

土壤化学 11 土 壤 有 機 物

1. 微生物バイオマス

土壤全炭素量の0.3~5.0%

鈳質畑土壤では平均2~3%、火山灰土壤では0.3~1.0%

微生物数：土壤1g当り $10^7 \sim 10^9$ （畑地、草地、林地、樹園地では約70%が糸状菌、水田では80~98%が細菌で占められる。）

土壤微生物バイオマスの機能

- 1) 有機物の分解者
- 2) 養分の貯蔵庫と供給源

バイオマスの測定法

直接計数法：

Jones-Mollison 法 血球計を用いて一定容積の寒天中に土壤懸濁液を固定したのち、顕微鏡マイクロメーターを用いて菌数および菌のサイズを測定する。

蛍光抗体染色法 蛍光抗体の作製と蛍光抗体による標本染色

土壤中の特定の菌を特異的に計数することが可能となる。

培養法：

希釈平板法 (Dilution Plate Method)

各種の基質を溶解した寒天プレート状に各種希釈倍率の土壤懸濁液を塗布し、形成されたコロニーの数を計数する。

希釈頻度法 (Most Probable Number Method)

高次に希釈した土壤懸濁液中に生菌が存在する確率から全菌数を推定する。

基質誘導呼吸法 (Substrate Induced Respiration Method)

土壤にグルコース等の易分解性の基質を添加して培養し、初期に発生する CO_2 を定量する。

生化学的方法

クロロホルム燻蒸法 (Chloroform Fumigation Method, $CHCl_3$)

燻蒸培養法(Fumigation Incubation Method)

土壤をクロロホルムの蒸気にさらして、土壤中の生菌をいったん殺した後培養すると、菌が自己溶解して、生き残った菌の基質となり、炭酸ガスや無機態窒素の生成量が増えるので、その増加分を微生物バイオマス炭素量や窒素量とみなす。

燻蒸抽出法(Fumigation Extraction Method)

クロロホルム燻蒸後、菌体の自己溶解に伴って土壤中に溶出してきた易分解性有機物炭素、アミノ酸、タンパク質等の成分を抽出して定量し、一定倍率をかけてバイオマスとみなす。

ATP法 あらゆる生物に普遍的に含まれるATP をバイオマスの指標とする。

リン脂質法 あらゆる生物の細胞膜に含まれるATP をバイオマスの指標とする。

ムラミン酸、ジアミノピメリン酸 細菌の細胞壁に特異的に含まれる。

エルゴステロール 糸状菌に特異的に含まれる。

微小熱量計法

バイオマス養分と作物生育

畑土壌のバイオマスに含有される養分の相対比% (Anderson and Domsch, 1980)

	C	N	P	K	Ca
細菌	25	4.5	1.5	0.8	0.4
糸状菌	75	10.5	10.1	9.0	1.0
計	100	15.0	11.6	9.8	1.4

バイオマス養分量と作物による吸収量の釣合

2. 土壌有機物

(1) 土壌有機物と腐植

腐植 土壌有機物中の生きている生物を除いた部分
生命圏における炭素の貯蔵庫としての重要性

腐植物質 土壌固有の暗色物質

非腐植物質 分解過程にある生物遺体成分

しかし、腐植物質と非腐植物質を厳密に区別することは、概念的にも、技術的にも困難である。

(2) 腐植の化学的区分

- 腐植酸 土壌からアルカリで抽出され、酸性にすると沈殿する有機物画分
フルボ酸 土壌からアルカリで抽出され、酸性にしても沈殿しない有機物画分、
および酸性溶液で抽出される画分
ヒューミン 土壌からアルカリでも酸でも抽出されない有機物画分

(3) 腐植の機能的区分

- 耐久腐植 土壌有機物のうち、腐植化が進み、分解抵抗性を獲得した画分
栄養腐植 土壌有機物のうち、分解されて植物養分を放出する画分

(4) 腐植の集積形態

- モル 粗腐植型 地表に厚い堆積腐植層 (O 層、A₀ 層) を置く。A層は薄い。
ムル 堆積腐植層の分解がよく進み、有機物と無機成分が混和した厚いA層が
形成されている。
モーダー モル型とムル型の間
泥炭 植物遺体が水中で堆積した土壌
黒泥

(5) 土壌有機物各成分の抽出と分画

抽出方法

- 酸による多価金属イオンの除去
希アルカリ (0.1–0.5 M NaOH)、キレート形成能を持つ抽出剤 (0.1 M Na₄P₂O₇)
非プロトン性の極性有機溶媒 (ジメチルスルフォキシド、ジメチルフォルムアミド等)

分画方法

- 酸沈澱・再溶解
陽イオン交換樹脂による金属イオンの除去
フッ化水素酸による灰分の溶解
各種樹脂への吸着と溶離
疎水性網目構造樹脂 (XAD-8, XAD-7 等)、弱塩基性陰イオン交換樹脂
ポリフェノールの吸着樹脂(PVP等)

(6) 土壌有機物構成成分の化学組成

- 各種分光スペクトルから得られる情報
可視紫外吸収スペクトル、赤外線吸収スペクトル、NMR、X線回折
元素組成、官能基組成
窒素成分 糖成分
分子量 分子形

土壌有機物の安定性と年代

土壌粒径との関係

(7) 土壌有機物と金属の反応

(8) 腐植化過程

生物遺体の分解と腐植化過程

(9) 土壌有機物の機能

土壌有機物と無機成分の相互作用

1) 土壌有機物と金属の反応

アルカリ金属・アルカリ土類金属 イオン交換反応

遷移金属 錯体形成反応

土壌有機物に含まれる有機配位子

カルボキシル基

フェノール性水酸基

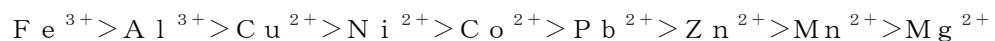
エーテル基

カルボニル基

アミノ基

エノール基

土壌有機物と金属の錯体の安定性の順序



(Schnitzer and Hansen, 1970)

アービングーウィリアムズの安定度系列

Irving-Williams series of stability マンガンから亜鉛に至る2価の遷移金属が形成する

錯体の生成定数は、配位子が同一ならば $\text{Mn} < \text{Fe} < \text{Co} < \text{Ni} < \text{Cu} > \text{Zn}$ という順序をとる。

ただし錯体形成によって大きな立体障害が生じる場合や、金属イオンの電子配置が変化する場合には序列の乱れることがある。

有機配位子による鉄、燐酸の可溶化 (ムギネ酸・ピスディン酸)

微生物の生産するシデロクロム

好氣的環境下で鉄を可溶化し取り込むための低分子のイオンキャリアー

エンテロバクチン フェノールエステルタイプ

2,3ジヒドロキシNベンゾイルLセリン

フェリクロム 6個のアミノ酸残基からなる環状ペプチドで

Fe³⁺をキレート結合で取り込む。

2) 土壤有機物と粘土鉱物の反応

土壤有機物の大部分は粘土と結合した状態で存在している。52～98% (Greenland, 1971)

各種の陽イオンで飽和した粘土への腐植酸の親和性

Fe³⁺ > Al³⁺ > La²⁺ = Cu²⁺ > Co²⁺ > Zn²⁺ > Ca²⁺ > Ba²⁺ = Cs⁺ > K⁺ > Na⁺

(Scharpenseel and Theng, 1976)

A. 陽イオン架橋機構

A1. 土壤有機物の官能基が交換性陽イオンと外殻の水和層を通じて相互作用する。

Na、K、Ca等の強度に水和した陽イオンで粘土が飽和されている場合

A2. 土壤有機物の官能基が陽イオン周辺の水分子と置換し、直接陽イオンと相互作用する。

B. ファンデルワールス結合

土壤有機物の非荷電部分と粘土表面の吸着

C. 破砕断面における結合

C1. 破壊原子価の陽荷電と有機物陰イオンの静電相互作用

C2. 配位子交換反応

陰イオン官能基が破砕断面のアルミニウムの配位層に直接侵入

粘土鉱物の種類と有機物の吸着能力

モンモリロナイト > バーミキュライト > カオリナイト > イライト >

クロライト > ムスコバイト (白雲母)

土壌有機物の機能

1) 直接的な効果

植物の生育促進

その機構 腐植物質による錯体形成作用

溶解度の低い微量元素の可溶化

ホルモン類似作用

各種の酵素活性への影響

2) 間接的効果

土壌の物理性の改善

水分の保持

陽イオン交換能による無機養分の保持

急激な pH 変化に対する緩衝作用

窒素、燐酸、イオウやその他の必須元素の穏やかな供給

土壌微生物の栄養源

熱の吸収保持

有機物の土壌中での分解と代謝

土壌有機物の代謝と分解のモデル

ゼロ次反応 基質量に関係なく反応速度が一定

基質量が十分存在する条件での硝化・脱窒等

1次反応式 反応速度が基質量に比例して減少する。

$$dA_t / dt = k \cdot A(t)$$

$$A_t = A_0 \cdot \exp(kt)$$

問題1 半減期が $T_{1/2}$ の有機成分が毎年 A_0 の量だけ加わる土壌系で

無限時間が経過した後の土壌有機物の蓄積量を求めよ。

問題2 問題1の無限時間が経過した後の土壌系において、土壌に蓄積した

有機物の平均年代（平均滞留時間、代謝回転時間、Turnover timeともいう）を求めよ。

→ 一次反応係数 k の意味することの再発見

複合1次反応式

分解性の異なる多種類の基質が混在する系で個々の基質が1次反応に従って減少する。

土壌有機物の分解曲線

$$A_t = A_1 \cdot \exp(k_1 t) + A_2 \cdot \exp(k_2 t) + \dots$$

1次反応式とゼロ次反応式の複合および1次反応係数の経時変化を考慮

$$A_t = A_1 \cdot \exp(k_1 t + k_2 t^2 / 2) - k_0 t$$

Arrheniusのプロットによる温度と分解速度の関係

$$\frac{d \ln k}{d T} = \frac{E_a}{R T^2} \quad \ln k = - \frac{E_a}{R T} + A'$$
$$k = A \cdot \exp \left(- \frac{E_a}{R T} \right)$$

双曲線反応式

$$V = V_{max} \cdot A / (K_m + A)$$

Michaelis-Mentenの式 (酵素反応)

Monod式 (微生物の増殖)

Langmuir式 (物質の吸着現象) はすべて同じ概念