

# 典型黑土区坡耕地土壤碱性磷酸酶 和有机质空间分布研究

邢培茹<sup>1</sup>, 郑粉莉<sup>1,2</sup>, 王彬<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 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:**以东北黑土侵蚀严重区宾州河流域为研究区,通过采集流域上游、中游和下游 6 个典型坡面及各坡面不同坡位的土壤样品,分析坡耕地土壤碱性磷酸酶和土壤有机质在流域和坡面尺度的空间分布特征及其与土壤侵蚀的关系。结果表明,在流域尺度上,坡耕地土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质含量均表现为下游>中游>上游,坡面尺度上总体表现为坡面上部<坡面中部<坡面下部的趋势,且坡位对土壤有机质分布的影响较其对土壤碱性磷酸酶活性的影响更为明显。土壤碱性磷酸酶活性与土壤有机质间存在极显著的正相关关系。流域土壤碱性磷酸酶活性和有机质空间分布与土壤侵蚀空间分布相对应,反映出土壤侵蚀是影响该区耕层土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质含量的主要因素。

**关键词:**典型黑土区坡耕地; 土壤碱性磷酸酶; 土壤有机质; 土壤侵蚀; 空间分布

中图分类号:S158

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0039-04

## Spatial Distribution of Soil Alkaline Phosphatase Activity and Soil Organic Matter on Sloping Farmlands in Typical Black Soil Region

XING Pei-ru<sup>1</sup>, ZHENG Fen-li<sup>1,2</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Soil samples in different positions of slope in the upper, middle and down stream of Binzhou river basin were collected to analyze the spatial distribution of soil alkaline phosphatase and soil organic matter, as well as effects of soil erosion on them. The results showed that soil alkaline phosphatase and soil organic matter ranked as down stream>middle stream>upper stream at watershed scale. Soil alkaline phosphatase and soil organic matter in the different slope positions followed the order of top slope<the middle slope<down slope, slope position played more important role in the distribution of soil organic matter than that in soil alkaline phosphatase. There was a significant positive correlation between soil alkaline phosphatase and soil organic matter. The spatial distribution of soil alkaline phosphatase activity and soil organic matter was corresponding to soil erosion, suggesting that soil erosion was the key factor governing spatial distribution of soil alkaline phosphatase and soil organic matter in Binzhou river basin.

**Key words:** cropland in typical black soil region; soil alkaline phosphatase; soil organic matter; soil erosion; spatial distribution

土壤酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一,它和土壤微生物共同推动着土壤的代谢过程<sup>[1]</sup>。土壤

酶活性可表征土壤物质能量代谢、土壤肥力状况、土壤生态环境质量优劣,是重要的生物指标<sup>[2-4]</sup>。增强

收稿日期:2013-04-08

修回日期:2013-05-09

资助项目:国家 973 计划项目(2007CB407201)

作者简介:邢培茹(1984—),女,陕西凤县人,硕士研究生,研究方向:土壤侵蚀。E-mail: xingpeiru@126.com

通信作者:郑粉莉(1960—)女,陕西蓝田人,教授,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

土壤酶活性能够促进土壤物质和能量代谢,提高土壤肥力,为农业增产丰收创造基础条件。土壤磷酸酶是催化磷酸酯和磷酸酐水解的酶,广泛存在于生物界。主要包括磷酸单酯酶(酸性、中性、碱性磷酸酶)、磷酸二酯酶和磷酸三酯酶<sup>[1]</sup>。

东北黑土区开垦后人为加速侵蚀和自然侵蚀造成黑土土层厚度减少,土壤理化性质恶化,尤其是薄层黑土区漫岗丘陵表层土壤水土流失更为严重,黑土层厚度仅剩 20 cm,甚至出现“破皮黄”现象<sup>[5]</sup>。土壤侵蚀造成土地生产力下降,已严重影响了农业可持续发展。因此,迫切需要开展农耕地土壤侵蚀对土壤性质变异影响研究,尤其是对土壤生物学性质影响研究;目前黑土区农耕地典型的施肥特点是“重氮轻磷轻钾”<sup>[6]</sup>,急需研究土壤磷素和钾素变异性及与二者相关的土壤酶活性的变异性。另一方面,目前有关东北黑土区土壤碱性磷酸酶活性的研究,多集中在施肥方式、土壤养分、农业耕作措施、有机磷组分等方面<sup>[7-10]</sup>,而对黑土侵蚀严重区农耕地土壤碱性磷酸酶活性特征的研究较少。有关研究指出,土壤侵蚀使土壤性质在不同坡位发生变异<sup>[11]</sup>,但目前有关土壤侵蚀对土壤碱性磷酸酶活性空间分布影响的研究尚未见报道。为此,本文选取黑土严重侵蚀区的宾州河流域为研究区,采用野外实地调查和室内分析相结合的方法,通过测定典型坡耕地不同坡位土壤碱性磷酸酶活性及有机质含量,分析二者在流域和坡面尺度上的空间分布特征,揭示土壤侵蚀对土壤碱性磷酸酶活性和有机质含量的影响,以期在黑土侵蚀严重区土壤质量提高和土壤资源可持续利用提供科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区概况

本研究选取黑龙江省宾县宾州河流域的农耕地为研究对象。宾州河流域(127°26′04″—127°32′02″E, 45°43′13″—45°51′37″N)位于松嫩平原东部边缘,属于黑土区典型的侵蚀严重区。流域面积 375 km<sup>2</sup>,地貌类型属漫岗丘陵。流域地势平缓,地面坡度变化于 1°~7°,坡长 500~1 000 m,属寒温带大陆性季风气候,气温年较差大,年平均气温 3.9℃,无霜期 148 d,年均降雨量为 548.5 mm,年际变化大且分布不均,多集中于 6—9 月份,占全年降水量的 78.7%。流域土壤以黑土为主,占流域面积的 2/3 以上,黑土层厚度多变化于 10~50 cm;农耕地以玉米种植为主,耕种方式多为顺坡垄作,土壤容重 1.1 g/cm<sup>3</sup> 左右,有机质含量 1%~7%,流域侵蚀强度变化范围为 458.5~6 121.6 t/(km<sup>2</sup>·a)。

## 1.2 样地选取和采样

以宾州河流域 1:1 万地形图及土壤类型图为工作底图,在野外调查的基础上,初步选定流域上、中、下游的 6 个典型阳坡坡面为采样坡面。为了充分反映流域上、中和下游土壤磷酸酶活性空间分布特征以及土壤有机质的关系,以地貌地形部位、黑土土层厚度及侵蚀环境差异作为参考依据,最终在宾州河流域上游、中游和下游各选两个典型坡面作为土壤样品采集坡面(表 1)。同时,为了研究土壤碱性磷酸酶活性在坡面的变异性,根据坡面侵蚀—沉积状况,在每个坡面,分别选取坡上、坡中和坡下 3 个坡位进行土壤样品采集,每个坡位样品采集设计两个重复,即共采集土壤样品数 36 个。在每个采样点,按 S 型采集 4~6 个耕层土样进行混合,按四分法取适量土样装入已编号的土壤采集袋,带回实验室进行测定。

表 1 采样坡面基本情况

流域位置	采样坡面	地理位置	海拔/m	pH 值
上游	坡面 A	45°43′47.7″N 127°28′12.0″E	189~210	5.69~5.90
	坡面 B	45°44′22.9″N 127°28′01.6″E	169~195	5.48~5.85
中游	坡面 C	45°45′52.9″N 127°32′01.6″E	158~177	5.70~5.98
	坡面 D	45°47′29.2″N 127°28′18.8″E	136~155	5.47~5.70
下游	坡面 E	45°48′05.7″N 127°28′10.3″E	138~158	5.42~5.67
	坡面 F	45°51′36.1″N 127°28′35.4″E	125~147	5.72~6.27

## 1.3 测定方法和数据处理

将所采集的土壤样品剔除根系、石块等杂物,风干磨碎,过 1 mm 筛,测定土壤碱性磷酸酶活性、有机质含量。土壤碱性磷酸酶活性<sup>[1]</sup>采用磷酸苯二钠比色法测定;土壤有机质含量用硫酸重铬酸钾法<sup>[12]</sup>测定。所有实验数据用 SPSS 17.0 进行统计分析,用 LSD 法进行显著性检验。

# 2 结果与分析

## 2.1 土壤碱性磷酸酶和有机质含量在流域的分布特征

表 2 表明,宾州河流域土壤碱性磷酸酶活性在流域尺度上表现为上游<中游<下游;其中,上游碱性磷酸酶活性为 1 582.50~2 413.80 mg/(kg·d),平均 2 013.46 mg/(kg·d),变异系数 13.92%;中游碱性磷酸酶活性为 2 187.00~2 681.90 mg/(kg·d),平均 2 399.93 mg/(kg·d),变异系数 8.48%;下游碱性磷酸酶活性为 2 064.50~3 245.40 mg/(kg·d),平

均 2 401.05 mg/(kg · d),变异系数 17.70%。流域中游的土壤碱性磷酸酶活性比上游增加了19.19%,而与下游相近。流域土壤有机质的空间分布与土壤碱性磷酸酶活性在流域的分布一致,其中流域上游有机质含量变化于 16.5~37.9 g/kg,平均为 22.9

g/kg,变异系数 33.18%;中游有机质为 20.6~29.7 g/kg,平均值 24.5 g/kg,变异系数 14.28%;下游有机质 21.5~69.9 g/kg,平均值 35.5 g/kg,变异系数 29.85%。下游有机质含量比中游增加了44.90%,而中游的有机质含量略高于上游。

表 2 流域上游、中游、下游土壤碱性磷酸酶活性与土壤有机质含量变化

流域位置	土壤碱性磷酸酶/(mg · kg <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )				土壤有机质/(g · kg <sup>-1</sup> )			
	平均值±SD	最大值	最小值	C <sub>v</sub>	平均值±SD	最大值	最小值	C <sub>v</sub>
上游	2013.5±280.3a	2413.8	1582.5	13.92	22.9±7.6a	37.9	16.5	33.18
中游	2399.93±203.7a	2681.9	2187.0	8.48	24.5±3.5a	29.7	20.6	14.28
下游	2401.1±425.2a	3245.4	2064.5	17.70	35.5±10.6a	69.9	21.5	29.85

注:SD 为标准差;同一列中相同字母表示在 0.05 水平下无显著性差异。

表 2 还表明,宾州河流域耕层土壤碱性磷酸酶活性和有机质含量变异最小值均出现在中游,土壤碱性磷酸酶活性的最大变异出现在下游,而有机质则在上游变异最大。说明土壤碱性磷酸酶和土壤有机质在中游的分布较上游和下游均匀。

2.2 土壤碱性磷酸酶活性和有机质在坡面不同坡位的分布特征

图 1 表明,在 6 个典型坡面上,坡面 A 土壤碱性磷酸酶活性值表现为坡面中部>坡面下部>坡面上部,而其余 5 个坡面均呈现出随坡长的增加,土壤碱性磷酸酶活性呈增加的变化趋势。其中,流域下游坡面 E 下部的土磷碱性酸酶活性为 3 245.4 mg/(kg · d),达到最大值,且分别比 E 坡面上部和中部增加了 57.0%和 40.0%。显著性差异分析结果显示,B、C 和 F 共 3 个坡面,各坡位间的土壤碱性磷酸酶活性均未达到显著性差异( $p>0.05$ ),而坡面 D 的 3 个坡位间呈显著性差异,坡面 A 和 E 的坡上部较坡中部和坡下部差异显著。表明土壤碱性磷酸酶活性坡位差异明显。

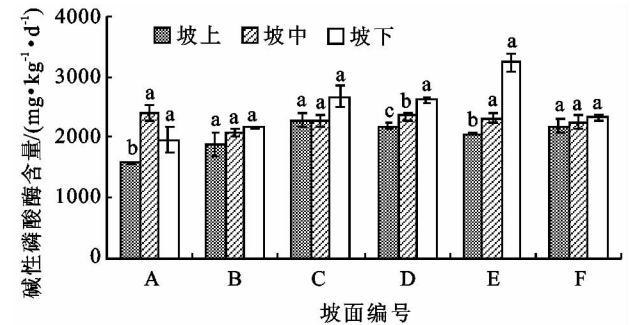


图 1 土壤碱性磷酸酶活性在坡面的分布

注:同一坡面编号的不同字母表示在 0.05 水平下差异显著。

宾州河流域耕层土壤有机质含量在坡面不同坡位的分布与土壤碱性磷酸酶活性分布基本一致(图 2)。除坡面 A 外,其它不同坡面的土壤有机质含量均为坡上部<坡中部<坡下部;其中,E 坡面的土壤有机质含量在坡下部达 69.90 g/kg,在全流域耕层土壤

中值最大。显著性分析表明,坡面 C、D 和 E 的土壤有机质含量在不同坡位间均表现出显著差异;坡面 B 土壤有机质含量在坡上部显著小于坡中部和下部;坡面 F 土壤有机质含量在坡下部显著高于坡中部和上部;坡面 A 坡中部的土壤有机质含量显著高于坡上部 and 下部。上述结论表明,坡面部位对土壤有机质含量的影响较对土壤碱性磷酸酶活性影响更明显。

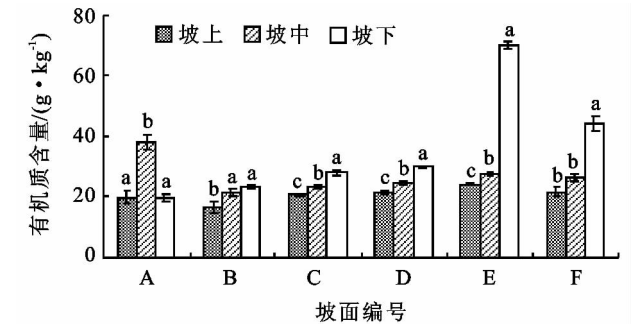


图 2 土壤有机质在坡面的分布

2.3 土壤碱性磷酸酶与土壤有机质的相关性分析

对土壤碱性磷酸酶活性与土壤有机质含量进行简单相关分析发现,宾州河流域 6 个典型坡面土壤碱性磷酸酶活性与土壤有机质间存在极显著正相关关系(图 3)。说明薄层黑土区土壤碱性磷酸酶活性很大程度上受有机质含量的影响,该结论与前人的研究结果<sup>[13-15]</sup>相同。因此,薄层黑土区增加土壤有机质含量可增加土壤碱性磷酸酶活性,进而提高土壤生产力。

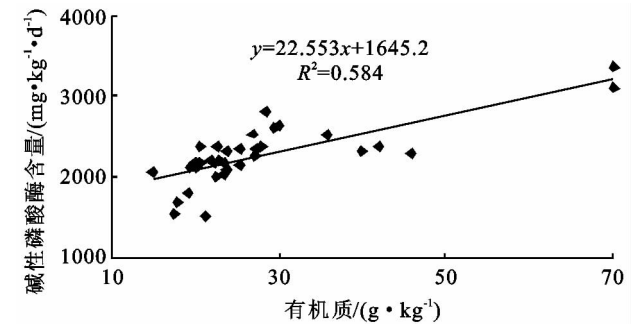


图 3 土壤碱性磷酸酶与土壤有机质的关系

## 2.4 流域土壤侵蚀空间分布对土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质的影响

宾州河流域耕层土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质在流域尺度上表现为下游>中游>上游,这与流域土壤侵蚀空间分布相对应。安娟<sup>[16]</sup>的研究结果表明,流域上游以侵蚀为主,平均侵蚀速率为 $1\,922.0\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,流域中游平均侵蚀速率为 $1\,330.6\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,而流域下游主要发生沉积,沉积速率平均为 $1\,348.5\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。因此,土壤侵蚀是影响耕层土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质在流域空间分布的主控因素。

耕层土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质在坡面尺度上总体表现为坡下部>坡中部>坡上部,这也与土壤侵蚀在坡面上的空间分布相对应。王禹等<sup>[17]</sup>的研究结果表明,黑土区坡面土壤侵蚀随着坡长的增加,呈现出较弱一强一弱的变化趋势,即坡顶部和上部土壤侵蚀强度较轻,坡中部土壤侵蚀速率最大,坡下部侵蚀速率最小且出现沉积。由于土壤侵蚀在坡面上存在明显的侵蚀强弱交替变化规律,进而影响土壤碱性磷酸酶活性和有机质在坡面的分布特征。安娟<sup>[16]</sup>采用<sup>137</sup>Cs示踪技术估算了坡面不同位置的侵蚀速率,发现坡顶部侵蚀速率为 $672.1\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ;坡上部侵蚀速率为 $1\,156.7\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ;坡中部侵蚀最严重,其平均侵蚀速率为 $3\,068.7\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ;而坡下部表现出明显的沉积,平均沉积速率为 $1\,884.7\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。由此可见,侵蚀速率在不同坡面部位之间的明显差异是导致土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质在坡面不同部位间分布差异的直接原因,进一步揭示了土壤侵蚀是影响研究区耕层土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质空间分布的主控因素。

## 3 结论

本文以典型薄层黑土区宾州河流域为研究区,采用野外实地调查和室内分析相结合的方法,通过测定坡面耕地不同坡位土壤碱性磷酸酶活性及有机质含量,研究了二者在流域和坡面尺度上的空间分布特征,分析了土壤碱性磷酸酶活性与有机质含量的关系,揭示了土壤侵蚀对土壤碱性磷酸酶活性和有机质含量的影响。主要研究结论如下:

(1) 土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质含量均在流域下游达到最大值,在流域尺度上总体上呈现为上游<中游<下游,且土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质含量间存在极显著正相关关系。

(2) 在坡面尺度上土壤碱性磷酸酶活性和有机质含量表现出上坡位<中坡位<下坡位,且不同坡位对土壤有机质分布的影响较之对土壤碱性磷酸酶活

性的影响更为明显。

(3) 流域土壤碱性磷酸酶和土壤有机质空间分布特征与侵蚀空间分布特征相对应,反映出土壤侵蚀是影响该区耕层土壤碱性磷酸酶活性和土壤有机质的主控因素。

### 参考文献:

- [1] 关松荫,张德生,张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社,1986.
- [2] Garcia-Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa M B, et al. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(9): 2137-2145.
- [3] 张咏酶,周国逸,吴宁. 土壤酶学研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(1): 83-90.
- [4] 董艳,董坤,郑毅,等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 527-532.
- [5] 黑龙江省土地局,黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- [6] 陈京生,门云云,张婷婷,等. 黑龙江省宾县种植业环境影响评价[J]. 黑龙江农业科学, 2012(2): 45-47.
- [7] 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]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 551-556.
- [8] 张志丹. 现行耕作、施肥条件下黑土酶活性变化特征研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2005.
- [9] 耿玉清,白翠霞,赵广亮,等. 土壤磷酸酶活性及其与有机磷组分的相关性[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 139-143.
- [10] An J, Zheng F L, Romkens M J, et al. The role of soil surface water regimes and raindrop impact on hillslope soil erosion and nutrient losses [J]. Nat Hazards, 2013, 67: 411-430.
- [11] Miller P M, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills [J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(4): 1133-1141.
- [12] 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.
- [13] 郝长红,杨建中,颜丽,等. 沈阳东陵古松根区土壤磷酸酶活性与土壤养分的关系[J]. 土壤肥料科学, 2006, 22(1): 194-196.
- [14] Martens D A, Johanson J B, Frankenberger W T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues[J]. Soil Science, 1992, 153(1): 53-61.
- [15] 余娜,刘济明,张超,等. 不同沙生植被土壤酶活性分异特征研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 77-81, 87.
- [16] 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与生态环境研究中心, 2012.
- [17] 王禹,杨明义,刘普灵. 典型黑土直型坡耕地土壤侵蚀强度的小波分析[J]. 核农学报, 2010, 24(1): 98-103.