第 41 卷 第 4 期
2004 年 7 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 41, No. 4
July, 2004

# 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展*

彭新华 张 斌† 赵其国
(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 土壤有机碳的形成抵押了二氧化碳的排放, 也促进了土壤结构的形成并提高其稳定性。本文介绍土壤结构的层次性和稳定性, 阐述不同土壤有机碳库影响土壤结构及其性质的作用机制, 着重评述土壤活性碳库, 颗粒有机物和可溶性有机物的数量及质量对土壤结构的层次性及其稳定性的影响机制, 并突出土壤有机物的疏水性对土壤结构及其性质的影响等方面的研究工作。今后应深入研究不同土地利用和土壤管理措施下土壤活性碳库组成与土壤结构稳定性的关系; 定量描述不同土壤碳库和土壤结构稳定性的形成过程; 重视研究土壤碳库、土壤稳定性和土壤回复力三者之间的关系; 深入研究有机碳库的性质影响土壤水分湿润速率的机制; 应用获得的土壤有机碳库和土壤结构稳定性的新知识, 完善土壤有机碳和水分循环模型。

关键词 土壤结构; 土壤团聚体; 土壤稳定性; 颗粒有机物; 可溶性有机物
中图分类号 S158.3; S152.4 文献标识码 A

土壤结构是维持土壤功能的基础。表层土壤结构在雨水打击等作用下受到破坏, 土壤团聚体破碎产生更小的可移动的颗粒, 不仅易在土壤表面形成土壤结壳, 而且导致土壤团聚体构成比例失调以及团聚体稳定性下降, 从而进一步加剧地表径流和土壤侵蚀, 恶化土壤水热传输过程和养分保持供应过程。土地利用和土壤管理影响土壤结构及其性质, 其作用机制在于土壤有机碳含量的增加及其与物理风化过程如干湿交替和冻融过程的相互作用。虽然人们早就认识到土壤有机碳水平的提高有利于土壤结构的形成和提高土壤稳定性, 但是过去局限于有机无机复合体对土壤结构稳定性的影响, 而对土壤不同有机碳库与土壤结构的关系探讨甚少。过去这些认知远远不能揭示土壤结构稳定性的形成机制, 也无法建立更完善的模型进行定量描述和预测。土壤碳库是抵押(Sequestrated) 二氧化碳排放最重要的汇。土壤结构中不同有机碳库形成过程及影响因素成为全球气候变化研究中的热点之一。本文的主要研究目标是综述这方面的最新研究进展, 介绍土壤结构的层次性和稳定性, 阐述不同土壤有机碳库影响土壤结构及其性质的作用机制, 并提出今后研究设想。

## 1 土壤结构形成的层次性及其稳定性

土壤结构是由矿物颗粒和有机物等土壤成分参与下, 在干湿冻融交替等自然物理过程作用下形成不同尺度大小的多孔单元[1], 具有多级层次性。土壤结构中最低层次是单个土壤矿物颗粒, 比如粘粒、粉粒和砂粒。单个土壤矿物颗粒在有机物等胶结作用下形成较小(低层次) 的微团聚体, 同时在单个土壤矿物颗粒之间产生微小的孔隙。许多微团聚体在生物和物理因素作用下进一步形成较大(高层次) 的团聚体, 在微团聚体之间产生更多的孔隙。相反, 土壤的破碎过程首先是大团聚体在外界应力作用下沿孔隙构成的脆弱面(Failure zone) 产生次一级的小团聚体。在外力的继续作用下, 小团聚体最终分散成土壤单个矿物颗粒[2]。

土壤结构的另一个重要性质是土壤稳定性。土壤结构的稳定性是根据土壤抵御外界破碎应力的大小而定, 通常包括土壤机械稳定性和土壤团聚体的水稳定性。水土流失作用过程中土壤破碎有三种作用机制[3]: (1) 糊化作用(Slaking) 是模拟团聚体在湿润过程因孔隙中空气受压缩膨胀而破碎; (2) 非均匀膨胀作用是模拟团聚体湿润后因矿物非均匀膨胀破

* 国家自然科学基金项目(40371059) 资助
† 通讯作者, E-mail: bzhang@issas.ac.cn
作者简介: 彭新华(1972~ ), 男, 湖南人, 博士, 主要从事土壤碳库与土壤结构的研究。E-mail: xhpeng@issas.ac.cn
收稿日期: 2003-08-11; 收到修改稿日期: 2003-12-01

裂; (3) 机械破碎作用是模拟团聚体因雨滴打击、耕作等外力作用导致破碎。据此, Le Bissonais[3] 设计出快湿润、慢湿润和湿润条件下的机械震荡来评价不同破碎机制的土壤团聚体稳定性。其中在非膨胀土壤中, 快湿润(或糊化作用) 下土壤稳定性指标值对土地利用方式最敏感[3~5]。

在糊化作用中, 土壤团聚体稳定性受土壤结构以及有机物的影响。土壤团聚体结构的孔隙性质, 如孔隙的大小和弯曲度, 影响水分湿润速度。Caron 等[6] 指出免耕的团聚体孔隙弯曲指数是耕作团聚体的3 倍多, 使水分湿润速度降低了 70%, 提高了其稳定性。土壤有机物不仅能增强团聚体之间的粘结力和抗张强度[7], 提高团聚体稳定性, 而且土壤有机物吸收水的容量远大于土壤矿物, 减缓水分湿润速率。此外土壤有机物的疏水性也影响土壤水分湿润速率[8]。在非均匀膨胀作用中, 土壤粘土矿物对土壤结构的破坏占主导作用。特别是膨胀性粘土矿物遇水湿润后破坏团聚体稳定性, 并在地面易形成结壳造成水土流失[3]。三二氧化物对团聚体稳定性也有明显提高。姚贤良等[9] 指出铁铝三二氧化物对南方红壤微团聚体的稳定性有明显提高作用。

不同大小团聚体的稳定性存在差异。Le Bissonnia[3] 和 Zhang 等[4] 报道小团聚体的稳定性高于大团聚体。这是由于小团聚体的孔隙较小, 其弯曲度更大, 容积密度更高, 导致较小的团聚体内聚力大于较大的团聚体[7]。不同大小团聚体中有机物的数量和质量也存在差异, Puget 等[10] 发现小团聚体中的有机碳比大团聚体中的有机碳老化。Tisdall 等[11]指出大团聚体( > 250 μm) 主要是由土壤根系和菌丝胶结作用, 而微团聚体( < 250 μm) 主要是通过多价阳离子桥和多糖形成的。Six 等[12] 认为团聚体的多级层次性应该包括以下三个方面: (1) 较高层次的大团聚体是较低层次的团聚体加上有机物等胶结剂形成的, 所以有机碳含量随着团聚体粒径的增大而增加; (2) 随着破碎团聚体所需能量的增加, 团聚体破碎后首先形成较低层次的团聚体, 最终分散成单个矿物颗粒; (3) 大团聚体比小团聚体含更多新成有机物。Jastrow 等[13] 利用$^{13}C$ 示踪法进一步证实微团聚体中有机碳比大团聚体中的有机碳形成时间早, 大团聚体比微团聚体含更多的有机碳。彭新华等[5] 发现 C/N 比随分散团聚体粒级的减小而降低, 也证实不同粒级大小团聚体的有机碳的性质存在差异。然而, 由于受其他因素的影响, 诸如土壤粘土矿物组成及其性质、土壤溶液性质、土壤的地域条件等影响, 土壤层次性与土壤有机碳的相互关系仅局限于定性描述, 尚未有定量的数学模拟。

## 2　不同土壤有机碳库与土壤结构形成及其稳定性

土壤有机碳参与团聚体形成有四个方面的机制: (1) 有机无机胶结作用(Cementing)。无机胶体通过 $H^+$ 和多价阳离子( $Ca^{2+}$ 、$Fe^{3+}$ 和 $Al^{3+}$ ) 形成有机无机复合体, 这种胶结作用主要体现在微团聚体的形成[11]。(2) 粘粒的包裹作用(Encrusting)。Tisdall 等[11] 强调粘粒吸附在有机物的表面而不是有机物吸附在粘粒表面, Oades 等[2] 也证实 100~ 200 μm 团聚体的核心是有机物残体。(3) 根系和真菌菌丝等缠绕作用(Enmeshing)。Tisdall 等[14] 对不同类型的真菌培养, 真菌菌丝长度明显增加并稳定性团聚体得到了显著提高, 说明菌丝绑住矿物颗粒和有机物形成较大的团聚体。(4) 有机物填充作用(Infilling)。团聚体之间的孔隙和团聚体内部孔隙都为有机物残体提供了居住场所[12, 15]。这些有机物处于半分解状态, 比重小( < 2.0 g $cm^{-3}$), C/N 比高(20 ~ 40)[16]。

土壤有机碳库由连续的不同分解阶段的有机物组成, 包括已经分解完全的腐殖质, 半分解有机残体和微生物及其排泄物[16]。土壤有机碳库可采用不同的化学或物理方法分离出不同的组分[16~19]。化学方法从腐殖质的结合形态分为钙结合态腐殖质、铁铝结合态腐殖质和紧结合态腐殖质, 或者从腐殖质的组成分离出胡敏酸、富啡酸和胡敏素等。这些分级虽然能够解释其有机碳的化学性质, 但是不能描述有机碳在土壤结构中的分布, 而且化学浸提可能改变有机碳某些化学性质[17]。物理方法通过一定的物理措施如震荡或超声波或快速湿润分散土壤结构, 结合重液或者筛选方法进行分离土壤有机物, 将分布在团聚体间和团聚体内的有机碳区分开来, 以解释不同有机碳库与土壤结构之间的关系[16, 18, 19]。

土壤有机碳根据其在土壤结构的分布和功能可以分为不同的碳库(图 1)[16, 18, 19]: 游离态颗粒有机物(Free particulate organic matter), 闭蓄态颗粒有机物(Occluded particulate organic matter), 矿物结合态有机物(Mineral associated organic matter) 和可溶性有机物(Dissolved organic matter)。游离态颗粒有机物填充在团聚体之间大孔隙中, 主要是颗粒较大的没有分解或半分解的动植物和根系残体; 闭蓄态颗粒有机

物为分布在团聚体内部的动植物残体; 矿物结合态有机物是指有机物的最终分解产物, 与土壤粘粒和粉粒结合在一起。可溶性有机物存在于土壤不同大小孔隙中, 可以从土壤水溶液中分离出来的一系列颗粒< 0.45 μm 有机分子组成的混合物[20]。Dalal 等[21]根据这些有机碳库对外界因素的敏感性和周转速度, 分为活性有机碳库(Active organic carbon pool) 和惰性有机碳库(Passive organic carbon pool)。其中惰性有机碳库是矿物结合态有机物, 周转时间一般几十甚至几千年。活性有机碳库包括前面所述的游离态和闭蓄态颗粒有机物以及可溶性有机物, 周转时间一般为几个月到几十年。它们对外界因素非常敏感、周转速度快, 是土壤结构及其土壤稳定性的研究热点[15~19]。

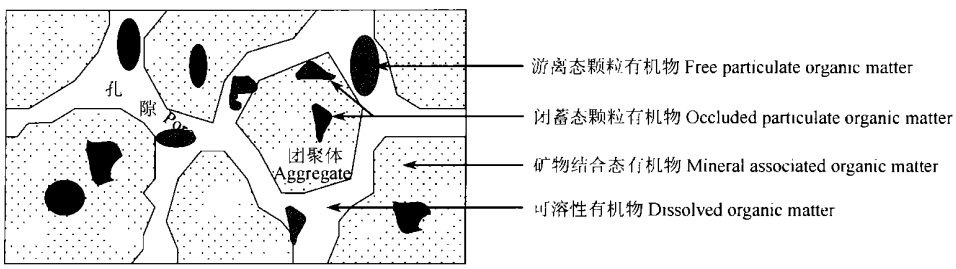


图 1 土壤有机碳库在土壤结构中的分布

Fig. 1 Distribution of different soil organic carbon pools in soil structure

**2.1** 颗粒有机物与土壤结构形成及其稳定性

颗粒有机物一般被认为是处于新鲜的动植物残体和腐殖化有机物之间暂时的或过度的有机碳库[16]。由于颗粒有机物处于半分解状态, 颗粒大(50~2 000 μm), 比重小(< 2.0 g cm$^{-3}$), 远低于矿物颗粒比重(2.60 ~ 2.75 g cm$^{-3}$)。目前主要是利用重液或者筛选方法从土壤颗粒中分离颗粒有机物[12, 16, 18]。颗粒有机物受土壤外界条件的影响比土壤全碳更敏感[18, 19]。提高这部分碳在土壤中被抵押的比例, 对提高团聚体稳定性和缓解大气 $CO_2$ 浓度的上升尤为重要。

游离态和闭蓄态颗粒有机物在土壤结构中存在位置不同, 导致它们对团聚体形成及其稳定性的贡献不一样。游离态颗粒有机物由于存在团聚体之间的大孔隙中, 没有参与团聚体的形成, 缺乏矿物颗粒的保护而容易受到微生物的分解, 因而分解速度快, 并对团聚体稳定性贡献很小。闭蓄态颗粒有机物被团聚体物理包被使微生物难以接触, 表现出比游离态颗粒有机物分解程度更低[11]。闭蓄态颗粒有机物所形成的团聚体一般较大[10, 19], 分离游离态颗粒有机物的时候, 在最小的分散状态下使团聚体保持原状。相反, 在分离闭蓄态颗粒有机物的时候, 团聚体需要充分分散释放其包被的有机物[12, 16]。

颗粒有机物所形成的团聚体受土地利用方式影响明显。许多研究表明[12, 18, 19], 免耕或者作物覆盖有利于颗粒有机物增加, 而传统耕作加快有机物的矿化。Six 等[12]指出耕作破坏了大团聚体(> 250 μm), 释放了闭蓄态颗粒有机物。大团聚体的稳定性取决于颗粒有机物的分解速度, 随着有机物的分解, 团聚体的稳定性逐渐下降[2]。Cambardella 等[18]报道草地改变为耕地后, 颗粒有机物大幅度下降, 其中无休闲耕地降低了 66%, 根茬覆盖降低了 59%, 免耕地降低了 45%。

**2.2** 可溶性有机物与土壤结构形成及其稳定性

可溶性有机物主要来源于植物凋落物、土壤腐殖质、微生物和根系及其分泌物[20]。Kalbitz 等[20]和 Chantigny 等[22]分别对土壤性质和土地利用方式影响土壤可溶性有机物进行了详细的论述。这里主要论述其对团聚体的形成及其稳定性的影响。

许多研究表明根系和微生物的分泌物既是可溶性有机物的重要来源[20], 也是团聚体形成的主要胶结剂[11]。Chantigny 等[22] 报道在土壤表层(0~ 20 cm), 种植豆科的土壤可溶性有机物显著高于种植禾本科, 并且进一步发现豆科植物根系周围土壤含有丰富的团粒结构。Tisdall 等[11]认为除了根系的缠绕作用形成团聚体外, 其分泌物对团聚体的贡献也不容忽视。Czarnes 等[23]通过添加根系和微生物的分泌物, 发现土壤颗粒之间的抗张强度增加, 表明分泌物等可溶性有机物对土壤颗粒产生胶结作用。

可溶性有机物可分离出疏水性和亲水性两部分[24]。Kalbitz 等[20]认为可溶性有机物吸附到土壤矿物表面是降低土壤溶液中可溶性有机物含量重要

因素。而吸附常常表现选择性, 疏水性可溶性有机物更容易从土壤溶液中分离出来[24]。疏水性可溶性有机物从土壤溶液中被吸附到团聚体表面形成一层有机薄膜, 阻碍水湿润速度和降低糊化应力, 从而提高团聚体的稳定性[25]。疏水性有机物富含功能团, 比如—COOH、—OH 等, 这些功能团通过氢键或者多价阳离子桥与土壤矿物表面电荷胶结形成微团聚体[11]。这种胶结作用形成的团聚体稳定性较高。

可溶性有机物具有易迁移的特点。在干湿交替作用下, 可溶性有机物在土壤结构中发生运移, 改变了团聚体形成及其稳定性。根据可溶性有机物在土壤结构的分布, 可以分为可移动的和非移动的两个部分[26]。可移动性可溶性有机物分布在大、中孔隙中(> 0.2 μm), 而非移动性有机物分布在微孔隙中(< 0.2 μm)。但是在干湿交替作用下, 团聚体湿润分散后释放出其内部, 甚至微孔隙中可溶性有机物。在干燥过程中, 分散团聚体重新被团聚, 可溶性有机物随着土壤水分的蒸发迁移到新形成团聚体表面, 形成可溶性有机物膜, 不但有利于团聚体的形成, 而且提高其稳定性。

## 3　土壤疏水性与土壤结构稳定性

可溶性有机物在干燥过程中于土壤孔隙和团聚体的表面形成一层有机薄膜, 使土壤表现出疏水性, 改变土壤水分的湿润速度[25]。土壤表现为亲水性还是疏水性取决于土壤与水相互吸引力和水分子之间内聚力的力量对比[8]。如果土壤与水的相互吸引力小于水分子之间的内聚力, 则土壤表现为疏水性; 反之, 则表现为亲水性。土壤疏水性最基本的特征是阻碍或者延缓土壤水的入渗速度[8], 使土壤孔隙空气得以缓慢释放, 从而降低糊化应力和提高土壤团聚体的水稳定性[27]。土壤疏水性可能揭示了土壤有机碳性质与土壤结构稳定性的关系。

Doerr 等[28]认为产生土壤疏水性的有机物主要有两类: 非极性的脂肪类碳氢化合物和具极性的两性(亲水性和疏水性) 物质, 例如: 脂肪酸、树脂和蜡质等。脂肪族的碳与有机碳的比值可以衡量土壤有机碳的疏水性程度[27], 而蜡质的降解将导致土壤疏水性明显下降[29]。Giovannini 等[30]发现疏水性有机物提高了团聚体的稳定性, Capriel 等[27]研究脂肪族有机物与团聚体稳定性呈很好的相关性。产生大量的树脂、蜡质或芳香油类物质的乔木(例如: 桉树和松树等) 下土壤的疏水性明显高于周围的耕地[31]。Peng 等[32]也发现我国南方常绿林植被马尾松和樟树下土壤疏水性比落叶林胡枝子的高, 而侵蚀裸地由于缺乏有机物而不表现疏水性。

土壤疏水性与土壤结构存在一定的关系。过去认为土壤疏水性一般发生在质地轻的砂性土壤, 这是由于砂性土壤比表面积比质地重的粘壤土小得多, 土壤颗粒更容易被疏水性有机物包被[30]。然而近年来的研究表明, 土壤疏水性不仅仅发生在砂性土壤上, 粘粒含量达 25% 甚至 40% 以上的土壤也表现出极强的疏水性, 甚至粘粒含量高的土壤疏水性高于粘粒含量低的土壤[33]。这可能是疏水性有机物颗粒本身就相当细小, 或者土壤有机物含量很高, 不但包被了粗的颗粒, 而且包被了细的颗粒, 导致土壤疏水性有机物比表面更大。Peng 等[32]进一步发现高粘粒含量的老成土不但具有弱疏水性, 而且受团聚体孔隙度影响。团聚体孔隙度越高, 土壤疏水性表现越强, 证实了土壤结构影响土壤疏水性。

## 4　今后研究设想

长期研究结果表明土壤有机物参与土壤结构的形成, 一般有利于提高土壤稳定性。区分不同土壤有机碳库在土壤结构中分布及其性质的差异, 以及它们对土壤稳定性的影响, 对了解土壤结构的形成过程, 模拟与之相关的土壤有机碳和水分循环具有重要的意义。今后研究中应该更加关注以下内容:

1) 进一步研究不同土地利用方式、土壤管理措施和利用历史时间对土壤活性碳库组成的影响, 以确定这些指标作为土壤质量评价的主要依据。

2) 定量描述不同土壤有机碳库和土壤稳定性的形成过程。这个过程不仅包括复杂的生物学、生物化学和土壤物理学过程, 而且应考虑土壤干湿交替等因素的强度和频率。在理论上深化土壤结构形成的层次性及其稳定性的认知。

3) 深入研究不同有机碳库及其性质影响土壤水分湿润速率的机制。特别是研究土壤有机物自身的吸水性及其疏水性影响土壤水分湿润速率的定量描述, 研究影响土壤疏水性的因素, 以及土壤水分湿润速率与土壤稳定性的定量关系。

4) 研究土壤有机碳库、土壤稳定性和土壤回复力(Soil resiliency) 三者之间的关系。土壤稳定性是土壤对环境胁迫所具有内在的抵制能力, 土壤回复力是环境胁迫解除后土壤所具有内在的恢复能力。土壤活性碳库在土壤团聚体形成过程中能被团聚体

物理保护起来。这些过程不仅影响土壤团聚体稳定性和土壤有机物的分解,而且可能影响土壤回复力。但是我们目前具有的关于土壤结构变化的知识远不足以阐明土壤有机质调控土壤功能,特别是土壤回复力的影响机制。所以,对土壤结构-土壤有机质-土壤稳定性-土壤回复力的整体研究必然为我们对土壤结构和功能的相互作用提供新的认识。

5) 应用获得的土壤有机碳库和土壤结构稳定性的新知识,完善土壤有机碳和水分循环模型。特别是将这些模型应用于提高评价土地利用变化对全球气候变化影响,为建立合理的土地利用方式和土壤管理措施提供科学依据。

## 参 考 文 献


[1] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res., 1988, 11: 199 ~ 238

[2] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils. Aust. J. Soil Res., 1991, 29: 815 ~ 828

[3] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. Euro. J. Soil Sci., 1996, 47: 425 ~ 437

[4] Zhang B, Horn R. Mechanisms of aggregates stabilization in Ultisols from subtropical China. Geoderma, 2001, 99: 123 ~ 145

[5] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的的影响. 生态学报, 2003, 23: 2 176 ~ 2 183. Peng X, Zhang B, Zhao Q. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23: 2 176 ~ 2 183

[6] Caron J, Espindola C R, Angers D A. Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 901 ~ 908

[7] Horn R, Taubner H, Wuttke M, *et al*. Soil physical properties related to soil structure. Soil Till. Res., 1994, 30: 187 ~ 216

[8] Wallis M G, Horne D J. Soil water repellency. Adv. Soil Sci., 1992, 92 ~ 146

[9] 姚贤良, 许绣云, 于德芬. 不同利用方式下红壤结构的形成. 土壤学报, 1990, 27: 25 ~ 33. Yao X L, Xu X Y, Yu D F. Formation of structure in red soils in the different forms of utilization (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1990, 27: 25 ~ 33

[10] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. Euro. J. Soil Sci., 2000, 51: 595 ~ 605

[11] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci., 1982, 33: 141 ~ 163

[12] Six J, Paustain K, Elliot E T, *et al*. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64: 681 ~ 689

[13] Jastrow J D, Boutton T W, Miller R M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by $^{13}C$ natural abundance. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 801 ~ 807

[14] Tisdall J M, Smith S E, Rengasamy P. Aggregation of soil by fungal hyphae. Aust. J. Soil Res., 1997, 35: 55 ~ 60

[15] Christensen B T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. Euro. J. Soil Sci., 2001, 52: 345 ~ 353

[16] Golchin A, Oades J M, Kjemstad J O, *et al*. Soil structure and carbon cycling. Aust. J. Soil Res., 1994, 32: 1 043 ~ 1 068

[17] 文启孝. 土壤有机质研究方法. 北京:农业出版社, 1984. 19 ~ 38. Wen Q X. Research Method of Soil Organic Matter (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1984. 19 ~ 38

[18] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 777 ~ 783

[19] Six J, Elliot E T, Paustian K, *et al*. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 1 367 ~ 1 377

[20] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, *et al*. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A Review. Soil Sci., 2000, 165 (4): 277 ~ 304

[21] Dalal R C, Chan K Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. Aust. J. Soil Res., 2001, 39: 435 ~ 464

[22] Chantigny M H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: A review on the influence of land use and management practices. Geoderma, 2003, 113: 357 ~ 380

[23] Czarnes S, Hallett P D, Bengough A G, *et al*. Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. Euro. J. Soil Sci., 2000, 51: 435 ~ 443

[24] Kaiser K, Guggenberger G, Zech W. Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils. Geoderma, 1996, 74: 281 ~ 303

[25] Bisdom E B A, Dekker L W, Schoute J F T. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. Geoderma, 1993, 56: 105 ~ 118

[26] Zsolnay A. Dissolved humus in soil waters. *In*: Piccolo A. ed. Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. 171 ~ 224

[27] Capriel P, Beck T, Harter P. Relationship between soil aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass and soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 415 ~ 420

[28] Doerr S H, Shakesby R A, Walsh R P D. Soil water repellency: Its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. Earth Science Review, 2000, 51: 33 ~ 65

[29] Franco C M M, Michelsen P P, Oades J M. Amelioration of water repellency: Application of slow-release fertilizers to stimulate microbial breakdown of waxes. J. Hydrol., 2000, 231-232: 342 ~ 351

[30] Giovanini G, Lucchesi S, Cervelli S. Water-repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soil. Soil Sci., 1983, 135: 110 ~ 113

[31] Peng X, Zhang B, Zhao Q, *et al*. Influence of types of restorative vegetation on the wetting properties of aggregates in a severely degrad-

ed clayey Ultisol in subtropical China. Geoderma, 2003, 115: 313 ~ 324

[32] Harper R J, McKissock I, Gilkes R J, *et al*. A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil management and landuse on water repellency. J. Hydrol., 2000, 231-232: 371 ~ 383

[33] Hallett P D, Young I M. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced mictobial activity. Euro. J. Soil Sci., 1999, 50: 35 ~ 40

# A REVIEW ON RELATIONSHIP BETWEEN SOIL ORGANIC CARBON POOLS AND SOIL STRUCTURE STABILITY

Peng Xinhua Zhang Bin† Zhao Qiguo

*(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)*

**Abstract** Soil organic carbon has been regarded as one of the most important pools that retain $CO_2$, and a binding agent influencing soil structure formation and stability. This paper reviews latest researches on soil structure hierarchy and different soil organic carbon pools contributing to soil structure formation and stability, mechanisms of soil structure hierarchy and stability being affected by the quantity and quality of soil active organic carbon pools, such as particulate organic matter and dissolved organic matter, and effects of hydrophobic organic matter on soil structure stability and soil properties. In the end, the authors propose researches in future to elucidate the relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability under different land uses and soil managements; to quantify the formation processes of soil organic carbon pools and soil structure hierarchy; to investigate the relationship between soil organic carbon pools, soil structure stability and soil resiliency; to clarify effect of the quality of soil organic carbon on water infiltration and to consummate the models of soil organic carbon and water recycling.

**Key words** Soil Structure; Soil aggregate; Soil stability; Particulate organic matter; Dissolved organic matter