

秸秆、有机肥及氮肥配合使用对水稻土微生物和有机质含量的影响

许仁良^{1,2}, 王建峰¹, 张国良², 戴其根^{1,*}

(1. 扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 扬州 225009; 2. 淮阴工学院 生命科学与化学工程学院, 淮安 223003)

摘要: 通过大田试验, 研究了秸秆还田、施用有机肥和氮肥对水稻土微生物和土壤有机质含量的影响。试验结果表明: (1) 在秸秆还田的情况下, 增施氮肥 (0—330 kg/hm² 范围内) 可促进秸秆的腐解; (2) 秸秆还田、施用有机肥和氮肥中的单一措施均能不同程度地增加水稻土壤细菌、真菌、放线菌的数量; (3) 综合运用秸秆还田、施用有机肥和氮肥措施能协同增加土壤微生物数量, 提高土壤生物量态氮和有机质含量, 以秸秆还田量为 6000 kg/hm²、施用有机肥量为 4500 kg/hm²、施用氮肥量为 240 kg/hm² 效果较佳。

关键词: 秸秆; 有机肥; 氮肥; 腐解率; 微生物; 生物量态氮; 有机质含量

Changes of microbe and organic matter content in paddy soil applied with straw, manure and nitrogen fertilizer

XU Renliang^{1,2}, WANG Jianfeng¹, ZHANG Guoliang², DAI Qigen^{1,*}

1 Key Laboratory for Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

2 College of Life Science and Chemistry Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China

Abstract: Changes of microbe and organic matter content in paddy soil applied with straw, manure and nitrogen fertilizer were analyzed. Experimental plots in the rotations had 10 treatments, i. e. with or without straw, manure, nitrogen fertilizer and a control. The amount of straw was zero or 6000 kg/hm², that of manure was zero, 1500 kg/hm², 3000 kg/hm², 4500 kg/hm², or 6000 kg/hm², that of nitrogen fertilizer was zero, 240 kg/hm², 270 kg/hm², 280 kg/hm², 285 kg/hm², 300 kg/hm², or 330 kg/hm². The results showed that with the range of nitrogen fertilizer application of 0—330 kg/hm², increasing nitrogen fertilizer could promote the decomposition of straw at the situation of straw amending into soil. Each measure of straw, manure and nitrogen fertilizer could increase the bacteria, the fungus, ray fungi quantity in soil in some degree. The synthesis applying with straw, manure and nitrogen fertilizer could coordinate increase microbe quantity in soil, enhance the soil biomass nitrogen and organic matter content, and when the quantity of straw was 6000 kg/hm², the quantity of manure was 4500 kg/hm², the quantity of nitrogen fertilizer was 240 kg/hm², the effects were better. It indicated that a good amount of manure and nitrogen fertilizer could increase soil microbial numbers and organic matter content in straw amended agro-ecosystem, which was very important in improving soil fertilization.

Key Words: straw; manure; nitrogen fertilizer; decomposition speed; microbe; microbial biomass nitrogen; organic matter content

农作物秸秆是农业的副产物, 近年来, 每到夏秋农作物抢收抢种之际, 农民往往图方便省工省事, 常常将

基金项目: 国家科技支撑计划重大资助项目 (2006BAD02A03); 江苏省高校科研成果产业化推进资助项目 (JHZD08-42); 淮安市农业科技支撑计划资助项目 (SN0773); 淮安市产学研合作促进计划资助项目 (HAC0823)

收稿日期: 2009-12-16; 修订日期: 2010-04-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qgdai@yzu.edu.cn

秸秆付之一炬。秸秆露天焚烧是农业污染的大户,由于秸秆在露天环境下多为不完全燃烧,产生大量危害人体呼吸道的污染物。焚烧引发的浓重烟雾,对空气环境造成恶劣影响,也容易造成电线、电缆、通讯线路等公共设施损坏,引发火灾,导致人畜伤亡和财产损失,甚至导致能见度下降,屡屡延误航班正常起飞、妨碍高速公路正常运行。因此,应当合理处理和利用秸秆,减轻焚烧引起的大气污染等问题。

秸秆含有丰富的碳、氮、磷、钾等营养元素,是物质、能量和养分的载体,是宝贵的自然资源^[1]。秸秆可以直接还田,是农作物秸秆最经济可行、最易于推广操作的综合利用方式,有利于农业可持续发展。有关秸秆还田在培肥土壤和提高土壤质量方面以及提高水稻产量方面的研究国内外已有大量的报道^[1-5]。在化肥用量不断提高而报酬递减,土壤质量日惭退化的状况下,土壤有机肥愈来愈受到土壤工作者和广大农业经营者的重视。大量的研究证明,有机肥在培肥土壤,特别是在改善土壤结构,调节土壤水、肥、气、热和生物活性以及稳定、持续地供给作物养分方面具有化肥不可替代的作用^[6]。土壤微生物是土壤中物质分解、转化和养分循环的主动动力,微生物生物量是作物有效养分的源和库^[7]。而以往的研究大多局限于秸秆还田的微生物效应、仅施用有机肥或者氮肥的微生物效应,对综合研究秸秆还田、配合施用有机肥和氮肥的土壤微生物效应鲜见报道。因此,阐明秸秆还田、配合施用有机肥和氮肥对水稻土的微生物效应及对土壤养分含量的影响,提出秸秆还田条件下适宜的有机肥和氮肥施用量,对于培肥地力、提高水稻产量具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试品种

试验于 2007 年、2008 年在江苏省姜堰市双徐农场进行,前茬为小麦,土质为中粘壤土,地力中等,土壤有机质含量为 22.07 g/kg,全氮 1.24 g/kg,碱解氮 105.31 mg/kg,速效磷 17.7 mg/kg,速效钾 124 mg/kg,pH 值为 8.06。供试品种为武粳 15。

1.2 试验设计

试验设秸秆还田、有机肥和氮肥 3 因素,共有 10 个处理(表 1)。每个处理 3 次重复,随机区组排列,小区面积 40 m²,小区间土埂塑膜包裹,单灌单排。其中秸秆还田量为 6000 kg/hm²(依当地小麦产量 6000 kg/hm²,并考虑根茎残茬而折算)。秸秆为麦秸,经切碎耕埋,耕深 7cm。氮肥为尿素,施用量按水稻高产需求设计,其运筹为:基肥与追肥比为 6:4,基肥与追肥比为 7:3。基肥在耕翻施用,追肥在移栽后 5d 施用,穗肥在倒 4、倒 3 叶各施一半。有机肥(总养分≥6%,有机质≥30%)全部基施。水稻于 5 月 5 日播种,6 月 16 日移栽,7 叶期移栽,带穗 3 个,栽插行株距 30 cm×13.33 cm。其它管理措施按高产进行。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatment	秸秆还田量 Staw /(kg/hm ²)	有机肥 Manure /(kg/hm ²)	氮肥 Nitrogen fertilizer /(kg/hm ²)	折施纯氮 Purity nitrogen /(kg/hm ²)
空白(CK1) Control	0	0	0	0
秸秆(CK2) Staw	6000	0	0	42
有机肥(CK3) Manure	0	3000	0	60
氮肥(A1) Nitrogen fertilizer	0	0	285	285
氮肥+秸秆(A2) Nitrogen fertilizer + Staw	6000	0	240	282
氮肥+秸秆(A3) Nitrogen fertilizer + Staw	6000	0	285	327
氮肥+秸秆(A4) Nitrogen fertilizer + Staw	6000	0	330	372
氮肥+有机肥+秸秆(B1) Nitrogen fertilizer + Manure + Staw	6000	1500	300	372
氮肥+有机肥+秸秆(B2) Nitrogen fertilizer + Manure + Staw	6000	3000	270	372
氮肥+有机肥+秸秆(B3) Nitrogen fertilizer + Manure + Staw	6000	4500	240	372

1.3 测定项目

1.3.1 秸秆腐解过程

采用尼龙网袋法^[7]测定,尼龙网袋规格为长×宽=10 cm×5 cm,孔径为1 mm,供试秸秆风干后,剪切至5 cm左右放入尼龙网袋中,每袋装稻草5 g(干重),在秸秆还田当天(6月15日)将装秸秆的网袋埋进土壤,深度为土壤能完全包裹住网袋。设置3个处理,分为无肥区(CK2)、低氮肥区(A2)和高氮肥区(A4),每个处理3次重复,随机区组设计。每隔10d取1次样,连续取样13次,至10月15日取样结束,每次取出麦秸洗净烘干称重。

1.3.2 土壤微生物及有机质含量的测定

参照姚槐应^[8]的方法测定水稻成熟期根际和非根际土壤的微生物(包括细菌、真菌、放线菌)的数量和生物量态氮,取土样时将水稻植株连根一起挖出,轻轻抖动,收集附着在根上的土样为根际土样,其余为非根际土样。微生物采用稀释平板法计数,细菌采用牛肉蛋白胨培养基;放线菌采用高氏1号培养基;真菌采用马丁氏培养基。土壤中的生物量态氮采用改进的氯仿熏蒸法测定。在水稻分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期测定土壤有机质含量,用重铬酸钾容量-外加热法进行测定。

2 结果与分析

2.1 秸秆腐解的效率

由图1可知,秸秆还田120 d后,大部分秸秆均已腐解,分解率达68.40%—75.80%。在秸秆还田后0—60 d腐解较快,分解了59.32%—71.08%,秸秆分解率表现为氮肥区(A2和A4)大于空白无肥区(CK2)。秸秆还田后10、20、30、40、50、60 d,低氮肥区(A2)秸秆分解率比空白无肥区(CK2)分别高4.36%、6.56%、8.14%、14.96%、8.84%、8.32%、1.08%,高氮肥区(A4)比CK2分别高2.44%、10.80%、8.24%、11.56%、9.12%、18.02%、11.76%。在秸秆还田后60—120 d腐解相对缓慢,这一阶段仅在原有基础上分解了4.72%—9.08%,秸秆分解率表现为A4 > A2 > CK2。以上说明,秸秆大部分在还田后0—60 d分解,施无机氮肥有利于秸秆的分解,并且表现出氮肥用量增加,麦秸分解效果更明显。

2.2 对土壤细菌的影响

土壤微生物在土壤中参与有机质和各种养分的分解与转化,与土壤质量或肥力高低密切相关。土壤细菌是土壤微生物的主要组成部分,水稻一个生长季后(图2),根际和非根际土壤细菌数量受秸秆还田、有机肥和氮肥的显著影响;无论施用有机肥、氮肥还是秸秆还田与否,根际细菌数量显著多于非根际土壤($P < 0.05$)。与空白区相比(CK1),秸秆还田处理(CK2)、有机肥处理(CK3)和施用氮肥(A1)处理的根际和非根际土壤细菌的数量均显著增加($P < 0.05$),增幅为CK3 > CK2 > A1,说明施用有机肥比秸秆还田和施用氮肥更有利于细菌的增殖。从处理A2、A3、A4可以看出,在秸秆还田的情况下,随着施氮量的增加,土壤细菌的数量先表现为增加,当施氮量达330 kg/hm²时细菌数量有所回落。总施氮量(包括秸秆、有机肥和氮肥三者的施氮量)为372 kg/hm²条件下(B1、B2、B3),秸秆还田量不变,随着有机肥施用量的增加和施氮量的下降,非根际细菌数量表现为下降,根际细菌数量先下降后显著上升。

2.3 对土壤真菌的影响

土壤中真菌的数量不及细菌多,但真菌的生物量较大,在土壤中的作用不容忽视。由图3可知,除了施用有机肥(CK3)处理根际土壤的真菌数量比对照(CK1)略有下降以外,秸秆还田(CK2)、施用有机肥(CK3)和

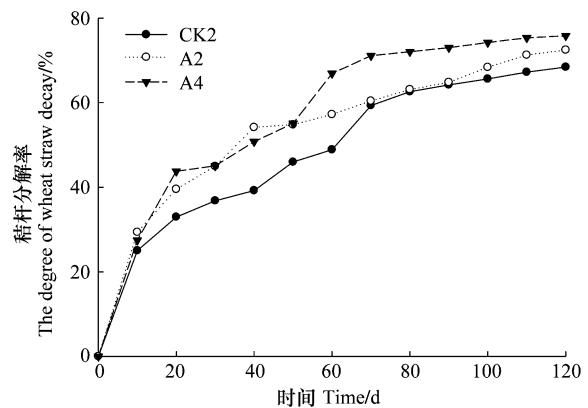


图1 秸秆分解曲线

Fig. 1 The curve of straw dissociation

氮肥(A1)均能显著增加非根际真菌数量($P < 0.05$),并表现为秸秆还田的效应 > 氮肥 > 有机肥。从处理 A1、A2、A3、A4 可以看出,秸秆还田 + 氮肥处理比单纯的氮肥处理土壤的真菌数量要多($P < 0.05$);在秸秆还田的情况下,根际土壤真菌的数量随施氮量的增加而下降。总施氮量(包括秸秆、有机肥和氮肥三者的施氮量)为 372 kg/hm^2 条件下(B1、B2、B3),秸秆还田量不变,随着有机肥施用量的增加和施氮量的下降,非根际土壤的真菌数量先显著下降后显著上升($P < 0.05$),根际土壤的真菌数量显著增加($P < 0.05$)。

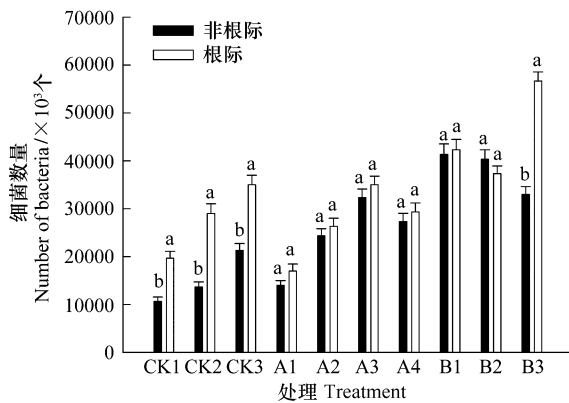


图2 水稻成熟期各处理土壤细菌数量

Fig. 2 Number of bacteria in rhizosphere and non rhizosphere paddy soil

* 同列不同小写字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)

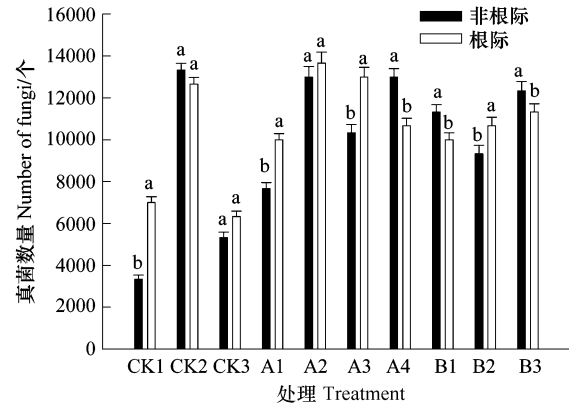


图3 水稻成熟期各处理土壤真菌数量

Fig. 3 Number of fungus in rhizosphere and non rhizosphere paddy soil

* 同列不同小写字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)

2.4 对土壤放线菌的影响

一般来说,土壤放线菌数量介于细菌和真菌之间。由图4可知,秸秆还田(CK2)、施用有机肥(CK3)和氮肥(A1)均能显著增加非根际放线菌数量($P < 0.05$),施用有机肥的效应 > 氮肥 > 秸秆还田;对于根际放线菌数量,除了施用有机肥(CK3)土壤的放线菌数量比对照(CK1)显著增加以外($P < 0.05$),秸秆还田(CK2)、施用氮肥(A1)均比对照的放线菌数量略有下降。从处理 A1、A2、A3、A4 可以看出,在秸秆还田的情况下,非根际土壤放线菌的数量随着施氮量的增加而增加,根际土壤的放线菌数量无明显规律性。总施氮量(包括秸秆、有机肥和氮肥三者的施氮量)为 372 kg/hm^2 条件下(B1、B2、B3),非根际土壤放线菌数量显著多于根际放线菌数量($P < 0.05$);秸秆还田量不变,随着有机肥施用量的增加和施氮量的下降,非根际和根际土壤的放线菌数量均呈先上升后下降的现象。

2.5 对生物量氮的影响

从图5可知,除了B1以外,其他处理根际土壤的生物量氮均显著高于非根际生物量氮。除了秸秆还田处理(CK2)非根际土壤的生物量态氮比空白(CK1)减少5.8%以外,其他施用有机肥、氮肥、秸秆还田 + 氮肥、以及秸秆还田 + 氮肥 + 有机肥的处理,非根际和根际土壤的生物量态氮均比CK1显著增加($P < 0.05$)。从处理 A1、A2、A3、A4 可以看出,在秸秆还田的情况下,随着施氮量的增加,非根际土壤生物量态氮先增加后下降,根际土壤生物量态显著增加($P < 0.05$)。总施氮量(包括秸秆、有机肥和氮肥三者的施氮量)为 372

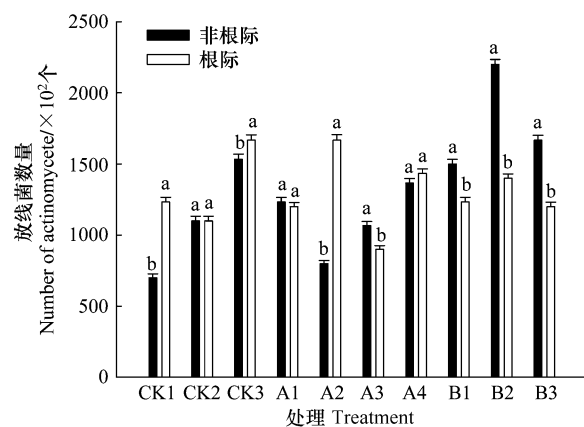


图4 水稻成熟期各处理土壤放线菌数量

Fig. 4 Number of actinomycete in rhizosphere and non rhizosphere paddy soil

* 同列不同小写字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)

kg/hm²条件下 (B1、B2、B3), 秸秆还田量不变, 随着有机肥施用量的增加和施氮量的下降, 非根际土壤生物量态氮下降, 根际土壤生物量态氮显著增加 ($P < 0.05$)。

2.6 对土壤有机质含量的影响

由表 2 可知, 秸秆还田、施用有机肥可显著增加土壤有机质含量, 单施氮肥 (A1) 的土壤有机质含量一直处于下降的状态。在秸秆还田的所有处理中, 分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期土壤有机质含量均表现出: 秸秆、有机肥、氮肥配施 > 秸秆和氮肥配施 > 单施秸秆, 说明秸秆、有机肥、氮肥配施, 以及秸秆和氮肥配施均有协同提高土壤有机质含量的作用。经过一个水稻生长周期后, 秸秆、有机肥、氮肥单一处理的水稻成熟期的土壤有机质含量均明显低于分蘖期的土壤有机质含量; 而秸秆、有机肥、氮肥配合施用的处理, 其成熟期土壤有机质含量比分蘖期有的明显上升, 有的含量相似, 有的有所下降。说明秸秆还田配合施用氮肥、有机肥除了能提供一季水稻生长所吸收的土壤养分以外, 其土壤有机质含量下降幅度还能有所减缓, 甚至有所增加。

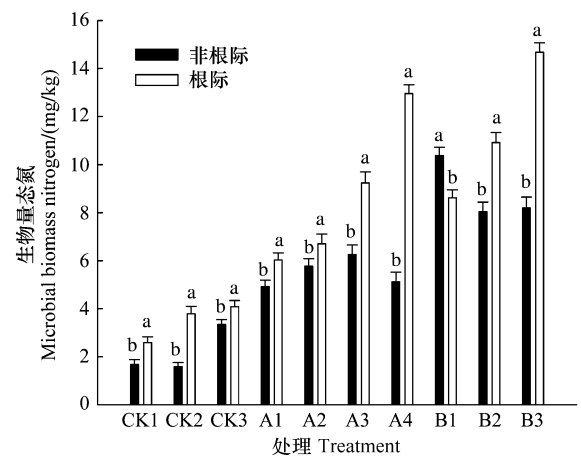


图 5 成熟期各处理土壤生物量态氮

Fig. 5 Biomass N of rhizosphere and non rhizosphere paddy soil

* 同列不同小写字母表示数值间差异显著 ($P < 0.05$)

表 2 土壤有机质含量/(g/kg)

Table 2 Contents of soil organic matter

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage	拔节期 Jointing mature	孕穗期 Booting mature	灌浆期 Filling mature	成熟期 Mature mature
CK1	29.19 g	24.05 g	22.15 d	20.15 h	17.47 h
CK2	70.60 f	80.14 e	128.86 a	85.46 f	63.35 f
CK3	95.25 a	71.51 f	124.53 ab	110.39 b	83.53 c
A1	28.37 g	26.04 g	25.39 d	25.26 h	22.40 g
A2	70.65 f	85.61 de	111.57 b	81.34 g	77.98 d
A3	75.72 e	95.94 c	110.38 b	78.73 g	75.46 d
A4	79.75 d	108.00 a	109.39 b	95.26 e	94.30 b
B1	92.56 b	94.55 c	99.27 c	99.68 d	71.45 e
B2	89.75 c	99.08 b	125.94 ab	105.78 c	100.78 a
B3	78.11 de	88.19 d	103.60 c	120.41 a	62.86 f

3 讨论

秸秆还田后, 由于土壤微生物在分解秸秆过程中, 需要同化土壤碳素和吸收速效氮素, 以合成新的细胞体^[9-10], 因而在施氮肥 0—330 kg/hm² 范围内, 秸秆还田后, 随着施氮量的增加, 提供给微生物的氮素增多, 促进了微生物的繁殖, 加快了秸秆腐解。

在土壤微生物中, 细菌占总量的 70%—90%, 他们个体小、代谢强、繁殖快、与土壤接触表面积大, 是土壤中最活跃的因素。而真菌是异养型微生物, 其生长离不开有机养料, 有机肥料富含有机质, 非常适合真菌的繁殖。放线菌主要参与后期有机物质的分解, 对木质素的分解起着非常重要的作用^[11]。Ndayeyamiye 和 Cote^[12] 的研究结果表明, 施用有机肥或有机-无机肥可提高土壤细菌、真菌和放线菌数量。Nanda 和 Das 等^[13] 的研究表明, 施用有机-无机肥增加了细菌数量, 减少了真菌数量。本研究中, 秸秆还田、施用有机肥和氮肥中的单一措施均能显著增加根际和非根际土壤的细菌和真菌数量, 对于细菌, 施用有机肥的效应 > 秸秆还田 > 氮肥; 对于真菌, 秸秆还田的效应 > 有机肥 > 氮肥。对于放线菌, 秸秆还田、施用有机肥和氮肥均能显著增加非根际土壤的放线菌数量, 并表现出施用有机肥的效应 > 氮肥 > 秸秆还田; 对于根际土壤的放线菌, 除了施用

有机肥土壤的放线菌数量比对照显著增加以外, 秸秆还田、施用氮肥均比对照的放线菌数量略有下降, 但差异不显著。

秸秆还田配合氮肥处理的非根际和根际土壤的细菌和真菌数量显著多于单施氮肥的处理, 其中以配合施氮肥 285 kg/hm^2 处理的非根际和根际土壤的细菌、真菌、放线菌的总数最多; 在秸秆还田、总施氮量为 372 kg/hm^2 情况下, 配合施用有机肥和氮肥的处理, 其非根际和根际土壤的细菌、真菌、放线菌的总数显著多于仅配施氮肥的处理 ($P < 0.05$), 说明秸秆还田、施用有机肥和氮肥能协同增加土壤微生物数量, 其中又以处理 B3 的配置较佳, 水稻产量也较高。

土壤微生物量氮是土壤微生物躯体中所固定的氮素, 其含量的多少决定于土壤中微生物的数量, 是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映。肥料施入土壤后, 有一部分氮素被土壤微生物固持在体内^[14]。有机物料施入土壤后, 会经历分解强度较大的阶段和缓慢分解阶段^[11]。本研究中, 施用有机肥、氮肥、秸秆还田 + 氮肥、以及秸秆还田 + 氮肥 + 有机肥的处理, 生物量态氮均比 CK1 显著增加 ($P < 0.05$)。这可能是秸秆还田为微生物生长和繁殖提供了大量的碳源和能源, 同时施用的氮肥又为微生物的生长提供了较多的氮源, 刺激了微生物的生长, 而生长迅速的微生物能固定更多的无机态氮的缘故。总体而言, 本试验中根际土壤的微生物的数量高于非根际土壤微生物, 因此其固定的生物量态氮相应的也较多, 所以根际土壤的生物量态氮显著高于非根际土壤。

土壤有机质不仅是一种稳定而长效的碳源物质, 也是衡量土壤肥力的一个重要指标。秸秆还田能够明显改善土壤的有机质状况, 促进土壤中活性有机质含量和土壤的碳库管理指数的提高, 增加土壤肥力, 有利于土壤的可持续利用^[15]。本研究中发现, 秸秆还田配合施用氮肥和有机肥, 比单纯秸秆还田更能提高土壤有机质含量。

因此, 结合秸秆还田建立科学的有机无机相结合的施肥制度, 不仅可以调节水稻土壤微生物数量和活性, 保持和改善土壤的生物学特性, 从而提高土壤的生物肥力, 同时也可以提高土壤有机质含量, 保持和提高农田的生产力, 增加水稻产量, 避免了焚烧秸秆对环境的污染。

References:

- [1] Lao X R, Sun H W, Wang Z, Hao Y R, Zhang C A. Effect of matching use of starw and chemical fertilizer on soil fertility. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618-623.
- [2] Li X Y, Zhao B Q, Li X H, Li Y T, Sun R L, Zhu L S, Xu J, Wang L X, Li X P, Zhang F D. Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(8): 1591-1599.
- [3] Ma Z G, Lu X K, Wan L, Chen Z G, Zuo H. Effects of wheat straw returning on rice growth and soil nutrients. *Crops*, 2003 (5): 37-38.
- [4] Ye W P, Xie X L, Wang K R, Li Z G. Effects of rice straw manuring in different periods on growth and yield of rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2008, 22 (2): 65-70.
- [5] Liu S P, Chen H Q, Nie X T, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Zhang H C. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat-rice double cropping system. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24 (5): 51-56.
- [6] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, Tang C X. Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4): 374-378.
- [7] Ocio J A, Brookes P C, Jenkinson D S. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23: 171-176.
- [8] Yao H Y, Huang C Y. *Edaphon ecology and experiment technology*. Beijing: Science Press, 2006.
- [9] Jiang Y H, Song Z R, Ma Y L. The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32 (5): 209-213.
- [10] Witt C, Cassman K G, Olk D C, Biker U, Liboon S P, Samson M I, Ottow J C G. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems. *Plant Soil*, 2000, 225(1/2): 263-278.
- [11] Han X R, Zheng G D, Liu X Y, Sun Z T, Yang J F, Zhan X M. Dynamics, sources and supply charecteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(8): 1591-1599.

- [12] Ndayeyamiye A, Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, 69 (1): 39-47.
- [13] Nanda S K, Das P K, Behera B. Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification and CO₂ evolution in a rice soil. *Oryza*, 1998, 25(4): 413-416.
- [14] Wang S P, Zhou G S, Sun C Z, Jiang Y M, Jiang Y, Liu X Y. The dynamics of soil microbial biomass nitrogen and its biological availability. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(1): 87-91.
- [15] Zhang Y C, Wang J D, Nie G S, Ding H P, Sun L, Xu X J, Wang Z M. Effect of mechanized straw application on crop yields and soil labile carbon content. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 24(6): 833-838.

参考文献:

- [1] 劳秀荣,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): 618-623.
- [2] 李秀英,赵秉强,李絮花,李燕婷,孙瑞莲,朱鲁生,徐晶,王丽霞,李小平,张夫道. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系. *中国农业科学*, 2005, 38(8): 1591-1599.
- [3] 马宗国,卢绪奎,万丽,陈祖光,左辉. 小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响. *作物杂志*, 2003 (5): 37-38.
- [4] 叶文培,谢小立,王凯荣,李志国. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响. *中国水稻科学*, 2008, 22 (2): 65-70.
- [5] 刘世平,陈后庆,聂新涛,戴其根,霍中洋,许轲,张洪程. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价. *农业工程学报*, 2008, 24 (5): 51-56.
- [6] 倪进治,徐建民,谢正苗,唐才贤. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4): 374-378.
- [8] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术. 北京:科学出版社, 2006.
- [9] 江永红,宋振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响. *土壤通报*, 2001, 32(5): 209-213.
- [11] 韩晓日,郑国砥,刘晓燕,孙振涛,杨劲峰,战秀梅. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征. *中国农业科学*, 2005, 38(8): 1591-1599.
- [14] 王淑平,周广胜,孙长占,姜亦梅,姜岩,刘孝义. 土壤微生物量氮的动态及其生物有效性研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 87-91.
- [15] 张永春,汪吉东,聂国书,丁汉平,孙丽,许仙菊,王志明. 不同量秸秆机械化还田对稻麦产量及土壤碳活性的影响. *江苏农业学报*, 2008, 24(6): 833-838.