

贺兰山东坡青海云杉林苔藓群落及环境之间的关系

高媛¹, 王继飞^{3,4}, 杨君珑¹, 王文晓¹, 李静尧³, 李小伟^{1,2}

(1. 宁夏大学 农学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 银川 750021;
3. 宁夏贺兰山国家级保护区管理局, 银川 750021; 4. 东北林业大学 野生动物资源学院, 哈尔滨 150040)

摘 要: 苔藓植物作为一种环境指示植物广泛应用于生态各领域。以贺兰山东坡青海云杉(*Picea crassifolia*)林下苔藓群落为研究对象, 沿着东坡山体设置了 15 个样地, 运用冗余分析(RDA)对苔藓物种重要值与环境因子进行了排序, 以期揭示贺兰山苔藓植物群落结构与环境因子之间的关系。结果表明: 15 个样地 485 份标本都是地面生苔藓, 共有 14 科 19 属 36 种, 主要是丛藓科(Pottiaceae)、灰藓科(Hypnaceae)、青藓科(Brachytheciaceae)、牛毛藓科(Ditrichaceae)和提灯藓科(Mniaceae), 占苔藓植物总数的 69.44%; 15 个样地苔藓物种重要值大小排序显示: 优势种分别为灰藓(*Hypnum cupressiforme*)、山羽藓(*Abietinella abietina*)、树形疣灯藓(*Trachycystis ussuriensis*)、美姿藓(*Timmia megapolitana*)、青藓(*Brachythecium pulchellum*)、对叶藓(*Distichium capillaceum*)、无齿紫萼藓(*Grimmia anodon*)、厚角绢藓(*Entodon concinnus*)、细牛毛藓(*Ditrichum flexicaule*)和中华赤藓(*Syntrichia sinensis*), 其中灰藓的重要值为 0.417 6, 是贺兰山东坡青海云杉林下苔藓植物主要的建群种, 说明贺兰山东麓云杉林下较为干燥。RDA 结果表明: 海拔($F=5.124, p=0.010$)、坡向($F=3.114, p=0.034$)、年均降雨量($F=2.598, p=0.050$)和年均温度($F=3.357, p=0.030$)是影响苔藓群落分布的主要因素, 第一和第二主轴共计可以解释苔藓群落方差 63.20%。研究结果可以为贺兰山苔藓植物保护和合理利用提供理论依据。

关键词: 贺兰山东坡; 青海云杉林; 苔藓植物; 物种组成; 环境因子

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0221-06

Relationship Between Bryophytes Communities and Environment of Qinghai Spruce (*Picea crossifolia*) in Helan Mountain of Ningxia

GAO Yuan¹, WANG Jifei^{3,4}, YANG Junlong¹, WANG Wenxiao¹, LI Jingyao³, LI Xiaowei^{1,2}

(1. College of agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration of Northwest China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Ningxia Helan Mountain National Nature Reserve Management Bureau, Yinchuan 750021; 4. College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: As an environmental indicator, bryophytes are widely used in various fields of ecology. This study took bryophyte community of *Picea crassifolia* on the eastern slope of Helan Mountain as research object. Fifteen plots were set up along the eastern slope. Redundancy analysis (RDA) was performed to reveal the relationship between bryophyte community structure and environmental factors in Helan Mountain. The results showed that all 485 samples from 15 plots were terrestrial mosses, belonging to 36 species and 19 genera in 14 families; the main families are Pottiaceae, Hypnaceae, Brachytheciaceae, Ditrichaceae and Mniaceae, accounting for 69.44% of the total number of bryophytes; The rank order of important values of bryophytes species in 15 plots showed that the dominant species were *Hypnum cupressiforme*, *Abietinella abietina*, *Trachycystis ussuriensis*, *Timmia megapolitana*, *Brachythecium pulchellum*, *Distichium capillaceum*, *Grimmia anodon*, *Entodon concinnus*, *Ditrichum flexicaule* and *Syntrichia sinensis*. The important

收稿日期: 2018-02-06

修回日期: 2018-03-08

资助项目: 宁夏贺兰山国家级自然保护区保护与监测工程项目及科研与监测工程监测样地项目; 宁夏高等学校一流学科建设(草学学科)资助项目(NXYLXK2017A01)

第一作者: 高媛(1995—), 女, 山西忻州人, 在读硕士生, 研究方向为草地生态、资源与环境。E-mail: gyuan_nxu@163.com

通信作者: 李小伟(1978—), 男, 甘肃平凉人, 副教授, 博士, 研究方向为植物分类与生态。E-mail: Lixiaowei@nxu.edu.cn

value of the *Hypnum cupressiforme* is 0.417 6, which is the constructive species of bryophytes community, this also indicates that the *Picea crossifolia* on the eastern slope of Helan is relatively dry. The results of RDA showed that altitude($F=5.124$, $p=0.010$), Aspect($F=3.114$, $p=0.034$), mean annual precipitation ($F=2.598$, $p=0.050$), mean annual temperature($F=3.357$, $p=0.030$), were the main factors influencing the distribution of bryophytes. The first and second principal axes can explain 63.20 % of the variance in bryophyte community. The results can provide theoretical basis for the protection and rational utilization of bryophytes in Helan Mountain.

Keywords: eastern slope of Helan Mountain; *Picea crossifolia* forest; bryophytes; species composition; environmental factor

苔藓植物(Bryophytes)是高等植物中结构最为简单的低等类群,具有很强的适应性,是生态系统演替过程中的先锋植物,也是一种环境指示植物^[1-3]。目前苔藓生态学研究主要集中于群落结构特征、物种多样性以及与环境间的关系。排序法是研究生物群落沿环境梯度变化的重要数量生态学方法,其中限制性排序能客观的反映生物群落沿环境梯度的分布状况,例如冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)和典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)等被广泛应用于生物群落排序,但在苔藓生态学方面的研究应用较少^[4-6]。其中冗余分析是一种直接梯度分析方法,能评估一个或一组变量与另一组多变量数据之间的关系,能够有效地对多个环境因子进行统计检验、筛选,减少降维过程中数据信息的损失量,从而获得目标变量方差的最大解释量^[4]。

贺兰山是我国特有植物“阿拉善—鄂尔多斯多度中心”的核心区,生物资源较为丰富。白学良等^[7]对贺兰山苔藓植物区系研究发现:贺兰山有苔藓植物共30科82属204种,其中藓类植物有23科73属193种,主要以旱生藓类为主,其中丛藓科(Pottiaceae)植物种类最多。区系分析表明贺兰山苔藓植物多数为分布于欧洲、亚洲、北美洲温带的物种,并且主要分布于郁闭度较高的青海云杉林下。苔藓层处于植被层与土壤层之间,作为林下地被层植物的建群种^[8],对青海云杉林生态系统物质和养分循环过程具有重要的作用,同时苔藓植物对截持降水、调节径流和抑制土壤水分蒸发有重要的影响^[9-11]。近年来,国内学者对贺兰山青海云杉林研究较多,但主要关注于青海云杉林种群动态、外生菌根和土壤碳储量^[12-14],而对青海云杉林下存在的地面生苔藓报道很少。鉴于此,本文以贺兰山东坡不同立地条件的青海云杉林下苔藓植物群落为研究对象,选取汝箕沟、插旗口、苏峪口、甘沟、大口子沟5个生境条件,采用样方法对苔藓植物群落进行野外调查和室内鉴定分类,应用冗余分析(RDA)探讨贺兰山苔藓植物物种组成与环境因子之

间的关系,为今后研究苔藓植物对贺兰山青海云杉林环境影响提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贺兰山位于宁夏和内蒙古交界,处于中国温带草原和荒漠区的过渡段,地跨东经 $105^{\circ}49'$ — $106^{\circ}41'$,北纬 $38^{\circ}19'$ — $39^{\circ}22'$,海拔2 000~3 000 m,总面积为2 062.66 km²,东坡为宁夏回族自治区管辖,与草原相连,水热条件较好;西坡为内蒙古自治区管辖,与荒漠相连,气候干燥寒冷。贺兰山具有显著的山地气候特征,年平均气温 $8.5\sim 9.0^{\circ}\text{C}$,年降水量为200~400 mm,年均蒸发量为2 000 mm,水热因子具有明显的垂直地带性。贺兰山东坡土壤类型从基带至主峰垂直分布为:灰漠土—棕钙土—栗钙土—新积土—粗骨土—高山、亚高山草甸土;植被类型垂直分布为荒漠化草原—山地疏林草原—山地针叶林—亚高山灌丛草甸或高山草甸。贺兰山特殊的地理位置和气候环境为植物的生长提供了有利环境,使其形成了丰富的生物群落。

1.2 样地设置

于2017年7—8月,根据青海云杉林在汝箕沟、插旗口、苏峪口、甘沟、大口子沟分布的状况,沿着海拔梯度在每条沟布设样地3个,分别是高海拔、中海拔、低海拔样地,每个样地大小为20 m×20 m,共计15个样地(表1)。记录每个样地的经度、纬度、海拔,采用样点法测定云杉林的郁闭度^[15]。

1.3 调查方法

在20 m×20 m的样地内随机选取16个小样方,每个小样方大小为0.5 m×0.5 m。在野外记录苔藓种类、盖度、频度,其中盖度采用网格法进行测定。15个样地共采集到苔藓标本485份,带回实验室后鉴定至种。鉴定苔藓志书主要是《贺兰山苔藓植物彩图志》^[16]。

1.4 数据处理与分析

1.4.1 气象、坡度、坡向数据采集 根据每个采样点的地理坐标,气象数据从全球气象数据库(<http://>

www.worldclim.org)获取,主要包括年均温度、年均降雨量、生长季温度、生长季降雨量。依据样地坐标

从高程数据(Digital Elevation Model,DEM)提取样地坡向和坡度数据。

表 1 贺兰山各样地基本概况

样地	样地编号	经度 E/(°)	纬度 N/(°)	海拔/m	郁闭度	坡度	坡向
汝箕沟	R1	106.0865	39.0005	2220	0.40	27	91
	R2	106.0817	38.9994	2401	0.80	14	57
	R3	106.0779	38.9991	2530	0.50	4	30
插旗口沟	C1	106.0140	38.8225	1932	0.42	13	48
	C2	106.0085	38.8201	2034	0.62	17	15
	C3	106.0354	38.8178	2114	0.65	26	160
甘沟	G1	105.8702	38.5641	2194	0.40	33	63
	G2	105.8690	38.5631	2230	0.30	19	57
	G3	105.8683	38.5626	2346	0.30	20	86
苏峪口沟	S1	105.9116	38.7381	2264	0.50	10	72
	S2	105.9101	38.7341	2381	0.77	31	347
	S3	105.9097	38.7294	2671.8	0.52	28	336
大口子沟	D1	105.8890	38.5918	2323.2	0.73	34	110
	D2	105.8824	38.5878	2529.7	0.73	21	69
	D3	105.8826	38.5844	2745	0.67	16	9

1.4.2 数据处理 采用冗余分析对样地苔藓重要值与环境因子之间相互关系进行统计学分析。排序的物种数据矩阵由物种的重要值组成,其矩阵(样方×物种)为 15×36;环境矩阵由海拔、坡向、坡度、云杉林郁闭度、年均温、年均降雨量、生长季温度和生长季降雨量组成,环境数据矩阵由 8 个环境因子组成,为 36×8。同时对 RDA 的最终结果进行蒙特卡罗置换检验,分析环境因子的影响是否达到显著水平。所有数据采用统计软件 SPSS 21.0 和 Canoco 4.5 对试验数据进行统计分析,显著度水平设为 0.05。

相对盖度=某种苔藓的平均盖度/所有种类苔藓植物平均盖度之和;

相对频度=某种苔藓的频度/所有种类苔藓植物频度之和;

重要值=(相对频度+相对盖度)/2。

2 结果与分析

2.1 苔藓植物种类组成

在贺兰山东坡的汝箕沟、插旗口、苏峪口、甘沟、大口子沟 5 条沟 15 个青海云杉林样地中,共采集苔藓植物标本 485 份,隶属于 14 科 19 属 36 种,全部为藓类植物(表 2)。优势藓类植物分别是丛藓科(Pottiaceae)2 属 9 种,灰藓科(Hypnaceae)2 属 6 种,青藓科(Brachytheciaceae)2 属 4 种,牛毛藓科(Ditrichaceae)2 属 3 种,提灯藓科(Mniaceae)2 属 3 种,占总种数的 69.44%,这 5 科 10 属 25 种代表了青海

云杉林样地藓类植物的主要群体。伴生种主要有瓦叶假细罗藓(*Pseudoleskeella tectorum*)、无齿紫萼藓(*Grimmia anodon*)、剑叶大帽藓(*Encalypta spathulata*)、小牛舌藓(*Anomodon minor*)等。

2.2 苔藓植物群落重要值

重要值能够指示物种在群落中所扮演的角色和作用。在贺兰山东坡 15 个青海云杉林样地中共记录 36 种苔藓植物,重要值排列前十位的分别是灰藓(*Hypnum cupressiforme*)、山羽藓(*Abietinella abietina*)、树形灯灯藓(*Trachycystis ussuriensis*)、美姿藓(*Timmia megapolitana*)、青藓(*Brachythecium pulchellum*)、对叶藓(*Distichium capillaceum*)、无齿紫萼藓(*Grimmia anodon*)、厚角绢藓(*Entodon concinnus*)、细牛毛藓(*Ditrichum flexicaule*)、中华赤藓(*Syntrichia sinensis*)。这些苔藓物种在贺兰山东坡青海云杉林下占有较大的频度和盖度,为林下优势种(表 3)。

2.3 苔藓植物与环境因子之间的冗余分析

通过蒙特卡罗检验对 15 个青海云杉林苔藓样地与环境因子进行分析,结果表明样地苔藓重要值与海拔($F=5.124, p=0.010$)、坡向($F=3.114, p=0.034$)、年均降雨量($F=2.598, p=0.050$)、年均温度($F=3.357, p=0.030$)呈显著相关关系,为主要环境影响因子。与坡度($F=2.628, p=0.058$)、林地郁闭度($F=1.503, p=0.176$)、生长季温度($F=0.853, p=0.528$)、生长季降雨量($F=0.308, p=0.830$)、土壤 $pH_{0-10\text{ cm}}$ ($F=0.754, p=0.584$)和土壤 $pH_{10-20\text{ cm}}$ ($F=1.364, p=0.306$)关系不显著。

表 2 宁夏贺兰山监测样地苔藓植物物种统计

科	属	种	海拔范围/m
丛藓科 (Pottiaceae)	对齿藓属(<i>Didymodon</i>)	反叶对齿藓(<i>Didymodon ferrugineus</i>)	2194
		高氏对齿藓(<i>Didymodon gaochenii</i>)	2264
		红对齿藓(<i>Didymodon asperifolius</i>)	2264~2529
		尖叶对齿藓(<i>Didymodon constrictus</i>)	2034~2401
		硬叶对齿藓(<i>Didymodon rigidulus</i>)	2034
		长尖对齿藓(<i>Didymodon ditrichoides</i>)	2323~2529
灰藓科 (Hypnaceae)	赤藓属(<i>Syntrichia</i>)	双齿赤藓(<i>Syntrichia bidentata</i>)	2230
		芽胞赤藓(<i>Syntrichia pagorum</i>)	2114~2230
		中华赤藓(<i>Syntrichia sinensis</i>)	1932~2230
	灰藓属(<i>Hypnum</i>)	弯叶灰藓(<i>Hypnum hamulosum</i>)	2745
		直叶灰藓(<i>Hypnum vaucheri</i>)	2529
		灰藓(<i>Hypnum cupressiforme</i>)	1932~2745
卷叶灰藓(<i>Hypnum revolutum</i>)		2034~2745	
青藓科(Brachytheciaceae)	齿灰藓属(<i>Podperaea</i>)	镰叶灰藓(<i>Hypnum bambergeri</i>)	2264~2529
		白氏齿灰藓(<i>Podperaea baii Ignatova</i>)	2114
	毛尖藓属(<i>Cirriphyllum</i>)	毛尖藓(<i>Cirriphyllum piliferum</i>)	2323
		匙叶毛尖藓(<i>Cirriphyllum cirrosum</i>)	2194~2381
	青藓属(<i>Brachythecium</i>)	青藓(<i>Brachythecium pulchellum</i>)	1932~2671
		褶叶青藓(<i>Brachythecium salebrosum</i>)	2034~2381
牛毛藓科(Ditrichaceae)	对叶藓属(<i>Distichium</i>)	对叶藓(<i>Distichium capillaceum</i>)	2114~2745
	牛毛藓属(<i>Ditrichum</i>)	细牛毛藓(<i>Ditrichum flexicaule</i>)	2194~2745
		细叶牛毛藓(<i>Ditrichum pusillum</i>)	2529~2671
提灯藓科(Mniaceae)	提灯藓属(<i>Mnium</i>)	具缘提灯藓(<i>Mnium marginatum</i>)	2529
	疣灯藓属(<i>Trachycystis</i>)	异叶提灯藓(<i>Mnium heterophyllum</i>)	2323
		树形疣灯藓(<i>Trachycystis ussuriensis</i>)	2034~2671
柳叶藓科 (Amblystegiaceae)	细湿藓属(<i>Campylium</i>)	细湿藓(<i>Campylium hispidulum</i>)	2264
		细湿藓稀齿变种(<i>Campylium hispidulum</i>)	2264
大帽藓科 (Encalyptaceae)	大帽藓属(<i>Encalypta</i>)	尖叶大帽藓(<i>Encalypta rhaptocarpa</i>)	2114
		剑叶大帽藓(<i>Encalypta spathulata</i>)	2264
牛舌藓科(Anomodontaceae)	牛舌藓属(<i>Anomodon</i>)	小牛舌藓(<i>Anomodon minor</i>)	2230
美姿藓科(Timmiaceae)	美姿藓属(<i>Timmia</i>)	美姿藓(<i>Timmia megapolitana</i>)	2114~2745
羽藓科(Thuidiaceae)	山羽藓属(<i>Abietinella</i>)	山羽藓(<i>Abietinella abietina</i>)	2034~2745
紫萼藓科(Grimmiaceae)	紫萼藓属(<i>Grimmia</i>)	无齿紫萼藓(<i>Grimmia anodon</i>)	1932~2230
薄罗藓科(Leskeaceae)	假细罗藓(<i>Pseudoleskeella</i>)	瓦叶假细罗藓(<i>Pseudoleskeella tectorum</i>)	2220~2114
绢藓科(Entodontaceae)	绢藓属(<i>Entodon</i>)	厚角绢藓(<i>Entodon concinnus</i>)	1932~2529
鳞藓科(Theliaceae)	小鼠尾藓属(<i>Myurella</i>)	钝叶小鼠尾藓(<i>Myurella julacea</i>)	2264

表 3 15 个青海云杉林苔藓样地物种重要值排序

科	属	种	重要值
灰藓科(Hypnaceae)	灰藓属(<i>Hypnum</i>)	灰藓(<i>Hypnum cupressi forme</i>)	0.4176
羽藓科(Thuidiaceae)	山羽藓(<i>Abietinella</i>)	山羽藓(<i>Abietinella abietina</i>)	0.1920
提灯藓科(Mniaceae)	疣灯藓(<i>Trachycystis</i>)	树形疣灯藓(<i>Trachycystis ussuriensis</i>)	0.0883
美姿藓科(Timmiaceae)	美姿藓属(<i>Timmia</i>)	美姿藓(<i>Timmia megapolitana</i>)	0.0405
青藓科(Brachytheciaceae)	青藓属(<i>Brachythecium</i>)	青藓(<i>Brachythecium pulchellum</i>)	0.0381
牛毛藓科(Ditrichaceae)	对叶藓属(<i>Distichium</i>)	对叶藓(<i>Distichium capillaceum</i>)	0.0348
紫萼藓科(Grimmiaceae)	紫萼藓属(<i>Grimmia</i>)	无齿紫萼藓(<i>Grimmia anodon</i>)	0.0209
绢藓科(Entodontaceae)	绢藓属(<i>Entodon</i>)	厚角绢藓(<i>Entodon concinnus</i>)	0.0200
牛毛藓科(Ditrichaceae)	牛毛藓属(<i>Ditrichum</i>)	细牛毛藓(<i>Ditrichum flexicaule</i>)	0.0173
丛藓科(Pottiaceae)	赤藓属(<i>Syntrichia Brid</i>)	中华赤藓(<i>Syntrichia sinensis</i>)	0.0172

对 15 个青海云杉林苔藓样地物种重要值与主要环境因子进行 RDA 排序(表 4 和图 1)。第一至第四

主轴共计解释了苔藓物种重要值 65.5%,其中第一主轴和第二主轴解释了苔藓物种重要值 49.0%和

14.2%的方差,因此苔藓重要值在排序轴上的分布基 本反映了植物空间分布特征随环境因子的变化趋势。

表 4 15 个青海云杉林苔藓样地物种重要值与环境因子 RDA 排序

RDA 排序轴	第一轴	第二轴	第三轴	第四轴
	AX1	AX2	AX3	AX4
特征值 Eigenvalues	0.490	0.142	0.016	0.007
物种—环境相关性 Species-environment correlations	0.904	0.802	0.636	0.660
物种数据方差累积百分比 Cumulative percentage variance of species data	49.0	63.2	64.8	65.5
物种与环境关系方差累计百分比 Cumulative percentage variance of species-environment relation	74.7	96.4	98.9	100.0
特征值总和 Sum of all canonical eigenvalues	0.655			

对 15 个青海云杉林下苔藓植物样地与主要环境因子进行 RDA 排序(图 1),反映苔藓样地在海拔、坡向、年均降水量和年均温度影响下的分布状况。图中带箭头线段长短表示与环境因子之间的关系,箭头越长表示对苔藓样地重要值的解释量越大。箭头之间的角度代表了变量间的相关性。

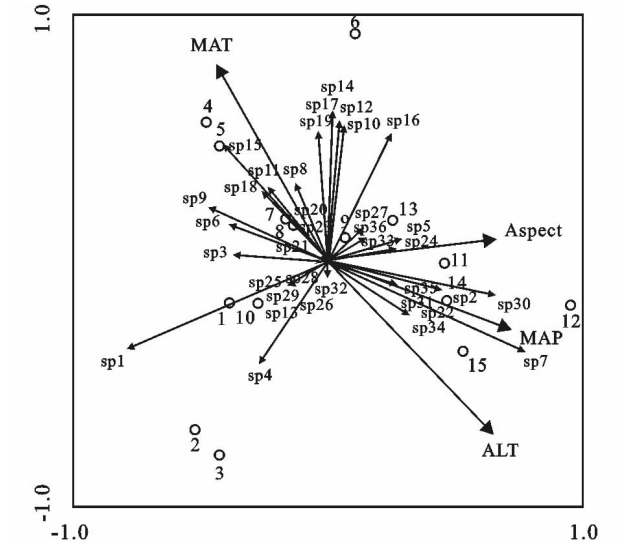
环境是影响植物生长的重要因素,在不同的生境中苔藓植物的种类、群落不同,即使在相同的生境中苔藓植物的结构、群落分布存在差异。苔藓植物与主要环境因子的关系中(图 1),坡向、年均降雨量与第一轴(水平)呈正相关,从左到右反映了坡向增大、年均降雨量上升的变化趋势;年均温度与第二轴(垂直)呈正相关,而海拔与第二轴呈负相关,从上到下反映了年均温度降低和海拔上升的变化趋势。美姿藓和树形疣灯藓位于排序图右上角,主要受坡向的影响,该区域云杉林较密,郁闭度较高,因此林下湿度较大;中华赤藓和无齿紫萼藓位于排序图左上,该区域年均温较高,大气湿度低,较为干旱;灰藓和镰叶灰藓位于排序图左下角,环境因子对该区域的苔藓植物几乎没有影响,因此该区域的苔藓植物分布范围较广,适应能力较强;山羽藓和对叶藓位于排序图右下角,主要受年均降雨量和海拔的影响,处于高海拔、温度低的区域。

3 讨论

3.1 研究区域苔藓植物群落组成和分布

15 个苔藓样地调查研究表明,该区域的苔藓植物较为单一,大多数科属仅含 1 种或 2~3 种,这与王先道^[17]对贺兰山苔藓群落调查的结果一致。本研究 中丛藓科、灰藓科、青藓科、牛毛藓科、提灯藓科,占总种数的 69.44%,代表了青海云杉林样地藓类植物的主要群体。其中灰藓科占苔藓总种数的 17%,该科主要物种为灰藓和镰叶灰藓,在贺兰山东坡低海拔到高海拔均有发现,分布范围广泛,且几乎不受环境因子影响,说明该科植物适应能力极强,这也是贺兰山

东坡青海云杉林下灰藓科占优势的主要原因。白学良^[7]对贺兰山苔藓群落调查结果显示:灰藓为油松林下优势种,本研究样地未出现苔类植物,这些都充分说明贺兰山东坡气候干旱,青海云杉林下相对湿度较小;但在青海云杉林下则以山羽藓、树形疣灯藓、美姿藓、细牛毛藓等苔藓物种为主,与本次研究结果一致。



注:圆圈为苔藓样地,实心箭头为苔藓物种,空心箭头为环境因子。MAP 为年均降雨量,MAT 为年均温度,ALT 为海拔,Aspect 坡向。sp1 灰藓;sp2 对叶藓;sp3 尖叶对齿藓,sp4 镰叶灰藓;sp5 美姿藓;sp6 青藓;sp7 山羽藓;sp8 瓦叶假细罗藓;sp9 中华赤藓;sp10 白氏齿灰藓;sp11 厚角绢藓;sp12 尖叶大帽藓;sp13 钝叶小鼠尾藓;sp14 卷叶灰藓;sp15 无齿紫萼藓;sp16 树形疣灯藓;sp17 芽胞赤藓;sp18 硬叶对齿藓;sp19 褶叶青藓;sp20 反叶对齿藓;sp21 双齿赤藓;sp22 细牛毛藓;sp23 小牛舌藓;sp24 长尖对齿藓;sp25 剑叶大帽藓;sp26 高氏对齿藓;sp27 匙叶毛尖藓;sp28 细湿藓;sp29 细湿藓稀齿变种;sp30 细叶牛毛藓;sp31 直叶灰藓;sp32 红对齿藓;sp33 异叶提灯藓;sp34 弯叶灰藓;sp35 具缘提灯藓;sp36 毛尖藓。

图 1 贺兰山东坡苔藓样地、物种种类与主要环境因子的 RDA 排序

3.2 影响研究区域苔藓植物群落的因素

基于苔藓群落与环境因子 RDA 分析表明:海拔、坡向、年均降雨量和年均温度是影响苔藓分布的主要因素。海拔、温度、降雨量、坡度坡向等对物种的影响并不

是单一的^[18]。海拔作为地理梯度,被认为是影响植物物种、植物群落和生态系统的决定因素^[19];对于垂直地带性分布而言,海拔梯度对温度、降水量和土壤湿度有很大影响^[6];随着海拔梯度升高,年均降水量增加,土壤湿度随之增大^[20],有利于苔藓植物的生长,因此随着海拔升高苔藓植物有增加的趋势^[21];随着海拔梯度升高,年均温度降低,苔藓植物在叶片细胞壁长出疣状突起反射太阳辐射适应低温环境,并且该突起物具有水分的传导的作用,有利于苔藓植物水分的吸收。如青藓、中华赤藓等都具有疣状突起。

坡向会影响地表热量分配,使得阳坡接受的太阳辐射多,较干旱;阴坡接受的太阳辐射少,而阴冷潮湿,进而决定了土壤湿度、光照强度等生态因子^[22-24]。总体而言,贺兰山东坡在地形上来说属于阳坡,充足的光照使植物生境较为干燥,限制了苔藓植物的生长;但青海云杉林的郁闭度高,林下光照不足,维管植物不宜生存,林下植被主要由苔藓物种组成^[7]。而贺兰山东坡的光照强度较大,年均温度较高,蒸腾量大于降雨量,较为干燥,土壤含水量是决定地面生苔藓的主要环境因子之一^[25],因此苔藓层主要以旱生藓为主,进化出特殊的形态结构以适应干旱环境^[26],如山羽藓呈垫状丛生提高毛细管系统的持水力;无齿紫萼藓具白色毛状尖反射太阳辐射;美姿藓和中华赤藓通过叶片卷缩减少水分的蒸发^[27]。坡度是决定山体是否陡峭平缓的主要因素,贺兰山东坡除了部分海拔的山体坡度很大,其余均比较平缓,有助于水分的集聚。因此,环境因子之间相互作用共同影响苔藓植物的生长,而不同的苔藓物种通过改变自身结构适应不同的环境^[28]。

本文主要研究了青海云杉林下苔藓植物物种组成与不同立地条件下环境因子的关系,而苔藓植物截持降水、调节径流和抑制土壤水分蒸发等作用对青海云杉林水文、营养物质循环的影响将在下一步研究中进行。

4 结论

(1) 通过对贺兰山东坡苔藓植物调查,共采集苔藓植物标本 485 份,共鉴定地面生苔藓植物 14 科 19 属 36 种,其中丛藓科、灰藓科、青藓、牛毛藓科、提灯藓科为主要藓类群体,苔类植物没有采集到任何植物标本。贺兰山东坡青海云杉林下苔藓的优势种为灰藓、山羽藓、树形疣灯藓、厚角绢藓、美姿藓、青藓、对叶藓、无齿紫萼藓和细牛毛藓。

(2) 应用 RDA 对苔藓植物重要值与环境因子进

行排序,影响该地苔藓植物生长的环境因子有坡向、坡度、年均降雨量、年均温度、海拔、郁闭度以及生长季温度和降雨量,其中海拔、坡向、年均降雨量和年均温度是影响苔藓植物的主要因素,坡度、生长季温度、生长季降雨量和土壤 pH 存在影响但不显著。

参考文献:

- [1] 陈勤,方炎明. 苔藓植物对大气生态环境作用的研究进展[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2013,31(6): 115-120.
- [2] 张天汉,王智慧,张朝晖. 贵州思雅河河谷地区喀斯特峰丛石漠苔藓植物群落研究[J]. 西北植物学报,2013,33(10):2104-2112.
- [3] 龚伟,王之明,李海英,等. 浅谈苔藓植物在大气环境监测中的应用[J]. 环境研究与监测,2017,30(2):27-29.
- [4] 赖江山. 生态学多元数据排序分析软件 Canoco5 介绍[J]. 生物多样性,2013,21(6):765-768.
- [5] 刘艳,皮春燕,田尚. 重庆主城区地面苔藓植物群落特征及其与环境的关系[J]. 应用生态学报,2015,26(10): 3145-3152.
- [6] 陈云,冯佳伟,牛帅,等. 小秦岭自然保护区苔藓植物群落数量分类、排序及多样性垂直格局[J]. 生态学报,2017,37(8):2653-2664.
- [7] 白学良. 贺兰山苔藓植物[M]. 银川:宁夏人民出版社,2010.
- [8] 车宗玺,刘贤德,敬文茂,等. 祁连山林区苔藓垂直分布特征与水文功能分析[J]. 水土保持学报,2006,20(6): 71-74.
- [9] 刘兴明,刘贤德,车宗玺,等. 祁连山青海云杉林区苔藓层对流域水文的影响[J]. 干旱区地理,2010,33(6):962-967.
- [10] 万艳芳,李广,刘贤德,等. 祁连山青海云杉林苔藓层降雨再分配特征及其影响因素[J]. 干旱区研究,2017,34(5):1149-1156.
- [11] 王顺利,刘贤德,金铭,等. 青海云杉林下苔藓层对土壤蒸发的影响[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(4):131-135.
- [12] 樊永军,闫伟,王黎元. 贺兰山地区青海云杉外生菌根的形态类型及分子鉴定[J]. 林业科学,2011,47(6): 108-113.
- [13] 季波. 宁夏贺兰山主要森林群落生物量及碳储量研究[D]. 银川:宁夏大学,2015.
- [14] 李妍,李登武,韩东辰. 贺兰山东坡青海云杉种群动态[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(1):50-56.
- [15] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究,2008,21(1):40-46.
- [16] 白学良. 贺兰山苔藓植物彩图志[M]. 银川:阳光出版社,2014.
- [17] 王先道. 贺兰山苔藓植物分类及区系研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2005.

- 矿物组成异同及其环境意义[C]//中国科学院地质与地球物理研究所 2007 学术论文汇编, 2008:277-285.
- [7] 郑苗苗, 郑泓, 李同录. 关中西部大型黄土滑坡滑带土的物理力学特性研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1):343-348.
- [8] 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群化石的埋藏特点及该地区“三趾马红层”的成因[J]. 科学通报, 1995, 40(19):1782-1784.
- [9] 张子然. 黄土—三趾马红土滑坡蠕变特性研究[D]. 西安:长安大学, 2015.
- [10] 曹福明, 刘文连. 南北方红土工程地质特性对比分析:以北方三趾马红土和南方网纹红土为例[J]. 价值工程, 2015(3):280-281.
- [11] 曲永新, 王玉洲, 吴芝兰, 等. 内蒙古中部阿巴嘎地区的三趾马(N₂)红土及其工程特性的形成[J]. 工程地质学报, 1995, 3(4):77-85.
- [12] 李滨, 吴树仁, 石菊松, 等. 陕西宝鸡市三趾马红土工程地质特性及灾害效应[J]. 地质通报, 2013, 32(12):1918-1924.
- [13] 周瑞光, 杨继申. 三趾马红土力学性质试验研究[C]//全国工程地质大会, 1996.
- [14] 唐朝生, 崔玉军, Anh-minh Tang, 等. 土体干燥过程中的体积收缩变形特征[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(8):1271-1279.
- [15] 唐朝生, 王德银, 施斌, 等. 土体干缩裂隙网络定量分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(12):2298-2305.
- [16] 袁俊平. 非饱和膨胀土的裂隙概化模型与边坡稳定研究[D]. 南京:河海大学, 2003.
- [17] Kleppe J H, Olson R E. Desiccation cracking of soil barriers[M]//Hydraulic barriers in soil and rock, 1985.
- [18] 刘春, 王宝军, 施斌, 等. 基于数字图像识别的岩土体裂隙形态参数分析方法[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(9):1383-1388.
- [19] Monteith J L. Evaporation and surface temperature [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2010, 107(451):1-27.
- [20] Kondo J, Saigusa N. A parameterization of evaporation from bare soil surfaces [J]. J. Appl. Meteor., 1990, 29(5):385-389.
- [21] Kondo J, Saigusa N, Sato T. A model and experimental study of evaporation from bare-soil surfaces[J]. Journal of Applied Meteorology, 2010, 31(3):304-312.
- [22] 欧阳斌强, 唐朝生, 王德银, 等. 土体水分蒸发研究进展[J]. 岩土力学, 2016, 37(3):625-636.
- [23] 徐士康, 唐朝生, 李吴达, 等. 土体水分蒸发模型研究进展[J]. 高校地质学报, 2017, 23(4):640-649.
- [24] Tang C S, Shi B, Liu C, et al. Experimental characterization of shrinkage and desiccation cracking in thin clay layer [J]. Applied Clay Science, 2011, 52(1):69-77.
- [25] 谈云志, 喻波, 刘晓玲, 等. 压实红黏土失水收缩过程的孔隙演化规律[J]. 岩土力学, 2015, 36(2):369-375.

~~~~~

(上接第 226 页)

- [18] Jiang Y, Liu X, Song S, et al. Diversity and distribution of ground bryophytes in broadleaved forests in Mabian Dafengding National Nature Reserve, Sichuan, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2):13-19.
- [19] Pescador D S, Bello F D, Valladares F, et al. Plant trait variation along an altitudinal gradient in Mediterranean high mountain grasslands:Controlling the species turnover effect [J]. Plos One, 2015, 10(3):e0118876.
- [20] 孙守琴, 王根绪, 罗辑, 等. 苔藓植物对环境变化的响应和适应性[J]. 西北植物学报, 2009, 29(11):2360-2365.
- [21] 李粉霞, 王幼芳, 刘丽, 等. 浙江西天目山苔藓植物物种多样性的研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2):192-196.
- [22] Astrom M, Dynesius M, Hylander K, et al. Slope aspect modifies community responses to clear-cutting in boreal forests[J]. Ecology, 2007, 88(3):749-758.
- [23] Sternberg M, Shoshany M. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: comparison of a semiarid and an arid site in Israel [J]. Ecological Research, 2010, 16(2):335-345.
- [24] 刘旻霞, 王刚. 高寒草甸植物群落多样性及土壤因子对坡向的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2):259-265.
- [25] 陈龙, 吴玉环, 李微, 等. 沈阳市地面苔藓植物的分布及对环境因子的响应[J]. 生态科学, 2009, 28(3):206-211.
- [26] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆博格达山地面苔藓植被的数量分类与排序研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(1):10-16.
- [27] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆古尔班通古特沙漠南缘土壤结皮中苔藓植物的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1):18-23.
- [28] 范苗, 伍玉鹏, 胡荣桂, 等. 武汉市城区苔藓植物多样性和分布及与环境因子的关系[J]. 植物科学学报, 2017, 35(6):825-834.