

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



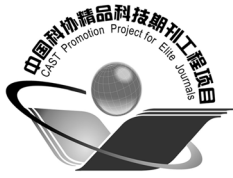
中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第 52 卷 第 4 期

Vol.52 No.4



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

目 次

综述与评论

亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物生态学研究进展····· 沈李东 (713)

土壤科学与现代农业

近30年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征····· 赵小敏 邵 华 石庆华等 (723)

北京市土壤重金属潜在风险预警管理研究····· 蒋红群 王彬武 刘晓娜等 (731)

秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响····· 朱 姝 窦 森 陈丽珍 (747)

生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响····· 俞映惊 薛利红 杨林章等 (759)

水肥对高产无性系油茶果实产量的影响····· 张文元 郭晓敏 涂淑萍等 (768)

研究论文

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究····· 李洪义 顾呈剑 但承龙等 (776)

不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响····· 海 南 赵永存 田 康等 (783)

基于稳定同位素的土壤水分运动特征····· 靳宇蓉 鲁克新 李 鹏等 (792)

中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究····· 吴良泉 武 良 崔振岭等 (802)

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布····· 候晓静 杨劲松 王相平等 (818)

长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响····· 毛霞丽 陆扣萍 何丽芝等 (828)

不同时期施用生物炭对稻田N₂O和CH₄排放的影响····· 李 露 周自强 潘晓健等 (839)

秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响····· 刘 园 M. Jamal Khan 靳海洋等 (849)

单一电解质体系下恒电荷土壤胶体扩散双电层中滑动层厚度的计算····· 丁武泉 朱启红 王 磊等 (859)

化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究····· 李世业 成杰民 (869)

离子型稀土矿尾砂地植被恢复障碍因子研究····· 刘文深 刘 畅 王志威等 (879)

辽东与山东半岛土壤中有机氯农药残留特征研究····· 朱英月 刘全永 李 贺等 (888)

长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性····· 高嵩涓 曹卫东 白金顺等 (902)

豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响····· 代会会 胡雪峰 曹明阳等 (911)

研究简报

蚕豆根系分泌物中氨基酸含量与枯萎病的关系····· 董 艳 董 坤 汤 利等 (919)

小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响····· 胡国彬 董 坤 董 艳等 (926)

不同年限毛竹林土壤固氮菌群落结构和丰度的演变····· 何冬华 沈秋兰 徐秋芳等 (934)

长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析····· 李 玮 孔令聪 张存岭等 (943)

果园生草对¹⁵N利用及土壤累积的影响····· 彭 玲 文 昭 安 欣等 (950)

封面图片：离子型稀土矿废弃地全景（由汤叶涛、刘文深提供）

DOI: 10.11766/trxb201410140521

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布*

侯晓静 杨劲松^{1, 2†} 王相平¹ 金雯晖¹ 姚荣江^{1, 2} 余世鹏^{1, 2}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院南京分院东台滩涂研究院, 江苏东台 224200)

摘要 通过在苏北滩涂地区开展田间试验, 研究了不同施肥处理(不施肥、施农家肥、商品有机肥、无机肥)对滩涂地区围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的影响。结果表明, 与对照相比, 不同施肥处理均能明显增加 0~30 cm 土层土壤有机碳含量和有机碳密度, 施农家肥增加幅度最高, 增加值分别为 0.66 g kg⁻¹ 和 0.07 kg m⁻²。试验地区水稳性团聚体以 >5 mm 和 0.25~0.5 mm 为主, 含量分别为 37%~57% 和 13%~20%; 随着土层深度增加, >5 mm 团聚体含量降低, 0.25~0.5 mm 团聚体则增加; 农家肥能显著增加 >5 mm 团聚体含量, 同时降低 0.25~5 mm 团聚体含量。团聚体中有机碳含量表现为, 除 0.25~0.5 mm 团聚体外, >5 mm 至 0.5~1 mm 团聚体之间, 粒径越小, 有机碳含量越高, 其中 0.5~1 mm 团聚体有机碳含量最高, 为 6.83 g kg⁻¹; 与其他处理相比, 农家肥的施用能明显增加各粒级团聚体中有机碳含量。试验地区土壤有机碳含量与 >5 mm 团聚体及其有机碳含量极显著正相关 ($p < 0.01$), 而与 0.25~5 mm 团聚体负相关 ($p < 0.01$ 或 $p > 0.05$)。

关键词 施肥方式; 滩涂; 团聚体分布; 土壤有机碳

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A

土壤有机碳 (Soil organic carbon, SOC) 是反映土壤质量和农业可持续性的一个重要指标^[1]。团聚体是土壤结构的基本单位, 也是土壤有机质保持的场所, 对土壤碳的固持和肥力影响重大^[2], 土壤有机碳库储量与水稳性团聚体关系密切^[3]。土壤有机质与团聚体形成的研究一直是土壤学关注的热点之一^[4]。大量研究结果均表明, 土壤团聚体形成与土壤有机质含量间存在正相关关系^[5]。对于团聚体粒径有机碳含量与土壤有机碳的关系研究结果却不尽相同, 有研究表明有机碳含量随团聚体粒径的增大而增加, 并且大团聚体较微团聚体含有更多不稳定的初期新成有机物质^[6], 但是也有研究表明, 随着团聚体粒径变细, 团聚体有机碳含量越高^[7]。

我国滨海地区的土壤资源和海涂资源极为丰富, 是沿海地区扩大耕地面积的主要土地资源。受成土过程的影响, 滩涂土壤具有养分含量低、结构性差、有机质含量偏低等特点。有研究表明, 滨海盐土表层 (0~20 cm) 碳密度为 13.64 t hm⁻², 只分别相当于农田、林地和草地表层碳密度的 42%、19% 和 21%^[8]。随着滨海盐土资源越来越多的被开垦为农田, 耕种、施肥、灌溉等人类管理措施对土壤有机碳的影响越来越深刻, 对土壤有机碳含量也会造成不同程度的改变^[9]。土壤团聚体是土壤有机碳稳定和保护的载体, 影响着土壤有机碳的分解转化^[9-10]。不同施肥措施不仅对土壤有机碳含量有影响, 对于团聚体中有机碳的分布也有显著影响。目前, 对于农田^[11-13]、森林土壤^[14-15]以及

* 国家自然科学基金项目 (41171181, 51109204)、江苏省产学研前瞻性联合研究项目 (BY2013062) 和江苏省自然科学基金项目 (BK2011425) 资助

† 通讯作者, E-mail: jsyang@issas.ac.cn

作者简介: 侯晓静 (1987—), 女, 河南鹤壁人, 博士研究生, 研究方向为土壤退化及其环境效应。E-mail: xjhou@issas.ac.cn

收稿日期: 2014-10-14; 收到修改稿日期: 2015-03-04

不同利用方式下^[16]土壤中团聚体有机碳分布已有较多研究，但是对于滨海盐土在农业利用过程中土壤团聚体有机碳分布特征还有待研究和探索。本研究以苏北滨海盐渍区滩涂农田土壤作为研究对象，通过采取不同施肥措施，研究土壤有机碳以及水稳性土壤团聚体中有机碳的分布特征，以期为滨海盐渍土土壤质量的改善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验地点位于江苏省东台市黄海原种场（32°38'N，120°50'E），该地区属于亚热带和暖温带季风气候的过渡区，年平均降水量1 058 mm，主要集中在6—8月，年平均蒸发量1 417 mm，年平

均气温14.6 ℃，无霜期213 d左右。试验地属于滨海新围垦的滩涂土壤（围垦时间2005年），由于前茬作物为水稻，因此土壤盐分含量有所下降，但土壤肥力水平仍较低下。土壤类型为冲积盐土类，潮盐土亚类，是典型的淤泥质海岸带盐渍土。试验前耕层土壤（0~20 cm）基本理化性质见表1。

1.2 试验设计与田间管理

试验采用玉米-大麦的早-早轮作方式，共设4种不同施肥方式作为处理，每个处理设3次重复，随机区组排列。本试验4个处理分别为：（1）不施肥（CK）、（2）农家肥（FYM）、（3）商品有机肥（COF）、（4）无机肥（IF）。农家肥为鸡粪发酵而成，商品有机肥为市售的成品颗粒状有机肥，无机肥为尿素。农家肥和商品有机肥主要成分见表2。

表1 试验前耕层土壤（0~20 cm）基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of studied soil

土壤 Soil	pH	土壤盐分含量 Soil salt content (g kg ⁻¹)	土壤有机碳 SOC (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Readily available K (mg kg ⁻¹)
盐土 Saline soils	8.79 ~ 9.13	0.77 ~ 1.47	3.19 ~ 4.76	250 ~ 404	3 ~ 7.5	140 ~ 300

表2 供试有机肥主要养分指标

Table 2 Main nutrition content of organic fertilizers

供试肥料 ¹⁾ Fertilizer	pH	水溶性盐 Water soluble salt (g kg ⁻¹)	有机质 OM (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)
FYM	8.41	4.61	704.3	128.9	54.1	47.2
COF	7.34	9.25	816.3	180.2	46.9	54.8

1) FYM: 农家肥 Farm yard manure, COF: 商品有机肥 Commercial organic fertilizer

供试作物中玉米品种为“苏玉21号”，大麦品种为“苏啤4号”。玉米种植方式为穴播，行距50 cm，株距30 cm。苗高约20 cm时进行间苗，每穴保留1株。大麦播种量375 kg hm⁻²，行距25 cm。试验时间为2012年6月至2013年10月。作物在此生长期施肥量为纯N 300 kg hm⁻²，P₂O₅ 90 kg hm⁻²。各处理肥料通过先施基肥，后施追肥的方式施入，肥料投入量见表3。基肥施入时间在作物种植前一

天，对于本试验中玉米和大麦，时间分别在6月和10月下旬进行，基肥施入后翻耕土壤。玉米追肥时间为7月和8月，大麦追肥时间为1月和3月，追肥方式均为地表条施。农家肥和商品有机肥处理基肥不施氮素，只在追肥时用尿素补齐所缺氮素，以保证各处理在作物整个生育期投入的氮素相同，各处理其他田间管理措施均相同。

表3 各处理肥料投入量

Table 3 Designing of the fertilization treatments in the field experiment (kg hm⁻²)

处理 ¹⁾ Treatments	基肥 Base fertilizer			追肥 Top dressing	
	N	P	K	有机肥 Organic fertilizer	N
CK	0	0	0	0	0
FYM	0	90	0	2 000	40
COF	0	90	0	1 500	30
IF	180	90	0	0	120

1) CK: 不施肥 No fertilizer, FYM: 农家肥 Farm yard manure, COF: 商品有机肥 Commercial organic fertilizer, IF: 无机肥 Inorganic fertilizer

1.3 样品采集与分析方法

在试验开始前以及2013年10月作物收获后,在各小区按0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80、80~100 cm分层采样,拣去作物残根和石砾后置于室内阴凉通风处自然风干、磨碎,过2 mm筛后备用。

土壤团聚体采集及测定:采集表层0~10、10~20 cm原状土样,置于密封保鲜盒中,样品在采集和运输途中尽量减少对土样的扰动,以免破坏团聚体。土样带回实验室后,小心剔除作物残根落叶等,将其沿土块自然裂缝掰成10 mm左右的小块,混匀并于室温下风干。水稳性团聚体参照Haynes^[17]的方法做适当改进后进行。将100 g风干土样(粒径大小约10 mm)置于由孔径分别为5、3、2、1、0.5、0.25 mm筛组成的套筛的最上一层。调整桶内水面的高度,使套筛移动到最高位置时最上一层筛中的团聚体刚好淹没在水面以下。待团聚体在水面下浸泡5 min后,以每分钟30次的速度上下震荡2 min,将每一层筛上的团聚体分别洗入铝盒烘干称重,即得每粒级团聚体重量。

土壤及其团聚体有机碳含量测定:将全土和0~10 cm土层不同粒径团聚体研磨,过100目筛后用重铬酸钾容量法—外加热法测定^[18]。

有机碳密度依据以下公式^[19]:

$$TOCs = \sum_{i=1}^n (C_i \times \rho_i \times T_i) / 100$$

式中,TOCs为特定深度的土壤有机碳密度(kg m⁻²),C为第*i*层土壤有机碳含量(g kg⁻¹), ρ 为第*i*层土壤容重(g cm⁻³),*T*为第*i*层土壤厚度(cm),*n*为土层数。

1.4 数据统计与分析

数据处理、统计分析均采用Excel 2007和SPSS 16.0统计软件,不同处理间的差异显著性水平采用LSD法进行检验。

2 结果与讨论

2.1 不同施肥处理对滨海盐渍区土壤团聚体分布的影响

通过湿筛法获得的水稳性团聚体,能够很好地反映土壤抗水蚀的能力。从图1中可以看出,不同施肥措施在不同土层对水稳性团聚体各粒径的影响不同。在0~10 cm土层中,CK、FYM、COF、IF处理所测得的团聚体5 mm、3~5 mm、1~3 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm粒径所占的相对含量分别为37%~57%、11%~15%、11%~17%、10%~11%、13%~20%,可以看出,供试土壤水稳性团聚体以>5 mm粒径为主,其次为0.25~0.5 mm粒径团聚体。

不同施肥措施明显改变了不同粒径团聚体的相对含量,FYM、COF、IF处理明显提高了>5 mm粒径团聚体的含量,与CK相比,FYM、COF、IF处理>5 mm粒径团聚体分别增加了35%、21%、15%,但是3~5 mm、1~3 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm各粒径含量明显降低。耿瑞林等^[4]在华北平原潮土中以及周萍等^[20]在太湖地区水稻田中研究均发现,有机肥的施用能显著增加粒径稍大的团聚体(0.25~2 mm或>2 mm),同时减少粒径较小的团聚体(<0.25 mm)的含量。Six等^[21]的研究表明,这种变化是由于植物生物量增加导致

更多的新鲜物质输入土壤并作用于团聚体的结果。

在10~20 cm土层,各处理>5 mm团聚体含量呈降低趋势,1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm团聚体含量则呈增加趋势。对于同一粒级,不同施肥处理则表现为>5 mm粒级各处理之间没有明显差异,但在0.25~0.5 mm粒级范围内,N处理各粒级含量显著低于其他处理($p<0.05$)。根据团聚体形成的多级团聚理论,微团聚体聚合形成大团聚体^[22],大团聚体破碎形成小团聚体,二者既互

为基础又互为消长^[23],Six等^[24]就发现种植黑麦草小区土壤在CO₂升高条件下(促进光合作用使新鲜有机物质输入量增加),随着土壤中小粒径团聚体(0.25~2 mm)明显减少,大粒径团聚体(>2 mm)的数量明显增加。土壤中大团聚体的形成主要是靠有机残体和菌丝胶结形成^[23],而随着土壤深度的加深,土壤中有机质来源和输入量减少,这在一定程度上影响了大团聚体的含量,从而造成大粒径团聚体含量降低,较小粒径团聚体含量则增加。

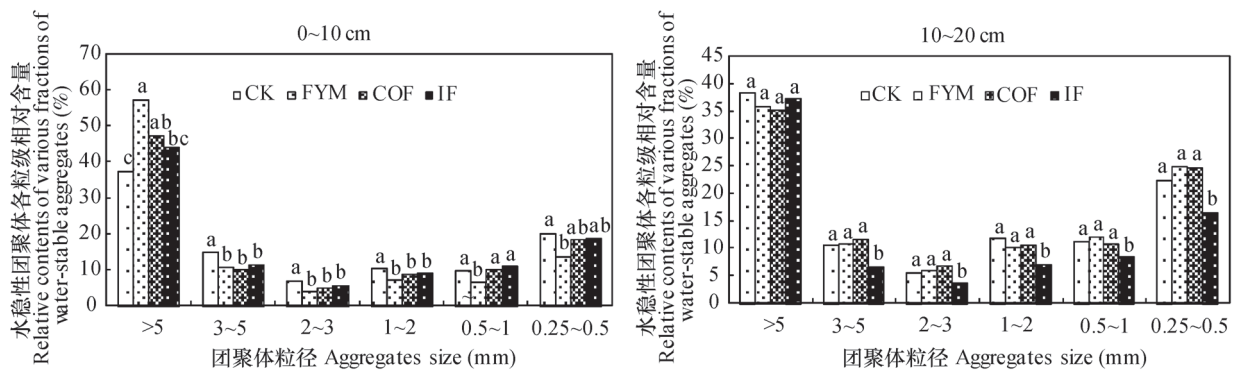


图1 不同施肥处理下0~20 cm土层各粒径团聚体分布

Fig. 1 Distribution of aggregates in the 0~20 cm soil layer relative to fertilization treatment

2.2 不同施肥处理对土壤及团聚体有机碳含量的影响

2.2.1 不同施肥处理对滨海盐渍区土壤有机碳含量及密度的影响 图2是不同施肥措施对0~30 cm土层土壤有机碳含量的影响。由其结果可知,随着土壤深度的增加,各处理有机碳含量逐渐降低。与CK相比,FYM、COF、IF处理0~10和10~20 cm土层的有机碳含量均得到显著提升,尤其是FYM和COF处理($p<0.05$),有机碳含量较CK最高分别增加了0.90和0.73 g kg⁻¹;在20~30 cm土层不同施肥处理下SOC含量没有明显差异和规律,即不同施肥处理对土壤有机碳的作用主要集中于能够直接接触的0~20 cm土层。这一方面是由于肥料的施用不仅增加了土壤中有机质的来源,也促进了作物的生长,使作物的残留量增多,而随着土壤深度的加深,作物根茬以及外源有机物的含量和影响逐渐降低,有机物来源减少,再加上有机碳在土壤剖面中的移动性弱,因此,表层以下土壤有机碳含量降低^[25]。另一方面,随着土壤深度的加深,土壤有机碳含量主要受到成土过程的影响,而施肥对土壤中有机碳含量的分布影响逐渐减小,因

此不同施肥处理间的差异逐渐变小。对于0~30 cm土层,各处理土壤有机碳含量的顺序为FYM > COF > IF > CK,与对照相比,有机肥、无机肥的施用均显著增加了土壤有机碳含量。FYM处理有机碳含量最高,为2.56 g kg⁻¹,与CK相比增加了34%。

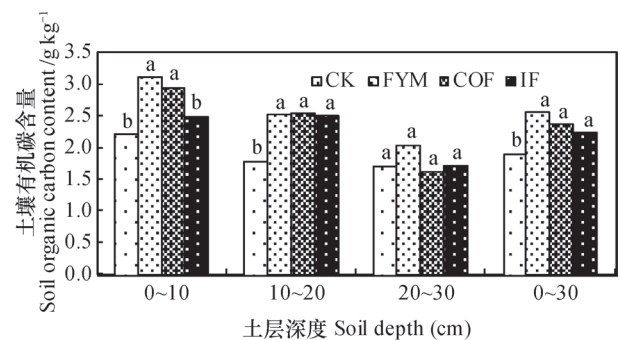


图2 不同施肥处理下0~30 cm土层土壤有机碳含量

Fig. 2 Soil organic carbon content in the 0~30 cm soil layer relative to fertilization treatment

在多数文献中,SOC储量只是简单地用含量(C g kg⁻¹)表明,大多数情况下,SOC储量确实随着含量的增加而升高,但一些研究的定量估算却表明,

每单位土地面积或体积土壤有机碳量不仅取决于有机碳含量,还取决于土壤容重和土壤体积^[26]。因此,本文中增加土壤有机碳密度这一指标来表明各处理对土壤有机碳储量的影响。土壤有机碳密度是指单位面积(1 m²或1 hm²)中一定厚度(通常为1 m)的土层中有机碳数量(单位通常用C kg m⁻²)^[27-28]。由于土壤有机碳密度与含量间存在密切关系,因此影响土壤有机碳在剖面中迁移和分解转化的因素,最终均会影响有机碳的密度^[29]。由图3可以看出,不同施肥处理对土壤有机碳密度的影响与土壤有机碳含量相似。0~10 cm土层,与对照相比,FYM、COF处理能显著增加有机碳密度,有机碳密度顺序为FYM > COF > IF > CK; 10~20 cm土层,除IF处理外,其他处理有机碳密度均有一定下降,有机碳密度顺序为COF ≈ IF > FYM > CK; 20~30 cm土层各处理间有机碳密度无明显规律。但是就0~30 cm土层而言,不同施肥处理均能明显提高0~30 cm土层土壤有机碳密度,其中FYM处理增加最多,达0.07 kg m⁻²。

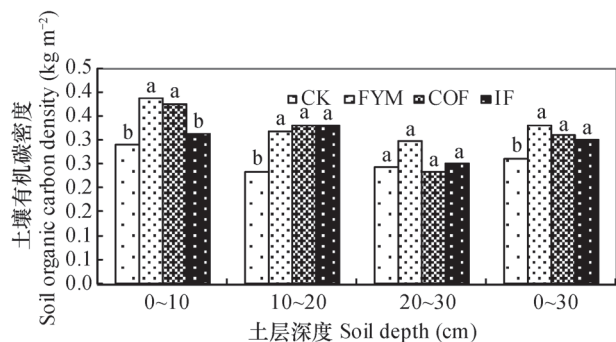


图3 不同施肥处理下0~30 cm土层土壤有机碳密度

Fig. 3 Soil organic carbon density in the 0~30 cm soil layer relative to fertilization treatment

2.2.2 不同施肥处理对滨海盐渍区土壤各粒级团聚体有机碳含量的影响 土壤不同团聚体粒径中有机碳含量是土壤有机质平衡与矿化速率的微观表征,在土壤肥力和土壤碳汇中具有重要的双重意义^[30],对于不同粒径团聚体有机碳含量高低的研究结果,有研究者认为土壤大团聚体(>2 mm)有机碳含量相对高于小团聚体^[31],也有人认为有机碳和全氮主要分布于小粒径微团聚体中^[32],或者有机碳在团聚体中呈V型分布,即<0.002 mm和>2 mm的团聚体中有机碳含量均较高^[33]。由本试验结果可以看出,0~10 cm土层不同粒径团聚体有机碳含量确

实存在明显不同。对于土壤团聚体,除0.25~0.5 mm团聚体粒径外,粒径>5 mm至0.5~1 mm之间,团聚体粒径越小,有机碳含量越高,并且以0.5~1 mm粒径有机碳含量最高,为6.83 g kg⁻¹。在四种不同施肥处理中,均表现为这种趋势,这与李辉信等^[11]在红壤水稻土中所得研究结果相似。这可能是由于土壤有机质很少以游离形态存在于土壤中,而是被细小的矿物质颗粒吸附,与之结合在一起形成有机-无机复合体。因此,当团聚体粒径越小时,其比表面积越大,吸附的有机物质越多,所以小粒径的团聚体中的有机碳含量也就越高^[34]。

以有机肥作为养分来源能够增加进入土壤的有机质含量,因此势必会造成土壤碳素的增加^[35],同一粒级团聚体中有机碳含量随养分来源的不同而有所差异^[36]。从图4中可以看出,FYM处理可以使各粒级团聚体中有机碳含量增加,在>5 mm、2~3 mm、1~2 mm和0.5~1 mm粒径团聚体中,FYM处理有机碳含量与其他处理之间有显著差异($p<0.05$)。与CK相比,FYM处理>5 mm至0.25~0.5 mm各粒级团聚体有机碳含量增幅分别为43%、9%、27%、14%、14%、0.3%,即农家肥处理明显增加了>5 mm、2~3 mm、1~2 mm和0.5~1 mm粒径的团聚体含量。FYM与COF处理相比,相同粒级有机碳含量仍显著提高($p<0.05$)的原因,则可能是由于不同有机肥料在土壤中的分解速率与残留量有所不同,因此导致同一粒级中有机碳含量因肥料种类而有所差异^[36]。COF、IF处理>5 mm和3~5 mm粒径团聚体有机碳含量分别较CK高4%~13%和4%,在其他粒径中有机碳含量则与CK无明显差别($p>0.05$)。

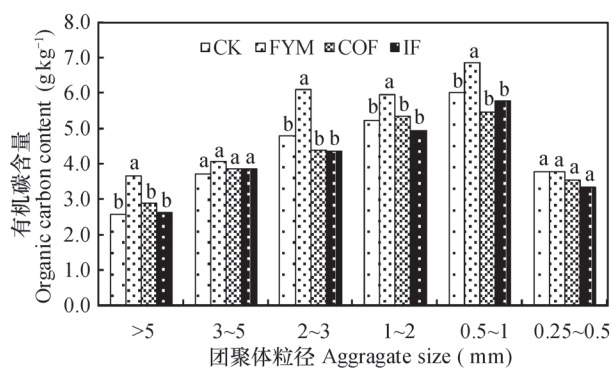


图4 不同施肥处理下团聚体各粒级有机碳含量

Fig. 4 Organic carbon contents in various fractions of aggregates relative to fertilization treatment

2.3 土壤有机碳与土壤团聚体的关系

2.3.1 土壤有机碳与团聚体分布相关性分析

土壤有机碳与团聚体关系密切,有研究表明,在表层土壤中,近90%的土壤有机碳存在于团聚体内^[2],而土壤有机质又是团聚体的主要胶结物质。因此,二者相互作用,互为影响。前人研究^[2, 20, 37]表明,施肥对于大团聚体的影响程度要高于小团聚体,使大团聚体比例增加,而大团聚体的形成能够给土壤有机碳提供存在的场所和更好的保护作用。由表4可以看出,>5 mm粒径团聚体与SOC含量表

现为极显著正相关关系($p<0.01$),而与0.25~5 mm粒径呈极显著($p<0.01$)或不显著负相关关系($p>0.05$)。说明在滨海盐渍区农田表层土壤中,采取不同施肥处理后,有机质含量的升高可以提供更多胶结物质,将微团聚体和粉粒及黏粒胶结而成大团聚体,减少粒径较小的团聚体、粉粒、黏粒的含量,从而增加了大团聚体的含量^[38],这与上述研究结果相一致。进一步说明了在土壤中较大粒径团聚体含量的增加是土壤有机碳积累的主要推动作用。

表4 不同施肥处理0~20 cm土层土壤团聚体含量与有机碳含量的关系($n=24$)

Table 4 Relationship between content of soil aggregate and content of SOC in the 0~20 cm soil layer relative to fertilization treatments

团聚体粒径 Aggregate size (mm)	回归方程 Regress equation	相关系数 r Correlation coefficient r
>5	$Y=15.11X+0.86$	0.668**
3~5	$Y=-1.15X+14.55$	-0.360
2~3	$Y=-2.58X+12.65$	-0.787**
1~2	$Y=-4.17X+20.81$	-0.737**
0.5~1	$Y=-3.22X+19.33$	-0.543**
0.25~0.5	$Y=-3.99X+31.80$	-0.361

注: Y 表示团聚体百分含量(%); X 表示土壤有机碳含量(g kg^{-1}); **表示团聚体和土壤有机碳含量极显著相关($p<0.01$)

Note: Y stands for content of soil aggregate (%); X for content of SOC (g kg^{-1}); ** means significant correlation between contents of aggregate and SOC at $p<0.01$

2.3.2 土壤有机碳与团聚体各粒级有机碳相关性分析

由表5可以看出,土壤SOC含量与>5 mm粒级团聚体的有机碳含量呈极显著正相关($p<0.01$),而随着土壤粒径的减小,粒径所含有机碳与SOC相关性逐渐降低。有研究者指出,当植被恢复初期时,土壤大团聚体中有机碳储量占总有机碳储量的比例会增加,而微团聚体和粉粒及黏粒有机碳储量占总有机碳储量的比例会降低^[39]。随着演替的进一步进行,小粒径团聚体有机碳含量相应增加^[15]。这主要是由于新输入的有机碳首先出现在大团聚体中,大团聚体的形成速度较微团聚体快^[40-41]。当SOC含量增加到一定程度时,大团聚体、微团聚体、粉粒与黏粒中的有机碳分配会趋于平衡,此时土壤有机碳可能达到饱和状态^[39]。本研究所地区,属于滨海新围垦的滩涂农田土壤,土壤质地差,有机碳含量低,在土壤有机碳积累过程中处于初级阶段。由试验结果可知,采取不同施肥措施后,不仅土壤>5 mm粒径团聚体含量

增加(图1),大团聚体中有机碳含量也增加(图4)。由于大团聚体有机碳较微团聚体有机碳更易被微生物分解,在较短时间内分解释放部分养分供植物吸收利用^[14]。同时,随着植物生长环境的优化,土壤的有机碳来源增多,更利于土壤有机碳含量的增加,土壤作为碳汇的功能也将得到进一步实现,这对于该地区的土壤有机碳含量的提升具有积极意义。

3 结 论

通过在苏北滩涂地区对围垦农田进行施肥试验发现,该地区土壤水稳性团聚体以>5 mm和0.25~0.5 mm为主,所占含量分别为37%~57%和13%~20%;随着土层加深,>5 mm团聚体含量降低,而0.25~0.5 mm增加。农家肥的施用使>5 mm团聚体显著增加,同时降低了3~5 mm、1~3 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm团聚体含量。施肥还

表5 土壤有机碳与团聚体各粒径有机碳含量的相关性 (0~10 cm) ($n=12$)

	团聚体粒径 Aggregate size					
	>5 mm	3~5 mm	2~3 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm
土壤有机碳 SOC	0.737**	0.435	0.413	0.650*	0.165	0.078

注: *和**分别表示团聚体有机碳含量和土壤有机碳含量呈显著相关 ($p<0.05$) 和极显著相关 ($p<0.01$) Note: * and ** means significant relationship between content of organic carbon in aggregate and content of SOC in the soil at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively

能明显增加0~30 cm土壤有机碳含量和有机碳密度;施农家肥增加幅度最高,分别增加了0.66 g kg⁻¹和0.07 kg m⁻²。团聚体中有机碳含量表现为,除0.25~0.5 mm团聚体外,>5 mm至0.5~1 mm团聚体之间,粒径越小,有机碳含量越高;农家肥能明显增加各粒级团聚体中有机碳含量。土壤有机碳含量与>5 mm团聚体含量极显著正相关 ($p<0.01$),而与0.25~5 mm团聚体负相关;土壤有机碳与>5 mm团聚体有机碳含量呈极显著正相关 ($p<0.01$),随着粒径的减小,相关性也逐渐降低。

参考文献

- [1] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 1997, 43: 131—167
- [2] 窦森,李凯,关松.土壤团聚体中有机质研究进展.土壤学报,2011,48(2):412—418. Dou S, Li K, Guan S. A review on organic matter in soil aggregates (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(2): 412—418
- [3] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣,等.不同施肥处理对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响.生态学报,2010,30(4):1035—1041. Liu E K, Zhao B Q, Mei X R, et al. Distribution of water-stable aggregates and organic carbon of arable soils affected by different fertilizer application (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 1035—1041
- [4] 耿瑞林,郁红艳,丁维新,等.有机肥无机肥长期使用对潮土团聚体及其有机碳含量的影响.土壤,2010,42(6):908—914. Geng R L, Yu H Y, Ding W X, et al. Effects of long-term application of organic manure and chemical fertilizers on organic carbon in aggregates of a sandy loam (In Chinese). *Soils*, 2010, 42(6): 908—914
- [5] Barthes B, Roose E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion validation at several levels. *Catena*, 2002, 47: 133—149
- [6] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macro-aggregate turnover and micro-aggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(14): 2099—2103
- [7] 王欣欣,符建荣,邹平,等.长期植稻年限序列水稻土团聚体有机碳分布特征.应用生态学报,2013,24(3):719—724. Wang X X, Fu J R, Zou P, et al. Distribution characteristic of aggregates organic carbon in a paddy soil chronosequence (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(3): 719—724
- [8] Wang S L, Huang M, Shao X M, et al. Vertical distribution of soil organic carbon in China. *Environmental Management*, 2004, 33: 200—209
- [9] 徐万里,唐光木,盛建东,等.垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定的影响.生态学报,2010,30(7):1773—1779. Xu W L, Tang G M, Sheng J D, et al. Effects of cultivation on organic carbon fractionation and aggregate stability in Xinjiang oasis soils (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1773—1779
- [10] Whalen J K, Hu Q C, Liu A G. Compost applications increase water-stable aggregate in conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of American Journal*, 2003, 67(6): 1842—1847
- [11] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等.不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响.土壤学报,2006,43(3):422—429. Li H X, Yuan Y H, Huang Q R, et al. Effects of fertilization on soil organic carbon distribution in various aggregates of red paddy soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3): 422—429
- [12] 史奕,张璐,陈欣,等.不同经营方式对黑土水稳性团聚体组成及微粒有机质积累分布的影响.中国生态农业学报,2005,13(2):122—124. Shi Y, Zhang L, Chen X, et al. Effect of different management patterns on the fraction of water stable aggregate and accumulation and distribution of particulate organic in black soil (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-*

- Agriculture, 2005, 13 (2): 122—124
- [13] 张旭辉, 李恋卿, 潘根兴. 不同轮作制度对淮北白浆土团聚体及其有机碳的积累与分布的影响. 生态学报, 2001, 20 (2): 16—19. Zhang X H, Li L Q, Pan G X. Effect of different crop rotation systems on the aggregates and their SOC accumulation in Paludals in North Huai Region, China (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2001, 20 (2): 16—19
- [14] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响. 生态学报, 2008, 28 (2): 702—709. Xie J S, Yang Y S, Chen G S, et al. Effects of vegetation on water stability and organic carbon distribution in aggregates of degraded red soil in subtropics of China (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (2): 702—709
- [15] 赵世伟, 苏静, 吴金水, 等. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化. 水土保持学报, 2006, 20 (3): 114—117. Zhao S W, Su J, Wu J S, et al. Changes of soil aggregate organic carbon during process of vegetation restoration in Ziwuling (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20 (3): 114—117
- [16] 毛艳玲, 杨玉盛, 邢世和, 等. 不同利用方式对土壤水湿性团聚体有机碳的影响. 水土保持学报, 2008, 22 (4): 132—137. Mao Y L, Yang Y S, Xing S H, et al. Effects of land use on soil organic carbon in water-stable aggregates (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22 (4): 132—137
- [17] Haynes R J. Effect of sample pretreatment on aggregate stability measured by wetting sieving or turbidity on soils of different cropping history. European Journal of Soil Science, 1993, 44 (2): 261—270
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30—34. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 30—34
- [19] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 等. 潮棕壤不同利用方式有机碳剖面分布及碳储量. 中国农业科学, 2005, 38 (3): 544—550. Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, et al. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38 (3): 544—550
- [20] 周萍, 潘根兴. 长期不同施肥对黄泥土水稳性团聚体颗粒态有机碳的影响. 土壤通报, 2007, 38 (2): 256—261. Zhou P, Pan G X. Effect of different long-term fertilization treatments on particulate organic carbon in water-stable aggregates of a paddy soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38 (2): 256—261
- [21] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62: 1367—1377
- [22] 谢德体, 魏朝富, 陈绍兰, 等. 水田自然免耕土壤代谢特征研究. 西南农业大学学报, 1994, 16 (3): 202—207. Xie D T, Wei C F, Chen S L, et al. Study on metabolic characteristics of soil virginization for paddy fields (In Chinese). Journal of Southeast Agricultural University, 1994, 16 (3): 202—207
- [23] 张四海, 曹志平, 张国, 等. 保护性耕作对农田土壤有机碳的影响. 生态环境学报, 2012, 21 (2): 199—205. Zhang S H, Cao Z P, Zhang G, et al. Effects of conservation tillage on soil organic carbon pool (In Chinese). Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21 (2): 199—205
- [24] Six J, Carpentier A, Kessel C, et al. Impact of elevated CO₂ on soil organic matter dynamics as related to changes in aggregate turnover and residue quality. Plant and Soil, 2001, 234: 27—36
- [25] 胡诚, 乔艳, 李双来, 等. 长期不同施肥方式下土壤有机碳的垂直分布及碳储量. 中国生态农业学报, 2010, 18 (4): 689—692. Hu C, Qiao Y, Li S L, et al. Vertical distribution and storage of soil organic carbon under long-term fertilization (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18 (4): 689—692
- [26] Ellert B H, Bettany J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian Journal of Soil Science, 1995, 75: 529—538
- [27] 徐艳, 张凤荣, 段增强, 等. 区域土壤有机碳库密度计碳储量计算方法探讨. 土壤通报, 2005, 36 (6): 836—839. Xu Y, Zhang F R, Duan Z Q, et al. Calculation method for density and storage of soil organic carbon (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36 (6): 836—839
- [28] 程先福, 史学正, 于东升, 等. 兴国县森林土壤有机碳库及其环境因子的关系. 地理研究, 2004, 23 (2): 211—217. Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, et al. Organic carbon pool of forest soil and its relationship to environment factors in Xingguo Country of Jiangxi Province (In Chinese). Geographical Research, 2004, 23 (2): 211—217
- [29] 李忠, 孙波, 林心雄. 我国东部土壤有机碳的密度及转化的控制因素. 地理科学, 2001, 21 (4): 301—307. Li Z, Sun B, Lin X X. Density of soil organic carbon and factors controlling its turnover in east China

- (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21 (4) : 301—307
- [30] 何淑勤, 郑子成, 杨玉梅. 茶园土壤团聚体分布特征及其对有机碳含量影响的研究. *水土保持学报*, 2009, 23 (5) : 187—190. He S Q, Zheng Z C, Yang Y M. Distribution characteristics of soil aggregates and organic carbon in tea plantation (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23 (5) : 187—190
- [31] 文倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征. *中国农业科学*, 2004, 37 (10) : 1504—1509. Wen Q, Zhao X R, Chen H W, et al. Distribution characteristics of microbial biomass carbon in different soil aggregates in semi-arid area (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37 (10) : 1504—1509
- [32] Christensen B T. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregations and particle size separates. *Journal of Soil Science*, 1986, 37: 125—135
- [33] 李恋卿, 张旭辉, 潘根兴. 退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体及其有机碳的分布变化. *土壤通报*, 2000, 31 (5) : 193—195. Li L Q, Zhang X H, Pan G X. Changes in organic carbon storage in aggregates of the surface horizon in a degraded Paleudlt upon vegetation recovery (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31 (5) : 193—195
- [34] 黄丹丹, 刘淑霞, 张晓平, 等. 保护性耕作下土壤团聚体组成及其有机碳分布特征. *农业环境科学学报*, 2012, 31 (8) : 1560—1565. Huang D D, Liu S X, Zhang X P, et al. Constitute and organic carbon distribution of soil aggregates under conservation tillage (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31 (8) : 1560—1565
- [35] 沈宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响. *土壤学报*, 2000, 37 (2) : 166—173. Shen H, Cao Z H, Xu Z H. Effects of fertilization on different carbon fractions and carbon pool management index in soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37 (2) : 166—173
- [36] 沈其荣, 徐阳春. 长期施用不同有机肥对土壤各粒级复合体中C、N、P含量与分配的影响. *中国农业科学*, 2000, 33 (5) : 65—71. Shen Q R, Xu Y C. Influence of long-term application of manure on the contents and distribution of organic C, total N and P in soil particle size (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33 (5) : 65—71
- [37] 李成亮, 孔宏敏, 何园球. 施肥结构对旱地红壤有机质和物理性质的影响. *水土保持学报*, 2004, 18 (6) : 116—119. Li C L, Kong H M, He Y Q. Effect of fertilization structure on soil organic matter and physical properties of upland field in red soil area (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (6) : 116—119
- [38] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregate in soil. *Journal of Soil Science*, 1982, 33 (2) : 141—163
- [39] 张曼夏, 季猛, 李伟, 等. 土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响. *应用与环境生物学报*, 2013, 19 (4) : 598—604. Zhang M X, Ji M, Li W, et al. Effect of land use pattern on soil aggregate stability and aggregate-associated organic carbon (In Chinese). *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2013, 19 (4) : 598—604
- [40] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展. *土壤学报*, 2004, 41 (4) : 618—623. Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. A review on relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (4) : 618—623
- [41] Gale W J, Camvardella C A, Bailey T B. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 201—207

EFFECTS OF FERTILIZATION ON SOIL ORGANIC CARBON AND DISTRIBUTION OF SOC IN AGGREGATES IN TIDAL FLAT POLDERS

Hou Xiaojing¹ Yang Jingsong^{1, 2†} Wang Xiangping¹ Jin Wenhui¹ Yao Rongjiang^{1, 2} Yu Shipeng^{1, 2}

(¹ State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(² Dongtai Institute of Tidal Flat Research, Nanjing Branch of the Chinese Academy of Sciences, Dongtai, Jiangsu 224200, China)

Abstract Soil organic carbon (SOC) content has long been recognized as an important indicator of soil quality. Soil aggregates are considered as the basic structure of soil. Soil aggregation and SOC accumulation are interrelated; SOC or its fractions are basic to aggregation process, whereas SOC sequestered within aggregates is protected against decomposition. This relationship between aggregates and SOC is considered as an important mechanism of physical protection of SOC. A number of studies have been conducted by scientists at home and abroad, focusing on distribution of SOC in aggregates in paddy soils, black soils, and degraded soils. However, few have reported about effect of fertilization on SOC distribution in aggregates in coastal saline soil. In this paper, an experiment was carried out in a field of coastal saline soil in North Jiangsu, to study effects of fertilization on soil organic carbon and SOC distribution in aggregates various in size. The experiment was designed to have four treatments: no fertilizer (CK), farm yard manure (FYM), commercial organic fertilizer (COF) and inorganic fertilizer (IF), and three replicates for each treatment. Soil samples were collected from the 0~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~60, 60~80, 80~100 cm soil layers, and then air-dried, and ground to pass a 0.15 mm sieve for determination of soil organic carbon with the oxidation method using potassium dichromate in 0.4 mol L⁻¹ K₂CrO₇-H₂SO₄ solution. Distribution of water-stable aggregates was measured according to Haynes (1993). Analysis of variance procedures were conducted using the SPSS statistical procedures. Results show that all the treatments were obviously higher than CK in content and density of soil organic carbon in the 0~30 cm soil layer, with Treatment FYM, in particular, which increased the content and density by 0.66 g kg⁻¹ and 0.07 kg m⁻², respectively. The water-stable aggregates in the studied field were dominated by those >5 mm and 0.25~0.5 mm, in particle size, which accounted for 37%~57% and 13%~20%, respectively. The fraction of >5 mm decreased in content, while the fraction of 0.25~0.5 mm increased along with soil depth in all the treatments. Treatment FYM significantly increased the content of the fraction of >5 mm, but decreased that of the fraction of 0.25~5 mm significantly. Distribution of SOC in aggregates was found to be that in aggregates varying from 0.5~1 mm to >5 mm in particle size, the smaller the aggregates, the higher the SOC content therein. The fraction of 0.5~1 mm size was the highest (6.83 g kg⁻¹) in SOC content. Compared with all the other treatments, Treatment FYM increased SOC content in all the fractions of aggregates. In the experiment field, SOC content in the soil was a positively related to that in the fraction of >5 mm ($p<0.01$), and negatively to that in the fraction of 0.25~5 mm ($p<0.01$ or $p>0.05$).

Key words Fertilization; Tidal flat; Soil aggregate distribution; Soil organic carbon

(责任编辑：陈德明)

CONTENTS

Reviews and Comments

A review of study on microbial ecology of nitrite-dependent anaerobic methane oxidation Shen Lidong (721)

Soil Science and Modern Agriculture

- Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Jiangxi Province in the past 30 years Zhao Xiaomin, Shao Hua, Shi Qinghua, et al. (730)
- Early warning of heavy metals potential risk governance in Beijing Jiang Hongqun, Wang Binwu, Liu Xiaona, et al. (745)
- Effect of deep application of straw on composition of humic acid in soil aggregates Zhu Shu, Dou Sen, Chen Lizhen (758)
- Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil Yu Yingliang, Xue Lihong, Yang Linzhang, et al. (766)
- Effects of water and fertilizer on fruit yield of high-yielding clonal *Camellia oleifera* Abel Zhang Wenyuan, Guo Xiaomin, Tu Shuping, et al. (774)

Research Articles

- VRML-based virtual reality modeling of three dimensional variation of soil electrical conductivity Li Hongyi, Gu Chengjian, Dan Chenglong, et al. (781)
- Effect of number of sampling sites on characterization of spatial variability of soil organic matter Hai Nan, Zhao Yongcun, Tian Kang, et al. (790)
- Research on soil water movement based on stable isotopes Jin Yurong, Lu Kexin, Li Peng, et al. (800)
- Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China Wu Liangquan, Wu Liang, Cui Zhenling, et al. (816)
- Effects of fertilization on soil organic carbon and distribution of SOC in aggregates in tidal flat polders Hou Xiaojing, Yang Jingsong, Wang Xiangping, et al. (827)
- Effect of long-term fertilizer application on distribution of aggregates and aggregate-associated organic carbon in paddy soil Mao Xiali, Lu Kouping, He Lizhi, et al. (837)
- Effects of biochar on N₂O and CH₄ emissions from paddy field under rice-wheat rotation during rice and wheat growing seasons relative to timing of amendment Li Lu, Zhou Ziqiang, Pan Xiaojian, et al. (847)
- Effects of successive application of crop-straw biochar on crop yield and soil properties in cambosols Liu Yuan, M. Jamal Khan, Jin Haiyang, et al. (857)
- Calculation of thickness of shear plane in diffuse double layer of constant charge soil colloid in single electrolyte system Ding Wuqun, Zhu Qihong, Wang Lei, et al. (867)
- Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site Li Shiye, Cheng Jiemin (877)
- Limiting factors for restoration of dumping sites of ionic rare earth mine tailings Liu Wenshen, Liu Chang, Wang Zhiwei, et al. (887)
- Residues of organochlorine pesticides in soils of Liaodong and Shandong Peninsulas Zhu Yingyue, Liu Quanyong, Li He, et al. (900)
- Long-term application of winter green manures changed the soil microbial biomass properties in red paddy soil Gao Songjuan, Cao Weidong, Bai Jinshun, et al. (909)
- Effects of intercropping with leguminous crops on tomato yield, soil nutrients and enzyme activity Dai Huihui, Hu Xuefeng, Cao Mingyang, et al. (917)

Research Notes

- Relationship of free amino acids in root exudates with wilt disease (*Fusarium oxysporum*) of faba bean Dong yan, Dong Kun, Tang Li, et al. (924)
- Effects of intercropping of wheat and faba bean on diversity of metabolic function of rhizosphere fungal community Hu Guobin, Dong Kun, Dong Yan, et al. (933)
- Evolvement of structure and abundance of soil nitrogen-fixing bacterial community in *Phyllostachys edulis* plantations with age of time He Donghua, Shen Qiulan, Xu Qiufang, et al. (941)
- Effect of long-term fertilization on carbon sequestration in lime concretion black soil relative to fertilization pattern Li Wei, Kong Lingcong, Zhang Cunling, et al. (949)
- Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of ¹⁵N in apple orchard Peng Ling, Wen Zhao, An Xin, et al. (955)

Cover Picture: Full view of ionic rare earth mine desert (by Tang Yetao, Liu Wenshen)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 4 July, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

