

长期不同施肥对稻田土壤有机质和全氮的影响^①

李新爱^{1,2}, 童成立¹, 蒋平³, 吴金水¹, 汪立刚^{1,2*}

(1 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 湖南省土壤肥料工作站, 长沙 410005)

摘要: 通过对湖南新化、宁乡、株洲、桃江、武岗 5 个国家级稻田肥力长期定位试验点 18 年的田间定位试验, 研究了不同施肥方式下 0~20 cm 土层土壤有机质和全 N 含量的演变规律。结果显示, 中量和高量有机肥与化肥配合处理在提高土壤有机质和全 N 含量方面效果明显优于单施化肥和秸秆还田处理, 且随有机肥用量的增加而增加, 表明有机肥与化肥配合施用是提高土壤有机质和 N 素肥力的重要措施。在不同施肥方式下, 稻田土壤有机质总体上呈现出上升或者下降的趋势, 但在不同的年份会有波动。

关键词: 长期施肥试验; 有机质; 全氮

中图分类号: S147.2

土壤有机质是土壤的重要组成部分, 具有重要的农业生产价值和环境价值^[1-3]。土壤有机质不仅对土壤的各种物理、化学、生态性状和土壤肥力具有决定性作用和深刻影响, 而且土壤有机 C 库的变化与全球气候变化密切相关。陆地土壤是地球表面最大的 C 库, 其有机 C 储量约在 C 1400 ~ 1500 Pg^[4-6], 大约是储存在大气中 C 的 2 倍, 是储存在活植物体中的 3 倍^[7-8]。土壤有机 C 的年周转量大致相当于人类活动向大气圈排放的总 C 量^[9]。土壤有机质的破坏必然导致土壤有机 C 的持有量的降低, 将会对全球气候产生不亚于人类活动向大气排放 CO₂ 对全球气候的影响。因此农田土壤中 C 的“汇”、“源”状态将在很大程度上影响全球 C 的收支

与平衡, 在全球变化研究中显得更为重要。土壤全 N 与土壤有机质有很大的相关性, 土壤有机质的变化必然导致全 N 的变化。笔者根据湖南省 5 个稻田肥力长期定位监测点的研究结果, 着重分析了 5 种常见施肥制度下土壤有机质和全 N 的变化特点。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤为湖南新化、宁乡、株洲、桃江、武岗 5 个国家级稻田肥力变化长期定位试验点的土壤。各试验点的土壤类型及性质、气候条件、利用和管理状况见表 1。

表 1 试验点气候条件、种植制度、土壤类型及其主要性状

Table 1 Climate, soil properties and farming systems at long-term field experiment sites

地点	年均气温 (°C)	年降水量 (mm)	土壤类型	轮作制度	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	黏粒含量 (g/kg)	pH
新化	17.01	1568	河沙泥	稻稻肥	33.51	1.10	129.9	5.20
宁乡	17.2	1553	河沙泥	玉米稻*	29.39	1.76	259.6	5.20
株洲	17.6	1525	清泥田	稻稻肥	40.30	2.42	216.5	6.25
桃江	16.7	1681	黄泥田	玉米稻*	40.70	1.91	251.3	6.10
武岗	16.7	1419	青鸭屎泥	稻稻肥	55.31	3.25	31.66	7.78

* 从 1993 年改为麦-稻-稻轮作, 土壤理化性状为 1986 年测定。

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX 3-SW-426, KZCX 1-SW-01)、国家重点基础研究发展规划项目 (2002CB412503)、国家自然科学基金项目 (40235057) 和中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (02200520075401) 共同资助。

* 通讯作者 (lgwang0827@yahoo.com.cn)

作者简介: 李新爱 (1979—), 女, 河南安阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态与环境方面的研究。E-mail: lixin535@sohu.com

1.2 试验设计

全部试验都于1986年开始, 设计方案一致。其处理设置如下: I: 对照(CK), 不施肥料; II: 化肥, 采用测土施肥技术, 根据试验点土壤N、P、K供应状况和作物预期需求量确定施用无机N、P、K肥料, 具体用量见表2。III: 习惯, 按当地习惯性施肥量确定施用量。IV: 秸秆还田, 每季作物秸秆除样品外, 其余全部还田; V: 中量有机肥, 以化肥处理施N量为标准, 有机肥N占施N总量的30%, 同时施等量的P、K肥料; VI: 高量有机肥, 以化肥处理施N量为标准, 有机肥N占施N总量的60%, 同时施等量的P、K肥料。V和VI中有机肥以猪粪肥为主, 兼有少量牛粪等农家肥^[10]。

表2 各试验点化肥处理施肥量(kg/hm²·a)

Table 2 Application rates of N, P, K in the treatment of chemical fertilizer in each long-term field experiment

试验点	N	P	K
新化	315	24	178
宁乡	530	30	218
株洲	540	52	228
桃江	510	54	268
武岗	320	38	136

1.3 测定项目与分析方法

2003年晚稻收获后7~10天采集表层0~20 cm土样, 用于测定土样的基本理化性质。样品在室温下完全风干, 碾磨并过100目筛。土壤有机质采用重铬酸钾氧化法(外加加热法)测定; 全N采用凯氏法测定; 黏粒含量采用比重法测定; pH采用蒸馏水(土水比1:2.5)浸提(15 min), 用Mettler Toledo 320 pH计测定。

2 结果与讨论

2.1 长期不同施肥措施对土壤有机质积累的影响

土壤有机质既是植物矿质营养和有机营养的供给源, 也是形成土壤结构的重要因素。因此, 土壤有机质直接影响着土壤的保肥性、保水性、缓冲性、耕性和通气状况等。表层土(0~20 cm)作为耕作层, 输入的有机物其分解转化主要在该层发生。因而, 不同施肥处理对该层土壤有机质含量的影响十分明显。图1为2003年5个长期试验点不同施肥处理的土壤有机质含量状况。从图1可以看出, 定位试验18年后, 习惯、化肥、秸秆还田、中量有机肥

和高量有机肥处理的土壤有机质与CK(无肥)相比都有不同程度的增加。秸秆还田、中量有机肥和高量有机肥3个处理与CK相比, 增幅范围分别为7.5%~28.8%、11.8%~62%和17.4%~88.7%, 均达到显著性差异($P<0.05$)。习惯处理与CK相比在新化和宁乡两试验点增幅仅为1.6%和4.5%, 差异不显著($P>0.05$), 其余试验点均达到显著性差异。而单施化肥处理与CK相比, 在新化和株洲两试验点增幅分别为1.3%和4.6%, 差异不显著, 其余试验点则达到显著性差异。

与试验前相比, 各试验点CK和化肥处理有机质含量都有不同程度的降低, 降低幅度分别为5.1%~24.3%、3.0%~14.3%, 表明单施化肥和不施肥只会促进土壤有机质的消耗。有报道认为单施化肥可以增加土壤有机质含量^[11], 因为施化肥能增加作物生物学产量, 从而增加对土壤有机物的投入(根系、残茬、落叶、根系分泌物等)。而张爱君等^[12]和周卫军等^[13]研究表明单施化肥土壤有机质无明显增长趋势, 可以基本维持土壤有机质平衡。因为长期连续施用增量N、P、K化肥, 土壤养分供应充足, 同时作物的根茬残留量较多, 使土壤有机质含量能保持大体持平。韩志卿等^[14]研究表明, 长期单施常量N、P、K化肥, 作物的根茬残留量较低, 使土壤易氧化有机质和难氧化有机质均有所消耗, 造成有机质总量下降。不同的研究结果可能与当地的气候条件、土壤状况、耕作制度及施肥量的多少有关。

与试验前相比, 习惯处理土壤有机质含量在不同试验点有升有降, 秸秆还田、中量有机肥和高量有机肥处理, 土壤有机质含量均有不同程度的增加, 增幅范围分别为3.9%~14.3%、4.7%~45.6%和11.6%~60.2%。秸秆还田处理在增加土壤有机质的效果上小于中量、高量有机肥处理, 秸秆还田后, 由于无机N、P相对缺乏, C/N比高, 微生物分解慢, 大部分秸秆仍呈未腐解的状态, 测定时会被剔除; 另外由于没有配施一定的无机化肥, 其供应的养分多是缓效的, 作物长势弱, 故其残留物和根系分泌物都较少。中量和高量有机肥处理随有机肥用量的增加土壤有机质积累明显增大。有机肥与化肥配合施用对土壤有机质的贡献是双重的: 一是直接的有机物投入, 二是通过提高作物产量及根茬残留量等而增加还田有机物的间接作用。

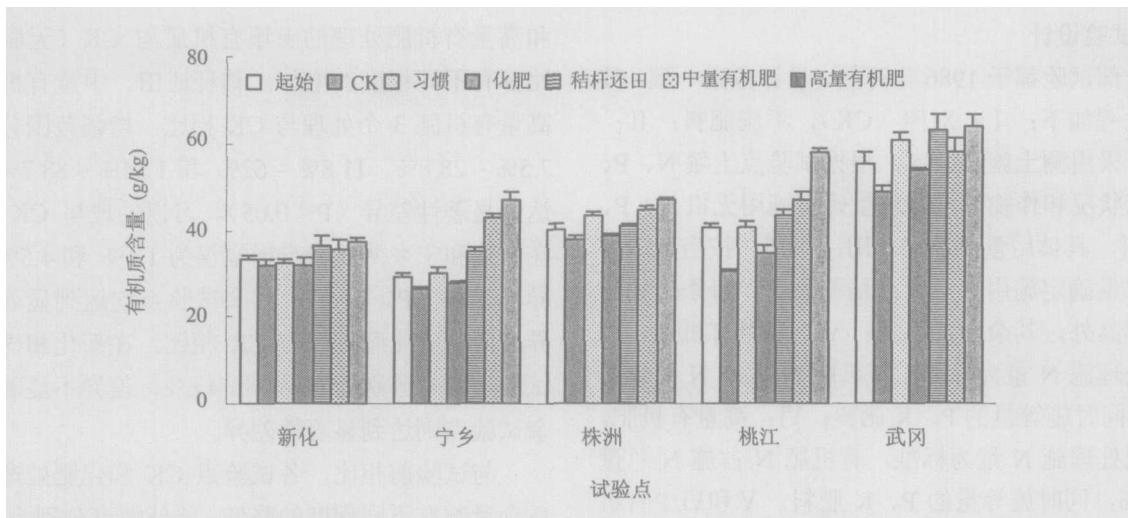


图 1 2003 年 5 个试验点土壤有机质含量

Fig. 1 Contents of soil organic matter in different fertilization treatments in the long-term field experiments in 2003

2.2 不同施肥措施对土壤全 N 的影响

土壤全 N 含量代表土壤中 N 的总贮备量,合理施肥有助于提高土壤 N 素肥力。根据 5 个试验点 18 年的定位试验结果 (图 2), 秸秆还田、中量和高量有机肥处理与 CK 相比均显著提高了土壤全 N 含量,增幅分别为 11.4% ~ 31.1%、15.9% ~ 50.9% 和 16.8% ~ 67.7%; 与试验前土壤全 N 含量相比也有不同程度增加,增幅范围分别为 2.4% ~ 20.9%、7.1% ~ 39.8% 和 10.0% ~ 51.7%。原因主要是有机肥的施用不仅直接增加了土壤全 N 含量,而且有机质的增加也提高了土壤的保 N 能力,减少了 N 素损失^[15]。不同试验点土壤全 N 含量与 CK 相比增加幅度差别较大,以宁乡试验点中量和高量有机肥处理增加幅度最高,分别为 50.9% 和 67.7%,新

化试验点增加幅度最低,分别只有 15.9% 和 16.8%。表明施用有机肥对土壤全 N 提高幅度还受不同耕作区土壤自身性状、耕作制度等条件的影响。如表 1 所示,新化试验点土壤黏粒含量为 129.9 g/kg,而宁乡土壤黏粒含量达 259.6 g/kg。宁乡土壤中较高的黏粒含量有助于土壤肥力的保持,因此与新化土壤相比有较多的全 N 积累。

习惯施肥处理与 CK 相比土壤全 N 含量有不同程度的提高,增幅范围为 0.9% ~ 34.1%; 与试验前相比,在新化和宁乡两点土壤全 N 含量略降,降幅分别为 1.8% 和 2.8%,差异不显著,其余点土壤全 N 含量略升,增幅范围为 7.6% ~ 17.3%。单施化肥处理与 CK 相比全 N 含量除在武冈试验点略降外总体略有增高,增幅范围 2.5% ~ 18.0%; 与

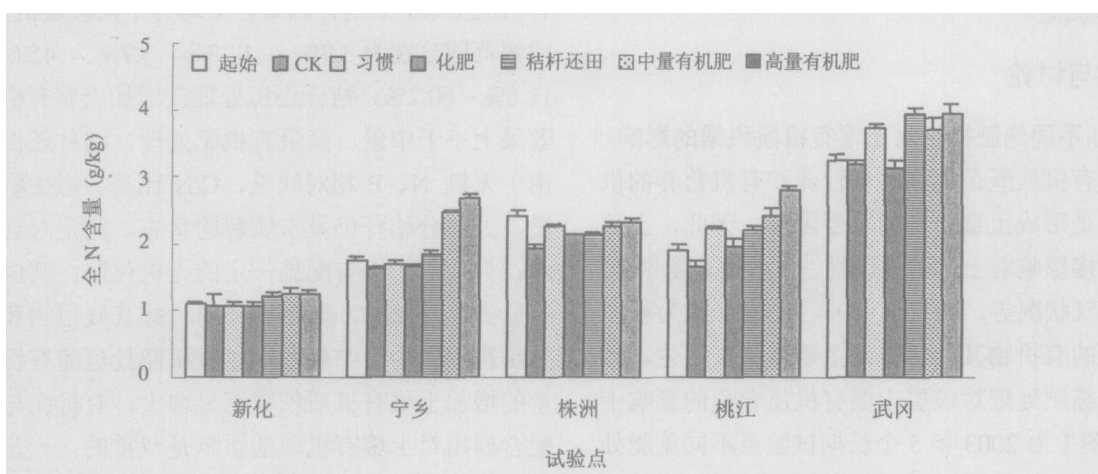


图 2 2003 年 5 个试验点土壤全 N 含量

Fig. 2 Contents of total nitrogen in different fertilization treatments in the long-term field experiments in 2003

试验前相比土壤全 N 含量基本保持不变。说明在本试验点根据土壤 N、P、K 供应状况和作物预期需求量确定施用的无机 N、P、K 肥料的数量和比例能总体保持土壤全 N 含量的收支平衡。

综上所述,中量和高量有机肥处理,耕层土壤(0~20 cm)全 N 含量均有提高,并且随着有机肥用量的增加,全 N 含量的增加幅度也增加。表明有机肥与化肥配合施用,是提高土壤 N 素肥力的重要措施。秸秆还田处理有较高的有机 N 素投入,但对土壤全 N 的积累却不如有机无机肥配施,说明单施有机 N 肥对土壤全 N 积累的作用也不理想。习惯施肥处理在不同的耕作区对土壤全 N 积累的影响并不一致,有升有降。单施化肥处理土壤全 N 略高于不施肥处理,这是由于施用 N 肥提高了作物根茬和根系分泌物的量,亦增加了归还土壤的有机 N 量^[16-18]。

土壤全 N 含量在长期不同施肥方式下的变化与土壤有机质含量变化趋势总体一致,仅在具体的试验点和具体的施肥方式下稍有差异。土壤有机质和全 N 有很大的相关性,因而土壤有机质的提高必然伴随着土壤全 N 的提高。

2.3 土壤有机质的长期动态变化

以宁乡试验点为例,不同施肥处理土壤有机质变化动态见图 3。不同施肥处理下土壤有机质含量在定位试验前两年均快速降低,主要原因可能是试验小区布置影响了土壤有机质的矿化速率。1988 年

以后各处理土壤有机质含量虽有波动,但总的呈上升趋势。1992 年各处理有机质含量水平有较大幅度下降,可能跟当年有较大降雨量且气温高引起土壤有机质的流失和加速了有机质的分解有关,因为同一地点影响有机质消长的主要原因是该地区的气候条件。而 1999 年各处理有机质有较大幅度升高,可能与当年采用了新的测定技术有关,也可能是由于施用有机肥不均匀,取土样时产生的误差造成。

宁乡长期定位施肥试验中,CK 土壤有机质含量总体呈下降趋势,2003 年较试验前土壤有机质含量减少了 2.99 g/kg。这一结果表明,仅依靠作物根茬、根系分泌物等作物归还难以维持土壤原有有机质水平,但也不是无限降低,而是维持在较低水平。习惯、单施化肥处理区土壤有机质含量在定位施肥处理前 10 年期间与 CK 相比互有高低。10 年后,这两种施肥处理下的土壤有机质含量均高于 CK。2003 年习惯处理区土壤有机质含量较试验前增加了 0.81 g/kg,化肥处理区有机质含量较试验前减少了 1.59 g/kg。秸秆还田处理可长期保持稍高于 CK 的土壤有机质含量,较试验前增加了 5.81 g/kg。中量和高量有机肥处理区土壤有机质含量增加趋势非常明显,与试验前土壤有机质含量相比分别增加 13.41 g/kg 和 17.71 g/kg。长期施用有机肥能显著提高土壤有机质含量,上升幅度随有机肥用量增加而增加。国内外一些定位试验的研究也得到与本研究相类似的结论^[19-22]。

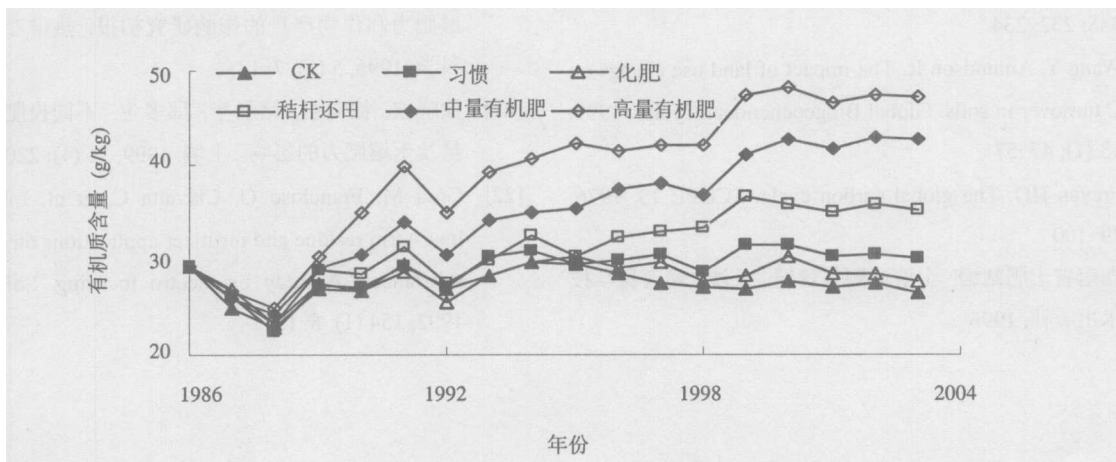


图 3 宁乡试验点不同施肥处理下土壤有机质含量动态变化

Fig. 3 Dynamic change in soil organic matter under different treatments in Ningxiang

3 小结

长期不施肥和单施化肥不利于土壤有机质和全 N 的积累;习惯施肥处理依不同耕作区施肥措施和耕作方式不同结果不同,土壤有机质和全 N 含量水平有增有减;而中量和高量有机肥处理各试验点有机质和全 N 含量均有不同程度提高,随有机肥施入量的提高增长幅度加大;秸秆还田处理也不同程度的提高了土壤有机质和全 N 含量,但增幅小于中量和高量有机肥处理。因此有机、无机肥料配施是提高土壤有机质和 N 素含量水平的重要措施。

参考文献:

- [1] 李忠佩,林心雄. 田间条件下红壤水稻土有机碳的矿化量研究. 土壤, 2002, 34 (6): 310-314
- [2] 金峰,杨浩,赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素的研究进展. 土壤, 2000, 32 (1): 11-17
- [3] 张东辉,施明恒,金峰,杨浩. 土壤有机碳转化与迁移研究概况. 土壤, 2000, 32 (6): 305-309
- [4] Schlesinger WH. Carbon balance in terrestrial detritus. Annual Review of Ecology and Systematics, 1977, 8 : 51-81
- [5] Post WM, Emanuel WR, Zinke PJ, Stangenberger AG. Soil carbon pools and world life zones. Nature, 1982, 298: 156-159
- [6] Eswaran H, Van den Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of the world. Soil. Sci. Soc. Amer. J., 1993, 57: 192-194
- [7] Schlesinger WH. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soil. Nature, 1990, 348: 232-234
- [8] Wang Y, Amundson R. The impact of land use changes on C turnover in soils. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13 (1): 47-57
- [9] Freyen HD. The global carbon cycle. SCOPE 13, 1976: 79-100
- [10] 湖南省土肥站编. 土壤监测与管理. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1996
- [11] 高亚军,朱培立,黄东迈,王志明,李生秀. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对有机质和全氮的影响. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 27-30
- [12] 张爱君,张明普. 长期施用有机和无机肥料对黄潮土有机质含量及组成的影响. 江苏农业研究, 2001, 22 (3): 30-33
- [13] 周卫军,王凯荣. 不同施肥制对红壤性水稻土有机质含量及品质的影响. 土壤通报, 1998, 29 (5): 201-202
- [14] 韩志卿,张电学,陈洪斌,常连生,于玉桥,刘东强,王介元. 长期定位施肥小麦-玉米轮作制度下土壤有机质质量演变规律. 河北职业技术师范学院学报, 2003, 17 (4): 10-14
- [15] 王经权,周健民,钦绳武,顾益初. 三种施肥模式对石灰性土壤培肥的影响. 土壤学报, 2002, 39 (6): 844-852
- [16] Mercik S, Nemeth K. Effects of 60-year N, P, K and Ca fertilization on EUF-nutrient fraction in the soil and on yields of rye and potato crops. Plant Soil, 1985, 83 (1): 151-159
- [17] Rasmussen PE, Rohde CR. Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on organic nitrogen carbon in semiarid soil. Soil Science Soc. Amer. J., 1988, 52 (4): 1114-1117
- [18] Hao MD., Fan J, Wei XR, Pen LF, Lai L. Effect of fertilization on soil fertility and wheat yield of dryland in the Loess Plateau. Pedosphere, 2005, 15 (2): 189-195
- [19] 苏秀荣,孙伟红,王真,郝艳如,张昌爱. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. 土壤学报, 2003, 40 (4): 618-622
- [20] 陈琼贤,刘国坚,段炳源,张政勤. 有机无机肥料对土壤肥力和作物产量的影响研究初报. 热带亚热带土壤科学, 1996, 5 (1): 7-13
- [21] 徐晓波,徐向东,褚秋华,邱多生. 不同投肥对作物产量及土壤肥力的影响. 土壤, 1999, 31 (4): 220-223
- [22] Govi M, Francioso O, Ciavatta C, et al. Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electro focusing. Soil Science, 1992, 154 (1): 8-13

Effects of Long-Term Fertilization on Soil Organic Matter and Total Nitrogen in Paddy Soil

LI Xin-ai^{1,2}, TONG Cheng-li¹, JIANG Ping³, WU Jin-shui¹, WANG Li-gang^{1,2}

(1 *Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China*; 2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3 *Station of Soil and Fertilizer, Department of Hunan Agriculture, Changsha 410005, China*)

Abstract: Changes in soil organic matter and total nitrogen in the 0 ~ 20 cm soil layer of paddy fields under different fertilization treatments were monitored and studied at 5 long-term field experiment sites (1986—2003). Results indicated that the treatments of chemical fertilizer plus medium- or high- rate of organic manure showed much better effect in increasing soil organic matter and total nitrogen in the soil than the treatments of chemical fertilizer or incorporation of straws into the soil did, and the effect rose with the rate of organic manure applied, suggesting the combined application of manure and chemical fertilizer is the most effective measure to increase soil organic matter and total nitrogen. Soil organic matter content in paddy soils different in fertilization pattern tends to increase or decrease and fluctuates from year to year.

Key words: Long-term field experiment, Soil organic matter, Total nitrogen