

热带次生林刀耕火种过程中土壤节肢动物群落结构及多样性的变化

杨效东 唐 勇 唐建维

(中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223)

摘要: 通过模拟刀耕火种过程,对热带次生林土壤节肢动物群落结构及多样性在刀耕火种过程中的变化进行了初步研究。结果表明:火烧 1 周后,土壤节肢动物类群数和个体数从次生林地的 14 类、564 头降为 7 类、164 头,并且在群落组成上发生了较大变化。膜翅目在烧后 1 天成为突出优势类群,蜚蠊目在烧后 1 周成为唯一的优势类群。而在多样性方面,土壤节肢动物群落类群数(丰度)、个体数(多度)和 DG 多样性指数在刀耕火种过程中均降低。土壤节肢动物的垂直分布因刀耕火种干扰发生了很大变化,尚存土壤节肢动物随干扰强度的加剧,出现逐步由土壤表层向深层迁移的现象。一些土壤节肢动物在土层间做垂直迁移活动,说明土壤层在一定程度上减轻了刀耕火种对它们的破坏作用,维持了某些类群的种群数量及群落多样性。

关键词: 刀耕火种, 变化, 结构和多样性, 土壤节肢动物群落, 热带次生林, 西双版纳

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 0094(2001)03 - 0222 - 06

Change in structure and diversity of soil arthropod communities after slash-and-burn of secondary forest in Xishuangbanna, Yunnan Province

YANG Xiao-Dong, TANG Yong, TANG Jian-Wei

Kunming Division of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223

Abstract: The change in structure and diversity of soil arthropod communities of secondary forest after the simulated process of slash-and-burn was studied in Xishuangbanna. The results showed that colonies and individuals of soil arthropod communities declined from 14 colonies, 564 individuals in secondary forest to 7 colonies, 164 individuals in slash-and-burn fields one week after burning. The composition of soil arthropod communities was also changed. The proportion of individuals of Hymenoptera (ants) in burned remnants was greatly increased on the first day after burning, and this was obviously the dominant group in the soil arthropod community. The proportion of individuals of Acari was greatly increased during the first week after burning, and it was the only dominant group of the soil arthropod community in the field. The diversity of the soil arthropod community was decreased and the vertical structure of the community was disrupted by slash-and-burn. After the slash-and-burn process, there were many more colonies and individuals of soil arthropod in the lower soil than in the surface soil. The destruction by slash-and-burn of soil arthropod communities was reduced to a certain extent in deeper soil layers. Some soil arthropods can keep their numbers and species by moving lower in the soil during the slash-and-burn process.

Key words: slash-and-burn, change, structure and diversity, soil arthropod communities, tropical secondary forest, Xishuangbanna

刀耕火种轮歇农业是热带山区一种以火烧和休闲为特征的传统耕作方式,是用火烧清理土地后,进

行短期种植(1~3年),然后长期休闲(6~8年到20年以上)的点播种植农业,是人类最直接与森林生态

* 基金项目:云南省自然科学基金(1999C0021Q)和中科院特别支持项目 STZ-1-18,STZ97-1-04 资助。

收稿日期: 2001 - 01 - 19; 修改稿收到日期: 2001 - 05 - 22

作者简介:杨效东,男,1966 年出生,副研究员,主要研究方向:土壤动物生态学。E-mail 地址: yangxd@xtbg.ac.cn

系统相互作用的结果,也是热带山区居民适应生态环境的一种生存方式(Whitmore,1990)。西双版纳乃至整个云南南部热带山区都在不同程度上保留这一耕作方式。随着社会的发展和生态环境的变化,人们对这种耕作方式开始有了不同的认识和处理态度。为正确认识和对待版纳地区轮歇农业,已有一些研究者从不同的学科角度开展刀耕火种生态效应的研究工作,如从土壤种子库(唐勇等,1997)、植被演替(Zhang & Cao, 1995;Cao & Zhang, 1996)、土壤养分变化(沙丽清等,1998)、土壤微生物(张萍,1996)等方面研究,但对森林生态系统的重要组成部分(尹文英等,2000;James et al., 1996)且有功能性作用(Anderson, 1988;Teuben, 1991)的土壤节肢动物群落的影响研究尚未见报道。

1999年,作者对西双版纳热带次生林刀耕火种过程中土壤节肢动物群落结构变化进行了调查研究,以期研究刀耕火种轮歇农业对森林土壤生态系统及热带雨林生物多样性的影响积累相关资料。

1 材料和方法

1.1 样地生境概况

西双版纳州勐腊县勐仑镇位于 $21^{\circ}09' \sim 23^{\circ}33' N$, $99^{\circ}58' \sim 101^{\circ}50' E$,海拔760 m左右,属热带北缘地区,年均温度 $21.4 \sim 22.6^{\circ}C$,年降雨量1556.8 mm左右,其中雨季(5月~10月)降雨量占全年的83%,干季雨量(11月~4月)仅占17%,形成明显的干雨季之分。地带性植被为热带季节雨林和季雨林。

样地设在勐仑镇附近哈尼族聚居地的山坡上,该地区原生林20世纪60年代被砍伐,成为刀耕火种轮歇地,主要作物为旱稻和玉米,一般种植2~3年后撂荒5~8年,让其自然恢复,然后又砍伐、火烧进行下一轮种植。样地为1992年撂荒后自然更新的次生林地,群落高度为6.5 m,主要组成树种为湄公栲(*Castanopsis mekongensis*)、银木荷(*Schima argentea*)、岗桉(*Eurya groffii*)、滇银柴(*Aporosa yunnanensis*)、中平树(*Macaranga denticulata*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、多花野牡丹(*Melastoma affine*)、绒毛杭子梢(*Campylotropis pinatorum*)、毛果算盘子(*Glochidion eriocarpum*)等。

1.2 研究方法

在上述次生林划出1000 m²样地,坡度15°,坡向东北。按当地刀耕火种操作程序,于1998年12月在样地先进行砍伐,砍倒的树木经3个月左右的晾晒,再于1999年4月(干季)放火烧荒,随后点播种植旱稻。

于火烧前1天分别对砍伐晾晒地和周围次生林地的土壤节肢动物取1次样,然后分别在火烧后1天及1周的样地中再各取一次样,整个过程共取样4次。取样采用2种方法进行:

土壤层取样:在上述4种不同阶段的样地,按15 m × 15 m划出一取样地块,再按对角线取样法设5个取样点,每点分3个土壤层次(a层:0~5 cm;b层:5~10 cm;c层:10~15 cm)分别取样,0~15 cm土层取样面积为392.70 cm²。

地表凋落物层取样:分别对烧前样地取凋落物及腐殖质、烧后样地取地表残留物样,取样面积为50 cm × 50 cm。所取样品先用手检法检出大型土壤节肢动物,然后用干漏斗(Tullgren)法分离提取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。由于土壤动物分类难度较大,本文仍根据土壤动物高级分类群进行群落组成及多样性分析(尹文英等,1992)。

群落多样性的比较采用密度-类群指数,公式为: $DG = g / G \sum (D_i C_i / D_{imax} C)$,其中DG为密度-类群指数, D_i 为群落中第*i*类群的个体密度; D_{imax} 为*C*个群落中第*i*类群的最大密度; C_i 为第*i*类群在*C*个群落中出现的次数, G 为*C*个群落所出现的总类群数, g 为要测度的某群落中实有类群数(廖崇惠等,1997)。

2 结果与分析

2.1 刀耕火种对土壤节肢动物类群与个体数量的影响

表1显示出刀耕火种过程中土壤节肢动物类群数和个体数的变化结果。

经砍伐晾晒和火烧活动干扰后,土壤节肢动物类群数和个体数量呈现出:次生林→砍伐地→火烧迹地迅速减少的变化。砍伐晾晒是火烧前的准备阶段(12月~次年4月),在此期间,样地失去树木保护,砍伐地生境与次生林地形成明显差异,并且取样时期(4月)是西双版纳地区太阳辐射最强、温

表 1 刀耕火种过程中土壤节肢动物类群和数量的变化
Table 1 Change in numbers of colonies and individuals in the soil arthropod community after the slash-and-burn farming process in secondary forest

阶段 Stage	类群数 No. of group	个体数 No. of individuals
次生林 Secondary forest	14	564
砍伐地 Felled plot	10	268
火烧后 1 天样地 One day after burning	10	154
火烧后 1 周样地 One week after burning	7	164

度最高、气候最干燥的时期,在高温、强光和干燥气候的影响下,砍伐地中的凋落物和表土层小生境的各项生态因子发生了较大变化,湿度显著降低,昼夜温差急剧增大,这对土壤节肢动物的生存产生了极为不利的影响(廖崇惠,李健雄,2000)。与次生林地相比,砍伐地土壤动物类群数降低 28.57%,个体数量降低52.5%。在随后的火烧样地内,土壤节肢动物类群数和个体数因焚烧和高温的影响进一步骤减,烧后 1 天,土壤节肢动物类群总数与烧前砍伐地相同,均为 10 类,而个体数较砍伐地降低 42.54%,较次生林地则降低了 72.7%。至烧后 1 周,样地已由原来的森林变为可耕种的农用裸地,土壤生境条件发生较大改变,更多类群的土壤节肢动物已不适

应环境,群落类群数降至最低,与烧后 1 天相比减少 30%,而个体数量未见较大变化。在整个过程中,小型类群蜱螨目、弹尾目、缨翅目、半翅目、双翅目等的个体数下降幅度较高,约在 80%;大中型类群膜翅目、鞘翅目等的减幅较低,约为 30%。

2.2 刀耕火种对土壤节肢动物群落组成的影响

土壤节肢动物群落在刀耕火种过程中各生物类群组成的变化如表 2 所示。

表 2 显示,在刀耕火种过程中,森林土壤节肢动物群落组成受到的破坏是逐渐加大的。砍伐地与次生林地土壤节肢动物群落组成较为接近,蜱螨目在群落中占有较高的数量比而成为突出优势类群,弹尾目和膜翅目(蚊科)为次优势类群,鞘翅目和双翅目为常见类群,但少数在次生林中的常见类群,如缨翅目、拟蝎目经砍伐晾晒后从样地消失。火烧后 1 天,样地土壤节肢动物群落组成出现一定程度的变化,膜翅目(蚊科)数量比增多,成为突出优势类群;原尾目及鞘翅目数量比例也相应增加,与数量比例减少的蜱螨目构成群落的次优势类群;弹尾目,同翅目等则成为常见类群。而烧后 1 周,样地中膜翅目、鞘翅目及原尾目数量比例迅速降低(其中原尾目消失),在群落中与弹尾目、双翅目等组成常见类群;而蜱螨目个体数又出现回升,并在群落中占据

表 2 刀耕火种过程中次生林土壤节肢动物群落组成的变化
Table 2 Change in composition of soil arthropod communities during the slash-and-burn farming process in secondary forest

类群 Taxa	次生林 Secondary forest		砍伐地 Felled plot		烧后 1 天 One day after burning		烧后 1 周 One week after burning	
	个体数	占总数比例 %	个体数	占总数比例 %	个体数	占总数比例 %	个体数	占总数比例 %
	No. of inds.	Percentage	No. of inds.	Percentage	No. of inds.	Percentage	No. of inds.	Percentage
弹尾目 Collembola	75	13.514	28	11.111	9	6.164	5	3.049
双尾目 Diplura	3	0.541	1	0.397	1	0.685	2	1.220
原尾目 Protura	5	0.901	2	0.794	20	13.699	-	-
啮虫目 Psocoptera	3	0.541	-	-	-	-	-	-
同翅目 Homoptera	6	1.081	1	0.397	5	3.425	-	-
缨翅目 Thysanoptera	23	4.144	-	-	-	-	-	-
鞘翅目 Coleoptera	12	2.162	10	3.968	14	9.589	11	6.707
半翅目 Hemiptera	5	0.901	1	0.397	-	-	-	-
双翅目 Diptera	11	1.982	6	2.381	2	1.370	9	5.488
蜚蠊目 Blattoptera	-	-	1	0.397	-	-	-	-
膜翅目 Hymenoptera	77	13.874	31	12.302	55	37.671	6	3.659
蜘蛛目 Araneae	2	0.360	-	-	-	-	-	-
蜱螨目 Acari	325	58.559	171	67.857	37	25.342	129	78.659
拟蝎目 Pseudoscorpiones	5	0.901	-	-	-	-	-	-
地蜈蚣目 Geophilomorpha	1	0.180	-	-	1	0.685	2	1.220
结合目 Symphyla	2	0.360	-	-	2	1.370	-	-

表 3 刀耕火种过程中土壤节肢动物类群和数量的垂直分布变化
Table 3 Change in vertical distribution of colonies and individuals of soil arthropod communities during the slash-and-burn farming process in secondary forest

土壤层 Soil layer	次生林 Secondary forest			砍伐地 Felled plot			火烧后 1 天 One day after burning			火烧 1 周 One week after burning		
	类群数 No. of groups	数量密度 (个/m ²) Density	占个体总数 % Percentage	类群数 No. of groups	数量密度 (个/m ²) Density	占个体总数 % Percentage	类群数 No. of groups	数量密度 (个/m ²) Density	占个体总数 % Percentage	类群数 No. of groups	数量密度 (个/m ²) Density	占个体总数 % Percentage
L (50 ×50 cm)	14	1988	53.82	6	644	19.12	2	208	7.41	5	596	60.95
a(0 ~ 5 cm)	3	1502.42	40.67	7	2495.54	74.08	5	916.73	32.68	4	203.69	20.83
b(5 ~ 10 cm)	2	50.93	1.38	2	101.86	3.02	8	1247.77	44.48	4	178.23	18.23
c(10 ~ 15 cm)	4	152.79	4.14	4	127.32	3.78	6	432.9	15.43	0	0	0
Total	14	3694.14		10	3368.72		10	2805.4		7	977.92	

很高的数量比例,成为群落组成的唯一优势类群;群落的优势类群组成数明显减少,优势度增加。以上群落组成变化反映出,砍伐晾晒对林下土壤节肢动物优势类群的构成未产生较大影响,但对常见类群和稀有类群的组成影响明显:火烧后 1 天,样地土壤节肢动物优势类群的组成就有改变,烧后 1 周变化更大。

2.3 刀耕火种对土壤节肢动物群落垂直分布的影响

对刀耕火种不同干扰阶段的 4 块样地凋落物层(L)和 3 个土壤层次(a:0 ~ 5 cm;b:5 ~ 10 cm;c:10 ~ 15 cm)中分布的土壤节肢动物类群数和个体数量进行比较,见表 3。

结果显示,次生林地土壤节肢动物类群及个体数的分布表现为凋落物层 > a 层 > c 层 > b 层,有明显的表聚现象,随着土壤层的加深,土壤节肢动物逐渐减少。在刀耕火种过程中,土壤节肢动物的这种垂直分布结构发生了极大变化,在总体数量减少的状况下,现存土壤节肢动物呈现出随干扰强度的加剧,逐步由土壤表层向深层迁移;阶段性干扰结束后,它们又向表层集中。次生林被砍伐后,晾晒过程导致地表覆盖物直接受阳光曝晒,凋落物层温湿条件必然发生较大变化,使分布在这一生境中的土壤节肢动物向生态条件相对稳定的 0 ~ 5 cm 土壤层迁移,垂直分布呈现出土壤 a 层 > 凋落物层 > c 层 > b 层的现象。在随后的烧地过程中,地表覆盖物和凋落物被烧毁,土壤 0 ~ 3 cm 层的温度也较高(Saharjo, 1995),这对分布在凋落物层和土壤 a 层的节肢动物产生了极其不利的影响,导致一部分死亡,一部分向土壤更深层(5 cm 以下)迁移。随着土壤层加

深温度降低,火烧对土壤节肢动物的影响逐渐减小,从而在烧后 1 天形成 b 层 > a 层 > c 层 > 地表残留物层的垂直分布现象。烧后 1 周,部分喜干性种类的土壤节肢动物(如螨类)又从土壤深层迁移回表层,其垂直分布恢复为地表残留物层 > a 层 > b 层的状况,而 c 层未见土壤节肢动物分布。在整个变化过程中,群落个体数变化幅度明显高于类群数变化。

由此可看出,刀耕火种前的森林凋落物是土壤节肢动物的主要栖息场所。在刀耕火种过程中,林地凋落物层直接处于因砍伐晾晒和火烧活动而产生的干扰之下,栖息在这一生境中的土壤节肢动物所受影响也最为直接和严重。实验表明,砍伐地凋落物层土壤节肢动物个体数量较次生林地凋落物层减少 67.6%,而火烧后 1 天地表残留物层的土壤节肢动物个体数量比砍伐地凋落物层降低 67.7%,较次生林地凋落物层降低 89.5%,大部分土壤节肢动物死亡或迁移。

2.4 刀耕火种对土壤节肢动物不同优势类群数量的影响

土壤节肢动物群落组成表明,少数优势类群的个体数量是构成整个群落数量的主体,它们在刀耕火种过程中的数量变动直接关系到整个群落的变化。对刀耕火种过程中土壤节肢动物 4 个类优势类群的个体数量变化进行统计发现,在干扰较小的次生林中,小型类群蜱螨目和弹尾目在凋落物层的数量分布高于其在土壤层的分布,而体型较大的膜翅目和鞘翅目则在土壤层中的分布数量较多。次生林被砍伐并通过一段时间晾晒后,4 类土壤节肢动物均从凋落物层迁移至湿度条件相对较好的土壤浅层(0 ~ 5 cm),使它们在土壤层的分布数量增高。

表 4 刀耕火种过程中土壤节肢动物优势类群的数量分布(个体数/ m²)
Table 4 Change in individuals of dominant groups of soil arthropods during the slash-and-burn farming process in secondary forest (ind./ m²)

类群 Taxa		次生林 Secondary forest		砍伐地 Felled plots		火烧后 1 天 One day after burning		火烧后 1 周 One week after burning	
		土壤层 Soil	凋落物层 Litter	土壤层 Soil	凋落物层 Litter	土壤层 Soil	凋落物层 Litter	土壤层 Soil	凋落物层 Litter
蜱螨目	Acari	280.11	1256	1604.28	432	942.2	0	76.38	504
弹尾目	Collembola	76.39	292	254.65	72	229.18	0	0	20
鞘翅目	Coleoptera	203.72	48	203.72	8	331.04	4	76.38	32
膜翅目	Hymenoptera	1069.52	140	381.97	64	101.85	204	127.31	4

火烧后,分布在凋落物层和土壤浅层的蜱螨目、弹尾目和鞘翅目一部分随枯枝落叶和凋落物的焚烧而死亡,另一部分可能迁移至更深层土壤(5 cm 以下)以躲避焚烧及高温的影响,因而火烧 1 天后,样地地表残留物层中这 3 类土壤节肢动物基本消失,其中蜱螨目、弹尾目在土壤层的数量表现为减少,鞘翅目则表现为增加。但膜翅目的变化则不同,在烧后 1 天的残留物层中数量反而增加,这主要源于膜翅目蚂蚁的贡献。蚂蚁活动较强、范围较大,在火烧前的砍伐地中主要分布在 0~5 cm 土壤层。火烧过程中,部分蚂蚁死亡(总数由砍伐地 445.97 个/ m² 降至烧后一天的 305 个/ m²),另一部分可迅速迁移至土壤深层。火烧结束后 1 天,样地土壤深层和附近林地的蚂蚁又可迅速迁移至火烧迹地的地表层,摄食被烧死的动物尸体或其他物质,使烧后第 1 天样地地表残留物层蚂蚁数量增多(由烧前凋落物层 64 个/ m² 上升至烧后残留物层 204 个/ m²)。烧后 1 周,样地中 4 类土壤节肢动物个体总数因死亡、迁移明显降低,其余部分的分布又出现较大变化:蜱螨目、弹尾目和鞘翅目在土壤层的数量逐渐减少,而在地表残留物层的数量逐渐增加,其中蜱螨目数量增长幅度较大,膜翅目的蚂蚁则由表层迁回土壤层或附近林地,使其在地表层的数量显著降低,而在土壤层中有明显增加,见表 4。

表明土壤节肢动物的垂直分布也是受生境条件的制约和影响,不同类群土壤节肢动物对生境因子变化具有不同的敏感性,表现出不同的适应能力——逃避、迁移或消亡。

2.5 刀耕火种对土壤节肢动物群落多样性的影响
土壤动物群落组成复杂,类群和种类特别丰富,用绝对数量分析群落的多样性,常会被某些类群的巨大数量所掩盖,而 DG 指数是基于每个物种在群

落中都有独立性,且在不同群落同时进行比较的假设,对于复杂的土壤节肢动物群落多样性的测定可获得比较确切的结果(廖崇惠等,1997)。因此,本文采用 DG 指数对刀耕火种过程 4 个阶段的土壤动物群落多样性进行比较。

刀耕火种各阶段中,土壤节肢动物群落(包括凋落物层和土壤层) DG 多样性指数结果表现为:次生林>火烧后 1 天>砍伐地>火烧后 1 周,表明刀耕火种使土壤节肢动物群落多样性降低,虽然减幅不大,但负面影响是明显的。然而,对样地凋落物层与土壤层 2 种小生境分别分析,二者土壤节肢动物群落多样性指数变化完全相反:次生林地凋落物层土壤节肢动物群落多样性在刀耕火种后迅速降低,以烧后 1 天为最低值,1 周后略有回升,反映出刀耕火种对林地地表凋落物层土壤节肢动物群落多样性破坏极大,由于土壤节肢动物主要聚居于凋落物层,这一层的破坏直接决定土壤节肢动物群落多样性的总体状况,影响深远。而土壤层中群落多样性的变化与其相反,DG 多样性指数在干扰阶段逐渐增高,其中以火烧后 1 天为最高,1 周后才开始减少。表明土壤层对土壤节肢动物的多样性有一定的保护和调节作用,减轻了刀耕火种的破坏,成为动物的临时避难所。这一层 DG 多样性指数的升高只是暂时的,从变化上看,降低则是最终的结果(图 1)。

3 小结与讨论

作为森林生态系统重要组成部分的土壤节肢动物生活在凋落物层及其以下的土壤层生境中,刀耕火种在对森林的植被、土壤和小气候产生了破坏作用的同时,对土壤节肢动物群落的组成、分布和多样性也造成明显的影响。研究结果表明:

1) 刀耕火种过程中不同的干扰活动对森林土

壤节肢动物群落组成产生不同程度的影响。砍伐地生境与次生林地相比虽形成明显差异,但就干扰形式和程度上与火烧相比,砍伐、晾晒活动强度相对缓和、持续时间长,并且样地中凋落物层及其以下生境尚未遭到严重破坏,土壤节肢动物个体数量的减少反映在绝大多数类群上,导致群落成分的相对数量变化不大,优势类群的组成与次生林地相似,但常见和稀有类群的组成发生一定程度变化。在随后的火烧干扰下,样地地表所有覆盖物被烧毁,土壤完全裸露,林地土壤环境条件又在砍伐地的基础上进一步恶化,土壤节肢动物赖以生存的各种物质和栖息条件遭到严重破坏,仅有少数类群可以生存,而大量土壤节肢动物迁移或死亡,群落的组成成分发生明显变化,尤以烧后 1 周最为显著。

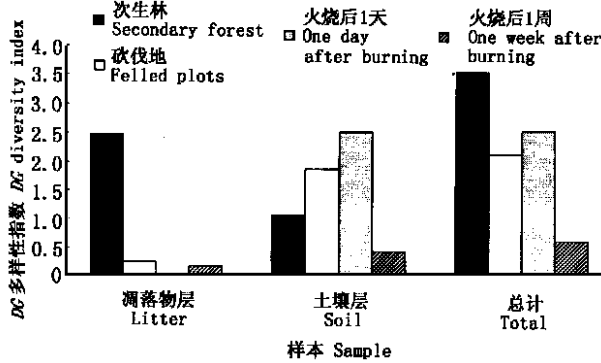


图 1 刀耕火种过程中土壤节肢动物群落多样性的变化
Fig. 1 Change in diversity of soil arthropod communities during the slash-and-burn farming process in secondary forest

2) 刀耕火种使森林土壤节肢动物群落的垂直分布规律(表聚现象)被暂时打乱,干扰过程中,在总体数量减少的状况下,存活的土壤节肢动物短时向下层土壤迁移,在干扰结束后,它们又向表层聚集。

3) 在刀耕火种后,森林土壤节肢动物群落的丰度(类群数)、多度(个体数量)和 DG 多样性指数除总体呈现明显下降外,分布在凋落物层和土壤层的变化是相反的。凋落物层的土壤节肢动物所受影响最为直接和严重,多样性显著降低。但这种干扰随着土壤层的加深,其作用逐渐降低。因而,一些土壤节肢动物在干扰过程中,可通过垂直迁移活动移居土壤深层,这在一定程度上维持了某些类群的种群数量及群落的多样性,延缓及减轻了刀耕火种对群落的破坏作用。

以上只是对刀耕火种过程中的土壤动物群落的组成结构和分布状况进行了初步的对比研究,这种

群落结构和分布变化对后期群落的恢复和重建将具有重要的影响,并进一步关系到轮歇耕地和森林植被演替初期土壤养分的维持、微生物种群的动态变化以及土壤持水性和物理结构,这都有待于今后进一步深入研究。

致谢 本项研究野外工作得到中国科学院西双版纳热带植物园森林生态站的大力支持,文章得到本园杨大荣研究员、昆明分院杨余光高级工程师的指导和帮助,在此谨表谢意。

参考文献

廖崇惠,李健雄,黄海涛,1997. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. 生态学报,17(5):549~555
廖崇惠,李健雄,2000. 华南热带和南亚热带森林土壤动物的群落结构. 见:尹文英(主编),中国土壤动物. 北京:科学出版社,77~99
沙丽清,邓继武,谢克金,孟盈,1998. 西双版纳次生林火烧前后土壤养分变化的研究. 植物生态学报,22(6):513~517
唐勇,曹敏,张建侯,任泳红,1997. 刀耕火种对山黄麻林土壤种子库的影响. 云南植物研究,19(4):423~428
尹文英等著,1992. 中国亚热带土壤动物. 北京:科学出版社
尹文英等著,2000. 中国土壤动物. 北京:科学出版社
张萍,1996. 刀耕火种对土壤微生物和土壤肥力的影响. 生态学杂志,15(3):64~67
Anderson J M, 1988. Spatiotemporal effects of invertebrates on soil processes. *Biology and Fertility of Soils*, 6:216~227
Cao M and Zhang J H, 1996. An ecological perspective on shifting cultivation in Xishuangbanna, SW China. *Wallaceana*, 78:21~27
James C N, Walter G W and Marek K, 1996. Soil land litter microarthropod populations from two contrasting ecosystems in semi-arid eastern Australia. *Journal of Arid Environments*, 32:329~346
Saharjo B H, 1995. The change in soil chemical properties following burning in a shifting cultivation area in South Sumatra. *Wallaceana*, 75:23~26
Teuben A, 1991. Nutrient availability and interaction between soil arthropods and microorganisms during decomposition of coniferous litter: a mesocosm study. *Biology and Fertility of Soils*, 10:256~266
Whitmore T C, 1990. An Introduction to Tropical Rain Forests. New York:Oxford University Press
Zhang J H and Cao M, 1995. Tropical forest vegetation of Xishuangbanna, SW China and its secondary changes—with special reference to some problems in local nature conservation. *Biological Conservation*, 73:229~238
(责任审稿人:廖崇惠;责任编辑:闫文杰)