

土壤活性有机质及其与土壤质量的关系

王清奎^{1,3}, 汪思龙^{1*}, 冯宗炜², 黄 宇²

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:活性有机质是土壤的重要组成部分, 主要包括溶解性有机碳、微生物生物量、轻组有机质。它在土壤中具有重要作用: (1) 可以表征土壤物质循环特征、评价土壤质量, 可以作为土壤潜在生产力以及由土壤管理措施引起土壤有机质变化的早期指标; (2) 在养分周转中起重要作用, 是植物的养分库, 可以提供植物所需要的养分如氮、磷、硫等; (3) 能稳定土壤结构, 对维持团粒结构稳定性有重要作用。从土壤养分、土壤物理、化学性质方面讨论了活性有机质与土壤质量的关系。土壤中的溶解性有机碳、微生物生物量碳氮含量与土壤有机碳、全氮和碱解氮等物质的含量呈正相关。活性有机质受土壤质地、含水量、温度等因素影响, 与土壤酸碱度、阳离子交换量等也有关。土壤微生物生物量碳和微生物量 C/有机碳比与土壤粘粒、粉粒含量呈正相关、与砂粒含量呈负相关。

关键词:活性有机质; 溶解性有机碳; 微生物生物量; 轻组有机质; 土壤质量

Active soil organic matter and its relationship with soil quality

WANG Qing-Kui^{1,3}, WANG Si-Long^{1*}, FENG Zong-Wei², HUANG Yu² (1. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016; 2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 3 Graduate School of the Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 513~519.

Abstract: Active soil organic matter (ASOM) is an important soil component, influencing dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass (MB), and light fraction organic matter (LOM). In particular, soil organic matter (SOM) affects short-term nutrient turnover and is responsible for temporary stability of soil structure. ASOM is a major component of biochemical cycles of nutrient elements such as N, P, S, and both its quality and quantity reflect and control primary productivity. ASOM has been proposed as a sensitive indicator of early changes in SOM under different management practices such as tillage, straw incorporation, fire, clear-cutting, or manure application. Because of its dual roles as a pool of labile nutrients and as the agent of decomposition of organic materials in soil, MB may be a sensitive indicator of changes in ASOM. This pool is important since it serves as a readily decomposable substrate for soil microorganisms, a short-term reservoir of plant nutrients, and fragments become the centre for formation of water-stable aggregates. Increases in organic matter quantity and especially quality can result in increased N mineralization potential and greatly increased aggregate stability. ASOM was evaluated as an index of soil quality (SQ). In this paper, the authors discuss on the relationship between soil nutrients, physical and chemical properties and SQ. The quantity and quality of ASOM were found to be influenced by soil factors such as texture, water content, temperature, cation exchange capacity, and pH value. A very significant positive correlation was found between the concentrations of DOC, microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN) and the concentrations of soil organic carbon, total nitrogen and available nitrogen. MBC and ratio of MBC to DOC were positively correlated with soil clay and silt contents, and negatively correlated with soil sand content.

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向课题资助项目(KZCX3-SW-418); 国家自然科学基金资助项目(30270268)

收稿日期:2004-02-21; **修订日期:**2004-08-15

作者简介:王清奎(1977~), 男, 山东曹县人, 博士生, 主要从事土壤有机质、土壤质量研究。E-mail: wqkui@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: SL Wang21@hotmail.com

Foundation item: Chinese Academy of Science Program (No. KZCX3-SW-418) and National Natural Science Foundation of China (No. 30270268)

Received date: 2004-02-21; **Accepted date:** 2004-08-15

Biography: WANG Qing-Kui, Ph. D. candidate, mainly engaged in soil organic matter and soil quality. E-mail: wqkui@163.com

Key words: active soil organic matter (ASOM); dissolved organic carbon (DOC); microbial biomass (MB); light fraction organic matter (LFOM); soil quality (SQ)

文章编号:1000-0933(2005)03-0513-07 中图分类号:S153.6 文献标识码:A

土壤有机质(soil organic matter, SOM)是土壤的重要组成部分,是植物的养分来源和土壤微生物生命活动的能量来源。长期以来,人们已经在有机质的数量方面作了大量的研究工作。但是,SOM 的含量只是一个有机质积累和矿化分解的平衡结果,不能很好地反映土壤质量(soil quality, SQ)的变化和转化速率等。20 世纪 70~80 年代,人们从有机质的分解转化方面,对有机质分组进行了更深入的研究,提出了土壤活性有机质(active soil organic matter, ASOM)的概念。ASOM 是指土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解利用、对植物养分供应有最直接作用的那部分有机质^[1,2],主要包括微生物生物量(microbial biomass, MB)、轻组有机质(light fraction organic matter, LFOM)、易矿化的碳和氮、容易浸提的碳氮及碳水化合物^[3]。

ASOM 可以表征土壤物质循环特征,作为土壤潜在生产力和土壤管理措施变化引起土壤有机质变化的早期指标^[4,5]。许多研究者^[1,2,6,7]发现 ASOM 对土壤碳的变化较非活性有机质敏感得多,与土壤性质的关系比总有机质密切。SQ 是土壤在生态系统的范围内,维持生物的生产力、保护环境质量(降低环境污染物和病菌损害)以及促进动植物和人类健康的能力^[8],可反映各种利用和管理条件下土壤恢复与退化的能力^[9]。ASOM 在指示 SQ 和土壤肥力的变化时比总有机质更灵敏,能够更准确、更实际的反映土壤肥力和土壤物理性质的变化、综合评价各种管理措施对 SQ 的影响。本文对土壤活性有机质的组分、研究方法以及与土壤质量的关系作以阐述,以期使人们能了解土壤活性有机质并真正认识到其生态学意义,并提出活性有机质未来研究的重点。

1 活性有机质组分

1.1 溶解性有机碳

土壤溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)是指在一定条件下,具有一定溶解性、在土壤中移动比较快、易氧化分解和矿化,对植物、微生物来说活性比较高的那部分土壤碳素,是土壤有机碳的组成部分之一^[10]。DOC 包括一系列有机物,从简单的有机酸到复杂的大分子物质如胡敏酸、富里酸,但主要部分是水溶性有机碳(water-soluble organic carbon, WSOC)。DOC 是生态系统中的一个重要组成部分,可以影响陆地和水域的生产力、元素循环等^[11]。土壤中 DOC 的来源一般可以分为两种,即土壤自身含有的和外部进入土壤的,例如枯枝落叶、植物残体经淋溶而带入土壤的 DOC,或者通过施用有机肥等活动进入土壤的 DOC。Kalbitz 等^[12]人认为,土壤中 DOC 主要来源于近期的植物枯枝落叶和土壤有机质中的腐殖质;Mcdowell 和 Likens^[13]认为 DOC 主要来源于淋溶的和微生物分解的有机质,而不是近期的枯枝落叶。而据 Qualls 等^[14]报道,在落叶林生态系统中 DOC 含量的增加主要是源于上层的森林覆被层。

在矿质土壤中,尤其是森林土壤,WSOC 含量比较低,主要与土层吸附 WSOC 的能力有关^[15],与土壤有机质的其它组分之间在一定的条件下可以相互转化。WSOC 虽然只占土壤有机碳的很少部分,含量一般在 200mg/kg 范围内^[16,17],是微生物利用的直接有机物质^[18];还会影响土壤中有机和无机物质的转化、迁移和降解。它是 ASOM 的一部分,容易被土壤微生物分解,在提供森林土壤养分方面起着重要的作用;在水中可溶,对森林土壤生态系统中元素的生物地球化学循环以及铝和重金属等元素的毒性和迁移有深刻的影响。同时森林土壤 DOC 的淋失是土壤有机碳损失的重要途径,WSOC 作为资源质量的一个指标已广泛应用,对研究碳循环与环境有重要意义。Blair 等^[1]认为,对于农林可持续发展系统来说,土壤碳库容量是很重要的因子,其变化主要发生在溶解易氧化碳库存量。Biederbeck 等^[7]人通过动力学研究指出,土壤有机质的短期波动主要是易氧化分解部分,并选择易氧化碳、可矿化碳和微生物生物量碳作为 DOC 变化的指标。

1.2 微生物生物量

微生物生物量(MB)是指土壤中体积小于 $5\sim 10\mu\text{m}^3$ 活的微生物总量,是土壤有机质中最活跃的和最易变化的部分。MB 是土壤中易于利用的养分库及有机物分解和 N 矿化的动力,与土壤中的 C、N、P、S 等养分循环密切相关,其变化可反映土壤耕作制度和土壤肥力的变化以及土壤的污染程度。因此研究 MB 对于了解土壤养分转化过程和供应状况具有重要意义。MB 是土壤有机库中的活性部分,易受土壤中易降解的有机物数量如微生物生物体^[19]和残余物分解^[20]、土壤湿度和温度季节变化以及土壤管理措施^[21]的影响。与土壤总有机质相比,MB 量对土壤管理措施如翻耕^[22]、秸秆培养^[23]的变化响应快^[3],可以为土壤总有机质变化的早期指标^[22,23]和 ASOM 变化的指标^[22]。MB 为有机质周转提供了一个反应敏感的指标,可以了解在一定气候条件下 ASOM 和其它部分积累和周转的信息^[24]。但 Lundquist 等^[25]认为 MB 在短时间内会产生变化,不能一直作为 ASOM 的稳定指标。MB 的大小和活性控制土壤有机质周转的程度^[26]。因此在土地利用和土壤管理中用来表示土壤质量。

微生物生物量碳/有机碳($C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$)比值可以作为反映因土壤管理措施变化而造成有机质变化的一个指标^[27],能预测土壤有机质长期变化或监测土地退化及恢复。Beck^[28]认为 $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 可以用来指示土壤碳的平衡、积累或消耗。有研究结果显示土壤

微生物量碳和 C_{mic}/C_{org} 比与土壤粘粒、粉粒含量呈正相关、与砂粒含量呈负相关^[29]。 C_{mic}/C_{org} 的比值为 0.27%~7.0%, 变化幅度比较大^[28,30]。这可能是由于土壤类型、植被覆盖、管理措施不同和取样时间等差异造成的。据 Powlson 等^[23]报道, 增施秸秆可以提高土壤有机碳中微生物生物量碳的比例。微生物生物量碳的含量与 WSOC、碳水化合物中的 C、土壤有机碳呈正相关, 与长链的脂肪族碳呈负相关; 在土壤微生物生物量碳中, 碳水化合物中的 C 与长链的脂肪族碳更易被利用^[31]。MB 的周转需要 WSOC 来补充, 其补偿机制包括解吸土壤胶体、溶解凋落物、根系分泌物、水解不溶性土壤有机聚合物^[18]。

1.3 轻组有机质

轻组有机质(LFOM)是按照密度法分离出来的, 主要包括处于不同分解阶段的植物残体、小的动物和微生物, 具有较高的周转速率^[32]、相对高的 C/N 比^[33]和相对密度显著低于土壤矿物。LFOM 对土壤有机质的周转很重要, 是植物养分的短期储存库^[3]。其大小和组成具有季节性波动, 主要取决于有机物的输入和分解速率, 其分解碎屑对水稳定性团聚体的形成具有重要作用^[34]。LFOM 不稳定、易矿化, 与重组有机质相比, 与粘土矿物结合不强烈, 缺乏土壤胶体保护有关^[5,35]。有研究表明土壤微生物生物量氮、土壤矿化氮和碳等均与土壤中 LFOM 含量有显著的正相关^[2,36], 这表明 LFOM 具有较高潜在的生物活性, 是土壤中不稳定有机碳库的重要组成部分。LFOM 的数量主要受土地利用方式的影响^[2,5,7], 对耕作措施的响应比总有机质更快、更敏感^[32], 但由于它易为微生物降解利用, 所以只能反映其短期影响。LFOM 含有相对活跃的部分如碳水化合物^[35]。Dala 和 Mayer^[5]发现草地改种谷物后, 轻组有机碳损失相对比重组有机碳大 2~11 倍, 并且轻组有机碳达到平衡状态的时间比土壤总有机碳短。

上述 3 种有机质是 ASOM 的重要组分, 有研究者对它们之间的关系进行了一些研究。倪进治等^[37]研究发现, 土壤生物活性有机碳库与 MBC、MBN、WSOC、LFOM 呈极显著正相关。Biederbeck 和 Zentner^[7]认为易氧化有机质(LOM)、微生物量有机质(MBOM)和轻组有机质(LFOM)代表了不同程度的活性有机质, 它们之间的关系为: $LOM = -0.104 + 0.08MBOM + 0.05LFOM$ 。倪进治等^[38]研究不同处理土壤中的 MBC 和 WSOC 时发现, SMBC 和 WSOC 含量呈极显著正相关($WSOC = 12.102 + 0.0619 SMBC$, $R^2 = 0.2106$)。Janzen 等^[2]研究作物长期轮栽土壤轻组有机质发现, 土壤呼吸速率和微生物量氮(MBN)与 LFOM 含量有显著的正相关。此外, Liang 等^[31]研究表明, SMBC 与 WSOC、碳水化合物 C 呈显著正相关, 而与长脂肪链碳呈负相关, 这说明 SMBC 不仅与 WSOC 的数量有关, 而且与其质量也有关。由此可见 ASOM 各组分并不是截然分开的, 它们之间有的是相互包含的, 譬如部分 DOC 是 MBC 的一部分, 也可能是 LFOM 的组成部分。

2 活性有机质研究方法

ASOM 的研究方法主要有 3 种, 即分别为: 物理方法、化学方法和微生物学方法。在 20 世纪 70 年代开始用物理方法来分离土壤活性有机质^[39], 主要是根据土壤颗粒的容重将有机质分为轻组(LFOM)和重组有机质(HFOM)。Janzen 等^[2]指出, LFOM 与土壤呼吸速率和微生物量氮(MBN)含量密切相关, 而 Dala 等^[40]发现 LFOM 含有 76%~96% 的 AOM。因此, LFOM 基本上可以体现 ASOM。在研究中常将那些易被 $KMnO_4$ 或 $K_2Cr_2O_7$ 氧化的、不稳定的有机质称为活性有机质。Logninow 等^[41]提出根据有机质能被 33mmol/L、167mmol/L、333mmol/L 3 种不同浓度的 $KMnO_4$ 氧化的数量, 把易氧化有机质分为 3 个程度不同的等级。后来 Lefroy 和 Blair^[42]发现这 3 个级别的活性有机质中, 能被 333mmol/L $KMnO_4$ 氧化的有机质在种植作物时变化最大, 因此就将此部分有机质称为活性有机质。微生物学方法是将土壤在室内按一定条件培, 把短期内能被微生物分解利用的部分称为活性有机质, 也称为微生物量有机质。通常采用氯仿熏蒸浸提法测定^[43], 即将土壤含水量调节到约田间持水量的 40% 左右在密闭容器中培养 7~10d, 一部分用氯仿熏蒸后杀死微生物, 由培养后熏蒸与未熏蒸浸提碳的差值求算活性有机质。Anderson^[44]通过测定培养过程中 CO_2 的释放量来求土壤微生物的分解速率, 也可以算出土壤中具有生物活性的有机质。

3 活性有机质与土壤养分的关系

ASOM 在 SOM 中所占的比重虽然很小, 但与土壤生产力密切相关, 可以提供植物所需要的养分如氮、磷、硫。由于 MB 和新加入的有机物是易于利用的养分库以及 MB 是有机物质分解和土壤 N 矿化的动力, 所以 ASOM 是土壤矿化 N 的一个主要来源。ASOM 的含量和动态变化可以反映土壤有效养分库的大小及其在土壤中的周转。

3.1 微生物生物量与土壤养分

MB 虽仅占土壤中碳的 2%~3%、氮的 3%~5%^[45], 但它是极其重要, 可以调节土壤中碳和氮的周转^[21], 是促使土壤中有有机物和植物养分转化、循环的动力因素, 是植物矿质养分的源和汇, 是稳定态养分转变为有效态养分的催化剂^[46,47]。另外, 土壤微生物生物量碳和氮也已作为土壤质量变化的敏感指标^[48]。土壤有效态氮大部分来自土壤微生物部分^[19], 因此 MBC 和 MBN 与土壤有效态氮含量存在正相关。徐阳春等^[49]等进行了长期免耕和施用有机肥对土壤微生物生物量影响的试验, 其结果显示: 土壤微生物量碳、氮与全氮、碱解氮之间均呈极显著的正相关, 与李淑芬等^[50]研究结果一致。此外, 李淑芬等^[50]的研究结果还表明, 土壤生物量碳、易氧化碳、可矿化碳和土壤碳素有效率还与土壤有机质、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾相关。这说明土壤生物量碳、易氧化碳、可矿化碳和土壤碳素有效率指示土壤肥力动态变化比土壤有机碳更加灵敏, 可以用来反映土壤肥力的

动态变化。据 Biederbeck 等^[7]报道,休闲-小麦轮作土壤中微生物生物量碳仅占土壤有机碳的 1.1%。微生物生物量库的任何变化,都会影响土壤养分的循环和有效性。但也有研究结果显示土壤微生物生物量氮与土壤有效态氮含量不存在相关性^[51]。此外,土壤微生物生物量碳通常与 LFOM 中的碳和外部碳矿化有关^[52]。

3.2 溶解性有机碳与土壤养分

土壤中 DOC 含量的大小可以反映土壤中潜在活性养分含量和周转速率,以及土壤养分循环和供应状况。土壤 DOC 还对调节土壤养分流有很大影响,与土壤生产力高度相关。李淑芬等^[50]研究了森林 DOC 与土壤因子的关系,结果显示土壤中的 DOC 含量与速效钾、有效磷、全氮和碱解氮等物质的含量均呈正相关。这与徐阳春等^[49]的研究结果一致。因此,虽然 DOC 仅占土壤有机碳的 1%~5%,但它对调节阳离子淋洗、金属溶解、矿物风化、土壤微生物活动、酸性阴离子的吸附-解吸以及其它土壤化学、土壤物理和生物学过程具有重要意义,是联系陆地和水域生态系统元素地球化学循环的重要环境化学物质。Ross 等^[53]研究指出,除了有机质积累层的 O 层外,活性溶解 Al 和总 Al 与土壤中 DOC 含量呈正相关,因而 DOC 可能控制着酸性土壤中铝的移动。

3.3 轻组有机质与土壤养分

在土壤中,LFOM 和不稳定的有机氮控制着土壤氮的矿化^[2,54]。Ford 等^[55]发现,ASOM 矿化的氮占氮净矿化量的 25%~60%;因此,活性有机质中的 N 含量与土壤 N 的净矿化量呈显著相关^[36]。Janzen 等^[2]报道 LFOM 与土壤呼吸速率强相关,这说明 LFOM 是土壤微生物重要的碳和能量来源。Sierra^[54]研究表明,N 的矿化量与 LFOM 的分解速率密切相关。他把 N 矿化分为 4 个阶段,在开始培养阶段,LFOM 贡献 N 矿化的 40%~50%,因此认为 LFOM 是矿化 N 的主要来源。在田间,耕作使 LFOM 和重组有机质的 N 都有损失,但轻组有机质氮损失的速率和比例比重组有机质要高得多,因此,能够提高 LFOM 含量的农业措施都可以增加微生物的营养循环速率,并增加土壤中营养元素特别是氮的可利用性。

4 活性有机质与土壤性质的关系

4.1 土壤物理性质

4.1.1 土壤质地 微生物生物量碳和微生物活性与土壤粘粒含量具有相关性。一般认为粘粒含量高的土壤,微生物生物量碳、微生物活性也高。这是因为土壤粘粒含量高,土壤含水量变化小或有机物质受土壤粘粒的保护而不被大型土壤动物所取食^[56]。Conteh 等^[57]用化学方法对质地为粘土的相邻的五对耕作及未耕作土壤的总有机质、ASOM 进行了测定。结果表明,总有机质、ASOM 含量均随团聚体颗粒变小而增大。Whitbread 等^[6]研究发现在粘粒含量较低的红壤土和灰壤土中,ASOM 与大于 250 μm 的水稳性团粒的含量之间有显著相关性。因此,在粘粒含量低的土壤如红色土中,ASOM 对维持团粒结构稳定性有重要作用。有研究表明 MB,LFOM 和其它 ASOM (热水浸提碳水化合物、不稳定有机碳)与团聚体稳定性密切相关^[58,59]。还有的研究者发现 $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 比与粘粒含量呈正相关^[59];但也有研究显示土壤中粘粒的含量与 $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 比并不具有相关性^[60]。

4.1.2 土壤湿度 Wang 等^[61]的研究表明,冻融作用和淹水处理能增加土壤中 WSOC 的淋溶损失,主要是低分子量的有机质,这表明冻融作用和淹水处理都能够增加土壤中的 WSOC 含量。Christ 等^[62]对森林土壤的研究表明,随着淋溶次数的增多,土壤中淋洗出来的 WSOC 的总量增加。而 Dosskey 等^[63]研究了溶解有机物在砂质森林土壤中的运动,发现雨量对 DOC 浓度无影响。在湿样品中,随水分含量增加,DOC 产生量也增加,湿的培养条件可以增加疏水酸的含量^[64]。土壤样品风干过程对 DOC 的测定结果有显著影响。在风干过程中溶入土壤空隙水中的 DOC 成为固体析出,并且是不可逆的,从而导致测定的 DOC 的含量降低。干土样与湿土样相比,干土样中测得的 DOC 含量要低得多^[65]。有研究表明经风干的棕壤和褐土样品 DOC 的实测值比新鲜样品直接提取结果分别低 60.2%和 17.3%。但 Bolan^[66]的研究结果与此不一致,其研究表明风干和烘干均可使 DOC 浓度增加,并且烘干的大于风干的;而 4℃ 下冷冻对 DOC 浓度无影响,与新鲜样品中浓度一致。

4.2 土壤化学性质

ASOM 的不同组分与土壤化学性质的相关性比其与土壤总有机质的相关性大,尤其是与土壤 pH。Moody 等^[67]研究了 ASOM 与土壤化学性质的关系,如与 ECEC、pH 为 6.5 时的阳离子交换量(CEC6.5)、电荷曲线的斜率(DELTAEC)、pH 缓冲容量(pH-BC)等的关系。结果显示,土壤有机质含量与 ECEC、DELTAEC、CEC6.5、pH-BC 显著相关。其中,ECEC 主要与 ASOM 相关,而非活性有机质在粘土中与 CEC6.5 显著相关。Curtin 等^[68]发现土壤 pH 值升高,DOC 增加,矿化碳氮积累。李淑芬等^[50]研究了森林 DOC 与土壤因子的关系,结果显示土壤中的 DOC 含量与土壤 pH 值之间呈线性负相关,与 Moody 等^[67]的研究结果一致。Jardine 等^[15]认为 pH 值为 4.5 时 DOC 吸附达最高,在较高或较低的 pH 时 DOC 吸附都有所下降。这说明土壤 DOC 含量与土壤 pH 的关系需要界定在一定的 pH 值范围内来研究才有意义。Vance 和 David^[65]通过酸淋溶土柱实验发现,O 层土柱用水淋溶时,淋溶液中 DOC 含量最大;用酸淋溶时,随 pH 值降低溶液中 DOC 含量减少。B 层土柱,随 pH 值降低 DOC 含量增加,这可能是通过质子作用,金属-有机配合物被释放出来,致使土壤溶液中有有机物含量增加,从而使 DOC 含量增加。所以,关于土壤 DOC 含量与土壤 pH 之间的关系还有待于进一步研究。

5 结语

SOM 是土壤的一个重要养分库和土壤微生物的能量库,也是评价土壤肥力的重要指标。ASOM 对理解有机物质分解、矿化潜能、养分循环变化和土壤结构的生物物理控制有重要作用。Lefroy 和 Blair^[42]根据 ASOM 建立了活性有机质库容指标、计算和提出了土壤管理指标,并认为土壤管理指标能够作为土壤管理措施引起 SOM 变化的指标。土壤碳库容管理指数(CPMI,%)实质是对土壤总碳含量、活性有机碳及非活性有机碳含量的测定。具体计算方法为:

$$\text{土壤碳库管理指数(CPMI, \%)} = \text{碳库指数(CPI)} \times \text{碳库活度指数(AI)} \times 100$$

其中:

$$\text{碳库指数(CPI)} = \text{样品总碳含量(mg/g)} / \text{参考土壤总碳含量(mg/g)}$$

$$\text{碳库活度指数(AI)} = \text{样品碳库活度(A)} / \text{参考碳库活度}$$

$$\text{碳库活度(A)} = \text{土壤活性有机碳含量(mg/g)} / \text{土壤非活性有机碳含量(mg/g)}。$$

由于人们逐渐认识到活性有机质在土壤中的重要作用,对其的研究也越来越多,也更加深入。SOM 是土壤团聚体的重要组成部分,是团聚体形成和保持稳定的重要影响因素。不同粒级的团聚体,其 SOM 的含量和性质都不尽相同。各粒级土壤团聚体中活性有机质的变化都会影响其性质和稳定性,其内活性有机质的分解与积累也会对全球气候变化和碳循环产生影响。预计对土壤团聚体中活性有机质的性质、周转的研究将是未来 ASOM 研究的重点。同时,核磁共振气象色谱等先进技术在土壤有机质尤其是腐殖质的研究中已得到广泛应用,但这些先进技术在 ASOM 上应用的研究报道还比较少。所以应将这些先进的技术手段应用到活性有机质分子组成及结构的研究上来。

References:

- [1] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 1995, **46**: 1459~1466.
- [2] Janzen H H, Campbell C A, Brandt S A, *et al.* Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, **56**: 1799~1806.
- [3] Gregorich E G, Carter M R, Angers D A, *et al.* Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.*, 1994, **74**: 376~385.
- [4] Haynes R J, Beare M H. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. In: Carter MR, Stewart BA. eds., *Advances in soil science. Structure and organic matter storage in agriculture soils*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, 1996. 213~262.
- [5] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions. *Aust. J. Soil Res.*, 1986, **24**: 301~309.
- [6] Whitbread A M, Lefroy R D B, Blair G J. A survey of the impact of cropping on soil physical and chemical properties in northwestern New South Wales. *Aust. J. Agric. Res.*, 1998, **36**: 669~681.
- [7] Biederbeck B O, Zentner R P. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biology Biochem.*, 1994, **26**(12): 1647~1656.
- [8] Doran J W, Parkin T B. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, **58**: 3~21.
- [9] Wu W D, Zhang Z L, Sun B, *et al.* Degradation and control of soil organic matter and nutrient pool under artificial Chinese Fir Forest. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, **37**(1): 41~49.
- [10] Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic matter in soil. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, **18**(3): 32~38.
- [11] McKnight D, Thruman E M, Wershaw R L. Biogeochemistry of aquatic humic substances in Thoreau's Bog, Concord, Massachusetts. *Ecology*, 1985, **66**: 1339~1352.
- [12] Kalbit Z K, Solinger S, Park J H, *et al.* Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soil: a review. *Soil Science*, 2000, **165**(4): 277~304.
- [13] McDowell W H, Likens G E. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. *Ecol. Monogr.*, 1988, **58**: 177~195.
- [14] Qualls R G, Wank W T S. Fluxes of dissolved organic nutrients in a deciduous forest. *Ecology*, 1991, **72**: 254~266.
- [15] Jardine P M, Weber N L, McCarthy J F. Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, **53**: 1378~1385.
- [16] Linn D M, Doran J W. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, **48**: 1267~1272.
- [17] Moneral M A. Denitrification and its relation to soluble carbon. M. Sc. Thesis. Department of Soil Sci., University of Alberta, Edmonton, Alta, 1983. 100.
- [18] McGill W B, Hunt H W, Woodmansee R G, *et al.* PHOENIX, A model of the dynamics of carbon and nitrogen in grassland soils. In F. E. Clark and T. Rosswall, eds. *Terrestrial nitrogen cycles. Ecol. Bull.*, 1981, **33**: 49~115.

- [19] Marumoto T. Nitrogen and microbial biomass in arable soils. In: Wada H, Tsuru S eds. *Soil biomass*. Hakuyusya, Tokyo, 1984, 115~140.
- [20] Sparling G P, Ross D J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass; current developments and applications. In: *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*, eds K. Mulongoy and R. Merckx. Wiley-Sayce. Leuven, 1993. 21~17.
- [21] Dalal R C, Henderson P A, Guasby J M. Organic matter and microbial biomass in a Vertisol after 20 years of zero-tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, **23**:435~441.
- [22] Carter M R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. *Soil Tillage Res.*, 1986, **7**:29~40.
- [23] Powlson D S, Brooks P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, **19**:159~164.
- [24] Ladd J N, Amato M, Li-Kai Z, *et al.* Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian alfisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, **26**: 821~831.
- [25] Lundquist E J, Jackson L E, Scow K M, *et al.* Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils. *Soil Biology Biochemistry*, 1999, **31**: 221~236.
- [26] Martens R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil; potentials and limitations. *Bio. Fertil. Soils*, 1995, **19**:87~99.
- [27] Hart P B S, August J A, West A W. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture. *Land Degrad Rehab.*, 1989, **1**: 77~88.
- [28] Beck T H. Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden I. Mitteilung. Beziehung zum Humusgehalt. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 1984, **147**: 467~475.
- [29] M. von Lützow, Leifeld J, Kainz M, *et al.* Indications for soil organic matter quality in soils under different management. *Geoderma*, 2002, **105**: 243~258.
- [30] McGill W B, Cannon K R, Robertson J A, *et al.* Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Can. J. Soil Sci.*, 1986, **66**:1~19.
- [31] Liang B C, MacKenzie A F, Schnitzer M, *et al.* Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils. *Bio. Fertil. Soils*, 1998, **26**: 88~94.
- [32] Skjemstad J O, Vallis I, Mayers R J. Decomposition of soil organic nitrogen. In: E. F. Henzell ed. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CAB Int., Wallingford, England, 1988. 134~144.
- [33] Theodorou C. Nitrogen transformations in particle size fractions from a second rotation pine forest soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1990, **21**:407~413.
- [34] Gregorich E G, Janzen H H. Storage of soil carbon in the light fraction and macro organic matter. In: Carter MR, Stewart BA. Eds., *Advances in soil science. Structure and organic matter storage in agriculture soils*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, 1996. 167~190.
- [35] Skjemstad J O, Dalal R C, Barron P F. Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, **50**:354~359.
- [36] Janzen H H. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.*, 1987, **67**: 845~856.
- [37] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M. The size and characterization of biologically active organic carbon pool in soils. *Plant Nutri. Fertil. Sci.*, 2001, **7**(1): 56~63.
- [38] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, *et al.* Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil. *Plant Nutri. Fertil. Sci.*, 2001, **7**(4):374~378.
- [39] Oades J M, Ladd J N. Biochemical properties: carbon and nitrogen metabolism. In: Tussell JS, Green EL eds. *Soil factors in crop production in a semi-arid environment*. University of Queensland Press, St Lucia, 1977. 127~160.
- [40] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. VI. Loss of total N from different particle-size and density fractions. *Aust. J. Soil Res.*, 1986, **25**: 83~93.
- [41] Logninow W, Wisniewski W, Strony W, *et al.* Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. *Polish J. Soil. Sci.*, 1987, **20**: 47~52.
- [42] Lefroy R D B, Blair G J. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope abundance. *Plant Soil*, 1993, **155/156**: 399~402.
- [43] Woods L F. Active organic matter distribution in the surface 15cm of undisturbed and cultivated soils. *Biol. Fertil. Soils*, 1989, **8**: 271~278.
- [44] Anderson J H, Domsch K H. Application of eco-physiological quotients on microbial biomass from soils different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.*, 1990, **22**: 251~255.
- [45] Jenkinson D S, Ladd J N. Microbial biomass in soil; measure and turnover. In E. A. Paul and J. N. Ladd, eds. *Soil Biochemistry*. Dekker. New York, 1981. 415~471.
- [46] Carter M R, Rennie D A. Dynamics of soil microbial biomass N under zero and shallow tillage for spring wheat, using ¹⁵N urea. *Plant Soil*, 1984, **76**:157~164.
- [47] Coleman D C, Reid C P P, Cole C V. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. *Adv. Ecol. Res.*, 1983, **13**:1~55.

- [48] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aus. J. Soil Res.*, 1992, **30**:195~207.
- [49] Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N, and P after sixteen years of cropping. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, **39**(1): 89~95.
- [50] Li S F, Yu Y C, He S. Correlation between dissolved carbon and soil factors of the forest soil in southern of China. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2003, **20**(2):119~123.
- [51] Murata T, Tanaka H, Sakagami K, *et al.* The influence on microbial biomass, available soil N and neutral sugar composition induced by rice straw and compost and fertilizer applications in Alluvial upland soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1997b, **68**: 257~264.
- [52] Alvarez C R, Alvarez R, Grigera M S, *et al.* Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, **30**: 767~773.
- [53] Ross D S, Bartlett R J. Field-extracted Spodosol Solutions and soils: aluminum, organic carbon, and pH interrelationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, **60**: 589~595.
- [54] Sierra J. Nitrogen mineralization and its error of estimation under field conditions related to the light fraction soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 1996, **34**:755~767.
- [55] Ford G W, Greenl D J. The dynamics of partly humidified organic matter in some arable soils. Transactions of the 9th International Soil Science Congress, 1968, **3**: 403~410.
- [56] Franzluebbbers A J, Haney R L, Hons F M. Active fractions of organic matter in soils with different texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **28**:1367~1372.
- [57] Conteh A, Blair G J, Rochester I J. Soil organic carbon fraction in a vertisol underirrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stubble. *Aust. J. Soil Res.*, 1998, **36**: 655~667.
- [58] Drury C F, Stone J A, Findlay W I. Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses and legumes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, **55**:805~811.
- [59] Jastrow J D. Soil aggregate formation and accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **28**:665~676.
- [60] Franzluebbbers A J. Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, **31**:1083~1090.
- [61] Wang F L, Bettany J R. Influence of freeze-thaw and flooding on the loss of soluble organic carbon and carbon dioxide from soil. *J. Environ. Qual.*, 1993, **22**: 709~714.
- [62] Christ M J, David M B. Dynamics of extractable organic carbon in spodosol forest floors. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **28**: 1171~1179.
- [63] Dosskey M G, Bertsch P M. Transport of dissolved organic matter through a sandy forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, **61**: 920~927.
- [64] Christ J. Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **28**(9): 1191~1199.
- [65] Tao S, Wang Y H, Liu W X, *et al.* Halogenated organic from various fractions of natural organic materials in water from Yinluan channel. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1994, **14**(1): 19~23.
- [66] Bolan N S, Baskaran S, Thiagarajan S. An evaluation of the measure menthod dissolved organic carbon in soils, manures, sludges, and stream water. *Commun Soil Sci. Plant Anal.*, 1996, **27**(13&14): 2732~2737.
- [67] Moody P W, Yo S A, Aitken R L. Soil organic carbon, permanganate fractions and the chemical properties of acidic soils. *Aust. J. Soil Res.*, 1997, **35**: 1301~1308.
- [68] Curtin D, Campbell C A, Jalil A. Effects of acidity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, **30**:57~64.
- [69] Vance G F, David M B. Effect of acid treatment on dissolved organic carbon retention by a Spodic horizon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, **53**: 1242~1247.

参考文献:

- [9] 吴蔚东,张兆林,孙波,等. 人工杉木林地有机物和养分库的退化与调控. *土壤学报*, 2000, **37**(1):41~49.
- [10] 沈宏,曹志洪,胡义正. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. *生态学杂志*, 1999, **18**(3): 32~38.
- [37] 倪进治,徐建民,谢正苗. 土壤生物活性有机碳库及其表征指标的研究. *植物营养与肥料学报*, 2001, **7**(1):56~63.
- [38] 倪进治,徐建民,谢正苗,等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响. *植物营养与肥料学报*, 2001, **7**(4): 374~378.
- [49] 徐阳春,沈其荣. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. *土壤学报*, 2002, **39**(1):89~95.
- [50] 李淑芬,俞元春,何晟. 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系. *浙江林学院学报*, 2003, **20**(2):119~123.
- [65] 陶澍,王永华,刘文新,等. 引滦水中不同形态天然有机物的卤代活性. *环境科学学报*, 1994, **14**(1): 19~23.