

文章编号: 1007-0435(2001)02-0128-05

# 青藏高原金露梅灌丛与矮嵩草草甸 枯枝落叶的分解作用

王启兰, 姜文波

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008)

**摘要:** 研究青藏高原金露梅灌丛和矮嵩草草甸两种植被类型枯枝落叶分解作用强度及其随着埋放时间延长的变化规律。结果表明, 两种植被的枯枝落叶在埋放的前3个月均显示出明显的分解效果, 其总分解率分别达到20.31%和30.4%, 随后分解率逐渐降低, 埋放后5个月的总分解率仅为前3个月的37.60%和39.33%。矮嵩草草甸枯枝落叶的分解率显著高于金露梅灌丛。土壤温度、微生物数量和枯枝落叶本身的化学成分是影响分解率的主要因素。与其相比, 动物粪便的分解率很低。

**关键词:** 金露梅灌丛; 矮嵩草草甸; 分解率; 枯枝落叶; 微生物生物量; 动物粪便

**中图分类号:** S812 **文献标识码:** A

## Litter Decomposition of *Potentilla fruticosa* Shrub and *Kobresia humilis* Meadow in Qinghai-Tibet Plateau

WANG Qi-lan, JIANG Wen-bo

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Science, Xining 810008, China)

**Abstract:** This study on litter decomposition of *Potentilla fruticosa* shrub and *Kobresia humilis* meadow in Qinghai-Tibet plateau was carried out at the Haibei research station from Oct of 1997 to Dec of 1999. The decomposition rates were assessed by using litter bag method. Samples were retrieved at regular intervals, and the weightlessness of samples was measured. The results shown as follows:

1. The litter decomposition rates of two kinds vegetation types were shown a significant seasonal dynamics, with a fast litter mass loss in the first three months and there were no obvious increase in the litter mass loss during late five months.
2. Comparison of the litter decomposition rate between two kinds vegetation types was indicated that the decomposition rate of *Kobresia humilis* meadow was obviously higher than that of *Potentilla fruticosa* shrub ( $P < 0.01$ ).
3. The soil temperature, the numbers of microorganism and the chemical composition of litter itself are the main factors what affect the litter decomposition rate.
4. Comparison between the decomposition rate of litter and different feces was shown that the decomposition rates of feces were much lower than that of litters.

**Key words:** *Potentilla fruticosa* Shrub; *Kobresia humilis* meadow; Decomposition rate; Litter; Microbial biomass; Animal feces

在陆地生态系统中, 植物通过光合作用合成的有机物是生态系统有机物的主要来源, 初级生产力

中除因生命活动在生态系统各营养级流动消耗的以外, 其绝大部分最终以枯枝落叶的形式进入土壤, 而

收稿日期: 2000-12-14; 修回日期: 2001-02-22

基金项目: 中国科学院北海高寒草甸生态系统定位站基金和国家自然科学基金(30070147)资助

作者简介: 王启兰(1964-), 女, 副研究员, 现在中国科学院西北高原生物研究所工作, 从事微生物生态学的研究

微生物作为生物圈的三大成员之一,是土壤圈中自然界物质转化最活跃的因素。土壤微生物在有机质矿化、腐殖质的形成、分解和植物营养元素的转化等诸多过程中起着不可替代的作用。不同的微生物生理类群分别担负着生态系统中不同物质的分解转化功能。枯枝落叶的分解又影响着营养物质的转化、能量流动以及碳的循环,并为土壤中的微生物提供了重要的营养和能源,其成分和数量将影响着土壤微生物区系的种类组成和数量分布。

国内外对枯枝落叶分解作用的研究大多集中于森林生态系统和农田生态系统等<sup>[1-6]</sup>,而对青藏高原高寒植被类型的枯枝落叶分解作用的研究尚不多见。青藏高原气候寒冷,植被生产力低下,微生物活动并不旺盛,枯枝落叶的分解非常缓慢,虽土壤库有机质储量丰富,但因受土壤微生物与酶活性的制约,有机质矿化作用甚微。生态系统的生产者、消费者、与分解者之间维持着低水平的养分供求关系。所以进行枯枝落叶分解作用的研究,对揭示生态系统物质循环的规律以及促进初级生产力的发展有着重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 试验于1997年10月~1999年12月在中国科学院海北高寒草甸生态系统开放实验站进行。选择典型金露梅灌丛(*Potentilla fruticosa* Shrub)和矮嵩草草甸(*Kobresia humilis* Meadow)为试验样地。

1.1.2 1997年10月分别采集枯黄期的金露梅灌丛和矮嵩草草甸的枯枝落叶10 kg,置入80℃烘箱烘至恒重。选择采集新鲜的动物粪便,用80℃温水浸泡24 h,除去溶于水的软成分,置入80℃烘箱烘至恒重。

1.1.3 称5 g上述样品装入10 cm × 10 cm 260目网孔的尼龙网袋。1998年4月初将装有枯枝落叶的800个网袋分别在金露梅灌丛和矮嵩草草甸样地地表随机固定,将装有粪便的400个网袋在矮嵩草草甸样地地表随机固定。从5月起每月随机取7~8个样袋,分析测定。

### 1.2 测定方法

枯枝落叶的分解作用以其分解的百分率表示。

回收样袋在80℃烘干称重后置于马福炉700℃灼烧6 h,冷却至室温后再称量。采用同样方法测定土壤灼烧后的灰分重,计算干土与土壤灰分的比值系数。枯枝落叶和粪便的分解率<sup>[9]</sup>用以下公式:

$$\text{枯枝落叶和粪便分解率(\%)} = [\text{埋放前干重} - (\text{回收后干重} - \text{灰分重} \times \text{比值系数})] / \text{埋放前干重} \times 100$$

## 2 结果与分析

### 2.1 枯枝落叶分解作用的季节变化

2.1.1 两类植被枯枝落叶的月均净分解率均呈现明显的季节性变化(表1)。分解率从5月迅速升高,7月达到最高值(12.06%; 9.24%),随后分解率逐渐下降。在枯枝落叶分解早期,由于受土壤本身的有机碳和枯枝落叶中易分解碳的高含量,使得分解物如淀粉、氨基酸、小分子糖类等易被分解。月均净分解率在最初的3个月迅速增加。在后期,由于易分解成分含量相对减小,难以分解成分如木质素、单宁等含量相对升高,导致分解率逐渐降低。从每月的总分解率来看,初期总分解率几乎以直线上升,7月以后上升平缓(图1)。Tietema<sup>[10]</sup>提出分解作用二相阶段,初期为相对快速的新鲜有机质分解阶段,其特点为可溶性有机成分和无机盐类的分解,由原生动物的同化和异化作用以及土壤渗滤作用所致。后期为慢速的高C/N、高木质素/N的顽拗有机质分解,主要由真菌类的担子菌、半知菌、子囊菌以及少数种类的细菌和放线菌进行分解<sup>[5,10,11]</sup>。

2.1.2 对枯枝落叶月均净分解率新复极差检验结果表明,分解率在月际之间显示出不同程度的差异(表2)。金露梅灌丛枯枝落叶月均分解率在5~6月和8~9月之间,差异极显著( $P < 0.01$ ),6~7月和7~8月之间,差异显著( $P < 0.05$ ),而9~12月间差异不显著。矮嵩草草甸在5~6月、7~8月、8~9月和9~10月之间差异均极显著( $P < 0.01$ ),6~7月、10~12月之间的分解率差异不显著。这种差异与植物不同生长时期如返青期、草盛期、枯黄期等有关。

### 2.2 两类植被枯枝落叶分解作用比较

经无重复双因素方差分析,矮嵩草草甸枯枝落叶分解率显著高于金露梅灌丛( $P < 0.01$ )。由于金露梅灌丛分布于冷湿山地阴坡,多为夏秋草场,时值

雨水充沛,牛羊啃食时反复践踏,地表紧实,通气度较差。而枯枝落叶的分解是一个好气过程,在土壤中分解的快慢,除取决于本身的化学成分外,还受通气状况、温度、湿度和酸碱等条件的影响。枯枝落叶化学成分分析,结果表明,针叶枯枝落叶中木质素的含量均显著高于阔叶枯枝落叶<sup>[12]</sup>,在金露梅灌丛,除

落叶灌木外,草本层以线叶嵩草为优势种,主要伴有双叉细柄茅、藏异燕麦、早熟禾等禾本科植物,而矮嵩草草甸,除建群种矮嵩草外,主要伴生种有早熟禾、小嵩草、天蓝苜蓿、黄芪、异叶米口袋、麻花苻、雪白委陵菜、美丽凤毛菊、花苜蓿等。不同植被类型枯枝落叶由于其所含化学成分不同,分解率则各异<sup>[3,4,13]</sup>。

表1 枯枝落叶分解率

Table 1 Litter decomposition rate

| 植被<br>Vegetation                                    | 项目<br>Item                  | 5月<br>May | 6月<br>June | 7月<br>July | 8月<br>Aug | 9月<br>Sept | 10月<br>Oct | 11月<br>Nov | 12月<br>Dec |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 金露梅灌丛<br><i>Potentilla<br/>f. ruticosa</i><br>Shrub | 总分解率<br>Total value         | 4.16      | 11.07      | 20.31      | 28.20     | 29.56      | 30.54      | 31.74      | 32.55      |
|                                                     | 月均分解率<br>Mean monthly value | 4.16      | 6.91       | 9.24       | 7.89      | 1.36       | 0.98       | 1.20       | 0.81       |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia<br/>humilis</i><br>Meadow      | 总分解率<br>Total value         | 6.37      | 18.39      | 30.45      | 37.91     | 42.85      | 45.65      | 48.37      | 50.19      |
|                                                     | 月均分解率<br>Mean monthly value | 6.37      | 12.02      | 12.06      | 7.46      | 4.95       | 2.80       | 2.72       | 1.81       |

表2 枯枝落叶分解率的季节性差异

Table 2 Seasonal difference of litter decomposition rate

| 月份<br>Month | 金露梅灌丛<br><i>Potentilla f. ruticosa</i> shrub |                                             |   | 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> meadow |                                             |    |
|-------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---|-----------------------------------------|---------------------------------------------|----|
|             | 月均分解率<br>Mean monthly value (%)              | 差异显著<br>Significant difference<br>0.05 0.01 |   | 月均分解率<br>Mean monthly value (%)         | 差异显著<br>Significant difference<br>0.05 0.01 |    |
| 7月 July     | 9.24                                         | a                                           | A | 12.06                                   | a                                           | A  |
| 8月 Aug      | 7.89                                         | b                                           | A | 12.02                                   | a                                           | A  |
| 6月 June     | 6.91                                         | b                                           | A | 7.46                                    | b                                           | B  |
| 5月 May      | 4.16                                         | c                                           | B | 6.37                                    | b                                           | BC |
| 9月 Sep      | 1.36                                         | d                                           | C | 4.95                                    | c                                           | C  |
| 10月 Oct     | 0.98                                         | d                                           | C | 2.80                                    | d                                           | D  |
| 12月 Dec     | 0.81                                         | d                                           | C | 1.81                                    | d                                           | D  |

## 2.3 枯枝落叶分解作用与土壤温度的关系

2.3.1 相关分析结果表明,枯枝落叶的分解率与地表温度之间呈显著相关关系( $r$ 分别为0.8196和0.8096,  $P < 0.01$ )。从表3可看出,两种植被地表温度的最高值均出现在7月,枯枝落叶月均净分解率的最高值也出现在7月。7月以后,地表温度迅速下

降,枯枝落叶分解率则随之明显减小。在海北高寒草甸生态系统中,温度作为影响生命活动的主导因子,无论对微生物的数量、酶活性,还是对枯枝落叶的分解作用,均起着决定性的主导作用。这与Colorado的高寒冻原生态系统的结果很相似,低温是生态系统生物活性的主要限制因素<sup>[8]</sup>。由于矮嵩草草甸地

表3 金露梅灌丛与矮嵩草草甸月均地表温度(1998)

Table 3 Mean monthly temperature (°C) of soil surface of *Potentilla f. ruticosa* shrub and *Kobresia humilis* meadow in 1998

| 植被<br>Vegetation                             | 5月<br>May | 6月<br>June | 7月<br>July | 8月<br>Aug | 9月<br>Sept | 10月<br>Oct | 11月<br>Nov | 12月<br>Dec |
|----------------------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 金露梅灌丛<br><i>Potentilla f. ruticosa</i> Shrub | 7.09      | 6.04       | 9.69       | 9.17      | 7.02       | 1.82       | -3.12      | -5.92      |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> Meadow      | 10.9      | 13.9       | 14.9       | 14.1      | 10.8       | 2.8        | -4.8       | -9.1       |

处平缓滩地, 平均地表温度比地处山地阴坡的金露梅灌丛地表温度高 0.65, 其枯枝落叶的分解率则明显高于金露梅灌丛。

2.3.2 在海北高寒草甸生态系统中, 降水丰富, 一般在 440 mm 以上, 水分条件不成为生命活动的限制因素。相关分析结果表明, 分解率与土壤含水量之间相关关系不显著 ( $P > 0.05$ )。而土壤中氮、磷有效率很低, 不仅成为限制初级生产力的重要因素, 而且也对土壤微生物的数量和活性有明显的影响。在大尺度生态系统变化中, 由养分限制因素导致微生物的地带形发生变化, 也是造成枯枝落叶分解率变化的主要因素。

### 2.4 枯枝落叶分解作用与菌丝生物量的关系

两类植被的真菌菌丝生物量(表 4)与枯枝落叶

表 4 真菌菌丝生物量季节变化( $10^{-4}$  g 干重/g 干土)

Table 4 Seasonal dynamics of hyphal biomass ( $10^{-4}$  g dry weight/g dry soil)

| 植被<br>Vegetation                           | 5 月<br>May | 6 月<br>June | 7 月<br>July | 8 月<br>Aug | 9 月<br>Sept | 10 月<br>Oct | 11 月<br>Nov | 12 月<br>Dec |
|--------------------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 金露梅灌丛<br><i>Potentilla fruticosa</i> Shrub | 0          | 5.57        | 6.24        | 7.71       | 6.13        | 0           | 0           | 0           |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> Meadow    | 0          | 4.66        | 6.30        | 7.41       | 4.39        | 0           | 0           | 0           |

表 5 枯枝落叶月均分解率与微生物生物量相关分析

Table 5 Correlation analyses on mean monthly decomposition rate and microbial biomass

| 植被<br>Vegetation                           | 回归方程<br>Regression equation | r<br>Correlation coefficient |
|--------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 金露梅灌丛<br><i>Potentilla fruticosa</i> shrub | $Y = 1.763 + 0.719X$        | 0.717523*                    |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> meadow    | $Y = 3.617 + 0.934X$        | 0.735836*                    |

### 2.5 枯枝落叶分解作用与动物粪便分解作用的比较

枯枝落叶作为植物的凋落物直接进入土壤, 而动物粪便则是植物经动物消化道酶作用后的排泄物。两者之间的分解率差异显著(表 6)。不同动物粪便约经 5 个月的分解, 其总分解率分别为 17.22%、13.30%、15.46% 和 15.30%。而两类植被的枯枝落叶经相应长的时间后, 总分解率分别为 29.56% 和 42.85%。远远大于动物粪便的分解率。在有机质的分解过程中, 微生物首先分解小分子糖类、氨基酸、蛋白质等, 进而分解半纤维素, 再分解纤维素, 然后

月均净分解率间也呈现显著相关关系 ( $P < 0.05$ ) (表 5)。真菌作为生态系统的重要组成部分, 在整个时间、空间格局的形成、功能的发挥以及在系统的发展过程(如恢复、演替及维持)中, 都占有十分重要的地位<sup>[14]</sup>。真菌菌丝作为高寒草甸生态系统中最活跃的分解者, 对碳、氮、磷、硫等元素的循环以及腐殖质等一些顽拗有机质的降解起着关键的作用。当新鲜植物残体加入土壤后, 首先受到原生动物的分解, 真菌和部分细菌的分解。初期分解到一定程度后, 小动物的取食活动开始活跃, 通过小动物取食及排泄过程, 能使有机体被粉碎, 从而增大有机质的表面积, 更加剧了真菌和细菌的分解作用。所以菌丝生物量与分解作用的强度是密切相关的<sup>[9, 10]</sup>。土壤中枯枝落叶的分解是土壤微生物和各种非生物因子的协同作用。

分解甲壳质, 最后依次分解木质素和腐殖质。随着分解过程的进行, 分解残余物中的 C/N 比越来越高, 也越来越难分解。所以动物粪便的分解过程相当于从分解半纤维素、纤维素或甲壳质开始, 被分解物的化学成分决定了它的低分解率。

表 6 动物粪便总分解率(%)

Table 6 Seasonal dynamics of the total decomposition rate (%) of animal feces

| 处理<br>Treatment    | 分解天数<br>Decomposition day |       |       |       |       |
|--------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 25                        | 63    | 83    | 115   | 152   |
| 绵羊粪<br>Sheep feces | 4.84                      | 5.82  | 8.48  | 12.51 | 17.22 |
| 马粪<br>Horses feces | 9.29                      | 10.05 | 11.15 | 11.51 | 13.30 |
| 牛粪<br>Oxen feces   | 5.95                      | 6.95  | 10.67 | 11.93 | 15.46 |
| 鼠粪<br>Mice feces   | 4.96                      | 6.03  | 8.30  | 11.84 | 15.30 |

## 3 结语

枯枝落叶的分解不仅与土壤微生物的数量、种类有关, 也与枯枝落叶的化学组成以及环境中的非

生物因素如温度、水分、土壤通气状况等有关。枯枝落叶的分解状况对土壤各种性状产生非常重要的影响。枯枝落叶被分解转化为土壤腐殖质的过程进行得越强烈,对改善土壤状况的影响就表现得越明显,从而使土壤的物理结构得以改善,使有效养分不断得到补充,使生态系统的生产力稳定地维持在较高的水平上。当分解过程缓慢时,枯枝落叶大量累积,往往使土壤酸性增加,或导致泥炭化,造成无机营养元素淋溶作用加剧,土壤养分状况恶化,最终使生产力降低。

### 参考文献

- [1] 李阜隶 当代土壤微生物学的活跃研究领域[J]. 土壤学报, 1993, 30(30): 229~ 236
- [2] 殷士华 土壤微生物量及其与养分循环的关系研究进展[J]. 土壤学进展, 4: 1~ 18
- [3] Lisanevork N, Michelsen N. Litterfall and nutrient release by decomposition in three plantations compared with a natural forest in the ethiopian highland[J]. Forest Ecology and Management, 1994, 65: 149~ 164
- [4] Cotrufo M F, Ineson P, Rowland A P. Decomposition of tree leaf litters grown under elevated CO<sub>2</sub>: Effect of litter quality [J]. Plant and Soil, 1994, 163: 121~ 130
- [5] Scheu S, Schaeumann J. Decomposition of roots and twigs: Effects of wood type (beech and ash), diameter, site of exposure and macrofauna exclusion[J]. Plant and Soil, 1994, 163: 13~ 24
- [6] Koenig R T, Cochran V L. Decomposition and nitrogen mineralization from legume and non-legume crop residues in a sub-arctic agricultural soil[J]. Biol Fertil Soils, 1994, 17: 269~ 275
- [7] Williams M W, Brooks P D, Seastedt T. Nitrogen and carbon soil dynamics on response to climate change in a high elevation ecosystem in the Rocky Mountains, U. S. A. [J]. Arctic and Alpine Research, 1998, 30(1): 26~ 30
- [8] O'Leary A, Seastedt T R. Landscape patterns of litter decomposition in alpine tundra[J]. Oecologia, 1994, 99: 95~ 101
- [9] 姜文波, 王启兰, 杨涛, 耿博闻 高山草甸土纤维素分解的季节性动态[A]. 高寒草甸生态系统(第4集)[C]. 科学出版社, 183~ 188
- [10] Tietema A, Wessel W W. Microbial activity and leaching during initial oak leaf litter decomposition[J]. Biol Fertil Soil, 1994, 18: 49~ 54
- [11] 黄永清 真菌多样性与森林生态系统的维持与恢复 生物多样性研究的原理与方法[M]. 中国科学技术出版社, 192~ 209
- [12] Das P K, Nath S, Dhyay N M, Banerjee S K. Decomposition of litters and their effect on physicochemical and microbial properties of soil Proc. Indian Natn [J]. Sci Acad, 1993, 59(5): 517~ 524
- [13] Berendse F, Berg B, Bosatta E. The effect of lignin and nitrogen on the decomposition of litter in nutrient-poor ecosystem: A theoretical approach[J]. Can J. Bot, 1987, 65: 1116~ 1120
- [14] Trappe J M, Luoma D L. The ties that bind: Fungi in ecosystem [A]. In: Carroll G C, Wicklow D T. (eds) The fungal community, Its organization and role in the ecosystem (2nd ed) [C]. New York Marcel Dekker, 1992 17~ 27