

几种常微量元素在辽东栎枝条分解过程中的变化特征

黄建辉, 陈灵芝, 韩兴国

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要:应用分解网袋法,对暖温带落叶阔叶林主要优势树种辽东栎小枝进行连续 5a 的分解研究,测定了 Ca、Mg、Cu、Zn 和 Mn 5 种元素在凋落物分解过程中的含量和剩余百分率的变化,发现这两个指标在这几种元素之间既有一定的相似性,又有一定的差异。相似性表现在这几种元素在分解开始时,其含量都有一个不断上升的过程。但有的表现为不断上升(Ca 和 Zn),而有的则在分解阶段的中期,已开始明显下降(Mg、Cu 和 Mn)。从丢失速率常数上看(根据 Olson 的失重率常数 k),由于 Ca 和 Cu 在分解过程中的大量增加,因而用 Olson 指数方程的拟合效果较差,而其它 3 种元素用 Olson 指数方程拟合结果相比较,发现 Mn 的失重率略高于 Mg,而超过 Zn 的 2 倍。但这些元素的失重率都明显低于一些大量营养元素如 N、P、K 的失重率。

关键词:辽东栎枝条;分解网袋法;营养元素;丢失速率

Changes of some major and micro-nutrients during the decomposition process of oak twigs

HUANG Jian-Hui, CHEN Ling-Zhi, HAN Xing-Guo (Institute of Botany, CAS, Beijing 100093 China)

Abstract: With the litterbag method, the decomposition of twigs of oak (*Quercus liaotungensis*), was investigated in five years consecutively. Changes of concentrations and the remaining percentage of five nutrient elements, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, were determined. It was found that changes of concentrations and remaining percentages differed within those five nutrient elements throughout the five-year decomposition. Concentrations of all those five nutrients were found increasing at the beginning stage of twig decomposition. However, concentrations of Ca and Zn continually increased in the middle stage of decomposition, while of Mg, Cu, and Mn began to decrease. Based on Olson exponential equation, the constant, k , of Mn is a little bit higher than that of Mg, and two times more than of that Zn. However, the mass loss constants of those elements are much lower than of some major elements, such as N, P, and K.

Key words: Oak twigs; Litterbag technique; nutrient elements; mass loss rates

文章编号: 1000-0933(2000)02-0229-06 中图分类号: Q142 文献标识码: A

凋落物的分解是树木生长所需养分的重要来源^[1]。有人估计,植物凋落物分解过程中每年释放的营养可满足 69%~87% 的森林生长所需量^[2]。因此,枯落物分解速率的高低在很大程度上也决定了一个生态系统的(尤其是森林生态系统)生产力的高低和生物量的大小。

有机物质分解速率的大小通常要受多方面因素的影响,但归纳起来可以分成 3 个方面^[3],但也有归纳成 4 个方面的^[4]。包括环境因子,主要有热量和水分;凋落物所含有机物质的种类及含量;凋落物分解时外界环境中养分的可获得性。不过,这 3 个因素可以归结为更加普遍的结论,即如果某地区的条件能够有利于该地的微生物的生长或活动,那么该地的生态系统的凋落物的分解速率就快。

基金项目:中国科学院重大资助项目(KJ85-06-02)和重点资助项目(KZ952-J1-103)

收稿日期:1998-11-11 修订日期:1998-11-02

作者简介:黄建辉(1964~),男,副研究员。

由于各种元素在凋落物中含量的不同,以及这些元素在生态系统功能过程中所起作用的差异,导致这些元素在凋落物分解过程中的变化产生分异。可以想象最有可能产生分异的应该是在一些大量元素、微量元素和痕量元素之间。但即使在大量营养元素之间,还是在微量和痕量元素之间,各种元素在有机质分解过程中的变化也可能表现出很明显的不同。从另外一个角度来看,即使是同一种元素的不同同位素之间,其在有机质分解过程中的变化特征也会有所不同。有关凋落物分解的研究,国外已经有很长的历史,可以追溯至本世纪的 20 年代。但大量的研究集中在凋落叶片的分解上(据不完全统计,约占总数的 95% 以上),而对枝条和树干凋落物分解的研究较少。我国对凋落物分解的研究开始于 80 年代,以凋落叶片的分解研究为主,也有部分枝条,甚至树干的分解研究,但多以总的丢失速率的研究为主,而对各主要养分元素在凋落物分解过程中变化的研究较少。本文主要报道暖温带落叶阔叶林生态系统中的优势树种辽东栎枝条($D < 0.5\text{cm}$)在野外条件下,5 种常量元素(Ca、Mg、Zn、Mn、Cu)的相对含量和绝对量在开始连续 5a 的分解中的变化过程,一些主要的大量营养元素的变化已在有报道^[5]。

1 样地概况

样地位于北京市西郊门头沟区东灵山(北纬 $40^{\circ}01'$, 东经 $115^{\circ}28'$)。该地区属暖温带半湿润季风气候,夏天温暖湿润,冬天寒冷干燥;年降水量平均为 $400\sim 600\text{mm}$,年平均温度为 $2\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。分解实验样品布置在中国科学院北京森林生态系统定位研究站实验区内一个以辽东栎为主的落叶阔叶林内。该落叶阔叶林乔木层除辽东栎外,还有棘皮桦(*Betula dahurica*),五角枫(*Acer mono*),糠椴(*Tilia mandshurica*)等,灌木层则以毛榛(*Corylus mandshurica*),六道木(*Abelia biflora*),大花溲疏(*Deutzia grandiflora*)等为主,而草本层则主要有野青茅(*Calamagrostis arundinacea*),细叶苔草(*Carex rigescens*)等。

2 研究方法

2.1 分解样品的收集

对于落叶植物凋落叶的收集是很容易的,只要每年在落叶期收集当年凋落的叶子即可。但要收集用于分解测定的枝条样品则存在着一定的困难。主要原因是枯枝并不立即掉落地面,而通常要经过一段时间,而这一段时间的长短是不定的。因此,当从森林地表收集到的凋落枝条实际上已有不同程度的分解。为了消除这一干扰,特地取新近砍伐的枝条作为分解测试样品。

收集的部分样品带回实验室,在 105°C 下烘干至恒重,计算其含水量。大部分样品分别装入孔径为 1mm 的尼龙网袋中,保证每袋不低于 20g 的干重样品。本研究中共准备样品 110 袋。将这些样品随机分成 5 组,分别布置在辽东栎林的林地表面。所有分解样品袋固定在一根长的铁丝上,以防被风刮走。

分解样品袋布置结束后,每逢 12、3、5、7 和 9 月初取样(但有的年份因取样次数减少或样品的编号丢失而少于 5 次),每次分别从每一组中取出一个分解样品袋,带回实验室,在 80°C 下烘干至恒重,计算剩余干重。之后样品将被妥善保存至最后化学分析。

2.2 化学分析

Ca、Mg、Cu、Zn、Mn 5 种金属营养元素,用 ICP-AES 法测定。

3 结果与分析

3.1 分解过程中几种元素含量的变化

在 5a 时间的分解过程中,各种养分元素包括大量和微量甚至一些重金属元素都发生了很大的变化。这种变化表现在两个方面,一方面是这些元素在凋落物中的相对含量的变化,另一方面是这些元素丢失速率的变化。

含量变化是指在分解过程进行的时间系列上,凋落物中各种元素含量的变化。由于这些养分元素在植物体内初始含量,所起的作用不同,不同避免地导致这些元素在凋落物分解过程中含量变化的分异。

在 5 种研究的元素中,Ca 的表现是最为突出的。在分解开始时,Ca 的含量只有不到 20000mg/kg ,经过 5a 的分解,含量上升至 32000mg/kg 左右,共增加了 60%。在分解的前 75 周里,Ca 的含量迅速增加至 28000mg/kg ,而在数据周以后至本研究结束,增加速度显著降低,有保持在一个稳定值的趋势(图 1)。

Zn 的含量也表现为单调增加的趋势,但由于它在样品中含量的变异较大,因而结果没有 Ca 那么显

著,同时其增加的速度也没有象 Ca 那样前高后低,而是表现为平稳增加,且至本研究结束时还没有表现出任何停止的迹象。但整个分解过程中,Zn 的含量增加量却并不很显著,从分解开始时不到 22mg/kg,增加至 29mg/kg,共增加了 32% 左右(图 1)。

5 种被研究的养分元素中,其中的 3 种在含量上表现为先升高后降低,升高和降低趋势表现得较为明显的分别为 Mg 和 Cu。Mn 的含量也可以被认为有先增加后降低的趋势,但由于其含量在同组样品间的变异较大,所以这种趋势并不明显。在属于这一类的所有 3 种元素中,变化情形又各不相同。

Mg 含量的增加和下降幅度几乎相等,因此,其含量在经过前半段时间的上升和后半段时间的减少后,至本研究结束时,含量似又回到了原来的水平。从分解时间来说,Mg 的含量可能在 100 周前后达到最高,然后开始下降(图 1)。

由于 Mn 的含量在样品间的变异相当大,从图 1 上勉强可以看出,在分解过程的中间阶段大约在 117~187 周之间有一个含量高峰。

Cu 在分解开始时的含量略低于本研究结束时的。Cu 的起始含量约 12mg/kg,大约在分解过程中的第 107 周,Cu 的含量上升至最高值,约为 20mg/kg (除了一次异常的升高外),约升高了 67%。紧接着开始下降,至本研究结束时(第 222 周),降至约 15mg/kg。

一些元素在分解过程中含量的相对增加是很常见的,但对不同种类的凋落物,不同元素的表现也可能有所不同。在众多研究针叶和阔叶凋落物分解的文献中,N 和 P 在无论是叶片、枝条,还是树干凋落物的分解过程中,含量上的增加都是十分普遍的,尤其是在分解的开始阶段^[6,7],当然也有个别例外的例子。枝条和树干凋落物与叶片凋落物性质有很明显的不同,主要表现在难分解物质本质素的含量上,后者要比前者高得多。除了 N 和 P 元素外,微量元素,如本文中的 Cu、Zn 和 Mn(也有将这几种称为重金属元素的),在分解过程中含量上的增加也是十分普遍的,至少在分解的开始阶段。Ca 和 Mg 在含量上的增加与一些针叶凋落物的分解过程中这两种元素的变化有一定的相似之处。Edmonds 和 Thomas 对几种针叶凋落物的研究表明,Ca 和 Mg 在分解的前期均表现为一定程度的升高,但增加的幅度却要小于本研究的^[8]。Mg 的情形与一些叶片凋落物分解研究中的有很大的差异,例如根据 Arianoutsou 对一些常绿叶片凋落物的研究,Mg 元素与 K 元素一样都是在分解过程中比较容易释放的元素之一^[6],而本研究中,Mg 在分解的前半阶段,含量有较大的增加;Bockheim 等也得到类似的结论^[9]。有报道指出,Ca,甚至 Mn,也是快速释放的元素^[10~12],而本研究中的 Ca 在分解研究的整个过程中均表现为上升的趋势。Edmonds 和 Thomas 的研究还显示,Mn 元素在几种针叶凋落物分解的第一年均有一定程度降低,但在此后的几年分解过程中开始大幅度升高,5a 后,有的与初始值接近,有的则高出初始值 2 倍以上^[8]。这与本研究的结果略有不同,本研究中的结果为在分解开始阶段基本上表现为不断升高的趋势,但至分解的中期(约 2.5a 左右)开始表现为下降的趋势,不过本研究的结论与 Bockheim 等的相似^[9]。

元素在含量上的这种变化并不是这几种元素特有,其它的几种大量营养元素(C、N、P、K、Na)中 N 和

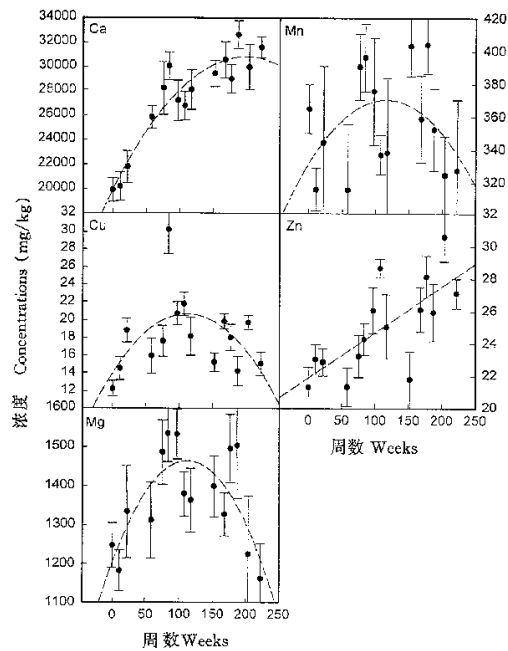


图 1 枝条分解过程中一些无机元素的变化(垂直线为标准误,n=5)

Fig. 1 The change of concentrations of inorganic elements in oak twigs during their decomposition (vertical bars denote SE, n=5)

P 的变化,也出现逐渐升高的现象,但原因可能有所不同^[5]。例如对 N 和 P,尤其是 N,Swift 等^[13]曾归纳了 3 个方面的原因:①是由于分解过程中 C 的丢失可能造成 N 的相对含量的增加;②在有机质分解过程中,参与分解的细菌和真菌会将有机质分解中释放的自由 N 固定在体内;③由于凋落物有机质含量中低的 N 含量,微生物(尤其是真菌)会从周围环境的土壤中吸收一些无机 N,以调节其 C/N 比率。但对于本研究中的几种元素,则较多地可能是由于受到了前述的第一个因素的影响。因为在整个分解过程中 C、K 等一些大量营养元素的含量在分解开始阶段有很快的下降导致一些活动能力差的元素相对含量增加了^[5]。不过,本研究中 Ca 和 Mg 在分解过程中含量的大量增加(Ca 和 Mg 分别增加了 60%和 25%),仅用分解过程中含量的相对增加似乎十分勉强,因为增加的量不太可能有如此之大。因此,虽然本研究中这两个元素的含量变化与有些研究有一定的相似性,但对该结果的进一步解释似乎还需要更加深入的研究。

3.2 5 种元素在分解过程中丢失速率的比较

丢失速率以分解过程中各元素的剩余量占其初始量的百分比来表示,百分比值越低,意味着丢失速率越快。如果说养分元素的含量在凋落物分解过程中的变化是相对量的变化,那么凋落物养分的释放则是绝对量的变化。尽管 Ca、Mg、Cu、Mn 和 Zn 这 5 种元素的相对含量在分解开始时都有不同程度的增加,但在它们的绝对量的变化上,则又呈现出不同的特征。

用 Olson 指数方程来拟合部分元素剩余百分比的变化过程,得到的变化速率常数 k 值($k > 0$)也同样可以用来表征各元素的丢失速率。在本研究中,5 种元素中的 3 种,分别为 Mg、Mn 和 Zn 可以用 Olson 指数方程来拟合^[14],这说明这 3 种元素基本符合 Olson 的指数降解规律。而 Ca 和 Cu 由于在相对含量上的大量增加,使得绝对量也有一定程度的增加,因而无法取得好的拟合效果。这意味着这 2 种元素不仅在分解过程(开始阶段)中没有任何释放,反而还从分解系统外“吸附”了一定的量。3 种元素拟合曲线和包括其它 2 种元素在内的剩余百分比随时间的变化见图 2。

从图 2 上可以看到,凡是可以 Olson 指数方程拟合的元素的剩余量都表现为单调的降低。分解常数最小的是 Zn,其 k 值为 1.384×10^{-3} /周。其它 2 种元素的分解速率较为接近,依次为 Mn 和 Mg,它们的丢失速率常数分别为 2.856×10^{-3} 和 2.015×10^{-3} /周之间。但很明显,这几种元素的丢失速率要低于 5 种大量营养元素的(比较^[5])。因此大量和微量营养元素在凋落物分解过程中,含量的变化可能有很大的差异,而且即使同是大量营养元素之间,也有可能有很大的差异,这取决于它们在凋落物中的含量,微生物生命活动中的活性,还可能有一些尚未清楚的原因。

2 种不能用 Olson 指数方程拟合的元素分别为 Ca 和 Cu。它们在 5a 时间的分解过程中,它们的绝对量或者是仅在分解开始阶段,或者是大部分时间表现为不断地增加。其中 Ca 大约在分解的 75 周左右达到最大值,约为其起始量的 120%。Cu 的最高值可能出现在第 58~75 周之间,其绝对量可能达到起始量的 150%左右(除了少数异常的数据外)。至本研究结束时,这两种元素的剩余量已经明显低于它们的起始量。其中 Ca 已经下降至起始量的 85%左右,而 Cu 已经降低至起始量的不到 80%(图 2)。关于这两种元素在

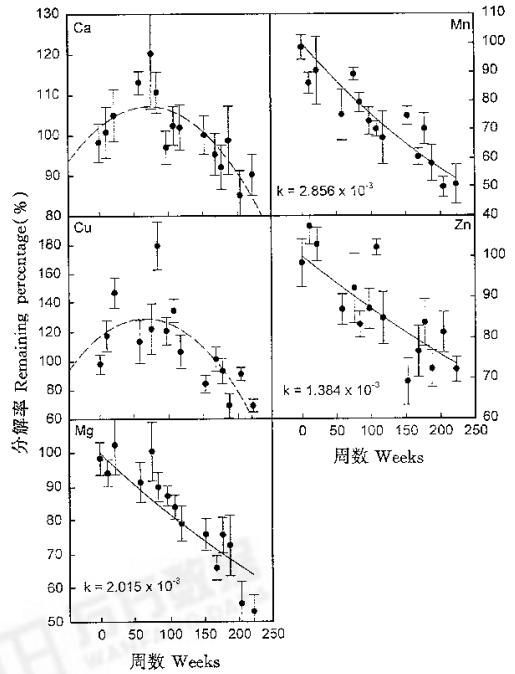


图 2 一些营养元素在枝条分解过程中重量丢失(垂直线为标准误, $n=5$)

Fig. 2 The mass loss of several nutrient elements during twig decomposition (vertical bars denote SE, $n=5$)

对含量上增加的原因或机制,到目前为止,还并不是十分的清楚。Laskowski 和 Berg 在他们的研究中曾经对一些重金属在凋落物分解过程中绝对量的增加做过论述,认为 Cu 离子可能容易被有机质固持,或者被土壤微生物吸收,因为多价的重金属可与腐殖质形成稳定的络合物^[15]。随着分解的不断进行,这些元素将逐渐积累。而它们的释放将取决于土壤的阳离子交换能力^[11]。在另一个方面微生物的固持,甚至将土壤深层的这些元素搬运至正在分解的凋落物表面^[16],也可能造成这些元素的绝对量的增加。当然,在一些重金属的污染地区,一些沉积物也会造成这些元素一定程度的增加。一些研究还认为,分解的有机质有可能是 Cu,甚至 Fe 和 Al 的汇^[17]。有证据表明这些元素在凋落物上的存留主要是受非生物的吸附控制。但必须承认的是,这一系列的解释目前在很大程度上还只是一种推测,而本研究中 Ca 的绝对量的增加还可能与这一系列的原因无关,看来要确切弄清这些变化的原因,还需要更多的研究。

国内相关研究主要集中在总的凋落物有机质的分解速率上,而较少详细涉及单个元素的丢失速率。从总的丢失速率来看,辽东栎枝条的值为 $k=2.3211 \times 10^{-3}$ /周,在 5a 的分解过程中,共有 45.3% 的失重^[18]。这个结果远低于热带、亚热带地区几种植物(如^[19~21])。由于受温度和水分的影响,这一差异很容易被理解。但即使与温带地区的寒温带分布的一些树种相比,辽东栎枝条的失重率似乎也是比较慢的^[22,23]。唯有与同属的分布在相邻地区的蒙古栎具有相似的失重率^[24]。但是否各个单一的元素失重率的变化特征亦如总的凋落物有机质失重率,似乎还需要进一步的实验验证。

综上所述,辽东栎小枝的分解速率和养分释放过程虽然与大多数针叶或阔叶凋落物有很大的相似之处,但相异之处也很显然。究其原因,不仅有气候等外在环境的影响,如研究地区温度较低,降水量较少,导致该地区凋落物低的分解速率;也有凋落物本身的特点(通常称为凋落物质量),例如辽东栎枝条木质素和 Ca 的含量较高。当然即使是同类凋落物,不同之处也将会显著存在。

参考文献

- [1] Switzer GL and Nelson D. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems; the first twenties. *Soil Science Society America Proceedings*, 1972, **36**: 143~147.
- [2] Waring RH and Schlesinger WH. *Forest ecosystems: concepts and management*. Academic Press, New York, USA, 1985.
- [3] McClaugherty CA, Pastor J, Aber JD, et al. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology*, 1985, **66**: 266~275.
- [4] Berg B, Berg MP, Bottner P, et al. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 1993, **20**: 127~153.
- [5] 黄建辉, 陈灵芝, 韩兴国. 辽东栎枝条分解过程中几种主要营养元素的变化. *植物生态学报*, 1998, **22**(5): 398~402.
- [6] Arianoutsou M. Leaf litter decomposition and nutrient release in a maquis (evergreen sclerophyllous) ecosystem of North-Eastern Greece. *Pedobiologia*, 1993, **37**: 65~71.
- [7] Sinsabaugh RL, Antibus K, Linkins AE, et al. Wood decomposition: nitrogen and phosphorus dynamics in relation to extracellular enzyme activity. *Ecology*, 1993, **74**(5): 1586~1593.
- [8] Edmonds RL and Thomas TB. Decomposition and nutrient release from green needles of western hemlock and Pacific silver fir in an old-growth temperate rain forest, Olympic National Park, Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 1995, **25**: 1049~1057.
- [9] Bockheim JG, Jepsen EA and Heisey DM. Nutrient dynamics in decomposing leaf litter of four species on a sandy soil in northwestern Wisconsin. *Canadian Journal Forest Research*, 1991, **21**: 803~812.
- [10] Moore TR. Litter decomposition in a subarctic spruce-lichen woodland, eastern Canada. *Ecology*, 1984, **65**(1): 299~308.
- [11] Staaf H and Berg B. Accumulation and release of plant nutrients in decomposing Scots pine forest. II. *Canadian Journal of Forest Research*, 1982, **60**: 1561~1568.
- [12] Berg B and Cortina J. Nutrient dynamics in some decomposing leaf and needle litter types in a *Pinus sylvestris* for-

- est. *Scandinaviann Journal of Forest Research*, 1995, **10**: 1~11.
- [13] Swift M, Heal OW and Anderson JM. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press, Berkeley, California, USA. 1979.
- [14] Olson JS. Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems. *Ecology*, 1963, **44**: 332~331.
- [15] Laskowski R and Berg B. Dynamics of some mineral nutrients and heavy metal in decomposing forest litter. *Scandinavia Journal of Forest Research*, 1993, **8**: 446~456.
- [16] Berg B, Ekbohm G, Soderstrom B, et al. Reduction of decomposition rates of Scots pine needle litter due to heavy-metal pollution. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, **59**: 165~177.
- [17] Rustad LE. Element dynamics along a decay continuum in a red spruce ecosystem in Maine, USA. *Ecolgoy*, 1994, **75**(4): 867~879.
- [18] Huang J-H, Han X-G and Chen L-Z. Studies on litter decomposition processes in a temperate forest ecosystem I. Change of organic matter in oak (*Quercus liaotungensis* Koidz.) twigs. *Ecological Research*, 1998, **13**: 163~170.
- [19] 梁宏温. 两类森林凋落物及其分解作用研究. 广西农学院学报, 1991, **10**(4): 90~96.
- [20] 屠梦照, 姚文华, 翁 轰, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报, 1993, **30**: 34~42.
- [21] 李凌浩, 邢雪荣, 黄大明, 等. 武夷山甜槠林粗死木质残体的贮量、动态及其功能评述. 植物生态学报, 1996, **20**: 132~143.
- [22] 王风友, 王业遽. 红松针阔叶混交林森林凋落物的生态学研究 Ⅲ 四个群落类型林地凋落物的现存量. 见: 周晓峰主编. 森林生态系统定位研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991. 245~249.
- [23] 许广山, 程伯容, 丁桂芳. 长白山阔叶红松林的凋落物及其分解. 见: 森林与土壤. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 16~21.
- [24] 石福臣, 丁宝永, 阎秀峰, 等. 三江平原天然次生柞木林凋落物分解规律的研究. 东北林业大学学报(生态专刊), 1990, **18**: 27~31.