

引用格式: 刘元恭, 张彦, 谌小慧, 陈昭一, 童宇毅. 新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面有机碳结构变化及其影响机理[J]. 山地学报, 2024, 42(3): 300-311.

LIU Yuangong, ZHANG Yan, CHEN Xiaohui, CHEN Zhaoyi, TONG Yuyi. Change of organic carbon composition in peat profiles over the permafrost areas of Xinjiang Altai Mountains in China and its influence mechanism [J]. Mountain Research, 2024, 42(3): 300-311.

新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面有机碳结构变化及其影响机理

刘元恭, 张彦*, 谌小慧, 陈昭一, 童宇毅

(福建师范大学 a. 福建省亚热带资源与环境重点实验室; b. 地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 多年冻土泥炭地是重要的陆地碳库之一, 在区域碳循环及气候变化过程中扮演重要作用。前期研究集中于区域气候变化对泥炭有机碳稳定性影响研究, 但局地环境变化对其影响并不明确。新疆阿尔泰山多年冻土泥炭地是中国西北高山泥炭重要的分布地区之一, 对气候变化响应敏感。本文选取阿尔泰山三处多年冻土区泥炭地(黑湖、哈拉萨孜和三道海子)剖面, 利用傅里叶变换红外光谱(FTIR)技术对比分析泥炭剖面易分解的碳水化合物和结构较稳定的芳香族化合物的含量变化特征, 揭示不同局地环境条件下泥炭剖面中有机碳结构变化及差异特征; 并结合泥炭剖面中总有机碳(TOC)、腐殖化度(HD)和灰分等理化指标以及局地环境特征, 探讨阿尔泰山多年冻土区泥炭沉积过程, 揭示泥炭有机碳结构稳定性变化的影响机理。结果表明, (1)阿尔泰山不同环境条件下多年冻土区泥炭剖面中有机碳结构含量特征存在明显差异。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中芳香族化合物含量(26.63%和26.58%)显著高于三道海子泥炭剖面中芳香族化合物含量(21.21%); 三道海子泥炭剖面中碳水化合物含量(36.12%)明显高于黑湖(21.84%)和哈拉萨孜(24.21%)泥炭剖面。(2)芳香族化合物与碳水化合物含量比值结果表明, 黑湖泥炭剖面中有机碳结构稳定性(1.33)高于哈拉萨孜(1.14)和三道海子(0.60); 黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中有机碳稳定性随深度增加而增加, 三道海子则随深度增加而下降。(3)阿尔泰山不同环境条件下的多年冻土泥炭地植被种群和微生物活性的差异, 是导致泥炭有机碳稳定性变化的主要因素。本研究可为科学评估高山多年冻土区有机碳库动态变化及对环境变化的响应提供参考。

关键词: 多年冻土; 泥炭; 有机碳; 稳定性; 阿尔泰山

中图分类号: K903

文献标志码: A

泥炭沼泽在全球碳循环过程中发挥重要作用。泥炭沼泽指土壤剖面发育有泥炭层的沼泽, 由未完全分解的植物残体堆积形成, 分布广泛^[1-2]。泥炭沼泽的淹水与酸性环境限制了微生物的分解, 使得碳累积速率远高于其他生态系统^[3-7]。在全球气候变暖背景下, 温度增加以及降水减少加剧了泥炭有

机碳分解和释放, 泥炭中有机碳输入和输出动态过程发生明显变化, 正反馈于气候变暖^[4, 8-9]。

多年冻土区泥炭地是重要的陆地碳库之一, 对气候变化响应敏感^[1-3]。气候变暖导致多年冻土区永久冻土层解冻, 出现热融滑塌、冲沟和活动层剥落等现象, 改变局地水热环境, 影响植被生长和微生物

收稿日期(Received date): 2024-03-01; 改回日期(Accepted date): 2024-05-21

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(42177432); 福建省科技厅公益类项目(2021R1002002)。[National Natural Science Foundation of China (42177432); Public Welfare Project of Technology Department of Fujian Province (2021R1002002)]

作者简介(Biography): 刘元恭(1998-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 湿地生态与环境演变。[LIU Yuangong (1998-), male, born in Xinyang, Henan province, M. Sc. candidate, research on wetland ecology and environmental change] E-mail: lyg17051011167@outlook.com

* 通讯作者(Corresponding author): 张彦(1988-), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 生态演化过程。[ZHANG Yan (1988-), female, Ph. D., associate professor, research on the process of ecological evolution] E-mail: zhangyan7299@126.com

的活性,促进碳的分解和排放,加剧多年冻土区泥炭地由“碳汇”逐步向“碳源”转化^[6, 10-11]。

土壤有机碳分子结构特征是影响土壤有机碳功能和稳定的重要因素,能从本质上反映土壤有机碳的稳定性和循环速率^[3, 12-14]。由于不同的含碳官能团结构对分解抗性不同,其在环境中的持续时间存在差异,土壤碳库动态变化最终可归结于分子尺度上含碳官能团结构的化学变化过程^[12]。高比例稳定的苯环结构(如芳香族化合物)是在温暖气候条件下提高土壤碳库稳定性的主要因素^[13];碳水化合物结构不稳定,其含量的增加可降低有机碳库稳定性^[13],在微生物作用下,加剧有机碳分解和排放^[13-15]。已有研究^[3, 13]发现气候变化是影响多年冻土泥炭有机碳分子结构稳定性变化的主要因素,但在同一气候背景下,不同局地环境条件(如植被种群、水文条件、冻土发育和微生物活性等)有机碳分子结构稳定性的空间差异及其影响机理不明确。

新疆阿尔泰山多年冻土泥炭地是中国西北高山泥炭重要的分布地区之一,对气候变化响应敏感^[16-19]。本研究选取阿尔泰山黑湖、哈拉萨孜和三道海子三处多年冻土区泥炭沼泽为研究样地,分别钻取连续且完整的泥炭柱芯,利用傅里叶变换红外光谱技术高分辨率对比分析三处泥炭剖面中芳香族化合物和碳水化合物含量和比例变化特征,揭示山区不同局地环境条件下多年冻土泥炭有机碳库稳定性差异;并结合泥炭剖面中 TOC (total organic carbon)、HD (humification degree) 和灰分等理化指标,分析不同环境条件下泥炭地有机碳输入与分解变化过程,探讨阿尔泰山多年冻土泥炭地碳库稳定性对局地环境变化的响应,明确影响多年冻土区泥炭有机碳稳定性的驱动机理,以期科学评估气候变化背景下高山多年冻土区有机碳库动态变化及对环境变化的响应。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿尔泰山位于新疆维吾尔自治区北部,山体为西北—东南走向,呈西北高而宽、东南低而窄的阶梯状地形特征,地貌特征主要表现为准平面隆起,冰川地貌充分发育,形成多处山间、山前盆地和广泛的沿河阶地发育^[16-17, 20]。山区大陆性寒温带寒冷气候

显著,年均气温仅 $-3.6 \sim -1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,降雪期达 7 至 8 个月,山区积雪深度达 2 m,雪线以上恒冻寒冷^[16]。山区所处欧亚大陆腹地远离海洋,水汽来源甚少^[16]。在全球大气环流形势中处于西风带,大西洋湿气流沿额尔齐斯河谷进入山区,抬升凝云致雨,降水相对较多,气候较湿润^[16]。自然降水主要集中在 6—8 月,12 月至翌年 4 月最少,年降水量随海拔升高以每百米 30 ~ 80 mm 递增,由北向南、自西向东递减^[16, 19]。积雪融水和降雨占山区河流年补给量的 72 %,积雪情况直接影响径流的年际变化,水分年蒸发量为 838.3 ~ 1469.6 mm,远大于降水量,自西向东递增,因此山区越往东气候越干燥^[16-20]。山区多年冻土泥炭沼泽资源丰富,海拔 2500 m 高山岛状多年冻土区内广泛分布泥炭沼泽和多年冻胀丘群,沼泽类型为草本泥炭沼泽和草本泥炭藓沼泽^[16-19]。沿山脉西北—东南走向,多年冻土泥炭沼泽主要包括黑湖、哈拉萨孜和三道海子(图 1)^[18]。各泥炭地的局地环境条件详细概况如表 1 所示^[18]。

1.2 样品采集

于 2019 年 8 月在新疆阿尔泰山黑湖、哈拉萨孜和三道海子三处泥炭沼泽样地,分别钻取长度为 5.0 m、5.4 m 和 1 m 连续且完整的泥炭柱芯,并在主样点附近再钻取连续且完整的泥炭柱芯以保证测试过程中所需样品量充足。柱芯以 1 cm 间隔现场分样,样品分装后立即带回实验室冷冻保存。

1.3 测定方法

傅里叶变换红外光谱(fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)是分析泥炭中有机质分子结构的有效手段^[3, 13, 21]。将 2 mg 泥炭样品与 200 mg 溴化钾粉末混合,压成薄片,使用傅里叶变换红外光谱仪(Agilent Cary 660 FTIR, 美国)在吸收模式下运行来获得 FTIR 光谱,随后对光谱进行平滑处理和基线校正^[21-22]。

泥炭 TOC 含量利用土壤碳氮元素分析仪(Elementar Vario MAX, 德国)测定^[17];腐殖化度的测定采取碱提取溶液吸光度法,处理完毕的样品利用紫外可见分光光度计(岛津 UV-1800, 日本)测定泥炭腐殖化度^[23];灰分采用 550 $^{\circ}\text{C}$ 高温灼烧法测定^[24]。

1.4 数据分析

根据 R 语言(4.2.3) FTIRbaselines 脚本识别 FTIR 光谱不同有机碳峰名和近似光谱值,推断各近

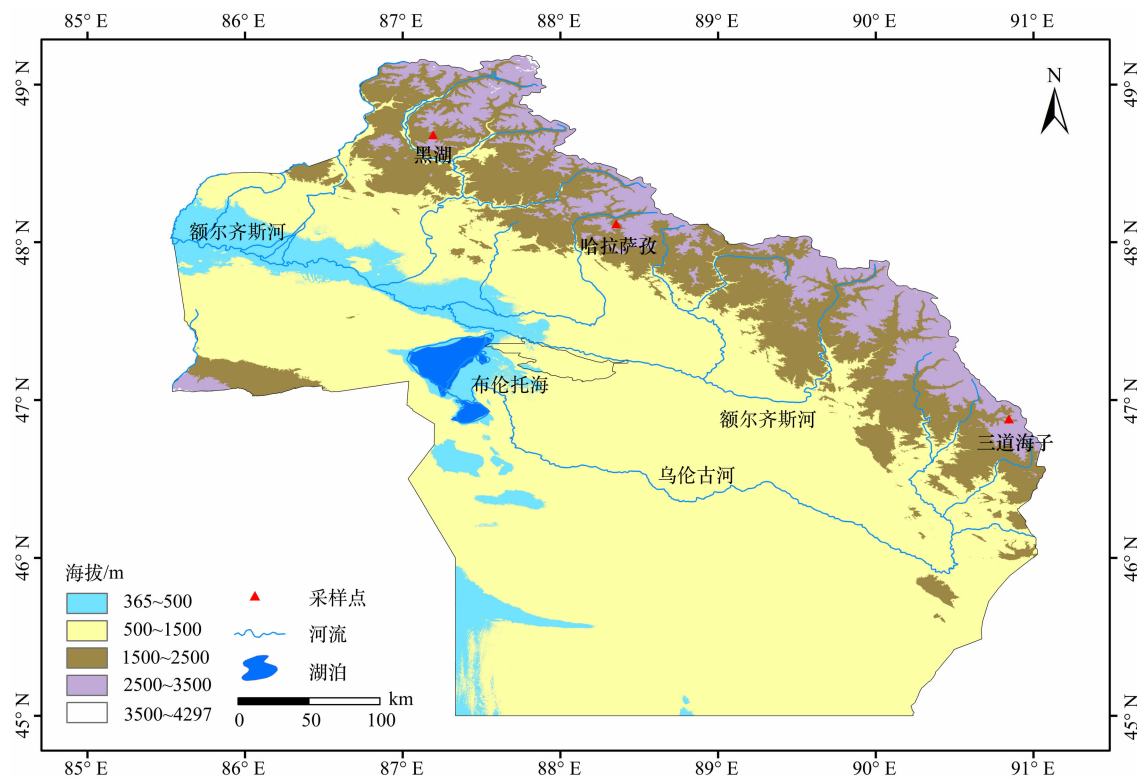


图1 新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭地样点空间分布^[18]

Fig. 1 Distributions of permafrost peatlands in Xinjiang Altai Mountains of China^[18]

表1 新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭沼泽概况与局地气象资料^[18]

Tab. 1 General situation and local meteorological data of permafrost peatlands in Xinjiang Altai Mountains of China^[18]

| 泥炭沼泽 | 地理坐标 | 海拔/m | 泥炭厚度/m | 属地 | 年平均温度/℃ | 年降水量/mm | 年蒸发量/mm | 日照百分率/% |
|------|--------------------------|------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 黑湖 | 48°40′42″N 87°11′32″E | 2250 | 1 ~ 5 | 哈巴河县,哈纳斯自然保护区境内,黑湖支流的上游谷地 | -0.20 | 1065.40 | 1097.00 | 47.50 |
| 哈拉萨孜 | 48°06′54″N 88°21′09″E | 2460 | 1 ~ 10 | 阿勒泰市,克兰河上游小东沟支流 | -3.60 | 664.00 | 838.30 | 66.60 |
| 三道海子 | 46°52′48″N 90°50′32″E | 2400 | 0.5 ~ 1.0 | 小青河上游支流谷地中,大青河森林公园东侧约 20 km 处 | -0.20 | 162.40 | 1475.60 | 71.00 |

似光谱值对应的有机碳结构(图2、表2),定性分析泥炭有机碳化学官能团结构;再依据 FTIR 吸收光谱中碳水化合物(carbohydrate compounds)和芳香族化合物(aromatic compounds)的峰高,估算泥炭有机质中碳水化合物和芳香族化合物含量^[21-22, 25],函数方程如下^[13, 21, 25]:

$$M_{\text{Carbohydrate}} = 49204 \times H_{\text{carb}} - 1.7606 \quad (1)$$

$$M_{\text{Aromatic}} = 42332 \times (H_{\text{arom15}} + H_{\text{arom16}}) + 7.3476 \quad (2)$$

式中, $M_{\text{Carbohydrate}}$ 表示碳水化合物含量; M_{Aromatic} 表示芳

香族化合物含量; H_{carb} 表示波数为 1030 时碳水化合物的峰高; H_{arom15} 和 H_{arom16} 分别表示波数为 1510 和 1615 时芳香族化合物的峰高。arom15 缺少芳香族化合物其他官能团的干扰,因此相较于arom16能更好地指示芳香族化合物苯环变化^[25]。

2 结果与分析

2.1 不同局地环境下多年冻土区泥炭剖面有机碳结构

新疆阿尔泰山黑湖、哈拉萨孜和三道海子泥炭

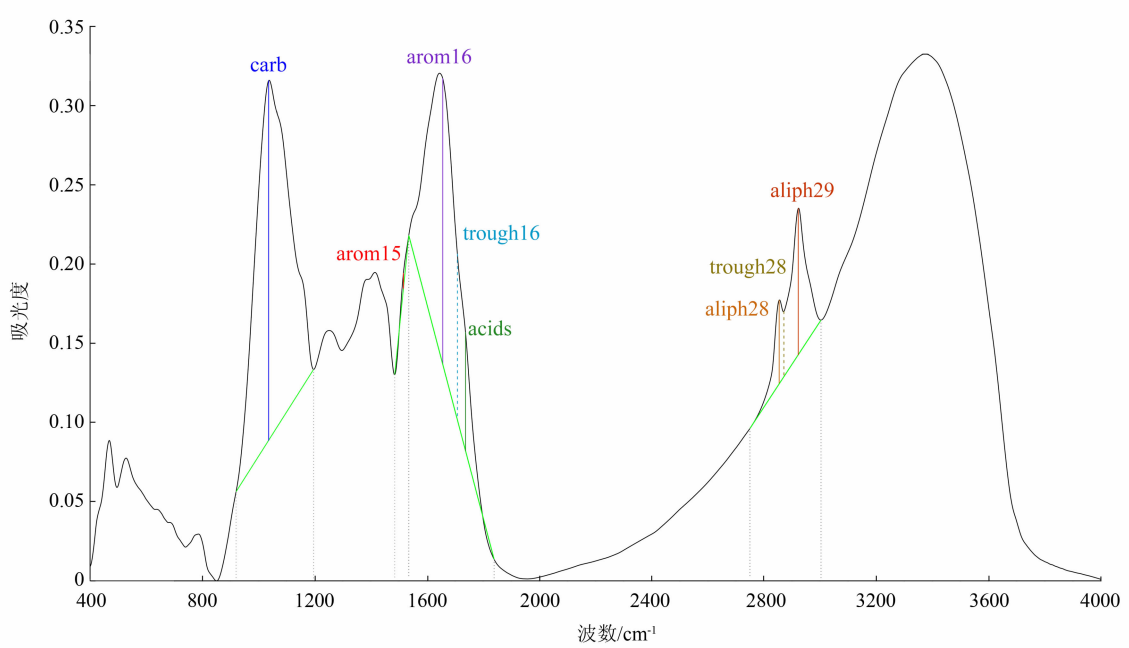


图 2 FTIR 光谱中识别的有机碳结构关键峰名分布图

Fig. 2 Distribution of key peaks of the organic carbon structure identified by FTIR

表 2 R 脚本识别的不同有机碳结构峰名及其指示的有机碳官能团结构^[13, 25]

Tab. 2 Different peak names of the organic carbon structure identified by R baseline code and its chemical compounds^[13, 25]

| 峰 | 峰名 | 近似光谱值 | 有机碳官能团结构 |
|-------------------|----------|-------|---------------------------|
| | carb | 1030 | 碳水化合物 |
| 峰 | arom15 | 1510 | 芳香烃化合物 |
| | arom16 | 1615 | 芳香烃或去氢的 COO ⁻ |
| | acids | 1720 | 含氢的 COOH |
| | aliph28 | 2850 | 脂类 |
| | aliph29 | 2920 | 脂类 |
| | trough16 | 1690 | arom16 and acids 中间的波谷 |
| 被视为峰值的谷 (基线矫正) | trough28 | 2870 | aliph28 and aliph29 中间的波谷 |

剖面中碳水和芳香族化合物含量变化特征如图 3 所示。黑湖泥炭剖面中芳香族化合物含量分布范围为 12.62% ~ 30.66%, 平均值为 26.63% (图 3a); 碳水化合物含量为 14.51% ~ 55.64%, 平均值为 21.84% (图 3d)。哈拉萨孜泥炭剖面中芳香族化合物含量分布范围为 15.69% ~ 29.21%, 平均值为 26.58% (图 3b); 碳水化合物含量为 16.78% ~ 51.66%, 平均值为 24.21% (图 3e)。三道海子泥炭剖面中芳香族化合物含量分布范围为 16.07% ~

28.13%, 平均值为 21.21% (图 3c); 碳水化合物含量为 29.07% ~ 51.24%, 平均值为 36.12% (图 3f)。

黑湖泥炭剖面中芳香族化合物含量在 0 ~ 450 cm 随深度变浅有缓慢减少的趋势, 450 cm 以下含量迅速减少 (图 3a); 碳水化合物含量变化不显著, 0 ~ 200 cm 深度中碳水化合物含量略高于 200 ~ 450 cm 处, 450 cm 以下含量显著增加 (图 3d)。哈拉萨孜泥炭剖面中表层 30 cm 芳香族化合物含量明显低于深层, 在 30 ~ 450 cm 含量变化不显著, 450 cm 以下显著降低 (图 3b); 表层 30 cm 碳水化合物含量显著高于深层, 在 30 ~ 450 cm 无明显变化, 450 cm 以下含量迅速增加 (图 3e)。三道海子泥炭剖面中芳香族化合物含量在剖面中呈不断减少趋势 (图 3c); 碳水化合物含量在表层 0 ~ 10 cm 呈显著下降趋势, 在 10 ~ 70 cm 不断增加后又迅速减少 (图 3f)。

2.2 多年冻土区泥炭剖面有机碳结构比值和分解度

新疆阿尔泰山不同局地环境条件下多年冻土区泥炭剖面中 TOC 含量、HD、灰分含量、芳香族化合物/碳水化合物比值变化趋势如图 4 所示。黑湖泥炭剖面中芳香族/碳水比值分布范围为 0.26 ~ 2.11, 平均值为 1.33, 较低值出现在深度 0 ~ 200 cm 范围内 (约为 1.2), 200 ~ 450 cm 比值较高 (约为

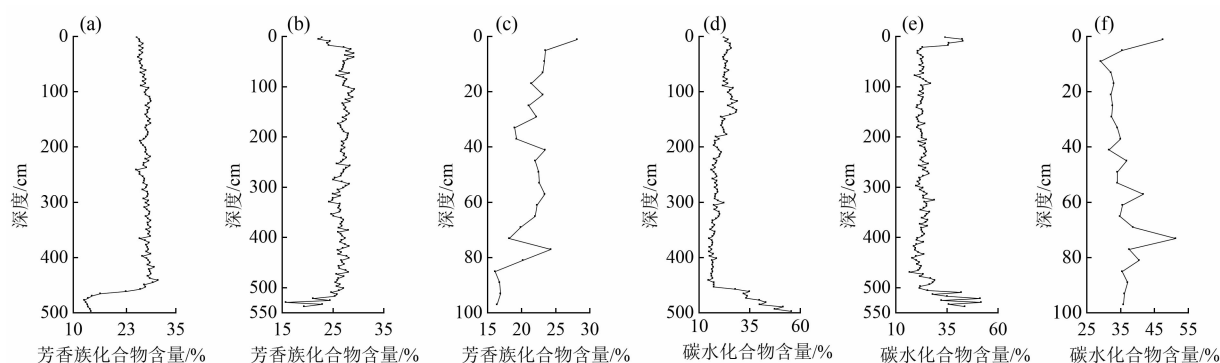


图3 新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面芳香族化合物与碳水化合物含量变化趋势:

(a) 黑湖芳香族化合物; (b) 哈拉萨孜芳香族化合物; (c) 三道海子芳香族化合物; (d) 黑湖碳水化合物; (e) 哈拉萨孜碳水化合物; (f) 三道海子碳水化合物

Fig. 3 Variation trends of aromatic and carbohydrate compounds in the peat profiles of permafrost peatlands in Xinjiang Altai Mountains of China: (a) aromatic compounds in Heihu; (b) aromatic compounds in Halasazi; (c) aromatic compounds in Sandaohaizi; (d) carbohydrate compounds in Heihu; (e) carbohydrate compounds in Halasazi; (f) carbohydrate compounds in Sandaohaizi

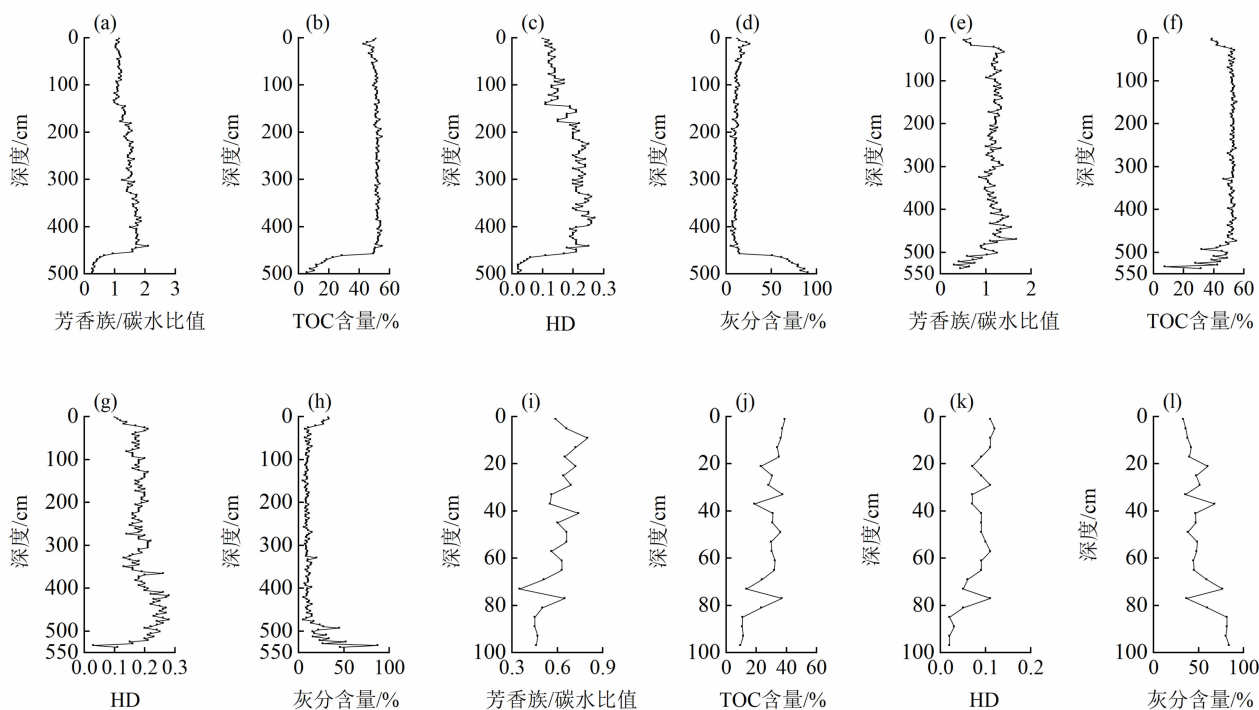


图4 新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面中芳香族/碳水比值、TOC 含量、HD、灰分含量变化趋势:

(a) 黑湖芳香族/碳水比值; (b) 黑湖 TOC 含量; (c) 黑湖 HD; (d) 黑湖灰分含量; (e) 哈拉萨孜芳香族/碳水比值; (f) 哈拉萨孜 TOC 含量; (j) 哈拉萨孜 HD; (h) 哈拉萨孜灰分含量; (i) 三道海子芳香族/碳水比值; (j) 三道海子 TOC 含量; (k) 三道海子 HD; (l) 三道海子灰分含量

Fig. 4 Variation trends of aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio, TOC content, HD, ash content in the peat profiles of permafrost peatlands in Xinjiang Altai Mountains of China:

(a) aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio in Heihu; (b) TOC content in Heihu; (c) HD in Heihu; (d) ash content in Heihu; (e) aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio in Halasazi; (f) TOC content in Halasazi; (j) HD in Halasazi; (h) ash content in Halasazi; (i) aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio in Sandaohaizi; (j) TOC content in Sandaohaizi; (k) HD in Sandaohaizi; (l) ash content in Sandaohaizi

1.5), 450 cm 深度以下迅速降低(图 4a)。TOC 含量变化为 5.59% ~ 55.08%, 平均值为 48.51%。深度 0 ~ 450 cm, TOC 值较大且稳定(约为 50%); 450 cm 以下, TOC 值迅速下降(图 4b)。HD 值变化范围为 0.02 ~ 0.27, 平均值 0.18。深度 0 ~ 200 cm, HD 值较小(约为 0.15); 200 ~ 450 cm, HD 值较大(约为 0.20); 450 cm 以下, HD 值迅速下降(图 4c)。灰分含量分布范围为 5.05% ~ 90.36%, 平均值 16.37%。深度 0 ~ 450 cm, 灰分值较小且稳定(约为 15%), 450 cm 深度以下迅速增加(图 4d)。

哈拉萨孜泥炭剖面中芳香族/碳水比值为 0.30 ~ 1.67, 平均值为 1.14。深度 0 ~ 30 cm, 比值较小; 30 ~ 450 cm, 比值较大(约为 1.25); 450 cm 以下迅速下降(图 4e)。TOC 含量为 7.32% ~ 55.18%, 平均值 50.38%。深度 0 ~ 30 cm, TOC 值较小; 30 ~ 450 cm, TOC 值较大且稳定(约为 50%); 450 cm 深度以下迅速下降(图 4f)。HD 值分布范围为 0.03 ~ 0.28, 平均值为 0.19。深度 0 ~ 30 cm, HD 值较小; 30 ~ 450 cm, HD 值较大(约为 0.2); 450 cm 深度以下迅速下降(图 4j)。灰分含量为 4.87% ~ 87.38% 间, 平均值 13.15%。深度 0 ~ 30 cm, 灰分值较大; 30 ~ 450 cm, 灰分值较小且稳定(约为 15%); 450 cm 以下迅速增加(图 4h)。

三道海子泥炭剖面中芳香族/碳水比值分布范围为 0.35 ~ 0.80, 平均值为 0.60(图 4i); TOC 含量为 9.36% ~ 38.91%, 平均值为 27.24%(图 4j); HD 值为 0.02 ~ 0.12, 平均值为 0.08(图 4k); 灰分含量分布范围为 32.92% ~ 83.86%, 平均值为 53.05%(图 4l)。泥炭剖面中芳香族/碳水比值、TOC 含量和 HD 值在整个剖面上呈下降趋势(图 4i、图 4j、图 4k), 灰分含量在剖面上呈增加趋势(图 4l)。

3 讨论

3.1 阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面有机碳结构差异分析

阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面有机碳结构变化特征表明(图 3), 即使处于同一区域气候背景下, 不同环境条件下多年冻土区泥炭剖面中有机碳结构含量和变化特征存在显著差异。黑湖和哈拉萨孜泥炭地剖面中芳香族化合物含量(平均值 26.63% 和 26.58%) 较高且稳定, 且随剖面深度增加, 其含量

有增加趋势; 而三道海子泥炭地中芳香族化合物含量(21.21%) 较低, 且随剖面深度增加, 其含量有减小趋势, 并伴随明显波动变化特征。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中碳水化合物含量(平均值为 21.84% 和 24.21%) 较低, 并随深度增加, 其含量有变小趋势; 而三道海子泥炭剖面碳水化合物含量(36.12%) 较高, 波动剧烈, 并随剖面深度增加, 其含量呈显著增加趋势。有研究表明^[13, 15, 25], 局地环境条件的差异如气候、植被和水文等因素导致多年冻土泥炭有机碳结构不同, 与草本植物相比, 藓类植物的增加会导致土壤有机碳芳香族化合物含量的显著增加, 冷湿环境和高地下水位会抑制微生物分解能力。结合三处泥炭地的局地环境条件, 发现三处泥炭剖面的芳香族与碳水化合物含量和变化特征的差异性, 与局地水热条件和植被种群密切相关。温度较低且降水量较大的黑湖和哈拉萨孜区域, 泥炭地主要以藓类为主, 有机质输入量大, 进而增加泥炭中芳香族化合物含量。而三道海子区域温度较高、降水少、蒸发量大, 暖干环境下泥炭沼泽地表覆盖毛茛苔草和帕米尔草等草本植被, 同时冻土融化和地下水的出露降低了土壤通气状况, 减少微生物对碳水化合物的分解, 最终导致泥炭中芳香族化合物含量低, 碳水化合物含量较高(图 3c、图 3f)。多年冻土区土壤有机碳结构特征与气候变化密切相关, 气候变暖和人类活动的增加会导致多年冻土退化和活动层增加, 出现热融滑塌、冲沟和活动层剥落等现象, 改变局地水文条件, 影响植被种群和微生物活性, 进而使泥炭有机碳结构发生变化^[25-29], 但不同局地环境下多年冻土泥炭沼泽对自然和人为因素变化的响应存在明显差异, 冷湿环境下的黑湖和哈拉萨孜泥炭沼泽含有较高的芳香族化合物, 温度增加会提高微生物活性, 促进对碳水化合物的分解, 短期内会增加泥炭中芳香族化合物含量的比例。但随着环境逐渐变得暖干, 植被种群转变为草本植被, 泥炭中碳水化合物含量比例会显著增加, 而三道海子泥炭的碳水化合物得到进一步分解后含量迅速减少, 泥炭有机碳稳定性提高。

不同环境条件下, 阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面中芳香族化合物含量和碳水化合物含量变化趋势呈现显著差异。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中, 深层泥炭中芳香族化合物含量高于表层, 碳水化合物含量则低于表层, 而三道海子表层泥炭芳香族化合物

较高,碳水化合物含量较低,并随剖面深度增加,芳香族化合物逐渐减少,碳水化合物有增加的趋势(图3)。这说明黑湖和哈拉萨孜多年冻土区深层泥炭有机碳稳定性高于表层,深层泥炭是主要的碳储存库。有研究表明^[13, 21, 25],与低纬度地区泥炭相比,北半球中高纬度地区的泥炭碳库稳定性较弱,且北半球多年冻土区泥炭地大量碳排放来自于表层泥炭中有机碳的分解,即使在增温的条件下,深层泥炭有机碳结构也较稳定,碳排放量较少,说明表层泥炭有机碳对增温过程响应更敏感。表层泥炭有机碳结构受不同类型植被种群有机质的输入影响较大,局地气候变化引起的植物种群和水热环境的变化会改变有机质的来源和分解,从而导致不同植被种群下泥炭土壤有机碳结构不同^[12, 30-31]。气候变暖背景下,黑湖和哈拉萨孜泥炭地局地水热条件的变化会导致植被种群的更替,草本植被群落增加显著降低表层泥炭中芳香族化合物含量,增加碳水化合物含量(图3a、图3b、图3d、图3e)。此外,相对冷湿的局地气候条件和相对充足的地表径流和冰川融水补给降低泥炭沼泽表层通气状况,抑制微生物活性,碳水化合物分解减少^[32],使黑湖和哈拉萨孜表层泥炭中芳香族化合物含量较低,碳水化合物含量较高(表1、图3)。与黑湖和哈拉萨孜相比,三道海子泥炭地高温少雨、太阳辐射强且蒸发量大,人类放牧等干扰程度较大,冻土退化严重^[16, 18, 20],气候变暖加剧泥炭地干旱,提高表层土壤通气状况,降低草本植被覆盖度,导致泥炭沼泽表层碳水化合物的输入减少和微生物活性增加,碳水化合物得到充分分解,降低了泥炭沼泽表层碳水化合物含量(图3f)。

3.2 阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面有机碳稳定性变化规律及其影响机理

本研究综合泥炭剖面中 TOC 含量、HD 和灰分含量指标评估局地环境变化条件下,阿尔泰山多年冻土区泥炭有机碳稳定性变化特征及其对泥炭有机质的输入与分解过程的响应特征,进而揭示该区域泥炭有机碳稳定性变化的影响机理。泥炭中的芳香族化合物和碳水化合物含量比值被广泛用作评估有机碳化学稳定性,芳香族化合物含量与碳水化合物含量比值高,指示土壤碳库较为稳定^[3, 13, 25]。本研究发现,阿尔泰山黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中芳香族/碳水均值(1.33 和 1.14)较高且稳定,随深度增加,其比值有增加的趋势(图4a、图4e);而三道海子

泥炭剖面中芳香族/碳水比值(均值 0.60)较低并呈现明显波动,且随剖面深度增加,其比值有明显减小的趋势(图4i)。说明阿尔泰山不同局地环境条件下多年冻土区泥炭有机碳稳定性变化特征存在明显差异。黑湖和哈拉萨孜泥炭有机碳稳定性较高,且深层泥炭有机碳稳定性明显高于表层;而三道海子泥炭有机碳稳定性较低,且随深度增加而降低。

相关性分析表明,阿尔泰山三处多年冻土区泥炭剖面中芳香族/碳水比值与泥炭 TOC 含量、HD 和灰分含量密切相关(图5),说明植被种群、水热条件、地下水位高度和微生物活性等显著影响山区多年冻土区泥炭有机碳库稳定性变化。

结合三处泥炭剖面的 TOC 含量、HD 和灰分指标值(图4),发现黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中 TOC 含量(48.51% 和 50.38%)和 HD 值(0.18 和 0.19)明显高于三道海子(27.24% 和 0.08),而黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面灰分值(16.37% 和 13.15%)低于三道海子(53.05%)(图4),说明阿尔泰山不同局地环境下多年冻土区泥炭地有机质输入和泥炭分解过程存在明显差异。有研究表明^[13, 32-33],温度、降水和太阳辐射等是影响泥炭有机碳累积和分解的关键因素,局地水热条件会通过影响主导植被群落、微生物活性和地下水位高度,进而影响泥炭的积累与分解,最终影响泥炭有机碳稳定性,改变泥炭有机碳循环过程。黑湖和哈拉萨孜泥炭沼泽 TOC 含量和 HD 值较高、灰分含量较低,说明两地为雨养型泥炭地,补给水源以降水为主,有机质输入量较多,泥炭的分解程度较高。黑湖和哈拉萨孜降水多蒸发少,夏季气流抬升凝云致雨和季节性积雪融水为地表径流提供充足水源,冷湿环境下的泥炭沼泽表面覆盖大量生长旺盛的泥炭藓^[7, 34-35],有机质的输入量高,且以高含量芳香族化合物为主。此外,冷湿环境下冻土保存相对完好,地下水位较低,形成的有氧环境促进微生物活性^[7, 35-36],使泥炭的分解程度高,碳水化合物可被充分分解,使得泥炭中芳香族/碳水比值偏高,进而提高泥炭有机碳稳定性。而三道海子 TOC 含量和 HD 值较低、灰分值较高,说明三道海子为矿养型泥炭地,补给水源以地下水为主,有机质输入量较少,泥炭分解程度较低。三道海子蒸发量大且降水少,暖干环境下的泥炭沼泽主导植被种群毛果苔草和帕米尔苔草遭受牛羊啃食和践踏^[16-18],有机质输入相对较少且以高含量的碳水化

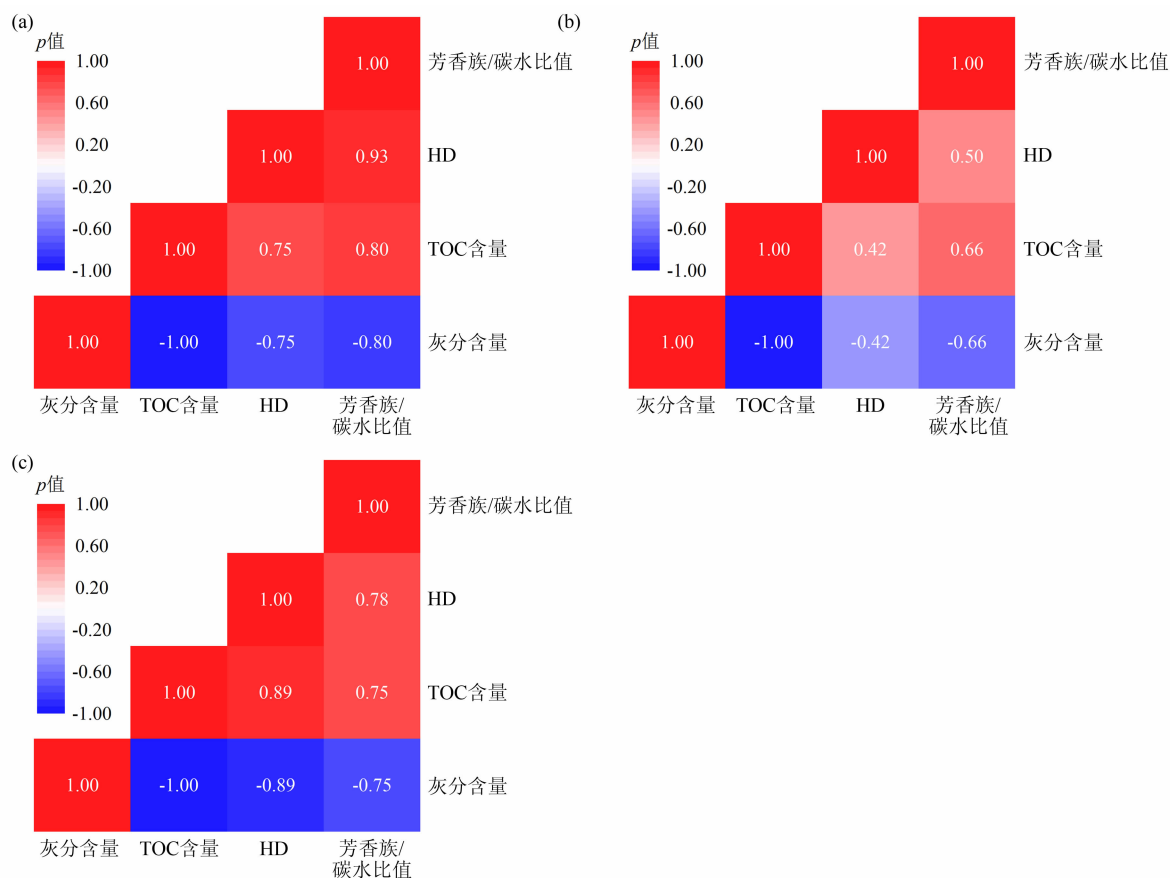


图5 新疆阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面中芳香族/碳水比值、TOC含量、HD和灰分含量相关性分析:

(a) 黑湖芳香族/碳水比值、TOC含量、HD和灰分含量相关性; (b) 哈拉萨孜芳香族/碳水比值、TOC含量、HD和灰分含量相关性; (c) 三道海子芳香族/碳水比值、TOC含量、HD和灰分含量相关性

Fig. 5 Correlation analysis of aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio, TOC content, HD and ash content in the peat profiles of permafrost peatland in Xinjiang Altai Mountains: (a) aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio, TOC content, HD, ash content in Heihu; (b) aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio, TOC content, HD, ash content in Halasazi; (c) aromatic compounds/carbohydrate compounds ratio, TOC content, HD, ash content in Sandaohaizi

合物为主,此外,三道海子冰蚀谷底大量泉水出露,平坦谷底地貌与地下水的出露使三道海子泥炭沼泽积水严重^[16, 18, 20],由此形成的厌氧环境将抑制微生物对碳水化合物的分解,导致碳水化合物大量积累,降低了三道海子泥炭有机碳稳定性。

新疆阿尔泰山不同局地环境条件下的泥炭剖面的有机碳稳定性和有机质的输入与分解在剖面上差异显著,局地环境条件的差异是导致其变化的主要因素。气候变暖和区域人类活动不断增加改变区域水热条件,导致冻土退化,活动层增加和地下水位升高,从而影响植被种群和微生物分解过程,此外,局地环境条件的差异对气候变化的响应也是不同的,使不同局地环境条件下泥炭沼泽有机碳结构及对气候变化的响应不同^[37-39]。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖

面随着深度增加,芳香族/碳水比值和HD值也在增加,而三道海子泥炭芳香族/碳水比值和HD值随着深度增加而减少(图4),这表明黑湖和哈拉萨孜表层泥炭有机碳的稳定性较低,而三道海子表层泥炭有机碳稳定性较高。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面表层TOC含量、HD值较低,说明气候变暖加剧黑湖和哈拉萨孜泥炭地干旱,导致植被生产力下降,植被种群逐渐由泥炭藓演化为泥炭藓-草本植被,草本植被有机质的输入增加提高泥炭沼泽表层的碳水化合物含量,此外两地溪水沟渠等地表径流较多,地表积水深达20~40 cm^[16, 20],气候变暖导致冻土退化和季节性冰川融水增加,提高河流径流量和地下水位,相对冷湿的局地环境与高地下水位形成的厌氧环境抑制碳水化合物分解,碳水化合物得到积累,进而降低了

表层泥炭有机碳的稳定性。三道海子表层泥炭的 TOC 含量和 HD 值较高,灰分含量较低,气候变暖加剧三道海子暖干气候特征,但冻土退化和地下水的出露一定程度上改善了干旱环境特征,使表层植被种群逐渐由草本植被演化为草本-泥炭藓植被,同时温度增加也提高了泥炭沼泽表层植被生产力、土壤通气状况和微生物活性,促进泥炭沼泽表层耐分解的芳香族化合物积累和易分解的碳水化合物分解,进而提高了表层泥炭有机碳库稳定性。

综上,气候变暖背景下,不同局地环境下泥炭有机质的输入和分解过程的差异导致泥炭有机碳结构发生变化,是阿尔泰山多年冻土区泥炭剖面有机碳稳定性变化的主要驱动因素。局地水热条件通过影响区域植被种群、地下水位以及微生物活性等,使泥炭有机质输入和分解过程发生变化,进而导致泥炭有机碳稳定性发生变化。不同局地环境对气候变化的响应不同,使不同泥炭有机碳库稳定性变化特征存在明显差异。未来气候持续变暖会导致多年冻土退化程度增加,进而影响植被种群和微生物群落结构,可能会导致不稳定结构有机碳增加,在微生物作用下会加速泥炭分解,造成更多碳分解和排放,导致多年冻土区泥炭地由“碳汇”逐步向“碳源”转化。

4 结论

(1)阿尔泰山不同环境条件下多年冻土区泥炭剖面中有机碳结构含量与变化特征存在明显差异。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中芳香族化合物含量(26.63%和26.58%)较高且稳定;三道海子泥炭地中芳香族化合物含量(21.21%)较低,且随剖面深度增加,其含量有减小趋势,并伴随明显波动变化特征。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中碳水化合物含量(21.84%和24.21%)较低,并随深度增加,其含量有变小趋势;而三道海子泥炭剖面中碳水化合物含量(36.12%)较高,波动剧烈,并随剖面深度增加,其含量呈显著增加趋势。不同局地条件下,泥炭有机质输入与分解过程不同,导致泥炭有机碳结构含量与变化特征存在差异。

(2)芳香族化合物与碳水化合物比值结果表明,黑湖泥炭剖面中有机碳结构稳定性(1.33)高于哈拉萨孜(1.14)和三道海子(0.60)。黑湖和哈拉萨孜泥炭剖面中有机碳稳定性随深度增加而增加,

三道海子则随深度增加而降低。说明泥炭有机碳稳定性对气候变化的响应因局地环境条件的差异而差异。

(3)阿尔泰山不同环境条件下的多年冻土泥炭地植被种群和微生物活性的差异,是导致泥炭有机碳稳定性变化和差异的主要因素。局地水热条件会通过影响区域植被种群、冻土消融诱发地下水位变化以及微生物活性变化等,使得泥炭有机质输入和分解过程发生变化,进而导致泥炭有机碳稳定性发生变化。

参考文献(References)

- [1] 柴岫. 中国泥炭的形成与分布规律的初步探讨[J]. 地理学报, 1981, **36**(3): 237-253. [CHAI Xiu. The formation and types of peat in China and the law of governing its distribution [J]. Acta Geographica Sinica, 1981, **36**(3): 237-253] DOI: 10.11821/xb198103001
- [2] 赵红艳, 冷雪天, 王升忠. 长白山地泥炭分布、沉积速率与全新世气候变化[J]. 山地学报, 2002, **20**(5): 513-518. [ZHAO Hongyan, LENG Xuetian, WANG Shengzhong. Distribution, accumulation rate of peat in the Changbaishan Mountains and climate change in Holocene [J]. Mountain Research, 2002, **20**(5): 513-518] DOI: 10.16089/j.cnki.108-2786.202.05.01
- [3] CONG Jinxin, GAO Chuanyu, HAN Dongxue, et al. Stability of the permafrost peatlands carbon pool under climate change and wildfires during the last 150 years in the northern Great Khingan Mountains, China [J]. Science of the Total Environment, 2020, **712**: 136476. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136476
- [4] YU Zicheng, LOISEL J, BROSSEAU D P, et al. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum [J]. Geophysical Research Letters, 2010, **37**(13): L13402. DOI: 10.1029/2010gl043584
- [5] ZHANG Yan, YANG Ping, GAO Chuanyu, et al. Peat properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation rates in a peatland in the Xinjiang Altai Mountains, northwestern China [J]. Journal of Geophysical Research-Biogeosciences, 2020, **125**(12): 14. DOI: 10.1029/2019jg005615
- [6] GORHAM E. Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming [J]. Ecological Applications, 1991, **1**(2): 182-195. DOI: 10.2307/1941811
- [7] LEIFELD J, STEFFENS M, GALEGO-SALA A. Sensitivity of peatland carbon loss to organic matter quality [J]. Geophysical Research Letters, 2012, **39**(14): L14704. DOI: 10.1029/2012gl051856
- [8] XING Wei, BAO Kunshan, GALLEGO-SALA A V, et al. Climate controls on carbon accumulation in peatlands of northeast China [J]. Quaternary Science Reviews, 2015, **115**: 78-88. DOI: 10.

- 1016/j. quascirev. 2015. 03. 005
- [9] PORPORATO A, D'ODORICO P, LAIO F, et al. Hydrologic controls on soil carbon and nitrogen cycles. I. Modeling scheme [J]. *Advances in Water Resources*, 2003, **26**(1): 45–58. DOI: 10.1016/s0309-1708(02)00094-5
- [10] TURETSKY M R, WIEDER R K, VITT D H. Boreal peatland C fluxes under varying permafrost regimes [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, **34**(7): 907–912. DOI: 10.1016/s0038-0717(02)00022-6
- [11] WANG Xianwei, SONG Changchun, WANG Jiaoyue, et al. Carbon release from Sphagnum peat during thawing in a montane area in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **75**: 77–82. DOI: 10.1016/j. atmosenv. 2013. 04. 056
- [12] 张仲胜, 李敏, 宋晓林, 等. 气候变化对土壤有机碳库分子结构特征与稳定性影响研究进展[J]. *土壤学报*, 2018, **55**(2): 273–282. [ZHANG Zhongsheng, LI Min, SONG Xiaolin, et al. Effects of climate change on molecular structure and stability of soil carbon pool: A general review [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, **55**(2): 273–282] DOI: 10.11766/trxb201707240324
- [13] HODGKINS S B, RICHARDSON C J, DOMMAIN R, et al. Tropical peatland carbon storage linked to global latitudinal trends in peat recalcitrance [J]. *Nature Communications*, 2018, **9**(1): 3640. DOI: 10.1038/s41467-018-06050-2
- [14] 周正虎, 刘琳, 侯磊. 土壤有机碳的稳定和形成: 机制和模型 [J]. *北京林业大学学报*, 2022, **44**(10): 11–22. [ZHOU Zhenghu, LIU Lin, HOU Lei. Soil organic carbon stabilization and formation: Mechanism and model [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2022, **44**(10): 11–22] DOI: 10.12171/j. 1000-1522. 20220183
- [15] ZHOU Zhenghu, WANG Chuankuan, LUO Yiqi. Meta-analysis of the impacts of global change factors on soil microbial diversity and functionality [J]. *Nature Communications*, 2020, **11**(1): 3072. DOI: 10.1038/s41467-020-16881-7
- [16] 新疆阿尔泰山林业局. 中国自然保护区新疆阿尔泰山两河源综合科学考察[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2003: 152–170. [Xinjiang Altay Forest Bureau. Comprehensive scientific investigation of Altay Mountains Two-River Source Nature Reserve in China [M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2003: 152–170]
- [17] 张彦. 新疆阿尔泰山区全新世泥炭发育特征及区域环境演变 [D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2016: 17–23. [ZHANG Yan. Peat development characteristics and regional environment evolution during the Holocene in Altai Mountains, Xinjiang [D]. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2016: 17–23]
- [18] 湛小慧, 张彦, 武政, 等. 阿尔泰山多年冻土区泥炭沼泽有机碳储量估算及其影响因素[J]. *湿地科学*, 2023, **21**(6): 876–886. [CHEN Xiaohui, ZHANG Yan, WU Zheng, et al. Estimation of organic carbon stocks and their influence factors in the permafrost peatlands of the Altai Mountains [J]. *Wetland Science*, 2023, **21**(6): 876–886] DOI: 10.13248/j. cnki. wetlandsci. 2023. 06. 008
- [19] 童伯良, 李树德, 张廷军. 中国阿尔泰山的冻土[J]. *冰川冻土*, 1986, **8**(4): 357–364. [TONG Boliang, LI Shude, ZHANG Tingjun. Frozen ground in the Altay Mountains of China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1986, **8**(4): 357–364] DOI: 10.7522/j. issn. 1000-0240. 1986. 0050
- [20] 张彦, 马学慧, 刘兴土, 等. 新疆阿尔泰山区全新世泥炭丘形态、发育过程与泥炭堆积速率初探[J]. *第四纪研究*, 2018, **38**(5): 1221–1232. [ZHANG Yan, MA Xuehui, LIU Xingtu, et al. Preliminary study on morphology, development process and peat accumulation rate of palsas during the Holocene in the Altai Mountains, northern Xinjiang Autonomous Region, northwest China [J]. *Quaternary Sciences*, 2018, **38**(5): 1221–1232] DOI: 10.11928/j. isn. 1001-7410. 2018. 05. 16
- [21] HODGKINS S B, TFAILY M M, MCCALLEY C K, et al. Changes in peat chemistry associated with permafrost thaw increase greenhouse gas production [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, **111**(16): 5819–5824. DOI: 10.1073/pnas. 1314641111
- [22] CONG Jinxin, GAO Chuanyu, XING Wei, et al. Historical chemical stability of carbon pool in permafrost peatlands in northern Great Khingan Mountains (China) during the last millennium, and its paleoenvironmental implications [J]. *Catena*, 2022, **209**: 105853. DOI: 10.1016/j. catena. 2021. 105853
- [23] 潘大东, 凌超豪, 徐晓花, 等. 福建梅花山泥炭腐殖化度记录 的过去千年气候变化[J]. *第四纪研究*, 2023, **43**(1): 95–109. [PAN Dadong, LING Chaozhao, XU Xiaohua, et al. The climate change over the past 1000 years by humification records of a peat core from Meihua Mountain in Fujian province [J]. *Quaternary Sciences*, 2023, **43**(1): 95–109] DOI: 10.11928/j. issn. 1001-7410. 2023. 01. 08
- [24] GAO Chuanyu, HE Jiabao, ZHANG Yan, et al. Fire history and climate characteristics during the last millennium of the Great Hinggan Mountains at the monsoon margin in northeastern China [J]. *Global and Planetary Change*, 2018, **162**: 313–320. DOI: 10.1016/j. gloplacha. 2018. 01. 021
- [25] 丛金鑫. 近百年环境变化对大兴安岭泥炭沼泽碳库稳定性影响研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2021: 10–12, 23–24. [CONG Jinxin. The impact of global change on peatlands carbon pool in northern Great Khingan Mountains in recent hundred years [D]. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2021: 10–12, 23–24] DOI: 10.27536/d. cnki. gccdy. 2021. 000017
- [26] ZHANG Yan, MEYERS P A, LIU Xingtu, et al. Holocene climate changes in the central Asia mountain region inferred from a

- peat sequence from the Altai Mountains, Xinjiang, northwestern China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2016, **152**: 19 – 30. DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.09.016
- [27] 潘蕊蕊, 李小雁, 胡广荣, 等. 青海湖流域季节性冻土区坡面土壤有机碳分布特征及其影响因素[J]. *生态学报*, 2020, **40**(18): 6374 – 6384. [PAN Ruirui, LI Xiaoyan, HU Guangrong, et al. Characteristics of soil organic carbon distribution and its controlling factors on hillslope in seasonal frozen area of Qinghai Lake Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(18): 6374 – 6384] DOI: 10.5846/stxb201910172176
- [28] BRODER T, BLODAU T, BIESTER H, et al. Peat decomposition records in three pristine ombrotrophic bogs in southern Patagonia [J]. *Biogeosciences*, 2012, **9**(4): 1479 – 1491. DOI: 10.5194/bg-9-1479-2012, 2012
- [29] LOU Yanjing, GAO Chuanyu, PAN Yanwen, et al. Niche modelling of marsh plants based on occurrence and abundance data [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **616–617**: 198 – 207. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.300
- [30] 张勇, 胡海波, 黄玉洁, 等. 不同植被恢复模式对土壤有机碳分子结构及其稳定性的影响[J]. *环境科学研究*, 2015, **28**(12): 1870 – 1878. [ZHANG Yong, HU Haibo, HUANG Yujie, et al. Effects of different vegetation restoration models on molecular structure and stability of soil organic carbon [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, **28**(12): 1870 – 1878] DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2015.12.08
- [31] CONG Jinxin, GAO Chuanyu, ZHAO Haiyang, et al. Chemical stability of carbon pool in peatlands dominated by different plant types in Jilin province (China) and its potential influencing factors [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, **11**: 1171688. DOI: 10.3389/fevo.2023.1171688
- [32] TURETSKY M R, KOTOWSKA A, BUBIER J, et al. A synthesis of methane emissions from 71 northern, temperate, and subtropical wetlands [J]. *Global Change Biology*, 2014, **20**(7): 2183 – 2197. DOI: 10.1111/gcb.12580
- [33] WRIGHT E L, BLACK C R, CHEESMAN A W, et al. Contribution of subsurface peat to CO₂ and CH₄ fluxes in a neotropical peatland [J]. *Global Change Biology*, 2011, **17**(9): 2867 – 2881. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02448.x
- [34] WANG Yiyun, WANG Hao, HE Jinsheng, et al. Iron-mediated soil carbon response to water-table decline in an alpine wetland [J]. *Nature Communication*, 2017, **8**(1): 15972. DOI: 10.1038/ncomms15972
- [35] RAO Zhiguo, SHI Fuxi, LI Yunxia. Long-term winter/summer warming trends during the Holocene revealed by α -cellulose $\delta^{18}\text{O}$ / $\delta^{13}\text{C}$ records from an alpine peat core from central Asia [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2020, **232**: 106217. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106217
- [36] DROLLINGER S, KNORR K H, KNIERZINGER W, et al. Peat decomposition proxies of Alpine bogs along a degradation gradient [J]. *Geoderma*, 2020, **369**: 114331. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114331
- [37] CLARKSON B R, MOORE T R, FITZGERALD N B, et al. Water table regime regulates litter decomposition in restiad peatlands, New Zealand [J]. *Ecosystems*, 2014, **17**(2): 317 – 326. DOI: 10.1007/s10021-013-9726-4
- [38] LIU Hanxiang, GAO Chuanyu, WEI Chunfeng, et al. Evaluating the timing of the start of the Anthropocene from northeast China: Applications of stratigraphic indicators [J]. *Ecological Indicators*, 2018, **84**: 738 – 747. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.040
- [39] HELLER C, ELLERBROCK R H, ROBkopf N, et al. Soil organic matter characterization of temperate peatland soil with FTIR-spectroscopy: Effects of mire type and drainage intensity [J]. *European Journal of Soil Science*, 2015, **66**(5): 847 – 858. DOI: 10.1111/ejss.12279

Change of Organic Carbon Composition in Peat Profiles over the Permafrost Areas of Xinjiang Altai Mountains in China and Its Influence Mechanism

LIU Yuangong, ZHANG Yan^{*}, CHEN Xiaohui, CHEN Zhaoyi, TONG Yuyi

(a. Key Laboratory for Subtropical Resources and Environment of Fujian Province;

b. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Permafrost peatland is one of the most important terrestrial carbon pools and plays a key role in regulating regional carbon cycle and local climate change. Most previous research concerned about the influence of regional climate change on the composition of peat organic carbon; however, little knowledge of the response of

organic carbon stability to local environmental change was made.

Permafrost peatlands in Xinjiang Altai Mountains is sensitive to climate change, and is one of the most important distribution areas of alpine peat in northwestern China.

In this study, three peat profiles at Hehu, Halasazi and Sandaohaizi, separately located at three typical permafrost areas along Xinjiang Altai Mountains were selected for peatland survey. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) technology was used to analyze the compositional changes of decomposable carbohydrate compounds as well as stable aromatic compounds in the peat profiles, for revealing the changes of organic carbon composition in the different local geo-environment circumstances. Physical and chemical indicators in the peat profile such as total organic carbon (TOC), humification degree (HD), ash content as well as local environmental conditions were jointly included in comprehensive analysis to describe the process of peat deposition and reveal the influence mechanism of the changes in peat organic carbon composition.

(1) There were distinct differences in the organic carbon compositions in the peat profiles at the three survey sites of permafrost along Xinjiang Altai Mountains. At Hehu and Halazi, in the peat profiles it had a content of 26.63% and 26.58% aromatic compounds, separately, which was higher than that of 21.21% at Sandaohaizi. And it had a content of 36.12% carbohydrates compounds in the peat profiles at Sandaohaizi, higher than that of 21.84% at Hehu and 24.21% at Halasazi.

(2) As for the ratio of aromatic compounds to carbohydrates compounds, the stability of organic carbon composition in the peat profile at Hehu was 1.33, higher than 1.14 at Halasazi and 0.60 at Sandaohaizi. The stability of organic carbon in the peat profiles at Hehu and Halasazi increased with depth, but at Sandaohaizi it decreased with depth.

(3) The differences in vegetation population and microbial activity in permafrost peatlands under different environmental conditions along Xinjiang Altai Mountains were the main factors leading to the change of the stability of organic carbon.

This study can provide references for scientific assessment of dynamic changes of organic carbon pool in alpine permafrost areas and its response to environmental changes.

Key words: permafrost; peat; organic carbon; stability; the Altai Mountains

(责任编辑 钟雨倩)