长期施肥下土壤性质变化及其对微生物生物量的影响①

邓 超[1,2]，毕利东[3]，秦江涛[1*]，张桃林[1] ，余喜初[4]

(1 中国科学院南京土壤研究所，南京 210008；2 中国科学院大学，北京 100049； 3 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室(河海大学)，南京 210098；4 江西省红壤研究所，江西进贤 331700)

摘 要：在对长期施用化肥以及与有机肥配施处理的红壤稻田土壤水分特征曲线研究的基础上，考察了土壤性质变化及各种孔隙分布特征，探讨了不同大小孔隙分布和有机碳含量以及微生物生物量的关系。结果表明：长期施用有机肥增加了土壤有机碳含量，提高了土壤保持水分的能力。相比于不施肥处理(通气孔隙度 0.121 m^3/m^3)，施用有机肥增加了土壤的通气孔隙(通气孔隙度 0.156 m^3/m^3)，施用化肥减少了土壤的通气孔隙(通气孔隙度分别为 NK 0.11 m^3/m^3，NP 0.115 m^3/m^3，NPK 0.082 m^3/m^3，2NPK 0.113 m^3/m^3)，长期施用有机肥的土壤中大孔隙度和中孔隙度分别是施用化肥和不施肥处理的 1.45 ~ 1.68 倍和 1.22 ~ 1.43 倍，小孔隙度在 0.39 ~ 0.41 m^3/m^3 之间，且所有施肥处理之间无显著差异。通过相关分析表明，土壤有机碳含量与土壤总孔隙度和中孔隙度均极显著相关($P<0.01$)，与土壤大孔隙度显著相关($P<0.05$)，土壤微生物生物量碳和呼吸强度与大孔隙度显著相关($P<0.05$)，说明长期施用有机肥是通过提高土壤有机碳来改善土壤中、大孔隙比例，最终提高土壤总孔隙度，增加土壤大孔隙的数量，有利于土壤微生物的活动的。

关键词：长期施肥；水稻土；水分特征曲线；有机碳；孔隙；土壤微生物生物量

中图分类号：S152

我国水稻土面积 3.8 亿亩，占全国耕地面积的 25%，稻谷产量占粮食总产量的 44%[1]。长期施肥对水稻产量和土壤肥力的影响一直是土壤学、生态学研究的热点[2-4]，长期施肥对水稻土物理性质的影响也有部分研究[5-7]，但长期施肥对水稻土孔隙分布的影响却鲜见报道。

土壤中土粒或团聚体之间以及团聚体内部的空隙叫做土壤孔隙，土壤孔隙度反映了土壤中孔隙的总量，土壤水分特征曲线是表征土壤水的能量和数量之间的关系，即水的含量与势能之间的关系，是研究土壤水分保持和运移所用到的反映土壤水分基本特性的曲线[8]。土壤水分特征曲线受质地、温度、孔隙等多种因素的影响[9-11]，可以间接地反映土壤孔隙的分布[8]，通过土壤的水分特征曲线可以了解土壤的持水性，土壤水分的有效性和用数学物理方法对土壤水分运动进行定量分析[12]。土壤微生物特性与土壤质量的关系密切[13]，不同施肥措施可以显著影响土壤微生物功能多样性和种群特性[14]。本文以江西红壤性水稻土长期化肥试验为基础，用压力膜法测定了长期不同施肥方式土壤的水分特征曲线的差异，并初步分析了孔隙分布与土壤有机碳含量以及土壤微生物生物量的关系，为提高水稻土水分利用率和合理施肥提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

红壤性水稻土肥料长期定位试验设在江西省红壤研究所内(江西省进贤县张王庙)。试验区海拔高度 26 m，亚热带季风气候，年平均气温 17.7℃，月平均最高气温 29.0℃，月平均最低气温 5.0℃，年均降雨量 1 400 mm。土壤母质为第四纪红色黏土，剖面特征为 A-P-W1-W2-G 型，属于潴育性水稻土。长期试验始于 1981 年早稻，试验前为双季稻绿肥轮作制，试验后为稻–稻–冬闲的种植方式。试验设置 10 个处理，试验小区面积为 46.67 m^2，随机区组排列，重复 3 次。该研究选取其中 6 个处理：①CK(不施肥)；②NK(施氮钾肥)；③NP(施氮磷肥)；④NPK(施氮磷钾肥)；⑤2NPK(施双倍氮磷钾肥)；⑥NPK+OM(施氮磷钾肥和猪粪处理)。各处理施肥量如表 1 所示。

①基金项目：国家 973 计划项目(2011CB100504)和公益性行业(农业)科研专项经费(201003016)资助。

* 通讯作者(jtqin@issas.ac.cn)

作者简介：邓超(1983—)，男，安徽合肥人，博士研究生，主要从事土壤物理方面的研究。E-mail: chdeng@issas.ac.cn

表 1　长期定位试验耕层土壤无机肥和有机肥投入量、有机碳投入量和年均产量

Table 1　The amount of mineral and organic fertilizers annually applied for each crop, annual organic carbon input and the average rice grain yield for each crop in long-term fertilization experiments

施肥处理	化肥			绿肥	猪粪	有机碳投入量	早稻产量	晚稻产量
	N	P	K					
	(kg/hm^2)	(kg/hm^2)	(kg/hm^2)	(t/hm^2)	(t/hm^2)	(t/hm^2)	(t/hm^2)	(t/hm^2)
CK	0	0	0	0	0	1.26 f	2.87 f	2.99 e
NK	90	0	62.2	0	0	1.47 e	3.49 e	3.85 d
NP	90	19.6	0	0	0	1.69 c	4.01 d	3.85 d
NPK	90	19.6	62.2	0	0	1.64 d	4.40 c	4.30 c
2NPK	180	39.2	124.4	0	0	1.88 b	5.04 b	4.99 b
NPK+OM	90	19.6	62.2	2.25	7.9	5.29 a	5.24 a	5.20 a

注：表中化肥种类为早稻晚稻均使用尿素、钙镁磷肥(P 70 g/kg)和氯化钾；绿肥种类为早稻施用紫云英，含 N 27.6 g/kg，P 2.00 g/kg，K 8.50 g/kg；猪粪含 N 28.30 g/kg，P 10.30 g/kg，K 9.80 g/kg；有机碳投入量是根据有机物料投入、根系生物量以及地面残茬计算得出的；同列不同小写字母表示各处理差异在 $P<0.05$ 水平显著，下同。

1.2　研究方法

2010 年 11 月于晚稻收获后在试验地用环刀(100 cm^3)取耕层(0 ~ 10 cm)原状土壤样品，每个处理 3 个重复。将原状土样带回实验室饱和(将环刀土壤放入沙盘中，注水使水面保持在环刀下 1 cm，直至环刀土壤表面有水珠渗出)后放入压力膜仪中，在 0、2、10、22、55、320、820、1 470 kPa 压力下平衡后分别称重，以及烘干再称重 (1 470 kPa 处理用过 10 目筛的土样，装填到小环刀里测定，平衡时间为一个月)，得到土壤含水量和土壤水基质势之间相对应的关系点，用 RETC 软件对得到的点拟合得 van Genuchten 模型的参数，最终得到水分特征曲线的表达式。

水分特征曲线采用 van Genuchten 方程进行描述[15]：

$$\theta(h)=\theta_{\mathrm{r}}-\frac{\theta_{\mathrm{s}}-\theta_{\mathrm{r}}}{[1+(\alpha h)^n]^m}$$

式中，θ 是土壤含水量(m^3/ m^3)，h 是水势(kPa)，θ_{s} 是饱和含水量(m^3/m^3)，θ_{r}是残余含水量 (m^3/m^3)，α、n、m 都是参数，$m=1-1/n$。

本研究根据 Peng 等[16]的分类方法将>50 μm 的土壤孔隙称为大孔隙，0.6 ~ 50 μm 的土壤孔隙称为中孔隙，<0.6 μm 的土壤孔隙称为小孔隙。土壤有机碳采用浓硫酸重铬酸钾外加热法，土壤全氮采用半微量凯氏法，土壤全磷采用氢氟酸-高氯酸消煮，钼锑抗比色法测定。土壤微生物生物量碳、氮的测定采用氯仿熏蒸浸提法(FE)，土壤呼吸强度应用密闭条件下碱液吸收法测定。

以上所有测定方法详细步骤参考《土壤农业化学分析方法》[17]。

1.3　统计分析

水分特征曲线使用 RETC 软件进行拟合分析，不同处理之间利用 SPSS 17.0 软件进行方差分析(ANOVA)及通过最小显著差数法(LSD)进行差异显著性检验。

2　结果分析

2.1　施肥对水稻土基本理化性质的影响

有研究表明绿肥与无机肥配合施用可以显著提高早稻和晚稻产量[18]，在本研究中有机无机肥配合施用处理(NPK+OM)的早稻和晚稻产量均要显著高于其他施肥处理和不施肥处理(表 1)。施用不同的肥料对于水稻土的一些基本性质产生了不同的影响(表 2)，与无肥对照处理相比，各施肥处理土壤的 pH 比试验前降低了 0.1 ~ 0.2 个单位，处理之间均没有显著变化($P > 0.05$)，各处理土壤有机碳、全氮含量均较初始土壤有不同程度的提高，添加有机肥能够显著增加土壤有机碳、全氮含量。与无肥对照处理相比，各化肥处理土壤的 pH 和土壤有机碳含量均没有显著变化。施入氮肥和磷肥能够显著增加土壤的氮磷含量。施用有机肥能够降低土壤体积质量，增加土壤孔隙。各个施肥处理土壤的黏粒含量在 193 ~ 205 g/kg 之间，且处理之间均没有显著变化($P > 0.05$)。

2.2　施肥对水稻土水分特征曲线的影响

土壤的水分主要由土壤的基质吸力和毛管吸力而保持在土壤孔隙中，而土壤的水分特征曲线可以反映土壤的持水性。通常认为[19]，低吸力段所能保持的土壤水分的多少主要受土壤结构发育程度和有机质含量的影响，>100 kPa 吸力范围内土壤的持水能力更多受土壤质地影响。从试验结果(图 1)可以看出，在低吸力段(0 ~ 100 kPa)水分特征曲线变化较陡，而在中高吸力段(>100 kPa)曲线变化较为平缓，且有机碳含量高的处理(NPK+OM)在相同吸力下(0 ~ 100 kPa 和>100 kPa)的土壤含水量均要高于其他 5 个未施

表 2 长期定位试验耕层土壤基本性质

Table 2 Soil properties of the Ap horizon in long-term fertilization experiment

施肥处理	pH	有机碳	全氮	全磷	体积质量	总孔隙	黏粒含量
	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/cm^3)	(m^3/m^3)	(g/kg)
初始土壤	5.4	16.3	1.49	0.49	–	–	–
CK	5.2 a	19.4 b	2.02 e	0.54 e	1.20 a	0.55 b	205 a
NK	5.2 a	21.0 b	2.17 b	0.52 e	1.19 a	0.55 b	203 a
NP	5.3 a	20.1 b	2.12 bcd	0.69 d	1.13 a	0.57 b	193 a
NPK	5.3 a	20.9 b	2.09 cde	0.84 c	1.15 a	0.57 b	194 a
2NPK	5.2 a	20.8 b	2.15 bc	1.03 b	1.15 a	0.57 b	196 a
NPK+OM	5.2 a	25.8 a	2.64 a	1.31 a	1.02 b	0.62 a	204 a

用有机肥的处理。6 个施肥处理的土壤的黏粒含量在 193 ~ 205 g / kg 之间，且各个施肥处理之间无明显的差异，所以本研究中土壤有机碳含量就成为土壤的持水能力的主要影响因素，而从图 1 可以明显看出有机碳含量高的土壤(NPK+OM)在所有吸力段的持水能力均要高于其他土壤。如果以 30 kPa 所对应的土壤含水量为田间持水量，那么饱和含水量到田间持水量范围内的土壤孔隙通常为通气孔隙，经过计算各施肥处理的通气孔隙度分别为：CK 0.121 m^3/ m^3，NP 0.115 m^3/ m^3，NK 0.11 m^3/ m^3，NPK 0.082 m^3/ m^3，2NPK 0.113 m^3/ m^3，NPK+OM 0.156 m^3/ m^3。一般认为＜0.1 m^3/ m^3 的通气孔隙将不利于作物生长[20]。本研究结果表明，与不施肥的对照处理相比，长期施用 NPK 化肥显著降低土壤的通气孔隙，而施用有机肥有利于土壤通气孔隙的提高，利于作物生长。

有研究表明使用 van Genuchten 方程拟合水分特征曲线所得到的参数 α 可以反映孔隙大小的分布状况，参数 n 与土壤体积质量有显著的相关关系[21]。而在本研究中使用 van Genuchten 方程所拟合得到的参数 n 的数值为 1.04 和 1.05，4 个施肥处理之间基本无差别，参数 α 的数值在 0.176 ~ 1.950 之间，且施用有机肥处理的土壤最大(表 3)。θ_r 一般为大于 0 的数值，在本研究中，由于拟合计算出数值过小(接近于 0)，故未列出，R^2 均在 0.99 以上，说明使用 van Genuchten 方程可以很好地拟合本研究所得到的水分特征曲线。

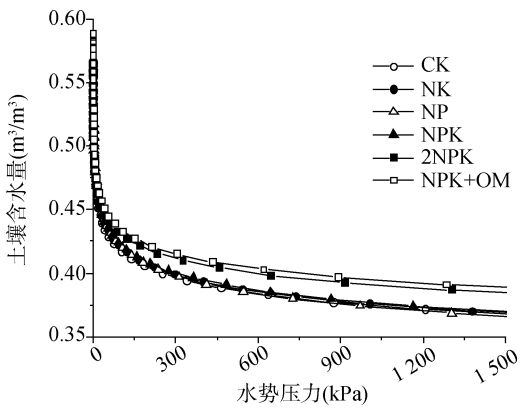


图 1 长期定位试验耕层土壤水分特征曲线

Fig. 1 Water retention curve of the Ap horizon in long-term fertilization experiment

2.3 施肥对水稻土孔隙分布的影响

土壤孔隙是由孔径大小不同的连续孔隙组成，在土壤结构形成、土壤水分和养分保持、微生物多样性的保护等方面起着非常重要的作用。图 2 显示，长期施用有机肥的土壤中大孔隙度和中孔隙度分别是施用化肥和不施肥处理的 1.45 ~ 1.68 倍和 1.22 ~ 1.43 倍；小孔隙度在 0.39 ~ 0.41 m^3/ m^3 之间，且所有施肥处理之间无显著差异(P>0.05)。表 1 和图 2 表明长期施用有机肥不仅增加了土壤的总孔隙度，且土壤的大孔隙度和中孔隙度均有显著提高。Rasool 等[22]在玉米和小麦试验地的研究结果表明，长期(32 年)施用有机肥处理的土壤孔隙度显著高于施用化肥处理。

表 3 长期定位试验耕层土壤水分特征参数

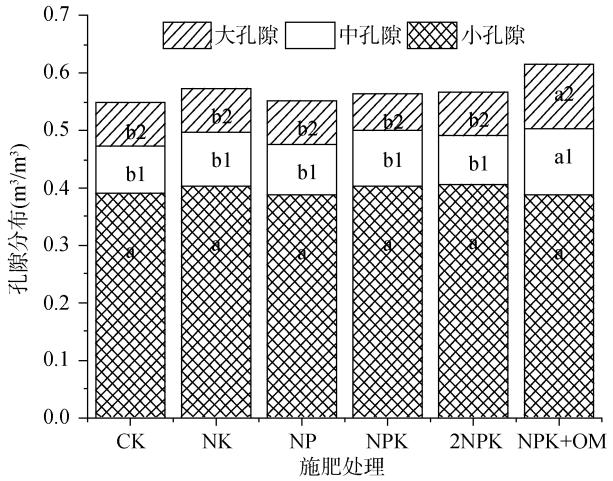
Table 3 Parameters of soil water retention curve of the Ap horizon in long-term fertilization experiment

施肥处理	θ_s (m^3/ m^3)	α	n	m	R^2
CK	0.559	0.477	1.05	0.047	0.998
NK	0.564	0.251	1.05	0.050	0.991
NP	0.566	0.415	1.05	0.043	0.992
NPK	0.547	0.176	1.04	0.039	0.993
2NPK	0.565	0.654	1.04	0.041	0.994
NPK+OM	0.589	1.95	1.05	0.046	0.997

Haynes 和 Naidu[23]认为土壤有机质显著增加是施用畜禽粪便处理的土壤总孔隙度提高(或土壤体积质量降低)的主要原因。本研究发现施用有机肥是通过增加土壤有机碳含量来提高土壤大孔隙度和中孔隙度，最终提高土壤总孔隙度，与李江涛等[24]的研究结果一致。图 2 显示，施用氮磷钾化肥的处理(NPK)大孔隙度小于 CK 处理，说明长期施用氮磷钾化肥减少了土壤中大孔隙的比例。

2.4　土壤孔隙分布与有机碳及微生物活动的关系

相关分析结果显示(表 4)，土壤有机碳投入量与总孔隙度、大孔隙度有极显著的相关关系(P<0.01)，与中孔隙度呈显著相关(P<0.05)。土壤有机碳含量与总孔隙度、中孔隙度有极显著的相关关系(P<0.01)，与大孔隙度有显著的相关关系(P<0.05)，与小孔隙度相关性不显著。这说明长期施用有机肥是通过增加土壤有机碳的含量来提高土壤中孔隙度和大孔隙度，最终提高总孔隙度。



(图中不同小写字母表示同一孔隙不同处理间差异在 P<0.05 水平显著，其中小写字母旁的 1、2 是区分中孔隙、大孔隙之用)

图 2　长期定位试验耕层土壤孔隙分布

Fig. 2　Pore size distribution of the Ap horizon in long-term fertilization experiment

表 4　土壤孔隙分布与产量、有机碳、微生物生物量碳氮、呼吸强度的相关关系

Table 4　Relationships among soil organic carbon, microbial biomass carbon and nitrogen, respiration intensity and pore size distribution

	总孔隙度	大孔隙度	中孔隙度	小孔隙度	有机碳投入量	有机碳含量	微生物生物量碳	微生物生物量氮	呼吸强度
总孔隙度	1								
大孔隙度	0.870*	1							
中孔隙度	0.932**	0.797	1						
小孔隙度	–0.174	–0.565	–0.327	1					
有机碳投入量	0.931**	0.950**	0.900*	–0.457	1				
有机碳含量	0.986**	0.905*	0.950**	–0.301	0.976**	1			
微生物生物量碳	0.785	0.854*	0.721	–0.427	0.877*	0.833*	1		
微生物生物量氮	0.465	0.457	0.159	0.218	0.463	0.440	0.593	1	
呼吸强度	0.774	0.849*	0.794	–0.551	0.897*	0.846*	0.972**	0.410	1

注：* 表示在 P<0.05 水平显著相关，** 表示在 P<0.01 水平极显著相关。

有研究表明土壤微生物参与了土壤 90% 左右的土壤反应过程[25]。土壤呼吸强度是衡量土壤微生物活性的综合指标。相关关系显示，有机碳投入量和有机碳含量均与土壤微生物生物量碳有显著的相关关系(P<0.05)，土壤微生物生物量碳和土壤呼吸强度与大孔隙之间相关性显著(P<0.05)，而土壤微生物生物量氮与孔隙之间并无显著的相关性。这说明增加土壤大孔隙的数量，有利于土壤微生物的活动。

3　结论

(1) 与不施肥土壤相比，长期施用有机肥显著提高水稻产量，增加土壤有机碳含量，降低了土壤体积质量和显著提高土壤的孔隙度，施用化肥的土壤没有提高土壤有机碳含量，不能降低土壤体积质量，土壤孔隙度也无明显提高。

(2) 不同施肥处理间的水分特征曲线差异明显，长期施用有机肥可以提高土壤的持水能力，长期施用化肥的 NP、NK、NPK、2NPK 处理土壤通气孔隙仅为 0.115、0.110、0.082 和 0.113 m^3/m^3，均要小于对照处理，这说明长期施用化肥减少了水稻土通气孔隙的比例，对作物的生长会产生不利影响。

(3) 与不施肥的土壤相比，长期施用有机肥显著提高土壤的大孔隙度和中孔隙度，而施用化肥的土壤中大孔隙度和中孔隙度均无明显提高，各施肥处理之间的小孔隙度差异不明显。土壤有机碳含量与土壤总孔隙度和中孔隙度均极显著相关(P<0.01)，与土壤大孔隙度表现为显著相关(P<0.05)，土壤微生物生物量碳和呼吸强度与大孔隙度显著相关(P<0.05)，这说明长期施用有机肥是通过提高土壤有机碳来改善土壤

中、大孔隙比例，最终提高土壤总孔隙度，增加土壤大孔隙的数量，有利于土壤微生物的活动。

参考文献：

[1] 李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 3

[2] Yadvinder S, Bijay S, Ladha JK, Khind CS, Gupta RK, Meelu OP, Pasuquin E. Long-term effect of organic input on yield and soil fertilizer in the rice-wheat rotation[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(3): 845–853

[3] Saleque MA, Abedin MJ, Bhuiyan NI, Zaman SK, Panaullah GM. Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice[J]. Field Crops Research, 2004, 86: 53–65

[4] Bi L, Zhang B, Liu G, Li Z, Liu Y, Ye C, Yu X, Lai T, Zhang J, Yin J, Liang Y. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2009, 129: 534–541

[5] 杨曾平, 徐明岗, 聂军, 郑圣先, 高菊生, 谢坚, 廖育林. 长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 92–97

[6] 聂军, 杨曾平, 郑圣先, 廖育林, 谢坚, 向艳文. 长期施肥对双季稻区红壤性水稻土质量的影响及其评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1 453–1 460

[7] 聂军, 郑圣先, 杨曾平, 廖育林, 谢坚. 长期施用化肥、猪粪和稻草对红壤性水稻土物理性质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(7): 1 404–1 413

[8] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988: 18–23

[9] 冯杰, 郝正纯, 刘方贵. 大孔隙对土壤水分特征曲线的影响[J]. 灌溉排水, 2002, 21(3): 4–7

[10] 高惠嫣, 杨路华. 不同质地土壤的水分特征曲线的参数分析[J]. 河北农业大学学报，2012, 35(5): 129–132

[11] 张芳, 张建锋, 薛绪掌, 毛思帅. 温度对简化蒸发法测定土壤水分特征曲线和导水率曲线的影响[J]. 水资源与水土工程学报, 2012, 23(3): 114–120

[12] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 72

[13] Dilly O, Munch JC. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 1998, 27: 374–379

[14] 张瑞, 张贵龙, 陈冬青, 姬艳艳, 张海芳, 杨殿林. 不同施肥对农田土壤微生物功能多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(2): 133–139

[15] van Genuchten MT. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44: 892–898

[16] Peng X, Horn R, Smucker A. Pore shrinkage dependency of inorganic and organic soils on wetting and drying cycles[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71: 1 095–1 104

[17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000

[18] 王鑫, 王莉, 余喜初, 黄欠如, 赵锋, 张卫建. 长期不同施肥方式对江南稻田系统生产力与抗逆性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(4): 62–68

[19] 柳云龙, 施振香, 尹俊, 林文朋. 旱地红壤与红壤性水稻土水分特征分析[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 232–235

[20] Zou C, Penfold C, Sands R, Misra RK, Hudson I. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings[J]. Plant and Soil, 2001, 236: 105–115

[21] Shu QS, Liu ZX, Si BC. Characterizing scale-and location-dependent correlation of water retention parameters with soil physical properties using wavelet techniques[J]. Journal of Environmental Quality, 2008, 37(6): 2 284–2 292

[22] Rasool R, Kukal SS, Hira GS. Soil organic carbon and physical properties as affect by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in mazie-wheat system[J]. Soil Tillage Research, 2008, 101: 31–36

[23] Haynes RJ, Naidu R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998, 51: 123–137

[24] 李江涛, 钟晓兰, 张斌, 刘勤, 赵其国. 长期施用畜禽粪便对土壤孔隙结构特征的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 137–140

[25] O'Donnell AG, Seasman M, Macrae A, Waite I, Davie JT. Plants and fertilizers as drivers of change in microbial community structure and function in soils[J]. Plant and Soil, 2001, 232(1): 135–145

Effects of Long-term Fertilization on Soil Property Changes and Soil Microbial Biomass

DENG Chao[1,2] , BI Li-dong[3] , QIN Jiang-tao[1*] , ZHANG Tao-lin[1], YU Xi-chu[4]

(1 *Institute of Soil Science*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*; 3 *Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China*(*Hohai University*)，*Ministry of Education*, *Nanjing* 210098, *China*; 4 *Jiangxi Institute of Red Soil*, *Jinxian*, *Jiangxi* 331700, *China*)

Abstract: Based on analyzing the water retention curves in paddy soils of long-term fertilization, the relationship between soil properties and different pore size were explored. The results showed that soil organic carbon content and water-holding capacity increased with the application of organic manure. Compared to the no fertilizer treatment (aeration porosity 0.121 m^3/m^3), the organic manure application treatment increased aeration porosity (aeration porosity 0.156 m^3/m^3), whereas the chemical fertilizer application treatments decreased aeration porosity (NK 0.11 m^3/m^3, NP 0.115 m^3/m^3, NPK 0.082 m^3/m^3, 2NPK 0.113 m^3/m^3). The proportion of marcopores and mescopores were 1.45–1.68 and 1.22–1.43 times for organic manure application treatment to the no fertilizer treatment and the chemical fertilizer application treatments, the proportion of mircopores in 0.39 – 0.41 m^3/ m^3. Correlation analysis showed that the content of soil organic carbon exhibited significant correlates with total porosity and the proportion of mescopores (P<0.01) and significant correlates with the proportion of marcopores (P<0.05), but not significant with the proportion of mircopores; the proportion of macropores had significant correlates (P<0.05) with soil microbial biomass carbon and respiration intensity. These results suggested that long-term application of organic manure could improve the total porosity via the increase of the mescopores and marcopores, and the increased soil macropores could favor soil microbial activities.

Key words: Long-term fertilization, Paddy soil, Water retention curve, SOC, Porosity, Soil microbial biomass