

典型黑土区坡耕地土壤侵蚀对土壤 有机质和氮的影响

张孝存^{1,3}, 郑粉莉², 安娟², 王彬²

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 商洛学院城乡发展与管理工程系, 陕西 商洛 726000)

摘要: 基于对黑土区松花江流域东山沟小流域坡耕地耕层土壤有机质、全氮和碱解氮含量及土壤侵蚀速率的分析, 研究了坡耕地土壤侵蚀强度与土壤有机质、氮素含量的相关性及其对土壤有机质和氮素空间分布的影响。结果表明, 土壤侵蚀强度在流域分布呈现上游 > 中游 > 下游; 土壤侵蚀强度沿坡面分布呈现出较弱一强一弱的变化趋势, 存在明显的侵蚀强弱交替变化规律。小流域土壤有机质和氮素含量空间分布特征与土壤侵蚀强度分布特征相对应, 表现为流域上游 < 中游 < 下游; 三种土壤养分沿坡长分布呈现较高一低一高的变化趋势。土壤侵蚀速率与土壤有机质、全氮含量之间呈极显著负相关关系, 与碱解氮含量存在显著负相关关系, 证实了土壤侵蚀是影响我国东北典型黑土区土壤质量下降最重要因素。

关键词: 土壤侵蚀; 土壤有机质; 氮; 坡耕地; 黑土

中图分类号: S157; S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0182-05

Effects of soil erosion on soil organic matter and nitrogen in sloping farmland in typical black soil region

ZHANG Xiao-cun^{1,3}, ZHENG Fen-li², AN Juan², WANG Bin²

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Department of Urban and Rural Development and Management Engineering, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi 726000, China)

Abstract: Based on the measurement data of soil properties and soil erosion in sloping farmlands of Dongshangou watershed in Songhua River catchment, the correlation between soil erosion and soil organic matter and nitrogen was analyzed, and the effects of erosion and deposition on the distribution of soil organic matter and nitrogen were studied. The results showed that the distribution of erosion intensity in the whole watershed could be ordered as: upstream > midstream > downstream. Along the whole slope, soil erosion intensity varied dramatically in order of slight-severe-slight level. Furthermore, the spatial distribution of soil nutrient contents had a corresponding relationship with soil erosion intensity, and it could be ordered as: upstream < midstream < downstream. The distribution of soil nutrients changed in order of high-low-high level along the whole slope. Soil erosion intensity was negatively related with soil organic matter and total nitrogen at extremely significant level, and with alkaline nitrogen at significant level. This implies that soil erosion has become an important factor causing soil quality decline in black soil region of northeast China.

Keywords: soil erosion; soil organic matter; nitrogen; sloping farmland; black soil

东北黑土区总面积达 101.85 万 km², 其中典型黑土区面积为 11.78 万 km², 主要分布在黑龙江、吉林两省的中西部。黑土区玉米产量占我国总产量的

29.9%, 大豆产量占我国总产的 56.2%, 商品粮占到全国商品粮总量的 1/3, 是我国重要的农业区和粮食生产基地^[1]。由于黑土区属温带半湿润大陆性季

收稿日期: 2012-12-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB407201)

作者简介: 张孝存(1968—), 男, 陕西蓝田人, 副教授, 在读博士, 主要从事土壤质量评价研究。E-mail: zhangxiaocun2005@163.com。

通讯作者: 郑粉莉(1960—), 女, 陕西蓝田人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程、预报和土壤侵蚀环境效应评价研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn。

风气候,冬季干冷,春秋干旱多风,夏季多暴雨,导致土壤易遭受水力、风力和冻融侵蚀;地形又多为波状起伏的漫岗丘陵,土壤母质以粗粉沙、黏粒为主,具有黄土特性,抗蚀能力较差;加之,农业过度垦殖、顺坡垄耕种和掠夺式经营,这一切因素加剧了黑土区土壤流失,进而恶化了耕作条件,加重了旱涝灾害,导致耕地地力退化和产量下降,甚至大量良田丧失,对作物产量和农业生产构成严重危害,已经严重制约了黑土区农业生产可持续发展。据水利部第三次遥感调查,我国黑土区流失土壤量达 $2.4 \text{ 亿 t} \cdot \text{a}^{-1}$,流失的氮磷钾养分折合化肥达 500 万标准吨,严重的土壤侵蚀已对我国黑土区土壤质量构成严重威胁,并对我国粮食安全存在潜在危险。最新《中国水土流失防治与生态安全》^[1]调查显示,黑土区水土流失主要集中在坡耕地,其黑土层以 $0.3 \sim 1 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 递减,平均土层厚度已由 20 世纪 50 年代的 $60 \sim 70 \text{ cm}$ 下降至目前的 $20 \sim 30 \text{ cm}$,部分地区甚至出现“破皮黄”,预计不同开垦年限的黑土将在 $40 \sim 100$ 年内完全消失;黑土区因水土流失形成的沟蚀和面蚀已造成粮食减产 $1\,921 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

近年来,关于东北黑土区土壤侵蚀的问题已引起国内学者的高度关注,但已有的研究主要侧重于土壤侵蚀的特征、影响因素、预报模型、防治策略,以及利用¹³⁷Cs 示踪法分析坡面侵蚀空间变化等^[2-7]。已有的研究表明,黑土漫岗坡地面蚀(溅蚀)—沉积过程自上而下可分为岗顶溅蚀带、面蚀加强带、面蚀强烈带、面蚀减缓带和坡下沉积带^[4];黑土区不同坡形坡面侵蚀规律均表现为坡面上部和坡脚侵蚀较弱,坡面中下部侵蚀剧烈,并随雨强和坡度增大而逐渐上移^[5];水土流失导致坡耕地耕层土壤有机质从坡顶向坡底呈增加趋势^[7]。而黑土区土壤侵蚀强度对土壤养分影响方面研究相对较少,尤其是坡面侵蚀和沉积如何对土壤有机质和氮含量空间分布产生影响的研究还相对薄弱。据此,本研究以典型黑土区松花江流域东山沟小流域为例,分析坡耕地土壤侵蚀速率对土壤有机质和氮素含量的影响,以及土壤有机质和氮素空间分布对坡面土壤侵蚀和沉积的响应,以期在黑土区土壤肥力培育和农业生产可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东山沟小流域属于松花江流域三级支流,位于黑龙江省宾县境内,东经 $127^{\circ}31'04'' \sim 127^{\circ}34'02''$,北

纬 $45^{\circ}43'13'' \sim 45^{\circ}46'37''$,海拔 $160 \sim 220 \text{ m}$,属于典型的薄层黑土分布区,流域总面积 4.5 km^2 。流域地形以丘陵漫岗为主,坡度介于 $1^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 之间,坡长达数百米。气候类型属于寒温带大陆性季风气候,年平均气温 3.9°C ,无霜期 148 d ,年平均降水量 548.5 mm ,其中 6—9 月的降雨量约占全年降水量的 80%。流域土壤类型是由第四纪中更新世黄土状亚黏土发育而成的典型黑土,黑土层平均厚度 $10 \sim 50 \text{ cm}$ 。土地利用类型以耕地为主,种植方式为打垄和玉米连作,耕层深度 20 cm 左右,田间持水量 $28\% \sim 38\%$,秋季耕层土壤平均容重约 $1.1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集与处理 以黑龙江省宾县 1:1 万地形图和土壤类型图为底图进行选点。在流域上、中、下游选取 5 个坡面,按网格法 ($100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$) 在坡面进行采样地布设,在每个网格内按“梅花”法选择不同的采样点,采样深度 $0 \sim 20 \text{ cm}$,将采集的样品混合均匀,按四分法取 1 kg 左右的土壤样品,装袋。同时,以地形部位、黑土层厚度及侵蚀环境作为选取采样点的依据,选取 2 个典型坡面,按坡顶、坡上、坡中和坡下 4 种不同坡面部位采集土壤样品。由于研究小流域的上游坡面以侵蚀过程为主,其下游以沉积为主,故在研究小流域上游区域布设耕层土壤采样点 8 个和下游区域设置采样点 7 个;而研究流域的中游侵蚀与沉积过程并存,故布设耕层土壤采样点 33 个(表 1);因此,本研究在流域内共设置采样点 48 个,样点具体分布见图 1。

表 1 样点描述

Table 1 Description of sample sites				
样点数 Total samples	侵蚀区样点数 Samples in erosion area	沉积区样点数 Samples in deposition area	坡度/(°) Slope gradient	海拔/m Elevation
48	27	21	1~7	165~200

将土壤样品带回实验室,在自然条件下风干,去除根系、枯落物、石块等杂物,研磨后分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛。测定土壤有机质、全氮和碱解氮含量。

1.2.2 分析方法 土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法^[8],土壤全氮采用开氏(J. Kjedah)消煮法,碱解氮用碱解扩散法^[9]。所有结果以风干土质量为基础进行计算,采用 SPSS 16.0 软件进行数据统计分析,应用最小显著性差异(LSD)方法进行检验。流域土壤侵蚀分析利用同课题组安娟实验数据。

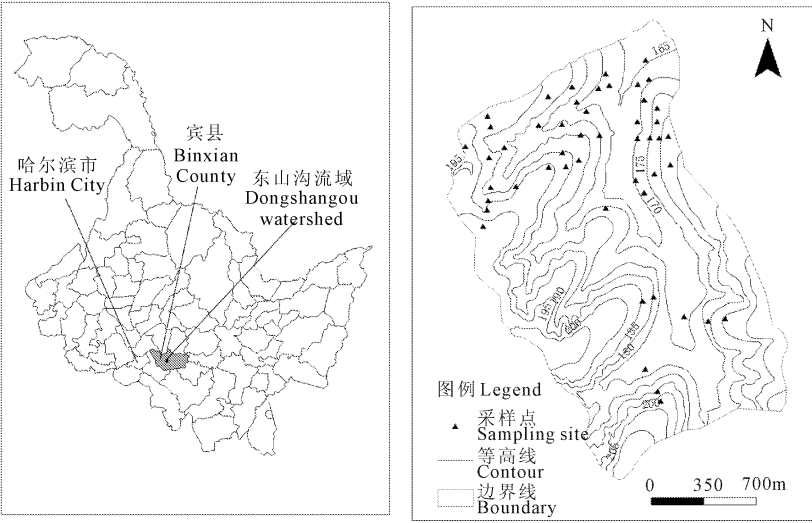


图 1 东山沟小流域地理位置和采样点分布

Fig.1 Geographical location and sampling sites of Dongshangou watershed

2 结果与分析

2.1 土壤侵蚀强度空间分布

土壤侵蚀速率是评价土壤侵蚀强度的最重要指标。基于对¹³⁷Cs 估算东山沟小流域土壤侵蚀速率的数据分析,发现小流域的上游以侵蚀过程为主,侵蚀速率介于 458.5 ~ 6121.6 t·km⁻²·a⁻¹之间,平均为 1 922.0 t·km⁻²·a⁻¹(侵蚀速率为正值(+),略去‘+’;沉积速率为负值(-));中游侵蚀和沉积现象并存,其中侵蚀速率在 38.3 ~ 5 737.7 t·km⁻²·a⁻¹之间变化,平均为 1 330.6 t·km⁻²·a⁻¹,沉积速率变化于 -103.5 ~ -2 414.9 t·km⁻²·a⁻¹之间,平均为 -1 107.8 t·km⁻²·a⁻¹;下游主要发生沉积,沉积速率介于 -107.5 ~ -2 510.4 t·km⁻²·a⁻¹之间,平均为 -1 348.5 t·km⁻²·a⁻¹。小流域中游区域土壤侵蚀速率为上游 69.2%,其沉积速率为下游区域 82.2%。总体上,研究小流域上游土壤侵蚀强度最大,中游次之,下游最小。这与王彬^[10]对薄层黑土区土壤可蚀性流域尺度分布特征研究结论相符,说明研究小流域上游区域土壤较下游区域更易被侵蚀。

坡面土壤侵蚀强度表现为坡顶部侵蚀较轻,平均侵蚀速率为 672.1 t·km⁻²·a⁻¹;坡上部侵蚀加重,平均侵蚀速率为 1 156.7 t·km⁻²·a⁻¹;坡中部侵蚀最严重,平均侵蚀速率为 3 068.7 t·km⁻²·a⁻¹;坡下部表现出明显的沉积,平均沉积速率为 -1 884.7 t·km⁻²·a⁻¹。由此可见,土壤侵蚀强度在不同坡位之间存在明显差异,随着坡长的增加,分布呈现出较弱—较强—强—弱的变化趋势,即坡顶部和上部土壤侵蚀强度较轻,坡中部土壤侵蚀速率最大,坡下部

发生沉积,存在明显的侵蚀强弱交替变化规律。这与王禹和杨明义等^[11]利用¹³⁷Cs 示踪法研究黑土区坡面土壤侵蚀变化特征的结论一致。

2.2 土壤有机质和氮素的空间分布特征

2.2.1 在流域的分布特征 东山沟小流域土壤有机质和氮素的总体情况:土壤有机质平均含量为 26.42 g·kg⁻¹,全氮含量平均为 1.43 g·kg⁻¹,碱解氮平均含量为 142.65 mg·kg⁻¹。

由表 2 可见,东山沟小流域土壤三种养分含量在下游区域最高,中游区域次之,上游区域含量最低。*LSD* 检验表明,小流域下游区域土壤有机质、全氮、碱解氮含量与流域上游、中游区域的差异达到显著水平(*P* < 0.05),中游区域这三种土壤养分含量虽高于上游区域,但差异不显著(*P* > 0.05)。从整体上看,土壤有机质和氮素含量在流域分布特征与流域土壤侵蚀强度分布特征相对应,表现为土壤侵蚀强度最大的上游区域土壤有机质、全氮和碱解氮含量均最低,下游区域土壤侵蚀速率最小,其土壤养分平均含量最高,中游区域侵蚀强度和主要养分含量均处于中间水平。

表 2 土壤有机质和氮素在小流域上游、中游和下游的分布
Table 2 Spatial distribution of soil organic matter and nitrogen

区域 Region	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/(g·kg ⁻¹) Total nitrogen	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Alkaline nitrogen
上游 Upstream	25.86b ± 3.75	1.38b ± 0.15	132.41b ± 13.2
中游 Midstream	25.97b ± 3.78	1.42b ± 0.19	141.13b ± 22.39
下游 Downstream	29.78a ± 4.95	1.61a ± 0.21	158.73a ± 24.38

注:不同字母表示在 *P* < 0.05 水平时有差异。

Note: Different small letters in the same columns mean significant difference at *P* < 0.05.

2.2.2 在坡面上的分布特征 研究小流域土壤有机质和全氮含量沿坡长分布差异较明显,其含量在坡面上的分布均呈坡下部>坡顶部>坡上部>坡中部的趋势(图 2)。LSD 检验表明,不同坡面部位土壤有机质、全氮含量之间差异均达到极显著水平($P<0.01$)。土壤碱解氮含量沿坡长分布表现为坡下部>坡上部>坡顶部>坡中部,除坡上部碱解氮含量与顶部之间差异不显著之外,其它坡位碱解氮含量之间差异均达到显著水平。总体上,小流域土壤有机质、全氮和碱解氮含量沿坡长分布均呈现较高一低一高的变化趋势。由于坡中部是整个坡面土壤侵蚀强度最强烈的部位,此处土壤养分流失程度在整个坡面最大,土壤养分含量最低。由于径流挟带泥沙在坡下部沉积,在此部位出现土壤养分富集现象,养分含量显著增加。上述结果表明,小流域土壤养分沿坡面分布趋势与土壤侵蚀强度坡面分布的变化趋势相对应,即土壤养分含量高低与土壤侵蚀强度强弱相对应。处于土壤侵蚀状况的坡顶部和坡上部土壤养分含量较低,侵蚀最严重的坡中部土壤养分含量最低,侵蚀强度最小的坡下部土壤养分含量最高,反映了坡面土壤侵蚀强度空间分布对土壤养分分布有重要影响。

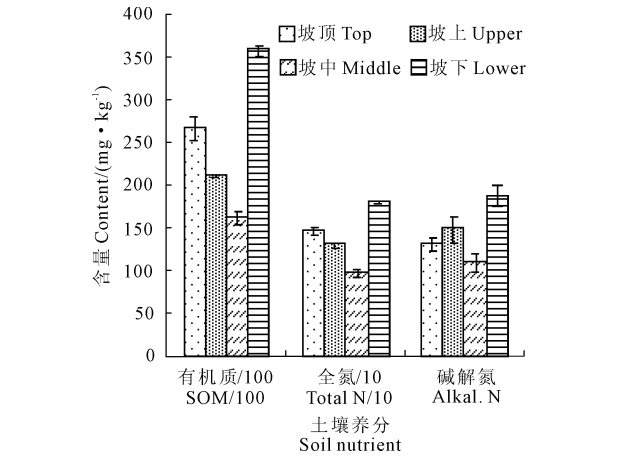


图 2 坡面不同部位的土壤有机质和氮素含量的差异
Fig.2 Soil organic matter and nitrogen in different slope positions

2.3 土壤有机质、氮素与土壤侵蚀强度的关系

研究小流域坡面侵蚀区土壤养分含量明显低于沉积区的对应值(图 3),相对于沉积区,侵蚀区土壤有机质、全氮、碱解氮分别减少 14.3%、13.0%和 13.4%。主要原因在于坡面侵蚀区以土壤侵蚀—搬运过程为主,土壤有机质和氮素主要是以有机无机体紧密结合的方式存在于土壤团粒体中,侵蚀—搬运过程导致耕地表层肥沃土壤颗粒大量流失,黑土层变薄,土壤养分通过径流泥沙携带发生流失,含量减少,造成土壤养分“贫化”。该现象与大量已有研究结果一致^[12-13],表明土壤侵蚀程度加剧必然导致土壤养分的大量流失。

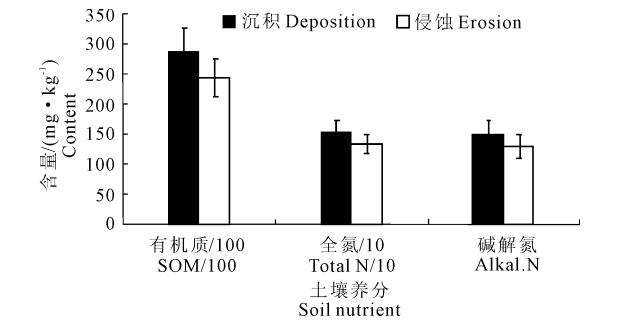


图 3 小流域侵蚀区和沉积区土壤有机质和氮素的含量
Fig.3 Soil organic matter and nitrogen in erosion area and deposition area

研究小流域土壤侵蚀强度和土壤养分相关分析结果表明(表 3),土壤侵蚀速率与土壤有机质、全氮含量之间达到极显著负相关关系,与土壤碱解氮含量之间呈现显著负相关关系;土壤有机质、全氮和碱解氮含量之间存在极显著正相关关系。说明土壤有机质、全氮和碱解氮含量与土壤侵蚀强度密切相关,坡耕地土壤侵蚀已极大地影响到土壤养分。其原因在于坡面土壤侵蚀强度差异导致直接流失的土壤养分含量差异,进而影响原土壤养分含量再分布差异。坡面土壤侵蚀严重的部位土壤养分流失量高,原土壤养分含量降低程度较大;土壤侵蚀强度轻,养分流失量相对较小,则原土壤养分含量降低幅度较小;而沉积过程则导致土壤养分累积,含量提高。虽然影

表 3 土壤侵蚀速率与土壤有机质和氮素含量间的相关分析				
Table 3 Correlation coefficients among soil erosion rate, soil organic matter and nitrogen				
指标 Indices	侵蚀速率 Erosion rate	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	碱解氮 Alkaline nitrogen
侵蚀速率 Erosion rate	1.000	-0.473**	-0.500**	-0.391*
有机质 Organic matter		1.000	0.950**	0.684**
全氮 Total nitrogen			1.000	0.812**
碱解氮 Alkaline nitrogen				1.000

注: **:0.01 水平上显著相关; *:0.05 水平上显著相关。Note: **: Significance at $P<0.01$; *: Significance at $P<0.05$.

响土壤养分变化的因素很多,但土壤侵蚀速率与三种土壤养分含量之间存在极显著或显著的负相关关系,即随土壤侵蚀强度增大,三种土壤养分总体呈现

下降趋势(图 4),说明土壤侵蚀是造成土壤养分降低、肥力下降、土壤贫瘠化的一个最直接最重要的原因。

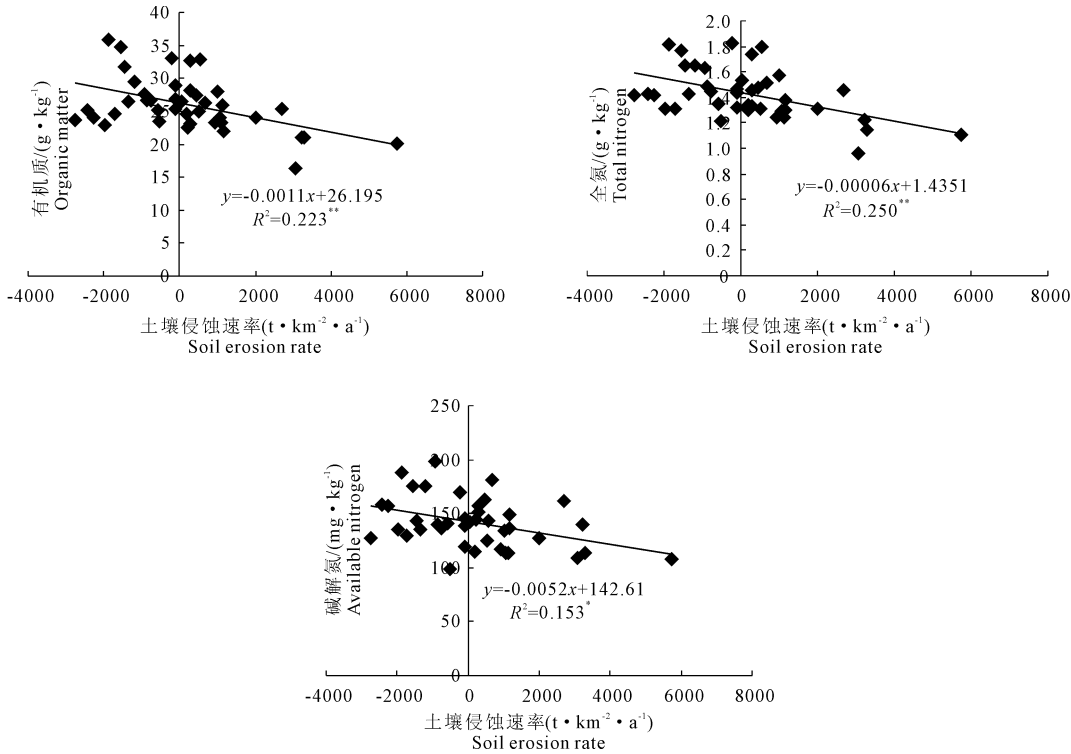


图 4 土壤有机质、氮素与土壤侵蚀速率间的回归分析

Fig.4 Regression analysis between soil erosion rate with soil organic matter and nitrogen

3 结 论

通过对我国东北黑土区坡耕地侵蚀对土壤有机质和氮素影响的研究,取得了主要如下结论:

- 1) 东山沟小流域土壤侵蚀强度在流域尺度分布特征呈现上游区域大于中游区域,中游区域大于下游区域;土壤侵蚀强度沿坡长呈现出较弱一强一弱的变化趋势,存在明显的侵蚀强弱交替变化规律。
- 2) 研究小流域土壤有机质、全氮和碱解氮空间分布特征受侵蚀影响明显,与土壤侵蚀强度分布特征相对应。上游区域土壤养分含量低于中游区域,下游区域土壤养分含量最高。土壤养分沿坡长分布呈现较高一低一高的变化趋势。坡面侵蚀严重的地方,土壤养分含量低下,坡面侵蚀较轻或沉积的地方,土壤养分含量较高。
- 3) 流域土壤侵蚀速率与土壤有机质、全氮含量之间呈极显著负相关,与碱解氮含量呈显著负相关,表明土壤侵蚀强度对三种土壤养分有明显负向影响,说明黑土区坡耕地土壤侵蚀是导致土壤质量下降的关键因素。

参 考 文 献:

[1] 中国水土流失与生态安全综合科学考察·东北组.中国水土流

失防治与生态安全·东北黑土区卷[M].北京:科学出版社,2010:52-55.

[2] 申 艳,张晓平,梁爱珍,等.黑土坡耕地土壤流失形态分析——以一次降雨为例[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):224-229.

[3] 张晓平,梁爱珍,申 艳,等.东北黑土水土流失特点[J].地理科学,2006,26(6):687-692.

[4] 范昊明,蔡强,崔 明.东北黑土漫岗区土壤侵蚀垂直分带性研究[J].农业工程学报,2005,21(6):8-11.

[5] 杨丽娜,范昊明,郭成久,等.不同坡形坡面侵蚀规律试验研究[J].水土保持研究,2007,14(4):237-243.

[6] 方华军,杨学明,张晓平,等.¹³⁷Cs 示踪技术研究坡耕地黑土侵蚀和沉积特征[J].生态学报,2005,25(6):1376-1382.

[7] 阎百兴,汤 洁.黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响[J].地理研究,2005,24(4):499-506.

[8] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:132-136.

[9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-97.

[10] 王 彬.东北典型薄层黑土区土壤可蚀性关键因子分析与土壤可蚀性计算[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.

[11] 王 禹,杨明义,刘普灵.典型黑土直型坡耕地土壤侵蚀强度的小波分析[J].核技术,2010,24(1):98-103.

[12] 刘秉正,李光录,吴发启,等.黄土高原南部土壤养分流失[J].水土保持学报,1995,9(2):77-86.

[13] Schuman G E, Burell R E, Piest R F, et al. Nitrogen losses in surface runoff from agricultural water sheds on Missouri Valley loess[J]. J. Environ. Qual., 1973,2:299-302.