

引用格式:李珊,李启权,王昌全,等.成都平原西部土壤全磷的剖面分布及主控因素[J].资源科学,2018,40(7):1397-1406. [Li S, Li Q Q, Wang C Q, et al. Profile distribution of soil total phosphorus and controlling factors on the west Chengdu Plain[J]. Resources Science, 2018, 40(7): 1397-1406.] DOI :10.18402/resci.2018.07.08

成都平原西部土壤全磷的剖面分布及主控因素

李珊,李启权,王昌全,蒋欣烨,罗丽婷,方红艳,秦畅

(四川农业大学资源学院,成都 611130)

摘要:掌握土壤性质的剖面分布特征是认识土壤元素分布与迁移的重要前提。基于134个土壤剖面的523个采样数据,结合地统计学方法和GIS技术,分析了成都平原西部1m深土壤全磷的剖面分布特征,并揭示了成土母质、土壤类型(亚类和土属)和土地利用方式对土壤全磷剖面分布的影响作用。结果表明,成都平原西部土壤全磷含量较高;0~20cm土壤全磷均值含量为0.89g/kg,显著高于20~40cm(0.59g/kg)、40~60cm(0.48g/kg)和60~100cm(0.48g/kg)土壤全磷均值含量。各层土壤全磷具有一致的空间分布格局,呈现出由东北向西南逐渐降低的空间分布趋势。土壤全磷块金系数在30.65%~68.24%之间,具有中等程度的空间变异性,其空间变异受随机性因素和结构性因素共同影响。不同成土母质、土壤类型及土地利用方式土壤全磷均呈现出表聚趋势。成土母质、亚类、土属和土地利用方式是影响研究区土壤全磷空间变异的重要因素,可分别独立解释其9.6%~32.3%、6.0%~16.9%、8.9%~32.6%和4.2%~6.1%的空间变异。在土壤分类单元中,土属的解释能力大于亚类,可作为探究影响成都平原区土壤全磷剖面分布的基本分类单元。成土母质与土属的解释能力相近,是影响研究区土壤全磷剖面分布的主控因素。

关键词:全磷;剖面;影响因素;成都平原

DOI :10.18402/resci.2018.07.08

1 引言

土壤磷素既是限制植物生长和土壤肥力的关键指标,也是调控土壤碳、氮生物地球化学循环过程的重要元素^[1,2]。土壤全磷的剖面变化对土壤理化性质、植物生长以及微生物的活动等都有重要影响,进而影响土壤碳、氮、磷等元素生物地球化学循环过程^[3]。分析土壤全磷的剖面分布特征,掌握环境因素对其空间变异的影响作用,为认识土壤碳、氮、磷等元素生物地球化学循环过程提供基础,也可为区域土壤资源利用及生态环境建设提供数据支持和科学依据。

受多种成土过程和生态条件影响,土壤全磷在土壤剖面中的变化随研究尺度、采样深度及环境条件等因素而变化^[4-6]。然而,由于受采样条件、人工及费用等因素限制,在较大尺度上开展的深层土壤全

磷剖面分布的研究较少。当前关于土壤全磷剖面分布的研究多集中在40cm以上土壤^[7-9],对深层土壤全磷的研究也多以长期定点监测实验为主^[10-12]。但是,基于上层土壤或点位监测的数据并不能充分反映区域土壤全磷的剖面变化信息,难以满足区域土壤资源开发利用和深层土壤元素循环过程研究的需求。许多研究表明,土壤全磷的剖面分布不仅与气候、地形、成土母质及土壤类型等因素有关^[7, 13, 14],还受水文过程、土地利用方式及耕作管理等因素影响^[4, 15, 16]。这些研究多从定性的角度揭示单一因素对土壤全磷剖面分布的影响。如,张铁钢等比较了0~60cm土壤全磷含量在不同土地利用方式下的差异,但并未揭示土地利用方式的影响程度随土层深度的变化^[4]。也有学者定量揭示了气候因子对土壤全磷分布的影响程度随土层深度的变化^[7]。但同时融合多

收稿日期:2017-09-18 修订日期:2018-02-04

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD14B18);四川省教育厅科研项目(16ZB0048)。

作者简介:李珊,女,四川内江人,硕士生,主要研究领域为土壤性质的时演变。E-mail: wgylishan@163.com

通讯作者:李启权, E-mail: liqq@lreis.ac.cn

种因素,并定量揭示各因素对土壤全磷分布影响作用的相对重要性随土层深度变化的研究鲜见报道。

成都西部地处成都平原腹地,位于岷江流域中上游。土壤肥沃、河网密布,西河和金马河等岷江支流流经境内。得天独厚的自然条件使得这一区域农业发达,土地利用程度高,经济发展迅速。已有研究表明,由于过量的养分投入和河网密布,这一区域面临严重的水体富营养化威胁^[17]。掌握土壤养分剖面分布特征,分析环境因素对其分布的影响,不仅是认识其生物地球化学循环过程的重要基础,也是减少土壤养分流失,控制农业非面源污染的关键环节。许多学者已经对这一区域土壤养分状况进行了分析,但这些研究多集中在土壤有机碳、氮等元素上^[18-20],而关于土壤全磷剖面分布特征的研究鲜见报道。也有学者对成都市城市土壤全磷的分布进行了研究^[21,22],但旨在提高城市绿地土壤肥力,并不能满足对农业土壤资源利用以及非面源污染防治的需求。基于此,本文以成都市的西部区域为案例区分析其经济快速发展、土地集约化程度高的平原区土壤全磷的剖面分布特征,探究成土母质、土壤类型及土地利用方式等环境因素对土壤全磷含量剖面分布的影响作用,定量揭示影响土壤全磷剖面分布的主控因素,以期加深对区域土壤全磷生物地球化学循环过程的理解,科学指导区域土地资源利用以及生态环境建设。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

研究区位于成都市的西部(30°23'N-31°1'N、103°27'E-103°55'E),地处岷江流域中上游的平原区。全区面积2139.1km²,主要包括成都市的温江、郫县、新津、都江堰、大邑、邛崃、双流和崇州等8个地区(图1a)。区内地势平缓,整体由西北向东南倾斜,海拔在447~732m之间(图1b)。金马河和西河两条岷江水系流经境内(图1b)。该区属亚热带湿润季风气候区,年平均气温在16℃左右,年平均降水量为900~1300mm,全年无霜期为278d。成土母质主要为岷江冲积形成的灰色冲积物,其次是上更新统黄色黏土、灰棕冲积物、紫色冲积物和中下更新统老冲积物等(图1c)。土壤类型包含5个亚类和10个土属,主要为水稻土,少量为新积土(图1d和图1e)。

土地利用方式以耕地为主,主要为水稻-小麦/油菜轮作。随着该区域经济发展,农业种植结构调整,形成了以稻-麦/油为主,以稻-蔬、农林混合用地、园林及果园用地等多种农业种植制度为辅助的农业用地模式(图1f)。

2.2 样品采集与处理

根据研究区土壤类型、土地利用方式、道路交通及水系分布等基础信息,兼顾采样密度,于2016年4月采用3km×3km的格网法,进行采样点布设。在兼顾空间分布均匀性和样点代表性的基础上,一共采集134个土壤剖面(图1a)。参照成都市第二次土壤普查资料中的土壤发生层分类,再结合本研究需要,按0~20cm、20~40cm、40~60cm和60~100cm四个层次采样,各层样点数依次为134、134、130和125个,共523个样品。样品采集过程中,使用手持GPS记录每个剖面的经纬度坐标及海拔等信息,并详细记录每个点位的地名、成土母质、土壤类型以及耕作管理等环境信息。土壤样品带回实验室,经自然风干后和去杂后,碾磨过100目(0.149mm)筛待测。采用NaOH碱熔法消煮-钼锑抗比色法测定土壤全磷含量^[23]。测定过程中,采用3次重复和国家标准物质进行数据质量控制。

2.3 数据处理与分析方法

常规数理统计分析在统计软件IBM Statistics SPSS19.0中完成。采用Kolmogorov-Smirnov检验法对不同土层深度土壤全磷含量进行数据正态性检验,将不服从正态分布的数据则需进行对数转换,以满足数据分析要求。利用方差分析探究不同成土母质、土壤类型及土地利用方式对研究区土壤全磷的影响作用,并进一步采用LSD方法进行差异性检验。采用回归分析定量探讨成土母质、土壤类型及土地利用方式对研究区土壤全磷剖面分布的影响作用。利用决定校正系数 R^2 定量揭示各影响因素的影响程度,进而确定影响土壤全磷剖面分布的主控因素。分析过程中,显著性水平平均设定为 $P<0.05$ 。

利用地统计学方法结合GIS技术分析土壤全磷的空间分布特征^[3]。该方法首先在GS+软件中进行半方差结构分析,根据决定系数 R^2 最大残差RSS最小确定最优拟合模型和参数。再利用半方差模型和参数在ArcGIS10.1软件中使用普通克里格法进行



<http://www.resci.cn>

表1 研究区土壤全磷描述性统计特征

Table 1 Descriptive statistics of STP contents in the soil profile in the study area

土层深度/cm	样本数/个	最小值/(g/kg)	最大值/(g/kg)	均值/(g/kg)	变异系数/%	偏度	峰度	P 值
0~20	134	0.34	2.01	0.89A	31.85	0.76	1.27	0.77
20~40	134	0.18	1.41	0.59B	40.94	0.75	0.45	0.26
40~60	130	0.13	1.11	0.48C	42.91	0.46	-0.31	0.35
60~100	125	0.13	1.07	0.48C	44.91	0.38	-0.47	0.66

注:同列不同大写字母(A, B, C)表示差异显著;显著性水平为 $P<0.05$ 。

表2 研究区土壤全磷半方差模型和参数

Table 2 Semi-variance model and parameters for STP contents in soil profile in the study area

深度/cm	模型	块金值	基台值	块金系数	变程/km	决定校正系数 R^2	残差 RSS
0~20	Exponential	0.06	0.09	68.24	38.00	0.55	3.86E-04
20~40	Exponential	0.04	0.07	52.49	41.00	0.50	5.88E-04
40~60	Gaussian	0.03	0.08	37.36	98.03	0.93	1.74E-04
60~100	Spherical	0.03	0.09	30.65	140.00	0.92	2.02E-04

磷的空间自相关程度,变程揭示了其空间自相关范围^[3]。各层土壤全磷块金系数均在25%~75%之间,表明研究区各层土壤全磷均具有中等程度的空间变异性,其空间变异主要受成土母质、土壤类型和地形等结构性因素和耕作、施肥及土地利用等随机性因素共同影响。可以看出,随土层深度增加,土壤全磷的块金系数减小,变程增大。这一结果表明,靠近地表,随机性因素的作用增强,并使得研究区土壤全磷空间自相关范围缩短。

3.2.2 空间分布趋势

从图2可以看出,0~20cm、20~40cm、40~60cm和60~100cm土壤全磷具有一致的空间分布趋势,形成了由东北逐渐向西南降低的空间分布格局。0~20cm土壤全磷含量在0.95g/kg以上所占面积较大,主要分布在研究区的北部区域。20~40cm土壤全磷含量明显低于0~20cm土壤,全磷含量在(0.55~0.85)g/kg之间所占面积较大,主要分布在研究区中部区域。40cm以下土壤全磷含量明显低于40cm以

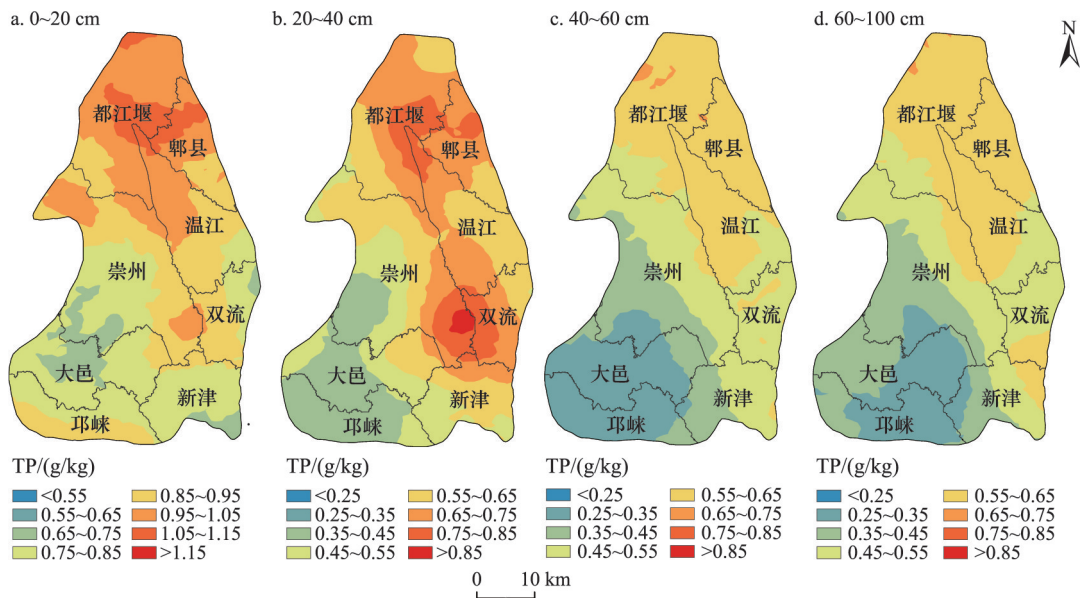


图2 研究区土壤全磷空间分布趋势

Figure 2 Distribution pattern of STP contents in the study area

2018年7月

上土壤,低值区面积随土层深度增加由西南向东北逐渐增加。

3.3 影响因素分析

3.3.1 成土母质

成土母质是土壤形成的物质基础,深刻影响着土壤形成和元素含量状况。研究区5种成土母质土壤全磷含量的统计特征见图3。从土壤剖面来看,由5种成土母质发育形成的土壤,表层土壤全磷含量均显著高于下层土壤,总体呈现出随土层深度增加而降低的趋势。从不同土层来看,0~20cm土壤全磷含量以灰色冲积物最高,是含量最低的上更新统黄色黏土的1.30倍;其余3种成土母质土壤全磷间无显著差异。20~40cm土壤全磷含量仍以灰色冲积物最高,为0.71g/kg,显著高于其余4种母质。40cm以下土壤全磷含量变化趋势一致,均表现为灰色冲积物>紫色冲积物>中下更新统老冲积物>灰棕冲积物>上更新统黄色黏土。可以看出,由灰色冲积母质发育而来的土壤全磷含量丰富,在整个剖面上均高于其余4种母质发育而来的土壤。相比之下,上更新统黄色黏土发育而来的土壤全磷含量最低,但上更新统黄色黏土与中下更新统老冲积物和灰棕冲积物土壤全磷含量无显著差异。

3.3.2 土壤类型

土壤类型反映了土壤形成过程中成土条件和

成土过程的差异。不同土壤类型土壤全磷含量剖面分布见表3。5个亚类土壤全磷含量总体上随土层深度增加而降低。新积土土壤全磷均值含量最高,但在整个剖面上无显著差异。新积土土壤全磷均值含量在0~20cm显著高于潜育水稻土,在20cm以下与水稻土4个亚类的差异均达到显著水平。相比之下,水稻土的4个亚类土壤全磷均值含量在0~20cm范围内均显著高于20cm以下土壤。在整个土壤剖面中,水稻土4个亚类土壤全磷含量均以潜育水稻土最低。尽管水稻土4个亚类土壤全磷含量在各土层内有所差异,但差异均不显著。

与亚类土壤全磷变化趋势相似,10个土属土壤全磷含量在整个剖面上总体随土层深度增加而降低。水稻土4个亚类的9个土属0~20cm土壤全磷含量均显著高于20cm以下土壤。相比之下,新积灰砂土全磷含量较高,但在整个土壤剖面差异不显著。从不同土层来看,4个土层范围内均以新积灰砂土全磷含量最高;除20~40cm范围以内潜育黄泥田全磷含量最低外,其余各层土壤全磷含量的最低值均出现在潜育黄泥田中。可以发现,在水稻土同一亚类的不同土属之间,黄泥田全磷含量在整个剖面均低于潮田。

3.3.3 土地利用方式

不同土地利用方式既揭示了植被覆盖和土壤

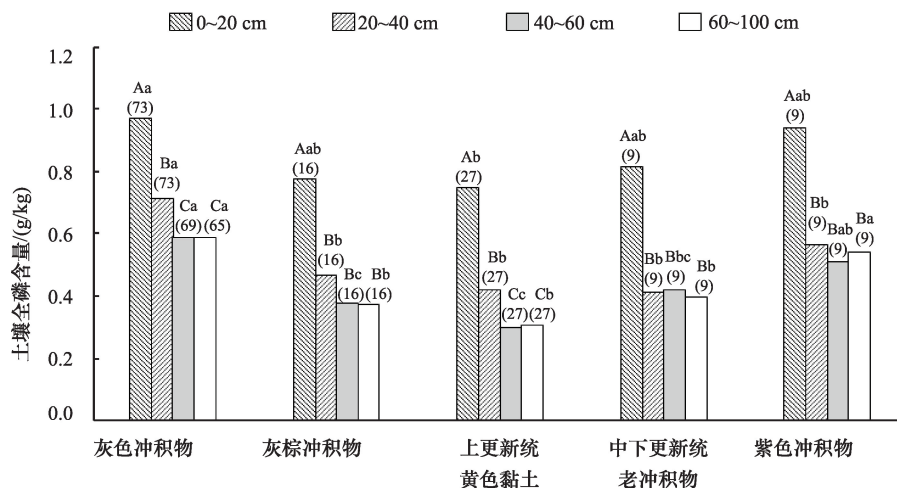


图3 不同成土母质土壤全磷含量剖面分布

Figure 3 Distribution of STP contents in soil profile under different parent materials

注:同一成土母质的不同大写字母(A, B, C)表示土壤全磷含量在不同土层之间有显著差异;同一土层的不同小写字母(a, b, c)表示土壤全磷含量在不同成土母质中有所差异,显著性水平为 $P<0.05$;括号内数字表示样本数。

表3 不同土壤类型(亚类和土属)土壤全磷含量剖面分布

Table 3 Distribution of STP contents in soil profile under different soil types (subgroup and soil genus)

亚类	土属	0~20cm		20~40cm		40~60cm		60~100cm	
		样本/个	STP/(g/kg)	样本/个	STP/(g/kg)	样本/个	STP/(g/kg)	样本/个	STP/(g/kg)
潜育水稻土	潜育潮田	11	1.04 Aab	11	0.72 Bb	11	0.57 Bb	11	0.55 Bb
	潜育黄泥田	6	0.71 Ac	6	0.53 Abcd	6	0.21 Bd	6	0.18 Bc
	合计	17	0.93 Aab	17	0.65 Bb	17	0.44 Cb	17	0.42 Cb
渗育水稻土	渗育黄泥田	4	0.75 Abc	4	0.45 Bcd	4	0.45 Bbc	4	0.43 Bb
	渗育灰潮田	43	0.96 Aabc	43	0.70 Bb	42	0.58 Cb	40	0.58 Cb
	渗育灰棕潮田	14	0.76 Abc	14	0.47 Bcd	14	0.38 Bbcd	13	0.38 Bbc
	渗育紫潮田	8	0.93 Aabc	8	0.57 Bbcd	8	0.55 Bb	8	0.57 Bb
	合计	69	0.90 Aab	69	0.62 Bb	68	0.53 Cb	65	0.53 Cb
脱潜水稻土	脱潜潮田	8	0.92 Aabc	8	0.54 Bbcd	8	0.49 Bbc	8	0.52 Bb
	合计	8	0.92 Aab	8	0.54 Bb	8	0.49 Bb	8	0.52 Bb
潴育水稻土	潴育黄泥田	25	0.78 Abc	25	0.38 Bd	25	0.34 Bcd	25	0.35 Bbc
	潴育灰潮田	10	0.87 Aabc	10	0.65 Bbc	10	0.54 Bbc	9	0.56 Bb
	合计	35	0.80 Ab	35	0.46 Bb	35	0.39 Bb	34	0.41 Bb
新积土	新积灰砂土	5	1.13 Aa	5	0.90 Aa	2	0.87 Aa	1	0.83 Aa
	合计	5	1.13 Aa	5	0.98 Aa	2	0.87 Aa	1	0.83 Aa

注:同行不同大写字母(A, B, C)表示差异显著;同列不同小写字母(a, b, c, d)表示差异显著;显著性水平为 $P<0.05$ 。

养分归还的差别,又反映了耕作和施肥等田间管理方式的差异^[24,25]。研究区5种主要土地利用方式土壤全磷含量的剖面分布有所差异(图4)。从土壤剖面来看,5种土地利用方式下表层土壤全磷含量均显著高于下层土壤,总体呈现出随土层深度增加而降低的趋势。从不同土层来看,0~20cm土壤全磷含量以稻-蔬最高,显著高于农林,是其土壤全磷均值

的1.34倍。20~40cm土壤全磷含量以园林最高,但与其他土地利用方式无显著差异。40~60cm土壤全磷含量以稻-蔬最高,果园最低,但各土地利用方式间无显著差异。60~100cm土壤全磷均值含量以稻-蔬最高,显著高于果园,是其土壤全磷均值含量的1.53倍。可以看出,在整个土壤剖面中,稻-蔬土壤全磷含量总体高于其他4种土地利用方式。果园

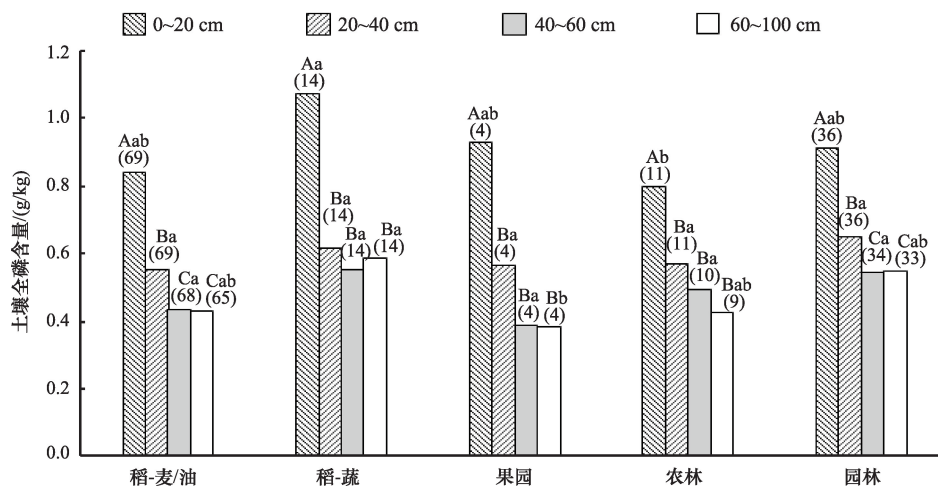


图4 不同土地利用方式土壤全磷的剖面分布特征

Figure 4 Distribution of STP contents in soil profile under different land use types

注:同一种土地利用方式的不同大写字母(A, B, C)表示土壤全磷含量在不同土层之间有所差异;同一土层的不同小写字母(a, b, c)表示土壤全磷含量在不同土地利用方式中有所差异;显著性水平为 $P<0.05$;括号内数字表示样本数。

2018年7月

土壤全磷含量在表层较高,仅次于稻-蔬,但在底层土壤中相比于其余4种土地利用方式土壤全磷含量最低,这一结果表明,果园有助于促进深层土壤磷素转化、吸收而减缓土壤磷素淋失。

3.3.4 主控因素分析

由表4可知,成土母质、亚类、土属和土地利用方式对研究区土壤全磷剖面分布均有显著影响,但各因素的影响程度有所差异。成土母质的解释能力较高,可独立解释土壤全磷剖面分布9.6%~32.3%的变异。土壤类型分类级别中,土属的独立解释在8.9%~32.6%之间,明显高于亚类(6.0%~16.9%)。土地利用方式仅能解释土壤全磷4.2%~6.1%的变异。从不同土层来看,成土母质对0~20cm土壤全磷变异的解释能力为9.6%,分别是土属和土地利用方式的1.08和2.29倍。土属对20~40cm土壤全磷变异的解释能力最高,分别是成土母质和亚类的1.13和1.93倍;成土母质和土属可分别解释40~60cm土壤全磷32.3%和31.4%的变异,远高于亚类和土地利用方式。成土母质对60~100cm土壤全磷变异的解释能力最高,是土属1.11倍,远高于土地利用方式和亚类。可以看出,成土母质和土属是影响研究区土壤全磷剖面分布的主控因素。

4 讨论

成都西部平原区土壤全磷剖面均值含量在(0.48~0.89)g/kg之间,显著高于由母岩风化的岩屑形成的土石山区^[5],也高于由河湖相沉积物和第四纪上更新世的粘质黄土发育而来淮海平原区^[26]。这是因为研究区土壤主要是由岷江冲积物发育而成,其全磷含量背景值较高(为1.60g/kg^[21]),从而使得这一区域土壤全磷含量较其他母质背景区高^[21,26]。各层土壤全磷空间分布格局相似,呈现出由东北向

西南逐渐降低的空间分布趋势,与成土母质的空间分布有关^[13]。在研究区5种成土母质中,灰色冲积母质主要分布在的西河以北区域,土壤全磷均值含量在整个土壤剖面上均高于其余4种成土母质;上更新统黄色粘土全磷含量最低,主要分布在研究区西南部(图1c)。造成这种差异的原因一方面与其母质来源中的含磷矿物有关,另一方面是由于母质的搬运距离与物源不同,土壤理化性质有所差异^[27]。灰色冲积母质由岷江发源地至成都平原,冲积距离较其他母质冲积物最远,土壤黏粒含量明显高于其他母质,利于土壤养分保持,从而使得土壤全磷均值含量较其他母质高。上更新统黄色粘土属于更新统堆积物,自上而下土壤颗粒变粗,底部为含泥沙砾石层,不利于土壤养分保持,导致土壤全磷均值含量在整个剖面上最低。

与水稻土4个亚类相比,新积土亚类土壤全磷均值含量较高,在(0.83~1.13)g/kg之间,且新积土土壤全磷含量在整个剖面上无显著差异。本研究区中,新积土由全磷含量较高的灰色冲积物母质发育而来。由于覆盖、剥蚀及搬运等地质过程不断打断成土过程的进行,新积土没有明显的发生层次和人工熟化过程,沿袭母质基本性质,故土壤全磷含量较高,且在剖面上无显著差异^[28]。水稻土4个亚类中,潴育水稻发育在土壤全磷含量相对较低的中上更新统黄色粘土上,使得土全磷含量在整个土壤剖面上较其余3个亚类低,但水稻土各亚类之间土壤全磷无显著差异。造成这种均一性的原因可能是亚类的划分没有将母质因素考虑进去,弱化了4个亚类之间土壤养分的差异性。在水稻土同一亚类不同土属间,黄泥田全磷含量低于潮田。母质来源不同是造成这一差异的主要原因。黄泥田主要主

表4 研究区各因素对土壤全磷剖面分布影响的回归分析

Table 4 The regression analysis between STP contents and parent material, soil type and land use in the study area

影响因素	0~20 cm		20~40 cm		40~60 cm		60~100 cm	
	Adjusted R^2	Sig.	Adjusted R^2	Sig.	Adjusted R^2	Sig.	Adjusted R^2	Sig.
成土母质	0.096	<0.01	0.288	<0.01	0.323	<0.01	0.294	<0.01
亚类	-	>0.05	0.169	<0.01	0.107	<0.01	0.060	<0.05
土属	0.089	<0.05	0.326	<0.01	0.314	<0.01	0.265	<0.01
土地利用方式	0.042	0.05	-	>0.05	0.046	<0.05	0.061	<0.05

注:决定校正系数 R^2 为“-”,表示该因素对研究土壤全磷含量无影响。

要分布在研究区西部的西河流域,成土母质以上更新统黄色粘土和中下更新统老冲积物为主,土壤全磷含量相对较低;而潮土多分布在研究区东部的金马河流域,土壤主要由含磷丰富的灰色和灰棕冲积母质发育而来(图1c)。

与许多研究结果一致^[24, 28],本研究中5种土地利用方式以稻-蔬土壤全磷均值含量最高。磷肥的过量投入是导致稻-蔬土壤全磷含量较其他土地利用方式下土壤全磷含量高的主要原因^[24]。加之蔬菜用地一般为一年多熟,磷肥投入进一步增加,导致土壤全磷在稻-蔬土壤中积累。可以发现,果园土壤全磷均值含量在0~20cm较高,仅次于稻-蔬,但在底层土壤中含量最低。这是因为果树在生长过程中,根系需要吸收更多养分来维持自身营养需求。这一结果表明,果园这一土地利用方式可促进研究区土壤磷素转化、吸收,减缓磷素流失的风险。

以上研究显示,成土母质、土壤类型及土地利用方式均是影响研究区土壤全磷剖面分布的重要因素,但影响程度有所差异。本研究中,土属可独立解释研究区土壤全磷剖面分布8.9%~32.6%的变异,解释能力明显高于亚类。相比之下,土属的划分考虑了成土母质和水文状况等附加因素,能更加充分地反应土壤演变过程^[28]。这一结果表明,土属可作为探讨成都平原土壤类型对土壤全磷剖面分布影响的基本分类单元。成土母质的解释能力与土属接近,明显高于土地利用方式,表明成土母质和土属是影响研究区土壤全磷剖面分布的主控因素。在探讨成都平原土壤全磷剖面分布时,应重点考虑成土母质和土属的影响作用。

5 结论

成都平原西部土壤全磷含量较高,均值在(0.48~0.89)g/kg之间,随土层深度增加而呈现出降低趋势。空间上,各层土壤全磷具有一致的空间分布格局,呈现出由东北逐渐向西南降低的空间部分趋势。各层土壤全磷具有中等程度的空间变异性,其空间变异受结构性因素和随机性因素共同影响。不同成土母质、土壤类型(亚类和土属)及土地利用方式土壤全磷剖面分布均呈现出表聚趋势。成土母质、土壤类型及土地利用方式均对研究区土

壤全磷剖面分布有不同程度影响。土壤分类单元中,土属的解释能力大于亚类,可为作为探讨成都平原土壤类型对土壤全磷剖面分布影响的基本分类单元。成土母质和土属的解释能力远大于土地利用方式,可分别解释土壤全磷剖面分布9.6%~32.3%和8.9%~32.6%的变异,是影响研究区土壤全磷剖面分布的主控因素。

参考文献(References):

- [1] Szogi A A, Bauer P J, Vanotti M B. Vertical distribution of phosphorus in a sandy soil fertilized with recovered manure phosphates [J]. *J Soils Sediments*, 2012, 12(3): 334-340.
- [2] Liu Y, Jiang M, Lu X, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus contents of wetland soils in relation to environment factors in North-east China[J]. *Wetlands*, 2017, 37(1): 153-161.
- [3] 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): 1211-1220. [Jia Z Y, Zhang J H, Ding S Y, et al. Spatial variation of soil phosphorus in flooded area of the Yellow River based on GIS and geo-statistical methods: a case study in Zhoukou City, Henan, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(4): 1211-1220.]
- [4] 张铁钢, 李占斌, 刘晓君, 等. 丹江鸚鵡沟小流域土壤全磷空间分布及流失特征[J]. *西安理工大学学报*, 2016, 32(1): 18-22. [Zhang T G, Li Z B, Liu X J, et al. The spatial distribution and loss of soil total phosphorus in Yingwugou Watershed of Danjiang River [J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2016, 32(1): 18-22.]
- [5] 张铁钢, 李占斌, 李鹏, 等. 土石山区小流域土壤磷素的空间分布特征与有效性[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(5): 1810-1815. [Zhang T G, Li Z B, Li P, et al. Spatial distribution and effectiveness of soil phosphorus in the mountain Watershed[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(5): 1810-1815.]
- [6] 陈志超, 杨小林, 刘昌华. 万安流域不同土地利用类型土壤全磷时空分异特征[J]. *土壤通报*, 2014, 45(4): 857-862. [Chen Z C, Yang X L, Liu C H. Spatial and temporal variations of soil total phosphorus under different land use types in Wan'an Watershed [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(4): 857-862.]
- [7] 刘文杰, 陈生云, 胡凤祖, 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. [Liu W J, Chen S Y, Hu F Z, et al. Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(17): 5429-5437.]
- [8] Cheng Y, Li P, Xu G, et al. Spatial distribution of soil total phosphorus in Yingwugou watershed of the Dan River, China[J]. *Catena*, 2016, 136: 175-181.

2018年7月

- [9] Liu Z P, Shao M A, Wang Y Q, *et al.* Spatial patterns of soil total nitrogen and soil total phosphorus across the entire Loess Plateau region of China[J]. *Geoderma*, 2013, 197-198: 67-78.
- [10] Tian J H, Boitt G, Black A, *et al.* Accumulation and distribution of phosphorus in the soil profile under fertilized grazed pasture[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 239: 228-235.
- [11] 张田, 许浩, 茹淑华, 等. 不同有机肥中磷在土壤剖面中累积迁移特征与有效性差异[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5247-5255. [Zhang T, Xu H, Ru S H, *et al.* Distribution of phosphorus in soil profile after application of different fertilizer continuously[J]. *Environmental Science*, 2017, 38(12): 5247-5255.]
- [12] 樊红柱, 陈庆瑞, 秦鱼生, 等. 长期施肥紫色水稻土磷素累积与迁移特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1520-1529. [Fan H Z, Chen Q R, Qin Y S, *et al.* Characteristics of phosphorus accumulation and movement in a calcareous purple paddy soil profile as affected by long-term fertilization[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(8): 1520-1529.]
- [13] Viscarra Rossel R A, Bui E N. A new detailed map of total phosphorus stocks in Australian soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 542: 1040-1049.
- [14] Jiang F, Wu X H, Xiang W H, *et al.* Spatial variations in soil organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations related to stand characteristics in subtropical areas[J]. *Plant Soil*, 2017, 413(1-2): 289-301.
- [15] 钱进, 沈蒙蒙, 王沛芳, 等. 河岸带土壤磷素空间分布及其对水文过程响应[J]. 水科学进展, 2017, 28(1): 41-48. [Qian J, Shen M M, Wang P F, *et al.* Spatial distribution of riparian soil phosphorus and its response to hydrologic process[J]. *Advances in Water Science*, 2017, 28(1): 41-48.]
- [16] 金慧龙, 李裕元, 高茹, 等. 亚热带小流域土壤氮磷分布及其环境效应[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 123-126. [Jin H L, Li Y Y, Gao R, *et al.* Distribution of soil nitrogen, phosphorus and its environmental effects in a small Subtropical Watershed[J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2012, 26(3): 123-126.]
- [17] Tong Y, Zhang W, Wang X, *et al.* Decline in Chinese lake phosphorus concentration accompanied by shift in sources since 2006 [J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10(7): 507-511.
- [18] Liu X L, Li T, Zhang S R, *et al.* The role of land use, construction and road on terrestrial carbon stocks in a newly urbanized area of western Chengdu, China[J]. *Landscape Urban Planning*, 2016, 147: 88-95.
- [19] 阚泽忠, 金立新, 李忠惠, 等. 成都经济区不同地貌景观区土壤有机碳分布特征及储量估算[J]. 地球科学进展, 2012, 27(10): 1126-1133. [Kan Z H, Jin L X, Li Z H, *et al.* Distribution characteristics and reserves estimation of soil organic carbon of different physiognomy in Chengdu economic zone[J]. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(10): 1126-1133.]
- [20] 陈青松, 李婷, 张世熔, 等. 城乡交错带土壤氮素空间分布及其影响因素[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2133-2141. [Chen Q S, Li T, Zhang S R, *et al.* Spatial distribution of soil nitrogen in an urban-rural fringe and its influencing factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(8): 2133-2141.]
- [21] 袁大刚, 付帅, 冯丕, 等. 成都西部不同交通环线区域绿地土壤肥力特征比较研究[J]. 土壤, 2015, 47(1): 55-62. [Yuan D G, Fu S, Fend P, *et al.* Soil fertility characteristics of urban green space among different ring road districts in west Chengdu[J]. *Soils*, 2015, 47(1): 55-62.]
- [22] 王启, 李艳, 王连维, 等. 成都东部“城-郊-乡”梯度绿地土壤碳氮磷化学计量特征[J]. 土壤, 2017, 49(2): 358-363. [Wang Q, Li Y, Wang L W, *et al.* Stoichiometric characteristics of soil C, N and P of green space along urban-suburb-rural gradient in eastern Chengdu[J]. *Soils*, 2017, 49(2): 358-363.]
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. [Lu R K. Methods for Agricultural Chemical Analysis of Soil[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000.]
- [24] 陈冲, 贾重建, 卢瑛, 等. 珠江三角洲平原土壤磷剖面分布及形态特征研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1025-1033. [Chen C, Jia C J, Lu Y, *et al.* Studies on P distribution and fractions in soil profile of cultivated land in Pearl River Delta Plain[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2015, 46(5): 1025-1033.]
- [25] Li Q X, Jia Z Q, Liu T, *et al.* Effects of different plantation types on soil properties after vegetation restoration in an alpine sandy land on the Tibetan Plateau, China[J]. *J Arid Land*, 2017, 9(2): 200-209.
- [26] 孔庆波, 白由路, 杨俐苹, 等. 黄淮海平原农田土壤磷素空间分布特征及影响因素研究[J]. 中国土壤与肥料, 2009, (5): 10-14. [Kong Q B, Bai Y L, Yang L P, *et al.* Spatial distribution characteristic and its influential factors of soil phosphorus in region of the Huang-Huai-Haipai[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009, (5): 10-14.]
- [27] 成都市土壤普查成果资料汇编委员会. 成都土壤[M]. 成都: 成都市农牧局, 1993. [Committee of Soil Survey Compilation in Chengdu. Chengdu Soil[M]. Chengdu: Agriculture and Animal Husbandry Bureau in Chengdu, 1993.]
- [28] 贾国梅, 何立, 程虎, 等. 三峡库区不同植被土壤微生物量碳氮磷生态化学计量特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 23-27. [Jia G M, He L, Cheng H, *et al.* Ecological stoichiometry characteristics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus under different vegetation covers in three gorges reservoir area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(4): 23-27.]

Profile distribution of soil total phosphorus and controlling factors on the west Chengdu Plain

LI Shan, LI Qiquan, WANG Changquan, JIANG Xinye, LUO Liting,
FANG Hongyan, QIN Chang

(College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Understanding the profile distribution characteristics of soil properties is essential for studying the distribution and transfer of soil elements. Based on 523 soil samples from 134 soil profiles on the west Chengdu Plain, we analyzed the profile distribution characteristics of soil total phosphorus content (STP) down to 1 m using geostatistics and GIS technology. We revealed the relative contribution of four factors including parent material, soil type (subgroup and soil genus) and land use on the effects of STP distribution in the soil profile. We found that the study area had a high STP content level. Surface STP content was estimated at 0.89 g/kg, significantly larger than that for subsoil which was estimated at 0.59 g/kg in 20~40 cm and 0.48 g/kg under 40 cm, respectively. STP content in each layer had a similar spatial pattern, gradually decreasing from northeast to southwest. The nugget effect of STP in the soil profile was between 30.65%~68.24%, indicating a medium spatial variability affected by structural and random factors. STP content in the study played an accumulative tendency in surface soil under parent material, soil type (subgroup and soil genus) and land use. The explanation ability of parent material, subgroup, soil genus and land use on the effects of STP distribution in the soil profile was 9.6%~32.3%, 6.0%~16.9%, 8.9%~32.6% and 4.2%~6.1%, respectively. For soil classification unit, the explanation ability of soil genus was larger than subgroup, indicating soil genus could be used as the basic classification unit to analyze the effects of soil type on STP on the Chengdu Plain. Parent material was found to have a similar explanation ability with soil genus larger compared to subgroup and land use, meaning both of the two factors were controllers of the effects of STP distribution in the soil profile.

Key words: total phosphorus; profile; influencing factor; Chengdu Plain