植物营养与肥料学报 1999,5(3):273～281
Plant Nutrition and Fertilizer Science

土壤有机硫形态分配的季节变化与作物效应

胡正义[1]　竺伟民[2]　曹志洪[1]

(1 中国科学院南京土壤研究所,江苏南京　210008; 2 安徽农业大学,安徽合肥　230036)

摘要　江淮丘陵地区下蜀黄土母质发育的水稻土油-稻轮作试验表明:油菜收获后土壤比试验前土壤总有机硫及碳键硫、硫酸酯和惰性硫组分含量分别下降了51.3%、60.2%、29.3%和73.4%;水稻收获后土壤比油菜收获后土壤总有机硫及碳键硫、硫酸酯和惰性硫组分含量分别增加了129%、302%、78%和203%。

与试验前土壤比较,油菜收获后土壤有机硫、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,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有机硫百分数则分别增加了8.9和20.7百分点。与油菜收获后土壤比较,水稻收获后土壤总有机硫、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。

与同期不种作物处理相比,油菜收获后和油-稻轮作后土壤硫酸酯形态硫含量、占总硫及占有机硫百分数分别增加12.4个百分点和64.1个百分点,7.2和14.5个百分点及10.8和17.9个百分点;而土壤惰性硫占总硫百分数下降9.6和13.6个百分点,占有机硫百分数则增加12.8和18.6个百分点。

虽然油菜种植导致耕层土壤有机硫有显著下降,而其在水稻种植期间被逆转。因此,油-稻轮作制度是维持该地区土壤硫肥力的一种较好耕作措施之一。

关键词　土壤;有机硫;油-稻轮作制度;效应

土壤硫主要是有机硫,它是作物利用硫的主要源[1]。而作物从土壤中吸收的是SO_4^{2-}形态硫,有机硫被作物吸收之前必须转化为SO_4^{2-}[1]。因此,土壤有机硫转化关系到土壤硫的生物有效性,而倍受关注。

根据土壤有机硫对还原剂的稳定性大小将其分为三种形态:HI还原有机硫(主要是硫酸酯,C-O-S)、碳键硫(主要是含硫氨基酸,C-S)和惰性硫(也称残余硫)[1]。有关土壤有机硫形态转化规律报导较多,但以室内培养和盆栽实验研究居多[1,2],田间试验较少[3]。田间试验研究表明土壤无机硫在土壤中季节性变化很大[4]。国外仅就油菜-休闲制度探讨了田间条件下土壤有机硫消长规律[3]。水-旱轮作是中国主要轮作制之一,由于该轮作制中土壤长期处于干-湿交替之中,土壤有机硫形态消长规律可能有其特异性。

本研究选择油-稻轮作制为研究对象,研究土壤有机硫形态消长和分配规律,并就一些影响因素进行探讨。研究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。

收稿日期:1998-05-22

1 材料与方法

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，有机碳 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 年种油菜季节每公顷施普钙 375 公斤左右。油菜、水稻根据年份不同灌水 1～3 次，灌溉水来自合肥西郊董铺水库。

1.2 试验设计

试验设种作物(T)[前茬为没菜(TA)、后茬为水稻(TI)]和不种作物(CK)[早季(CKA)，水季(CKI)]2 个处理。4 次重复、试验小区随机区组排列。每微区面积为 6 平方米。小区之间在离地面 30cm 和地下 90cm 均用塑料布隔开。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(94 年 10 月)、油菜收后(95 年 5 月)、水稻收后(95 年 8 月)每个小区采集耕层土壤(0～15cm)样品。室内风干过 0.85mm 和 0.15mm 筛供分析用。土壤硫分析和分组方法详见参考文献[5]。简述如下：土壤硫经 NaOBr 消化为 SO_4^{2-}，随后在 Johnson-nishita 装置中，用氢碘酸将 SO_4^{2-} 还原为 H_2S，H_2S 与对氨基二甲苯胺反应分光光度法(MB 法)测定总硫；用氢碘酸将土壤有机硫酸酯和全部无机硫还原为 H_2S 后 MB 法测定这部分硫(HI 还原硫)；无机硫用含磷(P) 500μg/mL $Ca(H_2PO_4)_2$ 浸提，硫酸钡比浊法测定。Raney-Ni 将土壤碳键硫(C-S)(主要是含硫氨基酸)还原为 H_2S 后 MB 法测定。有机硫＝总硫－无机硫，差减法获得其它硫组分：硫酸酯(C-O-S)＝HI 还原硫－总无机硫，惰性硫＝总硫－(HI-S＋C-S)。

2 结果与分析

2.1 总硫

与试验前比较，油菜收获后 CKA 和 TA 处理土壤总硫含量都有极显著下降，CKA 和 TA 处理总硫含量分别下降了 39.3%和 42.6%。而与油菜收获后比较，水稻收获后土壤总硫含量有极显著增加，CKI 和 TI 处理分别增加了 87.1%和 107%。与试验前比较，经过一年油-稻种植后，CK 和 T 处理土壤总硫含量分别增加 12.9%和 19%，但仅后者统计达显著性水平(表 1、2)。

表 1 不同取样时期耕层土壤各组分有机硫含量(S mg/kg)

Table 1 Content of organic form sulphur in top-layer soils sampled different periods

取样时期 Period of sampling	作物种植 Crop planting	总硫含量 Content of total S	各组分有机硫含量 Content of organic forms sulphur in soils			
			总有机硫 Total organic S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S
试验前		228.76	190.3	88.14	24.12	78.55
油菜收后	TA	131.39	92.98	62.28	9.6	20.9
	CKA	138.05	98.5	55.43	8.25	34.83
水稻收后	TA＋TI	272.22	212.74	110.86	38.59	63.29
	CKA＋CKI	258.34	197.52	67.56	34.77	95.2

表 2　不同时期土壤各组分有机硫含量消长(S mg/kg)

Table 2　Increment(+)/decrement(−) for content of organic form sulphur in soils during different periods

时期 Periods	种植处理 Planting treatment	总硫 Total S	各有机硫组分含量消长 Increment/decrement for content of organic form S in soils			
			总有机硫 Total organic S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S
油菜种植	CKA	−90.71	−92.3	−32.71	−15.87	−43.72
		(39.3)**	(48.4)**	(37.1)**	(65.8)**	(55.7)**
	TA	−97.37	−97.82	−25.86	−14.52	−57.65
		(42.6)**	(51.3)**	(29.3)*	(60.2)*	(73.4)**
水稻种植	CKI	+120.29	+99.02	+12.13	+26.52	+60.37
		(87.1)**	(101)**	(21.9)*	(322)**	(173)**
	TI	+140.83	+119.76	+48.58	+28.9	+42.39
		(107)**	(129)**	(78)**	(302)**	(203)**
油-稻轮作	CK	+29.58	+6.72	−20.53	+10.65	+16.65
		(12.9)	(3.5)	(23.3)*	(44.2)*	(21.2)
	T	+43.46	+21.9	+22.72	+14.47	−15.26
		(19)*	(11.5)*	(25.8)*	(60)**	(19.4)

*，**表示硫含量增(+)减(−)差异 t 检验显著性分别达到 5% 和 1% 水平(表 3 同)。*, ** indicate significant level at 5% and 1% respectively by t-test of the increment (+)/decrement(−) of soil S content (same in table 3). 括号内数字为增减百分数(表 3 同)。data in parentheses was percent of increment(+)/decrement(−).

油菜收后和油-稻轮作后土壤总硫含量与同期不种作物处理之间无显著性差异(表 3)。

表 3　与不种作物比较，种作物对土壤各组分有机硫含量增减效应(S mg/kg)

Table 3　Effect of cropping on content of organic form sulphur in soils compared with no-cropping treatment

采样时期 Period of sampling	总硫 Total S	各组分有机硫增减 Increment/decrement of organic forms sulphur in soils			
		总有机硫 Total organic S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S
油菜收获后	−6.66	−5.52	+6.85	+1.35	−13.93
	(4.8)	(5.6)	(12.4)	(16.4)	(40)
水稻收获后	+13.88	+15.22	+43.3	+3.82	−31.91
	(5.3)	(7.7)	(64.1)**	(11)	(33.5)*

2.2　总有机硫

与试验前土壤比较，油菜收后 CKA 和 TA 处理土壤有机硫含量、占总硫百分数都有下降趋势。CKA 和 TA 处理有机硫含量分别下降了 48.4% 和 51.3%(表 1、2)；有机硫占总硫百分数分别下降了 12 个百分点和 12.6 个百分点(表 3、4)。而与油菜收后土壤比较，水稻

收后土壤有机硫含量和有机硫占总硫百分数有显著增加。CKI 和 TI 处理有机硫含量分别增加了 101% 和 129%(表 1、2);有机硫占总硫百分数分别增加了 5.1 个百分点和 7.4 个百分点(表 4、5)。与试验前土壤比较,经过一年油-稻种植后,CKI 和 TI 处理总有机硫含量分别增加了 3.5% 和 11.5%,后者统计达显著性水平(表 1、2)。而 CKI 和 TI 处理有机硫占总硫百分数则分别减少了 6.9 个百分点和 5.2 个百分点(表 4、5)。

油菜收后土壤和油-稻轮作后土壤总有机硫含量、占总硫百分数与同期不种作物处理之间无显著性差异(表 3、6)。

表 4 不同时期土壤有机硫组分分配系数(%)

Table 4 Distribution coefficient of organic sulphur forms in soils sampled different periods

采样时期 Period of sampling	种植处理 Planting treatment	各有机硫组分含量占总硫百分数 Percent of OS forms in total S				各组分有机硫含量占有机硫百分数 Percent of OS forms in total OS		
		总有机硫 Total organic S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S
试验前		83.4	38.5	10.5	34.3	46.3	12.7	41.3
油菜收后	TA	70.8	47.4	7.3	15.6	67.0	10.4	22.6
	CKA	71.4	40.2	6.0	25.2	56.2	8.4	35.4
水稻收后	TA+TI	78.2	40.7	14.2	23.3	52.1	18.1	29.8
	CKA+CKI	76.5	26.2	13.5	36.9	34.2	17.6	48.2

表 5 不同时期土壤有机硫组分分配系数增减(%)

Table 5 Percent of increment/decrement for distribution coefficient of organic sulphur forms in soils sampled different periods

时期 Periods	种植处理 Planting treatment	有机硫含量占总硫百分数增减 Percent of increment/decrement for distribution coefficient of OS forms in total Sulphur in soil				有机硫含量占总有机硫百分数增减 Percent of increment/decrement for distribution coefficient of OS forms in total organic S		
		总有机硫 Total OS	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S
油菜种植	TA	−12.6	+8.9*	−3.2*	−18.7**	+20.7**	−2.3	−18.7**
	CKA	−12.0	+1.7	−4.5*	−9.1*	+9.9	−4.3*	−5.9
水稻种植	TI	+7.4	−21.2**	+6.9**	+7.7**	−14.9*	+7.7**	+7.2**
	CKI	+5.1	−14.0**	+7.5**	+11.7**	−22.0**	+9.2**	+12.8**
油-稻轮作	T	−5.2	−2.2	+3.7*	−11.0**	+5.8	+5.4**	−11.5**
	CK	−6.9	−12.3**	+3.0*	+2.6	−12.1*	+4.9**	+6.9

*, ** 表示硫形态分配系数增(+)减(−)差异 t 检验显著性分别达到 5% 和 1% 水平(表 6 同)。*, ** indicate significant level at 5% and 1% respectively by t-test of the increment (+)/decrement(−) of the distribution coefficient of S forms in soils(same in table 6).

2.3 碳键硫(C-S)

与试验前土壤比较,油菜收后 CKA 和 TA 处理土壤碳键硫含量、占总硫百分数和占有

表 6　与不种作物比较,种作物对土壤有机硫硫组分分配的影响(%)

Table 6　Effect of cropping on distribution coefficient of organic sulphur forms in soils compared with no-cropping

采样时期 Periods of sampling	有机硫含量占总硫百分数增减 Percent of increment/decrement for distribution coefficient of OS forms in total S in soil				有机硫含量占总有机硫百分数增减 Percent of increment/decrement for distribution coefficient of OS forms in total OS in soil		
	总有机硫 Total organic S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S	硫酸酯 C-O-S	碳键硫 C-S	惰性硫 Inert-S
TA	−0.6	+7.2*	+1.3	−9.6**	+10.8**	+2.0	+12.8**
TA+TI	+1.7	+14.5**	+0.7	−13.6**	+17.9**	+0.5	+18.6**

机硫百分数都有显著下降。CKA 和 TA 处理碳键硫含量分别下降了 66% 和 60%(表 1、2)。CKA 和 TA 处理碳键硫占总硫百分数分别下降了 4.5 个百分点和 3.2 个百分点;占有机硫百分数分别下降了 4.3 个百分点和 2.3 个百分点(表 4、5)。而与油菜收后土壤比较,水稻收获后土壤碳键硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数都有显著增加。CKI 和 TI 处理碳键硫含量分别增加了 322% 和 302%(表 1、2)。CKI 和 TI 处理碳键硫占总硫百分数分别增加了 7.5 个百分点和 6.9 个百分点;占有机硫百分数分别增加了 9.2 个百分点和 7.7 个百分点(表 4、5)。与试验前土壤比较,经过 1 年油-稻种植后,土壤碳键硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数都有显著增加,CK 和 T 处理碳键硫含量分别增加了 44.2% 和 60%(表 1、2)。CK 和 T 处理碳键硫占总硫百分数分别增加了 3.0 个百分点和 3.7 个百分点;占有机硫百分数分别增加了 4.9 个百分点和 5.4 个百分点(表 4、5)。

油菜收后和油-稻轮作后土壤碳键硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数分别比同期不种作物处理稍高。但差异均未达显著性水平(表 3、6)。

2.4　惰性硫

与试验前土壤比较,油菜收后 CKA 和 TA 处理土壤惰性硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数有下降的趋势。CKA 和 TA 处理惰性硫含量分别下降了 55.7% 和 57.7%(表 1、2);CKA 和 TA 处理惰性硫占总硫百分数分别减少 9.1 个百分点和 18.7 个百分点;占有机硫百分数分别减少了 5.9 个百分点和 18.7 个百分点(表 4、5)。与油菜收后土壤比较,水稻收后土壤惰性硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数有显著增加。CKI 和 TI 处理惰性硫含量分别增加 173% 和 203%(表 1、2)。CKI 和 TI 处理惰性硫占总硫百分数分别增加 11.7 个百分点和 7.7 个百分点;占总有机硫百分数分别增加 12.8 个百分点和 7.2 个百分点(表 4、5)。与试验前土壤比较,经过一年油-稻种植后,CK 处理惰性硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数有增加趋势,但统计未达显著水平。而 T 处理惰性硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数有减少趋势。惰性硫含量减少 19.4%,未达显著性水平;惰性硫占总硫百分数和占有机硫百分数分别减少 11 个百分点和 11.5 个百分点,达显著性水平。

油菜收后和油-稻轮作后土壤惰性硫含量、占总硫百分数显著低于同期不种作物处理。惰性硫含量分别低 40% 和 33.5%;惰性硫占总硫百分数分别低 9.6 个百分点和 13.6 个百分点;而占有机硫百分数确比同期不种作物处理高 12.8 个百分点和 18.6 个百分点(表 3、6)。

2.5 硫酸酯(C-O-S)

与试验前土壤比较,油菜收后 CKA 和 TA 处理土壤硫酸酯形态硫含量分别下降了37%和29%(表1、2)。与试验前土壤比较,CKA 和 TA 处理土壤硫酸酯形态硫占总硫百分数、占有机硫百分数则有增加的趋势。CKA 和 TA 处理占总硫百分数分别增加了 1.7 个百分点和 8.9 个百分点;占总有机硫百分数分别增加了 9.9 个百分点和 20.7 个百分点(表4、5)。这与土壤碳键硫和惰性硫分配规律相反。与油菜收获后土壤比较,水稻收获后 CKI 和 TI 处理土壤硫酸酯形态硫含量分别增加了22%和78%(表1、2);但 CKI 和 TI 处理土壤硫酸酯形态硫占总硫百分数、占有机硫百分数则有减少的趋势。CKI 和 TI 处理占总硫百分数分别减少了 14 个百分点和 21.2 个百分点;占总有机硫百分数分别减少了 22 个百分点和 14.9 个百分点。与试验前土壤比较,经过一年油-稻种植后,CK 处理硫酸酯形态硫减少了23%,而 T 处理硫酸酯形态硫增加了 25.8%,其差异均达显著性水平。而与试验前土壤比较,经过一年油-稻种植后 CK 和 T 处理土壤硫酸酯形态硫占总硫百分数和占有机硫百分数有减少的趋势。CK 和 T 处理占总硫百分数分别减少了 12.3 个百分点和 2.2 个百分点;占总有机硫百分数 CK 和 T 分别减少了 5.8 个百分点和 12.1 个百分点(表4、5)。

油菜收后和油菜-水稻轮作后土壤硫酸酯形态硫含量、占总硫百分数和占有机硫百分数分别比同期不种作物处理高。硫酸酯形态硫含量分别高 12.4% 和 64.1%,后者差异 t 检验达极显著性水平;占总硫百分数分别高 7.2 和 14.5 个百分点;占总有机硫百分数则分别高 10.8 和 17.9 个百分点,其差异均达显著水平(表3、6)。

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)。前人试验结果[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可能有失偏颇。因为土壤总有机硫含量是总硫与磷酸二氢钙浸提硫差减获得[5]。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初步分解产物中的硫。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初步分解产物含量、产生的有机硫含量以及在自然风干过程中分解速率可能大于油菜收获后土壤。这可能是导致油菜收获后耕层土壤总有机硫下降如此大的主要原因之一。也有试验表明有机硫在土体中迁移可能是土壤硫输出的另一条途径[6]。本试验小区间都用塑料布隔开,无径流发生,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、占总硫百分数和占有机硫百分数季节变化与分配规律与有机硫基本相同(表2、5)。已发现作物体中的硫 90% 累积于蛋氨酸和胱氨酸(碳键硫)[1]。由上所述可见,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[1,7]。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

的原因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 2、5)。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油-稻轮作期间惰性硫观测的影响。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[8]。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%)[1,9],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有机硫及其碳键硫和惰性硫相同;而硫酸酯占总硫百分数和占有机硫百分数季节变化则有相反趋势(表 2、5)。Castellano(1991)也发现在油菜生长期间土壤硫酸酯形态硫(S)下降近 40mg/kg[3]。本研究发现,有机硫三个组分中硫酸酯形态硫含量波动最小,这是因为硫酸酯形态硫是氢碘酸还原硫与磷酸二氢钙浸提硫之差获得,而作物体中硫主要是碳键硫,硫酸酯含量很少[1]。因此,不同时期土壤样品中根系脱落物对随后硫酸酯含量的影响应该比碳键硫和惰性硫小。尽管有试验表明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[10];但就总体来讲在土壤有机硫三个组分中硫酸酯形态硫是最活跃的有机硫形态[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　作物种植对土壤硫消长影响

与同期不种作物处理相比,油菜收后和油-稻轮作后耕层土壤总硫、总有机硫含量以及有机硫占总量百分数无显著性差异(表 3、6)。国外研究也发现:与不种作物相比,虽然种作物可促使土壤有机硫矿化,但不一定导致土壤有机硫含量下降[3,11]。这些结果表明种植作物不一定就导致土壤硫肥力下降。这为农业可持续性提供了依据。

作物种植对各组分有机硫含量及分配影响与总硫和总有机硫不完全相同。与同期不种作物处理相比,油菜收后和油-稻轮作后耕层土壤碳键硫无显著变化(表 3、6);而惰性硫含量和占总硫百分数低于同期作物处理,占有机硫百分数高于同期不种作物处理(表 3、6)。作物种植对硫酸酯含量和占总硫百分数影响与惰性硫相反,但硫酸酯占总有机硫百分数影响与惰性硫相同。这反映了作物种植对土壤有机硫消长及分配影响的复杂性。

3.3　轮作制度对土壤有机硫硫消长影响

虽然油菜种植导致土壤有机硫有显著下降,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(S 43kg/hm^2),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%[12]。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,水田土壤有机硫较旱地土壤难分解[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 JR. Form and reaction of organic sulfur compound on soil. *In* Tabatabai MA(ed.), Sulfur in agriculture, Agronomy Mongraph, ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1986, 27:207～231.

2 Ghani A, McLaren RG and Swift RS. 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 SD and Dick RP. Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformation in soil. Soil Sci .Soc. Am. J., 1991, 55:114～121.

4 Williams CH and Lipsett J. Fertility changes in soils cultivated for wheat in southern new South Wales. Aust. J. Agric. Res., 1961, 12:612～629.

5 Tabatabai MA. Sulfur. *In*: Methods of saoil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties. Agronomy Mongraph (2nd ed.), Am. Soc. Agron. Madison, Wi, 1982, 9:501～538.

6 Schoenau JJ and Bettang JK. Organic matter leaching as a component of C, N, P and S cyclings in a forest, grassland and gleyed soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 1987, 51:651～696.

7 Fitegerald JW. Naturally occurring organic S compounds in soil. *In*: Nriagu JO (eds), Sulfur in the environment, part 2, John Willey and Sons, New York, 1987, 391～443。

8 胡正义,沈宏．土壤有机硫组分的生物有效性．南京大学学报(自然科学),1997,33(专辑):250～252.

9 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.

10 Lou G and Warman PR. Labile ester sulphate in organic matter extracted from podzolic soils. Biol. fertil. Soils, 1992, 14: 267～271.

11 Nicolson AJ. Soil sulphur balance studies in the presence and absence of growing plants. Soil Sci., 1970, 109(5):345～350.

12 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.

SEASON DISTRIBUTION OF ORGANIC SULFUR FORMS IN SOILS AS AFFECTED BY CROPPING

Hu Zhengyi[1]　Zhu Weimin[2]　Cao Zhihong[1]

(1 *Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing* 210008; 2 *Anhui Agricultural University, Hefei* 230036)

Abstract The results of rape-rice rotations field trails conducted in hills region between Yangtze and Huaihe Rivers indicated that content of total organic sulphur, and C-S, C-O-S and inert-S in soils sampled after harvesting rape decreased by 51.3%, 60.2%, 29.3%, and 73.4% respectively compared with soils sampled before trail; content of total organic sulphur, and C-S, C-O-S and inert-S in soils sampled after harvesting rice increased by 129%, 302%, 78% and 203% respectively compared with soils sampled after harvesting rape.

Compared with soils sampled before trails, percent of total organic sulphur, C-S, C-O-S and inert-S in total sulphur in soils sampled after harvesting rape decreased by 12.6, 3.2 and 18.7 respectively; percent of C-S and inert-S in total organic sulphur in soils decreased by 2.3 and 18.7 respectively ; however percent of C-O-S in total sulphur and organic sulphur in soils increased by 8.9 and 20.7 respectively. Compared with soils sampled after harvesting rape, percent of total organic sulphur, C-S and inert-S in total sulphur in soils sampled after harvesting rice increased by 7.4, 6.9 and 7.7; percent of C-S and inert-S in total organic sulphur in soils increased by 7.7 and 7.2 respectively; however percent of C-O-S in total sulphur and organic sulphur in soils decreased by 21.2 and 14.9 respectively.

Compared with soils sampled CK treatment in corresponding period, content of C-O-S, percent of C-O-S in total sulphur and total organic sulphur in soils sampled after harvesting rape and rape-rice rotations increased by 12.4% and 64.1%, 7.2 and 14.5, and 10.8 and 17.9 respectively; however percent of inert-S in total sulphur in soils decreased by 9.6 and 13.6, and percent of inert-S in total organic sulphur increased by 12.8 and 18.6.

The organic sulphur in top layer soil during rape planting decreased significantly, and that during rice planting on the opposite side. This showed that rape-rice rotation systems was one of better cropping systems for maintaining soil sulphur fertility in the area.

Key words Soil; Organic sulphur; Rape-rice rotation system; Effect