

DOI: 10.11766/trxb201811280536

有机物料对灌漠土结合态腐殖质及其组分的影响*

俄胜哲¹ 时小娟² 车宗贤¹ 海龙² 马倩倩² 袁金华¹ 姚佳璇²

(1 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

(2 甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070)

摘要 为查明不同有机物料的土壤培肥效果, 通过持续 7 a 的定位试验, 研究了长期不施肥 (CK)、仅施化肥氮磷 (NP)、70%NP+牛粪 (NF)、70%NP+猪粪 (ZF)、70%NP+鸡粪 (JF)、70%NP+沼渣 (ZZ)、70%NP+菌渣 (JZ) 和 70%NP+污泥 (WN) 对灌漠土结合态腐殖质及其组分的影响。结果表明, 施有机物料处理土壤有机碳含量和储量较对照 (CK) 和常规施肥 (NP) 均显著 ($P < 0.05$) 增加, 但增幅有差异, 鸡粪和污泥处理增幅最高, 其次为猪粪。牛粪、猪粪和污泥处理游离态有机碳含量显著高于对照和常规施肥, 而猪粪、鸡粪、菌渣、沼渣和污泥处理结合态腐殖质含量较对照和常规施肥显著 ($P < 0.05$) 增加。6 种有机物料处理土壤结合态腐殖质的胡敏酸 (HA) 含量较对照和常规施肥均显著 ($P < 0.05$) 增加, 而仅有菌渣对土壤松结态腐殖质影响不显著, 但施菌渣和沼渣土壤稳结态腐殖质含量较对照和常规施肥显著增加 ($P < 0.05$)。施鸡粪、沼渣和污泥土壤紧结态腐殖质和富里酸含量较对照和常规施肥显著增加 ($P < 0.05$), 而胡敏素含量仅有牛粪和鸡粪处理较对照处理显著增加 ($P < 0.05$)。综上, 有机物料种类显著影响土壤游离态有机碳、结合态有机碳含量、腐殖质结合形态及其组分, 进而影响土壤有机碳含量。猪粪、鸡粪和污泥的土壤培肥效果较好, 而牛粪、菌渣和沼渣的效果略差。

关键词 土壤有机碳; 结合态腐殖质; 河西绿洲; 灌漠土; 土壤培肥

中图分类号 S158 **文献标识码** A

土壤有机碳是土壤质量的重要指标, 在维系养分供应、构建良好土壤结构等方面有重要作用^[1], 也与全球气候变化密切相关^[2]。施有机物料是提升土壤有机碳含量的有效措施^[3]。土壤腐殖质 (HS) 是土壤有机质的主体, 约占土壤有机质的 70%~90%, 腐殖质除少部分以游离态存在外, 大部分与土壤矿质颗粒形成有机无机复合体^[4-5]。有机无机复合体一方面提高了有机碳的稳定性, 延长其在生态系统中的循环周期; 另一方面, 土壤矿物对有机质的吸附, 增强了土壤的吸附能力, 提高了土壤固持养分的能力^[6]。根据有机碳与土壤矿物结合牢固程度, 结合态腐殖质可分为松结态、稳结态和紧结态腐殖质^[7]。松结态是新鲜腐殖物质, 易分解转化,

供养分能力强, 是作物营养的直接来源, 而紧结态腐殖质的养分供给性差, 但储存有机碳和养分能力强^[7]。从溶解性角度, 腐殖质可分为胡敏酸 (Humic acid, HA)、富里酸 (Fulvic acid, FA) 和胡敏素 (Humin, HM)^[8]。胡敏酸分子边缘有大量的官能团, 可增加土壤吸附性能和保持水分及养分的能力, 并能促进土壤结构体的形成; 富里酸官能团中酚羟基和甲氧基较多, 对土壤肥力有一定作用; 胡敏素与黏粒矿物结合紧密, 活性较低^[9]。因此, 土壤腐殖质结合形态及组分与土壤有机碳固持、土壤的肥力质量和环境质量均密切相关, 一直是国内外学者研究的热点。

国内外有关施肥对土壤有机碳含量、土壤腐殖

* 国家重点研发计划项目 (2017YFD0801103)、国家自然科学基金项目 (41661072) 和甘肃省农业科学院创新专项 (2017GAAS26) 资助 Supported by the National Key Research and Development Program of China (No.2017YFD0801103), the National Natural Science Foundation of China (No. 41661072) and the Special Innovation Funds of Gansu Academy of Agricultural Sciences in China (No. 2017GAAS26)

作者简介: 俄胜哲 (1978—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事植物营养与土壤生态等方面的研究工作。E-mail: eshengzhe@163.com

收稿日期: 2018-11-28; 收到修改稿日期: 2019-05-07; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2019-06-06

质结合形态及组分影响的报道较多,如俄胜哲等^[10]研究表明,长期施用有机肥土壤有机碳含量和储量显著增加;而董珊珊等^[11]研究发现,秸秆深还有机碳含量显著提高,腐殖质组分含量也显著增加,亚表层累积效果更明显。吕岳等^[12]进一步研究发现,与新鲜鸡粪相比,施用分离鸡粪的固体,土壤松结态腐殖质含量显著提高,紧结态腐殖质含量显著减少,而对联结态和稳结态腐殖质含量的影响无明显差异。孟安华和吴景贵^[8]研究更是发现,施牛粪土壤胡敏酸碳(C)含量和C/H降低,氧(O)含量、O/C和(N+O)/C升高,富里酸C含量和C/N升高,N、O含量和O/C降低,降低了植菜土壤胡敏酸的缩合程度,升高了土壤胡敏酸的氧化程度和极性,降低了植菜土壤富里酸的氧化程度。涉及多种有机物且同时从腐殖质结合形态和组分含量方面系统解释固碳机制的研究报道较少。

河西走廊光热资源丰富,农牧产业发达,年产大量畜禽粪便、菌渣、沼渣和农作物秸秆等有机废弃物^[13],其随意堆弃,既浪费了宝贵的资源,又对生态环境产生不利影响。灌漠土是干旱内陆区一种典型的耕作土壤^[14],质地结构均一,结构面多细孔,主要分布于我国漠境地区内陆河流域的绿洲地带与黄河流域,是河西走廊的主要土壤类型,多属砂质黏壤^[15]。近年来,受高强度连作及施肥结构不合理等因素的影响,灌漠土结构遭到破坏,土壤板结、次生盐渍化和土壤养分不平衡等问题已成为了灌漠土农业发展的主要障碍。本文通过河西走廊灌漠土不同有机物料还田试验,研究土壤结合态腐殖质及其组分不同有机物料响应,以期从有机无机复合体及结合态腐殖质组分两方面系统揭示土壤有机碳固持及土壤培肥的机理机制,为河西走廊灌漠土壤培肥与改良及有机废弃物高效利用提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验始于2011年3月。试验地位于甘肃农业科学院张掖节水农业试验站(100°22'53"E,

38°50'42"N),海拔1570 m。区域光照充足,热量丰富,昼夜温差大。年日照时数2932~3085 h,年均气温7.3℃,≥10℃的积温1837~2870℃,年平均降水量仅129 mm,而年蒸发量达2048 mm,属典型的温带荒漠性气候,干旱绿洲灌区。土壤类型为灌漠土(Anthropic Camborthids)。2011年春试验播前耕作层(0~20 cm)土壤的基本理化性状为:土壤pH 8.67,有机碳(SOC)9.4 g·kg⁻¹,全氮(TN)1.0 g·kg⁻¹,全磷(TP)0.82 g·kg⁻¹,全钾(TK)22.2 g·kg⁻¹,全盐(TS)0.53 g·kg⁻¹,碱解氮(AN)68.31 mg·kg⁻¹,有效磷(AP)16.70 mg·kg⁻¹,速效钾(AK)109.1 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验设8处理:(1)CK,不施肥对照;(2)常规施肥,仅施化肥氮磷(NP);(3)70%NP+牛粪(NF);(4)70%NP+猪粪(ZF);(5)70%NP+鸡粪(JF);(6)70%NP+菌渣(JZ);(7)70%NP+沼渣(JZ);(8)70%NP+污泥(WN)。有机物处理年有机碳投入量2610 kg·hm⁻²,化肥氮磷(NP)施用量为常规肥施量的70%,未考虑有机物料所携入的氮磷钾养分。2011—2017年腐熟牛粪、猪粪、鸡粪、菌渣、沼渣和污泥平均有机质及氮磷钾养分含量(干基)见表1。

不同有机物有机碳及氮磷钾含量不同,因此有机物施用量及由有机物所携入的氮磷钾量差异较大,具体见表2。常规施肥指当地农户的施肥种类和施肥量,河西走廊土壤富钾,农户种植小麦和玉米多不施钾肥,仅施化肥氮磷。小麦常规化肥施用量为N 180 kg·hm⁻²、P₂O₅ 120 kg·hm⁻²;玉米为N 375 kg·hm⁻²、P₂O₅ 150 kg·hm⁻²。小麦、玉米化肥和有机物均做基肥施入,有机物料施用前人工用铁锹拍碎,过5 mm筛。轮作方式为小麦—小麦—玉米,一年一熟。小区长6 m,宽5 m,随机区组排列,重复3次。

1.3 栽培管理措施

氮肥采用尿素(刘家峡化工厂生产)、磷肥采用磷酸氢二铵(金昌化学工业集团生产)。牛粪、鸡粪和猪粪来自试验站附近养殖场,污泥来自张掖市污水处理厂,沼渣来自附近的农户,菌渣来自附近的食用菌栽培户。有机物料施用前需经3个月高温堆

表 1 有机物料中有机碳及养分平均含量

Table 1 Mean contents of organic carbon and nutrients in organic materials

有机物料 Organic materials	有机碳 Organic carbon/ (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N/ (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K/ (g·kg ⁻¹)	碳氮比 C/N	氮磷比 N/P
牛粪 Cow dung	208.5±56.0	12.3±1.8	5.93±2.55	23.7±9.4	17.0±4.2	2.9±1.4
猪粪 Pig manure	197.7±64.8	20.3±8.9	19.21±9.46	27.6±10.5	24.3±27.2	1.1±0.6
鸡粪 Chicken manure	148.1±66.6	16.6±7.2	11.32±3.80	30.7±15.2	9.5±3.7	1.4±0.3
菌渣 Mushroom substrate residue	150.3±40.2	6.2±1.0	5.24±2.30	18.2±4.7	25.5±7.6	1.6±0.8
沼渣 Biogas residue	218.1±180.5	11.4±2.6	7.21±4.22	30.8±7.6	19.4±5.3	2.1±1.1
污泥 Sewage sludge	153.0±57.2	14.8±3.8	9.91±4.12	16.0±4.2	10.4±2.9	1.7±0.7

注：表中数字为平均值±标准差，样本数 $n=7$ 。下同 Note: The values in table are means±standard deviation, and $n=7$ means that the number of samples is seven. The same below

表 2 有机物投入量及有机氮磷钾养分携入量

Table 2 Organic materials and nutrient inputs through application of organic material relative to type of organic material

有机物料 Organic materials	有机物 Organic materials/ (t·hm ⁻²)	全氮 Total N/ (kg·hm ⁻²)	全磷 Total P/ (kg·hm ⁻²)	全钾 Total K/ (kg·hm ⁻²)
牛粪 Cow dung	14.0 ±5.0	166±38	84±43	351±184
猪粪 Pig manure	17.1±12.3	285±91	281±117	508±379
鸡粪 Chicken manure	25.7 ±18.2	326±114	243±102	738±507
菌渣 Mushroom substrate residue	19.4 ±6.6	119±41	108±53	377±188
沼渣 Biogas residue	14.8±7.6	153±42	107±70	466±211
污泥 Sewage sludge	21.2 ±10.8	285±81	194±64	379±225

腐，施用量根据有机物的有机质含量确定。小麦播种量为每公顷 750 万粒，行距 15 cm。玉米种植密度每公顷 11.2 万株，行距 40 cm，株距 22 cm。

1.4 样品采集与处理

2017 年作物成熟期，采用“S”路线，每小区选 5 点采集 0~20 cm 土层土壤样品，5 点土壤样品混匀后，采用四分法取 2 kg 左右的混合土样，剔除石砾和植物残体，阴凉处风干，过 2 mm 孔径的筛后密封保存。四分法取过 2 mm 孔径筛的土壤样品 0.5 kg 左右，研磨过 0.25 mm 孔径的筛，用于土壤基本理化性状及土壤有机碳、腐殖物质、不同腐殖物质结合形态及其组分的提取及含量分析测定。

1.5 土壤腐殖物质结合形态及组分提取

土样制备：首先取过 0.25 mm 孔径筛的土样 5.000 g 于 100 mL 离心管中，加入 25 mL 1.85 g·cm⁻³ 溴化锌溶液超声分散 10 min，4 500 r·min⁻¹ 离心

10 min，离心过程重复两次，分离土壤游离态有机碳。经溴化锌提取土样加入 15 mL 95% 的酒精，2 500 r·min⁻¹ 离心 5 min，重复清洗 2 次；再向其中加入 15 mL 蒸馏水，2 500 r·min⁻¹，离心 5 min，再清洗 2 次；将其放入鼓风干燥箱（40℃）烘干，用于结合态腐殖质构成及其组分提取^[16]。

结合态腐殖质构成提取：称取以上烘干且过 0.25 mm 筛土样 5.000 g 于 100 mL 离心管中，加入 4 g·L⁻¹ NaOH 溶液 50 mL，充分摇匀，于 30℃ 保温箱内放置过夜，次日 4 500 r·min⁻¹ 离心 10 min，所得提取液收集至 250 mL 的容量瓶中，反复进行 3~4 次，直至提取液接近无色，此提取液即为松结合态腐殖物质。向以上剩余土壤中加入 50 mL 4 g·L⁻¹ NaOH 和 44.6 g·L⁻¹ Na₂P₂O₇ 的混合液，摇匀，于 30℃ 保温箱内放置过夜，次日 4 500 r·min⁻¹ 离心 10 min，反复进行 3~4 次，直至提取液接近无色，

此提取为稳结合态腐殖物质(II组)。向剩余的土壤中加入 15 mL 95%酒精, 2 500 r·min⁻¹离心 5 min, 烘干研磨装袋后, 称取 0.5000 g 于 150 mL 容量瓶测定其有机碳, 此为紧结合态腐殖质(III组)^[16]。

结合态腐殖质组分提取: 腐殖质组分包括胡敏酸(HA, 仅溶于碱不溶于酸)、富里酸(FA, 既溶于酸又溶于碱)和胡敏素(HM, 酸碱均不溶)。土壤腐殖质组成提取采用腐殖质组成修改法^[11]进行, 准确称取 5.000 g 重组土样, 以 0.1 mol·L⁻¹ Na₄P₂O₇+0.1 mol·L⁻¹ NaOH 混合液为提取剂从土壤中提取腐殖酸(Humus extracted, HE), 用 0.5 mol·L⁻¹ H₂SO₄将 pH 调至 1~1.5 之间, 70℃水浴保温 1.5 h, 分离腐殖酸得到胡敏酸(HA)与富里酸(FA), 剩余为胡敏素(HM)^[17]。

1.6 土壤理化性状测定

土壤 pH 采用蒸馏水浸提, 土水比为 1:2.5 (W:V), pH 计测定; 土壤含水量采用烘干法测定; 土壤全氮用凯氏定氮法测定; 碱解氮用碱解扩散法测定; 全磷和全钾采用 NaHCO₃ 熔融后, 分别用钼锑抗比色法和火焰光度法测定; 土壤有效磷用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提, 钼锑抗比色法测定; 速效钾采用 1 mol·L⁻¹ 醋酸铵浸提, 火焰光度法测定^[17]。土壤总有机碳、腐殖物质碳、不同结合形态腐殖质碳及胡敏酸组分碳采用重铬酸钾氧化—外加热法测定^[9]。

1.7 数据计算与统计分析

土壤有机碳储量(SOC stock, SOCS)计算公式如下:

$$SOCS=C \times BD \times d \times 10 \quad (1)$$

式中, SOCS 为土壤有机碳储量, Mg·hm⁻²; C 为土壤有机碳含量, g·kg⁻¹; BD 为土壤容重, g·cm⁻³; d 为土层深度, m。由于土壤中有机碳移动性较弱, 同时试验耕作翻耕深度不超过 20 cm, 因此, 本研究仅计算 0~20 cm 土层中有机碳储量, 即 d 为 0.2 m。文中数据为 3 次重复的平均数, 以烘干(105℃, 24 h)土壤质量计。数据统计分析采用 SPSS 18.0 软件进行, 方差分析选用单因素方差分析模型(One-way ANOVA)进行, 多重比较采用新复极差法(Duncan's 法, P<0.05)。图表绘制采用 Excel 2007 进行。

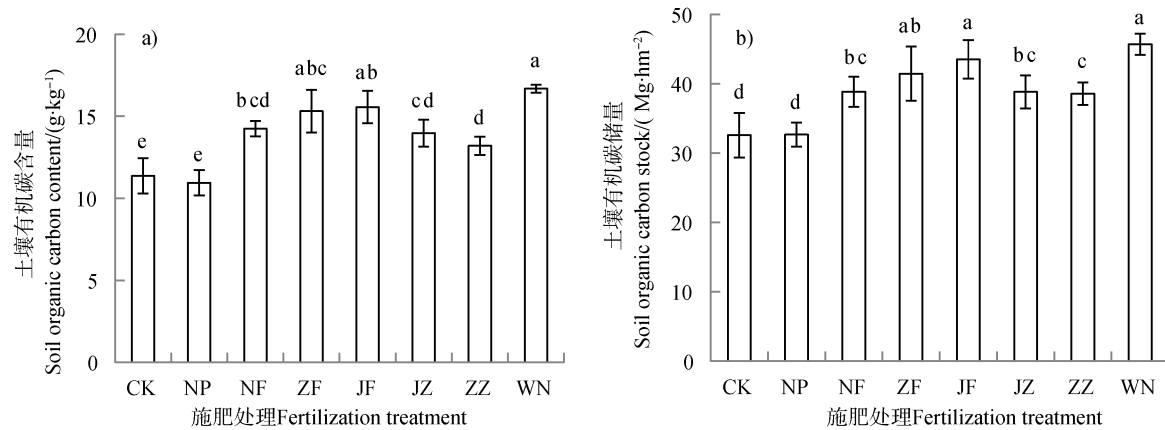
2 结果

2.1 有机物料对土壤有机碳含量和储量的影响

由图 1 可看出, 施有机物料处理土壤有机碳(SOC)含量较对照(CK)和常规施肥(NP)均显著增加, 其中, 牛粪(NF)、猪粪(ZF)、鸡粪(JF)、菌渣(JZ)、沼渣(ZZ)和城市污泥(WN)处理分别较对照增加 25.3%、34.7%、36.9%、23.0%、16.2%、46.8%, 较常规施肥增加 30.2%、39.9%、42.2%、27.7%、20.7%、52.5%。虽然不同有机物处理土壤有机碳投入量相同, 但污泥处理土壤有机碳含量显著高于牛粪、菌渣和沼渣处理, 而猪粪、鸡粪及污泥 3 处理间差异不显著, 牛粪、菌渣及沼渣 3 处理间差异也不显著。这可能与不同有机物的分子结构及化学组成不同, 其在土壤中腐解转化及有机碳的稳定性不同有关, 同时也可能与施用不同有机物所导致的作物根茬还田量不同有关。施用有机物土壤有机碳储量较对照和常规施肥也显著增加, 其中鸡粪和污泥处理有机碳储量最高, 显著高于牛粪、菌渣和沼渣处理, 但污泥与鸡粪和猪粪处理、沼渣与菌渣处理间差异不显著。

2.2 有机物料对土壤游离态及结合态有机碳含量的影响

施牛粪、猪粪和污泥土壤游离态有机碳含量较对照(CK)和常规施肥(NP)均显著增加, 分别较对照增加了 41.0%、44.6%、41.2%, 较常规施肥增加了 53.8%、57.8%、54.1%, 但这 3 处理间差异不显著(图 2)。施鸡粪游离态有机碳含量较常规施肥也显著增加, 而与对照差异不显著。化肥氮磷配施对土壤游离态有机碳含量影响不显著。不同施肥处理土壤结合态有机碳含量仅牛粪处理与对照和常规施肥处理差异不显著, 其他有机物处理下其含量均显著高于对照(CK)和常规施肥(NP)。同样, 氮磷配施(NP)对土壤结合态有机碳无显著影响(图 2)。猪粪、鸡粪、菌渣、沼渣和污泥处理结合态腐殖质有机碳含量分别较对照(CK)增加 23.7%、38.3%、19.5%、18.1%、53.0%, 较常规施肥增加 22.0%、36.4%、17.8%、16.5%、50.9%。不同有机物处理下, 污泥处理土壤结合态有机碳含量最高, 其次为鸡粪, 这可能由于城市污泥富含大分子难分解有机物, 而鸡粪还田携入大量氮素, 有利于与土



注: CK、NP、NF、ZF、JF、JZ、ZZ 和 WN 分别代表对照 (不施肥)、氮磷配施 (常规施肥)、牛粪+氮磷肥、猪粪+氮磷肥、鸡粪+氮磷肥、菌渣+氮磷肥、沼渣+氮磷肥和污泥+氮磷肥。同系列柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著, 下同 Note: CK, NP, NF, ZF, JF, JZ, ZZ and WN stands for no fertilizer, chemical fertilizers NP, chemical fertilizers NP coupled with cow dung, chemical fertilizers NP coupled with pig manure, chemical fertilizers NP coupled with chicken manure, chemical fertilizers NP coupled with mushroom residues, chemical fertilizers NP coupled with biogas residue, chemical fertilizers NP coupled with sewage sludge and chemical fertilizers NP coupled with sewage sludge, respectively. Different small letters on columns of the same series indicate significant differences between treatments at $P < 0.05$ level. The same below

图 1 各处理土壤有机碳含量 (a) 和储量 (b) 的变化

Fig. 1 Effect of organic materials on soil organic carbon content (a) and stock (b) relative to type of organic material

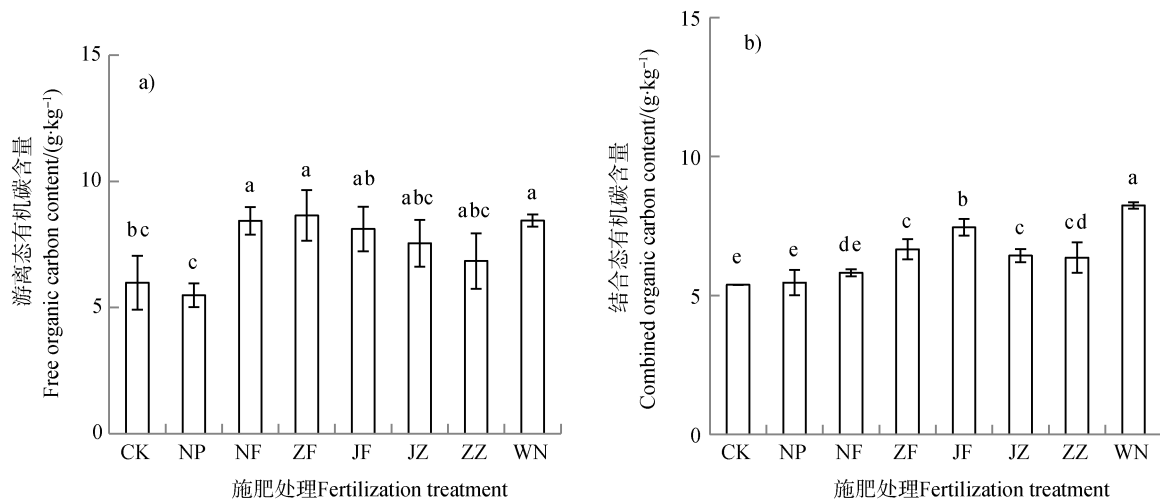


图 2 各处理土壤游离态 (a) 和结合态 (b) 有机碳含量的变化

Fig. 2 Effect of organic materials on soil free (a) and combined organic carbon (b) in content relative to type of organic material

壤形成有机无机复合体, 因而提高结合态腐殖质含量。猪粪、菌渣和沼渣处理土壤结合态有机碳含量增幅较低, 沼渣、菌渣和猪粪 3 处理间结合态有机碳含量差异不显著。不同施肥处理土壤结合态有机碳占土壤总有机碳比例在 43.6%~49.4%之间, 而游离态有机碳的比例达 50.6%~59.1%, 略高于结合态有机碳含量。

2.3 有机物料对土壤结合态腐殖质组成的影响

不同处理土壤松结合态腐殖物质有机碳含量在

1.1~2.6 g·kg⁻¹ 之间, 除菌渣外, 其他有机物处理土壤松结合态腐殖质含量较对照 (CK) 和常规施肥 (NP) 均显著增加, 牛粪、猪粪、鸡粪、沼渣和污泥处理土壤松结合态腐殖质分别较对照 (CK) 增加 83.4%、83.2%、82.8%、55.6%、146.1%, 较常规施肥增加 83.1%、83.0%、82.5%、55.4%、145.7% (图 2)。不同有机物间, 污泥处理土壤松结合态腐殖质含量显著高于其他有机物, 其次为牛粪、猪粪和鸡粪处理。不同处理稳结合态腐殖质有机碳含量在 0.56~1.58

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 除菌渣外, 其他处理稳结态腐殖质含量明显低于其松结态腐殖质含量。菌渣和沼渣处理土壤稳结态腐殖质含量较对照分别增加 76.1% 和 19.4%, 而较常规施肥分别增加 100.1% 和 35.6%。而鸡粪和猪粪处理稳结态腐殖质含量较对照则显著降低, 牛粪处理与对照差异不显著。土壤紧结态腐殖质含量 $3.0\sim 4.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 施用鸡粪、沼渣和污泥处理土壤紧结态腐殖质含量较对照和常规施肥均显著增加。鸡粪和菌渣处理土壤紧结态腐殖质含量与常规施肥差异也达到显著水平, 但猪粪、牛粪和菌渣处理土壤紧结态腐殖质含量与对照差异不显著。以上结果表明, 碳氮比较高的有机物还田不利于土壤松结态和紧结合态腐殖质的形成, 而有利

于土壤稳结态腐殖质的形成。

不同施肥处理土壤松结态、稳结态及紧结态腐殖质占土壤结合态腐殖质的比例分别在 17.9%~32.9%、14.6%~21.7% 和 46.6%~68.7% 之间(表 3)。除菌渣处理外, 其余处理均以紧结态比例最大, 其次为松结态, 而稳结态腐殖质所占比例最小。施菌渣对松结态腐殖质占土壤结合腐殖质比例的影响不显著, 而施用其他有机物均显著增加了松结态腐殖质占土壤结合腐殖质的比例。施沼渣较对照可显著提高紧结态占土壤结合态腐殖质的比例, 施污泥较对照则显著降低此比例。不同处理间稳结态腐殖质占土壤结合态腐殖质差异均不显著。松结态腐殖质与稳结态腐殖质的比值在 0.7~3.4 之间, 除菌渣和沼

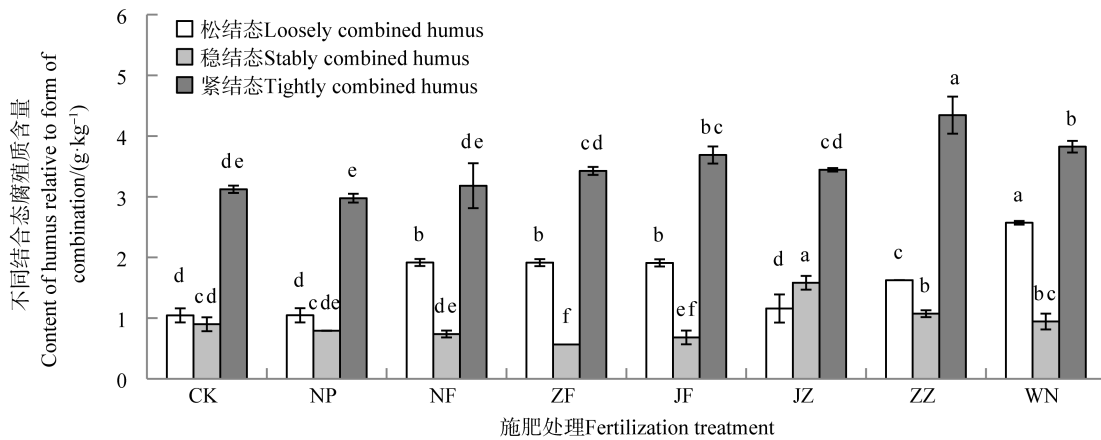


图 3 各处理土壤腐殖质结合形态的变化

Fig. 3 Combination form of soil humus relative to treatment

表 3 各处理土壤结合态腐殖质组成的变化

Table 3 Composition of soil combined humus relative to treatment

处理 Treatments	LCH/COC/%	SCH/COC/%	TCH/COC/%	LCH/SCH	LCH/TCH	SCH/TCH
CK	19.4c	17.7a	58.0ab	1.16b	0.33c	0.29b
NP	19.1c	16.3a	54.6bc	1.32b	0.35c	0.27b
NF	32.9a	18.9a	54.6bc	2.61a	0.61ab	0.24bcd
ZF	28.8ab	14.6a	51.5bc	3.38a	0.56b	0.17d
JF	25.7b	15.7a	49.5bc	2.87a	0.52b	0.18cd
JZ	17.9c	21.7a	53.6bc	0.73b	0.34c	0.46a
ZZ	21.7b	18.9a	59.7a	1.15b	0.36c	0.32b
WN	31.2a	17.9a	46.4c	2.76a	0.67a	0.25c

注: LCH、SCH、TCH 和 COC 分别表示松结态、稳结态、紧结态及结合态腐殖质。同列平均值后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同 Note: LCH, SCH, TCH and CH stands for loosely combined, stably combined, tightly combined and combined organic carbon, respectively. Mean values followed by different small letters within the same row indicate significant differences between treatments at $P<0.05$ level. The same below

渣外, 其他有机物处理松稳比 (松结态腐殖质与稳结态比值) 较对照和常规施肥均显著增加, 但这些处理间差异不显著。松紧比 (松结态腐殖质与紧结态比值) 在 0.33~0.61 之间, 同样除菌渣和沼渣, 施其他有机物显著增加了松紧比, 施猪粪和鸡粪处理此比值显著低于污泥处理。稳结态与紧结态比值在 0.2~0.5 之间, 以菌渣处理最高, 显著高于其他处理, 而猪粪和鸡粪处理最低, 显著低于对照、常规施肥、菌渣及沼渣 4 处理。

2.4 有机物料对土壤结合态腐殖质组分的影响

施有机物料土壤胡敏酸含量较对照和常规施肥均显著增加, 牛粪、猪粪、鸡粪、菌渣、沼渣、污泥处理分别较对照增加 54.3%、40.4%、143.0%、111.9%、50.7%、47.1%, 较常规施肥增加 54.7%、40.7%、143.6%、112.3%、51.0%、47.4% (图 4)。鸡粪处理增幅最大, 其次为菌渣, 而牛粪、猪粪、沼渣和污泥 4 处理增幅最低。富里酸的变化与胡敏酸明显不同, 鸡粪、沼渣和污泥处理土壤富里酸含量较对照和常规施肥显著增加, 而其余有机物料对土壤富里酸含量影响不显著。土壤胡敏素含量仅牛粪和鸡粪处理较对照和常规施肥显著增加, 分别较对照增加 22.9%、37.6%, 较常规施肥增加 6.0%、18.7%, 牛粪和鸡粪处理间差异不显著, 施其他有机物对土壤胡敏素含量影响也不显著。鸡粪处理土壤结合态腐殖质中胡敏酸、富里酸和胡敏素含量较对照和常规施肥均显著增加, 牛粪处理胡敏酸和胡敏素含量较对照和常规施肥显著增加, 而污泥处理胡敏酸和富里酸含量较对照和常规施肥显著增加。

不同施肥处理土壤结合态腐殖质中胡敏酸、富里酸和胡敏素比例在 8.8%~16.0%、20.4%~26.3% 和 45.4%~65.4% 之间, 以胡敏素含量最高, 其次为富里酸, 而胡敏酸的含量最低 (表 4)。除沼渣和污泥处理外, 施其他有机物土壤胡敏酸占结合态腐殖质比例较对照和常规施肥均显著增加, 表明土壤结合态腐殖质中活性组分比例显著增加。不同有机物料间以鸡粪和菌渣最高, 其次为牛粪和猪粪处理。施不同有机物对胡敏素占土壤结合态腐殖质比例影响差异较大, 牛粪处理其比例较对照略有增加, 而施其他有机物此比例则呈现减少趋势, 但差异均未达到显著水平。不同有机物间, 牛粪处理土壤胡敏素占土壤结合态腐殖质比例显著高于鸡粪和污泥处理, 而施不同有机物对土壤富里酸占土壤腐殖质比例影响不明显。

不同施肥处理胡敏酸与富里酸之比在 0.41~0.77 之间, 胡敏酸与胡敏素之比在 0.14~0.28 之间, 而富里酸与胡敏素之比在 0.30~0.47 之间 (表 4)。施牛粪较对照显著增加了胡敏酸与富里酸之比, 但其他有机物处理土壤胡敏酸与富里酸的比值与对照和常规施肥差异不显著。施鸡粪和菌渣显著提高了胡敏酸与胡敏素之比, 沼渣处理胡敏酸与胡敏素之比虽显著高于常规施肥, 但与对照差异不显著。施鸡粪和污泥土壤富里酸与胡敏素之比较对照和常规施肥均显著提高, 牛粪和菌渣处理土壤富里酸与胡敏素之比较常规施肥也显著增加, 但与对照差异不显著。以上表明, 施用鸡粪、菌渣、沼渣和污泥, 土壤腐殖质组分中新鲜腐殖质含量显著增加, 腐殖质活性增强, 土壤供肥能力提高。

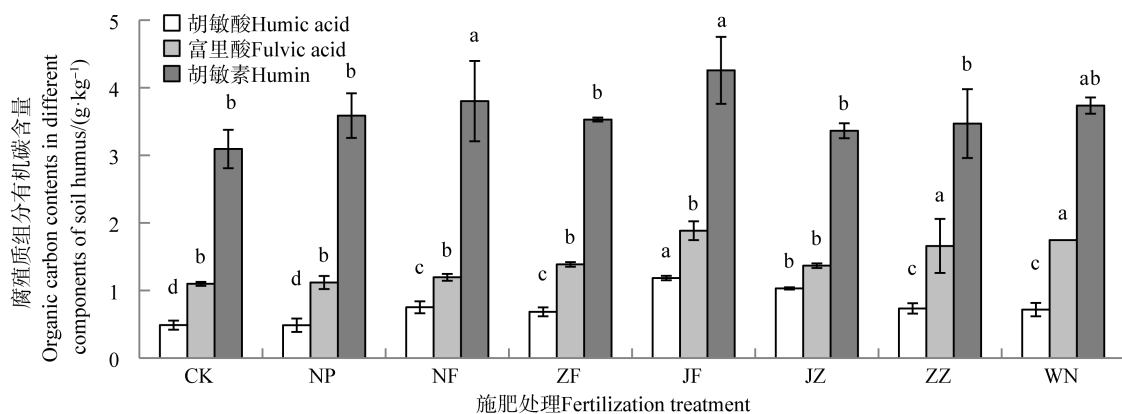


图 4 各处理土壤结合态腐殖质组分含量的变化

Fig. 4 Content of combined humus relative to treatment

表 4 各处理土壤结合态腐殖质组分构成的变化

Table 4 Composition of soil combined humus relative to treatment

处理 Treatments	HA/ COC/%	FA/COC/%	HM/ COC/%	HA/ FA	HA/HM	FA/ HM
CK	9.0d	20.4a	57.4abc	0.44bc	0.16cd	0.35bc
NP	8.8d	20.5a	65.8a	0.45bc	0.14d	0.30c
NF	12.9bc	20.6a	65.4ab	0.64a	0.20cd	0.31c
ZF	10.2c	20.9a	53.1bc	0.50c	0.19cd	0.39abc
JF	15.9ab	25.3a	57.1abc	0.60abc	0.28ab	0.47a
JZ	16.0a	21.3a	52.3c	0.77ab	0.31a	0.40ab
ZZ	11.5cd	26.3a	54.3abc	0.50bc	0.21abc	0.41ab
WN	8.7d	21.2a	45.4c	0.41c	0.19cd	0.47a

注：HA、FA 和 HM 分别表示胡敏酸、富里酸和胡敏素。下同 Note: HA, FA and HM stand for humic acid, fulvic acid and humin. The same below

2.5 土壤有机碳组分间相关性

由表 5 可以看出,土壤有机碳储量及含量与土壤结合态有机碳、游离态有机碳、松结合态腐殖质、紧结合态腐殖质、胡敏酸、富里酸和胡敏素含量均显著正相关,但与稳结合态腐殖质的相关性不明显。土壤结合态有机碳含量与松结合态和紧结合态腐殖质含量显著正相关,而与稳结合态腐殖质含量相关性不显著。松结合态与紧结合态显著正相关。由此表明,施用不同有机物料土壤有机碳储量和含量及结合态有机碳含量与土

壤稳结合态腐殖质含量变化不同步,土壤游离态、松结合态和紧结合态腐殖质及胡敏酸、富里酸和胡敏素含量增加是土壤有机碳含量提升的主要内因。结合态有机碳与胡敏酸、富里酸和胡敏素的含量均显著正相关,松结合态与富里酸和胡敏素显著正相关,紧结合态腐殖质仅与富里酸显著正相关,而稳结合态与胡敏酸、富里酸和胡敏素含量的相关性均不显著,进而表明,施用不同有机物料,土壤腐殖质结合形态和腐殖质组分的变化过程和增减幅度存在明显差异,并非同步等量变化。

表 5 土壤有机碳组分间相关性

Table 5 Correlations between soil organic carbon fractions

土壤有机碳组分 SOC fraction	SOCS	SOC	COC	FOC	LCH	SCH	TCH	HA	FA	HM
SOCS	1	0.85**	0.85**	0.68**	0.81**	-0.12	0.44*	0.60**	0.67**	0.45*
SOC		1	0.83**	0.92**	0.83**	-0.10	0.43*	0.53**	0.66**	0.42*
COC			1	0.54**	0.80**	-0.01	0.55**	0.53**	0.75**	0.50*
FOC				1	0.69**	-0.15	0.26	0.42*	0.45*	0.27
LCH					1	-0.33	0.45*	0.26	0.60**	0.47*
SCH						1	0.20	0.26	0.01	-0.29
TCH							1	0.30	0.76**	0.10
HA								1	0.57**	0.51*
FA									1	0.39
HM										1

注：SOCS 表示有机碳储量；*, **分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著 Note: SOCS represent soil organic carbon stock; *and **represents correlation significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

3 讨 论

3.1 不同有机物料对土壤有机碳含量和储量及组分的影响

土壤有机碳的数量与质量是土壤肥力的重要表征,保持较高水平的有机质数量和质量是作物高产稳产的先决条件^[18]。施有机物料是提升土壤有机碳含量的重要手段。大量研究^[7,19-20]表明,长期有机肥单施或与化肥配施均能显著促进土壤有机碳和腐殖质的积累。本研究与此一致,但不同有机物处理虽有机碳年投入量相等,土壤有机碳含量和储量的增幅却存在显著差异。污泥处理土壤有机碳含量和储量最高,其次为鸡粪和猪粪处理,其他有机物料处理土壤有机碳含量、储量的增幅略低(图 1)。其原因可能有:(1)不同有机物料的作物增产幅度不同,作物根茬还田量自然也不同,会导致土壤有机碳含量和储量有差异。(2)不同有机物在土壤中的矿化分解和腐殖质化速率不同,有机物矿化分解和腐殖质化速率差异可能与不同有机物氮磷钾等养分投入量不同及有机物料的内在组成和分子结构不同有关,致使土壤有机碳含量和储量的增幅及土壤培肥效果不同,猪粪、鸡粪和污泥有机物料氮磷养分投入量大(表 2),有利于有机物的腐殖化和稳定,因此土壤培肥效果较好,而牛粪、沼渣及菌渣培肥效果则略差。丁雪丽等^[21]研究也表明,不同有机物由于具有不同的蛋白质、纤维素、半纤维素和木质素等结构的组成比例,因此归还至土壤中的有机物在土壤中的分解速率、分解产物及其转化途径会有

明显差异。

土壤有机碳是不同种类、不同分解等级的有机碎片组成的混合物,容易被微生物分解。土壤有机碳转化易受温度、水分、有机物质组成、土壤黏粒含量、质地等多种因素的影响^[22]。有研究^[21]认为,有机碳土壤固持由有机物的分子结构决定,即有机物质包括易分解组分和难分解组分,易分解组分腐解耗尽后,微生物才转化后者;而最新研究则认为,土壤中有机质稳定性并非由其分子结构决定,更多是因其与矿物结合而导致空间隔离,微生物难以接触而不易被分解,同时受控于环境因子,如部分植物来源的有机组分在分子结构上相对稳定,但在土壤中反而更容易被分解^[23]。本研究发现,猪粪、鸡粪和污泥处理土壤游离态和结合态有机碳含量均显著高于对照,这可能是猪粪、鸡粪和污泥的碳氮比较低,腐殖质化程度高,腐解缓慢,城市污泥中同时含有大量难降解的聚丙烯酰胺所致(表 1)。分析土壤总有机碳和结合态有机碳含量与不同有机物碳氮比的关系,发现随着有机物碳氮比的增加,土壤总有机碳和结合态有机碳含量有逐渐降低的趋势(图 5)。表明不同有机物化学组成及分子结构差异可能是引起土壤有机碳积累量差异重要原因,不同有机物化学组成及分子结构差异不但影响其腐解速度,也可能影响其与无机矿物形成有机无机复合体松紧度,进而影响其抗分解能力。

游离态有机碳主要来源于有机肥物料的分解和土壤腐殖质降解,而结合态腐殖质碳主要来源于有机物料和游离态有机碳的腐殖化,二者数量的变化

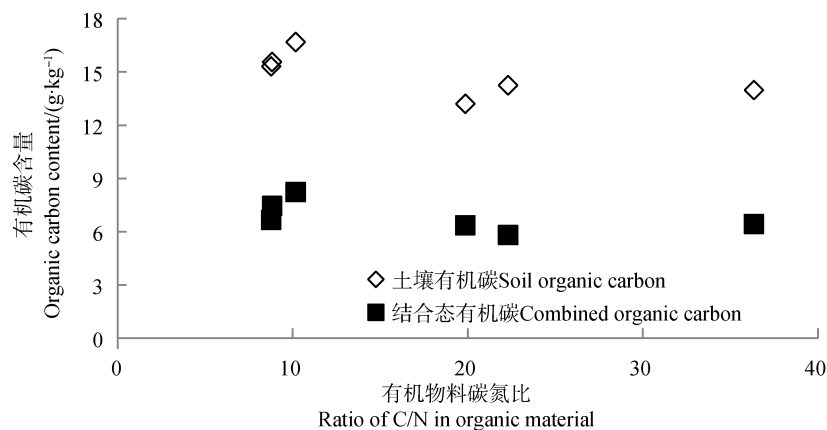


图 5 土壤有机碳含量与有机物料碳氮比的关系

Fig. 5 Relationships of contents of soil organic carbon and C/N ratio in organic material

在一定程度上代表着土壤内部有机碳的动态转化过程^[24]。土壤腐殖质是土壤有机质的主体，很少以游离态存在，一般占土壤总有机碳的 85%~90%^[6,18]。本研究发现土壤结合态腐殖质比例为 43.6%~49.4%，游离态比例达 50.6%~59.1%，略高于结合态土壤腐殖质。这可能与有机物大量投入，处于半分解状态的植物残体大量存在有关，同时还可能与河西走廊气候环境条件、灌漠土矿物组成及质地有关。土壤矿物和有机质通过一定的作用力而结合，而不同矿物对腐殖质的吸附量差异较大，这与矿物的比表面积、表面酸碱位和表面电荷有关。铁/铝氧化物对腐殖质的吸附最强，其次是黏土矿物，石英、长石等矿物颗粒对腐殖质的吸附最弱^[25]。灌漠土原生矿物以石英为主，绿帘石等蚀变矿物质量分数较高，次生矿物多含石膏和方解石等，黏土矿物主要为伊利石、绿泥石、高岭石和蒙脱石，且黏粒含量较低^[26]，加之干旱缺水，原有机碳易矿化，外源有机残体不易腐烂降解成小分子有机物质而被保存于土壤中，以及土壤 pH 较高等原因，可吸附有机质的矿物表面位点较少^[21]，使得土壤中游离态有机碳含量较高，结合态腐殖质含量较低。

3.2 不同有机物料对土壤结合态腐殖质构成和组分的影响

松结态腐殖质结构简单，易被微生物利用，有利于土壤物理化学性质的改善，通常随土壤肥力水平提高而增多。紧结态腐殖质稳定性强，养分供给性差，但腐殖质累积和养分的贮蓄能力强^[16]。吕岳等^[12]研究表明，施鸡粪可显著提高暗棕壤松结态和稳结态腐殖质含量，但对紧结态腐殖质含量无明显影响。张电学等^[24]研究结果则表明，化肥与有机肥、麦秸和玉米秸配施，土壤松结态、稳结态和紧结态腐殖质含量较对照均显著增加，但不同有机物间差异不显著。本研究结果则显示，除菌渣外，施其他有机物土壤松结态腐殖质含量较对照和常规施肥均显著增加，同时不同有机物料增幅有明显差异。污泥处理土壤松结态腐殖质增幅最大，其次为猪粪牛粪和鸡粪处理，而沼渣处理的增幅最低（图 3）。菌渣和沼渣处理土壤稳结态腐殖质含量较对照显著增加，而牛粪处理与对照差异不显著，相反鸡粪和猪粪处理土壤稳结态腐殖质含量则较对照显著降低

（图 3）；沼渣、污泥和鸡粪处理土壤紧结态腐殖质含量显著增加，表明施用牛粪、猪粪鸡粪及污泥显著提高了土壤有机碳的活性和养分供应能力，其中污泥和鸡粪的土壤培肥效果最佳，不但提高了土壤的供肥能力，也提高了土壤蓄肥能力。同种结合态腐殖质含量在不同有机物间差异较大，证实有机物化学组成、分子结构及其腐解产物分子结构可能对土壤有机无机复合体的形成有显著影响，进而影响土壤有机碳和腐殖质含量及其土壤固持效率。除菌渣和沼渣外，其他有机物料处理松结态腐殖质与稳结态腐殖质及松结态腐殖质与紧结态腐殖质比值均显著增加（表 3），表明施用牛粪、猪粪、鸡粪和污泥增加了土壤新鲜腐殖质的比例，提升了土壤腐殖质的质量。

胡敏酸是土壤腐殖质中的活跃物质，较富里酸酸度小，呈微酸性，但阳离子交换量较高，对土壤结构的形成及保肥和供肥性能密切相关^[18]。富里酸在腐殖质中分子量较小、活性较大、氧化程度较高，它既是形成胡敏素的一级物质，又是胡敏酸分解的一级产物，在胡敏酸的积累和更新中起着重要作用。胡敏素是有机碳和氮的重要组成部分，在碳截获、土壤结构、养分保持、氮素循环、生物地球化学循环等方面均占有重要地位^[2]。吴萍萍等^[5]研究发现，增施有机肥、秸秆及绿肥，安徽白土的胡敏酸和胡敏素含量较仅施化肥处理明显增加，且胡富比明显提高，但其对土壤富里酸含量影响不显著。同样，刘军等^[27]研究表明，秸秆还田耕作层土壤胡敏酸和胡敏素较对照显著提高，而对富里酸含量影响不显著。本研究结果则表明，施有机物结合态有机碳的胡敏酸含量较对照均显著提高；鸡粪、沼渣和污泥处理土壤富里酸含量也较对照显著增加，而胡敏素含量仅有牛粪和鸡粪处理较对照显著增加（图 4），表明施这 6 种有机物料均能显著提高土壤活性腐殖质组分，而施牛粪、鸡粪和污泥不但增加了土壤活性腐殖质组分含量，提高了土壤养分供应能力，同时还增加了惰性腐殖质组分含量，提升了土壤有机碳固持能力。这与施不同有机物处理土壤结合态腐殖质含量增幅大小规律基本一致，进一步证实，有机物的分子结构对土壤有机碳固持、土壤腐殖质结合形态及其组分有显著影响，而有关内在机理需进一步研究。

4 结 论

施牛粪、猪粪、鸡粪、菌渣、沼渣和污泥灌漠土有机碳的含量和储量均显著增加,但增幅有差异,猪粪、鸡粪和污泥的土壤培肥效果较好,而牛粪、菌渣和沼渣效果略差。不同有机物间结合态腐殖质构成及组分变化显著不同,施鸡粪、沼渣和污泥既可增加土壤松结态腐殖质,也可提高紧结态腐殖质;施牛粪、猪粪、鸡粪、菌渣、沼渣和污泥结合态有机碳的胡敏酸含量显著提高,沼渣、污泥和鸡粪处理富里酸也显著增加,而仅牛粪和鸡粪处理胡敏素含量显著增加,说明不同有机物或其分解产物的化学组成及结构既显著影响腐殖质结合形态,也影响腐殖质的化学组分,两者综合影响有机碳的土壤固持效率和土壤培肥效果。因此,进行土壤培肥时应因需而选择不同有机物,而且可以考虑不同有机物配合施用。

参 考 文 献

- [1] 韩宾,徐尚起,张海林,等.耕作方式对土壤腐殖质结合状态及组成的影响.中国农业大学学报,2010,15(1):72—78
Han B, Xu S Q, Zhang H L, et al. Effects of tillage practices on combined forms of humus and humus components (In Chinese). Journal of China Agricultural University, 2010, 15 (1): 72—78
- [2] 龚伟,颜晓元,王景燕,等.长期施肥对小麦-玉米作物系统土壤腐殖质组分碳和氮的影响.植物营养与肥料学报,2009,15(6):1245—1252
Gong W, Yan X Y, Wang J Y, et al. Effects of long-term fertilization on soil humus carbon and nitrogen fractions in a wheat-maize cropping system (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15 (6): 1245—1252
- [3] 樊德祥,依艳丽,贺忠科,等.沈阳市郊日光温室土壤有机碳组成特征研究.土壤通报,2008,39(4):748—751
Fan D X, Yi Y L, He Z K, et al. Organic carbon compositions of soil in vegetable sunlight greenhouse (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39 (4): 748—751
- [4] 袁铭章,辛励,刘树堂,等.长期秸秆还田不同施肥对土壤腐殖质含量及结构的影响.华北农学报,2016,31(5):205—209
Yuan M Z, Xin L, Liu S T, et al. Effects of different fertilization treatments on soil humus content and structure in long term continuous cropping soil (In Chinese). Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31 (5): 205—209
- [5] 吴萍萍,王家嘉,李录久.不同施肥措施对白土腐殖质组成的影响.土壤,2016,48(1):76—81
Wu P P, Wang J J, Li L J. Effects of different fertilizations on humus components of white soil (In Chinese). Soils, 2016, 48 (1): 76—81
- [6] 王磊,应蓉蓉,石佳奇,等.土壤矿物对有机质的吸附与固定机制研究进展.土壤学报,2017,54(4):805—818
Wang L, Ying R R, Shi J Q, et al. Advancement in study on adsorption of organic matter on soil minerals and its mechanism (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 (4): 805—818
- [7] 接晓辉,杨丽娟,周崇峻,等.长期施肥对保护地土壤腐殖质总量及各形态之间比值的影响.土壤通报,2009,40(4):805—808
Jie X H, Yang L J, Zhou C J, et al. Effect of long-term fertilization on the contents of combined formation of humus in the protected cultivation (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science. 2009, 40 (4): 805—808
- [8] 孟安华,吴景贵.不同处理牛粪对植菜土壤腐殖质结构特征的影响.水土保持学报,2015,29(4):223—228,266
Meng A H, Wu J G. Effects of different cow dung treatments on humus structure of vegetable planting soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29 (4): 223—228, 266
- [9] 依洪涛,姜丹丹,戴建军,等.有机肥施用年限对碱化草甸土腐殖质组成的影响.中国土壤与肥料,2012(6):10—13
Yi H T, Jiang D D, Dai J J, et al. Effects of different age of application organic fertilization on humus fractions in alkalized meadow soil (In Chinese). Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012 (6): 10—13
- [10] 俄胜哲,车宗贤,曾希柏,等.长期施肥对河西绿洲灌漠土有机碳库储量及水稳性团聚体的影响.土壤通报,2014,45(5):1157—1163
E S Z, Che Z X, Zeng X B, et al. Effects of long-term fertilization on irrigated desert soil organic carbon stock and soil aggregate in Hexi Oasis (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45 (5): 1157—1163
- [11] 董珊珊,窦森,邵满娇,等.秸秆深还不同年限对黑土腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响.土壤学报,2017,54(1):150—159
Dong S S, Dou S, Shao M J, et al. Effect of corn stover deep incorporation with different years on composition of soil humus and structural characteristics of humic acid in black soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 (1): 150—159
- [12] 吕岳,吴景贵,荣立杰,等.鸡粪固液分离产物对暗棕壤腐殖质结合形态的影响.吉林农业大学学报,2015,37(5):575—580

- Lü Y, Wu J G, Rong L J, et al. effects of chicken manure solid-liquid separation products on combined forms of humus in dark brown soil (In Chinese). Journal of Jilin Agricultural University, 2015, 37 (5): 575—580
- [13] 王丁宏, 党婕, 祁宁, 等. 河西走廊农业优势特色产业选择. 生产力研究, 2017 (1): 51—55
Wang D H, Dang J, Qi N, et al. Advantage and characteristic agricultural industry choice in Hexi corridor (In Chinese). Productivity Research, 2017 (1): 51—55
- [14] 曾希柏, 柴彦君, 俄胜哲, 等. 长期施肥对灌漠土团聚体及其稳定性的影响. 土壤通报, 2014, 45 (4): 783—788
Zeng X B, Chai Y J, E S Z, et al. Effects of long-term fertilization on soil aggregate and its stability in irrigated desert soil of China (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45 (4): 783—788
- [15] 谭伯勋. 灌漠土的宏观微观特性与培育关键. 甘肃农业科技, 1988 (6): 16—19
Tan B X. The macroscopic and microscopic characteristics of desert soil and the key technology for its cultivation (In Chinese). Gansu Agricultural Science and Technology, 1988 (6): 16—19
- [16] 赵欣宇, 吴景贵, 李建明, 等. 玉米秸秆及相关废弃物对黑土腐殖质结合形态的影响. 水土保持学报, 2014, 28 (5): 193—198
Zhao X Y, Wu J G, Li J M, et al. Effects of maize straw and its related wastes on the combined states of humus in black soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28 (5): 193—198
- [17] 鲁如坤. 土壤农化分析, 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000
Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [18] 朱青藤, 申连玉, 钱黎慧, 等. 有机物料对白土土壤胡敏酸结构特征的影响. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 396—403
Zhu Q T, Shen L Y, Qian L H, et al. Effects of organic material application on the structures of humic acids in low yield paddy soil (In Chinese). Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21 (2): 396—403
- [19] 李德文, 孟凡祥, 史奕, 等. 农业管理措施对土壤有机碳固存潜力影响的研究进展. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21 (4): 22—25
Li D W, Meng F X, Shi Y, et al. Research advances in the effect of agricultural management on soil organic carbon sequestration (In Chinese). System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2005, 21 (4): 22—25
- [20] 迟凤琴, 蔡姗姗, 匡恩俊, 等. 长期施肥对黑土有机无机复合度及结合态腐殖质的影响. 东北农业大学学报, 2014, 45 (8): 20—26
Chi F Q, Cai S S, Kuang E J, et al. Effect of long-term fertilization on the organo-mineral complexation and the combined forms of humus of black soil (In Chinese). Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 45 (8): 20—26
- [21] 丁雪丽, 韩晓增, 乔云发, 等. 农田土壤有机碳固存的主要影响因子及其稳定机制. 土壤通报, 2012, 43 (3): 737—744
Ding X L, Han X Z, Qiao Y F, et al. Sequestration of organic carbon in cultivated soils: Main factors and their stabilization mechanisms (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43 (3): 737—744
- [22] 江春玉, 李忠佩, 崔萌, 等. 水分状况对红壤水稻土中有机物料碳分解和分布的影响. 土壤学报, 2014, 51 (2): 325—334
Jiang C Y, Li Z P, Cui M, et al. Effects of soil moisture regime on decomposition of organic material and distribution of organic material-derived carbon in paddy red soil in subtropical China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (2): 325—334
- [23] 邵帅, 何红波, 张威, 等. 土壤有机质形成与来源研究进展. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2017, 38 (1): 126—130
Shao S, He H B, Zhang W, et al. Soil organic matter formation and origin: A review (In Chinese). Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition), 2017, 38 (1): 126—130
- [24] 张电学, 韩志卿, 王秋兵, 等. 不同施肥制度下褐土结合态腐殖质动态变化. 沈阳农业大学学报, 2006, 37 (4): 597—601
Zhang D X, Han Z Q, Wang Q B, et al. Dynamic change of soil combined humus in cinnamon soil under different fertilizer regimes (In Chinese). Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37 (4): 597—601
- [25] 魏世勇, 谭文峰, 刘凡. 土壤腐殖质-矿物质交互作用的机制及研究进展. 中国土壤与肥料, 2009 (1): 1—6
Wei S Y, Tan W F, Liu F. Advances on the study of mineral-humus interactions in soils (In Chinese). Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009 (1): 1—6
- [26] 王胜利, 周婷, 南忠仁, 等. 干旱区绿洲灌漠土对铜的吸附解吸特性研究. 土壤, 2011, 43 (1): 81—88
Wang S L, Zhou T, Nan Z R, et al. Sorption and desorption of copper in irrigated desert soils from oasis regions (In Chinese). Soils, 2011, 43 (1): 81—88
- [27] 刘军, 景峰, 李同花, 等. 秸秆还田对长期连作棉田土壤腐殖质组分含量的影响. 中国农业科学, 2015, 48 (2): 293—302
Liu J, Jing F, Li T H, et al. Effects of returning stalks into field on soil humus composition of continuous cropping cotton field (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48 (2): 293—302

Effects of Organic Materials on Soil Organic Carbon Combination Form and Composition of Humus in the Desert Soil

E Shengzhe¹ SHI Xiaojuan² CHE Zongxian¹ HAI Long² MA Qianqian² YUAN Jinhua¹ YAO Jiakuan²

(1 Institute of Soil and Fertilizer and Water-Saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

(2 College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract 【Objective】 In order to explore effects of organic material, relative to type, on soil fertility, a 7-year long field experiment was conducted in the desert soil of Hexi Oasis. 【Method】 The experiment was designed to have 8 treatments, that is, CK (no fertilization), NP (application of chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus), NF (70%NP+cow manure), ZF (70%NP+pig manure), JF (70%NP+chicken manure), ZZ (70%NP+biogas sludge), JZ (70%NP+mushroom substrate residue) and WN(70%NP+sewage sludge). All the organic material treatments were the same in organic carbon input and in NP application rate equivalent to 70% of the rate in treatment NP.【Result】 Results show that all the organic treatments significantly increased soil organic carbon content and stock as compared with the control (CK) and Treatment NP ($P<0.05$), but the increase varied significantly in degree, and was the highest in Treatments JF and WN, which was followed by Treatment ZF and then the rest. The effect on free organic carbon content was significantly higher in Treatments NF, ZF and WN than in Treatments CK and NP, and so was that on soil combined humus content ($P<0.05$), except in Treatment NF. Moreover, soil loosely combined humus content increased significantly in all the organic treatments, except for Treatment JZ, and so did humic acid (HA) content in all the organic treatments ($P<0.05$), stably combined humus content in Treatments JZ and ZZ ($P<0.05$), tightly combined humus content in Treatments JF, ZZ and WN ($P<0.05$), fulvic acid (FA) content in Treatments JF, WN and ZZ ($P<0.05$), and humin content in Treatments NF and JF only ($P<0.05$). 【Conclusion】 In conclusion, organic materials significantly affects free soil organic carbon and combined organic carbon in content and combination form and composition of humus, an hence soil organic carbon content and stock, and the effects of pig manure, chicken manure and sewage sludge improving soil fertility are higher than those of cow manure, mushroom substrate residue and biogas residue.

Key words Soil organic carbon; Combined soil humus; Hexi oasis; Irrigated desert soil; Soil fertility building

(责任编辑: 陈荣府)