

祁连山区 4 种高寒植被类型下土壤养分及含水率分布

安克俭, 魏霞, 贺燕, 路志强

(兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: [目的] 探究祁连山区土壤养分及含水率分布特征, 为祁连山区水土保持和生态植被恢复提供参考。[方法] 以高寒草甸、高山灌丛、温性草原、温性荒漠 4 种高寒植被类型土壤为研究对象, 采用野外调查、室内试验及数理统计相结合的方法, 研究了 4 种植被类型下不同土层深度和 4 种坡向下土壤有机质 (SOM)、全氮 (TN)、全磷 (TP)、含水率 (SMC) 分布特征, 及其与年平均气温、年累积降雨量之间的相关性。[结果] ①研究区 SOM 含量范围为 1.85~190.31 mg/g, TN 含量为 0.07~7.99 mg/g, TP 含量为 0.24~1.81 mg/g, SMC 为 0.79%~73.21%。②土壤 SOM, TN, TP, SMC 含量差异主要受植被类型影响, 不同植被类型土壤 SOM, SMC 含量大小顺序均为: 高寒草甸>高山灌丛>温性草原>温性荒漠; TN 含量: 高山灌丛>高寒草甸>温性草原>温性荒漠; TP 含量: 温性草原>高寒草甸>高山灌丛>温性荒漠。在 4 种坡向中, TP 含量在半阴坡最高, 阳坡最低, SOM, TN, SMC 含量在半阳坡最高。③SOM, TN, TP, SMC 与年累积降雨量极显著正相关 ($p<0.01$), SOM, SMC 与年平均气温均为极显著负相关 ($p<0.01$), TN 含量与年平均气温显著负相关 ($p<0.05$)。[结论] 祁连山区水土保持和生态植被恢复措施的布设可优先考虑在半阳坡、高寒草甸和高山灌丛区域, 因地制宜地促进生态系统物质良性循环。

关键词: 祁连山区; 高寒植被; 土壤养分; 土壤含水率; 坡向

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0016-07

中图分类号: S714.5

文献参数: 安克俭, 魏霞, 贺燕, 等. 祁连山区 4 种高寒植被类型下土壤养分及含水率分布[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 16-22. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.003; An Kejian, Wei Xia, He Yan, et al. Soil moisture content and nutrient distribution under four alpine vegetation types in Qilian Mountains [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 16-22.

Soil Moisture Content and Nutrient Distribution Under Four Alpine Vegetation Types in Qilian Mountains

An Kejian, Wei Xia, He Yan, Lu Zhiqiang

(College of Earth Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: [Objective] The distribution characteristics of soil nutrients and soil moisture content (SMC) in the Qilian Mountains were explored in order to provide references for soil and water conservation and ecological vegetation restoration in this area. [Methods] Four alpine vegetation types (alpine meadow, alpine shrub, temperate steppe, and temperate desert) were studied. The distribution characteristics of soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and SMC at different soil depths and four slope directions under the four vegetation types were analyzed through field investigation, laboratory experiments, and mathematical statistics, and their correlations with air temperature and annual cumulative rainfall were analyzed. [Results] ① SOM in the study area was 1.85~190.31 mg/g; TN was 0.07~7.99 mg/g; TP was 0.24~1.81 mg/g; and SMC was 0.79%~3.21%. ② The differences in SOM, TN, TP, and SMC content were mainly affected by differences in vegetation types. Soil moisture content of different vegetation types followed the order of alpine meadow > alpine shrub > temperate grassland > temperate desert. TN

收稿日期: 2021-08-23

修回日期: 2022-01-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄河上游复杂水资源弹性系统多重风险共振评估研究”(51679115); 兰州大学西部环境教育部重点实验室开放基金及兰州大学中央高校基本科研业务费专项基金(lzujbky-2018-kb01)

第一作者: 安克俭 (1996—), 男 (汉族), 甘肃省民勤县人, 硕士研究生, 研究方向为水文及水资源、土壤侵蚀与土壤可蚀性。Email: Ankj19@lzu.edu.cn.

通信作者: 魏霞 (1980—), 女 (汉族), 陕西省扶风县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与水土保持、水文学及水资源学等方面的研究。Email: weix@lzu.edu.cn.

followed the order of alpine shrub > alpine meadow > temperate grassland > temperate desert. TP contents followed the order of temperate grassland > alpine meadow > alpine shrub > temperate desert. Regarding the four slope directions, TP content was the highest on the semi-shady slope and the lowest on the sunny slope. The contents of SOM, TN, and SMC were the highest on the semi-sunny slope. ③ SOM, TN, TP, and SMC were significantly positively correlated with annual cumulative rainfall ($p < 0.01$). SOM and SMC were significantly negatively correlated with annual average temperature ($p < 0.01$). TN was significantly negatively correlated with annual average temperature ($p < 0.05$). [Conclusion] The implementation of soil and water conservation and ecological vegetation restoration measures in the Qilian Mountains can be considered for semi-sunny slope, alpine meadow areas. For alpine shrub and meadow areas, the beneficial cycle of ecosystem materials appropriate to local conditions should be promoted.

Keywords: Qilian Mountains; alpine vegetation; soil nutrients; soil moisture content; slope direction

土壤是生态系统中植被发展、种群结构变化、群落演替物质能量的交换场所^[1-2]。土壤理化性质对植被生产力具有决定性影响^[3]。土壤养分、水分与植被状态存在较为密切循环关系,在此循环过程中,碳、氮、磷元素作为养分元素循环的核心驱动着其他养分元素的循环与转化^[4-6]。在土壤—植被系统中,土壤为植被生长提供水分和养分,植被对土壤产生生态效应^[7-8],植被从土壤中吸收养分与水分,同时以枯落物分解的形式将养分回馈于土壤中,植物根系固土及分泌物作用能减少土壤养分和水分不受因土壤侵蚀造成的流失,进而改变土壤质地和土地生产力^[9]。

土壤养分是土壤肥力评价的重要指标,是影响土壤肥力和土壤质量的主要因素^[10],直接影响植被的恢复、重建、生长^[11],土壤含水率不仅限制植被的分布和生长,还会改变土壤微气候,进而对土壤养分的组成和转化产生重要影响。现对于不同植被类型土壤已有大量研究,如有研究表明黄土高原土壤肥力最高的是梯田,肥力最低是陡坡草地^[12],且土壤含水率随退耕年限的增加而增大^[11]。黄雅茹等^[9]在乌兰布和东北部的研究中表明,不同土地利用方式下土壤肥力等级不同,并且受凋落物影响,表层土壤养分含量最高。顾振宽等^[13]、wang等^[14]、巩杰等^[15]在研究中发现,不同植被类型以及不同土层深度间的土壤有机碳、全氮、全磷含量分布具有一定规律性。罗红等^[16]在研究中发现,西藏造林作业区的土壤肥力整体偏低,且具有典型水平地带性分布规律。但是对于祁连山区因野外环境复杂,采样工作开展困难,关于不同高寒植被类型土壤差异的研究还比较少见。研究祁连山区不同植被类型土壤养分及含水率状况,探究其分布特征规律,对于区域生态植被恢复具有重要意义。

祁连山区作为黄土高原、蒙新高原、青藏高原的分界线,东起乌鞘岭,西至当金山与阿尔金山相连,山区由多条西北—东南走向的山脉和宽谷组成^[17],是党河、疏勒河、北大河、黑河、石羊河、大通河和湟水的

主要补给来源^[18-20]。祁连山区分布着终年积雪及现代冰川,生物多样性丰富^[21],对于西北内陆干旱半干旱地区的研究颇为重要。近年来,受全球气候及人类活动影响,祁连山区冰雪、冻土退化、水源涵养力下降、草地退化严重等问题日益严重^[21-23]。但由于祁连山区自然条件恶劣,交通不便,致使研究工作开展困难。鉴于此,本研究以祁连山区4种主要植被类型土壤为研究对象,运用室内试验和数理统计相结合的方法分析祁连山区不同植被类型下的土壤养分及含水率分布特征,以期为祁连山区水土保持和生态植被恢复提供基础科学资料。

1 研究区概况

祁连山区位于青藏高原东北部,纬度范围为 $35^{\circ}48'—40^{\circ}05'N$,经度范围为 $93^{\circ}18'—103^{\circ}54'E$ 。区域面积 $30\,000\text{ km}^2$,山区海拔处于 $3\,000—4\,500\text{ m}$ 之间,随海拔变化,祁连山区气候变化明显^[20],山前低山区属荒漠气候,年均气温 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,年均降水量约 150 mm ;中山下部属于半干旱草原气候,年均气温 $2—5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $250—300\text{ mm}$;中山上部为半湿润森林草原气候,年均气温 $0—1\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $400—500\text{ mm}$;亚高山和高山属寒冷湿润气候,年均气温 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。成土母质主要为以粉粒为主的风积黄土和以沙粒为主的岩石风化物^[24-25],主要土壤类型有黑毡土、黑钙土、高寒草甸土、棕漠土、冷钙土和栗钙土等^[26]。天然植被主要有青海云杉(*Picea crassifolia*)、白桦(*Betula platyphylla*)、红桦(*Betula albosinensis*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、银露梅(*Potentilla glabra*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、小檗(*Berberis thunbergii*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)、披针苔草(*Carex lanceolata*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa annua*)、凤毛菊(*Saussurea japonica*)、烟管头草(*Carpesium cernuum*)等。

2 材料与方法

2.1 土壤样品采集

于 2018 年 6—8 月在研究区进行土样采集,选取祁连山区高寒草甸、高山灌丛、温性草原、温性荒漠 4 种典型植被类型土壤作为研究对象,共设置 31 个采样点。采样点空间分布见图 1,采样点位基本信息见表 1。每个采样点重复取 3 个土样,使用直径为 10 cm 土钻按照不同深度 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm 分别采集土壤样品。将相同剖面土层土样混合装袋并编号,记录样点经纬度、植被、海

拔等基础信息。将土样带回实验室,放置阴凉处自然风干,清除土样中的根系、石砾等。

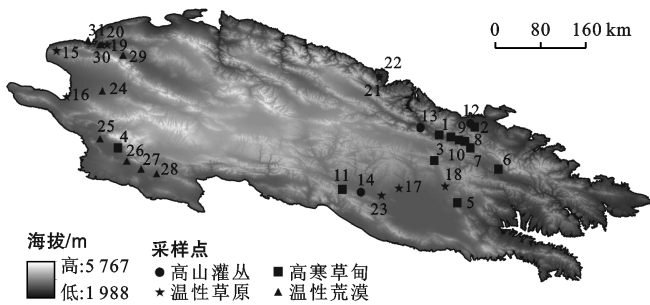


图 1 祁连山区地形及采样点空间分布

表 1 采样点基本信息

编号	采样点名称	植被类型	经度	纬度	海拔/m	土壤类型	坡 向
1	阿 柔	高寒草甸	100.48	38.06	2 956	暗黑钙土	半阳坡
2	扁都口 2 号点	高寒草甸	101.05	38.18	2 971	棕草钙土	阴 坡
3	仓 江	高寒草甸	100.40	37.67	3 639	草毡土	半阳坡
4	大柴旦 1 号点	高寒草甸	95.34	37.86	3 122	高寒草甸盐土	半阳坡
5	刚察 2 号点	高寒草甸	100.77	37.03	3 214	薄黑毡土	半阳坡
6	门 源	高寒草甸	101.43	37.54	3 043	暗冷钙土	半阳坡
7	祁连 1 号点	高寒草甸	100.98	37.86	3 412	黑毡土	阴 坡
8	祁连 2 号点	高寒草甸	100.89	37.96	3 277	石灰性高寒草甸土	阳 坡
9	祁连 3 号点	高寒草甸	100.80	37.98	3 214	石灰性高寒草甸土	阳 坡
10	祁 门	高寒草甸	100.67	38.03	3 154	石灰性高寒草甸土	半阳坡
11	天峻 1 号点	高寒草甸	98.93	37.23	3 516	薄黑毡土	半阴坡
12	扁都口 1 号点	高山灌丛	100.98	38.23	2 724	黑钙土	阴 坡
13	祁连县	高山灌丛	100.18	38.17	3 011	棕黑毡土	半阴坡
14	天峻 2 号点	高山灌丛	99.23	37.19	3 295	栗钙土	半阴坡
15	阿克塞 1 号点	温性草原	94.36	39.34	3 080	淡棕钙土	半阴坡
16	阿克塞 3 号点	温性草原	94.52	38.64	3 462	石膏灰棕漠土	阴 坡
17	刚察 1 号点	温性草原	99.84	37.25	3 172	暗栗钙土	半阳坡
18	刚察 3 号点	温性草原	100.58	37.28	3 318	黑钙土	阳 坡
19	肃北 1 号点	温性草原	95.17	39.43	2 607	淡棕钙土	阳 坡
20	肃北 2 号点	温性草原	95.09	39.43	2 548	淡棕钙土	阴 坡
21	肃南 1 号点	温性草原	99.53	38.93	2 752	栗钙土	半阴坡
22	肃南 2 号点	温性草原	99.52	38.96	2 739	栗钙土	阴 坡
23	天峻 3 号点	温性草原	99.56	37.14	3 194	石灰性高寒草甸土	阳 坡
24	阿克塞 2 号点	温性荒漠	95.09	38.73	3 222	温性荒漠风沙土	半阴坡
25	大柴旦 2 号点	温性荒漠	95.05	38.00	3 191	淡冷钙土	半阴坡
26	大柴旦 3 号点	温性荒漠	95.48	37.66	3 196	淡冷钙土	阳 坡
27	大柴旦 4 号点	温性荒漠	95.71	37.54	3 267	灰棕漠土	阳 坡
28	大柴旦 5 号点	温性荒漠	95.96	37.47	3 246	灰棕漠土	阳 坡
29	肃北 3 号点	温性荒漠	95.42	39.27	3 176	冷钙土	阴 坡
30	肃北 4 号点	温性荒漠	95.05	39.43	2 522	淡棕钙土	阳 坡
31	肃北 5 号点	温性荒漠	94.86	39.50	2 118	灰棕漠土	阴 坡

2.2 土壤样品测定

土壤各指标测定在兰州大学西部环境教育重点实验室进行。采用烘干法测定土壤含水率,采用 Smartchem200 全自动化学分析仪测定土壤全氮和全磷含量,土壤有机质含量测定步骤为:先采用 H₂SO₄-

K₂Cr₂O₇ 氧化法测定土壤有机碳含量,后将有机碳含量乘 1.723 即得土壤有机质含量。

2.3 数据获取

逐日降水、气温数据来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),选取祁连山区及周边气象站共 43

个,获得日降雨量及日均温实测数据。将数据进行筛选后采用线性插值法对缺失数据进行填补,统计整理得到 43 个气象站的年平均气温和年累积降雨量。运用 ArcGIS 10.5 进行空间插值、栅格计算,提取得到样点位置的年平均气温和年累积降雨量数据。

2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行基础试验数据统计,采用 IBM SPSS Statistics 20 进行 SOM,TN,TP,SMC 与年平均气温、年累积降雨量的 Pearson 相关性分析,双因素方差(two-way ANOVA)分析不同植被类型及土层深度对土壤养分及含水率分布特征的影响。

3 结果与分析

3.1 土壤养分与含水率分布

由土壤含水率与养分分布情况(表 2)可知,不同植

被类型间 SOM,TN,TP,SMC 存在差异,不同植被类型土壤 SMC 均值大小顺序为:高寒草甸(32.69%)>高山灌丛(23.40%)>温性草原(20.32%)>温性荒漠(4.65%)。SOM 均值大小依次为:高寒草甸(64.48 mg/g)>高山灌丛(56.26 mg/g)>温性草原(30.39 mg/g)>温性荒漠(6.92 mg/g),土壤 TN 均值大小顺序为:高山灌丛(3.74 mg/g)>高寒草甸(3.63 mg/g)>温性草原(1.96 mg/g)>温性荒漠(0.64 mg/g);土壤 TP 均值大小为:温性草原(0.59 mg/g)>高寒草甸(0.57 mg/g)>高山灌丛(0.56 mg/g)>温性荒漠(0.48 mg/g)。除温性草原和温性荒漠土壤 SOM 空间上为强变异(176%,102%),其余指标在不同植被类型下均为中等变异。土层深度上,在 0—40 cm 深度范围内,4 种植被类型土壤 SOM,TN,SMC 均值均在表层(0—10 cm)取得最大值,高寒草甸、温性草原、高山灌丛 SOM,TN 含量均随深度增加而逐渐减小。

表 2 祁连山区不同植被类型土壤养分及含水率分布

采样点 深度/cm	统计 指标	高寒草甸				温性草原				高山灌丛				温性荒漠			
		SOM	TN	TP	SMC	SOM	TN	TP	SMC	SOM	TN	TP	SMC	SOM	TN	TP	SMC
0—10	最大值	190	7.99	1.04	62.6	134.13	6.13	0.86	49.9	102	5.83	0.81	36.6	9.77	1.3	0.64	6.19
	最小值	7.18	1.33	0.46	22.2	6.72	0.16	0.24	6.54	54.3	3.16	0.45	11	1.85	0.08	0.32	0.79
	平均值	105	5.04	0.63	41.2	42.38	2.47	0.54	23.7	83.2	4.89	0.63	26.4	4.88	0.63	0.48	3.19
	CV	0.92	0.41	0.26	0.32	1.72	0.9	0.32	0.58	0.53	0.31	0.29	0.51	0.89	0.67	0.21	0.56
10—20	最大值	126	7.08	0.86	45.1	100.89	5.78	1	31.6	70.3	4.39	0.73	34.7	9.73	1.16	0.63	9.61
	最小值	4.3	1.03	0.42	14.7	3.47	0.07	0.28	7.92	44	3.06	0.45	12.9	4.19	0.24	0.42	1.78
	平均值	67.1	3.95	0.57	30.5	29.7	1.85	0.55	18.5	55.7	3.88	0.58	22.1	5.74	0.54	0.5	5.91
	CV	0.88	0.43	0.24	0.35	1.96	1.1	0.4	0.44	0.41	0.19	0.25	0.51	0.8	0.77	0.19	0.57
20—30	最大值	97.7	5.33	0.87	44.7	66.03	4.13	1.56	30.4	63.7	4.26	0.66	37	6.54	2.1	0.64	8.68
	最小值	3.95	1.02	0.38	13	3.94	0.11	0.31	7.19	36.7	2.52	0.41	13.8	2.33	0.18	0.34	2.03
	平均值	46.2	2.88	0.54	27.2	26.24	1.8	0.61	20.4	46.2	3.61	0.5	22.6	4.76	0.71	0.47	4.5
	CV	1.06	0.42	0.26	0.36	1.69	0.94	0.64	0.42	0.57	0.26	0.28	0.56	0.67	1.31	0.28	0.66
30—40	最大值	82	4.98	0.84	73.2	61.23	3.83	1.81	28.5	54.8	3.53	0.72	34.2	26.4	1.55	0.54	7.51
	最小值	4.07	0.86	0.4	10.4	4.17	0.17	0.27	8.37	31	1.98	0.36	14.9	3.84	0.21	0.43	2.08
	平均值	40	2.65	0.53	31.9	23.25	1.73	0.66	18.7	40	2.58	0.53	22.5	12.3	0.69	0.47	5
	CV	1	0.42	0.26	0.53	1.67	0.86	0.73	0.48	0.56	0.32	0.33	0.45	1.72	1.09	0.13	0.55
0—40	最大值	190	7.99	1.04	73.2	134.13	6.13	1.81	49.9	102	5.83	0.81	37	26.4	2.1	0.64	9.61
	最小值	3.95	0.86	0.38	10.4	3.47	0.07	0.24	6.54	31	1.98	0.36	11	1.85	0.08	0.32	0.79
	平均值	64.5	3.63	0.57	32.7	30.39	1.96	0.59	20.3	56.3	3.74	0.56	23.4	6.92	0.64	0.48	4.65
	CV	0.96	0.42	0.25	0.39	1.76	0.95	0.52	0.48	0.52	0.27	0.29	0.51	1.02	0.96	0.2	0.59

注:①CV 为变异系数;SOM 为土壤有机质(mg/g);TN 为全氮(mg/g);TP 为全磷(mg/g);SMC 为土壤含水率(%)。②0—40 cm 深度土壤养分及含水率取 0—10,10—20,20—30,30—40 的平均值。下同。

3.2 不同坡向土壤养分及含水率分布

根据坡向四分法,将研究区的地形划分为:阳坡(135°—225°)、半阳坡(90°—135°和 225°—270°)、阴坡(315°—45°)、半阴坡(45°—90°和 270°—315°)4 种坡

向。不同坡向土壤养分及含水率分布情况见表 3。由表 3 可知,不同坡向土壤 SMC 均值大小关系为半阳坡(28.79%)>半阴坡(21.94%,)>阴坡(21.00%)>阳坡(12.75%)。SOM 均值大小关系为半阳坡(55.63

mg/g) > 半阴坡 (38.66 mg/g) > 阴坡 (31.33 mg/g) > 阳坡 (28.07 mg/g)。半阳坡土壤 TN 含量最高, 均值为 3.31 mg/g, 分布范围为 0.86~7.40 mg/g, 半阴坡次之, 分布范围为 0.08~5.83 mg/g, 均值较半阳坡低 21%, 阴坡与阳坡土壤 TN 含量均值最低且相等, 均为 1.84 mg/g。土壤 TP 含量均值大小顺序为: 半阴坡 (0.62 mg/g) > 半阳坡 (0.52 mg/g) > 阴坡 (0.52 mg/g) > 阳坡 (0.51 mg/g)。此外, 4 种坡向 SOM 含量均为高度空间变异性, 变异系数分别为阳坡 (205%)、半阳坡 (134%)、阴坡 (187%)、半阴坡 (119%), 阴坡 TN 含量为高度空间变异性 (107%), 其余指标在不同坡向下均为中等空间变异性。

表 3 祁连山区不同坡向土壤养分及含水率分布

采样深度/cm	统计指标	阳坡				半阳坡				阴坡				半阴坡			
		SOM	TN	TP	SMC	SOM	TN	TP	SMC	SOM	TN	TP	SMC	SOM	TN	TP	SMC
0—10	最大值	152.87	7.99	0.71	49.87	190.31	7.40	1.04	60.54	110.02	5.68	0.81	62.59	114.51	5.83	0.86	41.90
	最小值	3.02	0.38	0.40	1.42	10.11	1.33	0.50	18.62	5.33	0.16	0.24	3.88	1.85	0.08	0.32	0.79
	平均值	36.09	2.02	0.53	13.30	98.52	4.72	0.65	35.81	33.54	2.09	0.55	25.14	40.18	2.48	0.50	14.83
	CV	2.62	1.22	0.17	1.23	1.08	0.43	0.29	0.44	2.21	1.14	0.31	0.79	1.97	0.96	0.34	1.15
10—20	最大值	100.89	5.78	0.64	31.64	125.55	7.08	0.86	44.74	101.33	5.77	0.73	45.14	62.00	4.18	1.00	41.79
	最小值	4.19	0.34	0.42	1.78	4.30	1.03	0.43	15.37	3.47	0.07	0.28	7.52	8.11	0.36	0.45	7.92
	平均值	30.80	1.93	0.52	11.35	59.52	3.67	0.60	27.61	30.89	1.86	0.51	20.08	43.49	2.87	0.60	24.17
	CV	2.18	1.06	0.16	0.96	1.26	0.58	0.26	0.38	1.93	1.14	0.30	0.59	0.83	0.52	0.38	0.59
20—30	最大值	61.15	4.08	0.64	30.22	97.65	5.33	0.87	37.74	91.49	4.47	0.66	44.74	66.03	4.26	1.56	36.97
	最小值	2.33	0.19	0.42	2.03	3.95	1.02	0.38	12.96	3.94	0.11	0.31	4.55	6.95	0.37	0.41	7.19
	平均值	21.62	1.73	0.50	12.18	35.56	2.48	0.55	22.46	29.15	1.69	0.49	19.64	37.85	2.88	0.66	24.37
	CV	2.02	0.85	0.16	0.91	1.55	0.59	0.31	0.38	1.86	1.05	0.31	0.70	0.96	0.55	0.76	0.55
30—40	最大值	47.00	3.25	0.65	27.88	70.33	4.98	0.84	73.21	81.99	4.00	0.72	43.37	61.23	3.83	1.81	34.17
	最小值	3.84	0.30	0.42	2.08	4.07	0.86	0.40	10.36	4.17	0.17	0.27	5.41	6.93	0.35	0.36	8.37
	平均值	23.77	1.68	0.49	14.18	28.90	2.37	0.53	29.28	31.74	1.71	0.52	19.14	33.11	2.22	0.72	24.38
	CV	1.39	0.67	0.16	0.77	1.46	0.55	0.30	0.74	1.48	0.95	0.29	0.74	1.00	0.57	0.84	0.45
0—40	最大值	152.87	7.99	0.71	49.87	190.31	7.40	1.04	73.21	110.02	5.77	0.81	62.59	114.51	5.83	1.81	41.90
	最小值	2.33	0.19	0.40	1.42	3.95	0.86	0.38	10.36	3.47	0.07	0.24	3.88	1.85	0.08	0.32	0.79
	平均值	28.07	1.84	0.51	12.75	55.63	3.31	0.58	28.79	31.33	1.84	0.52	21.00	38.66	2.61	0.62	21.94
	CV	2.05	0.95	0.16	0.97	1.34	0.54	0.29	0.49	1.87	1.07	0.30	0.71	1.19	0.65	0.58	0.68

3.3 植被类型和土层深度对土壤养分及含水率分布影响

双因素方差分析结果(表 4)表明,研究区 SMC 主要受植被类型影响显著($p<0.001$),SOM 含量受植被类型与土层深度变化影响显著水平不同($p<0.001$, $p<0.01$),TN 含量在 $p<0.001$ 水平下受植被类型影响显著,在 $p<0.05$ 水平下受土层深度显著影响,TP 含量变化与植被类型及土层深度的交互影响均不显著。SMC,SOM,TN,TP 含量分布主要受植被类型影响,土层深度变化为次要影响。

3.4 土壤养分、含水率与气候关系

将研究区各点年平均气温及年累积降雨量与 SOM,TN,TP,SMC 做皮尔逊相关分析(表 5)可知,研究区 SOM,SMC 均与年平均气温呈极显著负相关($p<0.01$),TN 含量与年平均气温呈显著负相关关系($p<0.05$),TP 含量与年平均气温无显著相关,研究

区 SOM,TN,TP,SMC 与年累积降雨量均表现出极显著正相关($p<0.01$)。

表 4 祁连山区植被类型和土层深度对土壤养分及含水率的双因素方差分析

指标	分析	植被类型	土层深度	植被类型×土层深度
SMC/%	F	31.650	0.699	0.741
	sig	0.000***	0.555	0.670
SOM/(g·kg ⁻¹)	F	19.437	5.834	1.364
	sig	0.000***	0.001**	0.214
TN/(g·kg ⁻¹)	F	20.958	3.926	0.960
	sig	0.000***	0.011*	0.478
TP/(g·kg ⁻¹)	F	1.047	0.179	0.427
	sig	0.375	0.910	0.918

注: * 表示在 $p<0.05$ 水平上差异显著; ** 表示在 $p<0.01$ 水平上差异显著; *** 表示在 $p<0.001$ 水平上差异显著。

表 5 祁连山区土壤养分、含水率与气候的相关分析

指标	AT	AP	SMC	SOM	TN	TP
AT	1					
AP	-0.73**	1				
SMC	-0.52**	0.69**	1			
SOM	-0.48**	0.77**	0.58**	1		
TN	-0.43*	0.78**	0.60**	0.94**	1	
TP	-0.15	0.45**	0.13	0.41**	0.44**	1

注: ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; AT 代表年平均气温(℃); AP 代表年累积降雨量(mm)。

4 讨论与结论

4.1 讨论

研究区土壤 SOM 含量分布范围为 1.85~190.31 mg/g, TN 含量分布范围为 0.07~7.99 mg/g, TP 含量分布范围为 0.24~1.81 mg/g, SMC 分布范围为 0.79%~73.21%。此结果与姜红梅等^[4]、姚喜喜等^[6]研究结果基本相符。研究区土壤 TP 含量较低的原因可能是高寒地区土壤 TP 含量主要来自于岩石风化作用^[17], 受成土母质与成土作用的影响, 磷在风化壳中的物质迁移作用很小。并且在植被生长过程中, 主要参与演替循环的磷素为速效磷^[4], 易被植被吸收, 加之降水淋溶损失, 短时间内难以得到补充^[17], 导致土壤中 TP 含量较低。本研究表明不同植被类型下土壤 SOM, SMC 大小顺序均为: 高寒草甸>高山灌丛>温性草原>温性荒漠; TN 含量大小顺序为: 高山灌丛>高寒草甸>温性草原>温性荒漠; TP 含量大小顺序为: 温性草原>高寒草甸>高山灌丛>温性荒漠。这可能是由于按照高寒草甸、高山灌丛、温性草原、温性荒漠顺序, 植被覆盖度逐渐减小, 导致不同植被类型土壤层枯落物含量出现差异, 植被枯落物的分解作用, 会不同程度增加土壤 SOM, TN, TP 含量。相关研究表明枯落物层可以有效降低土壤蒸发量, 使得 SMC 增大^[5]; 植被可以缓冲降水对土壤打击^[4], 降低因土壤侵蚀造成的养分流失。植被对土壤养分还具有表聚效应, 为植被生长提供营养元素, 从而表现出植被土壤相互促进循环演替^[4, 15], 使得植被覆盖度较高的地区土壤 SOM, TN, TP 含量维持在相对较高水平。

4 种坡向下, SOM, TN, SMC 在半阳坡最高。这可能是由于不同坡向之间太阳辐射差异所导致的, 研究表明阳坡年辐射潜力比阴坡高 93%^[17], 较高辐射潜力导致较高的温度, 不仅促进植被发育, 而且可以加速土壤有机质的分解^[17], 且土壤 TN 含量 95% 来自于有机质的分解。高温引起土壤水分的蒸发又限制植被的发育, 导致研究区半阳坡土壤 SOM, TN,

SMC 最高。TP 含量在半阴坡最高, 阳坡最低的原因可能是阳坡植被发育状况优于阴坡, 植被吸收作用强于阴坡, 导致阳坡土壤 TP 含量最低。

SOM, TN, TP, SMC 分布受植被类型主要影响, 这与王苗苗等^[2]、巩杰等^[15]研究结论一致。这表明影响研究区植被发育状态的因素可间接影响土壤养分及含水率的分布情况。SOM, TN, TP, SMC 与年累积降雨量均表现出极显著正相关($p<0.01$), SOM, SMC 与年平均气温均为极显著负相关($p<0.01$), TN 与年平均气温显著负相关($p<0.05$), TP 与年平均气温相关性不显著。邱丽莎等^[20]、贾文雄等^[23]在研究中表明, 气温与降雨量是植被覆盖变化的主要影响因子。年平均气温较高的区域, 土壤蒸发量较大, SMC 较小, 植被发育缓慢, 土壤微生物分解效率受到抑制, 植被枯落物及微生物代谢产物分解不彻底, 导致土壤中由微生物分解作用产生的 SOM, TN 含量减小。邱丽莎等^[20]、戴声佩等^[25]在研究中表明祁连山区或干旱半干旱区植被生长的主要限制因子为降水量, 故降水量的减小会导致 SMC 降低、植被退化, 进而导致土壤 SOM, TN, TP 含量减小。

4.2 结论

研究区不同植被类型土壤养分及含水率分布特征存在差异, 植被类型是其主要影响因素(除 TP 外), 土壤 SOM, SMC 大小顺序为: 高寒草甸>高山灌丛>温性草原>温性荒漠, TN 含量大小顺序为: 高山灌丛>高寒草甸>温性草原>温性荒漠, TP 含量大小顺序为: 温性草原>高寒草甸>高山灌丛>温性荒漠。不同深度上的分布差异主要与年累积降雨量极显著相关, 除 TP 外, 其他指标还与年平均气温极显著相关。不同坡向下, TP 含量在半阴坡最高, 阳坡最低, SOM, TN, SMC 均在半阳坡最高。综上所述, 祁连山区植被恢复和生态环境保护措施的布置要综合考虑坡向、植被分布格局所造成的土壤性质的差异, 因地制宜, 进而实现生态、经济和社会效应的耦合发展。

[参 考 文 献]

[1] 夏光辉, 郭青霞, 卢庆民, 等. 黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤养分及生态化学计量特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2): 140-147.

[2] 王苗苗, 陈洪松, 付同刚, 等. 典型喀斯特小流域不同植被类型间土壤养分的差异性及其空间预测方法[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1759-1766.

[3] Jiao Shuying, Zhang Min, Wang Yamei, et al. Variation of soil nutrients and particle size under different vegetation types in the Yellow River Delta [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 148-153.

- [4] 姜红梅,李明治,王亲,等.祁连山东段不同植被下土壤养分状况研究[J].水土保持研究,2011,18(5):166-170.
- [5] 李学斌,吴秀玲,陈林,等.荒漠草原 4 种主要植物群落枯落物层水土保持功能[J].水土保持学报,2012,26(4):189-193.
- [6] 姚喜喜,宫旭胤,白滨,等.祁连山高寒牧区不同类型草地植被特征与土壤养分及其相关性研究[J].草地学报,2018,26(2):371-379.
- [7] 张红,吕家珑,赵世伟,等.不同植被覆盖下子午岭土壤养分状况研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):66-69.
- [8] Fang Xuan, Xue Zhijing, Li Bicheng, et al. Soil organic carbon distribution in relation to land use and its storage in a small watershed of the Loess Plateau, China [J]. Catena, 2012,88(1):6-13.
- [9] 黄雅茹,马迎宾,郝玉光,等.乌兰布和东北部典型土地利用的土壤养分特征[J].干旱地区农业研究,2019,37(1):123-129.
- [10] Ge Jiamin, Wang Sheng, Fan Jun, et al. Soil nutrients of different land-use types and topographic positions in the water-wind erosion crisscross region of China's Loess Plateau [J]. Catena, 2020,184:104243.
- [11] 安文明,梁海斌,王聪,等.黄土高原阴/阳坡向林草土壤水分随退耕年限的变化特征[J].生态学报,2017,37(18):6120-6127.
- [12] 信忠保,余新晓,张满良,等.黄土高原丘陵沟壑区不同土地利用的土壤养分特征[J].干旱区研究,2012,29(3):379-384.
- [13] 顾振宽,杜国祯,朱炜歆,等.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.
- [14] Wang Yibo, Wu Qingbai, Tian Liming, et al. Correlation of alpine vegetation degradation and soil nutrient status of permafrost in the source regions of the Yangtze River, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2012,67(4):1215-1223.
- [15] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究[J].水土保持学报,2005,19(1):93-96.
- [16] 罗红,普布顿珠,朱雪林,等.西藏人工造林作业区土壤肥力评价[J].应用生态学报,2017,28(5):1507-1514.
- [17] 车明轩,吴强,方浩,等.海拔、坡向对川西高山灌丛草甸土壤氮、磷分布的影响[J].应用与环境生物学报,2021,27(5):1163-1169.
- [18] 贾文雄,陈京华.1982—2014 年祁连山植被生长季 NDVI 变化及其对气候的响应[J].水土保持研究,2018,25(2):264-268.
- [19] 武正丽,贾文雄,赵珍,等.2000—2012 年祁连山植被覆盖变化及其与气候因子的相关性[J].干旱区地理,2015,38(6):1241-1252.
- [20] 邱丽莎,张立峰,何毅,等.2000—2017 年祁连山植被动态变化遥感监测[J].遥感信息,2019,34(4):97-107.
- [21] 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.
- [22] 汪有奎,贾文雄,刘潮海,等.祁连山北坡的生态环境变化[J].林业科学,2012,48(4):21-26.
- [23] 贾文雄,赵珍,俎佳星,等.祁连山不同植被类型的物候变化及其对气候的响应[J].生态学报,2016,36(23):7826-7840.
- [24] 李璇,杨帆,李德成,等.祁连山区土壤砂粒含量剖面分布模式及其影响因素[J].土壤学报,2017,54(4):854-863.
- [25] 戴声佩,张勃,王强,等.祁连山草地植被 NDVI 变化及其对气温降水的旬响应特征[J].资源科学,2010,32(9):1769-1776.
- [26] 赵忠,何毅,李青,等.肃南、肃北草地类型及草地植物物种多样性现状[J].草业学报,2010,19(5):227-238.

(上接第 7 页)

- [17] 蒋涛,谢炎敏,陈志彪,等.福建省长汀县不同水保措施的减流减沙效应[J].水土保持通报,2018,38(6):35-41.
- [18] 夏晓平,信忠保,赵云杰,等.北京山区河岸植被的水土保持效益[J].水土保持学报,2018,32(5):71-77,83.
- [19] 梁娟珠.不同植被措施下红壤坡面径流变化特征[J].水土保持通报,2015,35(6):159-163.
- [20] 花东文,温仲明.黄土丘陵区不同植被恢复阶段下的暴雨产流产沙研究[J].水土保持学报,2015,29(4):27-31,90.