植物营养与肥料学报 2002,8(2):131～136
Plant Nutrition and Fertilizer Science

长期定位施肥对土壤有机无机复合状况的影响

史吉平[1], 张夫道[2], 林　葆[2]
(1 上海交通大学,上海 201101;2 中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘要:长期施用化肥、有机肥或有机无机肥配施均能提高潮土和旱地红壤的原土复合量,有机无机肥配施还可以提高红壤性水稻土耕层的原土复合量,单施化肥对红壤性水稻土的原土复合量影响不大;长期施肥降低3种土壤的原土复合度,但提高了土壤的增值复合量和增值复合度。施有机肥或有机无机肥配施土壤的增值复合量高于施化肥的土壤,但其增值复合度却低于施化肥的土壤。长期施肥还影响土壤有机无机复合体的粒径分级,施肥一般都可提高土壤中粘粒级和粉砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。长期施用有机肥或有机无机肥配施还可以提高3种土壤中的 G_0、G_1 和 G_2 等3组复合体含量,并且有机无机肥配施可以促使 G_0 和 G_1 组复合体向水稳性强的 G_2 组复合体转化。

关键词:长期定位施肥;土壤;有机无机复合体;粒径分级
中图分类号:S153.6　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2002)02-0131-06

Effects of long-term fertilization on organo-mineral complex status in soils

SHI Ji-ping[1], ZHANG Fu-dao[2], LIN Bao[2]
(*1 Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201101, China; 2 Soil and Fertilizer Inst. CAAS, Beijing 100081, China*)

Abstract: Long-term application of inorganic fertilizer, organic manure, or combined application of both could increase the original soil compound of fluvo-aquic soil and arid red soil. Combined application of organic manure and inorganic fertilizer could also increase the original soil compound in the topsoil, while single application of inorganic fertilizer had less effect on the original soil compound of paddy red soil. Besides, long-term fertilization could decrease the original soil complex degree, but increase the adding compound and adding complex degree of the three sorts of soil. The soil applied with organic manure or combined with inorganic fertilizer was higher in adding compound, but lower in adding complex degree than that applied with inorganic fertilizer. Long-term fertilization could influence the classification of particle diameter of organo-mineral complex. Specifically, fertilization could increase the levels of clayey and silty compexes, and decrease the level of sandy complex. Long-term application of organic manure, or combined with inorganic fertilizer could increase the levels of three groups of complexes (G_0: water dispersing complex, G_1: sodic dispersing complex and G_2: grind sodic dispersing complex), and accelerate conversion of G_0 and G_1 groups of complexes into water-stable G_2 groups of complexes.

Key words: long-term fertilization; soil; organo-mineral complex; classification of particle diameter

土壤腐殖质与土壤矿物质结合成有机无机复合体,是土壤中比较活跃的组成部分,对土壤结构的形成、土壤水分和养分的保持与供应都有重要影响。因此,有机无机复合体是土壤肥力的重要物质基础,是土壤肥力研究中不可缺少的环节。

土壤有机质与矿物质的复合程度可以用复合量和复合度来表示,复合量是反应土壤中有机质与矿物质相复合的重要数量指标,它可以反映土壤的肥力状况[1]。有机无机复合度是研究土壤复合体的另一个重要指标,它也能反映土壤有机物质与无机

收稿日期:2001-02-27
基金项目:农业部"九．五"部重点农业高新技术与基础研究项目(农～03)资助。
作者简介:史吉平(1964—),男,山西代县人,副教授,植物营养博士,现在上海交通大学做蔬菜有机栽培技术方面的博士后研究,主要从事土壤与植物营养研究。

部分相结合的数量和状况。

土壤中有机无机复合体的分级问题已有许多研究报道,由于研究者的研究角度和胶体分散方法不同,土壤有机无机复合体的分级方法分为两类[1],一类为超声分散法(又称 Edwards,Bremner 等的物理颗粒分级法),一类为胶散分级法。利用超声分散法可将土壤中的有机无机复合体分为粘粒级(<2μm)、粉砂级(2~20μm)、细砂级(20~200μm)和粗砂级(>200μm)等4级。研究表明,土壤中的有机质及铁、铝、钙、镁、磷等集中分配在比重小的粘粒部分[1],因此土壤中粘粒级复合体含量的多少决定着土壤肥力的高低。但有关长期施肥条件下土壤有机无机复合体分级方面的研究报道却不多见。

本研究以河北省辛集市马兰农场的潮土、江西省进贤县江西省红壤研究所的旱地红壤和红壤性水稻土为研究对象,探讨长期施肥对不同类型土壤有机无机复合状况的影响,以期为科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤分别采自河北省辛集市马兰农场和江西省进贤县江西省红壤研究所的长期定位试验基地。田间试验设计与采样方法如下:

1.1.1 潮土试验 为1980年开始在河北省辛集市马兰农场进行的长期试验,土壤质地为轻壤。供试土壤基本性质见表1。该试验设:CK(不施肥)、N、NP、NPK、OM(有机肥)、N+OM、NP+OM、NPK+OM等8个处理。小区面积80.0m²,3次重复,顺序排列。试验采用冬小麦—夏玉米轮作制。肥料品种为尿素、普通过磷酸钙、氯化钾及农家肥。氮肥40%作底肥,60%在小麦起身期追施,其它肥料均一次性基施,玉米生长期再追施375kg/hm² 尿素。各种肥料用量见表2。本项研究于1996年6月12日在CK、NPK、OM、NPK+OM等4个处理区取样。当年所用小麦品种为冀麦38,玉米品种为7505。

1.1.2 旱地红壤试验 为1986年开始在江西省进贤县江西省红壤研究所进行的长期试验,土壤质地为粘土。供试土壤基本性质见表1。该试验设:CK(不施肥)、N、P、K、NP、NK、NPK、2倍NPK、OM(有机肥)、NPK+OM等10个处理。小区面积22.22m²,3次重复,随机排列。试验采用早玉米—晚玉米—休闲制。肥料品种为尿素、钙镁磷肥、氯化钾及猪粪。各种肥料用量见表2。本试验于1996年7月20日在CK、NPK、OM、NPK+OM等4个处理区取样。当年所用早玉米品种为湘玉7号,晚玉米品种为郑三3号。

1.1.3 红壤性水稻土试验 为1981年开始在江西省进贤县江西省红壤研究所进行的长期试验,土壤质地为粘土。供试土壤基本性质见表1。试验设:CK(不施肥)、N、P、K、NP、NK、NPK、2倍NPK、NPK+OM等9个处理。小区面积46.6m²,3次重复,随机排列。试验采用早稻—晚稻—冬闲制。早晚稻品种组合5年一换,肥料品种为尿素、钙镁磷肥、氯化钾、紫云英(早稻)和猪粪(晚稻)。试验于1996年7月24日在CK、NPK、NPK+OM等3个处理取样。当年所用早稻品种为2106,晚稻品种为汕优64。

以上3种土壤基本理化性状见表1,3个试验所用各种肥料用量如表2。所用土壤样品分0~20、20~40、40~60、60~80、80~100cm等5层采集,每个处理随机取6个点,混合制样。样品经风干后过1mm和0.25mm筛备用。

1.2 测试项目与方法

土壤有机无机复合度和复合量:采用杜列液比重分离法测定[2]。

土壤不同粒级复合体分级:采用超声分散重力分级法测定[1]。共分4级,即粘粒级(<2μm)、粉砂级(2~20μm)、细砂级(20~200μm)和粗砂级(>200μm)。

土壤胶散复合体分组:参照丘林和傅积平的方法[1],将复合体分为G_0(水分散复合体)、G_1(钠质分散复合体)和G_2(钠质研磨分散复合体)等3组。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对土壤复合量与复合度的影响

长期施肥对土壤原土复合量的影响见表3。表3看出,除潮土40~60cm土层中的原土复合量略高于20~40cm土层外,3种土壤的原土复合量均是由上层至下层依次降低。红壤性水稻土耕层的原土复合量远高于旱地红壤和潮土,但耕层以下则相差不大。长期施用化肥、有机肥或有机无机肥配施均能提高潮土和旱地红壤耕层土壤和下层土壤的原土复合量,但以0~60cm土层的效果显著。有机、无机肥配施同样可以提高红壤性水稻土耕层的原土复合量,但单施化肥对其影响不大。施肥虽然可以提高土壤的原土复合量,但却降低土壤的原土复合度(图1),且以施有机肥或有机、无机肥配施的效果比较明显,这可能是施有机肥或有机、无机肥配施导致土壤有机质增加,除大部分与土壤矿物质结合成有机无机复合体外,还有少部分有机质尚未与土壤矿物质结合,以游离状态存在,致使原土复合度下降。

长期施肥也可以提高土壤的增值复合量和增值复合度(表4),施有机肥或有机无机肥配施的土壤增值复合量明显高于施化肥的土壤,但其增值复合度却低于施化肥的土壤。从表4还可看出,潮土的增值复合量和增值复合度均远高于旱地红壤和红壤性水稻土,这可能是潮土的有机质含量明显低于旱地红壤和红壤性水稻土的缘故。

表 1　供试土壤基本理化性状

Table 1　Basic properties of the soil samples tested

土壤 Soil	质地 Texture	有机质 OM (%)	pH	全 N Tot. N (g/kg)	全 P Tot. P (g/kg)	全 K Tot. K (g/kg)	碱解 N Alkal. N (mg/kg)	速效 P Avail. P (mg/kg)	速效 K Avail. K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
潮土 Fluvo-aquic soil	轻壤 Light	1.1	7.8	0.66	0.23	16.6	41.0	2.19	72.21	15.24
旱地红壤 Arid red soil	粘土 Clay	1.6	6.0	0.98	0.62	13.11	60.3	5.64	84.66	7.34
红壤性水稻土 Paddy red soil	粘土 Clay	2.8	6.9	1.49	0.49	10.38	150.0	4.15	81.17	11.9

表 2　供试土壤每年施肥情况 (kg/hm²)

Table 2　Measures of fertilization of soil used in the experiment

土壤 Soils	CK	NPK			有机肥 Org. manure	NPK + 有机肥 NPK + OM
		N	P_2O_5	K_2O		
FAS	0	150 + 172.5	150	150	37500	622.5 + 37500
ARS	0	60 × 2	30 × 2	60 × 2	15000 × 2	300 + 30000
PRS	0	90 × 2	45 × 2	75 × 2	22500 × 2	420 + 45000

注(Note)：FAS—潮土(Fluvo-aquic soil)；ARS—旱地红壤(Arid red soil)；PRS—红壤性水稻土(Paddy red soil)，下同(Same as follows).

表 3　长期施肥对土壤原土复合量的影响 (g/kg)

Table 3　Effect of long-term fertilization on the original soil compound in the three sorts of soil

土壤 Soil	土层 Layer (cm)	处理 Treatments			
		CK	NPK	OM	NPK + OM
FAS	0～20	4.34 cB	5.16 bB	5.32 bB	6.67 aA
	20～40	3.29 B	4.51 A	4.61 A	4.71 A
	40～60	4.16 cB	4.97 bA	5.23 aA	5.41 aA
	60～80	2.51 b	3.45 a	3.54 a	3.65 a
	80～100	1.99 c	2.16 bc	2.34 b	2.69 a
ARS	0～20	5.25 cB	5.63 bA	5.62 bA	6.07 aA
	20～40	3.10 cB	3.51 bA	3.67 bA	3.98 aA
	40～60	3.04 c	3.37 b	3.82 a	3.72 a
	60～80	2.16 a	2.25 a	2.33 a	2.33 a
	80～100	1.97 a	2.22 a	2.32 a	2.17 a
PRS	0～20	12.75 b	12.81 b	–	13.82 a
	20～40	3.53 a	3.56 a	–	3.73 a
	40～60	3.21 a	3.33 a	–	3.43 a
	60～80	3.03 b	3.13 b	–	3.58 a
	80～100	2.82 a	3.08 a	–	3.04 a

注：不同大、小写字母表示 1%、5% 差异显著性水平，下同。

Note: Different capital and small letters means significant at 1% and 5% levels, same as follows.

2.2　长期施肥对土壤不同粒级复合体含量的影响

从长期施肥对土壤耕层有机无机复合体粒径分级的影响(表 5)看出，潮土的有机无机复合体以细砂级(20～200μm)为主，其次是粉砂级(2～20μm)和粘粒级(<2μm)；旱地红壤和红壤性水稻土则以粘粒级和粉砂级为主，但粘粒级复合体含量略高于粉砂级；而红壤性水稻土中的粘粒级复合体含量略低于粉砂级。3 种土壤粗砂级(>200μm)复合体含量均较少，一般不到 2%。长期单施化肥显著提高潮土粘粒级和粉砂级复合体含量，降低细砂级复合

体含量。单施化肥对旱地红壤和红壤性水稻土各级复合体含量均无影响。施有机肥或有机、无机肥配施可以提高潮土粘粒级、粉砂级和粗砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。有机、无机肥配施还可以提高红壤性水稻土粉砂级和粗砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。施有机肥或有机无机肥配施土壤中粗砂级复合体含量较高的原因,可能是土壤中未充分腐解的有机质颗粒较多的缘故。从表5还看出,施肥对潮土各级复合体的影响较旱地红壤和红壤性水稻土显著,可能与潮土质地较砂,细砂级复合体含量较高有关,因为施肥可以显著降低细砂级复合体含量。

表4 长期施肥对耕层土壤增值复合量与增值复合度的影响

Table 4 Effect of long-term fertilization on adding compound and adding complex degree in the topsoil of three sorts of soils

项目 Item	土壤 Soil	处理 Treatments NPK	OM	NPK+OM
增值复合量	FAS	0.82 cB	0.98 bB	2.33 aA
AC	ARS	0.38 cB	0.47 bB	0.82 aA
(g/kg)	PRS	0.16 B	-	1.08 A
增值复合度	FAS	94.16 aA	83.61 cB	90.54 bA
ACD	ARS	59.59 aA	50.61 cB	53.66 bB
(%)	PRS	63.97A	-	51.55 B

Note: AC-adding compund; ACD-adding complex degree

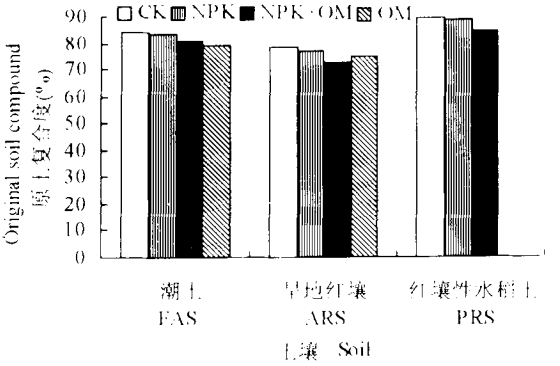

图1 长期施肥对土壤耕层原土复合度的影响

Fig.1 Effect of long-term fertilization on the original soil compound in the topsoil of the three sorts of soil

表5 长期施肥对土壤耕层有机无机复合体粒径分级的影响(%)

Table 5 Effect of long-term fertilization on the classification of particle diameter of organo-mineral complex in the topsoil of three sorts of soil

土壤 Soil	粒径(μm) Particle diameter	处理 Treatments CK	NPK	OM	NPK+OM
FAS	<2	15.37 cbB	20.14 aA	16.84 bcB	17.62 bB
	2~20	19.98 cB	23.61 aA	21.59 bAB	22.42 bA
	20~200	64.47 aA	56.10 cB	61.30 bA	59.64 bAB
	>200	0.18 B	0.15 B	0.27 A	0.32 A
ARS	<2	44.40 b	44.52 b	46.65 a	44.66 b
	2~20	37.33 b	37.57 b	38.66 b	40.39 a
	20~200	16.95 A	16.56 A	13.25 B	13.52 B
	>200	1.32 a	1.35 b	1.44 a	1.43 a
PRS	<2	33.26 a	33.27 a	-	32.78 a
	2~20	46.62 b	46.96 b	-	49.48 a
	20~200	19.20 a	18.10 a		15.44 b
	>200	1.82 B	1.67 B	-	2.30 A

2.3 长期定位施肥对土壤胶散复合体分组的影响

根据胶散分级法,可将土壤有机无机复合体依次分为水分散组(G_0)、钠分散组(G_1)和钠质研磨分散组(G_2),它们在土壤中的含量见表6。由表6可知,有机无机复合体含量在不同土壤有很大差异,无论是G_0组,还是G_0+G_1组或$G_0+G_1+G_2$组含量,都是旱地红壤最高,红壤性水稻土略低于旱地红壤,潮土最低。旱地红壤和红壤性水稻土的总复合体含量是潮土的2倍多。从各组复合体的分布来看,3种土壤都是$G_0>G_1>G_2$,其G_1/G_2比值也相差较大(图2)。潮土和旱地红壤的G_1/G_2比值较高,都在2左右,红壤性水稻土的G_1/G_2比值较低,在1.5左右。一般认为G_1/G_2比值在1.4~2.0左右时土壤肥力较高,G_1/G_2比值过高或过低,土壤肥

力均明显下降[1]。

长期施用化肥可以提高 3 种土壤 G_0 组复合体含量，对 G_1 和 G_2 组复合体影响较小；而长期施用有机肥或有机无机肥配施可以提高土壤各组复合体含量。图 3 表明，有机、无机肥配施，3 组复合体的比例不同，以 G_2 组复合体提高比例最大，说明有机、无机肥配施可以促使 G_0 和 G_1 组复合体向水稳性强的 G_2 组转化，这无疑对培肥土壤具有重要作用。

表 6　长期施肥对土壤耕层有机无机复合体分组的影响

Table 6　Effect of long-term fertilization on the groups of organo-mineral complexes in the topsoil of three sorts of soil

土壤 Soils	复合体分组（%） Groups of complexes	处理 Treatments			
		CK	NPK	OM	NPK + OM
FAS	G_0	23.19 cB	28.70 aA	25.37 bAB	27.04 aA
	G_1	1.25 b	1.31 b	1.28 b	1.40 a
	G_2	0.59 c	0.63 c	0.82 a	0.73 b
	$G_0 + G_1$	24.44 cB	30.01 aA	26.65 bA	28.44 aA
	$G_0 + G_1 + G_2$	25.04 cB	30.64 aA	27.47 bAB	29.17 aA
ARS	G_0	40.39 b	42.25 a	42.10 a	42.65 a
	G_1	14.73 b	14.18 b	15.21 a	15.68 a
	G_2	7.57	7.67 b	8.74 a	8.55 a
	$G_0 + G_1$	55.12 b	56.43 ab	57.31 a	58.33 a
	$G_0 + G_1 + G_2$	62.69 c	64.10 b	66.05 a	66.88 a
PRS	G_0	34.80 b	36.60 a	–	37.55 a
	G_1	14.02 a	14.17 a	–	14.83 a
	G_2	9.04 b	9.51 b	–	10.62 a
	$G_0 + G_1$	48.82 b	50.77 b	–	52.38 a
	$G_0 + G_1 + G_2$	57.86 c	60.28 b	–	63.00 a

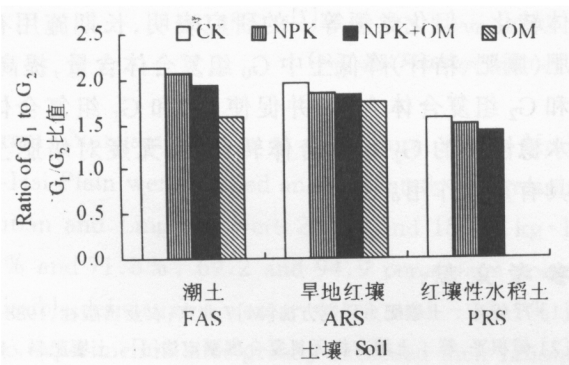

图 2　长期施肥对土壤耕层 G_1/G_2 比值的影响

Fig.2　Effect of long-term fertilization on the ratio of G_1 to G_2 in the topsoil of the three sorts of soil

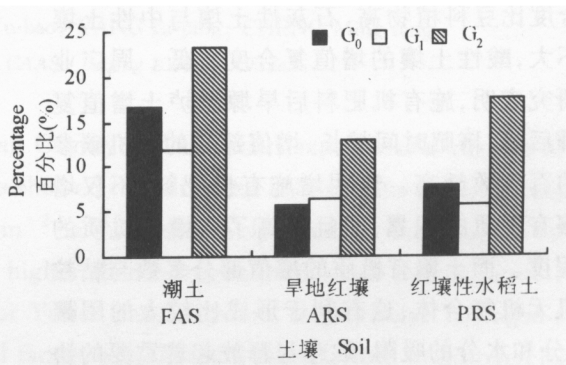

图 3　有机无机肥配施对土壤耕层各组复合体增加百分比的影响

Fig. 3　Effect of combined organic manure and fertilizers on adding percentage of three groups of complexes in the topsoil of the three sorts of soil

3　讨论

土壤有机无机复合体是土壤中比较活跃的组成部分，对土壤结构的形成、土壤水分和养分的保持与供应都有重要影响。长期施用化肥、有机肥或有机无机肥配施均能提高潮土和旱地红壤的原土复合量，这种作用不仅限于耕层土壤，对下层土壤同样有效，但以 60cm 以上土层效果显著。有机无机肥配施也可以提高红壤性水稻土耕层的原土复合量。林增泉等[3]研究表明，长期施用化肥或有机无机肥配施均能提高水稻土的原土复合量，化肥 + 猪粪的效果最佳，化肥 + 秸秆次之，单施化肥的效果最差。党萍莉等[4]的研究也表明，施肥尤其是有机无机肥配施能显著提高塿土的原土复合量，施厩肥的效果比秸秆好。

施肥虽然可以提高3种土壤的原土复合量,但却降低3种土壤的原土复合度。单施有机肥或有机无机肥配施处理的原土复合度下降幅度大于施化肥处理,这与周广业等[5]在旱塬黑垆土上所进行的试验结果相似。但魏朝富等[6]用紫色水稻土所做试验表明,单施化肥降低土壤的原土复合度,化肥和绿肥或猪粪以有机氮:无机氮=1:1.5配施时,也降低土壤的原土复合度,若化肥和绿肥或猪粪以有机氮:无机氮=1:2.5配施时,则可提高土壤的原土复合度。说明施肥对土壤原土复合度的影响,因土壤种类、肥料种类以及有机无机配合比例而异,一般情况下施肥将导致土壤有机无机复合度的下降。施肥降低土壤有机无机复合度的原因是因为施肥导致植物生长繁茂,根茬残留多,加之有机肥带入一些未充分腐解的有机物质,使轻组有机质所占比例相对增加,因而使复合度相对下降。

长期施肥可以提高3种土壤的增值复合量和增值复合度,施有机肥或有机无机肥配施土壤的增值复合量高于施化肥的土壤,但其增值复合度却低于施化肥的土壤,且潮土的增值复合度远高于旱地红壤和红壤性水稻土。有机物质的种类和土壤的类型不同,增值复合度也不同。一般说来,禾本科植物的增值复合度比豆科植物高,石灰性土壤与中性土壤的差别不大,酸性土壤的增值复合度较低。周广业等[5]的研究表明,施有机肥料后旱塬黑垆土增值复合度先升后降,培肥时间越长,增值部分的有机碳参与复合的百分数越高。说明增施有机肥料,不仅增加了土壤有机质的积累,而且提高了土壤有机质的腐殖化程度。而土壤有机质的增值部分多数与粘粒组成有机无机复合体,这有利于形成比较大的团聚体,对养分和水分的吸附、贮存与释放起着重要的协调作用。

长期施肥不但影响土壤的有机无机复合状况,也影响土壤复合体的粒径分级。潮土的有机无机复合体以细砂级(20~200μm)为主,而旱地红壤和红壤性水稻土则以粘粒级(<2μm)和粉砂级(2~20μm)为主。但旱地红壤中的粘粒级复合体含量略高于粉砂级,而红壤性水稻土中的粘粒级复合体含量略低于粉砂级。3种土壤粗砂级(>200μm)复合体含量均较少,一般不到2%。长期单施化肥提高潮土粘粒级和粉砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。单施化肥对旱地红壤和红壤性水稻土各级复合体含量的影响均较小。施有机肥或有机无机肥配施可以提高潮土和旱地红壤粘粒级和粉砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。有机无机肥配施主要是提高红壤性水稻土粉砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。魏朝富等[6]的研究表明,施化肥或有机无机肥配施对紫色水稻土粘粒级复合体含量的影响不大,但降低2~10μm粒径的复合体含量,单施化肥也降低10~250μm粒径的复合体含量。有机无机肥配施则可提高10~250μm粒径的复合体含量。说明施肥对土壤复合体粒径分级的影响也在不同土壤和不同施肥处理中不完全相同。一般情况下,施肥,尤其是施有机肥或有机无机肥配施可以提高土壤中粉砂级复合体含量,降低细砂级复合体含量。这对于促进土壤微团聚体的形成具有重要意义。

根据胶散分级法,可将土壤有机无机复合体依次分为水分散组(G_0)、钠分散组(G_1)和钠质研磨分散组(G_2)。本试验表明,长期施用化肥可以提高3种土壤G_0组复合体含量,对G_1和G_2组复合体影响较小。长期施用有机肥或有机无机肥配施可以提高3种土壤各级复合体含量,有机无机肥配施还可以促使G_0和G_1组复合体向水稳性强的G_2组复合体转化。但化党领等[7]的研究表明,长期施用有机肥(厩肥、秸秆)降低土中G_0组复合体含量,提高G_1和G_2组复合体含量,并促使G_0和G_1组复合体向水稳性强的G_2组复合体转化,这无疑对培肥土壤具有重要作用。

参考文献:

[1] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京:农业出版社,1988.

[2] 傅积平,等. 土壤有机无机复合度测定法[J]. 土壤肥料, 1978, (4):40-42.

[3] 林增泉,翁文钰,蒋和,林炎金,刘振兴. 连续十年施肥对水稻土肥力的影响[J]. 福建省农科院学报, 1991, 6(1):35-44.

[4] 党萍莉,马旭华. 不同施肥条件对塿土有机无机复合状况的影响[J]. 土壤肥料, 1994, (3):1-3.

[5] 周广业,丁宁平. 旱塬黑垆土肥料长期定位研究[J]. 土壤肥料, 1991, (1):10-13.

[6] 魏朝富,陈世正,谢德体. 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[J]. 土壤学报, 1995, (2):159-166.

[7] 化党领,张一平. 施用有机肥对土壤及其有机无机复合体肥力因素的影响[A]. 中国土壤学会、中国植物营养与肥料学会青年工作委员会. 迈向21世纪的土壤与植物营养科学[C]. 北京:中国农业出版社,1997, 156-160.