黑土区典型坡耕地土壤酶活性空间分布特征研究

张孝存[1,3], 郑粉莉[2,4], 王 彬[2], 安 娟[4]

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 商洛学院 城乡发展与管理工程系, 陕西 商洛 726000; 4. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 基于对松花江流域东山沟小流域坡耕地表层 0—20 cm 土壤酶活性和养分含量分析,研究了东北黑土区典型坡耕地土壤酶活性空间分布特征及其影响因素。结果表明,小流域下游的土壤转化酶、脲酶、碱性磷酸酶活性均高于流域上游和中游;坡面侵蚀区 3 种土壤酶活性均低于坡面沉积区;土壤酶活性沿坡长分布呈现坡顶较高—坡中低—坡下高的变化趋势,与坡面土壤侵蚀强度相对应。3 种土壤酶活性之间呈极显著相关关系。土壤酶活性空间分布特点与土壤侵蚀强度空间分布趋势呈现相一致的规律,表明土壤侵蚀降低了土壤酶活性。

关键词: 土壤酶活性; 空间分布; 土壤侵蚀; 坡耕地; 黑土

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2013)02-0058-04 **中图分类号**: S152.4

Characteristics of Spatial Distribution of Soil Enzyme Activities in Sloping Farmland of Typical Area in Black Soil Region

ZHANG Xiao-cun[1,3], ZHENG Fen-li[2,4], WANG Bin[2], AN Juan[4]

(1. *College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*; 2. *College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 3. *Department of Urban and Rural Development Management Engineering of Shangluo University, Shangluo, Shaanxi* 726000, *China*; 4. *The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry land Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: Soil enzyme and soil nutrient were analyzed to investigate spatial distribution and the influencing factors for soil enzyme activities in surface soil(0—20 cm) of sloping farmland in Dongshan watershed, which is belonging to the northeast black soil area. The results showed that converting enzyme, urease, alkaline phosphatase activity were higher in lower reaches than in upper and middle reaches. The three soil enzyme activities on the slopes in the erosional area were less than those in the depositional area. Soil enzyme activities varied significantly with regard to slop positions; it was relatively high on the crest, low in middle slope, and the highest in the foot slope, corresponding to soil erosion intensity. The converting enzyme, urease, alkaline phosphatase activities were correlated positively with each other. The spatial distribution characteristics of soil enzyme activities matched that of soil erosion intensity very well on the slope and watershed. The results indicated that soil erosion reduced soil enzyme activities.

Keywords: soil enzyme; spatial distribution; soil erosion; sloping farmland; black soil

土壤酶活性是土壤生物学特性的重要内容,可以反映土壤生物化学过程的方向和强度,在土壤系统的物质循环和能量转化过程中起着重要作用,对土壤理化性质和肥力状况有着重要的影响。土壤转化酶能够把高分子化合物水解成植物和微生物利用的营养物质,为土壤生物提供能源,其活性反映了土壤有机碳累积与分解转化的规律,可作为评价土壤熟化程度和肥力水平一个指标[1]。土壤脲酶能促进尿素水解,

收稿日期:2012-11-31 修回日期:2012-12-31
资助项目:国家重点基础(973)研究发展计划项目"不同类型区土壤侵蚀过程与机理"(2007CB407201)
作者简介:张孝存(1968—),男(汉族),陕西省蓝田县人,副教授,博士研究生,主要从事土壤质量评价研究。E-mail:zhangxiaocun2005@163.com。
通信作者:郑粉莉(1960—),女(汉族),陕西省蓝田县人,研究员,博士生导师,主要从事土壤侵蚀过程、预报和土壤侵蚀环境效应评价研究。E-mail:flzh@ms.iswc.ac.cn。

对土壤氮素转化起着重要作用,并能加速土壤潜在养分的有效化,从而提高土壤肥力[1]。土壤碱性磷酸酶促使土壤有机磷矿化与分解,有助于植物对磷的吸收,其活性可以作为土壤供磷能力的重要指标之一[1]。对于农地土壤,除土壤肥力状况、微生物种类和农艺活动等对土壤酶活性有重要影响外,坡面侵蚀—沉积的空间分布及侵蚀强度也对土壤酶活性具有重要影响。而目前国内外大多研究主要集中在土壤水热状况、肥力、微生物种类和农业实践对土壤酶活性的影响,对侵蚀环境下土壤酶活性的变化研究则鲜有报道[1-8]。

东北黑土区是我国重要的粮食生产基地,但近年来水土流失日益严重,每年流失的氮磷钾养分折合成化肥达 5.00×10^6 t,对黑土区土壤质量已构成严重威胁,也影响到我国的粮食安全。然而,目前黑土区土壤侵蚀对土壤酶活性的影响研究鲜见报道[6-8],尤其是坡面侵蚀和沉积如何对土壤酶活性产生影响和流域不同部位的侵蚀强度对土壤酶活性空间分布的影响仍是空白。据此,本研究以典型黑土区松花江流域东山沟小流域为例,分析黑土区典型坡耕地土壤酶活性空间分布特征及其影响因素,揭示坡面和流域土壤侵蚀对土壤酶活性的影响,以期为黑土区土壤保护提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

东山沟小流域属于松花江流域的三级支流,位于黑龙江省宾县境内,东经 127°31′04″—127°34′02″,北纬 45°43′13″—45°46′37″,海拔 160～220 m,属于典型的薄层黑土分布区,流域总面积 4.5 km^2。流域地形以丘陵漫岗为主,坡度变化于 1°～7°之间,坡长达数百米。气候类型属于寒温带大陆性季风气候,年平均气温 3.9 ℃,无霜期 148 d,年平均降水量 548.5 mm,其中 6—9 月的降雨量约占全年降水量的 80%。流域土壤以典型黑土为主,成土母质是第四纪中更新世黄土状亚黏土,黑土层厚度 10—50 cm。土地利用类型以坡耕地为主,种植方式为横坡打垄和玉米连作,耕层深度约 20 cm,田间持水量 28%～38%,秋季耕层土壤容重约 1.1 g/cm^3。

1.2　研究方法

1.2.1　*样品采集与处理*　以黑龙江省宾县 1∶1 万地形图和土壤类型图为底图进行选点。在流域上、中、下游选取 5 个坡面,按网格法(100 m×100 m)在坡面进行采样地布设,在每个网格内按“梅花”法选择不同的采样点,采样深度 0—20 cm,将采集的土壤样品混合均匀,按四分法取约 1 kg 的土壤样品并装袋。同时,以地形部位、黑土层厚度及侵蚀环境也作为选取采样点的依据,选取 2 个典型坡面,按坡顶、坡上、坡中和坡下 4 个不同坡位采集土壤样品。由于研究小流域的上游坡面以侵蚀过程为主,其下游以沉积为主,故在该流域上游区域设置耕层土壤采样点 8 个,在下游区域布设采样点 7 个;而研究小流域的中游区域侵蚀与沉积过程并存,故设置耕层土壤采样点 33 个;这样在小流域内共设置采样点 48 个。按坡面侵蚀和沉积部位划分,侵蚀区土壤样点共 27 个,沉积区共 21 个,每个样点重复 3 次。

将土壤样品带回实验室,在自然条件下风干,去除根系、枯落物、石块等杂物,研磨后分别过 1 和 0.25 mm筛。测定土壤性质指标包括转化酶,脲酶,碱性磷酸酶,有机质,全氮和碱解氮。

1.2.2　*分析方法*　土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法[9],土壤全氮和碱解氮分别采用开氏(Kedah)消煮法和碱解扩散法[10];土壤转化酶采用 3,5—二硝基水杨酸比色法测定,土壤脲酶用苯酚钠—次氯酸钠比色法测定,土壤碱性磷酸酶测定用苯磷酸二钠比色法[1]。

所有结果以风干土质量为基础进行计算,采用 SPSS 16.0 软件进行数据统计分析,应用最小显著性差异(LSD)方法进行检验。

2　结果与分析

2.1　土壤酶活性特征

东山沟小流域的土壤转化酶活性介于 16 500～56 030 mg/(kg·d),平均值为 30 900 mg/(kg·d);土壤脲酶活性变化于 645～2 855 mg/(kg·d),平均为 1 176 mg/(kg·d);土壤碱性磷酸酶含量在 1 491～3 083 mg/(kg·d),平均为 2 488 mg/(kg·d)。相关研究表明[11],黑土土壤酶活性之间存在非常密切的相关关系,为此对东山沟流域土壤转化酶、脲酶和碱性磷酸酶之间进行了相关分析。结果表明(表 1),这 3 种土壤酶活性之间呈极显著正相关关系($p<0.01$)。说明土壤中多糖的转化、有机磷的转化与氮素转化之间关系密切并相互影响,同时说明土壤酶在酶促土壤有机物质转化中不仅显示专性特征,同时也存在共性关系。土壤酶的专性性质能反映土壤中与某些酶相关的有机化合物转化进程,而有共性关系酶的总体活性在一定程度上反映土壤肥力水平[12]。相关分析显示(表 1),流域土壤有机质、全氮、碱解氮与 3 种土壤酶活性存在极显著正相关关系,表明它们之间依存关系密切。

表 1 3 种土壤酶活性之间及其与土壤养分之间的相关分析

项 目	转化酶	脲 酶	碱性磷酸酶	有机质	全 氮	碱解氮
转化酶	1.000	0.478**	0.602**	0.640**	0.702**	0.626**
脲 酶		1.000	0.440**	0.518**	0.529**	0.451**
碱性磷酸酶			1.000	0.720**	0.534**	0.471**
有机质				1.000	0.950**	0.684**
全 氮					1.000	0.812**
碱解氮						1.000

注：**表示 0.01 水平上显著相关。

2.2 土壤酶活性在流域的空间分布特征及其与土壤侵蚀的关系

图 1 表明土壤转化酶活性在研究小流域下游区域最高，其与小流域上游和中游区域的差异达到极显著水平，中游区域土壤转化酶活性虽高于上游区域，但差异不显著（$p>0.05$）。土壤脲酶活性在小流域下游区域最高，上游区域次之，中游含量最低，3 者之间差异不显著。土壤碱性磷酸酶活性在小流域下游区域最大，且与上游和中游区域土壤酶活性差异显著（$p<0.05$），中游区域土壤磷酸酶活性虽低于上游区域的，但差异不显著。总之，土壤转化酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均在研究小流域的下游区域最大，反映出土壤侵蚀对土壤酶活性的影响。

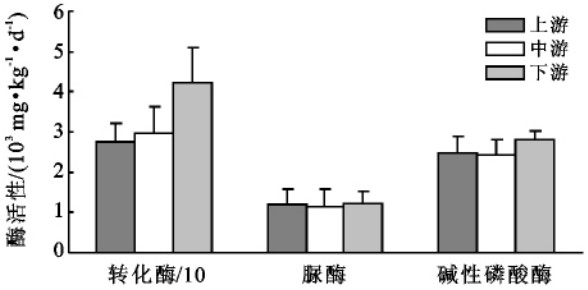


图 1 土壤酶活性在小流域上游、中游和下游的对比

注：转化酶/10 表示图中值比实测值缩小了 10 倍。下同。

从图 2 可以看出，研究小流域坡面侵蚀区的土壤转化酶、脲酶和碱性磷酸酶活性明显低于沉积区的对应值，分别为沉积区对应值的 82.6%，89.2% 和 89.7%。其原因在于长期的土壤侵蚀导致表层肥沃的土壤大量流失，使黑土层变薄，也使土壤有机质、全氮和碱解氮等养分含量减少，造成土壤养分“贫化”。这些养分又与 3 种土壤酶活性存在极显著相关关系，土壤养分含量降低进而使得土壤酶活性降低。反之，坡面沉积部位的土壤养分含量增加，使土壤酶活性增大。

利用同课题组安娟实验数据对东山沟小流域土壤侵蚀强度进行分析，研究结果表明，小流域的上游以侵蚀过程为主，侵蚀速率平均为 1 922.0 t/(km² · a)；中游侵蚀和沉积现象并存，其中侵蚀速率平均为 1 330.6 t/(km² · a)，沉积速率平均为 −1 107.8 t/(km² · a)；下游主要发生沉积，沉积速率平均为 −1 348.5 t/(km² · a)。中游土壤侵蚀速率为上游区的 69.2%，其沉积速率为下游区的 82.2%。以沉积为主的小流域下游区的 3 种土壤酶活性均高于上游和中游区。

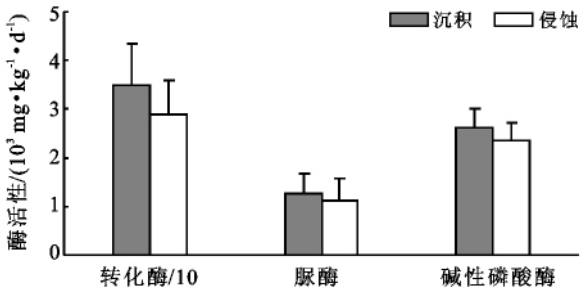


图 2 小流域侵蚀和沉积区与土壤酶活性的关系

2.3 土壤酶活性在坡面的分布特征及其与土壤侵蚀的关系

图 3 表明 3 种土壤酶活性在坡面上的分布特征。土壤转化酶活性沿坡长分布差异比较明显，活性大小依次表现为：坡下部活性＞坡顶部＞坡上部＞坡中部。经检验，土壤转化酶在坡下部、顶部与坡中部和坡上部之间存在显著差异，坡下部与顶部差异也显著。土壤脲酶活性沿坡长变化幅度虽然较小，但其坡面变化总趋势与土壤转化酶基本一致，仅是坡上部土壤脲酶活性大于坡顶部。土壤脲酶活性仅在坡中部与其它坡位之间差异显著。土壤碱性磷酸酶含量沿坡长变化趋势与转化酶一致。土壤碱性磷酸酶活性在坡中部与坡下部、坡顶部之间差异显著，坡下部与坡上部也存在显著差异。总体上，土壤酶活性沿坡长分布呈现较高—低—高的变化趋势，即坡下部土壤酶活性最大，其次是坡顶部和坡上部，而其以坡中部为最小。

研究小流域的坡面顶部、上部和中部均表现为以侵蚀过程为主，其侵蚀速率分别为 672.1，1 156.7 和 3 068.7 t/(km² · a)，而坡下部以沉积过程为主，其沉积速率为 −1 884.7 t/(km² · a)，即坡面土壤侵蚀强度存在较弱—强—弱的变化趋势，即坡顶部和上部土

壤侵蚀较轻,坡中部土壤侵蚀速率最大,坡下部侵蚀速率最小。这与安娟[13]对薄层黑土区土壤侵蚀强度空间分布特征研究结果相似。土壤侵蚀强度在坡面上的分布特征影响 3 种土壤酶活性的分布特征(图 3)。3 种土壤酶活性沿坡面分布呈现较高—低—高变化趋势,即处于沉积部位的坡下部酶活性最大,其次是侵蚀强度较轻部位,侵蚀最严重的坡中部酶活性最小。原因在于不同坡面部位之间土壤侵蚀强度差异导致直接流失的土壤酶活性含量差异,土壤侵蚀严重部位的土壤酶流失量较高,酶活性降低;侵蚀强度较小的土壤酶流失量较小,酶活性相对较高。同时,侵蚀强度不同也导致不同坡面部位之间土壤养分含量差异,进而影响产酶生物坡面分布差异,导致土壤酶活性差异,侵蚀严重部位土壤养分含量低,产酶生物密度低,代谢较弱,土壤酶活性减弱;反之,则酶活性相对提高。这说明土壤侵蚀是导致黑土区坡耕地土壤酶活性降低的重要因素之一。

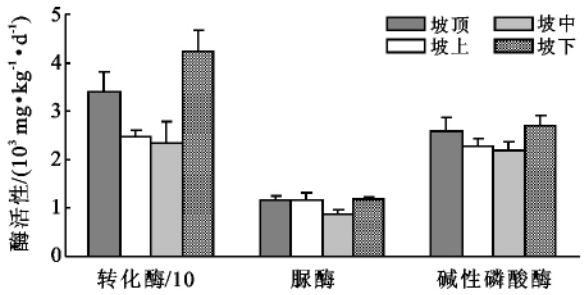


图 3　坡面不同部位的土壤酶活性差异

3　结 论

(1) 黑土区小流域土壤酶活性空间分布特征为小流域下游土壤转化酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均高于上游和中游,其中土壤转化酶之间差异极显著,土壤碱性磷酸酶之间差异显著;3 种土壤酶活性沿坡长分布呈现较高—低—高变化趋势。

(2) 坡耕地土壤转化酶、脲酶和碱性磷酸酶活性之间极显著相关,说明土壤多糖、氮素和磷素转化之间关系密切并相互影响。3 种土壤酶活性与土壤有机质、全氮、碱解氮之间极显著正相关。因此,在注意土壤培肥的同时,也要注意土壤酶活性和土壤养分之间协调。

(3) 流域坡面侵蚀区 3 种土壤酶活性均低于流域沉积区的对应值。以沉积为主的下游 3 种酶活性高于侵蚀程度较强的上、中游。土壤酶活性沿坡长分布趋势与土壤侵蚀强度坡面变化特点密切相关。因此,黑土区土壤侵蚀引起的土壤肥力下降不容忽视。

[参 考 文 献]

[1] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社, 1987:116-267.

[2] Dick W A. Influence of long-term tillage and crop rotation combination on soil enzyme activities[J]. Soil Soc. Am. J., 1984,48(3):569-574.

[3] Zantua M I, Dumenil L C, Bremner J M. Relationships between soil urease activity and other soil properties [J]. Soil Sci. Soc. Am J., 1977,41(2):350-352.

[4] 王鑫,刘建新,张希彪,等. 黄土高原半干旱地区土地利用变化对土壤养分、酶活性的影响研究[J]. 水土保持通报, 2007,27(6):50-55.

[5] 张锋,郑粉莉,安韶山. 近 100 年植被破坏加速侵蚀下土壤养分和酶活性动态变化研究[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(4):666-672.

[6] 阎百兴,汤洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响[J]. 地理研究,2005,24(4):499-506.

[7] 岳中辉,张兴义,隋跃宇,等. 黑土酶活性的剖面分布及其对养分的评价[J]. 水土保持学报, 2011,25(4):154-159.

[8] 王树起,韩晓增,乔云发,等. 长期施肥对东北黑土酶活性的影响[J]. 应用生态报,2008,19(3):551-556.

[9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978:132-136.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:25-97.

[11] 焦晓光,魏丹,隋跃宇. 长期施肥对黑土和暗棕壤土壤酶活性及土壤养分的影响[J]. 土壤通报,2011,42(3):698-703.

[12] 关松荫,沈桂琴,孟昭鹏,等. 我国主要土壤剖面酶活性状况[J]. 土壤学报,1984,21(4):368-381.

[13] 安娟. 东北黑土区土壤侵蚀过程机理和土壤养分迁移研究[D]. 陕西 杨凌:中国科学院 水土保持研究所, 2012.