

马陆在森林生态系统物质转化中的功能研究

张雪萍, 李春艳, 张思冲

(哈尔滨师范大学地理系, 哈尔滨 150080)

摘要: 马陆是森林生态系统重要的分解者, 在帽儿山林区, 马陆摄食量随温度的升高而增加。据初步估算, 马陆对凋落物的分解量约占该地区年平均凋落物量的 0.21%。马陆对同一种、不同腐解程度的叶片摄食量不同, 对半分解凋落物的摄食量大于对未分解凋落物的摄食量。在不同温度条件下, 马陆的生态效率不同, 其同化效率随温度升高而降低, 而粪便率则随温度升高而增加。在不同林型下个体数量分布不均匀。通常, 阔叶林 > 针阔叶混交林 > 针叶林。在土壤的垂直分布上, 具有明显的表聚现象。马陆的个体数量季节变化明显, 以夏末最多, 冬末最少。

关键词: 马陆; 生态分布; 摄食量; 生态效率; 分解作用

Study of the function of millipedes in substance decomposition

ZHANG Xue-Ping, LI Chun-Yan, ZHANG Si-Chong (Department of Geography, Harbin Normal University, Harbin 150080, China)

Abstract: Millipedes is an important decomposer in the forest ecosystem. In Maoer Mount, the quantity of millipedes diet increase with the rising of temperature, The decomposition amount by millipedes, is estimated, to be 0.21% of annual litters amount. Their ingestion to semi-decomposition leaves is more than that to undecomposed ones. Their assimilation efficiency is negatively relative to temperature, but the rejecta rate is positively relative to temperature. Its amount of individual is uneven in distribution, with broad-leaved forest > coniferous-broad-leaved forest > coniferous forest.

Key words: millipedes; ecological distribution; ingestion; ecological efficiency; function of decomposition

文章编号: 1000-0933(2001)01-0075-05 中图分类号: Q948.12+2.5 文献标识码: A

土壤动物是生态系统物质循环中重要的分解者, 马陆是土壤动物中的常见类群, 主要以凋落物、朽木等植物残体为食, 是生态系统物质分解的最初加工者之一。对大型土壤动物的饲养研究在国内外均有报道^[1,2], 但对马陆所作的研究在国内尚未见到。通过对马陆的生态分布及摄食量等的研究, 探讨并揭示了该类群在森林生态系统物质分解过程中的功能。

1 研究方法

1.1 外业工作方法

研究地点选在东北东部山地张广才岭余脉, 东北林业大学帽儿山生态试验站。对大型土壤动物马陆的生态分析, 采用大型土壤动物手拣法的调查方法。在选定的 5 个样地内, 对每样地随机选取 4 个样点, 在各样点分别对凋落物层、0~5、5~10、10~15cm 土层取样, 取样深度为 5cm, 采样面积为 50×50cm²。在帽儿山进行了为期 12 个月的调查。

1.2 实验室工作方法

马陆摄食实验是在人工饲养条件下在实验室环境中进行的, 实验分两部分, 实验 1 为摄食选择实验, 实验 2 为不同温度条件下马陆的摄食能力实验, 两项实验均进行了重复试验, 实验结果基本一致。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 49471045) 和林业部重点资助项目 (森林生态系统定位研究)

该研究得到东北林业大学周晓峰教授的支持与帮助, 谨表谢忱。

收稿日期: 2000-03-14; 修订日期: 2000-08-17

作者简介: 张雪萍 (1962~), 女, 哈尔滨人, 硕士, 副教授。主要从事土壤动物生态地理与环境生态学等研究。

(1)实验 1 饲养时间为 10d,饲养温度为 23~28℃,实验用马陆(姬马陆科 Julidae)采集于帽儿山实验林场。选用 40 只生长状况良好的马陆为研究对象。实验分 4 组比较实验组,第 1 组喂未分解的桦树叶和蒙古栎叶。第 2 组喂半分解的桦树叶和蒙古栎叶。第 3 组喂未分解和半分解的桦树叶。第 4 组喂未分解和半分解的蒙古栎叶。具体工作方法是:将每只马陆称重并单独放在培养皿中饲养;喂养用叶片的处理方法是,先将食用叶片洗净在 80℃条件下烘至恒重,之后用分析天平称重,再按各试验组要求将叶片分别放入各组马陆的培养皿中。饲养 10d 后,再一次称马陆及叶片的重量。

(2)实验 2 设置 5 种不同的饲养温度,分别为 0~5℃,5~10℃,10~15℃,15~20℃,20~25℃。各组均喂以半分解的桦树叶。饲养时间 10d。具体工作方法如实验 1。

马陆的呼吸量是采用 SKW-3 型微量检压仪(瓦勃氏 Warburg 呼吸仪)测定的。桦树叶、蒙古栎叶及马陆的热值是采用 GR-3500 型氧弹式热量计测定的。

2 结果与分析

2.1 马陆的生态分布

对帽儿山生态实验站的 5 个林型的调查结果如图 1~图 3 所示。分析表明,①马陆在不同林地上分布有差异,其个体数量排序为:硬阔叶林(水曲柳、黄菠萝、胡桃楸等)>蒙古栎林>桦树林>红松阔叶混交林>红松纯林。由以上结果不难看出,马陆的个体数量分布,阔叶林>针阔叶混交林>针叶林。②马陆数量在土壤中的垂直变化明显。在凋落物层具有明显的表聚性,并由表层向下锐减。凋落物层、0~5cm、5~10cm、10~15cm 土层各层中,马陆所占的百分比分别为 50%、32.7%、10.9%、6.4%。③马陆个体数量年内变化明显。夏末最多,冬末最少。其中,6~10 月 5 个月的个体数量占全年总个体数量的 79.2%。

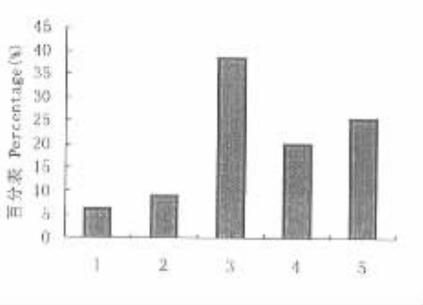


图 1 各林型马陆个数数量百分比

Fig. 1 The percentage of millipedes in different forest
1. 红松纯林 Pinus forest; 2. 红松阔叶混交林 Mixed broad-leaved-pinus forest; 3. 硬阔叶林 Hard broad-leaved forest; 4. 白桦林 Birch forest; 5. 蒙古栎林 Oak forest

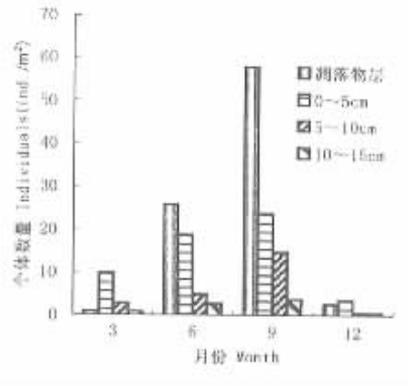


图 2 各主要代表月份马陆在土壤中的垂直分布

Fig. 2 The vertical distribution of millipedes in typical month of a year

2.2 马陆的摄食选择与摄食量

4 组马陆的摄食结果如表 1 所示。第 1 组喂未分解的桦树叶和蒙古栎叶,实验中平均每克体重马陆对未分解的蒙古栎叶与桦树叶的摄食量及所摄取的能量值分别为 $9.1 \text{ mg/g} \cdot \text{d}$ 、 $157 \times 10^3 \text{ J/g} \cdot \text{d}$ 和 $10.4 \text{ mg/g} \cdot \text{d}$ 、 $189 \times 10^3 \text{ J/g} \cdot \text{d}$,即对桦树叶的摄食量及获取的能量值均高于蒙古栎叶。第二组喂的是蒙古栎叶和桦树叶的半分解叶片,叶片均已破损并有霉斑菌丝等,叶片质地较新叶片变薄变脆。喂养 10d 后平均每克体重马陆摄食蒙古栎叶片 $16.9 \text{ mg/g} \cdot \text{d}$,其能值为 $283 \times 10^3 \text{ J/g} \cdot \text{d}$,摄食桦树叶 $15.4 \text{ mg/g} \cdot \text{d}$,其能值为 $273 \times 10^3 \text{ J/g} \cdot \text{d}$,即马陆对蒙古栎叶的摄食量及获取的能量多于桦树叶。第 3、第 4 组分别喂以未分解和半分解的桦树叶和蒙古栎叶。不同分解程度凋落物的摄食实验表明,马陆对半分解桦树叶的摄食占 59.6%,对未分解桦树叶的摄食占 40.4%。马陆对半分解的蒙古栎叶摄食占 62.1%,对未分解的蒙古栎叶摄食占

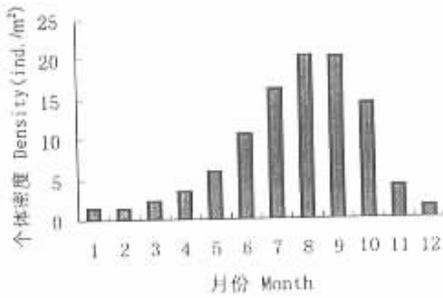


图 3 马陆个体密度的年内变化

Fig. 3 The density of millipedes in a year

37.9%。

分析上述 4 组数据,首先,第 1 组马陆对未分解的蒙古栎叶的摄食量少于桦树叶,在第 3、4 组对未分解的叶片也有同样的取向,这可能是由于未分解的蒙古栎叶与桦树叶相比,质地更硬,更难分解的缘故。一些硬质叶常含较多的单宁类化学物质,这可能也是动物不爱取食这类未分解叶片的原因。而第 2 组马陆取食半分解的蒙古栎叶多于半分解的桦树叶。第 4 组马陆取食半分解蒙古栎叶的数量也高于第 3 组取食半分解桦树叶的数量。可见,马陆就食性而言,在桦树叶和蒙古栎叶之间更偏爱蒙古栎叶。这也证明了在对马陆的生态调查中所发现的一个现象:喜欢生活在潮湿环境的马陆的个体数量在土壤含水量较低的蒙古栎林却明显高于桦树林。

其次,4 个组的摄食量及获取的能量不同,其顺序为:2 组 > 4 组 > 3 组 > 1 组。这在一定程度上证实了马陆由于体内缺少分解酶,而更喜食由微生物作用后的、半分解的凋落物。第三,由马陆摄食实验结果可知,马陆每克体重平均每天的摄食量为 25.96(mg/g · d),其能值平均为 439.8 × 10³(J/g · d)。

表 1 马陆的摄食选择及摄食量

Table 1 The ingestion selection and ingestion of millipedes

组别 Group	蒙古栎 Mongolian Oak				桦 Birch				合计 Total	
	未分解叶片		半分解叶片		未分解叶片		半分解叶片		A	B
	A	B	A	B	A	B	A	B		
1	9.1	157.3 × 10 ³			10.4	189.4 × 10 ³			19.5	346.7 × 10 ³
2			16.9	283.3 × 10 ³			15.4	273.4 × 10 ³	32.3	556.8 × 10 ³
3					9.5	173 × 10 ³	14.2	252.1 × 10 ³	23.7	425.2 × 10 ³
4	9.7	167.6 × 10 ³	15.7	263.2 × 10 ³					25.4	430.8 × 10 ³
平均 Mean									25.9	439.8 × 10 ³

A 摄食量(mg/g · d),B 摄取能量(J/g · d)

1.3 不同温度条件下马陆的摄食量

实验 2 选用 40 只生长状况良好的马陆,分 5 组饲养在不同的温度条件下,喂养食物为半分解的桦树叶,饲养 10d,摄食结果如表 2。

由表 2 数据可知,马陆在高于 0℃ 的温度条件下,其摄食量随温度的增高而明显增加,即高温的夏季是马陆进行物质分解的盛期。本次实验也设了环境温度低于 0℃ 的对照组,在试验条件下马陆全部死亡,但在自然条件下,由野外调查结果可知,冬季马陆个体密度虽明显降低,但仍有一部分存活。

表 2 不同温度条件下马陆的摄食量(mg/g · d)

Table 2 The ingestion of millipedes in different temperature

温度(℃) ^①	1~5	5~10	10~15	15~20	20~25
摄食量 ^②	1.22	5.18	7.93	17.11	22.73

① Temperature, ② Ingestion

2.4 马陆的生态效率

对马陆的饲养观察发现,马陆增重有正有负,马陆的增重量与环境的温度成正相关。通常个体大、生命力强、适应能力强的增重明显,最大增重量每克体重每天 7.65 (mg/g · d),而个体小、生命力弱、适应性差的个体出现负增长,这样的个体占实验个体数的 11%。在实验 1 中,马陆平均增重量为每克体重每天 3.13 (mg/g · d)。由次级生产过程公式可以求得马陆的生态效率:

万方数据

$$C=A+Fu, A=P_g+R, P_g=L_f+Pr, \text{即 } C=Pr+L_f+R+Fu$$

其中, C 为摄食量, A 为同化量, Fu 为粪尿量, P_g 为纯同化量, R 为呼吸量, L_f 为脱落物量, Pr 为净次级生产量(含所繁殖的幼体量)。在实验 1 中, 马陆没有发生蜕皮等现象, 故 $L_f=0, P_g=Pr$ 。试验测得:

$$Pr=0.00313FW(\text{鲜重})g/g \cdot d=0.0013DW(\text{干重})g/g \cdot d=24.5424 J/g \cdot d,$$

$$C=0.02596DW g/g \cdot d=439.875 J/g \cdot d, R=51.1776 J/g \cdot d, A=75.72 J/g \cdot d$$

由上述数据求得马陆的生态效率如下:

$$\text{毛增长效率 } P_g/C=5.6\%, \text{同化效率 } A/C=17.2\%, \text{组织增长效率 } P_g/A=32.4\%, \text{粪便率}$$

$$Fu/C=82.8\%$$

依据上述马陆生态效率的计算方法, 求得马陆在不同温度条件下的生态效率, 见表 3。

表 3 不同温度条件下马陆的生态效率 %

Table 3 The ecological efficiency of millipedes in different temperature

温度(C)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
Temperature	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
毛增长率 P_g/C	2.5	3.5	1.2	5.5	5.7
同化效率 A/C	84.7	43.2	33.1	20.8	17.9
组织增长效率 P_g/A	3.0	8.3	3.6	26.3	31.9
粪便率 Fu/C	15.2	56.8	66.8	79.1	82.0

由表 3 可知, 第 1, 在不同的温度条件下, 马陆的同化效率 A/C 随温度的升高而明显的降低。第 2, 马陆的粪便率与前者相反, 随温度升高而增加, 在 20~25 C 时, Fu/C 为 82%。高温时期是马陆的摄食盛期, 也是其对凋落物加工能力最强的时期。 Fu/C 在分解旺期比值大, 而 A/C 比值小, 这说明马陆对食物的同化作用不强, 对凋落物的分解较粗。第 3, 马陆的毛增长率和组织增长效率总体上随温度的增加而增加, 这是因为马陆的净次级生产量 Pr 随温度升高而增加, 但在 10~15 C 的条件下, 马陆的毛增长效率和组织增长效率出现低值。

2.5 马陆及其生活环境的微量元素

对马陆与其生活环境中的土壤及凋落物的微量元素的相关分析表明: 马陆与其所在环境的土壤及凋落物的微量元素之间没有明显的相关关系。如图 4 所示, 在土壤环境中 Ti 的含量很高, 达 4800 mg/kg, 凋落物中含量也高达 2500mg/kg, 但马陆虫体中含量明显低于前两者仅为 895mg/kg。马陆虫体微量元素与环境微量元素相比, Sr、V、Ba、Zn 等含量较高。

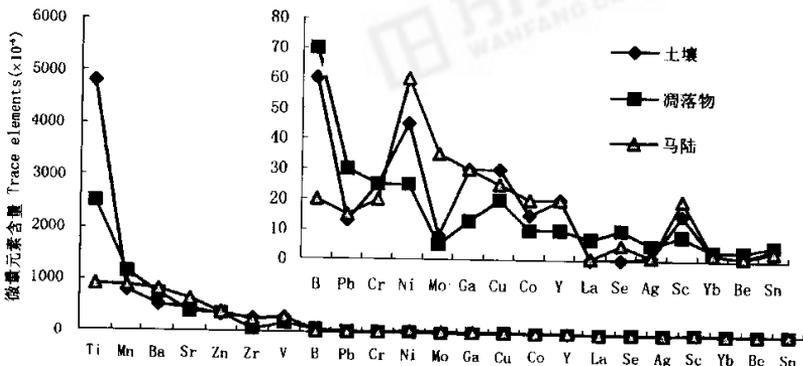


图 4 马陆及其生活环境的微量元素

Fig. 4 The trace element contents of millipedes and its environment

2.6 马陆的分解作用

马陆在不同温度条件下摄食量不同, 依据其摄食与温度的关系, 对林下马陆的摄食量进行估算。由实验 2 可知, 马陆的分解作用是在环境温度大于 0C 的条件下进行的。又据表 2 及图 3 数据, 即可求出全年各月马陆的分解量(表 4)。年分解量的计算方法如下:

$$W_{\text{全年}} = \sum D \times B \times I \times d$$

其中, $W_{\text{全年}}$ 为全年分解量 mg/m^2 ; D 为每月各旬马陆个体密度 $\text{ind.}/\text{m}^2$; B 为马陆平均生物量 $\text{mg}/\text{ind.}$; I 为每月各旬马陆摄食量 $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{d}$; d 为旬天数。

表 4 帽儿山地区马陆的全年分解量 (mg/m^2)

Table 4 The decomposition of a year of millipedes in Maoer Mount

月	3		4		5		6		7		8		9		10		
Month	T	W	T	W	T	W	T	W	T	W	T	W	T	W	T	W	
旬	上	-6.9	4.0	0.8	10.8	9.3	18.9	34.7	25.2	80.4	24.0	88.9	19.4	66.3	10.2	21.9	
Ten	中	-4.8	7.3	3.6	15.4	20.0	19.2	34.7	25.4	80.4	22.9	88.9	16.2	66.3	7.9	14.3	
day	下	1.8	0.6	8.8	3.6	17.1	20.0	23.3	46.2	23.3	70.6	21.7	88.9	11.5	30.7	2.3	3.4
合计		0.6	8		49.3		115.6		231.4		266.7		163.3		39.6		
total																	

T 为温度 ($^{\circ}\text{C}$), W 为分解量 (mg/m^2)。

据上推算,马陆一年各月的分解能力不同,夏季最快,冬季不分解。年分解量约 $0.874\text{g}/\text{m}^2$ 。若以帽儿山地区所调查的 5 个林型的年均凋落物量为 $4.1\text{t}/\text{hm}^2$ 计算,那么,该地区马陆每年大约能分解凋落物量的 0.21% 。

3 小结

马陆个体数量,水平分布阔叶林 > 针阔混交林 > 针叶林,垂直分布由表层向下锐减,年变化夏末最多,冬末最少;马陆的摄食量随温度的增高而增加,就同一种凋落物而言,其摄食量半分解的 > 未分解的;马陆的同化效率随温度的升高而降低,粪便率随温度的升高而增加;马陆与环境土壤及凋落物中微量元素之间无明显相关,但马陆体内 Sr、V、Ba、Zu 的含量较高;马陆对凋落物的分解量约占年凋落物平均归还量的 0.21% 。

参考文献

- [1] 廖崇惠,陈茂乾,陈锦华. 两种陆栖等足类的种群及其分解落叶的作用. *动物学报*. 1992, **38**(1): 23~29.
- [2] 北 右三. 土壤动物生态研究法. 东京: 共立出版株式会社, 1977.
- [3] 孙儒泳. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 1987.
- [4] 祖元刚. 能量生态学引论. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990.
- [5] 张雪萍,等. 阔叶树落叶分解过程与土壤动物的作用. *林业科技*. 1996, **21**(1)1~4.
- [6] Blower J G. Millipedes and Centipedes as Soil Animals. In: D. Kith McE, Kevan ed. *Soil Zoology*. London: Butterwerths Scientific Publications, 1955. 138~151.
- [7] Edwards C A, Heath G W. The role of soil animals in breakdown of leaf material. In: J. Doeksen and J. van der Drift ed. *Soil organisms*. Amsterdam: North Holland Publ. Co. 1963, 76~83.
- [8] Seastedt T R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization process. *Annual Review Entomology*, 1984, **29**: 25~46.