

# 不同施肥措施对白土腐殖质组成的影响<sup>①</sup>

吴萍萍, 王家嘉, 李录久\*

(安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 安徽养分循环与资源环境省级实验室, 合肥 230031)

**摘要:**以白土稻区 4 年大田定位试验为基础, 设置 2 种翻耕深度(10 cm、20 cm, 分别标记为 T<sub>10</sub>、T<sub>20</sub>)和 4 种施肥措施(单施化肥、化肥+畜禽粪肥、化肥+秸秆还田、化肥+绿肥, 分别标记为 F、F+M、F+S、F+G), 通过腐殖质组成修改法分别提取表层土壤水溶性物质、胡敏酸、富里酸和胡敏素, 研究不同施肥措施对白土腐殖质各组分碳含量的影响。结果表明: 单施化肥措施下, 翻耕 20 cm 处理(T<sub>20</sub>+F)土壤总有机碳和腐殖质各组分碳含量均低于翻耕 10 cm 处理(T<sub>10</sub>+F), 但差异未达显著水平。在翻耕 20 cm 的基础上增施有机肥能显著提高土壤总有机碳和腐殖质各组分碳含量, 增施畜禽粪(T<sub>20</sub>+F+M)、秸秆还田(T<sub>20</sub>+F+S)和增施绿肥(T<sub>20</sub>+F+G)3 处理的土壤总有机碳、胡敏酸、富里酸和水溶性物质有机碳含量较 T<sub>20</sub>+F 处理分别提高 14.57%~30.64%、10.36%~30.57%、0.74%~12.31% 和 14.25%~26.80%。增施有机肥显著提高胡敏素有机碳含量, T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理较 T<sub>20</sub>+F 处理提高 18.87%~35.78%。4 年不同翻耕与施肥措施对白土腐殖质性质未产生显著影响。增施有机肥能一定程度上提高土壤 PQ 值、胡富比、E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值和色调系数。相关性分析表明, 胡敏素、胡敏酸、富里酸有机碳含量与总有机碳含量间均存在显著或极显著正相关, 与水溶性物质有机碳含量间无明显相关性。

**关键词:** 白土; 翻耕深度; 施肥措施; 腐殖质组分; 性质

**中图分类号:** S153.622

腐殖质是土壤有机质的重要组成部分, 在碳截获、固定方面发挥着重要的作用<sup>[1]</sup>。了解腐殖质形态组成的变化有助于阐明土壤有机碳的稳定性。腐殖质对土壤肥力有很大影响, 能够增加土壤吸收性能, 促进土壤结构体的形成。目前对红壤、黑土、棕壤等类型土壤腐殖质组成已进行较多的研究, 如史吉平等<sup>[2]</sup>对红壤和潮土的研究表明, 长期施用有机肥、化肥或有机无机肥配施均能提高土壤腐殖质含量, 施有机肥或有机无机肥配施可增加腐殖质的胡富比。王薇等<sup>[3]</sup>发现, 长期施用有机肥可提高盐化潮土胡敏酸和富里酸的含量, 而施用化肥效果不明显, 有机无机肥配施比单施有机肥或化肥更有利于胡富比的提高。刘小虎等<sup>[4]</sup>研究表明, 施用有机肥可提高棕壤腐殖酸含量和胡富比, 而施化肥和有机无机肥配施胡富比却下降。以上结论均为长期试验的结果, 而对短期不同农田措施对白土腐殖质影响的研究则相对较少。

白土主要分布于安徽、江苏等省, 是我国南方主

要低产土壤类型之一, 由于发生强烈的黏粒机械淋洗和活性铁锰的淋溶作用而形成白土层, 具有表层土壤粉砂含量高, 犁底层黏化现象, 同时伴有物理性状差, 耕层浅薄, 有机质含量低等特性。李恋卿等<sup>[5]</sup>分析江苏太湖地区白土 1 m 厚度的碳库储存为 6.77 kg/m<sup>2</sup>, 显著低于黄泥土和乌泥土, 有机碳匮乏是白土主要的肥力限制因子<sup>[6]</sup>。低产白土常通过翻耕及增施有机肥等措施来提高表层土壤黏粒含量和有机碳水平。据报道, 土壤腐殖质与黏粒矿物结合形成有机物质复合体是腐殖质在土壤中存在的主要方式, 有 70%~90% 的有机质与矿物质结合在一起<sup>[7]</sup>。Bird 等<sup>[8]</sup>研究发现, 随着土层深度的增加, 黏粒含量逐渐增加, 碳的固定量亦随之增加。还有研究指出, 增施有机物料是维持和提高土壤腐殖质的一种有效措施, 通过腐殖质与矿物质的结合增加土壤碳的稳定性, 对提高土壤有机碳固存、减缓大气 CO<sub>2</sub> 的急剧增加有着重要的作用<sup>[9]</sup>。但是翻耕和施肥对白土腐殖质碳含量、组成和性质的

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划课题(2012BAD05B0206), 公益性行业(农业)科研专项(201003016; 201503118-02)和安徽省农科院创新基金项目(11C1007; 13B1042; 15B1013; 15A1021)资助。

\* 通讯作者(ljli68@aliyun.com)

作者简介: 吴萍萍(1982—), 女, 安徽贵池人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农业资源与环境。E-mail: pingpingwu1982@126.com

具体影响尚不明确。本文以白土稻区 4 年定位试验为基础,研究不同翻耕深度与施肥措施对白土腐殖质组分碳含量和性质的短期效应,探讨白土稻田土壤腐殖质不同组分碳含量及与总有机碳含量之间的相关性,以期为阐明白土固碳特性,提高白土肥力提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

定位试验于 2011—2014 年在安徽省长丰县进行。该地气候类型为亚热带湿润季风气候,年平均气温 15~16℃,土壤类型为白土,发育于下蜀黄土母质,耕作制度为水稻-小麦轮作。试验开始前土壤的基本理化性状为:全氮 0.658 g/kg,有机质 10.9 g/kg,碱解氮 62.3 mg/kg,速效磷 5.17 mg/kg,速效钾 96.1 mg/kg,pH 5.68,体积质量(容重)1.43 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

试验以水稻季为研究对象,设 5 个处理:翻耕 10 cm+ 化肥(T<sub>10</sub>+F); 翻耕 20 cm+ 化肥(T<sub>20</sub>+F); 翻耕 20 cm+ 化肥+ 畜禽粪肥(T<sub>20</sub>+F+M); 翻耕 20 cm+ 化肥+ 秸秆(T<sub>20</sub>+F+S); 翻耕 20 cm+ 化肥+ 绿肥(T<sub>20</sub>+F+G)。每个处理 3 次重复,小区面积为 20.0 m<sup>2</sup>,完全随机区组排列。小区采用人工翻耕,用不同大小型号的铁锹翻地 10 cm 或 20 cm 并整平。水稻生长季各处理氮、磷、钾化肥施用量相同,分别为 N 180、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 和 K<sub>2</sub>O 120 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥为尿素,磷肥用过磷酸钙,钾肥用氯化钾,其中 70% 的氮肥和全部的磷、钾肥作为基肥在播种前施入,30% 的氮肥于分蘖期追施。T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 3 个处理在化肥施用的基础上增施不同来源的有机肥,其中秸秆为上一季小麦秸秆,绿肥为紫云英。畜禽粪便和绿肥的施用量为鲜重 22 500 kg/hm<sup>2</sup>,秸秆为干重 3 000 kg/hm<sup>2</sup>。每年试验开始前采样分析畜禽粪肥、秸秆和绿肥的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 含量,其中畜禽粪肥分别为 4.5、2.9、4.4 g/kg(4 年平均,下同),麦秸分别为 6.1、2.7、5.8 g/kg,绿肥分别为 4.8、1.3 和 3.4 g/kg。水稻秧苗采用半旱秧田育秧,5 月中上旬播种,6 月上旬移栽,10 月初收获。栽插密度 25.5 万穴/hm<sup>2</sup>,水稻品种为两优培九。小麦生长季各处理只施化肥,施肥量均为 N 200、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 和 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>。田间管理措施与当地农民习惯一致。

### 1.3 样品采集及测定

2014 年水稻收获期采集各小区 0~10 cm 表层土壤,随机选取 5 个点,组成混合土样,带回实验室后

剔除其中的植物残体和石块等,室内自然风干后过 60 目筛备用。

土壤腐殖质的提取和分组参照奚森等<sup>[10]</sup>的腐殖质组成修改法,提取出的水溶性物质(WSS)和胡敏酸(HA)中碳含量采用 TOC 分析仪(德国耶拿 Multi N/C 2100)测定,土壤总有机碳(TOC)和胡敏素(HM)中的碳含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定<sup>[11]</sup>。富里酸(FA)中的有机碳含量采用差减法  $C_{FA} = TOC - C_{WSS} - C_{HA} - C_{HM}$  计算,其中富里酸与胡敏酸之和称为腐殖物质(HE)。本研究中水浮物(WFS)含量较少,因此忽略不计。

胡敏酸可见光谱特征测定:分别测定胡敏酸溶液在 400、465、600 和 665 nm 波长下的吸光值<sup>[12]</sup>,计算 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 比值和色调系数  $\Delta \log K$ ,其中 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 比值 =  $K_{465}/K_{665}$ ;  $\Delta \log K = \log K_{400} - \log K_{600}$ 。

### 1.4 数据处理

试验数据用 Excel、SPSS 等软件进行统计分析。各处理间比较采用 One-way ANOVA 分析,差异显著性分析用 Duncan 法,相关性分析采用 Pearson 双侧显著检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥措施对白土总有机碳及腐殖质组分有机碳含量的影响

由表 1 可见,施肥措施显著影响白土稻田表层土壤总有机碳含量。单施化肥措施下,翻耕 20 cm 的 T<sub>20</sub>+F 处理表层土壤总有机碳含量表现出下降趋势,较翻耕 10 cm 的 T<sub>10</sub>+F 处理降低 8.44%,但差异未达显著水平(P>0.05)。在翻耕 20 cm 的基础上增施有机肥能显著提高土壤总有机碳含量,T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理较 T<sub>20</sub>+F 处理分别提高 14.57%、30.64% 和 26.58%,较 T<sub>10</sub>+F 处理分别提高 4.90%、19.62% 和 15.90%,差异均达显著水平(P<0.05)。3 种有机培肥措施中,秸秆还田和增施绿肥处理对白土有机质的提升效应优于增施畜禽粪处理。

土壤腐殖质各组分中,胡敏素碳含量最高,在 5.72~7.76 g/kg,占土壤总有机碳的 68.0%~70.9%,其次是富里酸和胡敏酸,碳含量分别为 1.47~1.68 g/kg 和 1.09~1.43 g/kg,占土壤总有机碳的 15.3%~17.8% 和 12.3%~13.0%,富里酸碳含量略高于胡敏酸。水溶性物质的碳含量较低,仅占 1.0%~1.3%,远低于其他腐殖质组分。不同翻耕与施肥措施对腐殖质各组分碳占总有机碳比例的影响较小,各处理间差异不明显。

表 1 不同施肥措施对土壤腐殖质组分有机碳含量及占总有机碳百分比的影响  
Table 1 Effects of different fertilizations on organic carbon contents in humus components of white soil

处理	TOC (g/kg)	WSS		HA		FA		HM	
		含量 (mg/kg)	WSS/TOC (%)	含量 (g/kg)	HA/TOC (%)	含量 (g/kg)	FA/TOC (%)	含量 (g/kg)	HM/TOC (%)
T <sub>10</sub> +F	9.18 ± 0.29 bc	98.1 ± 4.8 bc	1.1	1.15 ± 0.10 bc	12.5	1.47 ± 0.15 a	16.1	6.46 ± 0.17 b	70.3
T <sub>20</sub> +F	8.40 ± 0.18 c	96.9 ± 9.8 c	1.2	1.09 ± 0.07 c	13.0	1.50 ± 0.18 a	17.8	5.72 ± 0.31 c	68.0
T <sub>20</sub> +F+M	9.63 ± 0.45 b	122.9 ± 4.2 a	1.3	1.20 ± 0.09 bc	12.5	1.51 ± 0.07 a	15.7	6.79 ± 0.38 b	70.5
T <sub>20</sub> +F+S	10.98 ± 0.76 a	112.7 ± 8.8 a	1.0	1.43 ± 0.06 a	13.0	1.68 ± 0.04 a	15.3	7.76 ± 0.50 a	70.7
T <sub>20</sub> +F+G	10.63 ± 0.49 a	110.7 ± 6.3 ab	1.0	1.30 ± 0.09 ab	12.3	1.68 ± 0.11 a	15.8	7.53 ± 0.28 a	70.9

注：TOC 为总有机碳，WSS 为水溶性物质，HA 为胡敏酸，FA 为富里酸，HM 为胡敏素；同列不同小写字母表示不同处理间差异在  $P < 0.05$  水平显著；下同。

各腐殖质组分中,不同施肥措施显著影响白土水溶性物质、胡敏酸和胡敏素碳含量,而对富里酸碳含量影响不明显(表 1)。相较于 T<sub>10</sub>+F 处理,T<sub>20</sub>+F 处理土壤水溶性物质和胡敏酸的碳含量分别降低 1.19% 和 4.89%,富里酸碳含量提高 1.67%。T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理的胡敏酸和富里酸碳含量较 T<sub>20</sub>+F 处理分别提高 10.36% ~ 30.57% 和 0.74% ~ 12.31%,胡敏酸的增幅高于富里酸,尤其秸秆还田和增施绿肥处理,胡敏酸碳含量显著高于单施化肥的 T<sub>20</sub>+F 处理。不同翻耕与施肥措施间土壤富里酸碳含量差异不显著,均未达显著水平( $P > 0.05$ )。水溶性物质碳含量受施肥措施影响较大,增施有机肥显著提高水溶性物质碳含量,T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理较 T<sub>20</sub>+F 处理提高 14.25% ~ 26.80%,其中 T<sub>20</sub>+F+M 处理水溶性物质碳含量高于 T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理。不同翻耕与施肥措施对土壤胡敏素碳含量的影响较大。T<sub>10</sub>+F 处理的胡敏素碳含量显著高于 T<sub>20</sub>+F 处理,增幅达 11.46%。在翻耕 20 cm 的

基础上增施绿肥、畜禽粪和秸秆还田显著提高胡敏素碳含量,T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理较 T<sub>20</sub>+F 处理提高 18.87% ~ 35.78%,差异均达显著水平( $P < 0.05$ )。

## 2.2 不同施肥措施对白土 PQ 值和胡富比的影响

土壤 PQ 值和胡富比分别表示胡敏酸在腐殖物质中的比例及胡敏酸/富里酸的比值,是衡量土壤腐殖化程度及腐殖品质的重要指标<sup>[13]</sup>。由图 1 可见,翻耕深度对土壤 PQ 值和胡富比的影响较小。单施化肥时,T<sub>20</sub>+F 处理土壤的 PQ 值和胡富比较 T<sub>10</sub>+F 处理分别降低 3.73% 和 6.45%,差异未达显著水平( $P > 0.05$ )。相较于单施化肥,增施有机肥能一定程度上提高土壤 PQ 值和胡富比。与 T<sub>20</sub>+F 处理相比,有机培肥的 T<sub>20</sub>+F+M、T<sub>20</sub>+F+S 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理 PQ 值和胡富比分别提高 3.51% ~ 8.96% 和 6.22% ~ 16.56%,其中 T<sub>20</sub>+F+S 处理土壤的腐殖化程度略高于 T<sub>20</sub>+F+M 和 T<sub>20</sub>+F+G 处理,表明其富里酸转化为胡敏酸的速率和强度较高,但处理间差异未达显著水平( $P > 0.05$ )。

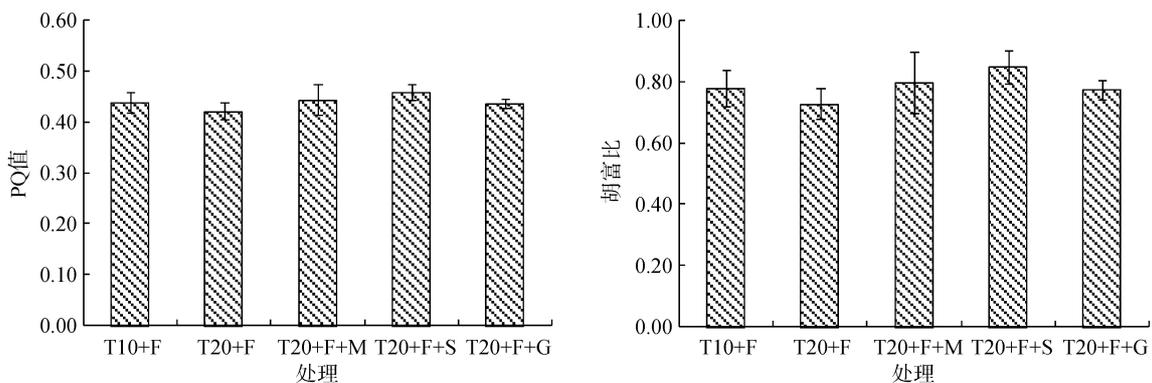


图 1 不同施肥措施对白土 PQ 值和胡富比的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizations on PQ and HA/FA values of white soil

## 2.3 不同施肥措施对胡敏酸 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值和 Δlog K 的影响

土壤腐殖质的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值和色调系数 ΔlogK 值是表

征胡敏酸光学性质的重要参数,用来表征腐殖质的复杂程度<sup>[14]</sup>。表 2 表明,白土胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值为 4.48 ~ 4.66,ΔlogK 值为 0.61 ~ 0.64。4 年不同施

表 2 不同施肥措施对土壤胡敏酸  $E_4/E_6$  值和  $\Delta \log K$  的影响  
Table 2 Effects of different fertilizations on  $E_4/E_6$  and  $\Delta \log K$  values of humic acid of white soil

处理	$E_4/E_6$	$\Delta \log K$
$T_{10}+F$	$4.51 \pm 0.09$ a	$0.62 \pm 0.01$ a
$T_{20}+F$	$4.48 \pm 0.13$ a	$0.61 \pm 0.02$ a
$T_{20}+F+M$	$4.62 \pm 0.11$ a	$0.63 \pm 0.01$ a
$T_{20}+F+S$	$4.66 \pm 0.04$ a	$0.64 \pm 0.01$ a
$T_{20}+F+G$	$4.63 \pm 0.04$ a	$0.63 \pm 0.00$ a

肥措施对胡敏酸的光学性质未产生显著影响, 增施有机肥处理  $E_4/E_6$  值和  $\Delta \log K$  值略高于单施化肥处理。单施化肥下,  $T_{20}+F$  处理较  $T_{10}+F$  处理  $E_4/E_6$  值和  $\log K$  值分别低 0.59% 和 1.45%。相较于  $T_{20}+F$  处理,  $T_{20}+F+M$ 、 $T_{20}+F+S$  和  $T_{20}+F+G$  处理  $E_4/E_6$  值和  $\log K$  的增加幅度分别为 3.13%~3.95% 和 2.36%~3.98%,

但差异均未达显著水平( $P>0.05$ )。3 种有机培肥措施中,  $T_{20}+F+S$  处理土壤胡敏酸的光学性质指标略高于  $T_{20}+F+M$  和  $T_{20}+F+G$  处理。

## 2.4 腐殖质各组分碳及与总有机碳间的相关性

对土壤总有机碳和腐殖质各组分碳含量进行相关分析发现(表 3), 除水溶性物质外, 腐殖物质、胡敏酸、富里酸和胡敏素碳含量与总有机碳含量间均呈显著或极显著正相关, 相关系数 0.519~0.832, 其中胡敏素碳含量与总有机碳含量间的相关性最好。各腐殖质组分碳含量中, 水溶性物质仅与胡敏素显著相关, 而与总有机碳、腐殖物质、胡敏酸和富里酸间均无明显相关性, 相关系数为 0.434~0.508。胡敏酸、富里酸与腐殖物质碳含量相互间的相关性高于胡敏素与三者间, 相关系数分别为 0.716~0.928 和 0.526~0.615。

表 3 腐殖质组分有机碳含量间相关性  
Table 3 Correlation among organic carbon contents of different humus components and total organic carbon

	总有机碳	腐殖物质	胡敏酸	富里酸	水溶性物质
腐殖物质	0.616*				
胡敏酸	0.625*	0.928**			
富里酸	0.519*	0.924**	0.716**		
水溶性物质	0.508	0.503	0.434	0.494	
胡敏素	0.832**	0.614*	0.615*	0.526*	0.558*

注: \* 表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ )。

## 3 讨论

单施化肥措施下, 相较于翻耕 10 cm, 翻耕 20 cm 后土壤总有机碳和腐殖质各组分有机碳含量均表现出一定的下降趋势, 原因可能在于白土在表层以下存在一层养分含量较低的白土层, 翻耕 20 cm 后与表层土壤混合, 使得土壤有机质和养分含量下降; 同时, 耕作引起土壤扰动, 翻耕深度越大扰动程度越深, 土壤中易氧化物质如纤维素、半纤维素、氨基酸等大量分解, 腐殖质中活性碳数量减少<sup>[15]</sup>。与试验开始前相比, 4 年单施化肥处理的有机碳水平也有提高, 这可能是因为白土基础地力较低, 施肥一定程度上增加稻麦作物的生物量, 相应提高了土壤中植物残体和根系的归还量, 超过有机碳的分解速率, 因此土壤有机碳表现为累积<sup>[16-17]</sup>。

施入有机肥使得新形成的年轻腐殖质多, 有机质的腐殖化程度高, 有利于土壤腐殖质的更新和活化以及胡敏酸的积累, 进而提高腐殖质的品质<sup>[18]</sup>。很多研究指出, 施用化肥、有机肥或有机无机肥配施均能提高土壤胡敏酸和富里酸含量, 但以有机无机肥配施

的效果最好, 化肥配施则有利于腐殖酸的分解, 使之向结构简单的富里酸方向发展<sup>[2-4]</sup>。本研究中, 相较于单施化肥, 增施有机肥不同程度地提高白土胡敏酸和富里酸碳含量, 且胡敏酸的增幅高于富里酸, 从而提高土壤的 PQ 值和胡富比, 但差异未达显著水平。这可能是因为: 一方面, 与以上报道的长期试验相比, 本试验年限较短, 施入的外源有机碳尚未完全转化成土壤腐殖质; 另一方面, 供试白土属于低产土, 有机质和养分含量较低, 白土胡富比为 0.73~0.85, 土壤腐殖质以富里酸为主。一般而言, 熟化程度好, 有机质含量较高的土壤腐殖质以胡敏酸为主<sup>[19]</sup>, 因此短期的培肥措施不足以显著改善白土腐殖质组成和品质。这一点在胡敏酸光学性质的结果中也有体现, 4 年不同翻耕深度和施肥措施对白土胡敏酸的  $E_4/E_6$  值和色调系数均未产生显著影响。很多报道指出, 秸秆、动物粪便等有机物料有利于促进腐殖质的更新和增强腐殖质活性, 提高胡敏酸的光密度, 使胡敏酸结构变简单, 胡敏酸脂族化和年轻化<sup>[4,20-21]</sup>。但也有报道指出, 有机无机肥配施提高潮土和旱地红壤胡敏酸的  $E_4/E_6$  比值, 而对红壤性水稻土无显著影响<sup>[2]</sup>。刘

小虎等<sup>[4]</sup>则发现,相较于不施肥,无论施化肥还是有机无机肥配施  $E_4/E_6$  值均有不同程度的下降,单施有机肥在施肥处理中较高。不同试验结论的差异可能与土壤类型、施肥措施、耕作年限等因素有关。

本研究中,与单施化肥相比,增施有机肥能显著提高白土总有机碳、水溶性物质和胡敏素碳含量。白土腐殖质各组分中,总有机碳的变化主要体现在胡敏素的差异中,其碳含量最高,施肥措施对其的影响较大。胡敏素是土壤中稳定的腐殖质组分,对营养元素(C、N、S等)的固持和有效性起重要作用<sup>[22]</sup>。李凯等<sup>[19]</sup>研究不同类型土壤也发现,胡敏素在腐殖质组成中含量最高,占全碳的 39.4%~72.6%。与不施肥或单施化肥相比,施用有机肥料能显著增加土壤胡敏素碳含量及其组分的数量<sup>[23-26]</sup>。3种有机培肥方式中,秸秆还田对白土耕层土壤胡敏酸、富里酸和胡敏素碳含量的提升效果优于增施畜禽粪和绿肥,而水溶性物质在增施畜禽粪肥处理中最高。倪进治等<sup>[27]</sup>也有相似结论,与稻草秸秆相比,猪粪更容易被微生物分解利用,因此猪粪处理的土壤中水溶性有机碳显著高于稻草秸秆处理。窦森等<sup>[28]</sup>指出,秸秆对加强胡敏酸木质素特征贡献较大,而施用猪粪则更有利于胡敏酸的脂族化。本研究中,胡敏素、胡敏酸、富里酸、腐殖物质碳含量与总有机碳含量均存在显著或极显著相关,但均与水溶性物质碳含量无显著相关性,这可能与白土基础地力较低,施肥提高其总有机碳和腐殖质组分碳含量有关,而水溶性物质的碳含量所占比例较小,极易转化和流失,因此与其他组分间相关性不明显。

#### 4 结论

白土稻区 4 年定位试验结果表明,不同施肥措施对表层土壤总有机碳和腐殖质组分碳含量有明显影响,而翻耕深度的影响较小。相较于单施化肥,增施有机肥能显著提高土壤总有机碳、水溶性物质和胡敏素碳含量,并一定程度上增加 PQ 值和胡/富比。不同施肥措施对胡敏酸  $E_4/E_6$  和  $\Delta\log K$  值无显著影响。白土腐殖质以富里酸为主,土壤熟化程度和肥力状态仍处于较低水平,有机培肥长期的改良效果有待于进一步的研究。

#### 参考文献:

[1] 窦森,李凯,崔俊涛,等. 土壤腐殖物质形成转化与结构特征研究进展[J]. 土壤学报, 2008, 45(6): 1 148-1 158  
[2] 史吉平,张夫道,林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质理化性质的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(2): 174-180

[3] 王薇,李絮花,章燕平,等. 长期定位施肥对盐化潮土土壤腐殖质组分的影响[J]. 山东农业科学, 2008(3): 65-67  
[4] 刘小虎,贾庆宇,安婷婷,等. 不同施肥处理对棕壤腐殖酸组成和性质的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 328-332  
[5] 李恋卿,潘根兴,龚伟,等. 太湖地区几种水稻土的有机碳储存及其分布特性[J]. 科技通报, 2000(6): 421-426, 432  
[6] 潘根兴,黄瑞采,丁瑞兴,等. 淮北白浆土发育与晚第四纪古地理环境变化[J]. 第四纪研究, 1995, 15(3): 249-257  
[7] Fedotov G N, Dobrovolskii G V. Humus as the base of soil colloids[J]. Doklady Chemistry, 2007, 415(2): 200-204  
[8] Bird M I, Santruckova H, Lloyd J, et al. Global soil organic carbon pool[M]//Schulze E D, Heimann M, Harrison S. Global biogeochemical cycles in the climate system. CA: Academic Press, 2001: 185-199  
[9] 区惠平,何明菊,黄景,等. 稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6 812-6 820  
[10] 窦森,于水强,张晋京. 不同 CO<sub>2</sub> 浓度对玉米秸秆分解期间土壤腐殖质形成的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 458-466  
[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000  
[12] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988  
[13] 江泽普,黄绍民,韦广泼,等. 不同免耕模式对水稻产量及土壤理化性状的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 362-365  
[14] 王晶,何忠俊,王立东,等. 高黎贡山土壤腐殖质特性与团聚体数量特征研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 723-733  
[15] 赵红,郑殷恬,吕贻忠,等. 免耕与常规耕作下黑土腐殖酸含量与结构的差异[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5): 1238-1241  
[16] Ghani A, Dexter M, Perrott K W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(9): 1 231-1 243  
[17] 侯晓静,杨劲松,赵曼,等. 不同施肥措施对滨海盐渍土有机碳含量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(5): 780-786  
[18] 褚慧,宗良纲,汪张懿,等. 不同种植模式下菜地土壤腐殖质组分特性的动态变化[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 931-939  
[19] 李凯,窦森. 不同类型土壤胡敏素组成的研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 116-119, 157  
[20] 路丹,何明菊,区惠平,等. 耕作方式对稻田土壤活性有机碳组分、有机碳矿化以及腐殖质特征的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1 144-1 150  
[21] 史振鑫,孟安华,吴景贵,等. 牛粪处理方式对黑土胡敏酸和富里酸的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 145-151  
[22] 张晋京,窦森. 土壤胡敏素研究进展[J]. 生态学报, 2008,

- 28(3): 1 229–1 239
- [23] Zhang J J, Dou S, Song X Y. Effects of field located fertilization on the content and characteristics of soil humus fractions[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(6): 1 243–1 246
- [24] Covalada S, Pajares S, Gallardo J F, et al. Short-term changes in C and N distribution in soil particle size fractions induced by agricultural practices in a cultivated volcanic soil from Mexico[J]. *Organic Geochemistry*, 2006, 37(12): 1 943–1 948
- [25] Adani F, Genevini P, Ricca G, et al. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application[J]. *Waste Management*, 2007, 27(2): 319–324
- [26] 万晓晓, 石元亮, 依艳丽. 长期秸秆还田对白浆土有机碳含量及腐殖质组成的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2012(3): 7–11
- [27] 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[J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4): 374–378
- [28] 窦森, 陈恩凤, 须湘成, 等. 施用有机肥料对土壤胡敏酸结构特征的影响—胡敏酸的光学性质[J]. *土壤学报*, 1995, 32(1): 41–49

## Effects of Different Fertilizations on Humus Components of White Soil

WU Pingping, WANG Jiajia, LI Lujia\*

(*Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences; Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources and Environment, Hefei 230031, China*)

**Abstract:** A four-year field experiment was carried out in paddy field at white soil to study the effects of different fertilizations on carbon contents of soil humus components. The treatments consisted of two tillage depths of 10 cm and 20 cm ( $T_{10}$ ,  $T_{20}$ ) and four fertilizations of chemical fertilizer (F), chemical fertilizer and farmyard manure (F+M), chemical fertilizer and wheat straw (F+S), chemical fertilizer and green manure (F+G). The water-soluble substance, humic acid, fulvic acid and humic material of white soil were extracted using composition method. The results showed that carbon contents in bulk soil and humic substances in  $T_{20}$ +F treatment were lower than in  $T_{10}$ +F treatment. The addition of organic manure with the tillage depth of 20 cm significantly increased the contents of total organic carbon and humus components. Compared with  $T_{20}$ +F treatment, total organic carbon and organic carbon contents of humic acid, fulvic acid and water-soluble substance in  $T_{20}$ +F+M,  $T_{20}$ +F+S and  $T_{20}$ +F+G treatments were increased by 14.57%–30.64%, 10.36%–30.57%, 0.74%–12.31% and 14.25%–26.80%, respectively. The addition of organic manure significantly increased organic carbon contents of humic material by 18.87%–35.78% in  $T_{20}$ +F+M,  $T_{20}$ +F+S and  $T_{20}$ +F+G treatments, compared with  $T_{20}$ +F treatment. Different tillage depths and fertilizations showed no significant effect on humus properties. The addition of organic manure increased PQ values, HA/FA ratio,  $E_4/E_6$  values and  $\Delta\log K$  to a certain extent. Correlation analysis showed significant or extremely significant positive correlations existed among humic material, humic acid, fulvic acid and total organic carbon, while no correlation with water-soluble substance.

**Key words:** White soil; Tillage depth; Fertilization; Humus composition; Property