



鄂西南亚高山湿地泥炭藓的生长与分解

刘雪飞^{1,2} 吴林^{1,2*} 王涵^{1,2} 洪柳^{1,2} 熊莉军³

¹生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北恩施 445000; ²湖北民族大学林学院园艺学院, 湖北恩施 445000; ³湖北省恩施土家族苗族自治州气象局, 湖北恩施 445000

摘要 泥炭藓(*Sphagnum*)是湿地土壤碳的重要来源, 在土壤碳累积过程中发挥着关键作用, 但有关亚热带湿地泥炭藓生长与分解的研究鲜有报道。该研究选择鄂西南亚高山泥炭藓湿地为研究区域, 原位开展不同微生境泥炭藓的生长及其凋落物的分解实验, 室内测试凋落物的化学成分, 探讨亚热带亚高山湿地泥炭藓的生长与分解规律。结果表明: 泥炭藓在自然状态生长12个月后, 丘上和丘间两种微生境下泥炭藓的平均高度增长量分别为2.9和2.7 cm, 对应的净生产量分别为270.94和370.88 g·m⁻², 生长时间与微生境对泥炭藓的高度增长量及净生产量均有显著影响, 且两者之间存在交互作用, 但是两种微生境下泥炭藓的生长变化过程不同; 两种微生境下泥炭藓的平均生长速率(2017年7–10月)为0.33 mm·d⁻¹, 其生长速率高于寒温带地区。另外, 分解时间对泥炭藓的分解量有显著影响, 其残留率随时间增加表现为先减少后增加的趋势。12个月后, 丘间、丘上和水坑3种微生境下最终残留率分别为100.67%、90.54%和85.63%。凋落物中碳含量、碳氮比和多酚含量相比初始值均有所下降, 氮含量则为增加。同时, 微生境对凋落物分解的影响取决于分解时间。分解3个月时, 微生境之间凋落物的分解量差异显著, 其他时间段差异不明显。

关键词 亚热带; 泥炭藓; 微生境; 净生产量; 分解

刘雪飞, 吴林, 王涵, 洪柳, 熊莉军 (2020). 鄂西南亚高山湿地泥炭藓的生长与分解. 植物生态学报, 44, 228–235. DOI: 10.17521/cjpe.2019.0316

Growth and decomposition characteristics of *Sphagnum* in a subalpine wetland, southwestern Hubei, China

LIU Xue-Fei^{1,2}, WU Lin^{1,2*}, WANG Han^{1,2}, HONG Liu^{1,2}, and XIONG Li-Jun³

¹Hubei Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization, Enshi, Hubei 445000, China; ²College of Forestry and Horticulture, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, China; and ³Meteorological Bureau of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Enshi, Hubei 445000, China

Abstract

Aims We investigated the growth and decomposition of *Sphagnum*, a principal plant involved in peat accumulation in wetlands, in subtropical wetlands.

Methods We selected a *Sphagnum*-dominated wetland in southwestern Hubei Province as the study area. *In situ* growth and litter decomposition experiments in different microhabitats were carried out, and the chemical composition of litter was measured in laboratory to examine the processes of its growth and decomposition.

Important findings The average height of *Sphagnum* in hummock and hollow were 2.9 and 2.7 cm, and the net production was 270.94 and 370.88 g·m⁻², respectively, after 12 months. Growth time and microhabitats significantly affected on the height growth and the net production, and there was an interaction between time and microhabitats. However, the growth trend in two microhabitats was significantly different. The average growth rate of *Sphagnum* under the two microhabitats (July to October 2017) was 0.33 mm·d⁻¹, which was higher than that in the cold temperate zone. In addition, the decomposition time had a significant effect on the decomposition amount of *Sphagnum*, and the residual rate decreased first and then increased with time. By the end 12-month period, the final residual rates in hollow, hummock and pool were 100.67%, 90.54% and 85.63%, respectively. The content of carbon (C), carbon nitrogen (N) ratio (C:N) and polyphenols in the litters decreased, while the nitrogen content increased. During the first 3 months of decomposition, a significant difference of decomposed litter was found between the microhabitats, but no significant difference later on.

Key words subtropical; *Sphagnum*; microhabitats; net production; decomposition

收稿日期Received: 2019-11-19 接受日期Accepted: 2020-01-19

基金项目: 国家自然科学基金(41867042)和湖北省自然科学基金(2017CFB395)。Supported by the National Natural Science Foundation of China (41867042), and the Natural Science Foundation of Hubei Province (2017CFB395).

* 通信作者Corresponding author (wulin20054557@163.com)

Liu XF, Wu L, Wang H, Hong L, Xiong LJ (2020). Growth and decomposition characteristics of *Sphagnum* in a subalpine wetland, southwestern Hubei, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 228–235. DOI: 10.17521/cjpe.2019.0316

泥炭藓湿地是由适应能力强和耐周期性干旱的泥炭藓属(*Sphagnum*)植物以及草本植物沼泽化形成的一种特殊湿地类型(中国湿地植被编辑委员会, 1999)。由于其净初级生产力(NPP)大于分解力, 持续吸收大气中的CO₂, 并积累了大量的泥炭(Gorham, 1991; Yu, 2012), 因此, 在全球碳循环中发挥着重要作用。泥炭藓属植物作为泥炭藓湿地的优势植物, 在部分地区其盖度可达100%, 其植物残体能为湿地提供巨大的生物量(Clymo & Hayward, 1982; Orwin & Ostle, 2012), 储存在泥炭藓属植物及其残体中的碳甚至高于每年固定在所有陆地植物体中的碳量(Clymo & Hayward, 1982)。泥炭藓属植物是湿地土壤碳的重要来源, 其固定的碳占据了全球土壤碳库的30% (Yu *et al.*, 2010), 在土壤碳累积过程中发挥着关键作用(Li *et al.*, 2004; Lang *et al.*, 2009)。因此, 研究泥炭藓的生长及凋落物的分解对于揭示湿地碳循环具有重要意义。

近年来, 国内外学者对泥炭藓属植物的生长及凋落物的分解已开展了大量的研究(Moore, 1989; Rochefort *et al.*, 1990; Gunnarsson, 2005; Breeuwer *et al.*, 2008; Loisel *et al.*, 2012; 李伟等, 2013; Philben *et al.*, 2015; Bengtsson *et al.*, 2016; Mironov & Kondratev, 2017; Bell *et al.*, 2018; 刘媛媛等, 2018; Newman *et al.*, 2018)。然而这些研究主要集中在高纬度的寒温带地区, 在低纬度的亚热带地区却鲜有报道(马进泽, 2018), 有关亚热带地区泥炭藓的生长及凋落物分解的原位研究更是欠缺。事实上, 泥炭藓属植物的生长及凋落物的分解主要受年平均气温、降水、植被类型、氮沉降等因素的影响(Breeuwer *et al.*, 2008; 李伟等, 2013; Bengtsson *et al.*, 2016; Leroy *et al.*, 2017)。比如Breeuwer等(2008)在西欧的研究表明, 维管植物的分解速率随气温升高而增加, 而泥炭藓残体的分解速率随气温升高变化不明显, 甚至有减小趋势。相反, 我国学者在长白山的研究结果表明增温能够促进泥炭藓凋落物的分解(李伟等, 2013)。不同地区的泥炭藓植物生长及凋落物分解的规律并不一致, 这与研究区气候条件、微生境、植物本身属性等有关(Loisel *et al.*, 2012; 刘媛媛等, 2018)。亚热带地区年平均气温明显高于寒温带地区, 较高的有效积温和充足的降水更有利于泥炭藓的生

长。因此, 我们推测亚热带地区泥炭藓的生长及凋落物的分解将不同于寒温带地区, 甚至亚热带地区泥炭藓的生长速率高于寒温带地区。

本文选择鄂西南亚高山泥炭藓湿地为研究区域, 原位开展不同微生境下泥炭藓的生长及凋落物的分解实验, 室内测试分析凋落物的化学成分, 以探讨亚热带亚高山地区泥炭藓的生长与分解规律, 旨在弥补该区域相关研究的不足, 同时为亚热带亚高山地区泥炭藓湿地的形成发育规律提供一定的数据支撑。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于湖北省恩施市新塘乡太山庙地区(30.17° N, 109.73° E), 海拔1 920–1 970 m, 年平均气温7.2 °C, 且冬季有1–2个月的积雪期。年降水量1 550–1 630 mm, 降水主要集中在夏季, 属于典型的亚热带湿润山地气候。研究区内有多处呈斑块状分布的泥炭藓湿地, 总面积大约40 hm²。湿地内植被组成丰富多样, 主要由灌木、草本及藓类植物组成。其中, 灌木群落以杜鹃花科和蔷薇科植物为优势种, 草本植物以莎草科和禾本科植物为优势种; 藓类植物主要以泥炭藓(*Sphagnum palustre*)为优势种, 其盖度可达90%–100%, 生长高度为10–20 cm, 局部区域还发育有高20 cm左右的藓丘, 湿地中央分布有常年积水的水坑(图1)。土壤类型主要为酸性泥炭土, 泥炭层厚度为50–110 cm; 土壤表层常年处于过湿或积水状态, 地下水位变化较小, 0–50 cm土壤具体理化性质分别为: pH为4.16, 土壤容重为0.22 g·cm⁻³, 总有机碳为249.36 g·kg⁻¹, 可溶性有机碳为50.05 mg·L⁻¹, 总氮为9.02 g·kg⁻¹。

1.2 研究方法

1.2.1 泥炭藓生长实验

由于常年积水的水坑中未生长泥炭藓, 因此泥炭藓的生长实验选择在丘间与丘上两种微生境进行。于2017年7月8日在太山庙泥炭藓湿地布置泥炭藓生长监测装置, 在布置时尽量减少对泥炭藓的破坏, 以保证更加真实地观测泥炭藓在野外条件下的自然生长规律。泥炭藓的生长测量方法参照Clymo (1970)。即: 将4根长约40 cm的竹签离顶端5 cm处刻

上凹槽,将铁丝牢牢缠绕在凹槽处以防上下滑动,并使每根竹签之间的间距为5 cm。将生长监测装置插入长势均匀的泥炭藓丛中,使泥炭藓顶端位置和铁丝缠绕位置在同一水平面上,将此位置记为0点。每个微生境中布置5个生长观测点,每3个月用直尺测定一次,以泥炭藓顶端超过0点的长度作为泥炭藓的生长高度(H , cm)。生长一年后,记录每个生长观测点中的泥炭藓株数(N)。选取40株用收割法收获地上绿色部分植株,于室内剪成长度为1、2及3 cm等若干片段,于75 °C烘干至恒质量,称量并记录泥炭藓单位长度的质量($\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$)。泥炭藓的 NPP ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)用生长高度与单位长度的质量及单位面积的株数的乘积进行估算。

1.2.2 泥炭藓分解实验

2017年5月初,于太山庙泥炭藓湿地地中采集鲜活泥炭藓,去掉泥炭藓植株下端枯死部分,统一保留绿色部分。室内将绿色鲜活泥炭藓于75 °C下烘干至恒质量,然后剪成2 cm片段。混匀后,称取2 g装入大小为10 cm × 15 cm的双面孔尼龙网袋(粗面孔径为18目,细面孔径为80目)中。于2017年7月8日将尼龙袋分别埋入丘上、丘间及水坑3种微生境中(图1),丘上与丘间生境所埋深度为距地表5 cm左右位置,水坑生境将尼龙袋全部浸泡在水深5 cm处。埋尼龙网袋时,用手将袋中的泥炭藓压平整,尽量使植物体在袋中均匀分布,同时细面孔径朝下,粗面孔径朝上,做好标记后用尼龙线系于竹竿上并固定。每3个月取一次分解袋,取样时间依次为2017年10月8日、2018年1月7日、2018年4月7日、2018年7月8日。每次每个微生境取回3袋,共计36袋(3种微生境×4次取样×3个重复)。

将取回的尼龙网袋于室内,清除表面上的泥土和植物根系后,置于100目筛(孔径0.15 mm)中,用蒸馏水缓慢冲洗,冲洗干净后于75 °C烘干至恒质量,称量记录凋落物的残留量。将残留的凋落物用粉碎机粉碎,过50目筛后,用元素分析仪(Elementar Vario EL III, Elementar, Langensfeld, Germany)测定残留物中的总碳(C)和总氮(N)含量,用Folin-Ciocalteu法测多酚含量(Singleton *et al.*, 1999)。

凋落物的分解程度通过质量残留率(E)表示:

$$E = M_t/M_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中, M_0 为凋落物初始质量(g), M_t 为凋落物分解后的剩余质量(g)。 E 值越大,分解越慢; E 值越小,分解越快。

1.2.3 数据分析

泥炭藓生长在不同时间与不同微生境之间的差异性使用重复测量方差分析和最小显著差异法(LSD)进行显著性检验($p = 0.05$),并对变量进行球形检验,发现球形检验的 p 值小于0.05,表明泥炭藓的生长在不同时间之间存在相关性,且生长时间与微生境之间存在交互作用,需要使用多变量方差分析。而球形检验结果表明凋落物分解在不同时间不存在相关性($p > 0.05$),分解时间与微生境之间不存在交互作用。因此,泥炭藓凋落物的分解在不同时间与不同微生境之间的差异性使用单因素方差分析和LSD进行显著性检验($p = 0.05$),所有数据在分析之前进行Shapiro-Wilk正态性检验,并对不符合正态分布的数据进行基于 $\lg(x + k)$ 或 $1/x$ 的数据转换。数据分析使用SPSS 24.0完成,并用Origin 2018绘图。



图1 鄂西南亚高山泥炭藓湿地中的3种微生境(从左至右依次为: 丘上、丘间、水坑)。

Fig. 1 Three types of microhabitats in *Sphagnum*-dominated subalpine wetland in southwestern Hubei (From left to right: hummock, hollow, and pool).

2 结果和分析

2.1 泥炭藓的生长规律

太山庙泥炭藓湿地中, 丘上和丘间两种微生境下泥炭藓生长12个月后的平均高度增长量分别为2.9和2.7 cm, 对应的净生产量分别为270.94和370.88 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。生长时间与微生境对泥炭藓的高度增长量及净生产量均有显著影响($p < 0.05$), 且两者之间存在交互作用($p < 0.05$)。除生长12个月外, 两种微生境下泥炭藓的高度增长量及净生产量在其他时间存在显著差异($p < 0.05$)。但是, 两种微生境下泥炭藓的生长规律表现出不同的趋势。丘上生境下泥炭藓生长表现为持续性增长, 丘间生境下则表现为先增加后减少。在生长的前9个月之内, 丘间生境的生长速率明显高于丘上生境($p < 0.05$), 丘上生境的生长速率为丘间生境的26.90%。而在生长12个月后, 两种生境的生长速率基本一致且无明显差异(图2)。

2.2 泥炭藓的分解规律

总体上, 分解时间对泥炭藓的分解量有显著影响($p < 0.05$), 即分解12个月后, 泥炭藓最终残留率平均为92.28%。3种生境下, 泥炭藓最终残留率并不随时间增加简单呈现出递减趋势, 而是表现为先减少后增加。其中丘间生境下的最终残留率达到100.67%, 较初始值的100%有所增加, 而丘上生境与水坑生境均有所下降, 分别为90.54%和85.64%

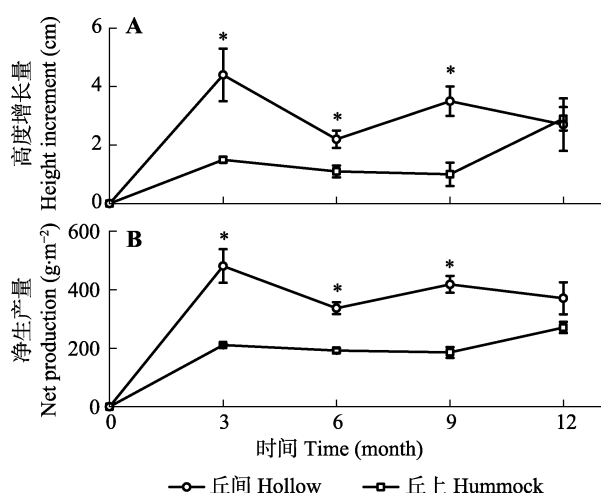


图2 鄂西南亚高山泥炭藓湿地丘间与丘上两种微生境下泥炭藓高度增长量(A)及净生产量(B)变化(平均值 \pm 标准误差, $n = 3$)。*表示在同一时间不同微生境下有显著性差异($p < 0.05$)。
Fig. 2 Increment of height growth (A) and net production (B) of *Sphagnum* in hollow and hummock of *Sphagnum*-dominated subalpine wetlands in southwestern Hubei (mean \pm SE, $n = 3$). * refers a significant difference between the two microhabitats at the same time ($p < 0.05$).

(图3)。此外, 泥炭藓凋落物的C、N含量、C:N和多酚含量表现为波动性的变化, C含量、C:N和多酚含量的平均值较初始值分别下降10.69%、17.78%和29.1%, N含量的平均值较初始值增长9.57% (图4)。

另外, 微生境对泥炭藓凋落物的分解有一定影响, 但是不同时间段影响程度不同。分解3个月时, 3种微生境下凋落物残留量存在显著差异($p < 0.05$), 其他时间不存在显著差异。整体上, 水坑生境下泥炭藓凋落物的分解速率最快, 丘间生境下则分解最慢(图3)。泥炭藓最终的残留率、C含量、N含量、C:N及多酚含量等均不存在显著性差异, 但在某一时间段上存在显著性差异($p < 0.05$)(图3, 图4)。

3 讨论

3.1 泥炭藓的生长及影响因素

我们推测亚热带地区泥炭藓的生长及凋落物的分解将不同于寒温带地区, 甚至亚热带地区泥炭藓的生长速率高于寒温带地区。本研究中两种微生境下泥炭藓在生长季节(2017年7–10月)的平均高度生长速率及净生产力明显高于其他高纬度寒温带地区(表1), 这一结果证实了我们的假设。事实上, 我们进一步分析泥炭藓属植物生长速率及净生产力与纬

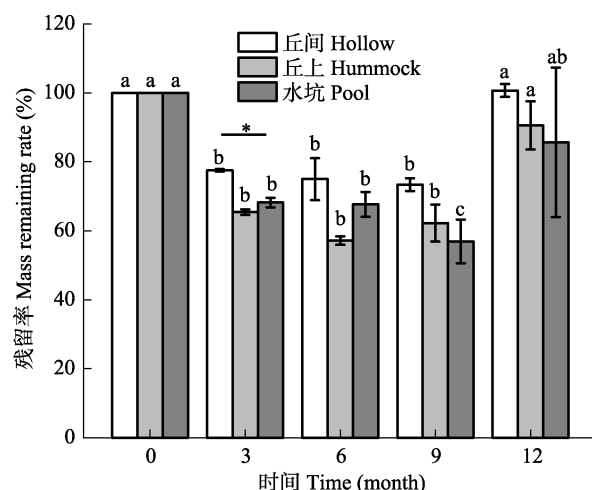


图3 鄂西南亚高山泥炭藓湿地3种微生境下泥炭藓凋落物残留率变化规律(平均值 \pm 标准误差, $n = 3$)。*表示在同一时间不同微生境下有显著性差异($p < 0.05$), 不同小写字母表示在同一微生境不同时间有显著性差异($p < 0.05$)。

Fig. 3 Changes in litters residual rate of *Sphagnum* under three microhabitats of *Sphagnum*-dominated subalpine wetlands in southwestern Hubei (mean \pm SE, $n = 3$). * refers a significant difference among the three microhabitats at the same time ($p < 0.05$); different lowercase letters indicate significant differences at different time periods in the same microhabitat ($p < 0.05$).

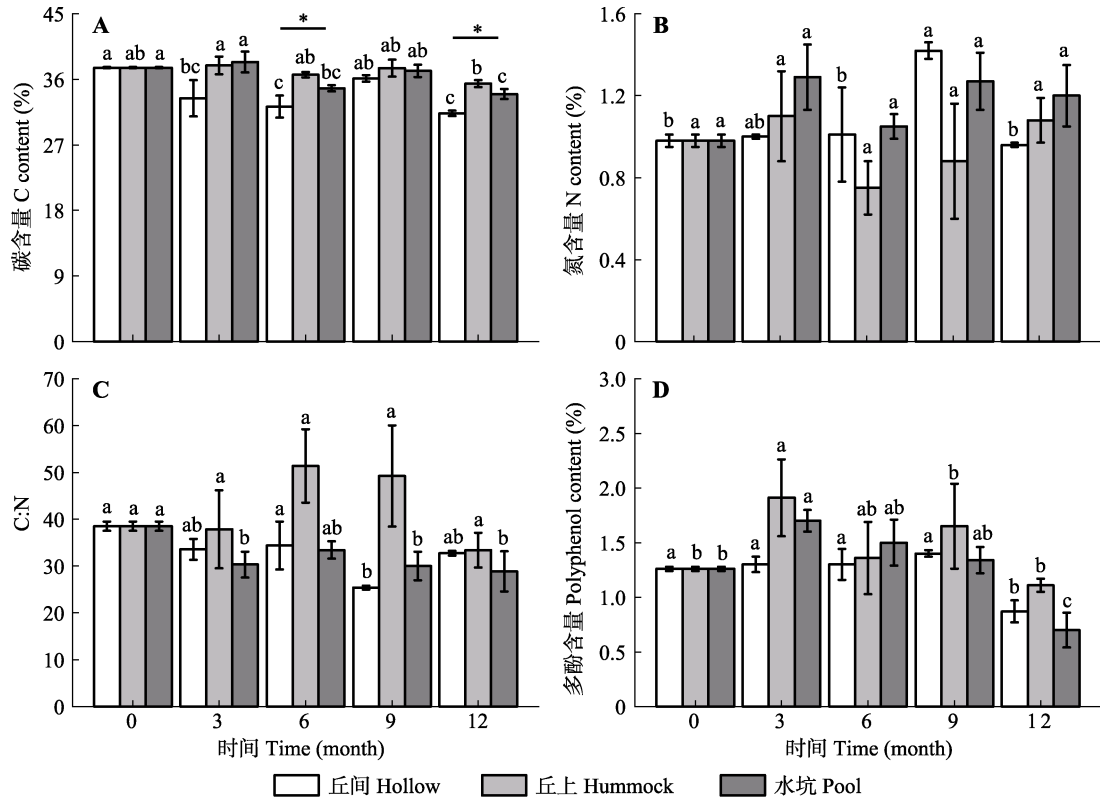


图4 鄂西南亚高山泥炭藓湿地3种微生境下泥炭藓凋落物C (A)、N (B)、C:N (C)及多酚含量(D)变化规律(平均值±标准误差, $n = 3$)。*表示在同一时间不同微生境下有显著性差异($p < 0.05$), 不同小写字母表示在同一微生境不同时间有显著性差异($p < 0.05$)。

Fig. 4 Contents of C (A), N (B), C:N (C) and polyphenols (D) in the litters of *Sphagnum* of the three microhabitats of *Sphagnum*-dominated subalpine wetlands in southwestern Hubei (mean \pm SE, $n = 3$). * refers a significant difference among the three microhabitats at the same time ($p < 0.05$); different lowercase letters indicate significant differences at different time periods in the same microhabitat ($p < 0.05$).

表1 不同纬度地区泥炭藓属植物的生长速率及净生产力

Table 1 Growth rate and net primary productivity of *Sphagnum* spp. in areas of different latitude

纬度 Latitude (°)	经度 Longitude (°)	年平均气温 Annual mean temperature (°C)	年降水量 Precipitation (mm)	物种 Species	生长速率 Growth rate (mm·d ⁻¹)	净生产力 Net primary produc- tivity (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	参考文献 Reference
68.35	18.82	0.5	320	<i>S. fus</i>	0.04	1.51	Dorrepaal <i>et al.</i> , 2003
60.52	17.92	3.1	544	<i>S. fus</i>	0.10	0.64	Bengtsson <i>et al.</i> , 2016
59.90	15.83	1.4	515	<i>S. fus</i> , <i>S. mag</i>	0.13	1.12	Bengtsson <i>et al.</i> , 2016
57.15	-111.98	2.1	387	<i>S. fus</i>	0.09	1.68	Wieder <i>et al.</i> , 2010
56.63	-110.20	1.1	420	<i>S. fus</i>	0.09	1.72	Wieder <i>et al.</i> , 2010
55.68	-111.83	2.1	421	<i>S. fus</i>	0.10	1.96	Wieder <i>et al.</i> , 2010
54.68	-113.47	1.7	500	<i>S. fus</i>	0.03	1.15	Thormann & Bayley, 1997
49.67	-93.72	2.6	714	<i>S. mag</i> , <i>S. fus</i> , <i>S. ang</i>	0.12	0.86	Rocheffort <i>et al.</i> , 1990
46.32	11.67	5.0	1 100	<i>S. cap</i> , <i>S. mag</i> , <i>S. fal</i>	0.26	1.70	Gerdol, 1995
39.12	-79.58	7.9	1 330	<i>S. mag</i> , <i>S. rec</i>	0.42	3.44	Wieder & Lang, 1983
30.17	109.73	7.2	1 590	<i>S. pal</i>	0.33	3.84	本研究 This study

S. ang., 小叶泥炭藓; *S. cap.*, 尖叶泥炭藓; *S. fal.*, 假泥炭藓; *S. fus.*, 锈色泥炭藓; *S. mag.*, 中位泥炭藓; *S. pal.*, 泥炭藓; *S. rec.*, 喙叶泥炭藓。泥炭藓属植物学名及拉丁名参照王利松等(2018)。泥炭藓属植物的生长数据均为采用Clymo (1970)方法进行野外原位测定所得, 测定时间均为生长季节, 且生长速率及净生产力统一转换为mm·d⁻¹和g·m⁻²·d⁻¹。

S. ang., *S. angustifolium*; *S. cap.*, *S. capillifolium*; *S. fal.*, *S. fallax*; *S. fus.*, *S. fuscum*; *S. mag.*, *S. magellanicum*; *S. pal.*, *S. palustre*; *S. rec.*, *S. recurvum*. Scientific and Latin names of *Sphagnum* spp. refer to Wang *et al.* (2018). The growth data of *Sphagnum* spp. in the table were all obtained by field measurement using Clymo (1970) method. Measuring time covers whole growing season; the growth rate and net primary productivity were converted to mm·d⁻¹ and g·m⁻²·d⁻¹.

度关系时,发现生长速率及净生产力与纬度呈显著负相关关系(表1;图5),即随着纬度的降低,泥炭藓属植物的生长速率和净生产力会增加,这与相关学者在寒温带地区的研究结果(Wieder & Lang, 1983)一致。重要的是,本研究将这一纬度变化规律从寒温带外推到寒温带至亚热带。

本研究区泥炭藓高度生长速率及净生产力高于寒温带地区,可能与研究区年平均气温及降水量较高有关。有研究表明,泥炭藓的高度生长受气温及降水共同调控(Kosykh *et al.*, 2017)。Kosykh等(2017)在西伯利亚西部的研究表明泥炭藓的高度生长对气温有依赖性,但在不同地区气温与降水的影响程度不同。在北美和欧洲不同气候条件下,气温是影响锈色泥炭藓(*S. fuscum*)和中位泥炭藓(*S. magellanicum*)生长的最重要因素,而湿度的作用不显著(Loisel *et al.*, 2012)。然而Asada等(2003)在加拿大的研究表明,在适于泥炭藓生长的气温范围内,降水量对生长的影响更大,当气温超过泥炭藓生长的最适温度时,降水量对生长无显著作用。另外,泥炭藓属植物生长与物种及生境有关。本研究区泥炭藓物种为泥炭藓,不同于寒温带地区广泛分布的锈色泥炭藓和中位泥炭藓(表1)。另外,本研究中泥炭藓在丘间生境下的生长速率及净生产量显著高于丘上生境,这与众多的研究结果一致,这可能与不同微生境下水分差异有关(Moore, 1989; Gerdol, 1995; Asada *et al.*, 2003)。

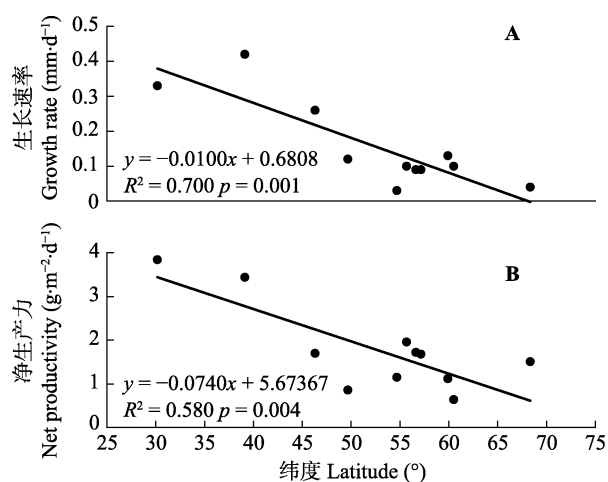


图5 泥炭藓属植物生长速率(A)及净生产力(B)与纬度之间的关系。

Fig. 5 Relationships between growth rate (A) and net primary productivity (B) of *Sphagnum* spp. and latitude.

本研究中泥炭藓的生长变化规律随时间的不同表现出季节性变化规律,这与以往的研究结果(Furness & Grime, 1982; Moore, 1989; Genet *et al.*, 2013; Mironov & Kondratev, 2017)相同,且微生境与生长时间对泥炭藓的生长有一定的交互作用。有研究表明,泥炭藓的季节性生长模式与季节性温差有显著相关性(Mironov & Kondratev, 2017)。另外,本研究中,泥炭藓在生长6个月(即2018年1月)时,丘上与丘间生境泥炭藓的高度下降率分别为27.10%和51.13%,这可能与该区域冬季降雪有关。有研究发现,冬季积雪会显著降低泥炭藓的高度(Waddington *et al.*, 2003; Yazaki & Yabe, 2012),甚至导致生物量减少。

3.2 泥炭藓的分解规律及其影响因素

泥炭藓的分解相比生长更为复杂,其分解过程不仅受地表植被类型、生境、气候条件及氮沉降等环境因素的影响(Gerdol *et al.*, 2007; Breeuwer *et al.*, 2008; 李伟等, 2013),同时也受不同物种间本身属性的差异(李伟等, 2013; Bengtsson *et al.*, 2018; 刘媛媛等, 2018)和土壤养分含量的差异(Bragazza *et al.*, 2007)所影响。本研究3种微生境下泥炭藓凋落物野外分解12个月后最终残留率平均为92.28%,略高于刘媛媛等(2018)在长白山哈泥泥炭地的研究结果(90%)。同样是泥炭藓湿地,李伟等(2013)在长白山的研究发现泥炭藓凋落物经历14个月的分解后最终残留率为80.8%,显著低于本研究结果。这可能与不同凋落物本身的化学属性及研究区的环境有关。研究表明,凋落物C:N越高,分解越快(Limpens & Berendse, 2003)。与李伟等(2013)及刘媛媛等(2018)在长白山的研究相比,本研究中泥炭藓初始C:N较低,而分解却更慢,这可能与本研究区凋落物本身多酚含量更高、土壤pH较低及土壤碳氮含量更低有一定关系。研究表明,较高的多酚含量(Jassey *et al.*, 2011)、较低的pH(Tahvanainen & Haraguchi, 2013)及较低的土壤养分含量(Bragazza *et al.*, 2007)会抑制凋落物的分解。另外,温度也是影响凋落物分解的一个重要因素。以往的研究表明,较高的温度会促进凋落物的分解(Zhang *et al.*, 2017),也有研究认为较高的温度对凋落物的分解无显著影响(Breeuwer *et al.*, 2008)。本研究区温度显著高于寒温带地区,然而分解率却低于寒温带地区,可能与研究区其他环境因子对凋落物分解的抑制作用较强有关,

比如研究区土壤酸性高于寒温带地区,凋落物多酚含量也更高。

本研究发现分解时间对泥炭藓的分解量有显著影响($p < 0.05$),但其残留率随时间增加表现为先减少后增加。也就是其残留量并不是持续减少的,甚至在某个时间段有短暂的增加现象。马进泽(2018)在大九湖泥炭地也发现泥炭藓凋落物分解过程中有增加情况,甚至分解3年后,最终残留量较初始值有所增加,这可能与泥炭藓超强的吸水能力有关。本研究区与大九湖泥炭地同属鄂西地区,泥炭藓湿地环境比较相似,泥炭层中离子含量较高。因而,泥炭藓分解到一定程度后,其残体有可能吸附了周围环境中的一定量的化学物质。有研究表明,泥炭藓能够从周围环境中吸附大量的阳离子(Ho & Mckay, 2000)。当然,这其中的具体原因还有待进一步研究。

另外,微生境对凋落物分解也有一定影响,但影响程度取决于分解时间。本研究发现,分解3个月时,微生境之间凋落物的分解量差异显著,其他时间段差异不明显。以往的研究表明,狭叶泥炭藓和假泥炭藓(*S. fallax*)等丘间物种的分解速率高于锈色泥炭藓和中位泥炭藓等丘上物种(Johnson & Damman, 1993; Limpens & Berendse, 2003)。然而,这些研究在比较生境对分解速率的影响时,选择的是泥炭藓属的不同物种,未比较同一物种在不同生境下的差异,这忽略了不同物种本身化学属性上的差异所带来的影响。而本研究为同一物种在不同生境下的分解,最终结果表明微生境对泥炭藓凋落物的分解无显著影响。这可能与本研究中两种微生境环境差异不大有关。

致谢 感谢湖北民族大学余夏君、吴浩、张宏同学在野外样品采集和室内样品分析工作中给予的帮助。

参考文献

- Asada T, Warner BG, Banner A (2003). Growth of mosses in relation to climate factors in a hypermaritime coastal peatland in British Columbia, Canada. *The Bryologist*, 106, 516–527.
- Bell MC, Ritson JP, Verhoef A, Brazier RE, Templeton MR, Graham NJD, Freeman C, Clark JM (2018). Sensitivity of peatland litter decomposition to changes in temperature and rainfall. *Geoderma*, 331, 29–37.
- Bengtsson F, Granath G, Rydin H (2016). Photosynthesis, growth, and decay traits in *Sphagnum*—A multispecies comparison. *Ecology and Evolution*, 6, 3325–3341.
- Bengtsson F, Rydin H, Hájek T (2018). Biochemical determinants of litter quality in 15 species of *Sphagnum*. *Plant and Soil*, 425, 161–176.
- Bragazza L, Siffi C, Iacumin P, Gerdol R (2007). Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: the role of microbial adaptability to litter chemistry. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 257–267.
- Breeuwer A, Heijmans M, Robroek BJM, Limpens J, Berendse F (2008). The effect of increased temperature and nitrogen deposition on decomposition in bogs. *Oikos*, 117, 1258–1268.
- Clymo RS (1970). The growth of *Sphagnum*: methods of measurement. *Journal of Ecology*, 58, 13–49.
- Clymo RS, Hayward PM (1982). The ecology of *Sphagnum*// Smith AJE. *Bryophyte Ecology*. Chapman and Hall, London.
- Dorrepaal E, Aerts R, Cornelissen JHC, Callaghan TV, van Logtestijn RSP (2003). Summer warming and increased winter snow cover affect *Sphagnum fuscum* growth, structure and production in a sub-arctic bog. *Global Change Biology*, 10, 93–104.
- Editorial Board of Wetland Vegetation in China (1999). *Wetland Vegetation in China*. Science Press, Beijing. [中国湿地植被编辑委员会 (1999). 中国湿地植被. 科学出版社, 北京.]
- Furness SB, Grime JP (1982). Growth rate and temperature responses in bryophytes: I. An investigation of *Brachythecium rutabulum*. *Journal of Ecology*, 70, 513–523.
- Genet H, Oberbauer SF, Colby SJ, Staudhammer CL, Starr G (2013). Growth responses of *Sphagnum* hollows to a growing season lengthening manipulation in Alaskan Arctic tundra. *Polar Biology*, 36, 41–50.
- Gerdol R (1995). The growth dynamics of *Sphagnum* based on field measurements in a temperate bog and on laboratory cultures. *Journal of Ecology*, 83, 431–437.
- Gerdol R, Petraglia A, Bragazza L, Iacumin P, Brancaleoni L (2007). Nitrogen deposition interacts with climate in affecting production and decomposition rates in *Sphagnum* mosses. *Global Change Biology*, 13, 1810–1821.
- Gorham E (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1, 182–195.
- Gunnarsson U (2005). Global patterns of *Sphagnum* productivity. *Journal of Bryology*, 27, 269–279.
- Ho YS, Mckay G (2000). The kinetics of sorption of divalent metal ions onto *Sphagnum* moss peat. *Water Research*, 34, 735–742.
- Jassey VEJ, Chiapusio G, Gilbert D, Buttler A, Toussaint ML, Binet P (2011). Experimental climate effect on seasonal variability of polyphenol/phenoloxidase interplay along a narrow fen-bog ecological gradient in *Sphagnum fallax*. *Global Change Biology*, 17, 2945–2957.
- Johnson LC, Damman AWH (1993). Decay and its regulation

- in *Sphagnum* peatlands. *Advances in Bryology*, 5, 249–296.
- Kosykh NP, Koronova NG, Granath G (2017). Effect of temperature and precipitation on linear increment of *Sphagnum fuscum* and *S. magellanicum* in Western Siberia. *Russian Journal of Ecology*, 2017, 48, 203–211.
- Lang SI, Cornelissen JHC, Klahn T, van Logtestijn RSP, Broekman R, Schweikert W, Aerts R (2009). An experimental comparison of chemical traits and litter decomposition rates in a diverse range of subarctic bryophyte, lichen and vascular plant species. *Journal of Ecology*, 97, 886–900.
- Leroy F, Gogo S, Guimbaud C, Bernard-Jannin L, Hu Z, Laggoun-Défarge F (2017). Vegetation composition controls temperature sensitivity of CO₂ and CH₄ emissions and DOC concentration in peatlands. *Soil Biology & Biochemistry*, 107, 164–167.
- Li H, Parent LE, Karam A, Tremblay C (2004). Potential of *Sphagnum* peat for improving soil organic matter, water holding capacity, bulk density and potato yield in a sandy soil. *Plant and Soil*, 265, 355–365.
- Li W, Bu ZJ, Zhang BJ, Long C, Tang RJ, Cui QW (2013). Decomposition of *Sphagnum* litter in 4 peatlands of the Changbai Mountains along an altitudinal gradient. *Journal of Mountain Science*, 31, 442–447. [李伟, 卜兆君, 张兵将, 龙川, 唐瑞江, 崔钱王 (2013). 长白山不同海拔泥炭地泥炭藓残体的分解. 山地学报, 31, 442–447.]
- Limpens J, Berendse F (2003). How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing *Sphagnum*. *Oikos*, 103, 537–547.
- Liu YY, Ma JZ, Bu ZJ, Wang SZ, Zhang XB, Zhang TY, Liu SS, Fu B, Kang Y (2018). Effect of geographical sources and biochemical traits on plant litter decomposition in a peatland. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 42, 713–722. [刘媛媛, 马进泽, 卜兆君, 王升忠, 张雪冰, 张婷玉, 刘莎莎, 付彪, 康媛 (2018). 地理来源与生物化学属性对泥炭地植物残体分解的影响. 植物生态学报, 42, 713–722.]
- Loisel J, Gallego-Sala AV, Yu Z (2012). Global-scale pattern of peatland *Sphagnum* growth driven by photosynthetically active radiation and growing season length. *Biogeosciences*, 9, 2737–2746.
- Ma JZ (2018). *The Simulation Study on Effects of Climate Warming on Plant Litter Decomposition in Peatlands Basing on Three Experimental Modes*. Master degree dissertation, Northeast Normal University, Changchun. [马进泽 (2018). 基于三种实验方式的气候变暖对泥炭地植物凋落物分解影响的模拟研究. 硕士学位论文, 东北师范大学, 长春.]
- Mironov VL, Kondratiev AY (2017). Peat moss *Sphagnum riparium* follows a circatrigintan growth rhythm *in situ*: a case report. *Chronobiology International*, 34, 981–984.
- Moore TR (1989). Growth and net production of *Sphagnum* at five fen sites, subarctic eastern Canada. *Canadian Journal of Botany*, 67, 1203–1207.
- Newman TR, Wright N, Wright B, Sjögersten S (2018). Interacting effects of elevated atmospheric CO₂ and hydrology on the growth and carbon sequestration of *Sphagnum* moss. *Wetlands Ecology and Management*, 26, 763–774.
- Orwin KH, Ostle NJ (2012). Moss species effects on peatland carbon cycling after fire. *Functional Ecology*, 26, 829–836.
- Philben M, Holmquist J, MacDonald G, Duan DD, Kaiser, K, Benner R (2015). Temperature, oxygen, and vegetation controls on decomposition in a James Bay peatland. *Global Biogeochemical Cycles*, 29, 729–743.
- Rochefort L, Vitt DH, Bayley SE (1990). Growth, production, and decomposition dynamics of *Sphagnum* under natural and experimentally acidified conditions. *Ecology*, 71, 1986–2000.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
- Tahvanainen T, Haraguchi A (2013). Effect of pH on phenol oxidase activity on decaying *Sphagnum* mosses. *European Journal of Soil Biology*, 54, 41–47.
- Thormann MN, Bayley SE (1997). Aboveground net primary production along a bog-fen-marsh gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Écoscience*, 4, 374–384.
- Waddington JM, Rochefort L, Campeau S (2003). *Sphagnum* production and decomposition in a restored cutover peatland. *Wetlands Ecology & Management*, 11, 85–95.
- Wang LS, Jia Y, Zhang XC, Qin HN (2018). *Species Catalogue of China. Volume 1 Plants A Synoptic Checklist (I)*. Science Press, Beijing. [王立松, 贾谕, 张宪春, 覃海宁 (2018). 中国生物名录第一卷 植物总名录(上册). 科学出版社, 北京.]
- Wieder RK, Lang GE (1983). Net primary production of the dominant bryophytes in a *Sphagnum*-dominated wetland in West Virginia. *The Bryologist*, 86, 280–286.
- Wieder RK, Vitt DH, Burke-Scoll M, Scott KD, House M, Vile MA (2010). Nitrogen and sulphur deposition and the growth of *Sphagnum fuscum* in bogs of the Athabasca Oil Sands Region, Alberta. *Journal of Limnology*, 69, 161–170.
- Yazaki T, Yabe K (2012). Effects of snow-load and shading by vascular plants on the vertical growth of hummocks formed by *Sphagnum papillosum* in a mire of northern Japan. *Plant Ecology*, 213, 1055–1067.
- Yu ZC (2012). Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences*, 9, 4071–4085.
- Yu ZC, Loisel J, Brosseau DP, Beilman DW, Hunt SJ (2010). Global peatland dynamics since the last glacial maximum. *Geophysical Research Letters*, 37, L13402. DOI: 10.1029/2010gl043584.
- Zhang XH, Sun XX, Mao R (2017). Effects of litter evenness, nitrogen enrichment and temperature on short-term litter decomposition in freshwater marshes of Northeast China. *Wetlands*, 37, 145–152.

特邀编委: 刘国方 责任编辑: 李 敏

DOI: 10.17521/cjpe.2019.0316