

DOI: 10.5846/stxb201711272117

石思博,王旭东,叶正钱,陈绩,龚臣,李婷,任泽涛.菌渣化肥配施对稻田土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮的影响.生态学报,2018,38(23): - .
Shi S B, Wang X D, Ye Z Q, Chen J, Gong C, Li T, Ren Z T. Effects of the combination of fungal residue and chemical fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen and dissolved organic carbon and nitrogen in paddy soil. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): - .

菌渣化肥配施对稻田土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮的影响

石思博,王旭东*,叶正钱,陈绩,龚臣,李婷,任泽涛

浙江农林大学环境与资源学院/浙江省污染土壤修复重点实验室,杭州 311300

摘要:菌渣作为一种养分丰富的有机物料还田,可减少化肥施用,同时保持土壤肥力;而土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮是土壤活性碳氮库的重要组成部分,其含量和比例变化对土壤肥力均具有重要作用。因此,探讨不同比例菌渣化肥配施对土壤微生物量碳、氮及可溶性碳、氮的影响,评价菌渣在优化土壤肥力方面的生态作用具有重要意义。本研究在水稻田间定位试验条件下,设置3个化肥水平(C)0%、50%、100%,菌渣相对用量(F)0%、50%、100%,共9个处理,分析了各处理土壤微生物量碳(MBC)、氮(MBN)和可溶性碳(DOC)、氮(DON)的变化特征,及其占土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)的比例与相关关系。结果表明:菌渣化肥配施后,微生物量碳和可溶性碳、氮均在 $C_{100}F_{50}$ 最高,微生物量氮在 $C_{50}F_{100}$ 最高,与不施肥处理相比,分别显著增加了49.40%、43.65%、83.52%、207.19%;MBC/SOC和DOC/SOC均随着菌渣化肥配施量的增加而减少,MBN/TN和DON/TN均在 $C_{100}F_{50}$ 最高。相关分析表明,MBC、DOC与SOC,MBN与TN均呈极显著正相关,DON和TN呈显著正相关。总体来讲,菌渣化肥配施能够显著提高土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮含量,但不是随着用量的增加一直呈增加趋势,高量菌渣或者化肥下会有降低趋势;菌渣化肥配施降低了土壤微生物量和可溶性碳氮比,因此适宜的菌渣化肥配施是提高土壤有机碳周转速度、微生物活性及其氮素供应能力和有效性的最佳选择。

关键词:菌渣化肥配施;微生物量碳;微生物量氮;可溶性碳;可溶性氮

Effects of the combination of fungal residue and chemical fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen and dissolved organic carbon and nitrogen in paddy soil

SHI Sibao, WANG Xudong*, YE Zhengqian, CHEN Ji, GONG Chen, LI Ting, REN Zetao

College of Environmental and Resource Science, Zhejiang Agricultural and Forestry University/Zhejiang Provincial Key Laboratory of contaminated soil remediation, Hangzhou 311300, China

Abstract: As an excellent organic material additive to soil, fungal residue can reduce the application of chemical fertilizer and also plays an important role in maintaining soil fertility. As the most active organic components, soil microbial biomass carbon (MBC) and nitrogen (MBN) and dissolved organic carbon (DOC) and nitrogen (DON) are usually regarded as important and sensitive indices for soil fertility change. Therefore, it is vital to evaluate the ecological and soil fertility significance of fungal residue application under different rates return to the paddy soil. In our study, a randomized complete block field experiment with nine treatments (0%, 50%, and 100% levels of chemical fertilizers (C) and edible fungal residue (F) were considered, $C_{100}F_{50}$ stands for 100% of chemical fertilizer and 50% of fungal residue application, etc.) was set up. The changes of MBC, MBN, DOC, and DON, and ratios of these parameters to soil organic carbon (SOC) and

基金项目:

收稿日期:2017-11-27; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxd@zafu.edu.cn

total nitrogen (TN) were analyzed. Results showed that the highest contents of MBC, DOC and DON were observed under treatment of C₁₀₀F₅₀, which were 49.40%, 43.65% and 83.52% higher than that under the treatment of control. Meanwhile highest MBN content was found under treatment of C₅₀F₁₀₀ which was 207.19% higher than that under the treatment of control. Both ratios of MBC and DOC to SOC were decreased with increased application rate of fungal residue and chemical fertilizer; the highest ratios of MBN and DON to TN were observed in C₁₀₀F₅₀. There were highly significant positive correlations between MBC, DOC and SOC, respectively, and between MBN and TN as well. The correlation between DON and TN was significantly positive too. In conclusion, application of fungal residue with chemical fertilizer in paddy soil could increase the contents of MBC, MBN, DOC, and DON, but over dosage of fungal residue or chemical fertilizer application could lead to a negative effect. Consequently, the appropriate application rate of chemical fertilizer combined with fungal residue was the optimum choice to improve the SOC turnover rate, microbial activity, and nitrogen supply capacity and efficiency in paddy soil.

Key Words: combined application of fungal residue and chemical fertilizer; microbial biomass carbon; microbial biomass nitrogen; dissolved organic carbon; dissolved organic nitrogen

稻田土壤在亚热带农业生态系统中占居主要地位,较其他土地利用方式能储存更多的有机碳氮^[1]。碳、氮是土壤中重要的两大要素,反映着土壤的质量状况和肥力水平。其中土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮是土壤碳氮库中最活跃的组分,反映土壤受干扰的程度^[2],在农业生态系统中其数量及变化受施肥、耕作、土地利用方式等多种措施的影响^[3-4],尤其是外源有机物料的添加及化肥的施用^[5]。而菌渣作为一种有机物料,含有大量的主菌丝残体、纤维素、半纤维素和木质素以及丰富的氨基酸、多糖等营养元素^[6],目前却因营养价值认识不足和开发技术滞后往往被随地丢弃或燃烧,导致目前菌渣利用率仅为 33%^[7]。不仅造成了资源的极大浪费,而且还会增加空气中霉菌孢子和害虫的数量,污染生态环境。因而研究菌渣还田对稻田土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮的影响,不仅可以促进农业废弃物高效生态资源化利用,而且还能改善土壤质量,增加土壤养分,具有重要的理论和实践意义。

已有研究表明,菌渣化肥配施不仅可以缓解土壤酸化,增加土壤有机碳和有机氮的含量,而且还能增加土壤团聚体数目和提高土壤速效养分^[8]。温广婵等研究发现,配施菌渣有利于土壤有机质的积累,提高土壤有效磷和速效钾的供给^[9],对水稻生育期内土壤养分和水稻生长具有促进作用^[10]。张泽等人对菌渣添加后土壤质量改善的效果和机制进行研究发现,菌渣还田能够增加土壤中微生物群落的规模,从根本上有利于土壤质量的改善,同时还增强了土壤潜在的抑病能力^[11]。此外,黄春等人对菌渣还田后土壤酶活性的变化进行研究,发现菌渣还田对土壤脲酶、过氧化氢酶、转化酶、磷酸酶活性以及作物产量都有显著的影响^[12]。

综上所述,以往对菌渣还田的研究多集中在土壤的碳氮含量以及提升土壤肥力方面,菌渣还田后在土壤中的转化是有微生物主导的,然而,菌渣还田后土壤有机碳的周转速度和微生物活性,以及土壤氮素的可利用性和有效性目前还不清楚。因此,本研究采用大田实验的方法,以桑枝屑袋料种植黑木耳后的菌渣为研究对象,设置不同菌渣与化肥配施比例处理,研究菌渣化肥配施对土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮的影响,及其占土壤有机碳、全氮的比例与相关关系,以期为评价菌渣对稻田土壤质量的影响和合理利用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地点和处理

本试验于 2016 年 6—12 月在浙江省嘉兴市秀洲区王店镇五浪园定位大田进行(30°37'—30°40'N,120°39'—120°44'E)。该地属于东亚季风区,冬夏季风交替显著,四季分明,气候温和,年平均降水量 1168.6 mm,年平均日照 2017.0 h,常年平均气温 15.9°C。供试土壤在定位试验前(2010 年)的基本理化性质为:pH 6.80,

有机质 25.16 g/kg, 碱解氮 94.29 mg/kg, 有效磷 37.01 mg/kg, 速效钾 127.22 mg/kg。选择收获黑木耳后废弃的桑枝屑菌渣发酵后的产物作为供试菌渣。主要成分为: 有机碳含量 451.8 g/kg, 全氮含量 11.4 g/kg, 全磷含量 1.0 g/kg, 全钾含量 6.0 g/kg, C/N 为 39.6。供试水稻品种为甬优 1540。2016 年 6 月 5 日播种育苗, 7 月 3 日插秧移栽秧苗, 2016 年 12 月 07 日收获。

本试验设置 3 个化肥施用水平, 3 个菌渣还田水平共 9 个处理。试验设 3 次重复, 随机区组设计, 共有 27 个小区, 每个小区面积为 20 m²。施用菌渣的量分别为 0、10、20 t/hm², 分别记为 0% (对照), 50%, 100%; 化肥用量分别为当地常规施肥量的 0%, 50%, 100%。各处理具体见表 1。轮作制度为单季稻-休闲方式。水稻移栽前按照比例将处理后的菌渣和化肥 (基肥) 结合翻耕施入土壤中。常规化肥 100% 量施用量具体如下: 基肥施碳酸氢铵 (含氮量 17%) 20 kg/666.7m²; 分蘖初期 (7 月 23 日) 追施尿素 (含氮量 46%) 10 kg/666.7m²; 分蘖盛期 (8 月 4 日) 追施控释复合肥 (N:P:K=22:11:13) 15 kg/666.7m², 50% 化肥处理则减半进行。其他田间管理按照常规栽培技术要求进行。试验前后土壤基本理化性质见表 2 和表 3。

表 1 试验处理

Table 1 Experimental treatments

处理代号 Treatment code	C ₀ F ₀	C ₀ F ₅₀	C ₀ F ₁₀₀	C ₅₀ F ₀	C ₅₀ F ₅₀	C ₅₀ F ₁₀₀	C ₁₀₀ F ₀	C ₁₀₀ F ₅₀	C ₁₀₀ F ₁₀₀
菌渣用量/% Application rate of fungal residue	0	50	100	0	50	100	0	50	100
化肥用量/% Chemical fertilizer	0	0	0	50	50	50	100	100	100

表 2 试验前土壤基本理化性质

Table 2 Basic physicochemical properties of soil before experiment

处理 Treatment	pH	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total nitrogen	碱解氮/(mg/kg) Hydrolyzable N	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K
C ₀ F ₀	6.49d	22.41f	0.89d	83.87g	17.60f	102.33g
C ₀ F ₅₀	6.91ab	26.81d	1.01bc	86.45f	36.45c	108.67e
C ₀ F ₁₀₀	7.05a	28.41c	1.09b	95.20d	42.40b	113.67d
C ₅₀ F ₀	6.50d	24.11e	0.96cd	84.35g	23.50e	105.67f
C ₅₀ F ₅₀	6.83abc	26.90d	1.09b	102.90b	36.60c	123.33bc
C ₅₀ F ₁₀₀	7.00a	29.17b	1.27a	113.05a	27.80d	128.00a
C ₁₀₀ F ₀	6.66cd	24.58e	1.10b	91.67e	37.80c	112.33d
C ₁₀₀ F ₅₀	6.77bc	29.44b	1.22a	94.15d	46.50b	122.67c
C ₁₀₀ F ₁₀₀	6.97ab	32.68a	1.30a	99.30c	64.40a	125.33b

不同小写字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平差异显著

表 3 试验后土壤基本理化性质

Table 3 Basic physicochemical properties of soil after experiment

处理 Treatment	pH	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total nitrogen	碱解氮/(mg/kg) Hydrolyzable N	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K
C ₀ F ₀	6.47bc	17.63f	0.92c	53.04c	12.06f	65.67d
C ₀ F ₅₀	6.72ab	21.91d	1.42bc	101.01ab	22.11d	72.33c
C ₀ F ₁₀₀	6.95a	33.81b	1.69ab	114.93a	24.41d	76.67bc
C ₅₀ F ₀	6.35c	18.09f	0.97c	74.92bc	13.60ef	73.33c
C ₅₀ F ₅₀	6.73ab	25.48c	1.35bc	107.35a	17.23e	78.00bc
C ₅₀ F ₁₀₀	6.94a	32.84b	2.09a	119.00a	35.35b	84.67a
C ₁₀₀ F ₀	6.42c	19.23e	1.22bc	78.87bc	22.84d	74.33c
C ₁₀₀ F ₅₀	6.61bc	25.44c	1.32bc	91.56ab	30.71c	75.00c
C ₁₀₀ F ₁₀₀	6.89a	38.63a	2.11a	119.12a	47.13a	82.67ab

1.2 样品采集及分析方法

土壤样品于水稻收获后(2016年12月07日)在各个小区0—20 cm土层多点采集土壤,部分土样通风阴干后用于常规土壤理化性质分析;同时取另一部分新鲜土样剔除根系及有机残体后,进行土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮的分析。

土壤有机质、全氮、pH、碱解氮、有效磷、速效钾采用常规的土壤农化分析方法测定^[13];可溶性碳氮按水土比为2:1体积比浸提,然后用有机碳氮分析仪直接测定得到的浸提液^[14];微生物量碳氮用氯仿熏蒸法测定^[15]。首先称取新鲜土样6份放入烧杯中,然后将其3份置于底部有少量NaOH、200 mL水和去乙醇氯仿的真空干燥器中,抽真空后保持氯仿沸腾3—5 min,然后将干燥器移置在黑暗条件下25℃熏蒸土壤24 h,再次抽真空完全去除土壤中的氯仿。将熏蒸好的土壤转移到200 mL提取瓶中,加入0.5 mol/L K₂SO₄浸提液(水:土质量比为5:1)。另外3份做未熏蒸空白试验,每份重复3次,分别测定浸提液中的有机碳和全氮含量,由熏蒸与未熏蒸土样有机碳氮的差值除以转换系数,计算得到微生物量碳氮,微生物量碳氮的转换系数为0.45^[16]。

1.3 统计分析

图表及数据处理采用Origin 8.5和SPSS 18.0进行分析,不同处理有机碳、全氮、微生物量碳、微生物量氮、可溶性碳和可溶性氮采用双因素方差分析和Duncan法进行分析比较,各个指标之间采用Pearson相关系数法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 菌渣化肥配施对土壤微生物量碳、氮的影响

图1和图2表明,土壤微生物量碳、氮的含量分别在146.34—219.42 mg/kg和28.12—86.39 mg/kg之间变化。与对照相比,菌渣处理的土壤微生物量碳、氮含量明显增加,最高增幅分别为49.40%(C₁₀₀F₅₀)和207.19%(C₅₀F₁₀₀)。在化肥施用C₀、C₅₀和菌渣施用F₀、F₅₀水平下,微生物量碳、氮均随菌渣和化肥施用量的增加而增加,其中微生物量碳平均增幅分别为17.20%、10.95%和11.70%、8.94%。微生物量氮平均增幅分别为67.83%、44.25%和40.34%、16.78%,但在化肥施用C₁₀₀和菌渣施用F₁₀₀水平下,微生物量碳、氮均先增加后减少。

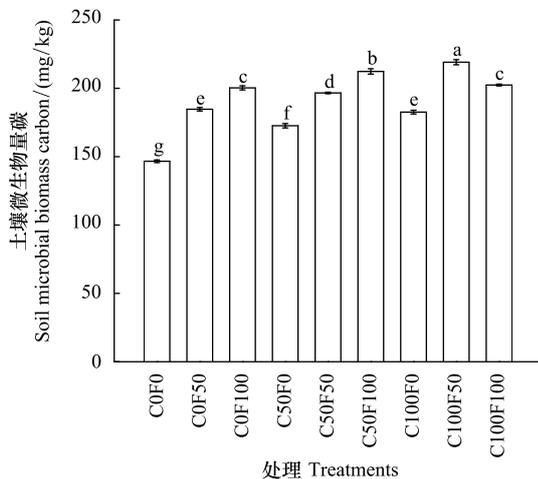


图1 菌渣化肥配施对土壤微生物量碳的影响

Fig.1 Effects of combination of fungal residue with chemical fertilizer on MBC

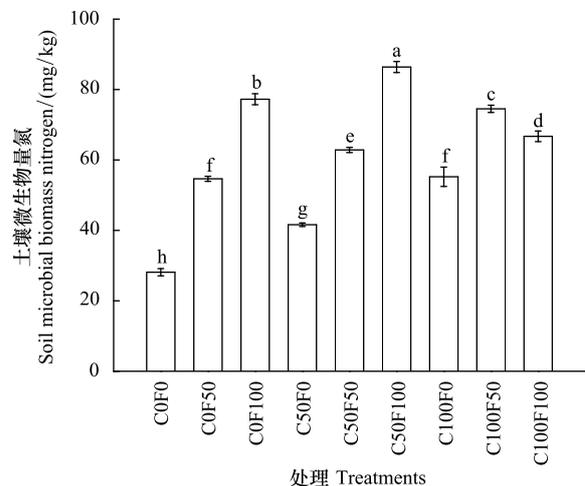


图2 菌渣化肥配施对土壤微生物量氮的影响

Fig.2 Effects of combination of fungal residue with chemical fertilizer on MBN

不同小写字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平差异显著

从图 3 可以看出, MBC/MBN 在 2.46—5.22 之间变化, 与对照相比, 施用菌渣各处理 MBC/MBN 普遍降低。在化肥施用 C_0 、 C_{50} 和菌渣施用 F_0 、 F_{50} 水平下, MBC/MBN 均随着菌渣和化肥施用量的增加而降低, 平均减幅分别为 20.80%、23.01% 和 20.35%、6.72%。但在化肥施用 C_{100} 和菌渣施用 F_{100} 水平下, MBC/MBN 均先减少后增加。

2.2 菌渣化肥配施对土壤可溶性碳、氮的影响

图 4 和图 5 表明, 土壤可溶性碳、氮的含量分别在 235.27—337.97 mg/kg 和 10.61—19.48 mg/kg 之间变化。与对照相比, 菌渣化肥配施提高了土壤中可溶性碳、氮的含量, 最高增幅分别为 43.65% ($C_{100}F_{50}$) 和 83.52% ($C_{100}F_{50}$)。在化肥施用 C_0 、 C_{50} 和菌渣施用 F_0 、 F_{50} 水平下, 可溶性碳、氮均随着菌渣和化肥施用量的增加而增加, 其中可溶性碳的平均增幅分别为 12.05%、8.35% 和 9.88%、14.55%。可溶性氮的平均增幅分别为 31.77%、13.90% 和 11.82%、48.25%。在化肥施用 C_{100} 水平下, 可溶性碳、氮均先增加后减少。但在菌渣施用 F_{100} 水平下, 可溶性碳先增加后减少, 而可溶性氮则是先减少后增加。

从图 6 可以看出, DOC/DON 在 16.06—24.37 之间变化, 与对照相比, 施用菌渣的各处理 DOC/DON 普遍降低。在化肥施用 C_0 、 C_{50} 和 C_{100} 水平下, DOC/DON 均有所降低, 其中最大减幅为 C_0F_{100} 处理, 相比对照减少了 28.18%, 同时, 在菌渣施用 F_0 、 F_{50} 和 F_{100} 水平下, DOC/DON 均先增加后减少。

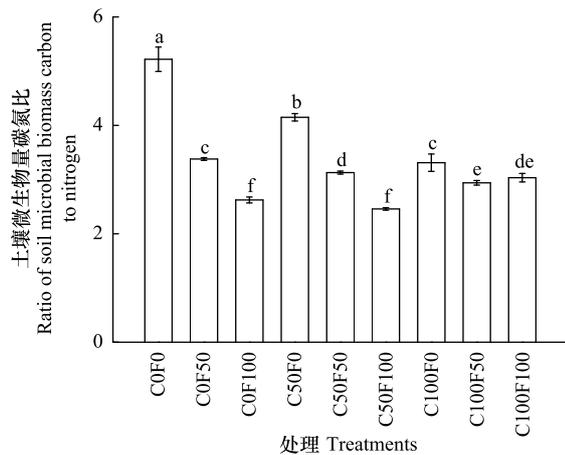


图 3 菌渣化肥配施对土壤微生物量碳氮比的影响

Fig.3 Effects of combination of fungal residue with chemical fertilizer on MBC/MBN

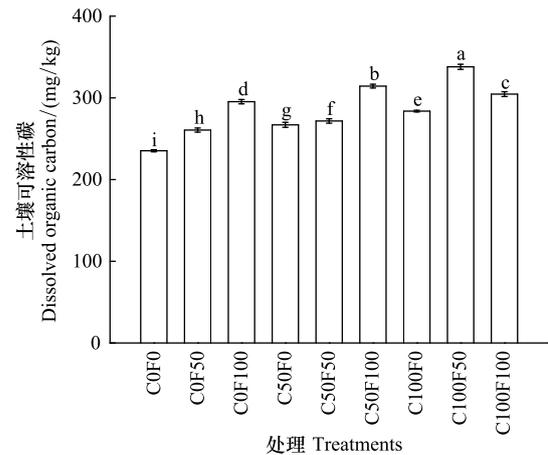


图 4 菌渣化肥配施对土壤可溶性碳含量的影响

Fig.4 Effects of combination of fungal residue with chemical fertilizer on DOC

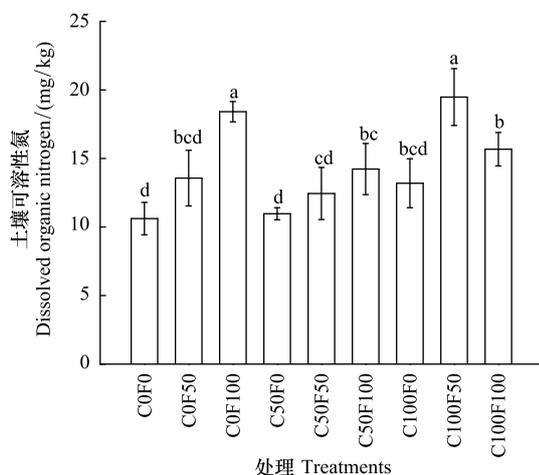


图 5 菌渣化肥配施对土壤可溶性氮含量的影响

Fig.5 Effects of combination of fungal residue with chemical fertilizer on DON

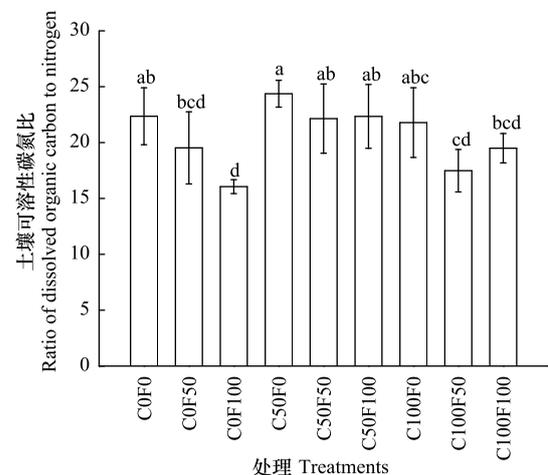


图 6 菌渣化肥配施对土壤可溶性碳氮比的影响

Fig.6 Effects of combination of fungal residue with chemical fertilizer on DOC/DON

2.3 土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮与土壤有机碳和全氮的相关性分析

图 7 表明, MBC/SOC 和 DOC/SOC 分别在 0.90%—1.65% 和 1.36%—2.55% 之间变化, 且分别在 C₅₀F₀ 和 C₁₀₀F₀ 最高, 均在 C₁₀₀F₁₀₀ 最低。与单施化肥相比, 菌渣化肥配施处理 MBC/SOC 和 DOC/SOC 均有所下降, 且在 F₁₀₀ 水平下降低幅度最大。

图 8 表明, MBN/TN 和 DON/TN 分别在 3.05%—5.67% 和 0.73%—1.49% 之间变化, 且均在 C₁₀₀F₅₀ 最高, 分别在 C₀F₀ 和 C₅₀F₁₀₀ 最低。菌渣化肥配施, MBN/TN 明显均高于对照, 且呈波动增加趋势, 但在 C₁₀₀F₁₀₀ 处理下, MBN/TN 增幅突然降低, 只比对照增加了 0.03%。与此相反, 菌渣化肥配施, 除 C₁₀₀F₅₀ 处理外, DON/TN 明显均低于对照, 且呈波动降低趋势, 较低的 C₅₀F₁₀₀ 处理和 C₁₀₀F₁₀₀ 处理与对照相比分别减少了 0.37% 和 0.36%。

从表 4 可以看出, 菌渣化肥配施对土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮均存在极显著正交互作用。MBC 和 MBN、DOC 和 DON、DOC+MBC 和 DON+MBN 之间均呈极显著正相关。MBC、MBN 和 SOC、TN 均呈极显著相关, 相关系数分别为 0.71, 0.63, 0.77 和 0.70。DOC 和 SOC、TN 均呈极显著相关, 相关系数分别为 0.62 和 0.53。DON 与 SOC 呈极显著相关, 相关系数为 0.56, 与 TN 呈显著相关, 相关系数为 0.41。

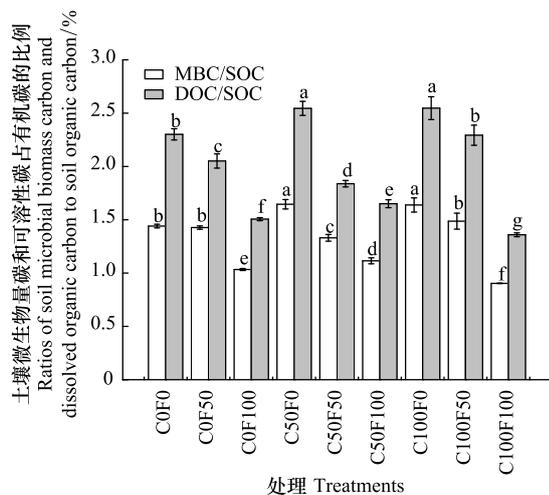


图 7 土壤微生物量碳和可溶性碳占有有机碳的比例

Fig.7 Ratios of MBC and DOC to SOC

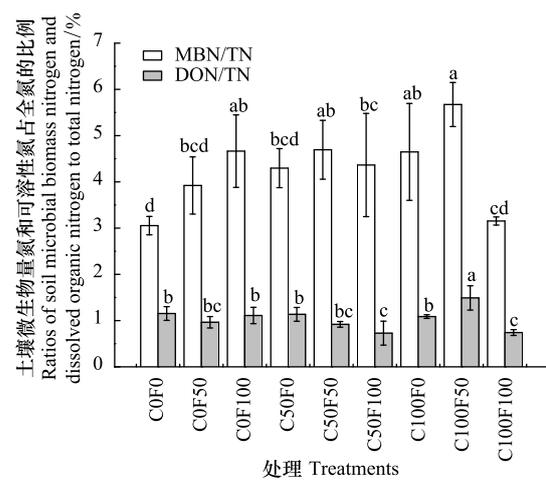


图 8 土壤微生物量氮和可溶性氮占全氮的比例

Fig.8 Ratios of MBN and DON to TN

表 4 土壤不同形态碳氮的相关关系与交互效应分析

Table 4 Correlations matrix between different forms C,N and interaction effect

因子 Factor	SOC	TN	DOC	DON	MBC	MBN	DOC+MBC	DON+MBN
SOC	1	0.83 **	0.62 **	0.56 **	0.71 **	0.77 **	0.67 **	0.77 **
TN		1	0.53 **	0.41 *	0.63 **	0.70 **	0.58 **	0.69 **
DOC			1	0.75 **	0.92 **	0.85 **	0.99 **	0.87 **
DON				1	0.73 **	0.68 **	0.75 **	0.76 **
MBC					1	0.95 **	0.97 **	0.96 **
MBN						1	0.91 **	0.99 **
DOC+MBC							1	0.93 **
DON+MBN								1
F	**	ns	**	**	**	**	**	**
C	**	**	**	**	**	**	**	**
F×C	**	ns	**	**	**	**	**	**

SOC: 有机碳 Soil organic C; TN: 全氮 Total nitrogen; DOC: 可溶性碳 Dissolved organic C; DON: 可溶性氮 Dissolved organic N; MBC: 微生物量碳 Microbial biomass C; MBN: 微生物量氮 Microbial biomass N; C: 化肥 chemical fertilizer; F: 菌渣 fungal residue; ns: 不相关 unrelated; *: 显著相关 significant correlation ($P < 0.05$); **: 极显著相关 highly significant correlation ($P < 0.01$)

3 讨论

3.1 菌渣化肥配施对土壤微生物量碳、氮的影响

土壤微生物量碳、氮是土壤微生物量的重要表征,是土壤养分转化过程中一个重要的活性源和汇^[17]。有研究表明,与单施化肥相比,有机肥和化肥配施更能提高土壤微生物量碳、氮含量^[18],本研究发现,在化肥施用 C_0 和 C_{50} 和菌渣施用在 F_0 和 F_{50} 水平下,微生物量碳、氮含量均呈现出逐渐增加的趋势,但在 C_{100} 和 F_{100} 水平下均先增加后减少,这一方面可能是由于菌渣本身含有大量的氮素,而土壤微生物量会随着氮素的增加反而减少^[19]。另一方面可能是由于化肥施用后对土壤环境产生影响,抑制了微生物的活性^[20]。

土壤微生物量碳氮比(MBC/MBN)可用来表征土壤微生物群落结构特征,也可用作土壤氮素供应能力和有效性的评价指标^[21]。当 MBC/MBN 值较小时,土壤氮素的生物有效性比较高^[22]。本研究发现,不同处理 MBC/MBN 的大小顺序与微生物量碳、氮的顺序基本相反,不施肥处理最高,菌渣化肥配施的处理较低,说明与菌渣化肥配施处理相比,单施化肥处理下的水稻吸氮量较大,土壤有效氮含量较低,MBC/MBN 较高^[23]。同时在 C_{100} 水平下, $C_{100}F_{50}$ 和 $C_{100}F_{100}$ 相比于单施化肥的 $C_{100}F_0$ 有所降低,而在 F_{100} 水平下, $C_{50}F_{100}$ 和 $C_{100}F_{100}$ 相比于单施菌渣的 C_0F_{100} 有所增加。这可能是由于菌渣本身的碳氮比含量较高,微生物分解需要更多的化肥氮或来自土壤的矿质氮。

3.2 菌渣化肥配施对土壤可溶性碳、氮的影响

土壤可溶性碳、氮在土壤全碳、全氮含量中所占的比例很小,但却是土壤有机质中最为重要和活跃的部分^[24]。有研究表明,有机物料还田能有效提高土壤中可溶性碳、氮的含量^[25]。顾春朝等人研究认为,与不施肥相比,长期施用化肥显著提高土壤可溶性氮含量,化肥配施有机肥更有利于稻田表层土壤可溶性碳的释放^[26]。本研究发现,在化肥施用 C_0 、 C_{50} 和菌渣施用 F_0 、 F_{50} 水平下,可溶性碳、氮均呈现出逐渐增加的趋势,但在 C_{100} 水平下均先增加后减少,同时在 F_{100} 水平下,可溶性碳也呈现出先增加后减少的趋势。这可能是由于微生物能同化 DOC,使其大幅下降,而高量施氮又会减少氮的生物固定^[27]。可溶性氮含量在 F_{100} 水平下先减少后增加,这一方面是因为施用化肥能够提高土壤可溶性氮含量^[26],另一方面是因为高量菌渣施用后有较多的 N 素通过同化作用转入微生物体内暂时固定,相应地通过 NH_3 挥发、 NO_3^- 淋失和反硝化脱氮等途径造成的 N 素损失减少^[28]。

研究 DOC/DON 变化有利于深入了解土壤中 DOC 及 DON 的来源及其转化^[29],DOC/DON 越高,微生物活性也越高^[30]。本研究表明,在化肥施用 C_0 、 C_{50} 和 C_{100} 水平下,DOC/DON 随着菌渣施用量的增加均有所降低,其中最大减幅为 C_0F_{100} 处理,说明高量菌渣的施用不利于土壤微生物活性。而在菌渣施用 F_0 、 F_{50} 和 F_{100} 水平下,DOC/DON 均先增加后减少。说明 DOC/DON 在菌渣施用 F_{50} 水平下与化肥配施高于在 F_{100} 水平下。这一方面可能是由于菌渣的 C/N 较高,不适于微生物分解^[31],另一方面可能是由于高量菌渣化肥配施在提高 DOC 含量的同时,可能更有利于提高 DON 含量,从而导致土壤 DOC/DON 降低^[32]。

3.3 土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮与土壤有机碳和全氮的相关性

土壤微生物量碳与有机碳的比值(MBC/SOC)可以作为有机碳生物有效性指标,而土壤中可溶性碳与有机碳的比值(DOC/SOC)可反映土壤微生物量的活性^[33]。有研究表明,有机物的投入能提高 MBC/SOC 和 DOC/SOC^[34]。而本研究发现,菌渣化肥配施降低了 MBC/SOC 和 DOC/SOC,说明虽然高量菌渣化肥配施后土壤有机碳最高,但有机碳的周转速度和微生物活性却可能会降低^[35]。这可能是由于菌渣化肥配施后土壤微生物量碳的增长幅度低于土壤有机碳的增长幅度,土壤有机碳易分解组分所占比例较小,有机碳较为稳定,目前处于积累阶段^[36]。

土壤微生物量氮和可溶性氮占全氮的比例(MBN/TN、DON/TN)能够反映出土壤氮素的可利用性^[37]。韩晓日等研究认为,有机肥与化肥配合施用比单独施用化肥能降低 MBN/TN,与单施有机肥相比能提高 MBN/TN^[38]。本研究发现,菌渣化肥配施提高了 MBN/TN,但是在 $C_{100}F_{100}$ 处理下增幅突然降低。与此相反,随着菌

渣化肥配施 DON/TN 呈波动降低趋势。说明虽然高量菌渣化肥配施后土壤全氮含量最高,但土壤氮素的可利用性却可能会降低。这一方面可能是与化肥相比,菌渣可以为微生物生长提供较多的氮素。另一方面可能是菌渣施用会提高土壤中微生物的数量和活性,从而抑制土壤氮素的矿化,增加对氮素的同化作用,使更多的铵态氮进入土壤活性有机氮库中^[39-40]。

有研究表明,MBC、MBN、DOC、DON 和 SOC 及其 TN 均呈极显著正相关^[41-42]。本研究发现,MBC、DOC 与 SOC、MBN 与 TN 呈极显著正相关,而 DON 和 TN 呈显著正相关,说明可溶性氮和全氮的相关性低于微生物量氮。这可能是由于微生物量氮主要是蛋白质、氨基酸、核酸等,非常容易分解,能直接通过矿化作用转化为速效的无机氮。而可溶性氮则主要由硝态氮、铵态氮和少量有机态氮组成,它们可随水径流或淋溶而流失,移动性相对较强^[43]。

4 结论

菌渣化肥配施显著提高了土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮的含量,但高量菌渣化肥配施对土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮的贡献较其他处理低。菌渣化肥配施均有利于土壤氮素供应能力和生物有效性的提高,虽然高量菌渣化肥配施后土壤有机碳、全氮含量最高,但有机碳的周转速度、微生物活性和氮素的可利用性却可能会降低。从相关程度看,MBC、DOC 与 SOC,MBN 与 TN 均呈极显著正相关,DON 和 TN 呈显著正相关,MBC 和 MBN、DOC 和 DON、DOC+MBC 和 DON+MBN 之间均呈极显著正相关。因此,菌渣化肥配施能够显著提高土壤微生物量碳、氮和可溶性碳、氮含量,但不是随着用量的增加一直呈增加趋势,高量菌渣或者化肥下会有降低趋势,适宜的菌渣化肥配施是提高土壤有机碳周转速度、微生物活性及其氮素供应能力和有效性的最佳选择。

参考文献 (References):

- [1] 刘守龙. 亚热带稻田土壤有机碳氮循环[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [2] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68-75.
- [3] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 唐诚, 李俊华, 梁永超. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [4] 周程爱, 张于光, 肖焯, 张小全, 李迪强. 土地利用变化对川西米亚罗林土壤活性碳库的影响. 生态学报, 2009, 29(8): 4542-4547.
- [5] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 孙慧敏, 和文祥. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 277-280.
- [6] 李用芳. 食用菌菌渣的再利用. 生物学通报, 2001, 36(3): 44-45.
- [7] 范文丽, 王升厚, 赵英明. 施用杏鲍菇菌糠对土壤主要养分含量及番茄品质的影响. 辽宁农业科学, 2013, (3): 84-85.
- [8] 胡杨勇, 马嘉伟, 叶正钱, 邸春雨, 王旭东. 稻耳轮作制度下连续菌渣还田对土壤肥力性状的影响. 水土保持学报, 2013, 27(6): 172-176.
- [9] 温广蝉, 叶正钱, 王旭东, 马嘉伟, 郑宁. 菌渣还田对稻田土壤养分动态变化的影响. 水土保持学报, 2012, 26(3): 82-86.
- [10] 马嘉伟, 黄其颖, 程礼泽, 叶正钱, 王旭东. 菌渣化肥配施对红壤养分动态变化及水稻生长的影响. 浙江农业学报, 2013, 25(1): 147-151.
- [11] 张泽, 谢放, 李建宏. 香菇菌渣对土壤微生态的影响. 环境污染与防治, 2013, 35(4): 75-80.
- [12] 黄春. 成都平原稻麦轮作下菌渣还田对土壤酶活性的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2010.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [14] 谢芳, 韩晓日, 杨劲峰, 战秀梅, 唐亮. 长期施肥对棕壤微生物量碳和水溶性有机碳的影响. 农业科技与装备, 2008, (3): 10-13.
- [15] Li L J, Han X Z. Changes of soil properties and carbon fractions after long-term application of organic amendments in Mollisols. CATENA, 2016, 143: 140-144.
- [16] Jenkinson D S. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences, 1990, 329(1255): 361-368.
- [17] Lin Q, Brookes P C. An evaluation of the substrate-induced respiration method. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(14): 1969-1983.
- [18] 张平究, 李恋卿, 潘根兴, 张俊伟. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土表土微生物碳氮量及基因多样性变化. 生态学报, 2004, 24(12): 2818-2824.

- [19] 赵俊晔, 于振文, 李延奇, 王雪. 施氮量对土壤无机氮分布和微生物量氮含量及小麦产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 466-472, 494-494.
- [20] Masto R E, Chhonkar P K, Singh D, Patra A K. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a subtropical inceptisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(7): 1577-1582.
- [21] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(7): 969-975.
- [22] 赵彤, 蒋跃利, 闫浩, 黄懿梅, 安韶山. 黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响. 环境科学, 2013, 34(8): 3223-3230.
- [23] 罗兰芳, 聂军, 郑圣先, 廖育林, 谢坚. 施用控释氮肥对稻田土壤微生物生物量碳、氮的影响. 生态学报, 2010, 30(11): 2925-2932.
- [24] 汪景宽, 李丛, 于树, 李双异. 不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮生物降解特性. 生态学报, 2008, 28(12): 6165-6171.
- [25] 丁婷婷, 王百群, 何瑞清, 张燕. 施用秸秆对土壤可溶性有机碳氮及矿质氮的影响. 水土保持研究, 2014, 21(6): 72-77.
- [26] 顾春朝, 傅民杰, 刘春海, 吴凤日, 姜泽宇. 施肥类型和种植年限对淹水稻田土壤可溶性有机碳的影响. 广东农业科学, 2015, 42(12): 73-77.
- [27] 段鹏鹏, 张玉玲, 丛耀辉, 徐文静, 虞娜, 张玉龙. 氮肥与有机肥配施协调土壤固定态铵与可溶性氮的研究. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1578-1585.
- [28] 熊鸿焰, 李廷轩, 张锡洲, 余海英. 水旱轮作后免耕水稻土微生物数量和生物量的变化特征研究. 土壤, 2008, 40(6): 920-925.
- [29] 陈安强, 付斌, 鲁耀, 段宗颜, 胡万里. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮. 农业工程学报, 2015, 31(21): 160-167.
- [30] 高寒, 王宏燕, 李传宝, 于崧, 赵伟. 玉米秸秆不同腐解处理还田对黑土碳氮比的影响研究. 土壤通报, 2013, 44(6): 1392-1397.
- [31] 苏波, 韩兴国, 渠春梅, 李贵才. 森林土壤氮素可利用性的影响因素研究综述. 生态学杂志, 2002, 21(2): 40-46.
- [32] 王光华, 齐晓宁, 金剑, 刘俊杰, 王洋. 施肥对黑土农田土壤全碳、微生物量碳及土壤酶活性的影响. 土壤通报, 2007, 38(4): 661-666.
- [33] 袁颖红, 樊后保, 刘文飞, 张子文, 孟庆银, 胡锋, 李辉信. 模拟氮沉降对杉木人工林土壤可溶性有机碳和微生物量碳的影响. 水土保持学报, 2012, 26(2): 138-143.
- [34] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21(4): 471-479.
- [35] 柴雪思, 雷利国, 江长胜, 黄哲, 范志伟, 郝庆菊. 三峡库区典型消落带土壤微生物生物量碳、氮的变化特征及其影响因素探讨. 环境科学, 2016, 37(8): 2979-2988.
- [36] Mao D M, Min Y W, Yu L L, Martens R, Insam H. Effect of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, 24(9): 865-872.
- [37] 陈哲, 杨世琦, 张晴雯, 周华坤, 井新, 张爱平, 韩瑞芸, 杨正礼. 冻融对土壤氮素损失及有效性的影响. 生态学报, 2016, 36(4): 1083-1094.
- [38] 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, 2007, 40(4): 765-772.
- [39] Zhang J B, Zhu T B, Cai Z C, Qin S W, Müller C. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations. *European Journal of Soil Science*, 2012, 63(1): 75-85.
- [40] Bittman S, Forge T A, Kowalenko C G. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(4): 613-623.
- [41] 贾国梅, 何立, 程虎, 王世彤, 向翰宇, 张雪飞, 席颖. 三峡库区不同植被土壤微生物量碳氮磷生态化学计量特征. 水土保持研究, 2016, 23(4): 23-27.
- [42] 吕学军, 刘庆, 陈印平, 李玲. 黄河三角洲土地利用方式对土壤可溶性有机碳、氮的影响. 农业现代化研究, 2011, 32(4): 505-508.
- [43] 赵路红, 李昌珍, 康迪, 任成杰, 韩新辉, 佟小刚, 冯永忠. 黄土丘陵区植被恢复对土壤可溶性氮组分的影响. 生态学报, 2017, 37(10): 3533-3542.