Vol . 26 , No . 5 May , 2006

# 三江平原沼泽湿地枯落物分解及其营养动态

杨继松<sup>1,2</sup>,刘景双<sup>1,\*</sup>,于君宝<sup>1</sup>,王金达<sup>1</sup>,李新华<sup>1,2</sup>,孙志高<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所,长春 130012;2. 中国科学院研究生院,北京 100019)

摘要:分解袋法研究了三江平原典型沼泽湿地枯落物的分解速率和 N、P 营养动态。湿地枯落物的分解速率(0.000612~0.000945 d<sup>-1</sup>)在群落间差异显著,分解 480d,分别损失初始重的 45.36%(*Carex pseudocuraica*)、35.32%(*Carex lasiocarpa*)、33.72%(*Deyeuxia angustifolia*-Shrub),即随淹水深度由大到小、淹水时间由长到短,枯落物分解由快到 慢,说明湿地的淹水状况是影响枯落物分解速率的主要因素。分解过程中,漂筏苔草和毛果苔草枯落物 N 浓度持续上升,N 在枯落物中积累;小叶章枯落物 N 浓度在第 1 个月快速下降而后缓慢上升,分解使枯落物释放 N。各类枯落物 P 浓度的变化 大致呈不同程度的降低趋势,分解使湿地枯落物均发生 P 释放。结果表明,微生物的营养需求状况决定了湿地枯落物 N、P 的 动态变化,而其积累或释放的强度则可能与枯落物初始 C:N 和 C:P 的大小有关。

关键词:枯落物分解; N、P 动态; 积累; 释放; 沼泽湿地; 三江平原

文章编号:1000-0933(2006)05-1297-06 中图分类号:P343.4,Q143,Q948,X171 文献标识码:A

## Decomposition and nutrient dynamics of marsh litter in the Sanjiang Plain, China

YANG Ji-Song<sup>1,2</sup>, LIU Jing-Shuang<sup>1,\*</sup>, YU Jun-Bao<sup>1</sup>, WANG Jin-Da<sup>1</sup>, LI Xin-Hua<sup>1,2</sup>, SUN Zhi-Gao<sup>1,2</sup> (1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China; 2. Graduate School, CAS, Beijing 100019, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5):1297 ~ 1302.

Abstract: Litter bag technique was used to study the decomposition and nutrient dynamics of marsh litter in the four communities, *Carex pseudocuraica* (C.pa), *Carex lasiocarpa* (C.la), *Deyeuxia angustifolia* (D.aa) and *Deyeuxia angustifolia-Shrub* (D.aa-Srb), in Sanjiang Plain, northeastern China. In the first year, decomposition could be divided into two periods and mass loss ranged 11.7%—31.4% of the initial mass during summer and autumn, both of which accounted for more than 75% of the annual loss. The decomposition rates ranged from 0.000612 to 0.000945 d<sup>-1</sup> depending on flooding depth and duration and were differed significantly among communities. Litter decomposed faster in communities with deeper and perennial flooding than in those with shallow and seasonal flooding. The initial ratios of C:N and C:P were also different among the four litter types, but these difference had no effect on the decomposition rates, which might suggest that flooding status rather than litter quality was the main factor influencing the decomposition rates of marsh litter. N concentrations in *C.pa* and *C.la* almost continuously increased over time and the final values were 2.8 and 2.4 times higher than the initial ones, respectively. However, nutrient dynamics in *D. aa* and *D. aa-Srb* presented another pattern, with a fast decrease during the first month and a following slow increase, and the final values were close to the initial at the end of the experiment. Litter accumulated substantial amounts of N in *C. pa* and *C. la*, while net N release from litter was observed both in *D. aa* and *D. aa-Srb*. The difference might be caused by the demand of microorganism for nutrition, and then limited by litter C:N ratios and the availability of nitrogen from soil and marsh water. In

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90211003);中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目(KACX3-SW-332)

收稿日期:2005-04-25;修订日期:2006-01-05

Received date: 2005-04-25; Accepted date: 2006-01-05

Biography: YANG Ji-Song, Ph.D. candidate, mainly engaged in environmental ecology and biogeochemistry. E-mail: yangjisong@neigae.ac.cn

作者简介:杨继松(1978~),男,山东人,博士生,主要从事环境生态与生物地球化学研究.E-mail: yangjisong@neigae.ac.cn

<sup>\*</sup> 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liujingshuang@neigae.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 90211003); The Key Knowledge Innovation Project in the Environmental and Resources Field, Chinese Academy of Sciences (No. KACX3-SW-332)

生态学报

contrast to N dynamics, P concentrations of all litter types apparently decreased during the first month, then continued to decline in C. pa, remained constant in C. la and D. aa and slightly increased in D. aa-Srb. At the end of the experiment, P concentrations decreased by 56%, -5%, 47% and 24% of the initial values for C. la, C. pa, D. aa and D. aa-Srb, respectively. Net P release was observed in all marsh litter over 480 days of decomposition and the intensity of P release was different among communities which might be regulated by ratios of initial C:P. The results suggested that in the marsh with N limitation litter tended to accumulate N and release P during the decomposition and the intensity of accumulation or release was closely related to the ratios of initial C:N and C:P, respectively.

Key words: litter decomposition; N and P dynamics; accumulate; release; marsh; Sanjiang Plain

枯落物分解在湿地生态系统营养循环中起着重要作用。枯落物中营养元素的动态变化与分解速率密切 相关,并直接决定湿地生态系统的营养状况,最终影响到系统的生产力<sup>[1]</sup>。湿地枯落物的分解速率及营养动 态与微生物的活动密切相关<sup>[2]</sup>,而取决于湿地所处的物理和化学条件以及枯落物本身的生化性质<sup>[3-7]</sup>。物理 和化学因素,包括温度、水文形式以及湿地水性质等,影响分解者的活性和枯落物的分解特征。Neckles 和 Neill<sup>[8]</sup>研究发现,淹水缩短了分解在 N 淋溶和固持阶段滞留的时间,提高了地表枯落物的湿度而促进分解的 进行。枯落物本身的生化性质包括木质素及营养元素的含量,特别是凋落物的 N、P 含量是作为分解者的营 养需求与分解速率联系在一起的<sup>[9]</sup>。如 N 含量贫乏的枯落物分解较慢的原因是由于 N 的缺乏限制了微生物 的活性,微生物须从外部获得有效 N 源以补充其需要,此时发生 N 的固持,枯落物中 N 的绝对量趋向于升 高<sup>[10,11]</sup>。湿地不同的植物种类有着不同的生物量和营养分配模式及其适应的生境类型,都将会潜在影响到湿 地枯落物的分解方式<sup>[12]</sup>。本文以典型的沼泽湿地作为研究地,目的是通过对比研究不同群落中枯落物的分 解速率及其 N、P 浓度和绝对量的变化,探讨淹水状况和枯落物性质对分解及其营养动态的影响。

#### 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验布置在中国科学院三江平原沼泽湿地生态实验站碟形洼地内(47°35′N,133°31′E)。挂地海拔高度 55.4~57.9m,坡降1:5000 左右。1 月平均气温 – 18~ – 21℃,7 月平均气温 21~22℃,年均温 1.6~1.9℃;冻 结期5 个月,最深冻深达 1.9m<sup>[13]</sup>。年降水量 565~600mm,60% 以上集中在 6~8 月份,年蒸发量 542.4~ 580mm。沿洼地中心到边缘分布的主要植物群落类型为漂筏苔草(*Carex pseudocuraica*)、毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)、小叶章(*Deyeuxia angustifolia*)和小叶章-灌丛(*Deyeuxia angustifolia-Shrub*)。文中分别记为:*C.pa*、 *C.la*、*D.aa*和*D.aa-Srb*。上述植物群落依次处于洼地的常年淹水区(7~25cm)、常年淹水区(5~20cm)、季节 性淹水区(-8~5cm)和无淹水区。土壤类型依次为泥炭沼泽土、腐殖质沼泽土和草甸沼泽土。

## 1.2 研究方法

枯落物分解采用分解袋法。分解袋由孔径 0.5mm 的尼龙网制成,规格为 20cm × 20cm。枯落物的收集在 2003 年 4 月末进行,为了降低冬季积雪压覆对枯落物破碎作用的影响,故本试验采用的是现有植物的立枯体。在 C.pa、C.la 和 D.aa 群落内收集漂筏苔草、毛果苔草和小叶章的立枯体,带回实验室剪成 10cm 左右的小段,装进分解袋,每袋装 20g(烘干重)。5 月 1 日将分解袋随机投放到相应群落内。小叶章群落(D.aa)和小叶章-灌丛群落(D.aa-Srb)投放的为装有同一种小叶章立枯体的分解袋。分解袋投放后的 30、60、90、120、360、390、420、450d 和 480d 分别取回 3 袋,带回实验室拣出植物根系、苔藓及泥土颗粒,70℃烘干至恒重。称重后,将每组的重复样品混合,磨碎,过 0.25mm 筛,用于样品中 TC、TN 和 TP 含量的测定。样品中 TC、TN 和 TP 含量的测定。样品中 TC、TN 和 TP 含量的测定。样品中 TC、TN

根据 Olson<sup>[15]</sup> 指数衰减模型  $\ln(X_i/X_0) = -kt$ ,对分解残留率数据进行自然对数转换后,线性拟和得到分解速率常数  $k(d^{-1})$ 值(表 1)。式中, $X_i$  为经时间 t(d)后枯落物的分解残留量; $X_0$  为枯落物的初始量;k 为分解速率常数;t 为分解进行的时间(d)。枯落物中 N、P 绝对量的变化用初始量的百分率表示,百分率大于 100

(%),说明枯落物中的元素发生了净积累,百分率小于100(%),说明枯落物中的元素发生了净释放。

### 2 结果与分析

#### 2.1 湿地枯落物的分解动态

480d 的分解期间,湿地枯落物的分解动态均表现为快一慢交替的周期性变化特征(图1)。5~10 月为主要分解期,占当年分解量的75%以上,早春及冬季分解缓慢甚至停止分解。分解 480d 后,4 个投放点枯落物的干物质分别损失初始量的45.36%(C.pa)、35.32%(C.la)、33.72%(D.aa)和29.13%(D.aa-Srb)(图1),即沿洼地中心到边缘,由常年淹水区→季节性淹水区→不淹水区分解失重率依次减小。其相应的分解速率在0.000612~0.000945d<sup>-1</sup>之间,95%分解需要的时间分别为8.3a、11.3a、12.1a和13.3a(表1)。枯落物的分解速率在群落间差异显著(p = 0.036),且漂筏苔草枯落物的分解速率明显高于小叶章枯落物的分解速率(p = 0.0018)。

表1 枯落物物质残留率自然对数(y)与分解天数(≀)的回归方程及其相应参数

	Table 1 Equations and parameters of natural logarithm $(y)$ of mass remaining regressed on decomposition days $(t)$					
枯落物类型 Litter type	方程 Equation	k	R <sup>2</sup>	р	分解时间 Time for decomposition (d)	$t_{0.95}(a)$
C.pa	y = -0.1334 - 0.000945t	0.000945	0.859	0.0001	480	8.3
C.la	y = -0.05584 - 0.000716t	0.000716	0.865	< 0.0001	480	11.3
D.aa	y = -0.01428 - 0.000675 t	0.000675	0.929	< 0.0001	480	12.1
D . aa-Srb	y = -0.02833 - 0.000612t	0.000612	0.906	< 0.0001	480	13.3

k:分解速率常数 Constant of decomposition rate; t0.95:95%干物质分解需要的时间(a) Time (a) needed for 95% of dry mass decomposed

### 2.2 枯落物分解过程中 N、P 变化动态

漂筏苔草和毛果苔草枯落物 N 的浓度在分解的第 一个月内迅速增加至初始浓度的 2.5 倍和 2.3 倍,随后 以相对较小的速率继续增加,至 480d,其浓度分别增至 初始浓度的 3.8 和 3.4 倍(图 2)。两种群落中小叶章枯 落物 N 浓度的变化趋势基本一致。分解的第 1 个月,N 浓度均快速下降至初始浓度的 69%,随后又缓慢上升, 至试验结束其浓度接近于初始浓度(C.V. < 20%)(图 2)。480d 的分解期间,漂筏苔草和毛果苔草枯落物 N 绝对量的变化范围分别为初始量的 157% ~ 226% 和 177% ~ 237%,而小叶章枯落物 N 的相应值则为 56% ~ 78%(D.aa)和 63% ~ 91%(D.aa-Srb),说明分解过程 中 N 在漂筏苔草和毛果苔草枯落物中发生了净积累, 而在小叶章枯落物中发生了净释放。



误差标志线为标准误 Error bars indication ± one standard deviation

湿地枯落物 P 的浓度在分解进行的第 1 个月内均经历了一个明显的快速下降过程,P 浓度分别下降了 31%(C.pa)、13%(C.la)、37%(D.aa)和 54%(D.aa-Srb)(图 2)。随后的时间内,漂筏苔草枯落物 P 的浓度 总体上呈继续下降趋势,毛果苔草和小叶章枯落物 P 的浓度呈波状变化,但总的趋势比较平稳,而小叶章 - 灌 丛枯落物 P 的浓度略有上升(图 2)。480d后,4 种群落中枯落物 P 浓度较初始浓度的下降幅度分别为:56%、 - 5%、47%和 24%。分解过程中,各类枯落物 P 绝对量的变化范围为初始量的 12%~80%,说明湿地枯落物 P 均发生了净释放,且湿地类型不同 P 的净释放强度也不相同(p = 0.003)。

#### 3 讨论

3.1 湿地枯落物的分解动态

枯落物的化学性质和所处的环境条件是影响其分解的主要因素<sup>[6,8,16,17]</sup>。一般认为,初始 C:N 较高的枯落物分解得较慢<sup>[8,11,18]</sup>。虽然本研究中各类枯落物的初始 C:N 差异显著(*p* = 0.021)(图 3),但小叶章枯落物

1300

相对较低的 C:N(129)并没有导致较快的分解速率,相反,具有较高 C:N 的漂筏苔草(210)和毛果苔草(314)枯落物的分解速率反而相对较高(表1),其分解速率基本上按淹水梯度而变化,即随淹水深度由大到小、淹水时间由长到短,枯落物分解由快到慢。这说明枯落物性质不是决定三江平原湿地枯落物分解速率的主要因素, 淹水状况的差异可能是主要原因。





Fig. 2 Changes of nitrogen and phosphorous of different marsh litter during the decomposition



图 3 分解过程中枯落物的 C:N 及 C:P 的变化

Fig.3 Changes of C:N and C:P ratios of different marsh litter during the decomposition

漂筏苔草、毛果苔草处于常年淹水环境,故地表枯落物能经常保持较大的湿度,为微生物分解提供了有利的条件<sup>[8]</sup>。更重要的,可能是由于常年存在的沼泽水为微生物提供了大量易获得性可溶营养物质,从而抵消 了高 C:N 和 C:P 对枯落物分解速率的影响<sup>[19, 20]</sup>。小叶章和小叶章-灌丛分别处于季节性淹水环境和无淹水 环境,无论是淹水的深度和淹水历经的时间均小于漂筏苔草和毛果苔草群落,因此,比较而言,分解过程中的 相当一部分时间小叶章枯落物的湿度较低,微生物的侵入性可能受到不利影响;另一方面,小叶章枯落物较低 的分解速率还可能与分解过程中 N、P 的快速损失有关。分解第 1 月内小叶章枯落物 N、P 均迅速下降,虽然 后期其浓度有所上升,但由于缺少外部(特别是沼泽水)的 N 源供给,导致 C:N、C:P 相对较高(图 3),甚至高 于枯落物的初始值,以致微生物活性受到营养供给的限制,分解速率相对较低。

3.2 N、P 变化动态

分解过程中,枯落物 N 浓度的变化趋势分别与刘景双等<sup>[19]</sup>和 Gessner<sup>[20]</sup>的研究一致。刘景双等<sup>[19]</sup>在三江

5期

平原的研究中发现,毛果苔草枯落物 N 浓度在分解初期开始升高,80d 达最大值后开始下降,而小叶章枯落物 N 浓度初期快速下降,随后波状上升,并认为 沼泽水可能是枯落物 N 浓度阶段性升高的主要贡献者。Gessner<sup>[20]</sup>研究表明,淹水条件下,*Phragmites australis* 的茎、叶、鞘在分解过程中相应枯落物 N 的浓度均为上升 趋势,认为这与枯落物中微生物对外来氮源的固定有关,特别是湖水可能是重要的氮源供给者。由此可见,分解过程中枯落物对 N 的持留与微生物的 N 固定有关。Gessner<sup>[21]</sup>认为微生物对营养物质的固定是影响枯落物 营养动态的重要过程,营养固定的结果,枯落物中的营养浓度升高,甚至绝对量的增加。微生物对 N 的固定 与枯落物的初始 C:N 和可利用性 N 的易获得性关系密切<sup>[22]</sup>。漂筏苔草和毛果苔草的枯落物具有较高的初始 C:N (图 3),微生物需要从外界摄取 N 源营养来维持其分解活性,而沼泽水中的可利用性 N 为该过程提供易获得性 N 源。小叶章和小叶章-灌丛枯落物的初始 C:N 相对较低(129)(图 3),其自身 N 源能够满足分解者的 需求,枯落物中过剩的 N 向外界释放。此外,C:N 的高低还与枯落物 N 积累或释放的强度有关。相对于毛果 苔草而言,漂筏苔草枯落物具有较低的初始 C:N 和 N 积累强度,这说明在低 N 含量枯落物分解过程中,微生 物有从外界固定 N 的趋势,且含 N 量逾低的枯落物其固定 N 的趋势逾强。这与 Baker 等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。

与枯落物 N 动态不同的是,分解过程中枯落物 P 的绝对量均低于初始量,P 处于释放状态。枯落物中 P 的释放可能与 P 的淋溶流失有关<sup>[23]</sup>。因为在植物组织中,P 主要以磷酸根离子或化合物的形态存在,极易被淋溶而损失<sup>[24]</sup>。另一方面,由于枯落物初始 N:P 在 2~8 之间,表明研究所在湿地处于 N 限制状态<sup>[25]</sup>,枯落物 分解过程中微生物的营养需求不受 P 供给的限制,而过量的 P 又会限制微生物的活性,导致枯落物 P 的释放。同样,P 的释放强度也与枯落物初始 C:P 的高低有关。相对于毛果苔草(1634)而言,漂筏苔草枯落物具有较低的初始 C:P(410)和较高的 P 释放,这说明在 N 限制型湿地中,枯落物的分解有使 P 向外界释放的趋势,且高 P 含量枯落物分解释放 P 的强度较大。这与 Ribeiro<sup>[26]</sup>的研究结果一致。

#### **References:**

- [1] Moretto A S, Distel R A. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of *Poa ligularis* and *Stipa gyneriodes*. Journal of Arid Environments, 2003, 55(3): 503 ~ 514.
- [2] Wang L X, Wang J, Huang J H. Comparision of major mutrient release patterns of *Quercus liaotungensis* leaf litter decomposition in different climatic zones. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(4): 399 ~ 407.
- [3] Davis S M. Growth, decomposition, and nutrient retention of *Cladium jamaicense* Crantz and *Typha domingensis* Pers. in the Florida Everglades. Aquatic Botany, 1991, 40(3): 203 ~ 224.
- [4] Vitousek P M, Turner D R, Parton W J, et al. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawai' I. Patterns, mechanisms, and models. Ecology, 1994, 75(2): 418 ~ 429.
- [5] Kalburtji K L, Mosjidis J A, Mamolos A P. Litter dynamics of low and high tannin sericea lespedeza plants under field conditions. Plant and Soil, 1999, 208(2): 217 ~ 281.
- [6] Lee A A, Bukaveckas P A. Surface water nutrient concentrations and litter decomposition rates in wetlands impacted by agriculture and mining activities. Aquatic Botany, 2002, 74(4): 273 ~ 285.
- [7] Ross D J, Tate K R, Newton P C D, et al. Decomposability of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grass litter sampled under different concentrations of atmospheric carbon dioxide at natural CO<sub>2</sub> spring. Plant and Soil, 2002, 240(2): 275 ~ 286.
- [8] Neckles H A, Neill C. Hydrologic control of litter decomposition in seasonally flooded prairie marshes. Hydrobiologia, 1993, 286(3): 155~165.
- [9] Enríquez S, Duarte C M, Sand-Jensen K. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. Oecologia, 1993, 94(3): 457 ~ 471.
- [10] Wang J, Huang J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperature zone of China. Acta Phytoecologica Sinica, 2001, 25(3): 375 ~ 380.
- [11] Baker III T T, Lockaby B G, Conner W H, et al. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four southern forested floodplain communities. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65(4): 1334 ~ 1347.
- [12] Koukoura Z, Mamolos A P, Kalburtji K L. Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland. Applied Soil Ecology, 2003(1), 23: 13 ~ 23.
- [13] Zhao K Y. Mire of China. Beijing: Science Press, 1999. 205.

- [14] Li Y K. Conventional Methods of Agricultural Chemistry Analysis in Soil. Beijing: Science Press, 1983. 272 ~ 277.
- [15] Olson J S. Energy storage and the balance of products and decomposers in ecological systems. Ecology, 1963, 44(2): 322 ~ 331.
- [16] Valiela I, Teal J M, Allen S D, et al. Decomposition in salt marsh ecosystems: The phases and major factors affecting disappearance of above-ground organic matter. Journal of Experiment Marine Biology and Ecology, 1985, 89(1): 29 ~ 54.
- [17] Hemminga M A, Buth G J C. Decomposition in salt marsh ecosystems of the S. W. Netherlands: the effects of biotic and abiotic factors. Plant Ecology, 1991, 92(1): 73 ~ 83.
- [18] Aerts R, van Logtestijn R, van Staalduinen M, et al. Nitrogen supply effects on productivity and potential leaf litter decay of Carex species from peatlands differing in nutrient limitation. Oecologia, 1995, 104(4): 447 ~ 453.
- [19] Liu J S, Sun X L, Yu J B. Nitrogen content variation in litters of Deyeuxia angustifolia and Carex lasiocarpa in Sanjiang Plain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(6): 898 ~ 902.
- [20] Gessner M O. Breakdown and nutrient dynamics of submerged *Phragmites* shoots in the littoral zone of a temperate hardwater lake. Aquatic Botany, 2000, 66(1): 9 ~ 20.
- [21] Gessner M O. Mass loss, fungal colonisation and nutrient dynamics of *Phragmites australis* leaves during senescence and early aerial decay. Aquatic Botany, 2001, 69(2 ~ 4): 325 ~ 339.
- [22] Köchy M, Wilson S D. Litter decomposition and nitrogen dynamics in Aspen forest and Mixed-grass prairie. Ecology, 1997, 78(3): 732 ~ 739.
- [23] Puriveth P. Decomposition of emergent macrophytes in a Wisconsin marsh. Hydrobiologia, 1980, 72(3): 231 ~ 242.
- [24] Wen D Z, Wei P, Zhang Y C, et al. Dry mass loss and chemical changes of the decomposed fine roots in three China south subtropical forests at Dinghushan. Chinese Journal of Ecology, 1998, 17(2): 1~6.
- [25] Tessier J T, Raynal D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. Journal of Applied Ecology, 2003, 40(3): 523 ~ 534.
- [26] Ribeiro C, Madeira M, Araújo. Decomposition and nutrient release from leaf litter of Eucalyptus globules grown under different water and nutrient regimes. Forest Ecology and Management, 2002, 171: 31 ~ 41.

#### 参考文献:

- [10] 王瑾,黄建辉.暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较.植物生态学报,2001,25(3):375~380.
- [13] 赵魁义. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社, 1999. 205.
- [14] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京:科学出版社, 1983. 272~277.
- [19] 刘景双,孙雪利,于君宝.三江平原小叶章、毛果苔草枯落物中氮素变化分析.应用生态学报,2000,11(6):898~902.
- [24] 温达志,魏平,张佑昌,等.鼎湖山南亚热带森林细根分解干物质损失和元素动态.生态学杂志,1998,17(2):1~6.