

西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响

邓晓保, 邹寿青, 付先惠, 姚天全, 盛才余, 白智林

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303)

摘要:以自然林为对照,研究了云南省西双版纳热带地区刀耕火种农业(旱稻)和林下种植砂仁(*Amomum villosum*)2种不同土地利用方式对土壤弹尾、螨和线虫3类土壤动物个体数量的影响。通过24个月的取样分离,获得土壤动物个体49,912个。结果表明:不同土地利用方式导致了土壤理化性质不同程度的改变,例如土壤容重的增加、肥力下降、土壤水分蒸发加快等,这些土壤指标的变化是影响土壤动物个体数量的决定性因素。动物的个体数量在3个样地中以自然林最多,砂仁地次之,刀耕火种地最少;在季节分布上以雾冷季最多,干热季最少。各样地的动物个体数量以刀耕火种与自然林之间的差异最显著,刀耕火种样地与砂仁样地或砂仁样地与自然林样地之间的差异有时达到显著水平,但在不同季节中各类型样地间的差异有所不同。土壤动物的季节变化不但受气候条件变化的影响,同时受到人类土地利用活动的影响,在人为干扰样地中高峰与低谷之间的变化幅度较大。某些土地利用的行为不但杀死了动物本身,而且破坏了动物的营养源,因此土壤动物个体数量随着土地利用强度的增加而下降。

关键词:西双版纳;热带雨林;土壤动物;砂仁;刀耕火种

The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China

DENG Xiao-Bao, ZOU Shou-Qing, FU Xian-Hui, YAO Tian-Quan, SHENG Cai-Yu, BAI Zhi-Lin

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 130~138.

Abstract: The impact of different land use practices on the number of individuals of three groups of soil animals (Acrina [mites], Collembola [Springtails] and Nematoda [Nematodes]) were studied in the tropical ecosystems of Xishuangbanna (location, 21°54'41"~21°59'50"N, 101°00'06"~101°13'02"E; annual precipitation, 1600 mm), Yunnan, China. This study focused on two types of land use practices: shifting cultivation and cardamom (*Amomum villosum*) plantation under the native rainforest. Undisturbed nearby

基金项目:中国科学院重大科学研究资助项目(KZ951-A1-104)

收稿日期:2000-12-30; **修订日期:**2002-07-22

作者简介:邓晓保(1958~),男,云南省西双版纳人,副研究员,主要从事热带雨林中的动物生态学研究。

致谢:曹敏研究员、陈进研究员、李庆军研究员、Lee F. Klinger 博士,协助撰稿,CERN 西双版纳热带生态站提供相关气象资料,在此一并表示衷心的感谢。

Foundation item: The project was financially supported by the Key Project of Chinese Academy of Sciences (KZ951-A1-101)

Received date: 2000-12-30; **Accepted date:** 2002-07-22

Biography: DENG Xiao-Bao, Associate Professor. Mainly study on animal ecology in tropical rainforest. E-mail: xiaobaod@bn.yn.cninfo.net

rainforest was sampled for comparison.

In each land use type, three $30 \times 30\text{m}^2$ plots were sampled, each plot divided into four $15 \times 15\text{m}^2$ subplots. Soil cores (30mm diameter) were collected to a depth of 100 mm every month from June 1999 to May 2000. Five evenly-distributed samples were taken from each of two subplots, alternating with the other two subplots monthly. Animals were extracted from the cores by Tullgren funnel trapping for springtails and mites, and Bearmann funnel trapping for nematodes. Soil organic matter, unit weight and water content were measured seasonally (four times per year) on a subset of the cores from each plot. In Xishuangbanna, the seasons are dry and hot (Mar. to May), rainy (Jun. to Sept.), foggy and cool (Oct. to Nov.) and foggy and cold (Dec. to Feb.).

The results show that: (1) A total of 49,912 individuals were isolated from the study period of 24 months.

(2) Differences in numbers of soil animal individuals between shifting cultivation and undisturbed rainforest were, in all cases, significant. Numbers of individuals were typically higher in cardamom compared to shifting cultivation plots, though this difference appears significant only for nematodes. Differences between cardamom and rainforest plots were rarely significant for separate seasons, but were significant in the annual totals of all animal groups.

(3) In all plots for all three land use types the number of the soil animals tends to be lowest in the dry-hot season (Mar. ~ May) and highest in the foggy-cool and foggy-cold season (Oct. ~ Feb.). However, plots impacted by shifting cultivation and cardamom planting exhibited greater seasonal variability compared to rainforest plots, due to plowing, weeding and burning.

(4) Organic matter and nutrient content of soils decreased with increasing intensity of land use. We believe that this pattern in soil quality critically influences the number of soil fauna individuals. The abundances of animal distribution in the three land use types declined with increasing soil bulk density and decreasing soil fertility. Soils under shifting cultivation were most affected by agricultural activities. The number of soil animal individuals in this land use type was the lowest compared to the other two land use types. It seems that activities of farming killed or suppressed the growth of the soil fauna.

(5) In the cardamom sites, the canopy trees were left shade, so the overstory environment was similar to the natural forest, but most of the understory plants were removed. Other management activities, such as yearly fruit collection, likely have significant impacts on soil quality and soil fauna community structure. Since the intensity of land use in cardamom plantation was less than that of shifting cultivation, the number of soil fauna individuals in former land use type was higher than in the latter, but lower than that of natural forest.

Key words: Xishuangbanna; tropical rainforest; soil fauna; cardamom; shifting cultivation

文章编号: 1000-0933(2003)01-0130-09 中图分类号: Q958.1, S154.5 文献标识码: A

土壤动物和微生物一样,在土壤生态系统中起着分解有机质、改变土壤理化性质、保持土壤持水性和通透性、熟化土壤、促进物质循环的重要作用,它在土壤中的活动,有利于植物(包括农作物)的正常生长^[1]。土壤小型节肢动物如螨类和弹尾类影响着有机质的分布与丰富程度,进而能够影响到促进微生物的活动^[2]。森林植被是多数土壤动物赖以生存的重要条件之一,不同的植被类型及其群落结构,使得生存在其中的土壤动物种群结构和数量及多样性产生显著的差异^[3]。已有的研究证明,土壤螨、弹尾和线虫是西双版纳热带雨林土壤中的优势类群^[4],在热带森林生态系统中,它们的活动对土壤有机质的分解与转化起着重要的功能性作用。

由于经济发展的需要,我国很多热带亚热带地区将大面积原始森林转化成了橡胶林或农田,使生态系

统的片断化程度越来越高^[3]。西双版纳地区森林覆盖率由 20 世纪 50 年代初的 50% 左右下降到 1983 年的 34%, 近年来尽管森林覆盖率略有回升, 但主要是经济林木如橡胶林的面积扩大, 自然林并未增长。即使在自然保护区内, 由于种植砂仁(*Amomum villosum*) 等经济植物, 林下灌木、藤本和草本成分受到严重影响, 使得森林更新困难、生物多样性下降^[6]。砂仁是一种姜科药用植物, 它的生长需要一定的阴蔽度。1993 年的资料显示, 本区在自然保护区和国有森林内种植砂仁的面积已达 733hm²^[7], 在以后的几年中种植面积在成倍增长, 据估计已超过 5 800hm²。清除林下小苗及藤本, 改变了森林的群落结构, 直接影响地表乃至地下的土壤环境, 对土壤动物的种群结构及个体数量产生了不同程度的影响。

刀耕火种农业(轮歇农业)是当地(尤其是山区)农民的一种传统耕作方式, 以火烧和轮歇为特征^[8]。刀耕火种首先要砍倒森林中的树木, 3 个月后放火焚烧, 然后进行播种以及后期的管理和收获, 耕种数年后丢荒, 让植被自然恢复, 然后在进行新一轮的火烧和耕种。由于人口增加, 这种轮歇周期已变得越来越短。这种清除森林并大幅度改变生境的活动对土壤动物的种群及个体数量产生影响甚大。由于刀耕火种、过度采伐, 自然林的群落结构和物种构成已发生显著变化, 次生成分增多, 森林退化十分明显^[6]。

1 样地概况

研究样地位于云南省西双版纳州国家级自然保护区勐仑管理片区(N21°54'41"~21°59'50", E101°00'06"~101°13'02") 内, 海拔 600m。当地的年平均温 21.6℃, 年降水量 1,600mm。土壤为砂页岩母质发育的砖红壤。本区属西部型热带季风气候, 全年可分为干热季(3~5 月份)、雨季(6~9 月份)雾凉季(10~11 月份)和雾冷季(12~翌年 2 月份); 温度年变化虽比温带小, 但比标准热带地区的变化要大, 因而本区的冷热季变和干、湿的季变同样较为显著^[9]。该区居住着以刀耕火种农业方式为主的哈尼族。

1.1 刀耕火种旱稻样地

于 1997 年 11 月被砍除(取样于 1998 年 1 月开始)并经烈火焚烧后的与对照样地基本一致的热带沟谷雨林, 1998~1999 连续 2a 种植旱稻, 2000 年种植花生、木薯、棉花等经济植物。按照当地农民的农事活动, 每年的 11~12 月份砍地(在需要种植范围内砍倒包括大树、幼苗、藤本及草本的所有植物), 次年 3 月份放火烧尽, 4 月份清地并播种, 6~7 月份除草, 9~10 月份收获, 接着利用该地的稻秆放牧, 至下一年的 1 月份再行砍地(没有高大树木, 但砍倒地中的稻秆和植物小苗), 3 月份放火烧后, 于 4 月份翻耕播种, 以后的管理同前一年。

1.2 林下种植砂仁样地

1993 年春被清除林下幼苗及藤本植物后种植砂仁的热带原始沟谷雨林, 每年除草 1~2 次、对砂仁地进行间苗 1 次以及收获贴近地表着生的砂仁果实 1 次, 在未被开发利用以前与对照样地基本一致。

1.3 自然林对照样地

以番龙眼(*Pometia tomentosa*)和多花白头树(*Garruga floribunda* var. *gamblai*)为代表的顶层植物群落, 植物种类繁多、层次结构复杂、未被开发利用过的热带原始湿性沟谷雨林。

2 研究方法

2.1 样地设置

以自然林为对照、分别选取林下种植砂仁地和刀耕火种旱稻地作为 2 种不同利用方式, 共设 3 个类型 9 个 30×30m² 的样地, 不同类型的样地间距离 200~500m 不等, 同类型的重复样地间距离约 50m。3 个不同类型的 9 个样地均分布在同一片林区, 其坡度为 20°。

2.2 取样

动物分离土样 在每个样地中设 4 个相邻的 15×15m² 的小样方, 然后在对角的 2 个小样方中沿对角线各取 5 个土样(下一个月则在另外 2 个对角的小样方中取样), 即每个类型样地 30 个, 每月中旬定期用自制的土壤环刀(H100×Ø30mm)进行取样, 取样深度自土表 0~10cm, 带回室内进行分离和鉴定。

理化分析土样 分别在每个季节(1 月、4 月、7 月、10 月的中旬)对各类型样地进行随机剖面取样一次, 无重复, 土壤采样深度 0~10cm。

2.3 动物分离和鉴定

土壤样品中的螨类和弹尾类采用 Tullgren 装置进行分离,线虫采用 Bearmann 装置进行分离获取,土壤动物标本根据 Daniel^[10]和尹文英等^[11]的分类系统进行分类鉴定。获取动物个体数量的计算为 0~10cm 深度土壤中,每个立方米所含的动物数量。

3 结果

3.1 不同土地利用状况下土壤动物数量比较

3 个不同类型的样地中,不论年平均或分季节均以自然林的动物个体数量最多,其次是林下种植砂仁地,刀耕火种轮歇地最少。土壤动物的个体数量随着人为因素对森林土壤干扰强度的增加而减少,各样地类型之间的动物数量存在着不同程度的差异(图 1)。

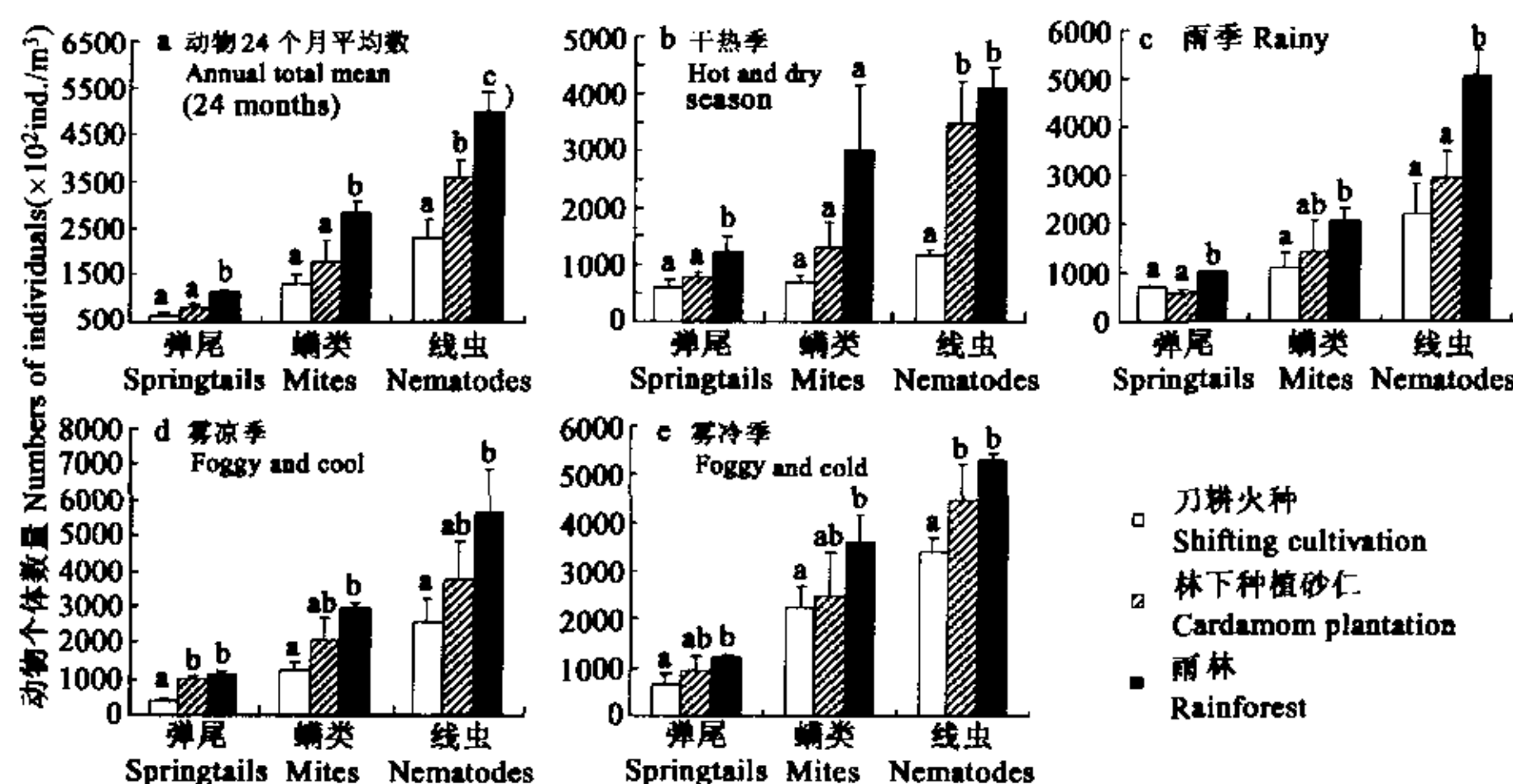


图 1 弹尾、螨和线虫在不同土地利用方式下的个体数量比较

Fig. 1 The comparison of individuals of springtails, mites and nematodes under three types of land use

(a) 动物 2 年 24 个月平均数 Annual total mean (24 months); (b) 干热季 Hot and dry season; (c) 雨季 Rainy; (d) 雾凉季 Foggy and cool; (e) 雾冷季 Foggy and cold

弹尾在总数以及分季节中的干热季和雨季的个体数量上,刀耕火种样地与林下种植砂仁之间差异不显著($P>0.05$),但两者与自然林之间差异显著($P<0.05$),雾凉季和雾冷季仅以刀耕火种与自然林之间差异显著。

螨类在总数上的差异与弹尾类相似,但在雨季、雾凉季和雾冷季仅以刀耕火种与自然林之间差异显著,在干热季各样地之间均无显著差异。

线虫个体数量,在总数上各样地间差异显著。在干热季和雾冷季,刀耕火种与林下种植砂仁、自然林之间差异显著,但林下种植砂仁与自然林之间无显著差异。在雨季刀耕火种与林下种植砂仁之间差异不显著,但二者与自然林之间差异显著。在雾凉季仅以刀耕火种与自然林之间差异显著。

3.2 不同土地利用状况下的土壤环境变化

3.2.1 土壤容重 在干热季、雨季、雾凉季和雾冷季分别对 3 种不同类型样地的土壤容重进行测定,所有季节的结果都表明:刀耕火种旱稻地>林下种植砂仁>自然林;刀耕火种和林下种植砂仁 2 个样地的容重均比同一季节的自然林高(表 1)。

3.2.2 土壤含水量 土壤含水量受到降水量的直接影响,其水分含量随着大气降水量增加而增加,雨季(6~9 月份)达到最高点,雾凉季(10~11 月份)后逐渐下降,在干热季(3~5 月份)土壤含水量最低(表 1)。

3.2.3 土壤肥力 通过对 3 个不同类型样地土壤的有机质、阳离子交换量和养分含量的测定,结果显示:自然林>林下种植砂仁>刀耕火种轮歇地(表 2)。

表 1 不同样地类型的土壤容重及含水量比较*

Table 1 A comparison on soil bulk density and water content(%) among plots in different seasons

类型 Types	雾冷季 Foggy & cold		干热季 Dry & hot		雨季 Rainy		雾凉季 Foggy & cool	
	SBD	SWC	SBD	SWC	SBD	SWC	SBD	SWC
	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)
自然林 Rainforest	1.18	25.3	1.06	22.4	1.08	34.8	1.08	24.5
砂仁 Cardamom plantation	1.2	21.4	1.2	15.3	1.22	28.8	1.14	22.7
刀耕火种地 Shifting cultivation	1.24	14.3	1.31	12.3	1.35	26.4	1.29	20.5

* SBD 土壤容重 Soil bulk density, SWC 土壤含水量 Soil water content

表 2 不同类型样地中的土壤有机质阳离子交换量及土壤养分含量比较

Table 2 Comparison of soil organic matter, cations exchangeable compasity and nutrients content in the 3 plots

类型 Type	有机质 Organic matter	T. CEC (m. e/kg)	养分含量 Nutrients content					
			T. N	T. P	T. K	A. N	A. P	A. K
			(%)	(%)	(%)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)
自然林 Rainforest	3.38	14.05	0.241	0.052	1.588	193.3	9.518	75.12
林下砂仁 Cardamom	2.91	8.976	0.198	0.041	0.822	151.4	6.267	66.24
刀耕火种地 Shifting cultivation	2.12	7.48	0.144	0.024	0.583	101.2	3.051	89.7

3.3 不同土地利用状况下动物个体数量的季节变化比较

3.3.1 弹尾类 在研究的 2 年内,弹尾类的个体数量在自然林中波动不明显;在干热季(3~5 月份)和雨季(9 月份)数量相对较少。雾凉季(10~11 月份)以后开始回升,11、12、1 和 2 月份的数量相对较高。林下砂仁样地中,个体数量的高峰期分别出现在 1、10 及 12 月份,其低谷在 8~9 月份的果实采收期,峰值与低谷之间的变化幅度较大,9 月份与 10 月份之间尤其明显。在刀耕火种样地中,3~5 月份(干热季)的春耕播种和 11 月份的放牧期的个体数量均处于较低的水平(图 2a)。

3.3.2 螨类 从整体上看,螨类的个体数量在干热季下降到较低的水平,进入雨季后开始回升,直到雾冷季的较高水平。螨类在自然林中数量变化的峰值出现在 1 月份和 12 月份,干热季的 3~5 月份是数量变化的低谷。林下种植砂仁样地中的数量变化趋势与自然林相似,但其低谷分别出现在各年的干热季(3~5 月份)以及雨季(8~9 月份)的砂仁采收期。刀耕火种样地动物数量变化的峰值出现在第 1 年的 1 月份,2 月份与 3 月份之间的变幅极大,以后的变化则以各年的 9 月份数量最多,低谷出现在 3~5 月份的春耕播种期和 11 月份的放牧期,12 月份回升到较高的水平(图 2b)。

3.3.3 线虫类 自然林样地中线虫类个体数量变化的峰值处在雨季的 9 月份,直到 12 月份均维持其较高的数量,低谷出现在干热季节的 4 月份或 5 月份。砂仁和刀耕火种 2 个样地的动物数量与自然林样地的变化趋势相似,但随着人为干扰强度的增加而增加了下降幅度,出现的低谷与峰值期稍有不同(图 2c)。

4 讨论

土壤是无脊椎动物的巨大贮藏库,大约 95% 的昆虫(成虫、幼虫和蛹)生活在土壤中^[12]。土壤动物通过它们的生命活动,影响着枯落物的分解率、营养循环、真菌种群的分布以及植物的生长^[13]。反之,土壤环境的变化也直接影响着土壤动物的种群结构及个体数量。

从总体数量分布和变化来看,弹尾、螨和线虫 3 类土壤动物在自然林中,受到气候和环境条件变化的影响,形成了一定的变化规律。干热季的土壤含水量、降水量和空气相对湿度偏低,不利于土壤动物的生存与活动,土壤动物个体数量从雾凉季的高峰期降到干热季的最低谷。在雾凉季和雾冷季即便很少甚至没有降雨,但由于雾的作用保持了空气的相对湿度,减少了土壤水分的蒸发量,使土壤保持着适中的含水量,土壤动物在这一周期内保持着较高的个体数量。

土壤动物生物量常常是随着土地利用强度的增加而下降,例如 Nakamura 的研究表明^[14],在日本一块暗色土的可耕作土地上,通过直接犁翻或挖翻土壤,减少了土壤中的线蚓、螨类、弹尾类以及其它无脊椎动

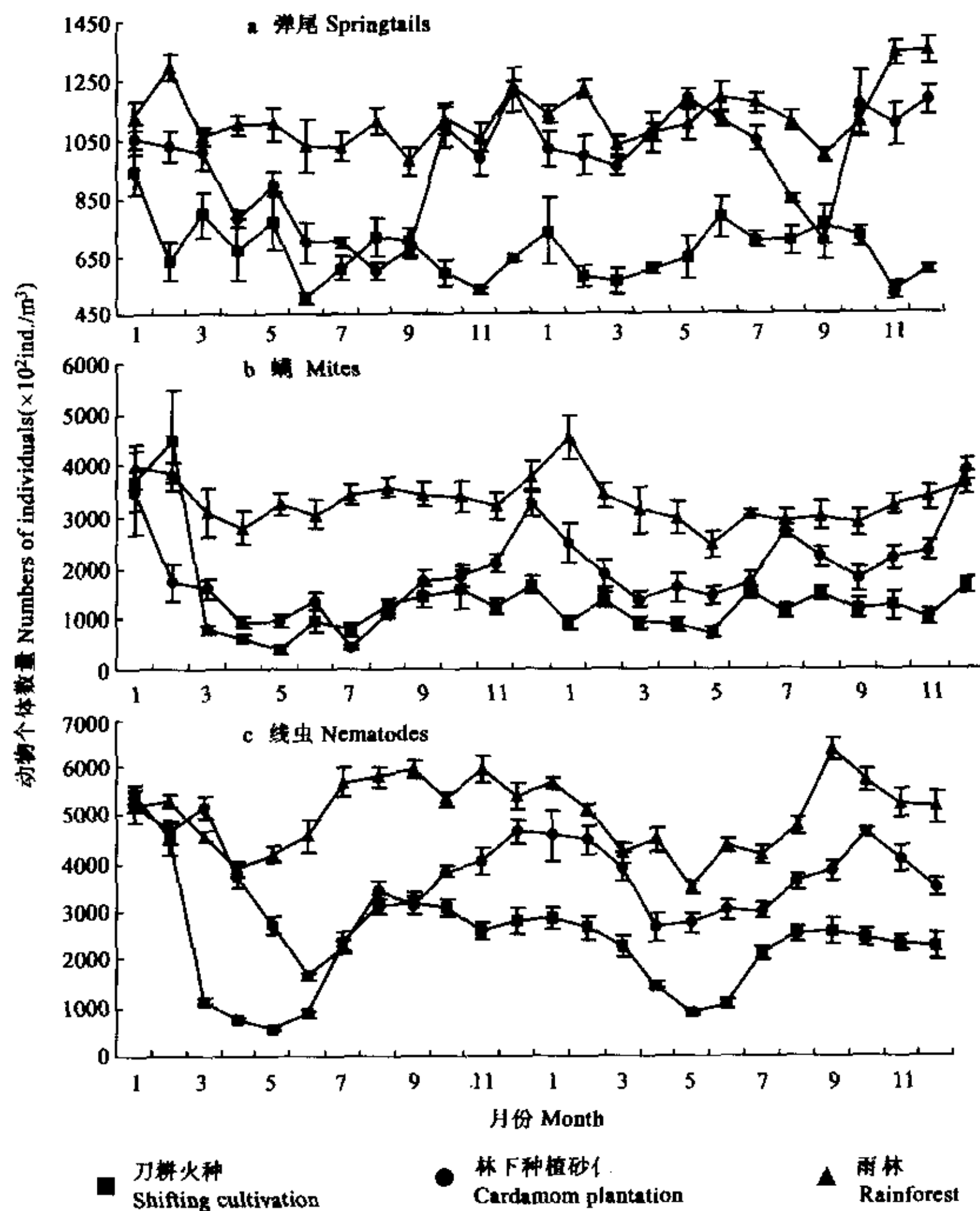


图2 不同土地利用方式下土壤动物数量的季节变化比较

Fig. 2 The comparison of seasonal change of animals among different land use

物的丰富度;相反,有机物覆盖的应用增加了这些土壤动物的丰度^[1]。生存在热带森林中的土壤动物也不例外,它们的种群及个体数量同样也受到人为活动的极大影响,这里常见的人为活动包括农作物的耕作和林下经济植物砂仁的种植、管理以及收获,在刀耕火种地上还有放牧活动。

4.1 土壤理化性质变化对动物数量的影响

4.1.1 土壤容重 土壤质地是决定土壤物理性质的物质基础,土壤容重则是反映土壤质地、结构和孔隙状况的主要指标。土壤动物主要活动在复杂的土壤孔隙系统中,对改善土壤的物理性质具有重要作用^[12]。土壤孔隙度的大小是影响土壤动物种群及个体数量的重要因素,Heisler and Kaiser 的研究表明,在可耕作土壤中,农业运输由于车轮的挤压增加了土壤密度,缩小了土壤的孔隙度,弹尾类的生物量明显低于没有经过农业运输处理的样地^[13]。人为对土地利用强度的不同,各样地的土壤容重也形成了一定的差异。刀耕火种和砂仁2个样地中,由于土壤表面被不断的清除和焚烧植物残体、翻耕、暴晒和践踏等,导致了有机质的流失(表2)和土壤密度的增加(表1),使土壤动物数量随着土壤密度的增加而减少,两者之间形成负相关关系。当然,这种关系因土壤动物种类的不同存在着一定的差异(图3)。

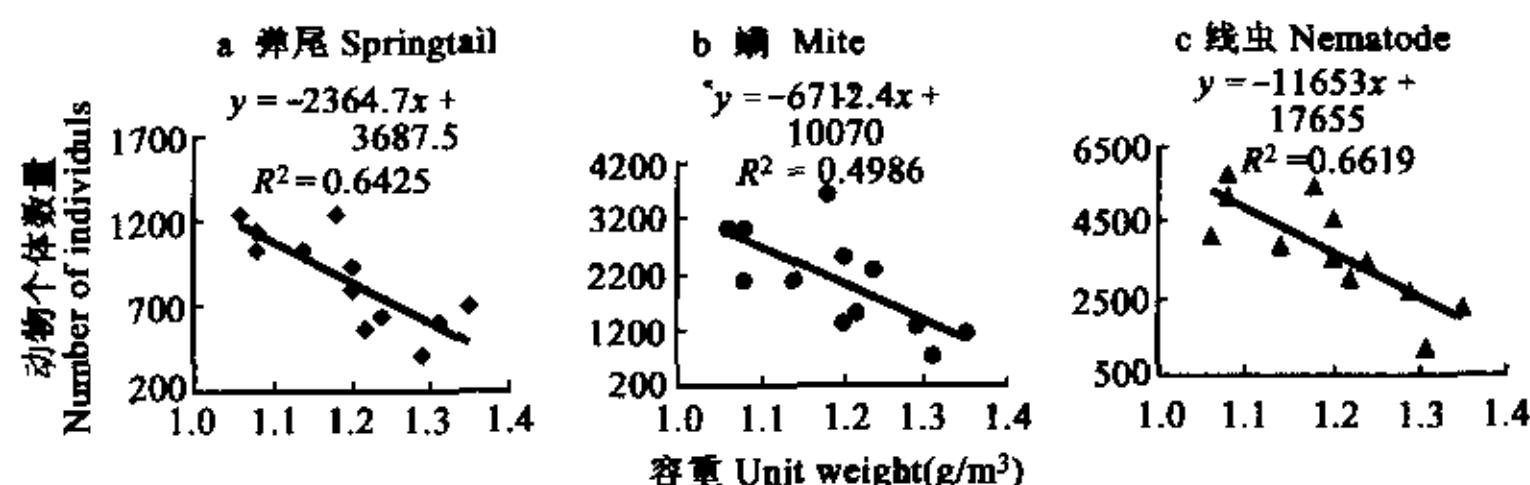


图3 弹尾、螨和线虫动物数量分布与土壤容重的关系

Fig. 3 The relationship between soil bulk density and quantity distribution of the animals

4.1.2 土壤含水量 当土壤含水量为25%时,弹尾和螨类个体数量较多。动物个体数量波动与土壤含水量之间似乎没有密切的相关关系,土壤含水量过高或过低均不利于弹尾类和螨类的繁殖活动。但对线虫而言,个体数量发生高峰期却是在土壤含水量相对较高的雨季,这或许反映出此类土壤动物的嗜水性。

从本研究区的土壤含水量来看,自雨季后的雾凉季开始直到翌年的干热季初期,每天约15h(22:00~13:00)的浓雾,保持了空气中的相对湿度,减少了土壤水分的蒸发,使土壤保持着相对稳定的含水量。在这一周期内即使没有降水,土壤中也具有足够的水分供给动物的生存和繁衍,至少对螨、弹尾和线虫是如此。在刀耕火种与砂仁样地中,尽管雾凉季和雾冷季具有浓雾形成,但由于对样地原有覆盖植被不同程度的清除以及对土壤的扰动,使得土壤水分的蒸发量提高,其含水量明显少于自然林(表1)。

4.1.3 土壤肥力 土壤动物的生存离不开真菌、细菌、藻类和植物等生物,它与其它生物在土壤生态系统中形成了复杂的营养关系,在土壤的形成以及有机物质的分解与转化过程中起着决定性的作用。土壤肥力对植物的生物量产生了直接的影响,对土壤动物的种群及个体数量也产生间接的影响,因为只有茂盛的植物(产量)才能够供给土壤动物或微生物丰富的有机物质或食物,使其得到大量的繁殖。已有的研究表明,利用农家肥和绿肥(白芥、油菜、燕麦的渣或秆)改进土壤有机质,可使食菌类弹尾和线虫的种群数量明显增加^[17]。本研究中刀耕火种样地对土地的利用或干扰强度最大,其土壤肥力最差,动物的个体数量最少。而未被开发利用的自然林样地,各项肥力指标明显优于其它两地(表2),该样地类型的动物数量也最多。

4.2 不同土地利用方式对动物个体数量分布的影响

对于各样地中3类动物的个体数量来说,在多数情况下刀耕火种地与林下种植砂仁之间的差异不如刀耕火种与自然林之间的差异显著,或者刀耕火种与自然林之间的差异比林下种植砂仁与自然林之间显著。农业生态系统中植被结构的复杂性包括植被高度和地面覆盖是节肢动物丰富度与多样性的一个决定性因素,节肢动物的丰富度和多样性通常是随着植被结构复杂性及地面覆盖的增加而增加^[18]。土壤动物个体数量随着人为活动强度的增加而减少,刀耕火种旱稻地经过砍、烧、清、整地、除草、收获以及放牧等一系列的农事活动,使地表失去了植被覆盖,加快了旱季本来就很低的土壤含水量的蒸发。这种对土壤表层自然结构的改变,将不同程度地影响到土壤动物的种群结构与个体数量。例如:曝晒可以杀死土壤中的大部分真菌、细菌和藻类,而这些生物却是土壤螨、弹尾和线虫的主要食物来源之一。由于食物资源的减少或缺乏,土壤动物个体数量因此而下降。从图1中可明显看出:刀耕火种地与自然林样地之间差异显著,与砂仁样地之间或砂仁与自然林样地之间有时可达到显著水平。这个研究结果证明了植被覆盖条件对这3类土壤动物生存环境的重要性,以及土地利用强度对这些动物数量产生的极大影响。

人为的生产活动,对土壤表面进行了清地、翻耕、暴晒和锄草等一次又一次地影响着土壤的物理结构,同时杀死了部分土壤动物及其作为土壤动物主要食物资源的真菌、细菌和藻类。土壤动物个体数量与土壤肥力,两者之间存在着极为密切的关系。即土壤肥力的下降导致了土壤动物种群和个体数量的下降,或者土壤动物种群和个体数量的下降也极大地影响着土壤有机质的形成。刀耕火种首先烧尽了地表的枯枝落叶和植物残体,再对土壤进行一系列的耕作活动,切断了有机质的来源,必然引起土壤动物的种群结构和个体数量以及土壤肥力的下降。因为,地表的枯枝落叶是微生物和土壤动物的营养源,也是土壤有机质的

主要来源。

林下种植砂仁样地的地面果实采收、间苗和除草活动,极大地影响着土壤动物的个体数量。这些农事活动破坏了土壤表面的自然结构,其中在地面果实采收这一活动期,较为明显的特点是进入雨季由于土壤潮湿、松软,此时人为对地表不断的践踏,很容易增加地表土壤结构的密度(最高可达 $1.39\text{g}/\text{cm}^2$),使动物个体数量下降至最低谷。由于清地和除草使林下除砂仁以外的其它植物小苗几乎不存在,极大地影响着森林的物种多样性。尽管该样地的物种多样性遭到了破坏,但整个林冠环境基本保持着大森林的状态,对土壤环境的影响不如刀耕火种样地严重,人为干扰频度也较低。因此,它的土壤动物个体数量高于刀耕火种样地(30.07%),而低于自然林对照样地(31.21%)。

4.3 不同利用方式对动物数量季节变化的影响

从总的趋势来看,3类动物在自然林中具有大体相同的变化趋势,干旱季节或雨季动物数量降到较低的水平,2a中土壤动物数量较多的是分布在土壤含水量适中的雾凉季和雾冷季。所不同的是在自然林样地中,线虫的高峰期发生在较潮湿的6~9月份。当然,雾凉和雾冷季线虫类也具有相当的数量,它的低谷主要发生在干热季的3~5月份。因此认为土壤含水量过低或过高均不利于土壤动物的繁殖活动。

受人为不同土地利用的方式的影响,3类动物均有不同的变化趋势。刀耕火种样地中3类动物数量的季节变化在第1年的1月份或2月份明显高于第2年的同一时期,与自然林和林下种植砂仁样地几乎处在同一水平上。这是因为该样地在被开发以前与其它两地具有基本相同的环境条件,但是自3~5月份被烈火焚烧以及耕作后,其动物数量急剧下降至最低谷,尽管6月份以后随着地上植物生物量的增加而有所回升,但始终与原来水平相差甚大。

林下砂仁样地的动物数量变化趋势与自然林大体相似,但除了干热季下降外,雨季砂仁果实收获期降到最低谷。该样地的特点是数量变化幅度比其它两个样地大,此或许是因为其大的环境与自然林相似,在遭受干旱或被干扰后动物数量能够很快繁殖,当遇到人为活动的影响使环境条件不利于其生存繁衍时急剧下降。例如:线虫在90d内0~10cm的土壤中,个体数量由高峰的 $517\ 103.09\ \text{个}/\text{m}^3$ 下降到低谷的 $166\ 076.90\ \text{个}/\text{m}^3$,再回升到 $466\ 147.68\ \text{个}/\text{m}^3$ (见图3c);弹尾类在第1年和第2年的9~10月份间,动物数量分别由 $66\ 996.93\ \text{个}/\text{m}^3$ 上升到 $108\ 516.16\ \text{个}/\text{m}^3$ 以及由 $70\ 456.87\ \text{个}/\text{m}^3$ 上升到 $116\ 065.11\ \text{个}/\text{m}^3$ 。

5 结论

5.1 刀耕火种农业方式不但清除了所有的森林植被,并对表层土壤进行包括放牧在内的一系列的农事耕作活动,严重破坏了土壤动物赖以生存的土壤环境以及营养关系,使得包括肥力在内的土壤指标下降,使得弹尾、螨和线虫3类土壤动物的个体数量在3个类型的研究样地中处于最低水平。3个类型样地间的动物个体数量,以刀耕火种与自然林之间的差异最显著,刀耕火种与砂仁地或砂仁地与自然林之间有时也达到显著水平。

5.2 林下种植砂仁,尽管样地的大环境和上层林冠覆盖与自然林相似,但清除了林下包括藤本和草本在内的大多数植物,群落结构及其物种多样性遭到破坏,表层土壤的自然结构也受到了严重的影响。但因为土地利用强度比刀耕火种地低,3类土壤动物的种群数量高于刀耕火种样地而低于自然林样地。

5.3 土地利用给弹尾、螨和线虫个体数量的季节变化增加了高峰与低谷的变化幅度,在刀耕火种样地中尤其明显。

5.4 动物个体数量随着土壤容重的增加而下降,形成密切的负相关关系。动物个体数量与土壤水分含量之间没有明显的相关关系,但不同季节土壤动物数量变化显示,土壤水分含量过高或过低均不利于土壤动物的繁殖与活动。

Reference

- [1] Gao F. The landmark of study on soil animals. *Acta Zoologica Sinica*, 2000, 46(2): 238~240.
- [2] Lussenhop J. Collembola as mediators of microbial symbiont effects upon soybean. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28: 363~369.

- [3] Liu H, Yan X Z. Diversity of animals in Confucian graveyard of Qufu. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(5): 609~611.
- [4] Deng X B. Investigation of soil animals in tropic rubber tree and tea plantations. *Journal of Ecology*, 1987, **6**(2): 18~20.
- [5] Qu C M, Han X G, Su B. Edge effects in fragmented forest: Implications for design and management of natural reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(1): 160~167.
- [6] Pei S J, Xu J C. Biodiversity and sustainability in swidden agroecosystems: Problems and opportunities. In: *Collected research papers on biodiversity in Xishuangbanna*. Kunming: Yunnan Education Press, 1997. 173~177.
- [7] Zhou S. Cultivation of *Amomum villosum* in tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 1993, **60**: 157~162.
- [8] Xu J C, Pei S J, Chen S Y. Classification of swidden agroecosystems in Xishuangbanna. In: *Collected research papers on biodiversity in Xishuangbanna*. Kunming: Yunnan Education Press, 1997. 9~17.
- [9] Zhang K Y. Primary analysis of the climatic character and its formative factors in south Yunnan, China. *Acta Meteorologica Sinica*, **33**(2): 218~230.
- [10] Daniel I. D. *Soil Biology Guide*. John Wiley & Sons. New York, 1990.
- [11] Yin W, et al. *Pictorial keys of soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [12] Wang Z Z, Zhang Y M. A study on forest soil invertebrates of the natural protection area in Hengshan mountains (Nanyue). *Acta Geographica Sinica*, **44**(2): 205~213.
- [13] Klironomos J N, Bednareczuk E M and Neville J. Reproductive significance of feeding on saprobic and arbuscular mycorrhizal fungi by the collembolan, *Folsomia candida*. *Functional Ecology*, 1999, **13**: 756~761.
- [14] Nakamura Y. The effects of soil management on the soil faunal makeup of a cropped andosol in Central Japan. *Soil and Tillage Research*, 1988, **12**: 177~186.
- [15] Stork N E and Eggleton P E. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1992, **7**(1,2): 38~47.
- [16] Heisler C H and Kaiser E~A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, **19**: 159~165.
- [17] Scholte K and Lootsma M. Effects of farmyard manure and green manure crops on populations of mycophagous soil fauna and Rhizoctonia stem canker of potato. *Pedobiologia*, 1998, **42**: 223~231.
- [18] Frampton G K, van den Brink P J and Gould P J L. Effects of spring drought and irrigation on farmland arthropods in southern Britain. *Journal of Applied Ecology*, 2000, **37**: 865~883.

参考文献

- [1] 高峰. 土壤动物科学研究的里程碑. *动物学报*, 2000, **46**(2): 238~240.
- [3] 刘红, 袁兴中. 曲阜孔林土壤动物多样性研究. *应用生态学报*, 1999, **10**(5): 609~611.
- [4] 邓晓保. 热带胶茶林群落中土壤动物的初步调查. *生态学杂志*, 1987, **6**(2): 18~20.
- [5] 渠春梅, 韩兴国, 苏波. 片断化森林的边缘效应与自然保护区的设计管理. *生态学报*, 2000, **20**(1): 160~167.
- [6] 裴盛基, 许建初. 轮歇农业生态系统的生物多样性与持续性: 问题与出路. 西双版纳轮歇农业生态系统生物多样性研究论文报告集. 昆明: 云南教育出版社, 1997. 173~177.
- [8] 许建初, 裴盛基, 陈三阳. 西双版纳轮歇农业生态系统的分类. 西双版纳轮歇农业生态系统生物多样性研究论文报告集. 昆明: 云南教育出版社, 1997. 9~17.
- [9] 张克映. 滇南气候的特征及其形成因子的初步分析. *气象学报*, 1963, **33**(2): 218~230.
- [11] 尹文英等. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 王振中, 张友梅. 衡山自然保护区森林土壤中动物群落研究. *地理学报*, 1989, **44**(2): 205~213.