



华夏英才基金学术文库

窦森 著

土壤有机质



科学出版社

www.sciencep.com

 华夏英才基金学术文库

土壤有机质

窦 森 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以腐殖物质为中心,系统阐述了土壤有机质的基本知识、基本理论和常用的研究方法;在总结 29 年土壤有机质研究成果的基础上,给出了一些对土壤有机质研究的新认识、新观点、新方法和新资料。本书的特点在于以作者及所在腐殖质研究室的研究资料为主,并吸收土壤有机质的基础理论内容,使研究特色与知识的系统性有机结合,实用性很强。

本书可作为高等院校、科研院所的土壤学及相关的农业、环境、地学领域的教师和科研人员以及研究生和高年级本科生的教学和科研参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土壤有机质/窦森著. —北京:科学出版社,2010

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-026071-0

I. 土… II. 窦… III. 土壤有机质-研究 IV. S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 212401 号

责任编辑:杨 震 沈晓晶 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2010 年 1 月第一次印刷 印张:25 3/4

印数:1—2 000 字数:503 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

1981 年至今,我从事土壤有机质研究已有 29 年了,在此期间从未间断过。回想最初走上这条探寻之路,是因为我在图书馆偶然读到一本周礼恺先生翻译的前苏联土壤学家科诺诺娃 1966 年出版的专著《土壤有机质》,书中的内容深深地吸引了我,使我对土壤有机质产生了浓厚的兴趣。后来,两位导师姜岩先生和陈恩凤先生分别在我攻读硕士和博士学位期间大力支持我选择土壤有机质研究的论文课题,这也是我能一直坚持不断地研究土壤有机质的重要条件。由于土壤有机质的研究具有较强的基础性和公益性,不容易在短期内产生经济效益,因此有时难以得到经费资助。看到有些研究者转向环境或生态等热门领域,自己的坚持显得更加艰难,如果不是国家自然科学基金和国家各部委人才基金的不断资助,我可能也无法坚持下来。回想起这段经历,不敢说一路艰辛必有一路收获,但还是得到许多令我欣喜的结果。本想早一些把这近三十年的研究结果展现给大家,但又担心有些内容不完善,加上没有充足时间写作,所以一直未能完成书稿。这次,恰逢华夏英才基金的支持和鼓励,以及应一些想从中得到启迪和帮助的年轻研究者,尤其是我的研究生们的强烈要求,我决定将这本还不成熟的《土壤有机质》奉献给大家。

土壤有机质是土壤具有结构性和生物性的基本物质,既是生命活动的条件,也是生命活动的产物。土壤犹如地球的皮肤,有机质则犹如构成这种皮肤的蛋白质。如此重要的土壤有机质已经有两百多年的研究历史,研究者已经积累了丰富的知识,但是作为土壤有机质主体成分(构成物质)的腐殖物质,在生成机理、化学实体、结构功能、环境响应和贡献等方面,仍有许多不明之处。土壤有机质如同一个浩瀚的海洋,我们的研究也只是沧海一粟。

本书主要总结了我和我的学生的研究工作,侧重介绍土壤腐殖物质组分形成转化及稳定性机制和土壤有机培肥机理等内容。全书由 17 章组成:第 1 章为土壤有机质的基础知识;第 2 章介绍了土壤有机质的分组;第 3 章为非腐殖物质;第 4 章和第 5 章为腐殖物质的理化性质和生物地球化学性质;第 6 章为土壤有机质的热性质和热力学稳定性;第 7 章为土壤有机质的光学性质和电子能谱;第 8 章为土壤有机质的波谱学性质;第 9~11 章介绍了土壤有机质分解和转化的主要过程,微生物在土壤腐殖质形成转化中的作用和土壤腐殖质形成转化的驱动因素;第 12 章介绍了土壤有机质调节原理;第 13~16 章通过长期定位试验、盆栽试验和室内模拟试验,应用现代方法和技术研究了耕作施肥对土壤有机质各组分(胡敏酸、富里酸和胡敏素)数量和结构特征的影响;第 17 章为展望。之所以做这样的安排,主要

是考虑我们自身的研究特色与知识系统性的有机结合。

在这本书将要出版之际,要感谢对我的研究曾经给予指导的恩师[陈恩凤]、[谭世文]、须湘成、姜岩先生;感谢[文启孝]、李学垣、季国亮、黄昌勇、刘孝义等前辈;感谢国外合作导师 Eric Lichtfouse、Andre Mariotti、Yves Tardy、Ernst Witter、Hakan Marstorp;感谢与我共同工作的吉林农业大学腐殖质研究室的各位同事、同学、老师;感谢张晋京等所有我的研究生为此书出版付出的辛勤劳动。还要感谢国家自然科学基金委员会给予我 6 项国家自然科学基金(项目编号:49101012、49971052、40271069、40471076、40871107、40971141),感谢农业部、教育部、人事部及吉林省科技厅、人事厅的各类人才基金、杰出青年基金的资助;感谢中央和吉林省委统战部、华夏英才基金委员会和科学出版社在编写出版过程中给予的大力支持。我希望本书的出版能促进年轻学子刻苦钻研,推动土壤有机质研究日臻完善。

由于土壤有机质涉及的范围广泛,近年来发展又很快;加上作者水平有限,不妥之处在所难免,敬请读者和同行批评指正。

窦 森

2009 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 土壤有机质的基础知识	1
1.1 土壤的基本概念及其物质组成	1
1.1.1 土壤的概念	1
1.1.2 土壤的三相物质组成	2
1.1.3 土壤的生物学特性和结构特性	2
1.2 土壤有机质的概念、来源及构成	2
1.2.1 土壤有机质的概念	2
1.2.2 土壤有机质的来源和组成	4
1.2.3 土壤有机质的存在状态	5
1.3 土壤有机质与土壤肥力	5
1.3.1 土壤有机质在土壤肥力上的作用	5
1.3.2 土壤有机质与土壤固碳	9
1.3.3 土壤有机质与土壤环境解毒	14
1.3.4 土壤有机质与作物生长	19
参考文献	24
第 2 章 土壤有机质的分组	26
2.1 土壤有机质分组的概念和研究进展	26
2.1.1 土壤有机质的物理分组	26
2.1.2 化学分组	34
2.1.3 物理-化学结合分组	37
2.1.4 生物学稳定性分组	38
2.1.5 按光学性质分组	39
2.1.6 对土壤有机质分组新认识	40
2.2 定量研究中土壤有机质分组方法	43
2.2.1 水稳性团聚体分组方法	43
2.2.2 Pallo 的腐殖质分组方法	43
2.2.3 修改的 Pallo 腐殖质分组方法	44
2.2.4 腐殖质组成修改法	45

2.2.5 HM 组成和相应的分组方法	46
参考文献	47
第3章 非腐殖物质	55
3.1 碳水化合物	55
3.1.1 土壤碳水化合物的作用	55
3.1.2 土壤碳水化合物的结构和分类	56
3.1.3 土壤碳水化合物的存在状态	58
3.1.4 土壤碳水化合物的定量测定	58
3.2 含氮化合物	58
3.2.1 土壤有机氮分组	58
3.2.2 氨基酸	59
3.2.3 氨基糖	60
3.2.4 其他含氮化合物	61
3.2.5 土壤有机氮的稳定性	62
3.2.6 有机氮的测定方法	62
3.2.7 N 示踪技术	63
3.3 有机磷、硫化合物	63
3.3.1 有机磷化合物	63
3.3.2 有机硫化合物	65
3.3.3 土壤有机质的 C : N : P : S 值	66
3.4 脂类化合物	66
3.4.1 土壤脂类化合物的作用	67
3.4.2 土壤脂类化合物的含量	67
3.4.3 土壤脂类化合物的组成和结构	68
参考文献	70
第4章 腐殖物质及其物理性质	71
4.1 腐殖物质的定义	71
4.1.1 历史回顾	71
4.1.2 现代概念和定义	71
4.2 定性研究中腐殖物质的提取、分组和纯化	72
4.2.1 腐殖物质的提取	72
4.2.2 主要的提取和纯化方法	76
4.3 腐殖物质的物理性质	83
4.3.1 固体物理性质	83
4.3.2 溶液物理性质	83

4.3.3 电子显微镜观察	84
参考文献	85
第5章 腐殖物质的化学性质和生物地球化学性质	88
5.1 相对分子质量及其分布与分子模型	88
5.1.1 相对分子质量及其分布	88
5.1.2 分子模型	89
5.2 元素组成、官能团和电化学性质	95
5.2.1 元素组成	95
5.2.2 官能团含量	96
5.2.3 电化学性质	98
5.3 活化度	99
5.3.1 活化度的概念和测定方法	99
5.3.2 土壤有机质及其组分的活化度	100
5.4 化学降解及产物分析	101
5.4.1 腐殖物质的降解	101
5.4.2 土壤胡敏酸水解和分组	102
5.4.3 HA 水解产物的 GC-MS 鉴定	104
5.5 腐殖物质的同位素生物地球化学性质	109
5.5.1 不同有机质组分的同位素分异	109
5.5.2 不同腐殖物质组分的更新速度	112
参考文献	114
第6章 土壤有机质的热性质和热力学稳定性	116
6.1 土壤有机质的热分解特征及热解产物分析	116
6.1.1 土壤有机质的差热分析	116
6.1.2 土壤有机质的热重分析	120
6.1.3 土壤有机质的微炉热解分析	121
6.2 土壤有机质的热解产物分析	122
6.2.1 土壤有机质的居里点热解-气相色谱/质谱产物分析	123
6.2.2 土壤有机质的甲基化-热解-气相色谱/质谱技术	132
6.2.3 土壤有机质的热解-场离子化-质谱产物分析	132
6.3 有机质组分的热力学参数和热力学稳定性	133
6.3.1 不同有机质组分的热值	134
6.3.2 土壤腐殖物质的热力学稳定性研究(元素组成-土壤条件参数法)	134
6.3.3 Vodyanitsky 方法	137
参考文献	139

第 7 章 土壤有机质的光学性质和电子能谱	141
7.1 土壤有机质的相对吸光值	141
7.1.1 色值	141
7.1.2 色调系数	142
7.1.3 相对色度	144
7.1.4 紫外 E_{265} 、 E_{265}/E_{325} 值	145
7.2 土壤有机质的紫外-可见光谱	146
7.2.1 吸光值曲线	146
7.2.2 可见-紫外光谱	148
7.3 土壤有机质的荧光光谱	149
7.3.1 荧光激发光谱	150
7.3.2 荧光发射光谱	151
7.4 土壤有机质的红外光谱	153
7.4.1 HS 红外光谱的归属	153
7.4.2 不同有机质组分的红外光谱	154
7.5 土壤有机质的电子能谱	161
7.5.1 电子能谱的原理	161
7.5.2 HA 的 XPS(C_{1s})	162
参考文献	164
第 8 章 土壤有机质的核磁共振波谱和顺磁共振波谱	166
8.1 土壤有机质的 1H -NMR 波谱	166
8.1.1 NMR 波谱的原理	166
8.1.2 1H -NMR 在土壤有机质研究中的应用	167
8.1.3 1H -NMR 测定方法和间接计算芳香度的方法	175
8.2 土壤有机质的液态 ^{13}C -NMR 波谱	176
8.2.1 ^{13}C -NMR 的特点	176
8.2.2 土壤有机质的液态 ^{13}C -NMR	177
8.2.3 液态 ^{13}C -NMR 的定量方法研究	181
8.3 土壤有机质的固态 ^{13}C -NMR 波谱	185
8.3.1 CP-MAS 技术	185
8.3.2 土壤有机质的 CP-MAS- ^{13}C -NMR	186
8.3.3 不同来源腐殖质组分的 CP-MAS- ^{13}C -NMR	187
8.4 土壤有机质的顺磁共振波谱	192
8.4.1 顺磁共振波谱的原理	192
8.4.2 顺磁共振波谱在土壤有机质研究中的应用	193

参考文献	193
第 9 章 土壤腐殖物质的形成与转化	198
9.1 有机物料在土壤中分解及腐殖化系数	198
9.1.1 有机物料在土壤中分解	198
9.1.2 有机物料的腐殖化系数	199
9.2 土壤有机质的分解及矿化率	199
9.2.1 ^{14}C 标记研究	199
9.2.2 $\delta^{13}\text{C}$ 标记研究	200
9.2.3 土壤氮素矿化	205
9.3 土壤腐殖物质不同组分的矿化和环境因素的作用	207
9.3.1 土壤腐殖物质不同组分的矿化	207
9.3.2 环境因素对土壤腐殖物质不同组分矿化的影响	207
9.4 土壤腐殖物质的形成	209
9.4.1 土壤腐殖物质的形成的几种假说	209
9.4.2 腐殖物质各组分的形成顺序和相互转化	211
参考文献	217
第 10 章 微生物在腐殖质形成转化中的作用	219
10.1 土壤微生物种类组成特征	219
10.1.1 细菌	219
10.1.2 放线菌	222
10.1.3 真菌	223
10.2 土壤微生物对环境变化的响应	225
10.2.1 种群丰富度的变化	225
10.2.2 种群更替	227
10.2.3 不同环境条件对土壤微生物的影响	227
10.3 微生物在腐殖物质形成转化中的作用	229
10.3.1 细菌在腐殖质形成转化中的作用	229
10.3.2 放线菌在腐殖质形成转化中的作用	230
10.3.3 真菌在腐殖质形成转化中的作用	231
10.3.4 不同基质在腐殖质形成转化中的作用	233
参考文献	234
第 11 章 土壤腐殖质形成转化的驱动因素	236
11.1 不同温度对土壤腐殖质形成转化的影响	236
11.1.1 不同温度对土壤腐殖质组成的影响	238
11.1.2 胡敏素组成	243

11.1.3 不同温度对溶性腐殖物质结构性质的影响	244
11.2 不同水分含量对土壤腐殖质形成转化的影响	249
11.2.1 腐殖质组成和胡敏素组成	250
11.2.2 不同水分处理对土壤溶性腐殖质结构性质的影响	255
11.3 不同 O_2 浓度对土壤腐殖质形成转化的影响	261
11.3.1 不同 O_2 浓度对土壤腐殖质组成的影响	262
11.3.2 O_2 浓度对胡敏素组成的影响	268
11.3.3 溶性腐殖质的结构性质	269
11.4 不同 CO_2 浓度对土壤腐殖质形成转化的影响	274
11.4.1 腐殖质组成	275
11.4.2 胡敏素组成	285
11.4.3 溶性腐殖质的结构性质	288
参考文献	291
第 12 章 土壤有机质调节原理	295
12.1 对土壤肥力实质的认识	295
12.1.1 土壤肥力与土壤生产力	295
12.1.2 微团聚体与土壤肥力	296
12.1.3 土壤有机质是土壤肥力的核心物质	296
12.2 简论土壤有机培肥	297
12.2.1 土壤有机培肥理论	297
12.2.2 有机物料施用方式	297
12.2.3 改善土壤有机质品质是土壤有机培肥的核心	298
12.3 土壤有机质的生态平衡理论	299
12.3.1 土壤有机质分解的大气控制和矿物控制阶段	299
12.3.2 土壤有机质含量的适宜值	300
12.3.3 维持土壤有机质平衡的有机物料施入量	301
12.3.4 土壤有机胶体老化与更新及保持生态平衡的途径	303
参考文献	303
第 13 章 耕作施肥对土壤有机质各组分数量的影响	305
13.1 施用有机肥对土壤有机质含量和活性的影响	305
13.1.1 施用有机肥对土壤有机质含量的影响	305
13.1.2 施用有机肥对土壤碳活性的影响	306
13.2 施肥对土壤有机-无机复合和腐殖质结合形态的影响	308
13.2.1 施肥对土壤有机-无机复合的影响	308
13.2.2 施肥对腐殖质结合形态的影响	309

13.3 施用有机物料对土壤团聚体组成和团聚体中碳氮分布的影响·····	311
13.3.1 施用有机物料对土壤团聚体组成的影响·····	311
13.3.2 施用有机物料对土壤团聚体中碳氮分布的影响·····	315
13.4 耕作施肥对土壤腐殖质组成和胡敏素组成的影响·····	318
13.4.1 耕作和施肥对土壤腐殖质组成的影响·····	318
13.4.2 耕作和施肥对胡敏素组成的影响·····	322
参考文献·····	324
第14章 耕作施肥对土壤胡敏酸结构性质的影响·····	326
14.1 施用有机物料对胡敏酸结构性质的影响·····	327
14.1.1 施用有机物料对胡敏酸化学性质的影响·····	327
14.1.2 施用有机物料对胡敏酸光学性质的影响·····	330
14.1.3 土壤有机培肥对胡敏酸热性质的影响·····	335
14.1.4 施用有机肥对胡敏酸波谱学性质的影响·····	336
14.2 施用化肥对胡敏酸结构性质的影响·····	340
14.2.1 施用化肥对胡敏酸化学性质的影响·····	340
14.2.2 施用化肥对胡敏酸光学性质的影响·····	341
14.2.3 施用化肥对胡敏酸热性质的影响·····	343
14.3 有机无机配施对胡敏酸结构性质的影响·····	344
14.3.1 有机无机配施对胡敏酸化学性质的影响·····	344
14.3.2 有机无机配施对胡敏酸光学性质的影响·····	344
14.3.3 有机无机配施对胡敏酸热性质的影响·····	346
14.4 耕作对胡敏酸结构性质的影响·····	347
14.4.1 耕作对胡敏酸化学性质的影响·····	347
14.4.2 耕作对胡敏酸光学性质的影响·····	348
14.4.3 耕作对胡敏酸热性质的影响·····	349
14.4.4 耕作对胡敏酸波谱学性质的影响·····	350
14.5 不同土地利用方式对胡敏酸结构性质的影响·····	350
14.5.1 不同土地利用方式对胡敏酸化学性质的影响·····	351
14.5.2 不同土地利用方式对胡敏酸光学性质的影响·····	351
14.5.3 不同土地利用方式对胡敏酸热性质的影响·····	352
参考文献·····	353
第15章 耕作施肥对富里酸结构性质的影响·····	356
15.1 施用有机物料对富里酸结构性质的影响·····	357
15.1.1 施用有机物料对富里酸化学性质的影响·····	357
15.1.2 有机培肥对富里酸光学性质的影响·····	361

15.1.3	有机培肥对富里酸的 ¹³ C-NMR 波谱的影响	363
15.2	施用化肥和有机无机配施对富里酸结构性质的影响	366
15.2.1	施用化肥对富里酸元素组成的影响	366
15.2.2	有机无机配施对富里酸元素组成的影响	366
15.3	耕作和不同土地利用方式对富里酸结构性质的影响	366
15.3.1	耕作对富里酸元素组成的影响	366
15.3.2	耕作对富里酸红外光谱的影响	367
15.3.3	耕作对富里酸热性质的影响	368
15.3.4	不同土地利用方式对富里酸热性质的影响	368
	参考文献	369
第 16 章	耕作施肥对土壤胡敏素结构性质的影响	371
16.1	施用有机肥料对胡敏素结构特征的影响	371
16.1.1	施用有机肥料对铁结合胡敏素结构性质的影响	371
16.1.2	施用有机肥料对黏粒结合胡敏素结构性质的影响	373
16.1.3	施用有机肥料对不溶性胡敏素结构性质的影响	376
16.2	施用化肥对胡敏素结构性质的影响	380
16.2.1	施用化肥对铁结合胡敏素结构性质的影响	380
16.2.2	施用化肥对黏粒结合胡敏素结构性质的影响	381
16.3	有机无机配施对胡敏素结构性质的影响	382
16.3.1	有机无机配施对铁结合胡敏素结构性质的影响	382
16.3.2	有机无机配施对黏粒结合胡敏素结构性质的影响	384
16.4	耕作措施对胡敏素结构性质的影响	385
16.4.1	耕作措施对铁结合胡敏素结构性质的影响	386
16.4.2	耕作措施对黏粒结合胡敏素结构性质的影响	387
16.5	不同土地利用方式对胡敏素结构性质的影响	389
16.5.1	不同土地利用方式对铁结合胡敏素结构性质的影响	390
16.5.2	不同土地利用方式对黏粒结合胡敏素结构性质的影响	391
	参考文献	394
第 17 章	展望	397
附:	博士后和研究生名单	399

第1章 土壤有机质的基础知识

1.1 土壤的基本概念及其物质组成

1.1.1 土壤的概念

不同的人由于对土壤的直接经验不同,因此对土壤的概念存在着种种不同认识。农民、园艺工人和农学工作者认为土壤是植物生长的介质;建筑工作者和工程师认为土壤是承受高强度压力的基地或作为工程材料的来源;环境工作者认为土壤是环境污染源或库以及缓冲带和过滤器;生态学家认为土壤是物质能量循环(转化)最活跃的生命层。

土壤学家认为,土壤作为一个独立的历史自然体,有它自身发生发展的独特规律,是一门独立的自然科学。Singer 和 Munns(1999)认为,土壤是能生长植物的复合生物地球化学材料。国家自然科学基金委员会(1996)认为,土壤是固态地球表面具有生命活动,处于生物与环境间进行物质循环和能量交换的疏松表层。土壤学家和农学家传统地把土壤定义为:“地球陆地表面能够生长绿色植物的、有疏松结构(unconsolidated)的矿物和有机物质表层。”综合上述认识可得出如下结论:土壤是在自然条件下能够生长绿色植物的、有结构的陆地表层。同时具有生物性(biological property)和结构性(structural property)是土壤区别于其起源母岩(parent rock)和母质(parent material)的最主要特征,也就是土壤具有肥力(fertility)的实质所在。

土壤是生物、气候、母质、地形、时间等自然因素和人类活动综合作用下的产物。它不仅具有自己的发生发展的历史,而且是一个形态、组成、结构和功能上可以剖析的物质实体,地球表面土壤之所以存在着性质的变异,就是因为在不同时间和空间位置上,由上述成土因子的变异所造成的。例如,土壤的厚度有几厘米到几米的差异,这取决于风化强度和成土时间的长短,取决于沉积、侵蚀过程强度,也与自然景观的演化过程有密切的关系。

由成土作用形成的层次称为土层,严格说是土壤发生层(horizon),而完整的垂直土层序列称为土壤剖面(soil profile)。土壤剖面的形成反映了土壤的具体成土过程,道库恰耶夫把土壤剖面划分为3个基本层次:A层,地表最上端,腐殖质在这一层聚积;紧接其下为B层,其特征是黏粒在这里淀积;B层之下是C层,该层由不同程度的风化产物构成,通常作为A层和B层发育的母质。后来有的研究者

把土层划分得更细,但总的来说仍未脱离 A、B、C 三层,一般把 A 层和 B 层合称为土体(solum)。

1.1.2 土壤的三相物质组成

土壤由固相、液相和气相三相构成。固相由矿物质和有机质组成,决定了土壤具有孔隙结构特性,又称为土壤基质;液相含有可溶性有机物和无机物,又称为土壤溶液;气相主要由氮气和氧气组成,并含有比大气中浓度高得多的二氧化碳和某些微量气体,又称为土壤空气。土壤三相之间是相互联系、相互制约、相互作用的有机整体,矿质土壤中固相容积一般占土壤总容积的一半;剩下的另一半被土壤溶液和土壤空气占据,液相容积和气相容积互为消长,各自变化幅度一般为 15%~35%。若按质量计算,矿物质一般可占固相的 95%以上,有机质不到 5%。

1.1.3 土壤的生物学特性和结构特性

前面已经提到,同时具有生物性和结构性是土壤的本质特征。土壤的生物学特性包括三层含义:一是土壤必须经过生物作用才能形成;二是土壤中含有微生物和生命活动的产物;三是土壤具有生长植物的功能。可以说土壤从形成到现在,从物质组成到功能,都带有生物学色彩。土壤的结构特性也包括三方面的含义:第一,土壤形成过程中矿物质和有机质形成有机-无机复合体、微团聚体、大团聚体、各类结构体、土壤层次、微形态构型、土体构型;第二,微团聚体是土壤结构性的核心,是土壤发挥其功能最小的、能够独立存在的结构单元(相当于土壤中的细胞);第三,土壤利用过程中土壤的结构性对土壤的功能影响很大,同时认为环境因素影响土壤的结构性。

土壤的生物性和结构性并存,是土壤区别于地质堆积物和其他基质的关键,是土壤学区别于其他学科的关键。

土壤有机质(soil organic matter, SOM)是土壤具有结构和生物学性质的基本物质,它既是生命活动的条件,也是生命活动的产物。若土壤犹如地球的皮肤,则有机质就犹如构成这种皮肤的蛋白质。所以 SOM 是土壤学研究 and 应用中最重要核心问题之一。

1.2 土壤有机质的概念、来源及构成

1.2.1 土壤有机质的概念

尽管 SOM 是大家熟知的名词,但给出一个统一的定义却很难。在了解 SOM 的定义之前,要介绍一下土壤中的有机物(soil organic compound)的概念,它是泛

指各种来源以各种形态和状态存在于土壤中的各种含碳有机化合物。土壤有机物包括土壤中的天然有机质(natural organic matter, NOM)和非天然有机质(non-NOM)两大类。non-NOM是指土壤中微小的异源有机物,即外源加入的人工合成有机物,如进入土壤的有机污染物、有机废弃物、农用工业有机物及相关副产物等。NOM在土壤中是泛指正常的有机物,即天然来源的有机物,包括破碎的植物、动物残体、微小生命体及其分解和合成的各种有机物(水域和沉积物等自然环境中也广泛存在着NOM)。在土壤中NOM是土壤有机物的主体,在不太严格的情况下,土壤有机物就是指土壤NOM。土壤NOM又可以分为两类,即生命体形式有机质(living organic matter, LivOM)和非生命体形式有机质(non-LivOM)。LivOM主要是指微生物(microorganism)、小的动物(small animal)、小的植物及土壤内活的植物根系(small plant root)等,但主要是微生物;non-LivOM即人们常说的SOM,是指土壤中的生命活动产物、死亡的植物、动物残体及其分解和再合成的转化产物,它是土壤NOM的主体。因此在不太严格的情况下,土壤NOM与SOM含义相同,因为一般的SOM测定方法无法把LivOM与non-LivOM分开。

这样就会得到SOM的概念:SOM是泛指以各种形态和状态存在于土壤中的各种含碳有机化合物。具体地说,它包括土壤中的动物、植物及微生物残体的不同分解、合成阶段的各种产物。它是土壤中细小的非生命体形式的天然有机物的总称,实质上包括未改变和部分改变的动植物残体,但更主要的是腐烂分解有机物或其再合成产物,后者就是常说的腐殖质(humus)。由于土壤中不发生腐烂分解的细小天然有机物的比例很小,且无法与已经腐烂分解的天然有机物截然分开,因此在不太严格的情况下,SOM与腐殖质几乎是同义语(例如,Stevensen在1982年出版的*Humus*一书中就是这样处理的)。狭义的有机质主要指腐殖质,根据其腐烂分解过程中是否形成了化学结构未知的特异性有机化合物可以分成两大类:一类是与有机残体的有机组分相似的普通有机化合物,如糖、蛋白质和木质素等;另一类是普遍存在于土壤和江湖河海底部的淤泥中的特殊有机化合物,如胡敏酸(humic acid, HA)、富里酸(或称富啡酸, fulvic acid, FA)和胡敏素(humin, HM)(后面讲)。为了区别起见,习惯上称前一类化合物为非腐殖物质(non-humic substance, non-HS),称后一类为腐殖物质(humic substance, HS)。SOM的分类位置如下:

土壤中的有机物(soil organic compound)

非天然有机质(non-NOM)

天然有机质(NOM)

生命体形式有机质(LivOM)

非生命体形式有机质(non-LivOM 或 SOM)

未改变和部分改变的有机残体(residual OM)

改变的有机质(humus)

非腐殖物质(non-HS)

腐殖物质(HS)

胡敏酸(HA)

富里酸(FA)

胡敏素(HM)

土壤有机物各组分在理论上可以采用上述的概念区分,但在实际测定中却难以将各组分分开,目前也没有统一的方法。但窦森(2001)在李学垣主编的《土壤化学》一书中,对土壤有机物的划分做了尝试,认为土壤中大块有机物如树干,完整的、大的动物尸体、植物残体,不属于土壤有机物,而是土壤异物,测定时可将土壤异物人工拣出。土壤异物的大小界限一般为 2cm。

这样,广义的 SOM(土壤中的有机物)就是通过 2cm 筛后再磨细(0.25mm)测定的有机物总量。而狭义的 SOM(腐殖质),是经人为或机械挑出的异源有机物质、未腐烂或半腐烂的动植物残体,过 2mm 筛后,再磨细(0.25mm)测定的有机物总量。

1.2.2 土壤有机质的来源和组成

SOM 主要来源于植物、动物及微生物残体,其中高等植物为主要来源。在不同的生物气候条件下,SOM 累积的数量有很大的差异(表 1-1)。在耕地土壤中自然植被已不存在,SOM 主要来自作物根的分泌物、根茬、枯枝落叶以及人们每年施入的有机肥料(绿肥、堆肥、沤肥和厩肥等)。我国耕地耕层 SOM 含量一般在 50g/kg 以下,东北地区大多为 20~30g/kg,华北、西北地区大部分低于 10g/kg,华中、华南一带的水田耕层有机质含量为 15~35g/kg。

表 1-1 不同植被条件下进入土壤的有机物数量(关连珠等,2007)

来源	数量 /[t/(a·hm ²)]	备注
森林植被	4~5	以枯枝落叶为主
草原植被	10~25	以根为主
一年生栽培作物	3~4	以根为主

进入土壤的有机残体,尽管来源不同,但是从化学角度来看,主要有碳水化合物(包括一些简单的糖类及淀粉、纤维素和半纤维素等多糖类)、含氮化合物(主要为蛋白质)、木质素等物质。此外,还有一些脂溶性物质(如树脂、蜡质