

# 典型黑土垄作区耕地沟蚀对土壤养分的影响研究<sup>①</sup>

杨 子, 刘晓光\*, 宁 静, 董芳辰, 于 杰, 张 鹏, 王 赛

(东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

**摘 要:**近年来东北黑土区沟蚀吞食耕地现象加剧, 养分流失、耕地质量下降等问题凸显。以宾县的糖坊镇和三宝乡为研究区, 综合“3S”技术和统计学的模型方法, 对研究区沟蚀对土壤有机质、全氮、全磷和速效钾含量的影响及不同垄向耕作下沟蚀对各养分的影响及差异展开研究。其中横垄种植指作物垄的方向和地块坡向方向成垂直的种植方式, 顺垄种植是作物垄的方向和地块坡向方向平行的种植方式。结果表明: 沟蚀对土壤养分含量影响较大, 有机质和全氮含量较无侵蚀区分别减少 33.43% 和 46.67%, 速效钾与全磷含量则变化不明显, 在沟蚀区进行秸秆覆盖能够有效减少土壤养分的流失。沟蚀在造成养分含量下降的同时, 也影响了土壤的理化结构, 降低了土壤有机质和全氮含量之间的相关性。横垄沟蚀、顺垄沟蚀及无沟蚀对照组土壤有机质和全氮含量大小均表现为无沟蚀区>顺垄沟蚀>横垄沟蚀。无侵蚀区土壤养分含量最高, 沟蚀区顺垄耕作较横垄耕作更具保肥意义。

**关键词:** 沟蚀; 耕作垄向; 土壤养分; 黑土区

**中图分类号:** S157; S158.3

**文献标识码:** A

土壤侵蚀作为土地系统对自然过程与人类活动的一种消极响应, 是导致土地退化、土壤肥力下降、区域生态环境恶化的重要原因, 直接影响区域生态安全和社会经济的可持续发展, 已成为土地科学领域研究的热点问题<sup>[1-5]</sup>。大量研究已表明土壤侵蚀能够造成土壤营养元素的流失, 导致土壤肥力的下降, 并对自然侵蚀下土壤养分的变化过程进行了探讨<sup>[6-8]</sup>。随着农业生产方式和强度的变化, 由于耕作方式不同而引起的耕地沟蚀现象也逐渐成为土壤侵蚀研究者关注的重要内容。垄作作为一种常见的耕作方式, 是通过耕作在种植行的上部形成垄, 进而在作物生长期将作物播种在垄上的一种耕作模式, 是改善表层土壤物理属性和水文属性, 影响农田系统水文学的主要因子之一<sup>[9-11]</sup>。垄向的不同在一定程度上影响了地表径流的方向及过程, 进而影响耕地沟蚀产流产沙及土壤中氮、磷、钾等养分的运移过程<sup>[12-13]</sup>。目前耕作垄向(以横垄和顺垄为主)、耕地沟蚀的分布及其对土壤养分的影响过程已成为农业生产者及相关研究人员关注的热点问题, 而有关不同耕作垄向模式下沟蚀的产生以及土壤养分变化的影响过程则鲜有报道。我国东北黑土区以土壤肥沃、作物产量高著称, 农业生产强度

大, 耕作方式以垄作为主, 是我国重要的商品粮、畜牧基地, 但长期的不合理耕作也造成土壤侵蚀、水土流失等问题凸显<sup>[14-16]</sup>。因此, 在掌握耕地沟蚀对土壤养分影响的基础上, 结合区域农业生产特点, 明确区域不同耕作垄向模式下沟蚀对土壤养分变化的影响, 对区域制定科学合理的耕作模式、减少沟蚀影响、保障耕地安全具有重要的指导意义。

本文选择典型黑土区宾县的糖坊镇和三宝乡作为研究区, 通过实地调研, 综合应用“3S”技术、统计学的模型方法, 对黑土垄作区耕地沟蚀对土壤有机质、全氮、全磷和速效钾含量的影响及不同垄向耕作模式下沟蚀对以上 4 种土壤养分的影响差异展开研究, 以明确垄作条件下耕地沟蚀与土壤养分间的关系, 为黑土区制定和选择更加合理的耕作模式、保障耕地生态安全、实现耕地资源的可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于我国东北典型黑土区的边缘(地理位置为 126°55'41"~128°19'17" E 45°30'37"~46°01'20" N), 属松嫩高平原与张广才岭的过渡带, 是黑龙江省国家

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术项目(12531035)和黑龙江省重点实验室开放项目(ht2012-10)资助。

\* 通讯作者(lxgneau@163.com)

作者简介: 杨子(1991—), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事土地生态问题及 3S 技术应用方面研究。E-mail: yzspace1001@163.com

级黑土区水土流失治理重点工程区(图 1)。境内海拔高度为 34~952 m,地形呈南高北低之势,南部为丘陵漫岗地,向北逐步过渡为平川地,地势起伏较大。土壤类型以黑土为主<sup>[16]</sup>,气候类型为中温带大陆性季风气候,冬季寒冷干旱,夏季温热湿润。多年平均气温 4.4℃,年降水量 600~800 mm,多集中在每年的 6—9 月,占全年降雨量的 90%。漫岗地和山地上

的耕地保墒能力较差,导致境内降雨的空间有效分配有显著差异。区域土地资源开发历史较早,农业生产活动频繁。耕作方式以旋耕起垄为主(表 1),耕作垄向多为横垄和顺垄,属于典型的黑土垄作区。随农业生产强度的增加,区域内侵蚀沟分布广泛,横垄断垄垮塌、顺垄冲刷垄沟现象十分明显,区域生态环境恶化,耕地质量严重下降。

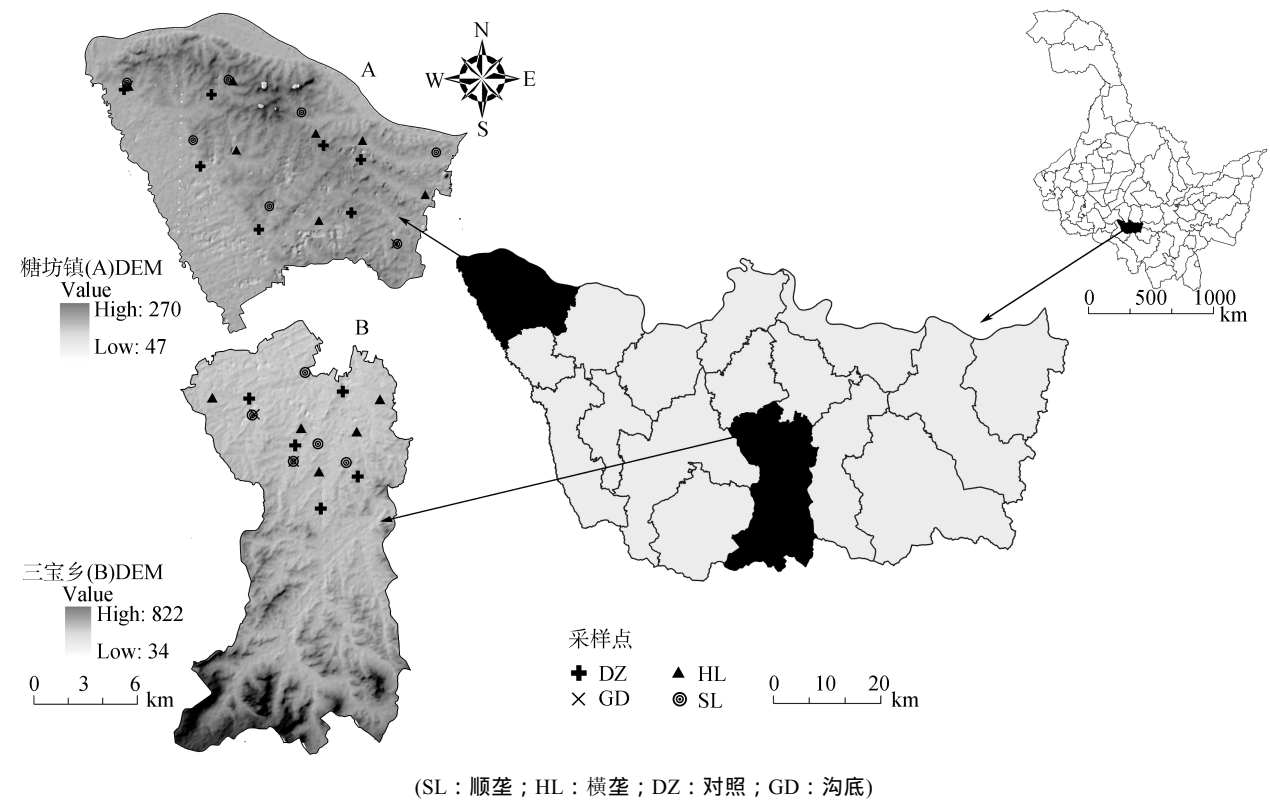


图 1 研究区位置及采样点  
Fig. 1 Location of the study area and sampling sites

表 1 研究区耕地地形及耕作方式			
Table 1 Cultivated land terrains and tillage methods in study area			
区域名称	耕地平均坡度 (°)	耕地平均坡 长(m)	采样点耕作方式
糖坊镇	5.53	402.41	旋耕起垄
三宝乡	6.25	452.80	旋耕起垄

1.2 数据来源与处理

耕作垄向及沟蚀分布 耕作垄向及侵蚀沟数据均以 2013 年 SPOT 影像(分辨率 2.5 m)为基础,结合 30 m×30 m 的 DEM(数字高程模型)数据与高分辨率 Google Earth 可视化地形起伏进行室内判读和提取。一般情况下,横垄种植指作物垄的方向和地块坡向方向成垂直的种植方式,顺垄种植则是作物垄的方向和地块坡向方向平行的种植方式。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°,所以垄向角是坡向与垄向之间的夹角的余角。垄向具体判别方法为:当垄向与坡向夹角在 0°~10°时,定义此类垄向为顺垄,当垄向与坡向夹角在 80°~90°时,定义此类垄向为横垄<sup>[13]</sup>。为保证数据提取的准确性,于 2015 年 4 月和 11 月对研究区内沟蚀现状及耕地垄向进行实地验证,沟蚀提取及垄向判读精度分别为 95% 和 92%,满足研究需要。

样点的布设与采集:以室内判读的垄向和沟蚀数据为基础,根据侵蚀沟分布及耕作垄向特征在室内制定土壤样点的布设和采集方案,共布设 40 个土壤样点(图 1)。于 2015 年 4 月播种耕作前在糖坊镇和三宝乡进行野外采样,以避免人为施肥因素对土壤养分的影响。通过手持 GPS 进行空间定位,并尽可能与室内预布点位一致,具体采样过程为:以横垄耕作(HL)和顺垄耕作(SL)为采样区,在沟道中部

边缘距沟蚀 20 ~ 30 cm 处采用五点法分别采集 12 个土壤样本作为沟蚀样点(图 2),其次在横、顺垄附近的无沟蚀区(DZ)采集 12 个土壤样本(图 2),作为对照组进行对比分析,并随机在 4 条侵蚀沟沟底(GD)采集 4 个土壤样本,共采集 40 份土壤样品(表 2),采样深度为 0 ~ 20 cm。本研究的无沟蚀区与横垄侵蚀区、顺垄侵蚀区临近,土壤及自然条件相对一致,主要耕作方式与横垄侵蚀区及顺垄侵蚀区同为旋耕起垄。最后,对土壤样本进行简单处理,捡出杂草碎石颗粒,留足试验用量,并记录采样点周边环境信息。

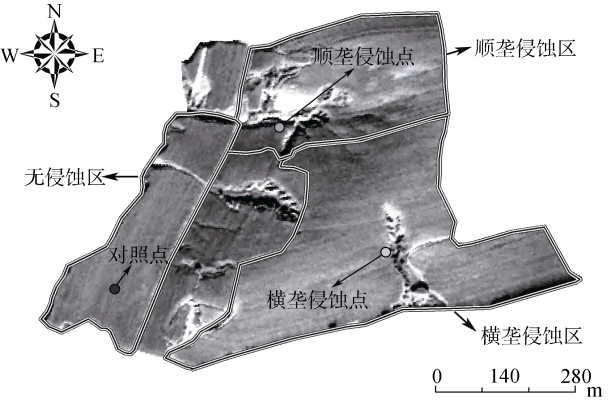


图 2 地块尺度采样点示意例图  
Fig. 2 Sketch map of sampling sites in plot scale

表 2 采样点信息描述  
Table 2 Description of sampling sites

样点名称	样点数量	侵蚀沟长度(m)	最大宽度(m)	坡度(°)	海拔(m)
SL	12	295.74 ± 138.04	31.68 ± 16.41	6.91 ± 3.43	168.33 ± 25.94
HL	12	193.98 ± 77.62	24.02 ± 9.58	6.76 ± 2.72	164.00 ± 24.81
DZ	12	—	—	4.41 ± 2.04	163.50 ± 27.04
GD	4	—	—	5.28 ± 1.12	160.25 ± 28.16

测试分析：采样完成后将土壤样品带回实验室,经自然风干,剔除石块草根等杂物,研磨过 0.25 mm 和 1 mm 筛储存,用以分析测定土壤理化性质。全氮(TN)采用半微量开氏法测定;全磷(TP)采用高氯酸-浓硫酸法测定;速效钾(AK)采用乙酸铵浸提,火焰光度法测定;土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾外加热法测定。

1.3 研究方法

单因素方差分析(ANOVA)是指对单因素实验结果进行分析,检验因素对实验结果有无显著性影响的有效方法。本文以统计分析为基础,采用单因素方差分析法对沟蚀及不同垄向耕作下沟蚀对土壤中有机质、全氮、全磷和速效钾含量影响的进行分析。如果存在显著性差异,则采用最小显著性差异法(LSD 法)

对以上养分的显著性差异进行比较分析,以明确耕作垄向、耕地沟蚀与土壤养分间的定量关系。

方差计算过程主要在 ArcGIS10.0 和 SPSS19.0 中进行,相关绘图在 ArcGIS10.0 和 Origin9.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 耕地沟蚀对土壤养分的影响

耕地沟蚀的分布一定程度上影响了农业生产过程,大量研究也表明沟蚀的产生可以显著改变土壤中各类养分的含量及分布格局<sup>[17-19]</sup>。通过对研究区的沟蚀区和无沟蚀区土壤中有机质、全氮、全磷和速效钾含量进行单因素方差分析及 LSD 检验,得到耕地沟蚀对土壤中各类养分的影响过程及差异水平(表 3)。

表 3 沟蚀区和无沟蚀区土壤养分含量均值表  
Table 3 Mean soil nutrient contents of the sampling sites in gully erosion area and non-gully erosion area

样点	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	速效钾(g/kg)
无沟蚀区	31.53 ± 12.17	1.65 ± 0.68	4.73 ± 2.07	221.24 ± 107.50
沟蚀区	21.02 ± 9.56	0.88 ± 0.81	4.85 ± 2.83	202.30 ± 37.75

由表 3 可知,与无沟蚀区相比,耕地沟蚀明显改变了土壤中各养分的含量。其中,以有机质和全氮含量的变化最为显著。无沟蚀区土壤有机质含量为 31.53 g/kg,沟蚀区为 21.02 g/kg,沟蚀区较无沟蚀区

下降幅度达 33.43%。经 LSD 检验,无沟蚀区与横垄模式下沟蚀区土壤有机质含量差异达到极显著水平( $P=0.009<0.01$ ),与顺垄模式下沟蚀区有机质含量差异达到显著性水平( $P=0.048<0.05$ )。无沟蚀区土壤全

氮含量为 1.65 g/kg, 沟蚀区为 0.88 g/kg, 沟蚀区较无沟蚀区下降 46.67%。LSD 检验结果显示, 无沟蚀区全氮含量与横垄模式下沟蚀区全氮含量差异达到极显著水平( $P=0.008<0.01$ ), 与顺垄模式下沟蚀区全氮含量差异达到显著性水平( $P=0.047<0.05$ ), 该结果与相关研究一致, 即土壤沟蚀现象加快了土壤中氮素的流失过程<sup>[20]</sup>。研究区速效钾与全磷含量则对沟蚀的响应表现不明显, 无沟蚀区速效钾含量为 221.24 g/kg, 沟蚀区为 202.3 g/kg, 沟蚀区较无沟蚀区有轻微下降; 全磷含量在沟蚀区和无沟蚀区基本没有变化, 这可能与磷素在土壤中的迁移及淋失过程有

关。以上分析表明沟蚀的产生对土壤有机质和全氮含量产生了明显作用, 造成了两种养分的大量流失, 而对速效钾和全磷含量的影响则十分有限, 因此, 下文相关研究只针对土壤有机质含量和全氮含量展开。

基于以上研究, 沟蚀对土壤有机质含量和全氮含量影响较大, 为进一步探讨沟蚀对土壤有机质和全氮含量的影响过程, 即沟蚀在影响土壤养分含量的同时是否对土壤的理化结构产生干扰, 本文对沟蚀区和无沟蚀区土壤有机质和全氮含量作进一步的线性回归分析, 以了解沟蚀影响下的土壤有机质含量和全氮含量之间的相关性变化(图 3)。

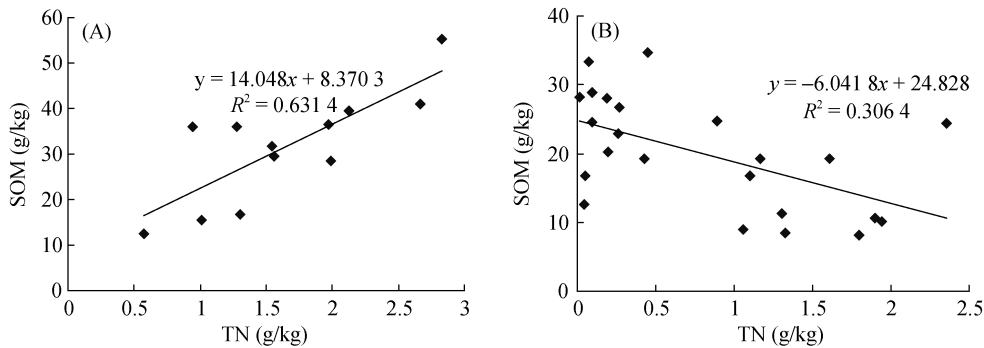


图 3 无沟蚀区(A)与沟蚀区(B)土壤有机质与全氮相关性  
Fig. 3 Correlation between SOM and TN in non-gully erosion area (A) and gully erosion area (B)

从图 3 可以看出, 在无沟蚀区土壤有机质含量和全氮含量的相关系数为 0.631 4, 呈显著性正相关水平( $P=0.002<0.01$ ), 这与已有的大部分研究结果相一致<sup>[21-22]</sup>。在沟蚀区土壤有机质含量和全氮含量的相关性则表现较弱, 相关系数为 0.306 4, 出现该结果的原因可能为: 一方面沟蚀确实影响了土壤的理化结构, 从而降低了土壤有机质含量和全氮含量之间的相关性; 另一方面可能受样点分布等随机因素的影响, 对研究结果产生了干扰。但可以肯定的是沟蚀的产生对土壤有机质及全氮等养分的含量产生了显著影响, 同时也影响了土壤的理化结构, 其具体过程有待进一步的试验验证。

有研究表明沟底侵蚀是促进高塬沟壑区发展的重要因素之一, 制止沟底侵蚀被认为是阻止径流达到沟底、下切沟床的第二道防线<sup>[23]</sup>。为探究耕地沟蚀区有相关治理措施的沟底与无治理措施沟底土壤养分含量差异, 在上述耕地沟蚀处挑选 4 个沟底数据进行采样分析。沟底 1、2 属于弃荒状态没有治理措施, 沟底 3 杂草较多并有秸秆覆盖, 沟底 4 已有植被, 落叶、枯枝较多, 结果见表 4。

从表 4 可知, 除速效钾和全磷两项指标外, 有机质及全氮养分均值均小于无沟蚀区养分均值, 分别

表 4 沟底采样点土壤养分含量  
Table 4 Soil nutrient contents of sampling sites at bottom of ditch

样点	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	速效钾 (g/kg)	全磷 (g/kg)
沟底 1	7.03	0.19	155.35	2.41
沟底 2	21.48	0.84	314.99	3.59
沟底 3	22.43	2.08	292.23	11.00
沟底 4	37.35	3.10	293.51	8.19

为 22.07 g/kg 和 1.55 g/kg, 相较于无沟蚀区分别降低 30.83% 和 6.06%。因沟底数据采样较为随机, 故较无沟蚀区降低的范围并不能代表整体沟底养分含量与无沟蚀区含量的关系, 但能够肯定的是, 沟蚀发生后由于沟底侵蚀, 沟底土壤养分较无沟蚀区仍有流失。没有治理措施的沟底 1、2 主要土壤养分含量均低于沟底 3、4, 说明通过一定的整治, 侵蚀部分的土壤能够达到高肥力水平。有研究表明, 耕地秸秆覆盖量越大, 对土壤温度和湿度的影响越大。由于秸秆具有高的碳氮比, 所以在秸秆与土壤融合后能对土壤氮起到暂时性的固持作用<sup>[24]</sup>。

2.2 不同垄向(横、顺)耕作模式下沟蚀对土壤养分的影响

一般认为沟蚀是坡耕地土壤侵蚀的结果, 侵蚀沟形成的过程中土壤随径流的移动造成了土壤养分

元素空间再分配和变异。垄作为一种常见的耕作方式,长时间的垄作模式会对耕作区地表径流产生影响,改变地表微地形,潜在性地助力侵蚀沟发生<sup>[13,25]</sup>。横垄耕作与顺垄耕作由于产生沟蚀的动力机制和方式不同,不同垄向耕作模式下沟蚀对土壤养分的影响过程也存在较大差异。为探讨不同垄向耕作模式下沟蚀对土壤养分影响的差异,对不同垄向耕作模式下沟蚀区采样点(横垄、顺垄各12个)及12个无沟蚀区采样点土壤有机质和全氮含量均值进行了对比分析,结果见图4。

从图4可以看出,横垄、顺垄沟蚀区土壤和无沟蚀区土壤有机质和全氮含量存在差异,有机质含量呈现无沟蚀区>顺垄沟蚀区>横垄沟蚀区,其中,顺

垄沟蚀区土壤有机质均值为22.64 g/kg,横垄沟蚀区土壤有机质均值为19.40 g/kg,较顺垄沟蚀区土壤下降14.31%。全氮含量呈现无沟蚀区>顺垄沟蚀区>横垄沟蚀区,顺垄沟蚀区土壤全氮均值为0.99 g/kg,横垄沟蚀区土壤全氮均值为0.76 g/kg,较顺垄沟蚀区土壤下降23.23%,整体变化趋势与有机质类似。研究结果表明,横、顺垄耕作模式下沟蚀对土壤养分的影响过程存在明显差异,较之横垄耕作,顺垄耕作更有利于减缓沟蚀对土壤中有机质和全氮含量的流失进程,是该区域应该进一步推广的耕作模式。

为进一步验证不同垄向耕作模式下沟蚀对土壤有机质和全氮含量变化的影响,分别对糖坊镇和三宝乡土壤样品的差异性进行分析,结果见图5。

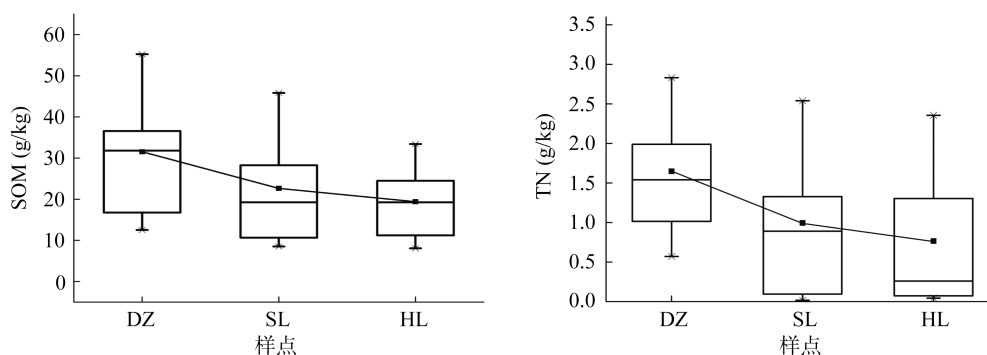


图4 不同垄作方式下沟蚀土壤有机质和全氮含量的均值箱图

Fig. 4 Average value boxes of contents of SOM and TN under different gully erosion

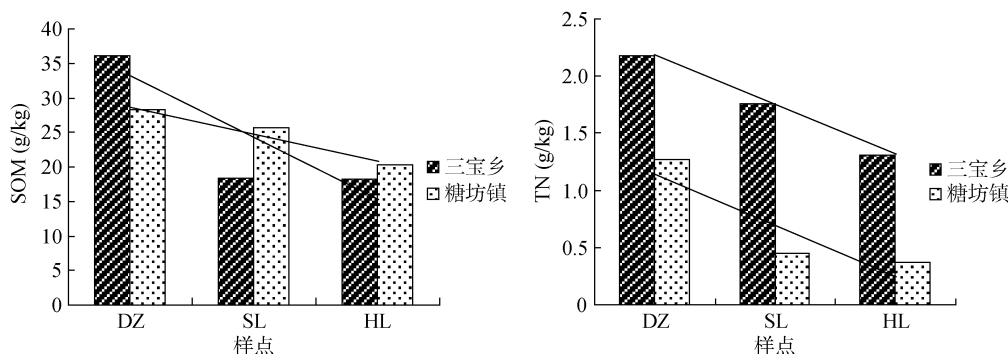


图5 不同区域不同垄作方式下沟蚀土壤有机质和全氮含量的均值柱形图及趋势线

Fig. 5 Column charts and trend lines of mean SOM and TN under different gully erosion in different regions

由图5可知,三宝乡、糖坊镇土壤有机质和全氮含量与两地区平均含量规律一致,均为无沟蚀区>顺垄沟蚀区>横垄沟蚀区。三宝乡无沟蚀区、顺垄沟蚀区、横垄沟蚀区土壤有机质含量分别为36.16、18.40、18.14 g/kg,全氮含量分别为2.18、1.76、1.31 g/kg。糖坊镇无沟蚀区、顺垄沟蚀区、横垄沟蚀区土壤有机质含量分别为28.23、25.67、20.30 g/kg;全氮含量均值分别为1.25、0.45、0.37 g/kg。从图5中均值柱形图趋势线来看,三宝乡土壤有机质含量降幅明显,

糖坊镇降幅较不明显。全氮含量在两乡镇不同垄作情况下降幅相近,趋势线成平行状。糖坊镇顺垄模式下沟蚀区土壤有机质及全氮含量均值分别为25.67、0.45 g/kg,横垄模式下沟蚀区土壤有机质及全氮含量均值分别为20.30、0.37 g/kg。较之顺垄耕作,横垄耕作土壤有机质及全氮含量分别下降20.91%和17.78%。三宝乡顺垄模式下沟蚀区土壤有机质及全氮含量分别为18.40、1.76 g/kg,横垄模式下沟蚀区土壤有机质及全氮含量分别为18.14、1.31 g/kg,

较之顺垄耕作,横垄耕作土壤有机质及全氮含量分别下降 1.4% 和 25%。以上结果进一步表明,较之横垄耕作,顺垄耕作一定程度上可以减少沟蚀对土壤中有机质含量和全氮含量的流失,在保护耕地土壤养分方面效果更佳。

### 3 讨论

研究区沟蚀分布较广,沟蚀在一定程度上降低了耕地土壤有机质和全氮的含量,造成土壤养分的流失,这与其他研究结果一致<sup>[17-18]</sup>。耕作垄向的不同也会对沟蚀区耕地土壤中各养分的含量产生影响,对其作用过程进行研究具有重要的实践意义。

不同垄向耕作模式沟蚀产生的作用过程存在较大差异<sup>[25-27]</sup>,顺坡垄作条件下,超渗径流会沿垄沟流出,横坡垄作条件下,超渗径流小雨强条件下会在垄沟滞留,遇大雨强条件“渠系效应”表现明显,会致使断垄情况发生,耕地上的表层土壤将会受到更严重的冲刷,从而导致了沟蚀对土壤养分流失过程的不同。本文主要探讨不同垄向耕作产生沟蚀对土壤养分累积效应的差异,顺垄耕作条件下侵蚀处的养分流失低于横垄,但不同垄向耕作条件下的水土保持效益比较有待进一步的综合研究。本文在以往研究的基础上对该过程作了实验验证与分析,阐明了不同垄作模式沟蚀产生与土壤养分含量间的定量关系,丰富了相关研究进程。耕作垄向作为干扰沟蚀发生的潜在因素,在今后的研究中需要进一步加强其对沟蚀的产生及对土壤中养分含量影响的机理过程研究,这也是区域耕地沟蚀治理和耕地质量提升的基础。本研究还表明沟蚀的产生对土壤的理化性质产生了一定的影响,改变了土壤中有机质含量和全氮含量之间的相关性,其具体的过程及原因也是进一步试验分析的重点。

### 4 结论

1) 沟蚀的分布对土壤中有机质和全氮含量影响较大,沟蚀区土壤有机质和全氮含量较无沟蚀区分别减少 33.43% 和 46.67%,速效钾与全磷含量对沟蚀的响应不明显,在沟蚀区进行秸秆覆盖及治理能够有效减少土壤养分的流失。

2) 沟蚀在改变土壤中有机质及全氮含量的同时,也对土壤的理化结构产生了明显干扰,一定程度上降低了土壤中有机质与全氮含量间的相关性,但具体过程也有待进一步的试验验证。

3) 横、顺垄耕作模式下沟蚀对土壤养分的影响过程存在明显差异,横垄沟蚀区、顺垄沟蚀区及无

沟蚀区土壤有机质和全氮含量均表现为无沟蚀区>顺垄沟蚀>横垄沟蚀。由此可知,无沟蚀区土壤养分含量最高,沟蚀区顺垄耕作较横垄耕作更具保肥意义。

### 参考文献:

- [1] 冷疏影,冯仁国,李锐,等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 1-6
- [2] 赵明松,李德成,张甘霖. 1980—2010 年间安徽省土壤侵蚀动态演变及预测[J]. 土壤, 2016, 48(3): 588-596
- [3] 张海东,于东升,董林林,等. 侵蚀红壤恢复区植被垂直结构对土壤恢复特征的影响[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1142-1148
- [4] 赵明松,李德成,张甘霖,等. 基于 RUSLE 模型的安徽省土壤侵蚀及其养分流失评估[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 28-38
- [5] 陈新建,濮励杰. 中国资源地理学学科地位与近期研究热点[J]. 资源科学, 2015, 37(3): 425-435
- [6] 赵明松,李德成,张甘霖,等. 基于 RUSLE 模型的安徽省土壤侵蚀及其养分流失评估[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 28-38
- [7] 徐国策,李占斌,李鹏,等. 丹江口小流域土壤侵蚀和养分损失定量分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 160-167
- [8] 张孝存,郑粉莉,安娟,等. 典型黑土区坡耕地土壤侵蚀对土壤有机质和氮的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(4): 182-186
- [9] Burwell R E, Allmaras R R, Sloneker L L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall[J]. Soil Water Conservation, 1966, 21: 61-63
- [10] Shi X H, Yang X M, Drury C F, et al. Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario[J]. Soil and Tillage Research, 2012, 120: 1-7
- [11] Álvarez-Mozos J, Campo M Á, Giménez R, et al. Implications of scale, slope, tillage operation and direction in the estimation of surface depression storage[J]. Soil and Tillage Search, 2011, 111: 142-153
- [12] 王勇强,王玉宽,傅斌,等. 不同耕作方式对紫色土侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 333-335
- [13] 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
- [14] 雷国平,代路,宋戈. 黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 243-248
- [15] 许晓鸿,隋媛媛,张瑜,等. 东北丘陵区沟蚀发展现状及影响因素分析[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 699-708
- [16] 黑龙江土地管理局. 黑龙江土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992
- [17] 李强,许明祥,赵允格,等. 黄土高原坡耕地沟蚀土壤质量评价[J]. 自然资源学报, 2012, 27(6): 1001-1012
- [18] 闫业超,岳书平,张树文,等. 黑土区土壤侵蚀经济损失价值估算及其特征分析——以黑龙江克拜东部黑土区为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(12): 2135-2146
- [19] Zhang X Y, Sui Y Y, Zhang X D, et al. Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China[J]. Pedosphere, 2007, 17(1): 19-29

- [20] 葛方龙, 张建辉, 苏正安, 等. 坡耕地紫色土养分空间变异对土壤侵蚀的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 459–464
- [21] 雷建容, 莫太相, 李孝东, 等. 川中丘陵区土壤有机质与全氮关系研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(2): 663–666
- [22] 孙冬梅, 陈学昌. 黑龙江省土壤有机质与全氮和碱解氮的相关分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1995, 8(2): 57–60
- [23] 陈绍宇, 许建民, 王文龙, 等. 黄土高原沟壑区董志塬沟头溯源侵蚀特征及其防治途径[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 37–41
- [24] Cheshire M V, Bedrock C N, Williams B L, et al. The immobilization of nitrogen by straw decomposition in soil[J]. European Journal of Soil Science, 1999, 50: 320–341
- [25] 孟令钦, 李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 7–11
- [26] 刘前进. 棕壤横垄土壤侵蚀特征及其影响因素[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014
- [27] 马琳琳, 安娟, 刘前进. 横坡垄作壤中流条件下垄高对径流态氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 56–60

## Effects of Gully Erosion on Soil Nutrients in Ridge Area of Typical Black Soil

YANG Zi, LIU Xiaoguang\*, NING Jing, DONG Fangchen, YU Jie, ZHANG Peng, WANG Sai  
(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In recent years, the gully erosion cutting up the cultivated land in the black soil region has become more and more serious, which has caused severe the loss of nutrients, the decline in the quality of arable land and other problems. Two towns in Binxian County of the Heilongjiang Province were selected as the study areas, “3S” techniques and statistical models were used to explore the effects of gully erosion on soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and available potassium (AK), to explore the effects of gully erosion under different directions of tillage ridge on the four nutrients, in which horizontal ridge or dip ridge was referred to crop ridge vertical or horizontal with plots slope aspect. The results indicated that: gully erosion had a great influence on soil nutrient contents, compared with non-gully erosion area, SOM and TN in gully erosion area decreased by 33.43% and 46.67%, respectively, but the changes of AK and TP were not obvious. Straw mulching could effectively reduce the loss of soil nutrients in gully erosion area. Gully erosion also weakened the correlation between SOM and TN. SOM and TN were non-gully erosion region > dip ridge > horizontal ridge, dip ridge tillage is better than horizontal ridge one in maintaining fertility in gully area.

**Key words:** Gully erosion; Direction of tillage ridge; Soil nutrient; Black soil region