

不同 O₂ 浓度对土壤微生物生物量碳的影响

关松 奚森* (吉林农业大学资源与环境学院, 吉林长春 130118)

摘要 [目的] 研究特定的 O₂ 培养条件下土壤微生物生物量碳(SMBC)的动态变化规律。[方法] 通过室内模拟试验,研究了玉米秸秆分解期间SMBC对不同 O₂ 浓度的响应。[结果] 土壤添加玉米秸秆后,激发了土壤微生物生长,在培养第1天各处理SMBC达到了整个培养期最高峰后迅速下降,90d后SMBC下降趋势趋于平缓。在不同浓度的 O₂ 培养条件下,0~15d短期培养期间,各处理SMBC间差异不显著,O₂浓度为0的SMBC一直保持较高数量。长期培养期间(30~270d),SMBC随着 O₂ 浓度的升高而增加,各处理间差异显著。[结论] 各处理SMBC分别与土壤有机碳、腐殖物质、富里酸和胡敏素间均呈显著正相关。O₂浓度为21%的SMBC与土壤可溶性有机碳呈正相关($r=0.649, P<0.05$),表明正常大气条件更有利于土壤微生物的活性。

关键词 O₂ 浓度;土壤微生物生物量碳;相关性

中图分类号 S154.34 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)05-02075-03

Effects of Different Oxygen Concentration on Soil Microbial Biomass Carbon

GUAN Song et al (College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract [Objective] The purpose was to study the dynamic law of soil microbial biomass carbon (SMBC) under special oxygen (O₂) culture condition. [Method] Response of SMBC to different O₂ concn. was investigated during corn stalk decomposition by laboratory incubation experiment. [Result] The addition of corn stalk in soil excited the growth of soil microorganism, SMBC in each treatment reached peak of whole incubation period on first day and then dropped rapidly, SMBC went down slowly after 90 d. Under the culture condition with different O₂ concn., the difference on SMBC among different treatments was not notable during short times from 0 d to 15 d and SMBC maintained the high quantity continuously when the O₂ was 0. SMBC was increased with the elevation of oxygen concn. and the difference on SMBC among different treatments was notable during long culture times from 30 d to 270 d. [Conclusion] Soil organic carbon, humic substances, fulvic acid and humin were positively correlated with SMBC in each treatment, resp. The water-soluble organic carbon was positively correlated with SMBC ($r=0.649, P<0.05$) when O₂ was 21%, which indicated that normal atmosphere condition was more advantageous to the activity of soil microorganism.

Key words Oxygen concentration; Soil microbial biomass carbon; Correlativity

土壤有机质是土壤的重要组成部分,是评价土壤肥力的重要指标。为了保证农业土壤的持续生产,需要不断维持和提高土壤有机质数量和质量^[1],而土壤有机培肥是培肥土壤和提高土壤质量最有意义的途径^[2]。有机物料在土壤中分解、转化以及形成土壤腐殖物质都离不开土壤微生物的作用,土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力,是土壤有机质转化的执行者,土壤微生物生物量碳(SMBC)是土壤有机碳的灵敏指示因子^[3]。土壤微生物与环境条件关系密切,它们的生命活动受环境因素的制约,温度、水分、土壤的pH值及土壤通气状况(氧气)均会影响土壤微生物的活性^[4],从而影响土壤有机质的周转。笔者研究在特定的O₂培养条件下SMBC的动态变化规律,并对SMBC与土壤有机质的各组分进行相关性分析。

1 材料与方 法

1.1 材料 供试土壤于2003年8月采自吉林省农安县新刘家镇刘家村3社(44°11'39.7" N, 125°07'58.5" E, 海拔200.0 m),为黑钙土,采样深度为0~40 cm。将土壤风干并过2.00、1.00、0.25 mm筛备用。土壤基本性质分别为土壤有机碳8.2 g/kg、全氮1.3 g/kg、碱解氮86.5 mg/kg、有效磷17.0 mg/kg、pH值为8.0、C/N为14。玉米秸秆采自吉林农业大学试验站玉米田。烘干、粉碎,过60目筛。该玉米秸秆含有机碳为442.3 g/kg、全氮为5.6 g/kg、C/N约为79。

1.2 试验设计 设5个处理,3次重复。每个处理CO₂浓度均设为0.03%±2%,O₂浓度分别为:O₀=0(处理1),O_A=10%±2%(处理2),O_B=21%±2%(处理3),O_C=85%±2%

(处理4),CK为未加有机物料(正常大气条件下培养)。黑钙土(风干土)150 g,玉米秸秆加入量为4%(有机物料占风干土重的百分数)。将风干土在不加有机物料情况下加入蒸馏水调至田间持水量的70%左右,预培养1周以激活土壤微生物。然后将玉米秸秆和土壤混匀,加入硫酸铵调节土壤C/N为20,加蒸馏水至田间持水量的70%,实际含水量为(323±20) g/kg,装入250 ml烧杯中。同时设对照CK。将各处理样品置于恒温25℃及不同浓度O₂培养条件下的密闭塑料桶内,在桶的两侧上下各打一个孔,插入套有胶管的玻璃管,并用凡士林密封,下孔通气,上孔排气。用氧气、二氧化碳测定仪(CYES型,上海嘉定学联仪表厂)检测桶内O₂和CO₂浓度。0~30d每6h调节桶内气体浓度,30~60d每天调节1次气体浓度,60d后每3d调节1次气体浓度。每次取样后重新调节各处理的气体浓度。由于各处理样品置于密闭桶内,桶内湿度较难恒定,当水分减少3g时再行补水。动态取样时间为0.5、1、3、7、15、30、60、90、180、270d。

1.3 分析测定方法 土壤腐殖质分组用Kunada改进法^[5];有机碳测定采用重铬酸钾容量法^[6];SMBC测定采用氯仿薰蒸蒸浸提法^[7-8];全氮测定用半微量开氏法。用Excel及DPS进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 SMBC随时间的变化 从图1、2可以看出,加有玉米秸秆的各处理与对照相比,在整个培养过程中SMBC显著增加,在培养后第1天各处理SMBC均达到最大值,氧气浓度分别为0、10%、21%、85%的处理,SMBC由开始的876.21 ng/kg分别增至11 692.62、12 016.06、11 645.97、13 094.97 ng/kg,分别为原来的13.34、13.71、13.29、14.94倍。这主要是由于培养初期玉米秸秆本身含有较多的水溶性物质,水溶性有机碳是微生物的速效碳源,从而激发了土壤微生物大量增殖。在

基金项目 国家自然科学基金(40471076)。

作者简介 关松(1969-),女,辽宁抚顺人,在读博士,副教授,从事土壤生物化学研究。* 通讯作者。

收稿日期 2008-12-01

3、7、15、30 d 各处理SMBC 迅速下降,一方面水溶性有机碳等易分解有机物质逐渐被微生物利用而减少,同时产生了相对较难利用的有机质;另一方面由于底物的加入在开始的一段时间内明显加速了SMBC 周转^[9],微生物自身降解速率大于合成速率最终导致SMBC 迅速下降。60 d,SMBC 略有升高,90 d 以后SMBC 下降趋势趋于平缓,后期180~270 d 由于易分解养分耗竭,微生物被迫分解土壤中较难降解的大分子有机质,分解缓慢,而且不再有外部有机物质的投入,单位时间内合成的微生物量与分解的微生物量相等,因此,土壤中微生物量处于一种潜在的相对平衡状态。

2.2 不同 O₂ 浓度对 SMBC 的影响 在短期培养期间,各处理SMBC 均保持较高水平且各处理间差异不显著(图1)。这是由于土壤在未加入玉米秸秆时进行了1周预培养,激活了土壤微生物,加入玉米秸秆后,在短期内为各处理土壤微生物都提供了充足有效的速效碳源,激发了微生物生长。特别是 O₂ 浓度为0 的SMBC 并不因其无氧环境而低于有氧处理,相反在0~15 d 的短期培养期间一直保持较高数量。一方面,该处理在加入玉米秸秆之前经过1周预培养,激活了土壤微生物;另一方面,从微生物的合成作用来看,微生物分为自养微生物和异养微生物,自养微生物包括光能和化能无机营养两类型,它们只需从外界吸收无机养料进行生长繁殖,并依赖外界有机物质生活,同时需要一些无机化合物,这类微生物除了 O₂ 外,还能利用无机物(如硝酸盐和硫酸盐等)作为电子受体进行无氧呼吸,即所谓的化能自养细菌(如亚硝酸或硝酸细菌、硫细菌和硫化细菌等);从微生物分解代谢来看,有发酵作用和呼吸作用,发酵作用是不需要分子态氧做电子受体的氧化作用,为厌氧代谢,发酵过程中电子供体和受体也是有机物分子。在无氧条件下,化能自养细菌可以利用无机物进行无氧呼吸,同时又由于秸秆的加入提供了大量有机物质,进一步促进了发酵作用和呼吸作用。由于硫化细菌的存在(土壤样品加入了一定量(NH₄)₂SO₄ 以调节土壤 C/N),在处理培养桶内,有强烈的 H₂S 气体味道,这一现象更加证实了以上推测。综上所述,或许可以解释无氧条件下也拥有较高SMBC 原因。但随着培养时间的延长,有机物质被大量分解之后,厌氧呼吸作用减弱,所以长期培养期间处理1 SMBC 低于有氧处理,但仍高于对照(图2)。

由图2 可知,在长期培养期间,SMBC 随着 O₂ 浓度的升高而增加。各处理SMBC 大小顺序为处理1 < 处理2 < 处理3 < 处理4,各处理之间差异显著。在有氧条件下,土壤中主要氧化剂是土壤空气中的 O₂,能促进土壤化学与生物化学作用,且土壤生物化学过程的方向与强度,在很大程度上决定于土壤空气和溶液中 O₂ 含量。而土壤空气中的 O₂ 主要来自于与大气 O₂ 之间的气体交换,由于土壤空气与大气中 CO₂ 和 O₂ 浓度存在着分压差,大气中 O₂ 浓度越高,驱使土壤空气中 CO₂ 气体分子不断向大气扩散,而 O₂ 分子不断从大气向土壤扩散。土壤中的主要还原性物质是有机质,尤其是新鲜未分解的有机质^[10],因此,当土壤中加入大量新鲜有机物料的时候,土壤微生物因获得大量速效碳源而活动旺盛,好氧微生物的活动需要耗氧,微生物活动越强烈,耗氧越多,大气中 O₂ 浓度越高,越有利于好气性微生物的生长。

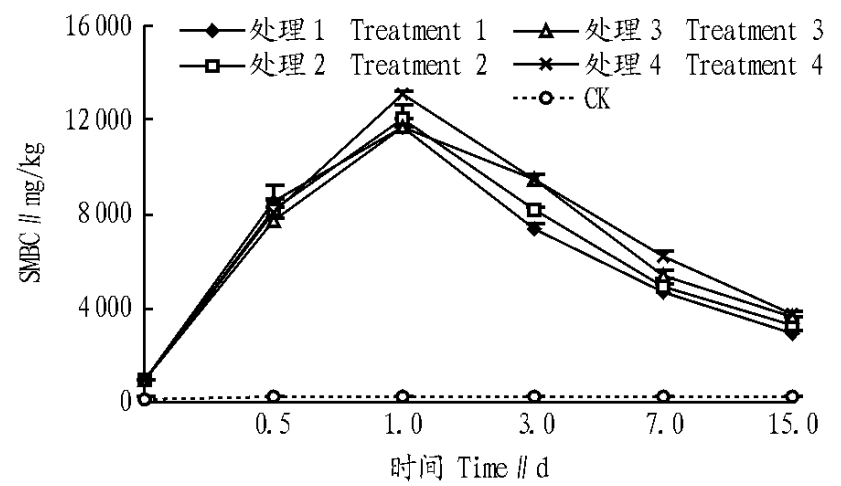


图1 短期培养期间不同 O₂ 浓度对SMBC 的影响

Fig.1 Effects of different oxygen concentration on the soil microbial biomass carbon during the period of short-term culture

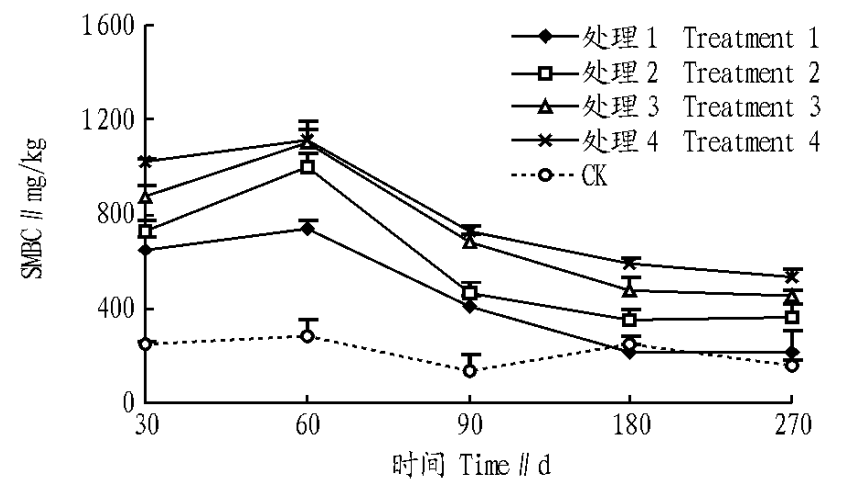


图2 长期培养期间不同 O₂ 浓度对SMBC 的影响

Fig.2 Effects of different oxygen concentration on the soil microbial biomass carbon during the period of long-term culture

2.3 SMBC 与土壤有机碳及其组分间的相关性分析 土壤有机质包括水溶性物质、碱提取腐殖物质和胡敏素,根据酸碱溶解性的不同把碱提取腐殖物质分为胡敏酸、富里酸2个组分。近些年来,土壤微生物生物量因其在碳素循环中的重要作用也备受关注。有机物料在土壤中分解期间,一部分碳被微生物同化,一部分碳则被微生物利用合成腐殖物质。

由表1 可知,在不同浓度的 O₂ 培养条件下,加有玉米秸秆各处理SMBC 与土壤有机碳呈显著正相关,表明土壤有机碳是土壤微生物的碳源。汪清奎等研究也认为,SMBC 与土壤有机碳间的相关性达到了显著水平($r = 0.644$, $P < 0.05$)^[11]。SMBC 与碱提取腐殖物质(包括胡敏酸和富里酸)呈显著正相关,腐殖物质是有机物料在微生物和酶的作用下分解形成的一类特殊类型的高分子有机化合物^[12],土壤添加玉米秸秆后,土壤有机碳的增加促进了微生物的活性,增强了微生物合成腐殖物质的能力,使腐殖物质随着土壤有机碳、SMBC 的增加而增加。但随着培养时间的延长,土壤有机碳不断分解转化,微生物可利用的碳源减少,SMBC 下降,一方面微生物合成腐殖物质的能力减弱,另一方面,微生物由于缺乏能源,而被迫分解高分子有机化合物,使腐殖物质随着土壤有机碳、SMBC 的减少而减少。这也正表明了生态系统中土壤微生物在植物残体降解、腐殖物质形成及养分转化与循环中扮演着十分重要的角色^[13]。在腐殖物质形成的多种学说中,来自木质素的多元酚理论认为,木质素经过微生物的作用后,首先形成的是富里酸,进一步的聚合再形成胡敏酸和胡敏素。关松等研究也认为,在玉米秸秆分解初期,富里酸先于胡敏酸形成^[5]。而表1 中SMBC 与富里酸呈

显著正相关或许可以为这一理论提供依据。SMBC 与胡敏素间呈正相关,表明胡敏素的形成与分解也离不开土壤微生物的作用。

由表1 可以看出,不同 O₂ 浓度处理各组间虽存在着上述共性,但个别处理也表现出某些特性,在正常大气培养条件下(O₂ 为21%),SMBC 与土壤水溶性有机碳呈正相关,而其他处理没有体现出这种相关性。这表明 O₂ 浓度降低,

抑制了土壤微生物的活性,正常的大气条件更有利于土壤微生物的活动。Liang 等的研究也证实了 SMBC 与土壤水溶性有机碳呈极显著正相关,表明土壤水溶性有机碳是土壤微生物的有效碳源^[14-15]。以上所讨论的加有玉米秸秆各处理 SMBC 与土壤有机碳及其组分间的相关性,在 CK 中没有体现出来,说明 CK 处理由于原土未添加有机物料,土壤腐殖化程度较高,有机质及其各组分间的分解与转化已趋于平衡态。

表1 不同 O₂ 浓度 SMBC 与土壤有机碳及其组分间的相关系数

Table 1 The correlation coefficients among SMBC, soil organic carbon and its components under different oxygen concentration

O ₂ 浓度 %	土壤有机碳	土壤水溶性有机碳	腐殖物质	胡敏酸	富里酸	胡敏素
O ₂ concentration	Soil organic carbon	Soil water-soluble organic carbon	Humic substance	Humic acid	Fulvic acid	Humic
0	0.911**	0.539	0.917**	0.135	0.985**	0.858**
10	0.871**	0.553	0.916**	-0.090	0.987**	0.913**
21	0.822**	0.649*	0.930**	-0.158	0.979**	0.866**
85	0.816**	0.517	0.927**	-0.165	0.971**	0.915**
CK	0.330	0.372	0.368	0.149	0.190	-0.002

注:*、** 分别表示在0.05、0.01 水平存在差异。

Note: * and ** stand for difference at 0.05 and 0.01 levels respectively.

3 结论

(1) 土壤添加玉米秸秆后,激发了土壤微生物生长,在培养第1 天各处理 SMBC 达到了整个培养期最高峰后迅速下降,60 d SMBC 有所升高,60 d 以后 SMBC 的下降趋势趋于平缓。180~270 d,单位时间内合成微生物量与分解微生物量相等,土壤中微生物量处于一种潜在的相对平衡状态。

(2) 在不同浓度的 O₂ 培养条件下,0~15 d 短期培养期间,各处理 SMBC 间差异不显著,且 O₂ 为0 处理 SMBC 一直保持较高数量,是厌氧条件下大量厌氧菌如硫细菌或硫化细菌存在的结果。长期培养期间,SMBC 随着 O₂ 浓度的升高而增加,各处理间差异显著。

(3) 土壤微生物在玉米秸秆分解、腐殖物质形成与转化过程中起着重要的作用。添加玉米秸秆的各处理虽然处在不同 O₂ 浓度条件下,但 SMBC 与土壤有机碳各组分间的相关性存在着共性,各处理 SMBC 分别与土壤有机碳、腐殖物质、富里酸、胡敏素间均呈显著正相关。O₂ 浓度为 21% 的 SMBC 与土壤可溶性有机碳呈正相关($r = 0.649$, $P < 0.05$),表明正常大气条件更有利于土壤微生物的活性。

参考文献

[1] 单秀枝,魏由庆.土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响[J].土壤学报,1998,35(1):1-9.

- [2] 窦森,李超,张继宏,等.持续发展农业与土壤有机培肥 C//张继宏,颜丽,窦森.农业持续发展的土壤培肥研究.沈阳:东北大学出版社,1995:19-25.
- [3] 沈宏,曹志洪.施肥对不同农田土壤微生物活性的影响[J].农村生态环境,1997,13(4):29-35,54.
- [4] 李阜棣.土壤微生物学[M].北京:农业出版社,1993:109-112,28-30.
- [5] 关松,窦森,王玉珍.培养条件下 CO₂ 对施入玉米秸秆后土壤有机质的影响[J].吉林农业大学学报,2006,28(3):296-302.
- [6] 劳家桢.土壤农化分析手册[M].北京:农业出版社,1988:237-239.
- [7] VANCE E D. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biol Biochem,1987,19:703-707.
- [8] 林启美,吴玉光.熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J].生态学杂志,1999,18(2):63-66.
- [9] 陈国潮,何振立,黄昌勇.红壤微生物生物量 C 周转及其研究[J].土壤学报,2002,39(2):152-159.
- [10] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [11] 王清奎,汪思龙,高洪,等.杉木人工林土壤活性有机质变化特征[J].应用生态学报,2005,7(16):1270-1274.
- [12] STEVENSON F J. 腐殖质化学[M].夏荣基,译.北京:北京农业大学出版社,1994:144-162.
- [13] KENNEDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils[J]. Hart and Soil, 1995, 170:75-86.
- [14] LIANG B C, MACKENZIE A F, SCHNITZER M, et al. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soil[J]. Soil Fertil, 1998, 13:195-207.
- [15] 倪进治,徐建民,谢正苗.不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J].植物营养与肥料学报,2001,7(4):374-378.

(上接第2062 页)

- [30] KIRKLAND B H, CHOE M, KEYHAN N O. Differential susceptibility of *Amlyomma maculatum* and *Amlyomma americanum* (Acari: Ixodidae) to the entomopathogenic fungus *Bauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* [J]. *Bd Control*, 2004, 31:414-421.
- [31] HIRALI-KHERRABADI K, HADDADZADEH H, RAZZAGH-ABYANEH M. Biological control of *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* by different strains of *Metarhizium anisopliae*, *Bauveria bassiana* and *Iecanicillium psalliotae* fungus [J]. *Parasitol Res*, 2007, 100:1297-1302.
- [32] ALONSO DIAZ MA, GARCIA L, GALINDO VELASCO E, et al. Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Hyphomycetes) for the control of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) on naturally infested cattle in the Mexican tropics [J]. *Vet Parasitol*, 2007, 147(3/4):336-340.

- [33] 李增智,程双龙,鲁绪祥.绿僵菌、黄僵菌对松毛虫的室内杀虫及固体生产试验初报[J].安徽农学院学报,1985(2):85-90.
- [34] 宋漳,景云,蔡和谦,等.应用绿僵菌防治马尾松毛虫初探[J].福建林学院学报,1997,17(2):107-109.
- [35] 叶斌,江英成,林文清,等.金龟子绿僵菌对马尾松林节肢动物群落多样性的影响[J].福建农林大学学报,2005,34(2):239-243.
- [36] 陈祝安,冯惠英,潘玲聪.不同来源绿僵菌对稻水象甲生物测定[J].吉林农业大学学报,1998,20(S1):132.
- [37] 陈祝安,黄基荣.不同来源绿僵菌对云斑金龟蛴致病力评价[J].微生物学通报,1997,24(2):81-83.
- [38] 单乐天,冯明光.不同寄主及地理来源的16株绿僵菌对桃蚜的毒力比较[J].微生物学通报,2006,46(4):602-607.