

红壤性水稻土无机肥连施与土壤 结构特性的研究*

赖庆旺 李茶苟 黄庆海

(江西省红壤研究所, 331717)

摘 要

良好的土壤物理环境,是农业高产稳产的基础。通过 9 年定位研究阐明,红壤性水稻土无机肥连施特别是偏施,随着有机和无机胶结物质的数量减少,土壤结构性遭受破坏,容重增值,孔隙度降低,水稳性结构破坏率提高,微团聚体分散系数上升,致使土壤紧实,耕性变坏,土壤肥力衰退。无机肥与有机肥配合施用能有效地提高作物产量,改善土壤物理环境,为建立优化施肥结构展示了良好前景。

关键词 红壤性水稻土,团聚体,孔隙性,结构破坏率

红壤性水稻土是在长期水耕熟化过程中,经过土壤一系列物理、化学和生物的作用而发育生成的。建立良好的土壤物理环境是发展集约化农业,加强土壤管理的一个战略问题^[1]。化肥工业的发展为大幅度提高农作物产量作了贡献,但化肥的施用对土壤结构破坏性,至今仍是令人忧患的一个农业争论问题。国内外学者在研究不同农业措施下土壤物理过程及其相互关系,曾作过大量报道和有益的评价^[2]。M. M. Кононова 总结了苏、英、法、德等国家长期定位试验,指出了长期施用化肥与土壤有机质消长的关系,但化肥连施对土壤物理性质的研究结论不一^[3]。我国在相当长的时期,几乎没有一个长期定位试验能坚持下来,系统的研究工作也很难贯彻始终^[4]。研究方法的短期行为,很难指导和阐明农业发展中的某些突出的土壤问题。因此,我们从 1981 年开始,在赣中红壤丘陵区设置了化肥定位试验,旨在探讨无机肥连施与红壤性水稻土肥力演变规律及其生物效应。为寻求土壤综合管理途径和建立红壤性水稻土优化施肥结构提供科学依据。现将主要研究结果报道如下。

一、材料与方 法

田间定位试验设在江西进贤张王庙地区,前作为双季稻绿肥制,水稻年产量约 900kg/ha 左右。土壤属潜育型水稻土,母质为第四纪红色粘土,剖面特征为 A-P-W₁-W₂ 型。耕层土壤的 pH6.9,有机质 16.31gkg⁻¹,全 N1.49g kg⁻¹,P₂O₅ 1.11g kg⁻¹,K₂O 12.52g kg⁻¹,盐基总量(CEC) 5.27 cmol(+)
kg⁻¹,粘粒 241g kg⁻¹,SiO₂/Al₂O₃ 率为 12.21。

* 理化分析分别由吴水助、陈敏、杨青萍、赖涛、虞桃香等同志完成。本文承姚贤良研究员斧正,特致谢意。

试验设 9 个处理: (1) N(每季施纯 $N_{90}kg/ha$), (2) P(每季施 P_2O_5 , $45kg/ha$), (3) K(每季施 $K_2O_{75}kg/ha$), (4) NP, (5) NK, (6) NPK, (7) NPK (2倍), (8) NPK + 有机肥 $22.5t/ha$, (9) 无肥区 (对照)。

小区面积为 $46.6m^2$, 3 个重复, 顺序排列。试验于 1981 年早稻开始, 前 5 年采用第 1 年稻-稻-油菜; 第 2、3 年为稻-稻-紫云英轮茬制; 为避免冬作物根茬的迭加影响, 1986 年后改为稻-稻-冬闲制。

9 年施肥总量, 按有关处理分别为 $1710kg/ha$ 及 $3420kg/ha$ (2 倍量); P_2O_5 , $855kg/ha$ 及 $1710kg/ha$; K_2O $1425kg/ha$ 及 $2850kg/ha$ (2 倍量); 有机肥 $427.5t/ha$, 其中紫云英 $202.5t/ha$, 猪粪 $225t/ha$ 。

土壤理化分析项目及方法: 容重, 环刀法; 浸水容重, 容量法; 毛管孔隙, 环刀法; 机械组成, 吸管法; 水稳性团聚体, 机械筛分法; 微团聚体, 吸管法; 有机碳, 丘林法; 胡敏酸, 焦磷酸钠浸提, 丘林法测碳; SiO_2 , 无水碳酸钠碱溶法; Fe_2O_3 , 邻啡罗啉比色法; Al_2O_3 , 氟化钾取代 EDTA 容量法。

二、结果与讨论

(一) 无机肥连施对土壤孔隙性的影响

容重是土壤孔隙性与结构性的评价标志^[1]。表 1 指出, 无机肥连施后, 土体变得紧实, 土壤容重 9 年平均比试前增加 $41-86kgm^3$, 且表现出 $K > N > P$, NK 配施 > 有磷组合施, 高量配施 > 低量配施。在同等用量下, 无机肥连施 > 有机无机肥配施。施钾区导致土壤容重的明显增值, 似与钾肥种类有关。本试验长期采用 KCl, 土壤对 Cl^- 离子过量吸收和累积, 不仅造成土壤 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 盐基的流失, 同时有 Al^{3+} 的溶出, 促进了土壤酸化, 引起土壤粘团裂小分散^[2], 土壤耕作后沉降系数加大, 粘闭过程加强, 颗粒排列紧密, 土壤容重增加。从 9 年的动态变化也可证实, 尽管土壤容重的消长受着自然与人为多种因素的波动影响, 无机肥连施土壤容重仍趋上升, 就 N、NK、NPK 三区测定值而言, 高于试前水准的样次占 81.5%, 并从第二年起, 与有机无机肥配施区差幅逐年增大, 末年差幅分别达 14.85%、16.83% 及 17.82%。浸水容重无机肥连施亦明显高于有机无机肥配施区,

表 1 土壤容重及孔隙度变化(1981—1989 年 9 年次均值)

Table 1 Variation of bulk density and porosity of soil (average of nine years, 1981--1989)

处 理 Treatment	容 重 Bulk density(g/cm^3)		孔 隙 度 Porosity (%)		
	容 重 Bulk density	浸水容重 Bulk density in water	总 孔 隙 Total porosity	毛管孔隙 Capillary porosity	非毛管孔隙 Non-capillary porosity
N	1.076	0.686	58.61	56.18	2.43
P	1.071	0.664	58.91	56.18	2.73
K	1.081	0.670	58.49	56.03	2.42
NP	1.079	0.663	58.47	55.24	3.23
NK	1.116	0.671	57.42	54.09	3.33
NPK	1.082	0.671	58.46	55.30	3.16
NPK(2)	1.086	0.666	58.60	53.88	4.72
NPK + O. M.	0.986	0.636	61.37	55.68	5.69
试 前	1.03	0.67	60.34	52.44	7.90

增值达 $27-50\text{kgm}^{-3}$,反映了无机肥连施在泡水状况下,淀浆及结构程度的加重。

土壤中大小孔隙的分配及其连续性和稳定性,是直接影响作物根系生长和养分运输的至关因素^[4]。无机肥连施土壤总孔隙度比试前下降 $1.43-2.92\%$,持水孔隙增加 $1.44-3.74\%$,通气孔隙显著下降,减值达 $3.18-5.48\%$,且无机肥单施比二元和多元配施减幅更大。从而使土壤通气孔隙占总孔隙之比值,由试前的 13.09% 下降至 $4.14-8.05\%$ 。有机无机肥配施区土壤总孔隙度逐年增加,9年均值比试前土壤提高 1.03% ,比空白区增 3.49% ,比无机肥区增 $2.46-3.93\%$ 。显示了在当前以化肥为主的耕作管理中,发展绿肥增施有机肥对改善土壤通透结构的优越性。

(二) 无机肥连施对土壤水稳性结构的影响

土壤结构的稳定性是影响土壤通透性与抗蚀性的主导因素。土壤大小团聚体的形成主要是土壤粘团、有机胶体、三、氧化物以及非晶形的无机组成成分的相互作用的结果^[7]。表2阐明无机肥连施对红壤性水稻土有机质的积累和品质的改善无实质贡献。无机肥偏施,土壤有机碳比试前下降 $0.20-0.56\text{g kg}^{-1}$,NPK 及 NPK(2)由于生物量高,残留根茬多,土壤有机碳高于试前水平,但胡敏酸和腐殖化度(胡敏酸总量占土壤有机碳量的百分比)比试前分别降低 $0.25-0.26\text{g kg}^{-1}$ 及 $1.75-2.16\%$ 。可见在农业生产中,仅依赖作物根茬调节土壤有机碳素和土壤有机胶结物的平衡是永远不够的。团聚作用的前提是粘粒的絮凝。有机胶结物质的减少影响着红壤性水稻土团聚体复杂程度和稳定性^[8,9]。 $>0.25\text{mm}$ 的水稳性团聚体,无机肥连施除磷区外,不论是单因子或者多元配施均逊于试前甚至空白无肥区,且呈现二级量配施 $<$ 一级量配施;三元配施 $<$ 二元配施 $<$ 单施。同时,土壤结构破坏率亦呈现增高趋势,无机肥连施除磷区相近外,其余比试前提高 $2.7-13.8\%$,比空白区增 $3.9-15.0\%$ 。土壤结构破坏率与无机肥有效养分总投入量呈极显著相关($r = 0.7958^{**}$),充分说明在缺少有机肥源条件下,化肥施用愈多,对地力破坏的危险性更大。磷单施区对改善土壤水稳性团聚体有一定优势,似与施用钙镁磷肥中的复盐基作用改善了胶体品质有关,与群众施石灰“泡土”的经验相吻合。有机无机肥配施区土壤有机碳以 0.39g kg^{-1} 年积累量递增;新鲜有机物料的投入促进了土壤腐殖质的更新,使土壤有

表2 水稳性结构与土壤有机碳的变化(9年次均值)

Table 2 Variation of water-stable aggregate and organic C of soil
(average of nine years)

处 理 Treatment	化肥投入总量 (kg/ha) N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	有 机 碳 (g kg ⁻¹) O. C.	胡 敏 酸 C(g kg ⁻¹) H. A.	湿筛(>0.25mm) (g kg ⁻¹) Wet sieve	结构破坏率 (%) Destruction
CK	0	15.68	1.70	723	25.2
N	1710	16.10	1.79	688	29.1
P	855	15.86	1.64	722	25.9
K	1425	15.75	1.65	689	29.3
NP	2565	15.99	1.67	650	33.2
NK	3135	16.11	1.72	653	32.2
NPK	3990	16.63	1.78	614	36.1
NPK(2)	7980	17.20	1.77	577	40.2
NPK + O.M.	3990	19.81	2.04	718	25.4
试 前	—	16.31	2.03	709	26.4

效胡敏酸含量也较稳定。因此, $>0.25\text{mm}$ 水稳性团聚体比同级量无机肥区高 141 g kg^{-1} , 土壤结构破坏率低 14.8% , 展示了有机肥形成和维持土壤水稳性团聚结构的良好前景。要在较长时间保持团聚体的稳定性, 必须不断地补充土壤有机物质。

(三) 无机肥连施对土壤微团聚体的影响

土壤微团聚体是单个颗粒经过三、氧化物胶结而成的原生凝聚体, 是土壤形成大结构的前提^[10]。表 3 表明, 土壤团聚体主要集中在 $0.05-0.01\text{mm}$ 一级, 占 $40.91-47.02\%$ 。有机无机肥配施区 $1-0.25\text{mm}$ 和 $0.25-0.05\text{mm}$ 两粒级与无机肥连施相比多有增加, 而且有机无机肥配施区的结构系数也较高, 差幅达 $1.17-3.64\%$ 。土壤微团聚体的形成和保持受土壤粘粒及其化学组分等因素制约。近期的研究指出, 在红壤结构形成中粘粒对形成大团聚体, 无定形三、氧化物对形成微团聚体具有重要作用^[11]。从试验五年后(1985 年晚稻收获后)剖面观察看出, 无机肥连施表层粘粒减少, $<0.001\text{mm}$ 粒级比试前相对下降 $41.5-166.0\text{ g kg}^{-1}$, 并有向下层迁移的趋势。同时, 土壤粘土矿物的离铁作用亦明显加强

表 3 无机肥连施土壤微团聚体的变化(9 年次均值, g kg^{-1})

Table 3 Variation of soil micro-aggregate under the condition of continuous applying of inorganic fertilizers (average of nine years)

处 理 Treatment	1—0.25 (mm)	0.25—0.05 (mm)	0.05—0.01 (mm)	0.01—0.005 (mm)	0.005—0.001 (mm)	<0.001 (mm)	结构系数 (%) Structure coefficient
CK	55.6	243.7	448.8	132.8	91.4	27.7	88.16
N	67.1	243.6	445.5	134.5	81.2	28.1	87.37
P	60.3	250.3	436.5	129.0	97.9	25.6	88.70
K	65.3	238.7	436.5	136.8	91.6	31.1	86.73
NP	56.5	245.4	470.2	115.7	82.6	29.6	87.87
NK	62.8	251.2	445.4	132.0	80.6	28.0	87.85
NPK	65.8	281.4	410.1	141.1	70.8	31.0	86.23
NPK(2)	67.8	243.7	447.2	127.6	83.7	30.0	86.99
NPK + O. M.	88.3	271.3	409.1	136.5	71.4	23.4	89.87

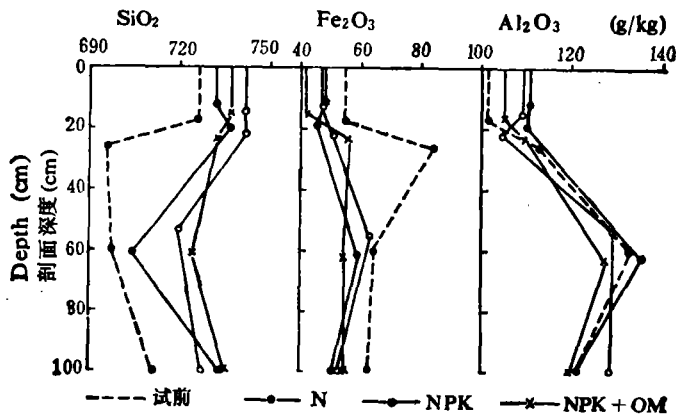


图 1 土壤剖面 SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 的变化

Fig. 1 Variation of SiO_2 , Fe_2O_3 and Al_2O_3 in soil profile

(图1)。Fe₂O₃具有较高的活性,是红壤结构体的主要胶结物质^[2]。虽耕层土壤SiO₂、Al₂O₃相对积聚,但R₂O₃总量趋于下降。无机肥连施后,土壤粘粒逸出淋移及无机胶结物质的减少,严重影响土壤微结构的形成和保持,这是土壤微团聚体崩裂,结构系数下降的主导因素。同时,无机肥连施后,耕层土壤发僵,土体粘韧板滑。土壤的团聚体、微团聚体遭到破坏,致使原来红粘土母质的粘性强,排列紧密的特点又重新显示出来。这与某些区域性水稻土的研究结果基本一致^[3]。

(四) 土壤结构性与水稻产量的关系

土壤作为一个多孔体,固相颗粒(包括单粒、复粒和团聚体)的不同排列所具有的结构通透性与抗压性,对农业及土壤肥力的意义甚大。不仅影响作物根系的穿插生长,同时亦改变水、气、热环境^[4]。从试验各处理土壤剖面观察和耕作实践,红壤性水稻土无机肥连施后,土体显得紧实,土壤板结,耕作阻力加大,适耕性差,耕作层变浅,犁底层上抬4—7cm^[4]。因此,土壤物理环境的破坏对水稻产量产生了深刻的影响。表4表明,9年18季水稻总产量以有机无机肥配施优于多元无机肥配施,三元配施优于二元配施,二元配施优于单施的趋势。NPK与有机肥配施比NPK及NPK(2)9年累计增产3.36—17.97%,且产量稳定在9529.5—12613.5kg/ha。这与土壤结构性的改善有关。值得提及的是由于水稻产量及水稳性结构破坏率都随化肥总施用量增多而增加,相关系数分别达0.8751**和0.7958**,即化肥施用愈多,作物产量愈高,结构破坏率亦高。这为当前农业发展和红壤性水稻土的改良增加了难度,是值得引以重视的一个农业管理问题。

表4 无机肥连施对水稻产量的影响

Table 4 Effect of continuous applying of inorganic fertilizer on rice yield(kg/ha)

年份 Year	CK	N	P	K	NP	NK	NPK	NPK(2)	NPK + O.M.
1981	7192.5	8878.5	7308.0	7947.0	8904.0	9376.5	9529.5	9676.5	9997.5
1982	6340.5	8754.0	6447.0	6657.0	8994.0	9633.0	9771.0	10914.0	11389.5
1983	6460.5	7500.0	6969.0	7212.0	7714.0	8430.0	8728.5	9697.5	10225.5
1984	4443.0	7233.0	6346.5	6600.0	8122.5	8197.5	8319.5	9129.0	9529.5
1985	5886.0	7789.5	6346.5	6189.0	8461.5	8415.0	8893.5	9775.5	10725.0
1986	6732.0	8686.5	8496.5	7584.0	9019.5	9991.5	10756.0	12336.0	12613.5
1987	5557.5	7114.5	6297.0	5769.0	7497.0	7939.5	9100.5	11283.0	11575.5
1988	5389.5	6337.5	6015.0	5529.0	7032.0	7357.5	8614.5	10290.0	10575.0
1989	5736.0	6664.5	5850.0	5700.0	7539.0	7755.0	9075.0	11386.5	11032.5
ΣX	53737.5	68958.0	60075.5	59187.0	73284.0	77095.5	82788.0	94488.0	97663.5
Σ	5970.8	7662.0	6675.0	6576.3	8142.7	8566.2	9198.7	10498.7	10851.5
增产 (%)	/	28.31	11.78	10.14	36.34	43.46	54.03	75.61	81.71

J. Letey^[5]认为土壤某些物理性质,如土壤容重、质地、团聚体稳定性和土壤孔隙大小的分配与植物生长之间无直接相关,它是通过其对水分、空气、温度和机械阻力而间接影响植物生长。因此,要获得作物高产稳产,宜十分重视化肥的施用技术,加强土壤管理,建立良好的土壤物理环境,使土壤水势、温度、氧扩散速率和机械阻力等物理参数,维持在适度范围内。从各年度水稻产量变化趋势可以看出,所有无机肥偏施处理,粮食产量有下

降趋向,以钾肥区降幅较大,1989年比1981年产量降低39.42%,氮肥区下降33.24%,磷肥区下降24.91%,无肥区降低25.39%。进一步说明,无机肥连施后,尤其是单施和偏施,土壤结构性的破坏,牵制了肥料-土壤-作物养分系统的平衡,特别是钾素养分的有效性。因此,广开有机肥源,发展有机农业,是当前土壤管理的重要环节之一。

参 考 文 献

- [1] 姚贤良,1986: 关于稻作制中的土壤物理问题。土壤学进展,第5期,1—16页。
- [2] 姚贤良,1986: 四十年来国际土壤物理学的发展及其对我国物理学的影响。土壤学进展,第4期,23—27页。
- [3] M. M. Кононова (钟宁摘译),1985: 有机质与土壤肥力。土壤学进展,第4期,30—36页。
- [4] 李庆逵,1983: 中国红壤(前言)。科学出版社。
- [5] 钱胜国,1981: 田间持水量与土壤容重机械组成的相关特性。土壤通报,第5期,12—14页。
- [6] 邹邦基,1984: 土壤与植物中的卤族元素(I)氯。土壤学进展,第6期,1—7页。
- [7] 姚贤良、于德芬,1962: 赣中丘陵地红壤性水稻土的结构状况及其肥力意义。土壤学报,第10卷3期,267—288页。
- [8] 赖庆旺、刘勋等,1979: 红壤性水稻土有机质周年消长及调节技术。中国农业科学,第3期,65—73页。
- [9] 刘勋、赖庆旺,1980: 不同绿肥对红壤性稻田结构的影响。江西农业科技,第2期,11—13页。
- [10] 姚贤良,1983: 红壤的物理性质。中国红壤。科学出版社,102—118页。
- [11] 姚贤良、许锈云、于德芬,1990: 不同利用方式下红壤结构的形成。土壤学报,第27卷1期,25—33页。
- [12] 何群、陈家坊等,1981: 土壤中氧化铁转化及其对土壤结构的影响。土壤学报,第18卷4期,326—334页。
- [13] 姚贤良、于德芬,1980: 太湖地区水稻土的土壤物理条件及其调节。土壤,第4期,121—125页。
- [14] 赖庆旺、李茶苟、黄庆海,1989: 红壤性水稻土无机连施生物效应与肥力特性的研究。江西农业学报,第2期,38—45页。
- [15] J. Lety (袁剑防译),1987: 土壤物理性质和作物生长的关系。土壤学进展,第1期,40—44页。

EFFECT OF CONTINUOUS APPLICATION OF INORGANIC FERTILIZER ON SOIL STRUCTURE PROPERTIES OF PADDY SOIL DERIVED FROM RED SOIL

Lai Qingwang, Li Chagou and Huang Qinghai

(Red Earth Research Institute of Jiangxi Province, 331717)

Summary

Good soil physical environment is a fundamental for gaining stable and high yields of crops. The return way of organic materials was controlled artificially in the present study. Results from the nine-year field location study show that in the case of continuous application of inorganic fertilizers, especially mono-application of inorganic fertilizers, in paddy soil from red soil, the soil structure was damaged, soil became more compact, the tilth of soil became worse, the plowpan rose, and the land productivity declined as a result of decrease in the inorganic and organic colloids.

In the case of continuous application inorganic fertilizers, the bulk density of soil increased by $46-86 \text{ kg m}^{-3}$, total porosity decreased by 1.43—2.92%, capillary porosity increased by 1.44—3.74%, non-capillary porosity decreased by 3.18—5.48%, the proportion of non-capillary porosity in total porosity decreased from 13.09% to 4.14—8.05%. Meantime the formation and stability of aggregates were affected. Destruction rate of $>0.25 \text{ mm}$ water-stable aggregates increased which was most significantly related to the total input of available nutrients by organic fertilizers ($r=0.7958^{**}$). It shows that under the condition of lacking organic fertilizers, the land productivity was more dangerous to be broken with applying more chemical fertilizer.

The deterioration of soil physical properties affected profoundly rice yield. The total rice yield of 9 years in various treatments was in the order of $\text{NPK} + \text{O} \text{ M.} > \text{NPK}(\text{double}) > \text{NPK} > \text{NK} > \text{NP} > \text{N} > \text{P} > \text{K} > \text{CK}$. The total rice yield of continuous application of inorganic fertilizers decreased by $3175.5-38488.5 \text{ kg ha}^{-1}$ compared with that of combined application of organic and inorganic fertilizers, being consistent with the variation of soil structure. Under the condition of combined application of organic and inorganic fertilizers, the yield of rice was increased efficiently, and the physical environment of soil was improved.

Key words

Paddy soil from red soil, Aggregate, Porosity, Destruction rate