

油-稻轮作条件下土壤硫形态 消长规律的研究*

胡正义 竺伟民

(中国科学院南京土壤研究所, 210008) (安徽农业大学, 230036)

曹志洪

(中国科学院南京土壤研究所)

THE TENDENCY OF INCREMENT/DECREMENT OF DIFFERENT FORMS OF SULPHUR UNDER THE CONDITION OF RICE-RAPE ROTATIONS

Hu Zheng-yi

Zhu Wei-min

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008) (Anhui Agricultural University, 230036)

Cao Zhi-hong

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)

关键词 土壤硫形态, 油菜, 水稻, 轮作制

中图分类号 S143

土壤无机硫主要是水溶和吸附态 SO_4^{2-} , 它能被作物直接吸收。有机硫是作物利用硫的主要来源, 分为 HI 还原有机硫(硫酸酯)、碳键硫(C-S)和惰性硫。有机硫只有转化为 SO_4^{2-} 后才能为作物吸收^[1]。土壤硫形态转化规律室内培养和盆栽研究较多^[1,2], 田间试验研究较少, 国外探讨了油菜-休闲制中土壤硫形态转化规律^[3]。水-旱轮作制是中国主要轮作制之一, 该轮作制中土壤处于干-湿交替之中, 土壤硫转化规律可能有其特异性。

本研究选择油-稻轮作制为研究对象, 研究土壤硫形态消长和分配规律。其结果将为评价土壤供硫能力和了解土壤硫肥力维持机制提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地土壤和耕种历史

试验在合肥西郊大杨乡进行。土壤为下蜀系黄土母质发育的水稻土。耕层土壤 pH6.8(水浸提), 有

* 美国硫研究所资助项目(TSI:Project 2500) 部分内容(1996)

收稿日期: 1998-05-18; 收到修改稿日期: 1999-01-04

机碳 13.5g/kg, 水解氮, 有效磷和有效钾分别为 107.6, 41.1 和 71.2mg/kg。1993 年以前(至少 7 年)该田块以油-稻(中稻)轮作。每 2-3 年种油菜季节施普钙 75kg/hm²左右。油菜、水稻根据年份不同灌水一到三次, 灌溉水来自合肥西郊董铺水库。

1.2 试验设计

试验地前茬种油菜, 后茬种水稻。4 次重复、试验小区随机排列。每微区面积为 6 平方米(试验前, 在小区之间挖宽 30 厘米、深 90 厘米沟, 在沟二边分别放入塑料布, 在塑料布之间填土并筑 30 厘米高埂, 埂二边再放塑料布以防止养分在小区间互渗)。田间管理与当地高产栽培措施相同。

1.3 取样和分析

试验前(水稻收后, 1994 年 10 月)、试验油菜收后(1995 年 5 月)和水稻收后(1995 年 8 月)每个小区采样耕层土壤(0~15cm)样品。土壤室内风干、磨碎、塑料棒吸附除去细根后过 20 目和 100 目筛供分析用。用 Johnson-nishita 装置, 将硫还原为 H₂S 后用对氨基二甲苯胺分光光度法测定, 土壤硫分组和分析方法详见参考文献[4]。简述如下: 土样经 NaOBr 消化后比色法测定总硫, HI 酸还原测定硫酸酯+总无机硫, 无机硫用含磷(P)500μg/mlCa(H₂PO₄)₂浸提, 水溶硫用 0.15%CaCl₂浸提。有机硫=总硫-无机硫, Raney-Ni 还原直接测定碳键硫(C-S), 用差减法获得另外硫组分: 硫酸酯(C-O-S)=HI-S 还原硫-总无机硫, 惰性硫=总硫-(HI-S+C-S), 吸附硫=无机硫-水溶硫。

2 结果与分析

2.1 有机硫

由表 1 可见: 油菜收后土壤比试验前土壤总有机硫、有机硫组分硫酸酯、碳键硫和惰性硫含量分别下降了 51.3%、29.3%、60.2%和 73.4%。水稻收后土壤比油菜收后土壤总有机硫、有机硫组分碳键硫、硫酸酯和惰性硫含量分别增加了 129%、78%、302%和 203%。油菜收后土壤比试验前土壤总有机硫、有机硫组分碳键硫和硫酸酯含量分别增加了 11.5%、25.8%和 60%; 而惰性硫则有减少的趋势, 但未达显著水平。

表1 不同时期土壤硫消(-)长(+)

时期	总硫含量	有机硫含量				无机硫含量		
		总有机硫	硫酸酯	碳键硫	惰性硫	总无机硫	水溶硫	吸附硫
油菜	-97.37 ¹⁾	-97.82	-25.86	-14.52	-57.65	+0.44	-0.13	+1.46
种植	(42.6 ²⁾ **	(51.3)**	(29.3)*	(60.2)*	(73.4)**	(1.2)	(0.5)	(4.2)
水稻	+140.83	+119.76	+48.58	+28.9	+42.39	+21.13	+18.96	+2.17
种植	(107)**	(129)**	(78)**	(302)**	(203)**	(55.1)*	(71.4)*	(18.4)
油稻	+43.46	+21.9	+22.72	+14.47	-15.26	+21.57	+18.83	+2.65
轮作	(19)*	(11.5)*	(25.8)*	(60)**	(19.4)	(56.9)**	(70.5)*	(23.5)

*, **表示硫含量增(+)-减(-)差异t检验显著性分别达到5%和1%水平。

1) 土壤硫浓度增减量(单位: mg/kg); 2) 土壤硫浓度增减量百分数(%)。

图 1、2 可见: 与试验前土壤比较, 油菜收后总有机硫、有机硫组分碳键硫和惰性硫占总硫百分数分别下降了 12.6、3.2 和 18.7 个百分点。而碳键硫和惰性硫占总有机硫百分数分

别下降了 2.3 和 18.7 个百分点; 而硫酸酯形态硫占总硫和总有机硫则分别增加了 8.9 和 20.7 百分点。水稻收后土壤比油菜收后土壤总有机硫、有机硫组分碳键硫和惰性硫占总硫百分数分别增加了 7.4、6.9 和 7.7% 个百分点, 碳键硫和惰性硫占总有机硫百分数分别增加了 7.7 和 7.2 个百分点; 而硫酸酯形态硫占总硫和总有机硫百分数则分别减少了 21.2 和 14.9 个百分点。水稻收后土壤比试验前土壤碳键硫占总硫和总有机硫百分数分别增加 3.7 和 5.4 个百分点, 而惰性硫占总硫和总有机硫百分数分别减少了 11 和 11.5 个百分点; 硫酸酯形态硫占总硫和总有机硫百分数则无显著性变化。

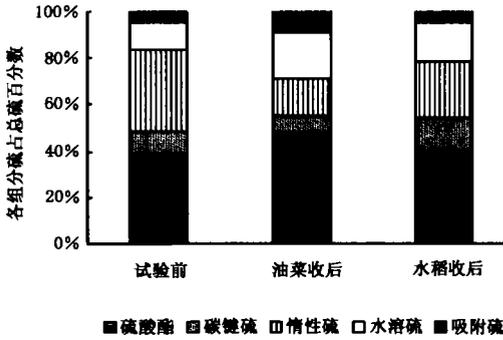


图1 不同时期土壤硫组分在总硫中的分配

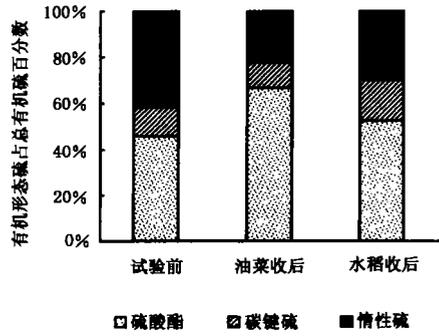


图2 土壤有机硫组分在总有机硫中的分配

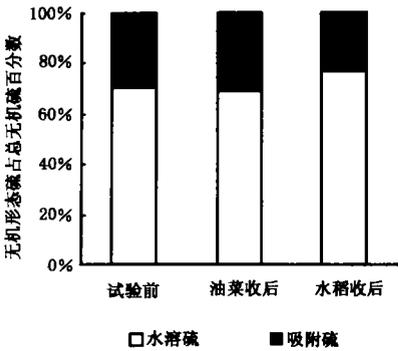


图3 土壤无机硫组分在总无机硫中的分配

2.2 无机硫

由表 1 可见: 与试验前土壤比较, 油菜收后土壤总无机硫、无机硫组分水溶硫和吸附硫含量无显著性差异。水稻收后土壤比油菜收后土壤总无机硫、无机硫组分水溶硫和吸附硫含量分别增加了 55.1%、71.4% 和 18.4%。油-稻轮作后土壤比试验前土壤总无机硫、无机硫组分水溶硫和吸附硫含量分别增加了 56.9% 和 70.5%、23.5%。

由图 1、3 可见: 与试验前土壤比较, 油菜收后土壤总无机硫和无机硫组分水溶硫占总硫百分数分别增加了 12.6% 和 8.5%, 吸附硫占总硫百分数无显著性差异; 无机硫组分水溶硫、吸附硫占总无机硫百分数无显著性变化。水稻收后土壤与油菜收后土壤总无机硫、无机硫组分水溶硫和吸附硫占总硫百分数之间无显著性差异, 水溶硫占总无机硫百分数增加了大约 7 个百分点, 而吸附硫占总无机硫百分数减少了大约 7 个百分点。油-稻轮作后土壤比试验前土壤总无机硫和无机硫组分水溶硫占总硫百分数分别增加了大约 5 个百分点, 吸附硫占总硫百分数则无显著性差异; 水溶硫占总无机硫百分数增加 6 个百分点, 吸附硫则减少 6 个百分点。

2.3 总硫

由表 1 可见, 与试验前比较, 油菜收获后土壤总硫含量下降了 42.6%。而与油菜收获后土壤比较, 水稻收获后土壤总硫含量增加 107%。与试验前比较, 经过一年油-稻种植

后,土壤总硫增加了19%。

3 讨论

3.1 土壤有机硫季节变化和分配规律

本试验发现油菜季节耕层土壤有机硫含量及占总量百分数都有很大下降,而水稻季节则相反(表2)。前人研究结果^[3]结合本试验表明:田间条件下耕层土壤有机硫有很大的波动性。但将其原因完全归结于土壤有机质中硫的矿化分解^[3]可能有失偏颇。因为土壤有机硫含量是总硫与磷酸二氢钙浸提硫差减获得^[4]。因此,有机硫不但包括土壤有机质中的硫,而且也含有一些作物根系脱落物部分分解产物中的硫。本研究中,试验前土壤采自水稻收获后不久,由于水稻根比油菜根细且多;因此,水稻收后土壤有机物部分分解产物中硫含量以及在自然风干过程中分解速率可能大于油菜收后土壤。这可能是导致油菜收后土壤总有机硫如此大的下降的主要原因之一。为了将这种影响减少到最低限度,在未来有机硫形态转化规律研究中建议种植粗根系(如棉花)或块茎(芋艿、马铃薯等)作物。有试验表明有机硫在土体中迁移是土壤硫输出的另一条途径^[5]。本试验小区之间用塑料布隔开,无径流,有机硫在土壤剖面中淋溶可能大于非隔离条件下的自然土壤,这也可能是耕层土壤有机硫有较大的波动性原因之一。耕层土壤碳键硫和惰性硫含量、占总硫百分数和占总有机硫百分数季节变化与分配规律与总有机硫基本相似(表1,图1、2、3)。作物体中的硫90%累积于蛋氨酸和胱氨酸(属碳键硫)^[1]。根系脱落物及其随后土壤样品风干过程中分解对土壤碳键硫观测也会有影响。碳键硫主要是低分子量的含硫氨基酸,不但易矿化分解,也易被淋失^[1、6]。碳键硫(主要是含硫氨基酸)在旱地和水田土壤分解速率可能有很大不同,因为含硫氨基酸在好气条件下易分解,一般不积累^[1]。因此,油菜季节碳键硫含量及分配下降,水稻季节上升可能是上述因素综合作用的结果。

Castellano(1991)发现土壤惰性硫含量有很大的季节变异性(从S大于140mg/kg到S小于40mg/kg)^[3]。本研究发现在有机硫三个组分中土壤惰性硫含量增减幅度是比较大的(表1)。原因至少有以下三个方面:首先,惰性硫含量是通过差减法获得,因此有一定测定误差。其次根系脱落物及其随后土壤样品风干过程中分解对惰性硫观测的影响。第三,惰性硫消长与惰性硫本身转化可能也有关。因为有资料表明惰性硫含量最低值出现在干旱的夏季^[3]。盆栽试验也发现作物根际土壤惰性硫含量显著低于非根际土壤^[7]。因此,惰性硫虽不为氢碘酸分解,但在生物作用下也可能被转化,而具有生物有效性。果真如此,那么惰性硫既可以是作物硫的来源,也可能是土壤硫的主要库。由于土壤惰性硫在土壤总硫中有很大份额(占总硫2.9%~51%)^[1、8],因此,土壤惰性硫在土壤硫的矿化和固定以及土壤供硫能力上可能也具有重要作用。

耕层土壤硫酸酯含量季节变化与总有机硫及有机硫组分碳键硫和惰性硫相同;即油菜季节减少,水稻季节增加(表1)。Castellano(1991)发现油菜生长期间土壤硫酸酯形态硫下降近40mg/kg^[3]。本试验硫酸酯占总硫百分数和占总有机硫百分数季节变化规律则与含量相反,即油菜季节增加,水稻季节减少(图1、2)。那些结合于有机聚合体内表面硫酸酯被屏蔽而难以被酶分解,腐殖质中硫酸酯对酶水解有很大抗性^[9];就总体讲土壤有机硫

三个组分中硫酸酯形态硫是最活跃形态^[1]。硫酸酯与碳键硫、惰性硫分配季节变化规律差异应该不是硫酸酯活性比碳键硫、惰性硫弱,其原因有待探讨。

3.2 轮作制度对土壤有机硫消长影响

虽然油菜种植导致土壤总有机硫有显著下降,而其在水稻种植期间被逆转。试验期间硫循环参数观测表明:油菜种植期间种植油菜处理耕层土壤硫输出主要途径是作物吸收,占硫输出总量 70%;其次是淋失占 22%。水稻种植期间种水稻处理耕层土壤硫输入主要是灌溉水(43kg/hm²),占硫输入总量 54%;其次是底土层硫补给和大气沉降,分别占 27%和 19%^[10]。油、稻期间土壤有机硫消长规律异同可能还与水旱条件下土壤有机硫分解速率的差异有关。因为,水田土壤有机硫较早地土壤难分解^[1]。可见,水-旱轮作制度是维持该地区土壤硫肥力的一种较好耕作措施。

参 考 文 献

1. Freng J R. Form and reaction of organic sulfur compounds on soil. In: Tabatabai M A ed. Sulfur in Agriculture. Agronomy Monograph No.27. ASA-CSSA-SSSA. Madison. 1986,207~231
2. Ghani A, McLaren R G, Swift R S. Sulphur mineralisation and transformation in soils as influence by addition of C, N and S. Soil Biol. Biochem, 1992, 24(4): 331~341
3. Castellano S D, Dick R P. Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55: 114~121
4. Tabatabai M A. Sulfur. In: Miller A L, Keeney D R eds. Methods of Soil Analysis, Part2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No.9 (2nd ed.) Am. Soc. Agron. Madison. Wi, 1982, 501~538
5. Schoenau J J, Bettang J K. Organic matter leaching as a component of C, N, P and S cycles in a forest, grassland and gleyed soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 1987, 51: 696~651
6. Fitegerald J W. Naturally occurring organic S compounds in soil. In: Nriagu J O ed. Sulfur in the Environment, Part2. John Wiley and Sons, New York. 1978, 391~443
7. 胡正义, 沈宏. 土壤有机硫组分的生物有效性研究. 南京大学学报(自然科学), 1997, 33(专辑): 250~252
8. 胡正义, 张继臻, 竺伟民. 安徽省主要农用土壤中硫形态组分的初步研究. 土壤, 1996, 28(3): 119~122
9. Lou G, Warman P R. Labile ester sulphate in organic matter extracted from podzolic soils. Biol. Fertil. Soils. 1992, 14: 267~271
10. 胡正义, 沈善敏. 江淮丘陵地区油-稻轮作条件下土壤硫库变化研究. 应用生态学报, 1998, 9(5): 481~486