

不同土壤培肥措施对华北高产农田 土壤微生物生物量碳的影响

曹志平, 胡 诚*, 叶钟年, 吴文良

(中国农业大学资源与环境学院生态系, 北京 100094)

摘要:为研究华北高产农田生态系统中化肥、有机肥和秸秆还田等培肥措施对土壤微生物生物量碳的影响,在山东省桓台县冬小麦套种夏玉米的种植模式下设置了田间试验。田间试验设10个处理,依序为:①全还(小麦秸秆+玉米秸秆还田),②麦还(小麦秸秆还田),③全还+化肥1(小麦秸秆+玉米秸秆还田+600kgN/(hm²·a)),④麦还+化肥1(小麦秸秆还田+600kgN/(hm²·a)),⑤全还+化肥2(小麦秸秆+玉米秸秆还田+480kgN/(hm²·a)),⑥麦还+化肥2(小麦秸秆还田+480kgN/(hm²·a)),⑦全还+化肥3(小麦秸秆+玉米秸秆还田+720kgN/(hm²·a)),⑧麦还+化肥3(小麦秸秆还田+720kgN/(hm²·a)),⑨全还+化肥1+有机肥(小麦秸秆+玉米秸秆还田+600kgN/(hm²·a)+有机肥)和⑩化肥1(600kgN/(hm²·a))。1998年4月至1998年11月田间取样测定了土壤的微生物生物量碳。试验结果表明:在高投入的高肥力农业生态系统中,单施化肥土壤的微生物生物量碳下降,化肥抑制了土壤微生物的活性,但是由于有机物的投入,这种抑制作用会减弱。化肥和秸秆还田配合施用,增量和减量化肥对微生物生物量碳的影响不明显,秸秆还田配合施用化肥能够明显减弱化肥对微生物的抑制作用。有机肥对微生物生物量的促进作用是很明显的。不同秸秆还田方式对微生物生物量碳的影响季节变化较大,但从全年平均值来看全还处理对土壤微生物量碳的影响大于麦还处理。试验中不同处理间微生物量碳有下列趋势:化肥1<麦还+化肥1<麦还+化肥2<全还+化肥2<麦还+化肥3<全还+化肥1<全还+化肥3<麦还<全还<全还+化肥1+有机肥。因此,在高投入集约化的高肥力农田生态系统中,提倡秸秆还田和多施有机肥。

关键词:培肥措施;农业生态系统;微生物生物量碳

文章编号:1000-0933(2006)05-1486-08 **中图分类号:**Q938, S153 **文献标识码:**A

Impact of soil fertility maintaining practice on microbial biomass carbon in high production agro-ecosystem in northern China

CAO Zhi-Ping, HU Cheng*, YE Zhong-Nian, WU Wen-Liang (Department of Ecology, College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1486 ~ 1493.

Abstract: The experiment was carried out on cultivation patterns of winter wheat and summer corn in Huantai County, Shandong Province, China. The purpose of the study was to understand how soil fertility maintaining practices, such as chemical fertilizer application level, the use of organic fertilizers and the return of crop straw to the field affected the dynamics of soil microbial biomass carbon (MBC) content in a high production agro-ecosystem of northern China. Ten treatments of fertility maintaining practices in the field were chosen (where the symbol “+” means combination application): ① wheat straw + corn straw, ② wheat straw, ③ wheat straw + corn straw + chemical fertilizer1 (600kgN/(hm²·a)), ④ wheat straw + chemical fertilizer1, ⑤

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(39630070);北京市生态学重点学科资助项目(XK10019440)

收稿日期:2005-08-04; **修订日期:**2006-01-04

作者简介:曹志平(1962~),女,湖南湘乡人,博士,教授,主要从事土壤生态学研究. Email: zhiping@cau.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hucheng@webmail.hzau.edu.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Key Project Foundation of China (No. 39630070), Foundation of Key Discipline of Ecology in Beijing Municipal (No. XK10019440)

Received date: 2005-08-04; **Accepted date:** 2006-01-04

Biography: CAO Zhi-Ping, Ph. D., Professor, mainly engaged in soil ecology, E-mail: zhiping@cau.edu.cn

wheat straw + corn straw + chemical fertilizer2 ($480\text{kgN}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), ⑥wheat straw + chemical fertilizer2, ⑦wheat straw + corn straw + chemical fertilizer3 ($720\text{kgN}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), ⑧wheat straw + chemical fertilizer3, ⑨wheat straw + corn straw + chemical fertilizer1 + organic manure, and ⑩chemical fertilizer1 randomly designed and applied in the experimental plots. The content of soil MBC was measured in the different crop growth stages in laboratory. The results showed that: the content of MBC was highly impacted by the intensity of organic material input and had an ascending trend with organic material. A single chemical fertilizer application could restrain microbial activity in high production agro-ecosystem, although the restraining action was weakened by the input of organic material. An equal content of MBC was found in the plots where different fertilizer levels were combined with crop straw. Corn straw and wheat straw return to the field cooperating chemical fertilizer could significantly weak suppressive effect of chemical fertilizer to microbial activity. Organic manure application had an obvious impact on MBC concentration. Different combinations of straw (wheat straw + corn straw and wheat straw) returned to the field had distinct variation in different seasons. Further, the content of MBC in corn straw and wheat straw return to field was higher than that in wheat straw return to field from annual average MBC. The content of MBC had the following ascending trend as concerning annual average MBC: Chemical Fertilizer1 < Wheat Straw + Chemical Fertilizer1 < Wheat Straw + Chemical Fertilizer2 < Wheat Straw + Corn Straw + Chemical Fertilizer2 < Wheat Straw + Chemical Fertilizer3 < Wheat Straw + Corn Straw + Chemical Fertilizer1 < Wheat Straw + Corn Straw + Chemical Fertilizer3 < Wheat Straw < Wheat Straw + Corn Straw < Wheat Straw + Corn Straw + Chemical Fertilizer1 + Organic Fertilizer. This suggested that for a high fertility agro-ecosystem the best soil fertility maintaining practices was that of returning straw to field with organic manure.

Key words: agro-ecosystem; fertility maintaining practice; soil microbial biomass carbon

土壤微生物量,即微生物生物物质,是指生活在土壤中的体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量,它是指微生物活体的总量,其主要生物类群为细菌、真菌、放线菌和藻类等^[1,2]。土壤微生物生物量既是土壤养分循环过程的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库^[3]。因此,其在土壤肥力和植物营养供应中具有重要作用。土壤微生物生物量对农业管理措施极为敏感,是反映土壤管理变化的活指标^[4,5]。土壤微生物量碳、氮是土壤碳素和氮素养分转化和循环研究中的重要参数,它们较为直观地反映了土壤微生物和土壤肥力状况^[6]。因此土壤微生物量对了解土壤养分转化、循环具有重要的意义。因此,微生物生物量可以综合反映土壤的肥力和环境质量状况^[7,8]。微生物生物量碳在区别长期与短期土壤处理方面也非常敏感,同时还不受无机氮的直接影响,这是微生物量碳用作土壤生物指标的一大优势^[9]。因此,研究不同的施肥措施对微生物生物量的影响具有十分重要的意义。

山东省桓台县是华北典型的粮食高产县,一直都有秸秆还田的经验,以及有无机肥和有机肥配施等土壤培肥措施。但是玉米、小麦秸秆如何还田,它们和有机肥、无机肥如何配合施用,用肥量多少,对土壤微生物有何影响还不清楚。本实验通过在高产农田上进行不同的培肥措施,旨在探讨不同的培肥措施对土壤微生物生物量碳的影响,揭示不同的培肥措施与土壤微生物之间的相互作用机理,提出更加合理的培肥措施,为保持土壤的持续肥力和实现农业生态系统的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方

试验点选在华北高产粮区——山东省桓台县,以冬小麦套种夏玉米一年两熟轮作制吨粮田为主的高产粮田生态系统中。试验在经过多年秸秆还田的高产农田上设置 10 个处理(表 1),用来研究 30 多年来集约化管理对土壤生物区系及生态系统动态的影响,根据土壤生物群落及土壤理化性质的变化判断其土地生产力是否是可持续的。试验地土壤基础理化性质见表 2。每个处理 3 次重复,随机区组排列,其间均设保护行。试验处理的变量有两类:一是秸秆还田方式,二是施肥量的变化。用来研究秸秆还田方式和施肥量的变化对微生物生物量的影响。试验只有氮肥施用量在处理间有差异,磷肥和钾肥的施用量均一致,其基本施肥方案包括所有供试肥料的品种及来源都相同。其它田间管理措施如灌溉、使用机械、喷洒农药等在各地块均一致。

每年的麦秸施用量为 $7.5\text{t}/\text{hm}^2$,麦秸加倍施用量为 $15\text{t}/\text{hm}^2$,1997 年 6 月小麦收获后开始将小麦秸秆打碎

后铺在玉米茬口上还田;玉米秸秆施用量为 $8\text{t}/\text{hm}^2$,从 1997 年 9 月开始玉米秸秆还田,将玉米秸秆碾碎后翻入耕层;化肥用量为常规施肥水平 600kg (减量为 480 kg ,增量为 720 kg) $\text{N}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, $166.5\text{kgP}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, $148.5\text{ kgK}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$;施肥品种为尿素(N46%);普通过磷酸钙(P_2O_5 12%);磷酸二铵(N22%, P_2O_5 46%);KCl(K_2O 63%)。化肥施用分配在小麦季节和玉米季节中,在 10 月初种植小麦时施基肥 150kg (减量为 120 kg ,增量为 180 kg) N/hm^2 、 $99\text{kgP}/\text{hm}^2$ 、 $81\text{kgK}/\text{hm}^2$ 和在 4 月初施拔节肥 150kg (减量为 120 kg ,增量为 180 kg) N/hm^2 、P、K 肥均作基肥施入;在 5 月底种植玉米时施基肥 100kg (减量为 80 kg ,增量为 120 kg) N/hm^2 、 $67.5\text{kgP}/\text{hm}^2$ 、 $67.5\text{kgK}/\text{hm}^2$ 和在 7 月初施拔节肥及 7 月底施孕穗肥各 100kg (减量为 80 kg ,增量为 120 kg) N/hm^2 、P、K 肥均作基肥施入。有机肥是厩肥,施用量为 $30\text{m}^3/\text{hm}^2$,其鲜重全氮量为 0.24%, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 $860\text{mg}/\text{kg}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 $10\text{mg}/\text{kg}$,pH 为 7.3;10 月初玉米秸秆还田时施用有机肥和复合化肥并一起翻入耕层。冬小麦品种:鲁麦 23,种植密度为 120 万基本苗/ hm^2 ;夏玉米品种:鲁玉 10,种植密度为 80,000 株/ hm^2 。

试验取样时间为 1998 年 4 月至 1998 年 11 月,共取土样 7 次。使用 $3\text{cm} \times 20\text{cm}$ 土钻在试验处理小区随机采集 0~20cm 耕层土壤 15 钻,混合后迅速封装于塑料袋中带回,置实验室冰箱中冷藏待测。土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸- $0.5\text{MK}_2\text{SO}_4$ 浸提法测定,熏蒸提取采用 Vance 等^[10] 人的步骤,浸提液中可溶性碳采用重铬酸钾氧化外热源法测定,转换系数为 2.64。其它土壤理化性质采用常规土壤农化分析方法测定^[11]。

所得试验数据采用 EXCEL 和 SPSS 软件进行统计分析。

表 1 回顾性试验处理

Table 1 Treatments of looking behind experiment in the field

处 理 Treatment	代号 Code	玉米秸秆 Corn straw	小麦秸秆 Wheat straw	化肥 Chemical fertilizer	厩肥 Organic fertilizer
1 全还	WS + CS	+	+	-	-
2 麦还	WS	-	+	-	-
3 全还 + 化肥 1	WS + CS + CF1	+	+	+	-
4 麦还 + 化肥 1	WS + CF1	-	+	+	-
5 全还 + 化肥 2	WS + CS + CF2	+	+	+	-
6 麦还 + 化肥 2	WS + CF2	-	+	+	-
7 全还 + 化肥 3	WS + CS + CF3	+	+	+	-
8 麦还 + 化肥 3	WS + CF3	-	+	+	-
9 全还 + 化肥 1 + 有机肥	WS + CS + CF1 + OF	+	+	+	+
10 化肥 1	CF1	-	-	+	-

+ 表示有 With, - 表示无 Without; WS-wheat straw, CS-corn straw, CF-chemical fertilizer, OF-organic fertilizer; 化肥 1(CF1):常规施氮水平 ($600\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), Means used $600\text{ kgN}/\text{hm}^2$ per year; 化肥 2(CF2):比常规施氮水平低 20% ($480\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), Means 20% less than "chemical fertilizer1" for the application $480\text{ kgN}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 化肥 3(CF3):比常规施氮水平高 20% ($720\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), Means 20% more than "chemical fertilizer1" for the application $720\text{ kgN}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$

表 2 土壤理化性质

Table 2 Physicochemical properties of experiment field soil

有机质 (%) Organic matter	全氮 (%) Total N	全磷 (%) Total P	有效磷 (mg/kg) Available P	缓效钾 (mg/kg) Slowly available K	有效钾 (mg/kg) Available K	pH 值 pH
1.83	0.12	0.11	19.83	774.23	135.37	8.26

2 结果与分析

2.1 化肥对土壤微生物生物量碳的影响

2.1.1 麦还及麦还配施化肥对土壤微生物生物量碳的影响 将处理 2(麦还)与处理 4(麦还 + 化肥 1)比较发现(图 1),土壤微生物量碳除了 6 月份之外,处理 2(麦还)都比处理 4(麦还 + 化肥 1)要高一些,而且在 4 月、5 月、8 月、9 月和 11 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),但在 6 月份处理 4(麦还 + 化肥 1)要比处理 2(麦还)高一些,差异也达到显著水平($p < 0.05$),可能是在 6 月高温、高湿条件下,有机质的分解达到最高水平,微生物活动需要大量的氮素,化肥提供了麦秆分解所需要的氮素所致。从全年平均值来看,处理 2(麦还)

的土壤微生物量碳要比处理 4(麦还 + 化肥 1)高 23.42%, 差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 可能是长期施用化肥使土壤板结, pH 值下降, 通气性差, 微生物活性减弱。

将处理 2(麦还)与处理 6(麦还 + 化肥 2)比较发现(图 2), 土壤微生物量碳除了 6 月份之外, 处理 2(麦还)都比处理 6(麦还 + 化肥 2)要高一些, 而且在 4 月、5 月、8 月和 11 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 但在 6 月份处理 6(麦还 + 化肥 2)要比处理 2(麦还)高一些, 差异也达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 可能是在 6 月高温、高湿条件下, 有机物分解迅速, 微生物活动需要大量的氮素, 化肥提供了麦秆分解所需要的氮素所致。从全年平均值来看, 处理 2(麦还)的土壤微生物量碳要比处理 6(麦还 + 化肥 2)高 21.12%, 差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 可能是长期施用化肥使土壤板结, pH 值下降, 通气性差, 微生物活性减弱。

将处理 2(麦还)与处理 8(麦还 + 化肥 3)比较发现(图 3), 土壤微生物量碳除了 6 月份之外, 处理 2(麦还)都比处理 8(麦还 + 化肥 3)要高一些, 而且在 4 月和 11 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 但在 6 月份处理 8(麦还 + 化肥 3)要比处理 2(麦还)高一些, 差异也达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 可能是在 6 月高温、高湿条件下, 有机物分解迅速, 微生物活动需要大量的氮素, 化肥提供了麦秆分解所需要的氮素所致。从全年平均值来看, 处理 2(麦还)的土壤微生物量碳要比处理 8(麦还 + 化肥 3)高 12.85%, 差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 可能是长期施用化肥使土壤板结, pH 值下降, 通气性差, 微生物活性减弱。

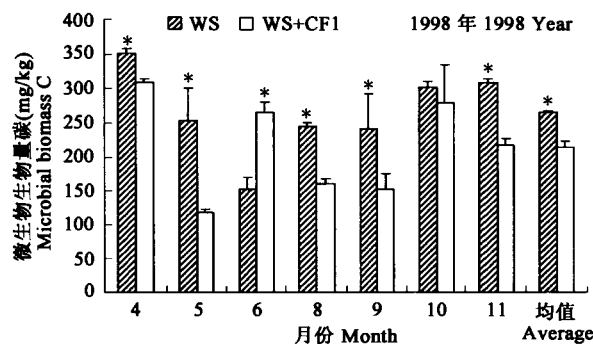


图 1 施用化肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理 2 和处理 4 比较)

Fig. 1 Impact of employing organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 2 and treatment 4)

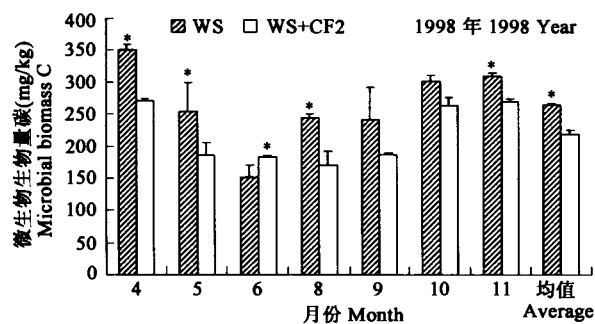


图 2 施用化肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理 2 和处理 6 比较)

Fig. 2 Impact of employing organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 2 and treatment 6)

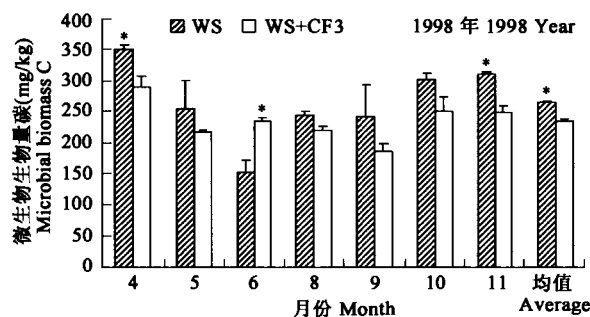


图 3 施用化肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理 2 和处理 8 比较)

Fig. 3 Impact of employing organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 2 and treatment 8)

2.1.2 全还及全还配施化肥对土壤微生物生物量碳的影响 将处理 1(全还)与处理 3(全还 + 化肥 1)比较发现(图 4), 土壤微生物量碳除了 4 月、6 月和 11 月之外, 其它月份处理 1(全还)比处理 3(全还 + 化肥 1)要高一些, 而且在 8 月和 10 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 但在 6 月份处理 3(全还 + 化肥 1)要比处理 1(全还)高一些, 差异也达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test), 可能是在 6 月高温、高湿条件下, 有机物分解迅速, 微生物活动需要大量的氮素, 化肥提供了麦秆分解所需要的氮素所致。从全年平均值来看, 处理 1(全还)的土壤微生物量碳要比处理 3(全还 + 化肥 1)高 7.49%。

将处理 1(全还)与处理 5(全还 + 化肥 2)比较发现(图 5), 土壤微生物量碳除了 6 月和 9 月之外, 处理 1(全还)都比处理 5(全还 + 化肥 2)要高一些, 而且在 5 月、10 月和 11 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -

test),但在6月份处理5(全还+化肥2)要比处理1(全还)高一些,差异也达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),可能是在6月高温、高湿条件下,有机物分解迅速,微生物活动需要大量的氮素,化肥提供了麦秆分解所需要的氮素所致。从全年平均值来看,处理1(全还)的土壤微生物量碳要比处理5(全还+化肥2)高17.29%,差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),可能是长期施用化肥使土壤板结,pH值下降,通气性差,微生物活性减弱。

将处理1(全还)与处理7(全还+化肥3)比较发现(图6),土壤微生物量碳除了4月和6月之外,处理1(全还)都比处理7(全还+化肥3)要高一些,而且在11月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),但在6月份处理5(全还+化肥2)要比处理1(全还)高一些,差异也达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),可能是在6月高温、高湿条件下,有机物分解迅速,微生物活动需要大量的氮素,化肥提供了麦秆分解所需要的氮素所致。从全年平均值来看,处理1(全还)的土壤微生物量碳要比处理7(全还+化肥3)高7.22%。

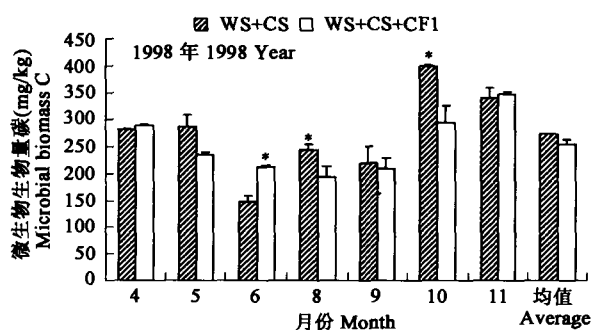


图4 施用化肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理1和处理3比较)

Fig.4 Impact of employing organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 1 and treatment 3)

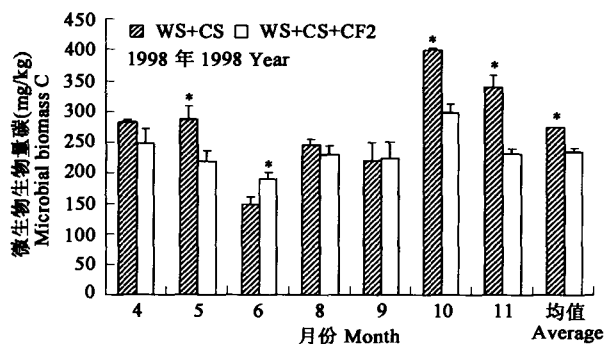


图5 施用化肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理1和处理5比较)

Fig.5 Impact of employing organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 1 and treatment 5)

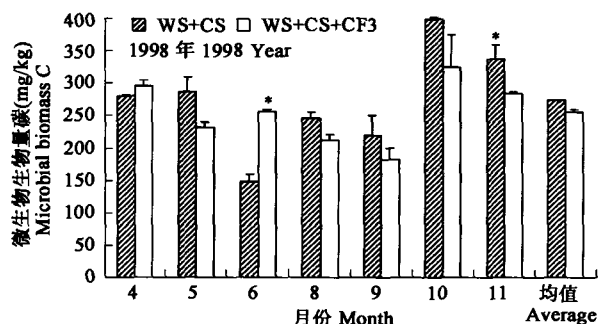


图6 施用化肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理1和处理7比较)

Fig.6 Impact of employing organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 1 and treatment 7)

因此,无论是麦还与麦还加不同施肥量的化肥处理比较还是全还与全还加不同施肥量的化肥处理比较都可以看出,在长期施用化肥的高肥力农田生态系统中,施用化肥抑制了土壤微生物的活性。但在全还处理中,玉米秸秆是翻埋在土中与土壤充分接触,对土壤微生物的促进作用较大,化肥对微生物的抑制作用有所减弱。

2.2 有机物对土壤微生物生物量碳的影响

2.2.1 有机肥对土壤微生物生物量碳的影响 从图7可以看出,土壤微生物生物量碳在所有月份都是处理9(全还+化肥1+有机肥)高于处理3(全还+化肥1),而且在6月、8月和10月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test)。从全年平均值来看,处理9(全还+化肥1+有机肥)的微生物量碳比处理3(全还+化肥1)高20.45%,差异也达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test)。这说明有机肥可以显著提高土壤的微生物生物量碳,主要是添加的有机肥可以立即为微生物的生长提供碳源和氮源,而秸秆则需要一定的热量和水分,逐渐分解供微生物生长。

2.2.2 秸秆还田对土壤微生物生物量碳的影响 处理4(麦还+化肥1)和处理10(化肥1)比较发现(图8),在4月、6月和10月份,麦还+化肥处理比化肥处理的微生物量碳高一些,在4月和6月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test);而在5月、8月、9月和11月化肥处理比麦还+化肥处理的微生物量碳高一些,8月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),可能是7月底施孕穗肥促进了作物的旺盛生长,增加了根系极其分泌

物,从而提高了微生物量碳。从全年平均值来看,处理 4(麦还+化肥 1)比处理 10(化肥 1)高 15.57%。

处理 3(全还+化肥 1)和处理 10(化肥 1)比较发现(图 9),除了 8 月份之外,全还+化肥处理在其它月份比化肥处理的微生物量碳高一些,而且在 4 月、5 月和 11 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test)。从全年平均值来看,处理 3(全还+化肥 1)比处理 10(化肥 1)高 37.34%,差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),主要是因为小麦和玉米秸秆分解需要较长的时间,所以微生物的数量一直处于较高的水平。

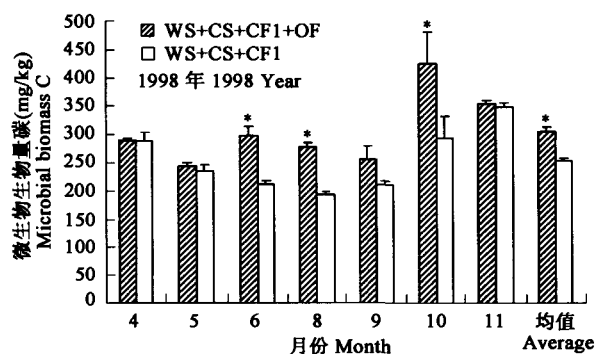


图 7 施用有机肥对土壤微生物生物量碳的影响(处理 3 和处理 9 比较)

Fig.7 Impact of applied organic fertilizer to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 3 and treatment 9)

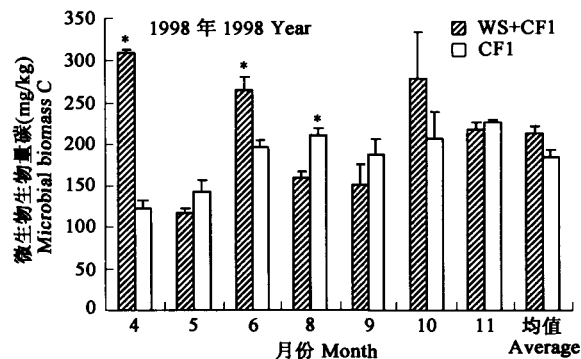


图 8 秸秆还田对土壤微生物生物量碳的影响(处理 4 和处理 10 比较)

Fig.8 Impact of applied organic fertilizer to soil microbial biomass carbon in forward experiment (comparison of treatment 4 and treatment 10)

因此,无论是秸秆全还还是麦秆还田配施化肥,秸秆还田都减弱了化肥对微生物的抑制作用,使微生物生物量碳显著提高。

2.2.3 不同的秸秆还田方式对土壤微生物生物量碳的影响 处理 1(全还)和处理 2(麦还)比较发现(图 10),全还处理在 5 月、8 月、10 月和 11 月比麦还处理的微生物量碳高一些,而且在 10 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),主要是 10 月份玉米秸秆翻埋在土中与土壤充分接触,显著增加了土壤的微生物数量。但在 4 月、6 月和 9 月麦还处理比全还处理微生物量碳要高一些,主要是 6 月开始小麦秸秆还田所致。从全年平均值来看,处理 1(全还)的微生物量碳比处理 2(麦还)略高一些,为 3.48%。

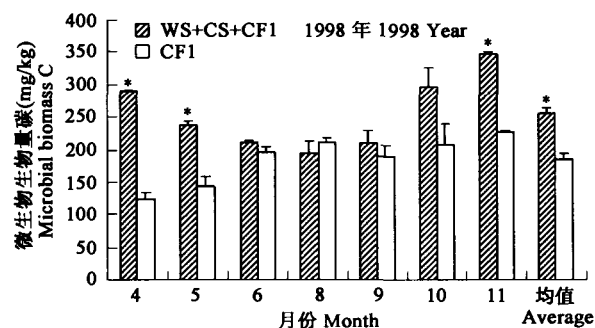


图 9 秸秆还田对土壤微生物生物量碳的影响(处理 3 和处理 10 比较)

Fig.9 Impact of applied organic fertilizer to soil microbial biomass carbon in forward experiment (comparison of treatment 3 and treatment 10)

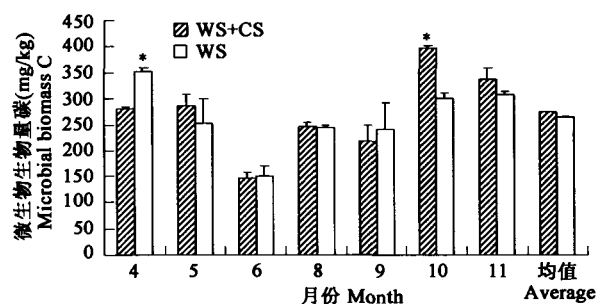


图 10 不同秸秆还田方式对土壤微生物生物量碳的影响(处理 1 和处理 2 比较)

Fig.10 Impact of different straw return to the field to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 1 and treatment 2)

将处理 3(全还+化肥 1)和处理 4(麦还+化肥 1)比较可以看出(图 11),土壤微生物生物量碳除了 4 月、6 月之外,其它月份都是处理 3(全还+化肥 1)高于处理 4(麦还+化肥 1),而且在 5 月和 11 月差异达到显著水平(*, $p < 0.05$, t -test),但在 6 月份处理 4(麦还+化肥 1)要比处理 3(全还+化肥 1)高一些,差异也达到显

著水平 (*, $p < 0.05$, t -test)。从全年平均值来看,处理 3(全还 + 化肥 1)的微生物量碳比处理 4(麦还 + 化肥 1)高 18.83%,差异达到显著水平 (*, $p < 0.05$, t -test)。主要是因为全还是在玉米生长期覆盖小麦秸秆,而在小麦播种期和玉米秸秆一起翻入土中,对土壤微生物的影响更大一些。

从处理 9(全还 + 化肥 1 + 有机肥)与处理 3(全还 + 化肥 1)及处理 3(全还 + 化肥 1)和处理 4(麦还 + 化肥 1)比较可以看出,全还配合有机肥处理对微生物量的影响大于全还处理、全还处理大于麦还处理,说明有机物质投入的越多,微生物量增加的越多。

3 结论与讨论

研究表明,无论是和秸秆全还配施还是和麦秆还田配施,化肥都降低了土壤的微生物生物量碳,抑制了微生物的生长。化肥和秸秆还田配合施用时,增量和减量化肥对微生物生物量碳的影响不明显。在长期施用化肥的高肥力农田生态系统中,化肥抑制了土壤微生物的活性,主要是因为施用化肥对微生物有直接的毒害作用^[12]。同时长期施用化肥使土壤板结, pH 值下降,通气性差,微生物活性减弱^[13]。由于有机物的投入,这种抑制作用会减弱,因为秸秆还田提高了土壤的有机质,改善了土壤的物理化学性状,提高了土壤微生物的活性^[14-16]。因此,在高投入集约化的农业生态系统中,单独化肥的培肥效果差,增加化肥的用量效果不明显,施用化肥对微生物表现出抑制作用。

有机物投入的强度对微生物生物量有较大的影响,随着有机物的投入,微生物生物量增加,而且有机物质投入的越多,微生物生物量增加的越多。有机物施用,可以提高土壤微生物的活性^[17]。有机肥对微生物生物量的促进作用是很明显的,因为有机肥是一种腐熟的肥料,施入之后在改善土壤理化性状的同时也为微生物的生长提供了良好的环境条件和能源,而且微生物繁殖所需的时间很短,因此引起土壤微生物生物量的迅速增加^[18]。秸秆全还处理对土壤微生物量碳的影响高于麦还处理,原因是全还是小麦秸秆在玉米生长期田间覆盖,在小麦播种期间和玉米秸秆翻埋在土中与土壤充分接触,对土壤微生物的影响时间长,强度大一些;而小麦秸秆是在玉米生长期覆盖,种植玉米时才翻入土中,对土壤微生物的影响小一些。无论是秸秆还田还是施用有机肥都增加了土壤的微生物生物量,主要是因为输入系统的碳量增加了,而碳经常是微生物繁殖的限制因子^[19]。有机肥中及秸秆分解中产生的可利用的 N 及其它营养元素又促进了作物的生长,增加了根的生长和根系分泌物,因而也促进了土壤微生物的繁殖,提高了微生物生物量^[20]。

总之,高水平的肥料投入虽然可以增加高肥力的农业生态系统土壤微生物生物量,但不同的肥料投入方式和施肥量对土壤微生物生物量的影响还是不同的,特别是随着有机物的增加,土壤微生物生物量随着增加。单施化肥不能够增加土壤的微生物生物量,相反还表现出一种抑制作用,随着有机物的投入,这种抑制作用会减弱,增加或减少化肥的用量对微生物的影响不明显。因此,在长期集约化的高投入农业生态系统中提倡秸秆还田和多施有机肥。

References:

- [1] He Z L. Soil microbial soil carbon and significance in nutrient cycling and environmental quality evaluation. *Soil*, 1997, 29(2): 61 ~ 69.
- [2] Li D P, Wu Z J, Chen L J, *et al.* Dynamics of microbial biomass C in a black soil under long-term fertilization and related affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 14(8): 1334 ~ 1338.
- [3] Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 89 ~ 96.
- [4] Zhang H, Zhang G L. Microbial biomass carbon and total organic carbon of soils as affected by rubber cultivation. *Pedosphere*, 2003, 13(4): 353 ~ 357.

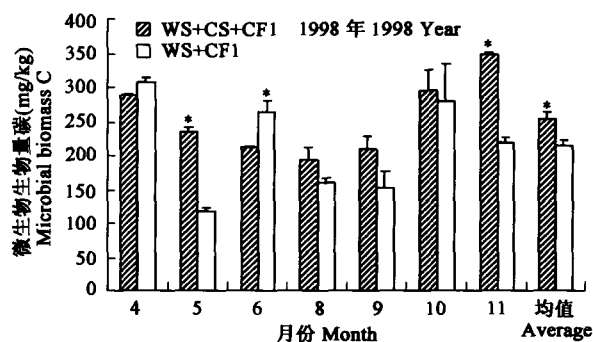


图 11 不同秸秆还田方式对土壤微生物生物量碳的影响(处理 3 和处理 4 比较)

Fig. 11 Impact of different straw return to the field to soil microbial biomass carbon (comparison of treatment 3 and treatment 4)

- [5] Nsabimana D, Haynes R J, Wallis F M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26: 81 ~ 92.
- [6] Wang J H, Liu J S, Yu J B, *et al.* Effect of fertilizing N and P on soil microbial biomass carbon and nitrogen of blacksoil corn agroecosystem. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1): 35 ~ 38.
- [7] Yu S, Li Y, Wang J H, *et al.* Study on the soil microbial biomass as a bio-indicator of soil quality in the red earth ecosystem. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(3): 413 ~ 421.
- [8] Spedding T A, Hamel C, Mehuys G R, *et al.* Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 499 ~ 512.
- [9] Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 68 ~ 75.
- [10] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial C. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19: 703 ~ 707.
- [11] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Physical-Chemical Analysis of Soil*. Shanghai, Shanghai Science and Technology Publishing Press, 1980. 1 ~ 490.
- [12] Hopkins D W, Shiel R S. Size and activity of soil microbial communities in long-term experimental grassland plots treated with manure and inorganic fertilizers. *Biology & Fertility of Soils*, 1996, 22: 66 ~ 70.
- [13] 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 & Biochemistry*, 2005, 37: 613 ~ 623.
- [14] Gupta V V S R, Roper M M, Kirkegaard J A, *et al.* Changes in microbial biomass and organic matter levels during the first year of modified tillage and stubble management practices on a red earth. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32: 1339 ~ 1354.
- [15] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19: 159 ~ 164.
- [16] Jiang Y H, Yu Z R, Ma Y L. The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth. *Chinese of Journal of Soil Science*, 2001 32(5): 209 ~ 213.
- [17] Lao X R, Sun W H, Wang Z, *et al.* Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618 ~ 623.
- [18] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effect of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13: 209 ~ 218.
- [19] Gunapala N, Scow K M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30: 805 ~ 816.
- [20] Kanchikerimath M, Singh D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 2001, 86: 155 ~ 162.

参考文献:

- [1] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评估中的意义. *土壤*, 1997, 29(2): 61 ~ 69.
- [2] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土微生物量碳动态变化及影响因素. *应用生态学报*, 2004, 14(8): 1334 ~ 1338.
- [3] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. *土壤学报*, 2002, 39(1): 89 ~ 96.
- [6] 王继红, 刘景双, 于君宝, 等. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 35 ~ 38.
- [7] 俞慎, 李勇, 王俊华, 车玉萍, 等. 土壤微生物作为红壤质量生物指标的探讨. *土壤学报*, 1999, 36(3): 413 ~ 421.
- [9] 任天志. 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.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化性质分析. 上海: 上海科技出版社, 1980. 1 ~ 490.
- [16] 江永红, 宇振荣, 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.
- [17] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 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.