

有机肥对水稻土根层生态的效应*

宋光煜 赵红霞

(西南农业大学, 630716)

摘 要

采用有机肥与化肥配施,在田间小区试验和盆栽试验的基础上,研究了有机肥促进根层络合态 Fe 和 Mn 的形成,补偿根际养分亏缺,并对根的皮下机械组织木质化程度降低,中柱导管(根尖木质部的输导组织)的增大有明显的作用。从而增强根对养分的吸收,为保持地上部和地下部分养分平衡及生物量的协调增长具有重要的生态意义。

关键词 有机肥,络合物,补偿,木质化,生物量

水稻土是在人为控制下形成的。在水旱轮作,增施有机肥对改善土壤的层次特征和营养状况以提高土地利用率及生物量等方面已进行过较多的研究^[3-6]。本文仅就采用有机肥与化肥配合施用后,对水旱轮作土壤的根层生态环境,特别是有机肥对根际养分亏缺的补偿,络合态 Fe、Mn 的分布,以及有机肥对作物根尖组织的形态和根际微生物的影响进行了研究,以期说明有机肥的作用机理。

一、材料和方法

(一) 试验地概况

本研究是采用田间试验与盆栽试验相结合的方法进行。田间试验设在川东平行丘谷区,紫色母质发育的紫黄泥田和白鳞泥田上。该区是典型的亚热带气候区,年降雨量为 1100mm 年均气温 17.8—18.3℃,无霜期长,是水稻和小麦,水稻和油菜,水稻和绿肥的适宜种植区。在水旱轮作,干湿交替条件下,水分在剖面中移动与贮渍,加之紫色土母质中富含铁、锰等氧化物,致使土壤层次明显,理化性状差异较大,其中紫黄泥田一般肥力高于白鳞泥田,基本性状见表 1。

(二) 肥料用量

选用当地通用的三种有机肥(猪粪、绿萍、蚕豆青)与化肥配合施用,其有机肥的用量按化肥用量的二分之一折算,分别为 3.29kg/m²、5.62kg/m²、2.45kg/m²,并配成总养分含量比为 N:P₂O₅:K₂O = 20:10:10。田间试验小区的面积为 13.3m²,设置的五种处理分别用 A 表示空白;B 表示纯化肥;C 表示猪粪+化肥;D 表示绿萍+化肥;E 表示蚕豆青+化肥。重复四次,随机排列。肥料作为基肥一次施用。盆栽试验,每盆装土 12kg,均匀加入有机肥干粉(每盆加猪粪 1.58g,绿萍 2.70g,蚕豆青 1.17g)其用肥比例和处理均与田间试验相同。

(三) 作物的选用

* 本文承蒙徐琪教授提出宝贵修改意见,在此表示深切的谢意。

以汕优 63 中稻和甘兰油菜为供试作物,水稻收割后种植甘兰,连续三年进行水旱轮作,并对各生育期进行全面观察记载和分析测定。

(四) 分析方法

土壤养分和植株养分用常规法;络合态 Fe 和 Mn 用焦磷酸钠提取比色测定;全量 Fe 和 Mn 用原子吸收光谱测定;有机质用丘林法;机械组成用吸管法;微生物用培养计数法,酶活性用生化测定法;根组织形态用显微切片观察法。

表 1 供试土壤的基本性状

Table 1 The Properties of soils used in the experiment

土壤 Soil	层次 Depth (cm)	pH	有机质 O.M. (%)	CEC cmol(+) /kg	全氮 Total N (%)	全磷 Total P (%)	全钾 Total K (%)	物理性粘粒 <0.01mm Clay (%)
紫 黄 泥	0—35(A)	6.8	2.23	25.41	0.110	0.035	1.556	52.23
	35—85(P)	6.9	1.96	23.32	0.078	0.037	1.715	50.17
	65—80(C)	6.8	1.30	20.53	0.016	0.034	1.563	50.03
白 鳊 泥	0—25(A)	5.50	2.12	19.24	0.125	0.019	1.332	54.19
	25—57(G)	5.65	2.41	18.15	0.103	0.010	1.323	53.34
	57—85(WG)	5.25	1.42	15.37	0.044	0.002	1.453	53.47

二、结果与讨论

试验经三年六季水旱轮种作物,在有机肥的参与下,水稻土根密集层土壤养分的移动变化,络合态金属有机物的积聚,微生物种群的改变,导致作物根系形态与吸收能力的有利变化,是单施化肥所不能具备的。

(一) 根层土壤络合态 Fe 和 Mn 的积聚

有机肥在土壤中分解产生的腐殖酸,都具有一定的活性基团,很容易与溶液中金属离子络合或螯合形成金属有机络合物^[1]。研究证明其金属有机络合物是土壤中出现“鳊血斑”的主要成份,也是构成水稻土肥力特征的重要标志^[6]。紫色母质中含铁、锰氧化物较高,含金属络合物较少,所以紫黄泥田中全 Fe 和全 Mn 含量高,分别为 3.45% 和 1.32%;白鳊泥田中全 Fe 和 Mn 低,分别为 1.78% 和 0.92%。在施用有机肥淹水种稻后,田间氧化还原电位降低,游离 Fe 和 Mn 增加,与腐殖酸类物质生成的金属络合物增多。旱作期间氧化还原电位上升,但 Fe、Mn 络合物稳定性较大,沉积于根空和土壤空隙的表面,形成有明显的血红色标志。而单施化肥所形成的络合物一般要低 3—5% 左右。对于含 Fe、Mn 较高的紫黄泥田,施用有机肥后形成的络合物反比含 Fe、Mn 较低的白鳊泥田少,其原因是前者受水化作用弱,而白鳊泥田受水化作用强,容易形成络合物,且稳定少变,鳊血斑显著。经鳊血锈斑分析: 其阳离子代换量为 22.67—30.77cmol(+)/kg; SiO₂ 为 41.30—46.32%, Al₂O₃ 为 15.38—16.92%; Fe₂O₃ 为 3.81—4.40%; 络合态 Fe、Mn 为 0.71—1.02%。

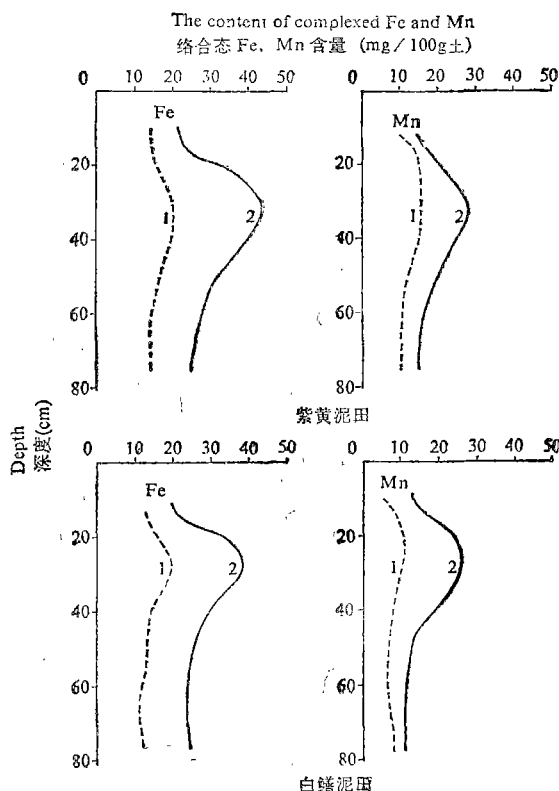
三种有机肥比较表明,随其分解产生的腐殖酸量越多,对形成络合物越有利。据我们

以前研究的结果^[4], 其中猪粪和蚕豆青由于分解快, 养分容易被利用, 所以产生的腐殖酸相对较少, 而绿萍产生的腐殖酸较多, 因此, 在本试验三种有机肥的处理中: D 处理就较 C 和 E 处理形成的 Fe、Mn 络合物较多。

络合态 Fe 和 Mn 在土壤剖面中的分布, 由图 1 可看出, 主要分布在 10—25cm 的根系密集层, 30cm 起随深度增加而减少, 其中络合 Fe 减少最快, 在 30—35cm 左右就逐渐消失, 而络合态 Mn 可延伸至 40—50cm 处还有一定的淀积。

(二) 补偿根际养分亏缺

大量研究表明有机肥的养分全面、供肥性能稳定持久, 是促进作物高产和优质的重要条件^[3,4]。但对根际微区养分的供应与分布状况影响如何是值得研究的。Marachner(1983), 刘芷宇(1986)研究了化学肥料在根际微区内, 由于根吸收力强, 根系发达, 导致根际养分浓度低于非根际养分浓度的亏缺现象^[2]。我们在油菜试验中, 采用抖落法收集了根际与非根际土壤样品 (将植株连同土壤取回室内风干至不干不湿的状态, 人工轻轻抖动植株, 让土壤自然脱落, 其脱落部分为非根际土, 紧紧附着于根表的土为根际土), 具体是在有机肥处理区, 于油菜的开盘和结荚期间, 研究了根际与非根际土壤的 pH、氧化还原电位、有效养分等性状, 发现在 B 处理中, 根际土壤的 pH 低于非根际土壤 0.2—0.3 个单位, 其有效性 N、P、K 也比非根际土壤低; 而 C、D 和 E 各



1. 为纯化肥处理 2. 为有机肥加化肥处理

图 1 络合态 Fe、Mn 在土壤剖面中的分布
Fig. 1 Distribution of complexed Fe and Mn in soil profiles

表 2 根际养分的变化

Table 2 The changes of nutrients in rhizosphere in soil

处理 Treatment	根际土 Rhizosphere soil				非根际土 Non-rhizosphere soil			
	pH	有效养分 Available nutrient			pH	有效养分 Available nutrient		
		N	P	K		N	P	K
		(mg/100 g soil)				(mg/100 g soil)		
A(空白)	5.25	7.25	0.375	5.01	5.35	9.21	0.425	5.23
B(化肥)	5.13	9.76	0.983	6.12	5.42	11.12	1.145	7.22
C(猪粪+化肥)	5.70	12.21	1.125	7.51	5.72	12.55	1.250	7.75
D(绿萍+化肥)	5.45	12.11	1.052	6.63	5.50	12.21	1.085	6.68
E(蚕豆青+化肥)	5.52	12.25	1.151	6.50	5.60	12.35	1.250	6.95

处理中, 根际土壤的 pH, 有效性 N、P、K 与非根际土壤接近或相当。这一结果尤其在肥力较低的白鳢泥土壤中表现更为明显(表 2)。研究者认为这主要原因是施用有机肥以后, 所产生的腐殖质物质对根分泌的酸度具有缓冲作用, 从而克服了根际土壤 pH 降低的现象^[3,4]。但对于有机肥的加入能改善单施化肥所造成的根际养分亏缺的根本原因还有待进一步深入研究。

(三) 根层微生物的消长

为了研究在施用有机肥条件下, 水旱轮作土壤根层微生物的消长与转化养分的能力, 对根层土壤的氮化菌、磷细菌、纤维菌及转化酶、脲酶进行了分期测定, 它们在根层的分布见表 3: 结果表明氮化菌、纤维菌在所有各个处理中均随气温的升高而菌数增多, 尤以水稻孕穗期为高峰, 后又逐渐减少, 这与施肥量及土壤有机质的含量成正相关。空白及化肥处理区较有机肥处理区明显的低。有机肥处理者在水稻孕穗期其菌体数最多, 其中又以

表 3 水稻各生育期根层微生物的分布

Table 3 Distribution of bacteria root zone at various growing stages rice

类群 Group	处理 Treatment	分蘖期 Tillering Stage	幼穗分化期 Panicle differentiation stage	孕穗期 Booting stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Ripening stage
氮化菌 (个 $\times 10^3$ /g土)	A(空白)	138	46	2800	1200	0.3
	B(化肥)	243	189	2400	1800	0.5
	D(绿萍+化)	578	653	35000	10000	1.5
磷细菌 (个 $\times 10^3$ /g土)	A(空白)	86.3	46.5	18.8	18.8	0.5
	B(化肥)	58.6	32.4	10.5	11.5	0.4
	D(绿萍+化)	100.7	70.2	43.3	36.6	3.2
纤维菌 (个/g土)	A(空白)	36	43	35	16.5	0
	B(化肥)	38	53	26	18.5	0
	D(绿萍+化)	55	76	1485	24	3.0
转化酶 (μ g/g土)	A(空白)	0.126	0.146	0.103	0.08	0.05
	B(化肥)	0.224	0.238	0.167	0.140	0.120
	D(绿萍+化)	0.837	0.816	0.743	0.357	0.218
脲酶 (μ g/g土)	A(空白)	6.3	42.5	32.7	21.5	15.3
	B(化肥)	12.3	86.7	72.5	75.6	105.4
	D(绿萍+化)	19.6	137.6	165.6	—	230.1

纤维菌、氮化菌最为明显, 说明此时由于有机肥的作用增加了氮化菌和纤维菌的数量, 进而增加了微生物的活性, 直接有利于根层养分的供应与水稻的生长。而磷细菌在各处理中是随水稻的生育进程逐渐减少, 且越到后期变化越较稳定, 但配施有机肥处理的菌体数量, 在各生育期中均高于空白和化肥处理区。

转化酶、脲酶是土壤养分有效化及土壤供肥能力高低的重要特征^[5]。表 3 结果表明转化酶在各处理中是随水稻进入孕穗期, 由气温的升高而逐渐减少。而脲酶与转化酶恰相反, 则随之而增加, 这一变化与后期追施尿素肥有关。

三种有机肥的处理中, 氮化细菌和磷细菌都是前期繁殖快、数量大; 而纤维菌则是中

期数量大;同时氨化菌和磷细菌数量的消长是与同期有效氮、磷养分的变化一致。

(四) 对根系组织形态的影响

根系是植物的主要营养器官,任何作物要获得高产,都必须有一个发育良好的根系基础^[5]。根际营养的改善能使根系发达、根的数量增多、根的吸收表面增大、根吸收养分能力增强。盆栽试验表明: 配施有机肥的各处理区,水稻的根密度为 76—93 条/cm³,油菜的根密度为 57—70 条/cm³,白根和新根占总根量的 85%。而化肥处理区,水稻的根密度只有 65—78 条/cm³,油菜的根密度为 43—53 条/cm³,白根和新根占总根量的 65—78%。据测定,水稻分蘖期根的氧化力¹⁾,有机肥处理的比纯化肥处理高 0.5—1.5 $\mu\text{g/g} \cdot \text{h}$ 。水稻根的单株吸收表面积, 有机肥处理的比纯化肥处理高 10—18%。水稻根阳离子吸收量,有机肥处理比纯化肥处理高出 2—2.5%。

以前有人研究认为氮素养分过多会导致植物根木质化程度降低而变柔软,根的通气组织发育迟缓,从而对水稻正常生长不利。我们在水稻抽穗期对同龄根的生长点(即相同大小根的根尖组织)进行显微切片观察(表 4),结果表明有机肥与化肥配合施用,水稻的根粗、根的皮下机械组织木质化程度低,内皮层分生细胞增多,中柱导管直径增大。而化肥与空白处理水稻的根系细而长,新根少老根多,根的皮下机械组织木质化程度高,中柱导管直径小,不利于水稻后期养分和水分的吸收与运输,因而根系易老化枯死。说明有机肥处理能起到调节供肥速度的快慢,有利于根系的生长发育和对水分、养分的稳定吸收。

表 4 水稻根组织切片形态

Table 4 Thin section observation of young rice roots

处理 treatment	根直径(μm) Root diameter	机械组织 Mechanical tissue		内皮层厚度 (μm) Endodermis thickness	中柱导管 Stelar catheter	
		木质化 Lignification	形状 Shape		数量 Quantity	直径 Diameter (μm)
A(空白)	712.5	+++	方	10.3	5	71.3
B(化肥)	748.8	+++	方	11.8	6	65.6
C(猪粪+化肥)	950.0	++	长方	12.0	5	101.3
D(绿萍+化肥)	907.5	++	长方	12.8	5	82.4
E(蚕豆青+化肥)	845.0	+	长方	13.1	6	98.1

综上所述表明,配施有机肥能有效地改善水稻土根层微生物和根际养分状况,从而提高了根的吸收力,降低根皮下机械组织木质化程度,能保持根系生长不衰,协调了作物根系与地上部分的生长,促进了水稻和油菜的稳定增产,三年来,配施有机肥的三种处理(C、D、E)平均比纯化肥处理(B)增产 300—360kg/ha,其处理间的产量次序为: C和E相近>D>B>A。试验结果进一步揭示了有机肥的作用机制,同时也反映出有机肥对水稻土特有的生态效应。

1) 用 α -萘胺与对氨基苯磺酸溶液比色测定。

参 考 文 献

1. 保学明, 1986: 螯合作用在土壤学中的应用。土壤学进展, 1 期 14—18 页。
2. 刘芷宇, 1987: 根际动态及其研究。世界农业, 第 8 期, 21—25 页。
3. 孙羲, 1991: 作物营养与施肥。179—186 页, 农业出版社。
4. 宋光煜, 1985: 有机肥的腐解、残留对作物土壤的影响。西南农业大学学报, 第 3 期, 18—24 页。
5. Barber, A. S., 1984: Soil Nutrient Bioavailability Macmillan New York. 87—105.
6. Akira Tanaka and Xi Qi, 1987: Studies on plant nutrients in rice oriented farming systems Jiangsu Province China. 10—17. Kali Kenkyukai Tokyo Japan.

EFFECT OF ORGANIC MANURE ON ROOT HORIZON
ECOLOGY OF PADDY SOILS

Song Guangyu and Zhao Hongxia

(Southwest Agricultural University, 630716)

Summary

The present study was carried out on paddy soils under conditions of continuous application of organic manures.

We found that organic manure applied could provide nutrients deficient in rhizosphere, enhanced the formation of chelated compounds of Fe and Mn in root horizon and play a significant role in decreasing the lignification of mechanical tissue and in increasing the stellar diameter of roots. Therefore, it could favor the absorption of water and nutrients by roots, the maintenance of nutrition balance between plant roots and aerial part and the coordination of the growth of plant and microbes.

Therefore the application of organic manure proved to be of great significance for improving the root horizon environment and enhancing the root system functions in paddy soils.

Key words Organic manure, Chelated compounds, Compensation, lignification