土地利用类型对侵蚀黄壤腐殖质及土壤酶的影响

王战台，曹旻霞，蔡文昌，黄惠群，曾和平
（昆明理工大学 环境科学与工程学院，云南 昆明 650000）

摘　要：[目的] 研究土壤侵蚀条件下，土地利用类型对黄壤不同土层深度的腐殖质（胡敏酸、富里酸和胡敏素）和 4 种重要土壤酶的影响，为保持土壤肥力提供科学依据。[方法] 采用锯齿形布点法，采集土壤表层至 30 cm 深度的 3 个土层土壤样品，用 3 次 4 分法淘汰多余样品，再测定相应指标。[结果] (1) 保持土壤肥力最好的是灌丛和园地，耕地最容易受侵蚀；土壤肥力高低与胡敏素的含量有直接关系。(2) 土壤侵蚀导致水分和氮元素流失会影响胡敏酸的含量；林地、园地和耕地土壤表层的富里酸易流失，而草地仅对于土壤表层肥力保持有作用。(3) 耕作对土壤表层的脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性的不利影响较大；土壤侵蚀导致的土壤 pH 值改变对土壤酶的影响也很明显。(4) 相关性分析表明腐殖质各组分含量与 4 种土壤酶都有着密切的联系且互相影响。[结论] 黄壤受侵蚀下，土地利用类型对腐殖质及土壤酶有明显不同的影响。

关键词：土壤侵蚀；土地利用类型；腐殖质组分；土壤酶活性
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2017)05-0027-07　　**中图分类号**：S151.9

文献参数：王战台，曹旻霞，蔡文昌，等. 土地利用类型对侵蚀黄壤腐殖质及土壤酶的影响[J]. 水土保持通报，2017，37(5)：27-33. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.005；Wang Zhantai, Cao Minxia, Cai Wenchang, et al. Effects of land use on humus and soil enzymes of yellow soil under soil erosion[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 27-33. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.005

Effects of Land Use on Humus and Soil Enzymes of Yellow Soil Under Soil Erosion

WANG Zhantai, CAO Minxia, CAI Wenchang, HUANG Huiqun, ZENG Heping
(*College of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan* 650000, *China*)

Abstract: [Objective] The effects of land use on humus (humic acid, fulvic acid and humin) and four kinds of important soil enzymes in different yellow soil horizon under soil erosion condition were studied in order to provide some scientific basis for maintaining soil fertility. [Methods] Soil samples were collected in different soil horizon (0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm) at each sample point by zigzag method. Then, soil samples of each layer were mixed evenly in situ and removing of redundant sample was performed by quartering in three times and the corresponding indicators were determined. [Results] (1) Scrub woodland and garden plot had better effect in maintaining soil fertility. However, cultivated land was extremely susceptible to erosion. Soil fertility was directly related with the content of humin of yellow soil. (2) Soil erosion may also affect humic acid content through the loss of water and nitrogen. Fulvic acid of soil in forest land, garden plot and cultivated land lost more easily. However, the grassland had only impact on maintain soil surface fertility. (3) Tillage had significantly adverse effect for activity of urease, alkaline phosphatase and catalase. Meanwhile, soil erosion also evidently affects soil enzymes through the change of soil pH value. (4) Correlation analysis showed that the content of humus component had close contact with the activities of the four kinds of soil enzymes and influenced each other. [Conclusion] The land use types of yellow soil have significantly different effects on humus and soil enzyme activity under erosion.

Keywords: **soil erosion; land use types; humus component; soil enzyme activity**

收稿日期：2017-03-02　　**修回日期**：2017-04-04
资助项目：国家自然科学基金项目“腐殖酸在水土流失固液界面的迁移行为研究：以云南楚雄龙川江流域为例”(41461061)
第一作者：王战台(1989—)，男(汉族)，河北省石家庄市人，硕士研究生，主要从事环境生态学研究。E-mail：1345137350@qq.com。
通讯作者：曾和平(1974—)，男(土家族)，湖北省恩施州人，博士，副教授，硕士生导师，从事水土保持学和景观生态学研究。E-mail：dabatou@126.com。

随着社会经济的发展,人类对植物资源的利用和消耗增加了许多,造成了植被的严重破坏。因此,土壤侵蚀的情况越来越严重。有研究指出土壤侵蚀造成的经济损失大约占中国 GDP 总值的 1.45%[1]。然而,在土壤侵蚀形成的一系列环境问题中,人们关注的核心点是土壤肥力和生产力的降低。而土地利用类型是跟土壤侵蚀有关的一个很重要的因素,土壤表面有着很高的植被覆盖度能明显地减少土壤侵蚀的发生[2]。所以,在土壤侵蚀情况下,不同土地利用类型对土壤肥力的影响是人们最近研究的热点。

而作为土壤肥力的主要的营养物质,土壤腐殖质对于土壤的物理,化学,生物特征有着很重要的影响。腐殖质是土壤有机质的主要组分[3]。它的组成和特性随着气候和生物条件的变化而有很大的不同。此外,在腐殖质组成的研究中,由于腐殖质不是一个纯粹的同质的化合物,因此,现在的研究还没有一个通用的分组方法。目前的研究,仅仅能把腐殖质分成 3 类,即胡敏酸(humic acid)、富里酸(fulvic acid)和胡敏素(humin)。此外,胡富比,即 HA(humic acid)/FA(fulvic acid)值随着不同的土地利用类型而不同,这个比值和土壤肥力的高低也有某些关系。因此,在土壤侵蚀情况下,腐殖质的流失会直接导致土壤肥力的下降。

在土壤肥力的相关研究中,除了腐殖质外,土壤酶也是一个很重要的相关因素。土壤酶主要来自于植物的根系分泌物,土壤动物和微生物的遗体残骸以及分泌物。它能催化复杂的有机物质变成简单的无机化合物,用于植物的生长和循环利用[4]。因此土壤酶能反映在土壤中各种各样生物化学过程的强度和方向,并且是土壤肥力评价的一个重要指标。土壤酶的主要成分是蛋白质,是有活性的大分子物质。因此很容易受土壤环境因素的影响。如果土壤的理化性质变化,例如:湿度、营养物质、温度和 pH 值等变化,土壤酶的催化能力也会变化。此外,土壤内的重金属离子、非金属离子以及一些化合物的含量,也会明显地影响土壤酶的活性。而土壤腐殖质是土壤有机质的主要成分,它可以与土壤酶形成腐殖质—酶的复合物。这种复合物能增强土壤酶的稳定性,并且提高土壤酶在极端环境的耐受力和活性[4]。王旭东等[5]通过 17 a 的研究指出,有机肥料能明显地提高土壤内腐殖质的含量。玉米秸秆沤制的有机肥也能明显地提高荠菜根际的脲酶,过氧化氢酶和纤维素酶等的活性[6]。

在土壤侵蚀研究中,大量土壤颗粒物理搬运导致的土壤养分流失的相关报导已经很多,但作为土壤养分物质载体的腐殖质及其主要组分在环境因素的综合作用下发生溶解和流失的特征及原因,还有许多空白。此外,腐殖质及其组分流失对土壤酶所造成的影响也需进一步研究。因此,本文拟研究坡地上不同土地利用类型和不同土层深度的腐殖质及其组分的流失特征及原因,以及腐殖质主要成分含量的变化与土壤酶活性的关系。试验选取黄壤坡地上的 5 个不同土地利用类型,研究在土壤侵蚀情况下,不同土地利用类型和不同土层深度的腐殖质主要组分(胡敏酸、富里酸和胡敏素)和 4 种有重要作用的土壤酶(脲酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶)分布差异及其关系。希望为保持土壤肥力提供一些科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究地点选在中国云南省楚雄州大姚县鲁村小流域治理示范区。大姚县属于北亚热带季风气候,具有气候温和,干湿季明显的特点,日照充足,雨热同季,冬无严寒,夏无酷暑,年温差小,日温差大等气候特点。年平均气温 15.6 ℃,年平均降水 796.3 mm,降雨时空分布不均匀,其中 80%以上的降雨发生在 5—10 月的雨季。本研究选取了该示范区 5 个不同土地利用类型坡地。采样区土壤类型为黄壤,坡地具体地貌及植被特征如表 1 所示。每个采样点区域面积有 100 m^2。5 个采样点区域由于地处坡地,长年受降雨影响,因此受到不同程度地水力侵蚀。

表 1 采样点信息

土地利用类型	海拔/m	经度	纬度	坡度/(°)	主要植物名称
灌丛	1 940	101°17′27″	25°45′0.19″	15	花椒、白刺花、沙针、扭黄茅
林地	1 979	101°17′22″	25°45′5.03″	10	圣诞树、扭黄茅、苦蒿
耕地	1 972	101°17′22″	25°45′4.77″	17	玉 米
草地	1 968	101°17′20″	25°45′3.52″	5	扭黄茅
园地	1 906	101°17′29″	25°44′57.37″	30	胡桃、狼尾草

注:主要植物拉丁文名称:花椒(*Zanthoxylum bungeanum*),白刺花(*Sophora davidii*),沙针(*Osyris wightiana*),扭黄茅(*Heteropogon contortus*),圣诞树(*Acacia decurrens*),苦蒿(*Artemisia edgeworthii*),玉米(*Zea mays*),胡桃(*Juglans regia*),狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)。

1.2　样点的布设与采集

2016 年 6 月 10 日采集土壤样品。每一个采样区域采用锯齿形布点法,布设了 10 个样点,每个样点用原状取土器分别采集土壤深度为 0—10,10—20 和 20—30 cm 的土壤各 1 kg。然后将土壤每一层的 10 个样点在原地混合均匀,用 3 次 4 分法淘汰多余样品,获得每一个采样区 3 份不同深度的土壤样品各 1 kg左右。5 个采样区域共获得 15 份土壤样品。再剔除土壤样品中的小石块,树根及其他杂物,然后用密封袋密封带回实验室。一部分直接测土壤自然含水量,另一部分在阴凉处自然风干,然后将土壤磨碎,过 0.15 mm 筛,用于测定土壤理化性质及土壤酶活性。

1.3　测定方法

土壤自然含水率测定采用 GB7172-87;土壤 pH 值测定采用电位法(土液比为 1∶2.5),有机质测定采用重铬酸钾容量—稀释热法,全氮测定采用半微量凯氏定氮法,全磷测定采用 $HClO_4$-H_2SO_4 法,全钾测定采用 NaOH 熔融法结合原子吸收光谱仪(American Varian,AA240 FS),具体操作方法参照鲍士旦《土壤农化分析》(第 3 版)[7]。土壤的基本理化性质见表 2。土壤腐殖质组成测定采用 GB7 858-87 结合 TOC 仪(Germany,Elementar Vario TOC cube)。土壤脲酶测定采用比色法,碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性测定采用的是磷酸苯二钠比色法,过氧化氢酶采用容量法,酶活性分别用 NH_4^+-N mg/g h (37 ℃),C_6H_6O mg/g h (37 ℃)and 0.02 mol/L $KMnO_4$ ml/g 表示,具体操作方法参照关松荫《土壤酶及其研究法》[4]。

表 2　土壤基本理化性质

土壤基本理化指标	土层深度/cm	土地利用类型				
		灌丛	林地	耕地	草地	园地
自然含水率/%	0—10	16.68±0.34^{a}	10.81±0.14^{c}	13.45±0.02^{b}	16.37±0.24^{a}	13.23±0.22^{b}
	10—20	13.53±0.22^{a}	9.14±0.11^{c}	11.20±0.20^{b}	8.57±0.40^{c}	13.94±0.03^{a}
	20—30	12.42±0.14^{b}	10.09±0.11^{d}	11.15±0.25^{c}	7.73±0.15^{e}	13.83±0.18^{a}
pH 值	0—10	7.96±0.03^{a}	5.87±0.02^{e}	6.37±0.08^{d}	7.79±0.03^{b}	6.73±0.04^{c}
	10—20	7.59±0.02^{a}	5.89±0.01^{e}	6.31±0.01^{d}	6.77±0.03^{b}	6.48±0.02^{c}
	20—30	7.97±0.03^{a}	5.92±0.16^{e}	6.65±0.10^{c}	6.73±0.02^{b}	6.28±0.02^{d}
全氮/(mg·g^{-1})	0—10	1.17±0.01^{c}	1.14±0.01^{c}	2.17±0.01^{a}	0.69±0.01^{d}	1.96±0.02^{b}
	10—20	0.84±0.02^{c}	0.93±0.01^{b}	0.66±0.01^{d}	0.61±0.01^{e}	1.99±0.01^{a}
	20—30	0.88±0.02^{b}	0.82±0.02^{c}	0.33±0.00^{e}	0.51±0.01^{d}	1.93±0.01^{a}
全磷/(mg·g^{-1})	0—10	0.53±0.01^{a}	0.34±0.00^{d}	0.37±0.00^{c}	0.45±0.01^{b}	0.34±0.01^{d}
	10—20	0.54±0.00^{a}	0.27±0.00^{e}	0.35±0.01^{c}	0.41±0.01^{b}	0.33±0.01^{d}
	20—30	0.61±0.00^{a}	0.33±0.01^{c}	0.31±0.01^{d}	0.43±0.01^{b}	0.32±0.00^{cd}
全钾/(mg·g^{-1})	0—10	19.46±1.62^{d}	23.60±1.51^{c}	30.80±1.01^{b}	26.40±1.62^{c}	36.40±1.62^{a}
	10—20	21.73±0.40^{d}	26.93±1.06^{c}	31.20±1.29^{b}	28.93±0.69^{bc}	35.73±1.44^{a}
	20—30	19.06±1.22^{d}	24.66±0.23^{c}	33.60±1.40^{b}	33.60±0.61^{b}	37.33±1.44^{a}

注:表内同一行内不同字母表示同一土层深度内不同土地利用类型下数值的差异显著比较。下同。

1.4　数据处理

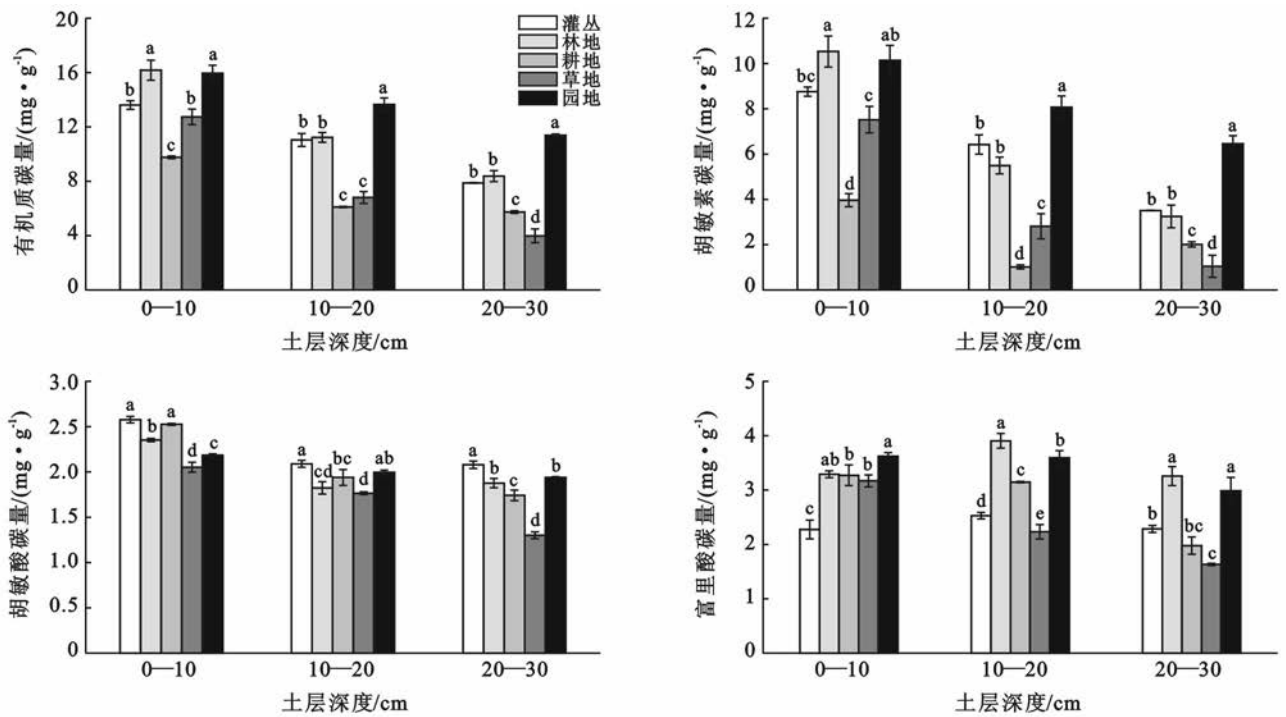
试验数据采用 SPSS 20 统计分析软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 Tukey 法进行多重比较,显著性水平 p 取 0.05。采用 Pearson 相关性分析,分析相关变量的相关性。试验作图采用 Origin 8 软件,试验作表采用 Microsoft office excel 2003。

2　结果与分析

2.1　不同土地利用类型下土壤有机质和腐殖质组分含量分布

在 5 个不同土地利用类型下,5 个采样区的 3 个土层有机质含量分布相似,都是园地、林地和灌丛有机质含量较高,耕地和草地的含量较低,并且都是随着土层深度增加,有机质含量逐渐降低。胡敏酸的含量在土层 0—10 cm 时,灌丛和耕地是最高的,草地是最低的(图 1)。土层 10—20 与 20—30 cm 时,其含量分布与土层 0—10 cm 相似,且均随土层深度增加,胡敏酸含量逐渐降低。

在 3 个土壤层中,灌丛的胡富比均高于其他土地利用类型。0—10 cm 土层中,草地和园地的胡富比要低于其他土地利用类型,且两者无显著性差异。10—20 cm 土层与 20—30 cm 土层,林地的胡富比要低于其他的土地利用类型(图 2)。



注:不同小写字母表示同一土层深度内不同土地利用类型下数值差异性显著。下同。

图 1 不同土地利用类型土壤有机质和腐殖质组分含量分布

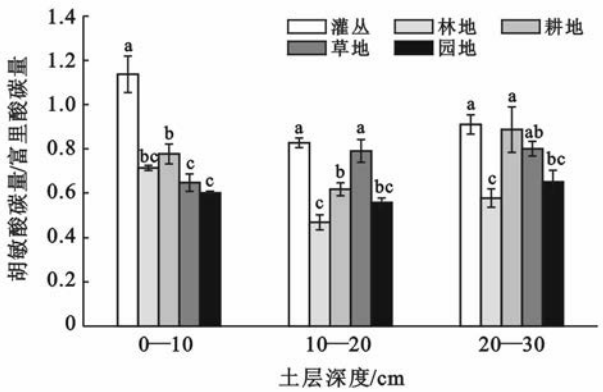


图 2 不同土地利用类型土壤胡富比分布

富里酸的含量分布与胡敏酸不同,在 0—10 cm 土层,含量最高的是园地,其次是林地、耕地和草地采样区,并且 3 个采样区无显著性差异,灌丛采样区含量最低。土层 10—20 和 20—30 cm 含量分布相似林地和园地采样区含量最高,草地采样区含量最低。此外,表 3 显示,不同土地利用类型的富里酸在垂直深度分布上也各有特点:林地 0—10 cm 土层中富里酸含量小于 10—20 cm 土层,草地 0—10 cm 土层中富里酸含量大于 10—20 cm 土层,且有显著性差异。灌丛、园地 0—10 cm 土层与 10—20 cm 土层富里酸含量无显著性差异。

表 3 不同土层深度富里酸含量差异性比较

土层深度/cm	不同土地利用类型土壤富里酸碳量/(mg·g^{-1})				
	灌丛	林地	耕地	草地	园地
0—10	2.28±0.17^{a}	3.29±0.06^{b}	3.27±0.19^{a}	3.17±0.11^{a}	3.62±0.06^{a}
10—20	2.53±0.06^{a}	3.91±0.14^{a}	3.15±0.01^{a}	2.23±0.13^{b}	3.59±0.13^{a}
20—30	2.28±0.06^{a}	3.26±0.18^{b}	1.98±0.16^{b}	1.63±0.02^{c}	2.99±0.25^{b}

胡敏素的含量分布与有机质的含量分布相似,3 个供试土层都是园地、林地和灌丛含量高于耕地和草地,且都随土层深度增加,胡敏素含量逐渐降低。

2.2 不同土地利用类型下土壤酶活性分布

坡地上 5 个土地利用类型,脲酶的活性分布是,在 0—10 cm 活性最高的是草地和园地,活性最低的是耕地(图 3)。在 10—20 cm 与 20—30 cm 脲酶的活性分布相似,都是园地最高,而耕地与草地最低。碱性磷酸酶活性分布是,在 0—10 活性最高的是灌丛,其次是草地,活性最低的是林地和耕地,在 10—20 cm 与 20—30 cm 土层分布相似,碱性磷酸酶活性最高的都是灌丛,较低的是林地,耕地和草地。酸性磷酸酶活性的分布是:在 0—10 cm 活性最高的是林地、耕地和草地,且三者无显著性差异,在 10—20 cm 与

20—30 cm 酸性磷酸酶的活性最高的都是林地和耕地,而最低却是草地。在土层 0—10 cm,过氧化氢酶活性最高的是草地,最低的是林地和耕地且两者间过氧化氢酶活性无显著性差异,在 10—20 cm 与 20—30 cm 活性最高的都是灌丛和草地且两者无显著性差异,活性最低的都是林地和草地。5 个不同土地利用类型,值得注意的是耕地,其在表层 0—10 cm,脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性都是最低的。此外,4 种土壤酶的活性也基本都是随着土壤深度的增加而逐渐减少。

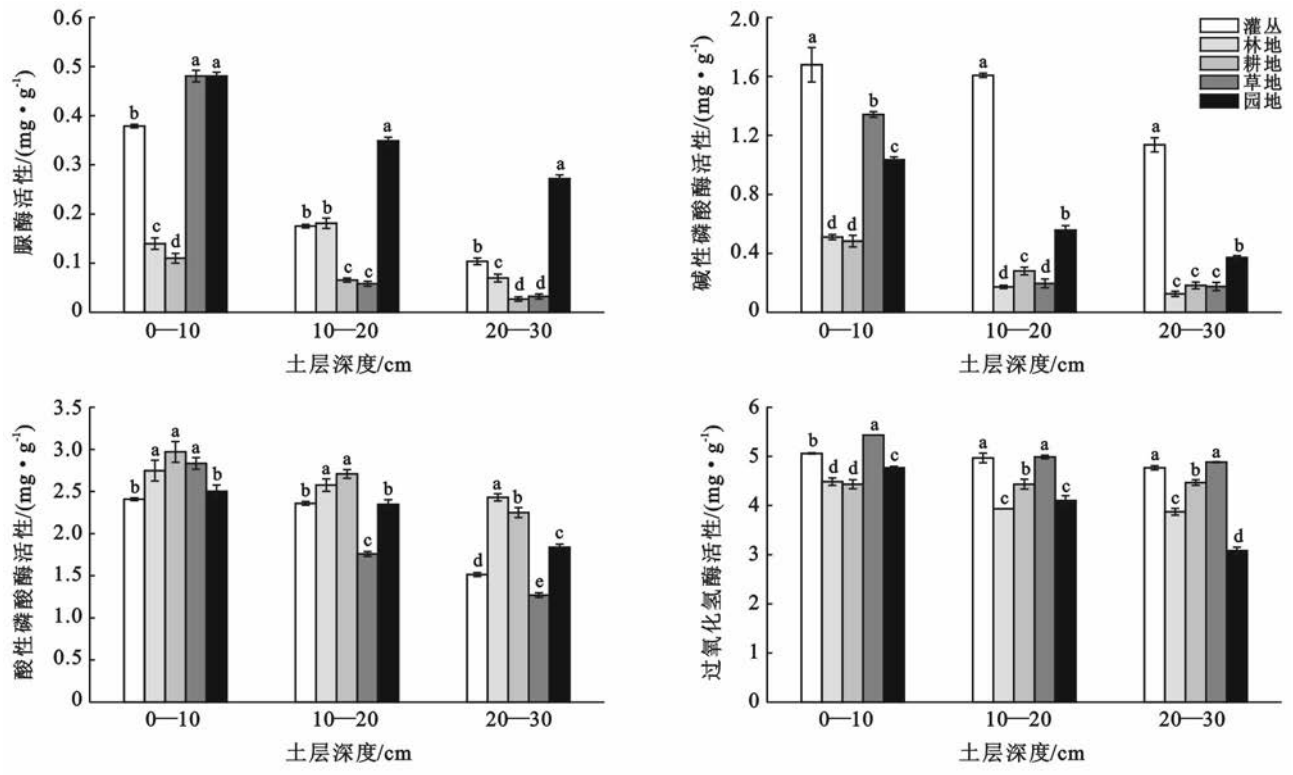


图 3　不同土地利用类型土壤酶活性分布

2.3　土壤有机质和腐殖质组分与土壤酶活性相关性

土壤腐殖质组分与 4 种土壤酶相关性分析表明(表 4),脲酶和酸性磷酸酶与有机质和腐殖质各组分都呈极显著正相关性,碱性磷酸酶与有机质、胡敏酸和胡敏素呈极显著正相关性。过氧化氢酶只与富里酸呈极显著负相关。说明有机质与腐殖质各组分与土壤酶有着密切的联系,不可分割。此外,有机质和腐殖质各组分为显著正相关。脲酶与碱性磷酸酶和酸性磷酸酶都呈极显著正相关,过氧化氢酶只与碱性磷酸酶呈极显著正相关。

表 4　土壤有机质和腐殖质组分与土壤酶活性相关性分析

组 分	相关系数								
	有机质	胡敏酸	富里酸	胡敏素	胡富比	脲酶	碱性磷酸酶	酸性磷酸酶	过氧化氢酶
有机质	1	0.670**	0.612**	0.984**	−0.170	0.775**	0.488**	0.516**	−0.180
胡敏酸		1	0.343*	0.618**	0.294**	0.432**	0.572**	0.613**	0.124
富里酸			1	0.475**	−0.778**	0.431**	−0.086	0.677**	−0.400**
胡敏素				1	−0.64	0.780**	0.538**	0.403**	0.052
胡富比					1	−0.126	0.469**	−0.291	0.475**
脲 酶						1	0.616**	0.332**	0.167
碱性磷酸酶							1	0.154	0.565**
酸性磷酸酶								1	0.024
过氧化氢酶									1

注:** 表示在 0.01 水平上显著相关;* 表示在 0.05 水平上显著相关。

3 讨 论

3.1 侵蚀环境下不同土地利用类型对有机质和腐殖质组分含量的影响

因地处坡地长年受降雨的侵蚀，研究区不同土地利用类型覆盖土壤均有不同程度的水土流失，导致了土壤肥力下降。研究结果表明，研究区灌丛和园地土壤有机质含量要高于林地、草地和耕地，尤以耕地最低。这表明保持土壤肥力效果最好的是灌丛和园地，林地和草地次之，耕地最差，这与赵护兵等[8]、李生等[9]的研究结果较为一致。

相关性分析表明，胡敏素与有机质呈极显著正相关，其在土层中的分布规律与有机质基本相同，灌丛和园地覆盖下的土壤含量要高于林地、草地和耕地(表4)。这表明水土流失程度和土壤肥力高低与胡敏素的含量有直接关系。土壤中保存的水分和氮含量高有利于有机质积累和胡敏酸缩合[10-12]，本研究结果表明，0—10，10—20 和 20—30 cm 这3个土壤层中，灌丛所固持的自然含水量和全氮量均明显高于其他土地利用类型。同时，其3个土壤层中的胡敏酸的含量及胡富比均高于园地、林地、草地和耕地。这个结果进一步证明了灌丛在研究区黄壤水土保持中的重要作用。

富里酸(图1)的分布状况与其他腐殖质组分都不同，富里酸的分子结构较简单，平均分子量小，具有较强的溶解能力和移动性。富里酸既是形成 HA 的一级物质，又是 HA 分解的一级产物，在 HA 的积累和更新中起重要的作用。相关性分析表明，富里酸与胡敏酸也是显著正相关。本研究中，林地在 0—10 cm 土层中富里酸含量小于 10—20 cm 土层，灌丛、耕地和园地在 0—10 与 10—20 cm 土层的富里酸含量无显著性差异。这与丁咸庆等[13]的研究结果不同。原因可能是，研究区坡地因长年受雨水侵蚀，富里酸因其分子量小并具有较强的溶解能力，容易在土层纵向上迁移，导致林地土壤表层的富里酸低于下层。草地 0—10 cm 土层富里酸含量显著高于 10—20 cm 土层，原因是草地地表覆盖度高且根系集中于土壤表层，富里酸大多被吸附、固持在表层土壤中，不易流失。因此，草地对防止土壤表层富里酸流失有很明显的作用。

3.2 侵蚀环境下不同土地利用类型对土壤酶活性的影响

土壤酶活性是土壤生物活性和土壤肥力的重要指标[14]。研究结果显示，土壤酶活性随土壤深度增加而降低，这与杨佳佳等[15]的研究结果相似。但本研究结果表明，0—10 cm 土层中，耕地脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性都是最低的，说明人为耕作对土壤表层这3种土壤酶活性的不利影响较大。但耕地表层的酸性磷酸酶活性却高于其他土地利用类型，原因是供试耕地黄壤 pH 值较低，有利于酸性磷酸酶活性的发挥。灌丛和草地碱性磷酸酶活性，原因是供试灌丛和草地黄壤 pH 值较高，偏碱性，有利于碱性磷酸酶活性的发挥。所以，土壤 pH 值对2种磷酸酶活性均有明显地影响，这与张翠英等[16]的研究相似。此外，冯宏等[17]研究表明，水土流失对土壤 pH 值有明显地影响，因此土壤侵蚀也必然影响碱性磷酸酶和酸性磷酸酶的活性。

在 10—30 cm 土层，草地土壤内有机质、胡敏酸、富里酸含量，脲酶、碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性都显著低于其他土地利用类型，原因可能是草地根系较浅，草地土壤中各种微生物和酶主要集中在 0—10 cm 表层土壤中，表层土壤生物量较大，新陈代谢旺盛。而在较深土层，草地根系达不到，不利于土壤腐殖质和土壤酶的产生。因此，草地仅对于土壤表层肥力提高有一定作用。

3.3 有机质和腐殖质组分与土壤酶的关系特征

相关性分析结果表明，脲酶和酸性磷酸酶与有机质和腐殖质各组分都呈极显著正相关性，碱性磷酸酶与有机质、胡敏酸和胡敏素也都呈极显著正相关性。这与张晓曦等[12]研究结果部分相似。有研究表明脲酶与磷酸酶的活性提高可能提供了腐殖质形成的一些前体物质或者提供了有机质分解的养分条件(如磷酸酶为微生物提供磷)。于江等[18]研究表明，添加生物腐殖酸可明显提高土壤中腐殖质的含量和土壤酶的活性，腐殖质能与土壤酶形成腐殖质—土壤酶复合体，增强酶的稳定性，说明有机质与腐殖质各组分与土壤酶有着密切的联系。

过氧化氢酶与富里酸呈极显著负相关性，说明在土壤中生化反应和物质循环过程中两者之间可能存在互相不利的影响，这可能是由于酶活性受到土壤养分与腐殖质结合状况等多种因素的影响[19]，与腐殖质的相关性不能够单纯性地表现出来，这种复杂关系还有待于进一步的研究。

此外，土壤酶间也表现出极显著相关性，脲酶与碱性磷酸酶和酸性磷酸酶都呈极显著正相关，过氧化氢酶只与碱性磷酸酶呈极显著正相关性，说明土壤中有机磷的脱磷与转化、不同氮素的转化利用以及其他生化反应和物质循环关系密切并且相互影响[20]。

4 结 论

(1) 土壤侵蚀发生时，保持土壤肥力最好的是灌

丛和园地,耕地最容易受土壤侵蚀导致土壤肥力下降,胡敏素与有机质呈极显著相关性,水土流失程度和土壤肥力高低与胡敏素的含量直接关系。

(2) 土壤中胡敏酸的含量与自然含水率及全氮含量都有密切关系,土壤水力侵蚀导致的水分和氮元素流失必然影响土壤中胡敏酸含量的多少。此外,富里酸分子量小并具有较强的溶解能力,容易在横向和纵向上迁移,这是研究区坡地上林地、园地和耕地表层土壤中富里酸含量低的主要原因。草地对于表层富里酸流失有控制作用,但因草地根系较浅,不利于土壤腐殖质和土壤酶的产生。因此,草地仅对于土壤表层肥力保持和提高有一定作用。

(3) 人为耕作对土壤表层的脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性的不利影响较大。此外,土壤侵蚀导致的土壤 pH 值改变对土壤酶的影响也很明显。

(4) 相关性分析表明有机质含量与腐殖质各组分含量与脲酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶都有着密切的联系,不可分割且互相影响。

[参 考 文 献]

[1] 马国霞,石敏俊,李玫. 中国水土流失经济损失的货币化评价[J]. 中国人口资源与环境,2009,19(1):162-168.

[2] Wang Zhijie, Jiao Juying, Rayburg S, et al. Soil erosion resistance of "Grain for Green" vegetation types under extreme rainfall conditions on the Loess Plateau, China [J]. Catena, 2016,141:109-116.

[3] Yang Jisong, Yu Junbao, Liu Jingshuang, et al. Humus distribution and fraction of typical marsh soil depth profiles in the Sanjiang Plain[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006,37(5):865-868.

[4] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.

[5] 王旭东,张一平,姚永斌. 长期不同施肥对土壤腐殖质性质及存在形态的影响[C]//中国土壤学会青年工作委员会. 迈向 21 世纪的土壤与植物营养科学. 北京:中国农业出版社,1997. 171-172.

[6] 黄继川,彭智平,于俊红,等. 施用玉米秸秆堆肥对盆栽芥菜土壤酶活性和微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):348-353.

[7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.

[8] 赵护兵,刘国彬,曹清玉. 黄土丘陵区不同植被类型对水土流失的影响[J]. 水土保持研究,2004,11(2):153-155.

[9] 李生,任华东,姚小华,等. 典型石漠化地区不同植被类型地表水土流失特征研究[J]. 水土保持学报,2009,23(2):1-6.

[10] 李海波,韩晓增,王凤,等. 不同土地利用下黑土密度分组中碳、氮的分配变化[J]. 土壤学报,2008,45(1):112-119.

[11] 程励励,文启孝,吴顺令,等. 植物物料的化学组成和腐解条件对新形成腐殖质的影响[J]. 土壤学报,1981,18(4):360-367.

[12] 张晓曦,刘增文,朱博超,等. 半干旱黄土丘陵区纯林土壤腐殖质异化特征及与其他性质的关系[J]. 生态学报,2015,35(6):1779-1787.

[13] 丁咸庆,马慧静,朱晓龙,等. 大围山不同海拔森林土壤有机碳垂直分布特征[J]. 水土保持学报,2015,29(2):258-262.

[14] 陈恩凤. 土壤酶与土壤肥力研究[M]. 北京:科学出版社,1979.

[15] 杨佳佳,安韶山,张宏,等. 黄土丘陵区小流域侵蚀环境对土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 生态学报,2015,35(17):5666-5674.

[16] 张翠英,徐德兰,万蕾等. 环境因子对湖泊沉积物碱性磷酸酶活性的影响[J]. 环境科学与技术,2013,36(4):23-27.

[17] 冯宏,郭彦彪,韦翔华,等. 赤红壤丘陵坡地不同侵蚀部位土壤养分和微生物特征变异性研究[J]. 水土保持学报,2008,22(6):149-152.

[18] 于江,朱昌雄,郭萍,等. 生物腐植酸对甘草生物量和土壤腐殖质组分含量及土壤酶活性的影响[J]. 草地学报,2011,19(1):68-74.

[19] Tabatabai M A, García-Manzanedo A M, Acosta-Martinez V. Substrate specificity of arylamidase in soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002,34(1):103-110.

[20] 安韶山,黄懿梅,刘梦云. 宁南山区土壤酶活性特征及其与肥力因子的关系[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):55-58.