作为一级分区、二级分区和控制区的第一个起算区域,依次向东西和南北进行扩展,直到其扩展区域完全涵盖了本带内的所有研究区,然后从研究区内左下角包括野外调查单元区的第一个控制区开始,按照先由西向东,后由南向北的原则对每个控制区进行命名,名称分别为 bx001, bx002…。如果研究区横跨两个  $3^\circ$  带,则按照由西向东的原则分带对控制区进行命名。野外调查单元的名称直接采用控制区的名称。理论上,按照上述方法选取调查单元时,任何两相邻的调查单元距离都在  $5\text{ km}$  左右,但实际上,由于地球为椭球体,在  $3^\circ$  带内随着纬度增加东西向距离越来越短,在  $3^\circ$  带东西两侧边缘会出现不完整的控制区,这些控制区东西向距离在赤道处会出现极大值,随纬度增大逐渐减小直至接近于 0,然后再突然增至另一个极大值,并再次重复上述的逐渐减小和突然增至极大的过程,直至覆盖整个  $3^\circ$  带区域。在上述情况下,  $3^\circ$  带边缘的控制区东西向距离大于  $3\text{ km}$  而不足  $5\text{ km}$  时,控制区内含有完整的野外调查单元区,此时与邻带间的野外调查单元区距离不足  $5\text{ km}$ ; 东西向距离在  $2\text{ km}$  与  $3\text{ km}$  之间时,含有部分野外调查单元区,此时与邻带间的野外调查单元区重合或部分重合; 东西向距离小于  $2\text{ km}$  时,不含调查单元区,此时邻带间的野外调查单元区分别为其临近控制区的野外调查单元区,两者距离在  $5\text{ km}$  与  $10\text{ km}$  之间(图 1 中部野外调查单元区距离由南到北逐渐减小的区域)。野外调查单元区确定后,在选取野外调查单元时,如果其位于山区或丘陵区,选取面积在  $0.2 \sim 3.0\text{ km}^2$ , 最小不低于  $0.16\text{ km}^2$  的小流域; 如果其位于平原区或平原区向丘陵区的过渡带但平原区面积在  $50\%$  以上,直接选取基本抽样单元区作为野外调查单元。根据上述原则和方法,把研究区划分为 42 带和 43 带两个  $3^\circ$  带,分别选取了 61 个(空心, 1—61)和 107 个(实心, 62—168)野外调查单元,总计 168 个野外调查单元(图 1)。

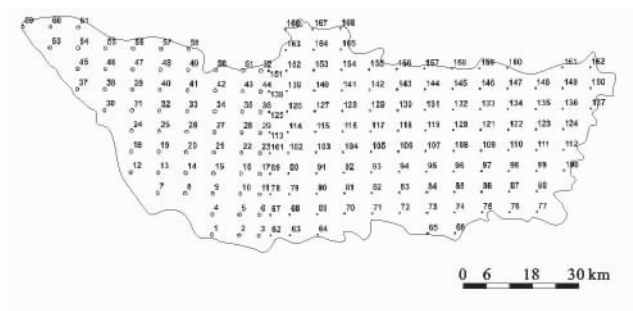


图 1 研究区野外调查单元空间分布

最后扫描 168 个野外调查单元所在区域的地形图,利用 ArcMap 或 R2V 等数字化软件对野外调查单元的等高线、边界和道路河流等重要信息进行数字化,定义地理坐标并转换为高斯—克里格平面投影,添加图名、图例、比例尺、经纬网等信息,制成每个调查单元的野外调查底图,供野外调查时勾绘使用。

### 1.3 野外实地调查

根据制成的野外调查单元底图,对研究区的水土流失进行野外调查。调查时间为 2007 年 7—9 月。调查中,以研究区宾县的乡镇为野外调查据点,以当地交通网为基础选择合理的调查路线,用手持 GPS(精度为  $10\text{ m}$ , 相对误差可以忽略)定位设备对调查区及其内地物进行定位调查。调查内容包括调查区内的土地利用类型、农地作物的种类及垄向分布等,其中土地利用类型按照中华人民共和国国土资源部 2002 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;地块的划分按照同一土地利用、同一盖度郁闭度、同一水土保持措施、空间上相连续的原则进行划分,其中农地地块的划分按照同种作物种类、同等盖度、同种水土保持措施、同种垄作方向、空间上相连续的原则进行划分;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 中自带的航向数据,该航向数据以  $0^\circ$  为正北方向,按顺时针方向逐渐增大,  $90^\circ$  为正东方向,  $180^\circ$  为正南方向,  $270^\circ$  为正西方向,并回归到  $360^\circ$  的正北方向。

### 1.4 室内数据处理

利用 ArcMap 软件,根据数字化等高线,生成  $10\text{ m}$  精度的 DEM,进而生成坡度图和坡向图;根据野外调查的土地利用类型数据、农地垄向数据以及 GPS 定位数据,生成调查区的土地利用图、农地作物垄向图;在上述基础上,根据坡向图和垄向图生成垄向角分布图;再结合坡度图生成垄向坡度图;然后根据坡度图和垄向坡度图,利用坡度因子计算公式,计算各自的坡度因子,用垄向坡度因子除以坡度因子,得到垄向的水土保持因子分布图。其中:数字化等高线的数字化区域应超出野外调查单元边界  $20\text{ m}$  左右,以保证生成的 DEM 能够完整覆盖整个野外调查单元。

本研究中用到的垄向角计算公式、坡度因子计算公式和垄向水保因子计算公式中,垄向角为垄向与等高线之间的夹角,因等高线与坡向之间互相垂直,夹角为  $90^\circ$ ,所以垄向角是坡向与垄向之间的夹角的余角,计算时可先算出坡向与垄向之间的夹角,再用求余角的方法算出垄向角(图 2),其具体计算公式为:当  $0^\circ < \alpha - \beta < 90^\circ$  时,  $\theta = 90^\circ - (\alpha - \beta) = 90^\circ + \beta - \alpha$  (1)

当  $90^\circ < \alpha - \beta < 180^\circ$  时,

$$\theta = 90^\circ - [180^\circ - (\alpha - \beta)] = \alpha - \beta - 90^\circ \quad (2)$$

当  $\alpha - \beta > 180^\circ$  时, 或  $\alpha - \beta < 0^\circ$  时, 先加减  $180^\circ$ , 转换到上述  $0^\circ \sim 180^\circ$ , 然后再按照上述公式计算。其中,  $\alpha, \beta$  分别表示坡向和垄向。

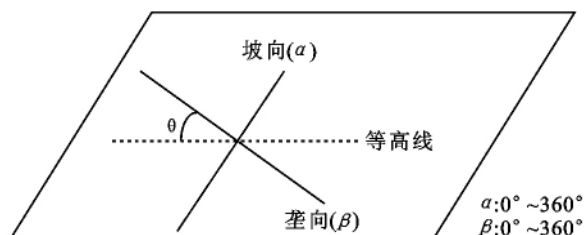


图2 垄向角计算示意图

垄向坡度的计算根据张天宇<sup>[17]</sup>提出的垄向坡度计算公式:

$$\tan \beta = \sin \alpha \times \tan \theta \quad (3)$$

式中:  $\theta$ ——地面坡度;  $\alpha$ ——垄向角;  $\beta$ ——垄向坡度。

坡度因子的计算根据坡度分段分别采用 McCool 等<sup>[15]</sup>和刘宝元等<sup>[16]</sup>提出的坡度因子公式:

$$s = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \theta < 9\% \quad (4)$$

$$s = 16.8 \sin \theta - 0.5 \quad 9\% \leq \theta < 25\% \quad (5)$$

$$s = 21.91 \sin \theta - 0.96 \quad \theta \geq 25\% \quad (6)$$

表1 野外调查单元面积分布

km<sup>2</sup>

总面积	平均值	标准差	中位数	众数	最大值	最小值	95%区间
97.84	0.59	0.43	0.49	0.39	2.72	0.14	0.17~1.06

## 2.2 农地地面坡度分布

地面坡度即顺坡方向的坡度, 是水流在自然状态下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。农地作为调查区的主要土地利用类型, 研究其地面坡度分布对于了解当地土地利用的开发程度, 研究当地的土地利用情况和水土流失状况具有重要意义。地面坡度分布是垄向坡度分布的基础, 本研究根据地面坡度图和土地利用图, 统计了野外调查单元中农地的地面坡度分布情况(图3)。

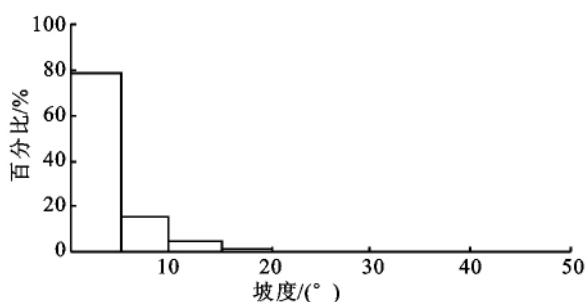


图3 东北黑土区农地坡度分布

由图3可知, 在整个调查区域中, 地面坡度分布在  $0^\circ \sim 5^\circ$  的农地占农地总面积的 78.2%, 分布在  $5^\circ \sim 10^\circ$  的占 15.2%, 分布在  $10^\circ \sim 15^\circ$  的占 4.7%, 其余的

式中:  $s$ ——坡度因子;  $\theta$ ——坡度。

在其它因子都不变的情况下, 垄向的水土保持效益即为垄向坡度因子与地面坡度因子的比值, 所以垄向水保因子的计算公式为:

$$P_L = s_L / s \quad (7)$$

式中:  $P_L$ ——垄向的水保因子;  $s_L$ ——垄向坡度因子;  $s$ ——地面坡度因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 野外调查单元的面积分布

本研究根据 ArcMap 和 SPSS 软件, 对 168 个野外调查单元的面积和土地利用进行了统计, 结果如表1所示: 调查总面积 97.84 km<sup>2</sup>, 占宾县全境的 2.54%, 其中最大的为 2.72 km<sup>2</sup>, 最小的为 0.14 km<sup>2</sup>, 平均为 0.59 km<sup>2</sup>, 95% 在 0.17~1.06 km<sup>2</sup>。土地利用结果表明, 调查区的土地利用以农地和林地为主, 其中, 农地面积 55.86 km<sup>2</sup>, 占调查面积的 57.1%, 在调查区中占绝对优势; 林地面积 38.13 km<sup>2</sup>, 占调查面积的 39%; 剩余的主要有住宅用地、园地、草地等, 面积总共 2.75 km<sup>2</sup>, 只占调查区的 2.8%。

2% 地面坡度大于  $15^\circ$ 。这表明黑土区农地的地面坡度大部分都在  $5^\circ$  以下, 只有 7% 左右的坡耕地在  $10^\circ$  以上, 农地地面坡度总体较小。本研究进一步对整个调查区农地地面坡度的基本统计特征值进行了统计, 其中平均坡度为  $2.96^\circ$ , 最大坡度为  $41.37^\circ$ , 最小坡度为  $0^\circ$ , 标准差为  $3.90^\circ$ , 偏差系数为 2.01。从统计上同样可以看出, 坡度分布具有强烈的左偏趋势, 农地地面坡度总体较小。

### 2.3 垄向角的分布

垄向角定量描述了起垄方向 and 其所处等高线的关系。根据垄向角的不同, 可把垄作方式分为顺坡耕作、斜坡耕作和横坡耕作三种类型。其中, 顺坡耕作时, 垄向角在  $90^\circ$  左右, 垄向与等高线垂直或基本垂直; 横坡耕作时, 垄向角在  $0^\circ$  左右, 垄向与等高线重合或基本重合(当垄向与等高线完全重合时也被称为等高耕作); 斜坡耕作时, 垄向既不与等高线基本平行, 也不是与等高线基本垂直, 而是与等高线具有明显的夹角。

根据上述情况, 本研究对调查区农地的垄向角进行了统计分析(表2)。其中坡度为  $0^\circ$  时, 其垄向角默认为  $-1^\circ$  以示区别。表2把垄向角分为  $-1^\circ \sim 0^\circ, 0^\circ$

~15°,15°~30°,30°~45°,45°~60°,60°~75°和 75°~90°共 7 个级别进行统计。从表中可以发现以下 3 个特点:一是在整个调查区,平地占了相当的比例,约为 25%;二是随垄向角的增大,坡耕地所占比例呈逐渐增大的趋势,由垄向角 0°~15°占农地比例的 9.7%,增大到垄向角 75°~90°的 17.3%,增长了近一倍;三

表 2 东北黑土区农地垄向角的分布

垄向角/(°)	-1~0	0~15	15~30	30~45	45~60	60~75	75~90
百分比/%	25.4	9.7	9.8	10.9	12.8	14.7	17.3

2.4 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,它更准确的表述了农地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的估算坡耕地的水土流失状况。由东北黑土区农地垄向坡度分布图(图 4)可知,垄向坡度主要集中在 0°~5°,占了农地总面积的 85%左右;而只有约 10%的农地分布于 5°~10°之间和剩下不足 5%的农地大于 10°。而统计出的整个调查区农地垄向坡度的基本特征值也显示:研究区农地的平均垄向坡度为 2.15°,最大垄向坡度为 40.65°,最小垄向坡度为 0°,标准差为 3.34°,偏差系数为 2.45。

与研究区农地地面坡度分布相比,按照垄向坡度进行调整后,坡度 0°~5°占的比例更大,由原来的 78.2%增大到现在的 85%,增加了约 7%;坡度在 5°~10°之间的比例明显减小,由原来的约 15.2%减少到现在的 10%左右,减少了约 5%;坡度大于 10°以上的比例也明显减小,由原来的 6.6%减少到现在的不足 5%,减少了约 2%。地面坡度和垄向坡度的平均值也表明,地面坡度为 2.95°,垄向坡度为 2.15°,垄向坡度仅为地面坡度的 72%,按照垄向坡度计算,坡度值明显减小。

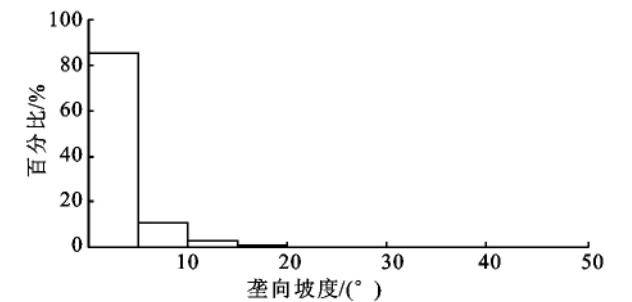


图 4 东北黑土区农地垄向坡度分布

2.5 垄向的水土保持因子  $P_L$  的分布

垄向的出现改变了流域原有的水流分布格局。水流不再沿着地面坡度流动,而是沿着垄沟流动,即水流的有效坡度为垄向坡度,而不是地面坡度,因此垄向具有一定的水土保持作用,其作用的大小则取决

是以 0°~15°为横坡耕作,以 75°~0°为顺坡耕作,其余为斜坡耕作时,斜坡耕作占农地的比例已接近 50%,占坡耕地的比例更是接近 2/3。上述特点表明:研究区顺坡耕作趋势明显,斜坡耕作非常普遍,研究斜坡耕作中垄向的分布对于了解当地的垄作情况及其所引起的水土保持效益具有重要意义。

于垄向坡度与地面坡度所引起的坡度因子的比值大小。本研究用垄向的水土保持因子  $P_L$  表示垄向坡度因子与坡度因子的比值,其介于 0~1。一般而言,垄向角越小,垄向坡度和原有的地面坡度之间的差值越大,垄向水保因子  $P_L$  越小,水土保持效益越好,当垄向角为 0 时,即为等高耕作,此时垄向水保因子  $P_L$  为 0,垄向的水土保持效益最好;垄向角越大,垄向坡度与原有的地面坡度之间的差值越小,垄向水保因子  $P_L$  越大,垄向的水土保持效益越小,当垄向角为 90°时,即为顺坡耕作,垄向坡度与原有的地面坡度一致,垄向水保因子  $P_L$  为 1,已无任何水土保持作用。本研究简单地把  $P_L$  划分为 0~0.2,0.2~0.4,0.4~0.6,0.6~0.8,0.8~1.0 共 5 个等级,分别代表优、良、中、可、差 5 个水土保持效益等级。其中平地的水土保持因子均为 1,但此值没有任何实际意义,因此不参与水保效益值的统计。

图 5 为研究区农地垄向  $P_L$  因子值分布图。由图可知,垄向水保因子  $P_L$  存在一个先增大后减小的趋势,具体而言:在 0~0.6 之间增长迅速,由 0~0.2 之间占坡耕地比例的 5.63%迅速增大到 0.4~0.6 之间的 13.14%,增长了 2 倍多,但由于 0~0.2 之间占坡耕地比例太小,使得 0~0.6 之间的总和占坡耕地的总比例仍较小,不足 30%;在 0.6~0.8 之间所占的比例有一个突发性增大,占坡耕地总比例达到 53.35%,占有所有坡耕地的一半以上;在 0.8~1.0 之间所占的比例又大幅度回落,但所占比例仍达到了 18%左右,高于突发性增大前的 13.14%。总体而言,水保效益在良及其以上的坡耕地,即  $P_L$  小于 0.4 的坡耕地,在研究区坡耕地中所占比例较小,仅为 15.55%左右;水保效益在可及其以下的坡耕地,即  $P_L$  大于 0.6 的坡耕地,在研究区坡耕地中所占的比例较大,约为 71.31%;所有坡耕地加权平均后,垄向水保因子  $P_L$  的值为 0.60,即在目前的垄作情况下,其水土流失量仅为全部为顺坡耕作情况下的 60%。

从上述分析可知,在东北黑土区,垄作作为一种重要而普遍的耕作方式,对于当地水土流失的治理具

有重要意义。如果能在目前基础上对垄作方向进行必要的调整,使垄向角明显减小,则必然能够改变降雨过程中的水流分布格局,使水流沿着更平缓的坡度流动,携带的动能更小,对地表的冲刷作用更小,造成的侵蚀量也就更小,从而使得东北黑土区目前越来越严重的水土流失问题得到有效的改观。如果能够在所有地区都进行横坡耕作,则在小雨量不冲毁垄沟的前提下其水土流失量为 0,能够做到完全的水土保持;在大雨量可能冲毁垄沟时,也具有明显的水土保持效益。因此本研究对于调整东北黑土区现有垄作方向,研究其水保效益具有重要的意义。

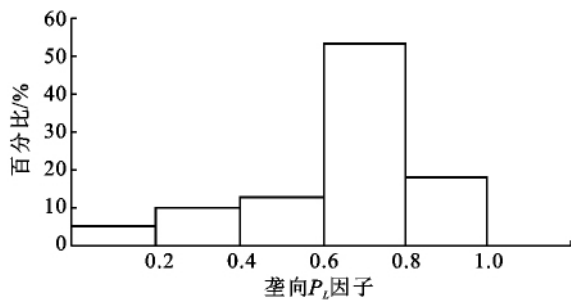


图 5 东北黑土区农地垄向  $P_L$  因子值分布

### 3 结论

(1) 研究区农地中,平均地面坡度为  $2.96^\circ$ ,其中地面坡度  $0^\circ \sim 5^\circ$  约 78%,  $5^\circ \sim 10^\circ$  约 15%,剩下的不足 7% 大于  $10^\circ$ 。农地地面坡度总体较小,缓坡的垦殖率比较高,陡坡的垦殖率较低。

(2) 研究区 25.4% 的土地为平地,在剩下 74.6% 的坡耕地中,顺坡耕作趋势明显,斜坡耕作非常普遍,从垄向角  $0 \sim 15^\circ$  占农地比例的 9.7%,增加到垄向角  $75^\circ \sim 90^\circ$  时的 17.3%,增长了近一倍。

(3) 采用垄向坡度计算后,坡度  $0 \sim 5^\circ$  的农地约占 85%,增加了 7%;坡度  $5^\circ \sim 10^\circ$  的约占 10%,减少了 5% 左右;大于  $10^\circ$  以上的农地占 4.7%,减少了约 2%。调查区平均垄向坡度为  $2.15^\circ$ ,仅为地面坡度的 72%,按照垄向坡度计算后,坡度明显减小。

(4) 在研究区中,  $P_L$  小于 0.4 的占农地的比例较小,只有 15.55%;大于 0.6 的所占比例较大,达到 71.31%;平均值为 0.60,按照目前的垄作情况进行耕作,其水土流失量仅为顺坡耕作情况下的 60%。

参考文献:

[1] 何万云. 试论海伦县农业现代化的战略措施[J]. 东北农学院学报, 1982(1): 82-83.  
[2] 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.

- [3] 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, 10.  
[4] 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.  
[5] 杨荣厚. 嫩江地区农地黑土[J]. 土壤, 1959(7): 1-2.  
[6] 姜浩. 松花江地区的农地黑土[J]. 土壤, 1961(2): 12-13.  
[7] 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.  
[8] 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.  
[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] Zing A W. Degree and length of land slope as it affects on soil loss in runoff[J]. Agricultural Engineering, 1940, 21(2): 59-64.  
[11] Smith D D, Whitt D M. Estimating soil losses from field areas of claypan soil[J]. Soil Sci. Soc. Proc., 1947, 12(C): 485-490.  
[12] Musgrave G W. The quantitative evaluation of factors in water erosion: a first approximation[J]. J. Soil and Water Cons., 1947, 2(3): 133-138, 170.  
[13] Smith D D, Wischmeier W H. Factors affecting sheet and rill erosion[J]. Trans. Am. Geophys. Union, 1957, 38(6): 889-896.  
[14] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses[M] // Agriculture Handbook 537. USDA-SEA, 1957.  
[15] 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, 1987, 30(5): 1387-1396.  
[16] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of American Society of Agriculture Engineers, 1994, 37(6): 1835-184.  
[17] Jenness J. Directional slopes, v. 1. 2a[EB/OL]. [http://www.jennessent.com/arcview/dir\\_\\_\\_slopes.htm](http://www.jennessent.com/arcview/dir___slopes.htm). 2006-10-06.  
[18] 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.  
[19] 曾宪勤. 水土流失调查方法研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2007.  
[20] 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.