

土壤溶解性有机碳(DOC)动态变化影响因素 研究进展

吴健敏, 郝敏, 孔范龙, 李悦, 张清磊

青岛大学化学化工与环境学院, 山东青岛, 266071

内容提要:土壤溶解性有机碳(DOC)是陆生生态系统中极为活跃的有机组分,是土壤圈层与相关圈层(如生物圈、大气圈、水圈和岩石圈)发生物质交换的重要形式。与土壤有机碳其他组分相比,DOC对土壤质量变化、环境因素以及土地利用变化表现出高度敏感性,因此土壤DOC的消长动态及其影响因素已经成为了土壤、环境和生态科学领域研究的热点之一。本文对近年来有关土壤DOC动态变化影响因素的研究进行了综述,并分析了生物因素、非生物因素和人为因素对土壤DOC动态变化的影响及作用机理。研究表明,生物因素植被和土壤微生物控制着土壤DOC的输入和输出;非生物因素和人为因素通过作用于微生物活性、植被生长及其他过程而间接地驱动着土壤DOC的动态变化;生物因素、非生物因素和人为因素对土壤DOC的影响通常表现为综合作用。在此基础上,本文针对土壤DOC动态变化影响因素的进一步研究提出了两点建议,即应用模型定量分析各影响因素的作用和统一DOC含量的测定方法。

关键词:溶解性有机碳;动态变化;影响因素;作用机理

土壤溶解性有机碳(DOC),既是土壤生物化学过程的产生物,又是土壤微生物生长、分解有机碳的重要能源(柳敏等,2006),在陆地生态系统碳循环中具有重要的作用。土壤DOC含量一般不超过土壤有机碳总量的2%,但与较稳定的腐殖质组分相比,土壤DOC的降解速率较快(Andreasson et al., 2009; Bu Xiaoli et al., 2011),并且对季节变化、土壤性质及土地利用方式变化等响应较快,因此土壤DOC的动态变化能够反映土壤有机碳的稳定性(李玲等,2006)。同时研究表明土壤DOC的动态变化还可以解释CO₂释放量的变化,土壤中DOC通量比全球植物和大气间碳交换量低1~2个数量级,生物圈碳平衡很小的变化会导致DOC的巨大变化,DOC浓度和通量是土壤环境变化的敏感指标,明显地影响大气CO₂(张金波等,2005)。可见土壤DOC动态变化能够灵敏地反映土壤有机碳的循环与平衡趋势(焦坤和李忠佩,2005),所以研究土壤DOC动态变化对全球碳循环探究具有重要的意义。

为揭示土壤DOC的动态变化规律,国内外针对

DOC动态变化的影响因素开展了大量的研究,并取得一些进展。研究显示,土壤DOC主要受植被种类及覆盖度、微生物、温度和湿度、土壤理化性质、土地利用方式等自然或人为因素的影响。然而这些影响因素往往交互作用,同时对土壤DOC含量和分布产生影响;且不同条件下各因素的作用强度存在较大差异,对土壤DOC的影响比较复杂。为此分析归纳目前有关土壤DOC影响因素的研究结论,对准确地探究土壤DOC影响因素作用机制具有一定的参考意义。

本文就此对目前有关土壤DOC动态变化影响因素的研究进行了综述,并将其归3类,①生物因素:植被、土壤微生物;②非生物因素:温度和湿度、土壤理化性质、水文情势、酸沉降、CO₂浓度及土壤冻融;③人为因素:土地利用方式和土地管理方式。同时在此基础上分析了生物因素、非生物因素和人为因素对土壤DOC动态变化的影响机制,并对土壤DOC多种影响因素的综合作用进行了阐述,以期对土壤DOC动态变化影响因素及其作用机理相关研

注:本文为国家自然科学基金项目(编号41101080)、山东省自然科学基金项目(编号ZR2011QD009)、山东省高等学校科技计划项目(编号J12LC04)和青岛市公共领域科技支撑计划项目(编号12-1-3-71-nsh)的成果。

收稿日期:2012-11-02;改回日期:2013-08-17;责任编辑:黄敏。

作者简介:吴健敏,女,1990年生。硕士研究生。主要从事湿地变化与环境效应研究。通讯地址:266071,青岛大学化学化工与环境学院;Email:857484518@qq.com。通讯作者:郝敏,副教授;Email:ximin2008@126.com。

究提供新的思路。

1 生物因素

1.1 植被因素

植被种类和覆盖度的不同决定着地表凋落物及根分泌物质量和数量的不同,而地表凋落物及根分泌物的数量和质量又代表着土壤碳源的输入情况,从根本上讲土壤 DOC 的产生是土壤 DOC 动态变化的基础,因此对土壤碳来源的控制就是对 DOC 动态变化的第一个控制因素(Clark et al., 2010)。Yano 等(2005)研究发现在森林植被演替过程中,由于植被类型的更替和演变,造成了向地被层和土壤层输入有机物质的类型、数量和化学特性发生变化,进而引发土壤肥力和动物区系活性的变化,从而影响了土壤 DOC 的形成和转化;而姜培坤(2005)提出不同的林分类型土壤理化性质、凋落物和根系分泌物随着植被的变化而变化,因而形成的土壤碳库特别是活性有机碳状况存在着差异。此外,王春阳等(2011)将用不同的方法及提取剂提取的各类植物凋落物 DOC 含量相对比,发现乔木类(37.87‰ ~ 76.25‰) > 灌木类(19.02‰ ~ 52.51‰) > 草本类(4.21‰ ~ 15.41‰),而在对其生物降解率的研究中发现,不同种类植物凋落物相比,乔木类(平均 60.8%) > 灌木类(平均 58.6%) > 草本类(平均 49.7%),从而提出凋落物中 DOC 含量和降解率与植物种类有关。同时 Han Nizhou 和 Thompson(1999)及 Hanynes(2000)对此也提出了同样的报道。由此证明了植物是影响土壤 DOC 动态变化的关键性因子,通过对地表凋落物及根分泌物数量和质量的等影响从源头上控制着土壤 DOC 的输入情况。

虽然目前对土壤 DOC 动态变化与植被因子之间的关系进行了一些研究,但大多集中在森林、农田等生态系统,而湿地特别是滨海湿地生态系统的相关研究却相对较少。滨海湿地随着盐分梯度的变化植被种类变化明显,这为研究不同植被种类对土壤 DOC 的影响提供了极好的实验条件。因此,针对滨海湿地生态系统的相关研究将是今后土壤 DOC 研究中值得关注的的一个重要方向。

1.2 土壤微生物

土壤微生物的存在与否以及微生物种类和数量对土壤 DOC 的动态变化具有极为重要的作用(刘微和王树涛,2011)。在同一时间、相同母质和水热条件下,土壤 DOC 的形成主要取决于有机碳库的输入

(投入土壤的有机物料种类和数量)和输出(微生物和植被的利用率)(张迪等,2008)。而陆生系统内 DOC 的产生过程是一个生物过程,高度降解的 DOC 小分子由植物根部释放;土壤和水生微生物群中有色芳香类难溶性的 DOC 大分子多在有机物的降解过程中释放(Thurman, 1985)。微生物不但是土壤 DOC 产生过程中重要的分解者,其本身也是土壤 DOC 潜在的来源之一(庞学勇等,2009),因此土壤微生物不仅仅控制着土壤 DOC 的输出,对其输入情况同样具有一定的影响。

王莹等(2010)发现土壤 DOC 与土壤微生物量之间存在显著的正相关关系,微生物活性是影响 DOC 产生和释放的重要因子;Bourbonniere(1989)研究发现土壤微生物活性对 DOC 组分中亲水性有机酸 HPI 的产生影响较大,Guggenberger 等(1994)对此进一步做出了证实并提出 HPI 及植物衍生化合物均有微生物直接产生。Moller 等(1999)认为真菌是最重要的分解者,从 Beech 森林土壤中分离出多种细胞和真菌接种到灭菌后的一年生老叶中,发现单独细菌接种后叶子分解产生的 DOC 产量低于细菌和真菌混合接种,说明真菌在分解产生 DOC 的重要作用(王清奎等,2005)。此外,一些因素主要是通过影响微生物活性(Freeman et al., 2001)、土壤有机体(Cole et al., 2002)、植物生长(如温度、水分和 CO₂ 浓度等)、释放的 DOC 质量(Kalbitz et al., 2003)及降解能力和被分解的土壤基质质量等而对土壤 DOC 的生物产生和消耗过程进行控制(Clark et al., 2010),进而间接地影响着土壤 DOC 的动态变化趋势。所以土壤微生物是对土壤 DOC 动态变化的直接驱动因子之一。

2 非生物因素

2.1 温度和湿度

温度和湿度影响着微生物活性和土壤理化性质,故在不同的温湿度条件下土壤 DOC 降解速率和 C 矿化率亦存在着差异,进而控制着土壤 DOC 的动态变化。Christ(1996)研究发现样品中的 DOC 产生量随温度增加而呈指数的函数增加,这可能主要是由于温度升高,降解土壤基质的微生物活性增强,而导致的土壤 DOC 含量增加。然而温度与土壤呼吸强度也成正比,是影响土壤有机碳矿化的重要因素。温度的升高能够加速土壤微生物的生物周转,促进土壤碳的分解,导致土壤有机碳的矿化速率上升,从而对土壤 DOC 的动态变化造成一定的影响(Ellert

and Bettany, 1992; Moore et al., 1998; Fang Changming and Moncrieff, 2002)。在微观层面上温度与土壤 DOC 之间的关系决定了在宏观层面上温度与土壤 DOC 的时空变异也存在着联系, Liechty 等(2005)指出温带与寒区域相比,土壤温度的差异可能导致森林土壤中 DOC 浓度增加 16%。

与温度相似,有关湿度影响的研究表明,湿度是通过土壤有机质降解速率和 C 矿化率的控制而影响 DOC 动态变化的,然而目前有关湿度与有机质降解速率和 C 矿化率之间的关系尚存在一定的分歧,因此迄今为止还没有确切的结论来阐述湿度对土壤 DOC 动态变化的影响机制。Sahrawat (2003)认为,淹水土壤中,由于嫌气分解,土壤有机质的分解速率下降;黄东迈等(1998)用¹⁴C标记秸秆的研究表明,淹水处理中各种不同有机物料的分解半衰期约为旱地相应处理的 1.4 ~ 2.0 倍;Bridgham 等(1998)研究表明,淹水可使北方湿地氮、磷的矿化速率下降,但碳的矿化速率在淹水与非淹水条件下几乎相等。对此张文菊等(2005)提出当土壤达到适宜含水量后,有机碳的矿化不受含水量增加的影响,矿化速率基本稳定,土壤中 DOC 变化趋势也将随之发生改变。因此尽管湿度对土壤中 DOC 的影响机制仍未明确,但是研究表明在分析湿度与土壤 DOC 动态变化的关系时,界定在一定的湿度范围内才比较有意义。

2.2 土壤理化性质

土壤 DOC 动态变化既有时间上的变化也有空间上的变化,小气候因素是影响其时间变化的主要因素,而土壤理化性质则是影响空间异性的关键因子。土壤理化性质如土壤 pH、盐分及土壤质地等通过改变土壤中微生物的活性、有机碳质量(溶解度、降解能力等)及土壤中的物理吸附和化学反应等过程而显著影响着土壤 DOC 的含量及空间分布。土壤 pH 被看做是土壤的主要变量,对于土壤的许多作用过程都有很大的影响,如氧化还原、沉淀溶解、吸附、解吸、配合反应及微生物活动等起支配作用(李学坦,2001)。Clark 等(2010)提出 pH 和土壤养分可以通过影响土壤 DOC 的溶解度间接地对其产生作用,因为有机碳通过释放质子(H⁺)或者形成负电荷可溶物而游离,而这个过程是受化学变量所调节的,特别是 pH 和土壤溶液的离子强度及多价阳离子如 Al³⁺。Exall 和 Vanloon(2000)提出腐植酸遇到离子强度较强和相关的多价离子时会被凝聚和沉淀,并且腐植酸在 pH 值为 2 时会被沉淀

(Aiken et al., 1985),而在高 pH 条件下,DOC 中的酸性部分很容易与其他物质如钙镁化合物发生中和反应,进而土壤中 DOC 含量减少(黄黎英等, 2007)。黄瑞农(1994)提出 pH 值可以通过影响微生物的活动,影响土壤有机质含量及其空间分布,微生物最适宜在中性环境下活动,在强酸或者强碱条件下其活动受到抑制,土壤有机碳质量分数与土壤 pH 值存在着明显的负相关(董洪芳等,2010)。黄黎英等(2007)对岩溶区和非岩溶区土壤 DOC 进行了研究,发现与非岩溶区相比,岩溶区石灰土钙镁偏碱的特征加上石灰土含有机质含量使得它所含有的部分 DOC 被中和,或者与金属离子螯合后形成溶解度较低的金属-有机配合物或者形成不溶性的配合物,从而导致了石灰土中的 DOC 含量远远低于酸性土的含量。

土壤含盐量能够决定地表不同植被类型的空间分布状况,从而间接地驱动着土壤 DOC 动态变化。Laane(1980)与 Guo Laodong 和 Santschi(1997)研究发现在 Ems-Dollart 河口以及其他的河口生态系统中(如 Galvesto 海湾),DOC 浓度与盐度都呈负相关性关系;van Heemst 等(2000)应用稳定同位素特征方法对 Ems-Dollart 河口的研究也发现 DOC 的含量与盐分梯度存在负相关性关系。张绪良等(2012)和董洪芳等(2010)提出土壤含盐量高低及其变化与胶州湾滨海湿地植被演替、黄河三角洲研究地区植被类型分布均具有较强的对应关系,而不同盐沼植物对湿地土壤有机碳的分布有显著的影响(贺强等,2009),从而说明了土壤有机碳密度和含盐量之间存在着良好的关系。可见土壤含盐量是河口生态系统及滨海生态系统土壤 DOC 动态变化的重要影响因子之一。

2.3 水文情势

水文情势是多种生态系统中土壤 DOC 动态变化的主控非生物因子,尤其是对湿地生态系统。水文情势是指水体各水文要素随时间的变化情况,主要表征指标有水位的高低、洪水历时、范围与频率和水文周期等(章新光,2012)。水文情势对土壤 DOC 动态变化具有直接和间接的影响。直接影响是指由水文事件(暴雨、雪融、短期水位下降等)导致的水量变化对土壤 DOC 浓度的稀释或者浓缩作用,而引发的土壤 DOC 动态变化。Eimers 等(2008)研究发现在泥炭地中 DOC 浓度相对较高,但是在暴雨期和春季雪融期 DOC 浓度会被稀释;Waiser(2006)提出土壤中水体积的变化同样会影响着 DOC 浓度的变

化,在土壤监测过程中已发现“蒸发浓缩”而导致的 DOC 浓度增加的现象。然而部分研究表明 DOC 浓度随着水位的长期下降(因沟壑侵蚀而引起)而逐渐减少;环型湿地生态系统中土壤 DOC 的平均含量随地表水位的降低而逐渐增加(Xi Min et al., 2007),这主要是由于水位的长期变化能够改变土壤理化性质,进而影响着 DOC 溶解性、微生物的可利用性及其生物地球化学循环过程等(Clark et al., 2005; Daniels et al., 2008),从而控制着土壤 DOC 的含量和分布特征,这属于水文情势对土壤 DOC 的动态变化的间接影响过程。

与水位长期变化一样,干湿交替也属于间接影响因素。目前实验室和野外实验研究表明干湿交替能够改变土壤通气条件,营造厌氧和好氧环境,促进土壤 DOC 浓度的增加,改变土壤 DOC 的动态变化趋势(Alex et al., 2006)。Fierer 和 Schimel(2002)提出干湿交替能够为不同的微生物创造适宜的环境,因而改变着土壤中微生物群落和微生物量的组成和分布,促进对泥炭地中难降解物质的降解作用,影响着土壤中的碳循环;Alex 等(2006)发现随着干湿交替次数的增加,C 矿化率不断地减小。而 Denef 等(2001)提出干湿交替破坏了土壤团聚体,使部分有机碳失去物理性保护,以及在干燥过程中部分微生物死亡增加了碳源,同时在加水增湿后微生物的数量和活性也明显增加,导致矿化速率迅速增大(周本智和傅懋毅,2004)。Lundquist 等(1999)指出干湿交替刺激 DOC 浓度提高可能有 3 种原因:①干燥阶段 DOC 的生物可利用性降低;②土壤湿润后促进了微生物生物量的转化和生物产物的浓缩;③干湿交替破坏了土壤结构使以前积累的碳更多以 DOC 形式渗出。

2.4 酸沉降

酸沉降包括硫沉降和氮沉降。酸沉降主要是通过对 pH 等土壤理化性质的作用间接地影响着 DOC 的动态变化。Futter 和 de Wit(2008)应用实证模型对酸沉降的进行了研究,发现酸沉降能够降低 DOC 浓度;de Wit 等(2007)对采取恢复措施后的 Langtjern 地区 DOC 变化进行了研究,发现随着酸沉降量的减少 DOC 浓度不断地增加,对此他认为采取恢复措施后腐殖质量的增加和土壤中部分营养物质离子强度的减弱促进了有机质溶解度的增加,是 DOC 浓度减少的主要原因,同时还提出了 DOC 季节性变动是由气候因素控制而长期变化则是由酸沉降的作用引起的。而刘可慧等(2005)提出酸沉降

改变了根系周围的物质组成、理化特性,直接伤害了根系的生长,减少了土壤 DOC 的来源,从而影响了土壤 DOC 的动态变化。

然而目前针对氮沉降的研究表明,氮沉降能够增加凋落物、根部生物量的输入量和有机质分解速率等,进而增加了土壤的碳源,改变了土壤 DOC 的动态变化趋势。Leith 等(1999)研究发现氮沉降能够增加地上部分生物量,同样涂利华等(2010)提出慈竹林土壤 DOC 的增加是因为氮沉降增加了凋落物量从而导致矿质土层的 DOC 增加;窦晶鑫等(2008)提出氮沉降促进了植物根的生长及根中碳分配,在一定程度上促进了 DOC 含量的提高。然而李仁洪等(2009)提出氮沉降同时也能促进慈竹林土壤表层凋落物分解速率,分解产物的淋溶是使得土壤 DOC 累积量增加的原因。

2.5 CO₂ 浓度

CO₂ 浓度是影响土壤 DOC 动态变化的潜在因素,主要通过对地上及根部生物量等的作用而影响着土壤中 DOC 的含量和分布。Cheng Weixin 和 Johnson(1998)对春小麦的研究发现,高 CO₂ 浓度下根际 DOC 含量增加了 60%;马洪亮等(2005)发现 CO₂ 浓度升高增加小麦成熟期土壤 DOC 含量;Zhao Guangying 等(2009)研究发现 CO₂ 浓度升高促进了三江平原湿地小叶章根系生物量的增加,并且在根系生物量增加的同时植物对 C 的吸收和同化增加,以根际沉淀物(释放细胞、分泌物、粘液以及通过根系进入土壤的其他化合物)的形式出现的物质也会随之增加,相应地土壤微生物量碳和 DOC 含量升高(赵光影等,2011)。但也有部分研究表明,CO₂ 浓度的升高能够增加根系的 CO₂ 通量和微生物的碳供应,刺激微生物种群的增长,由于这种“激发效应”而加速有机质的分解(苏永中和赵哈林,2002),从而对土壤 DOC 的动态变化造成影响。

2.6 土壤冻融

土壤冻融是作用于土壤的非生物应力,能够改变土壤的理化性质和土壤微生物的生理活性和群落结构(王娇月等,2011),因此在一定程度上冻融影响着土壤 DOC 的动态变化。王洋等(2007)和刘帅等(2009)研究发现土壤冻融改变着土壤结构、含水量分布和水热运动,影响了以微生物为媒介的有机质的矿化作用,进而对土壤 DOC 的含量和分布产生了影响;而 Staricka 和 Benoit(1995)对此却提出冻融交替是由于改变了土壤水分的有效性和运动方向,导致一部分微生物死亡并分解,对其动态变化产生

影响的。与上述两位学者不同,Larsen 等(2002)提出冻融过程中水分的变化使有机质与土壤结合部位的破坏,进而释放更多的土壤 DOC。在全球变暖的背景下,土壤冻融特征的变化将对土壤碳库产生重大影响,而对外界环境变化响应较为敏感的土壤 DOC 成为了探究土壤碳库变化的切入点,因此研究土壤冻融与土壤 DOC 动态变化之间的关系具有重要的意义。

3 人为因素

3.1 土地利用方式

土地利用方式变化导致植被种类和覆盖类型的变化,及耕作和种植制度的变化,进而影响着土壤有机碳的输入量和分布与土壤理化性质(汪景宽等,2008),从而控制着土壤 DOC 的动态变化趋势。张金波等(2004)研究表明,随着土地利用方式的变化,土壤 DOC 含量变化明显,土壤开垦耕作是导致土壤 DOC 含量降低的主要原因;黄靖宇等(2008)对三江平原湿地垦殖的研究发现,小叶章湿地垦殖后,人类农业活动的干扰使得湿地生物量减少,密集的草根层消失,土壤有机质输入量和根系分泌物减少,进而导致 DOC 来源的减少;田静等(2011)在研究土地利用方式对土壤 DOC 组成的影响的过程中提到,河北曲周、北京顺义及山东寿光3个地区表层菜田土壤 pH 分别较农田降低了 0.10、0.43 和 0.50 个单位,说明了菜田土壤有明显的酸化现象,而这被酸化的土壤又改变着土壤微生物的活动、有机碳质量(溶解度、降解能力等)及土壤中的物理吸附和化学反应等,进而影响着 DOC 的动态变化。

而张磊和张磊(2008)发现小叶章湿地耕作后初期土壤温度高于未耕作土壤,土壤含水量明显下降,土壤呼吸作用增加,土壤 DOC 含量也显著增加,但是之后,耕作土壤 DOC 含量下降,低于未耕作土壤。这充分说明了土地利用方式的改变对土壤 DOC 的影响情况,耕作初期造成土壤基质暴露,活性碳组分大量释放,微生物活性和数量大幅度增长,土壤 DOC 含量迅速增加,但是此时微生物降解的 DOC 量要高于其产生量,因此随后土壤 DOC 含量又呈现明显的下降趋势。总之土地利用方式的变化改变了土壤的植被类型和环境条件,使输入土壤的有机质类型、生物降解、淋溶过程等发生较大的改变,对土壤 DOC 的生成和降解都产生了很大影响,因而间接地改变着土壤 DOC 的动态变化趋势。同时这一研究表明了时间尺度在探究土壤 DOC 动态

变化影响因素作用机制中的重要性。

3.2 土地管理方式

土地管理方式的不同也能够直接或间接地引起土壤 DOC 动态变化,如施加有机肥、排水沟渠建设等。目前针对施加有机肥对土壤 DOC 影响的研究较多,研究表明增施有机肥明显地增加了土壤中 DOC 含量。倪进治等(2003)对不同施肥处理下 DOC 含量进行研究指出,DOC 含量和组成主要与肥料种类和数量有关,有机-无机配合施用的土壤 DOC 高于单施无机肥或对照土壤。这主要是由于有机无机肥的配施,可以有效地改善土壤理化性状,提高土壤肥力改变土壤微生物学特征,增强土壤有机化合物的分解和转化,因而其微生物生物量、作物掉落物和根系分泌物也相应大于其他处理,从而增加了土壤 DOC 的含量,改变了土壤 DOC 的动态变化趋势(韩成卫等,2007;周斌等,2007;李娟等,2008;高忠霞等,2010)。但是 Gregozich 等(1996)研究发现,使用有机肥后 DOC 的含量只在短时间内增加,随之就有所下降,表明了外源有机肥含有易被微生物降解的有机碳,施入土壤后会释放大量的 DOC,从而证实了施加有机肥对土壤中 DOC 的动态变化具有直接的影响。

此外,土地管理中排水沟渠的建设同样能够影响土壤 DOC 的动态变化。研究表明排水沟渠的建设改变了土壤 DOC 的释放过程和传输路径(Boyer et al.,1997),不仅导致大量 DOC 向沟渠迁移并沉积在沟渠中,而且最终导致不同沟渠沉积物中 DOC 的含量和分布均产生了明显的差异性(郗敏等,2008)。Wallage 等(2006)提出排水沟渠的修建降低了湿地水位、改变了湿地内的水流状况并且增加了 DOC 的释放;郗敏和吕宪国(2007)对三江平原湿地沟渠侵扰带土壤 DOC 分布特征进行了研究,发现随着距沟渠距离减小,土壤 DOC 含量及其水平和垂直分布变异性有增加的趋势,并且随沟渠等级增加,在底泥中所占的比重逐渐增加,这可能是由于沟渠侧向径流对湿地上坡土壤 DOC 的冲刷作用及沟渠系统内生长的大量植物对沟渠的阻塞作用而产生的土壤 DOC 富集效果。

4 多因素的综合影响

土壤 DOC 的动态变化是多种影响因素综合作用的结果。研究发现温度的增加在实验室条件下比在野外条件下的结论更为明显,表明野外条件下土壤 DOC 浓度和周转不仅仅受土壤温度的影响,气候

和水文状况、凋落物数量和质量、土壤质地和其他一些土壤性质均可调控甚至掩盖温度的效应(刘微和王树涛,2011)。当然有些因素对 DOC 的共同作用呈协同效应,互相加强其作用效果,如温度和 CO_2 变化与温度和水位下降对 DOC 净产率的影响呈显著关系(Fenner et al.,2007;Clark et al.,2009);温度和酸沉降共同作用于微生物活动进而对 DOC 产量的影响也是特别明显的(Clark et al.,2010)。

然而部分因素之间的作用却是相互缓冲或者掩盖的,如因暴雨和雪融等增加的地表水和土壤水对酸度变化的缓冲作用,导致了在一些地区酸沉降对 DOC 平均浓度及季节性变化的影响并不会显著,或者在具有相同酸沉降的地区而 DOC 变化幅度却不同。此外如果在对酸沉降影响因素的研究期间土地利用方式发生改变,DOC 变化趋势就会发生变化,反之如果期间土地利用方式并未发生变化,土壤水和地表水对酸沉降的缓冲作用就会十分显著(Clark et al.,2010)。研究发现在英国具有混合有机土壤类型的地区监测到 DOC 浓度不断增加的现象(Freeman et al.,2001),但是同一时期并未在泥炭地河流中监测到这种变化,Clark 等(2005)提出高水位、酸度较低并且 SO_4^{2-} 低于背景值的地区土壤 DOC 对硫沉降变化的响应度降低;另外在被重碳酸根缓冲的土壤溶液中,土壤 DOC 对酸沉降变化并未有任何响应,而在被有机酸缓冲的土壤溶液中却出现相反的现象,Monteith 等(2007)对此指出阳离子控制着 DOC 对酸沉降的响应;Clark 等(2010)提出在污染程度较高的地区,较强的酸沉降掩盖了长期气候因素对 DOC 的影响以至于对其难以探测,这也可以用来解释各个地区研究结论存在的差异,如在一些污染程度较大地区的研究主张土壤 DOC 动态变化与酸沉降关系显著,而在污染程度较小的地区主张与气候因素关系显著。

5 结论和展望

生物因素、非生物因素及人为因素对土壤 DOC 动态变化的影响较复杂,在不同的空间和时间尺度下,其影响存在着较大的差异。但本质上生物因素如植被和土壤微生物控制着土壤 DOC 的输入和输出;非生物因素和人为因素如温度和湿度、酸沉降、土地利用和管理方式等通过作用于微生物活性、植被生长或其他因素而间接地驱动着土壤中 DOC 的动态变化。

土壤 DOC 的动态变化是多种影响因素综合作

用的结果,有些影响因素之间为协同作用,如温度和 CO_2 变化、温度和水位下降,以及温度和酸沉降等;但有些影响因素则互相缓冲或者掩盖,如暴雨、雪融与酸沉降等。同时这一理论也可以用来解释部分研究结论存在的差异。

近年来对土壤 DOC 动态变化开展了大量的定性研究,而各个因素的作用机制仍未得出明确的结论。国外部分研究学者在研究地表水中 DOC 动态变化时,将时间序列模型应用于 DOC 长期变化趋势驱动因子研究中。这种将影响因素对土壤中 DOC 动态变化的作用强度进行量化的研究方法能够描述在不同的地区和条件下时间及空间因子对 DOC 的产生过程、溶解过程和迁移过程的影响,对影响因素作用机制的探究具有重要的意义。然而国内应用此类方法对土壤 DOC 影响因素进行量化的研究很少见,迫切需要开展这方面的研究。

此外在对上述影响因素的研究过程中,前人所应用的研究方法不尽相同。但是研究表明,土壤中各有机物含量的测定结果与样品采集方法、样品保存及前处理方法等一些条件密切相关,如对 DOC 含量的测定,样品浸提是影响溶液中有机碳含量的关键一步,浸提液、浸提时间及过滤方式的不同均将对测定结果产生一定的影响。为此统一 DOC 含量测定方法,或者对不同的方法进行校正,是对不同研究学者得到的研究结论进行对照和比较的前提,也是对大尺度时空范围内 DOC 动态变化趋势准确掌握和分析的基础。

参 考 文 献 / References

- 董洪芳,于君宝,孙志高,牟晓杰,陈小兵,毛培利,吴春发,管博. 2010. 黄河口滨岸潮滩湿地植物—土壤系统有机碳空间分布特征. 环境科学,31(6):1594~1599.
- 窦晶鑫,刘景双,王洋,赵光影. 2008. 模拟氮沉降对湿地植物生物量与土壤活性碳库的影响. 应用生态学报,19(8):1714~1720.
- 高忠霞,周建斌,王祥. 2010. 不同培肥处理对土壤溶解性有机碳含量及特性的影响. 土壤学报,47(1):115~121.
- 韩成卫,李忠佩,刘丽,车玉萍. 2007. 去除溶解性有机质对红壤水稻土碳氮矿化的影响. 中国农业科学,40(1):107~113.
- 贺强,崔保山,赵新胜,付华龄,廖晓琳. 2009. 黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系. 生态学报,29(2):676~687.
- 黄东迈,朱培立,王志明,余小鹤. 1998. 旱地和水田有机碳分解速率的探讨和质疑. 土壤学报,35(4):482~492.
- 黄靖宇,宋长春,宋艳宇,刘德燕,万忠梅,廖玉静. 2008. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解性有机碳、氮的影响. 环境科学,29(5):1380~1387.
- 黄黎英,曹建华,周莉,徐祥明,莫彬,张佩. 2007. 不同地质背景下土壤溶解性有机碳含量的季节动态及其影响因素. 生态环境,

- 16(14):1282~1288.
- 黄瑞农. 1994. 环境土壤学. 北京:高等教育出版社,169.
- 姜培坤. 2005. 不同林分下土壤活性有机碳库研究. 林业科学,41(1):10~13.
- 焦坤,李忠佩. 2005. 红壤稻田土壤溶解性有机碳含量动态及其生物降解特征. 土壤,37(3):272~276.
- 李娟,赵秉强,李秀英,Hwat B S. 2008. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响. 中国农业科学,41(1):144~152.
- 李玲,仇少君,刘京涛. 2006. 土壤溶解性有机碳在陆地生态系统碳循环中的作用. 生态学杂志,25(11):1412~1417.
- 李仁洪,胡庭兴,涂利华,雒守华,向元彬,戴洪忠,黄立华. 2009. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林凋落物分解的影响. 应用生态学报,20(11):2588~2593.
- 李学坦. 2001. 土壤化学. 北京:高等教育出版社,213.
- 刘可慧,彭少麟,莫江明,黄忠良,方运霆. 2005. 酸沉降对森林植物影响过程和机理. 生态环境,14(6):953~960.
- 刘帅,于贵瑞,浅沼顺,杉田伦明,张雷明,赵风华,胡中民,李胜功. 2009. 蒙古高原中部草地土壤冻融过程及土壤含水量分布. 土壤学报,46(1):46~51.
- 刘微,王树涛. 2011. 土壤中溶解性有机物及其影响因素研究进展. 土壤通报,42(4):997~1002.
- 柳敏,宇万太,姜子绍,马强. 2006. 土壤活性有机碳. 生态学杂志,25(11):1412~1417.
- 马洪亮,朱建国,谢祖斌,张雅丽,曾青,刘钢. 2005. 不同氮水平下CO₂浓度升高对小麦土壤可溶性C、N和P的影响. 土壤,37(3):284~289.
- 倪进治,徐建民,谢正苗,王德建. 2003. 不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究. 土壤学报,40(5):724~730.
- 庞学勇,包维楷,吴宁. 2009. 森林生态系统土壤可溶性有机质(碳)影响因素研究进展. 应用与环境生物学报,15(3):390~398.
- 苏永中,赵哈林. 2002. 土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展. 中国沙漠,22(3):220~228.
- 田静,郭景恒,陈海清,范明生,吕润海,魏荔,李晓林. 2011. 土地利用方式对土壤溶解性有机碳组成的影响. 土壤学报,48(2):338~346.
- 涂利华,胡庭兴,张健,李仁洪,何远洋,田祥宇,肖银龙,景建飞. 2010. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林土壤活性有机碳库和根生物量的影响. 生态学报,30(9):2286~2294.
- 汪景宽,李丛,于树,李双异. 2008. 不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮生物降解特性. 生态学报,28(12):6165~6171.
- 王春阳,周建斌,王祥. 2011. 黄土高原区不同植物凋落物可溶性有机碳的含量及生物降解特性. 环境科学,32(4):1139~1145.
- 王娇月,宋长春,王宪伟,王丽丽. 2011. 冻融作用对土壤有机碳库及微生物的影响研究进展. 冰川冻土,4,33(2):442~452.
- 王清奎,汪思龙,冯宗炜. 2005. 杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系. 生态学报,25(6):1299~1305.
- 王洋,刘景双,王国平,周旺明. 2007. 冻融作用与土壤理化效应的关系研究. 地理与地理信息科学,23(2):91~96.
- 王莹,阮宏华,黄亮亮,冯青青,齐艳. 2010. 围湖造田不同土地利用方式土壤水溶性有机碳的变化. 南京林业大学学报,34(5):109~114.
- 郝敏,孔范龙,吕宪国. 2008. 三江平原不同土地利用方式下沟渠沉积物可溶性有机碳含量和分布. 水土保持学报,22(3):132~135.
- 郝敏,吕宪国. 2007. 三江平原湿地多级沟渠系统底泥可溶性有机碳的分布特征. 生态学报,27(4):1434~1441.
- 张迪,韩晓增,李海波,宋春,侯雪莹. 2008. 不同植被覆盖与施肥管理对黑土活性有机碳及碳库管理指数的影响. 生态与农村环境学报,24(4):1~5.
- 张金波,宋长春,杨文燕. 2004. 土地利用方式对土壤水溶性有机碳的影响. 中国环境科学,25(3):343~347.
- 张金波,宋长春,杨文燕. 2005. 小叶章湿地表土水溶性有机碳季节动态变化及影响因素分析. 环境科学学报,25(10):1397~1402.
- 张磊,张磊. 2008. 土地耕作后微生物量碳和水溶性有机碳的动态特征. 水土保持学报,22(2):146~150.
- 张文菊,童成立,杨钙仁,吴金水. 2005. 水分对湿地沉积物有机碳矿化的影响. 生态学报,25(2):249~253.
- 张绪良,张朝晖,徐宗军,谢文霞,隋玉正,郗敏. 2012. 胶州湾滨海湿地的景观格局变化及环境效应. 地质论评,58(1):190~200.
- 章光新. 2012. 水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述. 生态学报,32(13):4254~4260.
- 赵光影,刘景双,王洋,周嘉. 2011. CO₂浓度升高对三江平原湿地活性有机碳及土壤微生物的影响. 地理与地理信息科学,27(2):96~100.
- 周本智,傅懋毅. 2004. 竹林地下鞭根系统研究进展. 林业科学研究,17(4):535~540.
- 周斌,乔木,王周琼. 2007. 长期定位施肥对灰漠土农田土壤质量的影响. 中国生态农业学报,15(2):33~36.
- Aiken G R, Mcknight D M, Wershaw R L. 1985. Humic substances in soil, sediment, and water: geochemistry, isolation and characterization. Toronto, Canada: Wiley Interscience publication, 5.
- Alex T C, Kenneth K T, Gao Suduan, Randy A D. 2006. Temperature, water content and wet-dry cycle effects on DOC production and carbon mineralization in agricultural peat soils. Soil Biology & Biochemistry,38:477~488.
- Andreasson F, Bergkvist B, Baath E. 2009. Bioavailability of DOC in leachates, soil matrix solution and soil water extracts from beech forest floors. Soil Biology & Biochemistry,41:1652~1658.
- Bourbonniere R A. 1989. Distribution patterns of dissolved organic matter fractions in natural waters from eastern Canadian. Organic Geochemistry,14:97~107.
- Boyer E W, Hornberger G M, Bencala K E, Mcknight D M. 1997. Response characteristics of DOC flushing in an alpine catchment. Hydrological Process,11:1635~1647.
- Bridgman S D, Updegraff K, Pastor J. 1998. Carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization in northern wetlands. Ecology,79:1545~1561.
- Bu Xiaoli, Ding Jiumin, Wang Limin, Yu Xingna, Huang Wei, Ruan Honghua. 2011. Biodegradation and chemical characteristics of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types in the Wuyi Mountain, southeastern China. European Journal of Soil Biology,47:102~107.
- Cheng Weixin, Johnson D W. 1998. Elevated CO₂, rhizosphere process and soil organic matter decomposition. Plant Soil,202:167~174.
- Christ J. 1996. Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol. Soil Biology & Biochemistry,28(9):1191~1199.
- Clark J M, Ashley D, Wagner M, Chapman P J, Lane S N, Evans C D, Heathwaite A L. 2009. Increased temperature sensitivity of net DOC production from ombrotrophic peat due to water table draw-down. Global Change Biology,15(4):794~807.
- Clark J M, Bottrell S H, Evans C D, Monteith D T, Bartlett R, Rose R,

- Newton R J, Chapman P J. 2010. The importance of the relationship between scale and process in understanding long-term DOC dynamics. *Science of the Total Environment*, 408: 2768 ~ 2775.
- Clark J M, Chapman P J, Adamson J K, Lane S N. 2005. Influence of drought-induced acidification on the mobility of dissolved organic carbon in peat soils. *Global Change Biology*, 11: 791 ~ 809.
- Cole L, Bardgett R D, Ineson P, Adamson J K. 2002. Relationship between enchytraeid worms (*Oligochaeta*), climate change, and the release of dissolved organic carbon from blanket peat in northern England. *Soil Biology & Biochemistry*, 34: 599 ~ 607.
- Daniels S M, Evans M G, Agnew C T, Allott T H E. 2008. Sulphur leaching from headwater catchments in an eroded peatland, South Pennines, U. K. *Science Total Environment*, 4007: 481 ~ 96.
- de Wit H A, Mulder J, Hindar A, Hole L. 2007. Long term increase in dissolved organic carbon in streamwaters in Norway is response to reduce acid deposition. *Environmental Science & Technology*, 41: 7706 ~ 13.
- Denef K, Six J, Paustian K, Mercks R. 2001. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil stabilization; short-term effects of physical disturbance induced by dry—wet cycles. *Soil Biology*, 33: 533 ~ 540.
- Eimers M C, Buttle J, Watmough S A. 2008. Influence of seasonal changes in runoff and extreme events on dissolved organic carbon trends in wetland and upland-draining streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65: 796 ~ 808.
- Ellert B H, Bettany J R. 1992. Temperature dependence of net nitrogen and sulfur mineralization. *Soil Science of American Journal*, 56: 1133 ~ 1141.
- Exall K N, Vanloon G W. 2000. Using coagulants to remove organic matter. *Journal American Water Works Association*, 92: 93 ~ 102.
- Fang Changming, Moncrieff J B. 2002. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 155 ~ 165.
- Fenner N, Freeman C, Lock M A, Harmens H, Reynolds B, Sparks T. 2007. Interactions between elevated CO₂ and warming could amplify DOC exports from peatland catchments. *Environmental Science & Technology*, 41(9): 31 46 ~ 52.
- Fierer N, Schimel J P. 2002. Effects of drying—rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations. *Soil Biology & Biochemistry*, 34: 777 ~ 787.
- Freeman C, Evans C D, Monteith D T, Reynolds B, Fenner N. 2001. Export of organic carbon from peat soils. *Nature*, 412(6849): 785.
- Freeman C, Ostle N, Kang H. 2001. An enzymic latch on a global carbon store: a shortage of oxygen locks up carbon in peatlands by restraining a single enzyme. *Nature*, 409: 149.
- Futter M N, de Wit H A. 2008. Testing seasonal and long-term controls of stream water DOC using empirical and process-based models. *Science Total Environment*, 407: 698 ~ 707.
- Gregorich E G, Ellert B H, Drury C F, Liang B C. 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 472 ~ 476.
- Guggenberger G, Zech W, Schulten H. 1994. Formation and mobilization of dissolved organic matter; evidence from chemical structural studies of organic matter fractions in acid forest floor solutions. *Organic Geochemistry*, 21: 51 ~ 66.
- Guo Laodong, Santschi P H. 1997. Isotopic and elemental characterization of colloidal organic matter from the Chesapeake Bay and Galveston Bay. *Marine Chemistry*, 59: 1 ~ 15.
- Han Nizhou, Thompson M L. 1999. Soluble organic carbon in a biosolids amended mollisol. *Journal of Environmental Quality*, 28: 652 ~ 658.
- Haynes R J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 211 ~ 219.
- Kalbitz K, Schmerwitz J, Schwesig D, Matzner E. 2003. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma*, 113: 273 ~ 91.
- Laane R W. 1980. Conservative behaviour of dissolved organic carbon in the Ems-Dollart estuary and in the western Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 14: 192 ~ 199.
- Larsen K S, Jonasson S, Michelsen A. 2002. Repeated freeze—thaw cycles and their effects on biological processes in two arctic ecosystem type. *Applied Soil Ecology*, 21: 187 ~ 95.
- Leith I D, Hicks W K, Fowler D, Woodim S J. 1999. Differential responses of UK upland to nitrogen deposition. *New Phytologist*, 141: 277 ~ 289.
- Liechty H O, Kuuseoks E, Mroz G D. 2005. Dissolved organic carbon in northern hardwood stands with differing acidic inputs and temperature regimes. *Journal of Environmental Quality*, 2: 927 ~ 933.
- Lundquist E J, Jackson L E, Scow K M. 1999. Wet-dry cycles affect dissolved organic carbon in two California agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 31: 1031 ~ 1038.
- Moller J, Miller M, Kjoller A. 1999. Fungal—bacterial interaction on beech leaves; Influence on decomposition and dissolved organic carbon quality. *Soil Biology & Biochemistry*, 31: 367 ~ 374.
- Monteith D T, Stoddard J L, Evans C D, de Wit H A, Forsius M, Hogasen T, Wilander A, Skjelkvale B L, Jeffries D S, Vuorenmaa J, Keller B, Kopáček J, Vesely J. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature*, 450(7169): 537 ~ 9.
- Moore T R, Roulet N T, Waddington J M. 1998. Uncertainty in predicting the effect of climatic change on the carbon cycling of Canadian peatlands. *Climatic Change*, 39: 118 ~ 134.
- Sahrawat K L. 2003. Organic matter accumulation in submerged soils. *Advances in Agronomy*, 81: 169 ~ 201.
- Staricka J A, Benoit G R. 1995. Freeze-drying effect on wet and dry aggregate. *Soil Science Society of America*, 599: 218 ~ 223.
- Thurman E M. 1985. *Organic geochemistry of natural water*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers Group.
- van Heemst D H, Megens L, Hatcher P G, de Leeuw J W. 2000. Nature, origin and average age of estuarine ultrafiltered dissolved organic matter as determined by molecular and carbon isotope characterization. *Organic Geochemistry*, 31: 847 ~ 857.
- Waiser M J. 2006. Relationship between hydrological characteristics and dissolved organic carbon concentration and mass in northern prairie wetlands using a conservative tracer approach. *Journal of Geophysical Research*, 111: G02024.
- Wallage Z E, Holden J, McDonald A T. 2006. Drain blocking: an effective treatment for reducing dissolved organic carbon loss and water discoloration in a drained peatland. *Science of the Total Environment*, 3: 811 ~ 821.
- Xi Min, Lu Xianguo, Li Yue, Kong Fanlong. 2007. Distribution characteristics of dissolved organic carbon in annular wetland soil—water solutions through soil profiles in the Sanjiang Plain, Northeast China. *Journal of Environmental Sciences*, 19: 1074 ~ 1078.
- Yano Y, Lajtha K, Solins P, Caldwell B A. 2005. Chemistry and

dynamics of dissolved organic matter in a temperate coniferous forest on andic soils: effects of litter quality. *Ecosystems*, 8:286 ~ 300.

Zhao Guangying, Liu Jingshuang, Wang Yang, Dou Jingxin, Dong

Xiaoyong. 2009. Effects of elevated CO₂ concentration on biomass and active organic carbon of freshwater marsh after two growing seasons in Sanjiang Plain, Northeast of China. *Environmental Science*, 21:1393 ~ 1399.

Review of Researches on the Factors Influencing the Dynamics of Dissolved Organic Carbon in Soils

WU Jianmin, XI Min, KONG Fanlong, LI Yue, ZHANG Qinglei

College of Chemical and Environmental Engineering, Qingdao University, Qingdao, Shandong, 266071

Abstract: Dissolved organic carbon(DOC) is the extremely active organic component in terrestrial ecosystem, which plays an important role in the material exchange between pedosphere and others (such as, biosphere, atmosphere, hydrosphere and lithosphere). Compared with the other components of soil organic carbon, DOC is highly sensitive to the changes of soil quality, environmental factors and land use types, so the dynamics and influencing factors of DOC in soils have become one of the hot spots in the fields of the soil, environmental and ecological sciences. In this paper, researches on the factors influencing the dynamics of DOC in soils were reviewed, and the influence mechanisms of factors including biological, non-biological and human factors were analyzed. The following conclusions were derived in this paper. Vegetations and microorganisms which belong to biological factors control the input and output of DOC in soils. Non-biological and human factors drive the dynamics of DOC by effecting the microbial activity, plant growth and other factors. Biological, non-biological and human factors are commonly showed comprehensive action. Based on that, this paper put forward two suggestions for the further researches on the factors influencing the dynamics of DOC in soils, namely, quantitative analysis on the influence intensity of factors by mathematical models and unifying the different methods to determine the content of DOC.

Key words: dissolved organic carbon; dynamics; influence factors; influence mechanisms

(上接第 952 页) 坐标图纵轴的标注置于纵轴之左,平行纵轴,字头朝左、居中放;若右侧是另一刻度纵轴,则标注放右纵轴之右,字头仍朝左,居中。横轴标注放横轴之下,居中。顶线为另一刻度横轴时,标注放顶线之上,居中,字头向上。图、表应有名称以及相应英文,图例注释应有相应英文。

(9)致谢:组织创作、为创作提供帮助或咨询的人和单位可在致谢语中表达。

(10)参考文献:本刊采用著者一年制。有两种方式:一是在圆括号列出第一作者和年代,例:“(李四光,1945)”、“(黄汲清,1978,1984;黄汲清等,1983;Смирнов,1986;李春昱,1959;李春昱等,1980;Smith et al.,1990,1992,1996;Иванов и др.,1999)”(同时列出多篇文献时,次序按年代先后)。二是,作者名作为正文的一部分,后紧跟圆括号中标明年代。例:“黄汲清(1984)指出……”;“李春昱等(1980)认为……”;Smith等(1990,1992,1996)研究表明……”;Иванов等(1999)指出……”。

鉴于中文在国际上的影响越来越大,且作者、编者的工作量太大,《地质论评》和《地质学报》(中文版)自2006年起取消了非西文参考文献的英文翻译。所有文献均放在“参考文献/References”标题之下。文种按中文、日文、西文、俄文、其他文排列。中文按第一作者姓名汉语拼音字母顺序排列,第一作者相同的按年代先后排列。其他文均按各自第一作者姓名字母顺序排列。西文书名、刊名的所有实词首字母必须大写,但文章的题目只有全题目的第一个字母和专有名词的首字母大写。

按著作权法和国际惯例,所有作者均必须列全,请列出全部作者。但:专著可按原书封面样式给出;引论文集集中的某篇论文,指明

主编一人即可(“见:XXX,等.主编.”)。

每条文献的列出格式请参照我刊2001年以来的文章。

(11)注释:引用非公开出版物时,文中以作者名后加上角标阴圆圈标注,在文后单列注释一栏,格式同参考文献。

(12)英文摘要:在《地质论评》和《地质学报》(中文版)上发表的论文必须提交英文摘要,包括题名、作者、作者单位、内容提要 and 关键词。作者和作者单位均应为全名,内容提要要与相应中文摘要一致,可以更为详细。

(13)作者简介:主要介绍作者的学术经历,自1998年起增加了电话、电子信箱、传真等,以方便读者与作者直接联系,请尽量提供。家庭电话和手机可提供给编辑部,以便编审过程中联系。

(14)图版:本刊图版集中用铜版纸印刷,放于文章末尾,图版尺寸为168mm×240mm(包括一行图版说明:XXX等:文章题目 图版I),图版的分幅照片(子图)我刊用阿拉伯数码编号。每一图幅的说明可集中列于论文的末尾,也可直接放在图版的底部。现在许多图版也可按图处理,即直接插入在正文内。作为图处理时,各子图的编号用小写拉丁字母,且加圆括号。

4 其他

更多详细内容,如我刊第一次改稿一般要求、终稿提供材料一般要求、图件修改一般要求、我刊的一般格式等,欢迎登陆我们的网站查询。网上内容可能不断更新,故若网上内容与本文不同,请以网上公告为准。

《地质论评》、《地质学报》编辑部,2013年9月