

关于集约农作制下的土壤结构问题

I. 有机物料及其利用方式对土壤结构的影响*

姚贤良 于德芬

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

对稻草、紫云英有机物料不同用量和混施、单施或沤制后施用等不同施用方式对土壤结构的影响进行了四年模拟试验。四年培育期中的水分条件和其他物理条件均控制一致。测定表明,有机物料能明显改善土壤的结构性和孔隙性,降低原状土核的破裂系数。有机质、重组有机质、无定形氧化铁、氧化铁的活度与团聚体的稳定性呈正相关;而与原状土的破裂系数呈负相关。看来,无定形氧化铁的含量可以作为高产水稻土具有良好结构性的一个间接指标。施加有机物料的土壤,当脱水时其中大孔隙显著增多,这对粘质水稻土回旱种旱作十分有利。稻草直接施入土中的改土效果优于沤制后施入土中,且不亚于高用量稻草和紫云英混施的效果。可见,如绿肥施用量减少时,只要保持一定量的稻草回田,亦能改善土壤的结构。

集约农作制的含义很广,但就土壤而言,意即在单位面积土壤上采用包括提高复种指数在内的各种措施以提高土壤的生产能力,这已成为当今世界粮食增产的主要途径^[8]。

太湖地区的农业集约化程度很高,一度复种指数已达200%以上,化肥、农药的施用量与日巨增,而有机肥料,特别是粗有机肥料却不断下降,土壤发僵,耕作阻力增大,耕层结构恶化,稻麦产量不稳^[1,7]。目前,复种指数虽有所下降,回旱时间增长,但不少地方对有机肥料的施用仍未得到重视,对有机肥料的改土作用认识不足。因此,集约农作制下要否重视有机物料(指改土而言称物料)的作用,仍是当前生产上迫切需要了解的问题。本工作在以前的大田试验和田间调查研究的基础上^[5,6],进行了不同有机物料及施用方式对土壤结构影响的培育试验。企图从较严格的培育试验结果来论证集约农作制下施用有机物料的必要性的。

一、试验材料和方法

据研究,太湖平原的成土母质多属黄土性物质^[4],所以本试验的基础材料采用南京郊区的下蜀黄土物质。其机械组成为1—0.25毫米颗粒含0.40%;0.25—0.05毫米为0.30%;0.05—0.01毫米为45.1%;0.01—0.005毫米为11.1%;0.005—0.001毫米为12.1%和<0.001毫米为31.0%。有机

* 徐富安,许绣云同志参加部份工作。

质含量为 0.53%，游离 Fe_2O_3 （连二亚硫酸钠+柠檬酸钠液提取）为 2.0%，无定形 Fe_2O_3 （太姆液提取）为 0.49%。

试验处理如下：

编号 2：10% 干稻草 + 10% 干紫云英 + 一熟淹水（模拟稻麦二熟制的渍水时间，每年在六月中旬淹水，十一月初脱水，以下各处理均为一熟淹水）。

编号 4：5% 干稻草 + 5% 干紫云英。

编号 6：不加有机物料。

编号 7：10% 干稻草*。

编号 8：15% 干紫云英。

编号 10：单加氮磷钾化肥（用量同盆钵试验，比例为 1:0.5:0.5）。

编号 20：10% 干稻草*经沤制腐熟后加入土内。

各处理土样为 50 斤，与有机物料均匀混和，移入填有 50 斤原土的缸内，然后淹水沉实，其上保持 2—3 寸水层，在自然温度条件下各种处理都先淹水一年，第二年开始进行干湿等不同管理措施，培育第三年第一次采样，并在第四和第五年分别进行第二和第三次采样。列年采样时各处理的土壤含水量大致相同，约为田间持水量的 60—70%。培育二年后测定了各处理土壤脱水后的物理性质动态变化。为防止其他物理因素的影响，在整个处理过程中，上述处理均未搅拌。

对采集样品，测定了有机质（包括重组有机质）含量、水稳性团聚体含量。水稳性团聚体的平均重量直径（MWD），按下述公式计算：

$$\text{MWD} = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i w_i$$

式中 \bar{x}_i 为各粒径水稳性团聚体的平均直径， w_i 为各粒径水稳性团聚体的重量百分比。测定了原状土的大小孔隙分布（按吸力法改进装置测定^[3]）和风干土核的破裂系数（C）。破裂系数按下式计算：

$$C = F/\pi r L$$

式中 F 为土核破裂时的力，r 为土核的半径，L 为土核的长度。

二、结果和讨论

（一）结构性

有机物质对土壤肥力的贡献在已有文献中的报道不胜枚举。但涉及不同物料的用量、本性和配比所引起的作用不一，以及在不同土壤类型上的反应也不同^[9,10]，所以，在目前人工合成高分子有机改良剂仍不能大量推广应用之前，各种自然有机物料的合理利用仍然是改土培肥的重要研究内容。

供试土壤培育二年后的有机质含量列于表 1。

由表 1 所见，经培育二年后，各处理土壤中的有机物料大部份已和土粒发生不同程度的作用，从而影响土壤颗粒的排列特征。对反映土粒稳固团聚的水稳性团聚体含量及其平均重量直径数值列于表 2。由表 2 可见，培育二年后，有机物料用量高的能明显促进水稳性团聚体的形成，随着用量降低，作用下降。不加有机物料和单施化肥的处理中的水稳

* 为促进稻草分解，在这处理中加入 43 克 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。

表 1 培育二年后处理土壤的有机质含量(%)

Table 1 Content of organic matter in soils after incubation for two years

处理编号 No. of treatment	有机质 Organic matter	重组有机质 Heavy fractional organic matter
2	3.15	2.86
4	2.07	1.84
6	0.36	—
7	2.33	2.19
8	2.24	2.22
10	0.51	—
20	1.95	1.86

表 2 有机物料对水稳性团聚体及其平均重量直径的影响

Table 2 Effect of organic materials on water stable aggregates and its mean weight diameter (MWD)

处理编号 No. of treatment	>0.25 毫米水稳性团聚体含量(%) Water stable aggregates of >0.25mm	平均重量直径 MWD (mm)
2	78.6	2.72
4	70.0	1.26
6	34.9	0.23
7	64.2	1.89
8	60.3	1.30
10	38.9	0.30
20	49.9	0.84

性团聚体含量最低,分别为 34.9 和 38.9%;团聚体的平均重量直径最小,分别为 0.23 和 0.30 毫米。团聚体的水稳性与重组有机质含量呈正相关, $r = 0.919^{**}$, 达到很显著水平。从表 2 中 No.7 和 No. 20 相比还可见到,稻草直接加入的效果比沤制后施入的要好得多。

不同有机物料加入土中,培育二年后对土壤粗微团聚体含量的影响列于图 1。

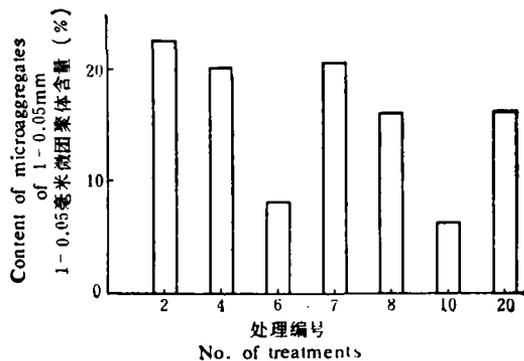


图 1 处理土壤的粗微团聚体含量

Fig. 1 Content of coarse microaggregates of soils after incubation for two years

有机物料用量高的以及直接单施稻草的处理中, 1—0.05 毫米的粗微团聚体含量最高, 其次为中用量和稻草沤制后加入土中的处理。而未加有机物料或单施化肥的处理中含量最低。粗微团聚体的含量亦与重组有机质含量呈正相关, $r = 0.938^{**}$, 达到了很显著水平。从图 1 还可见, 直接单施稻草的处理对形成粗微团聚体的作用不亚于高用量稻草和紫云英混施处理, 并优于稻草沤制后加入的处理。这也反映了有机物料对土粒团聚作用的影响并不完全取决于它的数量, 而且还取决于它的本性及其在土壤中引起其他过程的作用结果。

为了了解氧化铁在培育过程中对土壤团聚性的贡献, 处理土壤在培育二年和三年后, 分别测定了它们的无定形氧化铁和游离氧化铁含量。其结果列于表 3。

表 3 不同处理土壤中无定形和游离 Fe_2O_3 含量(%)*

Table 3 Content of amorphous and free iron oxides of soils after incubation for two and three years

处理编号 No. of treatment	无定形 Fe_2O_3 Amorphous		游离 Fe_2O_3 Free	
	培育二年后 After incubation for 2 years	培育三年后 After incubation for 3 years	培育二年后 After incubation for 2 years	培育三年后 After incubation for 3 years
	2	0.85	0.99	1.88
4	1.01	1.16	2.03	1.96
6	0.51	0.48	2.20	2.08
7	0.82	1.17	1.84	1.84
8	0.86	1.29	2.06	2.04
10	0.63	0.55	2.25	2.15
20	0.82	1.16	2.03	1.86
未培育土	0.49	0.49	2.00	2.00

* 提取 Fe_2O_3 均在同一温度条件下进行的。

由表 3 所见, 凡加入有机物料的处理土壤中, 培育二年后, 无定形氧化铁的含量都有不同程度的提高, 由原土的 0.49% 增至 0.82—1.29%。大于 0.25 毫米的水稳性团聚体含量与无定形氧化铁和氧化铁活度 ($Fe_{\infty}/Fe_{\#}$) 呈正相关, 这与何群等的结果类似^[2]。

游离氧化铁, 培育三年后多数加有机物料处理的土壤中均略有下降, 而不加有机物料的各处理中却略有增加。它们的含量与大于 0.25 毫米水稳性团聚体含量呈负相关。

二种形态的氧化铁含量与 1—0.05 毫米粗微团聚体含量间的相关性和大团聚体一致。

(二) 孔隙性

孔隙性即表明不同颗粒(包括团聚体)的排列结果。所以不难理解, 孔隙的稳定也与团聚体的稳定密切相关。增加土壤中的大孔隙对改善粘质土壤不良的通气透水特性具有重要意义。从图 2、3、4、5 可见, 高用量有机物料处理的土壤, 其总孔隙度培育二年后达 60%, 培育三年、四年仍稳定在 63% 左右; 中用量混施处理培育二年, 总孔隙度达 55%,

以后稳定在近 60%；而不加有机物料及单施化肥处理土壤，培育二年后土壤的总孔隙度分别只有 40% 和 41.8%，以后稳定在 45% 左右。直接单施稻草的处理，其总孔隙度的变化接近于高用量混施处理，且优于等量稻草沤制后加入土中的处理。这些变化与上述水稳性团聚体变化的结果相一致。

各处理土壤的大小孔隙分布，首先集中在 <5 微米的孔径，培育二年和三年后，这级孔隙度都在 30—40% 之间，符合粘质土壤土粒的排列特点。在此范围内，高用量混施有机物料处理和沤制稻草处理的居于上限，而直接单施稻草和紫云英的处理土中则居下限。施加有机物料各处理中，>200 微米的孔隙度占第二位，这级孔隙是粘质土中改善通气透水的重要孔隙组成部份，培育二年后都达 10% 以上，有机物料不同用量、单施或混施间未见有明显差异。但稻草沤制后对形成通气孔隙的作用明显下降，尤在培育三年和四年的

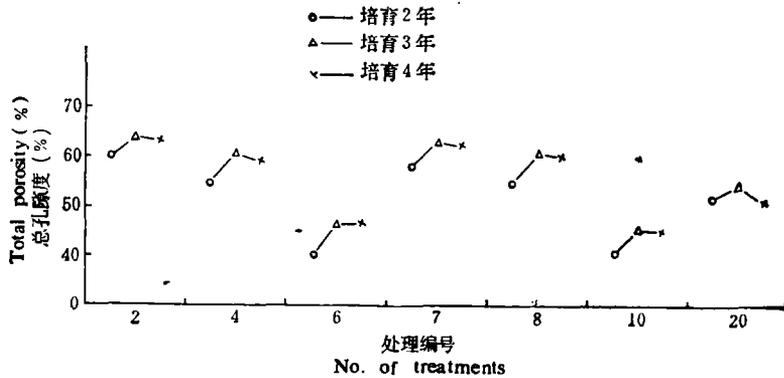


图 2 不同处理土壤培育后的总孔隙度

Fig. 2 Total porosity of soils after incubation for several years

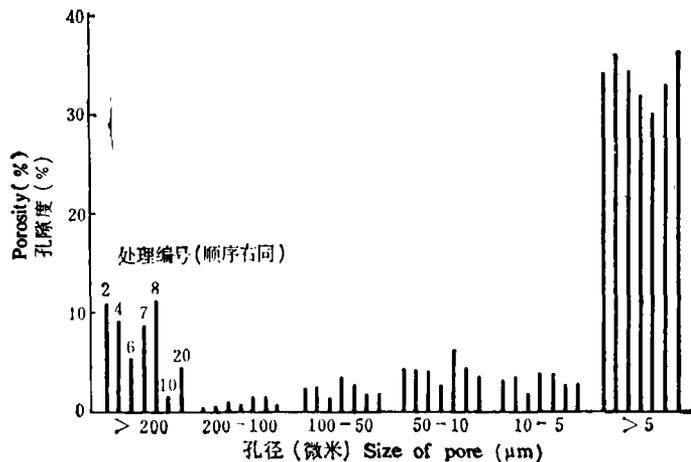


图 3 不同处理土壤培育二年后的孔隙分布

Fig. 3 Distribution of pore space of soils after incubation for 2 years

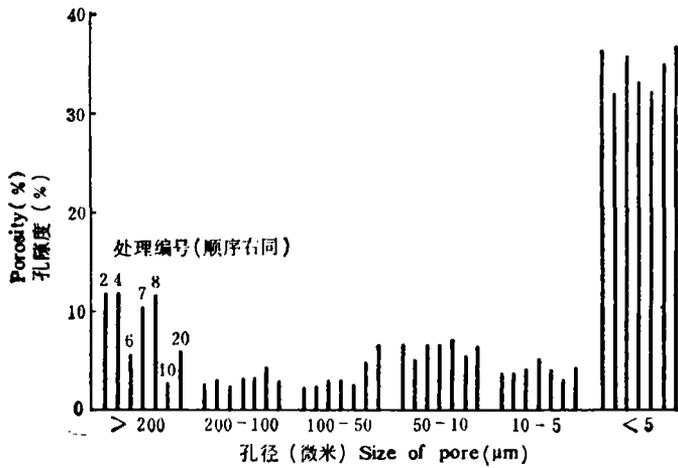


图 4 不同处理土壤培育三年后的孔隙分布

Fig. 4 Distribution of pore space of soils after 3 years incubation

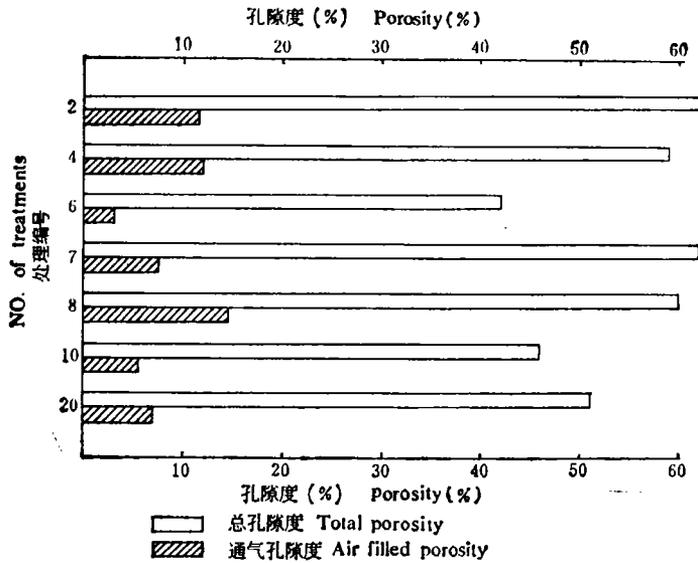


图 5 不同处理土壤培育四年后的孔隙分布

Fig. 5 Distribution of pore space of soils after 4 years incubation

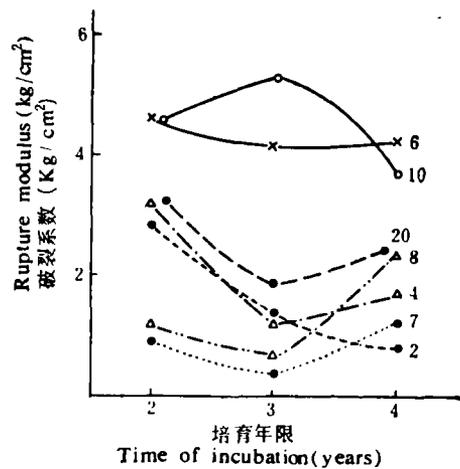
为更显。不加有机物料和单加化肥的土壤，培育后的大孔隙量最少。培育二年分别只有 5.7% 和 1.6%；培育三年分别为 3.0% 和 2.8%。

据研究，太湖地区水稻土较为合宜的通气孔隙度约大于 10%^[7]。这不仅有利于旱作期间植物根系的供氧，而且也有利于水稻、特别是双季早稻生长前期的养分供应和中后期的水浆管理。而创造这个环境与有机物料的施用密切相关。从资料还可见，稻草直接施用对改善大孔隙的效果，并不亚于稻草和紫云英的混施。这也反映了在当今绿肥面积日

益下降的情况下,施用稻草仍有明显的改土效果。

(三) 土核破裂系数

疏松易耕、适耕期长,不仅可节能,也是创造良好种床,适时播种,有利种子发芽的重要因素。本研究中采用原状土核的破裂系数作为对比参数。它原表征土壤结壳影响种子出苗的一种强度量度,所以用风干湿度为基础。测定结果列于图 6。由图所见,直接加入稻草和紫云英物料的培育二年后,土核的破裂系数均很小,分别为 0.97 和 1.10 公斤/厘米²,至 4 年后有所回升,分别为 1.11±0.28 和 2.24±0.20 公斤/厘米²。高用量稻草和紫云英混施处理,培育二年后的破裂系数为 2.90 公斤/厘米²,并逐年下降,至四年下降到 0.88±0.05 公斤/厘米²。稻草和紫云英中用量混施处理,培育二年后的破裂系数为 3.29,三年下降到 1.10 公斤/厘米²,至四年后回升到 1.73±0.33 公斤/厘米²。无有机物料和单施化肥处理中土核的破裂系数最高,培育二年后分别为 4.73 和 4.66 公斤/厘米²,四年后分别为 4.33±0.45 和 3.47±0.52 公斤/厘米²。化肥处理培育三年后的破裂系数猛增至 5 公斤/厘米²以上,以后又略有下降,这可能与培育期间养分离子的变化有关。据分析结果统计,在质地相同的条件下,培育土壤的破裂系数取决于有机质含量及 Fe₂O₃ 的形态。与有机质总量和重组有机质含量呈负相关。分别为 $r = -0.888^{**}$ 和 $r = -0.865^{**}$ 。与无定形氧化铁和氧化铁活性也呈负相关,分别 $r = -0.941^{**}$ 和 $r = -0.944^{**}$,都达到很显著水平。这个结果和我们以前面上调查的测定结果相一致^[7]。看来,由于这部份形态的氧化铁能将局部土粒胶结在一起形成水稳性团聚体,而团聚体间的联结较松,构成的土核比较疏松。反映了无定形氧化铁这一参数,可作为评定高产水稻土耕性好坏的一种间接指标的可能性。处理土壤的破裂系数与游离氧化铁的含量却呈正相关, $r = 0.762^{*}$ 。这个结果与水稳性团聚体含量和游离氧化铁含量呈负相关的结果相符。看来,由于这部份氧化铁在培育过程中并未起到团聚土粒的作用,所以不能起到疏松土壤的效能。当然,其机理值得进一步商榷。



注: 图中 2、4、6、7、8、10、20 为处理编号
图 6 处理土壤培育后的土核破裂系数 (公斤/厘米²)

Fig. 6 Rupture modulus of soils after incubation for several years (kg/cm²)

(四) 脱水时的物理行为

集约农作制下为提高复种指数,广泛推行水旱二熟,或二早一水,二水一早的轮作制。因此,脱水后的土壤物理行为就成为水稻收割后播种旱作的重要基础。如果水稻收割后的土壤脱水快,进气多,不板结,那么既有利于节能,及时种旱作,又利于播后种子的发芽和根系的伸展。而这些特性都和土壤的结构性质密切相关。从培育二年后各处理土壤脱水

后的物理行为所见(表4), No. 2、4、6和10处理随着土壤相对含水量100%下降到60%左右时,容重和总孔隙度的变化不大。但>200微米的孔隙度,施加有机物料处理

表4 脱水时各处理土壤的物理行为
Table 4 Physical behavior of soils during dehydration

处理编号 No. of treat.	相对含水量(%) Relative moisture content	容 重 (g/cm ³) Bulk density	>200微米 孔隙度(%) porosity >200 μ	总孔隙度 (%) Total porosity	坚实度 (kg/cm ³) Hardness
2	100*	0.95	6.3	64.1	0.40
	82	0.97	11.2	63.4	0.75
	62	0.96	11.5	62.3	1.35
	干	1.15	—	56.6	—
4	100	1.06	4.0	60.6	0.10
	78	1.04	13.4	60.7	0.70
	59	1.05	11.3	60.4	1.22
	干	1.42	—	46.4	—
6	100	1.31	3.1	50.6	0.50
	89	1.36	2.8	48.7	0.60
	47	1.39	3.3	47.5	2.17
	干	1.74	—	34.3	—
10	100	1.46	2.9	44.9	0.30
	96	1.45	0.4	45.3	0.80
	67	1.44	5.2	45.6	2.30
	干	1.84	—	30.6	—
7	100	0.93	10.5	64.9	0.10
	74	0.94	12.3	64.5	0.77
	49	1.00	9.9	62.3	0.97
	干	1.29	—	51.3	—
8	100	1.03	8.7	61.1	0.17
	83	1.02	11.2	61.5	0.62
	49	1.02	13.5	61.5	1.35
	干	1.24	—	53.2	—
20	100	1.21	6.6	54.3	0.10
	88	1.08	6.5	59.2	1.10
	59	1.21	7.1	54.3	3.20
	干	1.40	—	47.2	—

* 处理土壤水分饱和时的含水量作为100%。

的明显增加,且无有机物料及单加化肥处理中的这级孔隙度未见增加。至土体呈干燥态时,无有机物料和化肥处理土壤中的容重值变得最大,分别达到1.74和1.84克/厘米³;总孔隙度急剧下降至34.3和30.6%;脱水过程中土壤的坚实度也变得较大。所有这些,说明了在无有机物料情况下,土壤脱水后极易板结。直接单施稻草(No.7)和紫云英(No.8)的处理,其脱水后的物理行为与高用量稻草和紫云英混施的相近,而且单施稻草处理,其

土在水分饱和时尚有较多的大孔隙。从其坚实度指标也可看出, 它的松土效果还优于混施处理。稻草沤制后加入土中的改土效果及脱水时的物理行为比直接加入土中的要差。

参 考 文 献

- [1] 陈家坊等, 1978: 苏州地区水稻土发僵田块耕层的孔隙特性。土壤, 第 3 期, 81—85 页。
- [2] 何群、陈家坊等, 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。
- [3] 徐富安, 1980: 介绍一种测定土壤孔隙的新装置。土壤通报, 第 5 期, 17—20 页。
- [4] 徐琪等, 1980: 中国太湖地区水稻土。上海科技出版社。
- [5] 姚贤良, 1983: 关于水稻土的物理性质及其管理问题。土壤通报, 第 6 期, 1—5 页。
- [6] 姚贤良、于德芬, 1980: 太湖地区水稻土的物理条件及其调节。土壤, 第 4 期, 121—125 页。
- [7] 姚贤良等, 1978: 高产水稻土结构特性的初步研究。土壤学报, 第 15 卷 1 期, 1—11 页。
- [8] Dudal R., Hrabovszky J. and Pecrot A., 1981: Rice soils for food production. Proceedings of Symposium on paddy soil. Sci. Press, Beijing, 31—42.
- [9] Gupta R. P. and Nagarajao Y., 1982: Soil structure and its management. Review of soil research in India, Part 1, 12th International Congress of Soil Science, 60—77.
- [10] Weeraratna C. S., 1976: The influence of different organic matter, soil types and time of incubation on the stability of soil aggregates. 3rd International Symposium on soil conditioning. Gent, Belgium, 421—427.

ON THE SOIL STRUCTURE UNDER INTENSIVE FARMING SYSTEM

I. EFFECT OF ORGANIC MATERIAL AND METHODS OF THEIR APPLICATION ON SOIL STRUCTURE

Yao Xianliang and Yu Defen

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

Summary

Simulated study in green house on the effect of applied rates and methods of organic materials on soil structure was conducted for 4 years. The organic materials used in experiment were dry rice straw + dry milk vetch, rice straw, milk vetch and waterlogged compost of rice straw. Same physical conditions during the period of incubation were controlled. Results showed that the soil structure and porosity were markedly improved and the rupture modulus of soil core were decreased by application of organic materials in clayey soil. The stability of soil aggregates was positively correlated with the content of organic matter, heavy fractional organic matter, amorphous iron oxide and activity of iron oxides (Fe_o/Fe_t), while the rupture modulus of soil core were negatively correlated with the parameters mentioned above. It seems that the amorphous iron oxide may be used as an indirect index for the evaluation of high yield paddy soils with good structure. The macropore space of the soils applying organic materials was increased significantly during the dehydration of soil, which is beneficial for the growth of upland crops on clayey paddy soils after harvest of rice. The effect of direct application of rice straw on the improvement of soil structure was much better than that of application of waterlogged compost of rice straw or mixed application of rice straw and milk vetch. Therefore, it is necessary to apply a certain quantity of rice straw for the improvement of soil structure, while sowing area of green manure crops are reduced recently.