

第IV章 「埋立処分場における光触媒処理技術に関する総合評価」

北宅 善昭（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科）

森 達摩・相子 伸之・矢吹 芳教・豊原 憲子（大阪府環境農林水産総合研究所）

・・・・・・埋立地の安定化に基づく跡地利用およびCO₂循環

—浸出水を利用した自然景観形成技術—・・・・・・

1. 浸出水を利用した水耕栽培技術に関する研究

はじめに

本研究の最終目標は、埋立地の安定化に基づく跡地利用およびCO₂循環の観点から、自然景観形成技術について提案することである。本研究では植物を利用して、通常の浄化処理法では分解することが難しい埋立処分場からの浸出水中の有機性有害物質を除去するとともに、CO₂を植物バイオマスとして固定化する技術を開発することを目的とする。可視光応答型光触媒の酸化分解機能を活用した太陽光利用型浄化処理技術により浸出水を処理した後、さらに植物の吸収・浄化作用により、浸出水中に残存する有機性有害物質を除去する技術を確立する。浄化に用いた植物はバイオマスとして利用し、カーボンニュートラルとしてのバイオエタノールなどのエネルギー資源やポリ乳酸などの生分解性プラスチック材料として活用することにより、物質循環型社会の構築に寄与する。また、埋立地の植生景観を造成するための基礎知見を得るため、浸出水を用いた樹木の育成について検討した。

平成20年度は、4種の候補作物（レタス、サツマイモ、クウシンサイ、トマト）を用いて、浸出水を用いた養液栽培への適合性について調査し、浸出水に対する耐性を持つと判定されたサツマイモについて、その養液栽培におけるバイオマス生産能力について検討した。その結果、サツマイモは、浸出水含有成分濃度を半減できれば、浸出水を含む培養液で栽培でき、バイオマス生産能力を高く維持できる可能性のあることが分かった。

平成21年度は、水質浄化およびバイオマス生産のための候補作物として、イネの利用可能性について検討した。またサツマイモの養液栽培についても、継続して検討した。

平成22年度は、埋立地の浸出水を用いた緑化樹木育成の可能性を検証することを目的として、木本植物2種（キョウチクトウ、ハンノキ）の成長に及ぼす浸出水濃度の影響を調べた。

材料および方法

1) 野菜の生育に及ぼす浸出水の影響

実験1：浸出水に対する作物の耐性調査

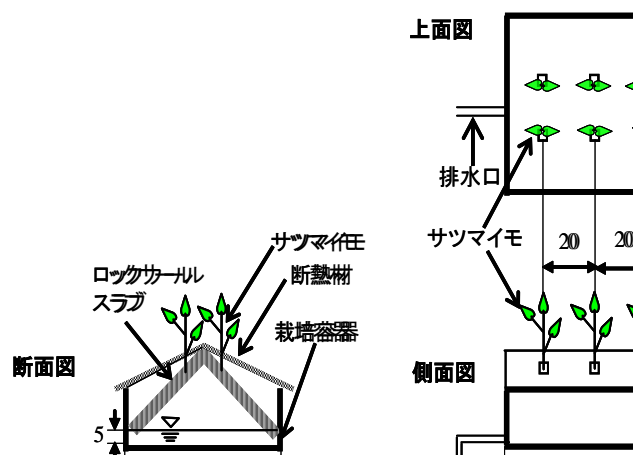
埋立地からの浸出水を用いた植物の養液栽培の可能性を検証することを目的として、農業で栽培される4種の作物（レタス、サツマイモ、クウシンサイ、トマト）を用いて、浸出水の濃度が植物の成長に及ぼす影響を調べた。

ロックウールブロック（30×30×30mm）を根の支持培地として用い、9～14日間育苗した植物体を実験に用いた。共通の基本培養液として大塚ハウスA処方（窒素 18.6、リン酸 5.1、カリ 7.6、カルシウム 8.2、マグネシウム 3.7 me L⁻¹、その他微量元素を含む）を用い、浸出水濃度の異なる試験区で栽培試験を行った。試験区には、浸出水 7L を用いた試験区（以後、浸出水区）、浸出水 3.5L + 蒸留水 3.5L を混合した試験区（以後、1/2 浸出水区）、イオン交換水のみ 7L を用いた試験区（以後、対照区）の計 3 試験区を設けた。栽培試験は、人工光型グロースチャンバー内で、15～28 日間行った。養液温度は 21～24℃/20～23℃（明期/暗期）、チャンバー内の気温は 26～32℃/21～23℃（明期/暗期）、相対湿度は 28～53%/53～85%（明期/暗期）であった。光源には白色蛍光灯を用い、光合成有効光量子束密度は 300～340 μmol m⁻² s⁻¹、明期は 12 h d⁻¹ とした。

実験 2：サツマイモの養液栽培によるバイオマス生産

サツマイモを養液栽培した場合のバイオマス生産能力について検討するため、浸出水を含まない通常の養液を用いて、夏期の埋立処分場の高温、乾燥、強風条件を模擬した環境（大阪府立大学農学部本館屋上）で、簡易養液栽培装置（図 1）を用いてサツマイモ（品種名、高系 14 号）の栽培試験を行った。

栽培容器には、ステンレス製の容器（190×55×25 cm³）を用いた。栽培容器の内部には塊根が形成されるようにロックウールスラブ（180×55×25 cm³）を配置した。栽培液として、大塚ハウス A 処方の 1/2 濃度液を用いた。培養液は、塩化ビニル製パイプと貯水槽および電動ポンプにより、栽培容器の排水口から給水口に常時循環させた。植栽密度は 2 株/m² とした。



2) イネおよびサツマイモの生育に及ぼす浸出水の影響

浸出水には大阪湾臨海部堺第 7-3 区 P ピットの排水（硝酸態窒素 (NN) 濃度 154 mg L⁻¹、アンモニ

ア態窒素(AN)濃度 76.0 mg L^{-1})を用いた。植物には、収穫物をバイオマスエネルギーとして利用可能なイネとサツマイモを用いた。

実験1 浸出水に耐性を示すイネ品種の選定：イネ 10 品種(表 1 参照)の種子をロックウール上で発芽させ、4 週間後に成長が同程度の苗を選定して供試した。試験区は、イオン交換水と浸出水を混合した 50%区(イオン交換水：浸出水=1：1)および 100%区(浸出水のみ)とし、対照区(イオン交換水のみ)を設けた。試験開始時の水量は 7 L とし、一般の養液栽培で用いられる大塚 A 処方に相当する培養液成分(硝酸態 N: 233 mg L^{-1} 、アンモニア態 N: 22.5 mg L^{-1})を各区に加え、 $24 \times 33 \times 11 \text{ cm}$ の容器で 2 週間養液栽培した。養液上に厚さ 0.8 cm の発泡スチロール板を浮かべ、各区に各品種 6 個体を 3 cm 間隔でロックウールごと植えた。実験は、気温 24°C 、相対湿度 60%のグロースチャンバー内で行った。

実験2 浸出水がイネの収量に与える影響：実験 1 の結果より選定したツクシ赤モチとアサヒモチの苗を、実験 1 と同様に準備して供試した。試験区は、浸出水混合比に応じて 25%区および 50%区とし、対照区を設けた。試験開始時の水量は 60 L とし、大塚 A 処方に相当する培養液成分を各区に加え、大阪府立大学構内のガラス温室内で 106 日間(2009 年 8 月 5 日～11 月 19 日)養液栽培した。 $61 \times 35 \times 30 \text{ cm}$ の容器を使用し、厚さ 1.5 cm の発泡スチロール板を養液上に浮かべ、各区にツクシ赤モチ 10 個体とアサヒモチ 8 個体を 9 cm 間隔でロックウールごと植えた。33 日目および 53 日目には水量が著しく減少したため、試験開始時と同じ量、成分の養液に更新して栽培を続けた。

実験3 浸出水がサツマイモの収量に与える影響：サツマイモ 3 品種(表 2 参照)の 1 葉 1 節をロックウール培地に挿して、気温 24°C 、相対湿度 60%のグロースチャンバーで 4 週間栽培し、新芽が正常に成長した個体を苗とした。実験 2 と同様の試験区および容器を準備し、大阪府立大学構内のガラス温室内で 76 日間(2009 年 9 月 11 日～11 月 26 日)養液栽培した。多孔質粒子(粒径約 8 mm)で容器を満たして苗の支持体とし、各区に各品種の苗 3 個体ずつを 9 cm 間隔で植えた。試験開始時の水量は 4 L とし、7 日間隔で試験開始時と同じ量、成分の養液を追加した。

3) 緑化樹木の生育に及ぼす浸出水の影響

緑化樹木として木本 2 種(キョウチクトウ、ハンノキ)の成長に及ぼす浸出水濃度の影響を調べた。

浸出水には大阪湾臨海部堺第 7-3 区 P ピットの排水を用いた。試験区は、浸出水 25% (イオン交換水：浸出水=3：1)、浸出水 50%区(イオン交換水：浸出水=1：1)、および 100%区(浸出水のみ)とし、また対照区(イオン交換水のみ、0%区)を設けた。基礎肥料成分として、一般の養液栽培で用いられる大塚 A 処方に相当する培養液成分を各区に加え、養液栽培した。

結果および考察

1) 野菜の生育に及ぼす浸出水の影響

浸出水濃度 0% (対照区)、50% (1/2 浸出水区)、100% (浸出水区) の水に養分を添加した養液を用いて栽培したレタス、サツマイモ、クウシンサイおよびトマトの生育状況を図 2-a~d に、地上部乾物重、葉面積、根部乾物重、根長を表 1 に示す。レタス、クウシンサイおよびトマトでは、1/2 浸出水区および浸出水区の地上部および根の成長は、対照区に比べて著しく抑制された。しかしサツマイモでは、1/2 浸出水区の地上部および根の成長は対照区と同等であった。

サツマイモは、浸出水に含まれる成長抑制成分を半減することにより、対照区と同等の成長が期待できることから、埋め立て地でのCO₂吸収源として、さらにはバイオマス資源生産に有効な植物である。

対照区、1/2 浸出水区およびの浸出水区の栽培養液の電気伝導度 (EC) は、栽培試験開始時ではそれぞれ 0.12、0.28 および 0.44 S m⁻¹ であり、栽培試験終了時には蒸発散による水の損失によりそれぞれ 0.16~0.40、0.47~0.74 および 0.66~0.88 S m⁻¹ に上昇した。浸出水が植物の成長を抑制した一因として、浸出水を含む栽培養液の高い EC が考えられる。浸出水に含まれる個々の有機性有害物質が植物の生育に及ぼす影響については、今後検討しなければならない課題である。

表 1. 浸出水濃度の異なる養液を用いて栽培した4種植物の成長特性

処理区	レタス				サツマイモ				クウシンサイ				トマト			
	地上部		根部		地上部		根部		地上部		根部		地上部		根部	
	乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)	乾物重 (g)	根長 (cm)	乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)	乾物重 (g)	根長 (cm)	乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)	乾物重 (g)	根長 (cm)	乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)	乾物重 (g)	根長 (cm)
対照区	2.12 a	1089 a	0.18 a	25.6 a	1.27 a	261 a	0.29 a	18.8 a	2.34 a	415 a	0.63 a	37.2 a	3.71 a	952 a	0.65 a	42.2 a
1/2浸出水区	1.63 b	777 b	0.15 a	18.3 b	1.07 ab	266 ab	0.27 ab	21.1 a	1.66 b	300 b	0.28 b	12.4 b	1.55 b	404 b	0.38 ab	27.3 b
浸出水区	1.13 c	468 c	0.14 a	12.9 c	0.3 c	74 c	0.09 c	18.9 a	1.27 bc	223 bc	0.17 bc	10.7 bc	1.00 bc	206 bc	0.18 bc	17.5 bc



図2-a. 浸出水濃度の異なる養液で栽培したレタス (試験開始後28日)



図2-b. 浸出水濃度の異なる養液で栽培したサツマイモ (試験開始後24日)



図2-c. 浸出水濃度の異なる養液で栽培したクウシンサイ (試験開始後24日)



図2-d. 浸出水濃度の異なる養液で栽培したトマト (試験開始後15日)

2) サツマイモの養液栽培によるバイオマス生産能

図3にサツマイモの養液栽培の状況、図4に収穫後のサツマイモ塊根部を示す。また、地上部および塊根部の生体重と乾物重を表2に示す。1株あたりの塊根部生体重は1.6 kg、1 m²あたりでは3.2 kgとなった。この品種（高系14号）の全国平均の塊根収量は2.22 kg/m²であり（農林水産統計報告, 1977）、本結果は全国平均収量の1.45倍となった。またバイオマス生産の指標となる乾物収量については、1株あたりの塊根部および塊根・茎葉部の合計はそれぞれ0.45 kg および0.74 kg となり、また1 m²あたりでは、それぞれ0.89 kg および1.47 kg となった。サツマイモの場合、実験1の結果から、浸出水含有成分濃度を1/2以下に低減できれば、この実験2の結果と同等の収量が得られると考えられる。

光合成で吸収されたCO₂量の乾物量への変換率、すなわち乾物重/吸収CO₂量は、一般に0.67であるので、今回の養液栽培試験で得られた塊根・茎葉部合計の乾物収量1.47 kg/m²から、この栽培システムによるサツマイモのCO₂吸収速度は約22 t/ha/年と推定され、温帯の森林のCO₂吸収速度の推定値約6.5 t/ha/年（「地球環境保全と森林に関する懇談会」資料(2002/5)より）の3.4倍のCO₂吸収能力を持つことになる。



図4. 養液栽培で170日間育成したサツマイモ(品種、高系14号)の塊根の例

サツマイモは、浸出水含有成分濃度を1/2以下に低減できれば、浸出水を含む培養液で栽培可能であることが分かった。今後、光触媒処理技術を用いて有機性有害物質濃度を1/2以下まで除去した浸出水によるサツマイモ養液栽培法を確立し、さらなる浸出水の浄化と同時にバイオマス生産を行い、サツマイモを埋め立て地でのCO₂吸収源として、さらには収穫物をバイオマス資源として有効利用できる技術を開発する必要がある。

3) イネおよびサツマイモの生育に及ぼす浸出水の影響

浸出水を用いた養液栽培におけるイネ9品種の適合性評価結果を表3に示す。ツクシ赤モチ、アサヒモチ、コシヒカリが他品種よりも50%浸出水区における成長抑制の程度が小さかった。特にアサヒモチでは、浸出水による成長抑制の影響が小さかった。光合成速度およびバイオマス生産速度の指標として重要と考えられる葉数と乾物重について、各品種間で順位付けを行った結果、アサヒモチが最も良い結果となり、次いでツクシ赤モチの順となった。

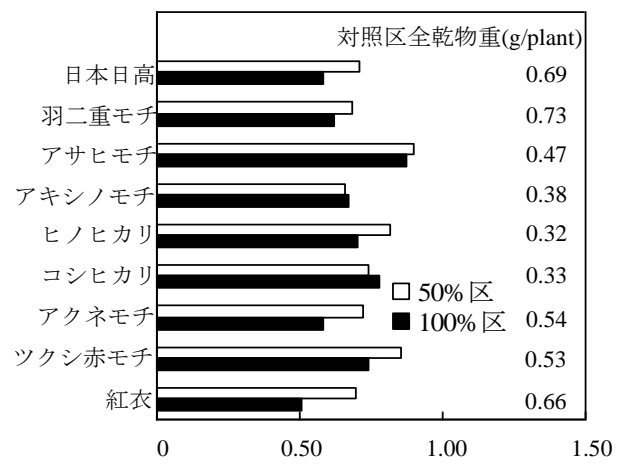


図5 イネ各品種における対照区に対する処理区的全乾物重相対値 (n=6)

表3. 侵出水濃度がイネ各品種の成長に及ぼす影響 (平均値±標準偏差)

処理区	品種	長さ(cm)		生体重(g/plant)		乾物重(g/plant)		葉数 (/plant)
		茎葉	根	茎葉	根	茎葉	根	
対 照 区 (0 % 侵 出 水)	紅衣	49.8±0.8	20.0±3.2	2.55±0.44	1.26±0.29	0.52±0.01	0.15±0.03	11.8±2.2
	ツクシ赤モチ	47.7±2.5	19.5±2.7	2.26±0.52	1.71±0.50	0.40±0.02	0.14±0.03	12.7±1.5
	アカネモチ	42.4±1.8	24.3±8.8	2.42±0.33	1.81±0.21	0.40±0.02	0.14±0.02	13.0±1.7
	キヌヒカリ	45.4±3.8	20.0±1.6	1.33±0.46	0.84±0.30	0.25±0.02	0.08±0.03	6.0±2.0
	コシヒカリ	40.5±1.3	20.5±1.2	1.43±0.25	0.83±0.16	0.44±0.01	0.07±0.01	8.5±1.4
	日本日高	48.2±2.3	19.0±3.1	2.78±0.63	1.86±0.37	0.54±0.03	0.15±0.03	11.7±1.0
	アキシノモチ	45.0±3.8	23.8±3.0	1.82±0.45	1.02±0.23	0.30±0.03	0.08±0.02	9.5±2.3
	アサヒモチ	49.2±3.0	22.0±3.0	2.47±0.75	1.34±0.44	0.25±0.02	0.10±0.04	13.0±2.9
	羽二重モチ	49.4±2.2	22.6±1.7	3.43±1.15	1.74±0.75	0.60±0.03	0.13±0.05	15.3±2.9
5 0 % 侵 出 水 区	紅衣	42.6±1.9	15.4±1.4	1.76±0.33	1.23±0.31	0.38±0.02	0.08±0.02	10.0±1.9
	ツクシ赤モチ	40.4±2.1	20.0±3.5	1.73±0.26	1.52±0.27	0.36±0.02	0.10±0.02	12.5±2.7
	アカネモチ	34.7±1.3	16.3±1.1	1.46±0.59	1.25±0.45	0.29±0.01	0.10±0.04	11.2±3.6
	キヌヒカリ	36.6±3.2	17.3±1.8	0.89±0.26	0.74±0.34	0.19±0.02	0.05±0.02	6.2±1.8
	コシヒカリ	37.8±3.6	16.2±3.0	1.03±0.50	0.82±0.43	0.20±0.02	0.06±0.03	6.7±3.9
	日本日高	40.3±3.4	16.7±7.0	1.83±0.44	1.56±0.38	0.38±0.03	0.10±0.02	10.5±2.0
	アキシノモチ	37.6±3.3	17.5±2.9	0.91±0.38	1.04±0.50	0.17±0.02	0.08±0.03	5.2±2.9
	アサヒモチ	41.5±2.0	16.9±1.3	1.63±0.33	1.50±0.33	0.33±0.02	0.10±0.02	11.2±1.9
	羽二重モチ	43.8±3.0	18.9±2.9	2.15±0.44	1.33±0.28	0.41±0.03	0.09±0.02	11.5±2.4
1 0 0 % 侵 出 水 区	紅衣	40.6±3.1	15.7±1.1	1.27±0.43	0.63±0.24	0.28±0.02	0.05±0.02	7.7±2.7
	ツクシ赤モチ	39.2±2.8	18.9±1.0	1.31±0.46	0.86±0.26	0.32±0.02	0.07±0.02	9.0±2.4
	アカネモチ	33.6±5.5	17.1±1.0	1.26±0.17	0.65±0.14	0.26±0.04	0.06±0.01	9.2±1.7
	キヌヒカリ	35.1±2.2	16.4±1.9	0.90±0.38	0.51±0.25	0.21±0.01	0.04±0.02	6.0±1.9
	コシヒカリ	35.1±4.1	19.4±6.3	0.78±0.37	0.41±0.21	0.19±0.02	0.04±0.02	6.0±2.5
	日本日高	38.7±1.9	16.6±3.0	1.47±0.44	0.75±0.21	0.33±0.02	0.07±0.02	9.5±3.2
	アキシノモチ	37.6±1.6	15.6±1.6	0.91±0.26	0.37±0.15	0.22±0.01	0.03±0.01	6.3±1.26
	アサヒモチ	41.1±2.5	18.4±1.6	1.55±0.49	0.86±0.30	0.34±0.02	0.07±0.02	9.7±2.5
	羽二重モチ	40.5±2.5	17.6±2.6	1.91±0.65	0.75±0.37	0.39±0.02	0.06±0.03	12.5±3.3

対照区に対する50%区的全乾物重相対値は、アサヒモチ(0.90)が最大となり、次いでツクシ赤モチ(0.85)が大きくなった(図5)。ツクシ赤モチは、50%区的全乾物重が対照区に比べて35%小さくなった。25%区と対照区の間には、地下部乾物重を除き有意差が見られなかった。

一方、アサヒモチは害虫の食害を受け、全乾物重はツクシ赤モチに比べて小さくなった(表4)。ツクシ赤モチは、アサヒモチより害虫の食害に強く、25%区で対照区とほぼ同等の成長および収量が期待できるため、埋立地での栽培に適していると考えられる。

表4 イネ各品種の成長及び収量(平均±標準偏差)

		乾物重(g/plant)		全籾重 (g/plant)	全乾物重 (g/plant)
		地上部	地下部		
ツクシ赤モチ	対照区	16.8±4.5 a	3.7±0.8 a	7.8±2.8 a	25.2±6.8 a (1.00)
	25%区	13.4±3.3 ab	2.8±1.0 b	6.2±2.6 a	19.5±5.4 ab (0.77)
	50%区	11.7±3.0 b	2.5±0.9 b	3.2±0.9 b	16.3±4.2 b (0.65)
アサヒモチ	対照区	4.1 ±1.7 b	0.8±0.3 b	1.3±0.4 c	5.5 ±2.0 c (1.00)
	25%区	5.3 ±1.1 b	0.9±0.3 b	3.2±0.9 b	8.0 ±1.6 b (1.45)
	50%区	9.9 ±2.3 a	1.6±0.5 a	5.6±1.0 a	15.1±3.3 a (2.75)

ツクシ赤モチ n=9 アサヒモチ n=6

異なるアルファベットは有意水準5%での有意差を示す

籾重は含水率14%の値

全乾物重のかっこ内数値は対照区に対する相対値

サツマイモ3品種の乾物重は、試験区間で有意差が見られなかった。対照区に対する50%区的全乾物重相対値は、ベニアズマが0.88で最大であることから(表5)、ベニアズマの浸出水への耐性は、比較的高いと考えられる。

浸出水を25%に希釈して2ヶ月以上の栽培に用いると、ツクシ赤モチおよびベニアズマは、対照区とほぼ同等の成長および収量とな

った。50%希釈の浸出水では、今回供試した植物は枯死せず成長したが、対照区と比較して成長が抑制された。埋立地では、ツクシ赤モチおよびベニアズマを25%程度に希釈した浸出水を用いて栽培することで、浸出水による成長抑制を軽減でき、同時に浸出水中窒素分量を減少させることができると考えられる。

表5 サツマイモ各品種の成長(平均±標準偏差 n=3)

		乾物重 (g/plant)		全乾物重 (g/plant)
		地上部	地下部	
クイックスイート	対照区	15.0±9.1	3.2±1.9	18.3±11.0 (1.00)
	25%区	12.1±0.8	2.0±0.1	14.1±0.8 (0.77)
	50%区	9.2 ±2.6	1.6±0.4	10.7±2.9 (0.58)
ベニアズマ	対照区	13.2±6.7	0.8±0.2	14.0±6.9 (1.00)
	25%区	10.1±5.6	2.6±3.1	12.6±3.4 (0.90)
	50%区	11.6±2.9	0.6±0.3	12.3±3.2 (0.88)
高系14号	対照区	10.1±3.8	1.7±1.1	11.9±4.9 (1.00)
	25%区	9.1 ±8.4	1.2±1.2	10.3±9.6 (0.87)
	50%区	6.2 ±1.6	1.1±0.6	7.3 ±1.5 (0.61)

全乾物重のかっこ内数値は対照区に対する相対値

4) 緑化樹木の生育に及ぼす浸出水の影響

樹木については、キョウチクトウの新葉の展開は、100%区で著しく抑制されたが、50%区の新葉の数は、対照区よりも多くなる傾向を示し、また新葉のクロロフィル含量は多くなった(表6)。100%浸出水にはアンモニア態窒素が多く含まれる(濃度63 mg/L-1、通常の植物栽培液の約10倍

に相当)。キョウチクトウの新葉展開の促進は、そのアンモニア態窒素が、植物の養分として利用されたことに起因すると考えられる。逆に100%浸出水で栽培したキョウチクトウの成長抑制や、根の異常分岐（図6）は、高いアンモニア濃度に起因すると考えられる。ハンノキの成長も同様な傾向であった。

表6. キョウチクトウの成長に及ぼす浸出水の影響

処理区	全生体重 (g/plant)	新規展開葉数 (/plant)	新葉の相対クロロフィル 含量 (SPAD値)
対照	29.3±6.6	22.7±5.1	25.5±4.4
50%	32.5±10.2	26.3±9.1	48.1±6.0
100%	33.1±7.3	3.7±4.9	38.9±9.1

相対クロロフィル含量は、SPAD計で計測。
調査個体数/処理日数: 3個体/23日



対照区 50%浸出水区 100%浸出水区

図6. 各処理区で成長したキョウチクトウ

まとめ

以上の植物成長調査の結果を基に、埋め立て地を緑化して、浸出水を浄化すると共に、CO₂の吸収・固定を促進するための植物栽培システムの概要を提案した（図7）。ここでは、まず可視光応答型光触媒を用いて、浸出水に含まれる難分解性COD成分や有機性有害物質を処理する。次に1/2から1/4の濃度にまで浄化した浸出水で植物を栽培し、浸出水に残存する有機・無機成分を植物に吸収させて除去すると共に、植物生態系を介した蒸発散により水量を減少させ、その後、河川や海洋に放出する。

浸出水の含有成分を25～50%に低減することにより、サツマイモやイネの栽培が可能であることが分かった。今後、CO₂吸収源及びバイオマス資源として、埋め立て地でのバイオマス生産システム、さらには収穫物をバイオマス資源として有効利用できる技術を確立する必要がある。

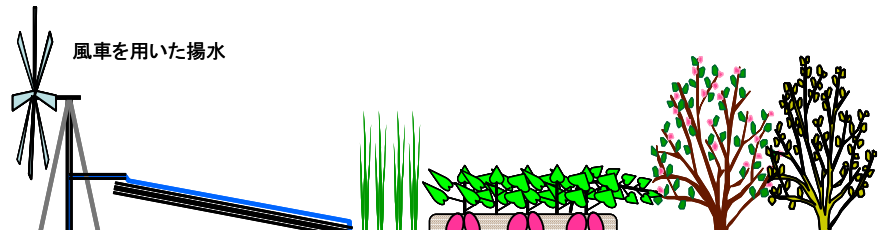


図7. 提案する浸出水浄化システムの概要

2. 浸出水を利用した土耕栽培技術に関する研究

目的

埋立地の安定化に基づく跡地利用およびCO₂循環の観点から、自然景観形成技術について提案するとともに、浸出水処理過程で排出される二酸化炭素や、処理水に含まれる栄養塩類による環境負荷を軽減する手法として、植物栽培床を用いた栄養塩類の除去と炭酸ガス固定の促進による処理水管理を行う。

材料と方法

1) 浸出水がコマツナの生育に及ぼす影響

埋め立て地浸出水の植物育成への影響を調査するために、採取した浸出水に水道水を加えて塩濃度のレベルを変え、発芽したコマツナにかん水して生育状況を調査した。試験に供試した浸出水には窒素が0.074 g/L含まれていたことから、希釈した処理水に大塚液肥 OKF-1（全窒素 15%水溶性リン酸 8%水溶性カリ 17%）を添加して全窒素量をそろえた。

(1) 浸出水の希釈

- ① 浸出水原液
- ② 75%浸出水+OKF-1
- ③ 50%浸出水+OKF-1
- ④ 25%浸出水+OKF-1
- ⑤ 水道水+OKF-1

(2) 耕種概要

100 cm²ノイバウエルポットにピートモス主体のは種用土 500 mL を充填し、コマツナ種子を16粒は種した。発芽までは水道水でかん水し、発芽がそろった段階で日あたりの蒸発水分 20~30 mL について、浸出水を与える処理を開始した。20℃、5000 Lx、12 時間日長の人工気象室内で管理した。

結果

- (1) 浸出水は採取から 48 時間の曝気処理の後、約 1 週間放置したものを使用した。この結果、試験開始時の pH は、浸出水原液で 6.98 となり、植物育成には問題のないレベルとなった（表 1）。
- (2) 希釈して肥料を添加した浸出水の pH は原液よりもやや高くなった。一方、EC は希釈することで低くなった（表 1）。
- (3) 処理開始 2 週後のコマツナの生育は、75%および 25%液で葉長の伸長が促進され、原液

および 50%液で伸長が劣り、0%（肥料添加）区では中間の生育結果となった（表 1）。

- (4) 葉緑素の量を示す SPAD 値は浸出水の濃度が高いほど高くなった（表 1）。
- (5) 処理開始 2 週後の草姿に大きな差は認められず、障害等は発生しなかった（図 1）。
- (6) 処理開始 4 週間には浸出水の濃度レベルが高くなることで葉の伸長が抑制されるなど、生育に差が認められたが、原液の処理終了時の土壌の EC が通常の植物栽培基準とされる 0.1 S/m の 10 倍程度に高くなっていてもかかわらず、外見上、明かな障害は認められなかった（図 1, 表 1）。
- (7) 浸出水原液を与えた区では、土壌に含まれるわずかな肥料成分をのぞいて施肥をおこなっていないが、コマツナは可食レベルまで生長した（図 1）。植物体分析結果では、窒素、カリ、鉄、亜鉛において浸出水原液区が他の区よりもかなり高くなる傾向が認められた。苦土については浸出水の割合が高くなるほど含有量が低くなる傾向があった（表 2）。

表 1 浸出水処理がコマツナの生育および土壌の pH、EC に及ぼす影響

試験区 浸出水濃度	肥料添加量 (OKF-1) ¹⁾	処理 2 週間後 ²⁾		試験開始時の水		試験終了時の土壌	
		葉緑素 SPAD 値	葉長 mm	pH	EC(S/m)	pH	EC(S/m)
① 原液	なし	38.36	28.82	6.98	0.566	6.03	1.042
② 75%	0.125g/L	37.86	34.14	7.08	0.488	6.06	0.72
③ 50%	0.25g/L	37.56	28.70	7.18	0.357	6.26	0.519
④ 25%	0.375g/L	37.44	35.02	7.36	0.207	6.49	0.248
⑤ 0%	0.5g/L	36.14	31.76	7.47	0.072	6.07	0.162

1) OKF-1：全窒素量 15%、水溶性リン酸 8%、水溶性カリ 17% 2) 植物体調査は処理開始 2 週間後



処理開始 2 週間後



処理開始 4 週間後

図 1 浸出水濃度の異なる試験区におけるコマツナの生育状況

表 2 浸出水で育成したコマツナの植物体分析結果

試験区	炭素 %	窒素 %	C/N 比	リン %	カリ %	石灰 %	苦土 %	鉄 ppm	亜鉛 ppm	Mn ppm
原液	35.39	3.39	10.44	0.548	6.185	1.66	0.75	118	472	192
75%	36.89	2.38	15.51	0.495	4.51	1.63	0.74	73	419	186
50%	38.18	2.71	14.09	0.537	5.11	1.78	0.80	64	365	188
25%	36.89	2.27	16.85	0.511	4.36	1.78	0.80	73	302	167
0%	35.39	2.63	14.52	0.627	5.58	1.95	0.96	70	334	174

処理開始 4 週後の最終調査時植物体

考察

浸出水による植物育成の可能性を明らかにするために、ノイバウエルポットを使った、閉鎖型容器でのコマツナ栽培試験を実施した結果、試験実施期間の範囲では生育抑制は認められたものの、ほぼ正常に生育することが明らかとなった。ノイバウエルポットでは塩類の流亡がないために、栽培期間が長くなることで土壌中の EC が高くなったが、今回の浸出水供給量は、培地容積を上回っていることから、実際の栽培では浸出水原液による十分な掛け流し処理をおこなうことで、植物が生育可能な EC に保持できることが示された。

浸出水原液に対して、肥料として OKF-1 を添加した区では、浸出水の濃度とコマツナの生育が必ずしも反比例していない。これについては、ほうれん草を用いておこなった試験でも同様の傾向が示されていることから、浸出水に添加した肥料成分が植物体に吸収されにくい形に変化した可能性が示唆される。

結論

浸出水原液は、土耕栽培において用水、液肥として機能し、肥料添加なしにコマツナを栽培することができる。

2) 浸出水がてんさいおよび緑化・修景用花きの生育に及ぼす影響

廃棄物処分場における浸出水利用による植物栽培について、バイオマス生産効率が特に高いてんさいの栽培可能性と浸出水による生育が可能な緑化用花き類の探索を行った。

温帯での生育適応性のあるてんさい種子を7品種入手し、夏の高温条件で栽培を行った結果、発芽及び初期生育について適応性のある品種を見いだした。この品種を用いて乾湿の変化が大きい緑化用薄層植栽マスを用いた栽培試験を行った結果、心配された高温による立ち枯れの発生は認められず、乾燥・高温条件でも長期にわたって良好に生育することが明らかとなった。さらに、浸出水処理を想定したポットでの耐塩性試験を行った結果、塩濃度 1%でも生育が可能であり（図2）浸出水による栽培への適性が確認できた（図1）。また、てんさいと同じアカザ科のほうれん草を用いた浸出水施用試験では、水と比較して生育促進効果が認められ、昨年度のこまつな栽培試験と同様に、浸出水中の窒素を肥料成分とした栽培が可能であった。あわせて、緑化、修景用花き類6品目（キンセンカ、ナデシコ、ロベリア、クリサンセマム、ナバナ、パンジー）について耐塩性試験を行った結果、浸出水と同等の塩濃度 0.5%処理で、花壇苗として一般的なスミレ科のパンジーではすべてが枯死するなど（図2）適性が無く、利用できる品目が限定された。



図1 浸出水灌水によるアカザ科植物*の生育
※ここではてんさいの代替としてほうれん草を供試

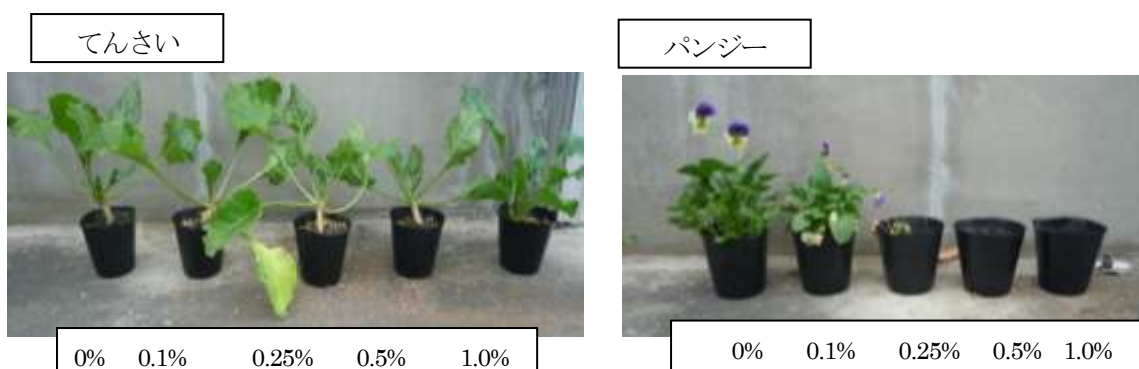


図2 栽培に用いた水の塩濃度が植物の生育に及ぼす影響

3) 浸出水を利用したてんさい栽培の可能性とエネルギー効率の試算

これまでの研究結果から、てんさいをはじめとするアカザ科の植物で、浸出水による栽培の可能性が見いだされたことから、今年度については浸出水を栄養源とした土耕栽培を行うことで、廃棄物処分場における栽培可能性を検討した。

材料と方法

廃棄物処分場における浸出水利用による植物栽培について、バイオマス生産効率が特に高いてんさいを、ワグネルポットを用いて実際に栽培し、浸出水による生育状況および炭素同化量の計測を行った。

(1) 耕種概要

これまでの栽培試験結果から選抜した高温条件で生育のよい系統を7月30日に200穴セルトレイには種し育苗した。1/5000a ワグネルポット（底面積200cm² 159φ×190mm）にピートモス:パーライト:バーミキュライト:まさ土を4:2:1:3の割合で配合し、苦土石灰によりpHを5.5~6の範囲に調整した培土を3L入れ、8月12日に本葉が2枚展開した苗を5個体定植した。以降3日間は水を与え、8月15日から浸出水処理を開始した。処理区あたり5ポットとした。途中生育状況に合わせてポット内の個体を減らし、生育が安定した時点でポットあたり1個体とした。

(2) 処理の方法

以下の4種類の試験区を設定した。

- ① 浸出水 100%
- ② 75%浸出水+OKF-1 25%
- ③ 定植後2週間 OKF-1 2000倍希釈液→75%浸出水+OKF-1 25%
- ④ OKF-1(2000倍希釈液)

試験に供試した浸出水の窒素量が0.074g/Lであったことから、希釈した処理水に大塚液肥OKF-1（全窒素15%水溶性リン酸8%水溶性カリ17%）を添加し、全窒素量をそろえた。浸出液を用いていないため比較的乾燥しやすい④の土壌表面が乾燥した時点で全試験区に給液処理を行って栽培した。途中浸出水が不足したことがあったため、このような場合はすべての区について一時的にかん水のみによる管理を行った。結果、各処理液の全施用量は4300mL/ポットとなった。

(3) 調査

平成23年3月15日にてんさいを収穫し、地下部新鮮重を計測した後、細かく切り分けて熱湯を加え、60℃で2時間維持した後に自然冷却し、12時間後に糖度計を用いてショ糖濃度を計測した。また、各培地について、栽培終了後の土壌の電気伝導度、pHを計測した。

研究の結果

- 1) 浸出水には0.074g/Lの窒素が含まれることから、1ポットあたりの全窒素施用量は0.32gとなった。
- 2) 浸出水のみを用いててんさいを栽培した結果、地下部の生育は同窒素量液肥を用いた場合の50%以下となり、生育は抑制された。
- 3) 糖濃度は浸出水100%で高く、液肥栽培では低かったが、全糖量は浸出水100%で低くなった。
- 4) 栽培終了後の培地pHはアルカリ性を示す浸出水100%でむしろ低くなった。
- 5) 栽培終了後の土壌のECは、浸出水100%区で48.4mS/mとなり、塩類障害が起こるレベルにはなかった。

以上の結果から、浸出水を用いててんさいを栽培することで、通常の液肥栽培と比較して生育が劣るものの、糖濃度の高いてんさいの栽培が可能であり、エネルギーへの転換が容易なショ糖として炭素同化物を得ることができることが明らかとなった。生育が抑制されたことについては、初年度、昨年度の試験結果からECが高まることよりも、浸出水のみではリン酸、カリの値が低く、微量元素についても供給量が不明確であることから、リン、カリの十分含まれる培地を用いるか、浸出水への不足する肥料成分の添加が必要であると考えられた。

表1 浸出水処理がてんさいの生育、糖濃度およびpH、ECに及ぼす影響

試験区	地下部新鮮重 (g)	糖濃度 (%)	全糖量 (g)	pH	EC (ms/m)
浸出水100%	22.3	15.0	3.35	4.83	48.4
浸出水75%+OKF-1 25%	28.3	14.1	3.99	5.17	28.9
OKF-1→浸出水75%+OKF-1 25%	28.5	14.0	3.99	5.19	25.1
OKF-1 2000倍液	48.3	11.7	5.31	5.06	16.7

考 察

本研究で栽培したてんさいの糖含量は一般的な栽培で得られる量(14~20%)と同等であった。生育が不十分であったことから、不足する肥料成分を補いながら浸出水を窒素源としててんさいを栽培した場合、セルロースを含む炭素同化物は10a(1,000m²)あたり2000kg、平均ショ糖生産量は1,000kg前後であると推測される。バイオマス資源としててんさいを栽培した場合、エタノール換算量[L]=ショ糖重量[kg]×換算係数(0.66)×変換効率(0.8)として計算すると、およそ528Lのエタノールが生産可能である。また、効率は低下するもののしぼりかすなどのセルロースもエタノールへの変換が可能であることから、10aあたり700~800Lのエタノールが生産可能である。

本研究が対象とする処理場の1日あたりの浸出水の量は約700tであり、CODの排水基準をクリアするために十分な有機炭素の低減濃度、すなわち処理にともなう浸出水からの炭素排出量を20mgC/Lであると仮定すると、年間の総排出炭素量は5,110kgとなる。この場合、0.6haの面積で

んさいを栽培することで、排出される炭素全量を固定することができる。また、固定した炭素をエタノールとして利用する場合を想定すると、この3倍程度の面積で、処理により排出される炭素を同化し、循環エネルギーとして利用することが可能となる。

結 論

浸出水原液を利用しててんさいを栽培することができ、浸出水に含まれる有機物の処理により排出される炭素量を固定できる。炭素は主にショ糖として同化されるため、バイオ燃料としての利用が容易である。