

微生物による有機系排水処理と余剰微生物の資源化に関する研究（その2）

——余剰藻体の炭化による有効利用について——

北村 瑞世 喜田 大三 辻 博和
加藤 顕 千野 裕之 杉本 英夫

Development of Technology for Organic Wastewater Treatment by Microorganisms and Production of Materials for Conserving Environment (Part 2)

——Effective Utilization of Surplus Microorganisms by Carbonization——

Mizuyo Kitamura Daizo Kita Hirokazu Tsuji
Akira Kato Hiroyuki Chino Hideo Sugimoto

Abstract

This paper describes the method of processing surplus algae, which stems from waste water treatment using microorganisms, into the materials utilized as additive to soil for the use in agriculture or revegetation. The applicability of this method is also investigated. The purposes of this study are: (1) To find if the surplus algae can be turned into soil improvement materials through carbonization: (2) To estimate the characteristics of the carbonized algae produced at the different carbonization temperature in the range of 200 to 600 °C, the form of the nitrogen compounds in the carbonated algae, and the decomposition characteristics through carbonation under aerobic conditions: (3) To estimate the effects of the carbonated algae, when used as soil additives, on the initial growth of plants based on “pollen tube growth test” and “Germination test”

As a result, it is found that the algae carbonized at the temperature between 300 and 400 °C remain a stable soil improvement material when mixed with soil and accelerate the root growth of plants when added at the mixture ratio of 2.5 % to soil.

概 要

本報告では、微細藻類による排水処理で発生する余剰藻体を緑化・農業用の環境保全資材として利用するべくその加工法として炭化処理を取上げ、その利用適性について検討した。具体的には、藻類を200～600°Cの範囲で炭化し、得られた各炭化物の炭化温度の違いによる特性、含有する窒素形態、好氣的条件下における分解特性を調査した。さらに、各種炭化物を土壌改良資材として使用した際、それら炭化物が植物の初期生育に及ぼす影響を「花粉管生長テスト」「発芽試験」を用いて検討した。その結果、300°Cないし、400°Cで炭化した炭化物は、比較的安定した土壌改良資材として使用可能であり、土壌に2.5%（容積%）混合は、植物の初期生育に阻害はなく、むしろ発根を促すことが明らかとなった。

1. はじめに

当社は、平成3年7月から(財)地球環境産業技術研究機構(通称 RITE)の通産省補助事業に参画し、RITE 清瀬研究室として、表記研究開発を平成7年3月までの予定で進めている。

当該研究開発は、高濃度の有機系排水を、従来の活性汚泥菌に代わって光合成細菌さらには微細藻類を使用して効率的に処理する技術を開発すると共に、排水浄化の過程で発生する余剰の菌体・藻体を積極的に再利用すべく、広く地球環境の保全に活用できる緑化・農業用の環境保全資材を加工する技術の開発をめざすものである。

前報において、一次処理で光合成細菌を用い、二次処理で微細藻類を用いる有機系排水処理の現状調査及び室

内試験について報告し、それらの排水処理に対する有効性を示した¹⁾。

本報では、環境保全資材製造の技術開発、つまり、有機系排水を微生物によって浄化した後、その過程で発生する「残さ」(余剰菌体あるいは藻体)を、環境への影響を考慮し、リサイクルを目指して資材化する事を検討した。具体的には、①改良資材に関する現状把握、余剰微生物の利用法に関する調査、②藻体の炭化による加工試験を行い、炭化物の土壌改良資材としての利用適性を検討した。

2. 光合成細菌・藻類の利用方法

排水処理後の余剰光合成細菌・藻類を環境保全資材として活用する方法については、広範囲に利用できる資材

の条件を考慮した場合、緑農地における土壌改良資材としての適用が考えられる。そこで、緑農地において利用される既存の有機系土壌改良資材について、その種類や特性を調査し、本研究の光合成細菌・藻類を再資源化する場合の利用方法について検討した。

2.1 土壌改良資材について

切盛土工事を伴う造成直後の“やせた”土地や化学肥料等の多用による“地力”の低下した農地などでは、植物や作物等の生長が阻害される場合がある。そこで、生育阻害の回避や土地の生産性の向上を図るため、それを改良する方法の1つとして土壌改良資材が利用される。土壌改良資材は、地力増進法において、「植物の栽培に資するために土壌の性質に変化をもたらすことを目的として土地に施されるもの」と定義されている。こういった土壌改良資材は多種多様存在しているが、図-1のように有機質（動植物質）と無機質（鉱物質）、合成化合物に大類される。農地における地力の低下を改良する土づくり資材、あるいは都市近郊などで新規造成される公園緑地用資材として、最近特に有機質資材の需要が高まっているようである³⁾。

2.2 光合成細菌、藻類の利用法の検討

排水処理過程での副生菌体・藻体を有機質資材として利用する際の加工法として、脱水、乾燥、コンポスト化、炭化処理等が考えられ、その特徴、問題点を表-1に示した^{3),4)}。これより、臭気除去や殺菌などの公衆衛生、あるいは植物への障害性の除去、施用効果の安定性、取り扱いやすさなどの総合的な見地から、藻体をコンポスト化、炭化する必要があると判断される。コンポスト化については、プラントや添加する副資材の種類によって生成物の性状が変化し極めて有用な肥料となる可能性がある。また、藻体を炭化することで土壌の保水・透水性を改良する資材となりうる。また、炭化物施用によって、土壌をヘテロな系に持ち込み、有用微生物量を増加させ、植物生育の促進効果も期待できる。そこで、藻類炭化物はエコロジカルな造園、ゴルフ場はもちろん、幅広く緑化用資材として活用可能と考えた。また、従来の排水の生物処理法における余剰汚泥のように、余剰藻体を焼却処理しないので、炭酸ガス放出を低減できる。

3. 藻体の炭化による加工試験

排水処理の過程で発生する余剰の藻体の活用法の1つとして、藻体の炭化物を環境緑化用の土壌改良資材として活用する方法が考えられた。そこで、大量培養したクロレラを対象として、炭化温度200~600°Cの範囲で炭化し、得られた炭化物について性状調査、含有する窒素の形態、さらに微生物による分解特性について検討した。

3.1 藻類炭化物の製造条件と性状に関する検討

3.1.1 試験概要 標準培地を用いて大量培養したクロレラを脱水後、80°Cで24時間乾燥したものを供試試料とし、電気式流動炉にて窒素雰囲気下で200°C、300°C、400°C、600°Cに炭化した（炭化の際には昇温後、所定温

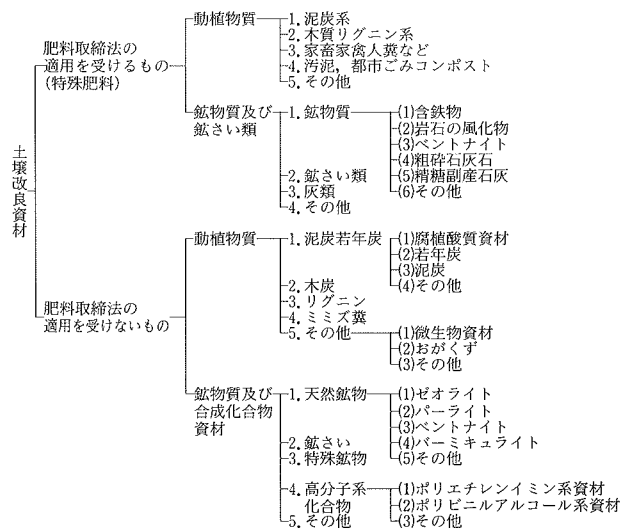


図-1 土壌改良資材の区分

表-1 光合成細菌、藻類の利用法及び効果

資材化の種類	特徴及び施用効果	問題点	利用可能性
光合成細菌 そのまま (微生物資材として)	水田土壌の有害物質の除去 ・土壌病害の抑制 ・植物の生育促進	・有機排水からの菌体の分離精製 ・利用事例が乏しい	△
藻類 脱水物	・処理コストが安価 ・高含水比で未分解有機物を含む ・肥料効果がある ・土壌を膨軟化	・取り扱いが難しい ・未発酵の有機物を含み、臭気、有害物質を発生する ・粘性が高く、土への混合が悪い	×
乾燥物	・粉末、ペレット化が容易 ・保存性、作業性がよい ・肥料効果がある ・土壌を膨軟化	・未発酵の有機物を含み、臭気、有害物質を発生する	△ (施用後一定期間養生)
コンポスト (堆肥)化	・肥料効果がある ・土壌を膨軟化 ・微生物性がよい ・保存性、作業性がよい	・コストが高い ・未熟品は障害を生じる ・副資材、堆積期間などの選定	○
成分抽出物	・植物生育促進 ・元試料の減量化	・コストが高い ・抽出、精製方法の確立	△
炭化物	・保存性、作業性がよい ・微生物性がよい ・土壌の保水性、透水性の改善	・炭化法の確立	○

表-2 各種炭化物の特性

	粗収率 (%)	pH	充填密度 (g/ml)	灰分 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)
クロレラ 80°C乾燥物	100	5.8	0.43	7.5	48.0	10.6
クロレラ200°C炭化物	71.9	5.9	0.39	11.3	53.1	11.3
クロレラ300°C炭化物	56.4	6.8	0.35	13.6	58.3	11.8
クロレラ400°C炭化物	39.4	6.8	0.32	18.7	58.6	10.7
クロレラ600°C炭化物	34.2	7.0	0.30	23.4	49.5	9.6
オガ屑600°C炭化物	24.9	7.5	0.18	1.4	76.5	0.2
モミ殻600°C炭化物	24.3	6.4	0.39	15.1	75.8	0.8

度で一時間継続し、その後自然放冷した)。

3.1.2 結果及び考察 各種炭化物の特性を表-2に示す。

クロレラの炭化温度に伴う収率をみた際、クロレラの細胞膜を構成するセルロースの熱分解による200~600°C

での減量が著しく、炭化時の収率は300°Cで約56%、400°Cで約40%、それ以後は徐々に減量し600°Cで約34%となった。クロレラの各温度での炭化物の全炭素、全窒素は80°C乾燥物ではそれぞれ約48%、11%であり、炭化とともに両者の値は微妙に変化するものの、炭素を50~60%程度含み、窒素を10~11%程度含むことが判明した。クロレラ炭化物は、オガ屑、モミ殻炭化物に比べ、窒素含有量が高いことがわかった。

3.2 藻体炭化物の含有する窒素形態

3.2.1 試験概要 上記の方法で得られた、各炭化物、ならびに80°C乾燥物の5種類の試料、及び比較のため木炭について、詳解肥料分析法における冷緩衝液法、熱緩衝液法に準拠して窒素分析を行った⁵⁾。

3.2.2 結果及び考察 各種抽出法による窒素含有量を図-2に示した。これより、クロレラ炭化物に含まれる約10%の窒素形態は炭化温度によって異なることがわかる。200°C炭化物中の窒素の形態は、80°C乾燥物にほぼ等しく、熱リン酸緩衝液抽出窒素、つまり速効性窒素及び緩効性窒素が約2.5%含まれている。これらを土壤に施用すると、微生物に徐々に分解され、その過程で無機化された窒素は植物体の栄養素となる。400°C以上の炭化物は、植物が利用できる窒素は含んでいない。一方、300°C炭化物は、0.1%とわずかではあるが、上記窒素を含む炭化物と評価できる。

3.3 藻体炭化物の微生物分解特性

3.3.1 試験概要 図-3に示す方法で各炭化物の微生物分解による炭酸ガス発生量を1年間にわたり測定した⁶⁾。

3.3.2 結果及び考察 各試料からの累積炭酸ガス発生量を図-4に、1年経過後の重量減少率を表-3に示す。図-4より、300°C炭化物の分解性は、クロレラ80°C乾燥物の約1/10であり、400°C炭化物で約1/20、600°C炭化物で約1/35程度の分解性であった。さらに、表-3より、80°C乾燥物、200°C炭化物は微生物分解性が高く、土壤に施用しても、乾燥物は約2年、200°C乾燥物は3年以内でほとんど消失してしまうことがわかった。炭化物を土壤改良資材として使用する際、土壤中微生物に分解されずに安定して存在すれば、改良効果も持続する。その点において、300°C以上の炭化物は比較的安定な土壤改良資材として使用可能であることが判明した。

4. 藻体炭化物の緑化用資材としての予備的検討

クロレラ炭化物を緑地、農耕地などで土壤改良資材として活用するに当たって、まずもって炭化物が植物の生育を阻害するものであってはならない。そこで、今回、花粉管生長テスト、発芽試験を用いて、炭化温度の異なる各種炭化物の植物初期生育に及ぼす影響を検討した⁷⁾。試験を行う際の施用濃度、つまり混入率は、一般に土壤改良資材として使用されている木炭の施用量を参考にし、容積%で0.2~5.0%となるよう換算した。

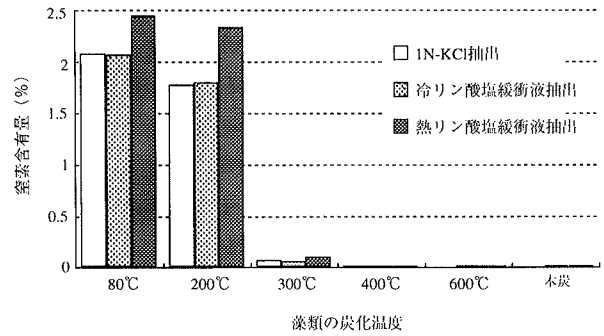


図-2 各炭化物中の窒素形態

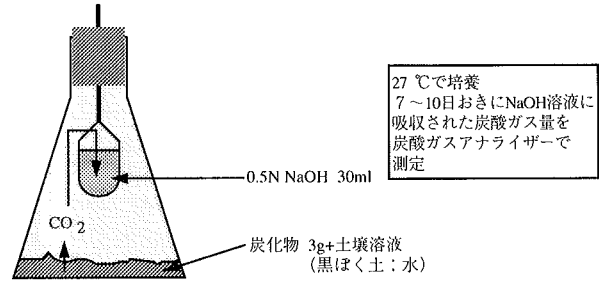


図-3 微生物分解性試験

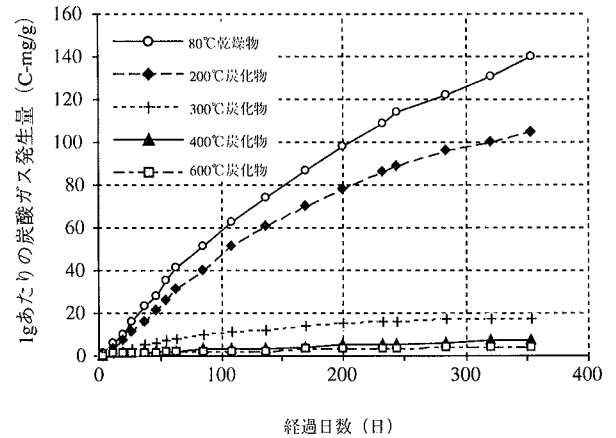


図-4 炭化物の微生物分解性試験結果

表-3 分解試験1年経過後の各種炭化物の重量減少率

焼成温度	初期重量(g)	1年後重量(g)	重量減少率(%)
80°C	3.00	1.30	56.70
200°C	3.00	1.92	36.00
300°C	3.00	2.76	8.00
400°C	3.00	2.72	9.30
600°C	3.00	3.05	0.00

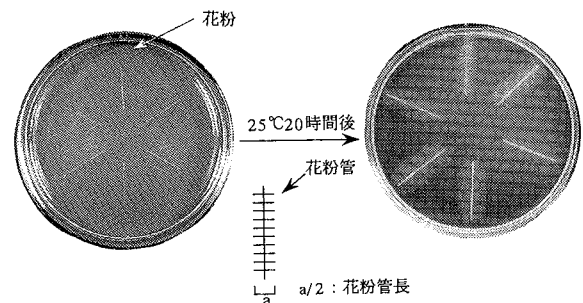
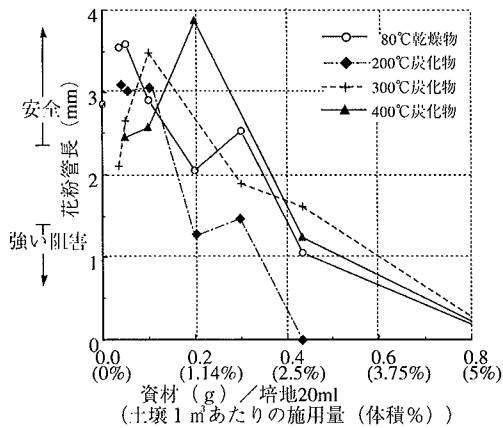


写真-1 花粉管生長テスト



図一五 花粉管長に及ぼす各種炭化物の影響

4.1 花粉管生長テストによる各種炭化物の評価

4.1.1 試験概要 ショ糖 8%，ホウ素 17 ppm，寒天 1.2%，pH 5.5 となるよう培地を作成する。そこに（炭化物：水 = 1：4）で 24 時間浸漬した抽出液をある一定量添加し、固化させる。茶の花粉を、写真一のように 6 箇所に置床し 25°C 20 時間培養後、花粉管長を測定する。

4.1.2 結果及び考察 試験結果を図一五に示す。抽出液を加えない培地における花粉管長（2.9 mm）を対照として指数で表した際、花粉管生長指数 50 以下を強い阻害、80 以上を安全とみなし、植物発根への影響を評価する。これより、300°C 以上の炭化物を培地に 0.4 g すなわち、土壌への混合量が 2.5%（容積%）以下であれば、植物に悪影響を及ぼさないことがわかる。300°C、400°C 炭化物は、対照の花管長の 120~130% 伸張している。花粉管は、根毛と性質が似ていることから、クロレラ 300、400°C 炭化物のある一定濃度（低濃度である）の施用は、植物の発根を促すと思われる。

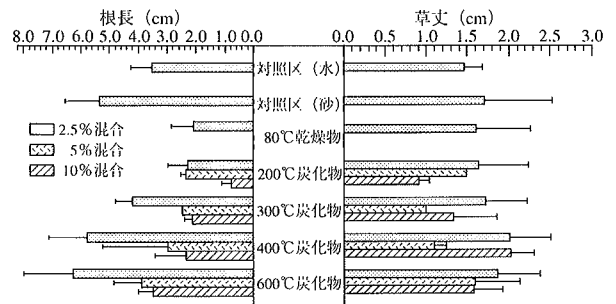
4.2 発芽試験（シャーレ培地試験法）による各種炭化物の評価

4.2.1 試験概要 各炭化物を砂に体積あたり 2.5~10% となるよう混合する。混合試料をそれぞれ 50 ml ずつ径 9 cm のシャーレにとり、イオン交換水を（約 15 ml）加えて培地を作成し、コマツナ種子 20 粒を播種する。培地が乾かないよう水分を加えて培養し、コマツナを発芽、生育させる。このとき対照として、水、砂のみの区を設ける。

4.2.2 結果及び考察 コマツナの発芽率を表一四に示す。これより、80°C 乾燥物及び 200°C 炭化物は、コマツナ播種後、2~3 日で微生物による腐生が起りはじめ、コマツナの発芽が阻害された。一方、300°C 以上の炭化物において、コマツナの発芽率は、70% 以上であった。また、播種 1 週間後の草丈及び根長を図一六に示す。300~600°C 炭化物を砂に 2.5%（容積%）混合した際、対照と同様、根の生長は良く、主根が長く、根毛が多く観察された。しかしながら、5%（容積%）以上混合した

表一四 コマツナ発芽率

試験区	混合量 (%)		
	2.5%	5%	10%
80°C 乾燥物	85	0	0
200°C 炭化物	88	25	30
300°C 炭化物	97	85	80
400°C 炭化物	100	75	80
600°C 炭化物	100	90	90
砂のみ	100		
対照（水）	100		



図一六 コマツナ播種 1 週間後の草丈、根長

場合は、対照と比較してコマツナの生育が悪かった。以上から、クロレラを 300°C 以上の温度で炭化すると、砂に 2.5~10%（容積%）混合してもコマツナの発芽に悪影響を及ぼさない。しかし、植物の初期生育、発根促進の面から混合割合は 2.5%（容積%）以下が良いと思われる。

5. まとめ

今回、排水処理後の余剰微生物の環境保全資材化に関して検討したところ、以下の知見が得られた。

- ① 余剰藻体を炭化処理することで緑農地における有用な土壌改良資材として利用可能である。
- ② 300°C ないし、400°C で炭化した炭化物は微生物に分解されにくい安定した状態を維持し、さらに土壌に 2.5%（容積%）程度混合した際、植物の初期生育に阻害は無く、むしろ発根を促す。

参考文献

- 1) 加藤，他：微生物による有機系排水処理と余剰微生物の資源化に関する研究（その 1），大林組技術研究所報，No. 48，p. 155~162，（1994）
- 2) 伊達 昇：有機質肥料と微生物資材，（社）農山村文化協会，p. 143，（1989）
- 3) 農業技術大系：土壌施肥編 7，（社）農山村文化協会，（1986）
- 4) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合編：木炭と木酢液の新用途開発研究成果，（1990）
- 5) 越野正義：詳細肥料分析法，養賢堂，p. 67~69，（1988）
- 6) 土壌養分測定法委員会：土壌養分分析法，養賢堂，p. 151~152，（1973）
- 7) 小西茂毅，他：花粉管生長テストによる堆肥の腐熟度検定，農業および園芸，Vol. 62，No. 12，p. 1401~1406，（1987）