DOI:10.19789/j.1004-9398.2023.05.012
文献引用:冶明,张进虎,张卓,等.祁连山阿咪东索流域典型植被生态系统土壤有机碳特征[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(5):80-87. YE M,ZHANG J H,ZHANG Z,et al. Characteristics of soil organic carbon of typical ecosystems in the Amidonso Watershed of Qilian Mountain[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition),2023,44(5):80-87.

祁连山阿咪东索流域典型植被生态系统土壤有机碳特征*

冶 明[1,2],张进虎[1,2,3**],张 卓[1,2,4],马曙光[1,2],袁 杰[1,2,3],杜进生[5]

(1.青海师范大学青藏高原地表过程与生态保育教育部重点实验室,青海 西宁 810008;2.青海师范大学地理科学学院青海省自然地理与环境过程重点实验室,青海 西宁 810008;3.青海省人民政府北京师范大学高原科学与可持续发展研究院,青海 西宁 810008;4.新疆克州生态环境局,新疆 阿图什 845350;5.祁连阿咪东索景区,青海 祁连 810400)

摘要:植被类型影响土壤有机碳的含量,土壤碳库的微小变化都会对大气圈中的温室气体含量产生巨大影响,进而加剧全球气候变化的程度。本文以祁连阿咪东索流域为研究区,以林地、灌丛和草地3种典型生态系统为研究对象,在点位尺度上,通过野外采样和室内测试相结合的方式,开展了土壤有机碳特征及其与土壤pH、全氮、全磷和全钾的相关性研究,加深对祁连山南坡地区典型生态系统固碳功能的理解。结果显示:3种生态系统土壤有机碳平均质量分数为49.60~69.00 g/kg,随土层深度增加均呈显著减小趋势(P<0.05),总体表现为灌丛最高,草地次之,林地最低;3种生态系统土壤pH 6.65~7.71,与有机碳含量呈极显著负相关(P<0.01);土壤全氮质量分数为2.01~10.56 g/kg,与有机碳含量呈显著正相关(P<0.05);全磷质量分数为1.35~2.13 g/kg,与有机碳含量的相关性因生态系统的不同而不同,在林地和灌丛生态系统中呈显著不相关(P>0.05),而在草地生态系统呈现显著正相关(P<0.05);全钾质量分数为19.55~26.70 g/kg,与有机碳含量均呈现显著负相关(P<0.05)。

关键词:生态系统;土壤有机碳;土壤养分;土壤pH
中图分类号:K903 **文献标识码**:A

Characteristics of soil organic carbon of typical ecosystems in the Amidonso Watershed of Qilian Mountain*

YE Ming[1,2], ZHANG Jinhu[1,2,3**], ZHANG Zhuo[1,2,4], MA Shuguang[1,2], YUAN Jie[1,2,3], DU Jinsheng[5]

(1. Key Laboratory of Tibetan Plateau Land Surface Processes and Ecological Conservation (Ministry of Education), Qinghai Normal University, Xining Qinghai, 810008; 2. Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, College of Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining Qinghai, 810008; 3. Academy of Plateau Science and Sustainability, People's Government of Qinghai and Beijing Normal University, Xining Qinghai, 810008; 4. Kezhou Bureau of Ecology and Environment, Atushi, Xinjiang 845350; 5. Qilian Amidon Scenic Area, Qilian Qinghai, 810400)

Abstract: Vegetation affects the content of soil organic carbon, and small changes in soil carbon bank

收稿日期:2022-10-12
* 青海省基础研究项目(2020-ZJ-725)
** 通信作者:115927529@qq.com

may have a huge impact on the greenhouse gas content in the atmosphere, which could lead to aggravating the degree of global climate change. We carried out the study in three different types of vegetation communities, including woodlands, shrubs and grasslands in the Amidonso Basin of Qilian Mountain. On the point scale, we examed soil organic carbon characteristics and soil pH, total nitrogen, total phosphorus, total potossium in order to deepen our understanding of these typical ecosystems' carbon sequestration function. These testes were carried out both in the field and indoor lab. The results showed that the average soil organic carbon content of the three types of the ecosystems was 49.60 to 69.00 g/kg, There was a significant decreasing trend in corresponding to increase in soil depth ($P<0.05$). In general, the average soil organic carbon content of shrub is the highest among all, of which the content in the grassland is the second and the woodland is the lowest. The soil pH values of the three types of ecosystems was 6.65 to 7.71, there was a significant negative correlation with the organic carbon content ($P<0.01$). The soil total nitrogen content was 2.01 to 10.56 g/kg, which showed a significant positive correlation with organic carbon content ($P<0.05$). Whole phosphorus content fluctuated was 1.35 to 2.13 g/kg, correlation with organic carbon content varies among the three different types ecosystems. There was no significant correlation between whole phosphorus and organic carbon content in woodland and shrub ecosystems ($P>0.05$). However, they showed a significant positive correlation in the grassland ecosystem ($P<0.05$). The total potassium content was 19.55 to 26.70 g/kg, showing a significant negative correlation with the content of organic carbon ($P<0.05$).

Keywords: ecosystem; soil organic carbon; soil nutrient; soil pH

CLC: K903　　**DC**: A

0　引　言

土壤圈是陆地生态系统中储量最大的碳库,是大气碳储量的2倍、植被碳储量的3倍[1]。在陆地生态系统与大气交换的CO_2中,土壤有机质分解释放的CO_2大约占2/3,土壤碳库可视为大气CO_2的重要源和汇[2]。有研究表明,有机碳库储量提高5%~15%,大气CO_2体积分数将降低16%~39%,因此,增加并稳定土壤有机碳库是削减碳排放、缓解全球气候变化的重要路径[3]。

祁连山位于我国西北干旱区,地处青藏、蒙新、黄土三大高原的交汇处,是石羊河、黑河及疏勒河三大内陆河的发源地,又处于我国"两屏三带"生态安全战略建设重要地位,阻止腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠及库姆塔格沙漠的南侵,是我国生物多样性保护优先区域、世界高寒种质资源库和野生动物迁徙的重要廊道,一直是国内外学者研究的热点区域[4-13],其中土壤有机碳是研究的焦点之一。众多学者已在区域尺度研究了祁连山的碳储量及空间异质性[14-16]、不同土地利用方式的土壤有机碳特征及典型种群土壤有机碳特征等[17-20],但以往研究主要在祁连山北坡开展,而南坡较少,主要在区域尺度上采用遥感手段开展,而对同一流域典型生态系统在点位尺度的实测对比研究还比较少,有待进一步加强。本文以祁连山南坡阿咪东索小流域为研究区,根据流域植被垂直地带性分布规律,选取林地、灌丛和草地等3种典型植被生态系统为研究对象,通过野外调查与室内测试相结合的方法,研究其土壤有机碳特征及其与土壤pH、全氮、全磷和全钾的相关性,旨在揭示相同流域典型生态系统土壤有机碳的特征差异及土壤有机碳与土壤养分指标间的相关性,为该区典型生态系统碳储功能评价提供科学依据。

1　研究区概况

祁连阿咪东索小流域,地理坐标为38°3′47″~38°3′58″N和100°14′25″~100°19′8″E,海拔约2 900~3 600 m(图1);高原亚寒带半湿润气候区,年均气温3 ℃,年均降水量337.5 mm左右,主要集中在5—9月。林地主要包括以青海云杉(*Picea crassifolia*)为主要建群种的针叶林,以青海云杉和祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)组成的针叶混交林,以祁连圆

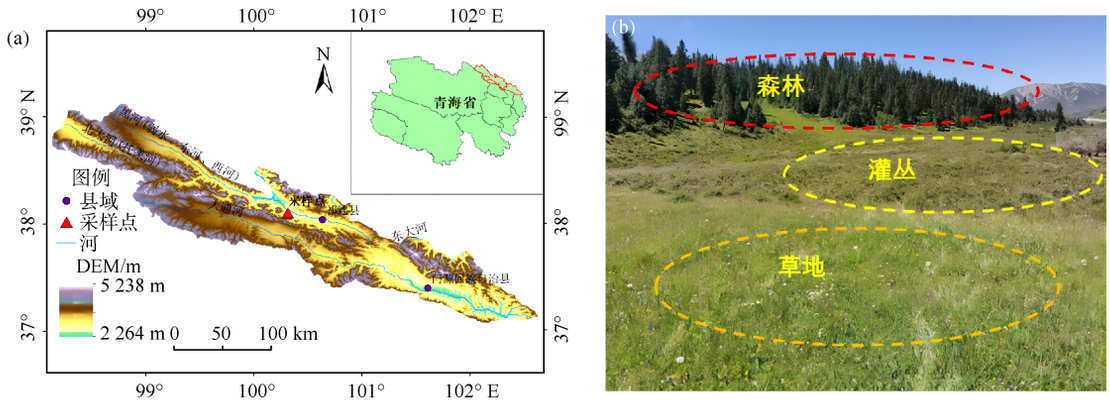


图1　研究区地理位置及样地局部景观

(a)研究区地理位置;(b)样地局部景观

柏、山杨(*Populus davidiana*)、红桦(*Betula platyphylla*)、白桦(*Whitebirch*)等组成的阔叶林以及针阔混交林等;灌丛植被类型主要为金露梅(*Potentilla fruticosa*)、山生柳(*Willow*)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata*)等;草地主要有蒿草(*Artemisia*)、苔草(*Carex*)等。流域阴坡植被垂直地带性分布规律明显,海拔从高到低依次为以青海云杉为建群种的林地、以金露梅为建群种的灌丛及以蒿草为建群种的草地。土壤类型主要有高山寒漠土、栗钙土、灰褐土等10大类,根据土质又分为淋溶高山草甸土、碳酸盐高山草甸土等26个亚类。

2　研究方法

2021年7—8月,选取青海云杉林、金露梅灌丛及蒿草草地生态系统为研究对象,在每类生态系统随机设置3块样地,在每个样地随机设置3个不同规格的调查样方,其中,林地样方规格为20 m×20 m,灌丛样方规格为5 m×5 m,草地样方规格为1 m×1 m,在每个样方随机设置3个采样点,利用土钻采集土壤样品,采集深度为50 cm,间隔为10 cm,将同一样方相同深度的样品混合均匀,去除砾石及草根等杂物后装入样品袋(每份样品约500 g),带回实验室通风、阴干、过筛研磨后测定土壤有机碳、pH、全氮、全磷、全钾含量等指标。

本研究共设置调查样地9处(图1),调查样方27个,采样点81个,采集样品135份。

土壤有机碳的测定用《重铬酸钾氧化-硫酸氧化法:NY/T1121.6-2006》,全氮用《半微量凯氏法:LY/T1228-1999》,全磷用《氢氧化钠提取-钼锑抗比色法:GB7852-1987》,全钾用《氢氧化钠碱熔-火焰光度法:GB7854-1987》,pH用《电位法:GB 7859-1987》[21]。

数据以$\bar{x} \pm s$表示。采用SPSS23.0软件进行数据统计分析,采用单因素方差分析和最小显著法检验组间差异性,$P<0.05$为差异有统计学意义。

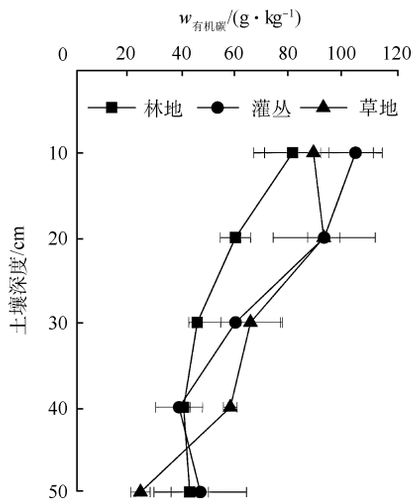
3　结果分析

3.1　土壤有机碳分布特征

阿咪东索小流域林地、灌丛及草地有机碳随深度变化特征见表1和图2。0~50 cm土壤有机碳平均质量分数分别为54.29、69.01和66.30 g/kg,表现为灌丛最高,草地次之,林地最低。林地、灌丛和草地生态系统土壤有机碳质量分数随土壤深度呈剧烈波动,变化范围分别为40.76~99.84、39.08~105.25和24.6~93.31 g/kg。总体来看,土壤有机碳含量波动较大。

3种生态系统土壤有机碳含量随土层深度的增加呈减小趋势(图2)。林地0~10 cm土层有机碳平均质量分数达81.6 g/kg,显著高于其他层次($P<0.05$),是40~50 cm土层的近2倍;灌丛0~30 cm土层有机碳平均质量分数均较高且与其他层次差异显著($P<0.05$),其中0~10 cm土层质量分数最高,达105.3 g/kg,分别是30~40及40~50 cm土层的2.7及2.2倍;草地生态系统0~30 cm土层有机碳质量分数显著高于其他2层次($P<0.05$),其中10~20 cm土层含量最高,达93.3 g/kg,分别是30~40及40~50 cm土层有机碳含量的1.6及3.8倍。

相同深度土层有机碳质量分数在不同生态系统差异显著(表1)。0~30 cm土层,3种生态系统土壤有机碳质量分数均较高,但差异不显著($P>0.05$),相对来说,灌丛最高,草地次之,林地最低,平均值分别为86.35、82.87、62.55 g/kg;30~40 cm土层,草地有机碳质量分数显著高于灌丛和林地($P<0.05$),达



注:w为质量分数。

图2　土壤有机碳质量分数随土层深度变化

58.27 g/kg,而林地和灌丛分别为40.76和39.08 g/kg;40 cm以下土层,3种生态系统土壤有机碳质量分数均较低,且差异不显著(P>0.05),相对而言,灌丛质量分数较高(47.02 g/kg),林地次之(43.04 g/kg),草地最低(24.61 g/kg)。

表1　祁连阿咪东索流域3种典型生态系统土壤有机碳特征

单位:g/kg

深度/cm	林地生态系统	灌丛生态系统	草地生态系统
0~10	81.6±18.20aA	105.24±17.44aA	89.45±38.93aA
10~20	60.18±9.80bA	93.48±33.16abA	93.31±10.47aA
20~30	45.86±1.80bA	60.34±30.37abcA	65.84±19.37aA
30~40	40.76±4.26bB	39.08±15.25cB	58.24±4.46abA
40~50	43.0±12.13bA	47.02±30.09bA	24.61±6.32abA

注:小写字母表示相同生态系统不同土层有机碳质量分数差异性,大写字母表示不同生态系统相同土层有机碳质量分数差异性,相同字母表示差异不显著(P>0.05),不同字母表示差异显著(P<0.05)。

3.2　土壤pH及其与有机碳的相关性

祁连阿咪东索流域林地、灌丛和草地3种生态系统土壤pH结果见表2和图3。pH 6.53~8.07,随土层深度的增加呈增大趋势。林地0~10 cm土层pH 6.65,显著低于其他层次(P<0.05),40~50 cm土层pH 7.69,实现了土壤由弱酸性向弱碱性的转变;灌丛pH 6.54~7.53,0~20 cm土层酸碱度显著低于30~50 cm土层(P<0.05);草地pH 6.60~7.99,随土层变化差异性不显著(P>0.05)。

将林地、灌丛和草地土壤不同层次的有机碳质量分数同pH作相关性分析,结果显示3种生态系统土壤有机碳质量分数与土壤pH均呈极显著负相关(r=−0.97、−0.96、−0.95,P<0.01),林地、灌丛、草地的回归方程分别为:

Y=−38.69 x +338.15, Y=−125.26x+951.59, Y=−132.21 x +1 034.51,式中:Y为有机碳质量分数,x为pH。

表2　祁连阿咪东索流域典型生态系统土壤pH值分布特征

深度/cm	林地生态系统	灌丛生态系统	草地生态系统
0~10	6.65±0.07c	6.77±0.12b	7.07±0.37a
10~20	7.21±0.17b	6.89±0.03b	7.21±0.30a
20~30	7.43±0.12ab	7.04±0.02ab	7.32±0.27a
30~40	7.71±0.14a	7.23±0.13a	7.42±0.23a
40~50	7.69±0.20a	7.30±0.12a	7.59±0.21a

3.3　土壤养分含量及其与有机碳的相关性

3.3.1　土壤全氮含量及其与有机碳的相关性

祁连阿咪东索流域3种生态系统土壤全氮质量分数见表3和图4,土壤全氮质量分数随土层深度增加呈降低趋势。林地全氮质量分数变化范围为2.08~7.28 g/kg,0~10 cm土层平均值为5.72 g/kg,显著高于其他层次(P<0.05),10~50 cm土层全氮质量

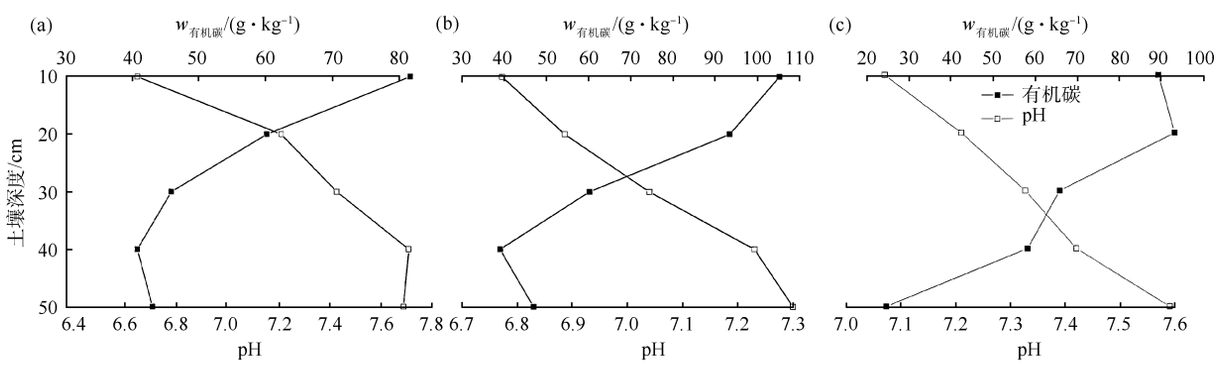


图3　祁连阿咪东索流域典型生态系统土壤pH与有机碳质量分数的相关性

(a)林地;(b)灌丛;(c)草地

分数均较低,且无显著差异(P>0.05);灌丛全氮质量分数波动范围为1.71~11.99 g/kg,0~10 cm土层质量分数达10.56 g/kg,显著高于其他土层(P<0.05),约为40~50 cm土层含量的3.16倍;草地土壤全氮质量分数变化范围为1.34~9.69 g/kg,0~30 cm土层全氮平均质量分数为6.76 g/kg,显著高于其他土层(P<0.05),是30~50 cm土层的近4倍。

将3种生态系统土壤有机碳质量分数与全氮质量分数进行Pearson相关分析,结果显示,林地、灌丛及草地生态系统土壤有机碳与全氮呈显著正相关(P<0.05),系数分别为0.96、0.93、0.97,回归分析方程为:林地 Y=147x+2.47(r=0.957);灌丛 Y=8.46x+22.12(r=0.93);草地 Y=11.56x+4.68(r=0.97),式中:Y为有机碳质量分数;x为全氮质量分数。

3.3.2　土壤全磷含量及其与有机碳的相关性

3种生态系统土壤全磷质量分数随深度变化见表3和图4,随深度增加总体呈降低趋势。林地和灌丛土壤全磷质量分数随土层增加均呈减小趋势,但各层间差异不显著(P>0.05),二者全磷质量分数分别在0.90~1.98 g/kg与1.16~2.38 g/kg之间波动;草地全磷质量分数波动范围为1.25~2.53 g/kg,其中0~10 cm土层全磷质量分数最高,与10~40 cm土层差异不显著(P>0.05),但与40~50 cm土层差异显著(P<0.05),二者相差1.58倍(表4)。

将3种生态系统土壤有机碳质量分数与全磷质量分数进行Pearson相关分析,结果显示,林地与灌丛土壤有机碳与全磷呈显著不相关(P>0.05),而草地生态系统表现为显著正相关(P<0.05),系数为0.92,回归方程为:Y=85.36x−86.38(r=0.92),式中:Y为有机碳;x为全磷。

3.3.3　土壤全钾含量及其与有机碳的相关关系

3种生态系统土壤全钾质量分数随深度变化见表3和图4,随深度增加总体呈上升趋势。林地全钾质量分数变化范围是18.85~21.54 g/kg,较浅的0~10 cm土层全钾质量分数为19.74 g/kg,显著低于20~50 cm土层(P<0.05);灌丛全钾质量分数变化范围是17.46~25.3 g/kg,随土层变化不显著(P>0.05);草地土壤全钾含量变化范围是20.45~29.34 g/kg,其中0~10 cm土层含量最低,显著低于20~50 cm土层全钾含量(P<0.05)。

将土壤有机碳质量分数与全钾质量分数进行Pearson相关分析,结果显示,林地、灌丛和草地生态

表3　祁连阿咪东索流域3种典型生态系统土壤养分含量特征(平均值±标准误差)　　单位:g/kg

深度/cm	林地生态系统			灌丛生态系统			草地生态系统		
	全氮	全磷	全钾	全氮	全磷	全钾	全氮	全磷	全钾
0~10	5.72±0.9a	1.74±0.1a	19.74±0.51b	10.56±0.76a	2.07±0.18a	19.93±0.86a	8.03±1.56a	2.13±0.25a	21.79±0.67a
10~20	3.52±0.4b	1.55±0.19a	20.54±0.43ab	6.97±2.21ab	1.74±0.27a	19.55±1.52a	6.84±1.02ab	1.96±0.23ab	22.08±0.62ab
20~30	3.43±0.16b	1.64±0.21a	20.9±0.35a	3.41±0.77b	1.49±0.17a	22.2±0.86a	5.42±0.42ab	1.66±0.19ab	22.5±0.93b
30~40	2.83±0.16b	1.37±0.17a	20.97±0.1a	3.45±0.9b	1.51±0.22a	23.13±1.77a	4.33±0.15bc	1.83±0.20ab	24.43±0.98b
40~50	3±0.46b	1.61±0.35a	21.13±0.27a	3.34±0.84b	1.64±0.08a	22.15±1.8a	2.01±0.55c	1.35±0.06b	26.7±1.72b

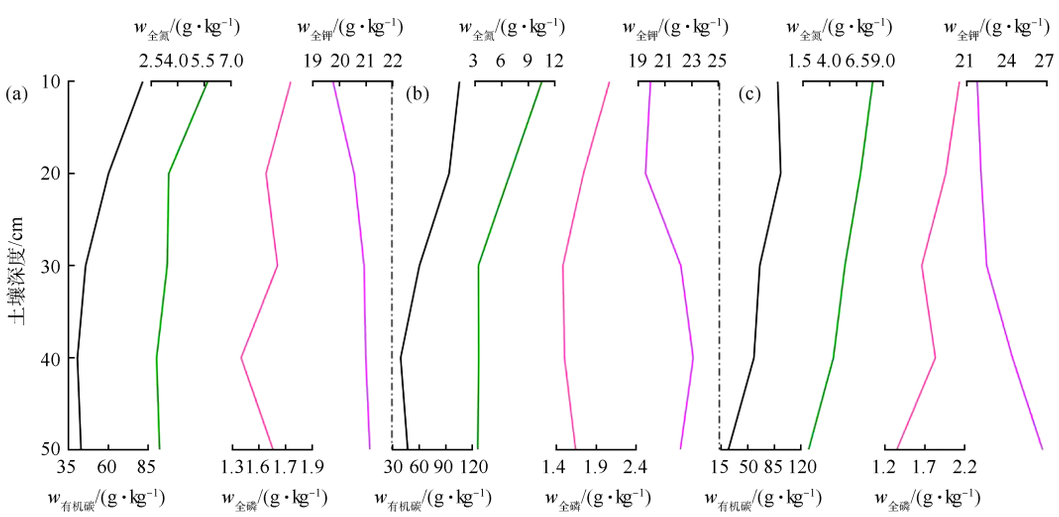


图4　祁连阿咪东索流域典型生态系统土壤有机碳与养分指标的对比

(a)林地;(b)灌丛;(c)草地

系统土壤有机碳与全钾呈显著负相关($P<0.05$),其系数分别为−0.99、−0.96、−0.96,回归方程分别为:

林地 $Y=-30.23x+678.80$($r=-0.99$);灌丛 $Y=-17.78x+449.27$($r=-0.96$);

草地 $Y=-12.82x+367.51$($r=-0.96$);式中 Y 为有机碳质量分数;x 为全钾质量分数。

4　讨　论

4.1　典型生态系统土壤有机碳特征及差异性

土壤有机碳主要来源于植物、动物、微生物残体和根系分泌物,并处于不断的分解与形成中,其含量是生态系统在特定条件下的动态平均值[22-23]。不论是林地还是灌丛和草地,整体剖面有机碳含量波动剧烈,且随土壤深度增加均呈显著减小趋势(图2)。出现这种现象的原因主要在于地表枯枝落叶的沉积、分解和转化。3种生态系统植被盖度均>90%,林下沉积有大量的枯枝落叶,这些物质分解转化为有机碳后优先沉积于表层,然后在降水的淋溶作用下逐渐向下运移,最终形成表层富集,深层贫化的现象。

3种生态系统土壤有机碳含量整体呈灌丛最高、草地次之,而林地最低的现象。这是因为土壤有机碳的多少不仅受地表枯落物数量的影响,还受地表物质分解速率和程度的影响,而土壤水分和温度是影响地表枯落物分解的2个关键因子,水分和温度越高,地表枯落物分解的速率越快,有机碳含量就越高[24-25]。林地地表枯落物数量虽然较多,但由于林冠截流、遮阴及海拔较高等影响,土壤水分和温度低于灌丛和草地,影响了地表枯落物的分解速率和程度,减少了土壤有机碳的积累[26],最终导致土壤有机碳质量分数低于水、温条件相对较好的草地和灌丛生态系统。3种生态系统0~30 cm土层有机碳含量也呈现灌丛最高、草地次之而林地最低的现象(表1),而30~40 cm土层土壤有机碳呈现草地显著高于林地和灌丛的现象。这是因为草地根系集中分布于0~20 cm土层,细根的腐烂、转化、运移补充30~40 cm土层的有机碳,而灌丛和林地根系较粗,扎根较深,难以分解转化,土壤有机碳主要依靠淋溶作用产生,而淋溶作用的速度慢且数量少,难以在短时间内形成碳的积累。虞敏[27]和袁杰[28]对祁连山南坡典型生态系统有机碳含量特征的研究发现,林地最大,而草地最低,与本研究结论不一致,形成的主要原因在于研究尺度和方法的不同。虞敏等人在祁连山南坡区域尺度上在少量实测数据的基础上通过空间插值得出的结果,而研究区面积约1.6万 km^2,其调查样方只有378个,平均样方数仅有0.02个/km^2,加之区域地质地貌复杂,采样点布设不均等因素,极大地影响了空间插值的精度。本研究仅在阿咪东索流域在点位尺度上采用实测方法展开,鉴于土壤有机碳极强的空间异质性,本研究结果也仅能代表阿咪东索流域3种典型生态系统土壤有机碳的分布特征及差异性。

4.2　典型生态系统土壤pH特征及与有机碳的相关性

土壤pH是土壤的基本属性,也是影响土壤理化性质的重要化学指标,直接影响着土壤中各种元素的存在形态、有效性及迁移转化[29]。3种生态系统土壤pH随土层深度增加呈增长趋势。这可能是因为土壤pH与 $CaCO_3$ 含量呈正相关,而 $CaCO_3$ 在降水淋溶作用下向土层深处沉淀,这种淋溶作用随土层深度增加逐渐变弱[30];pH与植物分泌的有机酸含量呈负相关,而有机酸含量从上到下呈减小趋势。土壤pH是限制微生物活性的重要因子,pH越高土壤微生物活性则越弱,进而导致土壤有机碳周转速率下降,使土壤有机碳的积累效果减弱。林地、灌丛和草地土壤pH随着土层深度的增加均呈增大趋势,微生物活动因此而减弱,最终导致土壤有机碳含量降低;另一方面土壤pH可增加溶解有机碳的淋溶量,较高的pH土壤环境中有机碳更容易溶解、移动,吸附力减弱,导致土壤的碳积累量降低[31-32]。按照《生态地球化学评价样品分析技术要求:DD2005—03》的规定,分成中性、酸性土壤和碱性土壤,pH≤7.50为中酸性土壤,pH≥7.50为碱性土壤。研究区林地、灌丛和草地土壤剖面在0~30 cm的土壤均pH<7.50,为中性、酸性土壤,30 cm以下的pH≥7.50,为碱性土壤,这主要是因为土壤剖面上的酸碱度受到降雨的作用,导致土壤pH从地表至深层部位递增。土壤有机碳含量与土壤pH显著负相关($P<0.01$),主要是因为土壤pH属性影响着土壤中微生物量及微生物活性及生物群落结构,进而影响到有机质的蓄积和周转。

4.3　典型生态系统土壤养分特征及与有机碳的相关性

理清土壤有机碳含量、土壤养分含量以及二者的相关性,对未来的生态环境建设具有十分重要的参考意义。土壤氮素水平的高低很大程度上限制

了土壤碳的保持水平。研究结果表明,阿咪东索流域林地、灌丛和草地土壤有机碳与全氮含量显著正相关,这与前人研究结果一致[33],土壤氮素在表层积聚现象。一方面,3种生态系统因为土壤表层均有大量未分解调落物,深层氮的分解和积累在时间尺度上较长,使得表层氮素积累比较多[34];另一方面,土壤微生物量碳与土壤有机碳及全氮含量是显著相关的,而表层土壤微生物种类与数量均较高。

土壤全磷是植物和土壤发育的第二大必需营养元素,参与并影响着土壤环境地球化学过程,其含量受到母质的影响[35-36]。3种生态系统类型土壤全磷含量草地最高,灌丛次之、林地最低,并随深度增加总体呈减小趋势;土壤有机碳和全磷的相关性在不同植被区存在差异(图4),在林地和灌丛表现为显著不相关(P>0.05),而在草地呈显著正相关。这是因为林地和灌丛地势较高,相对来讲,各土壤发生层厚度较薄,草地位于该流域的最低处,其母质大多数为洪坡积物,厚度较大,为磷元素的富集提供了先天条件,所以磷元素在草地土壤中含量最高,林地最低。另一方面,草地根系较林地和灌丛细小且集中于土壤较浅的层位,十分有利于土壤磷元素的活化与富集,同时也导致了磷含量随深度变化的显著性[37]。

土壤全钾也是反映土壤向地表植被提供钾素能力强弱的指标,其大小体现着土壤钾库容量和供钾潜力。研究表明,在祁连山阿咪东索3种典型生态系统土壤有机碳与全钾显著负相关(P<0.01),这与淳长品等人的研究结果相一致[37],林地、灌丛和草地的r=−0.99、−0.97和−0.96。这主要是因为钾作为酶的活化剂,可促进光合作用和大量碳水化合物的形成。3种典型生态系统发育良好的植被质量和植被盖度,耗损了土壤中大量的钾元素,导致土壤有机碳与钾元素成负相关关系。

5 结 论

本研究以祁连山南坡的阿咪东索小流域为研究区,通过野外调查取样、室内测试及数据分析,对比研究了该流域典型的林地、灌丛及草地生态系统的有机碳分布特征及其与土壤pH、全氮、全磷和全钾等指标的相关性,得出以下结论:

(1)祁连阿咪东索流域3种典型生态系统土壤有机碳受地表枯落物的数量及土壤水分、温度、酸碱性及肥力状况等条件的综合影响,含量呈灌丛最高、草地次之、林地最低的态势,且随土层深度增加呈显著减小趋势,出现了“表层富集、深层贫化”的现象。

(2)3种典型生态系统土壤pH均随土层深度增加呈增大趋势,对土壤微生物活动的限制作用及对有机碳溶解的作用加强,进而降低了土壤有机碳蓄积和周转速率,二者之间呈显著负相关。

(3)3种典型生态系统土壤肥力状况受地表枯落物、土壤微生物、植被根系及土壤母质的综合影响,土壤全氮、全磷含量随土层深度增加呈降低趋势,而全钾却呈上升趋势;土壤有机碳与全氮、全钾分别呈显著正相关和显著负相关,与全磷在不同的生态系统中呈现不同的相关性,在林地与灌丛表现为显著不相关,草地则表现为显著正相关。

参 考 文 献

[1] SCHLESINGER W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils[J]. Nature,1990,348,232-234.

[2] POST W M, EMANUEL W R, ZINKE P J, et al. Soil carbon pools and world life zones[J]. Nature, 1982, 298:156-159.

[3] 马文明,李忠武,丁克毅,等.水力侵蚀作用下土壤有机碳库稳定性机制研究进展[J].中国水土保持科学,2020,18(1):125-130.

[4] 薛健,李宗省,冯起,等.1980—2017年祁连山水源涵养量时空变化特征[J].冰川冻土,2022,44(1):1-13.

[5] 杨晓霞,赵锦梅,张雪,等.祁连山东段山地典型灌丛枯落物及土壤水源涵养功能研究[J].干旱区地理,2022,45(1):197-207.

[6] 胡健,吕一河,张琨,等.祁连山排露沟流域典型植被类型的水源涵养功能差异[J].生态学报,2016,36(11):3338-3349.

[7] 李宗省,冯起,李宗杰,等.祁连山北坡稳定同位素生态水文学研究的初步进展与成果应用[J].冰川冻土,2019,41(5):1044-1052.

[8] 王彬.祁连山典型阴坡青海云杉林生态水文特征研究[D].北京:中国林业科学研究院,2017.

[9] 何志斌,杜军,陈龙飞,等.干旱区山地森林生态水文研究进展[J].地球科学进展,2016,31(10):1078-1089.

[10] 芦倩,李毅,刘贤德,等.祁连山排露沟流域青海云杉(*Picea crassifolia*)林土壤水分特征[J].中国沙漠,2020,40(5):142-148.

[11] 王涛,高峰,王宝,等.祁连山生态保护与修复的现状问题与建议[J].冰川冻土,2017,39(2):229-234.

[12] 李永格,李宗省,冯起,等.基于生态红线划定的祁连山生

态保护性开发研究[J].生态学报,2019,39(7):2343-2352.
[13] 拓锋,刘贤德,黄冬柳,等.祁连山大野口流域青海云杉种群数量动态[J].生态学报,2021,41(17):6871-6882.
[14] 邓喆,丁文广,蒲晓婷,等.基于InVEST模型的祁连山国家公园碳储量时空分布研究[J].水土保持通报,2022,42(3):324-334+396.
[15] 吴振云,李进军,李娜,等.祁连山青海云杉林生长状况及固碳潜力空间分异研究[J].兰州大学学报(自然科学版),2020,56(6):749-754.
[16] 曾攀儒,张福平,冯起,等.祁连山地区不同植被生态系统固碳价值量估算及时空演变分析[J].冰川冻土,2019,41(6):1348-1358.
[17] 刁二龙,曹广超,曹生奎,等.祁连山南坡不同土地利用方式下土壤碳氮含量及通径分析[J].干旱区研究,2021,38(5):1346-1354.
[18] 赵锦梅,刘长仲,张德罡.土地利用方式对东祁连山土壤表层有机碳的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):82-85.
[19] 梁冰妍,徐海燕,吴晓东,等.祁连山不同草地类型区土壤有机碳组份的差异[J/OL].(2022-09-08)[2022-09-26]. https://kns. cnki. net/kcms/detail/42.1874. P. 20220907.1415.002.html.
[20] 赵晶忠,马剑,高媛,等.祁连山大野口流域典型灌丛土壤有机碳含量分布特征[J].中南林业科技大学学报,2022,42(8):111-117.
[21] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2001.
[22] 于君宝,王金达,刘景双,等.典型黑土pH值变化对微量元素有效态含量的影响研究[J].水土保持学报,2002,16(2):93-95
[23] 姚槐应,何振立,陈国潮,等.红壤微生物量在土壤-黑麦草系统中的肥力意义[J].应用生态学报,1999,(6):725-728.
[24] LAJTHA K,CROW S E,YANO Y,et al. Detritalcontrols on soil solution N and dissolved organic matter in soils: a field experiment [J]. Biogeochemistry, 2005, 76: 261-281.
[25] 赵青,刘爽,陈凯,等.武夷山自然保护区不同海拔甜槠天然林土壤有机碳变化特征及影响因素[J].生态学报,2021,41(13):5328-5339
[26] 张卓.祁连山南坡生态系统碳源/汇特征及碳库影响因素研究[D].西宁:青海师范大学,2022.
[27] 虞敏.祁连山南坡土壤碳氮储量及影响因素研究[D].西宁:青海师范大学,2020.
[28] 袁杰.祁连山黑河源区土壤储碳蓄水能力及潜力研究[D].西宁:青海师范大学,2019.
[29] 陶晓.城市绿地土壤碳储量及碳通量研究[D].合肥:安徽农业大学,2012.
[30] 张勇,秦嘉海,赵芸晨,等.黑河上游冰沟流域不同林地土壤理化性质及有机碳和养分的剖面变化规律[J].水土保持学报,2013,27(2):126-130.
[31] 李志洪,赵兰坡,窦森.土壤学[M].北京:化学工业出版社,2005.7.134.
[32] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
[33] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983.
[34] 魏亚伟,苏以荣,陈香碧,等.人为干扰对桂西北喀斯特生态系统土壤有机碳、氮、磷和微生物量剖面分布的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):164-169.
[35] AZENE B, QIU P, ZHU R H, et al. Response of soil phosphorus fractions to land use change in the subalpine ecosystems of Southeast margin of Qinghai-Tibet Plateau, Southwest China [J]. Ecological Indicators, 2022,144-148.
[36] 朱祖祥.土壤学(上册)[M].北京:农业出版社,1983.
[37] 刘志鹏,邵明安,王云强.区域尺度下黄土高原土壤全钾含量的空间模拟[J].农业工程学报,2012,28(22):132-140.

(责任编辑:李拓宇)