

DOI: 10.5846/stxb201711302157

排孜丽耶·合力力, 吾玛尔·阿布力孜, 阿丽亚·司地克. 新疆天山森林公园土壤螨类群落多样性与环境因子的相关性. 生态学报, 2019, 39(5):

Pazliya HELIL, Omar ABLIZ, Aliya SIDIK. Correlation between the diversity of soil mite communities and environmental factors in Tianshan Forest Park in Xinjiang, China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(5):

新疆天山森林公园土壤螨类群落多样性与环境因子的相关性

排孜丽耶·合力力, 吾玛尔·阿布力孜, 阿丽亚·司地克

新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046

摘要:为探讨西北干旱区森林土壤螨类群落和环境因子的相互关系,于2014年对新疆天山森林公园七种不同生境进行土壤螨类群落调查与环境因子测定,并采用除趋势对应分析法(DCA)和冗余分析法(RDA)对土壤螨类群落结构和多样性特征及其与环境因子之间的关系进行相关分析。结果表明,共捕获土壤螨类成体标本24399只,隶属4目56科108属(包括9个中国新记录属),其中小甲螨属 *Oribatella* 为优势类群。方差分析表明,在七种不同生境之间土壤螨类群落多样性指标均有存在显著差异($P < 0.05$),Shannon-Wiener 多样性指数(H)依次为针叶林>苗圃林>阔叶林>灌木林>针阔混交林>草甸草原>林中草地。RDA分析结果表明,第一主轴和第二主轴分别解释了土壤螨类主要群落总变异的34.8%和27.3%,所有环境因子共解释了土壤螨类群落物种组成变异的82.1%。蒙特卡罗置换检验显示,十种环境因子与全部排序轴($F = 7.355, P = 0.002$)均存在极显著的相关性。研究表明,海拔、土壤含水量和有机质含量对螨类群落结构和多样性的影响显著。

关键词:天山森林公园;土壤螨类;群落多样性;环境因子;RDA分析

Correlation between the diversity of soil mite communities and environmental factors in Tianshan Forest Park in Xinjiang, China

Pazliya HELIL, Omar ABLIZ*, Aliya SIDIK

College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: To explore the relationships between the diversity of forest soil mite communities and environmental factors in the arid area of northwest China, soil mite communities and environmental factors in 7 different habitats in Tianshan Forest Park of Xinjiang were measured in 2014. The relationships between the diversity of soil mite communities and 10 environmental variables were analyzed by a detrended correspondence analysis (DCA) and redundancy analysis (RDA). A total of 24399 adult specimens of soil mites were captured, belonging to 4 orders, 56 families, and 108 genera (including 9 new records in China), *Oribatella* was the dominant group. Analysis of variance (ANOVA) showed that there were significant differences in the diversity indices of soil mite communities among the 7 habitats ($P < 0.05$). The Shannon-Wiener diversity index (H) decreased as follows: coniferous forest > nursery garden > broad-leaved forest > shrubbery > conifer-broadleaf forest > meadow steppe > glade grass. RDA indicated that the first and the second axes explained 34.8% and 27.3% of variation in the main community variables of soil mites, respectively, and all the environmental factors explained 82.1% of the variation in the species composition of soil mite communities. A Monte Carlo displacement test showed that there was a significant correlation between the 10 environmental factors and all ordination axes ($F = 7.355, P = 0.002$). Altitude, soil

基金项目:新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目(XJGRI201617);国家自然科学基金项目(31560588, 41361052, 40961018)

收稿日期:2017-11-30; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: omarabliz79@163.com

water content, and organic matter content had significant effects on the structure and diversity of the mite community.

Key Words: Tianshan Forest Park; soil mites; community diversity; environmental factors; redundancy analysis

土壤螨类是森林生态系统土壤动物的重要组成部分,通过自身活动与摄食参与土壤有机质分解和矿化,改善土壤结构,调控地上与地下生物间的物质循环和能量流动^[1-3];而且对环境变化敏感,是指示植被演替、环境干扰及气候变化等的重要生物学指标^[4-5]。研究表明,生境变化和地表植被类型通过改变凋落物的组成与数量,对直接取食凋落物的土壤螨类会产生显著影响^[6-8];地上植被组成的改善也会通过土壤理化性质改变而间接影响土壤螨类的分布,如使土壤螨类类群更丰富、结构更复杂、群落结构异质性和多样性更高^[9-10]。另外,在森林生态系统中放牧和旅游等人类活动、土地利用类型(林型)、土壤微环境及其管理方式等显著影响土壤螨类群落结构^[10-14]。到目前为止,我国从热带、亚热带到温带,从森林、草地、沙漠到湿地、农田到城市等诸多生态系统都开展了相关研究。从全国范围来看,已有的研究主要集中在东部,而西北干旱区,尤其是新疆土壤螨类群落多样性方面研究报道还很少,有关土壤螨类群落多样性与环境因素关系的研究更是鲜见报道^[15-19]。

新疆天山森林公园位于乌鲁木齐市东南部的天山北坡,距离乌鲁木齐 70 km,1992 年 12 月确定为自治区级森林公园,总面积为 3918 km²,主要树种为云杉。森林生长在阴坡,集中分布在海拔 1400—2800 m 之间,森林呈块状或带状与山地草原相间分布,其建群树种是雪岭云杉(*Picea schrenkiana*),在整个林区占绝对优势,并与其它乔灌木构成有规律的植被垂直景观。天山森林公园风景区具有雪峰、森林、草地、高山、怪石、瀑布等多种自然景观和植被类型。由于以往交通不便等原因,使其仍然保留着森林生态系统的原始性和自然资源的丰富性。但近年来,由于过度放牧和旅游活动频繁,该森林公园生态环境已出现不同程度的退化,土壤质量状况以及土壤生物多样性等都发生了较大的变化。迄今为止,针对天山森林公园的研究主要涉及到植被、昆虫以及脊椎动物生态分布等方面。然而,天山森林公园土壤螨类群落多样性及其与主要环境影响因素关系尚不清楚。因此,本研究将深入了解土壤螨类群落多样性及其与环境因素间的关系,为森林生态系统科学管理、土壤环境质量生物评价及生物多样性保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况和样地选择

研究区域位于新疆米泉林场(87°48′—88°08′E,43°42′—43°56′N),海拔 1400—3200 m,东西宽 26 km,南北长 23 km,林区总面积 4 万 hm²,林业用地 2.87 万 hm²,森林覆盖率 67.98%。属北温带大陆性气候,水热条件良好,冬暖夏凉,雨量丰富,年平均气温-11.6℃,比平原高 4℃,极端最低气温-33.4℃,7 月平均气温 15℃,极端最高气温 30.5℃,年降水量 500 mm,积雪 20 cm。土壤为亚高山草甸土、灰褐色森林土、栗钙土及灰钙土。根据研究区的植被生境分布和实际情况设计长达 20 km 的两条样带,在每条样带上分别选择了草甸草原、针叶林、林间草地、针阔混交林、阔叶林、苗圃林、灌木林 7 种典型生境,用 GPS 定位系统测量各样地的海拔和经纬度,使用地温计测量每样地不同土层温度,各生境具体情况见表 1。

1.2 采样方法

分别在 2014 年 4、7、9 月及 11 月中旬对天山森林公园两条样带上选择了 7 种典型生境进行定点采样。每个生境内设置 3 个 20 m×20 m 的样方,每个样方内随机选取 5 个样点,每个样点间隔 5 m 左右,在每样点内按对角线法采 5 个环刀样品,环刀样品容积为 100 cm³采样器,分 4 个土层(0—5、5—10、10—15、15—20 cm)进行采样,共采集 560 个样。同时在各样点采集一份混合土样待测土壤理化性质。将所有土样装入保鲜袋带回实验,采用改良的 Tullgren 干漏斗法将中小型土壤动物从土壤样品中分离出来,并制作装片。螨类标本依据尹文英、青木淳一、江原昭三、Balogh J 和 Balogh P 以及 Krantz GW 和 Walter DE 等的分类检索方法进行分

类鉴定,一般鉴定到属级分类单元^[20-24]。

表 1 新疆天山森林公园 7 种典型生境分布特点
Table 1 The distribution traits of 7 typical habitats in Tianshan forest park of Xinjiang

生境类型 Habitat types	地理位置 Location	海拔/m Elevation	土壤类型 Soil types	主要植物类型 Dominant plant species
I 草甸草原 Meadow steppe	43°49'06"—43°51'08" 87°52'24"—87°53'41"	2350—3050	草甸土	羊茅 (<i>Festuca ovina</i> L.), 羊草 (<i>Leymus chinensis</i> Tzvel.), 嵩草属 (<i>Kobresia</i> Willd), 早熟禾 (<i>Poa annua</i> L.), 苔藓 Bryophytes 等。
II 针叶林 Coniferous forest	43°47'22"—43°49'08" 86°59'36"—87°14'44"	1900—2350	灰褐森林土	雪岭云杉(<i>Picea schrenkiana</i> Fischet Mey.), 冷杉(<i>Abies fabri</i> (Mast.) Craib), 新疆冷杉(<i>Abies sibirica</i>), 老鹳草 (<i>Geranium wilfordii</i> Maxim), 地衣 Lichens, 苔藓 Bryophytes 等。
III 林中空地 Grass glade	43°46'09"—43°49'28" 87°45'24"—87°46'11"	1850—2050	棕钙土	荨麻 (<i>Urtica fissa</i> E. Pritz.), 糙苏 (<i>Phlomis</i> L.), 唇香草 (<i>Ziziphora</i> sp.), 早熟禾 (<i>Poa annua</i> L.), 蒲公英(<i>Taraxacum</i> spp.) 等。
IV 针阔混交林 Conifer-broadleaf forest	43°49'32"—43°51'28" 87°57'34"—87°58'48"	1850—1950	灰褐森林土	雪岭云杉(<i>Picea schrenkiana</i> Fischet Mey.), 天山花楸 (<i>Sorbus tianschanica</i> Rupr.), 天山桦 (<i>Betula tianschanica</i>), 山杨 (<i>Populus davidiana</i>), 早熟禾 (<i>Poa annua</i> L.), 地衣 Lichens, 苔藓 Bryophytes。
V 阔叶林 Broad-leaved forest	43°47'12"—43°48'08" 87°56'24"—87°56'41"	1720—1850	栗钙土	密叶杨 (<i>Populus talassica</i> Kom.), 山杨 (<i>Populus davidiana</i>), 柳树 (<i>Salix babylonica</i> L.), 裂叶榆 (<i>Ulmus laciniata</i>), 酸模 (<i>Rumex acetosa</i> L.), 车前 (<i>Plantago asiatica</i> L.), 蒲公英(<i>Taraxacum</i> sp.), 早熟禾 (<i>Poa annua</i> L.), 地衣 Lichens, 苔藓 Bryophytes 等。
VI 苗圃林 Nursery garden	43°46'02"—43°59'18" 87°46'24"—87°46'41"	1710—1750	灰钙土	新疆冷杉(<i>Abies sibirica</i>), 西伯利亚落叶松 (<i>Larix sibirica</i> Ledeb), 天山桦 (<i>Betula tianschanica</i>), 野青茅 (<i>Deyeuxia arundinacea</i> L.), 老鹳草 (<i>Geranium wilfordii</i> Maxim), 地衣 Lichens, 苔藓 Bryophytes 等。
VII 灌木林 Shrubbery	43°48'38"—43°49'45" 87°59'24"—87°59'49"	1710—1950	灰钙土	侧柏 (<i>Platycladus orientalis</i> L.), 小檗 (<i>Berbens</i> sp.), 蔷薇 (<i>Rosa</i> sp.), 忍冬 (<i>Lonicera japonica</i> Thunb.), 刺芹 (<i>Eryngium foetidum</i>), 早熟禾 (<i>Poa annua</i> L.), 地衣 Lichens, 苔藓 Bryophytes 等

1.3 主要环境因子的测定

在调查土壤螨类的同时,测定各采样点的主要环境因子(土壤容重、温度、湿度、pH、有机质、全氮、全磷、全钾和总盐含量)。土壤容重采用土壤环刀法;土壤温度和土壤酸碱分别使用地温计和土壤酸度计测定;土壤水分含量采用烘干法测定(GB 7172—1987),按照以下公式计算含水率:含水率(%)=(G₀-G₂)(湿土重-干土重)/G₂×100%。土壤有机质含量采用重铬酸钾—硫酸溶液氧化法(GB 9834—1988)测定。土壤全钾含量参照 GB 9836—1988 法测定;土壤全磷含量参照 GB 9837—1988 法测定;土壤全氮含量参照 GB 7173—1987 法测定;总盐量采用水溶性盐总量(质量法)测定(NY/T 1121.16—2006)^[14,30]。

1.4 数据处理

对 7 种生境间土壤螨类群落组成和数量进行多样性分析^[18]:

(1) Shannon-Wiener 多样性指数 (H):
$$\bar{H} = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

- (2) Margalef 丰富度指数(M): $M = (S - 1/\ln N)$
- (3) Pielou 均匀度指数(E): $E = \bar{H}/H_{\max} = \bar{H}/\ln S$
- (4) Simpson 优势度指数(C): $C = \sum (n_i/N)^2$
- (5) Jaccard 群落相似性系数(q): $q = c/(a + b - c)$

式中, N 为群落的总个体数, S 代表土壤螨类的总类群数, P_i 代表第*i*类土壤螨类的个体数与土壤螨类总个体数的比, n_i 为第*i*类群个体数。 a 为群落*A*含有的全部种类, b 为群落*B*含有的全部种类, c 为群落*A*与*B*的共有种类。采用 Canoco 4.5 软件分析土壤螨类群落物种重要值与环境变量的关系。在进行排序分析之前,首先对物种矩阵做除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA),结果显示,所有排序的最长轴长度小于3,因此适合选用冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)排序方法。考虑到环境因子的多样性可能导致排序结果的不可靠,在进行 RDA 分析前,计算了环境因子的膨胀系数(inflation factor, IFs)。结果表明,所有环境因子的膨胀系数均小于10,说明环境因子间的共线性十分微弱,可以不予考虑。同时为了最小化稀有物种对结果的影响,分析前删除了出现在样方数少于3个的物种。所有排序的显著性均由 Monte Carlo 随机置换(499次, $P<0.05$)检验进行检验。为了最小化稀有物种对排序结果的影响,对所有排序都执行了稀有物种的降权处理,最后用 Canoco Draw 绘制 RDA 排序图。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异,单因素方差分析使用 SPSS 19.0 软件辅以 Excel 2010 实现。

2 结果与分析

2.1 土壤螨类群落组成和数量变化

天山森林公园7种不同生境共捕获土壤螨类24399只成体螨类标本,属于4目56科108属(包括9个中国新记录属,见表2),其中甲螨亚目21814只,40科81属,占总数的89.4%;中气门亚目2131只,10科16属,占总数的8.73%;前气门亚目416只5科9属,占总数的1.71%;无气门亚目38只,1科2属,占总数的0.16%,见表2。

表2 新疆天山森林公园不同生境土壤螨类群落组成及数量分布($\bar{x} \pm SE$,头/m²)

属名 Genera	I	II	III	IV	V	VI	VII	总数 Total	密度 Density	百分比/% Percentage	丰富度 Abundance
古甲螨属 <i>Palaeacarus</i>	0	12	0	4	0	6	0	22	99.5±22	0.09	+
短甲螨属 <i>Brachychthonius</i>	0	8	0	0	0	0	0	8	36.2±8	0.03	+
滑缝甲螨属 <i>Liochthonius</i>	0	16	0	0	32	6	0	54	244±54	0.22	+
长毛缝甲螨属 <i>Trichthonius</i>	30	20	0	0	10	18	6	84	379.8±84	0.34	+
三皱甲螨属 <i>Rhysotritia</i>	556	424	0	0	44	82	48	1154	5217±1154	4.73	++
霍卷甲螨属 <i>Hoplophthiracarus</i>	22	38	0	17	46	10	24	157	710±157	0.64	+
卷甲螨属 <i>Phthiracarus</i>	0	20	0	0	6	0	0	26	117.5±26	0.11	+
直卷甲螨属 <i>Archoplophora</i>	0	138	6	99	0	40	8	291	1316±291	1.19	++
上罗甲螨属 <i>Epilohmannia</i>	0	90	0	180	38	78	102	488	2206±488	2.00	++
盲甲螨属 <i>Malaconothrus</i>	0	0	0	0	0	0	5	5	22.6±5	0.02	+
三盲甲螨属 <i>Trimalaconothrus</i>	0	0	0	4	0	0	13	17	76.9±17	0.07	+
懒甲螨属 <i>Nothrus</i>	82	100	14	51	108	66	20	441	1994±441	1.81	++
礼服甲螨属 <i>Trhypochthonius</i>	64	234	52	114	200	134	104	902	4078±902	3.70	++
异懒甲螨属 <i>Allonothrus</i>	0	4	0	45	0	0	0	49	221.5±49	0.20	+
洼甲螨属 <i>Camisia</i>	24	256	8	210	50	126	98	772	3490±772	3.16	++
平懒甲螨属 <i>Platynothonus</i>	30	0	0	0	0	14	0	44	198.9±44	0.18	+
沙甲螨属 <i>Eremulus</i>	0	116	0	21	0	24	0	161	728±161	0.66	+

续表

属名 Genera	I	II	III	IV	V	VI	VII	总数 Total	密度 Density	百分比/% Percentage	丰富度 Abundance
沙足甲螨属 <i>Eremobelba</i>	0	8	0	0	8	12	0	28	126.6±28	0.11	+
下珠足甲螨属 <i>Hypodamaeus</i>	110	32	6	22	82	26	58	336	1519±336	1.38	++
珠足甲螨属 <i>Belba</i>	0	30	0	0	0	0	0	30	135.6±30	0.12	+
表珠甲螨属 <i>Epidamaeus</i>	44	166	8	66	80	18	38	420	1899±420	1.72	++
扇珠甲螨属 <i>Licnodamaeus</i>	0	12	0	0	56	12	0	80	361.7±80	0.33	+
龙骨足甲螨属 <i>Eremaeus</i>	0	200	0	0	0	28	0	228	1031±228	0.93	+
<i>Pleodamaeus</i> Paschoal, 1983	54	22	0	0	18	96	0	190	859±190	0.78	+
<i>Plesiodamaeus</i> Grandjean, 1954	6	0	0	11	0	8	0	25	113±25	0.10	+
<i>Adrodamaeus</i> Paschoal, 1983	0	4	0	0	0	0	4	8	36.2±8	0.03	+
<i>Odontodamaeus</i> Paschoal, 1982	0	32	0	0	14	8	0	54	244.1±54	0.22	+
<i>Joshuella</i> Wallwork, 1972	0	14	0	19	0	0	0	33	149.2±33	0.14	+
<i>Crotonia</i> Thorell, 1876	0	46	0	23	0	0	0	69	311.9±69	0.28	+
平壳甲螨属 <i>Platylodes</i>	0	8	0	0	0	0	0	8	36.2±8	0.03	+
奥甲螨属 <i>Oppia</i>	0	64	0	21	16	0	0	101	456.6±101	0.41	+
多奥甲螨属 <i>Multioppia</i>	0	69	0	12	19	0	16	134	605.8±134	0.48	+
单奥甲螨属 <i>Phauloppia</i>	0	15	0	0	3	0	0	18	81.4±18	0.07	+
小奥甲螨属 <i>Oppiella</i>	0	1006	24	453	94	90	36	1703	7699±1703	6.98	++
四奥甲螨属 <i>Quadroppia</i>	0	90	8	240	86	10	22	456	2061.6±456	1.87	++
微奥甲螨属 <i>Microppia</i>	0	0	0	0	14	0	0	14	63.3±14	0.06	+
<i>Stachyoppia</i> Balogh, 1961	0	0	0	0	0	2	0	2	9±2	0.01	+
大奥甲螨属 <i>Lasiobelba</i>	0	0	0	6	4	0	0	10	45.2±10	0.04	+
丽甲螨属 <i>Liacarus</i>	208	128	18	45	92	62	16	569	2572±569	2.33	+
步甲螨属 <i>Carabodes</i>	46	32	0	9	30	16	16	149	673.6±149	0.61	+
盖头甲螨属 <i>Tectocepheus</i>	32	300	16	99	330	48	76	901	4073±901	3.69	++
翼盖头甲螨属 <i>Tegezozetes</i>	4	4	0	0	0	0	0	8	36.2±8	0.03	+
细若甲螨属 <i>Incabates</i>	6	6	0	16	0	4	4	36	162.8±36	0.15	+
若甲螨属 <i>Oribatula</i>	0	106	0	0	22	40	106	274	1239±274	1.12	++
合若甲螨属 <i>Zygoribatula</i>	4	76	0	42	40	4	14	180	814±180	0.74	+
贪颈尖棱甲螨属 <i>Jugatala</i>	370	406	30	0	186	160	46	1198	5416±1198	4.91	++
菌板颧甲螨属 <i>Mycobates</i>	18	454	34	29	0	240	100	875	3956±875	3.59	++
点肋甲螨属 <i>Punctoribates</i>	0	30	0	0	74	44	46	194	877±194	0.80	+
缰板颧甲螨属 <i>Chamobates</i>	36	42	6	0	64	32	16	196	886±196	0.80	+
菌甲螨属 <i>Scheloribates</i>	0	201	0	99	256	18	81	655	2961±655	2.68	++
全菌甲螨属 <i>Perscheloribates</i>	0	49	0	12	0	0	19	80	361.7±80	0.33	+
刀肋甲螨属 <i>Cultroribula</i>	0	86	0	279	26	6	4	401	1813±401	1.64	++
足肋甲螨属 <i>Podoribates</i>	108	0	0	0	12	0	0	120	543±120	0.49	+
爪甲螨属 <i>Unguizetes</i>	100	155	0	0	68	0	30	353	1596±353	1.45	++
杆棱甲螨属 <i>Mochlozetes</i>	0	12	0	0	5	0	0	17	76.9±17	0.07	+
毛甲螨属 <i>Trichoribates</i>	0	22	0	0	0	0	0	22	99.5±22	0.09	+
裂头甲螨属 <i>Fissicepheus</i>	0	5	0	0	2	0	0	7	31.6±7	0.03	+
残领甲螨属 <i>Defectamerus</i>	0	4	0	0	1	0	0	5	22.6±5	0.02	+
佐渡薛甲螨属 <i>Sadocepheus</i>	10	0	0	0	8	0	4	22	99.522±	0.09	+
小尖棱甲螨属 <i>Ceratozetella</i>	10	40	0	0	0	0	0	50	226.1±50	0.20	+
尖棱甲螨属 <i>Ceratozetes</i>	36	492	10	102	0	284	170	1092	4936±1092	4.48	++
肩翅尖棱甲螨属 <i>Diapterobates</i>	0	0	0	0	0	16	0	16	72.3±16	0.07	+
鳞顶甲螨属 <i>Lepidozetes</i>	0	312	54	60	320	84	30	860	3888±860	3.52	++

续表

属名 Genera	I	II	III	IV	V	VI	VII	总数 Total	密度 Density	百分比/% Percentage	丰富度 Abundance
盾顶甲螨属 <i>Scutozetes</i>	0	37	82	13	58	30	48	268	1212±268	1.10	++
隐肋甲螨属 <i>Costeremus</i>	0	5	0	3	12	0	0	20	90.4±20	0.08	+
梁甲螨属 <i>Lamellobates</i>	0	20	0	0	0	0	0	20	90.4±20	0.08	+
木单翼甲螨属 <i>Xylobates</i>	0	3	0	0	0	0	0	3	13.6±3	0.01	+
全单翼甲螨属 <i>Pexylobates</i>	0	0	0	0	0	0	2	2	9±2	0.01	+
小甲螨属 <i>Oribatella</i>	238	450	224	939	284	120	200	2455	11099±2455	10.06	+++
蛇轮甲螨属 <i>Ophidiotrichus</i>	0	59	0	0	0	0	24	83	375.2±83	0.34	+
足肋甲螨属 <i>Podoribates</i>	0	0	0	147	0	0	10	157	709±157	0.64	+
角翼甲螨属 <i>Achipteria</i>	0	34	0	0	47	0	0	86	388±86	0.33	+
圆单翼甲螨属 <i>Peloribates</i>	0	0	0	0	5	0	0	5	22.6±5	0.02	+
瘤前翼甲螨属 <i>Peloptulus</i>	0	60	34	414	0	72	0	580	2622±580	2.38	++
角甲螨属 <i>Ceratoppia</i>	0	20	12	63	6	14	224	339	1532±339	1.39	++
真前翼甲螨属 <i>Eupelops</i>	24	186	16	0	178	46	14	464	2097±464	1.90	++
无前翼甲螨属 <i>Anachipteria</i>	4	0	0	0	0	0	0	4	18.1±4	0.02	+
原大翼甲螨属 <i>Protokalumna</i>	14	6	20	0	10	40	0	90	406.9±406	0.37	+
副大翼甲螨属 <i>Parakalumna</i>	0	18	0	3	0	0	2	23	104±23	0.09	+
大翼甲螨属 <i>Galumna</i>	0	86	0	90	8	16	16	216	976.5±216	0.89	+
全大翼甲螨属 <i>Pergalumna</i>	0	52	0	54	10	2	22	140	632.9±140	0.57	+
革赛螨属 <i>Gamasellus</i>	190	80	4	0	64	8	16	362	1636±362	1.48	+
上厉螨属 <i>Hyperlaelaps</i>	0	36	0	60	52	38	8	194	877.1±194	0.80	+
蛇螨属 <i>Zercon</i>	0	84	338	48	0	38	12	520	2350±520	2.13	++
囊螨属 <i>Asca</i>	12	22	0	0	0	4	0	38	171.8±38	0.16	+
滑绥螨属 <i>Leioseius</i>	0	0	0	0	8	6	4	18	81.4±18	0.07	+
毛绥螨属 <i>Lasioseius</i>	0	4	34	0	0	0	0	38	171.8±38	0.16	+
美绥螨属 <i>Ameroseius</i>	0	74	2	25	14	58	8	181	818.3±181	0.74	+
新曲厉螨属 <i>Neocypholaelaps</i>	0	0	0	0	4	0	0	4	18.1±4	0.02	+
钝绥螨属 <i>Amblyseius</i>	0	30	0	4	0	0	4	38	171.8±38	0.16	+
植绥螨属 <i>Phytoseius</i>	0	20	10	12	4	16	36	98	443±98	0.40	+
盲走螨属 <i>Typhlodromus</i>	0	0	0	0	6	0	0	6	27.1±6	0.02	+
<i>Mixozercon</i> Halašková, 1963	20	14	0	0	22	84	4	144	651±144	0.59	+
小全盾螨属 <i>Holostaspella</i>	0	84	42	168	6	96	38	434	1962±434	1.78	++
尾绥螨属 <i>Uroseius</i>	0	8	2	0	6	4	6	26	117.5±26	0.11	+
双革螨属 <i>Digamasellus</i>	0	0	0	4	0	6	0	10	45.2±10	0.04	+
新似巨须螨属 <i>Neocunaxoides</i>	0	4	0	0	0	0	0	4	18.1±4	0.02	+
巨须螨属 <i>Cunaxa</i>	0	48	10	180	14	0	0	252	1139±252	1.03	++
拟邦佐螨属 <i>Pseudobonzia</i>	0	12	4	0	0	50	0	66	298.4±66	0.27	+
<i>Neomolgus</i> Oudemans, 1937	0	8	0	5	0	0	0	13	58.8±13	0.05	+
管吸螨属 <i>Cyta</i>	2	4	0	0	0	10	0	16	72.3±16	0.07	+
土皮须螨属 <i>Ledermuelleria</i>	0	6	0	7	0	0	0	13	58.8±13	0.05	+
长须螨属 <i>Stigmaeus</i>	0	0	0	0	10	0	0	10	45.2±10	0.04	+
扁螨属 <i>Pentamerismus</i>	3	0	0	0	0	10	0	13	58.8±13	0.05	+
隐爪螨属 <i>Nanorchestes</i>	0	0	0	21	8	0	0	29	131.1±29	0.12	+
苔螨属 <i>Bryobia</i>	0	3	0	0	0	2	0	5	22.6±5	0.02	+
嗜粉螨属 <i>Aleuroglyphus</i>	0	9	0	0	0	14	0	23	104±23	0.09	+
脂螨属 <i>Lardoglyphus</i>	0	6	0	0	4	0	0	10	45.2±10	0.04	+
个体数(N) Individuals	2517	7846	1128	4670	3404	2756	2078	24399	110307±243	100.00	
类群数(S) Group number	34	87	30	51	62	61	54	108			

+++; 优势类群 Dominant groups(>10%); ++; 常见类群 Common groups(1%—10%); +; 稀有类群 Rare group(<1%)

对整个研究区域来说,小甲螨属 *Oribatella* 为优势类群,占总个体数的 10.09%;三皱甲螨属 *Rhysotritia*、直

卷甲螨属 *Archoplophora*、上罗甲螨属 *Epilohmannia*、懒甲螨属 *Nothrus* 和礼服甲螨属 *Trhypochthonius* 等 28 属为常见类群, 占总个体数的 71.69%。古甲螨属 *Palaeacarus*、短甲螨属 *Brachychthonius*、滑缝甲螨属 *Liochthonius*、长毛缝甲螨属 *Trichthonius* 及卷甲螨属 *Phthiracarus* 等 79 属为稀有类群, 占总数的 18.22%。

七种不同生境土壤螨类个体数和类群数时空分布均有显著差异 ($P < 0.05$)。其中个体数水平分布表现为针叶林 > 针阔混交林 > 阔叶林 > 苗圃林 > 草甸草原 > 灌木林 > 林中草地。类群数依次为针叶林 > 苗圃林 > 阔叶林 > 灌木林 > 针阔混交林 > 草甸草原 > 林中草地。

根据七种不同生境捕获土壤螨类个体数和类群数, 分别进行群落多样性、相似性及相关性比较分析。Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 针叶林最高, 而林中草地最低, 其顺序依次为针叶林 > 苗圃林 > 阔叶林 > 灌木林 > 针阔混交林 > 草甸草原 > 林中草地; Simpson 优势度指数 (C) 林中草地最高, 苗圃林最低, 其顺序依次为林中草地 > 草甸草原 > 针阔混交林 > 灌木林 > 阔叶林 > 针叶林 > 苗圃林。相关性分析表明, 在七种不同生境之间土壤螨类群落多样性指标均有显著差异 ($P < 0.05$), 但针叶林环境个别指标的差异不太明显, 见表 3。

表 3 新疆天山森林公园不同生境土壤螨类群落多样性指标之间的相关性

Table 3 Correlations between soil mite communities at different habitats in Tianshan forest park of Xinjiang

生境类型 Habitat types	个体数 (N) Individual number	类群数 (S) Group number	多样性指数 (H) Shannon-Wiener	丰富度指数 (M) Margalef index	优势度指数 (C) Simpson index	均匀度指数 (E) Pielou index
I	2531.67±166.49d	33.33±16.01b	2.73±0.14c	4.21±0.69d	0.1±0.06ab	0.83±0.07ab
II	7831.67±196.89a	75.45±18.33a	3.58±0.18a	8.66±0.76a	0.03±0.03b	0.83±0.06ab
III	1132.22±165.04f	29.33±16.01b	2.52±0.13c	4.1±0.64d	0.14±0.07a	0.79±0.06b
IV	4666.67±214.02b	48.33±23.01ab	3.09±0.16b	5.65±0.76c	0.07±0.01b	0.81±0.06ab
V	3519.12±101.12c	57.33±18.5ab	3.39±0.17a	6.85±0.65bc	0.05±0.0b	0.85±0.06ab
VI	2716.32±173.49d	61.33±18.5ab	3.56±0.18a	7.54±0.75ab	0.04±0.0b	0.88±0.07a
VII	2077.67±179.5e	50.33±20.5ab	3.35±0.17ab	6.44±0.86bc	0.05±0.01b	0.75±0.07ab

数据以平均值标准误形式表示, 不同小写字母代表不同生境间具有统计学显著差异, $P < 0.05$

同一个生境不同季节土壤螨类群落多样性特征存在显著差异 ($P < 0.05$)。从不同指标看, 秋季多样性指数和丰富度指数在各生境中均最高, 而优势度指数最低, 显示出多样性指数和优势度指数呈负相关关系, 见图 1。

根据各生境种类组成的相似程度, 计算出不同生境间的群落相似性系数, 结果见表 4。

表 4 新疆天山森林公园不同生境土壤螨类群落相似性指数 (q)

Table 4 The similarity index of soil mite communities at different habitats in Tianshan forest park of Xinjiang

生境类型 Habitat types	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	1.0000						
II	0.3294	1.0000					
III	0.3061	0.3457	1.0000				
IV	0.2206	0.5059	0.3860	1.0000			
V	0.3382	0.5281	0.3594	0.3766	1.0000		
VI	0.4179	0.6279	0.4219	0.4667	0.5526	1.0000	
VII	0.3770	0.4659	0.4545	0.5231	0.5507	0.5857	1.0000

当 $0 < q < 0.25$ 时, 极不相似 significantly dissimilar; 当 $0.25 \leq q < 0.50$ 时, 中等不相似 moderately dissimilar; 当 $0.50 \leq q < 0.75$ 时, 中等相似 moderately similar; 当 $0.75 \leq q < 1.00$ 时, 极相似 significantly similar

由表 4 可见, 7 种不同生境土壤螨类群落间的 Jaccard 相似性系数具有较大的差异, 针叶林和苗圃林之间相似性系数最大 (0.6279), 草甸草原和针阔混交林之间相似性系数最低 (0.2206)。由于针叶林和苗圃林两种生境的植被均为高大乔木, 具有较厚的凋落物层, 并土壤条件类似, 而草甸草原和针阔混交林这两种生境的植

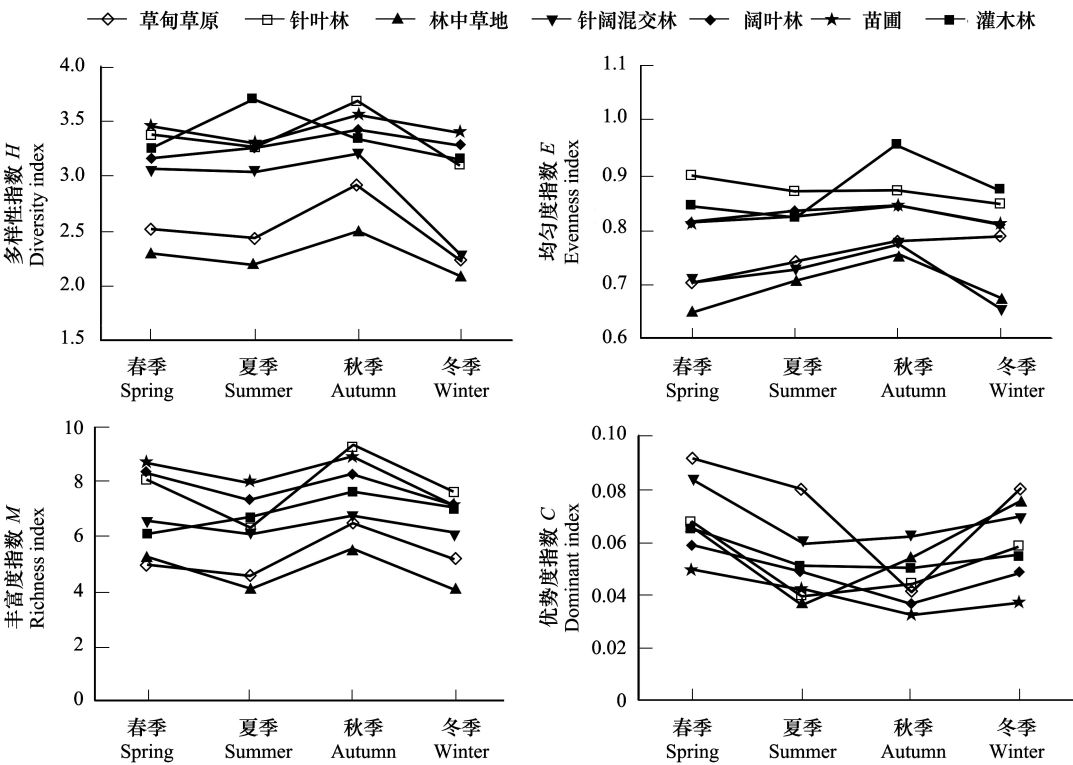


图 1 新疆天山森林公园不同生境土壤螨类多样性特征指数季节动态
Fig.1 Diversity indices of soil mites in different habitats of Tianshan forest park of Xinjiang

被、土壤环境及人为干扰等差异较大。所有系数中有 14 个系数在 0.25 和 0.50 之间表现为中等不相似,而 7 个系数在 0.50 和 0.75 之间表现为中等相似。

2.2 土壤螨类群落特征与环境因子的关系

环境因子相关性分析表明,在七种不同生境土壤环境因子中除了土壤温度和土壤 pH 以外其他环境因素之间均有显著差异($P<0.05$),结果见表 5。

表 5 新疆天山森林公园不同生境土壤环境因子的相关性

Table 5 Correlation of soil environmental factors in different habitats of Tianshan forest park of Xinjiang										
生境类型 Habitat types	海拔 Altitude/m	土壤温度 Soil temperature/ ℃	土壤含水量 Soil water content/%	土壤容重 Bulk density/ (g/m ³)	土壤 pH Soil pH	土壤有机质 Soil organic matter/ (g/kg)	土壤全氮 Total nitrogen/ (g/kg)	土壤全磷 Total phosphorus/ (g/kg)	土壤全钾 Total potassium/ (g/kg)	土壤总盐量 Total salt content/ (g/kg)
I	1712.50±12.58g	18.08±10.91a	18.60±1.97e	1.15±1.13a	7.59±0.34a	17.45±2.07cd	1.74±0.15d	1.10±0.17b	17.37±0.58ab	1.35±0.33b
II	2317.50±28.72a	9.00±9.61a	36.95±3.04a	0.88±0.04b	7.59±0.07a	28.25±3.16a	3.58±0.30a	1.52±0.10a	21.27±0.13a	2.18±0.10a
III	1747.00±2.45f	16.25±10.78a	26.33±1.30d	1.10±0.09a	7.51±0.16a	20.37±2.79cd	2.29±0.43cd	1.09±0.08b	20.04±1.29ab	1.23±0.10b
IV	2151.25±2.50b	12.48±9.54a	33.80±2.34ab	1.08±0.05a	7.45±0.08a	25.42±2.32ab	2.85±0.42b	1.39±0.06a	21.24±2.97a	2.03±0.18a
V	2022.5±20.21c	13.30±10.17a	30.23±4.43bcd	1.12±0.06a	7.31±0.11a	21.38±3.14bc	2.53±0.48bc	1.08±0.22b	19.11±3.20ab	1.45±0.14b
VI	1958.75±6.29d	13.10±9.39a	32.25±2.91bc	1.13±0.01a	7.44±0.22a	19.45±3.28cd	2.08±0.28cd	0.97±0.17b	16.79±1.61b	1.38±0.05b
VII	1861.25±7.50e	15.20±10.36a	28.60±2.64cd	1.05±0.09a	7.43±0.23a	16.81±2.42d	1.97±0.25d	1.02±0.05b	18.70±5.03ab	1.32±0.10b

为探讨不同生境土壤环境因素对土壤螨类群落多样性特征的影响,采用 One-way ANOVA 和 Pearson 相关性分析方法进行分析,相关分析结果见表 6。

由表 6 可知,螨类类群数与海拔、土壤温度、湿度和土壤有机质存在显著的相关关系($P<0.05$);多样性指数(H)与海拔高度、土壤温度、湿度、容重、有机质和全氮含量存在显著的相关关系($P<0.05$),其中多样性指

数(H)与有机质含量呈极显著的相关关系($P < 0.01$);丰富度指数(M)与海拔高度、土壤温度、湿度、容重和有机质含量存在显著的相关关系($P < 0.05$);优势度指数(C)与土壤温度和湿度存在显著的相关关系($P < 0.05$),均匀性指数与土壤温度和湿度存在显著的负相关关系($P < 0.05$)。

表 6 新疆天山森林公园不同生境土壤螨类群落多样性指标与环境因子的相关性

Table 6 Correlation between diversity indices of soil mite communities and environmental factors in different habitats of Tianshan forest park of Xinjiang

环境因素 Environmental factors	个体数(N) Individual number	类群数(S) Group number	多样性 指数(H) Shannon- Wiener index	丰富度 指数(M) Margalef index	优势度 指数(C) Simpson index	均匀度 指数(E) Pielou index
海拔 Altitude/m	0.893 **	0.714 *	0.693 *	0.790 *	-0.607	0.321
土壤温度 Soil temperature/°C	-0.857 **	-0.750 *	-0.752 *	-0.870 **	0.679 *	-0.393 *
土壤含水量 Soil Water Content/%	0.857 **	0.750 *	0.723 *	0.808 *	-0.679 *	0.393 *
土壤容重 Bulk density/(g/m ³)	-0.321	-0.321	-0.457 *	-0.638	0.143	-0.071
土壤 pH Soil pH	0.179	-0.107	-0.315	-0.153	0.250	-0.607
土壤有机质 Soil organic matter/(g/kg)	0.786 **	0.357 *	0.321 **	-0.504 *	-0.214	-0.214
土壤全氮 Total nitrogen/(g/kg)	0.750 *	0.429	0.413 *	0.602	-0.286	-0.071
土壤全磷 Total phosphorus/(g/kg)	0.536	-0.071	0.168	0.337	0.286	-0.643
土壤全钾 Total potassium/(g/kg)	0.107	0.071	0.187	0.062	-0.055	-0.036
土壤总盐量 Total salt content/(g/kg)	0.999 **	0.679 *	0.413	0.53	-0.582	0.214

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

为进一步探讨不同生境土壤理化性质对土壤螨类群落的影响,采用冗余分析(RDA)方法进行分析,分析结果见图 2 和 3 及表 5 和 6。

从排序图 2 可知,28 个样地土壤螨类群落的相对位置,其中 17 个样地位于第 2 排序轴的左侧,这些样地与环境因子土壤有机质、含水量、温度和全氮含量相对应,表征了这些样地土壤容重、全磷、全钾、pH 值、海拔和全盐量较低的特征;另外 11 个样地位于第二排序轴的右侧,与土壤环境因子土壤容重、全磷、全钾、pH 值、海拔和全盐量相对应,表征了这些样地土壤有机质、含水量、温度和全氮含量较低的特征。

由图 3 和表 7 可知,所有环境因子共解释了土壤螨类群落物种组成变异的 82.1%。排序轴 Axis 1 解释了 34.8%的生境变化,与土壤环境因子之间的相关系数为 0.909,即解释了土壤螨类群落与环境之间关系的 34.8%。排序轴 Axis 2 进一步解释了 7.5%的生境变化,与土壤环境因子之间的相关系数为 0.897,解释了土壤螨类群落与环境之间关系的 27.3%。排序轴 Axis 1 和排序轴 Axis 2 共同解释了 62.1%的土壤螨类群落与土壤环境之间的关系。蒙特卡罗置换检验显示,十种环境因子与全部排序轴均存在极显著的相关性($F = 7.355$, $P = 0.002$)。物种组成累积解释量和物种-环境关系累积解释量分别达 82.0%和 99.5%,说明排序效果良好。其中排序轴 1 主要反映了容重和全钾、全磷、pH 对土壤螨类分布的影响,排序轴 2 主要反映了、土壤温度、全氮、有机质、含水量对土壤螨类分布的影响。

研究表明,不同环境因素对土壤螨类群落多样性的影响具有一定的差异。土壤螨类群落的变化与海拔、湿度、有机质和全氮含量极显著相关($P < 0.01$),其中土壤湿度对土壤螨类的变化影响最大。

从排序图 3 可知,土壤螨类主要类群与环境因子之间的相互关系,不同类群受环境因子的影响程度明显不同。其中下珠足甲螨属 *Hypodamaeus*、贪颈尖棱甲螨属 *Jugatala*、三皱甲螨属 *Rhysotritia*、龙骨足甲螨属 *Eremaeus* 和菌板鳃甲螨属 *Mycobates* 受全磷、全氮、有机质含量及 pH 的影响较大,而巨须螨属 *Cunaxa*、刀肋甲螨属 *Cultroribula*、四奥甲螨属 *Quadroppia*、瘤前翼甲螨属 *Peloptulus*、盖头甲螨属 *Tectocephus*、鳞顶甲螨属 *Lepidozetes*、小甲螨属 *Oribatella*、菌甲螨属 *Scheloribates*、小奥甲螨属 *Oppiella*、直卷甲螨属 *Archoplophora* 则受全磷、有机质、全氮含量及 pH 的负面影响较大;爪甲螨属 *Unguizetes*、丽甲螨属 *Liacarus* 和革赛螨属 *Gamasellus* 受盐总量的影响较大;懒甲螨属 *Nothrus* 主要受海拔的影响;表珠甲螨属 *Epidamaeus* 和真前翼甲螨属 *Eupelops* 受

全钾和含水量的影响; 蛭螨属 *Zercon*、点肋甲螨属 *Punctoribates*、全盾螨属 *Holostaspella*、上罗甲螨属 *Epilohmannia*、洼甲螨属 *Camisia*、礼服甲螨属 *Trhypochthonius* 受容重和土壤温度的影响较大; 角甲螨属 *Ceratoppia* 和若甲螨属 *Oribatula* 受全钾含量的负面影响。排序图上的距离小, 说明它们在样方中的分布差异较小。

表 7 新疆天山森林公园环境因子与 RDA 前 4 个排序轴的相关系数及排序摘要

Table 7 Correlation coefficients between environmental variables and the first four RDA ordination axes and ordination summary in Tianshan forest park of Xinjiang

环境因子及排序摘要 Environmental factors and ordination summary		排序轴 1 Axis 1	排序轴 2 Axis 2	排序轴 3 Axis 3	排序轴 4 Axis 4
环境因子	海拔 Altitude	0.2799 **	0.5058	0.5471	-0.5597
Environmental variables	土壤温度 ST Soil temperature	0.0872 **	-0.1474 **	-0.1168 **	0.0648 **
	含水量 SWC Soil water content	0.5288	-0.1518 **	0.0162	-0.4994
	容重 BD Bulk density	-0.6699 **	0.5143	0.2263	0.1800
	土壤 pH Soil pH	-0.0321 **	0.3116	0.1086	0.4646
	有机质 SOM Soil organic matter	0.8062 **	-0.1074 **	0.1200 **	-0.2046 **
	全氮 TN Total nitroge	0.6639 **	-0.0652	-0.1627 **	-0.5105
	全磷 TP Total phosphorus	-0.1394 **	0.5810	0.1441	-0.2632 **
	全钾 TK Total potassium	0.0091 **	0.7995	-0.1157 **	-0.1555
	总盐量 TSC Total salt content	0.0871 **	0.6766	-0.4644	-0.4593 **
RDA 排序摘要 Ordination summary	特征值 Eigenvalues	0.348	0.273	0.125	0.075
	物种-环境相关性 Species-environment correlations	0.909	0.897	0.784	0.755
	物种累积百分比方差 Cumulative percentage variance of species data	34.8	62.0	74.5	82.0
	物种-环境关系方差的累积百分比 Cumulative percentage variance of species-environment relation	52.6	66.5	80.1	99.5
	所有典范轴的显著性测验 Significance test for all canonical ordination axes	$F = 5.355$		$P = 0.0020$	

3 讨论

3.1 土壤螨类群落结构特征

土壤螨类群落组成和结构特征在很大程度上受区域气候和小环境的影响^[12-14,25]。天山森林公园土壤螨类资源丰富, 现已鉴定出 56 科 108 个属, 其中发现了 9 个中国新纪录属 (*Pleodamaeus* Paschoal, 1983、*Plesiodamaeus* Grandjean, 1954、*Adrodamaeus* Paschoal, 1983、*Odontodamaeus* Paschoal, 1982、*Joshuella* Wallwork, 1972、*Crotonia* Thorell, 1876、*Neomolgus* Oudemans, 1937、*Mixozercon* Halašková, 1963、*Stachyoppia* Balogh, 1961)。整个研究区域来说 *Oribatella* 属为优势类群, 在不同生境土壤螨类个体数及类群数之间均存在显著差异 ($P < 0.05$), 这与我国其他区域的一些研究结果基本一致^[26-34], 但存在一定的差异。Maribie 等对不同土地利用类型下土壤螨类群落研究表明菌甲螨属 *Scheloribates* 和奥甲螨属 *Oppia* 为优势类群^[1,16]。九华山土壤螨类的优势类群为木单翼甲螨属 *Xylobates*, 菌甲螨属 *Scheloribates* 和大翼甲螨属 *Galumna*^[26]、乌鲁木齐南部山区土壤螨类中小奥甲螨属 *Oppiella* 为优势类群^[29]; 新疆喀纳斯国家级自然保护区土壤螨类群落中甲螨属 *Oppia*, 盖头甲螨属 *Tectocephus*, 钉梭甲螨属 *Passalozetes* 和菌甲螨属 *Scheloribates* 为优势类群^[30]。已有研究表明, 较强的人为干扰会减少稀有类群和特有类群数量, 而对优势类群数量影响不大^[25-28]。环境条件的空间差异对土壤螨类群落具有很大的影响, 生境的分异构成了螨类群落分化的基础, 环境的差异与螨类的适应协同

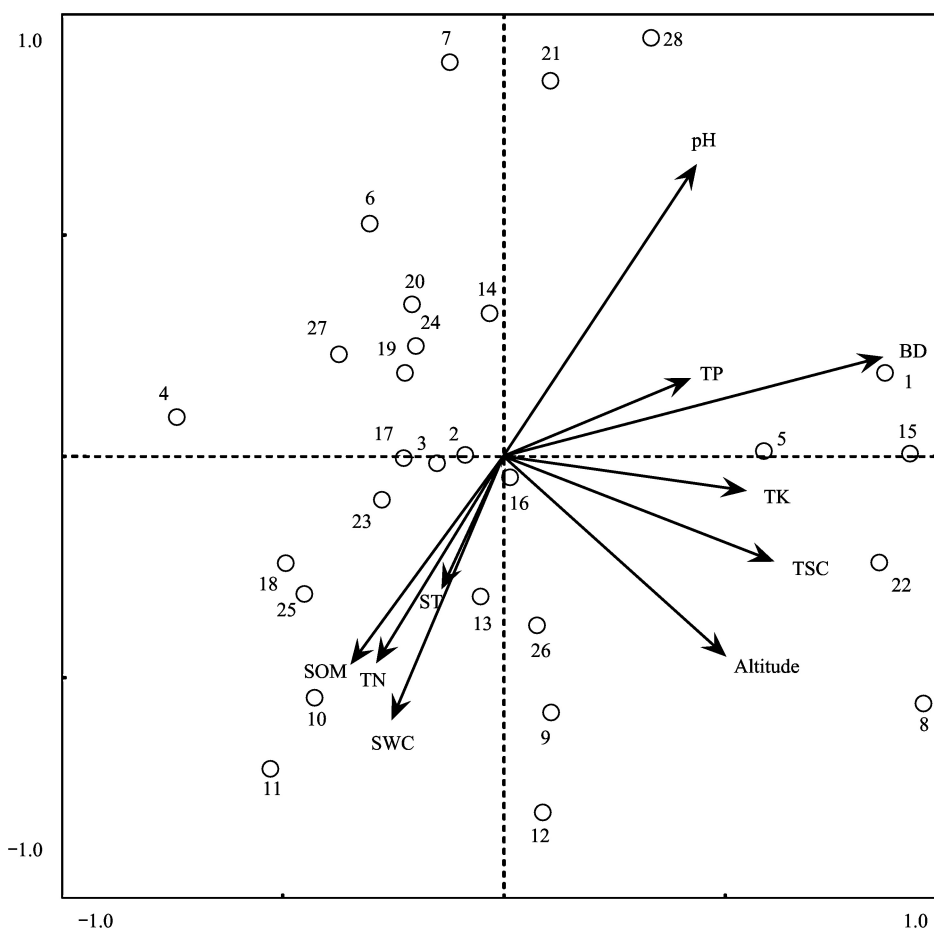


图2 新疆天山森林公园不同生境样地与环境因子的 RDA 二维排序图

Fig.2 Biplot between different habitats and environmental factors in Tianshan forest park of Xinjiang

Altitude:海拔 Altitude;ST:土壤温度 Soil temperature;SWC:土壤含水量 Soil Water Content;BD:容重 Bulk density;pH:土壤 pH;SOM:土壤有机质 Soil organic matter;TN:全氮 Total nitrogen;TP:全磷 Total phosphorus;TK:土壤全钾 Total potassium;TSC:总盐量 Total salt content

作用形成了各个与一定环境相联系,具有一定内部结构的螨类群落^[27-32]。

大量研究表明土壤螨类群落结构和多样性与林地植被成分密切相关,凋落物为林地土壤生态系统有机物质的主要来源,其数量和性质可能对土壤螨类群落产生决定性的影响^[33-35]。温度和湿度也是影响土壤螨类群落及多样性的最重要因子,其种类和数量与土壤温度和有机质存在显著的正相关关系^[37-38],相对较高的地表温度有利于凋落物的分解,而凋落物分解越快,土壤螨类获得食物资源越多,从而使得土壤螨类群落多样性升高^[40]。

研究区域七种不同生境土壤螨类群落多样性均有显著差异,此种差异与土壤环境的利用方式、水热条件,植被类型以及凋落物层有关^[39],针叶林和苗圃林生境的凋落物较厚,土壤有机质含量高,人为干扰相对较少,因此个体数和类群数多,群落多样性及丰富度均较高。林中草地生境的多样性最低,这可能与该生境凋落物较少且人为干扰较大有关。分析表明,群落内的物种越丰富,其多样性就越高,同时多样性指数也受均匀度的影响,群落内物种分布越均匀,则优势度越小,相反群落内物种分布不均匀,则优势度就越大^[39-40]。相似性指数是衡量生境与土壤螨类关系的一个重要指标,七种生境类型之间土壤螨类群落相似性属于中等不相似,说明该区域所选生境类型之间差异较大、代表性强,因而具有实际研究意义。由于土壤螨类对微环境的细微变化特别敏感,随着土壤环境变化其群落结构及多样性指标都发生较大的变动,故其群落多样性特征可作为检测环境质量优劣的良好指示指标^[39-40]。

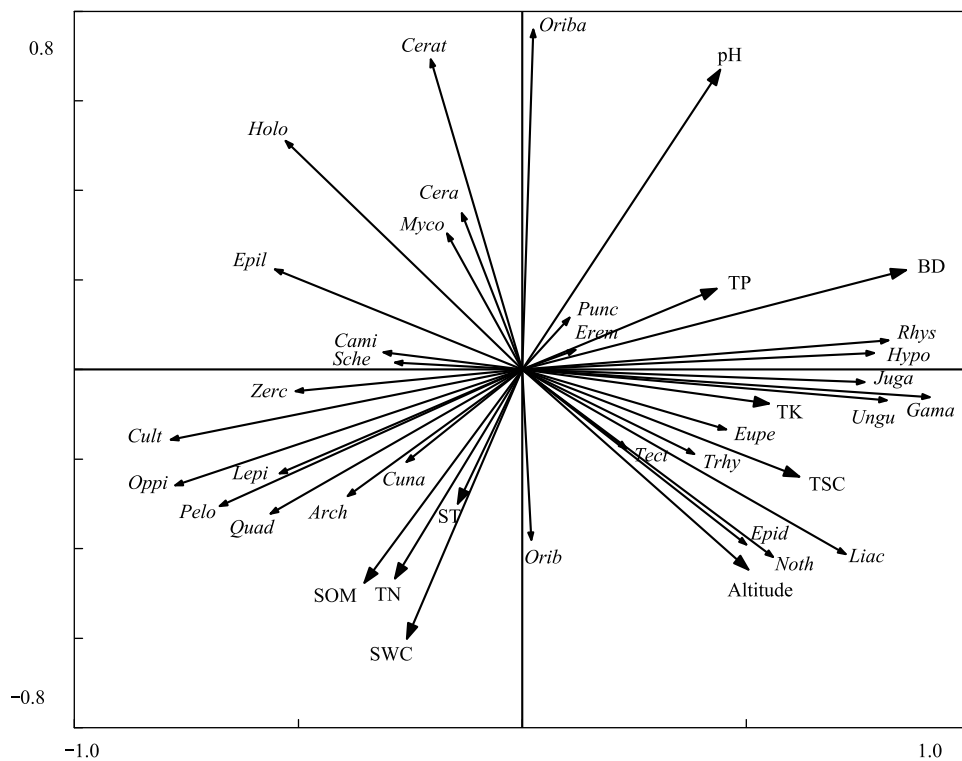


图3 新疆天山森林公园土壤螨类群落和环境因子的 RDA 排序图

Fig.3 Biplot between soil mite communities and environmental factors in Tianshan forest park of Xinjiang

Orib:小甲螨属 *Oribatella*; Oppi:小奥甲螨属 *Oppiella*; Quad:四奥甲螨属 *Quattroppia*; Rhys:三皱甲螨属 *Rhysotritia*; Cera:尖棱甲螨属 *Ceratozetes*; Trhy:礼服甲螨属 *Trhypochthonius*; Myco:菌板鳃甲螨属 *Mycobates*; Sche:菌甲螨属 *Schelorbates*; Tect:盖头甲螨属 *Tectocephus*; Cami:洼甲螨属 *Camisia*; Lepi:鳞顶甲螨属 *Lepidozetes*; Liac:丽甲螨属 *Liacarus*; Pello:瘤前翼甲螨属 *Peloptulus*; Zerc:虫穴螨属 *Zercon*; Noth:懒甲螨属 *Nothrus*; Hypo:下珠足甲螨属 *Hypodamaeus*; Epid:表珠甲螨属 *Epidamaeus*; Oriba:若甲螨属 *Oribatula*; Cult:刀肋甲螨属 *Cultoribula*; Ungu:爪甲螨属 *Unguizetes*; Arch:直卷甲螨属 *Archoplophora*; Juga:贪颈尖棱甲螨属 *Jugatala*; Cerat:角甲螨属 *Ceratoppia*; Eupe:真前翼甲螨属 *Eupelops*; Epil:上罗甲螨属 *Epilohmannia*; Gama:革赛螨属 *Gamasellus*; Holo:全盾螨属 *Holostaspella*; Cuna:巨须螨属 *Cunaxa*; Erem:龙骨足甲螨属 *Eremaeus*; Punc:点肋甲螨属 *Punctoribates*

3.2 土壤螨类群落与环境因子的相关性

土壤螨类在一定的环境条件下生存和繁衍,因此环境因子与土壤螨类的关系很密切。同一环境因子在不同生境对其土壤螨类有不同的作用和体现,不同环境因子在同一生境对其土壤螨类也有不同的影响^[30,34]。本研究表明土壤螨类群落多样性与土壤全氮、全磷、有机质及海拔之间的关联作用大,其中有机质和全氮含量呈正相关关系,而土壤 pH 呈负相关关系,并各生境有机质及全氮含量的变化趋势与土壤螨类群落多样性动态具有一致性,这与国内外研究结果基本一致^[32-34,40]。研究表明,植被结构通过改变微气候环境和土壤理化性质影响土壤螨类的种群密度。土壤理化性质中,土壤容重、水分、养分元素,甚至是重金属含量均是影响土壤螨类分布的重要因素^[13,41]。螨类密度和 Shannon-Wiener 多样性指数与土壤 pH、湿度、土壤温度呈显著正相关,而均匀度指数与土壤全钾呈显著正相关,与土壤全氮呈显著负相关;优势度指数与土壤全氮呈显著正相关。回归分析表明,土壤有机质、全氮、湿度和海拔是影响土壤螨类群落多样性的主要因素^[41-43]。相关分析表明,土壤螨类群落与环境因子之间的关系是海拔、温度、降水量、凋落物以及人为干扰等诸多因素的综合作用可以通过改变土壤理化性质而对土壤螨类群落多样性产生影响^[44-45]。

4 结论

(1) 新疆天山森林公土壤螨类资源丰富,已鉴定出 56 科 108 属,其中 9 属为中国新纪录属。土壤螨类群

落多样性较高,并在不同生境间螨类的个体数、类群数和多样性指数均存在着显著的差异性,同一个生境不同季节土壤螨类群落多样性特征存在显著差异($P<0.05$)。

(2) RDA 分析表明,土壤螨类生态分布与环境因子的关系密切,十种环境因子与全部排序轴间均存在极显著的相关性,其中海拔、土壤含水量和土壤有机质对土壤螨类群落分布的影响最大。排序轴 Axis 1 和排序轴 Axis 2 共同解释了 62.1% 的土壤螨类群落与土壤环境之间的关系,物种组成累积解释量和物种-环境关系累积解释量分别达 82.0% 和 99.5%。

参考文献 (References):

- [1] Maribie C W, Nyamasyo G H N, Ndegwa P N, Mung'atu J K, Lagerlöf J, Gikungu M. Abundance and diversity of soil mites (Acari) along a gradient of land use types in Taita Taveta, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2011, 13(1): 11-26.
- [2] Gormsen D, Hedlund K, Wang H F. Diversity of soil mite communities when managing plant communities on set-aside arable land. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31(1/2): 147-158.
- [3] Bedano J C, Cantú M P, Doucet M E. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology*, 2006, 32(3): 293-304.
- [4] Gulvik M. Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review. *Polish Journal of Ecology*, 2007, 55(3): 415-440.
- [5] Badejo M A, Ola-Adams BA. Abundance and diversity of soil mites of fragmented habitats in a Biosphere reserve in southern Nigeria. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2000, 35(11): 2121-2128.
- [6] Wu D H, Zhang B, Bu Z Y, Chen P. The community characteristics of soil mites under different land uses in Changchun metropolitan area, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 16-25.
- [7] Yin X Q, Li X Q, An J C, Wang F B. Characteristics of ecological distribution of soil microarthropod communities in the Wetlands of the Lhasa river on the Qinghai-Tibet Plateau. *Wetlands*, 2015, 35(3): 589-596.
- [8] N'Dri J K, Hance T, André H M, Lagerlöf J, Tondoh J E. Microarthropod use as bioindicators of the environmental state: case of soil mites (Acari) from Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2016, 29(2): 4622-4637.
- [9] Lin L, Gao M X, Liu D, Zhang X P, Wu H T, Wu D H. Co-occurrence patterns of above-ground and below-ground mite communities in farmland of Sanjiang Plain, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 2014, 24(3): 339-347.
- [10] 郑经鸿, 王丽真, 张兴亚, 王新华, 薄新文. 新疆草地甲螨分布规律研究. *生态学报*, 1993, 13(2): 171-176.
- [11] Zhang Y, Jin D C, Zhou Y F, Yang G P, Liang W Q. Community composition and diversity of soil oribatid mites (Acari: Oribatida) in karst forests in Shibing, Guizhou, Southwestern China. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58(7): 791-799.
- [12] Illig J, Norton R A, Scheu S, Maraun M. Density and community structure of soil- and bark-dwelling microarthropods along an altitudinal gradient in a tropical montane rainforest. *Experimental and Applied Acarology*, 2010, 52(1): 49-62.
- [13] 高梅香, 刘冬, 张雪萍, 吴东辉. 三江平原农田地表和地下土壤螨类丰富度与环境因子的空间关联性. *生态学报*, 2016, 36(6): 1782-1792.
- [14] Omar A, Ajar Q, Mukaram H, Wu S L. Community diversity and its seasonal dynamics of soil mites in Oasis of the Sangong river watershed of Xinjiang, China. *Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition*, 2016, 33(1): 6-19.
- [15] Gao M X, Liu D, Lin L, Wu D H. The small-scale structure of a soil mite metacommunity. *European Journal of Soil Biology*, 2016, 74: 69-75.
- [16] Bolger T, Arroyo J, Kenny J, Caplice M. Hierarchical analysis of mite community structures in Irish forests—A study of the relative contribution of location, forest type and microhabitat. *Applied Soil Ecology*, 2014, 83: 39-43.
- [17] Minor M A, Ermilov S G. Effects of topography on soil and litter mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) in a tropical monsoon forest in Southern Vietnam. *Experimental and Applied Acarology*, 2015, 67(3): 357-372.
- [18] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 1988: 1-179.
- [19] 殷秀琴, 宋博, 董伟华, 辛未冬. 我国土壤动物生态地理研究进展. *地理学报*, 2010, 65(1): 91-102.
- [20] 尹文英. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京: 科学出版社, 1998, 163-242, 527-562.
- [21] 青木淳一. *日本土壤动物检索图鉴*. 东京: 东海大学出版社, 1991, 173-436.
- [22] 江原昭三. *日本蜱螨类检索图鉴*. 东京: 全国农村教育协会出版社, 1980, 1-562.
- [23] Balogh J, Balogh P. *The Oribatid Mites Genera of the World (Vol. 1 and 2)*. Budapest: The Hungarian National Museum Press, 1992: 1-263.
- [24] Krantz G W, Walter D E. *A Manual of Acarology*. 3rd ed. Texas: Texas Tech University Press, 2009: 1-806.
- [25] Kardol P, Reynolds W N, Norby R J, Classen A T. Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Applied Soil*

- Ecology, 2011, 47(1): 37-44.
- [26] 王宗英, 路有成, 王慧芙. 九华山土壤螨类的生态分布. 生态学报, 1996, 16(1): 58-64.
- [27] 吾玛尔·阿布力孜, 阿布都如苏力·吐逊, 木卡热木·阿吉木, 张卫红. 乌鲁木齐地区不同生境土壤捕食性螨类群落结构及其多样性研究. 新疆农业科学, 2012, 49(9): 1748-1758.
- [28] 吾玛尔·阿布力孜, 阿布都如苏力·吐逊, 木开热木·阿吉木, 吴松林. 准噶尔盆地东南缘绿洲-荒漠交错带土壤螨类的群落多样性与相似性. 干旱区资源与环境, 2013, 27(6): 75-79.
- [29] 吾玛尔·阿布力孜, 阿提坎木·吾布力喀斯木, 祖胡玛尔·阿里. 乌鲁木齐南山小渠子土壤螨类群落结构研究. 安徽农业科学, 2014, 42(24): 8191-8197.
- [30] 吾玛尔·阿布力孜, 阿提坎木·吾布力喀斯木, 吴松林. 新疆喀纳斯国家级自然保护区土壤螨类群落特征. 干旱区资源与环境, 2015, 29(2): 99-104.
- [31] 阿布都如苏力·吐逊, 吾玛尔·阿布力孜, 木开热木·阿吉木. 准噶尔盆地东南缘绿洲-荒漠交错带土壤螨类群落特征初步研究. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 160-166.
- [32] 排孜丽耶·合力力, 吾玛尔·阿布力孜, 阿加尔·恰肯. 干旱区不同土地利用类型下土壤螨类群落多样性比较. 新疆农业科学, 2017, 54(12): 2267-2281.
- [33] 阿加尔·恰肯, 吾玛尔·阿布力孜, 排孜力耶·合力力. 新疆玛纳斯河流域土壤螨类群落多样性. 生态学报, 2017, 37(24): 8385-8396.
- [34] Dirilgen T, Arroyo J, Dimmers W J, Faber J, Stone D, da Silva P M, Carvalho F, Schmelz R, Griffiths B S, Francisco R, Creamer R E, Sousa J P, Bolger T. Mite community composition across a European transect and its relationships to variation in other components of soil biodiversity. Applied Soil Ecology, 2016, 97: 86-97.
- [35] Alatalo J M, Jägerbrand A K, Juhanson J, Michelsen A, Łupatýčik P. Impacts of twenty years of experimental warming on soil carbon, nitrogen, moisture and soil mites across alpine/subarctic tundra communities. Scientific Reports, 2017, 7: 44489.
- [36] 韩雪梅, 李丹丹, 梁子安, 陈云峰, 胡诚. 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响. 生态学报, 2013, 33(16): 5026-5034.
- [37] 张丽梅, 高梅香, 刘冬, 张雪萍, 吴东辉. 环境筛选和扩散限制在地表和地下螨群落物种共存中的调控作用. 生态学报, 2016, 36(13): 3951-3959.
- [38] N'Dri J K, Seka F A, Pokou P K, N'Da R A G, Lagerlöf J. Abundance and diversity of soil mite (Acari) communities after conversion of tropical secondary forest into rubber plantations in Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. Ecological Research, 2017, 32(6): 909-919.
- [39] Alatalo J M, Jägerbrand A K, Molau U. Impacts of different climate change regimes and extreme climatic events on an alpine meadow community. Scientific Reports, 2016, 6: 21720.
- [40] Zaitsev A S, Chauvat M, Wolters V. Spruce forest conversion to a mixed beech-coniferous stand modifies oribatid community structure. Applied Soil Ecology, 2014, 76: 60-67.
- [41] Fischer B M, Schatz H. Biodiversity of oribatid mites (Acari: Oribatida) along an altitudinal gradient in the Central Alps. Zootaxa, 2013, 3626(4): 429-454.
- [42] Minor M A, Ermilov S G, Anichkin A E. Biodiversity of soil oribatid mites (Acari: Oribatida) in a tropical highland plateau, Bi Doup - Nui Ba National Park, Southern Vietnam. Tropical Ecology, 2017, 58(1): 45-55.
- [43] Gao M X, He P, Zhang X P, Liu D, Wu D H. Relative roles of spatial factors, environmental filtering and biotic interactions in fine-scale structuring of a soil mite community. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 79: 68-77.
- [44] Kamezcyc J, Urbanowski C, Pers-Kamezcyc E. Mite communities (Acari: Mesostigmata) in young and mature coniferous forests after surface wildfire. Experimental and Applied Acarology, 2017, 72(2): 145-160.
- [45] Minor M A, Babenko A B, Ermilov S G. Oribatid mites (Acari: Oribatida) and springtails (Collembola) in alpine habitats of southern New Zealand. New Zealand Journal of Zoology, 2017, 44(1): 65-85.