

长期施用有机肥料对紫色水稻土有机无机复合性状的影响

魏朝富 陈世正 谢德体

(西南农业大学土化系, 630716)

摘 要

连续九年施用有机肥料, 紫色水稻土土壤及 $<0.002\text{mm}$ 的有机无机复合体中无定形铁、铝和络合态铁、铝的含量呈不同程度的增加, 络合态铁和铝间具拮抗作用 ($r = 0.7998^* n = 7$); 土壤的有机质含量增加主要是由于轻组有机质含量增加, 而有机无机复合度下降, 土壤重组腐殖质的含量为 $0.25-0.01\text{mm} > <0.002\text{mm} > 1-0.25\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm}$; 有机无机复合度及重组腐殖质中松结态与紧结态的比值随粒径的增大而下降, 其平均复合度明显低于土壤, 土壤中松结态腐殖质结合的铁的含量和 Fe/C 比值具有增加趋势, 而铝的含量和 Al/C 比值恰相反; 其中胡敏酸结合的铁铝含量比富里酸低; 复合体中松结态腐殖质结合的铁铝含量与有机碳含量的顺序相一致。

关键词 紫色水稻土, 有机肥料, 有机无机复合度, 铁铝氧化物, 腐殖质结合形态

目前, 有机无机复合状况大多是采用已知成分的有机化合物和纯粘土矿物人工制备有机无机复合体后, 用 X 光衍射, 红外光谱, 差热分析, 核磁共振等现代测试手段来进行研究^[1-2, 7-8]。我国对这方面的研究是以“土肥相融为基本观点, 围绕着肥土和瘦土相比较和田间土壤改良措施来进行的^[1, 3]。本文从土壤和有机无机复合体两个方面, 就铁、铝氧化物和腐殖质以及它们的结合特征来讨论有机肥与化肥长期配合施用, 紫色水稻土的有机无机复合性状, 以期土壤改良培肥提供科学依据。

一、材料与方 法

(一) 供试材料

1981 年开始建立有机肥与化肥配合施用的长期定位试验, 地点设在西南农大试验农场。土壤为中性紫色水稻土, 其 pH7.0; 有机质 22.9g/kg; 全氮 1.15g/kg; 全磷 (P) 0.57g/kg; 全钾 (K) 25.7g/kg; 物理性粘粒 456.0g/kg; 粘粒 154.0g/kg。处理设有: (1) 对照 (无肥区), (2) 化肥, (3) 胡豆青 + 化₁, (4) 细绿萍 + 化₂, (5) 猪粪 + 化₃, (6) 细绿萍 + 化₁, (7) 猪粪 + 化₁。各处理按总 N 量 13.5g/m² 计算, 其中化₁ 表示有机 N: 无机 N = 1:1.5, 即每平方米施尿素 (纯 N) 8.1g, 猪粪 1350g, 细绿萍 1875g, 胡豆青 975g; 化₂ 表示有机 N: 无机 N = 1:2.5, 即每平方米施尿素 (纯 N) 9.6g, 猪粪 975g, 细绿萍 1354g。处理重复四次。小区面积为 20.0m²。1990 年水稻收获时取土作为供试分析材料, 田间试验期共为 9 年。

(二) 测定方法

1. 土壤不同粒径有机无机复合体样品的制备^[4]: 将过 1.0mm 筛孔的土样, 加入饱和 NaCl 溶液, 用带橡皮头的玻璃棒揉磨成糊状, 加入蒸馏水, 用离心法反复用蒸馏水处理 3—4 次, 直至液面无植物残体为止。按 1:10 的土水比, 用探针型超声波发生器 (CSF-1A) 超声 15 分钟, 然后用湿筛法分离 1—0.25 mm 复合体, 再用沉降法分离 <0.002mm, 0.01—0.002mm 和 0.25—0.01mm 复合体, 烘干、磨细过 60 号筛备用。各级复合体的含量见表 1。

表 1 不同粒径复合体的含量(g/kg)

Table 1 The contents of complexes with different diameters

| 处 理 Treatment | 粒径 (mm) Diameter of particle | | | |
|--------------------|------------------------------|-----------|------------|--------|
| | 1—0.25 | 0.25—0.01 | 0.01—0.002 | <0.002 |
| 对照 | 291.8 | 305.9 | 116.4 | 285.9 |
| 化肥 | 308.1 | 301.5 | 104.7 | 285.7 |
| 胡豆青+化 ₁ | 304.7 | 341.4 | 68.7 | 285.2 |
| 细绿萍+化 ₁ | 281.9 | 360.2 | 72.2 | 285.7 |
| 猪粪+化 ₁ | 285.1 | 359.3 | 69.9 | 285.7 |
| 细绿萍+化 ₁ | 299.5 | 344.2 | 70.4 | 285.9 |
| 猪粪+化 ₁ | 302.0 | 339.9 | 72.5 | 285.6 |

2. 铁、铝氧化物组成的区分: 沿用“土壤胶体”介绍的方法^[5], 游离铁用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠提取; 无定形铁、铝用草酸铵缓冲液提取; 络合态铁、铝用焦磷酸钠提取。然后均用试铁灵(7-碘-8-羟喹啉-5 磺酸)铁铝联合比色法测定浸提液中铁、铝含量。

3. 有机无机复合度: 采用重液分组法^[5]。

4. 腐殖质结合形态分组测定: 采用傅积平改进法^[5]。

5. 松结态腐殖质结合铁铝的测定: 0.1mol/L NaOH 浸提的松结态腐殖质溶液用酸沉淀法分离富里酸得胡敏酸。用高锰酸钾消化, 试铁灵铁铝联合比色法测定松结态腐殖质和胡敏酸溶液中铁、铝含量。富里酸结合的铁、铝含量用差减法计算。同时测定其有机碳含量。

二、结果与讨论

(一) 土壤及复合体中铁、铝氧化物的组成

1. 游离铁 在水旱轮作条件下, 紫色水稻土经九年有机肥与化肥的配合施用, 与对照和化肥处理区相比较(表 2), 土壤游离铁的含量没有明显的变化。而 <0.002mm 复合体中游离铁的含量比土壤中的含量高 75% 左右, 对土壤的贡献为 50%。

2. 无定形铁、铝 同对照和化肥区相比较, 施用有机肥的土壤, 其铁的活化度增大, 无定形铁的含量分别增加了 5.9—24.4% 和 2.7—20.6%; 无定形铝的含量分别增加了 9.1—27.2% 和 2.2—19.1%。无定形铁、铝含量的这种变化是与有机肥施用后土壤有机质含量和组成的变化密切相关^[6]。集中反映在 <0.002mm 复合体中无定形铁、铝的含量和对土壤无定形铁、铝的贡献上。与对照相比, 施用有机肥区中 <0.002mm 复合体中无定形铁、铝的含量分别增高 17.7—34.9% 和 14.9—24.0%。

3. 络合态铁铝 对照区的土壤络合态铝的含量比络合铁的含量高。而施用有机肥区土壤的络合态铁含量提高, 络合态铝却呈下降趋势, 主要因络合态铁、铝之间具有拮抗

表 2 土壤及复合体中铁、铝、氧化物的组成 (g/kg)

Table 2 Composition of Fe and Al oxides in soil and its Complexes

| 处 理 Treat- ment | 粒 级 (mm) Particle size | 游离铁 (Fe ₂ O ₃) Free Fe | 无定形铁 (Fe ₂ O ₃) Amorphous Fe | 铁活化度 Degree of activation of Fe | 无定形铝 (Al ₂ O ₃) Amorphous Al | 络合态铁 (Fe ₂ O ₃) Complexed Fe | 络合态铝 (Al ₂ O ₃) Complexed Al |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 对 照 | 土壤 | 9.68 | 2.31 | 0.239 | 0.570 | 0.051 | 0.079 |
| | 1—0.25 | 4.48 | 0.51 | 0.114 | 0.057 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 7.72 | 1.35 | 0.175 | 0.214 | 0.030 | 0.016 |
| | 0.01—0.002 | 11.30 | 1.45 | 0.136 | 0.250 | 0.077 | 0.020 |
| | <0.002 | 16.73 | 5.49 | 0.328 | 1.585 | 0.285 | 0.316 |
| 化 肥 | 土壤 | 9.84 | 2.39 | 0.243 | 0.609 | 0.0605 | 0.054 |
| | 1—0.25 | 4.14 | 0.47 | 0.107 | 0.067 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 9.05 | 1.03 | 0.114 | 0.221 | 0.021 | 0.021 |
| | 0.01—0.002 | 10.84 | 1.47 | 0.136 | 0.254 | 0.083 | 0.023 |
| | <0.002 | 16.81 | 6.17 | 0.367 | 1.802 | 0.296 | 0.259 |
| 胡 豆 青 干 化 | 土壤 | 9.74 | 2.44 | 0.251 | 0.659 | 0.082 | 0.068 |
| | 1—0.25 | 4.5 | 0.51 | 0.113 | 0.091 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 8.98 | 1.07 | 0.119 | 0.181 | 0.029 | 0.021 |
| | 0.01—0.002 | 10.05 | 1.30 | 0.129 | 0.210 | 0.106 | 0.053 |
| | <0.002 | 16.54 | 6.47 | 0.391 | 1.947 | 0.302 | 0.263 |
| 细 绿 萍 干 化 | 土壤 | 9.63 | 2.65 | 0.275 | 0.725 | 0.085 | 0.048 |
| | 1—0.25 | 4.08 | 0.56 | 0.137 | 0.092 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 9.16 | 0.99 | 0.108 | 0.209 | 0.033 | 0.001 |
| | 0.01—0.002 | 10.53 | 1.20 | 0.114 | 0.271 | 0.122 | 0.073 |
| | <0.002 | 16.81 | 6.84 | 0.407 | 1.928 | 0.315 | 0.254 |
| 猪 粪 干 化 | 土壤 | 9.80 | 2.61 | 0.266 | 0.704 | 0.080 | 0.053 |
| | 1—0.25 | 4.14 | 0.41 | 0.099 | 0.052 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 8.27 | 1.26 | 0.152 | 0.208 | 0.033 | 0.016 |
| | 0.01—0.002 | 10.00 | 1.24 | 0.124 | 0.314 | 0.125 | 0.079 |
| | <0.002 | 16.26 | 6.83 | 0.420 | 1.865 | 0.304 | 0.233 |
| 细 绿 萍 干 化 | 土壤 | 9.77 | 2.85 | 0.292 | 0.660 | 0.088 | 0.043 |
| | 1—0.25 | 4.30 | 0.45 | 0.105 | 0.072 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 8.82 | 1.19 | 0.135 | 0.217 | 0.036 | — |
| | 0.01—0.002 | 9.12 | 1.20 | 0.132 | 0.229 | 0.142 | 0.067 |
| | <0.002 | 17.84 | 7.24 | 0.426 | 1.873 | 0.312 | 0.267 |
| 猪 粪 干 化 | 土壤 | 9.90 | 2.87 | 0.290 | 0.622 | 0.098 | 0.033 |
| | 1—0.25 | 4.99 | 0.62 | 0.124 | 0.078 | — | — |
| | 0.25—0.01 | 9.31 | 1.17 | 0.126 | 0.159 | 0.036 | — |
| | 0.01—0.002 | 10.02 | 2.22 | 0.222 | 0.523 | 0.154 | 0.026 |
| | <0.002 | 16.05 | 7.41 | 0.461 | 1.821 | 0.324 | 0.214 |

作用,所以两者成负相关关系 ($r = -0.7998^*$, $n = 7$)。

(二) 土壤和复合体中腐殖质结合形态和有机无机复合度

表3 土壤及复合体中腐殖质结合形态和有机无机复合度(g/kg)

Table 3 Combined forms of humus and complexing degrees in soil and its complexes

| 处理 Treatment | 粒级 Particle size (mm) | 有机质 O.M. | 轻组有机质 O.M. of light fraction | 重组腐殖质 Humus of heavy fraction | 松散腐殖质 Loosely combined humus | 稳定腐殖质 Stable combined humus | 紧密结合腐殖质 Tightly combined humus | 松散/紧密结合 Loosely/ Tightly | 有机无机复合度 Complexing degree |
|--------------------|---------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 对照 | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 23.18 | 1.67 | 21.51 | 9.27 | 3.12 | 9.12 | 1.016 | 928.0 |
| | | 12.12 | 8.83 | 3.29 | 1.42 | 0.01 | 1.86 | 0.763 | 271.5 |
| | | 27.73 | 14.61 | 13.12 | 4.72 | 2.17 | 5.23 | 0.902 | 473.1 |
| 化肥 | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 10.95 | 1.46 | 9.49 | 4.73 | 0.06 | 4.70 | 1.006 | 866.7 |
| | | 26.90 | 1.97 | 24.83 | 14.04 | 2.83 | 7.96 | 1.764 | 923.0 |
| | | 23.67 | 1.40 | 22.27 | 9.79 | 3.26 | 9.25 | 1.058 | 940.9 |
| 胡豆青+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 10.71 | 7.81 | 2.90 | 1.03 | 0.02 | 1.85 | 0.557 | 270.8 |
| | | 27.34 | 14.56 | 12.78 | 5.11 | 2.44 | 5.23 | 0.977 | 467.4 |
| | | 8.86 | 0.31 | 8.50 | 4.77 | 0.02 | 3.71 | 1.286 | 964.8 |
| 细绿萍+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 26.60 | 5.20 | 21.40 | 9.98 | 2.31 | 9.11 | 1.095 | 804.5 |
| | | 13.36 | 8.88 | 4.48 | 1.71 | 0.01 | 2.76 | 0.620 | 335.3 |
| | | 28.32 | 13.70 | 14.64 | 6.20 | 1.50 | 6.32 | 0.896 | 515.5 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 8.66 | 1.70 | 6.96 | 3.88 | 0.03 | 3.05 | 1.272 | 803.7 |
| | | 28.57 | 0.05 | 28.52 | 18.62 | 1.18 | 8.72 | 2.135 | 998.2 |
| | | 26.51 | 5.73 | 21.28 | 10.30 | 2.79 | 8.19 | 1.258 | 802.7 |
| 细绿萍+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 14.35 | 9.85 | 4.50 | 1.65 | 0.02 | 2.83 | 0.583 | 313.6 |
| | | 30.26 | 15.00 | 15.26 | 5.66 | 3.28 | 6.32 | 0.895 | 504.2 |
| | | 7.08 | 1.15 | 5.93 | 2.87 | 0.01 | 3.05 | 0.891 | 837.6 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 28.52 | 0.02 | 28.50 | 20.01 | 0.32 | 8.17 | 2.449 | 999.2 |
| | | 26.47 | 4.88 | 21.59 | 10.42 | 2.62 | 8.55 | 1.219 | 815.6 |
| | | 12.95 | 8.10 | 4.85 | 2.23 | 0.01 | 2.61 | 0.854 | 374.5 |
| 细绿萍+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 29.56 | 15.21 | 14.35 | 5.48 | 2.76 | 6.11 | 0.897 | 485.4 |
| | | 7.93 | 1.18 | 6.75 | 3.67 | 0.03 | 3.05 | 1.203 | 854.4 |
| | | 28.77 | 1.11 | 27.66 | 18.63 | 1.17 | 7.86 | 2.370 | 961.4 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 27.21 | 5.71 | 21.60 | 9.82 | 2.88 | 8.90 | 1.103 | 793.8 |
| | | 15.27 | 10.67 | 4.60 | 2.21 | — | 2.39 | 0.925 | 301.2 |
| | | 30.82 | 17.46 | 13.36 | 5.65 | 3.31 | 4.58 | 1.234 | 433.4 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 7.98 | 1.09 | 6.89 | 3.75 | 0.09 | 3.05 | 1.230 | 863.4 |
| | | 27.16 | 0.57 | 26.59 | 17.63 | 1.32 | 7.64 | 2.308 | 979.0 |
| | | 27.57 | 6.15 | 21.42 | 10.30 | 2.79 | 8.33 | 1.236 | 776.9 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 16.58 | 11.59 | 4.99 | 2.38 | — | 2.61 | 0.912 | 301.0 |
| | | 29.98 | 16.00 | 13.98 | 6.17 | 1.93 | 5.88 | 0.953 | 466.3 |
| | | 7.98 | 1.93 | 6.05 | 2.88 | 0.12 | 3.05 | 0.944 | 758.1 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 27.48 | 1.25 | 26.23 | 16.64 | 1.21 | 8.38 | 1.987 | 954.5 |

1. 有机质 同对照和化肥区相比,九年有机肥与化肥配合施用,土壤中有有机质含量分别增加 13.8—18.9%和 11.8—16.5%(表 3)。

2. 有机无机复合度 施用有机肥料后,土壤有机质的增加主要是轻组有机质含量增加的结果,而土壤的有机无机复合度下降。有机质含量在不同粒径复合体中分布顺序为 $0.25-0.01\text{mm} > < 0.002\text{mm} > 1-0.25\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm}$;轻组有机质的含量为 $0.25-0.01\text{mm} > 1-0.25\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm} > < 0.002\text{mm}$;重组腐殖质的含量为 $< 0.002\text{mm} > 0.25-0.01\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm} > 1-0.25\text{mm}$ 。复合体的有机无机复合度是随粒径的增大而降低。

用各粒径复合体的含量加权计算,求得复合体的有机质和重组腐殖质的平均含量以及复合体的平均有机无机复合度(表 4)。理论上复合体的有机质和重组腐殖质的含量应与土壤的含量相等或近似。但是,我们研究结果(表 4)两者间存在很大差异。复合体有机质的含量与土壤有机质含量之比为 0.845—0.890,主要由于分离复合体前处理时,有部分的土壤有机质已以植物残体形式除去。复合体的重组腐殖质与土壤重组腐殖质含量之比为 0.576—0.720,即土壤腐殖质中有 28.0—42.4% 在土壤分离为不同粒径复合体,以及超声重液分离时已被分离出来(比重小于 2.0),所以,复合体的平均有机无机复合度明显比土壤的有机无机复合度低。

表 4 复合体与土壤中有有机质和重组腐殖质含量的差异

Table 4 Differences of contents of O.M. and humus of heavy fraction between complexes and soils

| 处 理 Treatment | 有 机 质 O.M. | | 重组腐殖质 Humus of heavy fraction | | 复合体有机无 机复合度 (g/kg) Complexing degree of complex |
|--------------------|-------------------------------------|-------|----------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------|
| | 复合体有机质 (g/kg) O.M. in complex | (2) | 复合体重组腐殖质 (g/kg) Humus in complex | (4) | |
| | | (1) | (3) | | |
| 对 照 | 20.37 | 0.879 | 12.90 | 0.599 | 633.3 |
| 化 肥 | 20.48 | 0.851 | 12.83 | 0.576 | 626.5 |
| 胡豆青+化 ₁ | 22.48 | 0.845 | 14.97 | 0.700 | 666.0 |
| 细绿萍+化 ₁ | 23.60 | 0.890 | 15.33 | 0.720 | 650.0 |
| 猪 粪+化 ₁ | 23.09 | 0.872 | 14.92 | 0.671 | 646.2 |
| 细绿萍+化 ₁ | 23.51 | 0.864 | 13.37 | 0.624 | 568.6 |
| 猪 粪+化 ₁ | 23.62 | 0.857 | 14.17 | 0.662 | 600.0 |

注: (1)土壤中有有机质;(2)复合体中有有机质;(3)土壤中重组腐殖质;(4)复合体中重组腐殖质。

3. 腐殖质结合形态 重组腐殖质中的松结态腐殖质主要是新鲜的腐殖物质,它的活性较大,它的含量以及与紧结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^[3](表 3)。施用有机肥的土壤,松结态腐殖质的含量以及松结态与紧结态腐殖质的比值均比对照和化肥区的高。各粒径复合体中,松结态腐殖质的含量和紧结态腐殖质的含量均是 $< 0.002\text{mm} > 0.25-0.01\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm} > 1-0.25\text{mm}$,二者的比值也随复合体粒径的增大而减少。施用有机肥料后, $< 0.002\text{mm}$ 复合体和 $0.25-0.01\text{mm}$ 复合体中的松结态腐殖的含量增加明显。但是 $0.25-0.01\text{mm}$ 复合体中紧结态腐殖质占重组腐殖质的比例比 $< 0.002\text{mm}$ 复合体中的高, $< 0.002\text{mm}$ 复合体中腐殖质的活性相对较大。有

表 5 土壤和复合体中松结态腐殖质与铁、铝氧化物的结合
Table 5 Complexing of loosely combined humus and Fe and Al oxides in Soil and its complexes

| 处理 Treatment | 粒级 Particle size (mm) | 松结态腐殖质 Loosely combined humus | | | | 胡敏酸 HA | | | | 富里酸 FA | | | |
|--------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------|--------|
| | | Fe ₂ O ₃ (g/kg) | Al ₂ O ₃ (g/kg) | Fe/C | Al/C | Fe ₂ O ₃ (g/kg) | Al ₂ O ₃ (g/kg) | Fe/C | Al/C | Fe ₂ O ₃ (g/kg) | Al ₂ O ₃ (g/kg) | Fe/C | Al/C |
| 对照 | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 1.348 | 1.360 | 0.175 | 0.134 | 0.468 | 0.446 | 0.171 | 0.128 | 0.880 | 0.914 | 0.174 | 0.137 |
| | | 0.072 | 0.053 | 0.061 | 0.034 | 0.016 | 0.025 | 0.102 | 0.077 | 0.056 | 0.028 | 0.044 | 0.040 |
| | | 0.312 | 0.300 | 0.080 | 0.080 | 0.114 | 0.133 | 0.057 | 0.050 | 0.198 | 0.167 | 0.072 | 0.046 |
| 化肥 | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.216 | 0.157 | 0.095 | 0.052 | 0.054 | 0.086 | 0.040 | 0.048 | 0.162 | 0.071 | 0.063 | 0.021 |
| | | 2.539 | 1.494 | 0.218 | 0.092 | 0.855 | 0.601 | 0.207 | 0.110 | 1.684 | 0.893 | 0.224 | 0.990 |
| | | 1.415 | 1.364 | 0.175 | 0.128 | 0.529 | 0.552 | 0.144 | 0.114 | 0.886 | 0.813 | 0.200 | 0.139 |
| 胡豆青+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.035 | 0.056 | 0.041 | 0.050 | — | 0.017 | — | 0.103 | 0.035 | 0.039 | 0.018 | 0.040 |
| | | 0.336 | 0.268 | 0.079 | 0.079 | 0.190 | 0.147 | 0.093 | 0.034 | 0.146 | 0.121 | 0.067 | 0.0420 |
| | | 0.321 | 0.147 | 0.081 | 0.028 | 0.068 | 0.078 | 0.068 | 0.059 | 0.253 | 0.069 | 0.085 | 0.018 |
| 细绿萍+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 2.532 | 1.493 | 0.206 | 0.092 | 0.906 | 0.631 | 0.184 | 0.097 | 1.626 | 0.862 | 0.219 | 0.088 |
| | | 1.475 | 1.268 | 0.176 | 0.116 | 0.578 | 0.399 | 0.326 | 0.170 | 0.897 | 0.869 | 0.138 | 0.101 |
| | | 0.055 | 0.064 | 0.039 | 0.034 | 0.009 | 0.022 | 0.036 | 0.067 | 0.046 | 0.042 | 0.039 | 0.053 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.451 | 0.323 | 0.079 | 0.043 | 0.209 | 0.104 | 0.177 | 0.067 | 0.245 | 0.219 | 0.084 | 0.036 |
| | | 0.142 | 0.131 | 0.044 | 0.031 | 0.038 | 0.055 | 0.069 | 0.084 | 0.104 | 0.076 | 0.038 | 0.021 |
| | | 2.582 | 1.485 | 0.167 | 0.073 | 0.975 | 0.556 | 0.299 | 0.129 | 1.607 | 0.929 | 0.132 | 0.058 |
| 细绿萍+化 ₂ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 1.523 | 1.280 | 0.178 | 0.109 | 0.542 | 0.323 | 0.238 | 0.107 | 0.981 | 0.907 | 0.157 | 0.110 |
| | | 0.056 | 0.100 | 0.041 | 0.055 | 0.009 | 0.015 | 0.057 | 0.072 | 0.047 | 0.085 | 0.039 | 0.053 |
| | | 0.397 | 0.406 | 0.070 | 0.065 | 0.019 | 0.131 | 0.100 | 0.052 | 0.207 | 0.275 | 0.074 | 0.074 |
| 猪粪+化 ₂ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.112 | 0.135 | 0.047 | 0.043 | 0.042 | 0.046 | 0.084 | 0.070 | 0.070 | 0.089 | 0.037 | 0.036 |
| | | 2.631 | 1.483 | 0.159 | 0.068 | 0.989 | 0.673 | 0.180 | 0.093 | 1.642 | 0.808 | 0.118 | 0.055 |
| | | 1.568 | 1.258 | 0.184 | 0.110 | 0.503 | 0.374 | 0.209 | 0.089 | 0.905 | 0.884 | 0.171 | 0.138 |
| 细绿萍+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.049 | 0.065 | 0.026 | 0.027 | 0.014 | 0.010 | 0.034 | 0.019 | 0.035 | 0.055 | 0.024 | 0.029 |
| | | 0.457 | 0.344 | 0.100 | 0.057 | 0.228 | 0.144 | 0.090 | 0.043 | 0.229 | 0.200 | 0.159 | 0.075 |
| | | 0.202 | 0.111 | 0.066 | 0.028 | 0.039 | 0.041 | 0.204 | 0.162 | 0.163 | 0.070 | 0.057 | 0.019 |
| 猪粪+化 ₁ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 2.652 | 1.487 | 0.172 | 0.073 | 1.035 | 0.591 | 0.226 | 0.098 | 1.617 | 0.896 | 0.151 | 0.063 |
| | | 1.493 | 1.283 | 0.183 | 0.119 | 0.526 | 0.361 | 0.206 | 0.107 | 0.967 | 0.922 | 0.173 | 0.125 |
| | | 0.063 | 0.063 | 0.034 | 0.026 | 0.009 | 0.009 | 0.022 | 0.010 | 0.054 | 0.054 | 0.038 | 0.029 |
| 猪粪+化 ₂ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.455 | 0.308 | 0.097 | 0.050 | 0.221 | 0.129 | 0.098 | 0.043 | 0.234 | 0.179 | 0.096 | 0.056 |
| | | 0.276 | 0.107 | 0.089 | 0.026 | 0.068 | 0.077 | 0.078 | 0.067 | 0.208 | 0.030 | 0.093 | 0.010 |
| | | 2.692 | 1.357 | 0.164 | 0.070 | 0.846 | 0.544 | 0.173 | 0.084 | 1.546 | 0.813 | 0.159 | 0.063 |
| 猪粪+化 ₂ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 1.585 | 1.275 | 0.186 | 0.113 | 0.643 | 0.427 | 0.242 | 0.121 | 0.942 | 0.848 | 0.160 | 0.109 |
| | | 0.067 | 0.041 | 0.034 | 0.016 | 0.014 | 0.026 | 0.034 | 0.048 | 0.053 | 0.015 | 0.034 | 0.007 |
| | | 0.569 | 0.272 | 0.072 | 0.040 | 0.241 | 0.132 | 0.067 | 0.028 | 0.128 | 0.140 | 0.084 | 0.069 |
| 猪粪+化 ₂ | 土壤 1-0.25 0.25-0.01 0.01-0.002 ∠0.002 | 0.276 | 0.130 | 0.116 | 0.041 | 0.053 | 0.051 | 0.085 | 0.062 | 0.223 | 0.079 | 0.126 | 0.034 |
| | | 2.680 | 1.441 | 0.188 | 0.079 | 0.906 | 0.622 | 0.220 | 0.114 | 1.694 | 0.819 | 0.175 | 0.064 |

机物质形成的新的腐殖质首先是与 $<0.002\text{mm}$ 粘粒矿物复合,再经胶结后复合为 $\geq 0.002\text{mm}$ 复合体,其中主要是 $0.25-0.01\text{mm}$ 的复合体,同时,紧结态腐殖质的比例增加,腐殖质活性下降。在有机肥处理区, $<0.002\text{mm}$ 复合体中松结态与紧结态腐殖质的比值也比对照和化肥区的高。说明有机肥料的作用首先是通过改善 $<0.002\text{mm}$ 复合体中腐殖质的品质,进而可改善和更新整个土壤腐殖质的品质和活性。

(三) 土壤和复合体中松结态腐殖质与铁、铝氧化物的结合

表5是 0.1mol/L NaOH 浸提的松结态腐殖质溶液,以及经酸沉淀分离的胡敏酸和富里酸溶液中,铁和铝含量及其与有机碳的比值(Fe/C Al/C),用以说明松结态腐殖质以及胡敏酸和富里酸与铁、铝氧化物的结合状况。

1. 土壤松结态腐殖质结合的铁铝氧化物与土壤中铁铝氧化物组成的关系 表2和表5所示,土壤松结态腐殖质结合的铁含量介于土壤无定形铁和络合铁之间,其相关系数分别为 0.7938^* 和 $0.8998^{**}(n=7)$;与松结态腐殖质结合的铝¹⁾,其含量高于土壤无定形铝,相关系数为 $-0.7664^*(n=7)$,而与土壤中络合态铝呈正相关,相关系数为 $0.4710(n=7)$ 。

2. 有机肥对土壤松结态腐殖质结合的铁、铝含量的影响 有机肥处理区的土壤,松结态腐殖质结合的铁量和铁/碳比值,比对照和化肥区要高;但铝量和铝/碳比值则相反。即铁的含量与铝的含量呈负相关($r = -0.8636^* n = 7$);铁的含量与有机碳含量呈正相关($r = 0.9430 n = 7$);铝的含量与有机碳含量呈负相关($r = -0.8099^* n = 7$)。可见,铁和铝在有机无机复合过程中似乎存在拮抗作用。

松结态腐殖质中胡敏酸所结合的铁铝含量比富里酸低。施用有机肥的土壤,胡敏酸的铁/碳比值明显增大,而富里酸的铁/碳比值呈变小趋势。

3. 复合体中松结态腐殖质结合的铁、铝氧化物 复合体中松结态腐殖质结合的铁、铝含量为 $<0.002\text{mm} > 0.25-0.01\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm} > 1-0.25\text{mm}$,其与有机碳含量变化的顺序相一致;胡敏酸和富里酸结合的铁、铝含量也有类似的趋势。与对照和化肥区相比较,施用有机肥区,其 $<0.002\text{mm}$ 复合体中与松结态腐殖质结合的铁量有增加趋势,而铝的含量则有所下降,铁/碳和铝/碳的比值也均呈不同程度的降低(即单位腐殖质结合的铁、铝数量下降),富里酸的铁/碳和铝/碳比值的变化尤为明显,这可能由于新形成的腐殖质相结合的铁、铝数量比较低所致。

参 考 文 献

1. 袁可能,1989: 我国土壤化学研究工作回顾(1949—1989)。土壤学报,第26卷3期,249—254页。
2. 蔡祖聪等,1988: 土壤有机质热性质初步研究。土壤学报,第25卷2期,139—145页。
3. 傅积平等,1983: 太湖地区水稻土复合胶体的特性。土壤学报,第20卷2期,112—128页。
4. 严旭升,1988: 土壤肥力研究法。47—63页,农业出版社。
5. 熊毅等,1985: 土壤胶体——土壤胶体研究法。40—73,241—268,276—280页,科学出版社。
6. 何群等,1981: 土壤中氧化铁的转化及其对土壤结构的影响。土壤学报,第18卷4期,326—334页。
7. Harter, R.D and G. Storzky, 1973: X-ray diffraction electron microscopy, electrophoretic mobility and pH of some stable Smectite-protein complexes. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., 37:116—123.
8. Ziechmann. W. and Lisanti. L.E., 1978: Clay-organic matter complexes: Moder studies and binding properties. Agrochemica, 22(34):262—282.

1) 用 0.1mol/L NaOH 浸提出的与松结态腐殖相结合的铝,其中还包含了部分晶质态铝。

EFFECT OF LONG-TERM APPLICATION OF ORGANIC MANURES ON CHARACTERS OF ORGANO-MINERAL COMPLEX IN PURPLE PADDY SOIL

Wei Chaofu, Chen Shizheng and Xie Deti

(Department of Soil Science and Agrochemistry, Southwest Agricultural University, 630716)

Summary

The contents of amorphous Fe and Al oxides and complexed Fe, Al oxides increased to varying degrees in the soil and its organomineral complex under application of organic manures for 9 years, and there existed an antagonism between complexed Fe oxide and complexed Al oxide ($r = -0.7998^*$, $n = 7$). The increase in the contents of soil organic matter was principally due to the increase in the contents of organic matter in light fraction, and degree of organo-mineral complexing in soil was decreased. The rate of loosely combined and tightly combined humus in heavy fraction was comparatively increased. The sequence of organic matter in complexes was $0.25-0.01\text{mm} > < 0.002\text{mm} > 1-0.25\text{mm} > 0.01-0.002\text{mm}$, and the degree of organo-mineral complexing and the rate of loosely combined and tightly combined humus declined with the particle size and their average degrees of complexing were significantly lower than those in the soil. The content of Fe_2O_3 and the rate of Fe/C in soil loosely combined humus were higher, but the content of Al_2O_3 and the rate of Al/C were lower, and the contents of Fe_2O_3 and Al_2O_3 in humic acid were lower than those in fulvic acid. The sequence of contents of Fe_2O_3 and Al_2O_3 in loosely combined humus in complexes was consistent with that of the content of organic carbon.

Key words Purple paddy soil, Organic manure, Degree of organo-mineral complexing, Fe and Al oxides, combined forms of humus