

伊犁河谷白喉乌头土壤动物群落结构特征

吕立琴^{1,2}, 崔东^{1,2*}, 刘文新^{1,2}, 刘璇^{1,2}, 孜尼哈儿·祖努尼江^{1,2}, 刘淑琪^{1,2},
武玉鑫^{1,2}, 黄菊英^{1,2}

(1. 伊犁师范大学资源与环境学院, 新疆 伊宁 835000; 2. 伊犁师范大学资源与生态研究所,
新疆 伊宁 835000)

摘要:【目的】研究毒害草白喉乌头土壤动物群落结构特征和环境因子与土壤动物之间的关联,为伊犁河谷生态系统的保护提供理论基础。【方法】运用单因素方差分析、最小显著差数法、Pearson相关性分析白喉乌头土壤动物群落分布特征,及其不同土层和土壤动物的分布变化规律,探讨环境因子和土壤动物群落的关系。【结果】共获土壤动物2 593只(含大型土壤动物和中小型土壤动物),隶属于2门4纲15目;优势类群为甲螨亚目和球角跳虫科。白喉乌头大型土壤动物分布出现逆分布现象,中小型土壤动物分布呈表聚性;其群落分布存在季节动态变化;其土壤动物群落与土壤环境因子有机质、全氮、全钾、铵态氮、速效磷、速效钾和pH值有关,其中有机质、全氮与土壤动物群落的相关性较大。【结论】大型土壤动物和中小型土壤动物分布存在差异性,且土壤动物一定程度上受白喉乌头分布的影响。

关键词:土壤动物;群落多样性;白喉乌头;土壤环境

中图分类号:S154 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)06-0017-09

DOI:10.13817/j.cnki.cyyep.2023.06.003



土壤动物,广义指凡是生活史中的一个时期(或季节中某一时期)接触土壤表面或者在土壤中生活的动物;狭义指生活史全部时期都在土壤中生活的动物^[1]。其通过自身活动制造土壤养分、促进物质循环及稳定生态系统,是陆地生态系统重要组成部分^[2-3]。土壤动物作为消费者和分解者,与土壤理化因子及地表植物的关系千丝万缕,可影响到地表植物群落的组成、生长速度,在土壤生态系统中起着重要的作用^[4-5]。目前,国内外土壤动物研究已经遍布森林^[6]、农田^[7]、草原^[8]等生态系统及高山林草交错区,国内的研究区域横跨热带、亚热带以及温带地区^[9],但对西部地区如新疆、西藏等地土壤动物群落结构的研究至今为止较少。

新疆维吾尔自治区作为中国占地面积最大的地区,自然资源较为丰富,畜牧业较为发达。最近几年,因过度放牧和全球变暖等因素的影响,优质牧草严重退化,毒害草大量滋生。白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)为毛茛科乌头属多年生草本植物,该植株繁殖强、扩散强且具有乌头生物碱,可危害动物健康,制约畜牧业的发展。目前对白喉乌头的研究主要集中于空间分布^[10]、防除措施^[11]、化感作用^[12-13]、根际微生物^[14]及遗传特性^[15]。而以往对新疆土壤动物的研究主要集中在阜康绿洲^[16]、艾比湖流域^[17]和雅玛里克山^[18]等不同生境土壤动物群落结构,对毒害草根际土壤动物群落的研究较少。本研究拟通过调查白喉乌头土壤动物群落特征,分析土壤理化性质和土壤动物群落变化关系,为草地生态恢复提供理论依据。

收稿日期:2022-11-01; **修回日期:**2023-10-04

基金项目:2022年度伊犁师范大学高级别培育项目
(YSPY2022009)

作者简介:吕立琴(1997-),女,江苏盐城人,硕士研究生。

E-mail:lvliqin0917@126.com

*通信作者。E-mail:cuidongw@126.com

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区域位于西天山国家级自然保护区,地理位置N 43°03', E 82°51',海拔1 839 m。该地区属温带

大陆性气候,但受到大西洋和里海暖湿气流的影响,年均降水量为550~700 mm。其三面环山,具有明显的山地气候特征。日照长,昼夜温差大,年平均温度5~7℃,年平均蒸发量为1 100~1 200 mm,年平均相对湿度70%,年均无霜期120 d^[19]。

1.2 野外调查取样

通过调查和实地考察,在水分、温度、坡度相差甚小的情况下选取一块样方,每个样地按“品”字分别设置3块重复样,每个重复样以5 cm为梯度,以表层土为第1层,垂直方向上取4层土层,其中大型土壤动物的取样面积为25 cm × 25 cm,中小型土壤动物的取样面积为10 cm × 10 cm。

同理,每个植被样地设置3块重复样,每个重复样以5 cm为梯度,以表层土为第1层,垂直方向上取4层土层,每层土层取少量土壤,同一块地3块重复样相对应土层的土壤混合均匀,将其带回实验室。

1.3 土壤动物的分离与鉴定

大型土壤动物采用手拣法^[2];中小型土壤动物采用干漏斗(*Tullgren*)分离。大型土壤动物和中小型土壤动物均放在含75%酒精的小瓶里,用体视显微镜对土壤动物进行鉴定、分类和统计。鉴定参考的书目主要有《中国土壤动物图鉴》^[20]。

1.4 土壤理化性质的测定

采集的土壤样品将同一生境的重复土样充分均匀混匀后,经风干、过网筛处理后,测定其土壤理化性质。以下测定方法均参考《土壤农化分析》^[21]。

有机质含量采用重铬酸钾容量外加热法;全氮含量采用高氯酸硫酸消化法;全磷含量采用高氯酸硫酸溶钼锑抗比色法;全钾含量采用高氯酸硫酸溶原子吸收法;硝态氮、铵态氮含量采用0.01 M氯化钙浸提;速效磷含量采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法;速效钾含量采用乙酸铵浸提原子吸收法;pH值用FiveEasy Plus pH计测定。

1.5 数据分析

对白喉乌头土壤动物群落进行多样性分析^[22],公式如下:

$$\text{多样性指数}(H'): H' = -\sum_{i=1}^s Ni/N \times \ln(Ni/N)$$

$$\text{均匀度指数}(e): e = H'/\ln S$$

$$\text{优势度指数}(C): C = \sum (Ni/N)^2$$

$$\text{丰富度指数}(D): D = (S - 1)/\ln N$$

式中: N 群落中所有类群的总个体数, N_i 第*i*个类群的个体数, S 类群数。

用Excel 2010对数据进行整理,用SPSS 25.0中的单因素方差分析、最小显著差数法、Pearson相关性对数据进行分析,绘图采用Excel 2010。

2 结果与分析

2.1 土壤动物的群落组成和密度

春、夏、秋季节在西天山自然保护区共捕获土壤动物2 593只,隶属于2门4纲15目;优势类群为甲螨亚目、球角跳虫科,分别占49.17%、11.80%;常见类群8类,正蚓科、蕈蚊科和蚜总科等共占33.94%;剩余的25类均为稀有类群,占5.09%。春季捕获土壤动物17类,共303只;优势类群为甲螨亚目,占55.78%;常见类群12类,正蚓科、鞘翅目幼虫和蚜总科等共占42.90%;剩余的4类为稀有类群,占1.32%。夏季捕获土壤动物25类,共748只;优势类群为甲螨亚目、等节跳虫科和球角跳虫科,分别占28.48%、16.04%和21.26%;常见类群为正蚓科、甲螨亚目、革螨亚目、长角跳虫科、棘跳虫科、圆跳虫科,分别占4.68%、5.75%、4.01%、7.22%、6.15%、1.47%;剩余的16类为稀有类群,共占4.94%。秋季捕获土壤动物22类,共1 542只;优势类群为甲螨亚目、革螨亚目、球角跳虫科,分别占57.91%、13.10%、11.48%;常见类群为革螨亚目、长角跳虫科,分别占7.52%、5.12%;剩余的17类为稀有类群,共占4.87%。

共捕获大型土壤动物13类,为2门3纲10目;优势类群2类,正蚓科、鞘翅目幼虫分别占64.00%、13.00%;剩余常见类群11类,共占33.00%;无稀有类群。春季共捕获土壤动物4类,共26只;正蚓科、鞘翅目幼虫分别占56.69%、34.62%,占绝对优势;步甲科、蚁科为常见类群,分别占3.85%、3.85%;无稀有类群。夏季捕获土壤动物9类,共44只;优势类群为正蚓科,占79.55%;剩余常见类群8类,共占20.45%。秋季捕获土壤动物8类,共30只;优势类群正蚓科、步甲科和蜘蛛目,分别占46.67%、16.67%、13.33%;剩余常见类群5类,共占23.33%。

共捕获中小型土壤动物22类,为2门4纲12目。

甲螨亚目、球角跳虫科分别占 51.14%、12.27%，占绝对优势。7 类常见类群占 32.73%；稀有类群 13 类，蚊科、蓟马科、蛾螬科等共占 3.86%。春季捕获土壤动物 14 类，共 277 只；甲螨亚目为优势类群，占 61.01%；双翅目幼虫和蕈蚊科等 11 类为常见类群，共占 38.26%；棘跳虫科和山跳虫科为稀有类群，占 0.73%。夏季捕获土壤动物 19 类，共 709 只；优势类群为甲螨亚目、等节跳虫科和球角跳虫科，分别占

30.26%、17.05%、22.59%；5 类常见类群占 26.13%；稀有类群 11 类，鞘翅目幼虫、缨翅目幼虫、石蜈蚣等共占 3.97%。秋季捕获土壤动物 16 类，共 1 512 只；优势类群为甲螨亚目、革螨亚目和球角跳虫科，分别占 50.06%、13.36% 和 11.71%；常见类群有辐螨亚目和长角跳虫科 2 类，分别占 7.67% 和 5.22%；稀有类群 11 类，蚜总科、棘跳虫科、蓟马科等共占 11.98%。

表 1 白喉乌头大型土壤动物群落组成

Table 1 Community composition of soil macrofauna of *Aconitum leucostomum*

类群	春季				夏季				秋季			
	个体数/只	密度/(只·m ⁻²)	占比/%	优势度	个体数/只	密度/(只·m ⁻²)	占比/%	优势度	个体数/只	密度/(只·m ⁻²)	占比/%	优势度
正蚓科	15	240	57.69	+++	35	560	79.55	+++	14	224	46.67	+++
隐翅虫科	—	—	—	—	—	—	—	—	2	32	6.67	++
步甲科	1	16	3.85	++	1	16	2.27	++	5	80	16.67	+++
鞘翅目幼虫	9	144	34.62	+++	2	32	4.55	++	2	32	6.67	++
双翅目幼虫	—	—	—	—	1	16	2.27	++	1	16	3.33	++
蚊科	1	16	3.85	++	—	—	—	—	1	16	3.33	++
蠅螬科	—	—	—	—	—	—	—	—	1	16	3.33	++
小茧蜂科	—	—	—	—	1	16	2.27	++	—	—	—	—
蝗科	—	—	—	—	1	16	2.27	++	—	—	—	—
蝉科	—	—	—	—	1	16	2.27	++	—	—	—	—
叶蝉科	—	—	—	—	1	16	2.27	++	—	—	—	—
盲蝽科	—	—	—	—	1	16	2.27	++	—	—	—	—
蜘蛛目	—	—	—	—	—	—	—	—	4	64	13.33	+++
总数	26	416	1.00		44	720	1.00		30	480	1.00	

注：+++ 优势类群(>10%)；++ 常见类群(1%~10%)；+ 稀有类群(<1%)

2.2 土壤动物群落的水平分布特征

对白喉乌头大型土壤动物的水平分布进行分析可知，不同季节大型土壤动物密度差异不显著，类群数也差异不显著。大型土壤动物夏季密度最高，秋季比春季略低(图 1-A)；秋季大型土壤运动类群数最高，春季比夏季略低(图 1-B)。

对白喉乌头中小型土壤动物的水平分布进行分析可知，不同季节中小型土壤动物密度差异不显著；春季类群数与夏季差异显著($P < 0.05$)。秋季密度最高，夏季略高于春季(图 2-A)；夏季类群数最高，春季略低于秋季(图 2-B)。

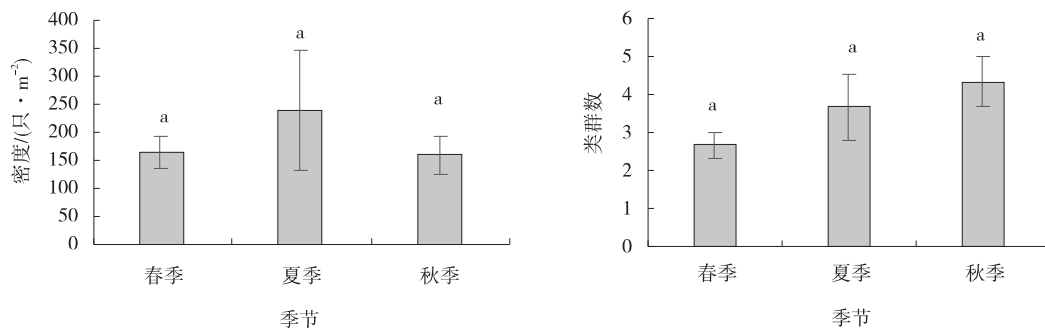


图 1 白喉乌头大型土壤动物水平分布

Fig. 1 Horizontal distribution characteristics of macro fauna of *Aconitum leucostomum*

表2 白喉乌头中小型土壤动物群落组成

Table 2 Community composition of soil meso-microfauna of *Aconitum leucostomum*

类群	春季				夏季				秋季			
	个体数/只	密度/(只·m ⁻²)	占比/%	优势度	个体数/只	密度/(只·m ⁻²)	占比/%	优势度	个体数/只	密度/(只·m ⁻²)	占比/%	优势度
甲螨亚目	169	16 900	61.01	+++	213	21 300	30.26	+++	893	89 300	59.06	+++
辐螨亚目	13	1 300	4.69	++	43	4 300	6.11	++	116	11 600	7.67	++
革螨亚目	10	1 000	3.61	++	30	3 000	4.26	++	202	20 200	13.36	+++
鞘翅目幼虫	4	400	1.44	++	5	500	0.71	+	3	300	0.20	+
隐翅虫科	5	500	1.81	++	1	100	0.14	+	2	200	0.13	+
双翅目幼虫	4	400	1.44	++	3	300	0.43	+	4	400	0.26	+
蕈蚊科	4	400	1.44	++	3	300	0.43	+	—	—	—	—
蚊科	—	—	—	—	1	100	0.14	+	—	—	—	—
长角跳虫科	—	—	—	—	54	5 400	7.67	+++	79	7 900	5.22	+++
鳞跳虫科	—	—	—	—	4	400	0.57	+	2	200	0.13	+
球角跳虫科	9	900	3.25	++	120	12 000	17.05	+++	177	17 700	11.71	+++
等节跳虫科	19	1 900	6.86	++	159	15 900	22.59	+++	4	400	0.26	+
棘跳虫科	1	100	0.36	+	46	4 600	6.53	+++	2	200	0.13	+
圆跳虫科	8	800	2.89	++	11	1 100	1.56	++	3	300	0.20	+
山跳虫科	1	100	0.36	+	—	—	—	—	—	—	—	—
线蚓科	8	800	2.89	++	2	200	0.28	+	5	500	0.33	+
蚜总科	22	2 200	7.94	++	6	600	0.85	+	10	1 000	0.66	+
石蜈蚣科	—	—	—	—	1	100	0.14	+	—	—	—	—
蓟马科	—	—	—	—	1	100	0.14	+	9	900	0.60	+
缨翅目幼虫	—	—	—	—	1	100	0.14	+	—	—	—	—
蛾蠓科	—	—	—	—	—	—	—	—	1	100	0.07	+
总数	277	27 700	1.00		704	70 400	1.00		1512	151 200	1.00	

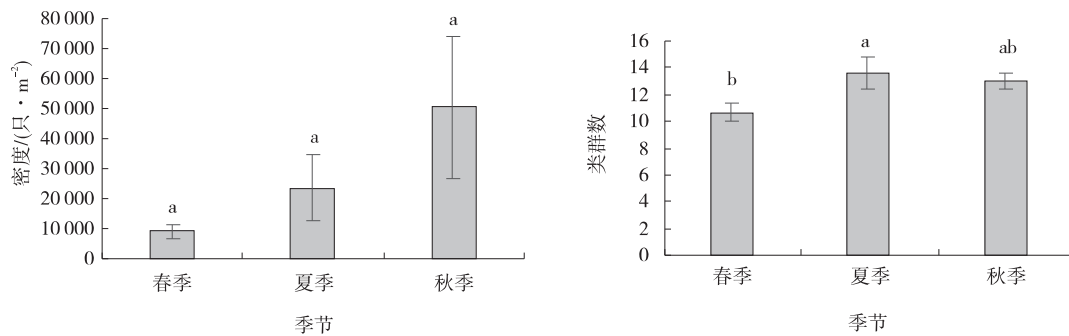


图2 白喉乌头中小型土壤动物水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution characteristics of meso-micro fauna of *Aconitum leucostomum*

注:不同小写字母表示不同季节间差异显著($P<0.05$)

2.3 土壤动物群落的垂直分布特征

对白喉乌头大型土壤动物垂直分布进行分析可知,春季在0~15 cm土层土壤动物密度随着土层增加而递进,夏季和秋季5~10 cm土层的土壤动物密度高于其他两个土层(图3-A)。春、夏季在0~15 cm土层土壤动物类群数随着土层的增加而递增,秋季则相反

(图3-B)。秋季在0~5 cm土层土物密度与其余两层差异显著($P<0.05$),该土层的类群数与10~15 cm的类群数差异显著($P<0.05$)。

对白喉乌头中小型土壤动物垂直分布进行分析可知,春、夏季在0~15 cm土层土壤动物密度随着土层增加而递减,秋季在0~5 cm土层土壤动物类群最

高。不同季节在 0~15 cm 土层中土壤动物类群数均是随着土层增加而递减,秋季在 0~5 cm 土层类群数最高。春季在 0~5 cm 土层中小型土壤动物密度、类群数均与其他两层有显著性差异($P<0.05$)。秋季在

0~5 cm 土层类群数与其他两层土层有显著性差异($P<0.05$)。春季在 10~15 cm 土层中小型土壤动物类群数、密度与秋季有显著性差异($P<0.05$),与夏季 10~15 cm 土层差异不显著。

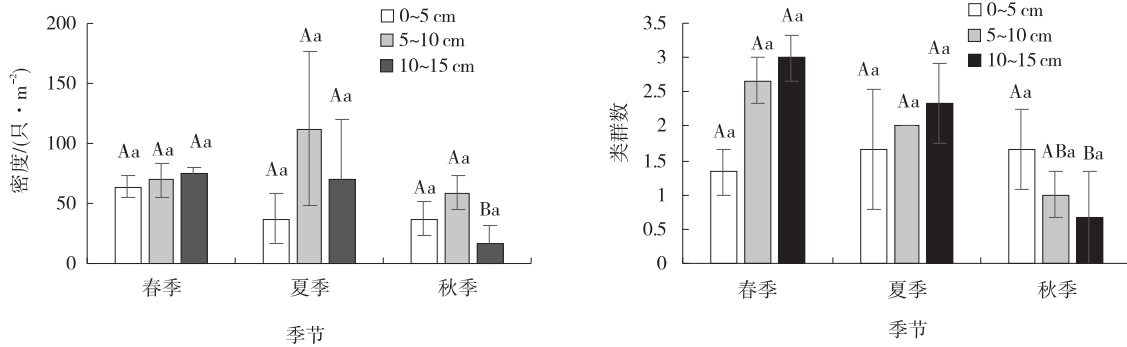


图 3 白喉乌头大型土壤动物垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution characteristics of macro fauna of *Aconitum leucostomum*

注:不同小写字母表示同土层不同季节间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示同季节不同土层间差异显著($P<0.05$)。下同

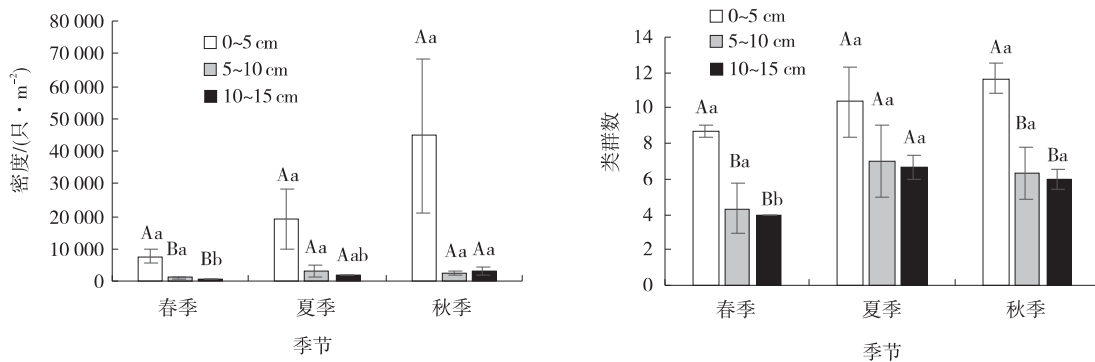


图 4 白喉乌头中小型土壤动物垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution characteristics of meso-micro fauna of *Aconitum leucostomum*

2.4 土壤动物多样性指数的特征

对白喉乌头不同季节土壤动物的多样性指数进行分析可知,Shannon 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(e)在春季最高,在秋季最低;Simpson 优势度指数(C)则相反,在秋季最高,在春季最低。Margalef 丰富度指数(D)为夏季>春季>秋季。3 个季节内 4 个指数均差异不显著(图 5)。

2.5 土壤环境因子与土壤动物群落的关系分析

对白喉乌头土壤动物群落多样性与土壤环境因子进行分析,全氮与类群数呈显著正相关($P<0.05$),铵态氮与丰富度指数呈显著正相关($P<0.05$)。类群数与速效磷、铵态氮、全钾等呈正相关(表 3)。

对白喉乌头土壤动物与土壤环境因子进行分析可知,革螨亚目、辐螨亚目、蓟马科与全氮呈极显著正相关($P<0.01$)。呈显著正相关的有蜘蛛目与全氮、

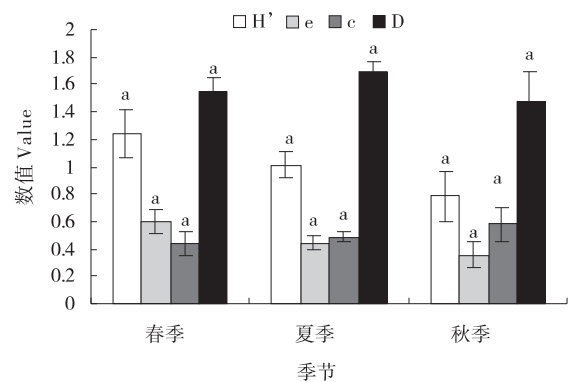


图 5 白喉乌头土壤动物的多样性指数季节变化

Fig. 5 Diversity indices of soil fauna communities in different seasons of *Aconitum leucostomum*

鞘翅目幼虫与 pH 值、速效钾与蕈蚊科、铵态氮与蕈蚊科($P<0.05$)。小茧蜂科与速效磷呈极显著正相关($P<0.01$)(表 4)。有机质与棘跳虫科、石蜈蚣、等节

跳虫科、蚊科、蝗科、蝉科、叶蝉科、盲蝽科呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与鳞跳虫科呈显著正相关 ($P < 0.05$)。全钾与棘跳虫科呈显著正相关 ($P < 0.05$) (表4)。

表3 白喉乌头土壤动物群落多样性与环境因子的相关性分析

Table 3 Correlation Coefficient between community diversity and environmental factors of *Aconitum leucostomum*

因子	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH值
类群数	0.477	0.684*	0.422	0.036	-0.236	0.168	0.109	-0.098	-0.442
个体数	0.102	0.627	0.235	-0.201	-0.287	-0.350	-0.359	-0.445	-0.298
多样性指数	-0.104	-0.549	-0.371	0.048	0.538	0.500	0.334	0.640	0.408
均匀度指数	-0.211	-0.619	-0.439	-0.002	0.544	0.381	0.235	0.58	0.476
优势度指数	0.016	0.431	0.291	-0.132	-0.419	-0.459	-0.278	-0.497	-0.195
丰富度指数	0.432	0.276	0.252	0.039	0.240	0.784*	0.654	0.626	-0.092

注:* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。下同

表4 白喉乌头土壤动物与环境因子的相关性分析

Table 4 Correlation Coefficient between soil fauna and environmental factors in the *Aconitum leucostomum*

类群	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH值
革螨亚目	-0.294	0.860**	-0.014	-0.495	-0.075	-0.393	-0.336	-0.290	-0.277
辐螨亚目	-0.045	0.857**	-0.009	-0.320	-0.088	-0.288	-0.290	-0.246	-0.357
鞘翅目幼虫	-0.211	-0.456	-0.404	-0.188	0.525	0.253	0.145	0.552	0.688*
草蚊科	0.254	-0.357	-0.018	-0.024	0.546	0.746*	0.389	0.731*	0.252
蚊科	0.823**	-0.173	0.347	0.496	-0.357	0.022	-0.140	-0.363	-0.336
鳞跳虫科	0.720*	0.076	0.181	0.307	-0.193	0.005	-0.198	-0.245	-0.327
等节跳虫科	0.834**	-0.196	0.330	0.484	-0.299	0.085	-0.107	-0.294	-0.309
棘跳虫科	0.874**	-0.163	0.535	0.698*	-0.486	0.104	-0.174	-0.427	-0.502
石蜈蚣科	0.823**	-0.173	0.347	0.496	-0.357	0.022	-0.140	-0.363	-0.336
蓟马科	-0.114	0.825**	0.129	-0.393	-0.171	-0.328	-0.264	-0.328	-0.312
小茧蜂科	0.266	0.152	0.488	0.319	-0.282	0.566	0.920**	0.196	-0.373
蝗科	0.823**	-0.173	0.347	0.496	-0.357	0.022	-0.140	-0.363	-0.336
蝉科	0.823**	-0.173	0.347	0.496	-0.357	0.022	-0.140	-0.363	-0.336
叶蝉科	0.823**	-0.173	0.347	0.496	-0.357	0.022	-0.140	-0.363	-0.336
盲蝽科	0.823**	-0.173	0.347	0.496	-0.357	0.022	-0.140	-0.363	-0.336
蜘蛛目	-0.319	0.766*	-0.275	-0.524	0.153	-0.360	-0.406	-0.110	-0.150

3 讨论

3.1 土壤动物群落结构特征

优势类群对土壤动物群落结构及环境的形成具有控制作用,是群落基本特征的重要组成部分^[23]。通过对研究区白喉乌头群落下土壤动物的研究表明,中小型土壤动物蜱螨目甲螨亚目和弹尾目球角跳虫科为优势类群,这与陈祯等^[24]、王振海等^[25]研究相一致;大型土壤动物正蚓科和鞘翅目幼虫为优势类群,分别占总个体数的64%、13%,与半干旱区草地^[26]、半干旱沙地^[27]以及内蒙古退化草原^[28]大型土壤动物优势类群存在差异。鞘翅目幼虫为植食性土壤动物,其密度与植

被密度有关;正蚓科生存在疏松且潮湿的土壤中。西天山国家保护区地处新疆,降水丰富,植被密度较高,符合优势类群的生活条件。蜱螨目和弹尾目的比值(A/C值)一般用来反映土壤动物分布特征,其值大小与生境受干扰程度有关^[29],A/C值越大代表受干扰程度越小。本研究区内牧民经常进行放牧活动,但对白喉乌头群落下土壤动物的调查结果显示,样地总共采到蜱螨目1689只,弹尾目699只,A/C值为2.4,说明本研究区域土壤动物受干扰程度较小,这与白喉乌头的生物学特性有关。白喉乌头的茎叶和根部含具有毒性的乌头碱,牲畜食用后容易中毒,故一般不主动采食^[30],因此白喉乌头群落受干扰程度较小。

3.2 土壤动物群落季节分布特征

降水、光照和温度等因素都可以影响土壤动物群落季节分布^[31]。本研究中3个季节都出现的类群数有14类,2个季节都出现的有5类,仅1个季节出现的有13类,表明白喉乌头群落下土壤动物群落分布存在季节动态变化。研究区内山区气候特征明显,温度随海拔的上升而递减。春季气温较低,植株矮小,土壤动物类群数与密度均为最低,但部分土壤动物(鞘翅目)会以幼虫形态越冬,因此春季鞘翅目幼虫个体数高于夏秋两季。大型土壤动物如小茧蜂科、蝗科、蝉科、叶蝉科、盲蝽科仅在夏季出现,而中小型土壤动物如等节跳虫个体数明显高于春、秋季,这可能与夏季气候环境有关。夏季气温上升,白喉乌头植株生长迅速,植株高而密,为土壤动物群落提供了良好的环境。秋季植株遭人为破坏而稀疏,土壤含水量较低,土壤动物如蜱螨目和弹尾目的部分科的数量达到最高,这与蜱螨目和弹尾目的生活习性相符合,二者均为旱生类群,喜欢较为干燥的生活环境。白喉乌头含有多种生物碱成分,其中的乌头生物碱对一些昆虫具有毒杀作用,常被用来防治农业病虫害^[32]。土壤动物垂直分布上一般呈表聚性特征,0~5 cm土层分布大量植物根系,土壤疏松且营养丰富,适合土壤动物生存,土壤动物数量最高。本研究中3个季节内中小型土壤动物密度和类群数均在0~5 cm土层最高,符合土壤动物表聚性的分布特征;大型土壤动物春夏季在0~5 cm土层最低,秋季分布基本呈表聚性。大型土壤动物迁移能力好,受白喉乌头群落的影响大于中小型土壤动物,后续仍需进一步研究白喉乌头化感物质对土壤动物的影响。

3.3 土壤动物群落多样性特征

多样性指数反映群落组成的复杂程度,均匀度反映各物种个体数目分配的均匀程度^[33],优势度指数反映土壤动物种类集中性^[34],丰富度指数反映群落的稳定性,4个指数可以作为评价生态环境的指标^[35]。有研究发现,单优植株群落可以通过调节微生境小气候提高土壤动物多样性^[36]。白喉乌头可以通过释放水溶性化感物质进而影响周围植物的生长,使自身占据更大的优势,成为单优植株群落^[13]。本研究中白喉乌头群落在夏季时为单优植株群落,改变了样地植物群落结构,使其生物资源发生改变,丰富了土壤动物的

食物来源,因此土壤动物丰富度指数在夏季最高,但多样性指数、均匀度指数均在春季最高,优势度指数在秋季最高,表明白喉乌头群落对土壤动物分布具有一定的影响作用。春季白喉乌头植株矮小,样地植物群落结构稳定;秋季样地遭到人为破坏,地表几近裸露,因此春季土壤动物群落复杂,秋季单一土壤动物数量较高。李晓东等^[37]发现土壤动物多样性指数与均匀度指数呈正相关关系,与优势度指数呈负相关关系,本研究与其结论一致。

3.4 土壤动物群落与环境因子的关系

入侵植物可以通过土著植物群落影响土壤动物分布,也可以通过根际分泌物等改变土壤理化性质进而影响土壤动物分布^[38]。土壤养分是土壤动物生存的必需条件,但过高或者过低的养分含量均会影响土壤动物的分布。本研究有机质、全氮与土壤动物相关性较大,有机质、全氮为土壤生物主要的碳源和氮源^[39-40],可以通过营养输入调控土壤动物分布,这也与王辉^[41]的结论相一致。其他土壤养分对土壤动物群落也有一定的影响,但其影响比有机质和全氮的影响较弱。汤建才等^[42]对土壤理化因子与川乌头中有效成分之间的关系进行了研究,发现土壤在弱酸性环境下,乌头植物根部总生物碱和主要生物碱含量较高。土壤pH值作为影响土壤肥力和作物生长的限制因素之一,pH值6.0~7.5是最适宜土壤动物生存的范围^[43]。本研究中,白喉乌头群落的pH值在6.0~7.5,其生物碱含量有所减少,适合土壤动物生存。关于白喉乌头土壤动物群落与环境因子的具体关系还需进一步研究,今后也可以从不同生境、不同入侵程度等角度出发深入探讨白喉乌头土壤动物群落与土壤理化因子之间的关系,为恢复退化草原提供理论依据。

4 结论

本研究在西天山自然保护区春、夏、秋季内的调查中共捕获土壤动物2 593只(含大型土壤动物和中小型土壤动物),隶属于2门4纲15目;优势类群为甲螨亚目和球角跳虫科。白喉乌头大型土壤动物分布出现逆分布现象,中小型土壤动物分布呈表聚性;其群落分布存在季节动态变化。白喉乌头土壤动物群落与有机质、全氮、全钾、铵态氮、速效磷、速效钾

和pH值有关,其中有机质、全氮与土壤动物群落的相关性较大。

参考文献:

- [1] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京:科学出版社, 1992.
- [2] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [3] 尹文英. 土壤动物学研究的回顾与展望[J]. 生物学通报,2001,36(8):1-3.
- [4] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, *et al.* Ecological linkages between aboveground and belowground biota [J]. *Science*, 2004, 304(5677).
- [5] DeDeyn G B, Raaijmakers C E, Zoomer H R, *et al.* Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity [J]. *Nature*, 2003, 422:711-713.
- [6] 潘菲,张燕林,黄彩凤,等. 森林土壤动物生态功能研究进展[J]. 世界林业研究,2020,33(2):37-42.
- [7] 刘爽,刘启龙,李格格,等. 中国农田生态系统土壤动物的研究进展[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2021,37(5):68-75.
- [8] 孙彩彩,董全民,刘文亭,等. 草地土壤动物群落结构及多样性的研究进展[J]. 青海畜牧兽医杂志,2021,51(3):57-61.
- [9] 殷秀琴,宋博,董炜华,等. 我国土壤动物生态地理研究进展[J]. 地理学报,2010,65(1):91-102.
- [10] 张鲜花,安沙舟,王显瑞,等. 白喉乌头种群空间分布格局初步研究[J]. 草地学报,2012,20(3):428-433.
- [11] 罗开雷,安沙舟,李学贤,等. 有毒植物白喉乌头化学防除的初步研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(5):391-393.
- [12] 徐彩芹,安沙舟,何君. 白喉乌头水浸提液对禾本科牧草种子萌发的化感作用[J]. 草业科学,2012,29(2):263-266.
- [13] 韩彩霞,彭瑞娟,郜凤姣,等. 草原毒害草白喉乌头的化感作用[J]. 杂草科学,2015,33(1):10-13.
- [14] 玛依拉·吐尔地别克. 白喉乌头内生真菌的分离、鉴定及抗菌活性的研究[D]. 吉首:吉首大学,2017.
- [15] 张宏祥,张明理. 草原毒草白喉乌头的遗传多样性与遗传结构研究[J]. 草原与草坪,2016,36(6):1-7+15.
- [16] 吾玛尔·阿布力孜,古丽布斯坦·努尔买买提,阿布都肉苏力·吐孙,等. 新疆阜康绿洲不同生境土壤动物群落多样性及其季节动态[J]. 生态学杂志,2013,32(6):1412-1420.
- [17] 苏来曼·阿布力克木,吾玛尔·阿布力孜,毛丽旦·艾泽孜,等. 新疆艾比湖流域平原区不同生境中小型土壤动物群落特征[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(11):103-110.
- [18] 古丽布斯坦·努尔买买提,吾玛尔·阿布力孜,欧尔比特·安瓦. 新疆雅玛里克山不同生境中小型土壤动物群落多样性研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2013,47(1):91-96.
- [19] 杨铭伦,张文革,张旭,等. 西天山森林小气候梯度特征[J]. 林业科技通讯,2021(3):14-18.
- [20] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [22] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京:北京师范大学出版社,2001.
- [23] 杨效东,余宇平. 西双版纳热带森林雨季土壤动物群落组成与分布特征[J]. 东北林业大学学报,1998,26(6):65-70.
- [24] 陈祯,王意锟,朱强根,等. 城市绿地微环境对土壤动物群落多样性的影响[J]. 丽水学院学报,2022,44(2):54-59.
- [25] 王振海,殷秀琴,蒋云峰. 长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性[J]. 生态学报,2014,34(3):755-765.
- [26] 刘任涛,朱凡. 半干旱区草地生境中大型土壤动物群落季节动态[J]. 生态环境学报,2013,22(1):72-77.
- [27] 刘任涛,赵哈林. 沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应[J]. 生态学报,2012,32(2):557-566.
- [28] 路凯亮. 内蒙古退化典型草原不同封育年限草地大型土壤动物多样性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2018.
- [29] 谢俊芳,全国明,章家恩,等. 豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响[J]. 生态学报,2011,31(19):5682-5690.
- [30] 方玉平,常静,马龙. 新源县防除草原白喉乌头毒害草的措施和成效[J]. 农家参谋,2021(4):189-190.
- [31] 黄玉梅,黄胜岚,张健,等. 成都市温江区城市绿地不同植物配置下中小型土壤动物群落特征[J]. 中国科学院大学学报,2018,35(1):33-41.
- [32] 刘迪,吴卫,李冠. 白喉乌头总生物碱抑菌杀虫活性的初步研究[J]. 新疆农业科学,2009,46(3):620-624.
- [33] 彭彩云,王戈,赵波,等. 长江上游典型人工植被下中小型土壤动物群落结构特征[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2019,45(5):585-595.
- [34] 胡丽杰,闫思远,孙牧笛,等. 宁夏枸杞深色有隔内生真菌的侵染特征及多样性[J]. 微生物学通报,2019,46

- (11):2973–2984.
- [35] 王玲,赵广亮,杨雨果,等.北京八达岭地区油松人工林土壤动物群落特征研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(9):41–50.
- [36] 刘宁,付卫东,张国良,等.黄顶菊入侵对不同生境地表土壤动物群落的影响[J].生态学杂志,2014,33(1):176–183.
- [37] 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(4):20–26.
- [38] 黄玉梅,张凯,孙凌霞,等.白三叶(*Trifolium repens*)入侵对城市草坪生态系统土壤动物的影响[J].生态学报,2018,38(23):8489–8499.
- [39] Hattenschwiler S, Jorgensen H B. Carbon quality rather than stoichiometry controls litter decomposition in a tropical rain forest [J]. *Journal of Ecology*, 2010, 98 (4) : 754–763.
- [40] Bian H, Geng Q, Xiao H, *et al.* Fine Root biomass mediates soil Fauna community in response to nitrogen addition in poplar plantations (*Populus deltoids*) on the East Coast of China[J]. *Forests*, 2019, 10(2):122.
- [41] 王辉,陈旭,吴鹏飞,等.白水河国家级自然保护区柳杉(*Cryptomeria fortunei*)人工林大型土壤动物群落特征[J].西南农业学报,2021,34(7):1486–1496.
- [42] 汤建才,陈建业.土壤理化性质与乌头植物有效成分的相关性研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2011,36(1):166–172.
- [43] Devigne C, Mouchon P, Vanhee B. Impact of soil compaction on soil biodiversity does it matter in urban context?[J]. *Urban Ecosystems*, 2016, 19(3):1163–1178.

Structural characteristics of soil faunal community of *Aconitum leucostomum* in Yili Valley

LYU Li-qin^{1,2}, CUI Dong^{1,2*}, LIU Wen-xin^{1,2}, LIU Xuan^{1,2}, Zununjan Zinhar^{1,2},
LIU Shu-qi^{1,2}, WU Yu-xin^{1,2}, HUANG Ju-ying^{1,2}

(1. School of Research and Environmental, Yili Normal University, Yining 835000, China; 2. Institute of Resources and Ecology, Yining 835000, China)

Abstract: [Objective] The study was carried out to investigate the structural characteristics of soil faunal communities and the relationship between environmental factors and soil fauna of the poisonous grass *Aconitum leucostomum*, and to provide a theoretical basis for the protection of the ecosystem in Yili Valley. [Method] The distribution characteristics of soil fauna communities of *Aconitum leucostomum*, as well as the distribution and changes of soil fauna in different soil layers were analyzed by One-way ANOVA, least significant difference, and Pearson correlation analysis in order to explore the relationship between environmental factors and soil fauna communities. [Result] A total of 2 593 individuals of soil fauna (including macro fauna and meso-micro fauna) belonging to 2 phyla, 4 classes and 15 orders were collected. The dominant groups were Oribatida and Hypogastruridae. The distribution of macro fauna of the *Aconitum leucostomum* showed a reverse distribution phenomenon, and the surface aggregation phenomenon was found in meso-micro fauna. Its community distribution varied seasonally. The soil fauna community was related to soil organic matter, total nitrogen, total potassium, ammonium nitrogen, rapidly available phosphorus, rapidly available potassium and pH, of which soil organic matter and total nitrogen were strongly correlated with soil fauna. [Conclusion] There are differences in the distribution of macro fauna and meso-micro fauna, and soil fauna are to some extent influenced by the distribution of *Aconitum leucostomum*.

Key words: soil fauna; community diversity; *Aconitum leucostomum*; soil environment