

# 长白山暗针叶林苔藓枯落物层的降雨截留过程

叶 吉<sup>1,2</sup>, 郝占庆<sup>1\*</sup>, 姜 萍<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**对长白山北坡暗针叶林地面苔藓枯落物层(苔藓植物和枯落叶交织而成的层状结构)持水能力、截留降雨过程及动态变化进行了研究。结果表明苔藓枯落物层持水能力很强,最大持水量相当于 4.8mm 的降雨量,这个结果大于将苔藓与枯落物分开来测定的结果之和,说明成层结构能够提高持水能力。在一次降雨过程中对降雨截留过程的观测发现:持水量刚开始随降雨增加而增加,到一定量时,降雨再增加,持水量反而缓慢下降。对持水动态变化一个月的观测,表明苔藓枯落物层水分蒸发较快,当长时间无雨时,持水量显著下降,当降雨再次发生时,持水量迅速回升,这种动态过程伴随着降雨的发生而不断往复。此外,在夜间苔藓枯落物层有吸收空气中水气的特点,吸收量受空气湿度的影响。

**关键词:**暗针叶林; 持水量; 持水率; 苔藓枯落物层

## Studies on rainfall holding process of the bryophyte and litter layer in coniferous forest of Changbai Mountain

YE Ji<sup>1,2</sup>, HAO Zhan-Qing<sup>1\*</sup>, JIANG Ping<sup>1</sup> (1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. The Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2859~2862.

**Abstract:** The ability of the bryophyte and litter layer (bryophytes interlace with litter) to hold water in dark coniferous forests is studied, and the dynamic process of holding water is observed for one month. The results show that the holding water ability of the bryophyte and litter layer is very strong. The maximal content of holding water is 48.15 t/hm<sup>2</sup>, and the maximal rate of holding water is 773.13%. Then the bryophyte and litter layers are separated and measured respectively for holding water ability. The content of holding water of bryophyte is 27.42 t/hm<sup>2</sup> and the content of holding water of litter is 2.30 t/hm<sup>2</sup>. The sum is 29.72 t/hm<sup>2</sup> less than the content of holding water of bryophyte and litter layer. This shows that keeping layer structure is very important when observing bryophyte hydrologic function. In the process of one rainfall the bryophyte and litter layer can completely absorb about 3mm of rain. When rainfall exceeds 3mm the bryophyte and litter layer begins infiltrating water, but content of infiltrating water is very little when rainfall is under 4.5mm. With rainfall continually increasing the infiltrating water speed becomes fast, but content of holding water still continually increases. Content of holding water gets to the maximal value at 7mm of rainfall, and then begins descending. At last content of holding water sustains at 4.5mm.

In studying the dynamic process of holding water we find that if there is no rain for a long time, content of holding water of the bryophyte and litter layer decreases too much. When rainfall occurs the bryophyte and litter layer can rapidly absorb water. The dynamic process to and fro occurs with raining. On the other hand, we find the bryophyte and litter layer can absorb water from the air at night and evaporate very much at fine daylight.

In summary the bryophyte and litter layer has very important functions in rainfall distribution of dark coniferous forests.

**Key words:** dark coniferous forest; retained water; rate of retained water; bryophyte and litter layer

文章编号: 1000-0933(2004)12-2859-04 中图分类号: Q948 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270224)

收稿日期: 2003-12-19; 修订日期: 2004-07-30

作者简介: 叶吉(1978~), 男, 辽宁, 硕士生, 主要从事生物多样性与森林生态学研究。

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hzq@iae.ac.cn

致谢: 标本的鉴定得到曹同、高谦两位先生的大力帮助, 吴玉环、郭水良两位教授在实验构思上给予了细心的指导, 在此深表感谢

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30270224)

Received date: 2003-12-19; Accepted date: 2004-07-30

Biography: YE Ji, Master candidate, mainly engaged in biodiversity and forest ecology.

暗针叶林是长白山亚高山地区的主要植被类型,分布在海拔 1100m 到 1700m 之间,林下苔藓植物与枯落物交织形成较厚的地被物层。苔藓枯落物层是森林生态系统垂直结构上的主要功能层之一,在保持水土、调节径流,改良土壤理化性质等方面具有重要的作用。有关苔藓植物水文作用方面,在长白山地区研究并不多,曹同<sup>[1]</sup>等对暗针叶林中不同苔藓植物的蓄水能力的测定给了许多启发,本实验在不破坏苔藓层完整性的情况下,将苔藓和枯落物合在一起研究截留降雨过程。所谓的苔藓枯落物层就是指苔藓植物和枯落物交织在一起形成的层状结构。不仅分析了其持水能力,而且在雨季进行了 1 个月的野外观测,以期较为准确地说明苔藓枯落物层对降雨的截留过程,更加准确地对苔藓植物的功能进行评价,更好地保护和利用苔藓植物资源。

1 研究地自然概况与研究方法

1.1 自然概况

研究地点选择在长白山自然保护区北坡海拔 1270m 附近的暗针叶林内,东经 128°08',北纬 42°08',年平均温度约为-0.24~0.27℃,年平均降水约 800 mm<sup>[2]</sup>,降水量的季节分配很不均匀,多集中在夏季。土壤为棕色针叶林土,呈微酸性至酸性反应<sup>[3]</sup>。地面覆盖大量的苔藓植物,主要以塔藓为主,占地面苔藓植物总量的 85%以上。乔木以鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* var. *komarovii*)和臭冷杉(*Abies nephrolepis*)为主。

1.2 研究方法

(1)苔藓枯落物层持水能力的测定 在林内随机选择 20cm×20cm 的原样苔藓枯落物样方 10 个,测定厚度,并分别装入尼龙袋(目的是为了保持其完整性),带回实验室,放在清水中浸泡 24 小时,然后放置在倾斜的筛网上至不滴水时称重,接下来 65℃烘干,测定干重,求得苔藓枯落物层的最大持水量和最大持水率(最大持水量与干重的百分比)。将供试样品中的枯落物和苔藓分开,再重复上面的操作,分别得到苔藓植物和枯落物的最大持水量和最大持水率。

(2)苔藓枯落物层截留降水的测定 2003 年 7 月 10 日到 8 月 9 日,在空旷地放置 5 个虹吸雨量计(雨量计内部的虹吸记录装置已拆掉),切割 5 个 20cm 直径的苔藓枯落物层,测定厚度,并分别完整地放入虹吸雨量计上面的圆筒内,该圆筒下垫有细密的铁丝网(防止杂质堵塞下水通道),雨量计内部放有集水器。每日 6:00 和 18:00 两次对苔藓枯落物称重、计算平均值,同时收集、测定集水器所收集的渗透水量,并放置 3 个雨量筒跟踪降雨量(取平均值)。此外,在上述实验结束后对苔藓枯落物样品烘干称重,然后仍放在原有装置上,进行人工模拟降雨实验,观测其截留渗透动态。

2 结果

2.1 苔藓枯落物层的持水量和持水率

由表 1 可以看出在保持苔藓枯落物层完整的情况下,平均最大持水量为 48.15t/hm<sup>2</sup>,平均最大持水率为 773.13%。当把苔藓植物和枯落物分开以后,其各自的平均最大持水量分别为 27.42 t/hm<sup>2</sup>、2.30 t/hm<sup>2</sup>,二者相加的平均最大持水量仅为 29.72 t/hm<sup>2</sup>,是成层结构时的 61.7%;最大持水率也都比成层结构时小了很多。可见,苔藓枯落物的成层结构能够大大提高持水能力。

表 1 苔藓枯落物层的持水能力

| 样方号<br>Samples | 苔藓枯落物层<br>Layer of bryophyte and litter               |                                              | 苔藓植物<br>Bryophyte                                     |                                              | 枯落物<br>Litter                                         |                                              |
|----------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                | 最大持水量<br>Maximal holding<br>water(t/hm <sup>2</sup> ) | 最大持水率<br>Rate of maximal<br>holding water(%) | 最大持水量<br>Maximal holding<br>water(t/hm <sup>2</sup> ) | 最大持水率<br>Rate of maximal<br>holding water(%) | 最大持水量<br>Maximal holding<br>water(t/hm <sup>2</sup> ) | 最大持水率<br>Rate of maximal<br>holding water(%) |
|                |                                                       |                                              |                                                       |                                              |                                                       |                                              |
| 1              | 43.48                                                 | 756.09                                       | 25.08                                                 | 586.55                                       | 2.35                                                  | 162.07                                       |
| 2              | 48.38                                                 | 796.3                                        | 28.05                                                 | 569.54                                       | 2.23                                                  | 202.27                                       |
| 3              | 47.68                                                 | 788.02                                       | 27.13                                                 | 531.86                                       | 2.25                                                  | 243.24                                       |
| 4              | 50.15                                                 | 768.58                                       | 28.68                                                 | 562.25                                       | 2.48                                                  | 176.79                                       |
| 5              | 51.08                                                 | 756.67                                       | 28.18                                                 | 485.78                                       | 2.20                                                  | 244.44                                       |
| 平均 Mean        | 48.15                                                 | 773.13                                       | 27.42                                                 | 547.20                                       | 2.30                                                  | 205.76                                       |

2.2 苔藓枯落物层在一次降雨中的截留过程

图 1 给出了在人工模拟降雨过程中苔藓枯落物层对降水的截留过程,在一般情况下,当降雨量小于 3mm 时,苔藓枯落物可以吸收全部降雨,当降雨量大于 3mm 时开始出现向下渗水,在 4.5mm 以前渗水很少,几乎全部被苔藓枯落物层吸收,以后渗水速度开始加快,当降雨量到 7mm 时,截留量达最大,而后截留量随降雨的增加而减少,最终稳定在截留 4.5mm 左右。原因可能与表面张力和吸水时滞有关,不过这个过程机理较为复杂,需要更加精细的测定来解释。

2.3 苔藓枯落物层截留降水的动态变化

图 2 给出了苔藓枯落物持水量的动态变化。从中可以看出,通常在降雨发生时苔藓枯落物层便开始大量吸水,一般来说降雨量大,持水量也会很大,如第 16 天和第 19 天。但也有例外,如第 7 天,降雨量 16.5mm,而持水量却相对其它降雨量少时小。从

图中不难看出,在第 6 天晚上前有过降雨且随后时间里的蒸发量很低,苔藓枯落物层含水量已经很高,从而导致了第 7 天再次降雨时,苔藓枯落物层迅速达到饱和,降雨量继续增加,持水量反而出现下降的现象。从图中还可以看出,苔藓枯落物层在晴天的白天持水量下降很快,说明当天蒸发量很大(这与实验布置在林外有一定关系)。苔藓枯落物层持水量在夜间有增加的现象,如第 4 天 18 点称重为 20.1g,第 5 天 6 点为 24.1g,第 5 天 18 点为 20.6g,第 6 天 6 点为 26.1g,表明夜晚有吸收空气中水气的现象,吸收量的大小与空气湿度有关,从中国科学院长白山定位站的气象记录中查到第 5 天的相对湿度为 79%,第 6 天为 94%。

3 分析与讨论

3.1 由表 1 可以看出,在一次降雨过程中,苔藓枯落物层最多

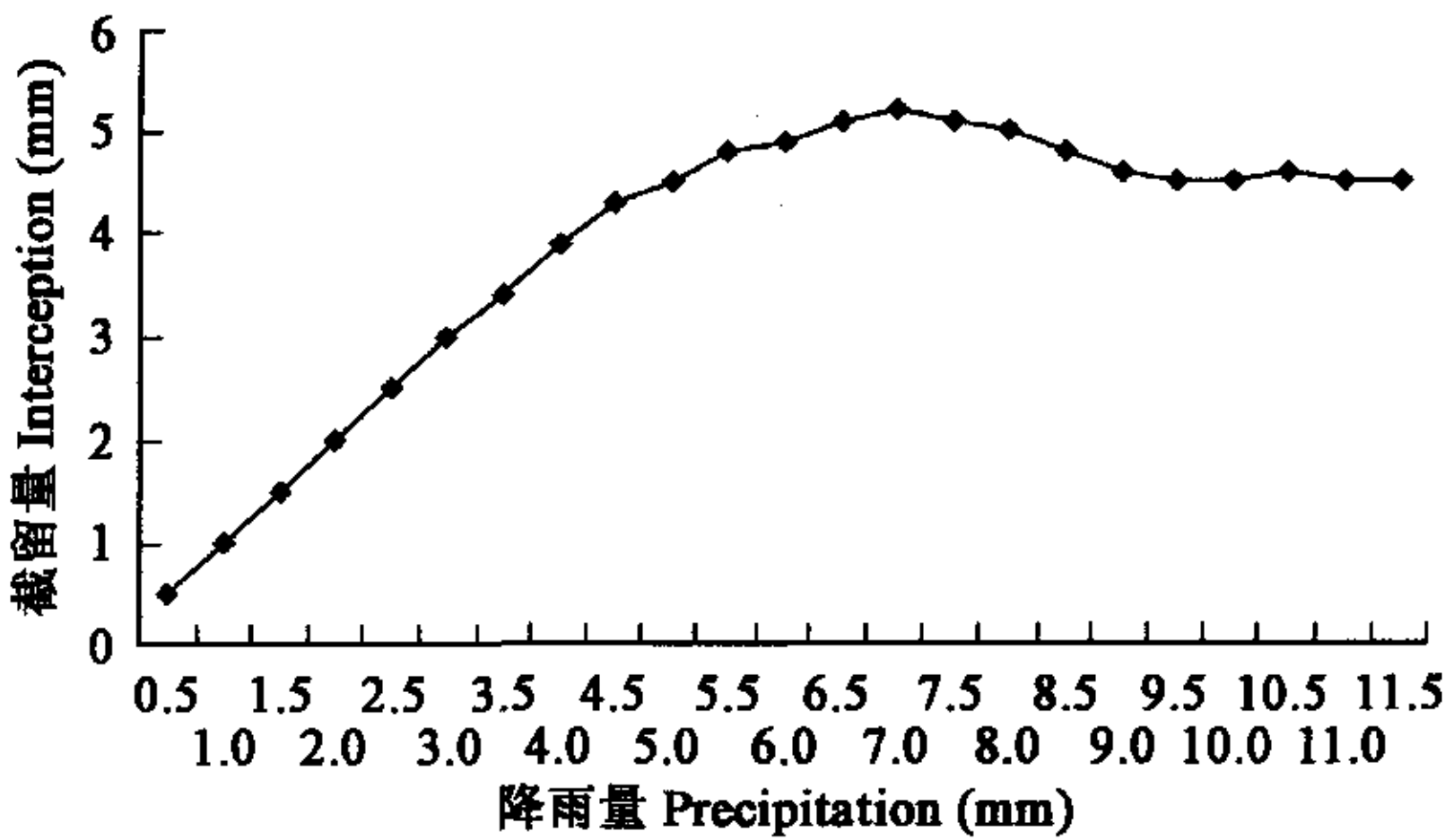


图 1 苔藓枯落物层在一次降雨中的截留过程

Fig. 1 Intercepting rain process of bryophyte and litter in once rainfall

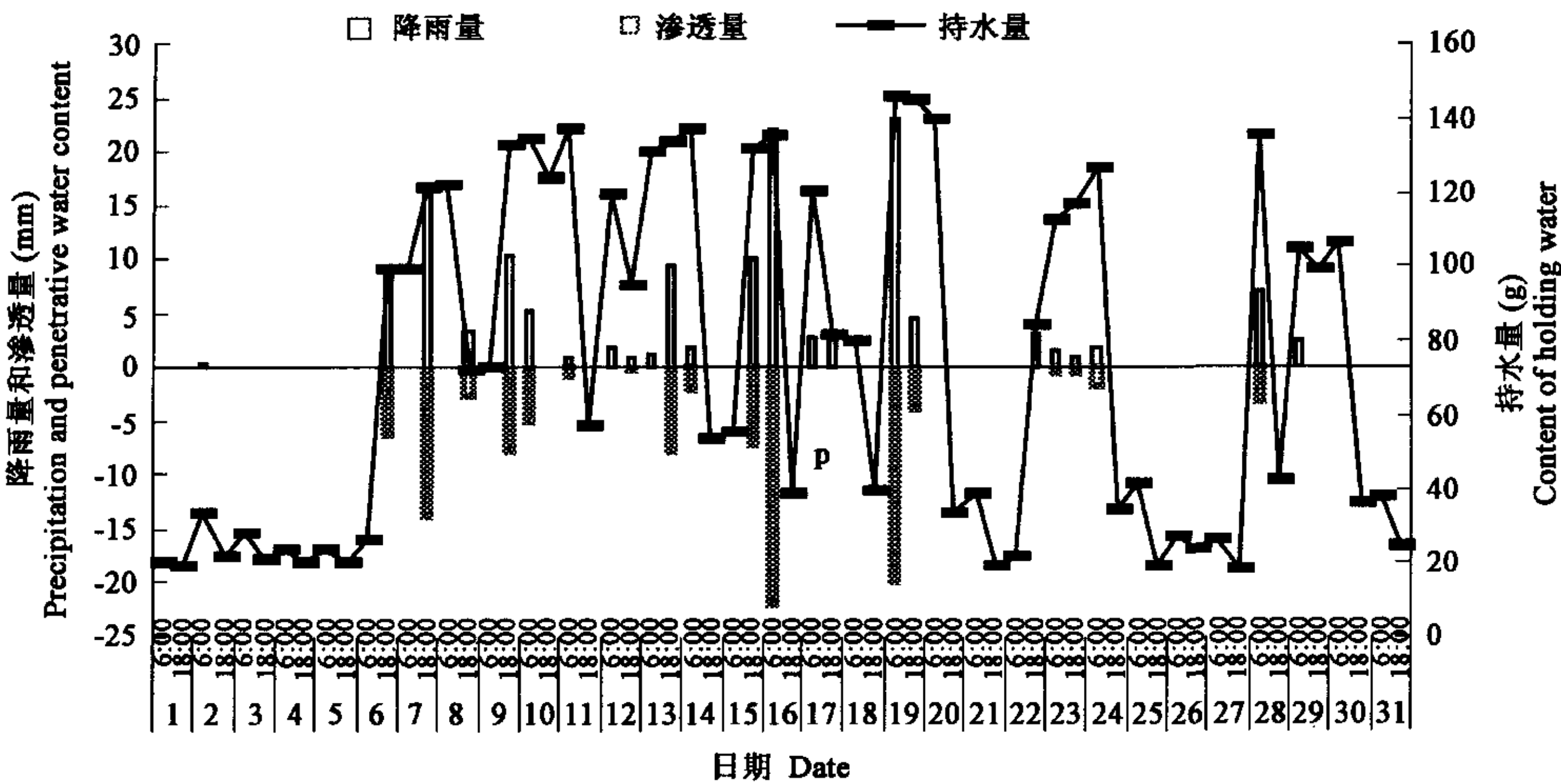


图 2 苔藓枯落物层持水量的动态变化(从 7 月 10 日开始观测)

Fig. 2 Dynamic change of holding water capacity of bryophyte and litter layer

能吸收 4.8mm 的降水。长白山地区降雨量较大,年平均降水在 600~900mm,最高达 1340mm<sup>[2]</sup>,多集中在夏季,暗针叶林下灌木、草本植物较少<sup>[8]</sup>,林内的降雨除了植物根系吸收、渗透形成地下径流以外,大部分为苔藓枯落物层所保持,地表径流很少发生。曹同等<sup>[1]</sup>得出长白山暗针叶苔藓植物平均饱和持水量为 24.56t/hm<sup>2</sup>,比苔藓枯落物层平均最大持水量 48.15t/hm<sup>2</sup> 少了近 1 倍,主要原因是他们将苔藓与枯落物分开来单独研究苔藓植物的持水能力,破坏了苔藓和枯落物交织在一起的层片状结构。因此要想较为准确的估计苔藓和枯落物的水文作用,最好是将它们合在一起来分析。

表 2 中可以看出苔藓植物在持水作用方面比枯落物贡献更大,其重量所占比重大于枯落物的重量,是枯落物重量的 4 倍多,并且苔藓自身的吸水能力是枯落物近 2.7 倍。苔藓枯落物层的持水能力受多方面因素影响,一般来说厚度越厚,重量越大,苔藓所占比重大,其持水能力越强。但由于不同苔藓植物的持水能力不一样,对苔藓枯落物层的持水能力影响也很大,如塔藓(*Hylocomium splendens*)平均持水率为 422%,树藓(*Pleuroziopses ruthenica*)平均持水率为 377%<sup>[1]</sup>。同时,持水能力还受枯落物分解程度的影响,半分解的针叶枯落物持水率最高,达 316.18%,未分解的持水率最低,为 161.03%<sup>[4]</sup>。本实验的枯落物大多是半分解和未分解的交织在苔藓层中的针叶,样方之间差异不大(因为取样点距离很近),因此可以忽略其影响。可见,苔藓枯落物持水能力受多方面因素影响,这个过程比较复杂,需要进一步实验来验证。

3.2 马雪华曾对四川米亚罗地区冷杉林苔藓枯落物层在一

表 2 苔藓枯落物层中苔藓与枯落物的重量分析

Table 2 The analysis of weight of bryophyte and litter

| 样方<br>Samples | 苔藓枯落物<br>层厚度(cm)<br>Thickness of<br>layer of<br>bryophyte<br>and litter | 苔藓枯落物<br>层干重(g)<br>Dry weight<br>of bryophyte<br>and litter | 苔藓重<br>量(g)<br>Weight<br>of<br>bryophyte | 枯落物重<br>量(g)<br>Weight<br>of<br>litter | 苔藓和枯<br>落物重量比<br>Weight ratio<br>of bryophyte<br>and litter |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1             | 6.5                                                                     | 23                                                          | 17.1                                     | 5.8                                    | 2.95                                                        |
| 2             | 7.1                                                                     | 24.3                                                        | 19.7                                     | 4.4                                    | 4.48                                                        |
| 3             | 7.3                                                                     | 24.2                                                        | 20.4                                     | 3.7                                    | 5.51                                                        |
| 4             | 7.8                                                                     | 26.1                                                        | 20.4                                     | 5.6                                    | 3.64                                                        |
| 5             | 8.2                                                                     | 27                                                          | 23.2                                     | 3.6                                    | 6.44                                                        |
| 平均 Mean       | 7.4                                                                     | 249                                                         | 202                                      | 4.6                                    | 4.06                                                        |

次降雨过程中的持水动态做过测定<sup>[5]</sup>。其测定结果表明:在降雨量小于 5mm 时,苔藓枯落物层开始出现渗水,在降雨量接近 8mm 时,达到最大饱和值,接着开始下降。相比之下,长白山暗针叶林的测定结果偏低,比较了米亚罗地区和长白山暗针叶林的苔藓枯落物层厚度,米亚罗地区为 8~12cm,而长白山暗针叶林为 7.4cm,说明苔藓枯落物层厚度越厚持水能力越强。在一次降雨的截留过程中,苔藓枯落物的持水量随降雨的增加先增加,达到一定持水量后,降雨再增加,持水量开始缓慢下降。

**3.3** 对从 7 月 10 日到 8 月 9 日的降雨量进行统计,31d 共降雨 144.9mm,苔藓枯落物的渗透量 105.2mm,截留降雨为 39.7mm,截留率达 27.4%,这个值竟然大于马雪华<sup>[5]</sup>在四川米亚罗高山冷杉林中测得的树冠截留率(26.0%)。在长期没有降雨的情况下,苔藓枯落物层的持水量显著下降,当降雨发生时持水量又迅速上升,但持水量并不是随降雨的增加而无限增加,而是达到一定持水量时,降雨量再增加,反而缓慢减少。这种动态过程伴随着降雨的发生而往复着。此外,从图 2 中还可以看出苔藓枯落物层在吸收降水后,晴天蒸发量很大,有较大部分归还到空气中,从而增加了林内的空气湿度。阔叶红松林湿润指数为 1.91~3.12,而苔藓红松云杉林的湿润指数为 3.12~4.34,远大于阔叶红松林<sup>[6]</sup>。尽管林内的空气湿度受多方面因素影响,如林分郁闭度、风速等,情况非常复杂,但是苔藓枯落物的蒸发对空气湿度的正效应是不容忽视的。

**3.4** 苔藓枯落物层的覆盖对土壤含水量有一定影响。长白山北坡苔藓红松云杉林的降雨量大于阔叶红松林(如 1981 年 6~9 月阔叶红松林的降雨量为 450.0~556.4mm,苔藓红松云杉林为 556.4~640.94mm<sup>[7]</sup>),在生长季针叶林的树冠截留要小于阔叶林<sup>[4]</sup>,且长白山苔藓红松云杉林林内灌木和草本相当稀少<sup>[8]</sup>,应该说到达地面的降雨,暗针叶林要比阔叶红松林大得多,但土壤 5cm 深的湿度苔藓红松云杉林却小于阔叶红松林(阔叶红松林为 66.3%~78.8%,苔藓红松云杉林为 47.4%~55.4%<sup>[9]</sup>)。这是由什么原因引起的呢?考虑到这两种林分类型的地形较为平缓,土壤排水良好<sup>[8]</sup>,在持水能力上应该说是相差不大,其中关键就是由于暗针叶林有苔藓植物的覆盖,减少了到达土壤的降水,大部分的降水为苔藓枯落物层所吸收。尤其是降雨量少时,苔藓枯落物层几乎能保持所有的降雨,使土壤得不到水分,这在涵养水源方面是不利的,但苔藓枯落物层对暗针叶林内降雨的分配和水分调节中起到了极其重要的作用。

**3.5** 苔藓植物的研究与其他高等植物相比,起步较晚,以往常常被人们所忽略。本研究对长白山暗针叶林中苔藓枯落物层的水文作用进行了测定分析,为进一步研究森林生态系统的生态服务功能和长白山自然保护区的生态价值评价奠定理论基础和知识储备。由于仅对长白山北坡苔藓红松云杉林地面苔藓枯落物层的持水能力进行了测定,并没有考虑树附生苔藓植物,还不能完全说明整个苔藓植物类群的水文功能。树附生苔藓的持水能力更强,如小白齿藓(*Leucodon pendulus*)平均饱和持水率为 640%,羽平藓(*Neckera pennata*)为 711%<sup>[1]</sup>。实验中测定的结果表明,树附生苔藓植物的生物量也很大,在此区域大约为 625 kg/hm<sup>2</sup>,那么其在截留降雨方面也起到很大作用。

#### References:

- [1] Cao T, Gao Q, Fu X. Water storage of bryophytes and its effects on water circulation in forest ecosystems in Changbai Mountain, northeast China. *Research of Forest Ecosystem*, 1994, 7: 73~79.
- [2] Zhang F S, Chi Z W, Li X Y. The analysis and primary evaluation on the climate of Changbai Mountain area. *Research of Forest Ecosystem*, 1980, 1: 193~214.
- [3] Cheng B R, Xu G S, Ding G F, et al. The main soil Groups and Their Properties of the Natural Reserve on Northern Slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1981, 2: 196~206.
- [4] Liu W Y, Liu L H, Zheng Z, et al. Preliminary study on hydrologic effect of evergreen broad-leaved forest and *Pinus yunnanensis* forest in central Yunnan. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1991, 15(2): 159~167.
- [5] Ma X H. Studies on Hydrologic effect in alpine *Abies* forest of Mi Yaluo area in western Sichuan, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 1987, 23(3): 253~264.
- [6] Hao Z Q, Guo S L, Cao T. Plant Diversity and Distribution Patterns in Changbai Mountain. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2002. 4~5.
- [7] Chi Z W, Zhang F S, Li X Y. The primary study on water-heat conditions of forest ecosystem on northeast slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1981, 2: 167~178.
- [8] Wang Z, Xu Z B, Li X, et al. Main forest types and community structure character in northern slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1980, 1: 25~42.
- [9] Zhang F S. A preliminary study of soil moisture in major ecosystems of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1985, 5: 231~235.

#### 参考文献:

- [1] 曹同,高谦,傅星. 长白山森林生态系统中苔藓植物蓄水量及其在水分循环中的作用. 森林生态系统研究, 1994, 7: 73~79.
- [2] 张凤山,迟振文,李晓晏. 长白山地区气候分析及其初步评价. 森林生态系统研究, 1980, 1: 193~214.
- [3] 程伯容,许广山,丁桂芳,等. 长白山北坡自然保护区主要土壤类型及其基本特征. 森林生态系统研究, 1981, 2: 196~206.
- [4] 刘文耀,刘伦辉,郑征,等. 滇常绿阔叶林及云南松林水文作用的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(2): 159~167.
- [5] 马雪华. 四川米高罗地区高山冷杉林水文作用的研究. 林业科学, 1987, 23(3): 253~264.
- [6] 郝占庆,郭水良,曹同. 长白山植物多样性及其格局. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002. 4~5.
- [7] 迟振文,张凤山,李晓晏. 长白山北坡森林生态系统水热状况初探. 森林生态系统研究, 1981, 2: 167~178.
- [8] 王战,徐振邦,李昕,等. 长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点(之一). 森林生态系统研究, 1980, 1: 25~42.
- [9] 张凤山. 长白山主要生态系统土壤湿度研究初报. 森林生态系统研究, 1985, 5: 231~235.