

# 东北地区坡耕地空间分布及其对水土保持的启示

张天宇<sup>1,2</sup>, 郝燕芳<sup>3</sup>

(1. 东北师范大学 泥炭沼泽研究所, 长春 130024; 2. 东北师范大学 地理科学学院, 长春 130024; 3. 黑龙江省水土保持科学研究院, 哈尔滨 150070)

**摘要:**土壤侵蚀正损害着东北地区的坡耕地,威胁国家粮食安全。然而,目前对东北地区坡耕地的宏观认识还很有局限。该文利用高精度的空间数据,查明了整个东北地区及其各地貌分区、土壤类型、流域和行政区中坡耕地的面积和坡度特征。在此基础上,定量评估了治理工作的重要性,并在措施选择、治理工作布局等方面提供了建议。结果表明:(1)东北地区坡耕地的面积大、坡度小。总面积达到 19.5 万 km<sup>2</sup>,平均坡度为 3.4°。东北地区坡耕地面积占全国耕地总面积的 14%,治理工作具有重要意义。(2)等高沟垄种植适用于全区大部分坡耕地。与之相关的技术手段、配套措施和管理制度应该被重视。>15°的坡耕地和风沙土等土壤类型中的坡耕地,产粮贡献小,侵蚀危险度高,应及早退耕。长白山地和暗棕壤区既是治理的重点地区,也是治理的难点地区,应被更多重视。(3)各县坡耕地治理的任务量和难度差异很大,且不宜使用县陆地面积和县耕地面积来评估。

**关键词:**水土保持; 东北地区; 坡耕地; 坡度

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2018)02-0190-05

## Spatial Distribution of Sloping Croplands in Northeast China and Its Implication on Soil and Water Conservation

ZHANG Tianyu<sup>1,2</sup>, HAO Yanfang<sup>3</sup>

(1. Institute for Peat and Mire Research, Northeast Normal University,

Changchun 130024, China; 2. School of Geographical Sciences, Northeast Normal University,

Changchun 130024, China; 3. Heilongjiang Institute of Soil and Water Conservation, Harbin 150070, China)

**Abstract:** Soil erosion is causing damage to the sloping croplands of northeast China and threatening the food security of China. However, little is known about them at macro scale. This study aims to investigate the area and slope gradient in different geomorphologic regions, soil types, watersheds and administrative divisions of the northeast region in order to guide the implementation of conservation management practices. The results indicate that: (1) sloping cropland of northeast China is characterized by large area with gentle slope gradients, the total area is about 195 000 km<sup>2</sup>, with a mean slope of 3.4 degrees, the total area is about 195 000 km<sup>2</sup>, with a mean slope of 3.4 degrees, the total area of sloping cropland of northeast China is about 14% of the total cropland area of China; therefore, management of these sloping croplands is important; (2) contour farming is suitable to most of the sloping croplands; Therefore, technologies, conservation practices and management systems related to sloping cropland deserve more attention; sloping croplands steeper than 15 degree, those located in the aeolian sandy soil, and some other soil types contribute little to grain production and exhibit a high erosion hazard, therefore, these croplands should be reused for the other purposes; the Changbaishan mountainous region and the dark-brown earth region are the key regions and difficult regions of management, and more attention should be paid to these regions; (3) the work load and difficulty of conservation management vary widely among counties, therefore, each county should be dealt with on its individual merits and not by the macroscale management decisions across counties, the load and

difficulty of the management work of each county should not be evaluated by land area and cropland area.

**Keywords:** soil and water conservation; northeast China; sloping cropland; slope gradient

坡地上不合理的耕作活动可以导致严重的土壤侵蚀,引发土层变薄和土壤结构恶化,最终导致粮食减产<sup>[1-2]</sup>。东北地区虽然以平原闻名,但也拥有相当数量的坡耕地。而且由于耕作方式粗放,这些坡耕地普遍存在土壤侵蚀问题,威胁国家粮食安全<sup>[3-4]</sup>。即使在坡度 $<3^\circ$ 的坡耕地,也存在超出容许土壤流失量的侵蚀<sup>[5]</sup>。尽管如此,目前对东北地区坡耕地的宏观认识还很有限,其面积、坡度和空间分布均不明晰。已有认识主要来自土地调查成果<sup>[6]</sup>。但是这些成果虽给出不同坡度分级的耕地面积,但不能完全反映坡耕地。例如: $<2^\circ$ 的耕地可能是坡耕地,也可能不是。此外,这些成果一般未按地貌分区、土壤类型、流域和县级行政区进行细化,对坡耕地治理工作的指导意义有限。因此,本文旨在利用高精度的空间数据,查明整个东北地区及其各地貌分区、土壤类型、流域和行政区中坡耕地的面积和坡度特征。在此基础上,定量评估治理工作的重要性,并在措施选择、布局和实施等方面提供建议。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

研究区包括黑龙江、吉林、辽宁以及内蒙古自治区的呼伦贝尔市、通辽市、赤峰市和兴安盟,陆地总面积约 124 万  $\text{km}^2$ ,占全国陆地总面积的 18%。气候为大陆性季风气候。降水量从东南向西北递减,年降水量为 300~950 mm。地貌类型包括平原(30%)、台地(24%)、丘陵(28%)和山地(18%)。平原主要分布在松嫩平原西部、辽河平原和三江平原(附图 6)。台地主要分布在松嫩平原东部和内蒙古高原。山地和丘陵主要分布在大小兴安岭山地、长白山地和辽西山地。坡耕地的主要土壤类型为黑土、暗棕壤、棕壤、黑钙土、白浆土和褐土。土地利用以林地和耕地为主。林地集中在山地和丘陵地区。耕地集中在平原和台地,但丘陵和山地中也有大量分布。根据第二次全国土地调查数据,东北地区耕地总面积约 33.2 万  $\text{km}^2$ ,占全国总量的 25%。主要作物为玉米、大豆、春小麦和水稻,熟制为一年一熟。坡耕地几乎全部为旱田,普遍采用垄作,普遍缺乏水土保持措施。除作物自身提供一定生物措施之外,其他水土保持措施很少。工程措施面积不足耕地面积的 3%,且并非全部位于耕地<sup>[7]</sup>。耕作措施面积也很小。许多耕地的垄向近似平行于等高线,但并非严格意义上的等高沟垄种植<sup>[8]</sup>。

### 1.2 数据来源

土地利用数据为 2010 年的 GlobeLand 30<sup>[9]</sup> 和 FROM-GLC<sup>[10]</sup>,分辨率均为 30 m,分别来源于国家基础地理信息中心和清华大学。经与实际情况比较,主要采用前者,但在长白山地南部的个别县市采用后者。地貌数据为 2009 年中国 1:100 万地貌图<sup>[11]</sup>。它包含有地貌类型信息(如平原等)和地貌分区信息(长白山地等)。地貌分区命名遵循主导性原则,一个地貌分区可以包含多个地貌类型。地形数据为 2001 年 SRTM,分辨率为 90 m。土壤数据为 1996 年中国 1:100 万土壤图。行政区数据为 2016 年数据。由于缺乏市辖区的边界数据,且多数市辖区面积很小,因此将隶属于同一市的市辖区进行合并,并视为一个县级行政单位,共获得 216 个县级行政单位。所有数据经预处理后,转为 30 m 分辨率的栅格数据,坐标系为 WGS1984,投影为 Albers。其中,地形数据(SRTM)原有分辨率为 90 m,通过双线性内插法重采样为分辨率为 30 m 的数据。分析工具主要为 ArcGIS 10。

### 1.3 坡耕地的提取和面积计算

首先,用地貌数据提取出台地、丘陵和山地,并将它们视为坡地。其次,土地利用数据提取出耕地。最后,提取出坡地中的耕地,即坡耕地。由于土地利用数据源于卫星影像解译,存在一定误差。因此,在计算耕地面积时参照东北地区相关研究进行了订正<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 坡耕地的面积和坡度特征

东北地区坡耕地总面积为 19.5 万  $\text{km}^2$ ,占全区耕地总面积的 58.7%,占全国耕地总面积的 14.4%。东北地区仅坡耕地面积就超过了西北 5 省耕地总面积(16.4 万  $\text{km}^2$ ),接近西南 5 省耕地总面积(20.4 万  $\text{km}^2$ )。年鉴数据显示,东北地区粮食产量约占全国的总数近的 20%<sup>[13]</sup>。假设坡耕地与平原耕地的粮食单产相同,则东北地区坡耕地粮食产量占到全国总产量的 12%。因此,治理好这些坡耕地对于保障国家粮食安全具有重要意义。

东北地区坡耕地的平均坡度为  $3.4^\circ$ (表 1)。 $<5^\circ$ ,  $5^\circ\sim 10^\circ$ ,  $10^\circ\sim 15^\circ$  和  $>15^\circ$  的坡耕地面积分别占总数的 78.5%, 15.8%, 4.2% 和 1.5%。与我国其他地区相比,东北地区耕地坡度偏小。其中, $<6^\circ$  的耕地较多, $>6^\circ$  的耕地较少(图 1)<sup>[6]</sup>。

表 1 东北地区坡耕地的坡度分布

坡度/ (°)	面积/ 万 km <sup>2</sup>	坡度/ (°)	面积/ 万 km <sup>2</sup>	坡度/ (°)	面积/ 万 km <sup>2</sup>
0~1	3.94	6~7	0.74	12~13	0.16
1~2	4.74	7~8	0.57	13~14	0.12
2~3	3.18	8~9	0.43	14~15	0.10
3~4	2.09	9~10	0.33	15~20	0.23
4~5	1.41	10~11	0.25	20~25	0.04
5~6	1.01	11~12	0.20	>25	0.02

表 2 东北地区各地貌分区坡耕地的面积

地貌分区	万 km <sup>2</sup>		
	陆地	坡耕地	>5°坡耕地
长白山地	27.4	5.5	2.2
松嫩平原东部	10.2	4.5	1.1
大兴安岭山地	36.7	3.3	1.0
辽西山地	5.9	2.1	0.8
辽河平原	11.0	1.4	0.1
小兴安岭山地	5.9	1.2	0.1
松嫩平原西部	9.3	0.9	0.0
三江平原	6.2	0.5	0.0
内蒙古高原	6.9	0.1	0.0
华北平原	0.1	0.0	0.0

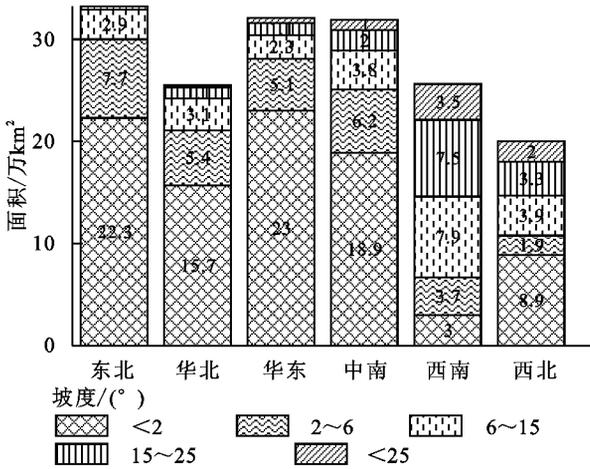
表 3 东北地区坡地主要土类坡耕地的面积

土壤类型	万 km <sup>2</sup>		
	陆地	坡耕地	>5°坡耕地
暗棕壤	29.1	4.7	1.7
黑土	6.0	4.6	0.2
棕壤	7.3	2.5	1.0
黑钙土	9.3	2.2	0.2
白浆土	4.5	1.8	0.3
褐土	3.0	1.3	0.4
栗钙土	8.5	1.3	0.2
风沙土	5.8	0.5	0.0

表 4 东北地区各流域坡耕地的面积

流域	万 km <sup>2</sup>		
	陆地	坡耕地	>5°坡耕地
松花江流域	55.5	11.3	1.7
辽河流域	22.0	3.6	0.9
辽西诸河	3.4	1.3	0.5
乌苏里江	6.1	0.9	0.3
辽东诸河	2.4	0.8	0.3
额尔古纳河	15.6	0.5	0.2
黑龙江干流	11.6	0.5	0.1
鸭绿江	3.2	0.2	0.1
图们江	2.3	0.2	0.1
绥芬河	1.0	0.1	0.1
内蒙古内流	0.7	0.0	0.0

2.2.4 不同行政区 黑龙江省坡耕地最多,占总数的 40%(表 5)。其后依次是内蒙古(24%)、吉林(19%)和辽宁(17%)。县坡耕地面积的最小值为 0 km<sup>2</sup>(大洼县等),最大值为 5 482 km<sup>2</sup>(嫩江县),平均值为 905 km<sup>2</sup>(附图 7)。坡耕地较多的县集中在大兴安岭山地东缘、松嫩平原东部和辽西山地。造成各县坡耕地面积差异的原因涉及气候、地貌和社会经济因素等。一些县由于水热条件较差或坡度较大,不适合



注:东北地区数据源于本研究,其他地区数据参照参考文献[6]。

图 1 中国不同地区耕地的坡度分布

## 2.2 坡耕地空间分布

2.2.1 不同地貌分区 在东北地区 10 个地貌分区中,长白山地的坡耕地最多,占总数的 28%(表 2)。其次是松嫩平原东部(23%)、大兴安岭山地(17%)和辽西山地(11%)。其余 6 个地貌分区仅占总数的 21%。 $>5^\circ$ 坡耕地也以长白山地最多,占总数的 52%,其后依次是大兴安岭山地(23%)和辽西山地(18%)。其余 7 个地貌分区仅占总数的 7%。

2.2.2 不同土壤类型 东北地区坡耕地主要涉及 8 个土类。这 8 个土类的坡耕地占总数的 97%(表 3)。其中暗棕壤的坡耕地最多,占总数的 24%。其次是黑土(23%)、棕壤(13%)、黑钙土(11%)、白浆土(9%)、褐土(7%)和栗钙土(7%)。 $>5^\circ$ 坡耕地也以暗棕壤最多,占总数的 41%。其次是棕壤(23%)、褐土(10%)和白浆土(6%)。

2.2.3 不同流域 在东北地区 11 个流域中,松花江流域的坡耕地最多,占总数的 58%(表 4)。其后依次是辽河流域(19%)、辽西诸河流域(6%)和乌苏里江流域(5%)。 $>5^\circ$ 坡耕地也以松花江流域最多,占总数的 41%,其后依次是辽河流域(21%)、辽西诸河流域(12%)、辽东诸河流域(7%)和乌苏里江流域(6%)。

耕种,坡耕地较少,如漠河县等。一些县由于地势低洼,坡地很少,坡耕地较少,如大洼县等。一些县地处自然保护区,虽有较好的气候和地形条件,但垦殖率低,坡耕地较少,如抚松县等。

表 5 东北地区各省坡耕地的面积 万 km<sup>2</sup>

省份	陆地	坡耕地	>5°坡耕地
内蒙古	47	4.6	1.2
辽宁	15	3.4	1.2
吉林	19	3.6	0.8
黑龙江	46	7.9	1.0

>5°坡耕地在各省的分配相对比较均匀。辽宁省最多,占总数的 29%。其后依次是内蒙古(28%)、黑龙江(24%)和吉林(19%)。县>5°坡耕地面积的最大值为 1 227 km<sup>2</sup>(林口县),平均值为 194 km<sup>2</sup>。>5°坡耕地较多的县集中在长白山地北部的张广才岭和大兴安岭东缘(附图 8)。

### 2.3 坡耕地治理的措施

坡度影响着水土保持措施的效益和成本,是影响措施选择的主要因素。有学者认为 5°是影响东北地区水土保持措施的一个临界坡度。<5°坡耕地适宜等高沟垄种植,>5°坡耕地适宜水平梯田和植物篱等措施<sup>[14-15]</sup>。结合本研究的结果,我们在水土保持措施方面给出以下建议。首先,由于全区 79%的坡耕地坡度<5°,等高沟垄种植是全区最主要的水土保持措施。与之配套的技术、措施和管理制度应该被重视。例如,等高沟垄种植对耕作线坡度有着严格的要求,需要配套的技术和管理制度,以确保该措施的长期、严格执行<sup>[8]</sup>。又如,东北地区等高沟垄种植措施的平均因子值为 0.4 左右<sup>[16]</sup>。一些地区单纯依靠等高沟垄种植无法使土壤侵蚀速率降到容许土壤流失量以下,因此还需配合其他措施。其次,东北地区坡耕地面积占全国耕地总数的 14%,不可能大量退耕。但是在个别侵蚀危险度高或治理难度大的地区可以考虑退耕。例如,全区>15°的坡耕地面积仅占全国耕地总数的 0.2%。产粮贡献小,侵蚀危险度高,治理难度大,应及早退耕。并将全区禁垦坡度下限从水土保持法规定的 25°下调至 15°,以加强保护。又如,风沙土、粗骨土、石质土和暗棕壤中的暗棕壤性土,坡耕地面积占全国耕地总数的 0.7%,产粮贡献很小。而这些土壤的 A 层与 B 层厚度之和<30 cm,C 层物质为砂砾或基岩,裸露后会引发荒漠化或石漠化,也应及早退耕。最后,全区 5°~15°的坡耕地面积为 3.9 万 km<sup>2</sup>,数量不容小视。其中,约 1.1 万 km<sup>2</sup> 坡耕地分布在褐土、黑

土、黑钙土和白浆土等土壤类型,母质以土质物质为主,适宜修筑水平梯田。其余 2.8 万 km<sup>2</sup> 坡耕地的母质以石质物质为主,修筑水平梯田的难度较大、成本较高。这些坡耕地可以酌情采用其他措施。坡度较小者可采用植物篱,坡度较大者可采用退耕。

### 2.4 坡耕地治理的重点地区和难点地区

坡耕地较多的地区对粮食产量的影响较大,是治理的重点地区。>5°坡耕地较多的地区需要大量采用工程措施,是治理的难点地区。找出这些重点地区和难点地区,对治理工作的总体布局具有重要意义。研究表明,治理的重点地区包括地貌分区中的长白山地、松嫩平原东部和大兴安岭山地,土壤类型中的暗棕壤、黑土和棕壤,流域中的松花江和辽河流域。治理的难点地区包括地貌分区中的长白山地、大兴安岭山地和辽西山地,土壤类型中的暗棕壤、棕壤和褐土,流域中的松花江和辽河流域。值得注意的是长白山地和暗棕壤区拥有东北地区最多的坡耕地和>5°坡耕地。它们既是治理的重点地区,也是治理的难点地区。但目前对长白山地和暗棕壤区土壤侵蚀问题的认识深度远不及黑土区。中国知网数据显示,截至 2016 年底以“黑土土壤侵蚀”或“黑土水土流失”为主题的文献有 821 个,而以“暗棕壤土壤侵蚀”或“暗棕壤水土流失”为主题的文献仅有 47 个。不仅如此,长白山地和暗棕壤区的平均降水量比黑土区更大,土壤 A 层平均厚度比黑土区更小,土壤母质比黑土区更不适宜耕种。因此,这些地区的土壤侵蚀危险度可能比黑土区更高,亟待研究和治理。

### 2.5 治理任务量和治理难度的县际差异

县级水行政部门一般是治理工作的实施单位。查明各县的任务量和治理难度具有重要意义。二者可以分别用坡耕地总面积和>5°坡耕地面积来评估。根据本研究结果,我们给出以下建议:首先,各县坡耕地面积差异很大,导致任务量差异很大。即使是隶属同一地级行政区、面积和土地利用相近的县,坡耕地面积也可以有很大差异。例如齐齐哈尔市的拜泉县和泰来县,前者的陆地面积是后者的 0.9 倍,耕地面积是后者的 1.2 倍,而坡耕地面积是后者的 120 倍,分别为 2 390,20 km<sup>2</sup>。因此,应根据实际情况对各县加以区别对待。同时,县坡耕地面积与县陆地面积、县耕地面积的相关系数并不高,分别为 0.3,0.7。因此,不宜使用县陆地面积和县耕地面积来评估各县的任务量。其次,各县>5°坡耕地面积差异很大,导致治理难度差异很大。治理难度较大的县集中在

内蒙古东部、黑龙江省东南部和吉林省东部。同时,县 $>5^{\circ}$ 坡耕地面积与县陆地面积、县耕地面积的相关系数很低,分别为0.08,0.06。因此,不宜使用县陆地面积和县耕地面积来评估各县的治理难度。可以参照本研究提供 $>5^{\circ}$ 坡耕地面积进行评估。

### 3 结论

(1) 东北地区坡耕地的面积大、坡度小。总面积达到19.5万 $\text{km}^2$ ,平均坡度仅为 $3.4^{\circ}$ 。东北地区坡耕地面积占全国耕地总面积的14%,粮食产量占全国总产量的12%。治理工作具有重要意义。

(2) 等高沟垄种植适用于全区大部分坡耕地。与之相关的技术、措施和管理制度应该被重视。 $>15^{\circ}$ 的坡耕地和风沙土等土壤类型中的坡耕地,产粮贡献小,侵蚀危险度高,应及早退耕。长白山地和暗棕壤区既是治理的重点地区,也是治理的难点地区,应被更多重视。

(3) 各县坡耕地总面积和 $>5^{\circ}$ 坡耕地面积差异很大,导致治理工作的任务量和治理难度差异很大。具体工作中,应根据实际情况对各县加以区别对待。而且,不宜使用县陆地面积和县耕地面积来评估各县的任务量和治理难度。

(4) 本研究着重分析了坡耕地的面积和坡度特征。今后研究拟结合中国土壤流失方程和土壤空间数据,评估全区的土壤侵蚀危险度,找出最急需治理的地区,进一步为治理工作服务。

#### 参考文献:

- [1] Williams J R, Allmaras R R, Renard K G, et al. Soil erosion effects on soil productivity: a research perspective[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1981,36(2):82-90.
- [2] Lal R, Moldenhauer W C. Effects of soil erosion on crop productivity [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2008,5(4):303-367.
- [3] 刘兴土,阎百兴. 东北黑土区水土流失与粮食安全[J]. *中国水土保持*,2009(1):17-19.
- [4] 王志强,刘宝元,王旭艳,等. 东北黑土区土壤侵蚀对土地生产力影响试验研究[J]. *中国科学:D辑 地球科学*, 2009,39(10):1397-1412.
- [5] Fang H, Sun L, Qi D, et al. Using  $^{137}\text{Cs}$  technique to quantify soil erosion and deposition rates in an agricultural catchment in the black soil region, Northeast China[J]. *Geomorphology*, 2012,169/170:142-150.
- [6] 刘育成. 中国土地资源调查数据集[M]. 北京:全国土地资源调查办公室,2000.
- [7] 水利部. 第一次全国水利普查水土保持情况公报[R]. 北京:水利部,2013.
- [8] 刘宝元,刘瑛娜,张科利,等. 中国水土保持措施分类[J]. *水土保持学报*,2013,27(2):80-84.
- [9] Chen J, Chen J, Liao A, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014,103:7-27.
- [10] Yu L, Wang J, Clinton N, et al. FROM-GC:30 m global cropland extent derived through multisource data integration[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2013,6(6):521-533.
- [11] 中华人民共和国地貌图集编委会. 中华人民共和国地貌图集[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [12] 高燕,张延玲,何小雷. 东北黑土区耕地分布解译的遥感数据源对比[J]. *中国水土保持*,2016(7):61-65.
- [13] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 2015[M]. 北京:中国农业出版社,2016.
- [14] 陈雪,蔡强国,王学强. 典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J]. *中国水土保持科学*,2008,6(5):44-49.
- [15] 和继军,蔡强国,王学强. 北方土石山区坡耕地水土保持措施的空间有效配置[J]. *地理研究*,2010,29(6):1017-1026.
- [16] 郭乾坤,刘宝元,朱少波,等. 中国主要水土保持耕作措施因子[J]. *中国水土保持*,2013(10):22-26.