

黑麦秸秆对土壤中无机氮转化 和 N_2O 、 CO_2 释放的影响*

陈同斌

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

Struwe S Kjoller A

(Department of General Microbiology, University of Copenhagen, Solvgade 83H, DK-1307 Copenhagen K, Denmark)

摘要 在欧美国家,黑麦秸秆经常作为有机肥或农业废弃物而归还到农田中.本研究通过培养试验探讨了添加黑麦秸秆对土壤中无机氮的形态转化和 N_2O 、 CO_2 释放的影响.研究表明,黑麦秸秆的添加量及培养时间对土壤中 N_2O 、 CO_2 释放量、 N_2O/CO_2 比值和无机氮形态转化均有明显影响.添加的黑麦秸秆越多,培养2周后土壤中的 NH_4-N 越多,释放的 N_2O 则越少. N_2O/CO_2 比值与黑麦秸秆添加量呈极显著的负相关,与培养时间 (T) 的函数关系(达到极显著的负相关)则呈对数形式: $(N_2O/CO_2) = a + b \cdot \ln T$.

关键词 氮素转化 N_2O CO_2 黑麦秸秆 农业土壤

有机物可为土壤微生物活动提供能源和碳源,因此对土壤中无机氮的形态转化、反硝化作用以及温室气体 N_2O 和 CO_2 的产生等过程具有明显的影响^[1-3]①.

在欧美国家,黑麦秸秆经常被作为有机肥或农业废弃物而归还到农田中.本研究以黑麦秸秆为供试材料,通过培养试验探讨不同有机碳添加量对土壤中无机氮形态转化、 N_2O 和 CO_2 释放的影响.

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤(表1)取自丹麦 Roskilde 的农田耕作层(0~10cm).土壤经风干研磨后过2mm筛.

表1 供试土壤基础化学性质

Table 1 Selected chemical properties of the Danish soil studied

pH	全量(g/kg)		无机氮含量(mg/kg) [#]		
	C	N	NH_4-N	NO_3-N	NO_2-N
6.9	13.8	1.53	0.10	27.0	0.084

用0.1mol/L KCl 浸提

1995-06-01 收稿,1995-11-13 收修改稿

* 本研究受国家自然科学基金和中国-欧共体合作项目资助

① 陈同斌, Struwe S, Kjoller A. 碳对土壤微生物 C、N 代谢的影响, 已投稿

1.2 试验处理与培养方法

取 30g 土壤及 30ml 含 N 浓度为 $150\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KNO_3 溶液,放入 125ml 广口瓶中,用具橡皮隔膜(septum)的瓶盖盖紧,于避光的 25°C 恒温室中振荡培养 2 周^[4]. 试验共分 5 个处理,各处理分别加入 0%、1%、2.5%、5%和 10%的黑麦秸秆.

1.3 化学分析

在土壤培养过程中,定期用针筒从广口瓶上的橡皮隔膜采取气体样品,然后用 HP5890 气相色谱仪分析 CO_2 和 N_2O 浓度(分别使用 TCD 和 ECD 检测器). 培养结束时,用 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} KCl$ 浸提土壤(土:液=3:8),离心,然后用 Aquatec 5400 Analyzer 测定上清液中无机氮(NO_3-N 、 NO_2-N 、 NH_4-N)^①.

2 试验结果

2.1 对无机氮形态的影响

图 1 分别是培养 2 周后,添加不同黑麦秸秆的各处理中 NO_3-N 、 NO_2-N 、 NH_4-N 和总无机氮(NO_3-N 、 NO_2-N 和 NH_4-N 三者之和,即 Inorg-N)的试验结果. 从该图可以看出,无论黑麦秸秆的添加量多少,凡是添加黑麦秸秆的处理,其 NO_3-N 含量均显著低于不添加黑麦秸秆的对照(CK)处理(图 1A),而 NO_2-N (图 1A)和 NH_4-N (图 1B)含量则高于 CK 处理. 从添加黑麦秸秆的 4 个处理的比较来看,当黑麦秸秆添加量低于 5%克时, NO_3-N 、 NO_2-N 和 Inorg-N 含量随着黑麦添加量的加大而增大,但添加量达到 3.0 克时,3 种形态的氮又分别减少.

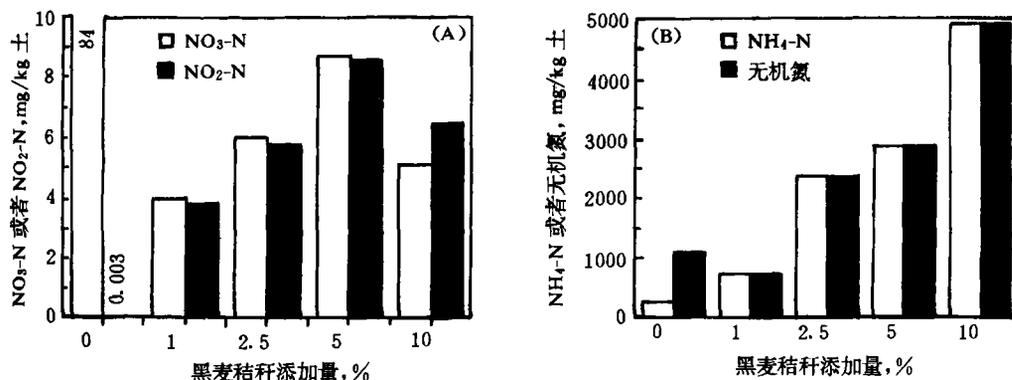


图 1 培养 2 周后土壤中各种无机氮的含量

Fig. 1 Inorganic nitrogen contents in soil slurries after two weeks' incubation

2.2 对 N_2O 和 CO_2 释放及其比率的影响

从 N_2O 的释放动态来看(图 2),添加黑麦秸秆的处理,在 0~8 天内各个取样时期的 N_2O 释放量均明显高于 CK 处理,而且 N_2O 释放量随黑麦秸秆的加入量增大而增加. 因此,加入黑麦秸秆为细菌的反硝化作用提供了 C 源和能源,显著地提高了培养初期土壤

① Chen T B, Struwe S, Kjoller A, Effect of acetylene on denitrification and processes in anaerobically incubated soil slurries. Pedosphere, 1996 (in press)

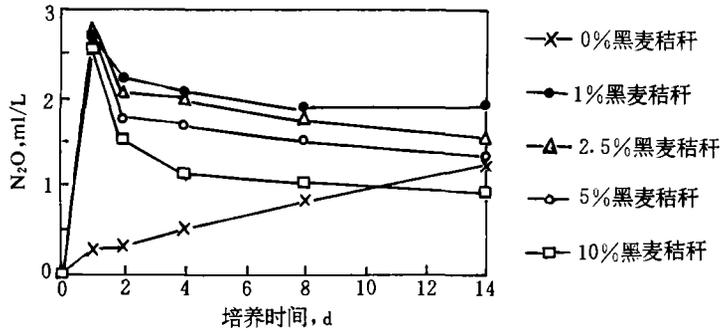


图 2 添加黑麦秸秆对 N₂O 释放的影响

Fig. 2 Effect of rye straw on N₂O evolution in soil slurries

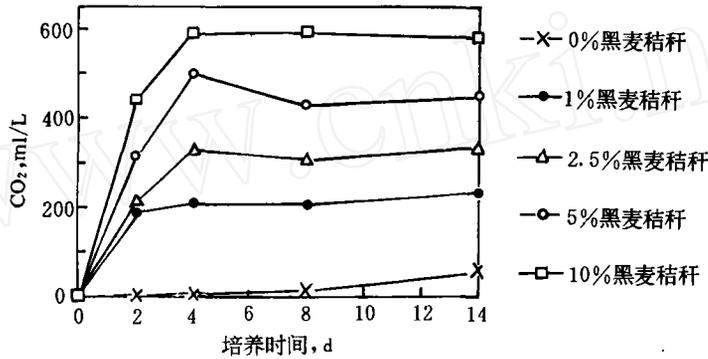


图 3 添加黑麦秸秆对 CO₂ 释放的影响

Fig. 3 Effect of rye straw on CO₂ evolution in soil slurries

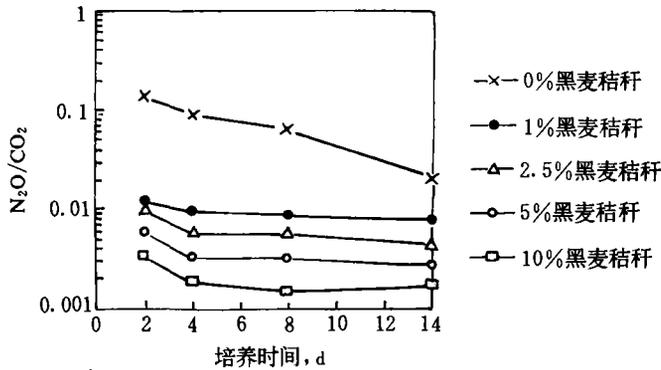


图 4 培养过程中 N₂O/CO₂ 释放比值的动态变化

Fig. 4 Dynamics of N₂O/CO₂ ratio during slurry incubation

中反硝化作用的强度. 在 CK 处理中, N₂O 的浓度随着培养时间的延长而不断增加. 但是在添加黑麦秸秆的 4 个处理中, 从 24h 开始培养瓶上部(headspace)空气中 N₂O 的浓度随着培养时间的延长而缓慢减少. 这说明释放的 N₂O 在培养过程中还可以进一步转化为其

他形态的氮.

从 CO_2 的释放动态来看(图 3), 在培养的 2 周时间内, 各个时期的 CO_2 释放量均随黑麦秸秆施用量的增加而增大. 添加黑麦秸秆后促进 CO_2 释放量增加, 主要出现在培养刚开始的前 2 天, 超过 4 天后则 CO_2 释放量不再进一步升高.

将图 2 和图 3 的结果进一步整理可以得到培养过程中释放 N_2O/CO_2 (分子数) 比值的动态变化(图 4). 从图 4 可以看出, 随着培养时间的延长, 培养过程中释放的 N_2O/CO_2 比值不断减小.

2.3 对土壤 pH 的影响

从图 5 可以看出, 添加黑麦秸秆可以使土壤的 pH 下降, 而且添加的秸秆越多, 则土壤 pH 下降幅度越大. 当黑麦秸秆的添加量为 10% 时, 土壤的 pH 则由原来的 7.0 下降到 5.4 左右. 其主要原因可能是由于黑麦秸秆分解过程中会造成大量有机酸累积(如乙酸、丙酸)的缘故^①.

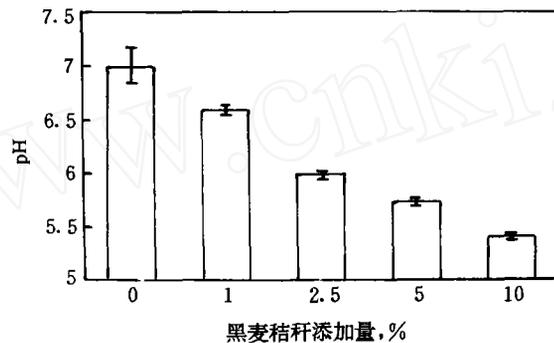


图 5 培养 2 周后添加和不添加黑麦秸秆的处理中土壤的 pH

Fig. 5 pH of soil slurries treated with or without rye straw after 2-week's incubation

3 讨论

3.1 释放 N_2O/CO_2 的比值与泥浆(soil slurry)中黑麦秸秆添加量的关系

从图 2 可以看出, 在添加黑麦秸秆的 4 个处理中, 培养 1 天时 N_2O 的浓度达到最大值, 而随着培养时间的延长则其浓度反而呈下降趋势. N_2O 浓度下降的原因, 可能是由于有机质较多时, C_2H_2 容易被微生物分解, 从而导致培养瓶中 C_2H_2 浓度降低而影响其抑制效果^[4,5]的缘故, 也有可能是由于已产生的 N_2O 被当作电子受体而被重新利用的缘故. 因为 Simarmata 等人(1993)曾在田间试验中发现^[6], 土壤中碳素周转快和 NO_3^- -N 供应受到限制时, 土壤中具有反硝化活性的微生物群体减少, 从而会导致 C_2H_2 抑制 N_2O 还原酶的效果下降.

将图 4 中的 N_2O/CO_2 比值与泥浆中黑麦秸秆的添加量进行回归分析, 发现它们之间呈显著的负相关(表 2). 也就是说, 添加的黑麦秸秆越多, 虽然释放的 N_2O 也越多(图 2),

① 参见第 35 页注①

但由于 CO₂ 释放的增加幅度更大,因此反而会使 N₂O/CO₂ 比值下降。

3.2 N₂O/CO₂ 释放比例的动态变化

将图 4 中各个处理中 N₂O/CO₂ 比值的动态数据与时间 T 进行回归分析表明,两者之间符合下述一级反应动力学方程: $(N_2O/CO_2) = a + b \cdot \ln T$ 。在不同黑麦秸秆添加量时,其相关性均达到显著或极显著水平(表 3)。

研究表明,当有机物加入土壤时,微生物首先分解含氮量高、容易分解的有机物^[7]。因此,培养过程中微生物活动所释放的 N₂O/CO₂ 比值随培养时间延长而减少。

表 2 N₂O/CO₂ 比值与添加黑麦秸秆量的相关性 ($n = 5$)

Table 2 Correlation between N₂O/CO₂ ratio (y) and amount of rye straw added (x) ($n = 5$)

培养时间(天)	相关系数 R^2
2	-0.97*
4	-0.99*
8	-0.99*
14	-0.99*

* 表示相关性达到 1% 显著性水平

表 3 释放 N₂O/CO₂ 比值与培养时间的相关性 ($n = 4$)

Table 3 Correlations between N₂O/CO₂ ratio and incubation time ($n = 4$)

黑麦秸秆添加量	相关系数 R^2
0%	-0.991*
1%	-0.982*
2.5%	-0.963*
5%	-0.955*
10%	-0.934*

* 表示相关性达到 0.1% 显著性水平

3.3 无机氮形态转化

添加的黑麦秸秆越多,培养 2 周后土壤中 NH₄-N 含量越高(图 1B),N₂O 释放量越低(图 2)。虽然添加有机物对反硝化作用具有十分明显的促进作用,但添加量过高时并不利于 N₂O 的释放。这一结果表明,供试土壤的 C/N 过高则不利于反硝化作用的进行。

参 考 文 献

- 1 陈同斌. 施用氮肥对土壤中温室气体 N₂O 释放的影响. 气候变化对中国农业的影响, 邓根云主编. 北京: 科学技术出版社, 1994, 158~164
- 2 Pual J W, Beauchamp E G. Effect of carbon constitution in manure on denitrification in soil. *Can J Soil Sci*, 1989, 69: 49~61
- 3 de Catanzara J B, Beauchamp E G, Drury C F. Denitrification vs dissimilatory between nitrification and denitrification as sources of nitrous oxide in soil. *Biol Fertil Soils*, 1987, 6: 112~119
- 4 陈同斌, Struwe S, Kjoller A. 嫌气培养中土壤微生物对 C₂H₂ 的消耗. 现代农业中的植物营养与施肥. 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- 5 Tiedje J M, Simkins S, Groffman P M. Perspective on measurement of denitrification in the field including recommended protocols for acetylene based methods. In: Clarhollm M, Bergstrom L (eds.). *Ecology of Arable Land*. Kluwer Academic Publisher, 1989, 217~240
- 6 Simarmata T, Benckiser G, Ottow J C G. Effect of an increasing carbon: nitrate-N ratio on the reliability of acetylene in blocking the N₂O-reductase activity of denitrifying bacterial in soil. *Biol Fertil Soils*, 1993, 15: 107~112
- 7 Smith O C. *Soil Microbiology: A Model of Decomposition and Nutrient Cycling*. Florida: CRC Press, Inc, 1982, 207~240

Effects of Rye Straw on Nitrogen Transformation in Soil, N₂O and CO₂ Evaluations, and Soil pH

CHEN Tongbin

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

STRUWE Sten KJOLLER Annelise

(Department of General Microbiology, University of Copenhagen, Sovlgade 83H, DK-1307 Copenhagen K, Denmark)

Abstract

Rye straw is usually applied as manure to agricultural field or disposed to soils in European countries. The research was carried out to understand effect of application of rye straw on transformation of inorganic nitrogen in soil, and on N₂O and CO₂ emissions. The results indicated that N₂O and CO₂ emissions, N₂O/CO₂ ratio, and inorganic nitrogen transformation were related to the applied amount of rye straw and the incubation time. At the end of 2-week's incubation, NH₄-N in the soil increased and N₂O emission decreased when more amount of rye straw was added. There was a positively significant relationship between N₂O/CO₂ ratio and the amount of the straw. The relationships between N₂O/CO₂ ratios (Y) and incubation time (T) could be described as following equation: $Y = a + b \ln T$.

Keywords: N transformation, N₂O, CO₂, rye straw, danish agricultural soil