

红松阔叶混交林凋落物-土壤动物-土壤系统中 N、P、K 的动态特征

殷秀琴¹ 宋博¹ 邱丽丽²

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024 2. 绵阳师范学院资源环境科学系, 绵阳 621000)

摘要 根据对小兴安岭凉水国家级自然保护区红松阔叶混交林的凋落物、土壤动物和土壤 2a 的连续采样及测定主要营养元素 N、P、K 的含量, 研究凋落物-土壤动物-土壤系统中主要营养元素在各分室的动态变化, 并通过比较主要营养元素在不同分室中的分异, 进而分析了土壤动物在该系统营养循环中的作用。结果表明, 研究区内不同凋落叶分解过程中元素含量的动态变化比较复杂, 阔叶落叶中营养元素含量的变化大于针叶落叶, 但不同凋落叶在分解过程中的元素损失量之间的差异不显著。在研究时段, 腐殖土层各种营养元素的含量高于土壤层, 蚯蚓、蜈蚣和马陆大型土壤动物体内的营养元素含量之间差别较大, 其中蚯蚓体内全 N 含量最高, 而马陆体内全 P 含量最高, 蜈蚣则全 K 含量最高。土壤动物和土壤中营养元素含量的动态变化和凋落叶中的变化趋势不同。N 和 P 在土壤动物分室中表现出一定的富集, 而 K 的富集不明显。土壤动物可以通过其新陈代谢活动加速凋落物-土壤动物-土壤系统中营养元素的循环速率。不同凋落物分解过程中养分含量变化复杂可能是由于不同凋落物种类特性差异造成的。土壤动物在营养元素循环, 尤其是 N、P 元素循环中具有重要意义。

关键词 土壤动物; 凋落物; 土壤; 养分动态; 小兴安岭

文章编号: 1000-0933 (2007) 01-0128-07 中图分类号: Q142, Q938, Q948, Q958 文献标识码: A

Dynamic characteristics of N , P , K in the litter-soil fauna-soil system of mixed *Pinus koraiensis* and broad-leaved forest

Yin Xiuqin¹ Song Bo¹ Qiu Lili²

1 College of Urban and Environmental , Northeast Normal University , Changchun 130024 , China

2 Department of Resource and Environment , Mianyang Normal University , Mianyang 621000 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (1) 0128 ~ 0134.

Abstract : Researches on material cycle of forest ecosystem have mainly focused on plants and soils , and few of them studied the role of soil fauna in the ecosystem. Most of the studies on soil fauna have been conducted in the laboratory environment or in artificially designed field to understand the role of biological factors in material cycle. This article is to study the dynamic characteristics of key nutrient elements of N、P and K in each component of the litter-soil fauna-soil system , and the functions of soil fauna in nutrient cycle by comparison of the differences of key nutrient elements in each component of the system. The study area is selected within the Liangshui National Natural Reserve of the Xiao Hingan Mountains (128°47'8"—128°57'19"E , 47°6'49"—47°16'10" N). The study area has temperate continental monsoon climate with about -0.3℃ annual mean temperature and 680 mm annual mean precipitation. The major soil type is

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40171053)

收稿日期 2006-01-25 ; **修订日期** 2006-12-19

作者简介 殷秀琴 (1951 ~) 女, 吉林长春人, 教授, 主要从事土壤动物生态学和生物地理学研究. E-mail yinxq773@nenu.edu.cn

致谢 美国罗德岛大学自然资源科学系王野乔教授对写作给予帮助, 特此致谢!

Foundation item The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40171053)

Received date 2006-01-25 ; **Accepted date** 2006-12-19

Biography Yin Xiuqin , Professor , mainly engaged in soil animals ecology and biogeography. E-mail yinxq773@nenu.edu.cn

mountainous dark brow forest soil. The characteristic vegetation type is mixed *Pinus koraiensis* and broad-leaved forest. We collected the forest litters including *Tilia amurensis*, *Fraxinus mandshurica*, *Pinus koraiensis*, *Acer mono*, *Betula costata* and mixed litter in different decomposition stages since the fall of the leaves in October of 2001, May, July and October of 2002. We also collected the soil samples in the humus horizon (0—5 cm) and soil horizon (5—20 cm), and soil macrofauna including earthworm, scolopendra and diplopod in May, July and October of 2002. We analyzed the contents of total N, P and K within the samples. We compared the differences of nutrient contents of the sampled litters in decomposition processes through variance analysis, and by the comparisons to reveal the role of soil macrofauna in the nutrient cycle among various components of the system. The results indicate that the dynamic characteristics of nutrient contents of litters in the decomposition processes are complicated. The changes of nutrient contents in broad-leaved litters are greater than that of coniferous from October 2001 to October 2002. But the differences of nutrient content loss among various types of litters in decomposition processes are not significant. The nutrient contents of the humus horizon are higher than that of the soil horizon. The nutrient contents of the three sampled soil macrofauna are significantly different. The total N found in earthworm is the highest among the three soil macrofauna. The maximum of total P was found in diplopod, and the maximum of total K was found in scolopendra. The dynamic changes of nutrient content in soils and soil fauna in the litters showed different trends. The soil macrofauna showed the role in accumulation of N and P in the system, but the accumulation for K was rather weak. Soil fauna could accelerate the nutrient cycle rate in the litter-soil fauna-soil system by their metabolism. The dynamic of nutrient contents of vary litters through decomposition are complicated, which is possibly caused by the differences of various litters. The soil macrofauna could be considered as a transverter in the litter-soil fauna-soil system and play a significance role in nutrient cycle, especially in N and P cycle of the system.

Key Words : soil fauna ; litter ; soil ; nutrient cycle ; Xiao Hinggan Mountains

凋落物-土壤动物-土壤系统是森林生态系统物质循环的重要部分。目前国内关于森林生态系统物质循环的研究多集中于植物和土壤之间,对土壤动物作用涉及偏少^[1~5]。而国外则多是通过室内和田间控制试验探讨土壤生物在物质循环中的作用^[6~10],并主要集中于蚯蚓、线虫等对土壤养分有效性提高的意义^[11~13],但对凋落物、土壤动物、土壤三者之间养分动态关系研究较少。本文于2001年至2002年对小兴安岭凉水国家自然保护区红松阔叶混交林凋落物-土壤动物-土壤系统中N、P、K的动态和分异进行研究,目的是为了解小兴安岭地区凋落物-土壤动物-土壤系统不同分室中的养分动态,分析不同分室间营养元素变化的相互关系,进而探讨土壤动物在该系统营养元素循环中的作用。

1 研究区的自然条件概况和研究方法

1.1 自然条件概况

研究区为小兴安岭凉水国家自然保护区,地理位置是128°47'8"~128°57'19"E,47°6'49"~47°16'10"N,全区均为山地,属小兴安岭南端达里带岭的东坡,山地相对高度100~200m,平均坡度10°~15°,属于温带大陆性季风气候,年均温-0.3℃,平均最高气温7.5℃,平均最低气温-6.6℃,≥10℃的年积温为1700℃。年平均降水量680mm左右。土壤主要为山地暗棕壤,主要自然植被有红松阔叶混交林、次生白桦林、云冷杉红松林、云冷杉林、兴安落叶松林等。地带性植被为红松阔叶混交林,区内主要的大型土壤动物有蚯蚓、蜈蚣和马陆等,其它土壤动物个体较小^[14]。

1.2 研究方法

于2001~2002年连续在研究区进行凋落物、土壤动物和土壤的调查取样。分别于2001年10月、2002年5月、2002年7月和2002年10月在红松阔叶混交林中,按1m×1m样方,每次取8个样方,选取代表树种紫椴、水曲柳、枫桦、色木槭和红松的落叶以及混合落叶,自当年凋落开始至其后不同分解过程中的样品;在2002年5月、2002年7月和2002年10月分别利用随机布点法采集表层腐殖土(0~5cm)和其下土壤层(5~

20 cm)样品 ,在野外同期选取 50cm × 50cm 样方 ,每次取 20 个样方 ,采用手捡法收集 0 ~ 20cm 土壤中的土壤动物 ,分类鉴定后 ,选取蚯蚓、蜈蚣、马陆进行土壤动物体内营养元素含量分析 [15]。

对所获取的凋落叶、土壤动物和土壤样品首先在室内经自然风干、研磨、过筛等预处理 (土壤动物样品中的蚯蚓活体首先进行饥饿排除肠内物处理 ,然后再进行风干、研磨) ,然后分别采用重铬酸钾-硫酸消化法测定全 N 含量 ,采用酸溶-钼锑抗比色法测定全 P 含量 ,采用原子吸收法测定全 K 含量 [16]。

2 结果与讨论

2.1 凋落叶中营养元素含量的动态变化

通过对不同时间、不同凋落叶内营养元素含量的分析发现 ,随着凋落叶分解时间的不同 ,其营养元素含量也不相同 ,变化情况见图 1。

从图 1 可以看出 ,在 2001 年 10 月份 ,新凋落叶中枫桦和紫椴叶的 N 和 P 元素含量较高 ,混合叶次之 ,色木槭叶、水曲柳叶和红松叶较低。K 元素含量中 ,除水曲柳叶外其他阔叶凋落叶 K 元素含量比较接近。红松凋落叶的 N、P、K 三种营养元素的含量与阔叶凋落叶相比都较低。分解至翌年 10 月份 ,各种阔叶凋落叶 N 和 P 的含量比较接近 ,针叶凋落叶的 N、P 含量明显低于阔叶凋落叶。K 元素的含量是枫桦叶、色木槭叶 > 水曲柳叶、紫椴叶 > 混合叶 > 红松叶。

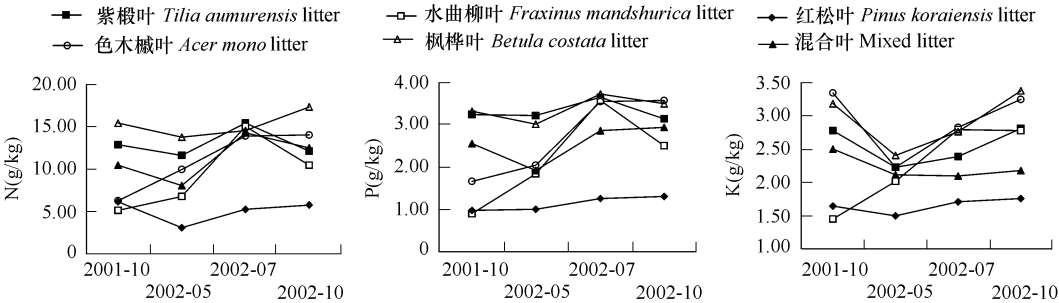


图 1 凋落叶中主要营养元素含量的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of main nutrient content in forest litters

在动态变化方面 ,阔叶凋落叶分解过程中 ,除色木槭叶外 ,N 元素含量基本上表现为先降低后升高又降低的趋势 ,至 2002 年 7 月份 ,N 元素含量十分接近 ,随后又各有变化 ,P 元素的含量在分解过程中也有类似的趋势。但水曲柳叶的 P 元素分解是一个简单的升高和降低的过程 ,说明在分解过程初期的元素释放不明显。K 元素在大部分落叶分解过程中是一个降低而后有所升高的过程 ,但水曲柳叶是先升高后降低。红松凋落叶在分解过程中这些元素含量的变化不明显。前人研究发现 ,阔叶凋落叶的分解率比针叶高 [1] ,因此可以得出 ,阔叶凋落叶分解中元素释放较快 ,而针叶分解中元素释放较慢。

为了弄清在取样期间各种凋落叶中 N、P、K 3 种主要营养元素的损失情况 ,对各种凋落叶的营养元素损失量进行了计算 (表 1)。通过凋落叶营养元素损失量的计算可以看出 ,不同的凋落叶在分解过程中 ,元素释放的速度不同 ,损失量各有差异。由于凋落叶在分解过程中 ,可能质量损失快 ,元素释放慢而呈现出损失量为负值的情况 ,表现为凋落叶在分解中元素相对浓缩。为了检验在研究时段不同凋落叶中的主要营养元素变化的差异显著性 ,对红松阔叶混交林下各种凋落叶的营养元素损失量进行了方差分析 (表 2)。

由表 2 可以看出 ,凋落叶主要营养元素的损失量在不同种类之间的差异不显著。这可能因为在针阔混交林中 ,不同凋落叶分解过程中的元素释放是一个比较复杂的过程 ,不同凋落叶元素释放的差别不显著。

2.2 土壤动物体内营养元素含量的变化

土壤动物体内主要营养元素的含量及动态变化见图 2。可以看出 ,在 N 元素含量中 ,蚯蚓体内的含量最多 ,其次为蜈蚣 ,再次为马陆。P 元素的含量上 ,蚯蚓和蜈蚣比较接近 ,而马陆体内 P 元素含量显著高于蚯蚓和蜈蚣 ,而蜈蚣体内的 K 元素的含量高于蚯蚓和马陆。这可能与不同土壤动物的生理特性相关。不同土壤

动物对不同营养元素的需求不同,其个体中不同营养元素的含量各有差异。

表1 不同凋落叶在研究时段的养分损失量
Table 1 The loss of nutrient content among different litters in study period

凋落叶 Litters	N (g/kg)			P (g/kg)			K (g/kg)		
	2001-10 ~ 2002-05	2002-05 ~ 2002-07	2002-07 ~ 2002-10	2001-10 ~ 2002-05	2002-05 ~ 2002-07	2002-07 ~ 2002-10	2001-10 ~ 2002-05	2002-05 ~ 2002-07	2002-07 ~ 2002-10
紫椴叶 <i>Tilia amurensis</i> litter	1.36	-3.92	3.31	0.04	-0.44	0.52	0.55	-0.15	-0.42
水曲柳叶 <i>Fraxinus mandshurica</i> litter	3.70	-8.31	4.62	0.63	-0.93	-0.08	0.39	0.01	-0.08
红松叶 <i>Pinus koraiensis</i> litter	2.09	-2.20	-0.45	-0.96	-1.73	1.07	-0.56	-0.77	0.01
色木槭叶 <i>Acer mono</i> litter	-3.82	-3.89	-0.24	-0.03	-0.25	-0.04	0.14	-0.20	-0.06
枫桦叶 <i>Betula costata</i> litter	-7.60	-0.66	-2.91	-0.39	-1.51	-0.03	1.11	-0.60	-0.42
混合叶 Mixed litter	7.41	-6.27	1.79	0.31	-0.73	0.24	0.77	-0.35	-0.62

土壤动物体内 N 元素含量随着时间推移,变化各不相同。2002 年 5 月,蚯蚓体内 N 元素的含量较低,7 月有所上升,至 10 月又有下降的趋势。而同期蜈蚣体内 N 含量的变化则表现为 5 月份最高,随后依次降低。马陆体内的 N 元素含量的变化则表现为一直增高的趋势。P 元素的动态变化中,3 种土壤动物的变化趋势一致,都是随时间的推移而降低。从 K 元素的变化来看,马陆和蚯蚓在 7 月份含量低于 5 月份,10 月份含量最高。蜈蚣在 10 月份低于 7 月份。这种动态变化受到土壤动物取食来源中各主要元素含量及不同土壤动物对营养元素的转化能力和特性的影响,其机理尚不清楚。

表2 不同凋落叶营养元素损失量的方差分析
Table 2 Variance analysis of nutrient content loss among different litters

元素 Element	SS1	SS2	df1	df2	MS1	MS2	F	P
N	0.5159	2.6971	5	12	0.1032	0.2248	0.46	0.80
P	0.0118	0.0774	5	12	0.0024	0.0065	0.37	0.86
K	0.0055	0.0385	5	12	0.0011	0.0032	0.34	0.88

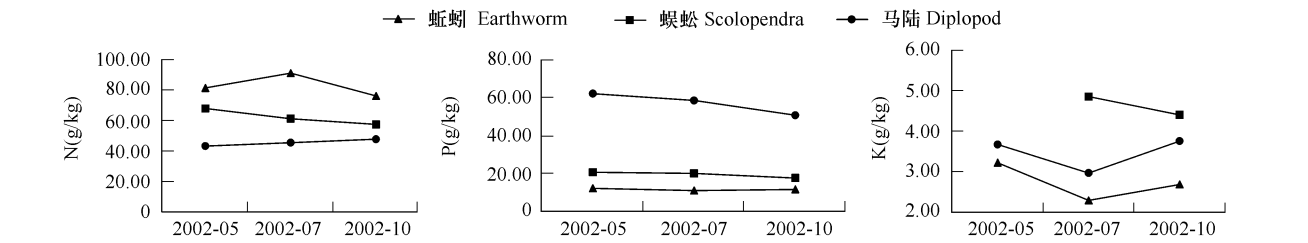


图2 土壤动物体内营养元素含量的动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of main nutrient content in soil fauna

2.3 土壤中营养元素含量的动态变化

营养元素在表层腐殖土(0~5 cm)和其下土壤层(5~20 cm)中的分异(图3)可以看出,表层腐殖土中各项营养元素的含量普遍高于土壤层相应元素的含量。特别是全 N 含量相差悬殊,表层腐殖土中为 11.2~12.1g/kg,而其下土壤中仅为 2.8~5.4g/kg。因为表层腐殖土是土壤有机质相对富集的层次,各种营养元素含量较高,而土壤层中有机质含量相对较低,因此土壤层中各种营养元素的含量低于表层腐殖土中营养元素

的含量。

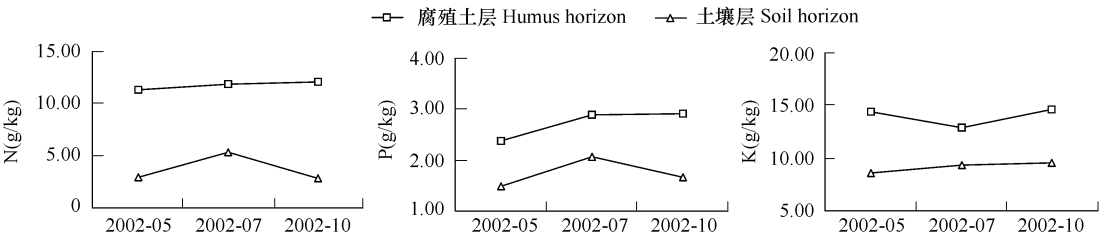


图3 土壤中营养元素含量的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of nutrient content in soil

从营养元素含量动态变化可以看出,土壤层和腐殖土层中 N、P 两种营养元素的含量 5 月份较低,而 7 月份升高,至 10 月份又有所降低的趋势,但腐殖土层中 N 元素的含量在研究期间变化不大。而 K 元素的动态变化比较复杂。在腐殖土层中,从 2001 年 5 月到 10 月份,先降低后升高,而土壤层是一个连续升高的趋势,但在整个研究过程中变化不大。腐殖土层和土壤层中营养元素含量的变化和凋落物分解过程的元素释放具有密切的关系,特别是腐殖土层中的营养元素含量直接与凋落物的分解相关。研究期间,土壤层和腐殖土层中主要营养元素含量的动态变化和凋落叶元素动态变化之间的关系比较复杂,可能受到各种凋落物分解过程中元素释放的复杂性、土壤动物的取食以及进一步转化而产生时滞效应的影响。

2.4 土壤动物在凋落物-土壤动物-土壤系统营养元素循环中的作用

土壤动物是凋落物分解及养分矿化作用生态过程的主要调节者,通过其新陈代谢促进各种营养元素的转化^[7]。土壤动物体内养分含量与食物来源有一定联系,而且土壤动物排泄出无机物,并改善土壤中营养元素含量的形态。一般来说,土壤动物活动对生态系统过程产生最终的影响是提高有机质的分解速率和养分周转量^[4,18]。研究区不同时期凋落叶和土壤动物及土壤中的主要营养元素含量的比较见图 4。

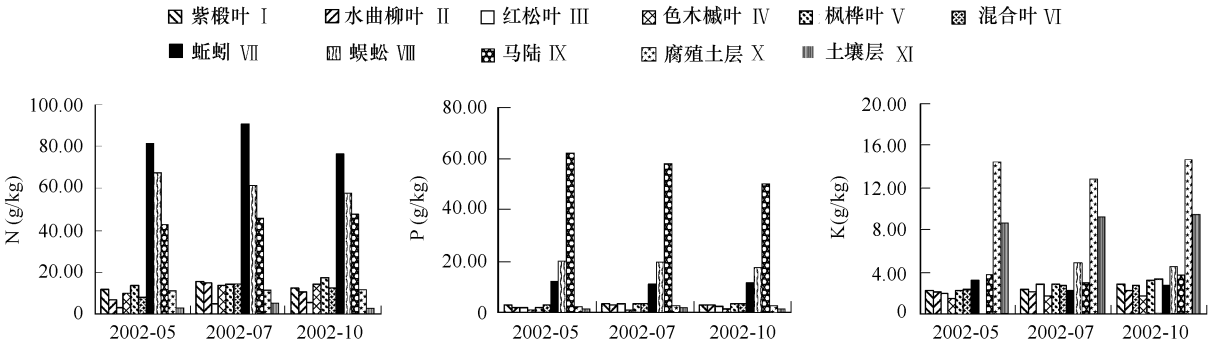


图4 凋落叶、土壤动物和土壤营养元素含量的比较分析

Fig. 4 Comparative analysis of nutrient content in litter, soil fauna and soil

I *Tilia amurensis* litter; II *Fraxinus mandshurica* litter; III *Pinus koraiensis* litter; IV *Acer mono* litter; V *Betula costata* litter; VI Mixed litter; VII Earthworm; VIII *Scolopendra*; IX *Diploped*; X Humus horizon; XI Soil horizon

通过对凋落叶、土壤动物和土壤中主要营养元素含量比较可以看出,研究期间,大型土壤动物蚯蚓、蜈蚣、马陆 N 元素含量范围在 42.9 ~ 92.7 g/kg 之间,远远高于凋落叶和土壤中 N 的含量。通过显著性检验发现,在凋落物-土壤动物-土壤系统中,土壤动物分室和其他分室的 N 含量差异显著,其中蚯蚓 $|t| > t_{0.01}$,蜈蚣 $|t| > t_{0.01}$,马陆 $|t| > t_{0.05}$ 。这说明 N 元素富集在该系统的土壤动物分室。蜈蚣 ($|t| > t_{0.05}$)、马陆 ($|t| > t_{0.01}$) 体内的 P 元素含量也显著高于与其他环节内相应元素含量,表现出 P 元素在土壤动物分室中的富集。但 K 元素在土壤动物分室的富集不明显,表层腐殖土 ($|t| > t_{0.01}$) 和其下土壤层 ($|t| > t_{0.01}$) 中 K 元素含量显著高于土壤动

物和凋落叶。可以看出,土壤动物作为凋落物的分解者,是分解者系统中的关键组成部分,在凋落物的分解过程中,养分元素 N、P 等在凋落物-土壤动物-土壤系统中的土壤动物分室进行富集。土壤动物通过影响该系统的养分释放过程,调节植物可利用养分的供给^[9]。

在凋落物-土壤动物-土壤系统中,植物主要以凋落物的形式将元素回归到土壤中,而凋落物的回归必须通过土壤生物的摄食、分解等才能完成回归过程,所以土壤动物是该系统中元素循环的重要环节^[20]。有研究表明经过土壤动物摄食消化的排泄物,更有利于微生物的进一步分解^[21]。大型土壤动物蚯蚓、蜈蚣、马陆对营养元素的富集,说明土壤动物本身就是一个养分贮藏库,在凋落物-土壤动物-土壤系统中具有“源与汇”的调控功能。土壤动物在凋落物-土壤动物-土壤系统中充当了物质循环的转化机,通过其取食和排泄,以及遗体回归等过程,加速了营养元素的循环速率,土壤动物的活动对元素循环具有重要的意义。

3 结论

(1)研究区内不同凋落叶分解过程中元素含量的动态变化比较复杂,凋落叶中针叶落叶营养元素含量低于阔叶落叶,阔叶落叶中营养元素含量的变化大于针叶落叶,但不同凋落叶在分解过程中的元素损失量之间的差异不明显。

(2)研究期间,腐殖土层(0~5cm)各种营养元素的含量高于土壤层(5~20cm),蚯蚓、蜈蚣和马陆几种大型土壤动物体内的营养元素含量之间差别较大。土壤动物和土壤中主要营养元素含量的动态变化和凋落叶中的变化趋势不同,三者之间关系复杂,需要长期的定位研究进一步分析。

(3)土壤动物分室表现出对 N 和 P 具有一定的富集,而 K 元素在土壤分室中含量相对较高,土壤动物可以通过其新陈代谢活动加速凋落物-土壤动物-土壤系统中营养元素的循环速率,表明土壤动物在营养元素循环,特别是 N 和 P 元素循环中具有重要意义,是该系统中营养元素的转换机。

References :

[1] Zhou X F. Long-term located research on forest ecosystems. Harbin :Northeast Forestry University Press ,1991. 110 ~ 111 238 — 244.

[2] Liu Y C , Wu M Z , Guo Z M , *et al.* Study on element cycle of *Quercus acutidentata* forest ecosystem in Baotianman Natural Reserve. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 , 23 (8) :1488 — 1497.

[3] Chen P , Fu D Y. Apreliminarystudy onthe role of soil animals inmaterial cyclein Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica* , 1984 , 4 (2) :1 — 9.

[4] Yin X Q , Zhang G R. A study on the relationship between forest litter and macrofauna. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 1993 , 4 (2) :167 — 173.

[5] Zhong W Y , Yin X Q , Chen P. Relationship of litter decomposition and consumption with soil animals in Maoer Mountain forest. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 1999 , 10 (4) :511 — 513.

[6] Tian G , Adejuyigbe C O , Adeoye G O , *et al.* Role of soil microarthropods in leaf decomposition and N release under various land-use practices in the umid tropics. *Pedobiologia* , 1998 , 42 :33 — 42.

[7] Whalen J K , Parmelee R W , McCartney D A , *et al.* Movement of N from decomposing earthworm tissue to soil , microbial and plant N pools. *Soil Biology and Biochemistry* , 1999 , 31 (4) :487 — 492.

[8] O'Hanlon R P , Bolger T. The importance of *Arcitalitrus dorrieni* (Hunt) (Crustacea : Amphipoda :Talitridae) in coniferous litter breakdown. *Applied Soil Ecology* , 1999 , 11 :29 — 33.

[9] Edsberg E. The quantitative influence of enchytraeids (Oligochaeta) and microarthropods on decomposition of coniferous raw humus in microcosms. *Pedobiologia* , 2000 , 44 :132 — 147.

[10] Cortez J , Bouch M. Decompositionof Mediterraneanleaf litters by *Nicodrilus meridionalis* (Lumbricidae) in laboratory and field experiments. *Soil Biology and Biochemistry* , 2001 , 33 (15) :2023 — 2035.

[11] Ke X , Karin W ,Juliane F. Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter : a microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry* , 2005 , 37 (4) :731 — 738.

[12] Araujo Y , Luizão F J , Barros E. Effect of earthworm addition on soil nitrogen availability , microbial biomass and litter decomposition in mesocosms. *Biology and Fertility of Soils* , 2004 , 39 :146 — 152.

[13] Ouédraogo E , Brussaard L , Mando A , Stroosnijder L. Organic resources and earthworms affect phosphorus availability to sorghum after phosphate rock addition in semi-arid West Africa. *Biology and Fertility of Soils* , 2005 , 41 :458 — 465.

[14] Yin X Q. Study on Forest Soil Animals in Northeast of China. Changchun :Northeast Normal University Press 2001. 249 — 331 ;235 — 248.

[15] Yin W Y ,Hu S H ,Shen W F *et al.* Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing :Science Press ,1998. 1 — 6 ,90 — 93 265 — 295.

[16] Institute of Soil Science ,Chinese Academy of Sciences. Physical and Chemical Analysis of Soil. Shanghai :Shanghai Scientific and Technological Press ,1978. 96 — 134.

[17] Wardle D A. Impact of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practice. *Advances in Ecological Research* ,1995 ,26 :105 — 185.

[18] Chen G K ,Cao Z P. Ecological Researches on Soil Organisms. *Chinese Journal of Soil Science* ,2005 ,36 (2) :259 — 264.

[19] Cragg R G ,Bardgett R D. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. *Soil Biology and Biochemistry* ,2001 ,31 :2073 — 2081.

[20] Yin X Q ,Zhong W Y ,Wang H X ,*et al.* Decomposition of forest defoliation and role ofsoilanimals in the Xiao Hinggan Mountains. *Geographical Research* ,2002 ,21 (6) :689 — 699.

[21] Swift M J ,Heal O W ,Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems. *Studies in ecology* 5. Blackwell ,London ,1979.

参考文献：

[1] 周晓峰. 森林生态系统定位研究. 哈尔滨 :东北林业大学出版社 ,1991. 110 ~ 111 238 ~ 244.

[2] 刘玉萃 ,吴明作 ,郭宗民 ,等. 宝天曼自然保护区锐齿栎林生态系统营养元素循环. *生态学报* 2003 23 (8) :1488 ~ 1497.

[3] 陈鹏 ,富德义. 长白山土壤动物在物质循环中作用的初步探讨. *生态学报* ,1984 4 (2) :1 ~ 9.

[4] 殷秀琴 ,张桂荣. 森林凋落物与大型土壤动物相关关系的研究. *应用生态学报* ,1993 4 (2) :167 ~ 173.

[5] 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 ~ 513.

[14] 殷秀琴 ,等. 东北森林土壤动物研究. 长春 :东北师范大学出版社 ,2001. 249 ~ 331 ;235 ~ 248.

[15] 尹文英 ,胡圣豪 ,沈温芬 ,等. 中国土壤动物检索图鉴. 北京 :科学出版社 ,1998. 1 ~ 6 ,90 ~ 93 265 ~ 295.

[16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海 :上海科技出版社 ,1978. 96 ~ 134.

[18] 陈国康 ,曹志平. 土壤生物的生态学研究. *土壤通报* ,2005 36 (2) :259 ~ 264.

[20] 殷秀琴 ,仲伟彦 ,王海霞 ,等. 小兴安岭森林落叶分解与土壤动物的作用. *地理研究* ,2002 21 (6) :689 ~ 699.