

# N<sub>2</sub>O 除去人工団粒の開発

## Production of N<sub>2</sub>O reducible artificial aggregates

松岡かおり<sup>1</sup>・新宮原諒<sup>1</sup>・松村愛美<sup>1</sup>・河上智也<sup>1</sup>・島田紘明<sup>2</sup>・Khin Thawda Win<sup>1</sup>・光延聖<sup>3</sup>・和穎朗太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>農研機構・<sup>2</sup>帯広畜産大学・<sup>3</sup>愛媛大学

### 要旨

温室効果・オゾン層破壊の原因である亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) の除去団粒を開発するため、鹿沼土粉砕物とキサントランガム (XG)、または堆肥由来有機物と鉄の共沈物 (DOM-Fe) で団粒を作成した。培養 7 日間の N<sub>2</sub>O 除去速度は、XG 団粒は 3.8–4.7, DOM-Fe 団粒では 0.084 nmol N<sub>2</sub>O h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> だった。XG 団粒は 45–56 倍高い N<sub>2</sub>O 除去能を示した。DOM-Fe 団粒培養系の pH を XG 団粒培養系と同等に高めると、N<sub>2</sub>O 除去速度は約 20 倍に高まった。団粒の pH 条件 (5.6–5.7) と高い保水量が N<sub>2</sub>O 除去に効果があった。

キーワード：人工土壌団粒、鹿沼土、キサントランガム、SG09 株、孔隙径分布

Key words: Artificial soil aggregate, Kanuma pumice, Xanthan gum, SG09 strain, Pore size distribution

### 1. はじめに

世界の農耕地土壌から発生する N<sub>2</sub>O は年間 2.8 M トンである (Bouwman et al. 2002)。農耕地土壌は、N<sub>2</sub>O の主要な発生源である。

土壌団粒は様々な大きさの孔隙を持つため、多様な好気/微好気空間を有する。これらの微生物生存空間を利用して土壌団粒の人工的な作成が行われてきた (Harvey et al. 2020)。団粒内の微好気空間は、N<sub>2</sub>O 還元菌が N<sub>2</sub>O 除去を促進する可能性がある。本研究では、鹿沼土粉砕物と 2 種類の接着物質で団粒を作成し、N<sub>2</sub>O 除去速度を比較した。また、団粒直径の違いが N<sub>2</sub>O 除去速度に及ぼす影響を評価した。N<sub>2</sub>O 除去速度に及ぼす団粒の物理化学的性質の影響も考察した。

### 2. 方法

キサントランガム (XG)、または落葉堆肥由来の水溶性有機物に鉄を加えた共沈物 (DOM-Fe) の溶液を鹿沼土粉砕物 (<250 μm) に一定量滴下後団粒状にし、105°C・24 時間乾燥させた。直径 4.75–5.6 mm の両団粒と直径 7–8 mm の XG 大粒団粒を作成した。滅菌後の団粒 (0.8 g) を 19 mL 容ビンに採取し、一定量の SG09 菌 (N<sub>2</sub>O 還元菌 *Bradyrhizobium ottawaense*) を含む HM 培地に滅菌水を加えて pF 1.0 に調整した。25 °C・7 日間培養中のヘッドスペースガス中 N<sub>2</sub>O と O<sub>2</sub> 濃度をガス

クロマトグラフィーで測定した。団粒の孔隙分布は、SPring-8 BL20B2 によるシンクロトン X 線マイクロコンピュータ断層撮影により解析した。全炭素/全窒素含量は乾式燃焼法、pF 水分量は砂柱法で測定した。N<sub>2</sub>O 還元酵素遺伝子である *nosZ-I* コピー数はリアルタイム定量 PCR 法で測定した。

### 3. 結果及び考察

団粒の SG09 菌による N<sub>2</sub>O 除去速度は、XG 小粒 (4.7 ± 0.2 nmol N<sub>2</sub>O h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> 団粒) > XG 大粒 (3.8 ± 0.7) > DOM-Fe 団粒 (0.084 ± 0.046) の順に高かった (図 1)。XG 小粒と大粒は、DOM-Fe 団粒と比較して N<sub>2</sub>O 除去速度が有意に高かった。

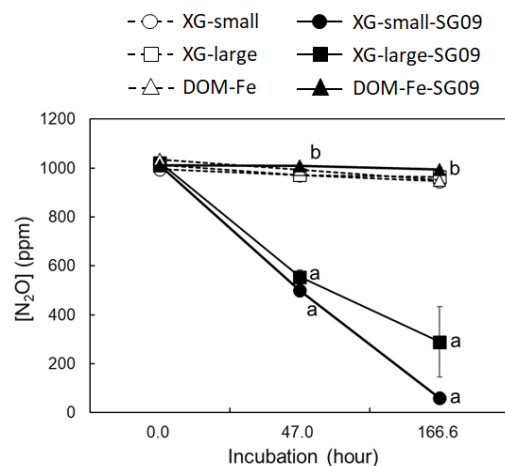


図 1. 人工土壌団粒の N<sub>2</sub>O 除去速度  
Fig. 1. Rate of N<sub>2</sub>O reduced by the artificial soil aggregates with and without SG09 inoculum.  
P < 0.05 (Tukey-Kramer's test; n = 3)

表 1. 人工土壌団粒の体積, 孔隙率, および孔隙径分布.  $P < 0.05$  (Tukey-Kramer's test;  $n = 4$ )  
 Table 1. Volume, porosity, and pore size distribution of the artificial soil aggregates used in this incubation study

	Volume		Porosity		Pore size distribution (%)					
	(mm <sup>3</sup> )		(%)		<30 μm		30–100 μm		>100 μm	
XG-small	17 ± 1	b	76 ± 1	b	25 ± 1	a	42 ± 1	a	33 ± 2	b
XG-large	101 ± 8	a	82 ± 1	a	13 ± 1	b	35 ± 1	b	51 ± 1	a
DOM-Fe	16 ± 1	b	75 ± 1	b	26 ± 1	a	42 ± 0	a	31 ± 1	b

団粒の孔隙分布を調べた結果(表 1), XG 小粒と DOM-Fe 団粒の孔隙構造には明確な違いはなく, DOM-Fe 団粒の N<sub>2</sub>O 除去速度が低い理由は孔隙構造とは別の要因にあると考えられた。

次に, DOM-Fe 団粒の培養系の pH を XG 団粒培養系 pH (5.6–5.7) と同等になるよう上げた。その結果, N<sub>2</sub>O 除去速度は約 20 倍に上昇した(図 2)。

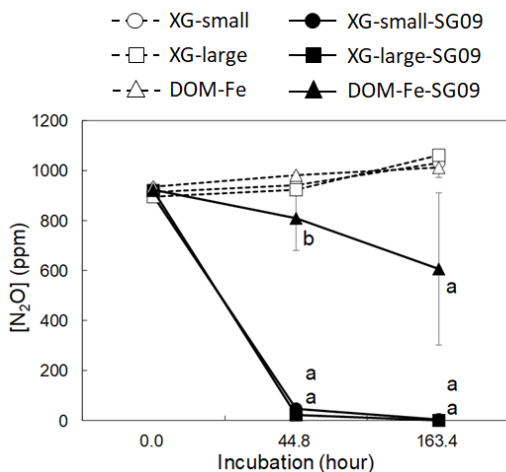


図 2. 人工土壌団粒の N<sub>2</sub>O 除去速度. DOM-Fe 団粒の培養系の pH を XG 団粒培養系と同等に上げた時の N<sub>2</sub>O 除去速度.

Fig. 2. Rate of N<sub>2</sub>O reduced by the artificial soil aggregates with and without SG09 inoculum. The pH of DOM-Fe aggregate-medium mixture was raised to nearly the same values as XG treatments.  $P < 0.05$  (Tukey-Kramer's test;  $n = 3$ )

同じ pH 条件下での *nosZ-I* の 10<sup>9</sup> コピー数当たりの N<sub>2</sub>O 除去速度は, XG 大粒 (4.2 ± 0.1 nmol N<sub>2</sub>O h<sup>-1</sup> 10<sup>9</sup> コピー数<sup>-1</sup>) > XG 小粒 (2.5 ± 0.0) > DOM-Fe 団粒 (0.24 ± 0.24) の順に高かった。培養 7 日間の *nosZ-I* コピー数の増加量は,

DOM-Fe 団粒 (6.9E+09 コピー数 g<sup>-1</sup> 団粒) > XG 小粒 (1.8E+09) > XG 大粒 (1.2E+09) の順に高かった。よって, 培養中の *nosZ-I* コピー数の増加は, 菌数当たりの N<sub>2</sub>O 除去速度を低下させた。

団粒の pF 1.0 水分量は, XG 小粒 (1.89 g g<sup>-1</sup>) > XG 大粒 (1.67) > DOM-Fe 団粒 (1.43) の順に

高かった。また, 培養中の O<sub>2</sub> 消費速度は, DOM-Fe 団粒で高い傾向があり(図 3), すべての団粒で O<sub>2</sub> 消費量(好気呼吸量)が N<sub>2</sub>O 消費量(嫌気呼吸量)よりも 1–2 オーダー高かった。保水量の高い XG 団粒は微好気的で N<sub>2</sub>O 還元が起こりやすい一方, 保水量の低い DOM-Fe 団粒は好気的で N<sub>2</sub>O 還元が起こりにくいこと, また, 好気的であるため SG09 菌が増殖に必要なエネルギーを獲得しやすい結果, *nosZ-I* コピー数が増加したと考えられた。なお, 団粒の C:N 比は, DOM-Fe 団粒 (30) > XG 団粒 (1.7–8.1) であり, N<sub>2</sub>O 除去速度が基質の C:N 比で説明できないことを示した。

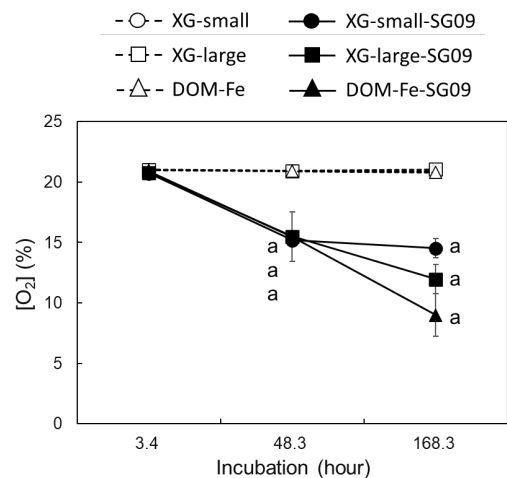


図 3. 人工土壌団粒の O<sub>2</sub> 消費速度. 他図 2 参照  
 Fig. 3. Rate of O<sub>2</sub> consumed by the artificial soil aggregates with and without SG09 inoculum. Refer to Fig. 2 for the incubation condition.  $P < 0.05$  (Tukey-Kramer's test;  $n = 3$ )

#### 4. おわりに

N<sub>2</sub>O 除去能の高い XG 団粒は, DOM-Fe 団粒と比べて, 高い pH と高い保水量の特徴を有した。

農研機構農業環境研究部門の多胡香奈子氏と原新太郎氏から SG09 株をご提供頂いた。  
 Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H., 2002. Modeling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles* 16 (4), 1080.  
 Harvey, H.J., Wildman, R.D., Mooney, S.J., Avery, S.V., 2020. Soil aggregates by design: Manufactured aggregates with defined microbial composition for interrogating microbial activities in soil microhabitats. *Soil Biology and Biochemistry* 148, 107870.