

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2024.0112

天目山凋落物层和土壤层土壤螨群落沿海拔梯度的分布格局

高梅香^{1,2}, 朱家祺^{1,2}, 张昭晨³, 马诗钰⁴, 张健⁴, 刘冬^{5*}

(1.宁波大学 土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波 315211;

2.宁波大学 浙江省陆海国土空间利用与治理协同创新中心, 浙江 宁波 315211;

3.中国科学院 庐山植物园, 江西 九江 332900; 4.华东师范大学 生态与环境科学学院, 上海 200241;

5.中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

摘要: 土壤螨群落沿山地海拔梯度分布格局是生物地理学研究的重要内容, 但是目前的研究主要关注土壤层中土壤螨群落, 忽略了多样性更丰富的凋落物层. 为了阐明凋落物层和土壤层中土壤螨群落沿海拔梯度的分布格局, 于2021年5月在天目山沿海拔364.33~1476.29 m的12个样地采集了凋落物层和土壤层中土壤螨样品. 分析结果表明: (1)样品中共捕获土壤螨7172头, 84种, 优势物种为副小单翼甲螨, 土壤螨群落物种数、个体数总体呈现先增后减趋势. (2)在凋落物层土壤螨的Margalef丰富度指数、Shannon-Weiner多样性指数和Simpson优势度指数沿海拔梯度变化显著, 呈现单峰分布; 而土壤层土壤螨的多样性指数沿海拔梯度变化不显著. 表明凋落物层和土壤层土壤螨多样性沿海拔梯度的分布格局有所不同. 建议在亚热带山地同时开展凋落物层与土壤层土壤动物多样性的海拔梯度分布研究, 为山地土壤动物群落多样性对全球变化响应提供更丰富的基础数据.

关键词: 天目山; 土壤螨; 凋落物层; 土壤层; 物种多样性; 海拔梯度

中图分类号: S154.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2024) 04-0031-10

山地环境的多样性和复杂性是导致山地生物多样性丰富的主要原因之一, 山地地区是生物多样性研究的热点地区^[1-2]. 目前对山地生物多样性的研究多集中在地表植物和动物群落, 对地下生态系统的研究较为滞后^[3]. 土壤动物是地下生态系统的重要组成部分, 对环境变化较为敏感^[4]. 土壤动物作为山地生物的重要组成部分, 其群落组成对土壤质量、养分循环和生态系统稳定性影响重大, 是森林土壤肥力的一种重要生物学指标, 能够反映环境的细微变化^[5]. 目前, 物种多样性沿海拔梯度的分布模式主要分为下降型、上升型、单峰型和无趋势4种. 随着全球持续变暖, 山地土壤动物生境也随之变化^[6]. 因此, 探究土壤动物群落多样性随海拔梯度的变化规律对了解土壤动物对全球变

化的响应有着重要意义^[7].

土壤螨广泛分布于森林凋落物层和土壤层^[8], 其多样性随海拔增加表现为多种格局. 尹文英^[9]、刘丹丹等^[10]、王让虎等^[11]分别在天目山、长白山、芦芽山发现土壤螨分布随海拔增加呈现单峰型格局. 在瑞典亚北极地区、厄瓜多尔南部的热带山地雨林也发现土壤螨物种数随海拔的升高而降低^[12-13]. 而现有的研究主要集中在土壤层的土壤螨, 鲜见对凋落物层土壤螨的研究. 实际上部分土壤动物在凋落物层的多样性要高于土壤层^[14]. 在森林生态系统中土壤螨主要在凋落物层活动, 因此加强对凋落物层土壤螨的研究能够更全面地揭示土壤螨群落的组成和物种多样性.

天目山地处中国亚热带北缘, 原生植被保存

收稿日期: 2024-01-09.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 宁波市自然科学基金(2021J129); 浙江省公益技术应用研究项目(LGN22D010006).

第一作者: 高梅香, 教授, 主要研究方向: 土壤动物学. E-mail: gaomeixiang@nbu.edu.cn

*通信作者: 刘冬, 研究员, 主要研究方向: 土壤螨系统分类. E-mail: liudong@iga.ac.cn

较好,生物多样性丰富,被称为物种基因宝库^[15]. 为此,本研究基于山地生物多样性长期监测网络(BEST),选取天目山12个核心样地,对土壤螨进行定量采集和分析,旨在揭示天目山土壤螨群落的组成及其多样性沿海拔梯度的分布格局.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天目山国家级自然保护区(30°18'~30°25'N, 119°24'~119°28'E)位于中国浙江省杭州市临安区境内,占地4282 hm²,海拔300~1506 m,年平均气温8.8~14.8℃,年积温2500~5100℃,年降水量1390~1870 mm^[16]. 天目山地处中亚热带和北亚热带的过渡地带,随着海拔上升,水热因子等改变,山麓至山顶气候垂直变化明显. 天目山植被的分布呈现明显的垂直界限,自下而上垂直带谱为:常绿阔叶林(230~<850 m)、常绿阔叶混交林(850~<1100 m)、落叶阔叶林(1100~<1350 m)以及落叶矮林(1350~<1500 m)^[17-18]. 天目山海拔600 m以下为红壤带,600~1200 m为黄壤带,1200 m以上为棕黄壤带.

1.2 样地设置及样品采集

1.2.1 样地设置

从山麓至山顶,大致以100 m海拔为间隔设置12个20 m×20 m的标准样地,对应的海拔依次为364.33、431.95、554.14、664.27、787.27、860.05、950.30、1077.71、1112.88、1255.58、1328.5、1476.29 m.

1.2.2 样品采集

2021年5月,将每个样地均分为4个10 m×10 m样方,分别采集凋落物层和土壤层中土壤动物样品. 在每个样方内设置以中心点为圆心,以2 m为半径的圆,在该圆内分别随机采集3个凋落物层和3个土壤层样品. 凋落物层样品采集方法为:将15 cm×15 cm的塑料布平铺在凋落物上,用剪刀沿着塑料布边缘将凋落物剪断,留下一个15 cm×15 cm规则的凋落物层,将该凋落物层的样品装入自封袋. 土壤层样品采集方法为:在收集完凋落物后的裸露地表,用内径7 cm的不锈钢土钻采集1个15 cm深的土柱,装入自封袋,低温保存. 将采集的3个样品混合作为一个样方的样品.

1.2.3 土壤动物的分离及鉴定

采用Tullgren干漏斗法分离和提取土壤动物标本,使用40 W灯泡作为光源与热源照射和烘干24 h,将提取到的土壤动物标本置于95%乙醇溶液中,-20℃冰箱保存. 之后在光学显微镜(Nikon Eclipse 80i)和体视显微镜(Olympus Lympus SZX16)下观察标本的形态,进行初步分类,并观察土壤螨的形态. 按照文献[19-20]分类,系统鉴定到种,统计土壤螨个体数,成螨和若螨分开计数,若螨仅计数不进行分析.

1.3 物种多样性

1.3.1 物种组成

土壤螨数量的等级划分:个体数占总数百分比大于等于10%为优势物种,大于等于1%且小于10%为常见物种;小于1%为稀有物种^[21]. 计算各海拔样地土壤螨的个体数、物种数. 基于R软件“ggplot2”包、“cowplot”包,采用线性模型和二次回归模型,拟合土壤螨种类和数量组成随海拔梯度的变化趋势, R^2 和 P 值分别为拟合度和显著性. 基于R软件“circlize”包绘制各海拔梯度土壤螨主要类群的和弦图,说明各海拔土壤螨主要类群的组成情况.

1.3.2 物种多样性指数

采用以下指标分析土壤螨的物种多样性^[22-25].

Margalef 丰富度指数(D):

$$D = (S-1) / \ln N.$$

Shannon-Weiner 多样性指数(H):

$$H = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i.$$

Simpson 优势度指数(C):

$$C = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2.$$

Pielou 均匀度指数(E):

$$E = H / \ln S.$$

上述公式中 N 为群落内土壤螨的个体总数; S 为群落内土壤螨的物种数; $p_i = n_i / N$, n_i 为群落内第 i 个物种的个体数.

多样性指数基于R软件“vegan”包计算,通过R软件“ggplot2”包、“cowplot”包,采用线性模型和二次回归模型拟合物种多样性指数随海拔梯度的变化, R^2 和 P 值分别为拟合度和显著性. 通

常 $P<0.05$ 表示具有统计学差异, $P<0.01$ 表示具有显著的统计学差异。

2 结果与分析

2.1 天目山土壤螨群落组成

本研究共收集到土壤螨 5 724 头, 共 84 种, 其中甲螨 56 种, 隶属 30 科 40 属; 中气门螨 28 种。凋落物层采集到土壤螨 5 026 头, 共 82 种。土壤层采集到土壤螨 698 头, 共 50 种。5 724 头土壤螨中甲螨 5 220 头、中气门螨 504 头(表 1)。由于若螨难以鉴定, 后续仅对成螨进行分析。

天目山土壤螨群落优势物种为副小单翼甲螨(*Haplozetes paraminimicoma*), 常见物种 20 种, 稀有物种 63 种。凋落物层土壤螨群落优势物种为副小单翼甲螨, 其数量占凋落物层总捕获量的 15.08%; 常见物种 20 种, 其数量占凋落物层总捕获量的 70.27%。土壤层优势物种为副小单翼甲螨和土库曼罗甲螨(*Lohmannia turcmenica*), 其数量分别占土壤层总捕获量的 24.79%和 19.91%; 常见物种 17 种, 合计占土壤层捕获量的 43.12%。

2.2 天目山土壤螨群落沿海拔梯度的分布格局

随着海拔梯度的变化, 土壤螨群落物种数、个

表 1 天目山凋落物层和土壤层土壤螨群落物种的组成

物种	凋落物层			土壤层		
	个体数/头	占比/%	多度	个体数/头	占比/%	多度
滑菌甲螨(<i>Scheloribates laevigatus</i>)	54	1.07	++	19	2.72	++
锥小盾珠甲螨(<i>Suctobelbella conica</i>)	237	4.72	++	40	5.73	++
纹暗卷甲螨(<i>Atropacarus striculus</i>)	129	2.57	++	4	0.57	+
土库曼罗甲螨(<i>Lohmannia turcmenica</i>)	60	1.19	++	139	19.91	+++
棘疹丘甲螨(<i>Papillacarus echinatus</i>)	0	0		19	2.72	++
冠长单翼甲螨(<i>Protoribates lophothrichus</i>)	292	5.81	++	24	3.44	++
副小单翼甲螨(<i>Haplozetes paraminimicoma</i>)	758	15.08	+++	173	24.79	+++
覆盖头甲螨(<i>Tectocepheus velatus</i>)	382	7.60	++	18	2.58	++
阿沙甲螨(<i>Eremulus avenifer</i>)	180	3.58	++	5	0.72	+
淡红缝甲螨(<i>Hypochthonius rufulus</i>)	207	4.12	++	16	2.29	++
长孔新大翼甲螨(<i>Neogalumna longiporosa</i>)	337	6.71	++	0	0	
平行日本汉甲螨(<i>Nippohermannia parallela</i>)	103	2.05	++	0	0	
姬端三甲螨(<i>Acrotritia ardua</i>)	125	2.49	++	29	4.15	++
沈氏枝奥甲螨(<i>Ramusella sengbuschi</i>)	81	1.61	++	24	3.44	++
吻直卷甲螨(<i>Archoplophora rostralis</i>)	63	1.25	++	7	1.00	++
塞氏小尖梭甲螨(<i>Ceratozetella sellnicki</i>)	53	1.05	++	14	2.01	++
大无前翼甲螨(<i>Anachipteria grandis</i>)	90	1.79	++	11	1.58	++
<i>Platynothrus peltifer</i>	486	9.76	++	14	2.01	++
扁裸珠甲螨(<i>Gymnodamaeus adpressus</i>)	126	2.51	++	0	0	
甲螨未定种 1(<i>Oribatida</i> sp.1)	131	2.61	++	7	1.00	++
甲螨未定种 2(<i>Oribatida</i> sp.2)	307	6.11	++	29	4.15	++
甲螨未定种 4(<i>Oribatida</i> sp.4)	0	0		13	1.86	++
中气门未定种 2(<i>Mesostigmata</i> sp.2)	89	1.77	++	0	0	
中气门未定种 6(<i>Mesostigmata</i> sp.6)	0	0		9	1.29	++
中气门未定种 12(<i>Mesostigmata</i> sp.12)	0	0		8	1.15	++
总计	4 290			622		

注: +++代表优势物种; ++代表常见物种; +代表稀有物种。

体数总体呈现先增后减趋势. 不同海拔间物种数差异显著($P<0.001$), 个体数差异不显著(图 1). 在海拔 431.95 m 处土壤螨群落的个体数最多, 海拔 554.14 m 处个体数最少(图 1(b)). 土壤螨群落各物种在多个海拔梯度均有分布, 且主要物种个体数

随海拔梯度变化明显. 在海拔 431.95 m 处主要物种个体数占总个体数 91.98%, 在海拔 554.14 m 处主要物种个体数占总个体数 64.52%(图 2).

土壤螨群落的 Pielou 均匀度指数随海拔梯度的变化呈现单峰分布格局, 但该格局不显著(图 3(a)).

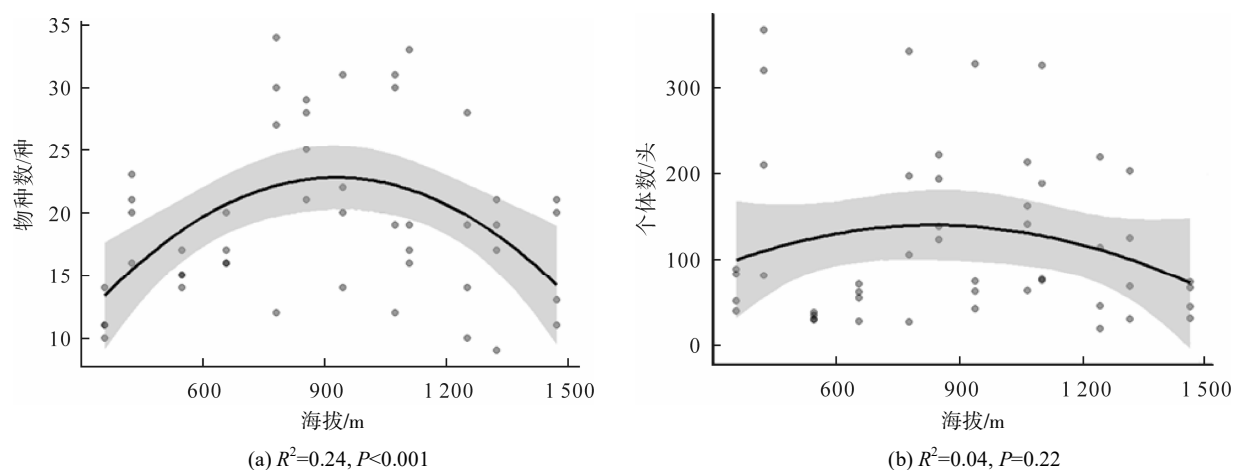


图 1 天目山土壤螨群落物种数和个体数沿海拔梯度的变化

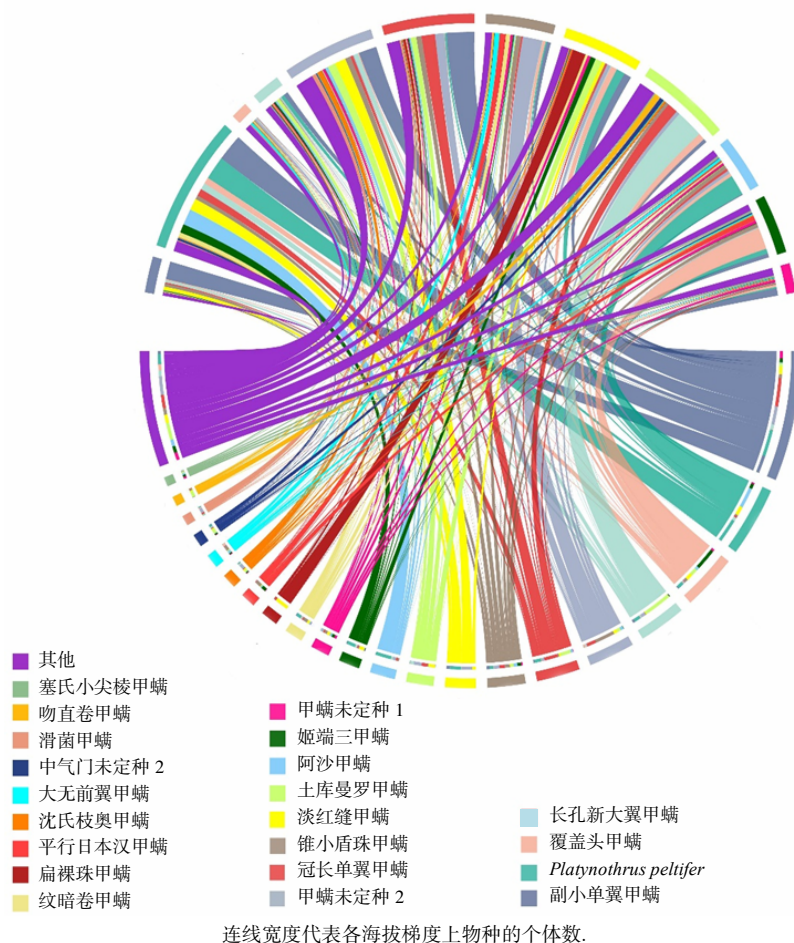


图 2 天目山 12 个海拔梯度土壤螨群落优势物种和常见物种的分布

土壤螨群落的 Margalef 丰富度指数($P<0.001$)、Shannon-Weiner 多样性指数($P<0.001$)和 Simpson 优势度指数($R^2=0.14$, $P=0.01$), 随海拔升高呈现明显的单峰分布格局, 峰值在中间海拔处(图 3(b)~(d)).

2.2.1 凋落物层土壤螨群落沿海拔梯度的分布格局

随着海拔梯度的变化, 凋落物层土壤螨群落物种数、个体数总体呈现先增后减趋势, 物种数、

个体数在不同海拔间差异显著($P<0.001$)(图 4(a)). 土壤螨个体数在海拔 431.95 m 处最多, 海拔 554.14 m 处最少(图 4(b)). 土壤螨群落的优势物种和常见物种广泛分布于多个海拔梯度, 且其个体数随海拔梯度变化明显, 在海拔 364.33 m 处优势物种和常见物种的个体数占总个体数 100%, 在海拔 1 476.29 m 处个体数占总个体数 88.89%.

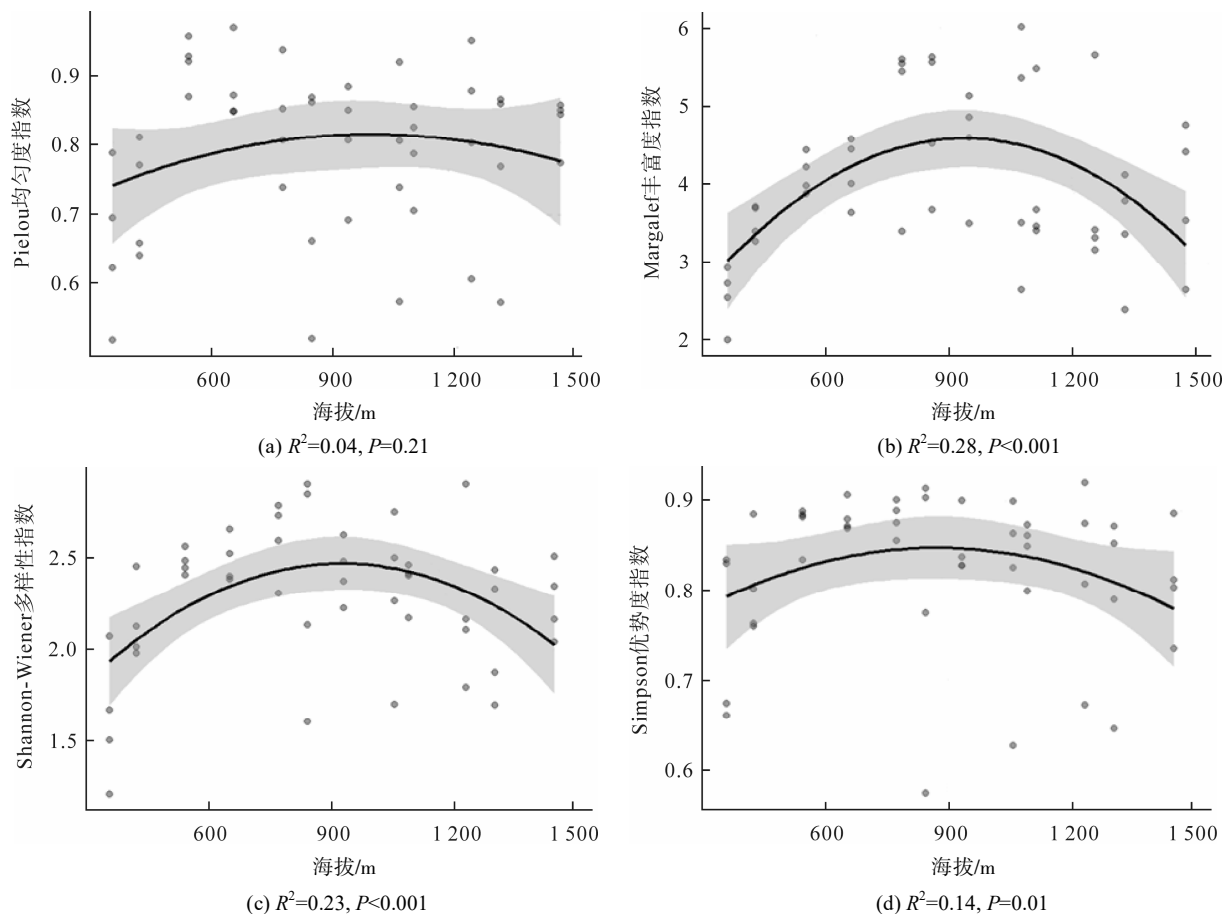


图3 天目山土壤螨群落多样性指数沿海拔梯度的变化

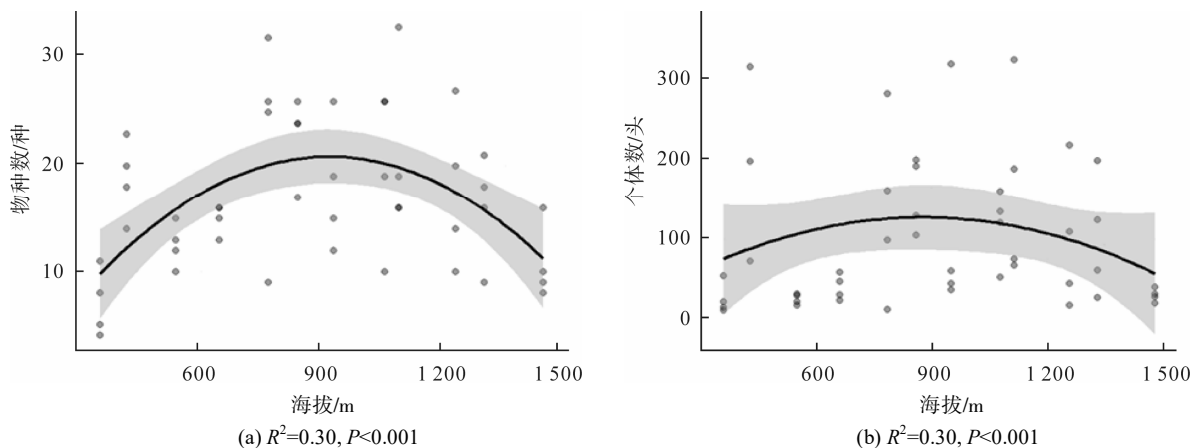


图4 天目山凋落物层土壤螨群落物种数和个体数沿海拔梯度的变化

土壤螨群落的 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数随海拔梯度的变化呈现先增后减趋势,但是趋势不显著(图 5(a)和(d)). 凋落物层土壤螨群落的 Margalef 丰富度指数($P<0.001$)和 Shannon-Wiener 多样性指数($P<0.001$)随海拔升高分别呈现明显的单峰格局和递减格局(图 5(b)和(c)).

2.2.2 土壤层土壤螨群落沿海拔梯度的分布格局

随着海拔梯度的变化,土壤层土壤螨群落物种数、个体数整体变化趋势一致,随海拔升高递减,但是两者变化趋势均不显著(图 6). 所有海拔梯度中 364.33 m 处土壤螨群落个体数最多,1112.88 m 处个体数最少. 土壤螨群落的优势物种和常见物

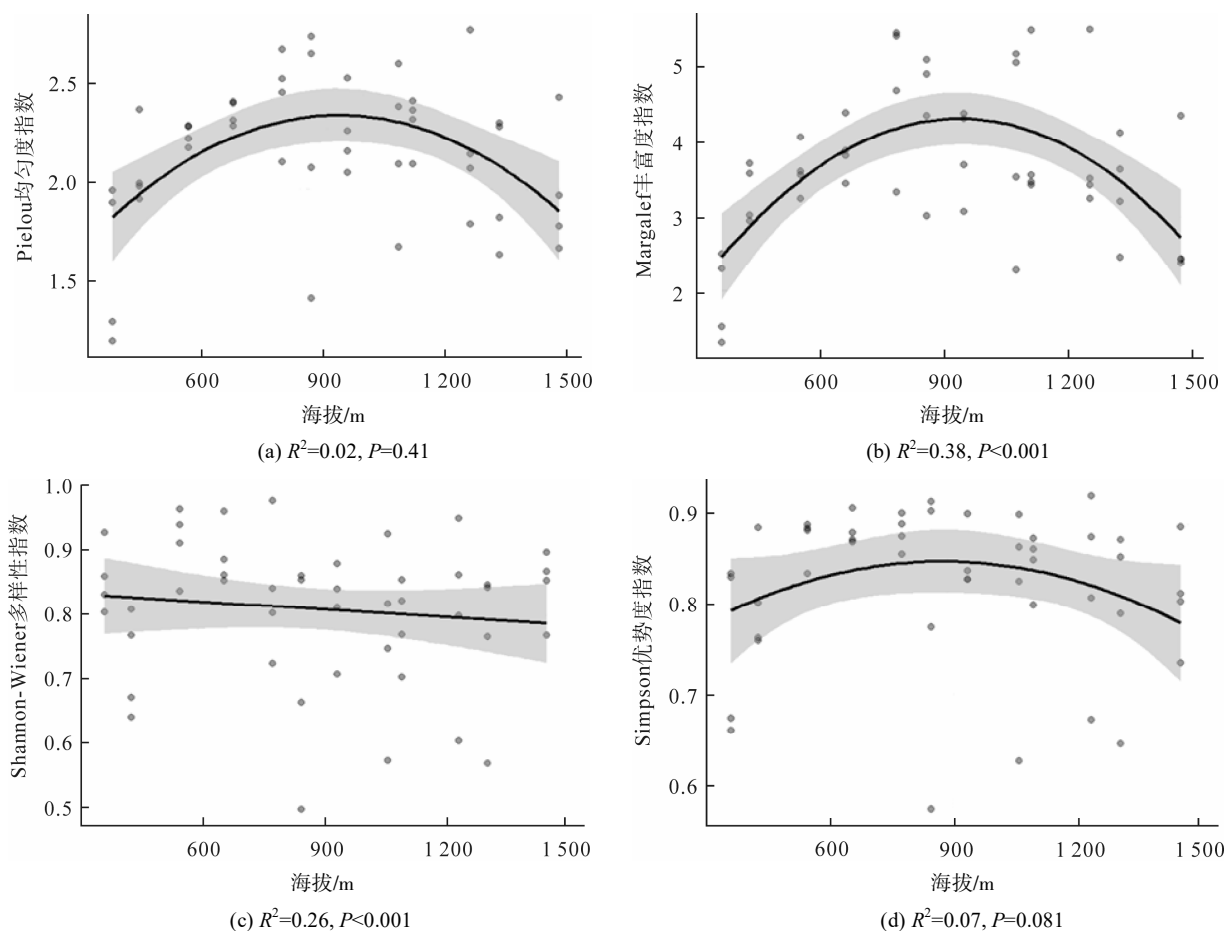


图5 天目山凋落物层土壤螨群落多样性指数沿海拔梯度的变化

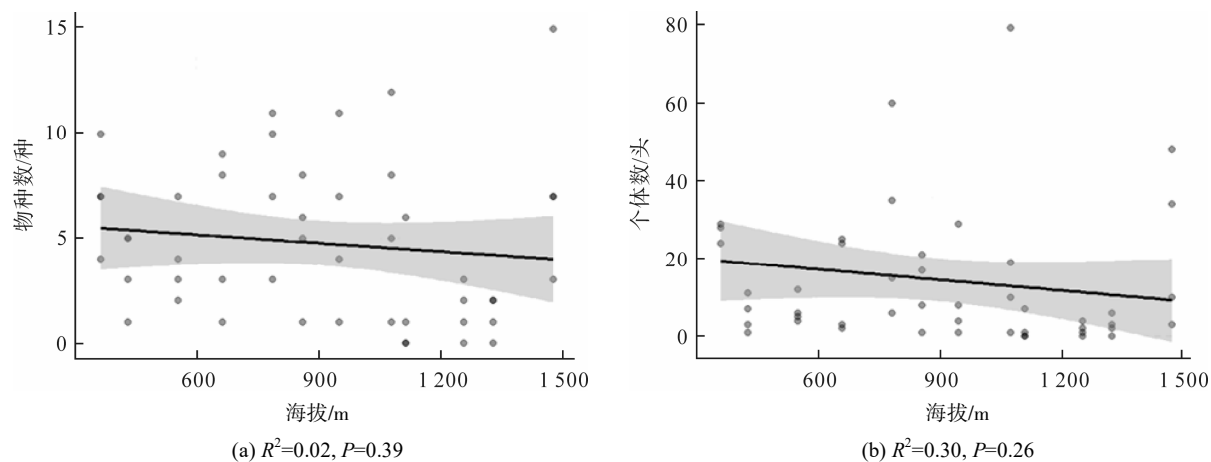


图6 天目山土壤层土壤螨群落物种数和个体数沿海拔梯度的变化

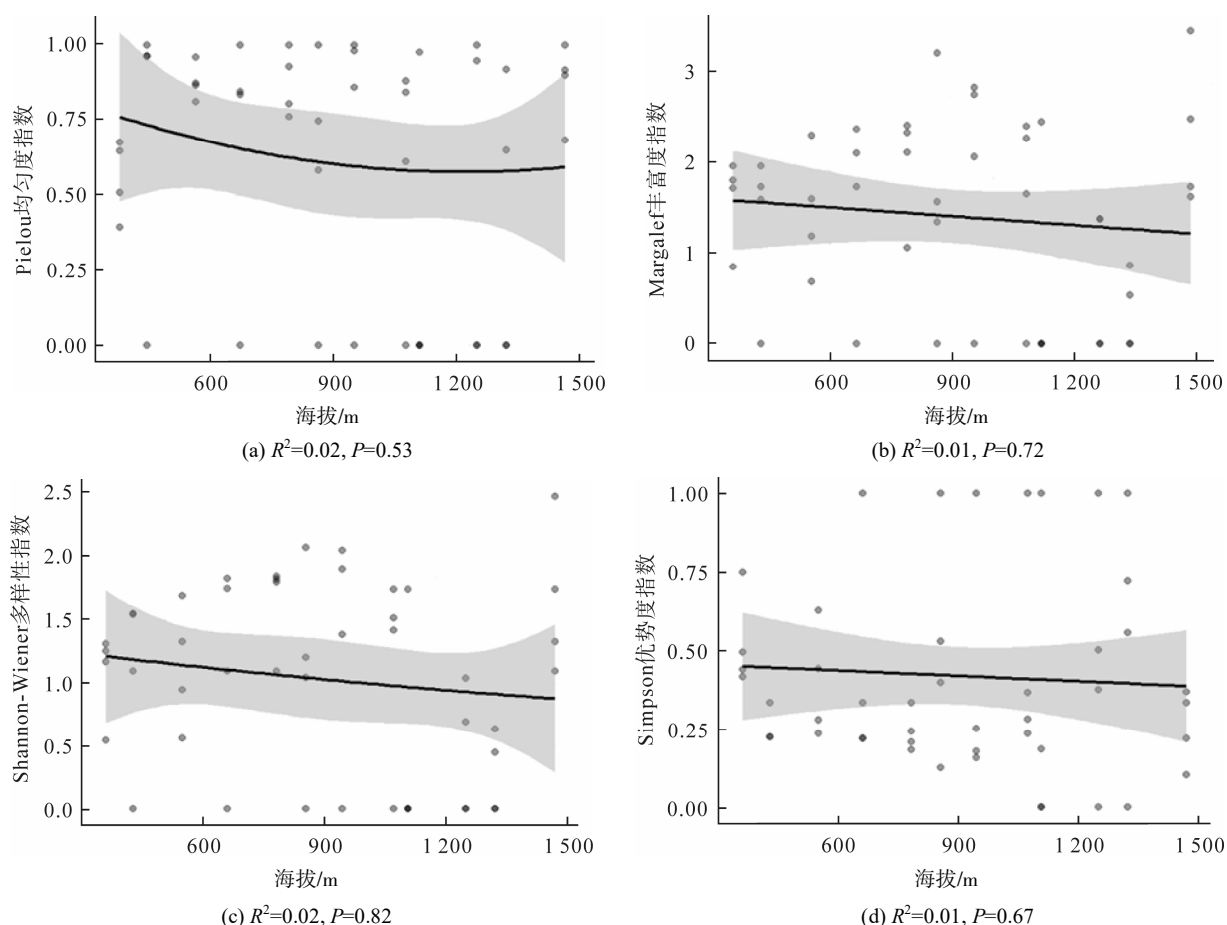


图7 天目山土壤层土壤螨群落多样性指数沿海拔梯度的变化

种广泛分布于多个海拔梯度, 其个体数随海拔梯度变化明显, 在海拔 431.95 m 处物种的个体数占总个体数 100%, 在海拔 1328.5 m 处物种个体数占总个体数 81.82%。在海拔 1112.88 m 样地内仅捕获 8 头土壤螨, 但其物种数达到 7 种。

土壤层土壤螨群落的 Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数和 Shannon-Weiner 多样性指数随海拔变化呈现单调递减趋势(图 7(a)~(c)), Simpson 优势度指数呈现单调递减, 但变化趋势不显著(图 7(d))。

3 讨论

3.1 凋落物层和土壤层土壤螨组成沿海拔梯度的变化

本研究共捕获土壤螨 7172 头, 共 84 种, 其中凋落物层物种数和个体数显著高于土壤层。在凋落物层共捕获土壤成螨 5026 头, 共计 82 种, 土壤层捕获土壤成螨 698 头, 共计 50 种。在凋落物层和

土壤层中副小单翼甲螨都是占比最高的优势物种, 在 12 个不同海拔处均有分布。原因可能是该物种有较强的生态适应性和较宽的生态位^[26-27]。土壤层的优势物种为土库曼罗甲螨, 与罗甲螨科在中国的分布相吻合^[28]。尹文英^[9]在 1988 年对天目山土壤动物调查时捕获甲螨 5794 头, 隶属 57 科 103 属, 甲螨的属数高于本研究结果。奥甲螨科是最大的优势科, 1988 年为优势科的盲甲螨科、盾珠甲螨科在本研究中均未发现。原因可能是: (1)由于全球变化导致, 土壤食物网的不同组成部分对全球气候变化的反应截然不同, 天目山所处的亚热带地区发生干旱的面积有变大趋势, 一些植物和动物可能会表现出优势, 适应并在这样的环境中取得竞争优势^[29-30]。(2)实验设计和采集方案导致的差异, 1988 年针对 9 个海拔梯度分别在各个月份采样, 而本研究仅在 5 月份采样, 考虑到许多土壤螨物种活动有明显的季节性^[31], 有可能是盲甲螨科、盾珠甲螨科物种在其他季节较为活跃。

凋落物层土壤螨群落物种数、个体数沿海拔梯度呈现明显的单峰格局,而土壤层土壤螨群落物种数、个体数沿海拔梯度呈现不显著的递减分布。这与同处亚热带的梵净山土壤螨分布格局相似^[32]。导致天目山土壤螨分布呈现单峰格局的原因可能是低海拔地区温度高,加之天目山自20世纪90年代开始形成了以农家乐为主要形式的生态旅游区,人为干扰大,物种多样性受负面影响。高海拔地区土壤湿度和温度较低,土壤螨生存所需资源减少,从而导致物种多样性较低。中海拔地区较高海拔地区有相对充足的资源,且较低海拔地区人为干扰少,导致土壤螨个体数、物种数在中海拔地区达到最高^[32-33]。文献[34]研究表明,土壤动物海拔分布格局的影响因素并不是单一的,而是受到气候、地形、土壤、植被等多因素共同作用,这可能是导致土壤层土壤螨群落物种数、个体数在不同海拔的分布没有显著差异的原因。

本研究凋落物层土壤螨个体数和物种数显著高于土壤层,造成这种结果的原因可能是凋落物层中有机质等营养物质比较丰富,能够为土壤螨提供更多的食物资源和生存空间^[35-36]。同时,不同种群土壤螨之间存在生殖特征差异,导致不同种群土壤螨对海拔分布的响应不同。

3.2 凋落物层和土壤层土壤螨群落多样性沿海拔的变化

本研究发现,随着海拔升高土壤螨群落的多样性指数变化显著,凋落物层土壤螨的Margalef丰富度指数、Shannon-Weiner多样性指数和Simpson优势度指数呈现单峰格局,在中海拔地区达到最高。而土壤层土壤螨的Simpson优势度指数随海拔升高递增,其余3个指数均随海拔升高递减,海拔间的差异不显著。这与同处亚热带地区的百山祖自然保护区^[37]、天童太白山^[38]、九华山^[39]的土壤动物多样性沿海拔分布格局均不相同。原因可能是百山祖自然保护区、天童太白山、九华山的研究对象涵盖了大型、中小型土壤动物,而本研究仅针对土壤螨群落,不同的土壤动物类群对环境的选择存在较大的差异性^[25]。此外,由于各山地设置的样地海拔不同,划分的梯度不同,也是造成土壤动物多样性海拔格局不同的潜在因素。研究对象同为土壤螨的长白山,其Shannon-Weiner多样性指

数随海拔升高呈现“U”型格局^[10]。原因可能是本研究的海拔(364.33~1476.29 m)为低海拔地区,温度高,较中海拔地区含水量低,同时天目山大力发展旅游业,受到人类活动影响较大,对土壤螨群落多样性造成干扰。高海拔地区因气温和降水不同,不仅对土壤螨的生长发育产生直接影响,同时对栖息地的环境以及食物资源丰度和质量产生间接影响^[40],土壤螨多样性在中海拔地区达到最高值。长白山甲螨研究的海拔为600~2200 m,海拔最低的采样点已处于针阔叶混交林,年均气温约2.8℃,随着海拔升高温度更低,同时降水量也低于处于亚热带的天目山。文献[41]研究结果表明,温度、降水变化可以改变物种间的相互作用,调控物种可以利用资源的数量。

4 结语

本研究对天目山国家级自然保护区土壤螨群落的组成、物种数、个体数以及多样性随海拔分布格局进行了研究,结果表明凋落物层土壤螨物种数与个体数高于土壤层,凋落物层土壤螨群落物种数、个体数随海拔变化呈现单峰分布的格局,土壤层土壤螨群落物种数、个体数随海拔变化呈现递减趋势;凋落物层土壤螨群落物种的多样性随海拔也呈现先升后降趋势,而土壤层土壤螨群落物种的多样性随海拔变化没有明显规律。在目前天目山自然保护区旅游业发展的背景下,副小单翼甲螨是研究区数量最多、分布最广的优势物种。

本研究仅调查了单个季节天目山土壤甲螨群落沿海拔梯度的分布规律,多季节动态变化的相关研究有待进一步开展。

参考文献:

- [1] PERRIGO A L, HOORN C, ANTONELLI A. Why mountains matter for biodiversity[J]. *Journal of Biogeography*, 2019, 47:315-325.
- [2] PINEDA-LÓPEZ R, TEPOS-RAMÍREZ M, ACOSTA-RAMÍREZ A, et al. Elevational and seasonal changes in a bird assemblage within a mountain system in central Mexico[J]. *Ornithology Research*, 2023, 31(4):274-281.
- [3] 谢致敬, 常亮, SCHEU S, 等. 长白山森林生态系统凋落物层和土壤层跳虫物种多样性和功能多样性对海拔梯度的响应[J]. *生态学报*, 2022, 42(9):3471-3481.
- [4] LAVELLE P, DECAËNS T, AUBERT M, et al. Soil

- invertebrates and ecosystem services[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42:S3-S15.
- [5] BARDGETT R D, VAN DER PUTTEN W H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning[J]. *Nature*, 2014, 515(7528):505-511.
- [6] 张卫信, 申智锋, 赵灿灿, 等. 中国土壤动物生态地理学研究现状与展望[J]. *应用生态学报*, 2024, 35(5): 1435-1446.
- [7] 徐帅博, 李艳红, 朱连奇, 等. 山地土壤动物群落垂直分布格局研究进展[J]. *河南大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(1):19-28.
- [8] ZHANG Z Q. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013)[J]. *Zootaxa*, 2013, 3703:1-82.
- [9] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [10] 刘丹丹, 武海涛, 于洪贤, 等. 长白山地土壤甲螨和跳虫多样性的海拔梯度格局[J]. *地理科学*, 2023, 43(7): 1299-1309.
- [11] 王让虎, 刘倩煜, 王啸宇, 等. 芦芽山土壤螨类群落多样性对海拔梯度的响应[J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 2022, 45(4):1138-1150.
- [12] BOKHORST S, CISK A VEEN G F, SUNDQVIST M, et al. Contrasting responses of springtails and mites to elevation and vegetation type in the sub-Arctic[J]. *Pedobiologia*, 2018, 67:57-64.
- [13] ILLIG J, NORTON R A, SCHEU S, et al. Density and community structure of soil- and bark-dwelling microarthropods along an altitudinal gradient in a tropical montane rainforest[J]. *Experimental & Applied Acarology*, 2010, 52(1):49-62.
- [14] BRIONES M J I. Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2014, 2:7.
- [15] 王通, 郑泉, 庞春梅, 等. 天目山常绿落叶阔叶混交林种子雨特征及其与群落组成的关系[J]. *生态学报*, 2024, 44(2):780-792.
- [16] 陈星, 涂淑雯, 戴尊, 等. 浙江天目山国家级自然保护区苔藓植物多样性[J]. *生物多样性*, 2023, 31(4):152-161.
- [17] 吴登瑜, 窦啸文, 汤孟平. 天目山针阔混交林结构与碳储量的关系[J]. *应用生态学报*, 2023, 34(8):2029-2038.
- [18] KRANTZ G W. A manual of acarology[M]. Corvallis: Oregon State University Book Stores, 1978.
- [19] KRANTZ G W, WALTER D E. A manual of acarology [M]. 2nd ed. Corvallis: Oregon State University Book Stores, 2009.
- [20] 刘倩煜, 王让虎, 吴鑫杰, 等. 吕梁山森林生态系统土壤螨类物种多样性和功能多样性对海拔梯度的响应[J]. *应用生态学报*, 2023, 34(12):3301-3312.
- [21] MARGALEF D R. Information theory in ecology[J]. *Traslation Series*, 1973, 2609:1-140.
- [22] SHANNON C E. A mathematical theory of communication[J]. *The Bell System Technical Journal*, 1948, 27(3):379-423.
- [23] SIMPSON E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163:688.
- [24] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 13:131-144.
- [25] 牛克昌, 刘泽宁, 沈泽昊, 等. 群落构建的中性理论和生态位理论[J]. *生物多样性*, 2009, 17(6):579-593.
- [26] LEVIS N A, PFENNIG D W. Evaluating 'plasticity-first' evolution in nature: key criteria and empirical approaches [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2016, 31(7):563-574.
- [27] 陈燕南, 梁铨, 陈军. 亚热带不同树种组成森林中土壤甲螨群落结构特征: 以江西新岗山为例[J]. *生物多样性*, 2022, 30(12):22-30.
- [28] 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(5):1117-1127.
- [29] 吴陶樱, 方秀琴, 吴小君, 等. 基于气候区的全球干旱形势分析[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(3):166-173.
- [30] 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(5):189-199.
- [31] 王鹏举, 陈浒, 周政, 等. 梵净山常绿落叶阔叶混交林土壤螨类群落结构研究[J]. *土壤*, 2018, 50(4):687-695.
- [32] RAHBK C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern?[J]. *Ecography*, 1995, 18(2):200-205.
- [33] KÖRNER C. The use of 'altitude' in ecological research [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2007, 22(11):569-574.
- [34] 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.
- [35] 谢致敬. 长白山垂直自然带等节跳生物多样性格局及其群落构建机制[D]. 哈尔滨: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2022.
- [36] 谢致敬, 吴东辉. 长白山典型森林生态系统中的分解者和消费者: 跳虫[J]. *生命世界*, 2023(8):62-67.
- [37] 严莹, 李恺, 方燕. 浙江百山祖自然保护区不同海拔土壤动物群落结构及季节动态[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(9):1754-1761.
- [38] 陈小鸟, 由文辉, 易兰. 浙江天童太白山不同海拔土壤

- 动物的群落结构[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2):270-276.
- [39] 路有成, 王宗英. 九华山土壤动物的垂直分布[J]. 地理研究, 1994, 13(2):74-81.
- [40] 张艳, 李勋, 宋思梦, 等. 针阔凋落叶混合分解过程中土壤动物群落结构变化特征[J]. 森林与环境学报, 2023, 43(1):92-102.
- [41] LI Y L, WANG F D, YANG H J, et al. Balanced biogeographic and local environmental effects determine the patterns of microbial diversity in biocrusts at multi-scales[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 14:1284864.

Distribution pattern of soil mite community in litter layer and soil layer along altitude gradient in Tianmu Mountain

GAO Meixiang^{1,2}, ZHU Jiaqi^{1,2}, ZHANG Zhaochen³, MA Shiyu⁴, ZHANG Jian⁴, LIU Dong⁵

(1.School of Civil & Environmental Engineering and Geography Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Zhejiang Collaborative Innovation Center for Land and Marine Spatial Utilization and Governance Research, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

3.Lushan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Jiujiang 332900, China;

4.School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

5.Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

Abstract: It is an important topic to clarify the distribution pattern of soil mites along the mountain altitudinal gradient in soil zoology research and is the core of the corresponding study on mountain soil fauna related to global changes. However, the current study mainly focused on soil mites in the soil layer, ignoring those that are more diverse in the litter layer, which were higher than that in the soil layer. To illustrate the distribution pattern of soil mites along the altitudinal gradient in both the litter layer and the soil layer, soil mite samples were analyzed from 12 sample plots along 364.33 m to 1 476.29 m in Tianmu Mountain in May 2021. The results indicate that (1) A total of 7 172 soil mite individuals with 84 species were captured, and the dominant species was *Haplozetes paraminimicoma*. Species diversity in the litter layer was significantly higher than that in the soil layer. (2) In the litter layer, the Margalef richness index, Shannon-Wiener diversity index and Simpson dominance index all varied significantly along the altitudinal gradient with a unimodal distribution, while each diversity index in the soil layer they did not vary significantly along the altitudinal gradient. The results of this study suggest that the distribution patterns of soil mite diversity along the altitudinal gradient differ between the litter layer and the soil layer. This suggests that a study on the altitudinal gradient of soil faunal diversity in both the litter layer and soil layers in subtropical mountains will provide richer basic data on the diversity of soil faunal communities in mountains corresponding to global changes.

Key words: Tianmu Mountain; soil mite; litter layer; soil layer; species diversity; altitude gradient

(责任编辑 史小丽)