

The Evaluation of Phosphorus Leaching Risk of Agricultural Soil in Dagu River Basin

Jinheng ZHANG¹, Junqiang WANG², Shuhai WAN^{3,1}, Dapeng LI¹, Xi JIANG¹, Ying LIU¹,
Zhenxuan YAO¹, Qingxian SU¹

¹Institute of Eco-environment & Agriculture Information, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, China, 266042

²Qingdao Station for Popularizing Agricultural Techniques, Qingdao, China, 266000

³College of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin, China

Email: zjh-nhl@163.com

Abstract: Total 109 soil samples (surface soil and deep soil) were sampled to measure dissolved phosphorus, available phosphorus and total phosphorus. Dissolved phosphorus was significant correlation with available phosphorus and total phosphorus at 0.01 levels respectively. The correlation coefficient between dissolved phosphorus and available phosphorus was higher than the correlation coefficient between dissolved phosphorus and total phosphorus. 16.51 mg.kg⁻¹ was leaching threshold of available phosphorus. 53.82mg.kg⁻¹ was a moderate indicator of soil available phosphorus leaching, and greater than 53.82mg.kg⁻¹ was as high intensity leaching indicator. Based on GIS, soil phosphorus distribution of spatial interpolation was used to evaluate the risk of phosphorus leaching and form thematic map. Results showed that high risk area of the soil phosphorus leaching located in majority area of GuXian, a small part of area of ZhangGeZhuang, ZhuGou, NaCun and GouZhuang.

Keywords: agricultural soil; phosphorus leaching; spatial analysis

沽河流域农田土壤磷淋失风险评价研究

张金恒¹, 王军强², 万术海^{3,1}, 李大鹏¹, 姜盼¹, 刘颖¹, 姚振旋¹, 苏青仙¹

¹青岛科技大学生态环境与农业信息化研究所, 青岛, 中国, 266042

²青岛市农业技术推广站, 青岛, 中国, 266000

³辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院, 阜新, 中国, 123000

Email: zjh-nhl@163.com

摘要:通过对大沽河流域内 109 个农田土壤样本(表层土壤和深层土壤) CaCl₂-P、有效磷和总磷的测试, CaCl₂-P 与有效磷和总磷均在 0.01 水平下极显著相关, 其中 CaCl₂-P 与有效磷的相关系数明显大于 CaCl₂-P 和总磷的相关系数。初步确定流域内农田土壤磷淋失临界值为土壤速效磷 16.51 mg.kg⁻¹。土壤速效磷浓度 53.82mg.kg⁻¹ 作为土壤发生中等强度磷淋失指标, 土壤速效磷大于 53.82mg.kg⁻¹ 作为土壤磷发生高强度淋失指标。在 GIS 的支持下, 结合研究流域内土壤速效磷空间插值分布格局进行磷淋失风险评价, 形成专题图。结果显示高强度的磷淋失区域主要位于古岷镇的大部分, 祝沟镇、张戈庄镇、郭庄镇和南村镇的少部分, 在其他乡镇也有零星分布。

关键词: 农田土壤; 磷淋失; 空间分析

1 引言

磷是水质下降的主要原因之一, 农业又是主要的磷源^[1,2]。在 20 世纪 90 年代以前, 很少有研究关注磷在土壤中的损失, 认为土壤磷素主要通过地表径流进入水体, 而通过土体淋失的磷很少, 可以忽略不计^[3]。磷的临界浓度达 0.05-0.035mg.L⁻¹ 就能引发湖水的富营养化^[4,5]。然而研究表明, 土壤中的有效磷超过某

资助项目: 青岛市科技计划项目 (09-1-1-53-nsh) 和(08-2-1-36-nsh)

一临界值时, 从土体排出水的磷浓度迅速增加^[6]。认为表层土壤的磷素能够沿着由于根系和蚯蚓等所形成的大孔隙淋移, 并排出土体, 成为水体磷素不可忽略的重要来源。渗漏水中磷浓度随土壤 Olsen-P 浓度的增加而呈线性增加。可以用 CaCl₂ 浸提磷来预测从土体排出水的磷浓度, 从而对磷素淋失进行风险评估^[7,8]。

要想进行土壤磷淋失空间分布的研究, 就要获得田间土壤有效磷的连续空间分布数据, 实际工作中由

于经济和人力原因,采用点是有限的,要得到整个研究区的数据就必须用采样点对该区域进行插值。土壤是不均一和变化的连续体,即使在土壤质地相同的区域内,同一时刻土壤特性值在不同空间位置上也具有明显差异。本文首先利用 CaCl_2 浸提磷来预测从土体排出水的磷浓度,初步划分磷淋失等级。然后利用离权重反比法进行土壤有效磷含量的插值,生成土壤有效磷的连续空间分布数据,再生成土壤磷淋失等级分布专题图。

2 材料与方法

2.1 土壤样本的采集

样本的采集分为两部分,第一部分样本是在大沽河干流流域内 10 个乡镇,样点分布见图 1a。主要是采集耕作层土壤,采样时间是 2008 年秋季。第二部分样本是沿着大沽河干流布置采样点(见图 1b),分别采集耕作层(20cm)和深层(80-100cm)土壤样本,采样时间是 2009 年 12 月份采集。土壤样本采集使用木质工具。将样本送至实验室进行处理。

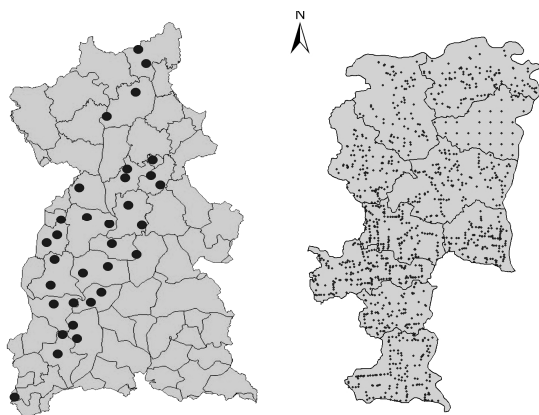


图 1a

图 1b

Figure1. Soil samples distribute

图 1. 土壤采样点分布图

2.2 土壤样本的分析测试

土壤可溶性磷及有效磷的分析测试方法:土壤样品风干后,过 1mm 筛土壤用于测定速效 P(浸提剂: $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHCO_3 , $m_{\text{水}}/m_{\text{土}} = 10:1$)和 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ ($0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 浸提, $m_{\text{水}}/m_{\text{土}} = 10:1$); 过 100 目筛风干土样做全 P 分析,土壤全 P 经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消化,钼锑抗比色法测定。

3 结果与分析

3.1 土壤磷淋失临界值划分

当表层土壤的全磷和速效磷低于某一数值时,土壤提取液中 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 浓度接近零,当高于这一数值时, $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 浓度随全磷和速效磷浓度的升高而呈线性增加趋势。用 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 数据分别建立其与速效磷、全磷直线函数关系如下:

$\text{CaCl}_2\text{-P}$ (Y) 与全磷 (X) 的关系如下:

$$Y = 0.623X + 0.154, R^2 = 0.5409, n = 109 \quad (1)$$

$\text{CaCl}_2\text{-P}$ (Y) 与速效磷 (X) 关系如下:

$$Y = 6.8831X + 16.513, R^2 = 0.6966, n = 109 \quad (2)$$

分别求 Y 轴的截距,可以确定研究地土壤发生磷素淋失的全磷与速效磷临界值分别为 $0.154\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $16.51\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。速效磷与 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 直线相关系数显著大于全磷,同时考虑到土壤速效磷是常规分析项目易获得。所以,以速效磷建立土壤磷淋失指标。

本研究将土壤磷淋失风险划分为 3 个等级。最低等级土壤磷几乎不发生淋失,其临界值是在上述关系式中 CaCl_2 浸提土壤 P 为零时对应的土壤速效磷含量,即土壤速效磷上限 $16.51\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。将 109 个土壤 CaCl_2 浸提土壤 P 平均值 $5.42\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 对应的土壤速效磷浓度 ($53.82\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 作为土壤发生中等强度磷淋失指标,将土壤速效磷大于 $53.82\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为土壤磷发生高强度淋失指标。

Table 1 phosphorus leaching degree of agricultural soil
表 1. 土壤磷淋失风险等级

土壤速效磷浓度 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	淋失级别	级别简单描述
<16.51	I	土壤磷几乎不发生淋失
16.51-53.82	II	土壤磷发生中等强度淋失
>53.82	III	土壤磷发生高强度淋失

3.2 土壤有效磷空间变异

本研究在流域内部分乡镇采集了 1303 个土壤样本,为了得到样本所反映的明确的特征,这里对这些观测值进行整理,土壤样本速效磷含量按大小进行分组,制成频数分布表,就可以明显地看到观测数据的集中性和变异性。

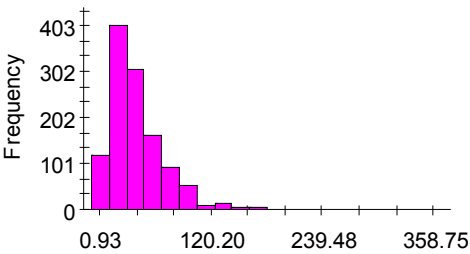


Figure2. Frequency curve of soil phosphorus concentration
图 2. 土壤速效磷含量频数分布 (x 轴为土壤速效磷含量 mg·kg⁻¹, Y 轴为频数)

由频数分布图可知这些土壤样本的速效磷含量 50%集中在 19.76 mg.kg⁻¹ 到 38.6 mg.kg⁻¹ 之间,浓度在 95 mg.kg⁻¹ 以上占 6-7%。按照 3.1 的研究结果,样点分布区磷淋失风险等级多数处于中等强度淋失。

3.3 土壤速效磷含量在各向同性条件下的变异

图 3 是土壤速效磷在各向同性条件下实际变异函数曲线图,表 2 是变异函数的理论模型及有关空间异质性的参数,在研究区域上,土壤表层中速效磷含量在空间上具有明显的差别。随着两点间的距离增大,这种差别也在增加。块金方差与基台值之比(C_0/C_0+C)表明,土壤中速效磷含量由随机因素引起的空间异质性占总空间异质性的 4.994%。而由空间自相关性引起的空间异质性占总空间异质性的 95.006%。

Table 2 Sphericial isotropic model and its parameters of soil phosphorus concentration
表 2 各向同性土壤有效磷含量的变异函数球状模型及有关参数

C_0	C_0+C	C_0/C_0+C	RSS	R^2	α
49	981	0.04994	41992	0.523	2380

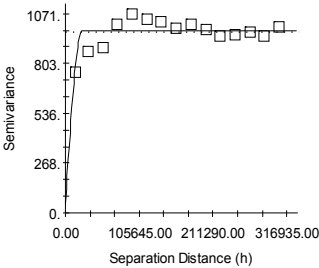


Figure3. Isotropic variation function curve of soil phosphorus concentration

图 3.各向同性土壤有效磷含量的变异函数曲线图

3.4 土壤速效磷含量在各向异性条件下的变异

表 3 是 4 个方向上的变异参数,在不同的方向上有明显的各向异性结构特征。在不同方向上,其块金值和基台值有一定的差异,说明土壤速效磷含量的各项异性具有带状异向性。块金值与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 表明,由随机因素引起的空间异质性占总空间异质性的比重较小 (28%~37%)。

Table 3 Spherical models and their parameters of soil phosphorus concentration in four directions
表 3 各向异性土壤有效磷含量的变异函数球状模型及有关参数

方向	C_0	C_0+C	C_0/C_0+C	RSS	R^2	α
0°	900	2742.731	0.32814	2074988	0.343	54390
45°	644	2256.7308	0.285369	3334098	0.342	10940
90°	883	2495.7308	0.353804	2084418	0.343	37490
135°	919	2541.7308	0.361565	1017005	0.361	42210

3.5 土壤速效磷含量的空间分布格局

根据变异函数的理论模型,通过反距离权重 (IDW) 法插值绘制成研究区域的土壤速效磷含量空间分布格局图 (图 4)。速效磷含量的空间分布格局进一步表明土壤表层养分含量分布具有高度的空间异质性,决定了空间格局的存在。速效磷含量斑块的大小、形状及空间分布等具有显著的差异,但是不论在什么方向上,速效磷含量由低到高的分布梯度的规律总是存在的。显然,这种空间的特征与土壤在不同空间位置上的各种物理、化学和人类农业活动过程有着重要的联系。

3.6 土壤磷淋失风险评价

根据 3.1 节的氮淋失等级划分研究结果 (表 1),结合土壤速效磷含量的空间插值分布图 (图 4),分析评价研究区域土壤磷淋失风险空间分布格局 (见图 5)。由图 5 可知,结果显示高强度的磷淋失区域主要位于古岷镇的大部分,祝沟镇、张戈庄镇、郭庄镇和南村镇的少部分,在其他乡镇也有零星分布。另外除了大田镇和云山镇合上述乡镇之外,其他乡镇多属于中等轻度淋失区,其中零星的散布着一些土壤磷几乎不发生淋失的区域。

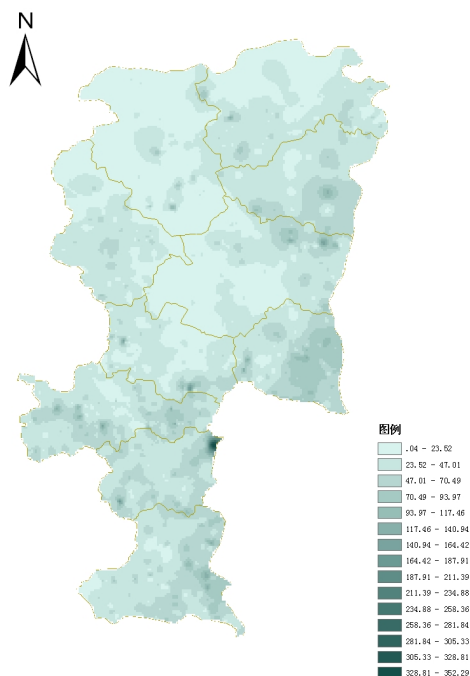


Figure4.Spatial interpolation distribution of soil phosphorus concentration

图 4. 土壤速效磷空间插值分布图

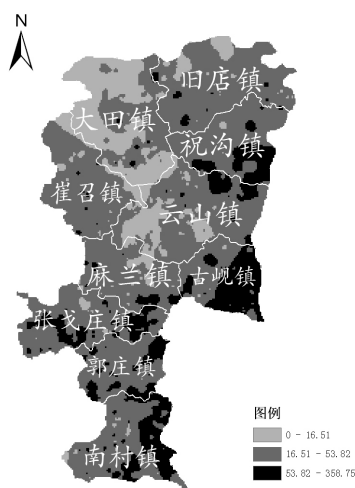


Figure5. Spatial distribution of soil phosphorus leaching risk

图 5 土壤磷淋失风险空间分布

4.结论

(1)将常规易测项目土壤速效磷作为土壤磷淋失风险评价项目。根据 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 与速效磷的极显著相关关系, 将磷淋失风险划分为 3 个等级。将 CaCl_2 浸提

土壤 P 为零时对应的土壤速效磷含量 $16.51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 划分为最低等级。土壤速效磷浓度 $53.82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为土壤发生中等强度磷淋失指标, 大于 $53.82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为土壤发生高强度淋失指标。

(2)土壤速效磷含量在各向同性和各项异性条件下的变异, 表现为绝大多数是由空间自相关性引起的空间异质性, 由随机因素引起的空间异质性占总空间异质性的比重较小。

(3)高强度的氮淋失区域主要位于古岷镇的大部分, 祝沟镇、张戈庄镇、郭庄镇和南村镇的少部分; 中强度淋失区域占的比例相对较多。

References (参考文献)

- [1] Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L et al, Non-point pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Eco1. Applic, 1999, 8,559-568.
- [2] USEPA, Environmental indicators of water quality in the United States[R], EPA 841-R-96-002. USEPA, Washington, DC: Office of Water. U.S. Gov. Printing Office, 1996.
- [3] Sharply A N., Menzer R G, The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. Adv. Agron, 1987, 41, 297-324.
- [4] OECD, Eutrophication of water[R], Monitoring assessment and control, 1982,156.
- [5] Vollenweider R A, Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication[R], Tech. Rep. DAS/CSI, 1968.
- [6] Blake L, Hesketh N, Fortune S, et al, Development of an indicator for risk of phosphorus leaching, J. Environ. Qual., 2002, 18, 199-207.
- [7] Heckrath G., Brookes P C, Poulton P R, et al, Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk Experiment, J.Environ. Qual, 1995,24(3),904-910.
- [8] Maguire R O, Sims J T, Soil testing to predict phosphorus leaching[J], J Environ Qual, 2002, 31(5): 1601-1609.
- [9] A.Subba Rao; K. Sammi Reddy;P. N. Takkar.Malachite green method compared to ascorbic acid for estimating smallamounts of phosphorus in water,0.01 M calcium chloride, and olsen soil Extracts, Indian Institute of Soil Science. Commun. soil SCI. Plant anal., (1997), 28(6-8):589-601.