

文章编号:1001-7380(2020)03-0011-05

江苏滨海湿地土壤可溶性有机碳的分布和季节动态

何冬梅¹,王琳飞²,祝亚云¹,江 浩¹

(1. 江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153; 2. 东营市生态环境局广饶县分局,山东 东营 257300)

摘要:通过研究滨海湿地土壤可溶性有机碳(DOC)的分布和季节变化,为揭示其在碳循环中的作用提供理论依据。以江苏滨海湿地典型植被群落(光滩、米草群落、碱蓬群落、芦苇群落和刺槐群落)为研究对象,分析了湿地不同植被群落DOC含量的水平分布和垂直分布情况以及季节变化规律,并且探讨了土壤DOC与土壤性质的关系。结果表明:在水平方向上,江苏滨海湿地土壤DOC含量分布表现为大米草群落在3个研究土层均大于其他植被群落,这主要是由于大米草群落能够产生大量有机质,有机质进入到土壤中,经微生物转化形成DOC;在垂直剖面上,除碱蓬群落外,其余植被群落土壤DOC含量最大值均出现在表层,这是因为DOC来源的有机质首先进入表层土壤。土壤DOC含量受季节因素影响较大,不同植被群落土壤DOC动态表现出了相似的季节变化规律,均表现为从春季到秋季逐渐增加,在秋季达到峰值,然后在秋季到冬季的过程中逐渐降低。相关性分析显示,土壤DOC与土壤总有机碳、总氮以及微生物生物量碳(MBC)之间均呈极显著的正相关;土壤pH与DOC之间表现出极显著的负相关。说明滨海湿地土壤性质与其DOC分布和动态密切相关。

关键词:滨海湿地;土壤;可溶性有机碳;微生物生物量碳;季节动态;江苏省

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2020.03.003

Distribution and seasonal dynamics of soil dissolved organic carbon in coastal wetlands of Jiangsu Province

He Dongmei¹, Wang Linfei², Zhu Yayun¹, Jiang Hao¹

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Guangrao County Sub-Bureau of Dongying Ecological Environment Bureau, Dongying 257300, China)

Abstract: The distribution and seasonal dynamics of soil dissolved organic carbon(DOC) were studied to reveal the role of DOC in carbon cycle in coastal wetlands. The vertical and horizontal distribution and the seasonal dynamics of soil DOC under the different vegetation communities (coastal mudflats, *Spartina anglica* community, *Suaeda glauca* community, *Phragmites australis* community, and *Robinia pseudoacacia* community) were determined, and the relationship between soil DOC and soil properties was also discussed. The distribution of soil DOC content of coastal wetlands in Jiangsu Province was showed as follows: horizontally in the all soil layers, the content of soil DOC in *Spartina anglica* community was higher than that in other vegetation communities because *Spartina anglica* community could produce a large amount of organic matter into the soil and form DOC through microbial transformation. In the vertical profile, the maximum content of DOC was determined in the surface layer soil of the vegetation communities(except the *Suaeda glauca* community) because the organic matter as the source of DOC first entered the surface soil. The soil DOC of the different vegetation communities showed consistent seasonal variation trend, that was, gradual increase from spring to autumn, and then gradual decrease from autumn to winter. The correlation analysis showed that soil DOC was positively correlated with soil total organic carbon, total nitrogen and microbial biomass carbon (MBC) while soil pH was negatively correlated with DOC, indicating that the soil properties were closely related to the distribution and dynamics of soil DOC in coastal wetlands.

收稿日期:2020-04-07;修回日期:2020-04-29

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目“提升江苏淤泥质滩涂湿地固碳能力的植被恢复模式研究”(CX(19)3100);江苏省林业科学研究院青年基金项目“滨海湿地不同生态演替阶段土壤有机碳化学结构特征”(JAF-2016-02);江苏省自然科学基金青年基金项目“江苏滨海湿地生态演替序列温室气体通量及影响因子研究”(BK20141040);江苏盐城滨海湿地生态系统国家定位观测研究站运行补助(2019132043)

作者简介:何冬梅(1983-),女,四川泸州人,助理研究员,博士。从事森林生态学、湿地生态学等研究。E-mail: ybfqxy@126.com。

Key words: Coastal wetland; Soil; Dissolved organic carbon; Microbial biomass carbon; Seasonal dynamic; Jiangsu Province

湿地土壤碳库是地球上最大的陆地碳库之一,随着全球气候变化问题研究的深入,湿地土壤碳循环也逐渐成为全球所关注的焦点^[1]。土壤可溶性有机碳(Dissolved organic carbon, DOC)是土壤碳库中最活跃的组分之一,虽然在土壤有机碳中所占比例很小,但是它可以对土壤碳库的微小变化做出灵敏的反映,其含量能够快速反映湿地土壤有机碳动态^[2]。而且,DOC 能够直接参与到土壤的生物化学过程,对提高土壤生产力和维持土壤碳平衡都具有重要意义^[3]。滨海湿地是处于海洋生态系统和陆地生态系统交错的生态过渡带,是海洋与陆地生态系统相互输送营养物质的重要载体^[4]。滨海湿地由于其较高的初级生产力和特殊的生态环境,土壤固碳的速率要远远高于其他湿地^[5],在全球碳循环中具有重要的“碳汇”功能。目前,我国有报道对林下土壤可溶性有机碳的吸附行为进行过研究^[6],而对滨海湿地土壤有机碳的研究主要集中在闽江口、杭州湾、胶州湾、江苏沿海滩涂等湿地,研究重点集中在滨海湿地土壤有机碳储量分布格局及其影响因素^[5,7-9],而对江苏滨海湿地可溶性有机碳动态的研究还比较缺乏。对江苏滨海湿地土壤 DOC 的分布及动态进行研究有助于及时了解滨海湿地土壤有机碳的动态,为科学评价江苏滨海湿地土壤碳库在全球碳平衡中的作用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏大丰国家级麋鹿自然保护区范围内(东经 120°44',北纬 33°05'),地处北亚热带向暖温带的过渡地带,气候特征具有明显的过渡性和季风性。年平均降水量为 1 047.5 mm,年平均气温为 14.1 ℃,四季分明。大丰国家级麋鹿自然保护区为典型的淤泥质滩涂湿地,植被类型相对简单,由海向陆依次为:光滩、大米草群落、碱蓬群落、芦苇群落和刺槐群落。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及土样的采集 在研究区内选取一条垂直于海岸线的样带,样带上植被群落由海向陆分布为光滩、大米草群落、碱蓬群落、芦苇群落和刺槐群落。在每个植被群落分别设置 3 个 5 m×5 m 的样方,除去土壤表层凋落物后,挖掘土壤剖面,并

按 0—10,10—25,25—40 cm 进行分层采样,每个土壤样品约 1 kg。采样时间为 2017 年 3 月 1 日、6 月 1 日、9 月 1 日和 12 月 1 日,采集的土壤样品用自封袋装好标记后,迅速带回实验室,剔除肉眼可见的根系、动、植物残体和石砾等,并将土壤样品分成 2 份。1 份鲜土于 4 ℃下冷藏,用于测定土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳以及土壤含水量;另 1 份土样经风干处理后,磨细过筛,用于土壤理化性质分析。

1.2.2 土壤可溶性有机碳测定 土壤可溶性有机碳(DOC)测定:按水土比 2:1,用去离子水振荡浸提土壤 30 min 后离心,上层悬浊液用 0.45 μm 的醋酸纤维膜抽气过滤,滤液中的有机碳含量用岛津 TOC-VCPH 仪测定^[10]。

1.2.3 土壤性质测定 土壤理化性质的测定主要采用中华人民共和国林业行业标准(LY/T 1210-1275):森林土壤分析方法^[11]。其中,土壤总有机碳(SOC)测定采用重铬酸钾外加热法;总氮(TN)测定采用元素分析仪(ElementarVarioEL,德国);土壤 pH 测定采用玻璃电极法(1:2.5 土水质量比);含水率测定采用烘干法(105 ℃);容重测定采用环刀法。土壤微生物生物量碳(MBC)测定采用氯仿熏蒸—K₂SO₄提取法^[10]。

1.2.4 数据分析方法 利用单因素方差分析方法对不同植被群落土壤可溶性有机碳的分布和季节间差异性进行分析;运用 Pearson 相关系数法分析土壤 DOC 与土壤性质的相关性。数据分析软件为 SPSS20.0。

2 结果与分析

2.1 可溶性有机碳分布特征

滨海湿地土壤 DOC 在水平方向上的分布表现为,在 0—40 cm 土层 DOC 在不同植被群落的平均含量范围为 24.34—30.51 mg/kg,DOC 含量在不同植被群落的分布未出现显著的差异性(见图 1)。0—10 cm 层,各植被群落 DOC 平均含量为 25.66—32.51 mg/kg;10—25 cm 层,DOC 平均含量为 25.98—32.08 mg/kg;25—40 cm 层,各植被群落 DOC 平均含量为 24.34—30.07 mg/kg。从图 1 可见,在 3 个土层,大米草群落的土壤 DOC 平均含量均高于其他几种植被群落,但是植被群落间的差异

未表现出显著性。不同植被群落,土壤 DOC 含量沿土壤垂直剖面不同深度的分布情况见图 2。在不同植被群落,土壤 DOC 含量在土壤垂直剖面的分布趋势并未表现出一定的规律性。除碱蓬群落外,其他几种植被群落 0—10 cm 土层 DOC 含量较高,但是在不同植被群落土壤 DOC 含量在沿土壤剖面的 3 个研究土层间未表现出显著的差异性。

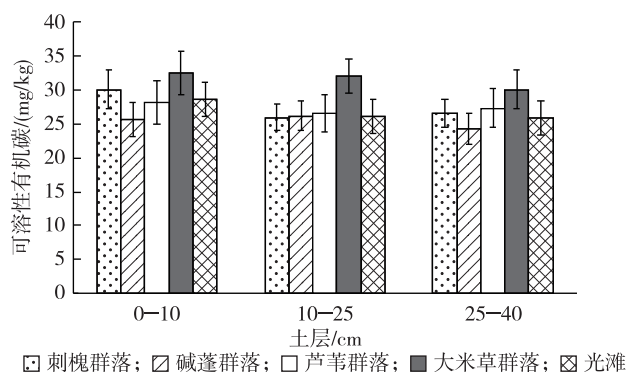


图1 土壤可溶性有机碳含量水平分布特征

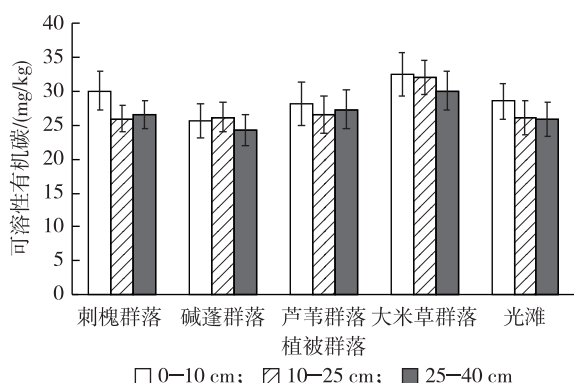
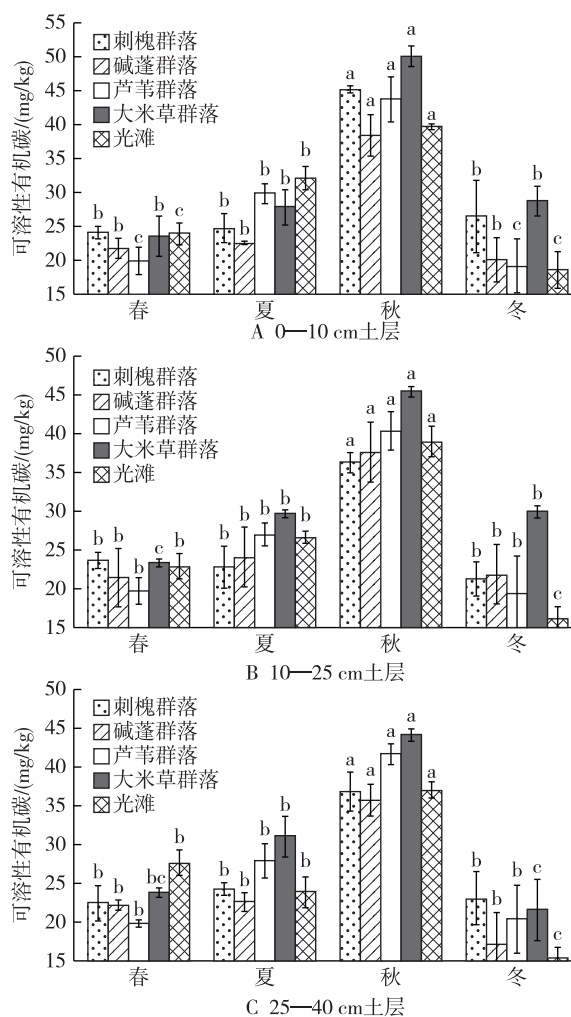


图2 土壤可溶性有机碳含量垂直分布特征

2.2 土壤可溶性有机碳季节动态

从图 3 中可见,不同植被群落的土壤 DOC 含量在时间上的动态均表现出随季节先上升再下降的变化趋势,由春季开始逐渐增加,在秋季达到峰值后再随时间而降低。0—10 cm 土层,刺槐群落、碱蓬群落和大米草群落的土壤 DOC 含量在秋季均显著高于其他季节 ($P<0.05$),芦苇群落和光滩土壤 DOC 含量的季节动态表现为秋季>夏季>春季>冬季,且季节间差异显著 ($P<0.05$) (见图 3-A); 10—25 cm 土层,各植被群落土壤 DOC 含量的季节变化趋势与上层土壤相似,但是不同植被群落在季节间的差异略有不同。即刺槐群落、碱蓬群落和芦苇群

落土壤 DOC 含量均表现出秋季显著较高,而其他 3 个季节的差异性不显著;大米草群落土壤 DOC 含量的季节变化表现为秋季>冬季>夏季>春季,除夏季与冬季间差异不显著外,其他季节间差异均达到显著水平 ($P<0.05$);光滩土壤 DOC 含量表现为秋季>夏季>春季>冬季,除春、夏季节间差异较小外,其他季节间差异显著 (见图 3-B)。25—40 cm 土层,4 种植被群落土壤 DOC 含量的季节差异性一致,均表现出秋季显著高于其他季节,而其他季节间差异不显著 ($P>0.05$);光滩土壤 DOC 含量在季节间的差异显著 (除春季和夏季间不显著),表现为秋季>春季>夏季>冬季 (见图 3-C)。



注:不同小写字母表示同群落不同季节的土壤 DOC 结果之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。

图3 不同植被群落土壤可溶性有机碳含量季节动态

2.3 土壤可溶性有机碳与土壤性质的关系

土壤性质是影响土壤可溶性有机碳含量的重

要因素,本研究区土壤基本性质已在前期工作中测定,见王磊等^[5]研究结果。本研究利用 Pearson 相关系数法,分析了土壤 DOC 与土壤基本理化性质和土壤 MBC 含量之间的相关性。结果表明,土壤 DOC 与土壤总有机碳和总氮之间呈极显著 ($P < 0.01$) 的正相关,但与 C/N 无显著相关性;土壤 pH 与 DOC 之间呈负相关,且相关性达极显著水平 ($P < 0.01$);土壤 DOC 与 MBC 之间存在极显著的正相关,相关系数为 0.519 ($P < 0.01$);本研究中土壤容重、含水率与土壤 DOC 的相关性不大 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 土壤可溶性有机碳分布特征

在水平方向上,土壤 DOC 的含量范围为 24.34—30.51 mg/kg,该结果与康健等^[12]对江苏滨海盐碱土壤 DOC 含量的研究结果一致。郗敏等^[4]对胶州湾滨海湿地的光滩、碱蓬、芦苇和米草群落的土壤 DOC 进行了研究,得出土壤 DOC 在 0—40 cm 层的含量范围为 23.90—101.81 mg/kg,高于本研究的结果,这种差异可能是由于环境因素的差异引起的。本研究中,土壤 DOC 的含量在不同植被群落间的分布未表现出显著的差异性,但在 3 个研究土层均表现出大米草群落土壤 DOC 大于其他植被群落,这与杭子清等^[13]和张文敏等^[8]的研究结果一致。由于大米草根系发达,繁殖力强,以及自身凋落物丰富,大量的碳源进入到土壤中,从而使 DOC 含量也增加^[4,14];另一方面,大米草 DOC 中的富啡酸和酚类物质较多,可以抑制土壤微生物的活动,从而使微生物对 DOC 的利用减少,土壤中累积的 DOC 增加^[14]。不同植被群落土壤 DOC 在土壤垂直剖面上的分布,表现为 0—10 cm 土层,DOC 含量较高,这与郗敏等^[4]和张文敏等^[8]分别对胶州湾和杭州湾植被群落土壤 DOC 含量的分布进行研究得出的结果相符。植被凋落物分解产生的有机质首先进入表层土壤,植物的根系在表层土壤分布较多,使得大量根系分泌物存在于表层土壤中,潮汐作用使藻类和水体悬浮物等堆积在土壤表面,以及湿地土壤上层条件适宜微生物活动等,这些都是导致表层土壤 DOC 含量较高的因素^[13,15]。

3.2 土壤可溶性有机碳季节动态

本研究中不同植被群落的土壤 DOC 含量随着季节的推移表现出了相似的季节变化规律,总体表现为随着季节变化土壤 DOC 含量逐渐增加,到秋季

达到最大值,然后从秋季过渡到冬季过程中土壤 DOC 含量逐渐降低。相关研究表明,降水、气温、微生物活性以及凋落物的数量和质量等因素都会导致土壤 DOC 含量随季节变化表现出一定的变化规律^[16-19]。刘帅等^[20]和陶晓等^[2]认为,随着季节气温的升高,土壤微生物活性增强,有利于土壤有机质矿化,从而促进土壤中 DOC 的释放,使土壤 DOC 含量增加。郝江勃等^[21]在研究亚热带常绿阔叶林土壤活性有机碳的季节动态时得出,夏季和秋季土壤可溶性有机碳含量较高^[1],春季和冬季含量较低的结论,这与本研究结果相符。由于夏、秋季温度相对较高,且雨量充足,植被生长旺盛,有较多的凋落物和根系分泌物进入到土壤中,进入到土壤中的大量碳源为微生物活动提供了丰富的底物,加之适宜的水热条件有利于微生物新陈代谢活动,使微生物能够快速分解土壤中的有机质,释放出更多的可溶性有机碳^[22-23],而冬季 DOC 含量下降则是由于从秋季过渡到冬季的过程中,随着气温的下降,植物生长处于停滞期,地表凋落物和根系分泌物逐渐减少,使土壤中有机质来源大幅下降,加之微生物活性和新陈代谢能力大大降低,使土壤中可溶性有机碳含量达到最低水平^[21]。

3.3 可溶性有机碳与土壤性质的关系

本研究对不同植被群落的土壤 DOC 含量与土壤性质之间的相关性进行了分析,结果显示,土壤 DOC 含量与土壤有机碳和总氮之间存在着极显著的正相关关系,这与陶晓等^[2]和陈佳俐等^[16]的研究结果一致。土壤 DOC 与土壤有机碳之间的相关性表明,土壤中的 DOC 主要来源于土壤有机质分解及植物根系分泌物等,土壤有机质是影响土壤 DOC 含量的主要因子之一^[2,24]。土壤 DOC 与全氮含量呈正相关,这是由于土壤有机质的氮含量越高,越容易被微生物分解和转化,从而释放出更多的土壤 DOC^[25]。陶晓等^[2]的研究结果表明,土壤 DOC 与 MBC 均为土壤活性有机碳组分,2 者的主要碳源相同,因此土壤 DOC 与 MBC 含量成正比例关系,这与本研究的结果一致。土壤 DOC 与 pH 呈负相关关系与袁强等^[25]的研究结果一致,这是由于土壤 pH 下降导致土壤微生物的生命活动减弱,从而使土壤 DOC 的含量也有所降低。

4 结论

江苏滨海湿地土壤 DOC 含量,从水平方向上

看,在3个研究土层,大米草群落土壤DOC含量均大于其他植被群落,但是植被群落间的差异并不显著。在土壤剖面的垂直分布上看,除碱蓬群落外,其余植被群落DOC含量最大值均出现在表层土壤中,但土壤DOC含量在沿土壤剖面的3个研究土层间的差异未表现出显著性。不同植被群落土壤DOC含量的季节动态均表现为随季节推移先增加再减少的趋势,从春季开始逐渐增加,在秋季达到峰值,然后进入冬季后逐渐降低,表明土壤DOC含量受季节因素影响较大;土壤性质与滨海湿地土壤DOC含量的分布和动态变化密切相关。其中,土壤DOC与土壤总有机碳、总氮以及MBC之间均呈极显著的正相关关系,但与C/N无显著相关性;本研究中,土壤DOC含量与pH之间呈极显著负相关,而土壤容重、含水率与土壤DOC的相关性不显著。

参考文献:

- [1] 孔凡婷,李悦,郝敏,等.湿地土壤溶解性有机碳研究进展[J].青岛理工大学学报,2013,34(3):64-70.
- [2] 陶晓,樊伟,杨春,等.城市不同森林土壤溶解性有机碳和微生物生物量碳特征[J].生态学杂志,2016,35(12):3191-3196.
- [3] 赵光影,江珊,邵宗仁.小兴安岭森林沼泽湿地土地利用变化对土壤活性碳组分的影响[J].水土保持通报,2017,37(6):68-74.
- [4] 郝敏,刘姝红,张艳艳,等.胶州湾滨海湿地土壤溶解性有机碳淋溶特征[J].水土保持通报,2019,39(1):16-22.
- [5] 王磊,何冬梅,刘华,等.江苏滨海湿地不同植被演替阶段土壤有机碳分布特征[J].安徽农业大学学报,2017,44(6):1064-1069.
- [6] 普慧梅,王良梅.不同经营模式下杨树人工林土壤溶解性有机碳的吸附行为[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(2):55-63.
- [7] 廖小娟,何东进,王韧,等.闽东滨海湿地土壤有机碳含量分布格局[J].湿地科学,2013,11(2):192-197.
- [8] 张文敏,吴明,王蒙,等.杭州湾湿地不同植被类型下土壤有机碳及其组分分布特征[J].土壤学报,2014,51(6):1351-1360.
- [9] 瞿园园,郝敏,孔范龙,等.胶州湾滨海湿地土壤有机碳时空分布及储量[J].应用生态学报,2016,27(7):2075-2083.
- [10] 何冬梅,王磊,冯育青,等.不同土地利用类型对土壤可溶性有机碳的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(6):15-19.
- [11] 国家林业局.中华人民共和国林业行业标准(LY/T 1210-1275):森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1999:1-108.
- [12] 康健,孟宪法,许妍妍,等.不同植被类型对滨海盐碱土壤有机碳库的影响[J].土壤,2012,44(2):260-266.
- [13] 杭子清,王国祥,刘金娥,等.互花米草盐沼土壤有机碳库组分及结构特征[J].生态学报,2014,34(15):4175-4182.
- [14] 费蓓莉,解丽娜,李诗华,等.长江口滨海湿地植物群落潮沟水体有机碳动态及其影响因素[J].华东师范大学学报(自然科学版),2019,203(1):156-165.
- [15] 金宝石,闫鸿远,张林海,等.中国滨海互花米草湿地土壤有机碳时空变化及其影响因素[J].生态环境学报,2016,25(12):2021-2027.
- [16] 陈佳俐,钟美芳,刘炜杰,等.福州江滨公园不同植被类型土壤可溶性有机碳含量的季节动态[J].亚热带资源与环境学报,2016,11(3):88-94.
- [17] 孔玉华,韩梦娟,张志华,等.3种人工林表层土壤溶解性有机质含量的季节变化[J].中国水土保持科学,2019,17(2):44-52.
- [18] WOOD S A, BRADFORD M A. Leveraging a new understanding of how belowground food webs stabilize soil organic matter to promote ecological intensification of agriculture[M]// SINGH B K. Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling, Pittsburgh, PA: Academic Press, 2018: 117-136.
- [19] YUAN Y, ZHAO Z Q, LI X Z, et al. Characteristics of labile organic carbon fractions in reclaimed mine soils: Evidence from three reclaimed forests in the Pingshuo opencast coal mine, China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 613: 1196-1206.
- [20] 刘帅,陈玥希,孙辉,等.西南亚高山-高山海拔梯度上森林土壤水溶性有机碳时间动态[J].西北林学院学报,2015,30(1):33-38.
- [21] 郝江勃,乔枫,蔡子良.亚热带常绿阔叶林土壤活性有机碳组分季节动态特征[J].生态环境学报,2019,28(2):245-251.
- [22] LI Q, CHENG X L, LUO Y Q, et al. Consistent temperature sensitivity of labile soil organic carbon mineralization along an elevation gradient in the Wuyi Mountains, China[J]. Applied Soil Ecology, 2017, 117-118: 32-37.
- [23] SRUTHI S N, RAMASAMY E V. Enrichment of soil organic carbon by native earthworms in a patch of tropical soil, Kerala, India: First report[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 5784.
- [24] 张宏,黄懿梅,安韶山,等.黄土高原森林带植被群落下土壤活性有机碳研究[J].水土保持研究,2013,20(3):65-70,77.
- [25] 袁强,魏云敏.不同强度火烧对兴安落叶松林土壤溶解性有机碳的影响[J].安徽农业科学,2015,43(12):85-87,133.