

引用格式: 闫卓冉, 王冬艳, 杨月稳, 等. 基于地形特征的中美黑土区土地利用对比[J]. 资源科学, 2023, 45(9): 1844-1855. [Yan Z R, Wang D Y, Yang Y W, et al. Comparison of land use in black soil regions between China and the United States based on terrain characteristics[J]. Resources Science, 2023, 45(9): 1844-1855.] DOI: 10.18402/resci.2023.09.11

基于地形特征的中美黑土区土地利用对比

闫卓冉¹, 王冬艳¹, 杨月稳², 李琪³, 程辉⁴

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 2. 西南林业大学经济管理学院, 昆明 650224;
3. 中国国土勘测规划院, 北京 100035; 4. 吉林省国土资源调查规划研究院, 长春 130000)

摘要:【目的】黑土区作为全球主要的农产品基地, 其退化是备受关注的重大科学问题之一, 通过研究中黑土区环境特征的差异性及其规律, 可为进一步揭示黑土退化机理奠定基础。【方法】以DEM数据为基础, 选取中国东北和美国密西西比河流域两大黑土区为研究对象, 提取坡度、坡向、地形起伏度等地形因子并划分基本地貌类型, 从地形条件、地形分布指数、人类活动强度、水土流失风险四方面对两大黑土区的土地利用分布特征进行对比分析。【结果】①美国密西西比河流域黑土区整体地形条件优于中国东北黑土区, 其坡度小于8°的黑土区土地面积高达78%。②两大黑土区的坡度与草地、耕地和建设用地的分布均呈负相关, 与林地分布量正相关, 而坡向并未显著影响土地利用的空间分布。③两大黑土区的人类活动强度均受地貌限制, 但美国密西西比河流域黑土区在山地和中海拔地区的人类活动强度高于中国东北黑土区。④两大黑土区的土地开发强度普遍较高, 水土流失中高风险区面积均超50%。【结论】黑土保护需考虑地形特征, 在地势平坦区合理权衡城市发展与耕地保护的关系, 对于坡耕地的保护性耕作推广应因地制宜, 同时重视草地、林地等自然生态系统在防治黑土退化中的作用。

关键词: 土地利用; DEM; 地形因子; 地貌划分; 黑土保护

DOI: 10.18402/resci.2023.09.11

1 引言

在中温带北纬45°地区, 由于气候、降水、植被等多重成土因素的作用, 分别在美国密西西比河流域、乌克兰平原和中国东北形成了三大黑土区^[1]。由于黑土区内土壤优良的理化性质, 这三大黑土区先后被开发为重要的粮食基地。但在开发过程中, 由于不合理的土地利用方式, 导致这三大黑土区都曾经或者正在面临严重的水土流失问题^[2]。大量研究表明, 造成水土流失的原因包括气候、降水、植被覆盖、地形、人类活动等多重影响因素^[3,4], 其中地形特征对其他水土流失因素均存在影响, 在相关土地退化和水土保持研究中处于重要地位^[5,6]。因此有必要从地形地貌角度出发, 以水土流失治理经验丰富的美国密西西比河流域黑土区为参照, 对比中国

东北黑土区的土地利用差异性特征, 从而为因地制宜地制定黑土退化防治措施提供理论借鉴。

目前, 基于数字高程模型(DEM)获取地形条件的方法已相对成熟, 除利用DEM提取出坡度、坡向、地形起伏度、地表粗糙度等地形特征以外^[7-9], 在宏观地貌划分上也应用广泛。在这方面, 周成虎等^[10]首先针对DEM特征, 完善了数字地貌分类指标体系。张磊^[11]基于DEM从19个地形因子中遴选出3个主要因子和1个核心因子, 对黄土地貌进行了初步划分。王让虎等^[12]利用均值变点法确定了中国东北地区地形起伏度的最佳统计单元大小, 为地貌划分提供了可行方法。相关研究极大拓展了DEM的应用范围, 为地形特征分析奠定了理论与方法基础。

收稿日期: 2022-12-21 修订日期: 2023-07-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071255); 中国地质调查局项目(DD20160104)。

作者简介: 闫卓冉, 男, 河北省衡水人, 博士研究生, 主要研究方向为区域发展与土地利用。E-mail: yanzr21@mails.jlu.edu.cn

通讯作者: 王冬艳, 女, 吉林省长春人, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地评价与规划管理。E-mail: wang_dy@jlu.edu.cn

土地利用是人类生产活动方式的反映,其空间格局的形成是自然与人为因素共同作用的结果^[13]。地形条件作为重要的自然因素,主导着地表物质与能量的再分配,从而在一定程度上决定着土地利用方式与空间格局的演变^[14,15]。目前关于地形特征与土地利用关系的研究主要集中在驱动力分析,即通过对同一地区土地利用在不同时间节点的差异分析,探究地形条件对人类活动的制约作用^[16-18]。但从地形特征角度分析土地利用空间差异性的研究相对较少,缺乏相似自然背景下人类活动的对比分析,这对揭示不同地区土地退化差异性成因形成阻碍。

因此,本文选取中国东北与美国密西西比河流域黑土区为研究区,两区域均以粮食作物种植为主。其中美国黑土集中分布的中西部地区,仅占美国国土总面积20%左右,但全国40%以上的作物产量来源于该地区^[19];同样的,中国东北地区的粮食产量占全国的比重也在不断增长,目前已超过20%^[20]。由此可见,两大黑土区均是其所在国家农业生产的关键地区,对于维持粮食安全、食物安全具有重要意义,然而区域内高强度的农业活动也加剧了土壤退化的风险,威胁着黑土地的可持续利用。因此本文以DEM数据为基础,结合土地利用分布特征,从地形条件、地形分布指数、人类活动强度、水土流失风险四方面对两大黑土区进行对比分析。研究结果将为黑土地的保护性开发利用以及不同地形条件下优质土壤的差别化保护提供基础信息。

2 研究区域、数据来源与研究方法

2.1 研究区域

本文对比的两大广义黑土区气候类型都属于中温带大陆性半湿润气候,季节变化明显、全年水分充足、草木茂盛。中国东北黑土区覆盖内蒙古自治区的东部地区以及辽宁、吉林、黑龙江三省行政区范围(119°36'E—129°32'E, 36°57'N—54°3'N),面积约 $1.2 \times 10^6 \text{ km}^2$ (图1),全区主要的土壤类型有棕壤、暗棕壤、草甸土、白浆土、黑钙土和黑土。其农业开垦历史可追溯至清朝,但当时总体垦殖规模有限,造成的生态和土地退化问题并不严重^[21]。伴随着19世纪80年代大量移民从关内涌入,大规模的耕地扩张正式开始,截至1999年,该地区的新增耕地面积已超 $1.6 \times 10^5 \text{ km}^2$ ^[22]。进入21世纪以来,随着改革开放的不断深入以及东北振兴战略的实施,快速的城镇化扩张造成了大面积优质耕地的流失^[23],同时国家推行的耕地占补平衡政策使得南方被占用的耕地增补于东北地区,使得该地区的农业生产压力不断增加^[24]。由此引发的水土流失、土壤有机碳降低、理化性质恶化等黑土退化问题持续威胁着东北黑土区土地的可持续利用。在这一背景下,《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》《黑土地保护法》等政策法规相继出台,旨在通过促进耕作模式的转型促进黑土地的利用保护。

美国密西西比河流域黑土区范围从密西西比河上游谷地、北部边境向南延伸至堪萨斯州中部,地理坐标在86°7'W—114°2'W, 33°31'N—49°42'N之间,面积约 $1.9 \times 10^6 \text{ km}^2$ ^[25](图1)。黑土呈南北走向

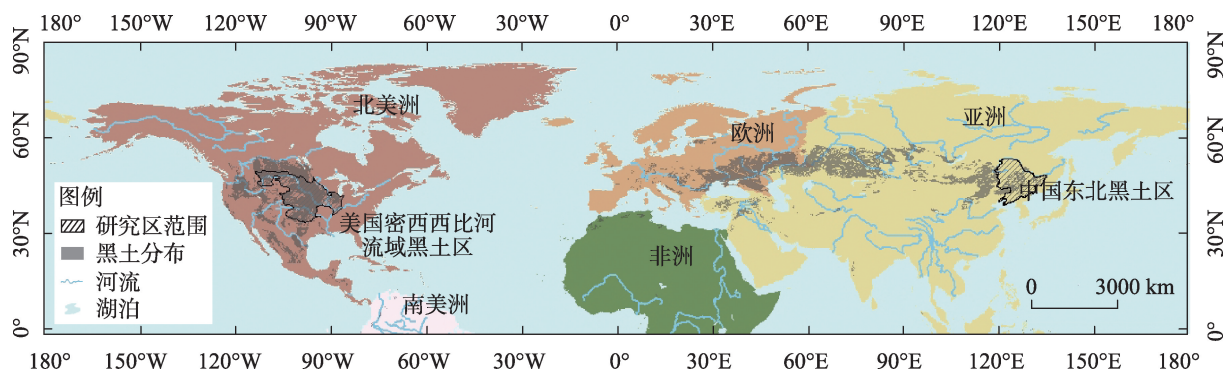


图1 北半球黑土分布与研究区概况图

Figure 1 Black soil distribution in the northern hemisphere and location of the study areas

注:基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2016)1600 号标准地图制作,底图边界无修改。

带状分布,淋溶土在这一区域内也有大量分布。该区域的农业发展较早,19世纪开始的西部大开发已使大部分的黑土被开垦用于农业生产,其目前主要的农地利用类型为谷物和畜牧生产^[1]。其间汽车的普及和高速公路的建设还导致了城市低密度的蔓延,造成了大量土地资源的浪费^[26]。密集的农业活动和无序的城市发展使该地区面临着生态环境退化和严重的水土流失问题,特别是1934年的“黑风暴”事件,毁坏土地面积达 $6 \times 10^5 \sim 8 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。自此之后,美国在总结大规模农业开发利用的经验和教训基础上,相继颁布了《水土保持法》《土壤保护和国内配额法》《自然资源保护法》等法律,为预防土地退化工作的开展提供了依据;同时该地区积极推广免耕、覆盖耕、垄耕等保护性耕作措施,并大力建设农田防护林网,采用轮作和休耕降低黑土耕作强度,目前已基本遏制黑土退化问题^[27,28]。

2.2 数据来源

本文土地利用数据来源于2018年Landsat TM影像,利用ArcGIS 10.2进行人机交互解译,将研究区的土地利用分为7个一级类型(林地、草地、耕地、水域、建设用地、湿地、未利用地),最终解译为90 m精度的栅格数据。DEM数据采用ASTER GDEM 2数据,利用ArcGIS 10.2重采样后其精度与土地利用数据一致。

2.3 研究方法

2.3.1 地形特征提取与划分

本文首先基于DEM数据对高程、坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率、地势起伏度、地表切割深度和地表粗糙度8个地形因子进行提取^[9],结合《水土保

持技术规范》,从地表剖面 and 平面变化考虑^[29],选取坡度和坡向两个代表性因子对比地形特征,具体分级标准见表1。

在提取的8个地形因子中,依据《中华人民共和国1:100万数字地貌制作规范》,进一步选取地形起伏度和高程两个地形因子对两大黑土区的地貌类型作进一步划分^[30](表2)。

在利用DEM划分地貌过程中,首先要确定地形起伏度最佳统计单元。有研究表明地形起伏度随窗口面积的变化呈“log曲线”,该曲线上必定存在唯一的一个由陡变缓的拐点,该点对应的窗口值即可确定最佳统计单元的面积,而统计学中的均值变点分析法对这种恰有1个变点的检验效果最佳^[12]。为减少数据冗余,本文利用Python编程模块,对两大黑土区 $n \times n$ ($n=2, 3, 4, \dots, 199$)的计算窗口进行平均地形起伏度的自动提取。根据提取结果,对平均地形起伏度和网格面积进行对数方程拟合,拟合精度均超过0.9,通过了统计学检验。最终采用均值变点分析法计算出中国东北黑土区最佳统计窗口为 52×52 ,面积为 21.90 km^2 ,美国密西西比河流域黑土区最佳统计窗口为 50×50 ,面积为 20.25 km^2 。

2.3.2 土地利用优势度分布

由于中美黑土区土地面积不同,各类土地利用面积和各类地形面积也不相同,因此,为消除面积差异影响、对比分析两大黑土区不同土地利用类型在不同地形条件下的优势分布特征,本文引入地形分布指数^[18],计算公式如下:

$$I = \frac{S_{et}}{S_e} \times \frac{S}{S_t} \quad (1)$$

式中: I 代表地形分布指数; S_{et} 代表 t 地形因子特定级

表1 地形因子分级

Table 1 Terrain factor classification

地形因子	1级	2级	3级	4级	5级
坡度/ $^\circ$	<5	[5, 8)	[8, 15)	[15, 25)	≥ 25
坡向/ $^\circ$	平坡	阳坡[292.5, 360], [0, 67.5)	半阳坡[67.5, 112.5)	半阴坡[247.5, 292.5)	阴坡[112.5, 247.5)

表2 两大黑土区基本地貌类型

Table 2 Basic landform types of the two black soil regions

高程/m	地形起伏度/m					
	<20	[20, 70)	[70, 200)	[200, 500)	[500, 1000)	≥ 1000
< 1000	低海拔平原	低海拔台地	低海拔丘陵	小起伏山	中起伏低山	—
≥ 1000	中海拔平原	中海拔台地	中海拔丘陵	小起伏中山	中起伏中山	大起伏中山

2023年9月

别下的 e 地类的面积; S_e 是 e 地类的面积; S_i 是整个区域 i 地形因子特定级别下的总面积; S 是整个研究区域的面积。如果 I 值大于1,表示 e 地类在相应级别的 i 地形上的分布频率高于该地类在这一区域中的平均分布频率,即其在 i 级地形相应级别上的分布处于优势, I 值越大,说明优势度越高,该等级地形更适合这一地类的发育和分布。相反,如果 I 值小于1,则说明 e 地类在 i 地形相应级别上的分布频率低于区域平均分布频率,即该地类处于劣势分布地位,说明该地形等级不适合该地类的发育和分布。如果 I 值等于1,说明 e 地类在 i 地形相应级别上与其他地类具有相同的分布频率。

2.3.3 人类活动强度

为比较两大黑土区人类活动强度在不同地形条件下的差异,本文引入徐勇等^[31]提出的中国陆地表层人类活动强度算法模型,以建设用地当量为度量单位,将所有土地利用类型按照其对应系数(CI)折算成建设用地当量(表3),建设用地当量面积占总面积的百分比即为人类活动强度。

2.3.4 水土流失风险评价

已有相关研究表明,区域水土流失与相应尺度下的地形条件存在着密切的关系;同时人类活动也

是影响水土流失的重要因素,它通过影响土地利用过程得以体现,不合理的土地利用布局会加剧水土流失。本文选取人类活动和地形条件作为一级评价因子,其中人类活动以土地利用方式为表征;而地形条件根据张宗伟等^[6]对地形因子与水土流失做出的相关性分析结果,选择坡度等6个地形二级指标,其中剖面曲率、平面曲率、地形起伏度、地表切割深度和地表粗糙度均采用自然断点法进行分级,各级指标权重采用层次分析法确定, CR 值均小于0.1,通过了一致性检验(表4)。同时参考蔡德所等^[32]的成果,制定单项指标和综合评价的分级标准(表4、表5)。风险值越大,水土流失的风险也越大。

3 结果与分析

3.1 地形条件对比

坡度和坡向作为微观因子均能直接地反映当地的地形条件,其中坡度作用于地表能量和物质流有的再分配,坡向也在一定程度上决定着对太阳能量的接收能力,因此二者均能影响地表的土地利用格局演变与分布。

两大黑土区不同分级的坡度与坡向面积比例如图2所示。从坡度看,美国密西西比河流域黑土区小于 8° 的土地面积达77.54%,远高于中国东北黑

表3 建设用地当量折算系数

Table 3 Conversion coefficients for construction land equivalent

	耕地	林地	草地	建设用地	水域	湿地	未利用地
CI	0.2	0	0.067	1	0	0	0

表4 水土流失风险因子分级标准

Table 4 Classification standards for the risk factors of soil erosion

一级指标	权重	二级指标	权重	风险等级1	风险等级2	风险等级3	风险等级4	风险等级5
人类活动	0.667	土地利用方式	1.000	水域、湿地	林地	草地、建设用地	耕地	未利用地
地形条件	0.333	坡度/ $^{\circ}$	0.172	<5	[5, 8)	[8, 15)	[15, 25)	≥ 25
		剖面曲率/%	0.077	<5	[5, 10)	[10, 17)	[17, 29)	≥ 29
		平面曲率/%	0.04	<101	[101, 200)	[200, 310)	[310, 434)	≥ 434
		地形起伏度/m	0.362	<70	[70, 200)	[200, 500)	[500, 1000)	≥ 1000
		地表切割深度/m	0.232	<51	[51, 105)	[105, 196)	[196, 333)	≥ 333
		地表粗糙度	0.117	<1.017	[1.017, 1.057)	[1.057, 1.137)	[1.137, 1.304)	≥ 1.304

表5 水土流失综合评价分级标准

Table 5 Classification standards for the comprehensive evaluation of soil erosion

	低风险	中风险	中高风险	高风险
风险等级综合分值	[1, 2)	[2, 3)	[3, 4)	[4, 5]

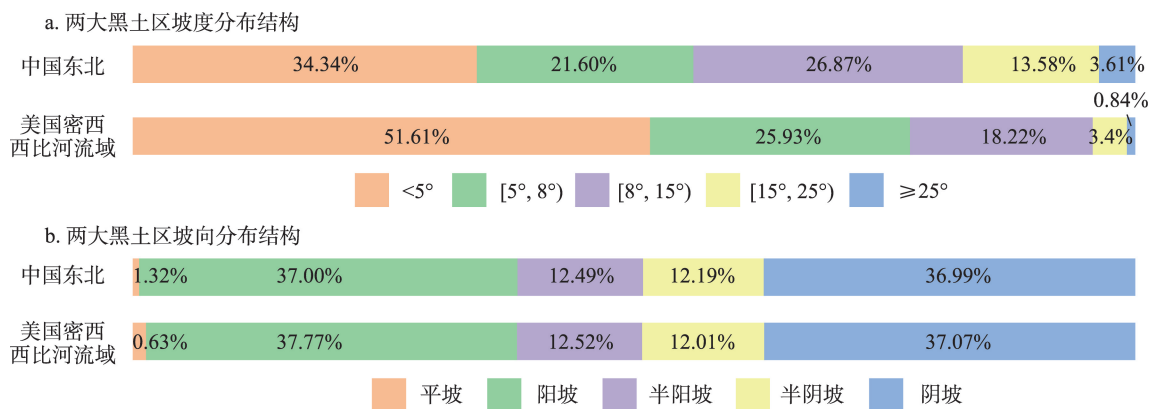


图2 两大黑土区各级坡度与坡向分布

Figure 2 Proportions of slopes and aspects at different levels in the two black soil regions

土区的55.94%。就这一地形因子的对比结果而言,中国东北黑土地发生水力侵蚀的风险更大,同时也为保护性耕作技术的推广带来一定阻碍;从坡向看,两大黑土区各坡向间的比例差异并不明显,这种较小的横向地表差异造成的光照强度、土壤结构等的差异也不会很大,如两大黑土区近20年的平均地表太阳辐射强度均在170 W/m²左右^[29]。

根据高程与地形起伏度叠加分析划分地貌单元,各级地貌面积见表6。从表中可以看出,两大黑土区内,低海拔平原、中海拔平原、小起伏中山、中起伏中山和大起伏中山面积比例相差不大,占比均不超过5%。其中美国黑土区内主要的地貌类型是低海拔丘陵、低海拔台地和中海拔丘陵,3种地貌面积占总面积的89.75%;中国黑土区主要的地貌类型

是小起伏山、低海拔丘陵和低海拔台地,3种地貌面积占中国黑土区总面积的89.62%。综上,美国黑土区的整体地势平缓,相比中国黑土区具备更高的农业发展优势。

3.2 土地利用优势度特征对比

尽管GDEM 2产品针对水体掩蔽的算法有所改进,但仍会存在误差,因此本文未将水域和湿地纳入地形分布指数的对比。从坡度的地形分布指数看,两大黑土区内耕地和建设用地的分布指数均会随坡度的增大而呈下降趋势,表明两大黑土区的人类活动均明显受到坡度条件的制约(图3)。两种由人类主导的用地类型的优劣与劣势分界点在美国黑土区为5°,而中国黑土区为8°,这种相对强烈的人类活动加之地形劣势加剧了中国黑土区潜在的

表6 两大黑土区基本地貌类型分布面积分布

Table 6 Areas of basic landform types in the two black soil regions

地貌类型	美国密西西比河流域黑土区		中国东北黑土区	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
低海拔平原	8684.45	0.53	10210.12	1.06
低海拔台地	542684.84	32.90	123965.51	12.83
低海拔丘陵	764215.88	46.33	357414.76	36.99
小起伏山	8083.83	0.49	384586.73	39.80
中起伏低山	2.08	0.00	50530.81	5.23
中海拔平原	72.91	0.00	0.09	0.00
中海拔台地	75614.78	4.58	1.94	0.00
中海拔丘陵	173507.93	10.52	1728.08	0.18
小起伏中山	46098.37	2.79	30678.54	3.17
中起伏中山	25703.72	1.56	7170.30	0.74
大起伏中山	4929.58	0.30	9.34	0.00

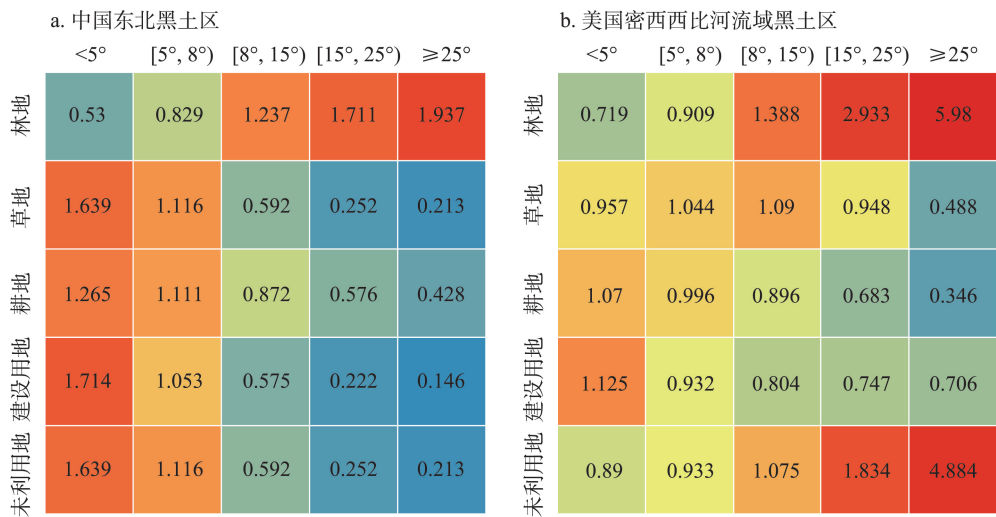


图3 两大黑土区各级坡度土地利用分布指数对比

Figure 3 Comparison of land use distribution indices by slope in the two black soil regions

水土流失风险。美国黑土区的草地分布指数在坡度小于15°前呈明显上升趋势,而中国黑土区的草地分布随坡度增加而逐渐减小,这可能与两地的农业结构差异有关,因为畜牧业在美国黑土区的农业结构中占据了一定份额,而中国黑土区的天然草地则不断被开垦用于粮食生产。这种农业结构上的差异也增加了中国黑土区的土壤扰动,风蚀、沟蚀等退化风险不断威胁着黑土地的可持续利用。

两大黑土区林地的分布指数均会随坡度的增加而增加,且优劣势分界点均在8°,说明两大黑土区在林地预防水土流失方面存在一定共性,均能在

大于8°的土地上有效限制人类开发。未利用地的分布差异最大,两大黑土区的分布指数呈完全相反的变化趋势。其中,中国黑土区未利用地的分布指数随坡度的增加而减小,表明该地区在缓坡地区存在较多的后备耕地资源,在考虑生态安全的前提下可进一步引导陡坡耕地向平原地区调整,同时避免以往顺坡开垦与种植模式,防止较强地表径流引发的水土流失风险。

从坡向的地形分布指数(图4)来看,两大黑土区的林地、草地、耕地、建设用地和未利用地在阳坡、半阳坡、半阴坡和阴坡的分布指数均在1左右,

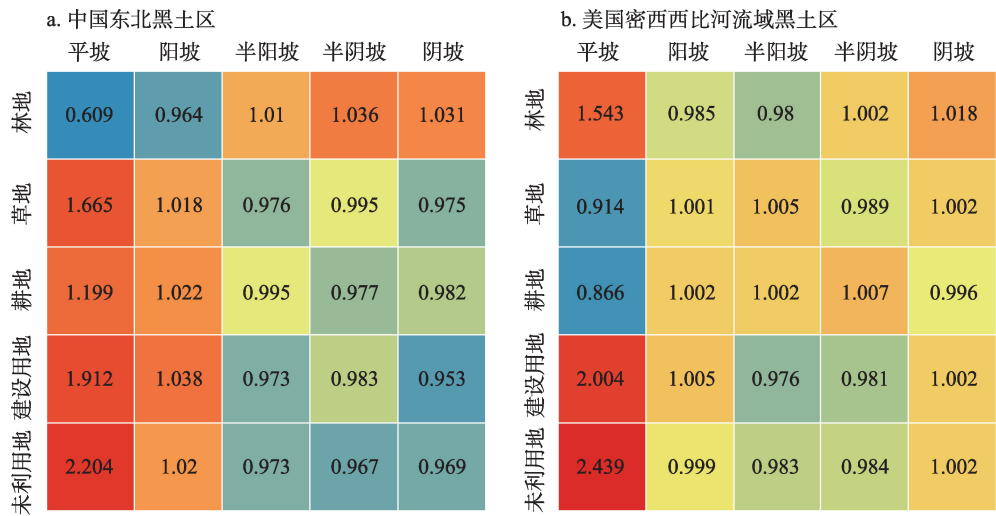


图4 两大黑土区各级坡向土地利用分布指数对比

Figure 4 Comparison of land use distribution indices by aspect in the two black soil regions

说明这5种用地类型在各坡向上处于相对均匀的分布状态,受坡向限制较小。

3.3 人类活动强度对比

两大黑土区不同地貌单元的人类活动强度如图5所示。在低海拔区域,两大黑土区的人类活动强度均随地形起伏增大而逐渐减小。在低海拔平原、台地和丘陵地区,中国黑土区的人类活动强度均高于美国黑土区,而在小起伏山和中起伏低山区,美国黑土区的人类活动强度超过中国黑土区。

此外,两大黑土区中海拔区域的人类活动强度在同等的地形起伏条件下均低于低海拔区域的土地利用强度,其中美国黑土区中海拔区域的人类活动强度高于中国黑土区。由此可见,作为发达国家,美国黑土区在较差的地貌区,特别是山地和中海拔地区需警惕人类活动对这些生态脆弱区的干扰。

3.4 水土流失风险对比

两大黑土区水土流失风险区分布与面积比例如图6所示,两地区水土流失中风险区和中高风险

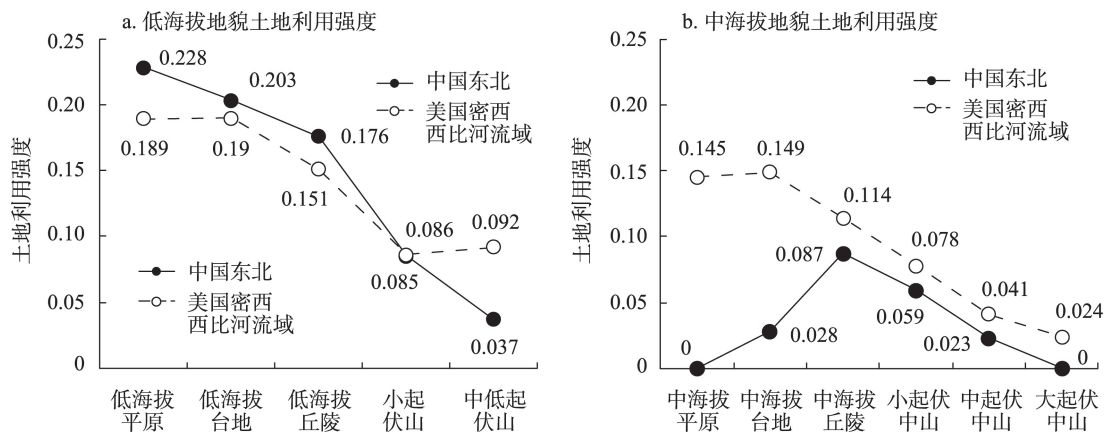


图5 两大黑土区土地利用强度对比图

Figure 5 Comparison of land use intensity in the two black soil regions

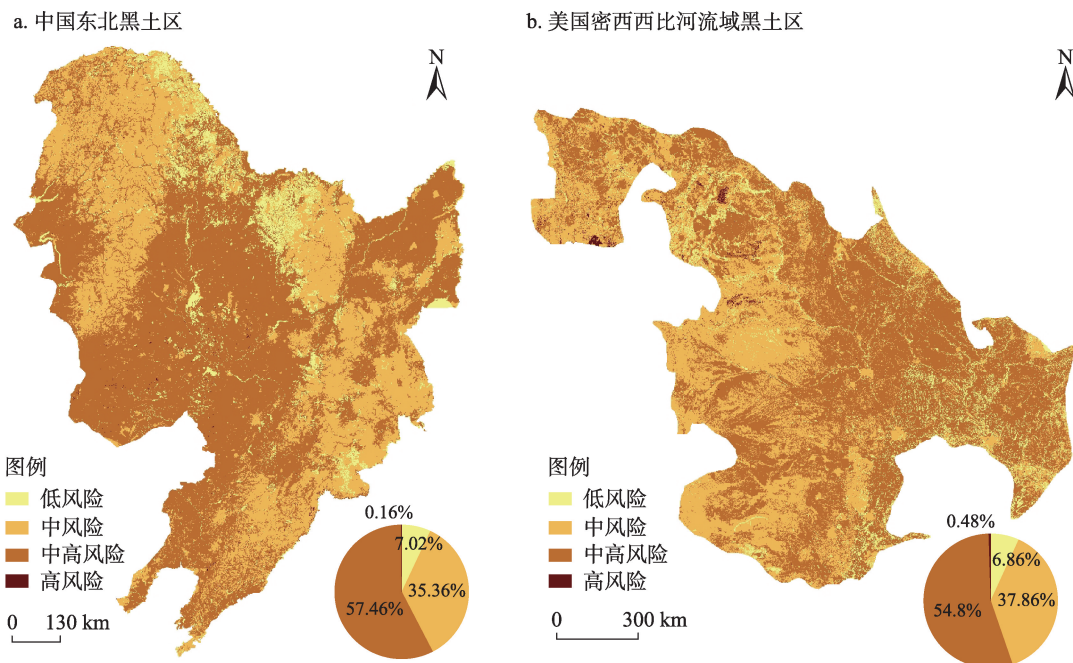


图6 两大黑土区水土流失风险分布图

Figure 6 Distribution of soil erosion risks in the two black soil regions

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1600号标准地图制作,底图边界无修改。

2023年9月

区分布较为广泛,且面积比例相差不大,但中高风险区面积比例均超过了50%,表明两大黑土区的土地开发强度普遍较高,当地生态环境普遍面临较大压力。此外,两类风险区的空间分布略有差异:中国东北黑土区的中高风险区主要分布于中部,而这一地区也是耕地的主要分布区,需采取针对性耕保措施预防水土流失问题;中风险区主要分布于东西两侧。美国密西西比河流域黑土区的中风险区主要分布于西部地区;中高风险区主要分布于东部地区,而这一地区同时是五大湖城市群和美国黄金玉米带的所在地,高强度的城市扩张和农耕活动使这一地区面临相对更高的水土流失风险。两大黑土区水土流失低风险区和高风险区面积比例较小,均未超过1%。

4 结论与建议

4.1 结论

中美两大黑土区作为重要的粮食生产基地,基于地形条件的土地利用对比可以为合理开发利用黑土地提供依据,本文通过地形条件、地形分布指数、人类活动强度、水土流失风险四方面对比。得出以下主要结论:

(1)美国密西西比河流域黑土区的整体坡度小于中国东北黑土区,同时从地貌特征来看其整体地势也较为平缓,这为依赖于大型农机的保护性耕作技术推广提供了优势条件。但二者坡向条件差异不大,因而由此造成的光照强度、土壤结构等的差异也不会很大。

(2)两大黑土区各土地利用类型在各坡向上的分布无明显差异,而土地利用空间分异特征受坡度影响更大。草地、耕地和建设用地的分布与坡度整体呈负相关,其中中国东北黑土区的耕地和建设用地在陡坡的开发强度略大,由此引发的土地退化风险更高。两大黑土区林地的分布与坡度均表现为正相关,优势与劣势分界点表明大于 8° 的土地均明显限制了人类开发活动。美国密西西比河流域黑土区的未利用地多分布于陡坡地区,而中国东北黑土区与之相反,这为耕地进一步向缓坡地带调整提供了空间。

(3)两大黑土区在山地丘陵区的人类活动强度总体上均低于平原台地地区,说明地形起伏是制约

黑土地开发利用的重要因素,其中美国密西西比河流域黑土区在低海拔山区及中海拔区域的人类活动强度高于中国东北,美国作为发达国家需警惕人类活动对这些生态脆弱区的干扰。

(4)两大黑土区各水土流失风险区的面积比例并无太大差异,中高风险区面积均超过50%,表明两大黑土区的土地开发强度普遍较高,均需限制建设用地的进一步扩张,并因地制宜采取耕保措施确保黑土地的永续利用。

4.2 建议

在气候变化背景下,承担着全球粮食安全重任的黑土区日益引起学者的广泛关注^[23]。这些地区凭借黑土固有的高产属性,被广泛开发用于农业的谷物和豆类种植,成为天然的“世界粮仓”^[1]。随着人口压力的不断增加,黑土区正在通过农业扩张和集约化以增加粮食产量从而满足日益增长的粮食需求,但同时也加剧了这些地区的土地退化风险^[25]。本文从地形角度对中美黑土区的土地利用分布特征开展对比研究,基于上述研究结论提出黑土地保护与利用建议:

(1)地势平坦区需合理权衡城市发展与耕地保护的关系。本文表明两大黑土区的耕地和建设用地均优势分布于缓坡地区,两种由人类主导的用地类型在平缓坡度上存在激烈的竞争关系。为避免城市周边优质耕地被无序侵占,区划政策是两国普遍采用的耕地保护方法。美国的农业区划和中国的基本农田保护均是通过土地用途管制以限制城市周边耕地的用途转换,从而避免耕地的数量流失^[33-35]。但这种严格的耕保政策同时也造成了城市跨越式发展、土地投机等负面影响^[36],因而美国往往还辅以耕地发展权购买、农地税率差别化评估等经济手段^[34],将城市发展带来的机会成本纳入耕地保护政策考量。此外,位于美国黑土区的五大湖城市群通过城市内部土地挖潜实现了由蔓延式扩张到精明增长的转变^[37],在一定程度上减轻了优质耕地流失的压力。相比之下,中国黑土区在东北振兴战略的支持下,目前城市发展仍以蔓延式扩张为主,不协调的人口城镇化与土地城镇化造成了大量优质耕地资源的浪费^[38]。为实现城市振兴与耕地保护的双重目标,中国东北黑土区需进一步健全耕地保

护政策体系,同时积极引导城市存量土地的开发利用。

(2)正视地形条件差异,因地制宜进行保护性耕作推广。美国于20世纪30年代开始推广保护性耕作,通过免耕、覆盖耕作、垄耕等技术减少土壤侵蚀,从而保护并改善耕地生态环境^[39]。但需要指出的是,美国推广的这些耕作模式往往依赖于大型保护性耕作机具^[40],而优良的地形条件为密西西比河流域黑土区保护性耕作的迅速普及提供了优势。据报道,目前美国已有2/3的耕地采用保护性耕作,是被当地普遍接受的一种耕作模式^[41]。相比之下,中国东北黑土区保护性耕作的大规模推广正处于初始阶段,以吉林省为例,2021年保护性耕作面积为2875万亩^[42],仅占播种总面积的30%左右。除农户认知水平外^[39],本文表明高低起伏的地形是阻碍美国模式保护性耕作技术推广的另一因素,因为坡耕地很难采用大型机械进行耕种。同时相较于美国黑土区,中国东北黑土区较多陡坡耕地的开垦利用还增加了沟蚀退化的风险^[43]。因此对于中国黑土地保护技术的推广,需结合自然规律综合施策,积极探索适用于坡耕地保护性耕作技术的同时,通过等高种植、地埂植物带等工程措施缓解地形条件带来的水土流失风险。

(3)重视生态环境保护,避免突破黑土区生态系统临界点的土地开发。尽管两大黑土区位于陡坡的林地得到了较好的保护,但水土流失风险评价结果表明两大黑土区的土地开发强度普遍较高,特别是美国密西西比河流域的中海拔地区以及山区。该地区农业的大规模扩张最早开始于20世纪初,随后又经历了1930年的农业集约化推广及1950年的灌区开发^[44],持续的农业发展引起了政府对土壤退化的担忧。针对一些环境敏感区,即容易发生水土流失的区域,美国于1985年开始实施保护恢复计划(Conservation Reserve Program),与中国的退耕还林还草工程相似,均是通过向农民提供补贴使其恢复自然植被,在创造野生动物栖息地、减少水土流失、增加地下水补给等方面发挥了重要作用^[45,46]。然而由于经济、管理等因素,两国黑土区的植被恢复工作均在一定程度上受阻^[46,47]。因此黑土保卫战的范围应逐渐拓宽至草地、林地等自然生态

系统,系统考量其在水源涵养、水土保持、防风固沙等方面的生态功能,如通过在河流湖泊周围设置林草缓冲区控制泥沙随地表径流的流失,将基于自然的解决办法(Nature-based solution)融入不同地形条件下的黑土地退化治理工作中。

参考文献(References):

- [1] Liu X B, Lee B, Kravchenko Y S, et al. Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2012, 92(3): 383-402.
- [2] 范昊明, 蔡强国, 陈光, 等. 世界三大黑土区水土流失与防治比较分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 387-393. [Fan H M, Cai Q G, Chen G, et al. Comparative study of the soil erosion and control in the three major black soil regions in the world[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(3): 387-393.]
- [3] 尹忠东, 周心澄, 朱金兆. 影响水土流失的主要因素研究概述[J]. 世界林业研究, 2003, (3): 32-36. [Yin Z D, Zhou X C, Zhu J Z. Study on the factors affecting soil erosion[J]. World Forestry Research, 2003, (3): 32-36.]
- [4] 袁仁茂, 杨晓燕, 李树德. 水土流失的多因素分析及防治措施[J]. 水土保持研究, 1999, (4): 80-85. [Yuan R M, Yang X Y, Li S D. The Multi-factors analysis and control measures of the water and soil loss[J]. Research of Soil and Water Conservation, 1999, (4): 80-85.]
- [5] Suri M, Cebecauer T, Hofierka J, et al. Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS[J]. Ekologia (Bratislava), 2002, 21(4): 404-422.
- [6] 张宗伟, 张冉. 基于DEM的水土流失分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(8): 175-177. [Zhang Z W, Zhang R. Analysis of soil and water loss based on DEM[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2012, 35(8): 175-177.]
- [7] 杨昕, 汤国安, 刘学军, 等. 数字地形分析的理论、方法与应用[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1058-1070. [Yang X, Tang G A, Liu X J, et al. Digital terrain analysis: Theory, method and application[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(9): 1058-1070.]
- [8] James A T, Jay C B, Chares A B. Digital elevation model resolution: Effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling[J]. Geoderma, 2001, 100(1): 67-89.
- [9] 焦贝贝, 石培基, 刘春芳, 等. 黄土高原低山丘陵区农村居民点分布与地形因子关系研究: 以兰州市七里河区为例[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1719-1727. [Jiao B B, Shi P J, Liu C F, et al. The distribution of rural settlements in relation to land form factors in low hilly land on the Loess Plateau[J]. Resources Science, 2013, 35(8): 1719-1727.]
- [10] 周成虎, 程维明, 钱金凯, 等. 中国陆地1:100万数字地貌分类体

2023年9月

- 系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 707–724. [Zhou C H, Cheng W M, Qian J K, et al. Research on the classification system of digital land geomorphology of 1:1000000 in China[J]. Journal of Geo-Information Science, 2009, 11(6): 707–724.]
- [11] 张磊. 基于核心地形因子分析的黄土地貌形态空间格局研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013. [Zhang L. Study on the Spatial Pattern of Loess Landform based on Analysis of Core Topographic Factors[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.]
- [12] 王让虎, 张树文, 蒲罗曼, 等. 基于 ASTER GDEM 和均值变点分析的中国东北地形起伏度研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(6): 49–54. [Wang R H, Zhang S W, Pu L M, et al. Analysis on the relief amplitude in Northeast China based on ASTER GDEM and mean change point method[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(6): 49–54.]
- [13] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 39–41. [Bai W Q, Zhao S D. An analysis on driving force system of land use changes[J]. Resources Science, 2001, 23(3): 39–41.]
- [14] Liu Y L, Li Y. Land Use and Landform Impact Factors Co-Occurrence Matrix Interpretation[C]. 2014 Seventh International Symposium on Computational Intelligence and Design, 2014.
- [15] 崔卫国, 文倩, 刘艳艳, 等. 基于 DEM 的醴陵市土地利用空间格局分析[J]. 资源科学, 2008, 30(2): 228–234. [Cui W G, Wen Q, Liu Y Y, et al. Analyzing spatial pattern of land use in Liling City based on DEM[J]. Resources Science, 2008, 30(2): 228–234.]
- [16] 张丹丹, 杨晓梅, 苏奋振, 等. 大亚湾近岸土地利用的时空分异及其与地貌因子关系分析[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1551–1557. [Zhang D D, Yang X M, Su F Z, et al. Spatio-temporal differences in land use change in the Daya Bay and correlation with geomorphologic indicators[J]. Resources Science, 2010, 32(8): 1551–1557.]
- [17] Mottet A, Ladet S, Coqué N, et al. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 114(2): 296–310.
- [18] 张静, 任志远. 秦巴山区土地利用时空格局及地形梯度效应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 250–257. [Zhang J, Ren Z Y. Spatiotemporal pattern and terrain gradient effect of land use change in Qinling–Bashan mountains[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(14): 250–257.]
- [19] Agamerica Lending. Midwest Agriculture 2021: Data and Trends Report[N/OL]. (2021–12–31) [2023–07–20]. <https://agamerica.com/farm-publications/midwest-agricultural-trends-report/>.
- [20] 刘杰, 杨青山, 江孝君, 等. 东北地区粮食生产与经济发展的关系类型与地域格局[J]. 经济地理, 2021, 41(3): 39–48. [Liu J, Yang Q S, Jiang X J, et al. Relationship type and regional pattern between grain production and economic development in Northeast China[J]. Economic Geography, 2021, 41(3): 39–48.]
- [21] Ye Y, Fang X Q, Aftab U K M, et al. Migration and reclamation in Northeast China in response to climatic disasters in North China over the past 300 years[J]. Regional Environmental Change, 2012, 12: 193–206.
- [22] Zhang B, Cui H S, Yu L, et al. Land reclamation process in northeast China since 1900[J]. Chinese Geographical Science, 2003, 13(2): 119–123.
- [23] Yan Z R, Li W B, Wang D Y. Outward expansion or networked growth? Comparing farmland loss in evolving urban agglomerations across Mollisol regions in the northern hemisphere[J]. Cities, 2023, DOI: 10.1016/j.cities.2022.104106.
- [24] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3–14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3–14.]
- [25] 朱晓勇. 中美黑土区水土保持工作比较研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017. [Zhu X Y. The Comparative Study on the Soil and Water Conservation in the Black Soil Region between China and America [D]. Changchun: Jilin University, 2017.]
- [26] He Q S, Zeng C, Xie P, et al. Comparison of urban growth patterns and changes between three urban agglomerations in China and three metropolises in the USA from 1995 to 2015[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, DOI: 10.1016/j.scs.2019.101649.
- [27] 廖晓勇, 姚启星, 万小铭, 等. 黑土粮仓全域定制模式的理论基础与技术路径[J]. 地理学报, 2022, 77(7): 1634–1649. [Liao X Y, Yao Q X, Wan X M, et al. Theoretical basis and technical path of the regional all-for-one customization model of black soil granary [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(7): 1634–1649.]
- [28] Xu X R, Pei J B, Xu Y D, et al. Soil organic carbon depletion in global Mollisols regions and restoration by management practices: A review[J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20: 1173–1181.
- [29] Abatzoglou J T, Dobrowski S Z, Parks S A, et al. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015[J]. Scientific Data, 2018, 5: 170191.
- [30] 程维明, 柴慧霞, 周成虎, 等. 新疆地貌空间分布格局分析[J]. 地理研究, 2009, 28(5): 1157–1169. [Cheng W M, Chai H X, Zhou C H, et al. The spatial distribution patterns of digital geomorphology in Xinjiang[J]. Geographical Research, 2009, 28(5): 1157–1169.]
- [31] Xu Y, Xu X R, Tang Q. Human activity intensity of land surface: Concept, methods and application in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(9): 1349–1361.
- [32] 蔡德所, 李荣辉, 王魁, 等. 基于 DEM 和土地利用的水土流失风

- 险评价:以桂林寨底地下河流域为例[J]. 中国水土保持, 2012, (3): 29-31. [Cai D S, Li R H, Wang K, et al. Evaluation on soil and water loss risk based on DEM and land use[J]. Soil and Water Conservation in China, 2012, (3): 29-31.]
- [33] Brown D G, Johnson K M, Loveland T R, et al. Rural land-use trends in the conterminous United States, 1950-2000[J]. Ecological Applications, 2005, 15(6): 1851-1863.
- [34] Bengston D N, Fletcher J O, Nelson K C. Public policies for managing urban growth and protecting open space: Policy instruments and lessons learned in the United States[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 69(2): 271-286.
- [35] 梁鑫源, 金晓斌, 韩博, 等. 藏粮于地背景下国家耕地战略储备制度演进[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 181-196. [Liang X Y, Jin X B, Han B, et al. Evolution of the national cultivated land strategic reserve system under the background of storing grain in the land [J]. Resources Science, 2022, 44(1): 181-196.]
- [36] Kassiss G, Bertrand N, Pecqueur B. Rethinking the place of agricultural land preservation for the development of food systems in planning of peri-urban areas: Insights from two French municipalities[J]. Journal of Rural Studies, 2021, 86: 366-375.
- [37] He Q, Zeng C, Xie P, et al. Comparison of urban growth patterns and changes between three urban agglomerations in China and three metropolises in the USA from 1995 to 2015[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, DOI: 10.1016/j.scs.2019.101649.
- [38] 郭付友, 李诚固, 陈才, 等. 2003年以来东北地区人口城镇化与土地城镇化时空耦合特征[J]. 经济地理, 2015, 35(9): 49-56. [Guo F Y, Li C G, Chen C, et al. Spatial-temporal coupling characteristics of population urbanization and land urbanization in Northeast China[J]. Economic Geography, 2015, 35(9): 49-56.]
- [39] 刘洪彬, 吴梦瑶, 马贤磊, 等. 基于分布式认知理论的农户保护性耕作技术采纳行为及其影响因素研究[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 75-84. [Liu H B, Wu M Y, Ma X L, et al. Research on influencing factors of farmers' adoption behavior of conservation tillage technology based on distributed cognition theory[J]. China Land Science, 2021, 35(10): 75-84.]
- [40] 贾洪雷, 马成林, 李慧珍, 等. 基于美国保护性耕作分析的东北黑土区耕地保护[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 28-34. [Jia H L, Ma C L, Li H Z, et al. Tillage soil protection of black soil zone in Northeast of China based on analysis of conservation tillage in the United States[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 28-34.]
- [41] Dobberstein J. US No-tilled Acres Reach 96 Million[EB/OL]. (2014-03-09) [2023-10-06]. <https://www.no-tillfarmer.com/articles/2512-us-no-tilled-acres-reach-96-million>.
- [42] 梁爱珍, 张延, 陈学文, 等. 东北黑土区保护性耕作的发展现状与成效研究[J]. 地理科学, 2022, 42(8): 1325-1335. [Liang A Z, Zhang Y, Chen X W, et al. Development and effects of conservation tillage in the black soil region of Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(8): 1325-1335.]
- [43] 焦鹏, 阎百兴, 欧洋, 等. 东北低山丘陵典型区侵蚀沟分布特征及其地形影响研究[J]. 地理科学, 2022, 42(10): 1829-1837. [Jiao P, Yan B X, Ou Y, et al. Distribution characteristics and topographic influence of erosion gully in typical hilly region of Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(10): 1829-1837.]
- [44] Nikiel C A, Eltahir E A B. Summer climate change in the Midwest and Great Plains due to agricultural development during the twentieth century[J]. Journal of Climate, 2019, 32(17): 5583-5599.
- [45] SooHoo W M, Wang C Z, Li H X. Geospatial assessment of bioenergy land use and its impacts on soil erosion in the US midwest[J]. Journal of Environmental Management, 2017, 190: 188-196.
- [46] 吴普侠, 汪晓珍, 吴建召, 等. 中国退耕还林工程固碳现状及固碳潜力估算[J]. 水土保持学报, 2022, 36(4): 342-349. [Wu P X, Wang X Z, Wu J Z, et al. Estimation of carbon stock and carbon sequestration potential for China's grain for green project[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(4): 342-349.]
- [47] Johnson K A, Dalzell B J, Donahue M, et al. Conservation Reserve Program (CRP) lands provide ecosystem service benefits that exceed land rental payment costs[J]. Ecosystem Services, 2016, 18: 175-185.

Comparison of land use in black soil regions between China and the United States based on terrain characteristics

YAN Zhuoran¹, WANG Dongyan¹, YANG Yuewen², LI Qi³, CHENG Hui⁴

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. College of Economics and Management, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China; 4. Jilin Institute of Land and Resources Investigation and Planning, Changchun 130000, China)

Abstract: [Objective] Land degradation has emerged as a critical scientific concern in the black soil regions, which serve as the primary agricultural production bases worldwide. This study focuses on two black soil regions, namely northeast China and the Mississippi River basin in America, to investigate the variations and patterns of environmental characteristics across different black soil regions. The findings from this study will provide a theoretical foundation for a more comprehensive understanding of the mechanisms of black soil degradation. [Methods] Terrain factors such as slope, aspect, and terrain undulation were derived from DEM data using ArcGIS 10.2. Landform types were determined based on terrain undulation and elevation data. The characteristics of land use distribution were compared from four aspects, including terrain conditions, topographic distribution index, human activity intensity and soil erosion risk. [Results] The results indicated that: (1) The terrain conditions of Mississippi River basin in America were generally better than that of northeast China, with nearly 78% of the area having slopes less than 8°. This provided superior conditions for disseminating technology of conservation tillage. However, there were minimal differences in the distribution of aspects between the two black soil regions. (2) Grassland, cultivated land, and construction land had a negative correlation with slope in both regions, while forestland showed a positive correlation. Aspect had no significant impact on the spatial distribution of land use. Notably, land use on steep slopes was more intensive in northeast China, leading to a higher risk of potential land degradation. (3) The intensity of human activity in the two black soil regions was constrained by landform, indicating that the terrain undulation is an important constraint on the development and utilization of black soils. However, the Mississippi River basin exhibited greater human activity intensity compared to northeast China. Despite its relatively flat terrain, the potential environmental impacts in the Mississippi River basin require international attention. (4) Both black soil regions had more than 50% of medium-high risk areas for soil erosion, indicating a generally high level of land development. They both need to constrain the urban sprawl and enhance farmland protection to ensure the sustainable use of black soils. [Conclusion] This study suggests that the protection of black soil should consider terrain characteristics. In flat areas, a proper balance between urban development and the protection of cultivated land is imperative. When promoting conservation tillage technology on sloped croplands, local conditions should be considered. Furthermore, attention should be extended towards grassland, forest land, and other natural ecosystems to systematically prevent black soil degradation.

Key words: land use; DEM; topographic factors; landform division; black soil protection