DOI: 10.5846/stxb201504080708
徐一兰,唐海明,肖小平,郭立君,李微艳,孙继民.长期施肥对双季稻田土壤微生物学特性的影响.生态学报,2016,36(18): - .
Xu Y L, Tang H M, Xiao X P, Guo L J, Li W Y, Sun J M.Effects of different long-term fertilization regimes on the soil microbiological properties of a paddy field.Acta Ecologica Sinica,2016,36(18): - .

长期施肥对双季稻田土壤微生物学特性的影响

徐一兰[1],唐海明[2,*],肖小平[2],郭立君[2],李微艳[2],孙继民[2]
1 湖南生物机电职业技术学院, 长沙 410127
2 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125

摘要:为探明不同施肥处理对早稻和晚稻各个生育时期稻田土壤微生物生物量碳、氮和微生物熵的影响,以湖南宁乡长期定位试验为平台,应用氯仿熏蒸-K_2SO_4提取法和化学分析法系统分析了定位长达 29 a5 种施肥处理之间(化肥、秸秆还田+化肥、30%有机肥+70%化肥、60%有机肥+40%化肥和无肥)双季稻田土壤微生物生物量碳、氮和微生物熵的差异。结果表明,早稻和晚稻各主要生育时期,长期施肥均能提高土壤微生物生物量碳、氮含量和微生物熵,各施肥处理土壤微生物生物量碳、氮含量和微生物熵均随水稻生育期推进呈先增加后降低的变化趋势,均于齐穗期达到最大值,成熟期达到最低值;其中,以 60%有机肥和 30%有机肥处理双季稻田土壤微生物生物量碳、氮含量和微生物熵均为最高,均显著高于其他处理,其大小顺序表现为 60%有机肥>30%有机肥>秸秆还田>化肥>无肥。长期有机无机配施可以提高土壤微生物生物量碳、氮和微生物熵,有机肥与化肥配施对提高土壤肥力效果最好。土壤微生物生物量碳、氮及微生物熵可以反映土壤质量的变化,可作为评价土壤肥力的生物学指标。

关键词:水稻;长期施肥;土壤微生物量碳;土壤微生物量氮;微生物熵

Effects of different long-term fertilization regimes on the soil microbiological properties of a paddy field

XU Yilan[1], TANG Haiming[2,*], XIAO Xiaoping[2], GUO Lijun[2], LI Weiyan[2], SUN Jimin[2]
1 *College of Biological and Electromechanical Polytechnic*, *Changsha* 410127, *China*
2 *Hunan Soil and Fertilizer Institute*, *Changsha* 410125, *China*

Abstract: Fertilization regimes affect the soil microbiological properties of paddy fields. In China, few studies have investigated the influence of long-term fertilizer and combined organic matter and fertilizer application on the soil′s microbiological properties. Our objective was to explore the characteristics of soil microbial biomass carbon (SMBC), soil microbial biomass nitrogen (SMBN), and the soil microbial quotient of a paddy field during the early and late rice growth periods under different long-term fertilization regimes in a double cropping rice system. A long-term experiment was established in 1986 in Ningxiang county of Hunan Province, China, and five different fertilizer treatments were applied: (1) no fertilizer input (CK), (2) mineral fertilizer alone (MF), (3) rice residue plus mineral fertilizer (RF), (4) 30% organic matter and 70% mineral fertilizer (OM1), and (5) 60% organic matter and 40% mineral fertilizer (OM2). We analyzed the SMBC, SMBN, and soil microbial quotient of the fields with the above five treatments using the fumigation-extraction and chemical analysis methods. The results showed that after 29 years, the different fertilization regimes significantly affected the soil′s chemical and microbial properties. Compared to the CK, the organic matter, total N, and available N, P, and K increased due to the combined application of chemical fertilizer, recycled rice straw, and

基金项目:国家自然科学基金(31201178);湖湘青年科技创新创业平台资助项目
收稿日期:2015-04-08; **网络出版日期**:2015-00-00
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: tanghaiming66@ 163.com

chicken manure. In paddy fields, the SMBC activity, SMBN, and soil microbial quotient were increased by long-term fertilization regimes wherein applications were carried out during the early and late rice growth periods. Meanwhile, the SMBC activity, SMBN, and soil microbial quotient increased with the development of early and late rice, peaking at the heading stages of early and late rice. These measurements then reached their minimum value at the mature stages of early and late rice. Compared to the CK, the SMBN activity increased by 7.67%, 10.98%, 19.17%, and 21.75% when treated with MF, RF, OM1, or OM2, respectively, at the heading stage of early rice, and increased by 7.27%, 10.41%, 18.18%, and 20.14% when treated with MF, RF, OM1, or OM2 at the heading stage of late rice, respectively. Furthermore, the SMBC activity, SMBN, and the soil microbial quotient were significantly higher when treated with OM1 or OM2 than that in the MF, RF, or CK treatments at the different main growth stages of early and late rice, respectively. In addition, the SMBC activity, SMBN, and soil microbial quotient under different fertilization regimes were ordered as follows: OM2 > OM1 > RF > MF > CK at the main growth stages of early and late rice. The soil fertility was increased by the combined application of mineral fertilizer and organic matter, and the SMBC activity, SMBN, and soil microbial quotient were correlated with combined long-term fertilizer and organic matter application. Therefore, the combined application of chemical fertilizer and recycled rice straw or chicken manure could significantly increase the SMBC activity, SMBN, and soil microbial quotient of paddy fields during early and late rice growth. In addition, the soil microbial properties reflect changes in soil quality, such as the SMBC activity, SMBN, and soil microbial quotient, all of which can be used as biological indicators for the evaluation of soil fertility.

Key Words: rice; long-term fertilization regime; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; soil microbial quotient

土壤微生物是土壤中物质循环的主要动力,它既是土壤有机质和养分转化与循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库[1]。因此,土壤微生物与土壤肥力有着直接的关系。土壤微生物量碳(soil microbial biomass carbon, SMBC)、土壤微生物量氮(soil microbial biomass nitrogen, SMBN)、微生物熵(microbial quotient)均被用作评价土壤肥力和土壤质量早期变化的有效指标[1]。国内外研究表明,土壤微生物生物量与农业生产中的种植制度、耕作措施和施肥方式等因素关系密切,彭佩钦等[2]研究认为,洞庭湖区不同利用方式的土壤有机碳、全氮和微生物生物量碳、氮存在显著的差异,其中双季稻显著高于旱地和一季稻水田利用方式。臧逸飞等[3]研究结果表明,土壤微生物生物量碳、氮与土壤有机质、全氮呈极显著相关。Ekenler 等[4]表明,土壤微生物生物量碳、氮与不同的土壤耕作措施关系密切。Jangid 等[5]研究认为,土壤微生物生物量易受不同施肥模式的影响。Chu 等[6]研究结果表明,有机肥显著影响土壤微生物量碳,平衡施肥处理土壤微生物量碳显著高于养分缺乏的施肥处理。李卉等[7]认为,添加水稻秸秆对农田土壤微生物生物量均有促进作用。李文军等[8]研究结果表明,氮磷钾化肥配施有机肥处理稻田土壤微生物生物量碳、氮均明显高于化肥单施处理。湖南是我国重要的双季稻区,保持该区域稻田土壤肥力的稳定和持续是水稻高产、稳产的重要基础。虽然近年来我国学者对土壤微生物学特性开展了大量研究,但是由于气候条件、土壤类型以及耕作施肥的复杂多样性,对其土壤微生物量影响的研究结果不尽相同。国内在双季稻区主要开展了不同施肥措施(制度)对水稻某一时期稻田土壤微生物生物量、土壤团聚体有机碳、氮积累及分布、微生物多样性等方面影响的研究[1,9-12],在大麦-双季稻三熟制种植模式条件下,不同施肥措施对早、晚稻各个主要生育时期双季稻田土壤微生物量碳、氮和微生物熵动态变化影响的研究还有待进一步开展。因此,本文以湖南宁乡长期定位试验为平台,探索 29a 不同施肥管理模式下双季稻田土微生物生物量碳、氮以及微生物熵的响应,以了解双季稻田土壤的长期培肥效应,为提高稻田土地生产力和可持续发展提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

不同施肥模式定位试验始于 1986 年,在湖南省宁乡县农技中心内进行(112°18′ E,28°07′ N),为典型的双季稻主产区,海拔 36.1 m,年均气温 16.8℃,年平均降雨量 1 553.70 mm,年蒸发量 1 353.9 mm,无霜期 274 d。试验地土壤为水稻土,河沙泥土种,种植制度为大麦-双季稻,肥力中等,排灌条件良好。1986 年试验前耕层土壤(0—20 cm)基础肥力:有机质 29.39 g/kg、全氮 2.01 g/kg、全磷 0.59 g/kg、全钾 20.6 g/kg、碱解氮 144.1 mg/kg、有效磷 12.87 mg/kg、速效钾 33.0 mg/kg 和 pH 6.85。水稻生长期日平均气温情况见图 1。

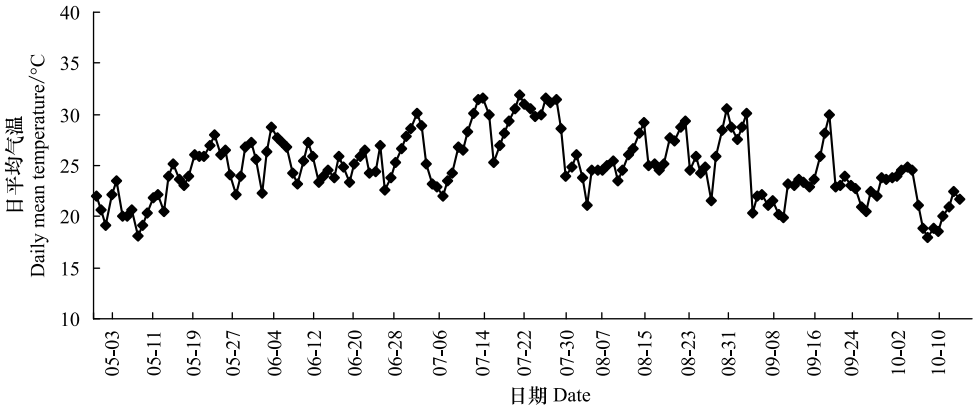

图 1　研究区水稻生长期日平均气温变化

Fig.1　Variation characteristics of daily mean temperature during growth period of rice in the study area

1.2　试验设计及田间管理

试验设 5 个施肥处理:(1) 化肥处理:施氮、磷、钾化肥,不施任何有机肥(MF: mineral fertilizer alone);(2) 秸秆还田+化肥处理:施用晚稻秸秆与化肥处理(RF: rice residues plus mineral fertilizer);(3) 30%有机肥处理:有机肥的氮含量占总施氮量的 30%,其余 70%的氮为化肥氮(OM1: 30% organic matter plus 70% mineral fertilizer);(4) 60%有机肥处理:有机肥的氮含量占总施氮量的 60%,其余 40%的氮为化肥氮(OM2: 60% organic matter plus 40% mineral fertilizer);(5) 无肥对照:不施任何肥料(CK: without fertilizer)。每个小区长 10.00 m,宽 6.67 m,面积 66.7 m^2,小区间用水泥埂隔开,埋深 100 cm,高出田面 35 cm。保证各小区不窜灌、窜排。2014 年,早稻供试品种为湘早籼 45 号,4 月 1 日播种育苗,5 月 2 日进行大田耕地和施基肥,5 月 3 日移栽,7 月 24 日收获;晚稻供试品种为五优 308,6 月 25 日播种育苗,7 月 25 日进行大田耕地和施基肥,7 月 26 日移栽,10 月 17 日收获。早稻和晚稻均采用人工移栽,移栽行株距均为 25.0 cm×25.0 cm,均为二本栽插。早稻各施肥处理总施 N 142.5 kg/hm^2、P_2O_5 54.0 kg/hm^2和 K_2O 63.0 kg/hm^2;晚稻各施肥处理总施 N 157.5 kg/hm^2、P_2O_5 43.2 kg/hm^2和 K_2O 81.0 kg/hm^2;早稻季秸秆还田量为 2775.0 kg/hm^2(秸秆中 N、P_2O_5、K_2O 含量分别为 0.65%、0.13%和 0.89%),晚稻季秸秆还田量为 3600.0 kg/hm^2(秸秆中 N、P_2O_5、K_2O 含量分别为 0.68%、0.15%和 0.91%);施用有机肥的处理,早稻和晚稻有机肥均为腐熟鸡粪,早稻季 30%有机肥和 60%有机肥处理有机肥的施用量分别为 2625.0、5250.0 kg/hm^2,晚稻季 30%有机肥和 60%有机肥处理有机肥的施用量分别为 2670.0、5340.0 kg/hm^2(有机肥养分含量均为 N 1.77%、P_2O_5 0.80%和 K_2O 1.12%),各处理以等氮量为基准,不足的氮、磷、钾肥用化肥补足;早稻和晚稻各施肥处理秸秆和有机肥均于稻田耕地时作基肥一次性施入;N 和 K_2O 作基肥和追肥 2 次施入,基肥在耕地时施入,追肥在移栽后 7 d 施用,基追肥比例均按 7:3 施用;P_2O_5均在耕地时作基肥一次性施入。其他管理措施同常规大田生产。

1.3　样品采集与测定方法

试验于 2014 年 11 月晚稻成熟收获时采集各处理 0—20 cm 土壤新鲜样品,风干过筛,用于测定土壤 pH

值(土:水=1:2.5)、有机质(重铬酸钾容量法)、全氮(重铬酸钾-硫酸消化法)、碱解氮(碱解扩散法)、有效磷($NaHCO_3$浸提-钼锑抗比色法)以及速效钾含量(NH_4Ac 浸提-火焰光度法)[13]。

同时,分别于早稻和晚稻的苗期、分蘖期、拔节期、齐穗期和成熟期 10 个时期,进行土壤样品的采集,每个处理采取多点取样采集 0—20 cm 的耕层土壤,重复三次。土壤剔除石砾及植物残茬等杂物后,一部分新鲜土壤过 2 mm 筛,放置于 4℃冰箱内贮,用于测定土壤微生物生物量碳、氮。土壤微生物生物量碳采用熏蒸浸提-重铬酸钾容量法测定,土壤微生物生物量氮采用熏蒸浸提取法测定[14]。

1.4 数据处理

数据处理、相关分析采用 Excel 2003 软件进行,方差分析和多重比较采用 DPS 3.11(Data Processing System for Practical Statistics)软件进行,多重比较采用 LSD 法($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对土壤化学性质的影响

与长期无肥处理(CK)相比,有机肥配合施用化肥可以显著提高土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量(表 1)。其中,60%有机肥处理稻田土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量均为最高,分别比无肥增加 28.0 g/kg、1.77 g/kg、157.0 mg/kg、234.21 mg/kg 和 14.0 mg/kg;30%有机肥处理较化肥、秸秆还田和无肥提高了土壤的养分含量,但其含量均低于 60%有机肥处理。秸秆还田和单施化肥处理土壤有机质、全氮、碱解氮、和速效钾含量均显著高于无肥处理,而有效磷与无肥处理无显著差异。各处理间土壤 pH 值差异不大,但较试验开始时均略有减少,可能是因为植物残茬及肥料施入的影响[15]。

表 1 长期施肥对稻田土壤化学性质的影响(0—20 cm)

Table 1 Effects of different long-term fertilizer managements on soil chemical properties (0—20 cm)

处 理 Treatment	pH	全氮/(g/kg) Total N	碱解氮/(mg/kg) Available N	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K	有机质/(g/kg) Organic matter
MF	6.33a	1.77c	128d	10.2c	29c	27.6d
RF	6.65a	2.11b	166c	12.3c	31c	34.3c
OM1	6.37a	2.21b	186b	129.3b	34b	38.0b
OM2	6.73a	3.18a	253a	243.8a	40a	50.5a
CK	6.67a	1.41d	96e	9.59c	26d	22.5e

MF:化肥 Mineral fertilizer alone;RF:秸秆还田 Rice residues plus mineral fertilizer;OM1:30%有机肥+70%化肥 30% organic matter plus 70% mineral fertilizer;OM2:60%有机肥+40%化肥 60% organic matter plus 40% mineral fertilizer;CK:无肥 Without fertilizer

2.2 长期施肥对双季稻田土壤微生物生物量碳、氮的影响

早稻各主要生育时期,各施肥处理耕层土壤微生物生物量碳(SMBC)变化如图 2 中所示。各施肥处理 SMBC 均随生育期推进呈先增加后降低的变化趋势,均于齐穗期达到最大值,成熟期达到最低值。早稻齐穗期,化肥、秸秆还田、30%有机肥和 60%有机肥处理分别比无肥处理增加 19.71%、26.04%、45.19%和 49.99%,之后呈下降的变化趋势。分蘖期至成熟期,以 60%有机肥和 30%有机肥处理 SMBC 均为最高值,均显著高于其他处理。

晚稻各个生育时期,各处理 SMBC 均于齐穗期达到最大值,化肥、秸秆还田、30%有机肥和 60%有机肥处理分别比无肥处理增加 19.46%、25.70%、44.60%和 48.39%。分蘖期至成熟期,60%有机肥和 30%有机肥处理 SMBC 均为最高值,均显著高于其他处理,其大小顺序表现为 60%有机肥>30%有机肥>秸秆还田>化肥>无肥(图 2)。有机无机配合施用处理在水稻各主要生育时期 SMBC 均高于化肥和无肥处理,这说明有机无机肥配合施用,可补充土壤有机碳源,提高土壤有机质含量,为土壤微生物的生长繁殖提供了良好的环境条件和能源[12]。

早稻各主要生育时期,不同施肥处理耕层土壤微生物生物量氮(SMBN)均于齐穗期达到最大值,化肥、秸

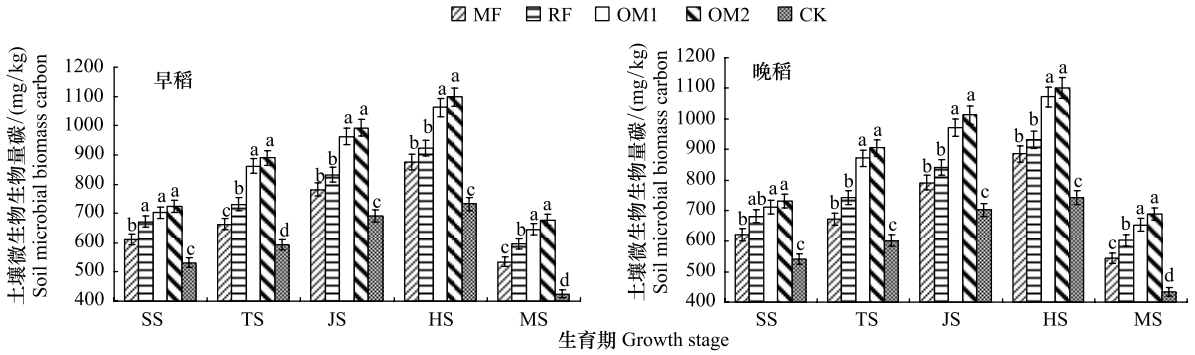

图 2　长期施肥对双季稻田土壤微生物生物量碳的影响

Fig.2　Effects of different long-term fertilizer managements on soil microbial biomass carbon in paddy field

图中不同小写字母表示显著差异($P<0.05$);MF:化肥 Mineral fertilizer alone;RF:秸秆还田 Rice residues plus mineral fertilizer;OM1:30%有机肥+70%化肥 30% organic matter plus 70% mineral fertilizer;OM2:60%有机肥+40%化肥 60% organic matter plus 40% mineral fertilizer;CK:无肥 Without fertilizer。SS:苗期 Seedling stage; TS:分蘖期 Tillering stage; JS:拔节期 Jointing stage; HS:齐穗期 Heading stage; MS:成熟期 Mature stage

秆还田、30%有机肥和 60%有机肥处理分别比无肥处理增加 7.67%、10.98%、19.17%和 21.75%。其中,以 60%有机肥处理 SMBN 均为最高值,均显著高于其他处理,其大小顺序表现为 60%有机肥>30%有机肥>秸秆还田>化肥>无肥(图 3)。

晚稻各主要生育时期,不同施肥处理 SMBN 变化趋势与早稻生育期相似。各施肥处理 SMBN 均于齐穗期达到最大值,分别比无肥处理增加 7.27%、10.41%、18.18%和 20.14%。苗期到齐穗期,以 60%有机肥和 30%有机肥处理 SMBN 均为最高值,均显著高于其他处理;成熟期,60%有机肥显著高于其他处理(图 3)。在水稻各主要生育期,有机无机配合施用提高了 SMBN,化肥与有机肥(鸡粪和秸秆)配合施用,既补充了有机碳源,又改善了土壤的物理性状,增强了土壤微生物的活性[16]。

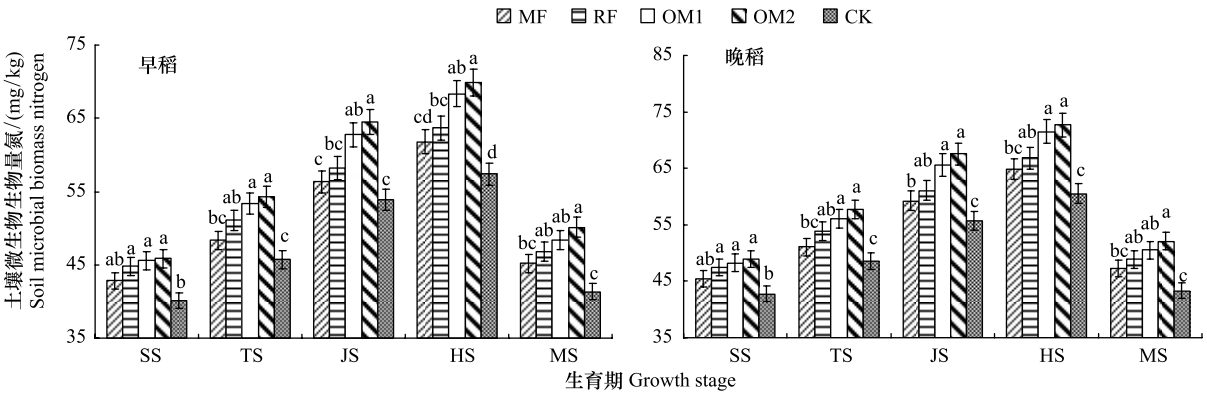

图 3　长期施肥对双季稻田土壤微生物生物量氮的影响

Fig.3　Effects of different long-term fertilizer managements on soil microbial biomass nitrogen in paddy field

图中不同小写字母表示显著差异($P<0.05$)

2.3　长期施肥对双季稻田土壤微生物生物量碳氮比的影响

早稻苗期,60%有机肥处理 SMBC/SMBN 为最高值,显著高于其他处理;分蘖期到成熟期,均以 60%有机肥和 30%有机肥处理为最高值,均显著高于无肥处理;早稻各生育时期,各处理 SMBC/SMBN 值大小顺序表现为 60%有机肥>30%有机肥>秸秆还田>化肥>无肥,其平均值分别为 13.58、14.16、15.15、15.37 和 12.42。

晚稻各主要生育时期,各施肥处理 SMBC/SMBN 变化趋势与早稻生育期相似。分蘖期到成熟期,均以 60%有机肥和 30%有机肥处理为最高值,均显著高于无肥处理;各处理 SMBC/SMBN 值大小顺序表现为 60%

有机肥>30%有机肥>秸秆还田>化肥>无肥(图 4)。

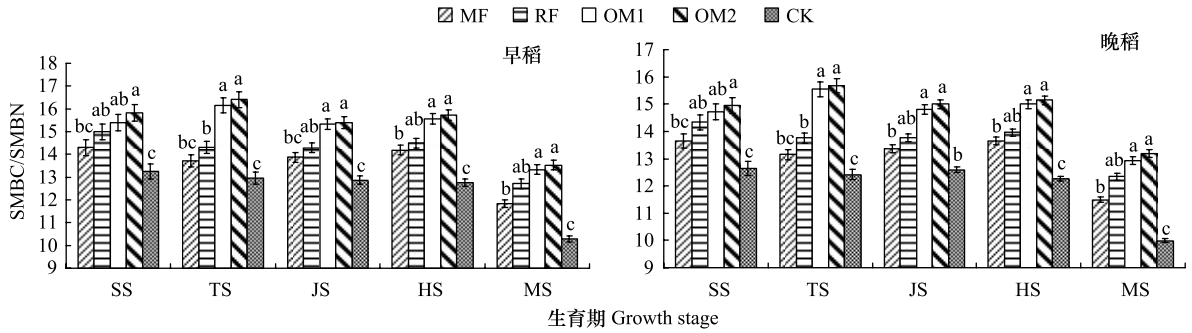

图 4 长期施肥对双季稻田土壤微生物生物量碳氮比的影响

Fig.4 Effects of different long-term fertilizer managements on SMBC/SMBN in paddy field

图中不同小写字母表示显著差异(P<0.05)

2.4 长期施肥对双季稻田土壤微生物熵的影响

土壤微生物量碳与土壤总有机碳的比值称为微生物熵,它可作为土壤碳动态和土壤质量研究的有效指标[1,17]。早稻各个主要生育时期,以 60%有机肥和 30%有机肥处理土壤微生物熵为最高,均显著高于其他处理,秸秆还田和化肥处理次之,无肥处理最低;各施肥处理的土壤微生物熵于齐穗期达到最大值,化肥、秸秆还田、30%有机肥、60%有机肥和无肥处理土壤微生物熵分别为 3.74%、3.91%、4.41%、4.54%和 3.52%。

晚稻各主要生育时期,不同施肥处理土壤微生物熵变化趋势与早稻生育期相似。苗期到成熟期,均以 60%有机肥和 30%有机肥处理为最高值,均显著高于无肥处理;各处理土壤微生物熵的大小顺序表现为 60%有机肥>30%有机肥>秸秆还田>化肥>无肥(图 5)。长期各施肥处理的土壤微生物熵显著高于无肥处理,其中长期有机无机配施处理(RF、OM1、OM2)的土壤微生物熵明显高于长期单施化肥的处理(MF),这说明有机物的投入能提高土壤微生物熵[17]。

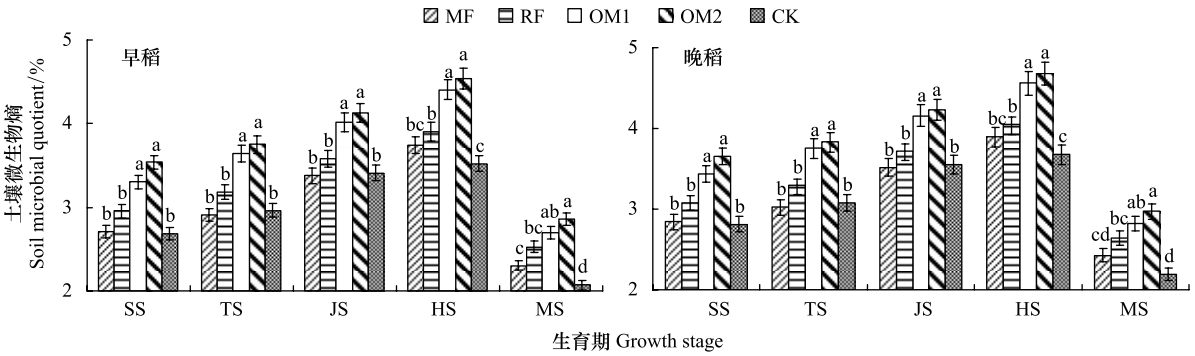

图 5 长期施肥对双季稻田土壤微生物熵的影响

Fig.5 Effects of different long-term fertilizer managements on soil microbial quotient in paddy field

图中不同小写字母表示显著差异(P<0.05)

3 讨论

孙瑞莲等[18]发现,化肥与有机肥长期配合施用能明显提高土壤有机质和氮、磷、钾养分含量,促进微生物代谢和繁育,可为作物稳产高产创造良好的土壤生态环境。朱海平等[19]研究也发现,不同培肥管理措施显著影响土壤有机质、养分含量和微生物生态特征,其中施用猪厩肥影响较大,化肥影响较小。本试验结果同样证明,在双季稻田长期施肥不同程度地增加了土壤微生物生物量和土壤养分含量,这是因为有机物与化肥长期配施调节了土壤 C/N,能提供更适应微生物生活的环境,其中以化肥与有机肥长期配施对土壤的培肥效果最

佳,这与李娟等[20]的研究结果相一致。

土壤微生物生物量是土壤有机质中最活跃和最易变化的部分,是评价土壤微生物参与土壤中物质转化循环能力的重要指标,可作为评价土壤微生物生态系统质量的重要指标,易受环境条件、植物生长和施肥方式等因素的综合影响[21-22]。在本研究中,与无肥处理相比,所有施肥处理双季稻田土壤微生物生物量碳、氮均有显著的提高,其可能原因是:有机肥料的施用为土壤微生物提供了较多的能源和养分,促进了土壤微生物大量繁殖,改善了土壤中微生物群落结构;所施用的肥料促进作物根系生长,大量留田根茬和秸秆提高了微生物的活性,加速了土壤原有的和新鲜的有机物质的分解、矿化。宇万太等[23]研究认为,不同施肥处理土壤微生物量碳均呈现出春冬季较低、夏秋季较高的趋势。在本研究中,早稻生育期各施肥处理土壤微生物量碳、氮含量均低于晚稻各生育期,这是因为整体来说晚稻季气温高于早稻季(图 1),在晚稻季水稻生长旺盛对养分需求量增加,微生物对养分的分解和代谢加快;同时,水稻根系分化养分能力增强,根系分泌物、脱落物增加,丰富的基质促进了土壤微生物的繁殖[24]。在早、晚稻各个生育期,各施肥处理土壤微生物量碳、氮含量变化大体趋势一致,在水稻生育前期均较低,随着生育期的推进、温度的不断升高(图 1),土壤微生物活性有所提高,上一季未完全腐解秸秆残体和其他有机质开始加速腐解,各种环境因子(如气温和土壤温度)均较适合微生物的生长和繁殖,土壤微生物量碳、氮含量逐渐增加;至齐穗期,各种养分的分解释放随气候热量增长而提高,此时为水稻的旺盛生长期,土壤微生物量碳、氮含量达到顶峰;在成熟期,由于作物根系活力减弱、分泌物减少,土壤微生物生物量碳、氮逐渐下降。

在本研究中,长期施用无机肥在水稻不同生育时期对土壤微生物生物量碳、氮的影响较小。这是因为水稻生长消耗大部分养分且水稻植株生长状况较差,根系及残留物都较少,且长期施用化肥,尤其是无机氮肥,使土壤 C/N 比降低,加速了土壤中原有有机碳分解,导致土壤中积累的有机碳总量较少[25]。在水稻各个生育时期,稻田系统内的有机物质(秸秆)循环再利用(RF)处理土壤微生物量碳、氮含量与无肥、单独施用化肥处理相比均有一定的提高,但均低于有机无机配合施用(OM1 和 OM2)处理。可见,有机肥是稻田生态系统土壤微生物量碳和氮的重要来源和基础性物质,秸秆循环再利用能提高稻田土壤微生物量碳和氮,但其量的高低还受矿质氮影响[20]。在水稻各个生育时期,长期有机无机配合施用(OM1 和 OM2)处理能显著提高土壤微生物碳、氮含量,且均高于单施无机肥和秸秆还田处理,其原因可能是有机无机配合施用情况下,增加了根系生物量及根系分泌物,促进土壤微生物生长繁殖[26],增加了土壤微生物量碳、氮含量,这与 Goyal 等[15]研究结果一致;这也进一步表明了有机无机长期施用可以使微生物分解有机碳源速度加快,同化作用加强[27],进而提高土壤养分含量(表 1),保证较高的微生物生物量,有机无机配合施用是提高土壤活性养分的重要措施[28]。

在早稻和晚稻各个生育时期,有机无机肥处理的 SMBC/SMBN 值明显高于单施化肥和无肥处理,这与张奇春等[29]研究结果认为 NK 和 NPK 处理 SMBC/SMBN 值小于无肥处理不一致,其原因可能是由于本研究施用有机肥和秸秆还田后,为微生物活动提供了碳源;同时,有机肥和秸秆分解也消耗土壤氮素,致使稻田土壤处于“碳源富余、氮源缺乏”的状态,最终引起稻田土壤 SMBC/SMBN 值较高。土壤微生物熵能充分反映土壤中活性有机碳所占的比例,可从微生物学角度揭示土壤肥力差异[30],与土壤类型、管理措施、分析方法和采样时间等因素关系密切,其变化范围一般为 0.27%—7.0%[31]。在本研究中,微生物熵在早稻和晚稻各主要生育时期不同施肥处理之间变化趋势基本一致,各施肥处理早稻和晚稻生育期稻田土壤微生物熵的变化范围分别为 2.07%—4.54%和 2.19%—4.68%,与前人的研究报道范围相一致[31],表明长期施肥下双季稻田土壤有机碳周转速率快,微生物熵值大。其中,长期施肥处理土壤微生物熵均显著高于无肥处理,主要原因是施肥增加了生物产量,改善土壤生态环境,提高微生物活性,有利于土壤碳的“源”与“汇”。在各个施肥处理,有机无机配合施用(OM1 和 OM2)处理土壤微生物熵最高,其原因可能是有机肥与化肥配合施用有利于改善土壤部分理化性质,土壤生态环境较好,有利于土壤微生物活性提高,长期有机物的投入使微生物量碳发生变化,提高了土壤有机碳积累和土壤微生物生物量。秸秆还田配施化肥处理土壤微生物熵均高于无肥、单独施用化肥处

理,但均低于有机无机配合施用处理,其原因可能是长期采用秸秆还田,与长期单独施用化肥和无肥处理相比,有较多的秸秆碳被微生物分解转化为有机质,有机质又被土壤微生物吸收并成为其机体的一部分,提高了土壤有机碳积累和土壤微生物生物量,但其土壤有机碳的积累低于长期有机无机配合施用处理[20]。

4 结论

南方双季稻区,在大麦-双季稻三熟制种植模式条件下长期不同的施肥处理对稻田土壤养分、土壤微生物生物量碳、氮及微生物熵变化有明显的影响。长期有机无机肥合理配施使土壤微生物生物量碳、氮及土壤养分含量增加,其中以有机肥配施化肥效果为最佳。与单施化肥和无肥处理相比,秸秆还田配施化肥在一定程度上能增加土壤微生物生物量碳、氮及土壤养分含量,但其效果低于有机肥配施化肥。单施化肥对土壤养分含量及土壤微生物生物量碳、氮无显著影响。选择有机无机肥配施尤其是有机肥合理配施化肥对于培肥地力尤为重要。因此,稻田土壤微生物生物量碳氮、微生物熵等土壤微生物学特性可以作为科学评价稻田土壤健康质量的预测指标。

参考文献(References):

[1] 陈安磊, 王凯荣, 谢小立. 施肥制度与养分循环对稻田土壤微生物生物量碳氮磷的影响. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1094-1099.

[2] 彭佩钦, 吴金水, 黄道友, 汪汉林, 唐国勇, 黄伟生, 朱奇宏. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响. 生态学报, 2006, 26(7): 2262-2266.

[3] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 张昊青. 26 年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响. 生态学报, 2015, 35(5): 1445-1451.

[4] Ekenler M, Tabatabai M A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. Biology and Fertility of Soils, 2003, 39(1): 51-61.

[5] Jangid K, Williams M A, Franzluebbers A J, Sanderlin J S, Reeves J H, Jenkins M B, Endale D M, Coleman D C, Whitman W B. Relative impacts of land-use, management intensity and fertilization upon soil microbial community structure in agricultural systems. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(11): 2843-2853.

[6] Chu H Y, Lin X, Fu J T, Morimoto S, Yagi K, Hu J L, Zhang J B. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(11): 2971-2976.

[7] 李卉, 李宝珍, 邹冬生, 吴金水. 水稻秸秆不同处理方式对亚热带农田土壤微生物生物量碳、氮及氮素矿化的影响. 农业现代化研究, 2015,36(2): 303-308.

[8] 李文军, 彭保发, 杨奇勇. 长期施肥对洞庭湖双季稻区水稻土有机碳、氮积累及其活性的影响. 中国农业科学, 2015, 48(3): 488-500.

[9] 陈晓芬, 李忠佩, 刘明, 江春玉. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳、氮分布和微生物生物量的影响. 中国农业科学, 2013, 46(5): 950-960.

[10] 郝晓晖, 胡荣桂, 吴金水, 汤水荣, 罗希茜. 长期施肥对稻田土壤有机氮、微生物生物量及功能多样性的影响. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1477-1484.

[11] 卜洪震, 王丽宏, 尤金成, 肖小平, 杨光立, 胡跃高, 曾昭海. 长期施肥管理对红壤稻田土壤微生物量碳和微生物多样性的影响. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3340-3347.

[12] 周卫军, 曾希柏, 张杨珠, 周清, 郭海彦, 颜雄, 陈建国. 施肥措施对不同母质发育的稻田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1043-1048.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-108.

[14] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 54-68.

[15] Goyal S, Chander K, Mundra M C, Kapoor K K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. Biology and Fertility of Soils, 1999, 29(2): 196-200.

[16] Chilima J, Huang G Y, Wu C F. Microbial biomass carbon trends in black and red soils under single straw application: Effect of straw placement, mineral N addition and tillage. Pedosphere, 2002, 12(1): 59-72.

[17] 刘守龙, 苏以荣, 黄道友, 肖和艾, 吴金水. 微生物商对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1411-1418.

[18] 孙瑞莲, 朱鲁生, 赵秉强, 周启星, 徐晶, 张夫道. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1907-1910.

[19] 朱海平, 姚槐应, 张勇勇, 吴愉萍. 不同培肥管理措施对土壤微生物生态特征的影响. 土壤通报, 2003, 34(2): 140-142.
[20] 李娟, 赵秉强, 李秀英, Hwat B S. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响. 中国农业科学, 2008,41(1): 144-152.
[21] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96.
[22] Spedding T A, Hamel C, Mehuys G R, Madramootoob C A. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(3): 499-512.
[23] 宇万太, 赵鑫, 姜子绍, 李欣宇, 马强, 周桦. 不同施肥制度对潮棕壤微生物量碳的影响. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1574-1578.
[24] 王忠华, 叶庆富, 舒庆尧, 崔海瑞, 夏英武, 周美园. 转基因植物根系分泌物对土壤微生态的影响. 应用生态学报, 2002, 13(3): 373-375.
[25] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 储国良, 王全洪. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549-552.
[26] Tang H M, Xu Y L, Sun J M, Xiao X P, Wang K, Li W Y, Tang W G, Yang G L. Soil enzyme activities and soil microbe population as influenced by long-term fertilizer management under an intensive cropping system. Journal of Pure & Applied microbiology, 2014, 8(2): 15-23.
[27] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 关春林, 郜春花, 石彦琴. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 700-705.
[28] Bonde A T, Schniirer J, Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. Soil Biology and Biochemistry, 1988, 20(4): 447-452.
[29] 张奇春, 王光火, 方斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响. 土壤学报, 2005, 42(1): 116-121.
[30] 任天志, Crego 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.
[31] Omay A B, Rice C W, Maddux L D, Gordon W B. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(6): 1672-1678.