

# 艾比湖湿地不同植物群落下土壤全磷空间变异

朱海强<sup>1,2</sup>, 李艳红<sup>1,2</sup>, 张小萌<sup>1,2</sup>

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区重点实验室, 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:**土壤磷素是植物生长所需的必要元素, 研究土壤全磷的含量水平及空间分异规律可为湿地土壤肥力水平的评价和生态修复提供科学的理论基础。以艾比湖湿地为研究对象, 于2015年8月在环湖一周160 km范围内系统采集土壤样品296个, 采用地统计学方法分析了不同植物群落土壤全磷的空间变异特征。结果表明: (1) 研究区土壤全磷含量变化范围为0.46~1.64 g/kg, 土壤全磷含量为梭梭群落>梭梭柽柳群落>芦苇群落>胡杨群落, 不同区域存在极显著性差异; 除梭梭一柽柳, 胡杨群落外, 其他群落土壤全磷垂直方向上表现为从表层向下递减的趋势, 且各层土壤全磷含量差异性显著; (2) 梭梭和梭梭一柽柳群落土壤全磷拟合模型均为高斯模型, 胡杨和芦苇群落为球状模型, 其空间分布相关性很强且空间变异性主要是由成土母质、地形、气候等结构性因素引起; (3) 芦苇群落土壤全磷随土壤含水量增加呈降低变化, 其他区域均呈增加的趋势; 梭梭一柽柳群落土壤全磷与土壤pH值呈线性降低趋势, 其他植物群落与土壤pH值呈线性增加的趋势。总体而言, 艾比湖湿地土壤全磷具有明显的空间分布差异, 与植被差异、pH值和土壤水分密切相关。

**关键词:**艾比湖; 全磷; 空间变异; Kriging 插值

**中图分类号:** S153.6<sup>+</sup>1; X825

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2017)05-0045-06

## Spatial Variability of Soil Total Phosphorus in Different Plant Communities of Ebinur Lake Wetland

ZHU Haiqiang<sup>1,2</sup>, LI Yanhong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaomeng<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Key Laboratory of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Area, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** Soil phosphorus is the necessary element for plant growth. Understanding the content and spatial distribution of total phosphorus in soil can provide a scientific basis for the evaluation of soil fertility and ecological restoration of wetland ecosystem. The wetland in Lake Ebinur was selected as the study area. In August 2015, 296 soil samples were collected in circle of Lake about 160 km. Soil total phosphorus contents were examined by geostatistical analysis method in order to reveal the spatial distributions of different plant communities. Results showed that soil total phosphorus contents ranged from 0.46 to 1.64 g/kg and decreased in the order: *Haloxylon* communities > *Haloxylon-Tamarix* communities > *Phragmites* communities > *Euphratica* communities, soil total phosphorus contents were significantly different in different communities. With the exception of *Euphratica* and *Haloxylon-Tamarix* communities, contents of soil total phosphorus generally decreased with increase of depth in other communities. Significant differences were observed for soil total phosphorus contents in different soil layers. The optimal fitting model of total phosphorus is Gaussian in *Haloxylon* community and *Haloxylon-Tamarix* community while spherical model can describe the distribution of soil total phosphorus in *Euphratica* community and *Phragmites* community, the spatial variation of total phosphorus is strong and influenced by structural factors such as parent material, terrain and climate. The correlation between total phosphorus and soil moisture in *Phragmites* community was negative while the correlations were positive in the others. The correlation between total phosphorus and pH val-

ue in *Haloxylon-Tamarix* community was negative while the correlations were positive in the others. Overall, the total phosphorus content in Ebinur Lake wetland presents obvious spatial distribution, which is closely related to vegetation patterns, pH value and soil moisture.

**Keywords:** Ebinur Lake; total phosphorus; spatial variability; Kriging

磷素是湿地生态系统中主要的限制性生态要素之一,在土壤存在着多种形态,各形态间的转换关系也较为复杂。磷素在土壤中移动性较差,是植物生长的主要限制因子<sup>[1]</sup>。磷含量及存在形态影响着湿地生态系统的生产力和生物地球化学过程<sup>[2]</sup>。国外学者研究了瑞士不同土地利用方式下土壤全磷的空间变异,发现农田、草地和高山牧场中土壤总磷差异显著且永久草地土壤P含量最高,其中生物量对土壤总磷的影响较为显著<sup>[3-4]</sup>。国内学者研究了太湖、洞庭湖和巢湖等淡水湖泊湿地和滨海湿地土壤碳、氮、磷的时空变化特征,结果表明,不同区域土壤磷素的空间分布具有明显的斑块状特点及空间变异特征,不同的地形条件和土壤质地对全磷含量有很大的影响<sup>[5-12]</sup>。而对于干旱区盐碱化较重湿地土壤全磷的空间分布特征的研究还不多,发现内陆碱化湿地土壤全磷的异质性随季节演替呈现不同的变化,而且干旱荒漠区旱生灌木根际土壤磷含量与非根际土壤磷含量差异显著,同时根际、非根际土壤有效磷和pH值相关性显著<sup>[13-14]</sup>。

分布特征,探索干旱区湖泊湿地土壤中养分的输移、湿地生产力以及生物小循环等研究奠定基础,以期为湿地生态修复与重建提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

艾比湖湿地位于新疆维吾尔自治区精河县西北,地理坐标为 $82^{\circ}36'—83^{\circ}50'E, 44^{\circ}30'—45^{\circ}09'N$ ,其南、西、北三面环山,湖面海拔189 m,是准噶尔盆地西南部最低洼地和水盐汇集中心。艾比湖湿地属于典型的温带大陆性干旱气候,年平均降水量约为105.17 mm,蒸发量为1315 mm,湖水矿化度为124.5 g/L,随着入湖水量的减少,湖泊面积由1200 km<sup>2</sup>到目前500 km<sup>2</sup>左右,属于典型的内陆咸水湖泊湿地。由于地处阿拉山口下风向,年平均大风天数为168 d,风沙、盐尘和浮尘频发。本文选择以艾比湖湖心质点<sup>[18]</sup>( $44^{\circ}52'32.77"N, 83^{\circ}2'18.34"E$ )为中心,在距离湖滨5~15 km范围内环湖一周160 km,将艾比湖划分为东北、东南、西南、西北4个区域。西北部为玛依力山的延伸部分,由古生代和新生代的变质砂岩、砾岩、花岗岩等组成,基本为岩质荒漠;东北部由覆盖于湖积平原之上的玛依力山冲洪积物质经风蚀后形成,土壤类型属于灰棕漠土,主要发育有梭梭、怪柳、胡杨等耐盐碱植被;东南为河流冲积平原和湖积平原,同时叠加有风成地貌,该区地势较为平坦,在老湖积平原上多形成盐池及湖积堤;在西南湖滨区土壤重度盐渍化和沙化,湖滨植被主要以芦苇为主,植被覆盖度为10%~20%,在博河和精河入湖口形成湖滨三角洲平原,土壤主要以粉砂和亚黏土为主,植被覆盖度在60%以上,西北、东北、东南和西南4个区域的典型植被依次为梭梭—怪柳、梭梭、胡杨和芦苇群落。

### 1.2 土壤样品采集和分析

2015年8月,在艾比湖湿地内梭梭—怪柳、梭梭、胡杨和芦苇典型植物群落下分别设置7,12,12,25个样地,自下而上逐层采集土壤样品,分0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm五层,同时在一些特殊样地适当增加60—80 cm,80—100 cm两层土样,共采集土壤样品296个,详细记录采样点的植被类型,经纬度坐标(图1)。土壤含水量用烘干法,在105℃烘箱中将土样烘至恒重;样品经自然风干后,剔除石块和植物根茎等杂物,经过磨细后,过20目筛,按

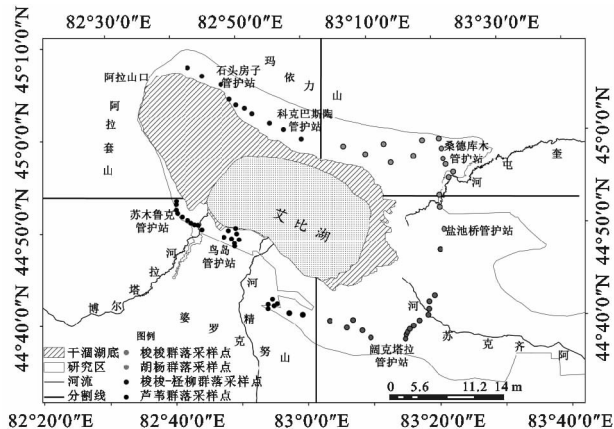


图1 研究区土壤采样点

艾比湖湿地属于典型的内陆高盐湖泊湿地,对区域水资源的平衡、生物多样性的保护以及区域经济发展具有重要的意义。研究艾比湖湿地博河和精河下游小尺度上的碱解氮、速效钾的空间分布特征,发现其含量水平属于缺乏或及缺乏水平<sup>[15-16]</sup>,但对艾比湖大尺度不同植物群落土壤养分的研究相对较少,地统计学在大尺度上开展土壤属性的空间变异及制图研究已被广泛应用<sup>[17]</sup>。为此,本文以梭梭—怪柳、梭梭、胡杨和芦苇群落为研究对象,运用地统计学方法分析4种典型植物群落下土壤磷素的差异及空间

照水土比 5 : 1,采用玻璃电极测定土壤 pH 值;过 100 目筛,用碱熔—钼锑抗比色法测定土壤全磷。

1.3 数据统计分析

运用 Excel 2003 对数据进行整理,用 SPSS 17.0 进行统计分析,用非参数检验中的 K-S 检验分析数据是否符合正态分布,不符合正态分布的经过对数或其他方式变换成正态分布,将数据导入 GS+9.0 地统计软件中,进行半方差函数拟合和地统计分析;运用 ArcGIS 10.0 软件对数据进行 Kriging 插值。

2 结果与分析

2.1 不同植物群落下土壤全磷含量的描述性统计特征

对不同植物群落下土壤全磷含量进行描述性统计分析,由表 1 可知,梭梭—柽柳群落 0—5,5—10,10—20,20—40,40—60 cm 土壤全磷含量的平均值分别为 0.95,0.84,0.94,0.93,0.89 g/kg,梭梭群落

为 1.11,0.98,1.04,0.99,0.95 g/kg,胡杨群落为 0.75,0.65,0.63,0.68,0.62 g/kg,芦苇群落为 0.83,0.93,0.88,0.89,0.88 g/kg,土壤全磷含量变化范围为 0.46~1.64 g/kg,平均值为 0.77 g/kg,其中梭梭群落>梭梭—柽柳群落>芦苇群落>胡杨群落。土壤全磷在垂直剖面上因植物群落的不同而呈现出不同的变化趋势,其中梭梭和芦苇群落土壤全磷含量随土层的增加而波动减少,梭梭—柽柳群落则呈现相反的趋势,胡杨群落土壤全磷在垂直方向上则无明显的规律。不同植物群落土壤全磷的变异系数为 10.59%~25.83,属于中等程度变异。其中,梭梭—柽柳群落变异系数随土层的增加逐渐降低。单因素方差分析显示,不同区域土壤全磷含量存在极显著性差异( $p=0.00<0.01$ ),296 个土样全磷含量的频数统计表明:含量在 0.6~0.9 g/kg 的样本频数最多,按照全国第二次土壤普查标准,研究区土壤全磷含量处于偏高水平。

表 1 不植物群落下不同深度土壤全磷含量的统计特征值

群落类型	土层/cm	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数/%	分布类型
梭梭—柽柳	0—5	1.45	0.64	0.95	0.23	24.31	对数正态分布
	5—10	1.27	0.64	0.84	0.19	22.61	对数正态分布
	10—20	1.09	0.71	0.94	0.13	14.05	对数分布
	20—40	1.20	0.68	0.93	0.16	17.32	对数正态分布
	40—60	1.13	0.68	0.89	0.12	13.35	对数正态分布
梭梭	0—5	1.55	0.90	1.11	0.22	20.07	对数正态分布
	5—10	1.34	0.68	0.98	0.24	24.63	对数正态分布
	10—20	1.28	0.85	1.04	0.20	19.61	对数正态分布
	20—40	1.31	0.75	0.99	0.18	18.72	对数正态分布
胡杨	40—60	1.10	0.84	0.95	0.11	11.43	对数正态分布
	0—5	0.85	0.55	0.75	0.13	17.33	对数正态分布
	5—10	0.75	0.58	0.65	0.09	14.87	对数分布
	10—20	0.73	0.55	0.63	0.07	10.59	对数分布
芦苇	20—40	1.19	0.57	0.68	0.16	23.10	对数正态分布
	40—60	0.69	0.56	0.62	0.14	22.5	对数分布
	0—5	1.13	0.63	0.83	0.16	18.77	对数正态分布
	5—10	1.64	0.66	0.93	0.24	25.38	对数正态分布
梭梭—柽柳	10—20	1.28	0.66	0.88	0.17	18.82	对数正态分布
	20—40	1.23	0.65	0.89	0.16	17.78	对数正态分布
	40—60	1.12	0.59	0.88	0.14	16.44	对数正态分布

2.2 半方差函数分析

半方差函数是区域化变量在分隔距离上各样本变异的度量,并被证明是研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性自然现象的有效工具<sup>[19]</sup>。对不同植物群落土壤全磷含量进行半方差函数分析,得到具体的数据参数(表 2)。其中块金值( $C_0$ )表示由于试验误差和小于取样尺度引起的变异;基台值( $C_0+C$ )表示总体的变异情况;块金效应 $[C_0/(C_0+C)]$ 反映变量空间变异的来源,比值越大表明人为随机性因素(灌溉、施肥、耕作等人为活动)的影响越明显;反之结

构性因素(母质、气候、生物、地形等自然因素)的影响占主要地位。块金效应 $<25\%$ ,说明系统具有强烈的空间相关性;块金效应 $25\% \sim 75\%$ ,表明系统具有中等的空间相关性;块金效应 $>75\%$ ,表明系统空间相关性很弱。由表 2 看出,梭梭—柽柳群落和梭梭群落土壤全磷含量拟合模型为高斯模型,胡杨群落和芦苇群落拟合模型为球状模型,且不同植物群落空间变异块金值与基台值之比均小于 25%,表明全磷含量具有强烈的空间相关性,说明其空间变异性主要是由成土母质、地形、气候等结构性因素引起。变程反映土

壤性状的空间相关有效距离,不同植物群落全磷的变程范围为 1.6~4.66 km,梭梭—柽柳群落明显小于其他植物群落,表明其空间自相关距离最小。

2.3 不同植物群落土壤全磷含量的空间插值特征

通过 Kriging 插值法得到的不同植物群落下土壤各土层全磷的空间分布图(图 2)。由图 2 可知,0—5 cm 和 5—10 cm 土壤全磷含量高值出现在梭梭群落,并逐渐向湖滨地带降低,这主要与土壤母质和

大面积梭梭林的分布有关,10—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 高值出现在东北部的梭梭群落和西南部的芦苇群落,并呈条带状向湖滨逐渐递减,由于在艾比湖精河入湖口实施的引水围堰工程,使芦苇湿地得到恢复,土壤养分不断积累,土壤全磷含量相对较高。低值主要出现在胡杨群落,由于胡杨群落所在的阿奇克苏河流域土壤盐渍化较重,植被覆盖度低,导致该区土壤养分含量较低。

表 2 土壤全磷的半方差函数理论模型及相关参数

植物群落	理论模型	块金值	基台值	块金值/基台值	变程/km	决定系数 $R^2$
		$C_0$	$C_0+C$	$C_0/(C_0+C)/\%$		
梭梭—柽柳群落	高斯模型	0.00001	0.00649	0.154	1.6	0.55
梭梭群落	高斯模型	0.00001	0.0273	0.037	2.76	0.828
胡杨群落	球状模型	0.00001	0.0185	0.054	4.66	0.427
芦苇群落	球状模型	0.00010	0.0365	0.274	2.77	0.657

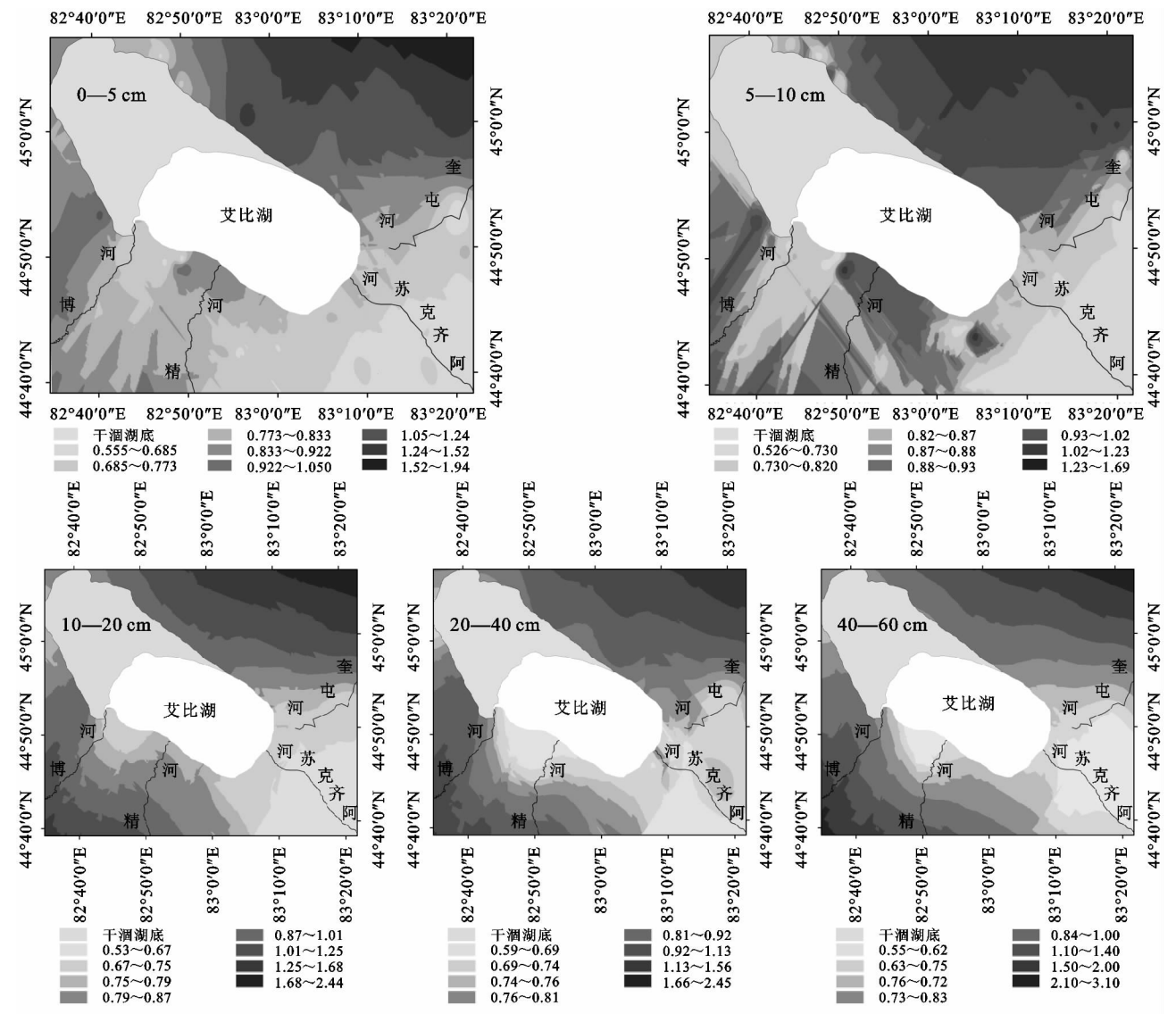


图 2 各层土壤全磷空间分布

2.4 不同植物群落土壤全磷和土壤含水量、pH 值之间的关系

土壤 pH 值是土壤盐渍化程度的重要指标,通过

影响微生物活动来影响土壤中磷的矿化。研究区土壤 pH 值变化范围为 7.01~9.17,平均值为 7.85,变异系数为 4.38%,属于弱变异,表明研究区土壤属于

碱性土壤。土壤含水量变化范围为 0.99~255.19 g/kg, 平均值为 62.32 g/kg, 表明研究区土壤水分较为缺乏, 变异系数为 93.31%, 属于中等变异, 高值主要在河流沿岸、地下水位较高以及泉水外涌处。由图 3 可知, 芦苇群落土壤全磷与土壤 pH 值呈正相关, 与土壤含水量呈负相关; 胡杨群落和梭梭群落土壤全磷与土壤含水量和 pH 值均呈正相关; 怪柳—梭梭群落土壤全磷与含水量呈正相关, 与 pH 值呈负相关。

### 3 讨论

通过对艾比湖湿地不同植物群落土壤 (0—60 cm) 全磷特征进行分析, 土壤全磷变异系数变化范围较大 (6.34%~24.89%), 说明不同植物群落下全磷有较大的空间异质性; 刘付程<sup>[10]</sup>、熊汉锋<sup>[20]</sup>等对淡水湖泊湿地土壤养分的空间异质性研究得出, 全磷的块金值/基台值范围为 25%~75%, 主要受结构性因素和随机性因素的共同影响, 但在干旱区高盐湖泊湿地

土壤全磷的块金值/基台值均小于 25%, 表明是结构性因素起主导作用, 这主要是由土壤类型、植物种类及人为干预程度的差异引起的。湿地类型不同, 全磷随土层深度的变化规律也不相同<sup>[6,21]</sup>, 研究区土壤全磷含量在梭梭群落和芦苇群落均随土层深度的增加而减少, 主要由于东北部梭梭林面积较大, 芦苇群落所在的西南部有精河、博河的流经, 加之引水围堰恢复工程使得该区域植被长势良好, 发达的根系能够吸收深层地下的养分, 而地表枯落物的腐烂也增加了表层土壤全磷的积累, 已有研究表明地表径流输入、凋落物分解及湿沉等因素使全磷表聚现象更显著<sup>[5]</sup>。梭梭—怪柳群落全磷含量则随土层深度的增加而增加, 一方面是由于该区域植被覆盖度低, 另一方面大风的吹蚀作用和蒸发作用强烈, 导致土壤表层养分含量较低; 胡杨群落土壤的盐渍化程度高, 对植物生长产生抑制作用<sup>[21]</sup>, 植被覆盖度较低, 地下水矿化度达 6.79 g/L, 导致该区域全磷含量在垂直方向上无明显的变化规律。

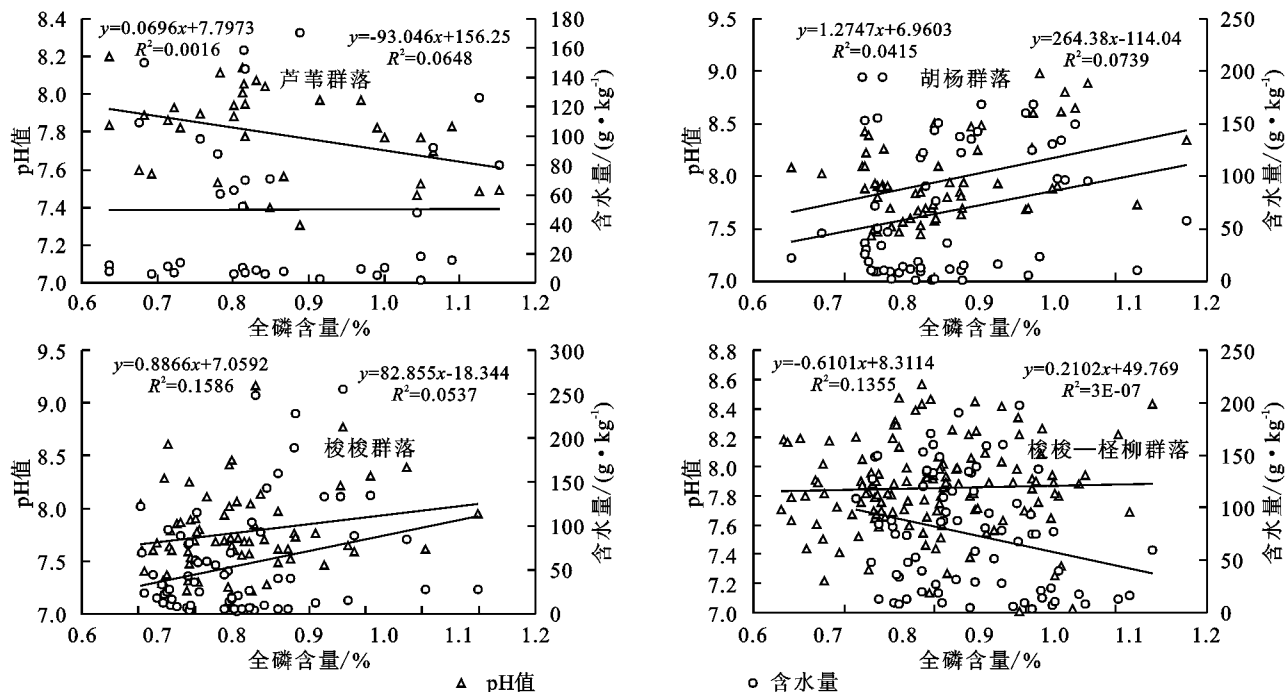


图3 不同群落土壤全磷与土壤 pH 值和含水量的相关关系

根据不同植物群落土壤全磷的空间分布图可知, 研究区全磷在 0—10 cm 和 10—60 cm 深度上的空间分异特征具有不一致性。两者的高值区分别出现在低山区的梭梭群落及芦苇群落, 东北部梭梭群落覆盖面积较大, 磷元素输入较多<sup>[22]</sup>, 土壤中的磷素经雨水淋溶后在该区域聚集, 使得全磷含量较高; 低值区均出现在胡杨群落, 东南部的胡杨群落风成地貌发育典型, 植被较为稀疏, 土壤盐渍化较重, 黏粒含量相对较低, 导致全磷含量相对较低<sup>[23]</sup>。前期对淡水湖泊土壤的研究认为全磷与 pH 值存在负相关关系<sup>[24]</sup>, 而艾比湖湿地除梭梭—怪

柳群落, 其他植物群落全磷与 pH 值均呈正相关关系, 这主要是因为艾比湖湿地土壤均呈碱性, pH 值高于淡水湖泊, 这种差异导致土壤对磷的释放与吸附功能不同<sup>[5]</sup>。有研究认为河口湿地土壤全磷与含水量之间无显著的相关关系<sup>[25]</sup>, 而在艾比湖湿地除芦苇群落, 其他 3 种群落土壤全磷与含水量均呈正相关关系, 这主要是与湿润区相比, 干旱区土壤含水量较低, 土壤水分在一定范围内对植物的生长和磷元素的转化作用较为显著, 但当土壤含水量过高时可能会导致其对磷元素的影响减弱<sup>[26]</sup>, 从而使二者呈现出不同的相关关系。艾比湖湿

地自然保护区的成立,使得该区域受人为活动影响减弱,自然过程是土壤属性空间变异的内在驱动力,土壤母质、地形、气候、土壤类型以及植物群落等自然因素往往在不同方向上加强和提高了土壤属性的空间变异结构性和相关性,在较大尺度空间上表现更为明显。

## 4 结论

(1) 不同植物群落下土壤全磷含量变化范围为 0.46~1.64 g/kg,其中梭梭群落>梭梭-怪柳群落>芦苇群落>胡杨群落,属于中等程度变异。梭梭和芦苇群落土壤全磷含量随土层的增加呈递减的趋势,梭梭-怪柳群落则相反,胡杨群落在垂直方向上变化不大。且各层土壤全磷含量差异性显著,属于中等程度变异。

(2) 怪柳-梭梭群落和梭梭群落土壤全磷含量拟合模型为高斯模型,胡杨和芦苇群落为球状模型,全磷含量具有强烈的空间相关性,表明其空间变异性主要是由成土母质、地形、气候等结构性因素引起。土壤全磷含量高值在东北部的梭梭群落并向湖滨呈条带状逐渐降低,低值主要出现在胡杨群落,阿奇克苏河流域土壤全磷含量最低。引水围堰生态恢复措施使芦苇湿地得到恢复,该区土壤全磷含量相对较高。

(3) 艾比湖湿地土壤全磷与土壤含水量和土壤 pH 值相关性不尽相同,其中梭梭-怪柳群落土壤全磷与 pH 值呈负相关,与土壤含水量呈正相关;梭梭和胡杨群落全磷与 pH 值和含水量呈正相关;芦苇群落土壤全磷与 pH 值呈正相关,与土壤含水量呈负相关。

### 参考文献:

- [1] 王国平. 湿地磷的生物地球化学特性[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 193-195, 199.
- [2] 熊汉锋, 王运华. 湿地碳氮磷的生物地球化学循环研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(2): 240-243.
- [3] Du F, Liang Z S, Xu X X, et al. Community biomass of abandoned farmland and its effects on soil nutrition in the Loess hilly region of Northern Shaanxi, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1673-1683.
- [4] Rogera A, Libohovab Z, Rossier N, et al. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland[J]. *Geoderma*, 2014, 217/218: 26-36.
- [5] 肖蓉, 白军红, 高海峰, 等. 封闭性和开放性沼泽湿地土壤全磷的季节变化特征[J]. 草业学报, 2010, 19(3): 88-93.
- [6] 罗先香, 敦萌, 闫琴. 黄河口湿地土壤磷素动态分布特征及影响因素[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 154-160.
- [7] 孙惠民, 何江, 高兴东, 等. 乌梁素海沉积物中全磷的分布特征[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 579-584.
- [8] 翟金良, 何岩, 邓伟. 向海洪泛湿地土壤全氮、全磷和有机质含量及相关性分析[J]. 环境科学研究, 2001, 14(6): 40-43.
- [9] 张国耀, 程先富, 鲍伟佳, 等. 小流域土壤有机质和全磷空间变异分析: 以安徽省舒城县龙潭小流域为例[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(2): 169-173.
- [10] 刘付程, 史学正, 潘贤章, 等. 太湖流域典型地区土壤磷素含量的空间变异特征[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 77-81.
- [11] 路鹏, 彭佩钦, 宋变兰, 等. 洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和 GIS 分析[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1204-1212.
- [12] 周慧平, 高超, 孙波, 等. 巢湖流域土壤全磷含量的空间变异特征和影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(6): 2112-2117.
- [13] 白军红, 王庆改, 黄来斌, 等. 内陆碱化湿地土壤有机质和全磷的时空分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 2010, (4): 34-40.
- [14] 薛梓瑜, 周志宇, 詹媛媛, 等. 干旱荒漠区旱生灌木根际土壤磷变化特征[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 341-349.
- [15] 艾尤尔·亥热提, 王勇辉, 海米提·依米提. 艾比湖湿地土壤碱解氮的空间变异性分析[J]. 土壤, 2014, 46(5): 819-824.
- [16] 艾尤尔·亥热提, 王勇辉, 海米提·依米提. 艾比湖湿地土壤速效钾的空间变异性分析[J]. 土壤通报, 2015, 46(2): 375-381.
- [17] 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 161-169.
- [18] 李磊, 李艳红, 陈成贺日, 等. 1972—2011 年期间艾比湖面积变化研究[J]. 湿地科学, 2014, 12(2): 263-267.
- [19] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [20] 熊汉锋, 王运华. 梁子湖湿地土壤养分的空间异质性[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 584-589.
- [21] 闫培锋, 周华荣, 刘宏霞, 等. 白杨河-艾里克湖湿地土壤理化性质的空间分布特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 406-412.
- [22] 刘文杰, 陈生云, 等. 疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5429-5437.
- [23] 贾振宇, 张俊华, 丁圣彦, 等. 基于 GIS 和地统计学的黄泛区土壤磷空间变异: 以周口为例[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1212-1220.
- [24] 朱红霞, 陈效民, 杜臻杰. 太湖地区水稻土磷素空间变异特征的研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(3): 573-576.
- [25] 丁秋祎, 白军红, 高海峰, 等. 黄河三角洲湿地不同植被群落下土壤养分含量特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2092-2097.
- [26] 胶州湾湿地生态系统碳氮磷含量及生态化学计量学特征[D]. 山东青岛: 青岛大学, 2014.