

辽东山地古石河冰缘地貌不同植被类型表层土壤特性

弋灵均¹, 张华^{1,2}, 侯荣¹, 熊丹阳¹, 何红¹, 刘玉国¹, 金郁³

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 辽宁师范大学
海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029; 3. 辽宁师范大学 分析测试中心, 辽宁 大连 116029)

摘要: [目的] 对辽东山地古石河冰缘地貌不同植被类型下表层土壤特性进行研究, 为辽东山区冰缘地貌土壤生态环境的管理和保护提供基础数据和科学依据。[方法] 以老秃顶子古石河冰缘地貌发育的落叶阔叶林、针阔混交林、暗针叶林、灌草丛 4 种植被类型表层土壤为研究对象, 采用野外定点取样及实验室分析相结合的方法, 研究不同植被类型下的土壤特性。[结果] 土壤属于酸性淋溶土, 含有多种氧化物, 各植被类型间土壤特性存在明显差异, 相对而言, 灌草丛表土温度较高, 毛孔隙所占比例大, 保水蓄水能力较强; 针阔混交林土壤比重小, 疏松程度好, 有机质含量较高; 暗针叶林土壤酸性较强; 落叶阔叶林和针阔混交林土壤水分更有利于植物生长, 枯落物现存量较多, 涵养水源和保持水土功能较好。[结论] 海拔高度对土壤特性影响显著, 枯落物现存量及养分储量与土壤特性有明显定量关系。保护区可通过改善土壤养分含量维持生境稳定性。

关键词: 冰缘地貌; 植被类型; 土壤特性; 变异系数; 老秃顶子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0007-10

中图分类号: S151.9

文献参数: 弋灵均, 张华, 侯荣, 等. 辽东山地古石河冰缘地貌不同植被类型表层土壤特性[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 7-16. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20170210.001; Yi Lingjun, Zhang Hua, Hou Rong, et al. Surface Soil Characteristics of Different Vegetation Types of Ancient Block Stream-Periglacial Landform at Mountain Areas in Eastern Liaoning Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 7-16. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20170210.001

Surface Soil Characteristics of Different Vegetation Types of Ancient Block Stream-Periglacial Landform at Mountain Areas in Eastern Liaoning Province

YI Lingjun¹, ZHANG Hua^{1,2}, HOU Rong¹, XIONG Danyang¹, HE Hong¹, LIU Yuguo¹, JIN Yu³

(1. School of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China;

2. Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian,

Liaoning 116029, China; 3. Analytical Instrumentation Center, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China)

Abstract: [Objective] The surface soil characteristics of different vegetation types of ancient block stream-periglacial landform at mountain areas in Eastern Liaoning Province were studied to provide basic data and scientific basis for the management and protection of soil ecological environment of the periglacial landforms. [Methods] Quantitative characteristics of soil environment under different vegetation types in the periglacial area of Laotudingzi Mt., including broadleaved deciduous forest, mixed broadleaf-conifer forest, dark coniferous forest and shrub-grassland were studied by means of field survey and laboratory analysis. [Results] In the periglacial area, the investigated soils all belong to acid leached soil, containing a variety of oxides. Significant differences in soil properties among different vegetation types existed; in comparison, meadow thicket soil surface temperature is higher, the proportion of capillary pores is larger, and the water storage capacity is stronger. Theropencedrymion soil specific gravity is smaller, loose degree is better, soil organic matter content is higher. Dark coniferous forest soil acidity is stronger. There are more litters in deciduous

收稿日期: 2016-09-20

修回日期: 2016-10-22

资助项目: 国家自然科学基金资助项目“辽东山地老秃顶子冰缘地貌植物群落稳定性研究”(41271064)

第一作者: 弋灵均(1992—), 女(蒙古族), 辽宁省朝阳市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤生态。E-mail: yi1992@126.com。

通讯作者: 张华(1965—), 女(汉族), 山东省东明县人, 博士, 教授, 主要从事植物地理和恢复生态研究。E-mail: zhanghua0323@sina.com。

broad-leaved forest and theropencedrymion, soil moisture conducive to plant growth, water conservation and soil and water conservation function is better. [Conclusion] Altitude had significant effects on soil properties, and there was a clear quantitative relationship between soil properties, and litter stock and nutrient reserves. The preservation of that area can maintain the habitat stability of soil nutrition.

Keywords: periglacial landform; vegetation types; soil characteristics; coefficient of variation; Laotudingzi Mt.

土壤是植被的基础,土壤为植被提供必要的物质基础,而植被的出现也影响着土壤的形成和发育^[1-3]。不同植被类型影响着土壤特性,通过研究土壤特性的差异,对于了解森林与土壤之间的关系和森林植物群落的更新以及演替、生态系统稳定性的维持方面有重要意义^[4-9]。中国的冰缘地貌主要分布在东北大小兴安岭、长白山以及西部高山高原和东部一些较高山地^[10-11]。辽东老秃顶子山作为辽宁第一峰是长白山系龙岗支脉的西南延伸地段,冰缘地貌形成于第四纪冰期的极盛期,其上广泛分布有石海、石河和石流坡等古冰缘地貌。由于冰缘地貌砾石混乱无序搭接,基质稳定性极差,在风力、流水、地震等外力作用下具有潜在的移动性,属于山啸、泥石流等重大地质灾害易发地段,生境极其脆弱^[12]。同时这种苛刻的地质条件,成土不同于寻常裸地,形成期十分漫长且土层厚度薄厚不等,分布不均,甚至局部出现土壤缺失,植被扎根不稳定。动态的地貌发展和微薄的土壤支持,使冰缘地貌植物群落更新难、演替慢。因此充分利用土壤条件对植被生长的影响,改善土壤的理化性质,有效预防水土流失,固土保肥以提高植被的覆盖状况、丰富植被的种属组合,是提高冰缘地貌稳定的实际工作需要。目前,已有学者对辽东山地冰缘地貌的成因、类型以及环境效应、植被分布和演替规律等方面进行了初步调查研究^[12-16],而对于辽东山地老秃顶子土壤生态学方面的研究主要在土壤水分入渗特征^[17]、植物多样性与土壤特性关系^[18]方面,对冰缘地貌土壤特性的系统研究尚不多见。有鉴于冰缘地貌土壤环境对该特殊生境稳定和整合的作用,本文以辽东中山山地老秃顶子为研究区,基于样地调查数据,采用变异系数法分析各植被类型间土壤特征的差异变化,利用 Pearson 相关性分析方法定量分析土壤特征的影响因素,以期对辽东山区冰缘地貌土壤生态环境的管理和保护提供基础数据和科学依据。

1 研究区概况

辽东山地老秃顶子(124°41′13″—125°5′15″E, 41°11′11″—41°21′34″N)位于辽宁省东部桓仁、新宾两县交界处,主峰海拔高 1 367.3 m,相对高差 867 m,其东、南、西、北 4 个坡面自山麓至峰顶均分布有比较明显的植被垂直带谱,属典型的北温带中山山地

森林生态系统^[13-16],其四周群山起伏,冰缘地貌广泛分布。区内气候类型属于北温带大陆性季风湿润气候,年平均气温 6.0℃,年无霜期 139 d,年降雨量为 651~1 315 mm,年平均相对湿度 72%,地带性植被为温性落叶阔叶林,植物区系属长白植物区系的西南边缘,兼有华北植物区系的过渡性,生物多样性丰富,原生植被群落较完整且垂直分布明显,存有古化石子遗植物紫杉、天女木兰,世界独有子遗植物双蕊兰^[19]。土壤类型主要以棕壤和暗棕壤为典型代表,该区成壤条件苛刻,多形成于混乱无序搭接的砾石间隙,由花岗岩残积母质发育而成,土壤厚度薄,结构疏松,有机质含量高,适宜多种植物的生长繁育^[12]。境内水系发达,河网布,石河多处有地下暗河流淌,石块搭接形成的缝隙中夏季亦有结冰现象,导致该地貌土壤温度较低,但土壤营养元素总量及成壤作用均以石河最优^[12-13]。

2 研究方法

2.1 研究样地设置

研究样地位于老秃顶子东坡的场子沟石河冰缘地貌植被分布区。按不同植被类型共设置样地 10 块,分别为落叶阔叶林分布段内 3 块(样地面积 20 m × 30 m,下同)、针阔混交林分布段内 3 块、暗针叶林分布段内 3 块、灌草丛分布段内 1 块(样地面积 10 m × 10 m)。每块样地的基本信息(易测宝 T2 GIS 采集器及手持罗盘仪测定)详见表 1。

表 1 研究样地基本情况

样地编号	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	郁闭度	植被类型
样地 1	708.7	28	46	0.8	落叶阔叶林 (A)
样地 2	739.9	19	66	0.7	
样地 3	772.1	21	9	0.7	
样地 4	780.8	27	8	0.7	针阔混交林 (B)
样地 5	815.3	28	21	0.6	
样地 6	831.2	39	223	0.6	
样地 7	954.9	37	28	0.6	暗针叶林 (C)
样地 8	970.9	29	207	0.7	
样地 9	953.3	21	33	0.7	
样地 10	1 328.5	—	—	—	灌草丛(D)

2.2 样品采集及土壤环境因子测试

在每块样地内按 X 形选 5 个枯落物采集点,按照

未分解层、半分解层和全分解层测定枯落物厚度,然后采用样方收获法(1 m×1 m)分层采集枯落物并称其鲜重(重复 5 次);收集每个样地的枯落物(重复 3 次)。在枯落物采集点,用英国 WET 便携式土壤水分温度电导率速测仪,测定表土层(0—5 cm)土壤水分、温度和电导率(重复 5 次);用美国产 ST-6101 土壤紧实度仪测定土壤紧实度(重复 5 次)并记录土层厚度;用 100 cm³ 的环刀在土壤表层取原状土(重复 5 次)并记录其湿土重量;采集表层 0—20 cm 土样^[20]。

2.3 室内测试分析

将表土层土样,带回实验室风干后过筛,枯落物烘干粉碎。土壤水分采用烘干法测定,比重采用比重瓶法测定;pH 值采用上海三信仪表厂 ExStik 系列 pH100 防水型笔式 pH 计测定;土壤有机质含量用沈阳市节能电炉厂生产的 2.5-12 型箱式电阻炉,采用灼烧法测定^[21];取过 2 mm 筛的土样约 5 g,枯落物粉末约 8 g,分别采用丹东北苑仪器设备有限公司生产的 SM-1 型振动研磨机研磨,BP-1 型粉末压样机压样,再将压样送入日本 Rigaku ZSX Primus II 型全自动扫描型 X 射线荧光光谱仪,采用基本参数法测定土样中化学元素含量。以上试验均在辽宁师范大学自然地理与空间信息科学辽宁省重点实验室完成。

2.4 数据统计分析

土壤特性数据及其枯落物数据分析采用 Excel 软件分析处理;不同植被类型间土壤特性的变异程度采用变异系数(coefficient of variation, C_v)来表征,一般认为, $C_v \leq 10\%$ 属于弱变异性, $10\% \leq C_v \leq 100\%$ 属于中等变异性, $C_v \geq 100\%$ 属于强变异性,变异系数($\%$)=(测试因子标准差/测试因子平均值)×100^[22];老秃顶子古冰缘地貌土壤特性与海拔高度及枯落物间

的 Pearson 相关系数采用 SPSS 19.0 分析完成。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型土壤物理性质及分异特征

3.1.1 土壤基本物理性质 从测试结果(表 2)可以看出,不同植被类型下表土层温度平均值在 19.47±0.50~22.4±2.48 °C 变动,其大小次序依次为:灌草丛>落叶阔叶林>针阔混交林>暗针叶林,其中暴露在山顶的灌草丛表土温度最高,其余植被类型表土温度随海拔高度的升高而降低;土壤紧实度平均值在 8.08±2.55~17.45±2.38 kg/cm² 变动,其大小次序依次为:灌草丛>暗针叶林>落叶阔叶林>针阔混交林,其中灌草丛数值最大,是数值最小的针阔混交林的 2.2 倍;土壤比重平均值在 2.44±0.18~2.63±0.03 g/cm³ 变动,其大小次序依次为:灌草丛>落叶阔叶林>暗针叶林>针阔混交林;土壤容重平均值在 0.53±0.1~0.72±0.01 g/cm³ 变动,其大小次序依次为:灌草丛>暗针叶林>针阔混交林>落叶阔叶林;而总孔隙度的平均值在 38.40±0.21%~43.66±1.60% 变动,非毛管孔隙度的平均值在 10.65±2.83~18.03±2.54% 变动,次序恰好与容重次序相反依次为:灌草丛<暗针叶林<针阔混交林<落叶阔叶林。从 4 种植被类型的变异系数看,表土层温度、土壤比重、土壤总孔隙度和土壤毛管孔隙的变异系数均小于 10%,属于弱变异性,而土壤紧实度、土壤容重和土壤非毛管孔隙的变异系数在 14.45%~41.57% 变动,属于中等变异性,表明老秃顶子冰缘地貌森林群落表土层温度及其土壤对水分的保蓄和移动能力都比较均一,而土壤紧实程度不均,土壤通气、透水和保肥的能力都具有一定的空间变异。

表 2 研究区不同植被类型土壤的基本物理性质

植被类型 测试因子	A		B		C		D		A—D
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	变异系数/%
温度/°C	21.00	0.40	19.97	1.25	19.47	0.50	22.40	2.48	6.26
紧实度/(kg·cm ⁻²)	8.45	1.99	8.08	2.55	9.08	1.17	17.45	2.38	41.57
比重/(g·cm ⁻³)	2.55	0.07	2.44	0.18	2.47	0.05	2.63	0.03	3.51
容重/(g·cm ⁻³)	0.53	0.01	0.55	0.09	0.58	0.01	0.72	0.01	14.45
总孔隙度/%	43.66	1.60	42.11	2.35	38.98	2.97	38.40	0.21	6.16
非毛管孔隙/%	18.03	2.54	16.08	1.11	13.33	5.85	10.65	2.83	22.18
毛管孔隙/%	25.63	1.41	26.03	2.36	25.65	3.39	27.75	2.62	3.84

注:A 落叶阔叶林,B 针阔混交林,C 暗针叶林,D 灌草丛。下同。

3.1.2 土壤水分特性 从测试结果(表 3)可以看出,不同植被类型下土壤自然含水量平均值在 16.70±2.50%~23.60±7.54% 变动,其大小次序依次为:灌

草丛>落叶阔叶林>针阔混交林>暗针叶林;土壤吸湿水含量平均值在 5.34±0.84%~7.07±1.00% 变动,其大小次序依次为:针阔混交林>落叶阔叶林>

暗针叶林>灌草丛;土壤最大持水量平均值在 $534.12 \pm 8.73 \sim 810.79 \pm 88.18$ g/kg 变动,其大小次序依次为:落叶阔叶林>针阔混交林>暗针叶林>灌草丛,其中落叶阔叶林最大,随海拔升高,最大持水量数值逐渐降低,灌草丛最小;土壤毛管持水量平均值在 $385.78 \pm 32.21 \sim 488.71 \pm 120.72$ g/kg 变动,其大小次序依次为:针阔混交林>落叶阔叶林>暗针叶林>灌草丛;田间持水量平均值在 $244.57 \pm 39.64 \sim 291.10 \pm 86.19$ g/kg 变动,其大小次序依次为:针阔混

交林>暗针叶林>落叶阔叶林>灌草丛,其中针阔混交林的毛管持水量和田间持水量最大,灌草丛最小。

从 4 种植被类型的变异系数看,毛管持水量和田间持水量的变异系数均小于 10%,属于弱变异性,而自然含水量、吸湿水和最大持水量的变异系数在 13.20%~17.93% 变动,属于中等变异性,表明老秃顶子冰缘地貌森林群落地表物质组成较合理,但分布不均使土壤蓄水和调节水分的潜在能力存在一定的空间变异,但是各植被类型间差异不明显。

表 3 研究区不同植被类型土壤的水分特性

植被类型 测试因子	A		B		C		D		A—D
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	变异系数/%
自然含水量/%	23.27	3.49	18.37	2.86	16.70	2.50	23.60	7.54	16.97
吸湿水/%	6.20	0.18	7.07	1.00	5.47	0.10	5.34	0.84	13.20
最大持水量/(g·kg ⁻¹)	810.79	88.18	795.83	167.69	698.81	94.04	534.12	8.73	17.93
毛管持水量/(g·kg ⁻¹)	465.73	52.29	488.71	120.72	453.03	36.68	385.78	32.21	9.87
田间持水量/(g·kg ⁻¹)	263.92	35.09	291.10	86.19	283.22	45.27	244.57	39.64	7.69

3.2 不同植被类型土壤化学性质及分异特征

3.2.1 pH 值、电导率和有机质 从测试结果(表 4)可以看出,不同植被类型下土壤 pH 平均值在 $4.49 \pm 0.33 \sim 5.44 \pm 0.29$ 变动,属于酸性淋溶土,其大小次序依次为:落叶阔叶林>针阔混交林>灌草丛>暗针叶林;土壤电导率平均值在 $54.60 \pm 4.69 \sim 56.73 \pm 3.15$ mS/m 变动,其大小次序依次为:针阔混交林>灌草丛>暗针叶林>落叶阔叶林;土壤有机质的平均值在 $17.77 \pm 1.68\% \sim 25.67 \pm 5.98\%$ 变动,其大小

次序依次为:针阔混交林>落叶阔叶林>暗针叶林带>灌草丛。

从 4 种植被类型的变异系数看,土壤 pH 值、电导率的变异系数均小于 10%,属于弱变异性,而土壤有机质含量的变异系数是 15.67%,属于中等变异性,表明老秃顶子冰缘地貌森林群落土壤溶液的活性酸度及电导率比较均一,而土壤枯枝落叶覆盖不均,土壤有机质含量具有一定的空间变异,但是各植被类型间差异不明显。

表 4 研究区不同植被类型土壤的基本化学性质

植被类型 测试因子	A		B		C		D		A—D
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	变异系数/%
pH 值	5.44	0.29	5.20	0.29	4.49	0.33	4.89	0.27	8.22
电导率/(mS·m ⁻¹)	54.60	4.69	56.73	3.15	54.90	3.85	55.30	9.50	1.71
有机质/%	21.91	4.60	25.67	5.98	20.02	4.79	17.77	1.68	15.67

3.2.2 氧化物含量 表 5 为老秃顶子冰缘地貌不同植被类型土壤氧化物含量测试结果。由表 5 可以看出,老秃顶子冰缘地貌森林群落内的土壤中含有多种氧化物,从表中可以看出 SiO₂ 含量很高,在 $35.607 \pm 6.047\% \sim 48.223 \pm 2.928\%$ 变动,其中落叶阔叶林含量最低,随海拔升高,含量逐渐增大;CO₂ 和 Al₂O₃ 含量也较高,分别在 $24.637 \pm 3.169\% \sim 34.627 \pm 9.431\%$ 和 $11.743 \pm 1.194\% \sim 13.780 \pm 0.613\%$ 变动,其中针阔混交林 CO₂ 含量明显高于其他植被类型,但 Al₂O₃ 含量却最低;Fe₂O₃, K₂O, CaO, N, MgO 和 Na₂O 的含量也较可观,平均值在 $0.764 \pm 0.058\%$

~ $4.305 \pm 0.193\%$ 变动,除 N 含量在针阔混交林最高外,其他氧化物含量在针阔混交林和暗针叶林均居中等水平;TiO₂, P₂O₅, SO₃, MnO 的含量相对较多,平均值在 $0.082 \pm 0.005\% \sim 0.684 \pm 0.028\%$ 变动,除 TiO₂ 在暗针叶林最高外, P₂O₅, SO₃, MnO 含量在暗针叶林均居最低水平;其他氧化物含量很低,平均值都在 0.071% 以下。

从 4 种植被类型的变异系数看,土壤中 N, MgO, Al₂O₃, Na₂O 和 Fe₂O₃ 含量的变异系数为 6.30%~9.56%,属于弱变异性,而 CO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, SiO₂ 和 MnO 氧化物含量的变异系数为

11.96%~29.34%,属于中等变异性,表明老秃顶子冰缘地貌森林群落表层土壤中 N, MgO, Al₂O₃, Na₂O 和 Fe₂O₃ 的含量比较均一,而 CO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, SiO₂ 和 MnO 氧化物含量存在一定的空间变异性,但是各植被类型间差异不明显。

3.3 不同植被类型枯落物特征

3.3.1 枯落物现存量 表 6 显示了不同植被类型下枯落物现存量和枯落物厚度。其中,落叶阔叶林枯落物量平均值为 25.71±13.73 t/hm²;针阔混交林枯落物平均值为 15.33±6.40 t/hm²;暗针叶林枯落物平

均值为 9.61±3.34 t/hm²;灌草丛枯落物平均值为 10.00±2.09 t/hm²;从总体看,枯落物现存量的大小次序依次为:落叶阔叶林>针阔混交林>灌草丛>暗针叶林。落叶阔叶林枯落物厚度平均值为 7.13±1.47 cm;针阔混交林枯落物厚度平均值为 6.97±1.25 cm;暗针叶林枯落物厚度平均值为 6.07±1.02 cm;灌草丛枯落物厚度平均值为 5.50±0.50 cm;从总体看,枯落物厚度的大小次序依次为:落叶阔叶林>针阔混交林>暗针叶林>灌草丛,其中落叶阔叶林最大,随海拔升高,厚度逐渐降低,灌草丛最小。

表 5 研究区不同植被类型土壤的氧化物含量

植被类型 测试因子	A		B		C		D		A-D
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	变异系数/%
CO ₂	31.019	4.083	34.627	9.431	27.840	2.517	24.637	3.169	14.50
N	1.070	0.090	1.145	0.111	0.950	0.099	1.027	0.119	7.77
Na ₂ O	0.903	0.069	0.764	0.058	0.917	0.075	0.960	0.137	9.56
MgO	1.063	0.050	0.982	0.045	0.921	0.084	0.910	0.119	7.24
Al ₂ O ₃	12.036	1.813	11.743	1.194	13.280	0.637	13.780	0.613	7.68
SiO ₂	35.607	6.047	39.137	4.326	46.802	1.709	48.223	2.928	14.27
P ₂ O ₅	0.333	0.035	0.291	0.018	0.226	0.046	0.368	0.066	20.10
SO ₃	0.330	0.040	0.355	0.046	0.265	0.051	0.320	0.057	11.96
Cl	0.023	0.002	0.023	0.002	0.018	0.001	0.020	0.008	10.68
K ₂ O	2.285	0.156	2.066	0.215	2.299	0.130	2.978	0.381	16.43
CaO	2.352	0.354	2.254	0.355	1.245	0.099	1.535	0.425	29.34
TiO ₂	0.615	0.043	0.568	0.069	0.684	0.028	0.606	0.036	7.87
Cr ₂ O ₃	0.012	0.001	0.010	0.001	0.012	0.001	0.012	0.002	7.49
MnO	0.128	0.021	0.120	0.011	0.082	0.005	0.125	0.073	18.99
Fe ₂ O ₃	4.043	0.300	3.745	0.472	4.268	0.363	4.305	0.193	6.30
Co ₂ O ₃	0.004	0.001	0.003	0.001	0.004	0.000	0.003	0.001	6.73
NiO	0.005	0.000	0.005	0.000	0.006	0.000	0.006	0.002	4.18
CuO	0.004	0.000	0.004	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000	16.01
ZnO	0.014	0.000	0.015	0.001	0.013	0.002	0.013	0.004	6.11
Ga ₂ O ₃	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	10.70
Rb ₂ O	0.025	0.002	0.022	0.003	0.025	0.000	0.025	0.002	4.94
SrO	0.021	0.002	0.020	0.002	0.019	0.001	0.022	0.001	6.73
ZrO ₂	0.020	0.001	0.018	0.003	0.022	0.001	0.022	0.001	9.25
Nb ₂ O ₅	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.001	13.65
BaO	0.054	0.004	0.055	0.006	0.050	0.003	0.071	0.003	16.29
PbO	0.005	0.001	0.006	0.001	0.006	0.001	0.007	0.002	11.76

表 6 研究区不同植被类型下枯落物现存量

植被类型 测试因子	A		B		C		D	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
枯落物量/(t·hm ⁻²)	25.71	13.73	15.33	6.40	9.61	3.34	10.00	2.09
枯落物层厚度/cm	7.13	1.47	6.97	1.25	6.07	1.02	5.50	0.50

3.3.2 枯落物养分储量 表 7 为不同植被类型下枯落物主要营养元素含量的测定结果。从表中可以看出枯落物所含营养元素中 C 含量最高,在 66.979±

3.108%~77.640±3.826%变动,其中灌草丛 C 含量最低,其余植被类型 C 含量随海拔升高而升高;N 和 Ca 含量较高,平均值分别在 7.585±0.661%~8.820

±1.200%和 4.229±0.943%~8.106±1.610% 变动,其中落叶阔叶林 N 和 Ca 含量最高,暗针叶林 N, Ca 含量均明显低于其他植被类型;Si,K 和 Fe 的含量也较可观,平均值分别在 1.836±0.179%~2.544±1.050%,0.814±0.307%~1.641±0.344%和 0.855±0.406%~1.486±0.254%变动,其中灌草丛 K 和 Fe

含量明显高于其他植被类型,但 Si 含量却最低;Mg,P, S,Mn 的含量相对较少,平均值分别在 0.276±0.093%~0.413±0.063%,0.258±0.078%~0.382±0.068%,0.402±0.134%~0.625±0.096%和 0.173±0.123%~0.284±0.043%变动,其含量在灌草丛最均居最高水平,针阔混交林 P,Mn 含量居最低水平。

表 7 研究区不同植被类型下枯落物主要营养元素含量

植被类型 测试因子	A		B		C		D	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
C	71.543	5.790	71.877	4.202	77.640	3.826	66.979	3.108
N	8.820	1.200	8.772	1.423	7.585	0.661	7.792	0.900
Mg	0.381	0.139	0.364	0.118	0.276	0.093	0.413	0.063
Si	2.066	0.652	2.544	1.050	2.110	0.947	1.836	0.179
P	0.272	0.095	0.258	0.078	0.275	0.059	0.382	0.068
S	0.402	0.134	0.468	0.140	0.421	0.128	0.625	0.096
K	0.814	0.307	0.866	0.265	1.017	0.389	1.641	0.344
Ca	8.106	1.610	7.878	1.121	4.229	0.943	5.182	0.644
Mn	0.189	0.081	0.173	0.123	0.178	0.089	0.284	0.043
Fe	0.855	0.406	1.130	0.463	0.968	0.436	1.486	0.254

3.4 影响因素分析

3.4.1 地形因素 从表 8 中可以看出,不同植被类型下的土壤基本理化特征与地形因子关系紧密。由于不同高度上有不同的气候土壤条件,海拔高度不同,土壤发育的条件亦有别^[23]。其中,土壤紧实度与海拔高度呈极显著正相关,土壤 pH 值与海拔高度呈

极显著负相关,土壤容重与海拔高度呈显著正相关,土壤温度、土壤总孔隙度与海拔高度呈显著负相关。从表中还可以看出,坡度对土壤理化性质无显著影响,坡向对土壤理化性质有一定的影响,仅土壤紧实度与坡向之间存在显著正相关性,其他指标与坡向则没有明显的相关关系。

表 8 地形因子与样地基本理化特征的 Pearson 相关系数

指标	温度	紧实度	比重	容重	总孔隙度	非毛管孔隙	毛管孔隙	pH 值	电导率	有机质
海拔高度	-0.720*	0.790**	-0.244	0.735*	-0.683*	-0.555	0.060	-0.930**	-0.008	-0.517
坡度	-0.394	0.258	-0.206	-0.325	-0.250	-0.398	0.364	-0.298	0.023	0.294
坡向	-0.472	0.707*	-0.170	-0.498	0.137	0.202	-0.171	-0.136	0.126	0.277

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。下同。

3.4.2 枯落物现存量 从表 9 中可以看出,不同植被类型下表层土壤基本理化特性与枯落物现存量之间有一定关系。其中,土壤总孔隙度与枯落物量呈显著正相关,土壤自然含水量与枯落物量呈显著正相

关,土壤 pH 值与枯落物量呈显著正相关;土壤紧实度与枯落物厚度呈显著负相关,土壤比重与枯落物厚度呈显著负相关,土壤有机质含量与枯落物厚度呈显著负相关。

表 9 土壤基本理化特性与枯落物现存量之间的 Pearson 相关系数

指标	温度	紧实度	比重	容重	总孔隙度	非毛管孔隙	毛管孔隙	自然含水量	吸湿水含量	最大持水量	毛管持水量	非毛管持水量	田间持水量	pH 值	电导率	有机质
枯落物量	0.330	-0.185	0.376	-0.394	0.673*	0.532	-0.124	0.694*	0.081	0.379	0.037	0.511	-0.192	0.696*	-0.224	-0.051
枯落物厚度	0.268	-0.652**	-0.657*	-0.430	0.188	0.367	-0.419	0.072	0.468	0.234	-0.025	0.351	-0.092	0.313	-0.430	-0.692**

从表 10 中可以看出,不同植被类型下表层土壤氧化物含量与枯落物现存量之间也有一定关系。其

中,土壤中 MgO 含量与枯落物量呈极显著正相关,土壤中 SiO₂ 含量与枯落物量呈显著负相关,与枯落物

厚度呈极显著负相关,土壤中 CO₂ 含量与枯落物厚度呈显著正相关,土壤中 MnO 含量与枯落物厚度呈显著正相关。

3.4.3 枯落物养分储量 从表 11 中可以看出,不同植被类型下表层土壤基本理化特性与枯落物养分储量之间关系紧密。其中,土壤温度与枯落物中 Rb 含量呈极显著正相关,与枯落物中 Mg,Na,Al,Ni,Cu,Zn 含量呈显著正相关,与枯落物中 C 含量呈显著负相关;土壤紧实度与枯落物中 P、Cl 含量呈极显著正相关,与枯落物中 S, K, Na, Al, Ti 含量呈显著正相关;土壤容重与枯落物中 Al, Ti, Rb 含量呈极显著正相关,与枯落物中 K, Na 含量呈显著正相关,与枯落

物中 N 含量呈显著负相关;土壤总孔隙度与枯落物中 Ca 含量呈显著正相关;土壤毛管孔隙度与枯落物中 Fe 含量呈显著正相关;土壤自然含水量与枯落物中 Mg 含量呈显著正相关,与 C 含量呈显著负相关;土壤吸湿水含量与枯落物中 N 含量呈极显著正相关,与枯落物中 Ca 含量呈显著正相关;土壤最大持水量与枯落物中 N 含量呈显著正相关,与 K, Al, Ti, Rb 含量呈显著负相关;土壤毛管持水量与枯落物中 Rb 含量呈显著负相关;土壤非毛管持水量与枯落物中 K 含量呈显著负相关;土壤 pH 值与枯落物中 Ca 含量呈极显著正相关;土壤有机质含量与枯落物中 N 含量呈显著正相关。

表 10 土壤氧化物含量与枯落物现存量之间的 Pearson 相关系数

指标	CO ₂	N	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	CuO	NiO	ZnO
枯落物量	0.001	0.067	0.438	0.141	0.006	0.566	0.778**	-0.127	-0.662*	0.540	0.040	0.241	0.551	0.389	-0.070	0.084
枯落物厚度	0.636*	0.518	0.337	0.429	-0.528	0.383	0.145	-0.414	-0.823**	0.341	-0.460	-0.559	0.656*	-0.144	-0.534	0.391

表 11 土壤基本理化特性与枯落物养分储量之间的 Pearson 相关系数

指标	C	N	Mg	P	S	K	Ca	Fe	Na	Al	Cl	Ti	Ni	Cu	Zn	Rb
温度	-0.641*	0.079	0.699*	0.481	0.338	0.249	0.177	0.273	0.680*	0.684*	0.592	0.549	0.694*	0.632*	0.640*	0.779**
紧实度	-0.331	-0.172	0.284	0.942**	0.719*	0.753*	-0.339	0.395	0.651*	0.686*	0.881**	0.713*	0.412	0.495	0.502	0.607
比重	-0.354	-0.277	0.273	0.474	0.160	0.422	0.131	0.014	0.570	0.535	0.403	0.460	0.323	0.315	-0.212	0.441
容重	-0.271	-0.671*	0.045	0.599	0.425	0.739*	-0.463	0.312	0.680*	0.786**	0.420	0.850**	0.338	0.394	0.352	0.835**
总孔隙度	-0.497	0.352	0.318	-0.327	-0.262	-0.616	0.652*	-0.345	-0.293	-0.288	-0.224	-0.229	0.200	-0.017	-0.177	-0.251
非毛管孔隙	-0.191	0.441	0.047	-0.375	-0.418	-0.607	0.339	-0.623	-0.489	-0.486	-0.279	-0.330	-0.019	-0.175	-0.149	-0.319
毛管孔隙	-0.323	-0.332	0.346	0.244	0.411	0.278	0.262	0.676*	0.500	0.501	0.209	0.295	0.307	0.299	0.033	0.245
自然含水量	-0.656*	0.339	0.648*	0.281	0.285	0.052	0.471	0.150	0.308	0.280	0.452	0.350	0.189	0.618	0.150	0.355
吸湿水含量	-0.195	0.803**	0.347	-0.374	0.096	-0.507	0.661*	0.063	-0.543	-0.524	-0.042	-0.376	-0.051	0.114	0.204	-0.592
最大持水量	-0.008	0.640*	0.084	-0.376	-0.271	-0.715*	0.470	-0.316	-0.597	-0.657*	-0.238	-0.680*	-0.053	-0.330	-0.173	-0.730*
毛管持水量	0.069	0.404	0.095	-0.212	0.021	-0.436	0.400	0.142	-0.344	-0.406	-0.113	-0.569	0.019	-0.258	-0.103	-0.659*
非毛管持水量	-0.063	0.605	0.049	-0.375	-0.401	-0.687*	0.366	-0.556	-0.589	-0.627	-0.253	-0.536	-0.090	-0.275	-0.168	-0.541
田间持水量	0.062	0.238	0.044	-0.102	0.229	-0.299	0.209	0.406	-0.257	-0.285	-0.062	-0.434	-0.025	-0.199	0.051	-0.539
pH 值	-0.564	0.583	0.609	-0.169	-0.088	-0.363	0.863**	-0.253	-0.047	-0.069	0.122	-0.055	0.409	0.324	0.011	-0.080
电导率	0.075	-0.082	-0.030	0.089	0.077	0.115	0.163	-0.009	0.079	0.074	0.091	-0.080	0.359	-0.145	-0.116	-0.213
有机质	-0.070	0.654*	0.193	-0.510	0.000	-0.576	0.568	0.057	-0.572	-0.545	-0.230	-0.475	-0.026	-0.043	0.191	-0.614

从表 12 中可以看出,不同植被类型下表层土壤氧化物含量与枯落物养分储量之间关系较紧密。其中,土壤中 CO₂ 含量与枯落物中 N 含量呈显著正相关;土壤中 N 含量与枯落物中 Ca, Sr 含量呈显著正相关;土壤中 P₂O₅ 含量与枯落物中 Mg, Cu, Sr 含量呈极显著正相关,与枯落物中 Ca, Ba 含量呈显著正相关,与枯落物中 C 含量呈显著负相关;土壤中 SO₃ 含量与枯落物中 Sr 含量呈极显著正相关,与枯落物中 Mg, Ca 含量呈显著正相关;土壤中 K₂O 含量与枯落物中 P, Ti, Rb

含量呈极显著正相关,与枯落物中 K, Na, Al, Cl 含量呈显著正相关;土壤中 CaO 含量与枯落物中 Ca 含量呈极显著正相关与枯落物中 N, Sr 含量呈显著正相关;土壤中 MgO 含量与枯落物中 Ca 含量呈极显著正相关;土壤中 SiO₂ 含量与枯落物中 N, Ca 含量呈极显著负相关;土壤中 Cl 含量与枯落物中 C 含量呈显著负相关,与枯落物中 Ca 含量呈显著正相关;土壤中 Na₂O 含量与枯落物中 Na, Cr 含量呈显著正相关;土壤中 MnO 含量与枯落物中 N, Mg, Ca, Cu, Ba 含量呈

显著正相关;土壤中 CuO 含量与枯落物中 Rb 含量呈极显著正相关,与枯落物中 C 含量呈极显著负相关,与枯落物中 Na, Al, Cl, Ti, Cr, Cu, Ba 含量呈显著正相关;土壤中 NiO 含量与枯落物中 Cr 含量呈显著正相关;土壤中 ZnO 含量与枯落物中 Si 含量呈极显著正相关,与枯落物中 Ca 含量呈显著正相关。

表 12 土壤氧化物含量与枯落物养分储量之间的 Pearson 相关系数

指标	C	N	Mg	Si	P	K	Ca	Na	Al	Cl	Ti	Cr	Cu	Rb	Sr	Ba
CO ₂	0.063	0.633*	0.171	0.482	-0.398	-0.463	0.420	-0.420	-0.437	-0.130	-0.473	-0.424	-0.055	-0.483	0.292	-0.083
N	-0.288	0.584	0.498	0.564	-0.235	-0.263	0.660*	-0.122	-0.111	0.100	-0.132	-0.085	0.317	-0.196	0.651*	0.352
P ₂ O ₅	-0.718*	0.392	0.793**	0.230	0.220	0.111	0.636*	0.437	0.448	0.526	0.409	0.481	0.774**	0.446	0.842**	0.758**
SO ₃	-0.458	0.555	0.644*	0.619	-0.123	-0.252	0.729*	0.000	0.008	0.196	-0.056	0.082	0.407	-0.111	0.767**	0.419
K ₂ O	-0.376	-0.416	0.204	-0.522	0.812**	0.717*	-0.383	0.725*	0.762*	0.670*	0.797**	0.576	0.479	0.805**	-0.011	0.318
CaO	-0.454	0.711*	0.584	0.143	-0.241	-0.488	0.868**	-0.196	-0.229	0.073	-0.251	-0.017	0.210	-0.294	0.703*	0.163
MgO	-0.381	0.282	0.580	0.379	-0.210	-0.455	0.783**	0.118	-0.007	-0.099	-0.276	0.469	0.075	-0.108	0.514	0.153
Al ₂ O ₃	0.135	-0.402	-0.232	-0.452	0.393	0.527	-0.570	0.244	0.256	0.200	0.439	0.351	0.123	0.385	-0.489	0.091
SiO ₂	0.190	-0.819**	-0.344	-0.252	0.578	0.552	-0.771**	0.437	0.472	0.181	0.364	0.119	-0.231	0.355	-0.518	-0.326
Cl	-0.664*	0.272	0.626	0.190	-0.222	-0.478	0.763*	0.054	0.060	-0.072	-0.027	0.293	0.215	0.065	0.547	0.263
Fe ₂ O ₃	0.006	-0.541	-0.271	-0.560	0.311	0.297	-0.503	0.249	0.265	0.032	0.323	0.274	-0.076	0.376	-0.447	-0.108
Na ₂ O	-0.056	-0.595	0.088	-0.066	0.540	0.349	-0.327	0.721*	0.614	0.243	0.244	0.638*	-0.032	0.533	-0.193	-0.101
MnO	-0.598	0.692*	0.675*	-0.094	-0.054	-0.070	0.644*	0.017	0.049	0.342	0.310	0.320	0.737*	0.256	0.558	0.715**
CuO	-0.768**	-0.059	0.620	-0.313	0.542	0.437	0.283	0.690*	0.735*	0.640*	0.758*	0.653*	0.749*	0.773**	0.580	0.696*
NiO	-0.228	-0.480	0.182	0.012	0.490	0.330	-0.285	0.465	0.455	0.237	0.409	0.689*	0.149	0.427	-0.239	0.094
ZnO	-0.228	0.567	0.516	0.831**	-0.289	-0.472	0.639*	-0.261	-0.298	-0.063	-0.353	0.101	0.136	-0.425	0.446	0.156

4 讨论与结论

4.1 不同植被类型与土壤物理特性的关系

土壤温度对植物的生长发育和土壤的形成有着重要影响,土壤中各种生物化学过程都受土壤温度的影响^[23];对于土壤来说,其热量的主要来源为太阳辐射能,到达地面的有效太阳辐射能的数量决定土壤吸收的热量;相对而言,灌草丛表土层温度高,暗针叶林表土层温度低,这可能是由于林内有林冠和枯枝落叶层的存在,白天阻挡土壤对太阳辐射的吸收,而灌草丛暴露在山顶,没有林冠的阻挡,使得表层土壤吸收太阳辐射增多,加快了地表水分蒸发,使地面热容量减少,地表温度增高。土壤紧实度对林下植物根系的发育和分布及土壤水分状况等具有重要影响^[23];相对而言,灌草丛土壤较紧实,针阔混交林土壤疏松程度较好,这可能是由于灌草丛位于山体顶部,其风蚀作用较强导致土壤较紧实,而针阔混交林地表枯落物分解快,腐殖质含量较多导致土壤较疏松。土壤比重主要决定于土壤矿物组成、矿物与有机质的相对含量,通常与有机质含量成反比关系^[23];相对而言,针阔混交林地表土壤比重较小,这可能是由于针阔混交林地表凋落物分解快,含有较多腐殖质,比重小于其它矿物,导致地表土壤比重较小。土壤容重表明了土壤的通气性与疏松程度,容重值的大小与土壤质地、孔隙结构、有机质含量等密切相关,反映土壤涵养水分以

及供应林木生长所需水分的能力,一般情况下,表层土壤质地比较疏松,容重相对较小^[23];研究结果表明,4种植被类型下的表层土壤容重值均小于1,土壤质地比较疏松,相对而言,落叶阔叶林土壤容重值较小,灌草丛土壤容重值较大,这可能是由于不同植被类型下的枯落物组成、现存量的多少及分解状况和土壤中地下根系的生长发育等存在差异造成的^[23]。土壤孔隙状况直接影响植物根系穿插的难易程度和土壤的通气透水性能,对土壤中水、肥、气、热和生物活性等有不同的调节功能;在土壤环境中,毛管孔隙度决定着土壤的持水性,毛管孔隙度愈大,土壤持水能力愈强;非毛管孔隙度决定着土壤的通气透水性,非毛管孔隙度愈大,土壤透气性愈好,有利于降水的下渗,降水产生的地表径流就愈小^[23];相对而言,灌草丛土壤毛管孔隙所占比例较大,其保水蓄水能力较强;落叶阔叶林土壤非毛管孔隙所占比例较大,在渗透性和通气度等方面较好;又由于不同植被类型下土壤质地、结构和有机质含量的不同,使土壤的蓄水能力、渗透性、通气度、疏松程度等物理特性方面在不同植被类型下存在差异。

土壤的自然含水量反映当时可供植物吸收利用的土壤水分,土壤孔隙和结构特征、植被覆盖和天气情况对其数值大小有一定影响^[21];相对而言,暗针叶林土壤自然含水量较小,这可能与暗针叶林下表层土壤较疏松,水分散发快有一定的关系。土壤吸湿水指

的是土壤颗粒在分子引力作用下吸持的土壤空气中的气态水,土颗粒吸附空气中的水分子在其表面,土壤愈黏,比表面积愈大,土壤吸湿能力就愈强^[23],相对而言,针阔混交林土壤吸湿能力较强。对植被生态系统而言,土壤毛管孔隙度的大小说明植被吸持水分用于维持自身生长发育的能力,毛管孔隙中吸持的水量称为毛管持水量;土壤非毛管孔隙度的大小说明植被滞留水分发挥消减洪水和涵养水源的能力,非毛管孔隙中暂时贮存的水量称为非毛管持水量^[23];从水土保持的角度来说,毛管持水与非毛管持水都具有减少地表径流以及防止土壤侵蚀的功能;而从水源涵养的角度来说,只有非毛管持水的水分才具有通过径流补充给江河和地下水的功能^[23];土壤最大持水量为土壤涵蓄潜力的最大值,反映土壤储存和调节水分的潜在能力,数值为毛管持水量与非毛管持水量两者之和;因此,土壤只有在良好的结构、毛管孔隙和非毛管孔隙所占比例都高的条件下,才能更有效地防止降水流失,保持和渗透降水,从而充分发挥水土保持功能;相对而言,土壤毛管持水量、非毛管持水量在落叶阔叶林和针阔混交林的数值较大,在暗针叶林和灌草丛数值相对较小,说明落叶阔叶林和针阔混交林土壤吸收的水分更有利于植物根系吸收,对维持其上植物生长发育的能力较强,能更好的发挥水源涵养和水土保持功能。

4.2 不同植被类型与化学特性的关系

土壤的酸碱度是影响土壤肥力和植物生长的一个重要化学因素,它对植物生长、微生物活动、养分的转化以及土壤肥力有很大影响,土壤过酸或过碱都不利于植物的正常生长,同时腐殖质层厚度及微生物量也影响着土壤的酸碱度,枯落物分解的有机酸多少与腐殖质层厚度有关,而微生物常常被作为土壤酸化的主要因素,微生物活动可产生一种酸性较强的有机酸,还有报道证实,植物落叶浸出液的 pH 值随植物种类不同而异,所以不同植被类型下枯落物影响土壤的 pH 值^[23];该研究区属于酸性淋溶土,相对而言,暗针叶林下土壤酸性较强,产生的原因可能是暗针叶林下土壤微生物的活动较剧烈,枯落物分解有机酸数量过多,降低土壤 pH 值作用较明显。由于枯落物是土壤有机质主要来源,土壤有机质含量与不同植被类型下地表的枯枝落叶积累量有很大关系^[23];地表的枯枝落叶积累量较大,通过植物根系分泌物的分解,释放养分并归还于土壤的有机质含量也就较高,不同植被类型下有机质含量受到地表凋落物厚度、组成成分以及部分动物、微生物残体差异的影响^[23],相对而言,针阔混交林下土壤有机质的含量较大,可能是因为该植被

类型下土壤积累的枯枝落叶厚度较大,在当地水热条件下腐烂分解较容易,产生的土壤腐殖质较多。土壤矿物类型、温度、土壤水分状况、土壤酸碱度等因素对于土壤养分含量都有着重要的影响;尽管自然状态下矿物质的风化是土壤养分库的主要来源,但由于不同植被类型的组成树种不同,枯落物量及其养分组成、积累方式和分解速率的差异、土壤微生物作用等不同,导致不同植被类型下土壤矿化速度不同,土壤养分含量存在差异;其次,在土壤形成过程中母质所携带的养分有所不同,不同的植被类型的根系对土壤中养分选择性的吸收也有差异,导致土壤养分含量存在差异;还有些元素容易淋失,在不同的植被类型下受降雨分配的影响,遭到淋溶的强度不同,土壤养分含量存在差异^[9,23]。

4.3 地形因素及枯落物特征对土壤特性的影响

地形因子中,不同的海拔高度、坡度、坡向都在不同程度上会造成水热等条件组合的差异,从而对土壤发育产生影响。研究表明,土壤紧实度、土壤容重值随海拔高度升高而升高,土壤 pH 值、土壤温度、土壤总孔隙度值随海拔高度升高而降低,海拔高度对其有显著的影响;不同坡度、坡向的山坡,因为太阳投射角度的不同,其所获得的太阳辐射强度及日照时数也有所不同,气温、土温及其他生态因子也随着发生变化^[24]。但由于研究样地均取自东坡场子沟,因此在坡度、坡向上并无明显差异,坡度、坡向等地形因子对土壤特性也无显著影响。

土壤条件不同会导致植物器官生长状态和衰老过程存在差异,由此会导致枯落物特性的变化;枯落物在不断的积累与分解过程中,土壤结构得到改善,能减轻雨水对表层土壤的冲击,土壤理化特性受到影响。土壤是植物的肥力库,植物通过根系从土壤中吸收营养元素,又通过枯枝落叶把这部分养分返还于土壤,植被枯枝落叶也是土壤的营养库,枯落物有大量有机质和营养元素,可增加土壤肥力^[23]。研究结果表明,老秃顶子不同植被类型下土壤特性可以间接影响枯落物的现存量、有机物质分解和养分释放;同时枯落物在不断的积累与分解过程中,能影响土壤酸碱性,可以改善土壤结构,改善土壤渗水和蓄水能力,对土壤肥力产生影响。

4.4 对老秃顶子保护区的启示

该研究区的突出特点是稳定性差,在风力、流水、地震等外力作用下具有潜在的移动性,属于泥石流等重大地质灾害易发地段,生境极其脆弱。主要靠砾石间隙少量土壤的胶结作用及其上发育的植被来维持。因此,人类的经营活动要适度,应采用人工恢复与植

被重建,通过改善林分内的水分和光照,并增加物种的多样性来进行抚育改造,改善凋落物的组成及性质,促使其快速分解,使得土壤中有有机质含量增加,来改善土壤养分并恢复地力,禁止乱砍乱伐,减少水土流失现象的发生。

[参 考 文 献]

- [1] Rhoades C, Miller S P, Shea M. Soil properties and soil nitrogen dynamics of prairie like forest openings and surrounding forests in Kentucky's Knobs Region[J]. The American Midland Naturalist Journal, 2004, 152(1): 1-11.
- [2] Christine H E, David A W. Spatial soil ecology[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(4): 177-183.
- [3] Akbar M H, Ahmed O H, Jamaluddin A S, et al. Differences in soil physical and chemical properties of rehabilitated and secondary forests[J]. American Journal of Applied Sciences, 2010, 7(9): 1200-1211.
- [4] 罗歆,代数,何丙辉,等.缙云山不同植被类型林下土壤养分含量及物理性质研究[J].水土保持学报,2010,24(1): 64-69.
- [5] 王政权,王庆成.森林土壤物理性质的空间异质性研究[J].生态学报,2000,20(6): 945-950.
- [6] 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.
- [7] 何腾兵,董玲玲,刘元生,等.贵阳市乌当区不同母质发育的土壤理化性质和重金属含量差异研究[J].水土保持学报,2006,20(6): 157-162.
- [8] 秦嘉海,金自学,王进,等.祁连山不同林地类型对土壤理化性质和水源涵养功能的影响[J].水土保持学报,2007, 21(1): 92-94, 139.
- [9] 姜林,耿增超,张雯,等.宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征[J].生态学报,2013, 33(6): 1982-1993.
- [10] 崔之久,朱诚.我国冰缘地貌研究述评与展望[J].冰川冻土,1988,10(3): 304-311.
- [11] 朱诚.现代冰缘地貌研究[M].江苏南京:江苏科学技术出版社,1994.
- [12] 刘剑刚,张华,伏捷,等.辽东山地老秃顶子冰缘地貌特征及其环境意义[J].冰川冻土,2014, 36(6): 1420-1429.
- [13] 张华,刘剑刚,伏捷,等.辽东山地老秃顶子冰缘地貌植物群落类型及基本特征[J].冰川冻土,2015, 37(2): 500-510.
- [14] 赵军,陈建伟,吕刚.老秃顶子自然保护区森林植被类型的植物多样性[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009, 28(5): 849-852.
- [15] 张宝财,张华,祝业平,等.辽宁老秃顶子南坡植物生活型谱及其海拔变化[J].辽宁师范大学学报:自然科学版,2007, 30(4): 499-502.
- [16] 武晶,张华,祝业平,等.辽宁老秃顶子北坡乔木层物种多样性垂直分布格局[J].山西师范大学学报,2009, 23(1): 82-87.
- [17] 吕刚,张由松,祝业平.老秃顶子自然保护区不同森林类型土壤贮水与入渗特征研究[J].水土保持通报,2011, 31(1): 109-113.
- [18] 郑楠,张华,武晶,等.辽东老秃顶子北坡植物群落物种多样性及其与土壤特性的相关性分析[J].生态科学, 2009, 28(6): 510-515.
- [19] 张华,张惠深,伏捷,等.辽东山地老秃顶子濒危植物双蕊兰居群生境特征[J].辽宁师范大学学报:自然科学版,2014, 37(3): 389-395.
- [20] 中华人民共和国林业局.森林土壤分析方法(中华人民共和国林业行业标准)[S].北京:中国标准出版社, 1999.
- [21] 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.
- [22] 张义辉,李洪建,荣燕美,等.太原盆地土壤呼吸的空间异质性[J].生态学报,2010, 30(23): 6606-6612.
- [23] 刘跃建.森林环境[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [24] 曹志平.土壤生态学[M].北京:化学工业出版社,2007.