

新疆西天山雪岭云杉不同季节土壤中型节肢动物群落结构特征

刘江慧^{1,2}, 崔东^{1,3*}, 刘淑琪^{1,3,4}

(1. 伊犁师范大学 资源与生态研究所, 新疆 伊宁 835000; 2. 伊犁师范大学 生物科学与技术学院, 新疆 伊宁 835000;
3. 伊犁师范大学 资源与环境学院, 新疆 伊宁 835000; 4. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: 本研究于夏季、秋季, 对库尔德宁四个海拔高度(1414 m、1595 m、1724 m、1868 m)雪岭云杉土壤动物进行采样, 分析不同季节对土壤动物群落特征的影响。结果表明, 随着海拔高度的攀升, 土壤动物的类群数和个体数变化不显著, 在垂直分布上表现出不同程度的表聚性特征。两个季节土壤动物多样性指数与环境因子呈现不同程度的相关性, 土壤全钾含量越高, 土壤动物分布越均匀, 调节土壤渗透压的贡献越大。RDA分析表明, 铵态氮、全磷是影响不同季节土壤动物群落的主要环境因子, 使得土壤动物与雪岭云杉森林生境之间形成了一定的适应机制。本研究深入了解不同季节雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)中型节肢动物群落特征与土壤理化性质的生态联系, 为雪岭云杉森林生境维持与可持续发展提供理论依据。

关键词: 雪岭云杉; 季节; 土壤动物; 群落特征; 环境因子

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1008-9659(2025)04-0020-09

森林生态系统是全球最大的陆地生态系统, 具有生物多样性保护、土壤保护、水循环调节等生态系统服务功能^[1-2]。茂密的森林具有适合生物生存的天然优势, 对于增强生物多样性具有积极作用。人类活动和全球气候变化降低了森林抵抗能力, 加速了生物栖息地的退化, 威胁着森林的可持续发展。因此, 保护森林生态系统对于生态平衡至关重要, 森林地面和表层土壤为土壤动物提供丰富的食物, 是土壤动物主要的栖息地。

土壤动物作为森林生态系统的组成部分, 其多样性和功能群在一定程度上可以反映环境的变化^[3-4]。土壤节肢动物在土壤动物中占较大比例, 它通过生物和非生物的相互作用对地面生态系统产生反馈, 调节生态系统的过程^[5-7]。大量研究表明土壤动物群落对海拔高度、季节变化较为敏感^[8-10], 且以往对森林动物进行的相关研究主要集中在凋落层和土壤0~20 cm层。土壤动物可以稳定、综合地响应各环境因子的变化, 具有一定的生物指示作用^[11]。土壤元素属于土壤中的移动性养分, 不以固定形态或储存形态存在, 能够维持土壤渗透压, 加快代谢以及为地面输送养分, 进而影响土壤动物的分布^[12]。温辉辉等人^[13]研究发现在森林生境中, 凋落物层N、K含量较高的树种可能有利于提升土壤动物群落多样性; 林青霞等人^[14]研究发现白桦林中小型土壤动物总密度与土壤有机质质量分数呈显著正相关; 王壮壮等人^[15]研究发现TP和AP是影响热振森林土壤动物群落的主要环境因子。不同森林生境的土壤动物群落组成不同, 对环境因子的响应也不同。因此, 研究土壤动物对环境因子的响应至关重要。

新疆远离海洋, 形成了干旱独特的自然地理环境。森林面积达831.33万公顷, 森林覆盖率为5.05%, 主要集中在天山和阿尔泰山原始森林, 植被以西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*)、雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)为

[收稿日期] 2024-09-12

[修回日期] 2024-10-29

[基金项目] 第三次新疆综合科学考察项目(2022xjkk0405); 2022年度伊犁师范大学高级别培育项目(YSPY2022009)。

[作者简介] 刘江慧(1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤生态学方面研究, E-mail: 1340125515@qq.com.

* [通讯作者] 崔东(1984-), 男, 教授, 主要从事土壤生态学方面研究, E-mail: cuidongw@126.com.

主。雪岭云杉根系发达,公顷蓄积量超过 300 m³,为新疆伊犁哈萨克自治州水土保持提供了重要的天然屏障。随着自然保护区的建立,有针对性的保护措施维持了雪岭云杉树种的健康状态,有效缓解了自然资源消退和退化的趋势,实现了对动物生存空间、栖息地的大规模保护,提高了生态保护效能。但近年来,雪岭云杉存在幼苗存活困难、苗期生长缓慢、易感染病虫害等问题,树木生长出现部分衰退^[16]。基于此,本研究以研究区 7 月(夏季)、9 月(秋季)不同海拔高度(1414m、1595m、1724m、1868m)土壤中型节肢动物为研究对象,探索不同海拔高度下群落组成、类群数、多样性指数等变化,旨在深入了解土壤动物与环境因子之间的生态联系,进而为雪岭云杉保护区可持续发展和生物多样性保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地选择

研究区位于新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州巩留县库尔德宁镇(43°03'~43°15'N,82°51'~83°06'E),雪岭云杉森林覆盖率为 32%。研究区在一条南北走向的山间阔谷,与伊犁哈萨克自治州的東西走向不同,特殊的南北走向使得当地气候条件独特而优越,年平均温度为 5~7℃,平均年降水量为 600~800 mm,年平均相对湿度在 70% 以上。研究区内存有准噶尔山楂(*Crataegus songarica*)、野杏(*Prunus armeniaca* L.)、桦树(*Betula*)等植被。样地选择在研究区一个连续山体上,且均在山体北坡。根据海拔高度,共设置 S1、S2、S3、S4 四个样地(表 1)。

表 1 研究区基本信息表

编号	海拔(m)	郁闭度	经纬度	牛羊群放牧程度	林下植被盖度
S1	1414	0.90	82°47'27''E 43°11'36''N	弱	7月 0.85;9月 0.80
S2	1595	0.70	82°49'51''E 43°08'44''N	强	7月 0.75;9月 0.60
S3	1724	0.45	82°49'16''E 43°07'25''N	弱	7月 0.50;9月 0.30
S4	1868	0.25	82°48'56''E 43°06'04''N	弱	7月 0.30;9月 0.25

1.2 样品采集

2021 年 7 月、9 月,四个海拔均采用“品”字采样法采集土壤样品。每个海拔高度随机选取 3 个 5 m × 5 m 的样地作为平行样,平行样之间间隔 10 m;同时在平行样内设置 10 cm × 10 cm 的土壤样方,分别采集凋落物层、0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 土样,装袋回实验室进行分离。采用干漏斗法进行分离,分离后的动物放置于 75% 酒精进行保存。采用体视显微镜鉴定土壤动物,鉴定参考书目有《昆虫分类》^[17]《土壤动物学》^[18]等。同时依据《土壤农化分析》^[19]测定有机质、全氮、全磷、全钾、硝态氮、铵态氮、速效磷、速效钾、pH 值等。

1.3 数据处理

根据功能类群不同,将土壤动物划分为杂食性(*Omnivore*, *Om*)、腐食性(*Saprophyte*, *Sa*)、植食性(*Phytophage*, *Ph*)、捕食性(*Predator*, *Pr*),计算出各功能类群所占比例。

采用 Excel 2010、SPASS 22.0 完成数据统计及计算,用 Origin 2021、Canoco 5 作图。为了探究中型节肢动物在不同海拔、不同季节的类群数、个体数、多样性指数的差异性,使用单因素方差分析来比较同季节不同海拔之间的显著性,使用独立样本检验比较不同季节同海拔之间的显著性。采用 Pearson 相关性分析土壤理化因子与土壤中型节肢动物多样性指数之间的关系。采用冗余分析来探究土壤理化因子和土壤中型节肢动物之间的关系。

表2 不同季节中型节肢动物群落组成

序号	土壤动物类群	夏季		秋季		功能群
		多度	优势度(%)	多度	优势度(%)	
1	甲螨亚目 <i>Oribatida</i>	1588	44.52	2622	33.84	<i>Sa</i>
2	蚜总科 <i>Aphididae</i>	286	8.02	2966	38.29	<i>Ph</i>
3	辐螨亚目 <i>Actinedida</i>	463	12.98	621	8.01	<i>Sa</i>
4	革螨亚目 <i>Gamasida</i>	205	5.75	222	2.87	<i>Sa</i>
5	绦跳虫科 <i>Entomobryidae</i>	9	0.25	23	0.30	<i>Sa</i>
6	长角跳虫 <i>Entomobryidae</i>	88	2.47	96	1.24	<i>Sa</i>
7	等节跳虫科 <i>Isotomidae</i>	354	9.92	397	5.12	<i>Sa</i>
8	鞘翅目幼虫 <i>Coleoptera Larvae</i>	66	1.85	68	0.88	<i>Ph</i>
9	鳞跳虫科 <i>Tomoceridae</i>	51	1.43	88	1.14	<i>Sa</i>
10	圆跳虫科 <i>Sminthuridae</i>	5	0.14	4	0.05	<i>Sa</i>
11	棘跳虫科 <i>Onychiuridae</i>	170	4.77	87	1.12	<i>Ph</i>
12	双翅目幼虫 <i>Diptera Larvae</i>	30	0.84	43	0.56	<i>Ph</i>
13	球角跳虫科 <i>Hypogastruridae</i>	142	3.98	291	3.76	<i>Sa</i>
14	露尾甲科 <i>Nitidulidae</i>	3	0.08	0	0.00	<i>Sa</i>
15	小蜂总科 <i>Chalcidoidea</i>	6	0.17	8	0.10	<i>Om</i>
16	隐翅虫科 <i>Staphylinidae</i>	13	0.36	30	0.39	<i>Pr</i>
17	山跳虫科 <i>Pseudachortidae</i>	1	0.03	0	0.00	<i>Sa</i>
18	地蜈蚣科 <i>Geophilidae</i>	6	0.17	15	0.19	<i>Pr</i>
19	蕈蚊科 <i>Mycetophilidae</i>	9	0.25	2	0.03	<i>Om</i>
20	叶蝉科 <i>Cicadellidae</i>	1	0.03	0	0.00	<i>Ph</i>
21	蚊科 <i>Formicidae</i>	2	0.05	0	0.00	<i>Om</i>
22	毛蚊科 <i>Bibionidae</i>	1	0.03	1	0.01	<i>Pr</i>
23	盲蛛目 <i>Phalangida</i>	1	0.03	1	0.01	<i>Pr</i>
24	网蝽科 <i>Tingidae</i>	1	0.03	0	0.00	<i>Ph</i>
25	石蜈蚣科 <i>Lithobiidae</i>	5	0.14	3	0.04	<i>Pr</i>
26	线蚓科 <i>Enchytraeidae</i>	18	0.50	32	0.41	<i>Sa</i>
27	蜘蛛目 <i>Araneida</i>	10	0.28	5	0.65	<i>Pr</i>
28	象甲科 <i>Curculionidae</i>	2	0.06	0	0.00	<i>Ph</i>
29	么蚣科 <i>Scolopendrellidae</i>	16	0.45	42	0.54	<i>Sa</i>
30	蓟马科 <i>Thripidae</i>	5	0.14	36	0.46	<i>Om</i>
31	虎甲科 <i>Cicindelidae</i>	1	0.03	0	0.00	<i>Pr</i>
32	步甲科 <i>Carabidae</i>	2	0.06	7	0.09	<i>Pr</i>
33	蚁科 <i>Culicidae</i>	1	0.03	0	0.00	<i>Om</i>
34	球马陆科 <i>Glomeridae</i>	6	0.17	3	0.04	<i>Sa</i>
35	地么蚣科 <i>Geophilellidae</i>	0	0.00	31	0.40	<i>Sa</i>
36	叩甲科 <i>Elateridae</i>	0	0.00	1	0.01	<i>Ph</i>
37	鳞翅目幼虫 <i>Lepidoptera Larvae</i>	0	0.00	2	0.03	<i>Ph</i>
类群数		34		29		
总个体数		3567		7747		

2 结果与分析

2.1 不同季节中型节肢动物群落组成

本研究两个季节共捕获中型节肢动物 11314 只,分别隶属于 37 个类群(表 2)。夏季,优势类群为甲螨亚目、辐螨亚目,占总个体数的 57.50%;常见类群为蜉总科、革螨亚目、长角跳虫科等,共占总个体数的 38.19%;剩余的 23 个类群为稀有类群,包括露尾甲科、山跳虫科、叶蝉科、蚊科、网蝽科、象甲科、蚁科等,共占总个体数的 4.31%。秋季,优势类群为甲螨亚目、蜉总科,占总个体数的 72.13%;常见类群为辐螨亚目、革螨亚目、长角跳虫科等,共占总个体数的 23.26%;剩余的 17 个类群为稀有类群,包括鳞翅目幼虫、叩甲科、地么蚣科、辐螨亚目、球马陆科、盲蛛目、蕈蚊科等,占总个体数的 4.61%。其中,甲螨亚目、蜉总科、辐螨亚目、革螨亚目、长角跳虫科、等节跳虫科、鳞跳虫科、球角跳虫科在两个季节作为优势类群或常见类群,表明这 8 类土壤动物是本研究区域内广适性土壤动物类群。

从两个季节总的中型节肢动物群落组成百分比(图 1(a))来看,其多度以腐食性动物(65.6%)和植食性动物(32.9%)为主;其次是捕食性动物(0.9%)和杂食性动物(0.6%)。从夏季中型节肢动物群落组成百分比(图 1(b))来看,其多度以腐食性动物为主,占总多度的 82.7%,其中甲螨亚目和辐螨亚目占总多度的 44.52%、12.98%,其余依次是植食性(15.6%)、捕食性(1.1%)、杂食性(0.6%)。从秋季中型节肢动物群落组成百分比(图 1(c))来看,其多度以腐食性动物为主,占总多度的 57.7%,其中甲螨亚目占总多度的 33.84%;其次是植食性(40.9%),其中蜉总科占总多度的 38.29%;最后两个功能占比是捕食性(0.8%)、杂食性(0.6%)。

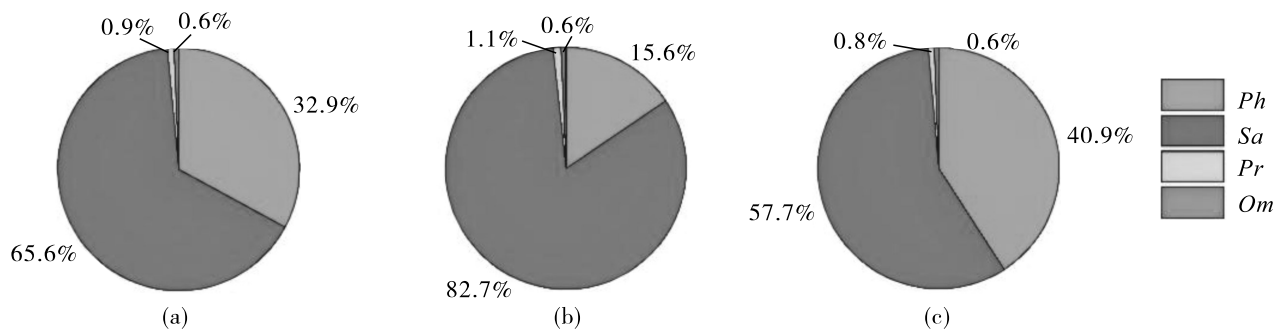


图 1 中型节肢动物功能类群群落组成百分比

注:(a)为两个季节总的占比;(b)为夏季;(c)为秋季。

2.2 不同季节中型节肢动物分布特征

2.2.1 水平分布

对雪岭云杉中型节肢动物的水平分布进行分析(图 2)可知,不同季节不同海拔高度土壤动物类群数不显著,个体数也不显著($P > 0.05$)。整体分析来看,不同样地秋季的类群数和个体数整体大于夏季,且 S4 样地的两个季节类群数和个体数最高,大于其他三个样地。

2.2.2 垂直分布

对雪岭云杉中型节肢动物的垂直分布进行分析(图 3)可知,夏季土壤动物类群数随着土层的增加而递减,且凋落物的类群数显著大于 10~15 cm ($P < 0.05$,下同),而秋季的类群数在 0~15 cm 随土层的增加而递减,且在 0~5 cm 的类群数显著大于在 10~15 cm 的类群数。夏季土壤动物个体数随着土层的增加而递减,且凋落物层的个体数显著低于在 5~10 cm、10~15 cm 的类群数,而在 5~10 cm、10~15 cm 之间的类群数无显著性关系。秋季的个体数在 0~15 cm 随着土层的增加而递减,且在 0~5 cm 的个体数显著大于其他土层,其他土层之间的个体数无显著性关系。秋季在 0~5 cm、5~10 cm 的个体数显著高于夏季。整体来看,不同土层秋季的类群数和个体数高于夏季。

2.3 不同季节中型节肢动物群落多样性特征

对雪岭云杉不同季节中型节肢动物的多样性指数进行分析(图 4)可知,多样性指数在夏季 S4 最高,在秋季 S4 最低,不同月份同海拔高度的多样性指数之间无显著性关系($P > 0.05$)。均匀度指数在秋季 S3 最高,

在秋季S4最低,且秋季的S4显著低于S3($P < 0.05$)。优势度指数在秋季S4最高,S3最低,且夏季S1显著低于秋季S1($P < 0.05$)。丰富度指数在夏季S4最高,S2最低,不同月份、不同海拔高度的丰富度指数之间无显著性关系($P > 0.05$)。

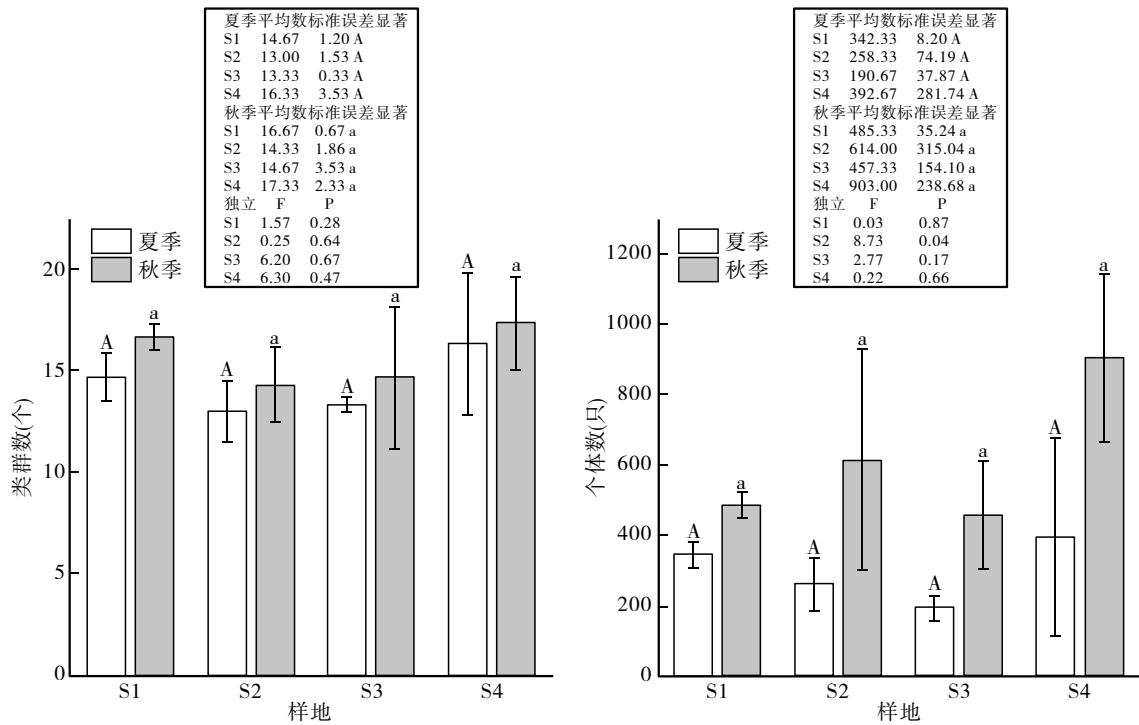


图2 不同海拔高度中型节肢动物类群数与个体数

注:大写、小写字母分别表示夏季、秋季不同样地间差异显著($P < 0.05$),下同。

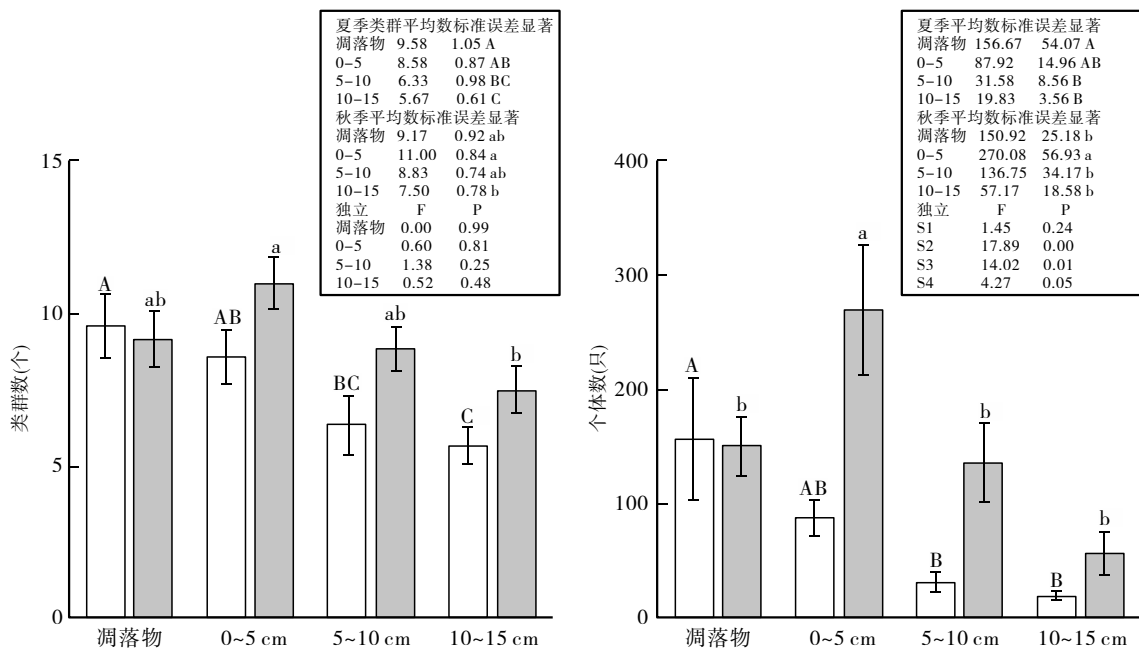


图3 不同土层中型节肢动物类群数与个体数

2.4 不同季节土壤中型节肢动物与环境因子的关系

2.4.1 土壤环境因子与多样性指数相关性分析

由夏季中型节肢动物多样性指数与土壤环境因子相关性分析(图5)可知,全磷与多样性指数、丰富度指数呈显著正相关($P < 0.05$,下同),与优势度指数呈显著负相关;全钾与多样性指数呈显著正相关,与优势度

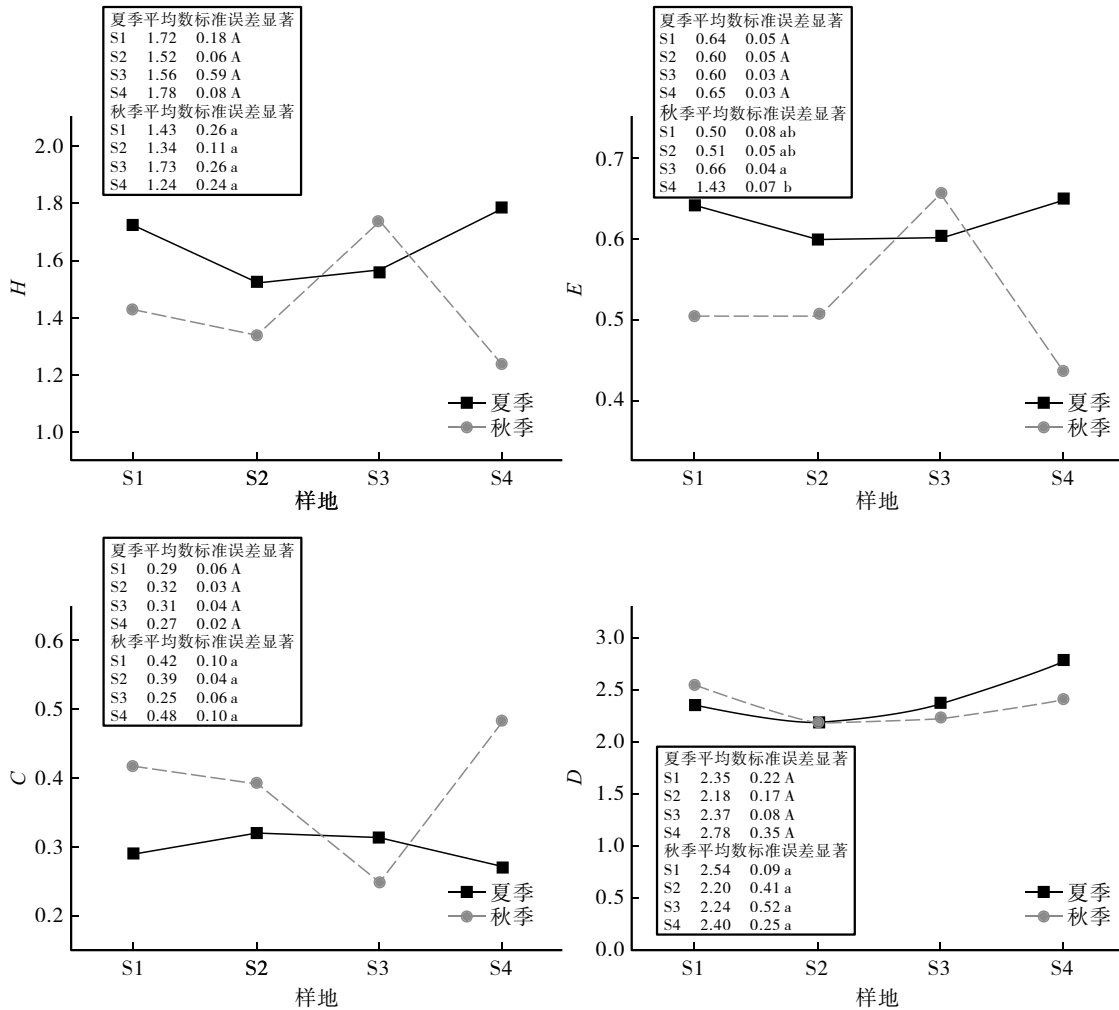


图4 不同季节对中型节肢动物多样性指数的影响

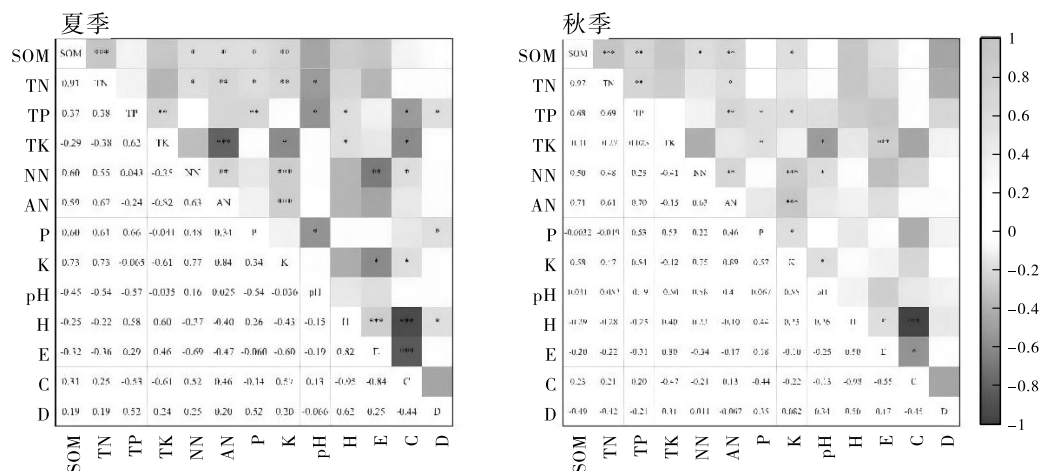


图5 土壤环境因子与多样性指数的相关性分析

注:*, **, ***分别代表 $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$ 。

指数呈显著负相关;硝态氮与优势度指数呈显著正相关,与均匀度指数呈显著负相关;速效磷与丰富度指数呈显著正相关;速效钾与优势度指数呈显著正相关,与均匀度指数呈显著性负相关。由秋季中型节肢动物多样性指数与土壤环境因子相关性分析可知,全钾与均匀度指数呈极显著正相关($P < 0.001$)。

2.4.2 中型节肢动物与土壤环境因子的关系

夏季中型节肢动物与土壤环境因子的RDA结果表明(图6),所有轴累计解释了物种信息组成的

84.09%。铵态氮是影响土壤动物群落的主要环境因子($P < 0.05$),优势类群甲螨亚目、辐螨亚目与铵态氮呈正面效应,且甲螨亚目与铵态氮相关性更强;蛭总科与铵态氮呈负面效应。秋季中型节肢动物与土壤环境因子的RDA结果表明,所有轴累计解释了物种信息组成的84.76%。全磷是影响土壤动物群落的主要环境因子($P < 0.05$),优势类群甲螨亚目、蛭总科与全磷呈正面效应,且甲螨亚目对全磷相关性更强。

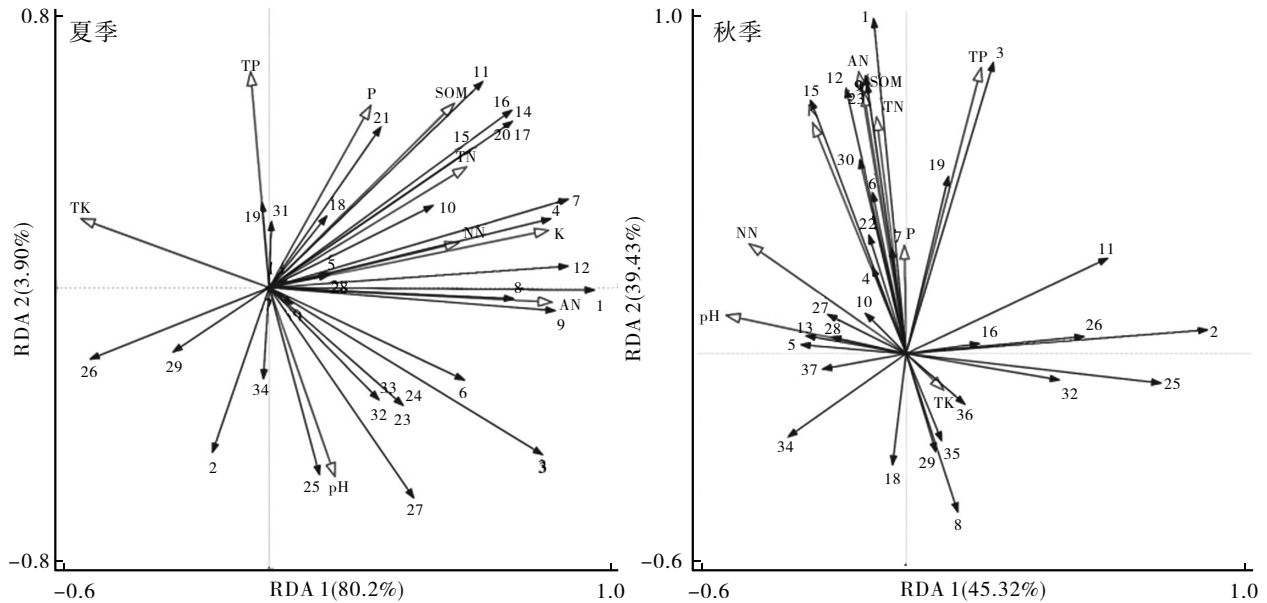


图6 中型节肢动物与土壤环境因子的RDA分析图

注:数字代表与表1序号对应的土壤动物。

3 结果

3.1 不同季节中型节肢动物分布特征

对雪岭云杉林中型节肢动物功能类群的研究结果表明,研究区主要以腐食性和植食性土壤动物为主,这与白燕娇等人^[20]、伍一宁等人^[21]的研究结果一致。跟夏季相比,秋季的腐食性动物占比降低,植食性动物占比升高,出现这一现象的原因可能是随着时间的推移,植物进入成熟期,为植食性土壤动物提供了丰富的食物来源,植食性土壤动物的个体数量增多,导致土壤动物功能类群结构改变,这与本研究区两个季节土壤动物的优势类群不同相一致。在秋季,雪岭云杉土壤动物中蛭总科数量增多,成为优势类群,可能加剧雪岭云杉病虫害程度。

研究区不同季节土壤动物的分布特征存在差异。夏季和秋季共有土壤动物类群数为26类,夏季特有的类群数为8类,秋季特有的类群数为3类,表明群落结构分布存在动态变化。在四个海拔高度中,秋季土壤动物类群数、个体数高于春季,这可能是由于随着生物残体的增加,其逐渐形成腐殖质和有机质,增加了土壤外源有机碳,改变了土壤性质,同时阻碍了土壤表面水分蒸发,有利于土壤动物聚集分解和繁殖。随着海拔高度攀升,类群数和个体数变化不显著,这与肖能文等人^[22]的研究结果不同,这可能与研究区本身的环境存在差异有关。随着土壤深度增加,获得地表植被的有机质含量减少,土体受到的压力增大,使得土壤孔隙变小且更加紧实,不利于土壤动物生存,呈现出类群数和个体数递减趋势。夏季的类群数和个体数均在凋落物层最多,而秋季的类群数和个体数均在0~5 cm土层存在最多,出现这种现象的原因可能是夏季是土壤动物大量繁殖的时节,需要汲取地上生态系统丰富的营养物质来生长。随着养分消耗,土壤动物逐渐下移渗透,以便汲取更多的养分,使得动物垂直分布发生改变。

3.2 不同季节中型节肢动物多样性分布特征

夏季研究区温度升高,降水量增加,土壤肥力逐渐增加,植物根系汲取土壤养分速率加快,土壤微生物活力升高^[23],生物体生长迅速,进入最佳生长期。夏季海拔高度1868 m处丰富度指数最高,这表明高海拔土壤动物生态环境较稳定,生态功能较完善,能够给予土壤动物优越的栖息地和丰富的食物资源;而海拔高度

1595 m处丰富度指数最低,这与该样地放牧程度强有关。秋季海拔高度1868 m处多样性指数和均匀度指数最低,优势度指数最高,这与李晓东等人^[24]的研究结果一致。出现这种现象的原因,一方面可能是秋季研究区温度降低,降水量减少,植被出现部分凋谢。由于凋落物分解时间较长,极大限制了土壤动物的活动区域,因此,土壤动物为储蓄更多的生物量越冬而呈现出物种竞争激烈的趋势;另一方面是该样地土壤有效持水量较好^[25]、坡度小,利于雪岭云杉生长;随着海拔高度的攀升,环境条件愈发恶劣,限制了土壤动物间化学信号的传递,使得适应性强的单一土壤动物数量增长,因此土壤动物群落具有组成简单、物种个体数分布不均匀、集中程度低特征。

3.3 不同季节中型节肢动物多样性对环境因子的响应

由不同季节的土壤理化性质与多样性指数相关性研究可知,夏季多样性指数分别与全磷、全钾、铵态氮、速效钾、速效磷呈现不同程度的相关性,而秋季只有均匀度指数与全钾呈显著正相关,这表明土壤理化因子对土壤动物多样性指数的影响存在明显季节变化,且土壤全钾含量越高,土壤动物分布越均匀,调节土壤渗透压的贡献越大。韩慧莹等人^[26]认为,全效养分和速效养分对土壤动物的影响较大。RDA分析显示,铵态氮是影响夏季土壤动物群落的主要环境因子,全磷是影响秋季土壤动物群落的主要环境因子。这两种环境因子与土壤有机质、全氮均呈显著正相关,这可能是因为土壤有机质含有生物体生长所需的各种养分,土壤氮元素、磷元素均来源于生物体分解有机质、岩石风化等作用^[27-28]。甲螨亚目与两种主要环境因子具有较强的趋向性,有利于其生存繁殖,这可能是因为研究区优势类群甲螨亚目分解有机质速率越快,土壤氮、磷元素越高,为其生长发育提供了养分。夏季蚜总科与铵态氮呈负面效应,而秋季与全磷呈正面效应,这表明N元素对蚜虫总科的繁殖有抑制作用,P元素随着其生长繁殖需求增加,与雪岭云杉森林生境之间形成了适应机制。

4 结论

在雪岭云杉森林生态系统中,中型节肢动物在时空分布上存在差异。土壤理化因子对土壤动物多样性指数的影响存在明显季节变化,使得土壤动物与雪岭云杉森林生境之间形成了适应机制。本研究初步探究了库尔德宁雪岭云杉土壤动物群落组成和分布现状,为后续保护资源提供基础数据和理论参考。

参考文献:

- [1] MIURA S, AMACHER M, HOFER T, et al. Protective Functions and Ecosystem Services of Global Forests in the Past Quarter-century[J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 352: 35-46.
- [2] ZHAI J J, WANG L, LIU Y, et al. Assessing the Effects of China's Three-north Shelter Forest Program over 40 Years[J]. *The Science of the Total Environment*, 2022, 857(01): 159354-159354.
- [3] HASKELL G D. Effects of Forest Roads on Macroinvertebrate Soil Fauna of the Southern Appalachian Mountains[J]. *Conservation Biology*, 2000, 14(01): 57-63.
- [4] XU G, ZHANG Y, ZHANG S, et al. Biodiversity Associations of Soil Fauna and Plants Depend on Plant Life Form and are Accounted for by Rare Taxa along an Elevational Gradient[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, 140: 107640.
- [5] CULLINEY W T. Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility[J]. *Agriculture*, 2013, 3(04): 629-659.
- [6] YU T, YANG W Q, NI X Y, et al. Soil Fauna Affects the Optical Properties in Alkaline Solutions Extracted (Humic Acid-Like) from Forest Litters During Different Phenological Periods[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2019, 99(02): 195-207.
- [7] ELMQUIST C D, KAHL B K, JOHNSONMAYNARD L J, et al. Linking Agricultural Diversification Practices, Soil Arthropod Communities and Soil Health[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2023, 60(09): 1952-1963.
- [8] 刘淑琪, 崔东, 刘文新, 等. 新疆西天山雪岭云杉林不同海拔高度大型土壤动物群落结构特征[J]. *土壤通报*, 2023, 54(05): 1117-1127.
- [9] 臧建成, 宋美成, 黄智, 等. 西藏色季拉山(阳坡)不同海拔土壤动物群落多样性时空分布特征[J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(05): 189-199.
- [10] 周育臻, 吴鹏飞. 贡嘎山东坡森林小型土壤节肢动物群落多样性与时空分布[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(02): 586-599.
- [11] 李志强, 柯云玲, 班大雄, 等. 白蚁生物多样性及其对生态环境变化的指示作用[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(02): 557-561.
- [12] 王丙磊, 王冲, 刘萌丽. 蚯蚓对土壤-植物系统生态修复作用研究进展[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(06): 2259-2266.

- [13] 温辉辉,吴福忠,张慧玲,等. 亚热带森林不同树种下土壤动物群落结构特征[J]. 应用生态学报,2023,34(10):2797-2804.
- [14] 林青霞,张化永,黄头生,等. 冀北山地白桦林中小型土壤动物群落格局[J]. 东北林业大学学报,2023,51(02):97-103.
- [15] 王壮壮,李天顺,朱时应,等. 热振森林大型土壤动物群落特征及其影响因素[J]. 中国环境科学,2022,42(07):3392-3402.
- [16] 杜海燕. 天山雪岭云杉接种菌根真菌后对氮磷添加的响应[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [17] 郑乐怡,归鸿. 昆虫分类[M]. 南京:南京师范大学出版社,1999.
- [18] 青木淳一. 土壤动物学[M]. 东京:北隆馆,1973.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [20] 白燕娇,李义学,刘任涛,等. 干旱绿洲区枸杞林地面节肢动物功能群结构季节分布特征[J]. 生态学报,2022,42(15):6239-6249.
- [21] 伍一宁,许楠,王贺,等. 模拟CO₂浓度升高对三江平原中小型土壤动物多样性和功能群结构的影响[J]. 草业科学,2019,36(06):1641-1652.
- [22] 肖能文,刘向辉,戈峰,等. 高黎贡山自然保护区大型土壤动物群落特征[J]. 生态学报,2009,29(07):3576-3584.
- [23] 刘巧娟,张之松,满秀玲,等. 寒温带多年冻土区不同林龄白桦林土壤酶活性动态特征[J]. 东北林业大学学报,2024,52(03):125-131.
- [24] 李晓东,史沉鱼,覃国乐,等. 濒危植物单性木兰林区土壤动物群落结构与季节动态[J]. 华中农业大学学报,2015,34(04):20-26.
- [25] 房园,梁中,张毓涛,等. 天山云杉森林生态系统的水源涵养能力海拔梯度变化特征[J]. 生态环境学报,2023,32(09):1574-1584.
- [26] 韩慧莹,殷秀琴,寇新昌. 长白山地低山区土壤动物群落特征及其对环境因子变化的响应[J]. 生态学报,2017,37(07):2197-2205.
- [27] 王嘉瑞,周俊菊,朱国锋. 中国土壤碳氮磷及生态化学计量研究综述[J]. 生态学杂志,2024,43(08):2493-2501.
- [28] 吴聪,刘海平,谢佳燕,等. 雅鲁藏布江流域原生动动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 武汉大学学报(理学版),2022,68(06):621-634.

Characteristics of Medium-sized Arthropod Community Structure in Soils of *Picea Schrenkiana* at Different Seasons in West Tianshan Mountains of Xinjiang

LIU Jiang-hui^{1,2}, CUI Dong^{1,3*}, LIU Shu-qi^{1,3,4}

(1. Institute of Resources and Ecology, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China;

2. College of Biological Sciences and Technology, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China;

3. School of Resources and Environment, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China;

4. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning, 110866, China)

Abstract: In order to deeply understand the ecological relationship between the characteristics of medium-sized arthropod community and soil physical and chemical properties in different seasons, and provide theoretical basis for the maintenance and sustainable development of forest habitat of *Picea schrenkiana*, in summer and autumn, in 2021, the soil animals of *Picea schrenkiana* at four altitudes (1414m, 1595m, 1724m and 1868m) in Kurdening were sampled, and the effects of different altitudes on the characteristics of soil animal community were analyzed. The results show that with the increase of altitude gradient, the number of groups and individuals of soil animals did not change significantly, vertical distribution shows different degrees of surface aggregation characteristics. The diversity index of soil animals in the two seasons showed different degrees of correlation with environmental factors. The higher the total potassium content in soil, the more uniform the distribution of soil animals, and the greater the contribution to regulating soil osmotic pressure. RDA analysis shows that ammonium nitrogen and total phosphorus are the main environmental factors affecting soil animal communities in different seasons, which makes the soil animals between the dominant groups and the forest habitat of *Picea schrenkiana*.

Keywords: *Picea schrenkiana*; Season; Soil animals; Community characteristics; Environmental factor