

砂仁种植对季节雨林土壤节肢动物群落结构影响的初步研究*

杨效东** 刘宏茂 郑 征 沙丽清

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘 要 为了探讨砂仁种植对热带季节雨林土壤节肢动物群落的影响, 采用样地调查法对西双版纳勐仑自然保护区热带季节雨林及林下砂仁种植地土壤节肢动物群落进行了调查, 2 种生境、不同季节 3 次取样共获得土壤节肢动物 3 772 个, 隶属 6 纲 23 目, 其中砂仁地中膜翅目(蚂蚁)、蜱螨目、半翅目为优势类群, 占全捕获量的 73. 329%, 而季节雨林中膜翅目(蚁类)、蜱螨目、鞘翅目和弹尾目为优势类群, 占全捕量 89. 778%。2 样地土壤节肢动物类群数、个体数和多样性指数的水平分布差异显示为季节雨林高于砂仁地, 垂直分布显示季节雨林为土壤表层多于下层, 表聚现象明显, 砂仁地因受人为活动影响, 其土壤节肢动物的垂直分布具有较大变化, 出现下层高于表层的逆向分布; 2 样地土壤节肢动物群落季节变化趋势相近, 均表现为干季高于雨季, 其中砂仁地土壤节肢动物个体数在干热季最多, 季节雨林个体数则在雾凉季最高。

关键词 砂仁种植, 季节雨林, 土壤节肢动物, 群落结构, 西双版纳

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 1000- 4890(2003) 04- 0010- 06

Effect of planting *Amomum* on soil arthropod communities in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna. YANG Xiaodong, LIU Hongmao, ZHENG Zheng, SHA Liqing (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 10~ 15.

In order to investigate the effect of planting *Amomum* on soil arthropod communities in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, the investigation method in the sampling plots was used to study soil arthropod communities in tropical seasonal rain forest and *Amomum* plantation in 1999. The results showed that total numbers of soil arthropods were 3 772 which consisted of 6 classes, and 23 orders in two plots. Ants, acari, hemiptera were dominant groups in the *Amomum* plantation, the proportion of total individuals of three groups in soil arthropods communities of *Amomum* plantation was 73. 329%. Ant, acari, coleoptera and collembola were dominant groups in tropical seasonal rain forest and their proportion of total individual in soil arthropod communities was 89. 778%. The numbers of individual and diversity of soil arthropod communities were higher than those in the *Amomum* plantation. The vertical distribution of soil arthropod communities in the *Amomum* plantation was disturbed by human activities, the groups and individuals of soil arthropod in under layer of soil (10 ~ 15 cm) were more than those in surface layer of soil (0~ 5 cm). In general, groups, and individuals of soil arthropod communities of two plots were higher in dry season than those in metaphase of rainy season. But there were some differences on the seasonal change of soil arthropod individuals in the two plots.

Key words planting *Amomum*, tropical seasonal rain forest, soil arthropod, community.

1 引 言

位于热带北缘的我国西双版纳地区, 是热带生物区系向亚热带生物区系的过渡带^[4]。独特的气候条件和立体的地貌结构, 使得该地区成为我国热带森林植被面积最大、类型最多样、保存最完整、生物多样性最丰富的地区。由于处于生物地理群落的交错带上, 其生物资源极为脆弱, 易受人为活动干扰

和破坏且难以恢复, 因此对此结构、功能和生物多样性的维持机制等方面的研究就显得非常重要。近几年, 因引进砂仁种植成功, 大面积季节雨林成为种植砂仁的最佳场所, 有的甚至侵入到保护区的核心区。在砂仁种植过程中为获得较高的产量, 需要清除林

* 国家自然科学基金资助(30000131)、中国科学院特别支持项目 (STZ97- 1- 04) 和云南省自然科学基金资助项目(1999C0021Q)。

** 通讯作者

收稿日期: 2002- 06- 18 改回日期: 2002- 10- 16

下的草本和灌木植物,疏去部分乔木植物,这对季节雨林的群落结构、多样性及养分循环产生了很大影响^[3]。土壤节肢动物是构成森林生态系统的重要组成部分^[1, 8~10],对森林生态系统的物质循环、能量传输和食物链组成具有重要的功能性作用^[9, 10],而这些功能性作用又与土壤节肢动物的组成及变化密切相关^[8]。砂仁种植地植被的改变、农事活动等势必对季节雨林土壤节肢动物群落结构产生影响,为此,作者于1999年对西双版纳季节雨林和该种林下砂仁地土壤节肢动物群落进行了调查和比较分析,探讨砂仁种植对季节雨林土壤节肢动物群落结构的影响。

2 研究地区与方法

2.1 样地生境概况

调查地位于西双版纳勐仑自然保护区,地带性植被属热带季节雨林。本地区气候属季风气候,年平均温度21.4~22.6℃,年降雨量约1556mm,因受季风气候的影响,具有明显的干雨季之分,雨季(5~10月)约占年降雨量的83%,干季(11~4月)仅占17%左右^[6],如考虑温度的变化,全年可分为干热季、雨季和雾凉季,其中干热季和雾凉季雾量较大。根据实地调查,选取以番龙眼(*Pometia tomentosa*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)为代表的季节雨林和该种林下的砂仁种植地为研究样地,其中砂仁地中雨林树木受到疏伐,林冠上层郁闭度由季节雨林的80%降至40%~50%,砂仁种植龄5年,平均株高为2.47m,种植密度8585株·hm²,林冠盖度60%,干季土壤含水量约15%,雨季则达30%左右,腐殖质保存量较低。

2.2 时间和方法

调查工作分干热季、雨季和雾凉季在2类林地进行。在所设的两块林地上,按15m×15m划出一取样地块,每取样地块按对角线法设5个取样点,每点分3个土壤层(0~5cm层;5~10cm层;10~15cm层)分别取样,0~15cm土层取样面积为392.7cm²,同时每块样地取50cm×50cm的凋落物及腐殖质样,所取样品用干漏斗(Tullgren法)分离提取大、中小型土壤节肢动物。标本取回后进行分类整理和数据统计。本文根据土壤节肢动物高级分类群进行群落组成及多样性分析^[1]。采用Shannon-Wiener多样性指数测定土壤节肢动物类群多样性指数 H' 。

$$H' = - \sum P_i \ln P_i,$$

Pielou 均匀性指数测定群落的均匀性: j

$$j = H' / \ln s,$$

Simpson 指数测定群落优势度 C :

$$C = \sum (ni/N)^2.$$

式中, H' 为物种多样性指数, $P_i = ni/N$; ni 为每一类群的个体数, N 为总的个体数^[2]。

3 结果与分析

3.1 组成状况比较

群落的组成及优势成分是土壤节肢动物群落的重要特征之一。表1显示出3个不同季节,砂仁种植地与季节雨林土壤节肢动物群落各生物类群数量组成的百分比情况。

砂仁地土壤节肢动物群落优势类群组成及排序为蜚蠊类>膜翅目>半翅目,3类占样地总捕获量的73.329%,季节雨林为蜚蠊类>膜翅目>鞘翅目>弹尾目,占样地总捕获量的89.778%。由此可见,两样地土壤节肢动物群落既有膜翅目蚂蚁、蜚蠊目为共同优势类群组成的相同之处,又有一定差异,体现在季节雨林中鞘翅目、弹尾目为优势类群,半翅目仅为稀有类群,而在砂仁地中鞘翅目数量比减少而成为常见类群,半翅目则占有较高的数量比例成为优势类群,砂仁地中常见类群有弹尾目、同翅目、鞘翅目、双翅目、拟蝎目等,占样地全捕量的22.215%,其它12类为稀有类群,占群落类群总数的60%,但数量上仅占全捕量的4.456%;季节雨林中常见类群为同翅目、双翅目、拟蝎目,其个体数占全捕量的5.043%,其它14类为稀有类群,占群落类群总数66.67%,占个体总数的5.179%。

3.2 时空分布比较

3.2.1 水平分布差异 砂仁地在外貌上虽保持了季节雨林的特点,但林下灌木和草本层受到极大破坏,这对土壤节肢动物类群和数量的分布产生了一定程度的影响。通过比较2样地可看出,土壤节肢动物类群数和个体数量表现为季节雨林高于砂仁地,其中类群数的差异不大,而个体数的分布差异明显,虽然在土壤层上呈现出砂仁地>季节雨林,但在凋落物层和总量上为季节雨林>砂仁地(图1)。这表明,季节雨林下种植砂仁,不仅对林地凋落物成分产生较大影响^[3],对凋落物层分布的土壤节肢动物也带来负面的影响,这将进一步影响到砂仁地凋落物层的分解率和养分元素的归还。

表 1 季节雨林及林下砂仁地土壤节肢动物群落类群与数量组成
Tab. 1 Composition of soil arthropod communities in seasonal rain forest and *Amomum* plantation

动物类群		砂仁地						总数	占全捕量%	季节雨林						总数	占全捕量%
		干热季		雨季		雾凉季				干热季		雨季		雾凉季			
个体总数	占捕获量%	个体数	占捕获量%	个体数	占捕获量%	个体数	占捕获量%	个体数	占捕获量%	个体数	占捕获量%	个体数	占捕获量%	个体数	占捕获量%		
弹尾目	Collembola	74	9.046	9	3.797	57	11.047	140	8.912	72	12.721	23	5.651	139	11.319	234	10.632
双尾目	Dipura		0.000	2	0.844	4	0.775	6	0.382	5	0.883	9	2.211	7	0.570	21	0.954
等翅目	Isoptera		0.000		0.000		0.000	0	0.000		0.000	1	0.246	6	0.489	7	0.318
同翅目	Homoptera	2	0.244	1	0.422	23	4.457	26	1.655		0.000	14	3.440	23	1.873	37	1.681
缨翅目	Thysanoptera	3	0.367	1	0.422	1	0.194	5	0.318	5	0.883		0.000	1	0.081	6	0.273
鞘翅目	Coleoptera	54	6.601	27	11.392	65	12.597	146	9.293	100	17.668	64	15.725	104	8.469	268	12.176
双翅目	Diptera	3	0.367	2	0.844	12	2.326	17	1.082	19	3.357	6	1.474	12	0.977	37	1.681
鳞翅目	Lepidoptera		0.000		0.000		0.000	0	0.000		0.000	1	0.246		0.000	1	0.045
蜚蠊目	Blattodea		0.000		0.000		0.000	0	0.000	3	0.530	1	0.246	3	0.244	7	0.318
膜翅目	Hymenoptera	129	15.770	117	49.367	95	18.411	341	21.706	96	16.961	154	37.838	353	28.746	603	27.397
原尾目	Protura		0.000		0.000	6	1.163	6	0.382		0.000		0.000	3	0.244	3	0.136
直翅目	Orthoptera		0.000		0.000	1	0.194	1	0.064		0.000		0.000		0.000	0	0.000
等足目	Isopoda		0.000	1	0.422	2	0.388	3	0.191		0.000		0.000	10	0.814	10	0.454
园马陆目	Sphaerotheriida		0.000	2	0.844	10	1.938	12	0.764		0.000		0.000	11	0.896	11	0.500
球马陆目	Glomerida	6	0.733		0.000		0.000	6	0.382		0.000		0.000		0.000	0	0.000
蜘蛛目	Aranene	7	0.856		0.000	3	0.581	10	0.637	6	1.060	3	0.737	6	0.489	15	0.682
蜱螨目	Acar	320	39.120	70	29.536	217	42.054	607	38.638	242	42.756	106	26.044	523	42.590	871	39.573
拟蝎目	Pseudoscorpiones	4	0.489	4	1.688	12	2.326	20	1.273	8	1.413	15	3.686	14	1.140	37	1.681
地蜈蚣目	Geophilomorpha	2	0.244	1	0.422	1	0.194	4	0.255		0.000	6	1.474	6	0.489	12	0.545
石蜈蚣目	Lithobiomorpha	1	0.122		0.000	1	0.194	2	0.127	2	0.353		0.000	2	0.163	4	0.182
结合目	Symphyia	3	0.367		0.000	6	1.163	9	0.573		0.000	4	0.983	5	0.407	9	0.409
啮虫目	Psocoptera	6	0.733		0.000		0.000	6	0.382	1	0.177		0.000		0.000	1	0.045
半翅目	Hemiptera	204	24.939		0.000		0.000	204	12.985	7	1.237		0.000		0.000	7	0.318
合计	Total	818	100.000	237	100.000	516	100.000	1571	100.000	566	100.000	407	100.000	1228	100.000	2201	100.000

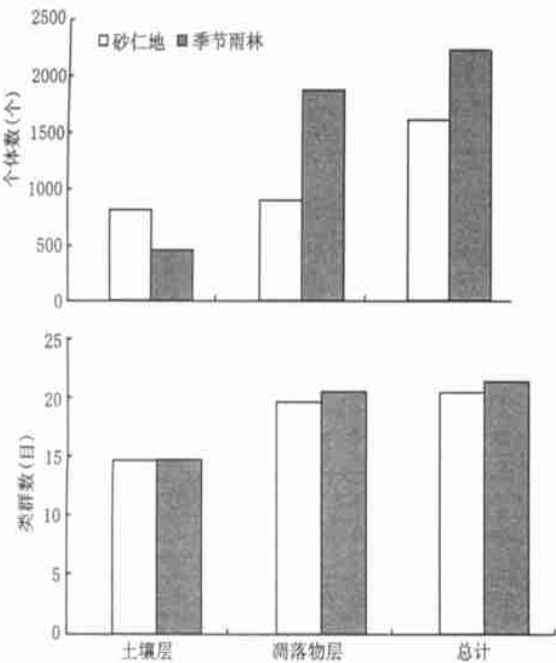


图 1 砂仁地、季节雨林土壤节肢动物群落个体数量与类群数分布比较

Fig.1 Comparison of soil arthropod individuals and groups between seasonal rain forest and *Amomum* plantation

3.2.2 垂直分布差异 土壤节肢动物在土壤层的垂直分布受土壤物理性质和营养状况的制约,在无人活动干扰的情况下,随着土层的加深,土壤 pH 值和含盐量增加,而土壤温度、有机质和营养元素降低,土壤节肢动物的垂直分布表现出由表层向深层逐渐减少现象^[1]。2 样地土壤节肢动物类群数的垂直分布结构一致,均表现出随土壤层深度增加而递减的分布趋势。个体数的垂直结构则呈现出较大的样地差异。在季节雨林样地中,人为干扰活动小,土壤节肢动物在土壤层中的垂直分布总体呈现表层高于深层的分布结构。不同季节,由于受土壤温湿度因子变化的影响,土壤节肢动物群落垂直分布又具有季节变化差异。干热季、雾凉季因降水量少,林内湿度低,土壤干燥,但由于雾水的作用,林地地表凋落物具有一定的湿度,土壤节肢动物个体数在凋落物层的数量密度最高,因干热季和雾凉季 2 个时期雾水量和气温的具有差异,干热季个体数在土壤 A 层的分布最少,以后随土壤层深度增加而增多;雾凉季则表现出由凋落物层向下逐渐减少的分布特点。雨季,降雨量增加且频度增高,雨水对凋落物层的冲刷作用加大,使凋落物层分布的土壤节肢动物数量

减少, 而土壤 A 层不直接受雨水的冲刷, 且滤水性好(腐殖质较多), 土壤节肢动物的个体数量增多并高于凋落物层, 而下层土壤(B、C 层)主要是黏土, 长时间的降雨导致土壤含水量过饱和, 不利于干生性土壤节肢动物的生存, 个体数急剧减少; 砂仁地土壤节肢动物群落的垂直结构不仅受林地土壤条件、凋落物数量及小气候变化的影响, 人为生产活动也产生较大干扰, 某些土壤节肢动物, 为适应外界环境条

件的改变, 在不同土壤深度之间作垂直迁移活动, 导致土壤节肢动物群落的垂直结构被打乱, 从而出现下层动物数量多于表层的逆向分布现象; 例如干热季和雨季的人为活动较多, 如收砂仁、除草等, 干热季(4 月)表现出 B 层> C 层> 凋落物层> A 层, 雨季(9 月)为 A 层> C 层> B 层> 凋落物层, 雾凉季(11 月)处于农闲期, 土壤节肢动物的垂直分布为 A 层> 凋落物层> B、C 层(图 2)。

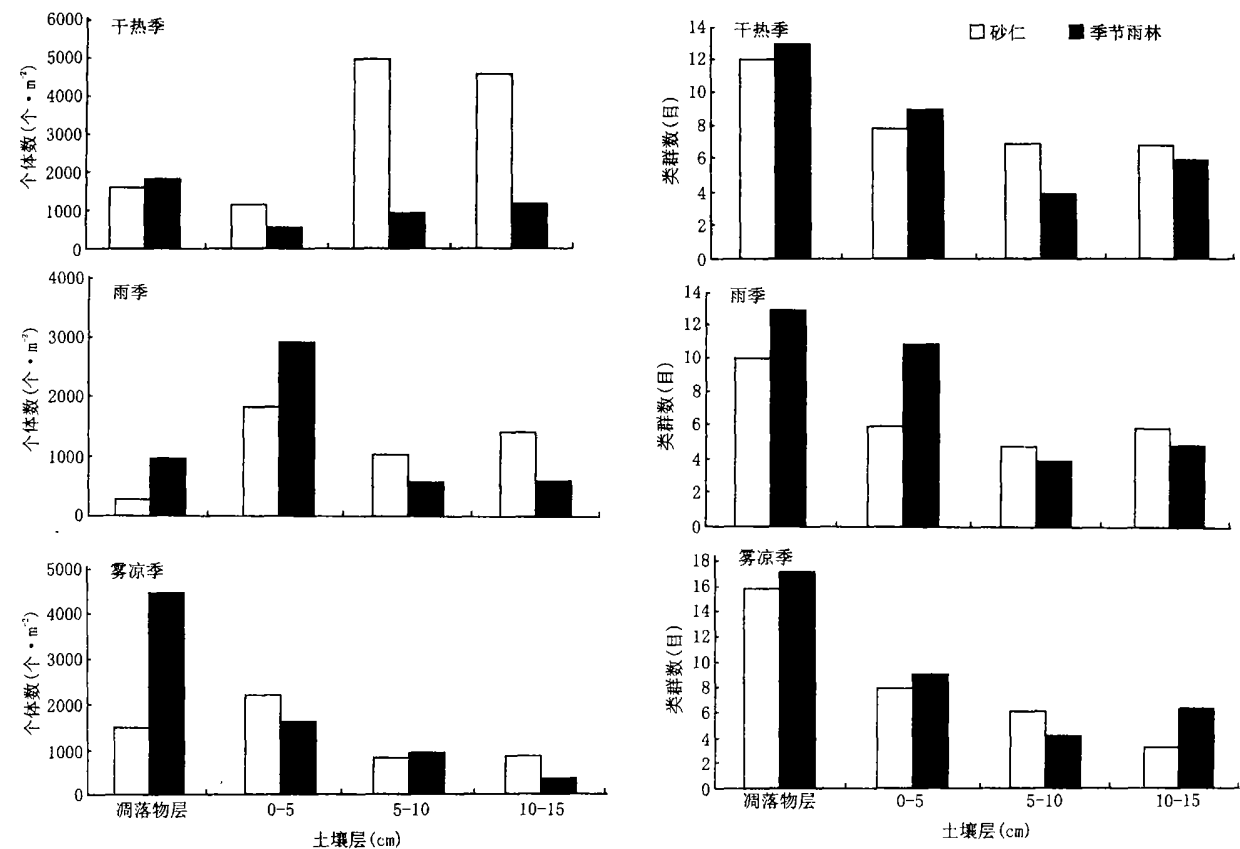


图 2 不同季节砂仁地、季节雨林土壤节肢动物群落垂直分布
Fig. 2 Vertical distribution of soil arthropod communities in seasonal rain forest and *Annonum* plantation in different seasons

3.2.3 季节分布差异 对不同季节土壤节肢动物的数量统计表明, 2 种生境地土壤节肢动物群落类群数呈现相同的季节变化趋势, 为雾凉季> 干热季> 雨季; 个体数的季节变化 2 样地略有不同, 砂仁地为干热季> 雾凉季> 雨季, 季节雨林为雾凉季> 干热季> 雨季, 并且个体数的季节分布差异高于类群数, 其中季节雨林土壤节肢动物类群数在干热季和雨季的差异不明显(图 3)。

干季的 2 个时期(干热季和雾凉季)降雨量较少或极少, 但雾量极大, 雾气既弥补了降雨量不足, 又为各群落土壤节肢动物优势类群的发展提供了适当的水湿条件, 同时保证了较多类群的生存条件, 这在雾

凉季显得较为突出, 是导致干季土壤节肢动物群落类群数和个体总数较高的原因之一。砂仁地个体数在干热季显示最高是因半翅目种群数量增长所至, 是何原因有待于研究。在雨季, 因降雨量大, 林地土壤水分含量增高并趋于饱和, 这对土壤节肢动物生存产生不利影响, 导致土壤节肢动物类群数和个体数的减少。所获结果反映出, 森林土壤节肢动物群落的变化与当地降雨量、气温和生境条件密切相关, 气温和土壤温度季节变化幅度较小, 对土壤节肢动物群落的影响不大, 土壤含水量的季节变化是影响土壤节肢动物群落季节分布差异的主要影响因子^[7], 同时与林地植被结构也有密切关系。

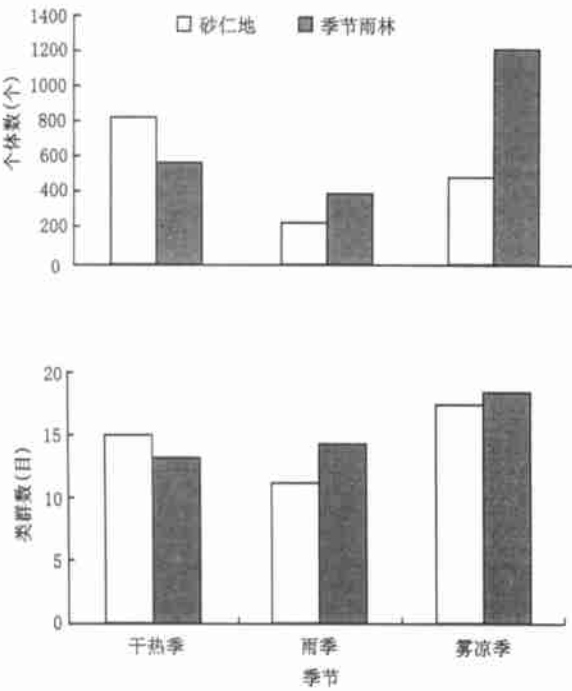


图3 砂仁地、季节雨林土壤节肢动物类群和数量的季节变化
Fig.3 Seasonal variation of groups and individuals of soil arthropod in seasonal rain forest and *Amomum* plantation

表2 砂仁地、季节雨林土壤节肢动物群落多样性指数比较
Tab.2 Comparison of diversity index of soil arthropod communities in seasonal rain forest and *Amomum* plantation

项目	砂仁地								季节雨林							
	土壤层				凋落物层				土壤层				凋落物层			
	4月	9月	11月	总计	4月	9月	11月	总计	4月	9月	11月	总计	4月	9月	11月	总计
S	10	9	9	14	12	10	16	19	9	12	10	14	13	13	17	20
H'	0.601	0.499	0.646	1.75	0.572	0.661	0.679	1.91	0.633	0.686	0.587	1.91	0.644	0.701	0.553	1.90
J	1.441	1.148	1.488	4.08	1.468	1.584	1.923	4.98	1.458	1.579	1.506	4.54	1.699	1.899	1.629	5.23
C	0.32	0.45	0.31	1.08	0.33	0.27	0.21	0.81	0.32	0.29	0.35	0.96	0.25	0.20	0.28	0.73

4 讨论

西双版纳勐仑自然保护区季节雨林和林下砂仁地中有丰富的土壤节肢动物, 调查获得土壤节肢动物 3 772 头, 分属 6 纲 23 目; 2 样地土壤节肢动物群落组成存有一定差异, 优势类群的组成除蜱螨目和膜翅目为共同的优势类群外, 季节雨林中鞘翅目、弹尾目为优势类群, 而在砂仁地半翅目则占有较高数量比例(其种群数量增长主要出现于干热季 4 月)成为优势类群, 但它在季节雨林中仅为稀有类群。此外在砂仁地中常见类群有弹尾目、同翅目、鞘翅目、双翅目、拟蝎目等 5 类, 稀有类群 12 类, 季节雨林中常见类群为同翅目、双翅目、拟蝎目 3 类, 稀有类群为 14 类。

3.3 多样性比较

本文采用类群丰富度指数(S), Shannon-Wiener 多样性指数(H'), Pielou 均匀性指数(J)和 Simpson 优势度指数(C)比较砂仁地与季节雨林土壤节肢动物群落多样性状况, 见表 2。

表 2 可知, 季节雨林土壤节肢动物群落类群丰富度指数 S 、多样性指数 H' 、均匀性指数 J 总体上均高于砂仁地, 而优势度 C 测定结果与多样性指数相反, 表现为砂仁地高于季节雨林, 其中各指数以土壤层生境的差异较凋落物层高。表征土壤节肢动物群落多样性的指标不仅取决于群落优势度, 而且很大程度上决定于群落类群的丰度—多样性, 它是代表群落组织水平及其功能特征的指标, 是表现组成群落的种类数(丰度)和数量分布(均衡性)的群落特征, 而且是群落组织水平上的一个独特的可测定特征^[1, 5]。结果表明, 季节雨林林下种植砂仁后, 其土壤节肢动物群落多样性受到一定程度的影响, 进而也对林地土壤节肢动物群落的稳定性产生不同程度的干扰, 而这种影响程度与砂仁种植的时间长短、种植密度和管理强度有密切关系。

热带季节雨林在种植砂仁后, 土壤节肢动物群落类群数分布无较大变化, 个体总数的分布明显减少, 反映在样地水平差异上为砂仁地凋落层个体数明显少于季节雨林, 土壤层则略高于季节雨林。与季节雨林相比, 砂仁地因下层植被的改变, 地表凋落物成分和数量与雨林明显不同, 同时因农事活动等人为干扰影响较大, 导致土壤节肢动物总体数量显著降低, 且群落的垂直结构被打乱, 地表层和凋落物层土壤节肢动物向深层土壤迁移, 出现下层动物数量多于表层的垂直分布现象, 由此表明: 季节雨林下种植砂仁, 不仅对林地凋落物成分产生较大影响, 对林地土壤节肢动物的分布也产生负面影响, 这将影响到砂仁地凋落物的分解率和养分元素的归还。

通过多样性指数比较, 土壤节肢动物类群丰富

度指数 S 、多样性指数 H' 、均匀性指数 J 比较结果为季节雨林高于砂仁地,而优势度测定结果与多样性指数相反,为砂仁地高于季节雨林,表明季节雨林种植砂仁后,因生境条件的改变,季节雨林土壤节肢动物群落多样性发生变化,反映在土壤节肢动物群落多样性、均匀性的降低,优势度增加。影响群落稳定性的因素很多,如食物网络的复杂性,种群在群落中的作用,群落所处环境的稳定程度等,多样性只是其中的一个重要指标,在一定程度上反映了群落的稳定性,但不完全等于它的稳定性^[5],因此砂仁种植对土壤节肢动物群落稳定性的影响不能仅由多样性确定。

不同季节,受降雨和气温的影响,砂仁地和季节雨林土壤节肢动物群落存在明显的季节分布差异,2样地均表现出干季高于雨季的相近分布趋势,显示出热带雨林地区,由大气降水而导致的土壤含水量变化是影响森林土壤节肢动物季节变化的主要影响因素。砂仁种植地土壤节肢动物的季节变化除受外界自然因素的影响,人为活动的干扰不可忽视,如砂仁地中因半翅目种群数量在干热季的增加而导致整个群落的个体数处于最高,与此临近的季节雨林土壤节肢动物群落个体数则表现出雾凉季最高。

砂仁作为一种南药,已在西双版纳自然保护区的沟谷性季节雨林中大面积种植,不仅使季节雨林结构简单化,导致植物种类和个体数量的大量流失,影响了雨林的自我更新能力^[3],同时也对林下土壤节肢动物群落产生了深刻的影响效应,其影响因素主要是种植砂仁对林下灌木和草本的破坏、凋落物数量和质量的降低、生产活动(种植和收获)对土壤层的扰动等,反映在土壤节肢动物群落类群的组成变化、个体数减少和空间分布上,群落的多样性虽有

降低但尚未达到彻底破坏,停止砂仁种植,土壤节肢动物群落可恢复。种植砂仁对森林生态系统结构、功能和动态的影响是多方面的、复杂的,它与种植的强度和周期、管理方式以及环境条件密切相关,而种植砂仁对土壤节肢动物功能作用(分解、养分循环)的影响有待于进一步的研究。

致谢 本项研究野外工作得到中国科学院西双版纳热带森林生态系统定位站的大力支持,在此谨表谢意。

参考文献

- [1] 尹文英,等. 1992. 中国亚热带土壤节肢动物[M]. 北京: 科学出版社.
- [2] 马克平. 1994. 生物群落多样性的测度方法 - I. IIa 多样性的测度方法(上、下)[J]. 生物多样性, 2(3): 162~ 168, 2(4): 231~ 239.
- [3] 王宝荣, 苏文华, 黄建国. 1997. 砂仁生产对西双版纳保护区的影响[J]. 应用生态学报, (9): 99~ 102.
- [4] 朱华. 1999. 西双版纳热带雨林植被[J]. 热带地理, 10(3): 31~ 34.
- [5] 金翠霞, 吴亚. 1981. 群落多样性测定及其应用的探讨[J]. 昆虫学报, 24(1): 116~ 123.
- [6] 龚德能, 王建浩. 1987. 西双版纳自然保护区气候考察报告[A]. 见: 徐永春等. 西双版纳自然保护区综合考察报告集[C]. 昆明: 云南科技出版社, 44~ 56.
- [7] 廖崇惠, 李建雄. 2000. 华南热带和南亚热带森林土壤节肢动物的群落结构[A]. 见: 尹文英等. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 77~ 99.
- [8] Anderson JM. 1975. Succession, diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter[J]. *J. Animal Ecol.*, 44: 475~ 495.
- [9] Anderson JM. 1988. Spatiotemporal effects of invertebrates on soil processes[J]. *Biol. Fert. Soils*, 6: 216~ 227.
- [10] Coleman DC, Hendrix PF. 2000. Invertebrates as Webmaster in Ecosystems[M]. New York: CABI Press.

作者简介 杨效东, 男, 1968 年出生, 湛江海洋大学毕业, 现任中国科学院西双版纳热带植物园副研究员。长期从事土壤动物和土壤生态学研究, 发表论文 25 篇。E-mail: Yangxd@xtbg.ac.cn

责任编辑 李凤芹