

# 石灰处理条件下土壤动物群落结构及其分解作用的响应\*

张雪萍<sup>1</sup> 高梅香<sup>2,3†</sup> 李景科<sup>4</sup>

(1 哈尔滨师范大学地理系, 哈尔滨 150080)

(2 哈尔滨学院地理系, 哈尔滨 150086)

(3 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

(4 丹东业成贸易有限公司, 辽宁丹东 118000)

## RESPONSE OF SOIL ANIMAL COMMUNITY STRUCTURE AND LITTER DECOMPOSITION TO LIMING IN THE DAXING ANLING MOUNTAINS

Zhang Xueping<sup>1</sup> Gao Meixiang<sup>2,3†</sup> Li Jingke<sup>4</sup>

(1 Geography Department of Harbin Normal University, Harbin 150080, China)

(2 Geography Department of Harbin University, Harbin 150086, China)

(3 Forestry College of Northeast Forest University, Harbin 150040, China)

(4 Yecheng Trading Co. Ltd., Dandong, Liaoning 118000, China)

关键词 大兴安岭;土壤动物;物质分解;石灰处理  
中图分类号 S154 文献标识码 A

土壤动物在分解植物残体、改变土壤理化性质、促进土壤物质循环和转化过程中起着重要作用,同时土壤环境因子也影响着土壤动物的生存与活动。近年来国内外学者已从生理学、生态学、分子生物学等方面<sup>[1,2]</sup>,研究了土壤动物与环境的密切关系,并采用试验模拟的方法,研究不同处理水平土壤动物群落的动态变化<sup>[3,4]</sup>。

土壤 pH 是土壤动物群落的重要影响因子,对土壤动物的影响因环境条件的特异性而结果不尽一致<sup>[5,6]</sup>,一般而言,酸碱度适宜的土壤环境土壤动物相对较丰富<sup>[7,8]</sup>。大兴安岭北部地区,由于气温低,降水少,物质分解缓慢,凋落物累积较多,构成火灾和虫灾的隐患。本研究试图通过人工处理方法,改变土壤微酸性环境,进而提高土壤动物的活动能力,察看是否能够加快凋落物的分解消耗。该研究是国内首次通过改变土壤酸碱条件以影响土

壤动物分解能力的系统的对比试验。希望相关的研究结果能为森林生态系统的管理提供理论依据,为土壤动物生态学的研究与发展提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黑龙江省北部塔河县境内,大兴安岭北缘伊勒呼里山北坡,地理位置为 123°13' ~ 125°48' E, 52°09' ~ 53°23' N。属寒温带大陆性季风气候,冬季漫长寒冷,夏季短暂温热,年平均气温 - 5℃, 年均降水量 428 mm, 年无霜期 80 ~ 100 d。地带性土壤为棕色针叶林土,森林覆盖率为 76.69%。试验样地位于针阔混交林内,乔木主要有杨树 (*Populus*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、兴安落叶

\* 国家自然科学基金项目 (40671004) 资助

† 通讯作者, E-mail: gnxl02@163.com

作者简介:张雪萍 (1962 ~), 女, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤动物、环境生态学等方面的研究。E-mail: helbzxp@163.com

收稿日期: 2007 - 10 - 10; 收到修改稿日期: 2008 - 01 - 30

松 (*Larix gmelini*) 等, 林下包括灌木层和草本层。土壤凋落物层厚 5~7 cm, A 层 5~6 cm, B 层约 5~6 cm, 凋落物质量约 1 385~1 397 g m<sup>-2</sup>。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 样地处理** 用石灰处理改变土壤酸性条件。选取 3 个 10 m<sup>2</sup> 自然条件基本一致的相对平坦的样地, 彼此相隔 1 m 避免相互影响。将 5 kg 石灰均匀洒于样地 1 内 (记为石灰 1), 样地 2 使用 2.5 kg 石灰做相同处理 (记为石灰 2), 对照样地不作任何处理, 于 2003 年 6 月和 2004 年 6 月进行两次相同处理。

**1.2.2 凋落物分解试验** 采用样袋法。2002 年 10 月在研究区收集不同种类的当年落叶。落叶风干后分别装入大小为 18 cm × 18 cm 尼龙网袋中, 每个网袋装入 10 g 不同种类落叶, 分别为兴安落叶松、樟子松 (*Pinus sylvestris var mongolica Litv.*)、白桦和蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 共 4 种落叶, 并记录 10 g 风干叶干重。

2003 年 6 月将装有落叶的尼龙网袋置于样地的 A<sub>0</sub> 和 A<sub>1</sub> 之间 (约凋落物表层下 5~7 cm), 2003 年 8 月、10 月和 2004 年、2005 年的 6 月、8 月、10 月取回样袋, 共 288 袋, 带回室内用 Tullgren (干漏斗法) 分离土壤动物, 分离结束后清除叶片表面土壤颗粒和混入的杂质, 烘干至恒重后立即称重记录。取凋落叶袋的同时, 每个处理样地取一份土壤分析样。

运用 SPSS 软件, 对分解袋内的土壤动物进行统计分析。土壤 pH 采用酸度计法测定。

## 1.3 数据处理

采用以下几个参数来分析土壤动物特征:

(1) 香农 威纳多样性指数 (Shannon-Wiener Index):

$$H = - \sum P_i / \ln P_i$$

式中,  $P_i = n_i / N$ ,  $n_i$  为每个类群的个体数,  $N$  为总的个体数。

(2) Pielou 均匀度指数:

$$J = H / \ln S$$

式中,  $H$  为 Shannon-Wiener 多样性指数,  $S$  为总类群数。

(3) 辛普森优势度指数 (Simpson Index):

$$C = \sum (n_i / N)^2$$

式中,  $n_i$  为每个类群的个体数,  $N$  为总的个体数。

(4) Pianka 相似性指数:

$$I_{1,2} = \left( \sum p_{1i} p_{2i} \right) / \left( \sum p_{1i}^2 \sum p_{2i}^2 \right)^{1/2}$$

式中,  $p_{1i}$  和  $p_{2i}$  分别为类群  $i$  在群落 1 和群落 2 总个体数中的比例。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤动物结构分析

**2.1.1 样地土壤 pH 变化** 经过石灰处理后, 样地土壤 pH 发生显著变化 ( $p < 0.05$ ) (表 1)。在整个试验过程中, 石灰样地土壤 pH 增加, 土壤的微酸性特性得到了改善。

表 1 不同处理条件下样地土壤 pH

处理	2004 年			2005 年		
	6 月	8 月	10 月	6 月	8 月	10 月
石灰 1	6.63	5.23	6.00	6.84	6.14	5.95
石灰 2	6.59	5.12	5.22	5.91	5.75	5.07
对照	5.45	5.27	5.10	5.25	5.63	4.96

注: 各样地初始土壤 pH 相同

**2.1.2 样地土壤动物组成** 在 288 个分解袋中共获土壤动物 50 类 42 111 只个体, 隶属于 3 门 6 纲 20 目, 中气门亚目、前气门亚目、节跳虫科和甲螨亚目为优势类群, 绫跳虫科、山跳虫科、棘跳虫科、球角跳虫科为常见类群。

与对照样相比, 石灰 1 和石灰 2 样地土壤动物数量增加了 2 270 和 3 124 只, 分别增加 18.55% 和 25.53%, 土壤动物种类分别减少了 5 类和 7 类, A/C 值由 1.94 分别增加到 2.19 和 1.99。石灰 1 样地优势类群由 4 类减少到 3 类, 甲螨亚目降为常见

类群, 常见类群仍为 4 类, 只是圆跳虫科降为稀有类群; 石灰 2 样地优势类群没有变化, 为中气门亚目、前气门亚目、节跳虫科、甲螨亚目, 常见类群仍为 4 类, 圆跳虫科也降为稀有类群, 球角跳虫科升为常见类群。优势类群和常见类群所占比例表现为石灰 2 (97.06%) > 石灰 1 (96.72%) > 对照 (96.16%); 优势类群所占比例为对照 (87.43%) > 石灰 2 (86.45%) > 石灰 1 (77.72%)。可见, 经过石灰处理后, 样地内常见类群所占比例增加, 优势类群的优势度降低。

2.1.3 样地土壤动物多样性和相似性分析 石灰处理后,土壤动物多样性差异不显著 ( $p > 0.05$ ),对照样地 Shannon-Wiener多样性指数 ( $H$ )最高, Pielou均匀性指数 ( $J$ )最低, Simpson 优势度指数 ( $C$ )介于石灰 1和石灰 2之间(表 2)。这主要是由于石灰处理样地土壤动物种类减少,而螨类和弹尾类的个体数量又迅速增加,使得统计值  $H$  呈降低的趋势, $C$ 呈增加的趋势。从相似性指数来看,土壤动物群落相似性指数较高,石灰 1和石灰 2的相似性指数为 0.983 8,石灰 2和对照的相似性指数(0.988 6)较石灰 1和对照的相似性指数(0.948 2)高,轻度处理样地土壤动物群落与自然群落要更加相似,可见在一定的干扰强度范围内,石灰处理对土壤动物群落结构的影响随着干扰强度的增加而增加,但不排除干扰强度阈限的存在和影响。

表 2 不同处理条件下分解袋土壤动物的多样性

处理	多样性指数		
	$H$	$J$	$C$
石灰 1	1.769	0.044	0.222
石灰 2	1.831	0.049	0.206
对照	1.835	0.041	0.212

2.1.4 土壤动物时间动态变化分析 土壤动物群落的季节变化受环境条件的影响,尤其受气候季节周期性变化制约。对照样地土壤动物类群数和

个体数表现为 8月 > 10月 > 6月,而石灰处理样地类群数和个体数表现为 10月 > 8月 > 6月,6月仍为类群数和个体数最低的月份,而 10月土壤动物类群数和个体数增加并超过了 8月。

在 3年时间内,土壤动物组成有明显变化。与对照相比,石灰 1处理样地动物种类较对照样地减少 11类,新增 6类;石灰 2处理样地动物种类较对照样地减少 13类,新增 3类。蚤蝇科、大蚊科、毛蚊科、出尾罩甲科、灯蛾科、叶甲科和尺蛾科这 7类土壤动物在两个处理样地均未被发现,而新捕获种各有特点。这在一定程度上说明这 7类土壤动物对土壤 pH变化较为敏感,在环境改变后迁出处理样地,是土壤动物应对环境变化的一种适应性表现,但不排除会有土壤动物运动随机性的原因。

2.2 落叶分解消耗速率

2.2.1 各样地落叶分解消耗速率 四种落叶分解消耗差异显著 ( $p < 0.05$ ),石灰处理后仍表现为阔叶分解快于针叶分解,落叶松分解消耗最慢,最初三个月落叶分解消耗较快,一年以后呈缓慢分解消耗<sup>[13, 14]</sup>。进入第三年,蒙古栎和落叶松分解消耗速度明显减慢 ( $p < 0.05$ )。叶片在不同时期分解速率不同,10月至次年 6月的 8个月时间,叶片分解速率几乎不及暖季的分解速率,即物质的分解作用主要集中在暖季<sup>[14]</sup>(图 1)。

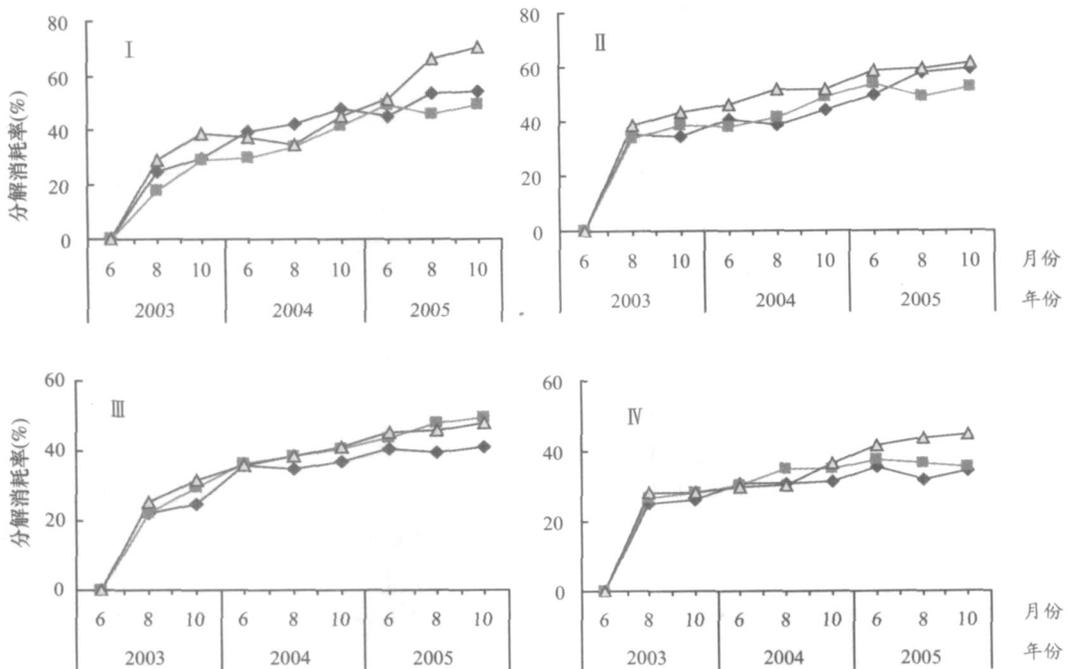


图 1 不同处理条件下四种落叶的分解消耗率  
蒙古栎, 桦树, 樟子松, 落叶松; — —石灰 1, — —石灰 2, — —对照

2.2.2 对落叶分解年限的影响 枯叶分解过程中质量损失这一动态过程,可用 Olson 提出的指数衰减模型进行动态模拟<sup>[15,16]</sup>,模型表达式为:

$$X/X_0 = E^{-kt}$$

式中,  $E$  为自然对数,  $X_0$  为分解初始枯叶重,  $X$  为时间  $t$  的枯叶重,  $k$  为平均分解常数 ( $k$  值越大, 枯叶分解速度越快)。

应用这一模型计算 3 个样地四种落叶在不同处理条件下分解 50% 时, 所需时间  $t_{0.5}$  及分解 95% 时, 所需时间  $t_{0.95}$  (表 3)。经过石灰处理后四种落叶分解 50% 和 95% 所需的时间发生变化, 石灰处理后延

长了落叶的分解消耗时间, 延长时间因落叶种类而异。在石灰 1 和石灰 2 处理条件下, 蒙古栎分解袋分解 95% 所需的时间较对照分别延长了 3.27 a 和 4.59 a, 落叶松分别延长了 5.14 a 和 4.31 a, 石灰处理对蒙古栎和落叶松分解的抑制作用最明显。对桦树分解也起到了延缓作用, 但延长时间相对而言较短。重度干扰条件下樟子松分解速度减缓, 轻度干扰条件下影响较为复杂, 前 2 年时间内与其他落叶趋势相同, 之后分解速度加快, 分解消耗 50% 时所需时间较对照样地短。石灰处理样地后, 虽然土壤动物数量大量增加, 但并未起到明显促进物质分解消耗的作用。

表 3 不同处理条件下四种落叶分解消耗 50% 和分解消耗 95% 所需时间 (a)

处理	$t_{0.5}$				$t_{0.95}$			
	蒙古栎	桦树	樟子松	落叶松	蒙古栎	桦树	樟子松	落叶松
石灰 1	2.09	1.81	3.07	3.90	9.02	7.83	13.28	16.89
石灰 2	2.39	2.16	2.36	3.38	10.34	9.33	10.19	16.06
对照	1.33	1.68	2.47	2.72	5.75	7.27	10.69	11.75

### 3 讨论

土壤动物群落结构不仅随着分解过程中落叶的质量、化学成分以及微生物的改变而变化, 而且也随着土壤生态因子的变化而变化。经过石灰处理后, 土壤 pH 显著增加, 土壤动物数量增加, 种类减少, 优势类群和常见类群发生变化, 螨类和弹尾类仍占优势, 但优势度减小。

在一定的干扰强度范围内, 石灰处理对土壤动物群落结构的影响随着干扰强度的增加而增加, 但不排除干扰强度阈限的存在和影响。土壤动物的适应性迁移是土壤动物对环境耐受性差异的表现。石灰处理样地土壤动物种类迁移既有共性又有差异性, 表明不同种类对环境改变的响应不同。

从 3 年的分解消耗过程来看, 石灰处理抑制了落叶的分解消耗, 延长了落叶分解消耗的时间, 影响特点因落叶种类而有所不同, 其中, 蒙古栎和落叶松质地较硬减慢明显。从土壤动物类群组成来看, 土壤环境改变后从石灰处理样地中迁出的土壤动物种类主要为稀有类群, 我们认为这些土壤动物的减少对落叶分解速度的降低影响不太大。但自然生态系统中对落叶分解消耗影响较大的微生物, 在土壤酸性环境改变后打破了原有的平衡, 微生物

的组成及活性发生了改变, 使微生物的分解作用达不到原来的水平, 分解消耗速度减缓, 这也说明生态系统的物质分解者土壤动物和微生物在生态系统中是协同作用的。在 3 年研究期内, 石灰处理条件下落叶分解消耗速度是减缓的, 但更长时间的变化趋势和规律及其机理还有待研究和探讨。

### 参考文献

- [1] Torstenson L, Pell M, Stenberg B. Need of a strategy for evaluation of arable soil quality. *AMBIO*, 1998, 27(1): 4~8
- [2] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000
- [3] 宋博, 马建华, 李剑, 等. 开封市土壤动物及其对土壤污染的响应. *土壤学报*, 2007, 44(3): 529~535
- [4] 许杰, 柯欣, 宋静, 等. 弹尾目昆虫在土壤重金属污染生态风险评估中的应用. *土壤学报*, 2007, 44(3): 544~549
- [5] 柯欣, 岳巧云, 傅荣恕, 等. 浦东滩涂中型土壤动物群落结构及土质酸碱度生物评价分析. *动物学研究*, 2002, 23(2): 129~135
- [6] 王振中, 胡觉莲, 张友梅, 等. 湖南省清水塘工业区重金属污染对土壤动物群落生态影响的研究. *地理科学*, 1994, 14(1): 64~72
- [7] 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992
- [8] 徐国良, 莫江明, 周国逸, 等. 土壤动物与 N 素循环及对 N 沉降的响应. *生态学报*, 2003, 23(11): 2453~2463
- [9] 廖崇惠, 陈茂乾. 热带人工林土壤动物群落次生演替及其进展. *应用生态学报*, 1990, 1(1): 53~59
- [10] 刘满强, 胡锋, 李辉信, 等. 退化红壤不同人工恢复下土壤

- 节肢动物群落特征. 生态学报, 2002, 22(1): 54 ~ 61
- [11] 徐国良, 周国逸, 莫江明, 等. 鹤山丘陵退化生态系统植被恢复的土壤动物群落结构. 生态学报, 2005, 25(7): 1 670 ~ 1 677
- [12] 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
- [13] 仲伟彦, 殷秀琴, 陈鹏. 帽儿山森林落叶分解消耗与土壤动物关系的研究. 应用生态学报, 1999, 10(4): 511 ~ 512
- [14] 张雪萍, 张毅, 侯威岭, 等. 小兴安岭针叶凋落物的分解与土壤动物的作用. 地理科学, 2000, 20(6): 552 ~ 556
- [15] 王宗英, 路有成, 王慧英. 九华山土壤螨类的生态分布. 生态学报, 1996, 16(1): 58 ~ 64
- [16] Takeda H. A 5 years study of pine needle litter decomposition in relation to mass loss and faunal abundances. *Pedobiologia*, 1988, 32(3): 304 ~ 317