

不同地表覆盖下低温季节对西南亚高山土壤 微生物量碳动态的影响

黄雪菊^{1 2} 王 琴² 孙 辉^{2*} 李 沙²

(1. 四川省环境科学保护研究院, 四川 成都 610041; 2. 四川大学环境科学与工程系, 四川 成都 610065)

摘 要: 西南亚高山森林土壤是我国土壤碳密度最高区域之一, 作为敏感的低温生态系统越来越受到关注。通过对均质化土壤重装土柱在积雪与凋落物覆盖 (Control)、积雪覆盖 (BNS)、凋落物覆盖 (LNS) 和裸露土壤 (BNS) 条件下原位培养, 测定各处理 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土壤微生物量变化。结果显示, 低温季节亚高山土壤微生物量仍处于较高水平, 显示低温季节是亚高山土壤生态过程重要时期; 雪被和凋落物覆盖对亚高山森林土壤低温季节的微生物量碳影响显著, 在 0 ~ 10 cm 土层 control 微生物量最高, 裸地 (BNS) 最低, 只有凋落物 (LNS) 或积雪覆盖 (BS) 处理介于二者之间; control 在 10 ~ 20 cm 深度的土壤微生物量碳也维持较高水平。在低温季节不同覆盖处理下时间动态差异显著, 对于 0 ~ 10 cm 土壤, BNS 和 BS 呈单峰变化, 即微生物量碳在低温季节中期显著高于前期和末期, LNS 在低温季节前期显著低于后期含量, 而 control 则是在低温季节中期显著低于前期和后期。效应和交互作用分析显示, 土壤表面雪被、凋落物、培养时间和土壤深度对土壤微生物量碳的作用均显著, 同时这 4 个因素之间也存在显著的交互作用。这显示全球暖化或者土地利用变化导致的地表覆盖和积雪消失, 在短期内可能降低亚高山森林土壤微生物量, 有助于土壤碳固存。

关键词: 亚高山土壤; 森林土壤; 土壤微生物量 (MBC); 低温季节; 土壤有机碳

中图分类号: S714

文献标识码: A

以极地和高山为代表的陆地低温生态系统是全球最重要的土壤碳库之一, 据估计季节性冻土和永冻土带土壤碳库储碳 200 ~ 500 Gt, 同时极地和高山区域也最易受到气候暖化的影响, 并且观测到这些区域的增温幅度高于其他地区^[1]。与其他陆地生态系统相比, 低温环境下土壤有机质分解慢而且处于腐殖化过程, 导致土壤中活性有机碳 (Labile soil organic matter) 占有机碳的比例更高^[2]。低温环境下土壤微生物活性、土壤呼吸、土壤碳矿化 (特别是活性有机碳) 等土壤生态过程也对全球暖化更加敏感^[3-5], 土壤碳库对升温具有正反馈响应^[6], 在全球暖化情形下, 可能使这些高海拔低温生态系统由

CO₂ 的碳汇变成碳源^[7-8]。大量研究也显示, 在低温季节, 土壤呼吸通量、微生物群落动态、土壤碳氮矿化速率、痕量温室气体 (如 NO_x) 排放等并不低于夏季或者生长季节^[9-13]。因此, 极地和高山等低温生态系统土壤温室气体排放^[14-15]、碳氮动态及其微生物有效性、微生物群落结构与功能响应特征等对全球暖化效应方面^[16-18], 已受到土壤生态及全球变化生态学等领域极大关注。

西南亚高山森林海拔一般在 3 000 m 以上, 是我国西部乃至全国最重要的林区和长江中上游生态屏障的核心区域, 是一个巨大土壤碳库, 土壤有机碳密度高^[19], 但空间异质性强, 土壤有机碳在短时期

收稿日期 (Received date): 2011 - 09 - 20; 改回日期 (Accepted): 2012 - 04 - 12。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (40871124), 国际科学基金 (D/4600 - 1) 和中央高校基本科研业务费 (2010SCU2207)。[Supported by National Natural Science Foundation of China (40871124), International Foundation for Science (D/4600 - 1), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2010SCU2207).]

作者简介 (Biography): 黄雪菊 (1978 -), 女, 甘肃兰州人, 硕士, 工程师, 主要从事土壤生态和环境生态方面的研究工作。[Huang Xueju (1978 -), female, M S, major in soil ecology.] E-mail: avis4512@yahoo.com.cn

* 通讯作者 (Corresponding author): E-mail: sunhuifiles@gmail.com

的变化难以衡量。该地区全年平均温度仅 7°C 左右,低温季节长达 7 个月以上,冻融交替现象在亚高山森林土壤中非常普遍。已有研究表明,低温季节对北极和高寒生态系统的生态过程至关重要^[20]。由于在全球环境变化背景下近年来青藏高原升温明显,青藏高原被视为全球气候变化的启动区^[21]。此外,气候变化导致极端天气与积雪分布格局改变,以及地表植被与覆盖变化^[22-23],并且已经引起了一些重要的生态变化^[24],这些都可能对高海拔地带的土壤生态系统在低温季节产生不同的影响。微生物作为高海拔低温土壤生态系统最主要的功能类群,研究土壤微生物在低温季节的动态具有重要意义。但是,鉴于在亚高山高海拔区域在低温季节恶劣的环境条件等方面的限制,目前对西南亚高山在低温季节土壤微生物动态方面还未见到系统的报道。本文对不同地表覆盖状况下低温季节西南亚高山针叶林土壤的微生物量动态进行原位研究,以期为揭示亚高山土壤对环境变化的响应特征和评价低温季节在亚高山土壤碳过程中的作用与重要性提供科学依据。

1 实验材料与方法

研究地点位于四川省阿坝藏族羌族自治州小金县梦笔山,是大雪山与邛崃山系交界的北部地段,由数个海拔 4 000 m 以上的高峰组成,亚高山针叶林分布海拔多介于 3 000 ~ 4 300 m,为西南亚高山暗针叶林典型生态系统类型之一。实验点地处梦笔山

西南坡玛嘉沟,海拔 3 250 m, $E102^{\circ}24.92'$, $N31^{\circ}33.25'$ 。主要植被是亚高山人工暗针叶林,建群种是岷江冷杉(*Abies faxoniana*)和紫果云杉(*Picea balfouriana*)。林龄 40 ~ 50 a,林下阴生灌木较少,有细枝茶藨子(*Ribes tenue*)、四川忍冬(*Lonicera szechuanica*)、红毛五加(*Acanthopanax giraldii*)等零星分布。岷江冷杉林是与岷江上游和大渡河上游区域气候适应的最主要的天然与人工林植被。实验样地处于小金川支流抚边河上游山麓,排水良好,坡向东北,坡度 35° 左右;土壤为山地棕色针叶林土,凋落物层厚度 10 ~ 30 cm。野外实验期间的气温状况见图 1 所示。

1.1 实验材料

2009 年 9 月初收集实验点 0 ~ 20 cm 的亚高山针叶林土壤,清除树根和石块,过 5 mm 筛,并充分混合均匀。采混合样测定土壤基本理化性质,其中有机质质量分数为 $(246.90 \pm 21.33) \text{ g/kg}$,DOC 质量分数为 $(4.25 \pm 0.14) \text{ g/kg}$,全氮质量分数为 $(8.85 \pm 1.32) \text{ g/kg}$,全磷质量分数为 $(0.68 \pm 0.08) \text{ g/kg}$,pH (6.52 ± 0.05) ;原状土土壤容重 $(0.92 \pm 0.11) \text{ g/cm}^3$ 。实验材料预处理是将混合均匀的土壤含水量调节至田间持水量的 80%,将半径 15 cm、长度 20 cm 剖为两半的 PVC 管用扎带扎紧后按原容重重装土柱(便于从管中取出土柱时不破坏土柱的结构)。土柱埋入实验点土壤中,表面与土壤表面齐平,土柱间用森林土壤压实填平。用尼龙网在林下收集秋天新鲜凋落物,去掉其中的树枝和树皮,混匀后作为凋落物覆盖处理(LNS 和 LS)的覆盖物。

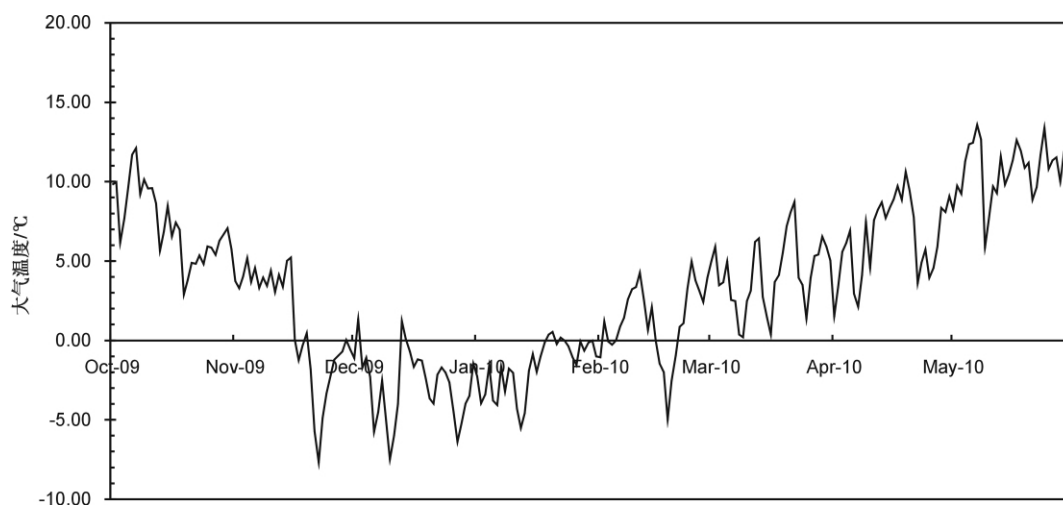


图 1 四川西部亚高山森林野外原位实验点 2009 - 10 - 01—2010 - 05 - 31 气温

Fig. 1 Atmosphere temperature of subalpine forest experiment site at western Sichuan during Oct. 1, 2009—31 May, 2010

1.2 样方设置与采样方法

野外原位培养实验设置1个对照(control) 3个处理,分别对应自然状态、积雪消失、凋落物消失、凋落物和积雪同时消失的情形。对照为凋落物覆雪处理(control 凋落物覆盖 10 cm + 自然积雪,为自然背景情形);3个处理分别为:裸土除雪处理(BNS, 裸露土壤 + 清除积雪,即在该处理上方支撑白色尼龙网将凋落物和雪阻隔并及时清除,清除的积雪融化后在喷洒到该处理上,即凋落物与积雪同时消失情形)、裸土覆雪处理(BS, 裸露土壤 + 自然积雪,即凋落物消失的情形)、凋落物除雪处理(LNS, 凋落物覆盖 10 cm + 清除积雪,覆盖 10 cm 厚凋落物,该处理上方支撑白色尼龙网将雪阻隔并及时清除,清除的积雪融化后在喷洒到该处理上,即积雪消失情形)。通过回喷积雪融水消除处理间水分的差异。每个处理3个重复,即每个处理分为3组土柱,一共12组土柱;每组土柱18个;每组内土柱间距离10 cm,每组土柱间距离30 cm。采用随机化区组设计。

经过2个月原位培养后开始采样,采样时间分别为2009-11-04、12-06 2010-01-06、02-25、03-25和05-25。每次每个处理随机采集3个土柱,土柱收集后立即置于冰盒中(保鲜)带回。将取回的新鲜土柱扎带剪开,取出土柱,将每个土柱截为

0~10 cm 深度和 10~20 cm 深度的两段分别过 2 mm 筛。

1.3 分析方法

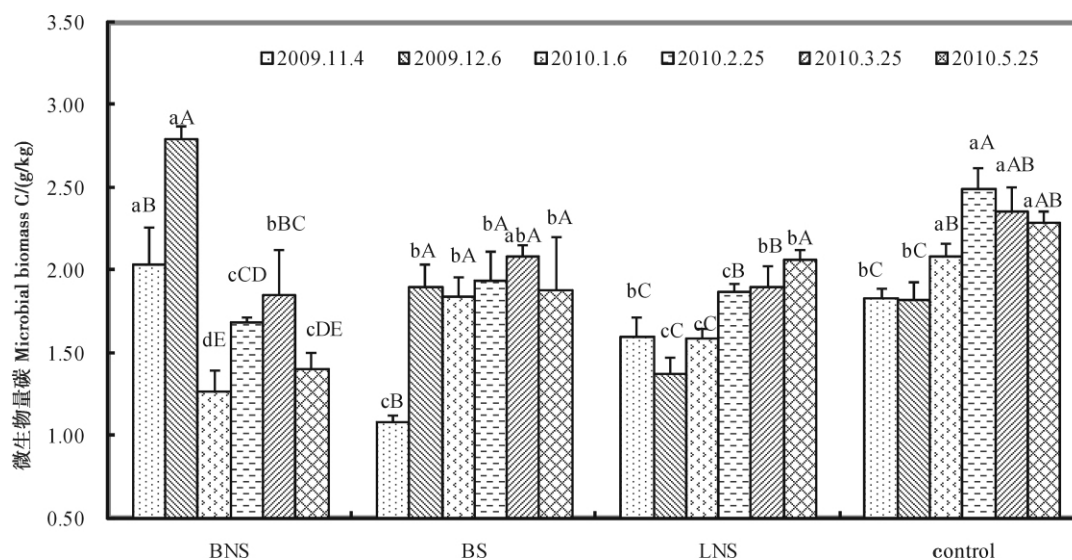
土壤微生物量碳(MBC)新鲜土壤样品,氯仿熏蒸提取法^[25-26]。一般在采样后3 d内分析完毕。数据统计分析用SPSS13.0软件进行。

2 实验结果与分析

2.1 表层土壤微生物量碳(MBC)的动态变化

亚高山森林土壤均质化原位培养后,表层(0~10 cm)土壤MBC含量的季节动态变化见图2。从各处理间看,BNS的MBC在11月和12月显著高于其他处理外,在其他时间均低于有覆盖的处理和对照(control);对照(control)的MBC在1月、2月、3月和5月的整个低温季节均高于其他处理。

从MBC在低温季节的时间动态看,不同处理MBC在低温季节存在不同变化趋势。BNS处理在低温季节的变化幅度最大,呈现先升高再急剧降低然后在较低含量上波动;其余有覆盖的3个处理(BS、LNS和control)则是先降低再升高,然后在含量较高的水平上波动,其中control的MBC含量在整个低温季节维持在比较稳定的较高水平。



注: BNS: 裸露土壤 + 清除积雪; BS: 裸露土壤 + 自然积雪; LNS: 凋落物覆盖(10 cm) + 清除积雪; control: 凋落物覆盖(10 cm) + 自然积雪,下同;图中值为平均值 ± 标准差;条形图上标注的字母为 Duncan 法进行多重比较结果。大写字母者不同者表示同一处理不同采样时间 MBC 含量差异达到显著 ($P < 0.05$);小写字母不同者表示同一采样时间不同处理 MBC 含量差异达到显著 ($P < 0.05$),下同。

图2 低温季节不同处理0~10 cm土壤微生物量碳的动态变化

Fig. 2 Changes in soil microbial biomass carbon in 0~10 cm depth during the cold season

2.2 下层土壤微生物量碳的动态变化

原位培养均质化土壤下层(10~20 cm) MBC 动态见图3所示。从各处理间看各月份的处理效应显著,其中在低温季节开始的11月以BNS和LNS处理的MBC含量最低,control的MBC最高;12月、1月、2月均以LNS处理的MBC含量最低,且与其余处理和对照的差异显著。对照在11月、2月、3月、5月的含量均为最高。

从不同覆盖下土壤10~20 cm的低温季节的时间动态看,不同处理波动状态之间也存在差异。BNS和BS呈单峰变化,即在低温季节中期MBC显著高于前期和末期MBC,LNS的MBC是在低温季节前期显著低于后期的含量,而control的MBC则是在低温季节中期显著低于前期和后期。一致的变化是各处理和对照在5月MBC均下降。

2.3 不同土层之间MBC含量的差异

在不同采样时间的不同处理下土层0~10 cm和10~20 cm土壤MBC含量差异见表1。其中,BNS的上下层土壤MBC含量连续4个月(11—02)的差异极显著,BS在11月、3月出现极显著性差异,LNS在11月、12月和3月出现显著性差异,control在11月和5月出现显著性差异。因此,不同地表覆盖条件下不同深度土壤MBC差异显著性持续时间不同,裸地(BNS)存在差异的时间长达4个月,而control只有低温季节开始(11月)和末期(5月)2个月且未达到极显著水平,LNS和BS介于二者之间,这暗示低温季节的土壤表面覆盖状况也影响下层土壤MBC动态。

2.4 亚高山低温季节土壤LFOC的处理效应

凋落物(L)、积雪(S)、采样时间(D)、土壤深度(La)各因素主效应及其交互作用分析见表2。其中除L×La、S×La、L×La×D效应未达到显著性水

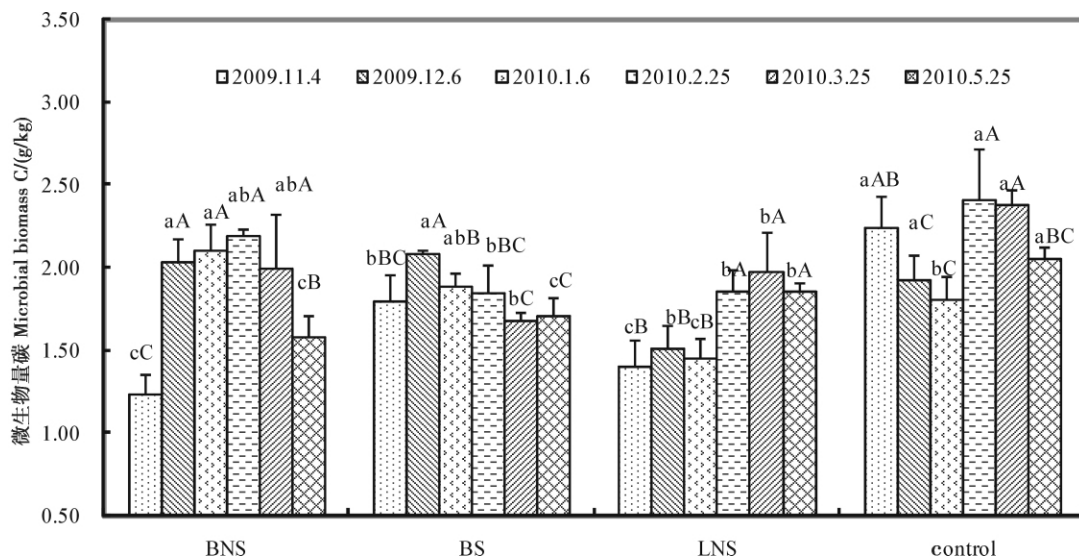


图3 低温季节10~20 cm土壤微生物量碳的动态变化

Fig. 3 Changes in soil microbial biomass carbon in 10~20 cm depth during the cold season

表1 不同处理下0~10 cm和10~20 cm土壤MBC含量在低温季节的差异分析

Table 1 Differences of MBC concentration between 0~10 cm and 10~20 cm layer of soil under different treatments during the cold season

处理 Treatment	2009-11-04 Nov 4 2009	2009-12-06 Dec 6 2009	2010-01-06 Jan 6 2010	2010-02-25 Feb 25 2010	2010-03-25 Mar 25 2010	2010-05-25 May 25 2010
BNS	**	**	**	**	ns	ns
BS	**	ns	ns	ns	**	ns
LNS	**	*	ns	ns	ns	**
LS	*	ns	ns	ns	ns	*

注:表中ns表示0~10 cm与10~20 cm土壤中MBC含量的差异未达到显著性水平;*表示0~10 cm与10~20 cm土壤中MBC含量的差异达到显著水平($P<0.05$);**表示0~10 cm与10~20 cm土壤中MBC含量的差异达到极显著水平($P<0.01$)。

表 2 各因素及其之间微生物量 C 的主效应及交互作用分析

Table 2 Repeated measures ANOVA showing the P values and partial Eta² for responses of MBC

	L	S	La	D	L × S	L × La	L × D	S × La	S × D	La × D	L × S × La	L × S × D	L × La × D	S × La × D	L × S × La × D
显著性	**	**	*	**	**	ns	**	ns	**	**	**	**	ns	**	**
效应(η ²)	0.12	0.33	0.02	0.62	0.18	0.01	0.78	0.02	0.78	0.21	0.18	0.48	0.09	0.17	0.36

注: ns 表示主效应(或交互作用)对 MBC 影响未达显著性水平; * 表示主效应(或交互作用)对 MBC 影响达到显著水平($P < 0.05$); ** 表示主效应(或交互作用)对 MBC 影响达到极显著水平($P < 0.01$); η^2 为效应大小。

平 La 未达极显著水平外,其余各因素及其相互作用的效应均达到极显著水平。这表明凋落物覆盖、积雪覆盖、土壤深度、采样时间均是土壤中 MBC 的影响因素,积雪与凋落物之间存在交互作用显著,土壤 MBC 在低温季节的含量受到这些因素及其相互作用的复杂影响。各因素对 MBC 含量总体变异的贡献大小次序是采样时间 $D >$ 积雪 $S >$ 凋落物 $L >$ 土层深度 La,而交互作用 $L \times D$ 和 $S \times D$ 以及 $L \times S$ 对变异的贡献也非常大。

3 讨论

土壤 MBC 作为土壤有机碳中最活跃和最易变化的部分,直接参与养分循环转化等生物化学过程,同时又与土壤中的 C、N、P、S 等元素生物地化循环密切相关,是反映土壤微生物活性强度及有机质分解过程的重要指标,加之对环境变化敏感性高,也常被作为土壤有机碳动态的早期响应指标。低温生态系统的冻融交替及其格局的变化,影响土壤温度变化速率、通气性以及水分和营养物质的迁移^[22];还导致微生物死亡进而影响微生物的生物量和活性,冻融都导致微生物呼吸强度和痕量温室气体在短期(数小时至数天)增强,但是随着冻融交替次数增加而这种激发效应效果逐渐降低^[14-15 27-28]。近年来新发现在低温季节低温和频繁的冻融循环并没有使微生物活动停止,一些土壤微生物类型甚至具有非常高的代谢活性^[12,15-16 28]。我们近年来对亚高山不同覆盖下土壤剖面温度监测表明,土壤冻融交替显著影响到土壤剖面的温度分布格局,特别是在低温季节影响到土壤剖面的冻融交替变化格局,雪被和凋落物的消失增加土壤剖面温度的波动幅度,同时增加了土壤冻融交替次数,地表覆盖在低温季节对土壤温度最大影响深度可以达到 30 cm 以下。本文中 0~10 cm 土壤 MBC 变化显示了不同覆盖状况下土壤微生物的响应特征,对于没有积雪和凋落物

覆盖的裸地(BNS),低温季节开始即土壤温度急剧波动使土壤 MBC 维持在一个较高的水平,中后期 MBC 下降可能与基质消耗以及冻融交替激发效应减弱有关;积雪或凋落物覆盖处理(BS、LNS)在低温季节中后期 MBC 维持在较高水平,可能与土壤覆盖使土壤表层温度变化减小和冻融交替减少有关;对照(Control) MBC 一直处于较高的稳定水平,反映了凋落物与积雪对土壤表层温度的缓冲作用,也反映了积雪和凋落物同时存在对土壤微生物的协同效应。不同覆盖处理下 10~20 cm 土壤 MBC 的变化实际上土壤剖面温度变化格局在该层的效应。这也证实了在高纬度低温生态系统的研究结果,这些凋落物和雪被覆盖下微生物活性仍然很强,低温季节是这些生态系统碳氮动态和温室气体排放等一个不可忽视的重要时期^[20 28]。

就土壤微生物对土壤冻融交替及极端低温的效应来说,一般认为冻融交替导致部分微生物细胞死亡从而增加土壤有效养分,从而在冻融交替之后形成一个激发效应而使土壤 MBC 迅速恢复,因此单次冻融交替可能对土壤 MBC 影响不大^[29],本研究中 BNS 土壤 MBC 在 12 月有一个峰值,可能就是激发效应引起的。对于高海拔和高纬度的低温生态系统,全球变化可能导致一些地区降雪减少而降水增加,雪被较少或者消失使土壤在低温季节表面缺少覆盖对极端低温的缓冲而在土壤剖面发生更多冻融交替次数,并影响到土壤剖面更深。我们的结果显示,裸地 0~10 cm 土壤 MBC 在低温季节特别是中后期处于较低水平,暗示西南亚高山森林土壤如果凋落物和雪被的消失,将极大减小土壤表层的 MBC,从而降低在低温季节土壤碳的矿化和微生物呼吸,这与一些报道的结果一致,因为随着冻融交替次数的增加激发效应降低,土壤有效养分降低导致和微生物种群减小则可能使 MBC 降低^[29],并导致土壤有机碳分解和温室气体排放量降低^[30]。由此看来,西南亚高山土壤在低温季节 MBC 仍然很高,

有些处理下甚至高于生长季节初期的 5 月和末期的 11 月,但由于目前受到环境和条件的制约,对于西南亚高山森林土壤生物与生物化学等方面的研究多集中在生长季节,对于低温季节土壤生态过程的研究比较缺乏,因此还需要加强相关的原位系统研究。

4 主要结论

1. 低温季节亚高山土壤 MBC 仍然处于较高水平,显示低温季节对于亚高山土壤生态过程非常重要。雪被和凋落物覆盖对亚高山森林土壤低温季节的 MBC 影响显著,在 0~10 cm 土层 control(凋落物和积雪同时覆盖) MBC 最高,裸地(BNS)最低,只有凋落物(LNS)或积雪覆盖(BS)处理介于二者之间。对照在 10~20 cm 土壤 MBC 也维持在较高的水平。这显示全球暖化或者土地利用变化导致的地表覆盖和积雪消失,在短期内可能降低低温季节亚高山森林土壤 MBC 而降低土壤呼吸和碳矿化,从而有助于土壤碳固存。

2. 不同覆盖处理对低温季节 MBC 时间动态影响显著。对于 0~10 cm 土壤, BNS 和 BS 呈单峰变化,即在低温季节中期 MBC 显著高于前期和末期, LNS 是在低温季节前期显著低于后期的含量,而 Control 则是在低温季节中期 MBC 显著低于前期和后期。各处理和对照在 5 月 MBC 均下降。表面覆盖的差异同样 10~20 cm 土壤 MBC 动态和上下层 MBC 的差异状况,其中对照上下层差异显著的时间最短,显示对照土壤剖面差异最小。

3. 效应和交互作用分析显示,在低温季节亚高山土壤表面雪被、凋落物、培养时间和土壤深度对土壤 MBC 的作用均显著;同时这 4 个因素之间也存在显著的交互作用。

致谢:感谢王建、鲜宸坤等同志在高寒艰苦环境下对土壤原位培养样地的管理工作以及研究生张宁、杨红露实验室分析方面的支持;感谢本文责任编辑以及匿名审稿人提出的中肯意见。

参考文献(References)

- [1] IPCC. Climate change 2007: the Physical Science Basis (AP4) [EB/OL]. <http://www.ipcc.ch/>
- [2] Sjögersten S, Turner B L, Mathieu N, et al. Soil organic matter biochemistry and potential susceptibility to climate change across the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains [J]. *Global Change Biology*, 2003, 9: 759–772
- [3] Kirschbaum M U F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil C storage [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27: 753–760
- [4] Groffman P M, Driscoll C T, Fahey T J, et al. Colder soils in a warmer world: A snow manipulation study in a northern hardwood forest ecosystem [J]. *Biogeochemistry*, 2001, 56: 135–150
- [5] Koch O, Tschirko D, Kandeler E. Temperature sensitivity of microbial respiration, nitrogen mineralization, and potential soil enzyme activities in organic alpine soils [J/OL]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 21. GB4017. doi: 10.1029/2007GB002983
- [6] Heimann M, Reichstein M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedback [J]. *Nature*, 2008, 451: 289–292
- [7] Carter M R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties [J]. *Soil Tillage Research*, 1986, 7: 29–40
- [8] Biasi C, Meyer H, Rusalimova O, et al. Initial effects of experimental warming on carbon exchange rates, plant growth and microbial dynamics of a lichen-rich dwarf shrub tundra in Siberia [J]. *Plant and Soil*, 2008, 307: 191–205
- [9] Schadt C W, Martin A P, Lipson D A, et al. Seasonal dynamics of previously unknown fungal lineages in tundra soils [J]. *Science*, 2003, 301: 1359–1361
- [10] Hubbard R M, Ryan M G, Elder K, et al. Seasonal patterns in soil surface CO₂ flux under snow cover in 50 and 300 year old sub-alpine forests [J]. *Biogeochemistry*, 2005, 73: 93–107
- [11] Monson R K, Lipson D L, Burns S P, et al. Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition [J]. *Nature*, 2008, 439: 711–714
- [12] Liptzin D, Helmig D, Williams M W, et al. Process-level controls on CO₂ fluxes from a seasonally snow-covered subalpine meadow soil, Niwot Ridge, Colorado [J]. *Biogeochemistry*, 2009, 95: 151–166
- [13] Williams M W, Helmig D, Blanken P. White on green: under-snow microbial processes and trace gas fluxes through snow, Niwot Ridge, Colorado Front Range [J]. *Biogeochemistry*, 2009, 95: 1–12
- [14] Herrmann A, Witter E. Sources of C and N contributing to the flush in mineralization upon freeze-thaw cycles in soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 1495–1505
- [15] Teepe R, Brumme R, Beese F. Nitrous oxide emissions from soil during freezing and thawing periods [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33: 1269–1275
- [16] Brooks P, Williams M W, Schmidt S K. Microbial activity under alpine snowpacks, Niwot Ridge, Colorado [J]. *Biogeochemistry*, 1996, 32: 93–113
- [17] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change [J]. *Nature*, 2006, 440: 165–173
- [18] Rinnan R, Stark S, Tolvanen A. Responses of vegetation and soil microbial communities to warming and simulated herbivory in sub-arctic heath [J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97: 788–800
- [19] Li Kerang, Wang Shaoqiang, Cao Minghui. Carbon stocks of vegetation and soil in China [J]. *Science in China: Series D*, 2003, 33(1): 72–80 [李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被与土壤碳储量 [J]. *中国科学 D 辑*, 2003, 33(1): 72–80]
- [20] Campbell J L, Mitchell M J, Groffman P M, et al. Winter in north

- America: a critical period for ecological processes [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3(6): 314–322
- [21] Feng Song, Tang Maocang, Wang Dongmei. New evidence supporting Tibetan Plateau as the trigger region of China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(6): 633–636 [冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据 [J]. *科学通报*, 1998, 43(6): 633–636]
- [22] Edwards A C, Scalenghe R, Freppaz M. Changes in the seasonal snow cover of alpine regions and its effect on soil processes: A review [J]. *Quaternary International*, 2007, 162–163: 172–181
- [23] Cui X F, Graf H F, Langmann B, et al. Climate impacts of anthropogenic land use changes on the Tibetan Plateau [J]. *Global and Planetary Change*, 2006, 54: 33–56
- [24] Yu H, Luedeling E, Xu J. Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau [J]. *PNAS*, 2010, 107: 22151–22156
- [25] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19: 703–707
- [26] Joergensen R G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the kEC value [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1996, 28: 25–31
- [27] Müller C, Martin M, Stevens R J, et al. Processes leading to N₂O emissions in grassland soil during freezing and thawing [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 1325–1331
- [28] Groffman P M, Hardy J P, Fashu-kanu S, et al. Snow depth, soil freezing and nitrogen cycling in a northern hardwood forest landscape [J]. *Biogeochemistry*, 2010, 102: 223–238
- [29] Grogan P, Michelsen A, Ambus P, et al. Freeze-thaw regime effects on carbon and nitrogen dynamics in sub-arctic heath tundra microcosms [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 641–654
- [30] Reinmann A B, Templer P H, Campbell J L. Severe soil frost reduces losses of carbon and nitrogen from the forest floor during simulated snowmelt: A laboratory experiment [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 44: 65–74

Soil Biomass Carbon Dynamics of Subalpine Forest in Western Sichuan Province during the Cold Season

HUANG Xuejue¹, WANG Qin², SUN Hui², LI Sha²

(1. *Sichuan Research Academy of Environmental Science, Chengdu 610041, China;*

2. *Department of Environmental Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)*

Abstract: Subalpine forest in the southwestern of China, as one of the most important cold ecosystem with high sensitivity and altitude, and high density of soil organic carbon, attaches more and more attentions recently. Repacked columns of homogenized subalpine forest topsoil (0~20 cm) were incubated onsite under three treatments, i. e., bare soil without litter and snow cover (BNS), bare soil with snow cover (BS), snow-free soil with litter cover of 10 cm depth (LNS), and control (soil with 10 cm litter and snow cover) to determined the impacts of surface coverage on soil microbial biomass (MBC) dynamics during the cold season. The results showed that content of MBC was very high during the cold season, indicating that cold season is an important period for soil C storage and turnover. Coverage of snowpack and litter impacted MBC significantly, and MBC of the control is higher than other treatment during the mid and later period of cold season while the BNS (bare soil) is the lowest, suggesting that snowpack and litter cover improve the soil MBC significantly. The temporal fluctuations, and difference of MBC contents between 0~10 cm and 10~20 cm of the 3 treatments and control are also different during the cold season, and there were significant interactions between snowcover, litter cover, soil depth and sampling time on soil MBC. We conclude that snow and litter cover improved soil MBC due to insulating soil from abruptly temperature fluctuation and frequently freeze-thaw cycle, and disappearance of snowpack and litter under climate change and LUCC would reduce soil MBC, soil respiration, and organic carbon mineralization for subalpine forest soil during the cold season.

Key words: alpine soil; forest soil; soil microbial biomass (MBC); cold season; soil organic carbon