

黄土高原陡坡耕地土壤侵蚀对土壤性质的影响

陈世宝¹, 华 璐^{1,2}, 何忠俊^{1,3}, 韦东普¹, 夏侯国风¹, 李 勇^{1,4}

(1. 中国农科院原子能利用研究所, 北京 100094; 2. 首都师范大学地理系, 北京 100037;
3. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610064)

摘要:以 ¹³⁷Cs 示踪技术和室内分析的方法研究了黄土高原北部陡坡耕地土壤侵蚀对土壤养分流失的数量、变化规律及影响因素。结果表明,黄土高原陡坡耕地的土壤侵蚀对土壤中有有机质、有效 P 的含量变化有很大影响,即随着土壤侵蚀速率的增大,土壤中有有机质、有效 P 的含量也明显降低,对有效 N 的影响无明显规律,土壤侵蚀对土壤养分含量变化的影响规律是:有机质> 有效 P> 有效 N。土壤中较大颗粒(1—0.25 mm)及细颗粒(<0.001 mm)的含量随着土壤侵蚀的增加而呈下降趋势。坡度变化是影响该地区土壤养分流失变化的主导因子,在整个山坡的坡度范围内,随着坡度的增加,土壤的侵蚀速率也增大,土壤中有有机质及有效 P 的含量也逐渐降低。

关键词:黄土高原; ¹³⁷Cs 示踪技术; 坡耕地; 土壤侵蚀; 土壤性质

中图分类号:X153 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0267(2002)04-0289-04

Effect of Soil Erosion on Soil Properties in Deep Cultivated Hill Slope in Loess Plateau

CHEN Shi-bao¹, HUA Luo^{1,2}, HE Zhong-jun^{1,3}, WEI Dong-pu¹, XIA HOU Guo-feng¹, LI Yong^{1,4}

(1. Institute for Application of Atomic Energy CAAS, Beijing 100094, China; 2. Geography Department, Capital Normal University, Beijing 100037, China; 3. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi China; 4. Center of Mountain Environment Research, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610064, China)

Abstract: The effect of soil erosion on the loss of soil nutrients was studied by using ¹³⁷Cs technique and the effect factors quantitative evaluated over the cultivated hill slope in north Loess Plateau. The result showed that the content of soil organic matter (OM%) and the available phosphorus (available P) were strongly affected by soil erosion, it decreased evidently with the increase of soil erosion rate. There was no correlation ship between the change of available nitrogen (available N) and the soil erosion in this study. The effect of soil erosion on the soil nutrient is in the order of: OM% > available P > available N. The soil particle content (1—0.25 mm and <0.001 mm) decreased with the increase of soil erosion rate. The slope was one of the most important factors affecting the spatial patterns of the loss amount of soil nutrients, the loss amount of OM% and available P increased with the slope over the whole cultivated hill slope.

Keywords: Loess Plateau; ¹³⁷Cs - technique; cultivated hill slope; soil erosion; soil properties

黄土高原水土流失十分严重,年均侵蚀速率在 50—150 t·hm⁻² 以上,其中一半以上来自坡耕地。黄土高原现有耕地 1.91 × 10⁷ hm², 其中 73.6% 属于坡耕地,大量的水土流失导致土壤退化,肥力降低,严重影响土地生产力的发展。而对于黄土高原陡坡耕地景观尺度水土流失对土壤质量影响的定量化研究却较少。近几年来,随着“高产、高效、优质”农业在我国的蓬勃发展,在我国黄土高原地区,迫切要求研究土壤

侵蚀与生产力的关系,以便为综合治理、提高和发展黄土高原的土地生产力提供理论依据。本文以 ¹³⁷Cs 示踪技术,通过野外调查和室内分析相结合的方法,定量研究了黄土高原北部陡坡耕地土壤侵蚀对土壤中氮、磷、有机质等土壤肥力因子衰减的数量、规律、影响因素及对生产力的影响。

1 研究概况

研究地点设在陕西省延安市碾庄乡羊圈坝库小流域,流域面积 2.02 km²,位于我国黄土高原北部,该区地貌属于黄土高原丘陵沟壑区,以梁茆状丘陵为主,地形切割破碎,沟壑密度约为每平方公里 7 km,

收稿日期: 2001-11-09

基金项目: 国际原子能机构研究合同项目(No 9042, 1998-2001)

作者简介: 陈世宝(1971—),男,助研,硕士,主要从事土壤侵蚀与土壤污染方面研究。

平均海拔 1 000 m 以上。研究地区天然植被破坏殆尽,土壤抗冲抗蚀性极弱,粗略估计年均侵蚀量在 $80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右。

为了评价土壤侵蚀速率的空间格局,我们在研究流域选择了 240 m 长的全山坡剖面为研究对象。该山坡为典型黄土高原坡度景观,具有山顶狭窄、平缓,坡上部、坡中部和坡下部陡直、坡脚很短的线型地貌特点。坡度在 10.9° — 32.6° ,平均坡度为 19.7° 。该研究山坡一直为农耕地,每年翻耕 2—3 次,耕层深度为 10—15 cm,主要种植作物包括谷子、糜子、玉米、土豆等。

^{137}Cs 土壤样品采集于该地区陡坡耕地上具有代表性的坡面,坡耕地土壤侵蚀的 ^{137}Cs 法研究采样深度为 40—60 cm(分层间距为 10 cm),顺坡按间距 10 m 一个点取样,同时测量坡度和容重。参考点样品的采集是在该流域内选择一点近 40 年来没有发生侵蚀地点的原始剖面(即标准剖面)作为参考点采样,采样深度为 60 cm,按 5 cm 分层取样,同时测量容重。

2 ^{137}Cs 测试的技术原理

^{137}Cs 是 20 世纪中期大气核试验的产物,为人工放射性核素。1956 年—1965 年是核尘埃的主要降落期,70 年代后沉降甚微。由于 ^{137}Cs 随大气环流在全球分布,并被土壤表层迅速而牢固地吸附,很难被植物吸收或淋溶,其在土壤中的迁移主要伴随土壤颗粒的侵蚀、搬运和沉积而进行,同时 ^{137}Cs 的半衰期为 30.17 年,比较土壤中 ^{137}Cs 比活度的差异性,就可以推算出土壤的侵蚀速率^[2,3]。因此, ^{137}Cs 对研究土壤中长期的土壤侵蚀强度和空间分布是一种天然的极好的示踪元素。本研究的 ^{137}Cs 土样经风干后,研磨过筛(1.0 mm),剔去大颗粒及植物根系等待测。测量仪器为美国堪培拉(CANBERRA)公司生产的高纯锗(HPGe)探测器,经前置放大和数字转换后,经 4 096 道多道分析仪,用道边界法测定。分辨率对 ^{60}Co 1.33 keV,峰康比为 49:1,样品测试重为 $1\ 250 \text{ g} \cdot \text{个}^{-1}$,测试时间为 80 000—86 400 s,样品重复测试结果相对误差 $<5\%$ 。

3 结果与讨论

3.1 ^{137}Cs 含量与土壤侵蚀速率的研究

单位面积的 ^{137}Cs 含量,即 ^{137}Cs 面积浓度反映该地区不同地点的 ^{137}Cs 含量差异,理论上说,由于 ^{137}Cs 随大气环流并随降雨分布于地表,因此,在一定地区

内,如果不发生土壤的侵蚀、搬运或堆积等物理过程, ^{137}Cs 分布值大体相等^[4,5]。据此前提,可根据不同样点的 ^{137}Cs 强度差异来揭示土壤侵蚀的强度及其空间分布,土壤侵蚀速率与 ^{137}Cs 强度之间的相关模型可根据下列公式来进行计算(Walling and Quine, 1990, He and Walling, 1996)^[1]:

$$dA(t)/dt = (1 - \Gamma)I(t) - (\lambda + P \times R/D) \times A(t)$$

式中: $A(t)$ 为 ^{137}Cs 面积浓度, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$; R 为年平均土壤侵蚀速率, $\text{t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,正值表示侵蚀,负值表示堆积; D 为单位犁底层的土壤重量, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$; λ 为 ^{137}Cs 衰变常数, a^{-1} ; $I(t)$ 为单位面积年 ^{137}Cs 沉降浓度, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; Γ 为新沉降的 ^{137}Cs 在进入犁地层前被土壤侵蚀所带走的量占总量的百分数,%; P 为土壤颗粒大小校正因子。

根据上式,可计算出以上顺坡各点土壤的年平均侵蚀速率及断面所在位置的 ^{137}Cs 面积浓度值(图 1)。从图 1 可以看出, ^{137}Cs 面积浓度变化曲线和土壤侵蚀速率变化曲线的变化趋势相反,即随着土壤侵蚀速率的增大, ^{137}Cs 的面积浓度值明显降低。随着土壤侵蚀速率的变化,各样点间 ^{137}Cs 强度值变化较大。坡地的中上部 ^{137}Cs 强度值较低,其中以第 40 m 处为最低($150 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$),为标准剖面的 11% 左右,其余样点(40—110 m)的 ^{137}Cs 强度值也基本在 $1\ 000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下,与标准样点相比要低 70%—80% (标准样点的 ^{137}Cs 面积浓度值为 $2\ 390 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)。从上述几个样点的分布看,上述样点都位于坡地中上部的坡度较大的区域,可能承受了较多的上坡雨水冲刷而使地表侵蚀加重的缘故。坡面中下部(130—220 m)与参考点相比, ^{137}Cs 强度值要低 30%—60%,表明坡地的中下部也存在一定的侵蚀,但较中上部而言,侵蚀有所减缓。样点第 220 m、第 230 m 的 ^{137}Cs 强度值逐渐升高,且第 240 m 处的 ^{137}Cs 强度值超过标准点近 80%,表

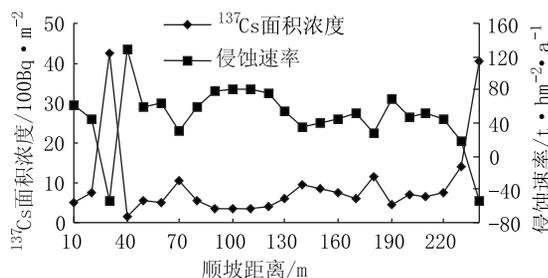


图 1 各样点的 ^{137}Cs 强度差异及相应的土壤侵蚀速率计算值(土壤侵蚀速率:正值表示侵蚀,负值表示堆积)

Figure 1 The estimates of the ^{137}Cs redistribution ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$) and the soil loss and gain rate in different site

明该点所处位置有坡地表面的土壤堆积。同样,处于上坡的第 30 m 处也由于坡度减缓而承受了坡顶受侵蚀的部分地表土壤堆积,表现出较高的 ^{137}Cs 强度值。

3.2 土壤侵蚀对土壤性质变化的影响

3.2.1 对土壤有机质含量变化的影响

从三条断面的有机质平均含量变化曲线(图 2)可以看出,有机质含量的变化曲线与 ^{137}Cs 强度值的变化曲线基本相似。整个有机质变化曲线说明,从坡顶到第 40 m 处为山坡的崩顶部分,坡度不大,侵蚀主要以溅蚀和片蚀散流为主,侵蚀强度较小,土壤有机质流失不多,故有机质平均含量大于 0.5%,到了第 50 m 处,由于坡度变缓,从山顶冲刷下来的表层土体在此堆积,所以有机质的平均含量升高。从第 40 m 处始,坡度变大,汇水面积增加,土壤侵蚀方式由片流转化为股流,形成以细沟侵蚀为主,侵蚀速率逐渐加大,第 110 m 处断面的有机质平均含量也急剧下降至最低(0.36%),第 170 m、180 m 处由于耕作原因,没有取到样品(下同)。由此可以看出,坡面土壤的侵蚀变化是导致土壤有机质变化的主要原因之一。

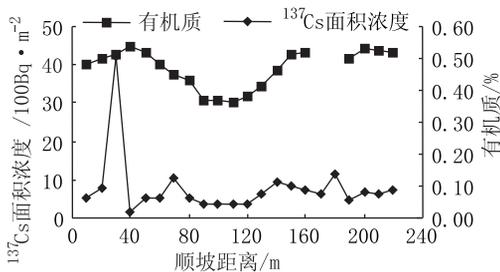


图 2 顺坡断面土壤有机质与 ^{137}Cs 含量变化曲线

Figure 2 The content of soil organic matter and ^{137}Cs activity along the hill slope

3.2.2 对土壤有效 N、有效 P 含量变化的影响

对土壤有效 P 而言(图 3),由于细颗粒对有效 P 的吸附作用,故土壤中有有效 P 的含量与细颗粒的含量有较大的相关性。在第 50 m 处由于坡度变缓,土体在此堆积,土壤细颗粒含量增加,故表现出较高的有效 P 含量。在有效 P 含量的变化曲线中,在斜坡中间第 120 m 处的含量突然增加,这种离异性可能与该处断面施用含有效 P 较多的羊粪等农家肥有关。从整个有效 P 变化曲线可以看出,土壤表层除了其中第 120 m 处的点离异外,曲线的基本变化同 ^{137}Cs 浓度变化曲线是一致的。

从三条断面的土壤有效 N 含量变化可以看出(图 3),有效 N 的含量变化并未表现出一定的规律性,有

些样点的表层有效 N 含量小于犁底层,说明水土流失带走了表土中的有效 N,而侵蚀发生的土体的垂直淋溶又使表土的部分有效 N 在土壤剖面中向下迁移。而在有些样点表现出相反的结果,这主要由于土壤中有有效 N 受水、热条件及施肥和耕作等人为措施影响较大的缘故,使有效 N 在不同侵蚀的微地形中的含量表现出较大的离异性。

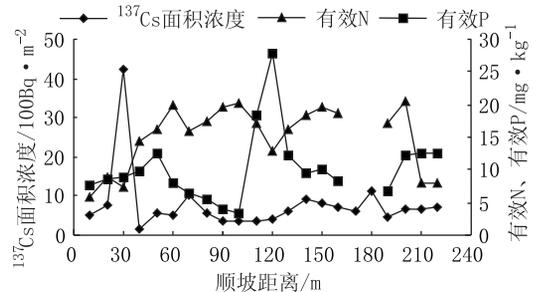


图 3 顺坡断面土壤有效 N、有效 P 含量与 ^{137}Cs 含量变化曲线

Figure 3 The content of available N、P and ^{137}Cs activity along the hill slope

3.2.3 对土壤颗粒组成变化的影响

研究结果表明,不同粒径的颗粒含量在整个山坡有不同的分布规律,对于 1—0.25 mm 的大颗粒而言,由于在水流速度不大的侵蚀过程中,侵蚀的主要是较细的颗粒,故其分布规律与土壤的侵蚀速率相一致,即在山坡崩顶部土壤的侵蚀较弱,其百分含量相对较高。到第 100 m 处,随着侵蚀速率的增大,大颗粒的相对含量也逐渐增加。对于 0.05—0.01 m 粒径的颗粒,其在土壤中的相对含量较高,在 50%—70% 之间,其在整个顺坡断面的含量变化曲线与大颗粒表现相反,即从山坡崩顶部开始下降,到达第 50 m 处,由于坡度变缓,表层土体在此有少量堆积,故其含量有所升高。从山坡的上部开始(70 m),随着坡面的增长,侵蚀也逐渐增强;到了坡的中下部,坡度变缓,产生侵蚀的水流速度也变缓慢,侵蚀水流中所挟带的较细颗粒在此沉积下来,使土壤中细颗粒含量逐渐升高。在小于 0.001 m 粒径颗粒含量的变化中,由于该级颗粒的粒径小,侵蚀的主要方式是水的悬浮和分散,在第 40 m 处,水流在此汇集,对其的悬移和分散强,故其含量降低。在第 100 m、110 m 处,坡面增加,往下水流量也增大,侵蚀主要以径流冲刷为主,大颗粒被冲刷,所以其含量在此处有所升高。到达坡底,坡度变缓,水流中该粒径颗粒含量已饱和,其含量相对稳定。

3.3 坡度对土壤养分变化的影响规律

从图 4 可以看出,整个山坡土壤有机质的含量都较低,含量变化在 0.36%—0.55% 之间。随着不同顺

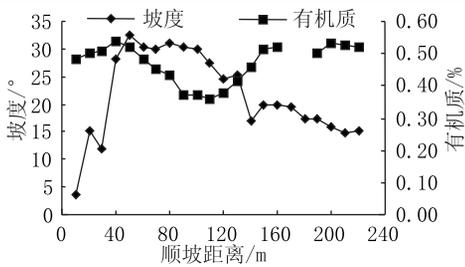


图4 有机质含量随不同顺坡坡度的变化

Figure 4 The content of organic matter changes with different slope along hill slope

坡距离的坡度变化,有机质含量也呈现出明显的趋势性变化,即有机质含量随着坡度的增加,其含量逐渐降低。在顺坡第40 m处,由于坡度的明显降低,从山坡顶部冲刷下来的表层土壤在此处发生堆积,故有机质的含量较高;从第40 m以后,随着坡度的逐渐增大,土壤侵蚀逐渐加大,有机质含量也逐渐下降;在第110 m处到达最低点(0.36%);从第130 m处到山坡的中下部,坡度开始变缓,土壤侵蚀有所减缓,有机质含量逐渐增高。整个顺坡土壤有机质含量变化曲线与坡度变化曲线呈明显相反的趋势。

土壤中有有效P的含量变化趋势与有机质的变化趋势基本相似,在山坡的中上部随着坡度的逐渐加大,土壤侵蚀逐渐增强,故有效P的含量逐渐降低;在顺坡第100 m处达到最低点($2.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),在顺坡第120 m处有效P含量的异常出现可能与施用农家肥(羊粪等)有关;在山坡的下部,随着坡度的减小,有效P的含量呈上升的趋势。土壤中有有效N由于其水溶性大,其在土壤中的移动受水分含量、有机质含量及土壤剖面的结构影响较大,故整个山坡的有效N含量变化与坡度变化没有表现出较大的相关性(图5)。

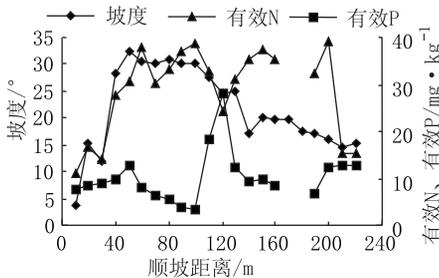


图5 有效N、有效P含量随不同顺坡坡度的变化

Figure 5 The content of available N, P changes with different slope along the hill slope

4 结论

(1) 利用 ^{137}Cs 示踪技术测定土壤的侵蚀速率表明,在采样区域内坡面的不同位置均受到了不同程度的侵蚀,尤其以中上部侵蚀更为严重,从整个坡面的侵蚀速率看,除了在坡上部及坡脚处样点有一定程度的土体堆积外,其余大部分坡面都受到了强度侵蚀,这反映了本坡面在一定范围内土壤侵蚀与堆积的空间分布特性。 ^{137}Cs 面积浓度变化曲线和土壤侵蚀速率变化曲线的变化趋势相反,即随着土壤侵蚀速率的增大, ^{137}Cs 的面积浓度值明显降低。

(2) 土壤中有有机质(OM%)及有效P含量变化表明,黄土高原陡坡耕地的土壤侵蚀对土壤中有有机质、有效P等肥力因子的含量有很大影响,随着土壤侵蚀速率的加大,土壤中有有机质及有效P含量也逐渐降低,对土壤有效N的影响无规律发现。土壤侵蚀对土壤中养分含量变化的影响规律是有机质>有效P>有效N。随着土壤侵蚀的增大,表层土壤中较大颗粒(1—0.25 mm)及较细颗粒(<0.001 mm)的含量呈降低趋势。

(3) 从整个顺坡断面的土壤有机质、有效P的变化可以看出,坡度是影响土壤中有有机质及有效P含量变化的主要因子,在整个山坡的坡度范围内,随着坡度的增加,土壤的侵蚀速率增大,土壤中有有机质及有效P含量变化也逐渐降低,因此,在坡耕地土壤侵蚀的有效治理中,应着重考虑坡度变化因子。

参考文献:

- [1] Walling D E, Quine T A. Calibration of caesium - 137 measurements to provide quantitative erosion rate data[J]. *Land Degradation and Rehabilitation*, 1990, (2): 161 - 174.
- [2] 张信宝. ^{137}Cs 法测算黄土高原土壤趋势侵蚀速率的初步研究[J]. *地球化学*, 1991, (3): 212 - 218.
- [3] 濮励杰,等. ^{137}Cs 应用于我国西北风蚀地区土地退化的初步研究[J]. *土壤学报*, 1998, (4): 441 - 449.
- [4] Higgitt D L. The development and application of caesium - 137 measurements in erosion investigation[A]. In: Foster, I D L, Gumell A M, Webb B Weds. *Sediment and Water Quality in River Catchments*[C]. Chichester Wiley, 1995. 287 - 305.
- [5] 张信宝,李小龙,等. 黄土高原小流域泥沙来源的 ^{137}Cs 法研究[J]. *科学通报*, 1989, 210 - 213.
- [6] Ritchie C, Mchenry J R. Application of radioactive caesium - 137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns[J]. *A Review J Environ Qual*, 1990, (19): 215 - 230.
- [7] 陈世宝,韦东普,夏侯国风,等. 黄土高原陡坡耕地土壤侵蚀的空间变异格局[J]. *土壤与环境*, 2001, (4): 17 - 20.