

巨桉 (*Eucalyptus grandis*) 人工林土壤动物群落 对采伐干扰的初期响应

肖玖金¹, 张 健^{1,*}, 杨万勤¹, 黄玉梅², 杨 鲁¹, 李纪伟¹, 严 妲¹

(1. 四川农业大学林学院园艺学院, 四川雅安 625014; 2. 四川农业大学都江堰分校, 四川都江堰 611830)

摘要: 为了解采伐干扰对巨桉 (*Eucalyptus grandis*) 人工林土壤动物的影响, 于 2005 ~ 2007 年采用手捡法和干湿漏斗法对四川省洪雅县巨桉人工林采伐干扰前和采伐干扰后土壤动物群落进行调查, 采伐干扰前四季共获土壤动物 4775 头, 分属 4 门 11 纲 27 目, 采伐干扰后获土壤动物 4640 头, 分属 4 门 10 纲 23 目。采伐干扰后秋季 (10 月)、冬季 (1 月) 和春季 (4 月) 土壤动物个体数较采伐干扰前分别上升 224 头、368 头和 443 头, 而夏季 (7 月) 下降了 1170 头。采伐干扰前巨桉人工林土壤动物个体数与类群数季节变化趋势基本一致, 而采伐干扰后土壤动物类群数变化受土壤动物个体数变化的影响较小。与采伐干扰前相比, 采伐干扰后枯落物层各季节土壤动物密度均低于采伐前, 0 ~ 5 cm 土层土壤动物密度与干扰前呈相反的变化趋势, 其波动较 5 ~ 10 cm 和 10 ~ 15 cm 土层大。采伐干扰后土壤动物类群数四季共减少 4 个, 采伐干扰前后土壤动物优势类群类群数波动小, 采伐后常见类群类群数上升 (除冬季外), 稀有类群对采伐干扰较敏感, 其类群数下降幅度较大。采伐干扰前后同功能种团均以杂食性和腐食性土壤动物为主, 两者百分比之和均在 89% 以上。密度-类群指数 (DG) 和多样性指数 (H') 的变化趋势相似, 采伐干扰前后的变化趋势相反, 表明采伐干扰对巨桉人工林土壤动物季节变化有较大影响。

关键词: 采伐干扰; 巨桉 (*Eucalyptus grandis*) 人工林; 土壤动物; 群落

文章编号: 1000-0933(2008)09-4531-09 中图分类号: Q142, Q958.15, S154.5 文献标识码: A

Short-term response of soil fauna community to harvesting disturbance in *Eucalyptus grandis* plantation

XIAO Jiu-Jin¹, ZHANG Jian^{1,*}, YANG Wan-Qin¹, HUANG Yu-Mei², YANG Lu¹, LI Ji-Wei¹, YAN Da¹

1 Faculty of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University. Ya'an, Sichuan 625014, China

2 College of Dujiangyan, Sichuan Agricultural University. Dujiangyan, Sichuan 611830, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4531 ~ 4539.

Abstract: Previous studies have obtained a general conclusion that soil fauna is an important component in the eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation and plays a crucial role in mass cycle and energy transfer. However, the structure and function of soil fauna is influenced by soil moisture and temperature caused by human disturbance. As yet, little information is available on the response of soil fauna to harvesting disturbance in the eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation. Therefore, an investigation on soil fauna was carried out in the eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation which was planted in 1997 and harvested in August 2006 in order to obtain an understanding of the response of soil animal community to

基金项目: 国家科技部“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAC01A11)

收稿日期: 2008-01-06; **修订日期:** 2008-05-21

作者简介: 肖玖金 (1982 ~), 男, 四川隆昌县人, 硕士, 主要从事土壤生态学研究. E-mail: xiaojiujin@hotmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: auldkgk@sicau.edu.cn

致谢: 感谢张丹桔博士对写作给予帮助, 特此致谢!

Foundation item: The project was financially supported by the national “Eleventh Five-year Plan” Key Technologies R&D Program, China, (No. 2006BAC01A11)

Received date: 2008-01-06; **Accepted date:** 2008-05-21

Biography: XIAO Jiu-Jin, Master candidate, mainly engaged in soil ecology. E-mail: xiaojiujin@hotmail.com

harvesting disturbance and evaluate the ecology effect of the eucalypt plantation. Soil macro-fauna were picked up by hand. Nematodes and mesofauna were separated and collected from the soil samples by Baermann and Tullgren methods, respectively.

4775 individuals of soil fauna, belonging to 4 phyla, 11 classes and 27 orders were collected before cutting disturbance and a total of 4640 individuals of soil fauna, belonging to 4 phyla, 10 classes and 23 orders were collected after cutting disturbance. Individuals and groups of soil fauna represented the same trend before cutting during the 4 seasons. After cutting disturbance, the ranked order of individuals of soil fauna was autumn > spring > winter > summer, and that of groups was autumn > spring > winter > summer. Soil fauna density decreased with the decrease of soil organic matter content. Cutting led to the decline of soil fauna density in each litter layer in the corresponding season in comparison with that before cutting. The composition of soil animal community in the 0–5 cm soil layer was significantly influenced by cutting in comparison with that in 5–10 cm and 10–15 cm soil layers resulting from more significant hydrothermal fluctuation in the 0–5 cm soil layer. Fluctuations on the common and rare groups also were easier affected by cutting disturbance in comparison with the dominant group. Omnivores and saprozoic soil fauna were the main guilds in the eucalypt plantation regardless of the cutting, and two guilds accounted for more than 90% of the total except in summer. The density-group index (DG) and diversity index (H') had same trends, but which had the opposite trend compared with the results before cutting disturbance, indicating that harvesting disturbance has given a significant effect on the structure of soil fauna in the eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation.

Key Words: harvesting; eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation; soil fauna; community

采伐是林业生产和森林经营活动的重要组成部分,其对当地和周边地区甚至更大范围内的生态环境有较大影响^[1]。土壤动物群落作为森林生态系统中不可或缺的生物组分之一,它不仅是森林土壤肥力的重要生物学指标^[2],而且与森林土壤的形成、发育、演替以及森林生态系统的生物元素循环密切相关,在采伐干扰后森林生态系统的恢复过程中发挥着重要作用,采伐干扰对土壤动物的影响成为森林经营关注的热点^[3~7]。

巨桉(*Eucalyptus grandis*),桃金娘科,桉树属植物。由于其生长快、干形好、用途广泛,被世界各国广为栽培,目前已成为全国各地退耕还林的重要栽培树种,产生了巨大的经济效益^[8]。国内外对巨桉人工林进行了大量的研究^[9~16],但有关采伐干扰对巨桉人工林土壤动物群落的影响报道较少。本文就采伐干扰前后巨桉人工林土壤动物群落进行研究,旨在为深入了解土壤动物群落对巨桉人工林次生演替的响应,进而为巨桉人工林的可持续经营目标提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

试验地位于四川省洪雅县“桉树短周期纤维原材料林经营技术体系”定位研究试验林内(102°29'~103°21' E, 29°24'~29°54' N),属亚热带湿润季风气候,海拔 556 m,年平均温为 16.8℃,月平均最高温为 26.8℃,月平均最低温为 6.6℃,极端最高温为 36.2℃,极端最低温为 -4.2℃,年降雨量为 1493.8 mm,无霜期 306 d,土壤类型为山地黄壤和紫色土,地带性植被类型为亚热带常绿阔叶林。试验地坡向为南偏西 66°,坡度 18°,巨桉林于 1997 年种植(密度 1428 株·hm⁻²),皆伐前林下主要植被有冬青(*Ilex purpurea*)、黄牛奶(*Symplocos laurina*)、油茶(*Camellia oleifera*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、枇杷(*Eriobotrya* spp.)、桑树(*Morus* spp.)、铁芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、碗蕨(*Dennstaedtia* spp.)、悬钩子(*Rubus* spp.)、菝葜(*Smilax* spp.)等。2006 年 8 月底进行皆伐(面积 1.3 hm²),采伐干扰后样地内主要草本植物有铁芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、碗蕨(*Dennstaedtia* spp.)、悬钩子(*Rubus* spp.)和菝葜(*Smilax* spp.)等。采伐干扰后样地基本资料见表 1。

1.2 研究方法

分别于 2005 ~ 2007 年(10 月、1 月、4 月和 7 月中旬)采伐干扰前后在样地内随机设置 3 个 30 cm × 30 cm (0.09 m²) 的样点,分枯落物层、0 ~ 5 cm 层、5 ~ 10 cm 层、10 ~ 15 cm 层进行手捡,将所得大型土壤动物放入盛有浓度为 75% 的酒精容器中杀死,带回实验室分类;同时,在样地内随机设置 3 个样点,分 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm 共 3 层,在各样点挖土壤剖面,每层分别用 100 ml 和 25 ml 的圆形取样器自下往上顺次取土样,用干、湿漏斗分离土样中的土壤动物,并在各样地收集 3 份 10 cm × 10 cm (0.01 m²) 面积的枯落物带回室内用干漏斗进行分离。土壤理化指标测定参照国家标准,中小型土壤动物的分离观察参照黄玉梅等^[10,11] 的研究,大型土壤动物的采集方法参照《土壤动物方法研究手册》^[17]。

表 1 巨桉人工林采伐干扰前后各季基本概况

Table 1 The basic conditions of eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation before and after cutting disturbance

指标 Items		10 月 Oct.	1 月 Jan.	4 月 Apr.	7 月 Jul.
土壤含水量 Soil water content (%)	I	32.40	28.00	26.40	28.60
	II	30.28	26.52	29.23	22.83
有机质 Organic matter content (%)	I	3.80	3.10	2.70	2.70
	II	5.39	3.44	3.85	3.15
地温 Soil temperature (°C)	I	18.30	9.00	14.00	23.80
	II	24.17	10.83	19.00	28.50
枯落物厚度 Litter depth (cm)	II	—	5.00	4.00	2.00
萌芽平均高 Average sprout height (cm)	II	11.50	28.88	42.73	239.62

* 土壤含水量、有机质和地温值均为 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm 土层的算术平均值; The data of soil water content, organic matter content and soil temperature are means of three layers (0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm); “—” 未进行测量 Lacking of data; I: 采伐干扰前 Before cutting disturbance, II: 采伐干扰后 After cutting disturbance, 下同 the same below

土壤动物的分类鉴定,主要参照《中国土壤动物检索图鉴》^[18]。

1.3 数据分析与处理

采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和密度-类群指数(DG)对土壤动物进行多样性分析^[19]。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i; DG = (g/G) \sum_{j=1}^g (D_i C_i / D_{imax} C)$$

各类群数量等级划分,即个体数占捕获总量 10.0% 以上为优势类群,介于 1.0% ~ 10.0% 之间的为常见类群,小于 1.0% 为稀有类群。数据的处理和分析采用 SPSS11.0 和 Excel 进行。

2 结果

2.1 土壤动物群落组成

由表 2 可见,采伐干扰后,4 个季节内土壤动物个体数减少了 135 头,类群数减少了 4 个。采伐前的土壤动物群落以蜱螨目、弹尾目为优势类群,其个体数所占比例分别为 53.47% 和 22.70%,常见类群为线虫纲、膜翅目和线蚓科,其余 24 个类群为稀有类群,其类群数占总类群数 82.76%,个体数占总个体数 5.86%,而采伐后的土壤动物群落以蜱螨目、弹尾目和线虫纲为优势类群,其个体数所占比例分别为 34.20%、34.76% 和 15.60%,常见类群为等翅目、膜翅目、鞘翅目、线蚓科、双翅目(幼),其余 17 个类群为稀有类群,其类群数占总类群数 72.00%,个体数占总个体数 5.34%。分析表明,采伐干扰对土壤动物总个体数无显著影响($F = 0.029$, $P > 0.05$),但对土壤动物群落的优势类群和常见类群的组成产生了显著($F = 1.557$, $P < 0.05$)和极显著($F = 4.117$, $P < 0.01$)的影响,对稀有类群个体数有显著影响($F = 0.284$, $P < 0.05$),表明不同土壤动物类群对采伐干扰的响应有差异,但其总个体数无显著变化。

各季节土壤动物优势类群、常见类群和稀有类群的类群数及其个体数所占比例见表 3。从表 3 可以看出,除冬季外,随着采伐后时间的延长,常见类群的类群数有不同程度的增加;稀有类群对土壤环境变化反应特别敏感,不利的条件下则大大减少,甚至消失^[20],其类群数以秋季最高,冬季和春季次之,夏季最低。

表 2 洪雅巨桉人工林土壤动物群落类群与数量组成

Table 2 Groups and individuals of soil fauna of eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation in Hongya

类群 Groups	I		II		总计 Total	频度 Frequency (%)	丰富度 Abundance	功能群 Guild
	个体数 Individual	百分比 Percent (%)	个体数 Individual	百分比 Percent (%)				
轮虫纲 Rotatoria	43	0.90	42	0.91	85	0.90		Pr
线虫纲 Nematoda	468	9.80	724	15.60	1192	12.66	+	S
线蚓科 Enchytraeidae	60	1.26	164	3.53	224	2.38	+	S
猛水蚤目 Harpacticoida	1	0.02			1	0.01		Pr
后孔寡毛目 Oligochaeta	2	0.04	2	0.04	4	0.04		S
腹足纲 Gastropoda	1	0.02			1	0.01		S
蜘蛛目 Araneae	28	0.59	33	0.71	61	0.65		Pr
伪蝎目 Pseudoscorpiones	1	0.02			1	0.01		Pr
蜱螨目 Acarina	2553	53.47	1587	34.20	4140	43.97	+	O
等足目 Isopoda			2	0.04	2	0.02		S
地蜈蚣目 Geophilomorpha	1	0.02			1	0.01		Pr
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	5	0.10	2	0.04	7	0.07		Pr
综合目 Symphyla	19	0.40	41	0.88	60	0.64		Pr
少足目 Pauropoda	1	0.02			1	0.01		Pr
原尾目 Protura	5	0.10	1	0.02	6	0.06		F
弹尾目 Collembola	1084	22.70	1613	34.76	2697	28.65	+	O
双尾目 Diplura	16	0.34	23	0.50	39	0.41		D
蜚蠊目 Blattoptera	7	0.15	3	0.06	10	0.11		O
等翅目 Isoptera	31	0.65	55	1.19	86	0.91		D
直翅目 Orthoptera	2	0.04	10	0.22	12	0.13		Ph
革翅目 Dermaptera			3	0.06	3	0.03		O
啮虫目 Psocoptera	5	0.10	39	0.84	44	0.47		Ph
缨翅目 Thysanoptera	3	0.06	3	0.06	6	0.06		Ph
半翅目 Hemiptera	1	0.02	1	0.02	2	0.02		Ph
同翅目 Homoptera	5	0.10			5	0.05		O
鞘翅目 Coleoptera	18	0.38	62	1.34	80	0.85		O
膜翅目 Hymenoptera	330	6.91	125	2.69	455	4.83	+	O
鳞翅目(幼) Lepidoptera(Larvae)	8	0.17	9	0.19	17	0.18		
双翅目(幼) Diptera(Larvae)	40	0.84	62	1.34	102	1.08	+	
鞘翅目(幼) Coleoptera(Larvae)	35	0.73	32	0.69	67	0.71		
双翅目(蛹) Diptera	2	0.04	2	0.04	4	0.04		
总计 Total individual number	4775		4640		9415			
总类群数 Total group number	29		25		31			

Ph:植食性 Phytophage;D:枯食性 Debris-feeder's;F:菌食性 Fungivorous forms;Pr:捕食性 Predators;S:腐食性 Saprophytic;O:杂食性 Omnivores;
+ + + 优势类群 Dominant group, + + 常见类群 Common group; 下同 the same below

表 3 巨桉人工林土壤动物优势、常见、稀有类群结构组成

Table 3 Characteristics of soil fauna (Dominant, common and rare group) of eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation

优势度 Dominance		10 月 Oct.		1 月 Jan.		4 月 Apr.		7 月 Jul.	
		B	A	B	A	B	A	B	A
优势类群	类群数 Group number	3	3	3	2	2	3	2	3
Dominant group	个体数比例 Percentage (%)	83.86	89.27	88.81	85.12	84.22	72.1	81.65	73.41
常见类群	类群数 Group number	4	5	3	3	4	7	3	6
Common group	个体数比例 Percentage (%)	11.79	6.92	7.57	10.43	13.11	25.64	13.61	23.66
稀有类群	类群数 Group number	14	13	13	10	9	9	16	6
Rare group	个体数比例 Percentage (%)	4.35	3.81	3.62	4.45	2.66	2.25	4.75	2.93
总类群数 Total		21	21	19	15	15	19	21	15

参照林英华等^[21]对土壤动物功能群的划分,将本研究所采集到的土壤动物分为枯食性、菌食性、杂食性、

植食性、捕食性和腐食性等 6 个功能群,从表 4 可以看出,无论采伐干扰前还是采伐干扰后,各季节杂食性土壤动物个体数所占比例最高,腐食性土壤动物次之,菌食性土壤动物最低;前两者百分比之和均在 89% 以上,为巨桉人工林的主要取食类型;与采伐干扰前相比,干扰后各季节杂食性土壤动物百分比与腐食性土壤动物百分比的变化趋势相反。

表 4 巨桉人工林土壤动物同功能种团结构

Table 4 Guild composition of soil fauna of eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation

月份 Month		功能类群 Guild					
		枯食(D)	菌食(F)	杂食(O)	植食(Ph)	捕食(Pr)	腐食(S)
10	I	0.98	0.23	86.47	0.12	2.31	9.77
	II	0.05	0.00	66.11	2.03	3.09	28.16
1	I	0.43	0.00	74.68	0.22	2.92	21.65
	II	0.48	0.00	89.99	0.16	1.27	7.78
4	I	0.20	0.00	86.30	0.41	2.66	9.41
	II	5.69	0.00	71.66	0.11	2.84	19.37
7	I	1.61	0.06	89.27	0.32	1.22	7.46
	II	4.65	0.24	73.84	2.44	3.67	15.16

* 以上功能类群均为各类群数占总个体数的百分比 The guilds mentioned above are the percentage of individual number

2.2 土壤动物群落类群数和个体数量的变化

巨桉人工林土壤动物个体数随采伐后时间延续而呈递减趋势,以秋季最高,冬季、春季次之,夏季最低;采伐干扰前则以秋季最高,夏季、冬季次之,春季最低。从图 1 可以看出,采伐干扰后的土壤动物个体数在秋季、冬季和春季均较采伐干扰前高,夏季低于采伐干扰前。经分析表明,除夏季变化极显著($F = 2.178$, $P < 0.01$)外,其余各季节采伐前后土壤动物个体数变化均达显著水平($P < 0.05$)。

采伐干扰后土壤动物类群数呈现波动变化,以秋季最高,春季次之,冬季、夏季最低;采伐干扰前土壤动物类群数变化与个体数变化趋势基本一致,即以秋季、夏季最高,冬季次之,春季最低。同时,从图 1 可以看出,采伐干扰对巨桉人工林生态系统土壤动物类群数的影响在短时间内较小,但随着采伐干扰后样地内环境因子(光照、温度、水分等)的变化,土壤动物类群数则呈现出较大的波动,采伐干扰前与干扰后秋季土壤动物类群数相等,冬季、夏季为干扰前 > 干扰后,春季为干扰后 > 干扰前。

2.3 土壤动物季节性分布

从图 2 可以看出,采伐干扰后枯落物层土壤动物密度逐步下降(由于条件限制,枯落物层仅进行了干漏斗分离),而采伐干扰前土壤动物密度自秋季到春季呈下降趋势后上升并在夏季达最大值,采伐干扰前各季节土壤动物密度高于采伐干扰后;采伐干扰后,0~5 cm 土层土壤动物密度以秋季最高,春季、冬季次之,夏季最低,采伐干扰前以冬季最高,秋季、夏季次之,春季最低,其季节变化趋势与采伐干扰后相反;采伐干扰后,5~10 cm 和 10~15 cm 土层土壤动物密度在秋季大幅下降到冬季后逐渐上升,采伐干扰前 5~10 cm 和 10~15 cm 土层土壤动物密度各季节间波动较小。

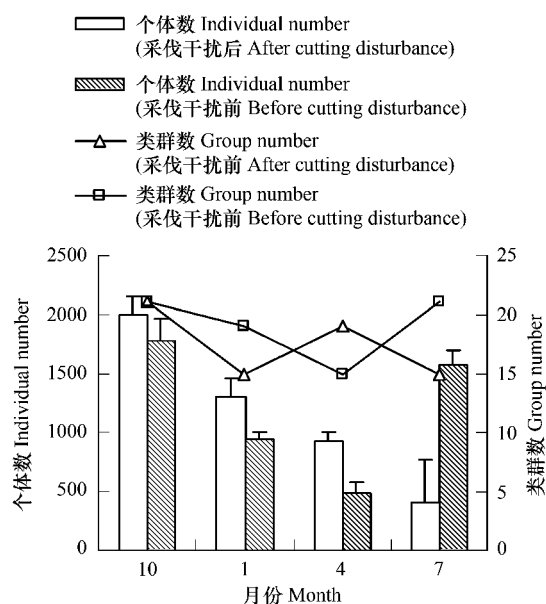


图 1 采伐前后土壤动物群落类群数和个体数量的季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of group number and individual number of soil fauna before and after cutting disturbance

经分析表明,采伐前后,枯落物层土壤动物密度变化在秋季极显著($F = 9.774$, $P < 0.01$),冬季($F = 15.027$, $P < 0.05$)和夏季($F = 11.727$, $P < 0.05$)均显著,春季不显著;0~5 cm 土层土壤动物密度变化除春季达极显著水平($F = 5.839$, $P < 0.01$)外,其余各季节变化均不显著;5~10 cm 和 10~15 cm 土层土壤动物密度变化在秋季均达极显著水平($F = 3.114$, $P < 0.01$; $F = 10.976$, $P < 0.01$),其余季节变化均不显著。

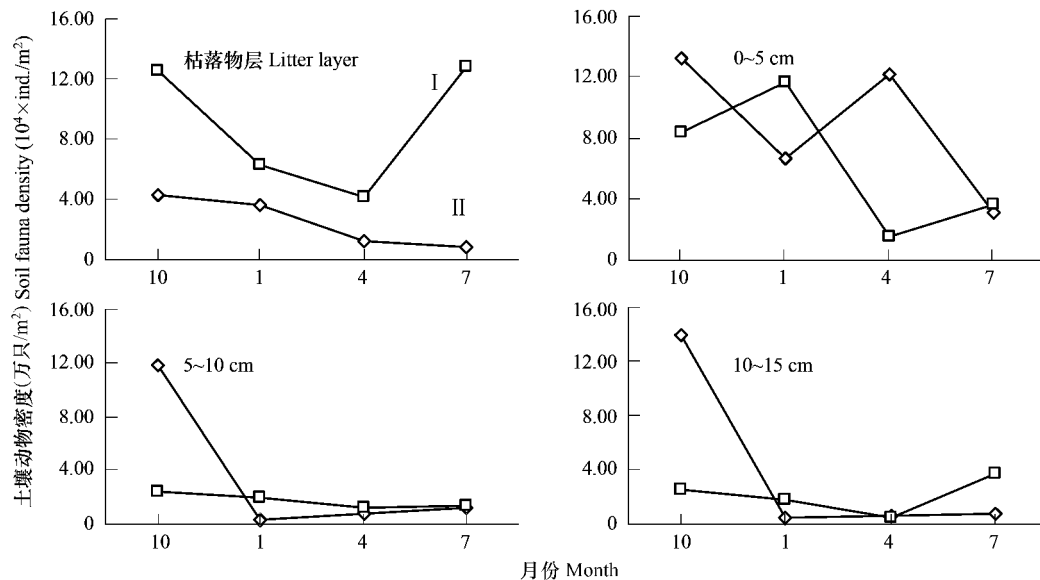


图2 洪雅巨桉人工林采伐前后土壤动物密度剖面分布比较

Fig. 2 Distribution of soil fauna in the eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) plantation before and after cutting disturbance in Hongya County

I: 采伐干扰前, II: 采伐干扰后 I and II represent the data obtained before cutting disturbance and after cutting disturbance, respectively

2.4 土壤动物群落多样性指数变化

物种多样性可以反映群落组成的复杂程度,用来评价群落生态的组织水平。高的多样性指数和均匀度意味着在生态系统中,有更长的食物链和更多的共生现象,可能对负反馈有更大的控制能力,从而增加群落结构的稳定性^[11]。从图3可以看出,采伐干扰后 DG 指数以秋季最高,春季、夏季次之,冬季最低,其上升下降趋势与采伐干扰前相反;采伐干扰后 H' 指数以春季最高,夏季、秋季次之,冬季最低,采伐干扰前以冬季最高,夏季、春季次之,秋季最低。经分析表明,采伐前后 H' 指数变化在秋季($F = 2.972$, $P < 0.01$)、春季($F = 4.823$, $P < 0.01$)和夏季($F = 0.823$, $P < 0.01$)均达极显著水平,冬季变化不显著; DG 指数采伐前后的变化除秋季达显著水平($F = 0.076$, $P < 0.05$)外,其余季节均达极显著水平($P < 0.01$)。

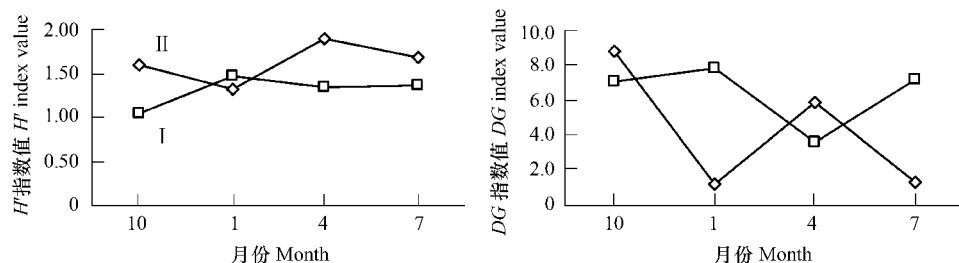


图3 采伐前后土壤动物群落多样性指数季节动态

Fig. 3 Seasonal dynamics of diversity indices of soil fauna before and after harvesting in the eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) plantation

I: 采伐干扰前, II: 采伐干扰后 I and II represent the data obtained before cutting disturbance and after cutting disturbance, respectively

3 讨论

本研究表明,采伐干扰后各季节土壤温度和有机质含量均高于采伐前,而土壤含水量则低于采伐前(除春季外)。这是由于森林采伐前,林内环境较湿润,光照时数相对较少,阴性植物多分布在林中,全面皆伐后,改变了林分结构和覆盖物的分布及其小气候因子,林地裸露,被阳光直射^[22],明显降低了林地表层平均水分含量^[23],土壤表层温度显著增加,温度波动范围加大^[24]。同时,巨桉人工林原来的生物环境被破坏后,土壤动物群落变化及其发展趋向,与新植被发育过程有密切的依存关系^[25],对土壤动物群落有一定的影响。相关分析表明,采伐前后土壤动物个体数均与土壤含水量($r = 0.866, 0.796, P > 0.05$)和土壤有机质含量($r = 0.578, 0.878, P > 0.05$)呈正相关,采伐前与土壤温度呈正相关($r = 0.678, P > 0.05$),而采伐后与温度呈负相关($r = -0.263, P > 0.05$),这可能与采伐迹地极端高温和低温对土壤动物的负效应有关。

巨桉人工林的采伐干扰破坏了凋落物补给,原有凋落物分解不断减少,而凋落物又是微生物和土壤动物食物的主要来源^[26],因此土壤动物个体数随之减少;同时,采伐干扰造成地表裸露曝晒,杀死了土壤中大部分真菌、细菌和藻类,而这些生物是螨类、弹尾和线虫的主要食物来源之一^[26],这在一定程度上导致弹尾目和蜱螨目个体数减少。林英华等^[27,28]的研究也表明,土壤动物数量和类群的波动除了与生态因子相关外,还可能与凋落物厚度等因素有关,Sohlenius^[29]认为皆伐后是否保留采伐剩余物对线虫数量有较大影响。本研究,采伐干扰后的前3个季节土壤动物个体数皆高于采伐干扰前同期土壤动物个体数,到夏季则较采伐前同期低,这可能与采伐作业增加了植物残体,为土壤动物提供了丰富的食物源,但土壤很快贫瘠化^[30]有关,同时夏季温度高、光照强、水分蒸发量大,采伐干扰后林地内凋落物经过3个季度的分解已所剩无几,4~7月份巨桉萌芽的迅速生长加速了土壤养分消耗,从而导致有机质含量低(表1)。计算干扰前后蜱螨目(A)与弹尾目(C)的比值,采伐干扰前 $A/C = 2.36$,采伐干扰后 $A/C = 0.98$,表明在人为干扰较大的生境中, A/C 值较小,而在人为干扰较少的生境中, A/C 值则较大,这与傅荣恕等^[31]和黄玉梅等^[11]的结论一致。

土壤动物密度剖面分布的季节变化,是土壤动物为应对外界环境的变化而进行的向上下方向的移动,改变其栖息场所。采伐干扰后,枯落物层土壤动物各季节密度均低于采伐前,这与林内温度、光照和水分等变化有关^[30],虽然干扰后初期采伐迹地有大量的采伐剩余物,但土壤动物受环境因子变化的影响更大,由于土壤动物的负趋光性,大多数土壤动物逃逸到光线较弱的植被下或迁移到土壤层中,同时,采伐后白天日照增加,夜间辐射冷却加强,白天易出现极端高温,夜间易出现极端低温^[1],极端高温和低温均不利于土壤动物生存。由于采伐干扰后林内气温和土壤含水量的变幅大,表层(尤其是0~5 cm土层)土壤动物受环境变化的影响最直接,密度随季节变化波动较大。而采伐前巨桉人工林对温度(包括气温和地温)、降水和水分蒸发等季节变化有一定的缓冲作用,为土壤动物适应环境变化提供了一定时间,导致土壤动物群落对季节变化的响应有一定的滞后效应。

土壤动物同功能群的划分对于具体的研究过程特别是对物质循环和能量流动的研究提供了很大的方便,基于研究水平的限制以及土壤动物区系种类复杂,系统分类研究难度大等特点,目前尚无法将各类群中的每种动物的生活习性进行很细的分类,只能从原则上按类群的总体特征将土壤动物划分开^[32],同一种类的动物在不同场所、不同季节,其所取食的食物常不相同^[30],即使是同一种类,根据其发育阶段,其食性也有完全不一样的。本研究中,土壤动物功能群参照的划分标准进行初步分类(从目进行分类),可能会导致杂食性成分偏高(尤其是鞘翅目杂食类土壤动物),影响分析结果,同时地域的不同也会导致得出的结果存在差别。

本研究显示,巨桉人工林土壤动物个体数随采伐干扰时间的延长而逐渐减少,其群落结构的季节变化波动较大,表明巨桉人工林为栖息在其系统内的土壤动物提供了必要场所和食物源,是保持系统内土壤动物多样性和稳定性的重要保障。本研究仅开展了采伐干扰后巨桉人工林生态系统土壤动物群落的初期调查,采伐干扰对巨桉人工林土壤动物群落演替发展的持续性影响,有待进一步研究。

References:

- [1] Tang S Z. Ecology-based harvesting and regeneration of natural forest in northeastern China. Beijing: China Science and Technology Press, 2005.

- [2] Yang W Q, Wang K Y, Song G Y, *et al.* Preliminary study on biological characteristics of degraded soil ecosystem in Dry Hot valley of the Jinsha River. *Pedosphere*, 2002, 12 (4): 365—372.
- [3] Lundkvist H. Effects of clear-cutting on the enchytraeids in a Scots pine forest soil in central Sweden. *Journal of Applied Ecology*, 1983, 20: 873—885.
- [4] Söhlenius B. Structure and composition of the nematode fauna in pine forest soil under the influence of clear-cutting-effects of slash removal and field layer vegetation. *European Journal of Soil Biology*. 1996, 32: 1—14.
- [5] Söhlenius B. Fluctuations of nematode populations in pine forest soil. Influence by clear-cutting. *Fundam. Appl. Nematol.*, 1997, 20: 103—114.
- [6] Ladislav H. Response of soil nematodes inhabiting spruce forests in the Šumava Mountains to disturbance by bark beetles and clear-cutting. *Forest Ecology and Management*, 2004, 202: 209—225.
- [7] Pihlaja M, Koivula M, Niemelä J. Responses of boreal carabid beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) to clear-cutting and top-soil preparation. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222: 182—190.
- [8] Zhang J, Yang W Q. Ecosystem researches on Eucalypt (*Eucalyptus grandis*) short-term rotation plantation. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2008.
- [9] Feng J, Zhang J. Ecological distribution patterns of soil microbes under artificial *Eucalyptus grandis* stand. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1422—1426.
- [10] Huang Y M, Zhang J, Yang W Q. Distribution pattern of meso-micro soil fauna in *Eucalyptus grandis* plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (12): 2327—2331.
- [11] Huang Y M, Zhang J, Yang W Q. The characteristics of soil animal community structure in *Eucalyptus grandis* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (8): 2502—2509.
- [12] Nadel R L, Scholes M C, Byrne M J. Slash burning, faunal composition, and nutrient dynamics in a *Eucalyptus grandis* plantation in South Africa. *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, 37: 226—235.
- [13] Liu Y, Zhang J, Feng M S. Dynamics of litter production, nutrient return and decomposition of four *Eucalyptus grandis* plantation. *Sci Silvae Sin*, 2006, 42(7): 1—10.
- [14] Garay I, Pellens R, Kindel A, *et al.* Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27: 177—187.
- [15] Pellens R, Garay I. Edaphic macroarthropod communities in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid (Myrtaceae) and *Acacia mangium* Wild (Leguminosae) in Brazil. *European Journal of Soil Biology*, 1999, 35(2): 77—89.
- [16] Guedes R N C, Zanuncio T V, Zanuncio J C, *et al.* Species richness and fluctuation of defoliator Lepidoptera populations in Brazilian plantations of *Eucalyptus grandis* as affected by plant age and weather factors. *Forest Ecology and Management*, 2000, 137(1-3): 179—184.
- [17] Compiled by team of Handbook of soil fauna research methods. *Handbook of soil fauna research methods*. Beijing: China Forest Press, 1998.
- [18] Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [19] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 549—555.
- [20] Yin W Y. *Subtropical Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1992.
- [21] Lin Y H, Liu H L, Zhang F D, *et al.* Dynamics and diversity of soil fauna community in litter layer of Chinese fir forest in Dagangshan Mountain. *Forest Research*, 2007, 20(5): 609—614.
- [22] Ma W L, Luo J C, Jing T, *et al.* Impact of cutting interference on biodiversity in *Juglans mandshurica* forest from the Changbai Mountain. *Bulletin of Botanical Research*, 2007, 27(1): 119—124.
- [23] Gu J C, Wang Z Q, Han Y Z, *et al.* Effects of harvesting on spatial heterogeneity of soil moisture in secondary forests of Maoershan region. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2001—2009.
- [24] Gu J C, Wang Z Q, Han Y Z, *et al.* Effects of cutting intensity on spatial heterogeneity of topsoil in secondary forest in Maoershan region of Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (12): 2248—2259.
- [25] Liao C H, Chen M Q. Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1990, 1(1): 53—59.
- [26] Deng X B, Zou S Q, Fu X H, *et al.* The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 130—138.
- [27] Lin Y H, Zhang F D, Zhang J Q, *et al.* Preliminary investigation on temporal and spatial variation of structure of soil fauna community in different natural vegetations of Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2616—2622.

- [28] Lin Y H, Sun J B, Liu H L, *et al.* Composition of soil fauna community and its diversity analysis at Maoershan Mountain of Heilongjiang Province. *Sci Silvea Sin*, 2006, 42(4): 71—77.
- [29] Sohlenius B. Influence of clear-cutting and forest age on the nematode fauna in a Swedish pine forest soil. *Applied Soil Ecology*, 2002, 19: 261—277.
- [30] Xin J L. *Soil animal knowledge*. Beijing: Science Press, 1986.
- [31] Fu R S, Yin W Y. The primitive study of soil animals in Funiu Mountain area, Henan Province. *Chin Zool Res*, 1999, 20(5): 396—398.
- [32] Zhang X P, Hou W L, Chen P. soil animal guilds and their ecological distribution in the northeast of China. *Chin J Appl Environ Biol*. 2001, 7(4): 370—374.

参考文献:

- [1] 唐守正. 东北天然林生态采伐更新技术研究. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.
- [8] 张健, 杨万勤著. 短轮伐期巨桉人工林生态系统. 成都: 四川科学技术出版社, 2008.
- [9] 冯健, 张健. 巨桉人工林地土壤微生物群落的生态分布规律. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1422~1426.
- [10] 黄玉梅, 张健, 杨万勤. 巨桉人工林中小型土壤动物类群分布规律. *应用生态学报*, 2006, 17(12): 2327~2331.
- [11] 黄玉梅, 张健, 杨万勤. 巨桉人工林土壤动物群落结构群落特征. *生态学报*, 2006, 26(8): 2502~2509.
- [13] 刘洋, 张健, 冯茂松. 巨桉人工林凋落物养分归还量及分解动态的研究. *林业科学*, 2006, 42(7): 1~10.
- [17] 《土壤动物研究方法手册》编写组编. 土壤动物研究方法手册. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [18] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [19] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. *生态学报*, 1997, 17(5): 549~555.
- [20] 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992.
- [21] 林英华, 刘海良, 张夫道, 等. 江西大岗山杉木凋落物层土壤动物群落动态及多样性. *林业科学研究*, 2007, 20(5): 609~614.
- [22] 马万里, 罗菊春, 荆涛, 等. 采伐干扰对长白山核桃楸林生物多样性的影响研究. *植物研究*, 2007, 27(1): 119~124.
- [23] 谷加存, 王政权, 韩有志, 等. 采伐干扰对帽儿山天然次生林土壤表层水分空间异质性的影响. *生态学报*, 2005, 25(8): 2001~2009.
- [24] 谷加存, 王政权, 韩有志, 等. 采伐干扰对帽儿山天然次生林土壤表层温度空间异质性的影响. *应用生态学报*, 2005, 17(12): 2248~2259.
- [25] 廖崇惠, 陈茂乾. 热带人工林土壤动物群落的次生演替和发展过程探讨. *应用生态学报*, 1990, 1(1): 53~59.
- [26] 邓晓保, 邹寿青, 付先惠, 等. 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. *生态学报*, 2003, 23(1): 130~138.
- [27] 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. *生态学报*, 2005, 25(10): 2616~2622.
- [28] 林英华, 孙家宝, 刘海良, 等. 黑龙江帽儿山土壤动物群落组成与多样性分析. *林业科学*, 2006, 42(4): 71~77.
- [30] 忻介六. 土壤动物知识. 北京: 科学出版社, 1986.
- [31] 傅荣恕, 尹文英. 伏牛山地区土壤动物群落的初步研究. *动物学研究*, 1997, 32(2): 10~15.
- [32] 张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(4): 370~374.