

东北黑土水土流失特点

张晓平¹, 梁爱珍^{1,2}, 申 艳^{1,2}, 李文凤^{1,2}, 张学林¹,
王玉玺³, 解运杰³, 刘凤飞³, 杨学明⁴

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049
3. 黑龙江水土保持科学研究所, 黑龙江 宾县 150400 4. 加拿大农业部 Harrow 研究中心 安大略, NOR 1G0)

摘要: 东北黑土区是中国的主要粮食生产基地。黑土水土流失和肥力退化一直是东北农业持续发展必须面对的问题。文章以黑土为对象, 分析了水土流失的方式和特点。黑土流失面积虽大, 但侵蚀的土壤物质大部分没有进入河道, 而是在黑土景观的低洼部位堆积下来, 形成侵蚀和堆积共存的土壤物质再分布景观特征。合理的农业管理措施, 如等高耕作和保护性耕作可以在很大程度上控制黑土侵蚀, 保持和恢复黑土肥力。

关 键 词: 黑土; 土壤侵蚀; 保护性耕作

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000- 0690(2006) 06- 0687- 06

黑土 (Black soils) 具有深厚的腐殖质层, 良好的物理、化学性质和生物学特性, 是中国重要的农业土壤资源和商品粮生产基地。东北黑土总面积约 $7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 与乌克兰和美国密西西比河流域的黑土并称为世界三大黑土带。黑土区是中国水土流失较严重的地区之一。土壤流失在导致耕地地力退化和产量下降的同时, 也加剧土壤养分、除草剂和农药对地表水和地下水的污染^[1~6]。据杨瑞珍资料, 东北地区耕地水土流失面积为 $800 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占耕地面积的 37.4%^[7]。第二次全国土壤普查结果表明, 吉林省有 $200 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 农田遭受中度和强度侵蚀, 占总耕地面积的 37%^[8]。水土流失造成黑土资源损失、土地生产力下降、生态环境恶化。水土流失已经严重制约了黑土区的经济和农业生产, 威胁着中国的粮食安全。人们甚至担心东北黑土的黑土层会在今后 50 年内消失^[9]。与显而易见的沟蚀壑蚀不同, 发生在广大耕地上的面蚀常常不引人注目, 但它对作物产量和农业生产影响却十分严重^[3, 10~16]。对于黑土侵蚀问题, 以往人们更多是关注黑土的沟蚀壑蚀, 在黑土流失的治理过程中也是将绝大部分资金使用在沟壑治理上。本文旨在通过分析黑土区河流泥沙量、不同地形坡度所占面积、侵蚀强度、侵蚀与堆积关系以及治理方式, 阐明坡耕地黑土侵蚀特点及其在黑土水土流

失中所占有的权重, 为中国黑土流失治理和资源的可持续利用提供科学依据。

1 地理环境概况

1.1 地理位置

黑土主要分布在长白山和大小兴安岭之间的山前波状起伏台地和漫岗丘陵区, 北起黑龙江省的嫩江和龙镇, 南至吉林省的四平, 西到大兴安岭山前台地及内蒙哲里木盟东部地区, 东达黑龙江省宾县。此外, 在小兴安岭以东的佳木斯、集贤、富锦和内蒙古的额尔古纳旗、喜桂图旗、伊繁河流域也有黑土小面积分布。黑土东、南与白浆土和暗棕壤相连, 西与黑钙土和盐渍土接壤, 其主体呈弧形 (图 1), 分布于 $122^\circ \sim 132^\circ \text{E}$, $43^\circ \sim 50^\circ \text{N}$ 之间。

1.2 降 雨

降雨量和降雨强度是影响黑土水土流失的重要因素。该地区属温带半湿润大陆季风性气候, 年降水量在 500~ 600 mm 之间, 且 80% 集中在 6~ 9 月。造成黑土区土壤流失主要是短历时 (0.5~ 4 h)、中雨量 (20~ 50 mm)、高强度 (平均雨强为 5~ 20 mm/h) 的降雨。黑土区各种降雨参数与土壤流失量的相关程度以瞬时雨率最为密切, 其次是降雨量, 再次是降雨强度, 最差的是降雨历时^[12]。

收稿日期: 2006- 02- 21; 修订日期: 2006- 08- 19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40471125)、吉林省科技发展计划资助项目 (20050206- 4) 资助。

作者简介: 张晓平 (1957-), 男, 吉林省长春市人, 研究员, 主要从事土壤学研究。E-mail: zhangle829@ hotmail.com

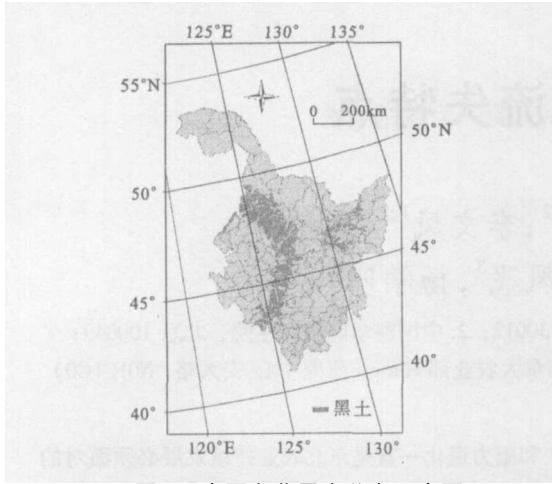


图 1 中国东北黑土分布示意图

Fig 1 Sketch of black soil distribution in China

1.3 温度

黑土分布在东北季节性冻土区内,区内年均气温 $0.5 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$,冬季寒冷漫长,积雪覆盖,土层冻结深度一般 $1.5 \sim 2.0\text{ m}$,冻结延续时间为 $120 \sim 200$ 天。黑土成土过程是一种特殊的草甸化过程,冻融是这种特殊草甸化过程的主要因子。受冻融作用和冻层影响,黑土可蚀性大大增强。

1.4 风

黑土区西邻松嫩平原盐渍土区,受蒙古高压的影响,季风强烈。春季,常有低压系统自贝加尔湖移入本区,在低压前部常出现强大的西南气流,后部则有猛烈的西北气流入侵,时常出现大风天气。黑土区春季十年九旱,每年春季风多、风大、风期长,这是引起黑土区(尤其是中西部地区)风蚀的主要因素。

1.5 地形地貌

黑土区的地形主要为山前波状起伏台地或漫岗地,海拔高度 $180 \sim 300\text{ m}$,坡度一般为 $1^{\circ} \sim 5^{\circ}$,个别地方可到 8° 以上。在小兴安岭和长白山山前冲积洪积台地区域,地形复杂,地面坡度多在 5° 以下,坡长多为 $500 \sim 1\,000\text{ m}$,由于汇水面积大,在遇到大雨或暴雨时,常出现细沟侵蚀,并在坡面汇水线处汇流,发生沟壑侵蚀。在洪积平原区域,地面波状起伏,坡缓坡长,地面坡度大部分在 3° 以下,坡长多为 $800 \sim 2\,000\text{ m}$,由于坡面较长,在降雨量和降雨强度较大时,易发生溅蚀和细沟侵蚀。由于受地貌部位和地形起伏变化的影响,黑土土壤侵蚀发展情况不尽相同,在坡度突然变陡的地方,土壤侵蚀较为严重,可能出现“破皮黄”和“露黄”黑

土。在大于 8° 的地形坡度上(多在黑土的北部),沟蚀现象较为常见。

1.6 成土母质

成土母质在很大程度上影响土壤的质地、结构、孔隙度、透水性;而土壤质地、结构、孔隙度、透水性又是影响土壤可蚀性的重要因素。黑土区成土母质主要为砂砾、黄土状粘土。黑土母质的厚度可达 $10 \sim 40\text{ m}$,机械组成以粗粉砂和粘粒为主,质地较为粘重。由于黑土多发育在粘土层上部,母质层透水不良,在一定程度上阻碍了土壤水分的下渗。黑土成土母质的这种性质容易形成“上层滞水”现象,夏季降水集中时易产生地表径流,使土体遭到侵蚀,这一现象在白浆化黑土上表现的尤为突出。

1.7 植被与腐质层

黑土的自然植被为草原化草甸植被,以杂草群落“五花草塘”为典型代表。在土壤含水量较低的地段,常是榛子-杂草、兔毛蒿、大针茅等群落;在土壤含水量较高的地段常是沼柳、杂类草群落。在温带季风气候影响下,黑土区夏秋季节温暖多雨,雨热同季,草甸草本植物生长繁茂,其根系深而密,地上和地下都积累了大量的有机物质。表层土壤有机质含量丰富是黑土的重要特性。由于原始黑土土壤有机质含量丰富(一般为 $3\% \sim 6\%$,高者可达 15%),所以侵蚀造成的同等体积土壤流失,黑土有机碳的损失量、肥力下降幅度以及对农业生产力的破坏程度可能要远远大于等面积的黄土高原。

2 黑土的水土流失方式和特点

2.1 侵蚀形式

东北黑土区面积大,区内丘陵漫岗平地交错分布。因此,黑土区存有多种水土流失形式,包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀和冻融侵蚀。水力侵蚀又可分为坡面侵蚀(溅蚀、细沟侵蚀)和沟壑侵蚀(浅沟、切沟、冲沟)。冻融侵蚀包括融雪径流侵蚀和沟壑冻融侵蚀。重力侵蚀通常与冻融侵蚀交互影响、共同作用。

1) 水力侵蚀。由于黑土多分布在波状起伏台地或漫岗地上,坡缓且长,地面坡度大部分在 5° 以下,坡长多为 $500 \sim 2\,000\text{ m}$ 。由于历史原因耕地多为顺向打垄,植被覆盖度低,溅蚀和细沟侵蚀是黑土耕地最为普遍的侵蚀形态,在黑土侵蚀中占有非常重要的位置。

黑土沟壑侵蚀多发生在区域降水以暴雨形式居多,地面坡度大于 8° ,土地利用方式不尽合理的区域(秸秆不还田,地表裸露的区域)。受冻融作用的影响,黑土区北部侵蚀沟的数量、密度和侵蚀强度要高于南部地区。

2) 冻融侵蚀和重力侵蚀。冻融侵蚀是东北黑土区不可忽视的一种侵蚀类型。东北黑土区的冻融侵蚀方式可分为两种:一是融雪径流侵蚀,二是沟壑冻融侵蚀。黑土区冻融作用是沟壑冻融侵蚀的最初营力,是重力作用的先决条件,而其最终形态往往是重力侵蚀^[13]。冻融交替对土壤的稳定性、土壤密度、土壤渗透性、土壤含水量都有极深的影响。冻结引起土壤物理特性的变化往往影响到寒冷地区的土壤流失^[14]。

黑龙江北部季节性冻土区冻土深度在2 m左右,最大冻土深度能达到2.4~2.6 m,土壤结冻至次年冻层全部融解需要120~200天,一般季节性冻层要在6月中下旬或7月初才能融通^[19]。此时已经进入黑土区的雨季,土壤含水量高,且由于冻层的存在,雨水很难下渗,雨后更加容易形成地表径流,造成水土流失。例如,1998年6月中下旬嫩江上游普降暴雨,7月中下旬嫩江中、下游又发生了连续降雨过程;7月份嫩江流域的平均降雨量为241.6 mm,比历年同期平均降雨量多97.1 mm。由于此次降雨过程历时较长,落区重复,致使嫩江中、下游发生较大洪水。6月东北黑土区北部土壤季节性冻层尚未融通,大雨使黑土土壤水处于饱和状态,并发生水蚀。7月的大暴雨使黑土区的水土流失变得更为严重。在水蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀的叠加作用下,1998年6月和7月期间东北黑土区北部形成了许多新的侵蚀沟。可见水蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀的叠加作用是东北黑土区(尤其是北部地区)土壤侵蚀较为严重的主要原因之一。

3) 风蚀。黑土区中西部(西邻松嫩平原盐渍

土区)风速较大,降水偏少,年均风速 $4\sim 5\text{ m/s}$,历年大于8级风日数为10~50天,主要发生在春季,极端最大风速可达 30 m/s 。黑土区干旱季节(春季)与产生起沙风速在时间上同步,加上黑土表土结构松散,又经历反复冻融,土壤颗粒细碎,秋翻地和春季灭茬地甚至“土如细面”,大风来临,细碎的表土被风轻易带走,导致该区春季风蚀强烈,有时一次大风可将黑土表土吹走 $1\sim 2\text{ cm}$ 。

2.2 侵蚀特点

1) 河道输沙量。在相近的流域控制面积和年径流量下,嫩江和松花江与黄河的水沙特征值明显不同(表1)。嫩江、松花江(嫩江江桥、嫩江大赉、松花江哈尔滨)水文站点的多年平均年输沙量(10^8 t)要比黄河对应站点(黄河唐乃亥,黄河兰州,黄河头道拐)分别低 $7\sim 50$ 倍和17倍。嫩江和松花江对应站点的年平均含沙量(kg/m^3)要比黄河对应站点分别低 $7\sim 36$ 倍和30倍。从表2可以看出,松花江佳木斯站观测的集水面积与黄河陕县站集水面积相当,虽然松花江佳木斯站的多年平均流量比黄河陕县站大 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$,但松花江佳木斯站多年平均含沙量、多年平均输沙量、多年平均输沙模数却分别比黄河陕县站小215、149倍和112倍^[15]。由此可见,黑土区河道输沙量小是一个不争的事实。坡面侵蚀面积大,河道输沙量小是黑土区土壤侵蚀的鲜明特点之一,这可能与黑土侵蚀区的大量侵蚀物质在缓坡下堆积有关。

2) 不同地形部位土壤的年流失量。通用土壤流失方程为 $A=RKLS\text{CP}$ 。式中, A 表示年土壤流失量 $[\text{t}/(\text{ha}\cdot\text{a})]$; R 表示降雨侵蚀力,本文 R 值选用黑土中心地区哈尔滨的多年(1956~1984)平均值, R 值为 $147^{[16]}$; K 表示土壤可蚀性,采用张宪奎的黑土实测 K 值,数值为 $0.26^{[17]}$; C 表示轮作方式,选用大豆、玉米轮作,取值为 0.260 ; P 表示水土保持措施,取值条件设定无水土保持措施,取

表 1 嫩江、松花江、黄河 6 站实测水沙特征值 (多年平均值)

Table 1 Measured characteristic values of sediment in 6 stations along to Nenjiang River
Songhua River and Yellow River (multiannual mean value)

水文控制站名	黄河唐乃亥	嫩江江桥	黄河兰州	嫩江大赉	黄河头道拐	松花江哈尔滨
流域控制面积 (10^4 km^2)	12.2	16.26	22.26	22.17	36.79	38.98
年径流量 (10^8 m^3)	204.1	217.9	315.8	226.8	227.4	437.6
年输沙量 (10^8 t)	0.129	0.0187	0.763	0.0152	1.161	0.0676
年平均含沙量 (kg/m^3)	0.59	0.084	2.35	0.064	4.63	0.154

资料来源: 中华人民共和国水利部《中国河流泥沙公报》, 2003

表 2 河流泥沙量特征值

Table 2 Characteristic values of sediment amount in rivers

水系	河名	站名	集水面积 (km ²)	多年平均流量 (m ³ /a)	多年平均含沙量 (kg/m ³)	多年平均输沙量 (10 ⁴ t/a)	多年平均输沙模数 t/(km ² ·a)
黑龙江	松花江	佳木斯	527759	2394	0.175	1069	20.7
黄河	黄河	陕县	687869	1350	37.7	160000	2330

资料来源:中国水利学会泥沙专业委员会,泥沙手册. 1989

值为 k ; L 表示坡长 (m), S 表示坡度 ($^{\circ}$)。利用方程中 $RKCP$ 4 个因子在黑土坡耕地上的取值, 可以得出黑土坡耕地在无水水土保持措施的条件年下土壤的流失量, 黑土土壤流失量的计算公式为 $A = 9.945LS$, $LS = 0.0719L^{0.188}S^{1.3[18, 19]}$ 。从图 2 可以看出, 坡长 500 m 情况下黑土土壤流失量差异很大, 按 3° , 5° , 8° , 15° 坡度排序, 土壤流失量成倍增长; 3° 坡度下黑土的年侵蚀量很小, 只有 9.14 t/hm^2 , 而 15° 坡度下年侵蚀量已高达 74.04 t/hm^2 。由此可见, 要准确计算黑土的年侵蚀量, 先决条件是要准确量算黑土的地形坡度及其面积。

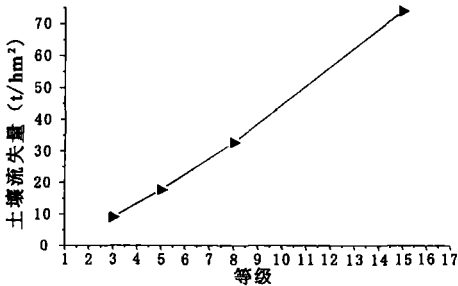


图 2 500 m 坡长下不同坡度土壤流失量
Fig 2 Amount of soil loss at different gradients
in a slope length of 500m

3) 坡度与面积。东北黑土区最为显著的区域地形特点是坡面缓长。黑龙江土地资源中各市耕地坡度分级面积表表明^[20], 在黑土为主要土壤类型的齐齐哈尔地区和绥化地区, $< 6^{\circ}$ 的耕地面积分别占 99% 和 97%。缓长的坡面为坡面侵蚀营造了良好的地形条件, 坡面侵蚀成为东北黑土区水土流失的最为普遍的形式。由于黑土区坡度 $< 6^{\circ}$ 的面积超过 97%, 且整个区域相对高程和绝对高程小, 其侵蚀特点是侵蚀迁出物质的迁移距离很短, 坡上迁移物质往往在坡下就有相当程度的堆积。

4) 侵蚀与堆积。土壤侵蚀过程包括土壤物质的侵蚀、迁移和堆积过程。我们在黑土的典型漫岗区 (吉林省德惠市松花江镇西南 5 km 的老少沟

小流域, $125^{\circ}51'6''\text{E}$, $44^{\circ}43'0''\text{N}$), 应用燃煤飞灰 (用来作为 1903 年以来的示踪物质) 和 ^{137}Cs (用来作为 1950 年末 1960 年初以来的示踪物质) 两种示踪技术对黑土的侵蚀和堆积过程和数量进行定量研究。发现研究区坡中位 (坡肩和坡背) 侵蚀最为强烈, 平均侵蚀速率为 $30.31 \text{ t/(hm}^2 \cdot \text{a)}$ 和 $18.64 \text{ t/(hm}^2 \cdot \text{a)}$; 坡脚和坡足则表现出明显的沉积, 最大沉积深度分别为 80 cm 和 60 cm, 沉积速率分别为 8 mm/a 和 6 mm/a 。按照吉林黑土的土壤侵蚀分类分级标准 ($< 0 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ 、轻度 $[0 \sim 15 \text{ t/(hm}^2 \cdot \text{a)}]$ 、中度 $[(15 \sim 50) \text{ t/(hm}^2 \cdot \text{a)}]$ 、强度 $[> 50 \text{ t/(hm}^2 \cdot \text{a)}]$ 划分, 研究区里遭受中度侵蚀和轻度侵蚀的土壤分别占到全区面积的 43.1% 和 36.3%, 没有出现强度侵蚀, 土壤沉积面积占全区面积的 20.7%。这说明, 土壤侵蚀一方面加速坡顶、坡肩和坡背地形较高部位土壤的损耗, 同时迁移的部分土壤物质在低洼的景观部位累积^[21~23]。黑土区河道输沙量虽小, 但黑土区水土流失面积大, 水土流失造成黑土表层在空间上发生的位移现象对黑土资源影响很大。虽然黑土区水土流失强度无法与黄土高原相比较, 但它对黑土区资源、生态和农业生产力的破坏程度可能不同于等面积的黄土高原, 有待进一步研究。

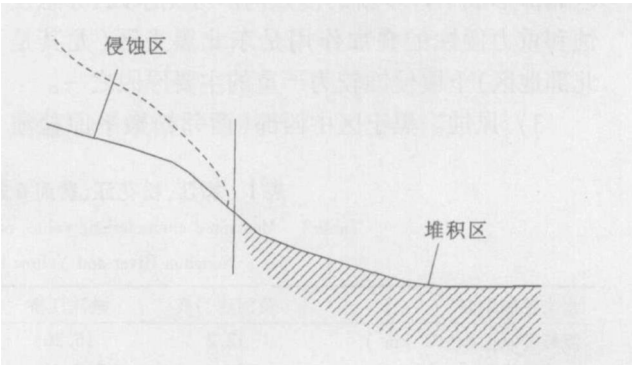


图 3 黑土坡耕地土壤侵蚀与堆积示意图
Fig 3 Sketch of soil erosion and deposition
of black soil at a sloping farmland

3 黑土区水土流失防治对策

3.1 水平梯田

水平梯田是治理黑土区侵蚀较为严重地区(坡度 $>8^{\circ}$ 且侵蚀沟密度较大)的一个有效方法。在黑土区的北部,如黑龙江的拜泉、克山和克东等地区,由于水蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀的叠加作用,土壤侵蚀较为严重,平均沟壑密度指数可达 0.17 km/km^2 。人们在治理上述地区沟壑侵蚀的过程中总结了很多宝贵的经验,其中包括“十子登科法”等,并取得了很好的治理效果。但水平梯田工程规模大,标准高,造价高,适于在大于 8° 坡度的黑土地区实施。由于黑土区大于 8° 坡度的地形不到黑土土地总面积的 3% ,所以在治理这部分水土流失时,应该采用生物和农艺措施,以之代替耗资费时的水平梯田。

3.2 等高耕作

按垄向不同,可将黑土区耕作方式分为顺垄、横垄和斜垄。这三种垄作的冲刷量是顺坡垄 $>$ 斜坡垄 $>$ 横坡垄,黑土区顺坡垄比横垄径流量和冲刷量大数倍。黑土区目前多采用顺坡垄,这是因为黑土开荒初期顺坡垄作能及时排除荒地多余的水分,这对于降水集中且质地黏重的黑土区作物生长十分有利。然而,长期顺坡耕种使黑土流失量增大,土壤肥力降低,抗旱能力减弱。因此,只有采取正确的耕作措施才能减少土壤侵蚀的发生,保持土壤肥力。将顺坡和斜坡耕种改为等高耕作是降低黑土区水土流失的一个简单、经济、有效的方法。

3.3 保护性耕作

黑土区的坡耕地具有坡缓且长的特点,适合采用合理的耕作措施来防治水土流失。保护性耕作是在东北黑土区刚刚兴起的一项新耕作技术。保护性耕作是以保持水土、减低生产投入、持续利用土地为目标的耕作技术体系。联合国粮农组织称这种方法为新的耕作革命。保护性耕作基本不翻动土层,加上有作物残茬和秸秆保留在土壤表层,避免了雨滴溅蚀与风蚀表土的过程,减轻了土壤侵蚀。与传统的耕作方法相比,保护性耕作技术可减少地表径流量和土壤流失,具有明显的保水、固土效果,可减少风蚀和水蚀,同时还可增加有机质含量和土壤肥力,提高土壤含水量(对十春九旱的黑土区抗旱播种十分有利),提高粮食产量,改善生态环境。

东北黑土的土壤状况、环境条件(如气温和降水量)和农业生产(玉米和大豆为主要作物)适宜采用保护性耕作。随着生产力水平的提高和人们对保护黑土资源重视程度的提高,保护性耕作的作作用将日益突出。最为重要的是东北黑土区的 97% 的土地的地形坡度在 6° 以下,不适宜在这样的黑土区修建水平梯田。黑土区是中国非常重要的商品粮基地,也不可能将大片的黑土耕地退耕还林、还草。所以,大面积推广保护性耕作,对于防止黑土水土流失,保护黑土资源,促进东北黑土带的农业生产可持续发展具有十分重要的意义^[24]。

4 小 结

水蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀的叠加作用是东北黑土区北部地区土壤侵蚀较为严重的主要原因之一。黑土区最为显著的地形特点是坡面缓长, $<6^{\circ}$ 的坡度占整个黑土区土地面积的 97% 以上。面蚀是黑土区最为普遍的侵蚀方式。土壤侵蚀一方面加速坡耕地地形较高部位土壤的损耗,同时迁移的部分土壤物质在低洼的景观部位累积。坡上侵蚀与坡下堆积是黑土区较为普遍的现象,这也是黑土区河流泥沙含量小的主要原因。黑土区沟壑侵蚀多发生在 8° 以上的地形坡度上。保护性耕作对于防止黑土水土流失,促进东北黑土带的农业生产可持续发展具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] Gallaher R N, Hawfl. Role of conservation tillage in production of a wholesome food supply [A]. In Gallaher R N (ed). Proceedings of the 20th Annual Southern Conservation Tillage for Sustainable Agriculture [C]. University of Florida Gainesville, FL, 1997. 23-27.
- [2] Brown S M, Whithell T, Touchton T T, et al. Conservation tillage for cotton production [J]. Soil Science Society of America Journal 1985 (49): 1256-1260.
- [3] 王其存,齐晓宁,王洋,等.黑土的水土流失及其保育治理[J].地理科学,2003,23(3):361-365.
- [4] 杨学明,张晓平,方华军.农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J].地理科学,2003,23(1):101-106.
- [5] 杨学明,张晓平,方华军,等.20年来部分黑土耕层有机质和全氮含量的变化[J].地理科学,2004,24(6):710-714.
- [6] Tenge A J, Kahura F B S, Lal R, et al. Erosion effects on soil moisture and com y ield on two soils at Mlingano, Tanzania [J]. American Journal of Alternative Agriculture 1998 (13): 83-89.
- [7] 杨瑞珍.我国耕地水土流失及其防治措施[J].水土保持通

报, 1994 **14**(2): 32~ 36.

[8] 吉林省土壤肥料工作站. 吉林土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[9] 郑北鹰, 朱伟光. 东北黑土地会在 50 年内消失吗? [N]. 光明日报, 2001- 01- 12.

[10] 彭文英, 张科利, 江忠善, 等. 黄土高原坡耕地退耕还草的水沙变化特征 [J]. 地理科学, 2002 **22**(4): 397~ 402.

[11] 詹 敏. 黑土侵蚀区降雨参数与土壤流失关系 [J]. 黑龙江水专学报, 1998, (1): 40~ 43.

[12] 刘殿伟, 宋开山, 王丹丹, 等. 近 50 年来松嫩平原西部土地利用变化及驱动力分析 [J]. 地理科学, 2006 **26**(3): 277~ 283.

[13] 翁永玲, 宫 鹏. 土壤盐渍化遥感应用研究进展 [J]. 地理科学, 2006 **26**(3): 369~ 375.

[14] 郑粉莉, 武 敏, 张玉斌, 等. 黄土陡坡裸露坡耕地浅沟发育过程研究 [J]. 地理科学, 2006 **26**(4): 438~ 442.

[15] 杨 新, 郭江峰, 刘洪鹤, 等. 东北典型黑土区土壤风蚀环境分析 [J]. 地理科学, 2006, **26**(4): 443~ 448.

[16] 胡 刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. 东北漫川漫岗黑土区浅沟和切沟发生的地貌临界模型探讨 [J]. 地理科学, 2006, **26**(4): 449~ 454.

[17] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究 [J]. 水土保持通报, 1992 **12**(4): 1~ 9.

[18] Sharatt B S, Lindstrom M J, Benoit G R, et al. Runoff and Soil Erosion during Spring Thaw in the Northern U. S. Corn Belt [J]. Soil and Water Conservation 2000 **55**(4): 487~ 494.

[19] 唐 蕴, 王 浩, 严登华, 等. 近 50 年来东北地区降水的时空分异研究 [J]. 地理科学, 2005 **25**(2): 172~ 176.

[20] 许炯心. 水沙条件对黄河下游河道输沙功能的影响 [J]. 地理科学, 2004 **24**(3): 275~ 280.

[21] 景 可, 王万忠, 郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[22] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江土壤流失方程的研究 [J]. 水土保持通报, 1992, **12**(4): 1~ 9.

[23] 乔欣欣, 杨育红, 孙靖峰. 黑土坡耕地水土保持田间措施的选择 [J]. 黑龙江水利科技, 2001 (2): 93~ 94.

[24] 孔亚平, 张科利, 杨红丽. 土壤可蚀性模拟研究中的坡长选定问题 [J]. 地理科学, 2005 **25**(3): 374~ 378.

[25] 黑龙江省土地管理局, 黑龙江土地勘测规划院. 黑龙江土地资源 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.

[26] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. 坡耕地黑土有机碳空间异质性及其格局 [J]. 水土保持通报, 2005 **25**(3): 20~ 24, 28.

[27] 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.

[28] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. 利用燃煤飞灰作为时间标记物评价坡耕地黑土侵蚀物质和有机碳的再分配 [J]. 土壤学报, 2005 **42**(1): 16~ 23.

[29] 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 北美保护性耕作及对中国的意义 [J]. 应用生态学报, 2004, **15**(2): 335~ 340.

Erosion Characteristics of Black Soils in Northeast China

ZHANG Xiao-Ping¹, LIANG Ai-Zhen^{1, 2}, SHEN Yan^{1, 2}, LI Wen-Feng^{1, 2},
ZHANG Xue-Lin¹, WANG Yu-Xi¹, XIE Yun-Jie³, LIU Feng-Fei³, YANG Xue-Ming⁴

(1 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences Changchun, Jilin 130012;
2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049; 3 Heilongjiang Soil and Water
Conservation Research Institute, Bin County, Heilongjiang 150400; 4 Harrow Research
Centre, Agriculture & AgriFood Canada, Harrow, Ontario, Canada, NOR 1G0)

Abstract Black soils in Northeast China is main agricultural resources for grain production in China. The sustainability of agriculture in Northeast China is jeopardized by soil erosion and degradation of soil fertility. This article took the black soil as a target to analyze its erosion types and characteristics. Surface erosion by water is the most dominant erosion process for the majority of black soils in the region. Many eroded soil materials associated with the runoff have been re-deposited in low-lying land. Reasonable agronomic management practices can conserve black soils from erosion and regain black soil fertility, including contour ploughing and conservation tillage.

Key words black soil; soil erosion; conservation; tillage