

长期施用化肥和秸秆对水稻土碳氮矿化的影响^①闫德智¹, 王德建^{2*}

(1 南通大学地理科学学院, 江苏南通 226001; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 以长期定位试验的土壤为供试材料, 通过室内培养试验, 研究了长期施用化肥和秸秆对水稻土 C、N 矿化和微生物生物量的影响。结果表明长期施用化肥和秸秆增加了土壤 C 矿化量, 但降低了可矿化 C 在土壤有机 C 中的比例。长期施用化肥能够增加土壤 N 矿化量, 而且增加了可矿化 N 在土壤全 N 中的比例, 但配施秸秆不能继续增加 N 矿化量。长期施用化肥和秸秆能够显著增加土壤微生物生物量 C、N 含量, 但微生物量在土壤中的比例变化不大。

关键词: 长期施肥; 太湖地区; 好气培养; 可溶性有机碳

中图分类号: S153.6; S154

为了增加作物产量和维持土壤肥力, 化肥和秸秆被广泛使用。我国化肥的年施用量在 2007 年已经超过 5 000 万 t^[1], 作物秸秆年产量已达 7 亿 t, 秸秆还田率在 15%~40% 之间^[2-4], 有些地区达到 80% 以上^[5]。长期施用化肥和有机肥料, 通常能够增加土壤全 N 和有机质含量, 改变颗粒态组分、轻组组分、各粒级团聚体等不同形态组分的 C、N 含量^[6-8], 影响土壤酶活性^[9-10]和土壤物理性质^[11]。C、N 矿化是对土壤化学、物理和微生物性质的综合表征, 长期施肥对土壤理化性质的改变, 必然影响到土壤 C、N 矿化。C、N 矿化能够作为良好的土壤质量指标, C 矿化指示了土壤中异养微生物的代谢活性, N 矿化经常被用来预测田间条件下可利用 N 的供应, 从而用于 N 肥的推荐用量。本文以长期定位试验的土壤为研究材料, 在室内恒温培养条件下研究不同施肥处理土壤的 C、N 矿化特征及微生物量的变化, 以期对肥料合理利用和提高土壤肥力提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自中国科学院常熟农业生态试验站长期定位试验, 该试验始于 1990 年, 轮作方式为稻麦轮作, 土壤类型为普通筒育水耕人为土(竖头乌栅土)(砂粒含量 154 g/kg 和黏粒含量 467 g/kg), 土壤基本理化性状见表 1。试验包括 4 个处理: ①CK(不施肥); ②NPK(单施 N、P、K 等化学肥料); ③NPK+OM(施 N、P、K 肥, 并配施秸秆); ④NPK+2OM(施 N、P、K 肥, 并配施双倍秸秆)。施肥量为每年施 N(以纯 N 计) 360 kg/hm²; 施 P(以 P₂O₅ 计) 150 kg/hm²; 施 K(以 K₂O 计) 240 kg/hm²; NPK+OM 处理的秸秆施用量为 4 500 kg/hm², NPK+2OM 处理的秸秆施用量为 9 000 kg/hm²。N、P、K 化肥分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。小区面积 20 m², 3 次重复, 随机区组排列。

2005 年 3 月采集 0~15 cm 土层的土样, 每小区按对角线法采集 10 点并混匀, 土样风干, 将根、石块

表 1 供试土壤的基本性状

Table 1 Basic properties of soils used for experiments

全 N	全 P	全 K	有机质	碱解 N	速效 P	速效 K	CEC	pH
(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(cmol/kg)	(H ₂ O)
2.24	0.74	18.67	40.28	160.9	8.43	122.8	21.14	7.46

①基金项目: 国家自然科学基金项目(40901140 和 40802084)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-440)和南通大学自然科学研究项目(08R20)资助。

* 通讯作者(djwang@issas.ac.cn)

作者简介: 闫德智(1978—), 男, 山东济南人, 博士, 讲师, 主要从事农田土壤碳氮循环方面的研究。E-mail: dzyan88@yahoo.cn

等挑出, 过 2 mm 筛, 用于测定 C、N 矿化量。

1.2 测定方法

1.2.1 C、N 矿化 土壤 C 矿化量采用恒温培养、碱液吸收法测定。取 50 g 风干土样 3 份, 将含水量调节为 260 g/kg, 置于 1 L 广口瓶, 然后将装有 5 ml 0.5 mol/L NaOH 溶液的特制容量瓶放入广口瓶中, 密封后在 25℃ 下恒温培养。同时做不加土壤的空白试验, 3 次重复。在培养的 3、7、14、28、42、56 天取出 NaOH 溶液, 转移到三角瓶中, 加入 3 ml 1 mol/L BaCl₂ 溶液, 再用 0.1 mol/L HCl 溶液滴定。根据 CO₂ 的释放量计算土壤 C 矿化量。

土壤 N 矿化量采用好气培养法。将土壤含水量调节为 260 g/kg, 放在三角瓶中, 设置 21 份土样, 在 25℃ 下培养。在培养的 0、3、7、14、28、42、56 天取出土样, 每次 3 份土样。加入 2 mol/L KCl 溶液, 振荡 1 h, 过滤, 用连续流动分析仪, 测定土壤的 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 含量。培养后的矿质 N 量与起始矿质 N 量之间的差值, 为土壤的 N 矿化量。定期取出的土样还用于微生物生物量 C、N 含量和可溶性有机 C 含量的测定。

1.2.2 微生物生物量 C、N 土壤微生物生物量 C、N 含量采用氯仿熏蒸-硫酸钾溶液提取法测定^[12]。熏蒸的和未熏蒸的土壤, 加入 0.5 mol/L K₂SO₄ 溶液, 振荡 0.5 h, 过滤, 测定滤液的全 N 和有机 C 含量。微生物 C 量 = 2.64 × (熏蒸土壤浸提液的有机 C - 未熏蒸土壤浸提液的有机 C); 微生物 N 量 = 1.85 × (熏蒸土壤浸提液的全 N - 未熏蒸土壤浸提液的全 N)。

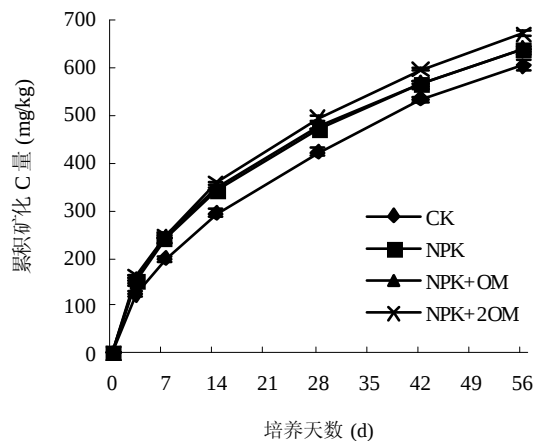
1.2.3 可溶性有机 C 采用张甲坤等^[13]的方法测定土壤可溶性有机 C。称取土壤 20 g, 置于 100 ml 离心管中, 加入 40 ml 蒸馏水, 振荡 30 min, 在 5 000 r/min 下离心 20 min, 上清液过 0.45 μm 滤膜, 滤液中的可溶性有机 C 含量直接用岛津 TOC-1020A 总有机碳仪测定。

1.2.4 C、N 含量的测定 全 N 采用半微量凯式定氮法测定; 有机 C 采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定。

2 结果分析

长期施用化肥和秸秆显著增加了土壤的 C 矿化量 (图 1)。培养 56 天后, 相对于不施肥处理 (CK), NPK、NPK+OM、NPK+2OM 处理的 C 矿化量分别增加了 5.3%、6.0% 和 11.0%。但施用化肥和秸秆降低了可矿化 C 在土壤有机 C 中的比例, 培养 56 天后 CK、NPK、NPK+OM 和 NPK+2OM 处理土壤的有机 C 矿化比例分别为 2.9%、2.8%、2.68% 和 2.67%。单施化

肥显著增加了土壤的 N 矿化量 (图 2)。在培养 56 天后, 单施化肥处理的累积矿化 N 量比不施肥处理增加了 32%, 而且单施化肥处理的累积矿化 N 量在土壤全 N 中的比例从不施肥处理的 2.7% 增加到 3.1%。在施用化肥的基础上, 配施秸秆并没有显著增加土壤 N 矿化量, 累积矿化 N 量在土壤全 N 中的比例也降低到 2.7%, 与不施肥处理相同。



(图中误差线表示平均值的标准差, 下同。)

图 1 不同施肥处理土壤的累积矿化 C 量

Fig. 1 Effects of different fertilization on cumulative mineralized C

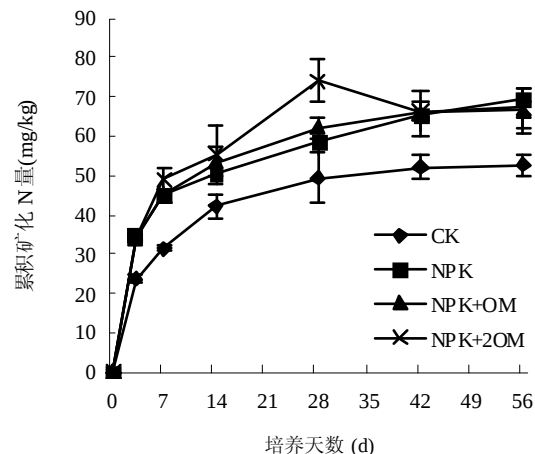


图 2 不同施肥处理土壤的累积矿化 N 量

Fig. 2 Effects of different fertilization on cumulative mineralized N

培养开始后, 微生物 C 含量在第 3 天时达到最大值, 然后逐渐下降直到第 42 天 (图 3)。微生物 N 含量在第 3 天或第 14 天时达到最大值, 然后逐渐下降直到第 42 天 (图 4)。施用化肥和秸秆显著增加了微生物生物量 C、N 含量, 通常是 CK < NPK < NPK+OM

<NPK+2OM。在培养 56 天后, NPK、NPK+OM、NPK+2OM 处理的微生物 C 含量比不施肥处理分别高 15%、24% 和 34%, 微生物 N 含量比不施肥处理分别高 16%、25% 和 27%。培养 56 天后, 微生物生物量 C、N 含量分别占到土壤有机 C 和全 N 含量的 3% 左右。

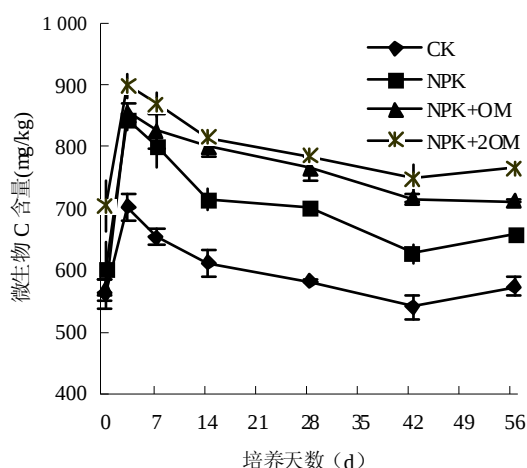


图3 不同施肥处理土壤的微生物 C 含量

Fig. 3 Effects of different fertilization on microbial biomass C in soils

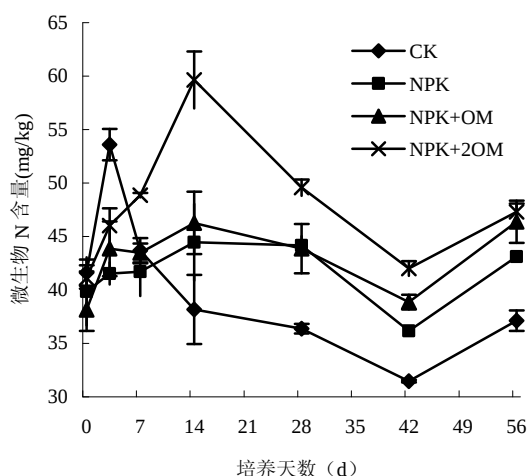


图4 不同施肥处理土壤的微生物 N 含量

Fig. 4 Effects of different fertilization on microbial biomass N in soils

由于试验使用风干土进行培养, 土壤中的可溶性有机 C 含量在培养开始时很高 (图 5), 达到 77 ~ 113 mg/kg 之间, 在培养开始后急剧下降, 在第 7 天后变化不大, 稳定在 13 ~ 33 mg/kg 之间, 不同施肥处理之间没有显著性差异。

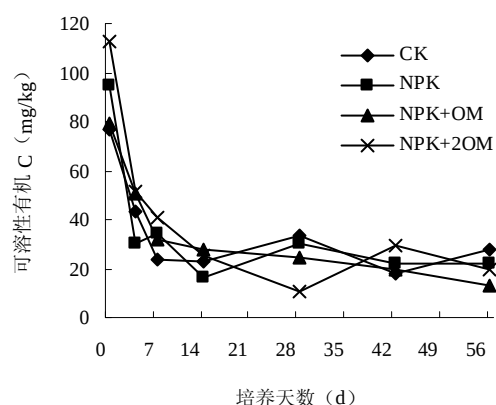


图5 不同施肥处理土壤的可溶性有机 C 含量

Fig. 5 Effects of different fertilization on dissolved organic C in soils

3 讨论

3.1 施肥的影响

化肥和秸秆的施用降低了可矿化 C 在土壤有机 C 中的比例, 这与以前的研究结果是相似的^[14-15]。这表明施用化肥和秸秆不仅能够增加土壤有机 C 量, 而且使更多的有机 C 通过化学固持、物理保护和生物化学固持作用^[16]被保护而难于分解。因此在水稻土上, 化肥和秸秆的施用, 尤其是秸秆的施用, 对增加土壤有机 C 储量、增加土壤肥力和减缓大气 CO₂ 危害是有益的。

长期施用化肥对土壤 N 矿化的影响仍不确定, 有些研究表明化肥的施用能够增加土壤 N 矿化^[17-18], 而有些研究则认为单施化肥不能增加 N 矿化量, 甚至降低土壤 N 矿化量^[19-20]。在我们的研究中, 化肥施用增加了 N 矿化量, 而且提高了可矿化 N 在土壤全 N 中的比例。这个结果可能通过下面两个途径来解释: ①新增的土壤有机 N 组分, 比土壤原有的有机 N 组分转化得更快; ②施用化肥处理的 C/N 比更低, 表明一个潜在可矿化 N 源的增加。相对于单施化肥, 化肥与秸秆配施并没有继续增加 N 矿化量, 这与它们之间相似的 C/N 比是一致的。因此化肥的施用导致了水稻土一个更大的可矿化 N 库的建立, 而继续增施秸秆却没有。

化肥和秸秆的施用显著增加了微生物量, 可能是因为化肥和秸秆的施用增加了土壤的有机质含量及其活性有机质组分的含量^[8], 而微生物的生长主要是 C 控制的^[21]。而其他研究者也报道了相似的结果^[22-25], 但也有研究者认为单施化肥通常并不增加土壤微生物量^[26-27]。微生物 N 在土壤全 N 中的比例, 并没有随施肥处理而变化。微生物 C 在土壤有机 C 中的比例, 随施肥处理而轻微变化, 从 2.8% 到 3.1%。

3.2 碳氮比

在 3 天到 56 天之间,可矿化 C 与可矿化 N 的比值随着培养时间而直线增加(图 6),从 3 天时的 4.5~5.2 增加到 56 天时的 9.2~11.5。在 56 天时,可矿化 C 与可矿化 N 的比值,已经接近土壤有机质的 C/N 比。这表明随着培养时间的增加,相对于 N 矿化,更多的 C 被矿化出来。这部分增加的 C 量可能归因于微生物 C 的释放,因为在 3 天和 56 天之间,可矿化 C 量的增加和微生物生物量 C 的降低显著相关。这也导致微生物生物量 C 和可矿化 C 的和,在 3 天至 56 天之间,随着培养时间而直线增加。在培养过程中,化肥的施用降低了可矿化 C 与可矿化 N 的比值,但是增施秸秆却没有继续降低这个比值。相对于不施肥处理,施用化肥和秸秆的土壤在培养前期增加了微生物生物量的 C/N 比,但在第 7 天后各个处理之间的微生物生物量 C/N 比相差不大(图 7)。在 56 天时,不同处理的微生物生物量 C/N 比保持在 15.3~16.2 之间。

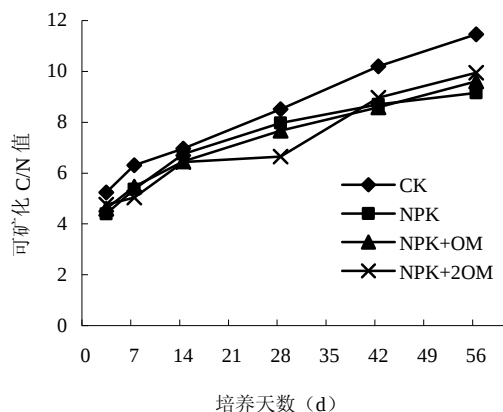


图 6 不同施肥处理土壤中可矿化 C/N 值

Fig. 6 Effects of different fertilization on ratio of C to N mineralized

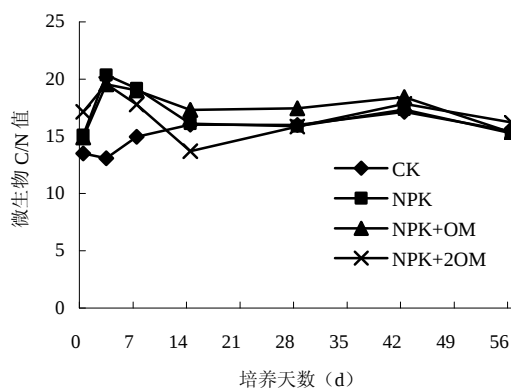


图 7 不同施肥处理土壤的微生物 C/N 值

Fig. 7 Effects of different fertilization on microbial biomass C/N

4 结论

连续施肥 15 年后,与不施肥处理相比,单施化肥显著增加了土壤 C、N 矿化量和微生物生物量 C、N 含量。化肥与秸秆配施后,土壤 C 矿化量和微生物量都显著大于单施化肥,但 N 矿化量没有继续增加。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2009
- [2] 赵其国, 钱海燕. 低碳经济与农业发展思考. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1 609-1 614
- [3] 张明怡. 秸秆还田技术对土壤环境的影响研究进展. 黑龙江农业科学, 2009(3): 135-137
- [4] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 张福锁, 王运华. 中国作物秸秆资源利用现状分析. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242-247
- [5] 芮雯奕, 周博, 张卫建. 长江三角洲水田保护性耕作制度的碳收集效应估算. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 207-212
- [6] 陈茜, 梁成华, 杜立宇, 陈新之, 王峰. 不同施肥处理对设施土壤团聚体内颗粒有机碳含量的影响. 土壤, 2009, 41(2): 258-263
- [7] 向艳文, 郑圣先, 廖育林, 鲁艳红, 谢坚, 聂军. 长期施肥对红壤水稻土水稳性团聚体有机碳、氮分布与储量的影响. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2 415-2 424
- [8] 闫德智, 王德建. 长期施用化肥和秸秆对活性有机质组分的影响. 土壤, 2008, 40(3): 407-411
- [9] 牛文静, 李恋卿, 潘根兴, 宋祥云, 李志鹏, 刘晓雨, 刘永卓. 太湖地区水稻土不同粒级团聚体中酶活性对长期施肥的响应. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2 181-2 186
- [10] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 魏朝富, 杨林章, 沈明星. 长期定位施肥对太湖地区稻麦轮作土壤酶活性的影响. 土壤, 2008, 40(5): 732-737
- [11] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 王景燕, 胡庭兴, 宫渊波. 长期施肥对华北小麦-玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究. 土壤学报, 2009, 46(3): 520-525
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 农业科技出版社, 2000: 150-152
- [13] 张甲坤, 陶澎, 曹军. 中国东部土壤水溶性有机物含量与地域分异. 土壤学报, 2001, 38(3): 308-314
- [14] Kanchikerimath M, Singh D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. Agric. Ecosyst. Environ., 2001, 86: 155-162
- [15] Sjöberg G, Bergkvist B, Berggren D, Nilsson SI. Long-term N

- addition effects on the C mineralization and DOC production in mor humus under spruce. *Soil Biol. Biochem.*, 2003, 35: 1 305–1 315
- [16] Six J, Conant RT, Paul EA, Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C- saturation of soils. *Plant Soil*, 2002, 241: 155–176
- [17] Forge TA, Simard SW. Short-term effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on nitrogen mineralization and trophic structure of the soil ecosystem in forest clearcuts in the southern interior of British Columbia. *Can. J. Soil Sci.*, 2001, 81: 11–20
- [18] Yan DZ, Wang DJ, Sun RJ, Lin JH. N mineralization as affected by long-term N fertilization and its relationship with crop N uptake. *Pedosphere*, 2006, 16: 125–130
- [19] 艾娜, 周建斌, 杨学云, 梁斌. 长期施肥及撂荒对土壤氮素矿化特征及外源硝态氮转化的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(9): 1 937–1 943
- [20] 张玉玲, 张玉龙, 虞娜, 姬景红. 长期不同施肥对水稻土有机氮素矿化特征影响的研究. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(2): 272–276
- [21] Kaye JP, Hart SC. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *Trends Ecol. Evol.*, 1997, 12: 139–143
- [22] Mendham DS, Heagney EC, Corbeels M, O'Connell AM, Grove TS, McMurtrie RE. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globules*. *Soil Biol. Biochem.*, 2004, 36: 1 067–1 074
- [23] Mueller T, Jensen LS, Nielsen NE, Magid J. Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field. *Soil Biol. Biochem.*, 1998, 30: 561–571
- [24] 李娟, 赵秉强, 李秀英, Bing SH. 长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5): 1 093–1 099
- [25] 张玉玲, 张玉龙, 虞娜, 王丽娜, 党秀丽. 长期不同施肥措施水稻土可矿化氮与微生物量氮关系的研究. *水土保持学报*, 2007, 21(4): 117–121
- [26] Biederbeck VO, Campbell CA, Ukrainetz H, Curtin D, Bouman OT. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia. *Can. J. Soil Sci.*, 1996, 76: 7–14
- [27] Bittman S, Forge TA, Kowalenko CG. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, 37: 613–623

Carbon and Nitrogen Mineralization Affected by Long-term Application of Chemical Fertilizer and Rice Straw in Paddy Soil

YAN De-zhi¹, WANG De-jian²

(1 School of Geography Science, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226001, China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on a long-term fertilization experiment in a paddy soil, this paper studied the effects of long-term application of chemical fertilizer and rice straw on carbon (C) and nitrogen (N) mineralization by incubation experiments. Results showed that long-term application of chemical fertilizer and straw increased carbon mineralization, but decreased the proportion of C mineralized to total organic C. Long-term application of chemical fertilizer increased N mineralization and the proportion of mineralizable N to total N. Compared to chemical fertilizer application alone, added application of rice straw did not increased N mineralization. Long-term application of chemical fertilizer and rice straw significantly increased microbial biomass C and N contents.

Key words: Long-term fertilization, Taihu region, Aerobic incubation, Dissolved organic carbon