

紫色土坡地土壤性质对耕作侵蚀的影响

李富程, 花小叶, 江仁涛, 樊敏

(西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: [目的] 揭示土壤性质对耕作侵蚀土壤的敏感性, 为紫色土区域采取适宜的耕作措施提供依据。[方法] 利用磁性示踪技术定量旋耕机上下耕作和等高耕作的土壤耕作位移和土壤位移量, 选取土壤容重、土壤含水量、土壤有机质、土壤全氮、土壤有效磷、土壤抗剪强度和土壤紧实度等土壤理化性质和力学性质指标, 研究土壤性质对旋耕机上下耕作和等高耕作的耕作侵蚀的影响特征。[结果] 旋耕机上下耕作和等高耕作的土壤净位移和净位移量不仅受坡度影响, 也受土壤性质的影响。土壤力学性质和土壤物理性质对旋耕机耕作侵蚀有显著影响, 对于上下耕作的土壤抗剪强度、土壤紧实度和土壤容重与土壤净位移量呈显著正相关。对于等高耕作措施的土壤抗剪强度、土壤紧实度、土壤容重和土壤含水量与土壤净位移量呈显著正相关, 其他指标关系不显著。[结论] 土壤抗剪强度、土壤紧实度和土壤容重可以作为评价耕作侵蚀的土壤可蚀性指标。

关键词: 耕作侵蚀; 土壤性质; 耕作方向; 磁性示踪; 土壤可蚀性; 紫色土

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0152-06

中图分类号: S157.1

文献参数: 李富程, 花小叶, 江仁涛, 等. 紫色土坡地土壤性质对耕作侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 152-157. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.028

Effects of Soil Properties on Tillage Erosion on Hillslopes of Purple Soil

LI Fucheng, HUA Xiaoye, JIANG Rentao, FAN Min

(College of Resource & Environment, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: [Objective] Soil property is one of the important factors that influence the tillage erosion intensity. Revealing soil erosion susceptibility by tillage operations under different soil conditions was expected to provide basis for the adoption of appropriate tillage measures on steep land. [Methods] Magnetic tracer was used to measure the soil translocation and soil flux under up and down slope tillage and contour tillage by rotary cultivator. The effect of variations in soil properties on net soil displacement and the associated tillage erosion was investigated for the two tillage practices in purple soil under two different soil conditions is consolidated soil (conventional tillage about half a year ago) and loosened soil (consecutive tillage for 20 times tillage operations). Seven soil physical, chemical and mechanical properties were selected as indices, including soil bulk density, soil water content, soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus, soil shear strength and soil compactness. [Results] The results showed that net soil displacement distance and soil flux were not only influenced by slope gradient but also by soil properties irrespective of tillage practices. Soil mechanical and physical properties had significant impacts on tillage erosion. For the up and down slope tillage, net soil translocation rate was significantly positively correlated with the indices of soil shear strength, soil compactness, and soil bulk density. For the contour tillage, net soil translocation rate was significantly positively correlated with the indices of soil shear strength, soil compactness, soil bulk density and soil water content. No significant correlations were found between net soil translocation rate and soil chemical properties index for the two practices. [Conclusion] It is suggested that soil shear strength, soil compactness and soil bulk density could be taken as indicators in evaluating soil erodibility for tillage erosion.

Keywords: tillage erosion; soil properties; tillage direction; magnetic tracer; soil erodibility; purple soil

收稿日期: 2015-08-14

修回日期: 2015-09-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“四川紫色土区耕作机具与坡面要素的适配机制”(41401301); 西南科技大学博士资助项目(13zx7129)

第一作者: 李富程(1982—), 男(汉族), 吉林省蛟河市人, 博士, 讲师, 主要从事农业生态与水土保持研究。E-mail: lfckind@163.com。

中国紫色土资源广泛分布于四川、重庆、云南、湖南等 16 个省(市),面积约达 $2.00 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[1]。紫色土是由形成于不同地质年代主要包括三叠系、侏罗系、白垩系和第三系的红层发育形成的一类土壤^[2],新近研究显示紫色土并不是我国的一种特有土壤,在国外也广泛存在,是一种全球性土壤^[3-4]。紫色土成土时间和发育过程较短,土壤性质与母岩性质息息相关^[5],紫色母岩类型的多样化注定了土壤性质的多样性。不同紫色土分布区的气候、地貌等自然要素对土壤性质有重要影响,而且耕作、施肥等人类活动也对土壤性质产生影响。自然要素和人类活动的共同作用导致紫色土不同分布区、不同地块甚至同一地块不同景观部位的土壤性质存在显著差异^[6-7]。紫色土一般具有矿质养分丰富、自然肥力高、宜种作物多等特点,是一种不可多得的、重要的农业土壤资源,但抗旱性差、侵蚀强烈、退化严重等问题制约了紫色土资源在农业发展中的作用^[1]。这些制约因素无不与耕作侵蚀有关,耕作侵蚀发生的部位正是紫色土坡地土层最薄、侵蚀最强烈、退化最严重、粮食产量最低的区域^[8]。已有的研究结果^[9-10]显示土壤性质是影响耕作侵蚀强度的重要因素,因地制宜地优化耕作操作,选择能够减小耕作侵蚀的耕作机具和耕作方式,是一种经济可行的土壤保持措施。紫色土耕作侵蚀研究已有约 10 a,在耕作侵蚀定量、耕作侵蚀与坡度的关系、耕作侵蚀对地形演化、元素迁移的影响等方面取得了重要进展^[11-17],但关于土壤性质与耕作侵蚀的关系几乎未涉及,而且已有研究多关注于人力锄耕、家畜犁耕等传统耕作方式,对小型旋耕机的耕作侵蚀研究有待加强^[18]。因此,本研究选取土壤理化性质和土壤力学性质指标,分析土壤性质对旋耕机耕作的土壤耕作位移和土壤位移量的影响特征,为紫色土耕作侵蚀防治提供重要数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省绵阳市新桥镇($31^{\circ}33'14''\text{N}$, $104^{\circ}47'50''\text{E}$)。该区土壤类型为城墙岩群组(K_1c)石灰性紫色土,土层厚度一般介于 20—60 cm。气候类型为亚热带湿润季风气候,多年平均降水量和蒸发量分别为 986.5 和 550 mm。坡地农作物主要有油菜(*Brassica campestris*)、玉米(*Zea mays*)、红薯(*Ipomoea batatas*)、花生(*Arachis hypogaea*)等。传统耕作方式为畜力(牛)犁耕,近年来政府加大了农户购买农机补贴力度,旋耕机耕种面积呈逐年上升趋势。

旋耕机的耕作方向主要有等高耕作、上下耕作、环状耕作。

1.2 试验设计

选择 3 块中等坡度的坡地,在耕作试验前有半年未耕过,其中 2 块保持其未耕状态,另一块进行重复耕作 20 次。在 3 块坡地不同坡位布置一系列的耕作试验小区,小区的尺寸为 $1.0 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} \times 0.08 \sim 0.12 \text{ m}$,长边平行于等高线方向,共布置 65 个示踪小区。耕作试验前利用环刀对每个示踪小区进行取样,取样深度距土壤表面 $0.03 \sim 0.08 \text{ m}$,每个示踪小区取 3 个平行样,混合后带回实验室用于土壤性质分析。旋耕机的耕作方向采用上下耕作和等高耕作,上下耕作设置 41 个示踪小区,坡度介于 $4.45\% \sim 14.47\%$,平均坡度为 10.60% ;等高耕作设置 24 个示踪小区,坡度介于 $4.15\% \sim 15.43\%$,平均坡度为 10.78% 。利用重庆吉宝机械制造有限公司生产的吉宝牌柴油旋耕机(1 WG6.3~135 FC-XDS)进行耕作,其主要技术参数为:旋耕机总重 120 kg,尺寸 $1.70 \text{ m} \times 1.35 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}$;发动机的功率 6.3 kW,转速 3 600 r/min;旋耕刀总数 32 把,幅宽 135 cm,直径 33.5 cm。耕作速度设置为快档,耕作深度为 $0.08 \sim 0.12 \text{ m}$ 。为了使土壤达到一定的细度和深度,农民在实践中一般连续耕作 2 遍。本试验与实践保持一致,上下耕作和等高耕作分别耕作 2 遍,上下耕作第 1 遍沿顺坡方向从下坡向上坡耕作,第 2 遍从上坡向下坡耕作;等高耕作第 1 遍从下坡开始沿等高线方向来回连续耕作,第 2 遍耕作与第 1 遍耕作路径保持一致。

1.3 测定方法

土壤耕作位移和土壤位移量采用磁性示踪法测定,具体测定方法参见文献^[15]和^[18]。土壤磁化率利用捷克产的高精度磁化率仪(SM-30)测定,灵敏度达 10^{-7} SI 。磁性示踪剂选用具有磁性强、粒径小、颜色深等特点的钛铁矿粉,钛铁矿粉是一种黑色粉末,粒径为 200 目,主要成分为二氧化钛、三氧化二铁和氧化铁。

土壤性质指标选择 3 类指标:土壤物理性质、土壤化学性质和土壤力学性质。土壤物理性质指标有土壤容重和土壤含水量,土壤化学性质指标选用有机质、全氮和有效磷,土壤力学性质指标选用土壤抗剪强度和土壤紧实度。土壤容重和土壤含水量分别采用环刀法和烘干法进行测定。有机质和全氮分别采用低温外热重铬酸钾氧化—比色法和半微量凯氏法测定^[19],有效磷的测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗分光光度法^[20]。土壤抗剪强度利用 14.10 Pocket Vane Tester 型三头抗剪仪在田间原位测定,其中未耕地采用 CL101 型(中号)旋头,模拟耕地采用

CL101 型(大号)旋头,测定深度分别为距土壤表层 0,5 和 10 cm 处,每层做 4 个重复。土壤紧实度利用浙江托普仪器有限公司研制的 GPS 土壤紧实度仪(TJSD-750-II)进行测定,探针插入耕层深度为 15 cm,每个示踪小区重复测定 4 次。

1.4 耕作位移与耕作侵蚀计算

耕作位移计算模型为^[12]:

$$D = \int_0^L \left(1 - \frac{C(x)}{C_0}\right) dx \quad (1)$$

式中: D ——土壤平均耕作位移(m); C_0 ——耕作前示踪小区的土壤磁化率(SI); $C(x)$ ——耕作后示踪路径的土壤磁化率(SI); L ——取样的最大距离(m)。应用此公式分别计算向上位移(D_{up})和向下位移(D_{down}),分别表示以示踪小区中心线为基准,耕作引起的土壤平均向上坡和向下坡移动距离,二者之差为土壤净位移(D_{net})。

土壤净位移计算公式为^[13]:

$$Q = D \cdot D_i \cdot \rho_b \quad (2)$$

式中: Q ——每次耕作引起的土壤净位移量(kg/m);

D_i ——耕作深度(m); ρ_b ——土壤容重(kg/m³)。利用此公式计算向下位移量(Q_{down})和向上位移量(Q_{up}),二者之差为土壤净位移量(Q_{net})。

2 结果与讨论

2.1 耕作位移与土壤净位移量变化特征

上下耕作和等高耕作均导致土壤发生向上坡位移和向下坡位移,且向上位移小于向下位移,土壤发生向下坡净位移。在坡度 4.45%~14.47%,上下耕作产生的向上位移介于 0.01~0.07 m,平均值为 0.04 m,向下位移介于 0.02~0.12 m,平均值为 0.08 m,土壤净位移和土壤净位移量平均值分别为 0.04 m 和 6.17 kg/m(表 1)。在坡度 4.15%~15.43%,等高耕作产生的向上位移和向下位移平均值分别为 0.02 和 0.08 m,土壤净位移平均值为 0.06 m,变化范围为 0.01~0.10 m,土壤净位移量平均值为 8.57 kg/m,变化范围为 0.65~14.57 kg/m(表 2)。上下耕作和等高耕作引起的土壤净位移和土壤净位移量均随着坡度的增加而增大($p < 0.01$)。

表 1 上下耕作土壤耕作位移和土壤性质特征统计

项目	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 $C_v/\%$
坡度/%	41	4.45	14.47	10.60	1.99	18.77
向上位移/m	41	0.01	0.07	0.04	0.01	25.00
向下位移/m	41	0.02	0.12	0.08	0.03	37.50
净位移/m	41	0.00	0.09	0.04	0.03	75.00
净位移量/(kg·m ⁻¹)	41	0.00	13.08	6.17	3.55	57.54
容重/(kg·m ⁻³)	41	1 152	1 583	1 397	88.81	6.36
含水量/%	41	11.19	17.41	15.05	1.24	8.27
全氮/%	41	0.08	0.12	0.10	0.01	10.17
有机质/%	41	0.91	2.68	1.69	0.48	28.45
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	41	2.69	20.06	7.59	3.33	43.84
抗剪强度/(kg·cm ⁻²)	41	0.07	0.68	0.42	0.16	37.83
紧实度/(N·cm ⁻²)	41	9.80	412.43	247.04	112.46	45.52

表 2 等高耕作土壤耕作位移和土壤性质特征统计

项目	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 $C_v/\%$
坡度/%	24	4.15	15.43	10.78	2.60	24.12
向上位移/m	24	0.00	0.04	0.02	0.01	50.00
向下位移/m	24	0.04	0.12	0.08	0.02	25.00
净位移/m	24	0.01	0.10	0.06	0.02	33.33
净位移量/(kg·m ⁻¹)	24	0.65	14.57	8.57	3.94	45.97
容重/(kg·m ⁻³)	24	1 132	1 469	1 363	80.22	5.88
含水量/%	24	10.71	17.25	15.22	1.74	11.44
全氮/%	24	0.08	0.10	0.09	0.01	7.47
有机质/%	24	0.94	2.08	1.51	0.24	16.21
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	24	3.65	12.23	7.83	2.63	33.67
抗剪强度/(kg·cm ⁻²)	24	0.03	0.42	0.28	0.12	44.13
紧实度/(N·cm ⁻²)	24	9.50	313.23	186.79	90.01	48.18

通过方差分析比较上下耕作和等高耕作的耕作位移差异,结果显示两种处理的平均坡度和耕作深度无明显差异,上下耕作产生的向上位移和向下位移都显著大于等高耕作($p < 0.05$),然而上下耕作产生的土壤净位移却略小于等高耕作($p = 0.06$)。这主要是由于土壤净位移是向上位移与向下位移的平衡结果,上下耕作时向上位移随着向下位移的增大而增大($p = 0.04$),而等高耕作时向上位移和向下位移相对独立变化($p = 0.09$)。

按耕作动力划分,紫色土坡地目前存在旋耕机耕

作、人力耕作(锄头)和畜力耕作(牛)3种类型的耕作。旋耕机和牛拉犁的耕作方向多为上下耕作和等高耕作,锄耕的方向多为向下耕作和等高耕作。通过比较紫色土坡地不同耕作方式的土壤耕作位移和土壤位移量(表3),可以得出在中等坡度条件下,土壤耕作位移和土壤位移量的大小关系依次为:旋耕机上下耕作<旋耕机等高耕作<牛拉犁上下耕作<锄头等耕作<锄头向下耕作<牛拉犁等高耕作。该结果表明耕作方向是影响耕作侵蚀力的重要因素,旋耕机耕作相对于人力耕作和畜力耕作可以减小耕作侵蚀。

表3 紫色土坡地不同耕作工具的土壤耕作位移和土壤位移量

耕作动力	耕作方向	样本量/个	坡度/%	容重/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	耕作深度/ m	耕作位移/ m	位移量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)
旋耕机	上下耕作	41	10.60±1.99 ^a	1397±89 ^a	0.10±0.02 ^a	0.04±0.03 ^a	6.17±3.55 ^a
	等高耕作	24	10.78±2.60 ^a	1363±80 ^a	0.10±0.01 ^a	0.06±0.02 ^a	8.57±3.94 ^a
锄头 ^[13]	向下耕作	6	10.94±4.25 ^a	1246±41 ^b	0.22±0.01 ^b	0.17±0.03 ^b	42.75±4.46 ^b
	等高耕作	6	11.51±3.24 ^a	1310±103 ^c	0.15±0.01 ^b	0.05±0.01 ^a	9.25±1.17 ^a
耕牛 ^[8]	向下耕作	7	10.83±2.16 ^a	1384±59 ^d	0.16±0.01 ^b	0.25±0.06 ^c	57.70±13.88 ^c
	向上耕作	9	10.47±3.80 ^a	1447±16 ^c	0.15±0.01 ^b	0.23±0.05 ^c	51.41±9.63 ^c
	等高耕作	9	10.72±3.83 ^a	1457±48 ^c	0.16±0.01 ^b	0.23±0.04 ^c	53.40±9.98 ^c

注:坡度用LSD法进行多重比较,数据为平均值±标准差,同列不同字母表示组间差异显著($p < 0.05$);牛拉犁向上耕作的耕作位移为向上坡方向,其他为向下坡方向。

依据 Wilding 和 Drees 建立的变异性分级标准^[21],上下耕作引起的向上位移的变异性为中等变异($C_v > 10\%$),向下位移的变异性为强变异($C_v > 35\%$);相反地,等高耕作引起的向上位移的变异性为强变异,向下位移的变异性为中等变异。上下耕作的土壤净位移和土壤净位移量的变异性为强变异,而等高耕作的土壤净位移为中等变异,土壤位移量为强变异。变异性分析结果显示出不同耕作试验小区的土壤净位移和土壤净位移量存在明显差异。这种差异可能主要是由耕作方式、景观部位等不同导致耕作初始土壤条件不同引起的。

2.2 耕作试验小区土壤特征

上下耕作试验小区的土壤性质统计结果详见表1。由表1可以看,土壤容重的变异性为6.36%,属弱变异,土壤含水量的变异性为8.27%,也属弱变异。有机质和全氮含量的变异性分别为28.45%和10.17%,都属中等变异,有效磷含量的变异性为43.84%,属强变异。土壤抗剪强度和土壤紧实度的变异性分别为37.83%和45.52%,属强变异。比较所选择的3类土壤性质指标的变异性,土壤力学性质指标的变异性最强,其次是土壤化学性质指标,土壤物理性质指标的变异性最小。等高耕作试验小区的土壤性质统计结

果详见表2。由表2可以看出,土壤容重和土壤含水量的变异性分别为5.88%和11.44%,显示出土壤容重的变异性为弱变异,而土壤含水量的变异性达到了中等变异。有机质、全氮和有效磷的变异性分别为16.21%,7.41%和33.67%,表明有机质和有效磷变异性都达到了中等变异,全氮的变异性为弱变异。土壤抗剪强度和土壤紧实度的变异性分别为44.13%和48.18%,两者的变异性都达到了强变异。这些结果表明等高耕作与上下耕作试验小区土壤性质的变异性相似,等高耕作试验小区也呈现出土壤力学性质指标的变异性最强,土壤物理性质指标的变异性最弱。

2.3 土壤性质与耕作侵蚀的关系

上下耕作土壤耕作位移与土壤性质的关系详见表4。由表4可知,上下耕作引起的向上位移与土壤容重、土壤含水量都无显著相关性,向下位移与土壤容重、土壤含水量却呈现显著正相关($p < 0.01$),土壤净位移与土壤容重和土壤含水量无显著相关性。向上位移和向下位移与有机质、全氮、有效磷均无显著相关性,土壤净位移与有机质、全氮、有效磷也都无显著相关性。向上位移与土壤抗剪强度无显著相关性,向下位移与土壤抗剪强度呈显著正相关($p < 0.01$);与土壤抗剪强度不同,向上位移与土壤紧实度呈显著

负相关($p < 0.05$), 向下位移与土壤紧实度呈显著正相关($p < 0.01$); 土壤净位移与土壤抗剪强度和土壤紧实度均呈显著正相关($p < 0.01$)。土壤净位移量与土壤净位移和土壤性质的关系基本一致, 唯一不同的

是土壤净位移量与土壤容重呈显著相关性($p < 0.5$)。这些结果表明土壤抗剪强度、土壤紧实度和土壤容重对上下耕作的耕作侵蚀有明显影响, 而有机质等化学性质指标无明显影响。

表4 上下耕作土壤耕作位移与土壤性质关系矩阵

项目	向上位移	向下位移	净位移	净位移量	容重	含水量	有机质	全氮	有效磷	抗剪强度
向下位移	-0.044									
净位移	-0.531**	0.846**								
净位移量	-0.478**	0.809**	0.933**							
容重	0.077	0.444**	0.274	0.380*						
含水量	0.136	0.401**	0.208	0.161	0.218					
有机质	0.234	-0.021	-0.159	-0.093	0.283	0.129				
全氮	-0.254	-0.095	0.052	-0.027	-0.410**	0.271	-0.104			
有效磷	0.118	-0.112	-0.218	-0.172	0.298	-0.062	0.225	-0.200		
抗剪强度	-0.258	0.469**	0.503**	0.580**	0.599**	0.046	0.136	-0.225	0.263	
紧实度	-0.351*	0.460**	0.543**	0.590**	0.536**	-0.016	0.119	-0.151	0.222	0.890**

注: **表示在 $p < 0.01$ 水平上显著相关, *表示在 $p < 0.05$ 水平上显著相关。下同。

等高耕作土壤耕作位移与土壤性质的关系详见表5。由表5可知, 土壤容重和土壤含水量与向上位移无显著相关性, 与向下位移呈显著正相关($p < 0.05$), 土壤容重与土壤净位移呈显著正相关($p < 0.01$), 土壤含水量与土壤净位移也呈显著正相关($p < 0.01$)。

等高耕作土壤耕作位移与有机质、全氮的关系与上下耕作相似, 与上下耕作不同的是有效磷与向下位移的相关性达到了显著水平($p < 0.01$), 而且有效磷

与土壤净位移的相关性也达到了显著水平($p < 0.01$)。向上位移与土壤抗剪强度和土壤紧实度都无显著相关性, 而向下位移与土壤抗剪强度和土壤紧实度都呈显著正相关($p < 0.01$); 土壤净位移与土壤抗剪强度和土壤紧实度也都呈显著正相关($p < 0.01$)。土壤净位移量与土壤净位移和土壤性质的关系具有一致性。这些结果表明土壤抗剪强度、土壤紧实度、土壤容重和土壤含水量对等高耕作的耕作侵蚀有明显影响, 其他指标无明显影响。

表5 等高耕作土壤耕作位移与土壤性质关系矩阵

项目	向上位移	向下位移	净位移	净位移量	容重	含水量	有机质	全氮	有效磷	抗剪强度
向下位移	-0.090									
净位移	-0.524**	0.879**								
净位移量	-0.372	0.856**	0.879**							
容重	-0.245	0.444*	0.465*	0.633**						
含水量	-0.176	0.591**	0.558**	0.68**	0.876**					
有机质	-0.186	-0.317	-0.154	-0.151	-0.057	-0.051				
全氮	-0.218	0.138	0.197	0.259	0.407*	0.454*	0.156			
有效磷	-0.335	0.432*	0.516*	0.348	0.178	0.342	-0.134	0.494*		
抗剪强度	-0.241	0.670**	0.666**	0.727**	0.838**	0.893**	-0.132	0.499*	0.308	
紧实度	-0.206	0.689**	0.671**	0.749**	0.788**	0.838**	-0.267	0.492*	0.456*	0.912**

上下耕作和等高耕作引起的土壤净位移量与土壤容重都呈显著正相关($p < 0.05$), 表明土壤容重增加导致旋耕机耕作的土壤净位移量增大, 也就是说旋耕机在紧实土壤上耕作比在疏松土壤上耕作的土壤净位移量大。旋耕机耕作的土壤净位移量随着土壤抗剪强度和土壤紧实度的增加而增大, 这与土壤容重

与土壤净位移量的关系是一致的, 也表明疏松土壤的耕作侵蚀小于紧实土壤。这一结果与以往研究结果不同, 以往研究认为在疏松土壤条件下耕作传输土壤较紧实土壤更为容易, 由此导致疏松土壤耕作产生的土壤净位移大于紧实土壤^[22]。这种差异可能主要源于耕作机具传输土壤方式的不同。

3 结论

(1) 旋耕机上下耕作和等高耕作都导致土壤发生向上坡位移和向下坡位移,在坡度和耕作深度基本一致的情况下,上下耕作产生的向上位移和向下位移都显著大于等高耕作,然而上下耕作产生的土壤净位移却小于等高耕作,旋耕机特殊的土壤再分布模式改变了耕作方向与耕作侵蚀关系的传统认识,一般认为等高耕作的耕作侵蚀明显小于顺坡耕作,旋耕机上下耕作引起的向上位移抵消了向下位移的影响,导致土壤净位移减小。

(2) 通过不同耕作处理并将示踪小区设置在耕地不同景观部位,导致上下耕作和等高耕作试验小区的土壤理化性质和土壤力学性质显现出较大的变异性,特别是土壤力学性质,变异系数介于 37.83%~48.18%;土壤净位移也呈现较大的变异性,上下耕作和等高耕作产生的土壤净位移的变异系数分别为 75.00%和 33.33%。

(3) 土壤力学性质和土壤物理性质与耕作侵蚀存在较强的相关性。对于上下耕作,土壤抗剪强度、土壤紧实度和土壤容重对耕作侵蚀影响明显,而有机质等化学性质指标无明显影响;对于等高耕作,土壤抗剪强度、土壤紧实度、土壤容重和土壤含水量对耕作侵蚀有明显影响,其他指标无明显影响。土壤抗剪强度、土壤紧实度和土壤容重可以作为评价耕作侵蚀的土壤可蚀性指标。

[参 考 文 献]

- [1] 何毓蓉. 中国紫色土(下篇)[M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [2] 王思恩. 中国地层-11:中国的侏罗系[M]. 北京:地质出版社,1985:1-350.
- [3] 青长乐,牟树森,王定勇,等. 紫色土再研究(I):紫色土的母质:红层[J]. 西南大学学报:自然科学版,2009,31(7):120-125.
- [4] 牟树森,青长乐,段文霞,等. 紫色土再研究(II):全球性紫色土[J]. 西南大学学报:自然科学版,2009,31(7):126-130.
- [5] 刘刚才,李兰,周忠浩,等. 紫色土容许侵蚀量的定位试验确定[J]. 水土保持通报,2008,28(6):90-94.
- [6] Li Fucheng, Zhang Jianhui, Su Zhengang, et al. Simulation and ¹³⁷Cs tracer show tillage erosion translocating soil organic carbon, phosphorus, and potassium[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2013,176(5):647-654.
- [7] Zhang Jianhui, Li Fucheng. Soil redistribution and organic carbon accumulation under long-term(29 years) upslope tillage systems [J]. Soil Use and Management, 2013,29(3):365-373.
- [8] 李富程,花小叶,赵丽,等. 紫色土坡地犁耕方向对耕作侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(6):35-40.
- [9] Van Muysen W, Govers G, Bergkamp G, et al. Measurement and modelling of the effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage [J]. Soil & Tillage Research, 1999,51(3):303-316.
- [10] Van Muysen W, Govers G, Van Oost K, et al. The effect of tillage depth, tillage speed, and soil condition on chisel tillage erosivity [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000,55(3):355-364.
- [11] 张建辉,李勇, Lobb D A, 等. 我国南方丘陵区土壤耕作侵蚀的定量研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):1-4.
- [12] Zhang Jianhui, Lobb D A, Li Y, et al. Assessment for tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Sichuan, China [J]. Soil & Tillage Research, 2004,75(2):99-107.
- [13] Zhang J H, Frielinghaus M, Tian G, et al. Ridge and contour tillage effects on soil erosion from steep hillslopes in the Sichuan Basin, China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004,59(6):277-284.
- [14] Zhang Jianhui, Nie Xiaojun, Su Zhengang. Soil profile properties in relation to soil redistribution by intense tillage on a steep hillslope [J]. Soil Science Society of America Journal, 2008,72(6):1767-1773.
- [15] Zhang Jianhui, Su Zhengang, Nie Xiaojun. An investigation of soil translocation and erosion by conservation hoeing tillage on steep lands using a magnetic tracer [J]. Soil & Tillage Research, 2009,105(2):177-183.
- [16] Zhang Jianhui, Li Fucheng. An appraisal of two tracer methods for estimating tillage erosion rates under hoeing tillage [J]. Environmental Engineering and Management Journal, 2011,10(6):825-829.
- [17] Su Zhengang, Zhang Jianhui, Qin F C, et al. Landform change due to soil redistribution by intense tillage based on high-resolution DEMs [J]. Geomorphology, 2012,175-176(6):190-198.
- [18] 李富程,花小叶,王彬. 紫色土坡地旋耕机耕作侵蚀特征[J]. 中国水土保持科学,2016,14(1):71-78.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [20] 中华人民共和国国家环境保护标准. HJ704-2014 土壤有效磷的测定碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法[S]. 北京:中国环境科学出版社,2014.
- [21] Wilding L P, Drees L R. Spatial variability and pedology[M]// Wilding L P, Smeck N E, Hall G F. Pedogenesis and Soil Taxonomy(I): Concepts and Interactions. New York: Elsevier Science, 1983.
- [22] Blanco H, Lal R. Principles of soil conservation and management [M]. Netherlands: Springer, 2010.