

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0133

宋雄儒,尚振艳,李旭东,傅华.贺兰山西坡不同海拔梯度草地土壤磷特征及其影响因素[J].草业科学,2015,32(7):1054-1060.
SONG Xiong-ru, SHANG Zhen-yan, LI Xu-dong, FU Hua. Soil phosphorus and influencing factors in the grasslands at different elevations on west-slope of Helan Mountain, Inner Mongolia[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(7): 1054-1060.

贺兰山西坡不同海拔梯度草地 土壤磷特征及其影响因素

宋雄儒¹, 尚振艳², 李旭东², 傅华²

(1. 甘肃省民乐县农业技术推广中心, 甘肃 民乐 734500;

2. 草地农业生态系统国家重点实验室 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:对贺兰山西坡不同海拔的不同类型草地土壤磷素的空间分布特征以及环境及植被因素对土壤磷素的影响进行了研究。结果表明, 0-10 和 10-20 cm 土层土壤全磷(TP)含量随着海拔由高到低而显著降低; 两土层中, 土壤全磷与土壤有机碳、土壤中<0.05 mm 粘粉粒含量及植被盖度之间呈显著正相关($P < 0.05$), 土壤全磷沿土壤剖面的垂直分布没有一致规律性; 土壤速效磷含量随着海拔高度和草地类型的变化没有呈现出一定的变化规律, 两土层中土壤速效磷/全磷比值(AP/TP)与土壤 pH 值以及年平均气温呈显著正相关($P < 0.05$), 说明该区土壤 pH 值和温度的变化能显著影响土壤磷的活化; 多数样地 0-10 cm 土层速效磷显著高于 10-20 cm 土层, 可能归因于植物对磷素的表聚作用。

关键词:阿拉善; 草地; 土壤全磷; 土壤速效磷

中图分类号: S812.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2015)07-1054-07^{*}

Soil phosphorus and influencing factors in the grasslands at different elevations on west-slope of Helan Mountain, Inner Mongolia

SONG Xiong-ru¹, SHANG Zhen-yan², LI Xu-dong², FU Hua²

(1. Minle Agricultural Technology Promotion Center, Minle 734500, China;

2. State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to understand the soil phosphorus (P) distribution in different types of grasslands at different elevations and analyze the effects of meteorological factors, soil properties and vegetation on the soil phosphorus, a study was conducted on the west-slope of Helan Mountain in Alxa, Inner Mongolia. The results indicated that total soil phosphorus (TP) in both 0-10 and 10-20 cm soil layers declined with decreasing altitude and significantly positively correlated ($P < 0.05$) with the contents of soil organic carbon and soil particle less than 0.05 mm and vegetation coverage. There was no consistent regularity for vertical distribution of TP content along the soil profiles and distribution of soil available phosphorus (AP) along altitude and grassland types. The ratios of AP/TP in both 0-10 and 10-20 cm soil layers significantly positively correlated ($P < 0.05$) with soil pH and annual average air temperature which suggesting

* 收稿日期: 2015-03-09 接受日期: 2015-06-01

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20120211110029); 中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(X0DA05050406-8)

第一作者: 宋雄儒(1972-), 男, 甘肃民乐人, 农艺师, 主要从事生态农业推广工作。E-mail: wdw2046@126.com

通信作者: 李旭东(1973-), 男, 山东青州人, 讲师, 博士, 主要从事草地生态学研究。E-mail: lixudong@lzu.edu.cn

that soil pH and temperature could significantly affect the activation of soil phosphorus. In most of the plots, AP content in 0–10 cm soil layers were significantly higher than that in 10–20 cm soil layers may be as the result of “surface accumulation” effects of vegetation to soil phosphorus.

Key words: Alxa; grasslands; total soil phosphorus; soil available phosphorus

Corresponding author: LI Xu-dong E-mail:lixudong@lzu.edu.cn

阿拉善荒漠位于我国西北内陆地区,该区草地约占土地总面积的46%,其中88%为荒漠草地。放牧是该地区草地的主要利用方式,但由于长期过度放牧,草地生产力逐年下降,生态环境恶化。因此,恢复当地退化的生态系统在国家西部环境治理中有重要战略意义^[1]。

磷是植物有机合成必不可少的重要营养元素之一。我国大部分草原土壤都处于缺磷状态,尤其是北方草原^[2]。与林地、耕地等其他系统一样,在草地生态系统中,土壤全磷(TP)及速效磷(AP)含量被作为重要的土壤肥力指标。多数研究者认为,成土母质、地形、土地利用方式及侵蚀程度是影响土壤磷素含量的主要因素^[3-5]。近年来,国内外研究者就不同地区、不同类型土壤中磷素的特征以及土壤磷素流失与气候、土壤等因素的关系做了一些研究工作^[6-8],但关于干旱区和半干旱区草地土壤磷的研究较少;已有研究者就阿拉善地区不同海拔草地土壤碳、氮的特征及其影响因素开展了一些研究工作^[9-10],但有关该区土壤磷的变化特征及影响因素方面的研究少见报道。本研究以阿拉善境内贺兰山西坡不同海拔梯度下的草地为对象,分析了土壤中TP和AP的空间分布特征以及土壤、植被和气候等因素对其的影响,旨在为该地区草地的合理利用与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿拉善左旗地处亚洲荒漠的东部(37°41′–41°52′ N, 103°21′–106°51′ E),总面积约 8.04×10^4 km²。年降水量60~200 mm^[11],年均气温8.3℃,无霜期120~180 d。由于严酷的气候条件,该区荒漠区域植被稀疏,植物种类单一。本研究所处区域贺兰山主峰,海拔为3 556 m,相对较大的高差变化使得土壤、降水以及植被类型呈现明显的地带性垂直分布。

随海拔的升高,植被类型的变化顺序为草原化

荒漠、荒漠化草原、典型草原、亚高山草甸和高寒草甸^[10]。草原化荒漠主要优势种或建群种有红砂(*Reaumuria soongorica*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)和珍珠柴(*Salala passerine*);荒漠化草原主要建群种有霸王、红砂、驼绒藜(*Ceratoides lateens*)等;荒漠草原植被为短花针茅(*Stipa breviflora*) + 冷蒿(*Artemisia frigida*)群落;高寒草甸植被为高山蒿草(*Kobresia pygmaea*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)和火绒草(*Leontopodium japonicum*)群落。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的设置 沿着贺兰山西坡,根据海拔梯度和植被类型共设置了9个样地(表1)。包括草原化荒漠、荒漠化草原、典型草原和高寒草甸等4个草地类型,应用全球定位系统(GPS)定位。所有样地利用方式均为自由放牧,放牧时间均超过50年,放牧畜种为绵羊(*Ovis aries*),放牧强度约为2羊单位·hm⁻²。

1.2.2 土壤样品采集与分析 土壤样品采集于2011年8月,在各个样地代表性地段随机选取45个采样点,用土钻分层采取0–10 cm和10–20 cm的土壤样品,每5个样点混合为1个样本(共9个重复),于实验室用烘干法(105℃)测定土壤水分。土壤样品风干后分为两份,其中一份过0.5 mm筛,用重铬酸钾氧化滴定法测定土壤有机碳(SOC)^[12];采用NaOH熔融、钼锑抗比色法测定TP;AP采用Olsen法(0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃法浸提,钼锑抗比色)测定^[3];另一份土壤样品过2 mm筛,测定土壤pH值和土壤粒径;土壤pH采用1:2.5水土比,悬液用pHS23C型酸度计测定;土壤粒度分析采用10%双氧水、10%盐酸和5%的六偏磷酸钠处理后,用MALVERN全自动激光衍射粒度仪测定^[13]。

1.2.3 生物量与植被盖度测定 植被生物量和植被盖度于2011年8月中旬测定。在不同样地中分别随机设置9个不同大小的样方:草原化荒漠和荒漠化草原4 m×4 m;典型草原1 m×1 m;高寒草甸

0.5 m×0.5 m。将各样方内植物地上部分剪下,区分各植物种后称取鲜重,随后在实验室于 65 °C 下烘干,测定干重。草原化荒漠和荒漠化草原用样线法测定植被盖度,由样地中心向四周呈辐射状设置 6 条 50 m 的样线,测定各植物种分盖度,最终计算植被总盖度;高山草甸和典型草原样地采用针刺法测定植被盖度^[12]。

1.3 气象资料的收集与整理

根据宁夏回族自治区气象局气候资料中心和自治区农业局于 20 世纪 80 年代中期进行的贺兰山西坡的气象观测资料,以及阿拉善左旗、贺兰山和锡林郭勒 3 个高山气象站 23 年(1978—2000 年)的年平均气温与年降水量资料^[14],建立年均气温与海拔高度之间的回归方程,从而计算各样地的年均气温(表 1)^[10]。

1.4 统计分析

用 Sigma plot 12.5 绘图软件作图,用 SPSS 13.0 软件进行单因素方差分析和多重检验法(LSD)

检验各样地间的差异显著性,采用相关分析方法分析 TP、AP 含量与气候、土壤及植被等因素之间的关系。水热综合作用对土壤速效磷的影响采用多因素方差分析法分析。

2 结果与分析

2.1 不同样地植被和土壤特征

随着海拔高度的降低,植被类型从高山草甸过渡到草原化荒漠,植被盖度由 100% 逐渐降低至 25.9%(表 2);地上生物量呈先降低后升高的趋势,变化范围为 41.3~317.8 g·m⁻²;土壤 pH 随着海拔高度的降低而呈现逐渐升高趋势,变化范围为 7.76~9.15;土壤有机碳含量由 8.82%(高山草甸)逐渐降低至 0.16%(草原化荒漠),土壤中<0.05 mm 粘粉粒含量则随海拔高度的降低由 86.6% 逐渐降至 8.4%。土壤水分也随海拔降低而降低,由 59.0% 降至 2.1%。

表 1 样地基本情况

Table 1 General information of different plots

样地 Plot	经纬度 Latitude and longitude	植被类型 Vegetation type	群落类型 Community type	海拔 Elevation/ m	年平均气温 Average annual air temperature/°C
1	38°57'29" N 105°00'59" E	高山草甸 Alpine meadow	高山嵩草群落 <i>K. pygmaea</i>	2 940	-0.97
2	38°39'53" N 105°51'47" E	亚高山草甸 Alpine meadow	高山嵩草群落 <i>K. pygmaea</i>	2 480	2.02
3	38°54'48" N 105°50'05" E	典型草原 Ture steppe	针茅+冷蒿群落 <i>S. breviflora</i> + <i>A. frigida</i>	2 100	4.49
4	38°52'01" N 105°48'20" E	典型草原 Ture steppe	针茅+冷蒿群落 <i>S. breviflora</i> + <i>A. frigida</i>	1 960	5.41
5	38°52'13" N 105°45'48" E	荒漠化草原 Desert steppe	珍珠柴+红砂+针茅群落 <i>S. passerine</i> + <i>R. soongorica</i> + <i>S. breviflora</i>	1 820	6.32
6	38°52'58" N 105°44'27" E	荒漠化草原 Desert steppe	珍珠柴+红砂+针茅群落 <i>S. passerine</i> + <i>R. soongorica</i> + <i>S. breviflora</i>	1 700	7.10
7	39°01'10" N 105°39'35" E	草原化荒漠 Steppe desert	红砂+无芒隐子草群落 <i>R. soongorica</i> + <i>C. songorica</i>	1 410	8.98
8	39°08'32" N 105°36'25" E	草原化荒漠 Steppe desert	驼绒藜+霸王+无芒隐子草群落 <i>C. lateens</i> + <i>Z. xanthoxylum</i> + <i>C. songorica</i>	1 370	9.24
9	39°08'32" N 105°36'25" E	草原化荒漠 Steppe desert	驼绒藜+霸王+无芒隐子草群落 <i>C. lateens</i> + <i>Z. xanthoxylum</i> + <i>C. songorica</i>	1 370	9.24

表2 不同样地植被和土壤特征

Table 2 Vegetation and soil properties in different plots

样地 Plot	植被盖度 Vegetation coverage/%	地上生物量 Above-ground biomass/g · m ⁻²	pH	有机碳含量 Organic carbon contents/%	<0.05 mm 粘粉粒含量 <0.05 mm soil particle content/%	土壤水分 Soil moisture/%
1	100.0	317.8	7.86	8.82	86.6	59.0
2	99.9	237.8	7.76	3.83	73.9	25.8
3	52.8	47.1	8.44	0.93	68.6	7.9
4	45.0	44.9	8.63	0.90	73.4	6.9
5	41.4	54.1	8.57	0.74	65.9	4.6
6	31.8	41.3	8.68	0.65	45.1	3.7
7	53.2	67.6	8.89	0.31	22.5	2.1
8	25.9	70.8	9.15	0.17	8.4	2.6
9	28.6	70.9	9.07	0.16	9.4	2.6

2.2 土壤全磷、速效磷含量特征

随着海拔高度的降低和植被类型的变化,两土层 TP 含量均呈现逐渐降低的趋势(表 3),0—10 和 10—20 cm 土层 TP 变化范围分别为 0.191~0.865 和 0.167~0.990 g · kg⁻¹。在不同草地类型土壤中的 TP 含量分布特征为 0—10 cm 土层,高山草甸>亚高山草甸=典型草原>荒漠化草原>草原化荒漠 ($P<0.05$);10—20 cm 土层中,除两个典型草原样地和两个荒漠化草原样地之间差异不显著外,其他各样地之间均有显著差异 ($P<$

0.05)(含量高低顺序同 0—10 cm 土层)。各样地 TP 含量在 0—10 和 10—20 cm 土层之间的变化没有一致的规律。

不同草地类型土壤 AP 含量在 0—10 和 10—20 cm 土层变化范围分别为 3.138~6.559 和 2.663~6.485 mg · kg⁻¹。除样地 2(亚高山草甸)和样地 5(荒漠化草原)外,其他样地 0—10 cm 土层 AP 含量均显著高于 10—20 cm 土层 ($P<0.05$)。随着海拔高度的降低和草地类型的变化,AP 含量的变化没有表现出一致的规律性。

表3 不同样地土壤全磷(TP)及土壤速效磷(AP)含量

Table 3 Total soil phosphorus (TP) and soil available phosphorus (AP) contents in different plots

样地 Plot	全磷含量 TP contents/g · kg ⁻¹		速效磷含量 AP contents/mg · kg ⁻¹	
	0—10 cm	10—20 cm	0—10 cm	10—20 cm
1	0.865±0.013aB	0.990±0.027aA	5.277±0.226aA	3.568±0.759dB
2	0.655±0.014bA	0.667±0.027bA	3.873±0.133bB	5.477±0.683bA
3	0.604±0.011bA	0.518±0.024cB	4.920±0.293abA	4.368±0.126bcB
4	0.480±0.014bcA	0.525±0.014cA	6.559±0.072aA	5.367±0.091bB
5	0.573±0.036cA	0.445±0.007dB	6.276±0.194aA	6.485±0.440aA
6	0.316±0.025dB	0.459±0.010dA	5.971±0.314aA	4.346±0.491cB
7	0.291±0.015eA	0.250±0.012eB	5.052±0.146aA	4.581±0.177bcB
8	0.191±0.002eB	0.320±0.009fA	3.138±0.176bA	2.663±0.160dB
9	0.232±0.014fA	0.167±0.004gB	5.901±0.132aA	4.201±0.620bcB

注:表中数据均为均值±标准误,同列不同小写字母表示同一土层不同样地间差异显著($P<0.05$);同行不同大写字母表示同样地同一测定项目不同土层之间差异显著($P<0.05$)。

Note: The data in the table are means±SE. The different lower case letters within the same column indicate significant difference among the different plots in the same soil layer at 0.05 level; while the different capital letters within the same row indicate significant difference between the two soil layers in same plot at 0.05 level.

2.3 影响全磷含量变化的因素

2.3.1 土壤有机碳 0-10 和 10-20 cm 土层土壤有机碳含量(表 2)和 TP 含量(表 3)均随海拔高度的升高而升高,两土层土壤有机碳含量与 TP 含量之间存在极显著的相关性($P < 0.05$)(图 1)。

2.3.2 土壤中 < 0.05 mm 粘粉粒含量 0-10 和 10-20 cm 土层 TP 含量均随土壤中 < 0.05 mm 粘粉粒含量增加而增加,两者之间呈显著正相关($P < 0.05$), R^2 值分别为 0.856 和 0.730(图 1)。

2.3.3 植被盖度 随着海拔高度的升高,各草地类型的植被盖度呈逐渐增加趋势(表 1,表 2),0-10 和 10-20 cm 土层 TP 含量也随之增加(表 3),两土层

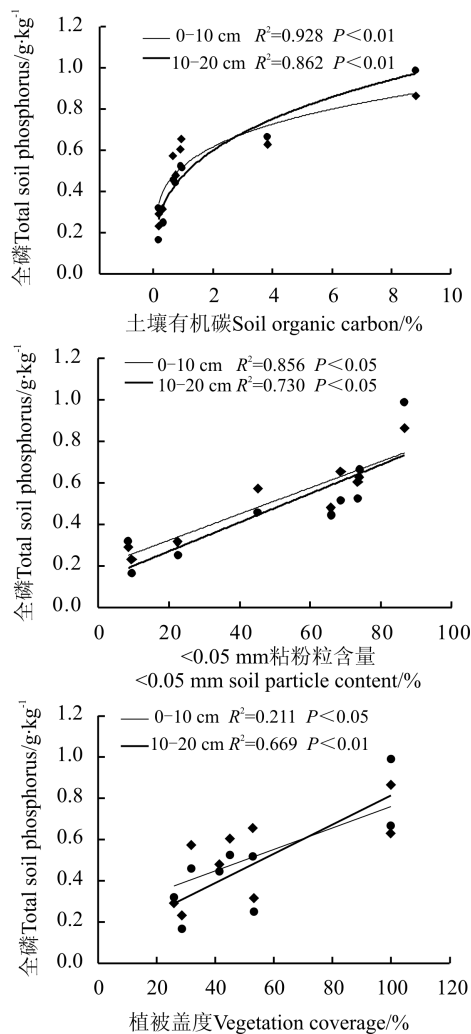


图 1 土壤全磷与土壤有机碳、土壤中 < 0.05 mm 粘粉粒含量及植被盖度之间的关系

Fig.1 The relationships between total soil phosphorus (TP) and soil organic carbon, < 0.05 mm soil particle content and vegetation coverage

TP 含量与植被盖度之间呈显著和极显著正相关(0-10 cm, $P < 0.05$; 10-20 cm, $P < 0.01$)(图 1)。

2.4 影响速效磷含量变化的因素

随着海拔高度和草地类型的变化,AP 含量并没有呈现出一定的变化规律(表 3)。由于各样地 TP 含量有很大差异,所以根据 AP 的绝对含量并不能说明土壤中磷的矿化程度和环境因子的影响。而土壤速效磷/全磷的比值(AP/TP)可以反映土壤中磷的矿化程度,因此应用该比值进行分析。结果显示,0-10 和 10-20 cm 土层 AP/TP 随土壤 pH 值的升高而显著升高($P < 0.05$),且与年平均气温之间呈现显著的正相关($P < 0.05$)(图 2)。

各样地 0-10 和 10-20 cm 土层土壤水分含量的变化与 AP 含量的变化没有呈现显著的相关性($P = 0.137$),多因素方差分析结果显示,水热因素的综合作用也未对 AP 含量产生显著的影响($P = 0.351$)。

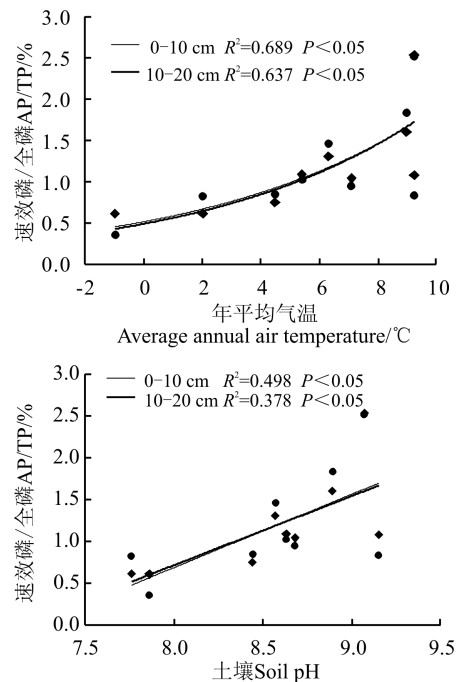


图 2 土壤速效磷/全磷比值 (AP/TP) 与年平均气温及土壤 pH 之间的关系

Fig.2 The relationships between AP/TP ratio and average annual air temperature and soil pH

3 讨论

天然草地生态系统与农田生态系统不同,土壤中的磷除大气沉降外,没有人为方式的输入,其含量主要取决于成土母质中磷的含量^[15];另外,海拔、土

地利用方式及坡度等因素可以通过影响气候或土壤侵蚀程度而影响磷的含量^[3]。本研究结果表明,贺兰山西坡不同海拔草地土壤全磷含量随海拔高度的降低而逐渐降低,且受到土壤有机碳、土壤中 <0.05 mm 粘粉粒含量以及植被盖度等因素的影响,这与谭鑫^[16]和秦胜金等^[17]的研究结果一致。迄今为止,放牧仍是阿拉善地区草地主要生产利用方式,由于人口压力的不断增长,草地过度放牧在当地已是普遍现象。一方面,高强度的放牧使草地的植被盖度和生物量均明显下降,这些因素导致草地裸露面积增加^[18-19],土壤含水量降低,加之我国北方地区春季多风,极易发生风蚀。风蚀使土壤细粒物质被吹走,且大部分被风吹走的是粒径 <0.05 mm 的粉尘^[20],粘粒的比表面积较大,易于吸附磷酸盐;粘粒的减少导致土壤对磷的保护作用减弱,直接导致土壤全磷含量的降低^[21-22]。本研究结果显示,随着海拔降低,植被盖度和地上生物量逐渐降低,其对土壤粘粉粒的保护作用减弱,使风蚀的影响逐渐增强,导致土壤中 <0.05 mm 粘粉粒含量逐渐降低,进而导致土壤全磷含量逐渐降低。另外,草地土壤中50%以上的磷以有机态存在^[23],因此,土壤有机质含量对土壤全磷有着很大程度的影响,本研究中随海拔逐渐降低的土壤有机质含量也可能是导致土壤全磷随海拔逐渐降低的另一原因。由于研究区地处干旱区,淋溶和水蚀作用不明显,故水分的差异对土壤全磷含量几乎没有影响。

相关研究表明,全磷含量对土壤速效磷含量没有显著影响^[24],且草地的退化程度与土壤速效磷含量之间也没有显著的相关性^[25],这与本研究的结果一致。土壤中速效磷含量除了与土壤中各种含磷化合物本身的组成和数量有关系外,主要受土壤 pH 值、微生物活性以及植物的吸收利用、积累量等因素有关。土壤 pH 值是控制土壤中磷的化学形态的重要因子,其高低可以影响土壤磷的溶解、吸附过程。有研究认为,随着 pH 值的升高,土壤对磷的吸附减弱,进而使磷的有效性增加^[26]。本研究中,土壤 pH 值随着海拔高度的降低而呈升高趋势,导致两土层 AP/TP 比值也逐渐升高,说明该区域较高的土壤

pH 值可以提高土壤磷的矿化程度。另有研究表明,土壤中的微生物能够将植物难以吸收利用的磷转化为有效养分^[27],本研究中,磷的矿化程度(AP/TP)随年平均气温升高而升高,说明温度的变化在一定程度上通过影响微生物的活性而影响磷的矿化。张生楹等^[28]对东祁连山不同退化程度的高寒草甸草地的研究表明,土壤中速效磷含量以极度退化的高寒草甸草地较高,这是因为植被生物量较低,对速效养分的吸收利用有限,导致其在土壤中有较高含量。本研究中,随着海拔高度的降低,植被类型由高山草甸向草原化荒漠逐渐过渡,植被的变化导致生物量的逐渐降低,进而降低了植物对土壤速效磷的吸收,可能也是磷的矿化程度随海拔高度降低而逐渐升高的原因之一。另外,植物根系会吸收深层土壤中的磷,随后以枯落物的形式进入表层土壤^[29],即植物对土壤磷素具有一定的表聚作用,这可能是本研究中 0—10 cm 土层速效磷含量在多数样地中高于 10—20 cm 土层土壤的主要原因,而全磷在上下两个土层之间的分布并没有一致的规律。

本研究仅就部分气候、植被及土壤因素对土壤磷的影响进行了分析,然而,影响土壤磷素及其矿化的因素较多,另一些如土壤微生物、土壤酶等因素的影响在本研究中并未涵盖;另外,由于研究中所选择的样地分布范围较大,势必会造成各样地之间放牧强度的差异,但这一因素在本研究中并未考虑,还有待于在以后的研究工作中做进一步探讨。

4 结论

随着海拔由高到低和植被类型的变化,0—10 和 10—20 cm 土层 TP 含量明显降低;两土层中,TP 与土壤有机碳、土壤中 <0.05 mm 粘粉粒含量及植被盖度之间呈显著正相关,TP 在上下两个土层之间的分布并没有一致的规律;AP 含量并没有随着海拔高度的变化而呈现出一定的变化规律,但两土层中速效磷的矿化程度 AP/TP(土壤速效磷/全磷)与土壤 pH 值以及年平均气温呈显著正相关。多数样地 0—10 cm 土层 AP 显著高于 10—20 cm 土层,可能归因于植物对土壤磷的表聚作用。

参考文献

- [1] 秦大河,丁一汇,王绍武,王苏民,董光荣,林而达,刘春霖,余之祥,孙惠南,王守荣,伍光和.中国西部生态环境变化与对

- 策建议[J].地球科学进展,2002,17(3):314-319.
- [2] Su D C.Study on new methods promoting availability of soil phosphorus and phosphate fertilizer on the basis of soil phosphorus distribution characteristics[J].Phosphorus & Compound Fertilizer,1995(3):74-77.
- [3] 欧勇胜,张世熔,余琼,李婷,舒建英,李娟.横断山北部生态脆弱区土壤磷素空间分布特征[J].生态学报,2005,25(10):2776-2781.
- [4] Faruk D,Lars B.Phosphorus losses from arable fields in Sweden-effects of field-specific factors and long-term trends[J].Environmental Monitoring and Assessment,2005,102:103-117.
- [5] 苏永中,赵哈林,张铜会,崔建恒.不同强度放牧后自然恢复的沙质草地土壤性状特征[J].中国沙漠,2002,22(4):333-338.
- [6] Chen C R,Sinaj S,Condrón L M.Characterization of phosphorus availability in selected New Zealand grassland soils[J].Nutrient Cycling in Agroecosystems,2003,65:89-100.
- [7] Heilmann E,Leinweber P.Spatial variability of sequentially extracted P fractions in a silty loam[J].Plant Nutrition & Soil Science,2005,168:307-315.
- [8] 姜勇,梁文举,张玉革.田块尺度下土壤磷素的空间变异性[J].应用生态学报,2005,16(11):2086-2091.
- [9] 傅华,陈亚明,王彦荣,万长贵.阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素[J].生态学报,2004,24(3):469-476.
- [10] 傅华,裴世芳,张洪荣.贺兰山西坡不同海拔梯度草地土壤氮特征[J].草业学报,2005,14(6):50-56.
- [11] 阿拉善农牧业区划编辑委员会.阿拉善盟农牧业区划[M].呼和浩特:内蒙古人民出版社,1992:75-115,405-411.
- [12] Li X D,Fu H,Li X D,Guo D,Dong X Y,Wan C G.Effects of land use regimes on carbon sequestration in the Loess Plateau,northern China[J].New Zealand Journal of Agricultural Research,2008,51:45-52.
- [13] 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,1978:62-141.
- [14] 许朝斋,林之光,汪奕琮.贺兰山区气候若干问题[J].地理学报,1993,48(2):171-176.
- [15] 顾振宽,杜国祯,朱炜歆,索南吉,张世虎.青藏高原东部不同草地类型土壤养分的分布规律[J].草业科学,2012,29(4):507-512.
- [16] 谭鑫.青藏高原东缘高寒地区土壤磷素看空间分布研究[D].成都:四川师范大学硕士论文,2009.
- [17] 秦胜金,刘景双,王国平.影响土壤磷有效性变化作用机理[J].土壤通报,2006,37(5):1012-1015.
- [18] 傅华,王彦荣,吴彩霞,塔拉腾.放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响[J].中国沙漠,2002,22(4):339-343.
- [19] 赵哈林,张铜会,赵学勇,周瑞莲.放牧对沙质草地生态系统组分的影响[J].应用生态学报,2004,15(3):420-424.
- [20] 刘长秀,张宏,泽柏.灌丛对川西北高寒草甸土壤资源的影响[J].山地学报,2006,24(3):357-365.
- [21] 李淑玲.对碳酸钙与物理粘粒的固磷数量及固磷强度的探讨[J].宁夏农林科技,1998(4):17-19.
- [22] Cross A F,Schlesinger W H.Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils[J].Biogeochemistry,2001,52:155-172.
- [23] Zhang Y S,Werner W,Scherer H W,Sun X.Effect of organic manure on organic phosphorus fractions in two paddy soils[J].Biology and Fertility of Soils,1994,17:64-68.
- [24] 王长庭,龙瑞军,王启基,景增春,尚占环,丁路明.高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布和生产力变化及其与环境因子的关系[J].草业学报,2005,14(8):15-20.
- [25] Cheng X L,An S Q,Liu S R,Li G Q.Micro-scale spatial heterogeneity and the loss of carbon,nitrogen and phosphorus in degraded grassland in Ordos Plateau,northwestern China[J].Plant and Soil,2004,259:29-37.
- [26] 谭鑫,张宏.我国高寒草甸土壤磷素研究进展[J].草业与畜牧,2009(3):1-5.
- [27] 赵小蓉,林启美.微生物解磷的研究进展[J].土壤肥料,2001(3):7-10.
- [28] 张生楹,张德罡,柳小妮,陈建纲,徐长林,段春华.东祁连山不同退化程度高寒草甸土壤养分特征研究[J].草业科学,2012,29(7):1028-1032.
- [29] 刘世全,高丽丽,蒲玉琳,邓良基,张世熔.西藏土壤磷素和钾素养分状况及其影响因素[J].水土保持学报,2005,19(1):75-78.