

常绿阔叶林土壤动物群落结构及 在海拔梯度上的差异

秦海浪^{1,2}, 杨效东¹

¹中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室, 云南勐腊 666303;

²中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:为了解海拔梯度及地表残留物质量对土壤动物分布的影响,于2011年8月(雨季)和2012年6月(干季),采用样地调查法对哀牢山中山湿性常绿阔叶林不同海拔梯度(2000、2200、2400和2600 m)生境土壤动物群落进行调查。结果表明:所查不同海拔梯度常绿阔叶林土壤动物群落组成相近,优势类群为蝉蟎目和弹尾目,常见类群为双翅目、鞘翅目、膜翅目、啮虫目、半翅目和鳞翅目,稀有类群的组成在不同海拔梯度上有明显变化。土壤动物群落类群数和个体数分布受海拔垂直梯度变化的影响明显,而水平方向不同样方的差异不显著。总体表现为:随海拔梯度升高,土壤动物类群数降低,个体数量呈先降低后升高的趋势(海拔2400 m生境最低)。不同海拔生境中地表凋落物C含量以2200 m海拔生境最高,N含量则在2600 m海拔最高。相关分析表明,弹尾目个体数量与地表凋落物N含量具有显著的正相关关系。由此说明,土壤动物群落在不同海拔梯度的数量分布受海拔变化所产生的凋落物质量和温湿度差异的综合影响。

关键词:常绿阔叶林;海拔梯度;土壤动物群落;地表凋落物;哀牢山

中图分类号:S7

文献标志码:A

论文编号:2014-0375

Community Structure and Variation of Soil Fauna Among the Different Elevations in Evergreen Broad-leaf Forest

Qin Hailang^{1,2}, Yang Xiaodong¹

¹Key Laboratory of Tropical Forestry Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden,

Chinese Academy of Sciences, Mengla Yunnan 666303;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: In order to understand the influence on the distribution of soil fauna by elevation gradient and floor litter quality, in August of 2011 and June of 2012, the author studied the composition and distribution of soil fauna community among different elevation in evergreen broad-leaved forest of Ailaoshan by using field survey method. The results showed that Acarina and Collembola were the dominant groups, and Diptera, Coleoptera, Hymenoptera, Psocoptera, Hemiptera, Lepidoptera were the common groups among the elevation gradient. The groups and individual density of soil fauna were significantly affected by elevation gradient. Soil fauna group decreased along the elevation increase and individual of soil fauna showed increase pattern after decline first. The lowest density was found at elevation of 2400 m. C concentration of floor litter reached the highest on elevation 2200 m, and N concentration of floor litter on elevation 2600 m was the highest among the surveyed elevation gradient. There was positive correlation between Collembola density and N concentration of floor

基金项目:国家自然科学基金(41271278);中国科学院国际合作项目昆士兰州生物计划(GJHZ1130)。

第一作者简介:秦海浪,男,1987年出生,安徽人,硕士,研究方向:土壤生态学。通信地址:666303 云南省西双版纳州勐腊县勐仑镇 中国科学院西双版纳热带植物园新科研究中心, Tel: 0691-8713236, E-mail: qhlang_love@126.com。

通讯作者:杨效东,男,1966年出生,云南昆明人,研究员,研究方向:土壤生态学研究。通信地址:666303 云南省西双版纳州勐腊县勐仑镇 中国科学院西双版纳热带植物园新科研究中心, Tel: 0691-8715948, E-mail: yangxd@xtbg.ac.cn。

收稿日期:2014-02-20, **修回日期:**2014-04-11。

litter in this forest type. The results suggest that litter quality and environmental factors such as temperature and moisture caused by elevation gradient change affect soil fauna community together.

Key words: evergreen broad-leaved forest; elevation gradient; soil fauna; floor litter; Ailaoshan

0 引言

土壤动物是土壤生态系统中的重要组成部分, 它们的活动可以改变土壤理化性质, 对土壤的形成和发育, 有机质分解、矿化等生态过程发挥着重要作用, 同时也是地下食物网结构及功能的主要调节者和媒介^[1-3]。在区域尺度上, 地上植物凋落物数量和质量差异将直接影响到以其为栖息生境和物质能量来源的土壤生物群落结构和功能; 在局域尺度上, 生境海拔梯度变化所导致的多种环境因子综合效应对土壤动物群落的影响也是不容忽视的问题^[4-5]。

土壤动物的数量组成是否随海拔升高具有规律性的上升或者下降, 是一个颇受争议的话题。路有成等^[6]在九华山不同海拔梯度的研究发现, 土壤动物的物种丰富度指数, 多样性指数和均匀度指数都随海拔高度的升高而增加; 陈小鸟等^[7]在浙江天童太白山的结果表明, 上述指数在海拔 70~370 m 区间随海拔升高而上升, 在海拔 370 m 略有下降后又呈上升趋势; 肖能文等^[8]通过对高黎贡山的调查发现, 土壤动物数量和种类以及多样性指数随海拔高度的增加, 呈先增加后减少的变化格局。从已有的研究结果看, 大部分研究均集中于海拔变化范围 300~2000 m, 并且主要是针对因海拔变化而形成的不同森林类型开展的研究。这些研究表明, 土壤动物的物种多样性和群落结构在地理分布与区系组成、不同植被环境和不同季节存在不同的分布格局。

位于云南省境内的哀牢山国家级自然保护区分布的中山湿性常绿阔叶林, 是滇南常绿阔叶林的典型代表类型, 整个山体森林主要为常绿阔叶林类型, 土壤条件在较大海拔范围内的变化也不大。这为笔者提供了在同一植被类型条件下研究土壤动物群落沿海拔梯度分布格局的试验平台。研究结果可在区域尺度上充分反映土壤动物群落与环境梯度变化的关系, 而减少了因环境变化所带来的植被类型和土壤性质差异等综合因素的影响。研究结果为深入土壤动物群落多样性随海拔的变化规律, 了解群落各类群间的相关性和沿海拔梯度的分异规律, 有利于进一步了解常绿阔叶林土壤动物多样性的空间格局, 促进对森林生态系统的研究和保护。

本研究将以哀牢山地区分布于海拔 2000~2600 m 的原生性中山湿性常绿阔叶林为研究生境, 通过对样

地森林凋落物和土壤节肢动物群落的取样调查, 以期解决以下科学问题: (1) 同一气候条件下, 相同植被生境中土壤动物群落组成和分布格局沿海拔梯度的变化及其组成和分布格局是否有差异; (2) 相同气候和植被生境条件下植物凋落物数量和质量(C、N 和 C/N) 是否有差异; (3) 不同海拔生境土壤动物与森林凋落物质量的相关关系及可能的影响因素是什么。

1 研究地区与方法

1.1 样地概况

哀牢山自然保护区位于云南省镇沅县, 是云贵高原、横断山脉和青藏高原三大自然地理区域的接合部, 是中亚热带气候与南亚热带气候的南北过渡地区, 也是生物多样性较丰富及植物区系地理成分荟萃之地。地理位置为 24°32'N, 101°01'E, 最高海拔 3166 m, 该区气候主要由冬季的北风和夏季的西南季风控制, 属中山湿性气候, 干湿两季交替分明。本区年平均降雨量 1840 mm, 且集中在 7—8 月 2 个月, 相对湿度 86%, 年平均气温 10.7℃, 最冷月平均气温(1 月) 4.7℃, 最热月平均气温(7 月) 16.4℃, 最低气温 -8.0℃, 全年无霜期 180 天, 表现出终年温凉潮湿的气候特点^[9]。

中山湿性常绿阔叶林是哀牢山地区面积最大、保存最完好的原生性植被, 约占该地区植被总面积的 77.94%^[10]。群落垂直分层明显, 乔木层高 20~25 m, 平均盖度 95%, 优势树种为: 木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)、景东石栎(*Lithocarpus chintungensis*)、腾冲栲(*Castanopsis wattii*)、滇木荷(*Schima noronhae*)、绿叶润楠(*Machilus viridis*)、红花木莲(*Manglietia insignis*) 和舟柄茶(*Hartia sinensis*) 等, 林内生境潮湿, 层间植物(附生植物、藤本植物和寄生植物) 丰富。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 2011 年 5 月, 在哀牢山自然保护区沿海拔梯度建立垂直样带, 样地从 2000 m 海拔开始设置, 沿山体每隔 200 m 设置 1 个水平取样带, 共设置 4 个, 分别为 2000、2200、2400 和 2600 m。在每 1 个海拔梯度设置 5 块 20 m×20 m 样地, 每块样地距离相隔 200~300 m。不同海拔梯度样地优势种植物组成情况差异不大, 主要为喀西白桐树(*Claoxylon khasianum*)、红花木莲(*Manglietia insignis*)、薄叶马银花(*Rhododendron leptothrium*)、木果柯(*Lithocarpus xylocarpus*)、斜基叶柃(*Eurya obliquifolia*)、变色锥

(*Castanopsis wattii*)和蒙自连蕊茶(*Camellia forrestii*)。

1.2.2 土壤节肢动物取样 本研究分别在2011年8月(雨季)和2012年6月(干季)对4个不同海拔梯度上所选的共20块20 m×20 m样地进行2次野外取样。在每一样地按对角线法设置5个取样点,每一取样点用直径30 cm的圆形取样框收集地表层枯枝落叶(未分解)、用直径15 cm的圆形取样框收集腐殖质。采用手拣法,先将所获枯枝落叶和腐殖质样品中的大型土壤节肢动物拣出,然后将样品带回实验室用Tullgren法(干漏斗法)分离其中的中小型土壤节肢动物(40 W白炽灯,96 h)。雨季8月共获取200个样品,干季6月共获取160个样品。以上所分离出的样品均保存在75%的酒精中,并在解剖镜下镜检分类计数,分类鉴定依据《中国土壤动物检索图鉴》^[11]、《中国亚热带土壤动物》^[12]进行,统一鉴定至目。

1.2.3 数据处理与分析 在各类群数量优势度的划分上,个体数占总捕获量的10%以上者为优势类群,个体数占总捕获量1%~10%为常见类群,个体数占总捕获量的1%以下为稀有类群^[13-14]。

将土壤动物数据与地表凋落物质量数据归纳整理,所有运算通过Microsoft Excel 2007及SPSS 21进行。土壤动物群落多样性采用以下5个指标进行计算^[15]。

(1)Margalef物种丰富度指数(*E*):

$$E=(S-1)/\ln N_i \dots\dots\dots (1)$$

式中: N_i 为所有种的个体总数, S 为样地中物种数。

(2)Shannon-Weiner指数(*H*):

$$H=-\sum(P_i \ln P_i) \dots\dots\dots (2)$$

式中: $P_i=n_i/N$, n_i 为第*i*种的个体数。

(3)Pielou均匀度指数(*J*):

$$J=H/\ln S \dots\dots\dots (3)$$

(4)Simpson优势度集中性指数(*C*):

$$C=1-\sum(n_i/N)^2 \dots\dots\dots (4)$$

(5)Jaccard群落共有度指数(*CP*):

$$CP=[c/(a+b-c)]\times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中: a 为群落A的类群数, b 为群落B的类群数, c 为A、B共有类群数。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落组成和数量结构

不同时间2次取样共获取土壤动物25324个,隶属4门14纲29目。优势类群为蜱螨目和弹尾目,分别占土壤动物总个体数的38.2%和30.2%。常见类群为双翅目幼虫、鞘翅目、啮虫目、半翅目和鳞翅目,占总个体数的27.9%,它们构成哀牢山自然保护区中山湿性常绿阔叶林土壤动物群落主体。其余23类为稀有类群,仅占总个体数的3.6%,且在不同海拔梯度上的数量分布差异较大。就不同海拔样地而言,蜱螨目在4个海拔样地生境中均为优势类群,其他土壤动物类群在不同海拔样地的数量分布呈现一定的差异。如在海拔2000 m生境中,弹尾目和双翅目为优势类群,在海拔2200 m生境中双翅目(幼虫)和鞘翅目为优势类群,在海拔2400 m生境中弹尾目和双翅目(幼虫)为优势类群,在海拔2600 m生境中弹尾目为优势类群(见表1)。

表1 哀牢山常绿阔叶林不同海拔梯度凋落物层土壤动物群落组成

类群	2000 m		2200 m		2400 m		2600 m		总计	
	ID/(个/m ²)	RA/%								
蜱螨目 Acarina	1259.5(274.4)	45.1	751.8(146)	45.1	501.1(84.8)	33.9	1074.1(127.9)	31.0	896.6	38.2
弹尾目 Collembola	504.7(76.5)	18.1	161.1(38.7)	9.7	405.3(81.4)	27.4	1768.9(818.7)	51.1	710.0	30.2
双翅目 Diptera	339.3(81.1)	12.2	206.5(29.9)	12.4	189.6(26.0)	12.8	143.3(22.4)	4.1	219.7	9.4
鞘翅目 Coleoptera	240.6(28.8)	8.6	262.0(47.7)	15.7	126.1(18.3)	8.5	194.1(21.2)	5.6	205.7	8.8
膜翅目 Hymenoptera	76.5(18.1)	2.7	122.4(22.8)	7.3	72.9(16.8)	4.9	62.8(10.5)	1.8	83.7	3.6
啮虫目 Psocoptera	157.6(42.5)	5.7	12.5(3.6)	0.8	59.2(20.0)	4.0	97.1(20.9)	2.8	81.6	3.5
半翅目 Hemiptera	40.8(7.8)	1.5	48.6(9.5)	2.9	34.3(7.6)	2.3	29.6(6.1)	0.9	38.3	1.6
鳞翅目 Lepidoptera	38.5(5.0)	1.4	20.5(3.6)	1.2	18.6(3.5)	1.3	16.9(6.5)	0.5	23.6	1.0
唇足纲 Chilopoda	12.8(2.4)	0.5	30.3(9.5)	1.8	16.3(3.5)	1.1	29.0(5.2)	0.8	22.1	0.9
蜘蛛目 Araneae	21.1(2.8)	0.8	15.9(3.3)	1.0	35.4(7.7)	2.4	8.3(2.1)	0.2	20.2	0.9
倍足纲 Diplopoda	16.4(4.0)	0.6	19.8(3.9)	1.2	9.6(2.8)	0.7	18.1(5.4)	0.5	16.0	0.7
蚯蚓目 Earthworm	38.7(10.1)	1.4	2.0(0.9)	0.1	0.0	0.0	0.7(0.5)	0.0	10.4	0.4
综合纲 Symphyla	5.3(1.4)	0.2	6.2(2.2)	0.4	4.3(1.7)	0.3	6.0(1.8)	0.2	5.5	0.2

续表 1

类群	2000 m		2200 m		2400 m		2600 m		总计	
	ID/(个/m ²)	RA/%								
伪蝎目 Pseudoscorpiones	6.4(2.0)	0.2	1.0(0.6)	0.1	1.1(0.6)	0.1	4.5(1.7)	0.1	3.3	0.1
毛翅目 Trichoptera	8.6(4.4)	0.3	0.4(0.4)	0.0	0.7(0.5)	0.1	1.8(1.8)	0.1	2.9	0.1
缨翅目 Thysanoptera	7.6(3.0)	0.3	1.6(1.3)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.1
革翅目 Deramptera	1.4(0.7)	0.1	3.0(2.0)	0.2	0.4(0.4)	0.0	0.0	0.0	1.2	0.1
双尾目 Diplura	0.3(0.3)	0.0	1.7(1.2)	0.1	0.0	0.0	2.3(1.4)	0.1	1.1	0.1
直翅目 Orthoptera	0.7(0.5)	0.0	0.4(0.4)	0.0	1.3(1.3)	0.1	1.6(1.3)	0.1	1.0	0.0
少足纲 Pauropoda	2.6(0.8)	0.1	0.3(0.3)	0.0	0.7(0.5)	0.1	0.0	0.0	0.9	0.0
猛水蚤目 Harpacticoida	1.3(1.0)	0.1	0.0	0.0	1.1(0.6)	0.1	0.7(0.5)	0.0	0.8	0.0
等足目 Isopoda	0.6(0.4)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1(1.3)	0.1	0.7	0.0
原尾纲 Protura	2.3(1.3)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4(0.4)	0.0	0.7	0.0
线虫纲 Nemata	2.0(1.4)	0.1	0.4(0.4)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
腹足纲 Gastropoda	1.4(0.7)	0.1	0.3(0.3)	0.0	0.4(0.4)	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
食毛目 Mallophaga	1.6(1.3)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4(0.4)	0.0	0.5	0.0
蜚蠊目 Blattoptera	1.4(0.7)	0.1	0.3(0.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
蜉蝣目 Ephemeroptera	0.4(0.4)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
等翅目 Isoptera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4(0.4)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

注: ID: 密度; RD: 相对密度; RA: 相对多度。括号内数值表示 SE。

2.2 土壤动物群落类群和数量的垂直及水平分布

方差分析结果显示, 哀牢山常绿阔叶海拔梯度变化对土壤动物类群数、数量(密度)、A/C 值(蜚蠊目/弹尾目)和多样性指数有明显的影 响, 而季节和水平样方异质性对土壤动物类群、数量(密度)、A/C 值和多样性指数的影响不显著, 但季节与海拔梯度对土壤动物群

落数量和类群分布、多样性有显著的交互作用(见表 2)。

土壤动物类群数及数量密度在不同海拔梯度上的分布有极显著性差异(类群数: $F=10.557, P<0.001$; 密度: $F=3.596, P=0.015$)。土壤动物类群数随海拔梯度升高而下降, 群落总体数量分布沿海拔梯度呈先降低

表 2 海拔、季节和样方对土壤动物类群数、密度、A/C 值、多样性指数(E、C、H 和 J)影响的多因素方差分析

项目	因变量	SS	df	MS	F	Sig.
季节	G	3.232	1	3.232	0.862	0.355
	ID	4596222.142	1	4596222.142	0.408	0.524
	A/C	181.699	1	181.699	5.483	0.021
	E	0.001	1	0.001	0.011	0.918
	C	0.027	1	0.027	1.874	0.173
	H	0.228	1	0.228	2.625	0.108
	J	0.040	1	0.040	2.315	0.131
海拔	G	161.314	3	53.771	14.343	0.000
	ID	98673211.194	3	32891070.398	2.917	0.037
	A/C	359.738	3	119.913	3.619	0.015
	E	1.814	3	0.605	12.028	0.000
	C	0.183	3	0.061	4.202	0.007
	H	1.487	3	0.496	5.707	0.001
J	0.274	3	0.091	5.343	0.002	

续表 2

项目	因变量	SS	df	MS	F	Sig.
样方	G	12.379	4	3.095	0.826	0.511
	ID	32851478.475	4	8212869.619	0.728	0.574
	A/C	118.673	4	29.668	0.895	0.469
	E	0.283	4	0.071	1.409	0.235
	C	0.030	4	0.007	0.509	0.729
	H	0.317	4	0.079	0.913	0.458
	J	0.052	4	0.013	0.767	0.548
季节×海拔	G	159.072	3	53.024	14.144	0.000
	ID	163719871.339	3	54573290.446	4.840	0.003
	A/C	330.402	3	110.134	3.324	0.022
	E	1.268	3	0.423	8.405	0.000
	C	0.092	3	0.031	2.112	0.102
	H	0.896	3	0.299	3.437	0.019
	J	0.325	3	0.108	6.342	0.000
季节×样方	G	18.886	3	6.295	1.679	0.175
	ID	38092838.386	3	12697612.795	1.126	0.341
	A/C	143.203	3	47.734	1.441	0.234
	E	0.165	3	0.055	1.095	0.354
	C	0.015	3	0.005	0.355	0.786
	H	0.171	3	0.057	0.655	0.581
	J	0.040	3	0.013	0.781	0.507
海拔×样方	G	21.192	12	1.766	0.471	0.928
	ID	93698099.200	12	7808174.933	0.692	0.756
	A/C	369.002	12	30.750	0.928	0.521
	E	0.442	12	0.037	0.732	0.718
	C	0.139	12	0.012	0.802	0.648
	H	0.808	12	0.067	0.775	0.675
	J	0.195	12	0.016	0.952	0.498
季节×海拔×样方	G	56.317	9	6.257	1.669	0.103
	ID	101720780.346	9	11302308.927	1.002	0.442
	A/C	212.861	9	23.651	0.714	0.696
	E	0.763	9	0.085	1.685	0.099
	C	0.176	9	0.020	1.347	0.219
	H	0.940	9	0.104	1.203	0.299
	J	0.188	9	0.021	1.223	0.287

注: G: 土壤动物类群数; ID: 密度; A/C: 螨目/弹尾目; E: Margalef 丰富度指数; C: Simpson 优势度指数; H: Shannon-Weiner 多样性指数; J: Pielou 均匀度指数。下同。黑体表示在 P=0.05 水平显著。

后增加的趋势, 其中 2400 m 海拔生境中的动物数量显著少于 2000 m 海拔, 而 2600 m 海拔的土壤动物个体数最高。形成这一格局的主要原因是: 优势类群螨目和弹尾目数量在 2600 m 海拔分布极高所致(见表 1)。

此外, 各海拔梯度生境中凋落物层土壤动物数量高于腐殖质层。沿海拔梯度的上升, 腐殖质层中土壤动物数量的变化幅度较小, 而凋落物层中土壤动物数量呈先减少后增加的变化趋势, 以海拔 2400 m 生境中土壤

动物数量最低,2000、2600 m 的最多(见图1)。

采用非参数性检验方法,对土壤动物优势和常见类群数量密度在不同海拔梯度生境的分布差异进行检验。结果显示:不同类群在海拔梯度上的个体数量分布明显不同:蜚蠊目个体数量在海拔2000 m和2600 m生境显著高于海拔2200 m和2400 m生境;弹尾目在

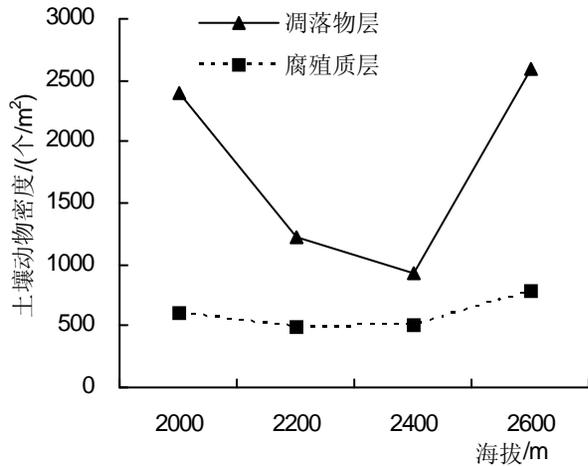
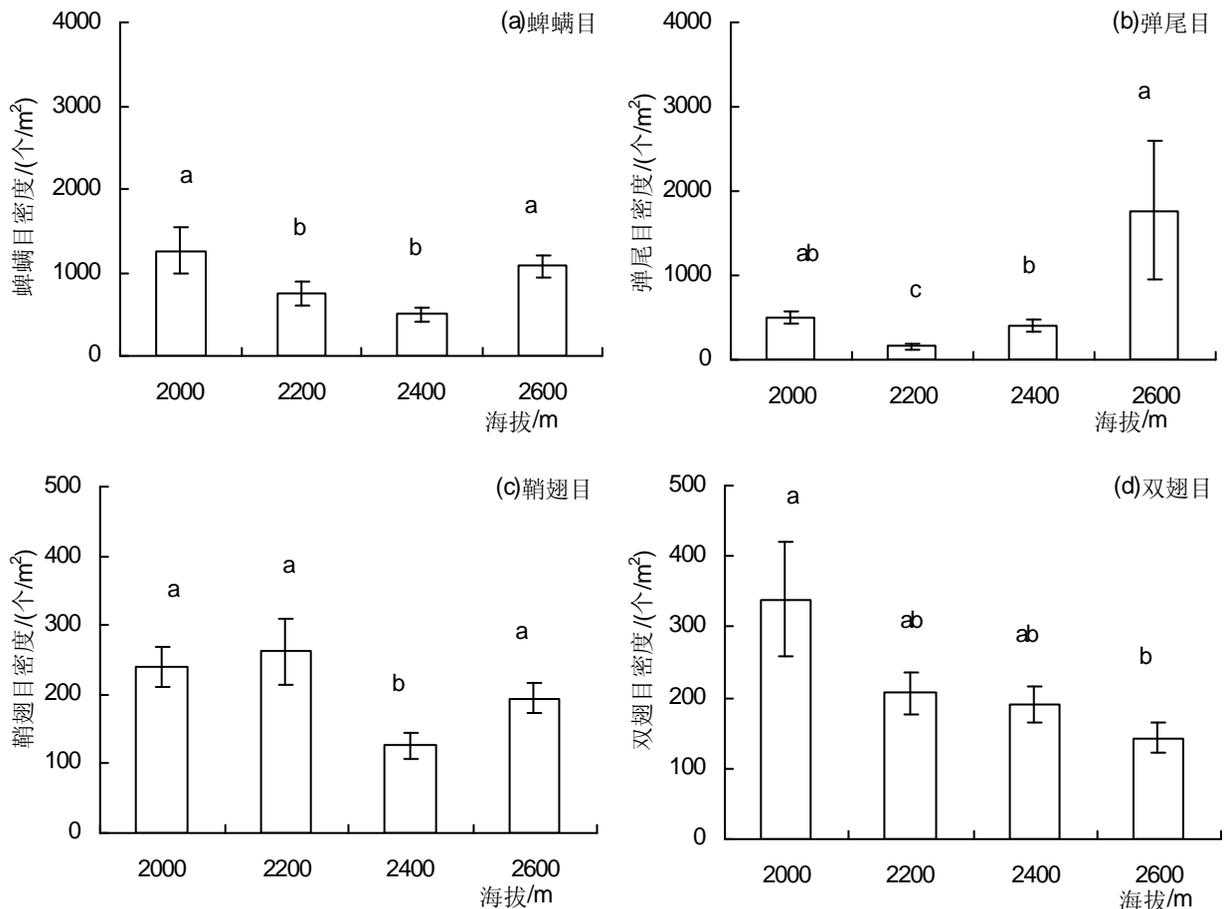


图1 哀牢山常绿阔叶林地表凋落物层土壤动物密度在不同海拔梯度的变化

海拔2600 m生境的数量最高,海拔2200 m生境最低;双翅目数量则呈现出2000 m海拔生境高于其他3个海拔梯度,并与2600 m生境有显著差异;鞘翅目数量在海拔2400 m生境显著低于其他3个海拔生境;啮虫目密度在海拔2200 m生境分布最少,并显著低于海拔2000 m和2600 m生境;膜翅目密度在海拔2200 m生境显著高于海拔2400 m生境(见图2)。

2.3 土壤动物群落多样性的垂直变化

由表3可知,干季和雨季土壤动物类群数呈现沿海拔梯度先下降后上升趋势。雨季:土壤动物个体数随海拔升高而升高,Simpson指数、Shannon-Weiner指数和Margalef指数则随海拔升高而降低,Pielou均匀度指数随海拔梯度先升高后降低。干季:土壤动物个体数随海拔变化先降低后升高,Simpson指数和Shannon-Weiner指数均表现为随海拔梯度先降后升再降的趋势,Pielou均匀度指数随海拔梯度先升高后降低的趋势,Margalef指数随海拔梯度升高而降低(见表3)。分别就不同季节的不同海拔梯度生境中土壤动物进行群落进行相似分析,得到各海拔土壤动物群落间共有度半矩阵结果(见表4)。2



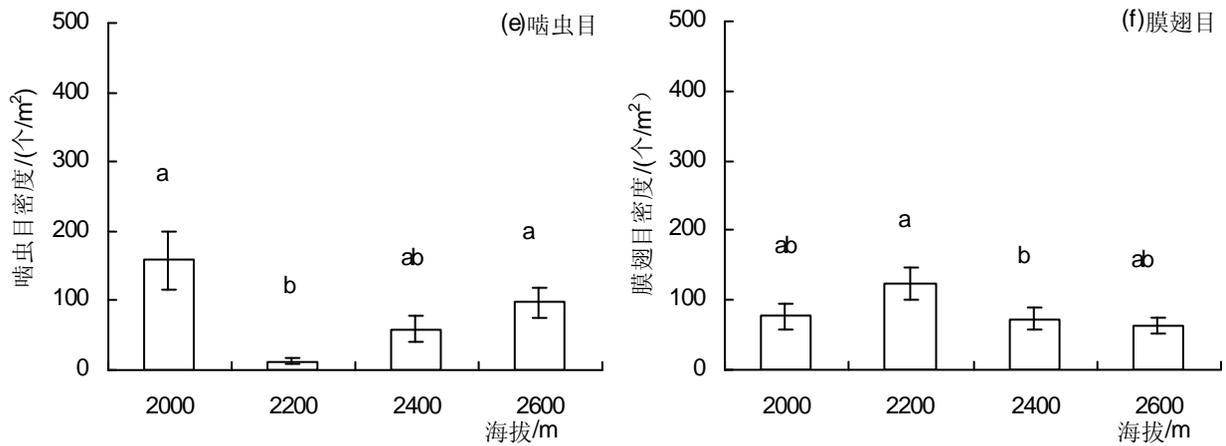


图2 不同类群土壤动物沿海拔梯度的分布比较(n=45, P < 0.05)

表3 哀牢山常绿阔叶林不同海拔梯度土壤动物群落多样性比较

季节	海拔/m	类群数	密度	C	H	J	E
雨季	2000	25	2075	0.74	1.75	0.54	3.14
	2200	20	2373	0.74	1.75	0.59	2.44
	2400	19	2880	0.71	1.58	0.54	2.26
	2600	21	6393	0.59	1.17	0.39	2.28
干季	2000	27	5532	0.70	1.65	0.50	3.02
	2200	20	2227	0.69	1.61	0.54	2.46
	2400	16	851	0.82	1.94	0.70	2.22
	2600	17	2993	0.65	1.48	0.52	2.00

个季节结果显示,在海拔2000 m样地土壤动物群落与海拔2200 m的相似性最高,2200和2400 m的相似性最低。

2.4 土壤动物群落与生境凋落物质量的相关关系

为进一步分析哀牢山不同海拔生境土壤动物个体数、类群数以及多样性指数与林地地表残留物质量(C浓度、N浓度和C/N)的关系。笔者调查分析了不同海拔样地地表残留物C和N浓度,结果见表5。地表凋落物C浓度在海拔2200 m生境显著要高于海拔2000 m和2400 m生境,海拔2600 m生境地表凋落物C浓度与其他3个海拔生境间无显著性差异;地表凋落物N浓度在海拔2600 m生境显著高于海拔2000和2400 m生境,海拔2200 m生境地表凋落物N浓度与其他3个海拔生境间无显著性差异;地表凋落物C/N在海拔2600 m生境显著性低于海拔2400 m生境,与海拔2000和2200 m生境无显著性差异。

4个海拔生境地表残留物质量与土壤动物多样性指数的相关分析结果显示,Shannon指数和Simpson指

表4 哀牢山常绿阔叶林不同海拔土壤动物群落相似性比较

海拔/m	雨季			干季		
	2000 m	2200 m	2400 m	2000 m	2200 m	2400 m
2200	73.08			74.07		
2400	69.23	62.5		59.26	50	
2600	64.29	70.83	60	62.96	68.18	57.14

表5 哀牢山常绿阔叶林不同海拔生境地表凋落物C、N浓度(mean±SE, n=20)

海拔/m	C/(g/kg)	N/(g/kg)	C/N
2000	429.95±5.92b	16.95±0.46b	25.69±0.76ab
2200	466.05±7.28a	17.76±0.40ab	26.41±0.56ab
2400	437.70±7.00b	16.12±0.30b	27.27±0.52a
2600	452.05±7.69ab	18.78±0.59a	24.44±0.73b

注:同列不同小写字母表示凋落物在不同海拔生境间差异显著(P<0.05)。

数与地表残留物N含量呈现负相关(Shannon指数: $P=0.029$; Simpson指数: $P=0.023$)。同时,土壤动物优势类群弹尾目数量密度与地表残留物N浓度具有显著的正相关关系($R=0.238$, $P=0.002$),与C/N具有显著的负相关关系($R=-0.194$, $P=0.014$);鞘翅目密度与地表残留物C浓度具有显著的正相关关系($R=0.161$, $P=0.041$);啮虫目密度与地表残留物C浓度具有极显著的负相关关系($R=-0.209$, $P=0.008$)。

3 结论与讨论

土壤动物群落结构组成与森林土壤及植被条件有关,不同植被类型的森林有着与其凋落物相适应的土壤节肢动物群落^[16]。本研究所查常绿阔叶林不同海拔梯度样地土壤节肢动物群落类群组成相近(群落共有度在64%~82%之间),蜚蠊目和弹尾目为优势类群,且蜚蠊目数量多度和相对多度远高于弹尾目,常见类群则以双翅目、鞘翅目、膜翅目和啮虫目为主,这与热带森林^[17]、亚热带常绿阔叶林^[18-19]土壤动物群落组成特征相似。本研究中4个海拔梯度样地均分布在同一山体,并为一种森林类型,林内植被组成和结构较为相似,虽然土壤节肢动物群落组成接近,但在数量分布、类群数和多样性特征仍呈现一定的海拔差异,而在相同海拔、不同水平样方面的差异均不显著;对于不同季节,土壤动物群落多样性指数随海拔梯度呈现不同的变化趋势。由此表明,该地区常绿阔叶林土壤动物种类和密度在相同海拔水平上的分布基本一致,水平样方面的空间异质性较小,但受海拔梯度变化的影响较明显,这与不同海拔梯度间温湿度的差异变化较大可能有密切关系。

森林凋落物质量(C、N和C/N)是影响土壤节肢动物的数量密度分布的重要因素之一^[20-21]。Warren等^[22]对波多黎各3种不同森林土壤动物与凋落物的研究发现,马陆生物量与凋落物N含量呈显著正相关关系,与C/N呈显著负相关关系。杨赵等^[21]对哀牢山亚热带森林研究发现,弹尾目和鞘翅目密度与地表凋落物层的N储量有显著的正相关关系。本研究显示,哀牢山亚热带不同海拔梯度生境土壤动物优势类群弹尾目数量密度与地表残留物N浓度具有显著正相关关系,与C/N具有显著的负相关关系,结合地表残留物N浓度在不同海拔的结果(海拔2400 m样地最低,2600 m最高)分析表明,优势类群弹尾目数量密度在2600 m海拔分布较高的原因可能与地表残留物N浓度密切相关。在陆地生态系统中,凋落物的输入为地表及地下生物提供所需物质和能量^[23-24],弹尾目主要以植物凋落物和腐殖质为食物,地表残留物质量好(N浓度和

C/N)可能是影响弹尾目等小型土壤动物数量变化的主要因素。

本研究仅初步探讨了哀牢山中山湿性常绿阔叶林不同海拔梯度土壤动物群落特征、水平空间异质性及其与地表凋落物质量的相关关系,土壤动物群落结构和功能对海拔梯度响应的调控机制尚待进一步研究。

参考文献

- [1] Chapin F S, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M].Springer, New York,2002:155-157.
- [2] Patsch S, Milcu A, Schen S. Decomposers (Lumbricidae, Collembola) affect plant performance in model grasslands of different diversity[J].Ecology,2006,87(10):2548-2558.
- [3] Yang X D, Chen J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China[J].Soil Biology and Biochemistry,2009,41:910-918.
- [4] Lieberman D, Lieberman M, Peralta R, et al. Tropical forest structure and composition on a large scale altitudinal gradient in Costa Rica[J].Journal of Ecology,1996,84(2):137-152.
- [5] Hou WL, Fan H. Ecological series of soil animal in Darlidai mountain[J].Chinese Geographical Science,2002,12(4):378-382.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 肖能文,刘向辉,戈摇峰,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(7):3576-3584.
- [9] Liu W Y, Fox J E D, Xu Z F. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, south-west China[J].Ecological Research,2000,15(4):435-447.
- [10] Young S S, Herwitz S R. Floristic diversity and co-occurrences in a subtropical broad-leaved forest and two contrasting regrowth stands in central-west Yunnan Province, China[J].Vegetatio,1995,119:1-13.
- [11] 尹文英.中国土壤动物检索图鉴[M].北京:科学出版社,2000:51-392.
- [12] 尹文英.中国亚热带土壤动物[M].北京:科学出版社,1992:161-576.
- [13] 傅必谦,陈卫,董晓辉,等.北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构[J].生态学报,2002,22(2):215-223.
- [14] 殷秀琴,王海霞,周道玮.松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征[J].生态学报,2003,23(6):1071-1078.
- [15] 陶玲,任珺.进化生态学的数量研究方法[M].北京:中国林业出版社,2004:30-70.
- [16] Tian G, Brussaard L, Kang BT, et al. Soil fauna mediated decomposition of plant residues under constrained environmental and residue quality conditions[M].Cadish G, Giller K E. Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition Wallingford: CAB International,1997:125-134.
- [17] 杨效东,沙丽清.西双版纳热带人工林与次生林土壤动物群落结构时空变化初查[J].土壤学报,2000,37(1):116-123.

- [18] 林英华,张夫道,张俊清,等.鼎湖山不同自然植被土壤动物群落结构时空变化[J].生态学报,2005,25(10):2616-2622.
- [19] 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):1754-1767.
- [20] Hasegawa M. The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community[J].European Journal of Soil Biology,2001,37(4):281-284.
- [21] 杨赵,杨效东.哀牢山不同类型亚热带森林地表凋落物及土壤节肢动物群落特征[J].应用生态学报,2011,22(11):3011-3020.
- [22] Warren M W, Zou X M. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico[J].Forest Ecology and Management,2002,170:161-171.
- [23] Moore B, Braswell B H. Planetary metabolism: understanding the carbon cycle[J].Ambio,1994,23(1):4-12.
- [24] Currie W S. Relationships between carbon turnover and bioavailable energy fluxes in two temperate forest soils[J].Global Change Biology,2003,9(6):919-929.