

稻作制度对红壤性水稻土有机质特征的影响^①

蔡燕飞¹, 章家恩¹, 张杨珠², 胡瑞芝², 袁正平²

(1 华南农业大学, 广州 510642; 2 湖南农业大学, 长沙 410128)

摘要: 采用长期定位试验, 比较 3 种稻作制度对红壤性水稻土有机质总量、有机无机复合状况、腐殖质结合形态、腐殖质组成、胡敏酸光学性质和总酸度等的影响。结果表明: 冬泡制度比水旱轮作有助于增加土壤有机质总量、重组有机质含量、胡敏酸含量和胡敏酸/富啡酸, 而水旱轮作比冬泡制度有利于提高土壤松结合态腐殖质、松结合态腐殖质/紧结合态腐殖质、胡敏酸 E4 值和总酸度。由此说明, 冬泡制度有利于土壤有机质总量和胡敏酸的累积, 但不利于胡敏酸分子的增长, 腐殖质品质较差。而水旱轮作条件下土壤有机质活性增加, 胡敏酸分子结构趋于复杂, 其氧化度和芳香度增加。因此, 通过周期性的水旱轮作茬, 可使土壤有机质的腐殖化和矿质化过程比例协调, 从而提高土壤有机质的质量。

关键词: 稻作制; 红壤性水稻土; 土壤有机质

中图分类号: S344.17; S153.61

稻田耕作制度的安排不仅对稻田单位面积产量有重要作用, 也对稻田土壤肥力变化具有重要的影响。其中水旱轮作制度是农田用地和养地相结合、并能提高作物产量的一项有效的农业技术措施, 但它能否保持和提高土壤肥力, 长期以来存在一定的争论^[1-2]。土壤有机质总量和质量是评价土壤肥力水平的主要指标^[3-4]。为了进一步阐明不同稻作制度对稻田土壤肥力的影响, 本文比较了 3 种稻作制度对红壤性水稻土有机质总量、有机无机复合状况、腐殖质结合形态、腐殖质组成、胡敏酸光学性质和总酸度等的影响, 以期探明不同稻作制度条件下土壤有机质特征的变化状况, 为培肥土壤提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤与试验设计

供试土壤为湘中长沙地区由耕型第四纪红土红壤开垦而来的红壤性水稻土, 系湖南农业大学土壤肥力研究室建立的 3 种稻作制、3 种有机肥施用量和两种地下水位的 3 因子多水平长期定位试验土壤。定位试验从 1982 年春季开始, 其原始土壤某些基本性质已经报道^[5]。各处理试验内容如表 1, 包括 3 种稻作制度, 即稻稻冬泡(冬泡)、稻稻冬绿(冬

绿)和稻稻冬油(冬油); 施肥以化肥处理为标准, 施 N 量为 150 kg/hm^2 , N:P₂O₅:K₂O 早稻为 1:0.5:1, 晚稻为 1:0:1。常量有机肥处理第一年(1982 年)早稻施用鲜紫云英 30000 kg/hm^2 , 以后为每季 22500 kg/hm^2 , 晚稻为 1/2 的早稻鲜稻草还田。高量有机肥处理第一年早稻施用鲜紫云英 60000 kg/hm^2 , 以后为每季 45000 kg/hm^2 , 晚稻为 2/3 的早稻鲜稻草还田。冬季作物按上一年相应小区带走的 N、P₂O₅ 和 K₂O 量以化肥补给。为保持各处理土壤施肥水平一致, 有机肥处理小区肥料不足部分用化肥补足。两种地下水位是高水位 20 cm, 低水位 80 cm。本研究把不同施肥制度和地下水位的土壤有机质含量和性质的差异作为试验区组之间的差异, 比较 3 种稻作制对土壤有机质特征的影响。于 1997 年春耕前采取各处理耕层土壤(0~20 cm), 风干, 过 100 目筛, 供研究用。

1.2 测定项目及方法

土壤有机质含量: 重铬酸钾容量法^[6]。有机无机复合度: 比重分组法^[7]。结合态腐殖质分组: 傅积平改进法^[8]。土壤腐殖质组成及胡敏酸光密度(E4/E6): 科诺诺娃法^[9-10]。土壤胡敏酸总酸度、羧基和酚羟基: 氢氧化钡法和醋酸钙法^[9-10]。

①基金项目: 国家自然科学基金项目(30400274)、广东省自然科学基金项目(010274、032246)资助。

作者简介: 蔡燕飞(1970—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事土壤微生物和废弃物生物降解研究。E-mail: yanfeicai@scau.edu.cn

表 1 各处理试验设计
Table 1 Designing of the experiment

处理编号	施肥	地下水位	稻作制
1	常量有机肥	高水位	稻稻冬泡
2			稻稻冬绿
3			稻稻冬油
4		低水位	稻稻冬泡
5			稻稻冬绿
6			稻稻冬油
7	高量有机肥	低水位	稻稻冬泡
8			稻稻冬绿
9			稻稻冬油
10		高水位	稻稻冬泡
11			稻稻冬绿
12			稻稻冬油
13	化肥	高水位	稻稻冬泡
14			稻稻冬绿
15			稻稻冬油
16		低水位	稻稻冬泡
17			稻稻冬绿
18			稻稻冬油

2 结果与讨论

2.1 不同稻作制度对红壤性水稻土有机质总量的影响

不同稻作制度处理下土壤有机质测定结果如表 2，冬泡处理土壤有机质含量显著高于冬绿处理，冬绿处理土壤有机质含量显著高于冬油处理。造成以上结果的原因主要是冬泡土壤长期处于淹水嫌气条

表 2 各处理土壤有机质含量的比较 (g/kg)

Table 2 Soil organic matter contents in different treatments

处理	有机质
冬泡	33.37A
冬绿	30.44B
冬油	29.03C

注：数据为 6 次重复的平均值，同列字母不同表示在 $P<0.01$ 水平下差异显著（DMRT 法）。

表 3 各处理土壤有机无机复合状况的比较 (g/kg)

Table 3 Soil organic-inorganic complexes in different treatments

处理	重组有机质	轻组有机质	原土复合量	松结合态 腐殖质	稳结合态 腐殖质	紧结合态 腐殖质	松结合态/ 紧结合态
冬泡	25.50 A	7.88A	14.28a	7.89B	2.30	15.32A	0.52B
冬绿	24.18 B	6.26 A	13.54ab	8.67A	2.61	12.91B	0.67A
冬油	23.28 B	5.74 A	13.08b	8.30AB	2.72	12.27B	0.68A

注：数据为 6 次重复的平均值，同列具有相同字母者为差异不显著（DMRT 法，大写字母表示 $P<0.01$ 水平，小写字母表示 $P<0.05$ 水平），下同。

件，有利于土壤有机质积累，而水旱轮作促进了土壤有机质的矿化。在冬绿条件下由于紫云英根系比冬油条件下油菜根系多，因此其土壤有机质总量相应地增多。

2.2 不同处理土壤有机无机复合状况及复合体腐殖质结合形态

土壤有机质总量往往难以反映土壤有机质的质量，土壤有机无机复合状况是评价土壤肥力的重要指标^[11]。一般而言，轻组有机质为土壤中呈游离状态的有机质，重组有机质为土壤中与矿质土粒结合的有机质。在去除轻组后，我们对重组有机质进行了分析，结果见表 3。冬泡处理土壤重组有机质含量显著高于冬油和冬绿处理；原土复合量：冬泡处理>冬绿处理>冬油处理。说明长期淹水比水旱轮作更有利于形成与土壤矿物质结合的复合态腐殖质。

松结合态腐殖质主要来源于新鲜有机质，易被微生物氧化分解，其活性也较大，对作物有效养分的供应起着重要作用，它的含量以及与紧结合态腐殖质含量的比值是反映腐殖质活性和品质的重要指标。紧结合态腐殖质是与矿物部分结合较紧，并且是较稳定的腐殖质，它不易被微生物氧化，但与 N、P 等的养分全量关系密切，故紧结合态在全量养分的保贮及稳定结构方面起重要作用^[11-13]。为此，我们对重组有机质的结合形态进行了分组测定，结果如表 3 所示，红壤性水稻土在不同稻作制度条件下所形成的腐殖质主要为松结合态腐殖质和紧结合态腐殖质，稳结合态腐殖质含量较少。其中冬绿处理土壤松结合态腐殖质极显著高于冬泡处理。冬绿和冬油处理的土壤松结合态腐殖质/紧结合态腐殖质的比值极显著地高于冬泡处理。而冬绿和冬油处理的土壤紧结合态腐殖质极显著地低于冬泡处理。综合上述结果，可以得出如下结论：3 种稻作制处理比较，冬泡处理有利于紧结合态腐殖质的积累，而冬绿和冬油处理有利于松结合态腐殖质的积累，说明水旱轮作提高了土壤有机质的活性。

2.3 不同稻作制土壤腐殖质组成和特性

各处理土壤腐殖质组成见表 4, 结果表明各处理土壤均以分子量较小、结构较简单的富啡酸 (FA) 较多, 其含量在 3.8~5.7 g/kg 之间, 而胡敏酸 (HA) 含量较少。可能原因是水稻土有较为强烈的淋溶作用, 使一些简单的移动性较强的 FA 淋溶淀积。冬泡处理土壤 FA 含量显著高于冬油处理, 冬绿处理土壤 FA 含量显著高于冬泡处理, 冬泡处理土壤 HA/FA 和胡敏素显著高于冬绿和冬油处理。由此说明, 水旱轮作有利于 FA 的积累。冬泡田由于渍水引起 FA 的淋移、也促进了腐殖质的胡敏化作用, 导致 FA 相对减少, 所以其土壤 HA/FA 比值最大。但冬泡田水分过多, 阻碍了 HA 分子的进一步增长, 使之处于腐殖质形成的低级阶段。

表 4 各处理土壤腐殖质组成的比较 (g/kg)
Table 4 Soil humus composition in different treatments

处理	HA	FA	HA/FA	胡敏素
冬泡	2.48a	4.49B	0.55A	26.36A
冬绿	2.39ab	5.26A	0.45B	22.47B
冬油	2.17b	4.89AB	0.45B	21.98B

2.4 不同稻作制土壤 HA 的光学性质和酸性特征

HA 的光学特性是判断土壤腐殖质品质的又一重要依据, E4 值在一定程度上可以粗略地综合反映 HA 的芳化分子程度和分子大小。E4 值愈大, 分子的复杂程度愈高, 芳香族原子团越多, 缩合程度较高。相反, 较为简单的 HA, 则芳香性小、脂肪侧链多、光密度较小^[14-15]。

不同稻作制土壤 HA 的光学性质见表 5, 冬绿和冬油处理土壤 HA 的 E4 值显著高于冬泡处理, 冬油处理土壤 HA 的 E6 值显著高于冬泡处理, 而冬油处理土壤 HA 的 E4/E6 值低于冬泡处理。由此说明, 水旱轮作使 HA 分子结构趋于复杂, 氧化度、缩合度和芳香度提高。而冬泡土壤长期淹水, HA 分子量小, 复杂程度低, 芳香族原子团少, 而脂肪族结构大, 活性较弱, 土壤腐殖质品质变差。

表 5 各处理土壤 HA 光学性质和酸性的比较
Table 5 Optical characteristics and acidity of humic acids
in soils under different treatments

处理	E4	E6	E4/E6	总酸度	羧基	酚羟基
冬泡	0.44B	0.073B	6.09	5.09b	2.78	2.45
冬绿	0.57A	0.097AB	6.00	5.28ab	2.86	2.42
冬油	0.59A	0.107A	5.59	5.52a	3.08	2.30

土壤腐殖质的酸性和阳离子交换容量主要是由于羧基和酚羟基中存在可解离的氢造成的, 这些基团上的氢可以与金属离子进行离子交换和络合作用等, 因而使腐殖质具有各种胶体特性, 如表面吸附、离子交换、络合作用、缓冲性能以及氧化还原和生理活性^[16]。从表 5 中可以看出冬油处理土壤 HA 总酸度和羧基含量高于冬泡处理, 而酚羟基含量恰好相反。一般认为土壤腐殖化过程是一个氧化过程, HA 羧基含量将随腐殖化程度的增加而升高, 说明水旱轮作比长期渍水条件有助于提高土壤 HA 氧化程度, 加速土壤有机质的腐殖化进程, 其中冬油处理比冬绿处理更好。

3 结论

(1) 冬泡处理土壤有机质含量极显著地高于冬油和冬绿处理, 而后两者差异不显著。

(2) 不同稻作制处理土壤有机无机复合状况的差异是: 冬泡处理土壤原土复合量显著高于冬油处理, 冬绿处理居中。冬泡处理土壤重组有机质含量显著高于冬油和冬绿处理, 原土复合量是冬泡处理土壤显著高于冬绿处理, 冬绿处理显著高于冬油处理, 说明长期淹水比水旱轮作更有利于形成与土壤矿物质结合的复合态腐殖质。

(3) 不同稻作制度条件下红壤性水稻土腐殖质结合形态特点是, 各处理土壤以松结合态腐殖质和紧结合态腐殖质为主, 稳结态腐殖质含量较少。其中冬绿处理的土壤松结合态腐殖质极显著高于冬泡处理, 冬绿和冬油处理的土壤松结合态腐殖质/紧结合态腐殖质的比值极显著高于冬泡处理。而冬绿和冬油处理的土壤紧结合态腐殖质极显著低于冬泡处理。

(4) 不同稻作制条件下红壤性水稻土腐殖质组成特点是, 冬泡处理土壤 HA 含量显著高于冬油处理, 冬绿处理土壤 FA 含量显著高于冬泡处理, 冬泡处理土壤 HA/FA 和胡敏素显著高于冬绿和冬油处理。

(5) 不同稻作制土壤 HA 的光学性质, 冬绿和冬油处理土壤 HA 的 E4 值显著高于冬泡处理, 冬油处理土壤 HA 的 E6 值显著高于冬泡处理, 而冬油处理土壤 HA 的 E4/E6 值低于冬泡处理。

(6) 不同稻作制土壤 HA 的酸性特征, 冬油处理土壤 HA 总酸度和羧基含量高于冬泡处理。由此说明, 冬泡条件下有利于土壤有机质总量的积累。渍

水有利于 HA 的累积, 但不利于其分子的增长, 品质较差。而水旱轮作条件下有利于松结合态腐殖质的积累, 从而促进土壤有机质的更新和活化, 同时水旱轮作使 HA 分子结构趋于复杂, 氧化度和芳香度提高, 从而使土壤有机质的腐殖化和矿化比例协调, 提高土壤有机质质量, 达到提高水稻土壤肥力的目的。

参考文献:

- [1] 何方, 马成泽. 水旱轮作对砂姜黑土腐殖质状态和组分的影响. 安徽农业大学学报, 1994, 21 (1): 26-31
- [2] 王子芳, 高明, 秦建成, 慈恩. 稻田长期水旱轮作对土壤肥力的影响研究. 西南农业大学学报, 2003, 25 (6): 514-521
- [3] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 尹瑞龄, 施亚琴. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. 土壤学报, 2003, 40 (3): 344-352
- [4] Xing BS, Liu JD, Liu XB, Han XZ. Extraction and characterization of humic acids and humin fractions from a black soil of China. *Pedosphere*, 2005, 15 (1): 1-8
- [5] 张杨珠, 蒋有利, 黄运湘, 黄运湘, 胡瑞芝, 肖永兰. 稻作制、有机肥和地下水位对红壤性水稻土磷的吸持作用的影响. 土壤学报, 1998, 35 (3): 328-337
- [6] 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1990
- [7] 傅积平, 张绍德, 褚金海. 土壤有机无机复合度测定法. 土壤肥料, 1978 (4): 40-41
- [8] 傅积平. 土壤结合态腐殖质分组测定. 土壤通报, 1983 (2): 36-37
- [9] 文启孝. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984: 237-247
- [10] 科诺诺娃 (周礼恺译). 土壤有机质. 北京: 科学出版社, 1966: 221-233
- [11] 姜益娟, 郑德明, 吕双庆, 朱朝阳, 伍维模. 新疆农田土壤有机质含量及组成特征. 土壤, 2004, 36 (1): 43-45
- [12] 卢瑛, 甘海华, 徐盛荣. 红壤及其有机无机复合体有机质和氮素特征的研究. 土壤通报, 1996, 27 (1): 29-32
- [13] 杨玉盛, 杨伦增, 俞新妥. 杉木林取代杂木林后土壤腐殖质组成及特性变化的研究. 福建林学院学报, 1996, 16 (2): 97-100
- [14] 窦森, 陈恩凤, 须湘成, 张继宏. 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. 土壤学报, 1995, (1): 41-49
- [15] 吕贻忠, 张凤荣, 孙丹峰. 百花山山地土壤中有机质的垂直分布规律. 土壤, 2005, 37 (3): 277-283
- [16] 王旭东, 耿会立, 李立敏, 关文玲. 有机物料腐解过程胡敏酸与 Fe^{2+} 的络合特征. 土壤通报, 2003, 34 (2): 90-92

Effect of Rice-Based Cropping Systems on Organic Matter Properties in Paddy Soil Derived from Red Earth

CAI Yan-fei¹, ZHANG Jia-en¹, ZHANG Yang-zhu², HU Rui-zhi², YUAN Zheng-ping²

(1 South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China; 2 Hunan Agricultural University, Changsha, 410128, China)

Abstract: A long-term stationary experiment was conducted to investigate effects of three rice-based cropping systems on total organic matter content, status of organo-mineral complexes, form and composition of humus, optical properties and acidity of HA in paddy soil derived from red earth. Results showed that the system of rice-rice-flooded fallow was higher than the paddy-upland alternation system in contents of total organic matter, heavy fraction organic matter, and HA and HA/FA ratio, but it was reverse in loosely combined humus content, ratio of loosely to tightly combined humus, E4 value and total acidity of HA contrary. In conclusion, the former contributed to accumulation of total organic matter and HA, but not to growth of HA molecules and quality of humus, while the latter did to activity of soil organic matter, complexity of molecular structure of HA, oxidation degree and aromaticity of HA, suggesting that harmonization between the humification and mineralization of soil organic matter through regular alternation of paddy and upland cropping can improve quality of soil organic matter.

Key word: Rice-based cropping systems, Paddy soil derived from red earth, Soil organic matter