

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

3G-2001 地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業
採算性の高い循環システムの構築
(JPMEERF20203G01)

令和2年度～令和4年度

Construction of a Highly Business-Profitable Sewage Sludge Circulation System through Composting
in Collaboration with Local Industries

〈研究代表機関〉

鹿児島工業高等専門学校

〈研究分担機関〉

鹿児島県農業開発総合センター

産業技術総合研究所北海道センター

〈研究協力機関〉

霧島市上下水道部

鹿児島市水道局

株式会社三州衛生公社

株式会社日水コン

ヘンタ製茶有限公司

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和5年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5-1. 成果の概要	
5-2. 環境政策等への貢献	
5-3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6-1. 査読付き論文	
6-2. 知的財産権	
6-3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	15
II-1 新規下水汚泥肥料量産化技術の開発 （鹿児島工業高等専門学校、鹿児島県農業開発総合センター、産業技術総合研究所北海道センター）	
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
II-2 新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験 （鹿児島工業高等専門学校、鹿児島県農業開発総合センター）	
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
III. 研究成果の発表状況の詳細	44
IV. 英文Abstract	48

I. 成果の概要

課題名 3G-2001 地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業採算性の高い循環システムの構築

課題代表者名 山内 正仁 (鹿児島工業高等専門学校 教授)

重点課題 主：【重点課題⑩】地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する
研究・技術開発

副：【重点課題①】持続可能な社会の実現に向けたビジョン・理念の提示

行政要請研究テーマ (行政ニーズ) (3-5) 地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を
対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する
研究

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

研究経費

78,257千円 (合計額)

(各年度の内訳：2年度：29,931千円、3年度：25,321千円、4年度：23,005千円)

研究体制

(サブテーマ1) 新規下水汚泥肥料量産化技術の開発 (鹿児島工業高等専門学校)

(サブテーマ2) 新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験 (鹿児島工業高等専門学校)

研究協力機関

霧島市上下水道部

鹿児島市水道局

株式会社三州衛生公社

株式会社日水コン

ヘンタ製茶有限公司

本研究のキーワード 下水汚泥、新規下水汚泥肥料、茶栽培、地域バイオマス、地域連携

1. はじめに（研究背景等）

下水道の普及により、下水処理施設から発生する下水汚泥量は増加傾向にある。2019年度における下水汚泥量は2,341千トン（乾物重量）であり、この内1,753千トンが有効利用されている。ただし、その利用法は主に焼却後、建設資材への利用に留まり、下水汚泥の8割が有機物である特性を活かしたエネルギー利用や緑農地利用はそれぞれ7.6%、14.1%である（図0.1参照）。2013年5月に閣議決定された「第三次循環型社会形成推進基本計画」では、下水汚泥の肥料利用に関して、地域内での循環利用を支援すると示された。また2015年度の下水道法改正では、汚泥の燃料又は肥料としての再生利用努力の必要性が規定された。さらに、2018年6月に閣議決定された「第四次循環型社会形成推進基本計画」では、下水汚泥を肥料として再生利用する取組みを推進するとしている。

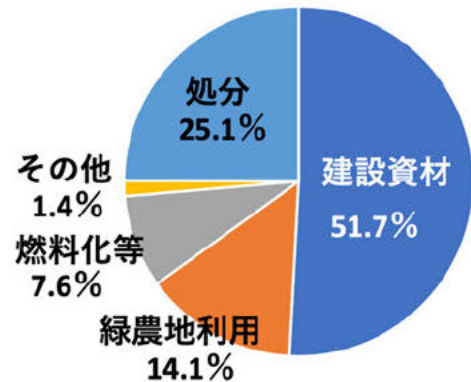


図0.1 下水汚泥の利用状況
(2019年国土交通省データ)

このように汚泥の農業利用は、国を挙げた取組みとなっている。しかしながら、下水汚泥の農業への利用率向上は現在においても見られない。この理由として、1) 既存の汚泥肥料は水分を含むと泥状になり易く、利用者側にとって使い勝手が悪いこと、2) 牛糞堆肥、化成肥料等と比べ重金属含有量が格段に高いため、「汚泥肥料＝重金属＝危険」というイメージが先行していること、3) 汚泥肥料はその殆どが葉菜類、果菜類の単年作物への利用、牧草への農地還元が主であり、利用用途が少ないこと等が挙げられる。また地域の一次産業と密接に連携し、下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取組みが行われてこなかったことが影響していると考えられる。

鹿児島県は荒茶生産量が全国第二位（7,970ha：23,900トン、2020年）であり、全国シェアの34%を占める。茶栽培では有機質肥料や配合肥料が利用されているが、その利用量は年間50kgN/10aであり、1haあたり40～60万円の肥料費がかかる。また、茶肥料の取扱数量はJA鹿児島県経済連で取り扱うすべての作物のなかで32%を占め最も多い。このような状況の中、近年の茶価低迷による粗収益の減少、肥料等生産資材価格の上昇は、茶農家の経営を圧迫しており、地域産業の衰退を引き起こす逼迫した状況となっている。また全国的に茶園土壌はカリウム含有量が増加傾向にあり、安価な高窒素・低カリウム肥料が求められている。

2. 研究開発目的

本研究は、下水汚泥の農業利用に関する課題を、地域バイオマスの利用を通して顧客ニーズに合致した新たな下水汚泥肥料に調製し、地域の一次・二次産業と連携して事業採算性の高い循環システムを構築することを最終目的とする（図0.2参照）。具体的には、サブテーマ1では、下水汚泥（脱水汚泥）に地域バイオマスである竹おが屑、米糠、焼酎粕を混合し、利用者にとって使い勝手の良い、重金属含有量を低減した新規下水汚泥肥料の量産化技術を確認する。サブテーマ2では、サブテーマ1で量産化した

下水汚泥肥料の肥料特性を最大限活用できる茶栽培への適用



図0.2 本研究の地域循環共生圏のイメージ

新規下水汚泥肥料を茶栽培に適用し、既存の有機質資材の代替として利用できることを実証する。さらに新規下水汚泥肥料を核とした茶栽培への新規市場開拓可能性を評価し、事業採算性を明らかにする。

3. 研究目標

全体目標	本研究では、脱水汚泥と複数の地域バイオマスを組み合わせ、安全で安価、かつ肥料効果が高い新規下水汚泥肥料量産化技術を確立する。量産化した汚泥肥料は国内初の試みとして高窒素・低カリウム肥料が求められている茶栽培に適用し、事業採算性の高い下水汚泥の地域循環システムを構築する。
------	---

サブテーマ 1	新規下水汚泥肥料量産化技術の開発																																																																																																													
サブテーマリーダー /所属機関	山田真義/鹿児島工業高等専門学校																																																																																																													
目標	<p>研究協力機関（三州衛生公社）の肥料化施設の一部を借用し、まず5m³規模で新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施する。本試験では小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の成分特性（N：P₂O₅：K₂O=4.0%：3.2%：1.5%、重金属量：配合肥料、牛糞堆肥などと同様）（表1.1参照）を目標値とする。</p> <p style="text-align: center;">表1.1 新規下水汚泥肥料の目標値</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">資材</th> <th rowspan="2">pH</th> <th rowspan="2">C/N比</th> <th colspan="6">N P₂O₅ K₂O CaO MgO (乾物%)</th> <th colspan="5">Cd Pb As T-Hg Ni Cr (mg/kg 乾物)</th> </tr> <tr> <th>N</th> <th>P₂O₅</th> <th>K₂O</th> <th>CaO</th> <th>MgO</th> <th>Cd</th> <th>Pb</th> <th>As</th> <th>T-Hg</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>新規下水汚泥肥料</td> <td>7.5</td> <td>11.0</td> <td>4.0</td> <td>3.2</td> <td>1.5</td> <td>0.4</td> <td>0.9</td> <td>0.3</td> <td>3.8</td> <td>2.6</td> <td>N.D.</td> <td>4.7</td> <td>8.9</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(A)*</td> <td>8.4</td> <td>6.7</td> <td>4.4</td> <td>5.8</td> <td>0.7</td> <td>11.7</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> <td>11.0</td> <td>7.8</td> <td>0.5</td> <td>31.8</td> <td>25.2</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(B)*</td> <td>7.7</td> <td>7.6</td> <td>3.8</td> <td>5.3</td> <td>0.2</td> <td>8.4</td> <td>0.9</td> <td>1.4</td> <td>15</td> <td>5.0</td> <td>0.38</td> <td>13.0</td> <td>36.0</td> </tr> <tr> <td>牛糞堆肥**</td> <td>7.0</td> <td>16.4</td> <td>1.9</td> <td>3.2</td> <td>4.3</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> <td>N.D.</td> <td>1.0</td> <td>0.5</td> <td>N.D.</td> <td>3.2</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>配合肥料1***</td> <td>7.4</td> <td>1.0</td> <td>13.2</td> <td>2.2</td> <td>2.4</td> <td>1.7</td> <td>5.5</td> <td>0.4</td> <td>N.D.</td> <td>N.D.</td> <td>0.04</td> <td>77.5</td> <td>565</td> </tr> <tr> <td>配合肥料2***</td> <td>6.6</td> <td>3.1</td> <td>7.8</td> <td>3.9</td> <td>2.5</td> <td>2.7</td> <td>5.0</td> <td>0.9</td> <td>1.1</td> <td>N.D.</td> <td>0.05</td> <td>32.9</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>*市販されている下水汚泥肥料 **牛糞、油粕などを混合して調製された堆肥 ***有機配合肥料1, 2 茶栽培で利用される一般的な有機配合肥料 N.D.: 検出限界値以下</small></p> <p>新規下水汚泥肥料は、条件的嫌気条件のもと調製するため、従来の好気条件での製造法と比較して製造日数が2～3倍（好気：45日程度→条件的嫌気：90～120日程度）になることが想定される。このため、戻し肥料を利用することにより、肥料的効果を維持した状態で肥料製造期間を大幅に短縮することが可能か検討する。目標としては、60日を目指す。また、肥料的効果については、これまで窒素無機化試験において黒ボク土を利用して実施してきたが、茶園土壌は酸性土壌であることから、その特性を考慮し、酸性土壌を用いた無機化試験も併せて実施し、菜種油粕や下水汚泥肥料市販品と同程度以上の肥料的効果（窒素無機化率）が得られることを実証する。さらに、脱水方法が異なる脱水汚泥を用いて新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施し、同様な製品特性（低重金属量、高窒素無機化率（肥効率））を有する汚泥肥料を調製する。調製した新規下水汚泥肥料の原料及び製造コストの試算を行い、茶栽培に新規下水汚泥肥料を利用した場合、1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減することを目標とする。</p>	資材	pH	C/N比	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO (乾物%)						Cd Pb As T-Hg Ni Cr (mg/kg 乾物)					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr	新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2	下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0	牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9	配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565	配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786
資材	pH				C/N比	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO (乾物%)						Cd Pb As T-Hg Ni Cr (mg/kg 乾物)																																																																																																		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		CaO	MgO	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr																																																																																																	
新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9																																																																																																	
下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2																																																																																																	
下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0																																																																																																	
牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9																																																																																																	
配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565																																																																																																	
配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786																																																																																																	

サブテーマ2	新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験
サブテーマリーダー/所属機関	山内正仁/鹿児島工業高等専門学校
目標	茶栽培における鹿児島県施肥基準は、窒素を主体に年間窒素施肥量50kg/10aで、一般的に肥料を秋肥、春肥、夏肥に分けて施肥する。新規下水汚泥肥料の特性に応じた施肥法を確立し、慣行栽培の茶葉収量1,517kg/10a（一番茶：582kg、二番茶：509kg、三番茶：426kg 鹿児島県茶業生産動向資料、H30年度）を目指す。加えて茶葉品質や茶園土壌環境への影響を慣行栽培区と比較し、問題なく新規下水汚泥肥料を施用できることを示す。具体的には、茶葉品質については、Codex基準値以下（T-As：2mg/kg、Pb：1mg/kg、T-Hg：0.5mg/kg）とし、茶園への重金属蓄積値については、土壌環境基準値以下とする。また、1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減することを目指し、実装化に結びつける。

4. 研究開発内容

サブテーマ1

令和2年度は、新規下水汚泥肥料の量産化試験を5m³規模で実施した。具体的には、鹿児島県霧島市の脱水汚泥（高分子凝集剤＋無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄溶液））と地域資源の竹おが屑、米糠および焼酎粕の成分分析後、これらの資材を小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の最適配合割合（脱水汚泥：40%、竹おが屑：30%、米糠：20%および焼酎粕：10%（乾物重量%））でサンドウィッチ状（図0.3参照）に三層に分けて堆積させ、条件的嫌気条件（切返し時のみ酸素供給）で発酵処理を施した。堆積資材の1回目の切返しは、条件的嫌気性菌（主にバチルス菌）を優占化させるために製造開始後20～30日後に行った。2回目以降の切返しは、切返し後の内部（表面から60cm部分）温度が切返し後の最大値から5℃程度低下した時点で実施した。また資材切返し時に資材の物理化学性、菌叢解析を行い、肥料化完了の指標（C/N比、窒素成分、バチルス菌の優占度合いなど）を作成した。加えて製品（肥料化完了品）については、肥料成分、重金属量を定量した。また、肥料登録を念頭に置き、植害試験を実施した。

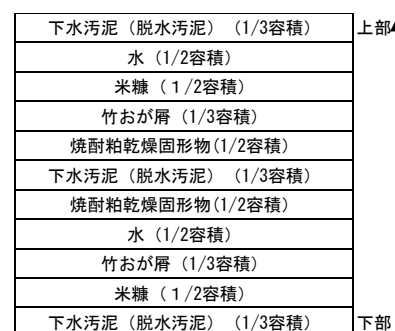


図0.3 原料堆積概略図

さらに量産化した汚泥肥料は窒素無機化試験に供した。窒素無機化試験は一般畑土壌及び酸性土壌である茶園土壌で実施し、既存の有機質資材、汚泥肥料と新規下水汚泥肥料の窒素無機化率を比較した。加えて、量産化試験に用いた資材の配合割合を基に原料の安定的な調達可能性の検討、製造コストを試算すると共に競合肥料の市場調査や新規下水汚泥肥料の販路調査を行った。

令和3年度は、異なる脱水方法で得られた脱水汚泥（鹿児島県鹿児島市：消石灰及び無機凝集剤、加圧濾過機）を用いて、前年度にしたがい新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施した。また、前年度調製した新規下水汚泥肥料を戻し肥料として30%利用することで、肥料製造期間の短縮に繋がるか検討した。加えて、これらの肥料成分分析、重金属成分分析および菌叢解析を行うとともに、窒素無機化試験、植害試験などを実施し、新規下水汚泥肥料の製造の再現性、安全性を検証した。

調製した肥料の事業採算性を明らかにするために、前年度と同様、製造コストの試算、販路調査を行なった。さらに、地域社会に下水道資源を普及させる目的で、農業従事者、環境産業、消費者、自治体関係者および研究者らが参



図0.4 BISTROT下水道開催風景

画してBISTRO下水道 in 霧島・鹿児島高専を実施した(図0.4参照)。本イベントでは、研究成果の報告とパネルディスカッション(「新規下水汚泥肥料は鹿児島県で普及できるのか?」、「新規下水汚泥肥料で作った作物は安全なのか?」)を実施した。また、イベント終了時に来場者に対して、下水道資源の農業利用に関してアンケート調査を行なった。

令和4年度は、前年度、前々年度に調製した汚泥肥料を戻し肥料として利用し、肥料製造期間の短縮と新規下水汚泥肥料の製造の再現性を検証後、量産化技術を確立し、マニュアル化した。また得られた実証データをもとに、最終的な肥料化コストを試算し、新規下水汚泥肥料販売価格を検討した。さらに、地域資源(下水汚泥・竹おが屑・米糠・焼酎粕)のマテリアルフロー分析(MFA)を行い、地域産業(茶産業)への影響(貢献度など)を定量的に評価した。

サブテーマ2

令和2年度は、サブテーマ1で調製した新規下水汚泥肥料(高分子系凝集剤使用)を霧島市の協力農家の茶園および鹿児島県農業開発総合センター内の茶園(以下、鹿農総セ茶園)に施肥した。霧島市の茶園では、有機質肥料のみを用いた試験区、有機質肥料を新規下水汚泥肥料に25%、50%、75%ずつ置換した試験区、新規下水汚泥肥料100%区および慣行施肥(有機配合肥料主体体系)区の6試験区を準備し、茶葉収量と品質面から、新規下水汚泥肥料の最適配合割合を評価した。キックオフ会議において、アドバイザーからの助言を受け、6試験区を図0.5に示す、4試験区に変更した。

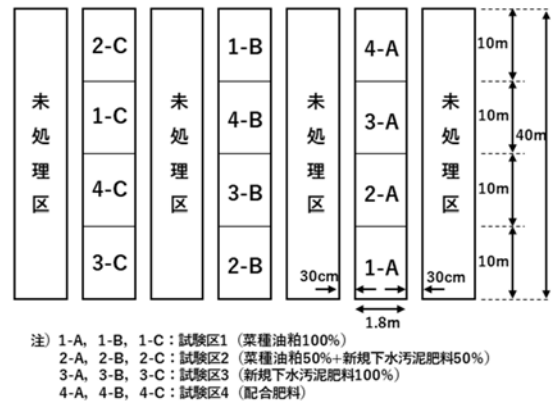


図0.5 各試験区の配置

鹿農総セ茶園では、新規下水汚泥肥料による施肥の代替時期(秋肥施用、春肥施用、秋肥+春肥施用)について、3試験区に対照区として慣行施肥区を加えた4試験区で検討した。また、ポーラスカップを施肥位置である茶園うね間に設置し、茶園うね間土壌の深さ100cmの位置から浸透水を採水し、新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量について評価した。本試験は3年間継続実施した。併せて、幼木試験を実証試験と並行して実施した。幼木試験では、茶苗木を定植し、無施用区、有機質肥料区、既存の下水汚泥肥料を用いた下水汚泥肥料区、新規下水汚泥肥料区、慣行施肥区の5試験区を設置し、幼木育成時における窒素成分、重金属成分のマテリアルフローを検討した。(下線部2次審査の評定者コメントを受け、追加)なお、これらの栽培試験、幼木試験開始時には、施肥前土壌を採取し、土壌の化学性(pH、EC、T-C、T-N、交換性塩基、可給態リン酸など)を調査した。また、令和2年度は茶栽培に使用する既存肥料の市場や販路、その施肥コストの調査を行なった。

令和3年度は、施肥1年目の茶葉収量・品質(官能審査、化学成分など)を調査し、有機質肥料区、慣行施肥区と同等以上を目指した。茶栽培土壌については、酸性土壌であることから、茶栽培に与える下水汚泥由来の重金属の影響について茶期別新芽を調査し、茶の食品としての安全性(コーデックス委員会規準)を確認した。また、施肥開始1年後の茶園土壌を、10月の施肥(秋肥(1回目))前に採取し、土壌化学性(pH、EC、T-C、T-N、P、K、Ca、Mgなど)、重金属蓄積量(As、T-Cr、Ni、Cd、Pb、T-Hgなど)を定量し、新規下水汚泥肥料の施肥による土壌環境への影響を検討した。さらに、鹿児島市の下水処理施設から発生する下水汚泥(脱水汚泥)は、霧島市(全量高分子凝集剤使用)と異なり、約半分量が石灰系凝集剤で処理されている。このため、石灰系凝集剤を含む脱水汚泥を用いて新規下水汚泥肥料を調製し、高分子系凝集剤使用の新規下水汚泥肥料との成分比較後、茶栽培への適用を検討した。しかし石灰系含有新規下水汚泥肥料は、Ca含有量が8.2%と高く、協力農家に茶樹への影響が大きいと判断された。また、既存の試験区での栽培試験で作業量が膨大(キックオフ会合においてアドバイザーから指摘)となることから、実施を見送った。

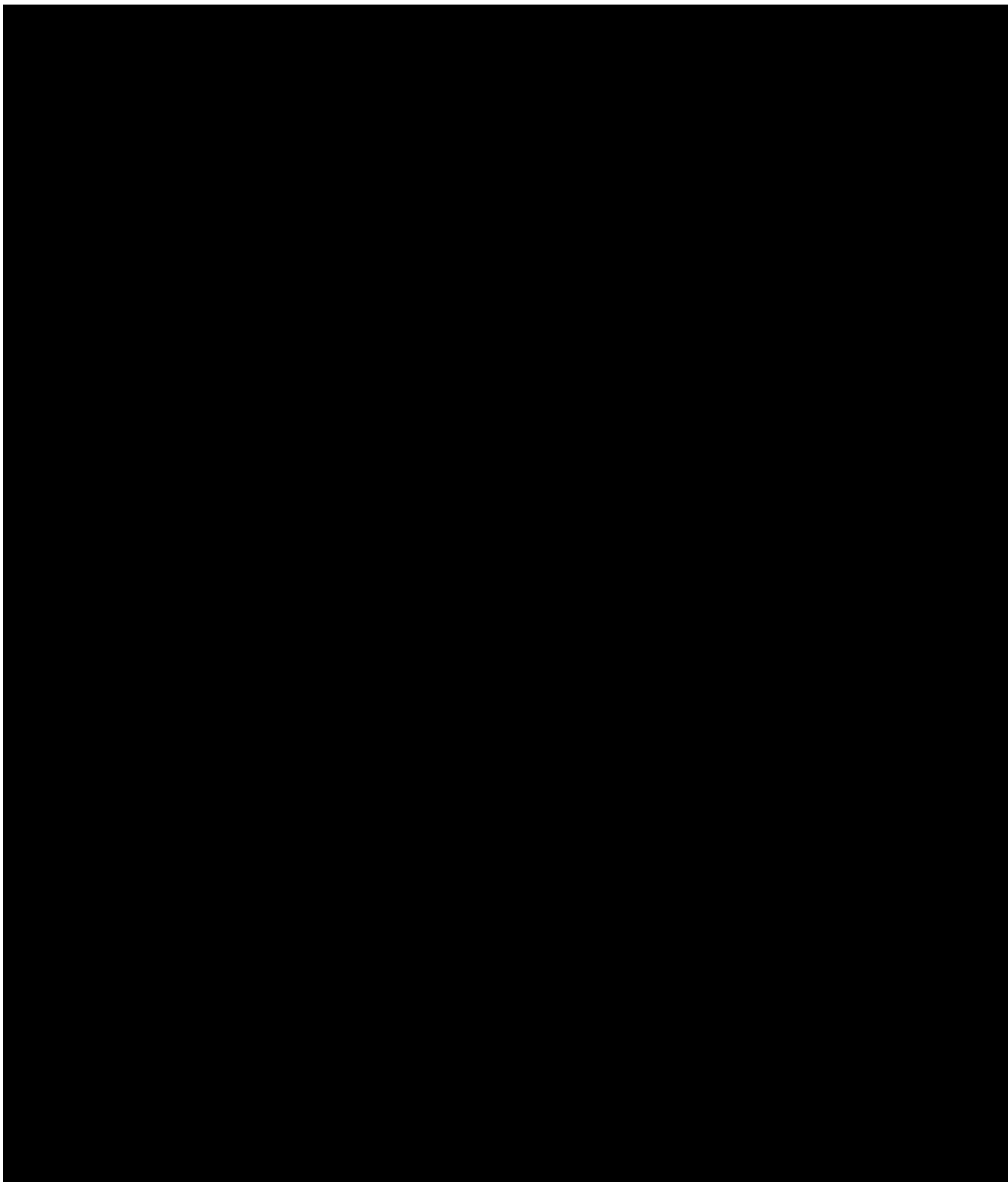
茶栽培試験および幼木試験については前年度に引続き実施し、茶期別新芽中及び幼木仕立てによるせん枝葉の窒素・重金属成分を調査した。(下線部2次審査の評定者コメントを受け、追加)

令和4年度は、施肥2年目の茶葉収量・品質（官能審査、化学成分など）を前年度と同様に調査した。また、最適な新規下水汚泥肥料の施肥技術を確立し、マニュアル化を図った。幼木試験では茶期別新芽を調査し、その後、樹体を抜き取り、葉、茎、根および土壌中の窒素、重金属量を定量することで、マテリアルフローを明らかにした。（下線部2次審査の評定者コメントを受け、追加）

さらに、最適な新規下水汚泥肥料施肥技術およびサブテーマ1で定量した配合資材のマテリアルフローをもとに、新規下水汚泥肥料の茶栽培への新規市場開拓可能性を評価し、事業採算性を明らかにした。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要



登 録 証

氏名又は名称及び住所

東京都八王子市東浅川町701番2

独立行政法人国立高等専門学校機構

登 録 番 号 生第 106792 号

登 録 年 月 日 令 和 3 年 7 月 12 日

登 録 の 有 効 期 限 令 和 6 年 7 月 11 日

肥 料 の 種 類 汚泥発酵肥料

肥 料 の 名 称 バイオ肥料農専

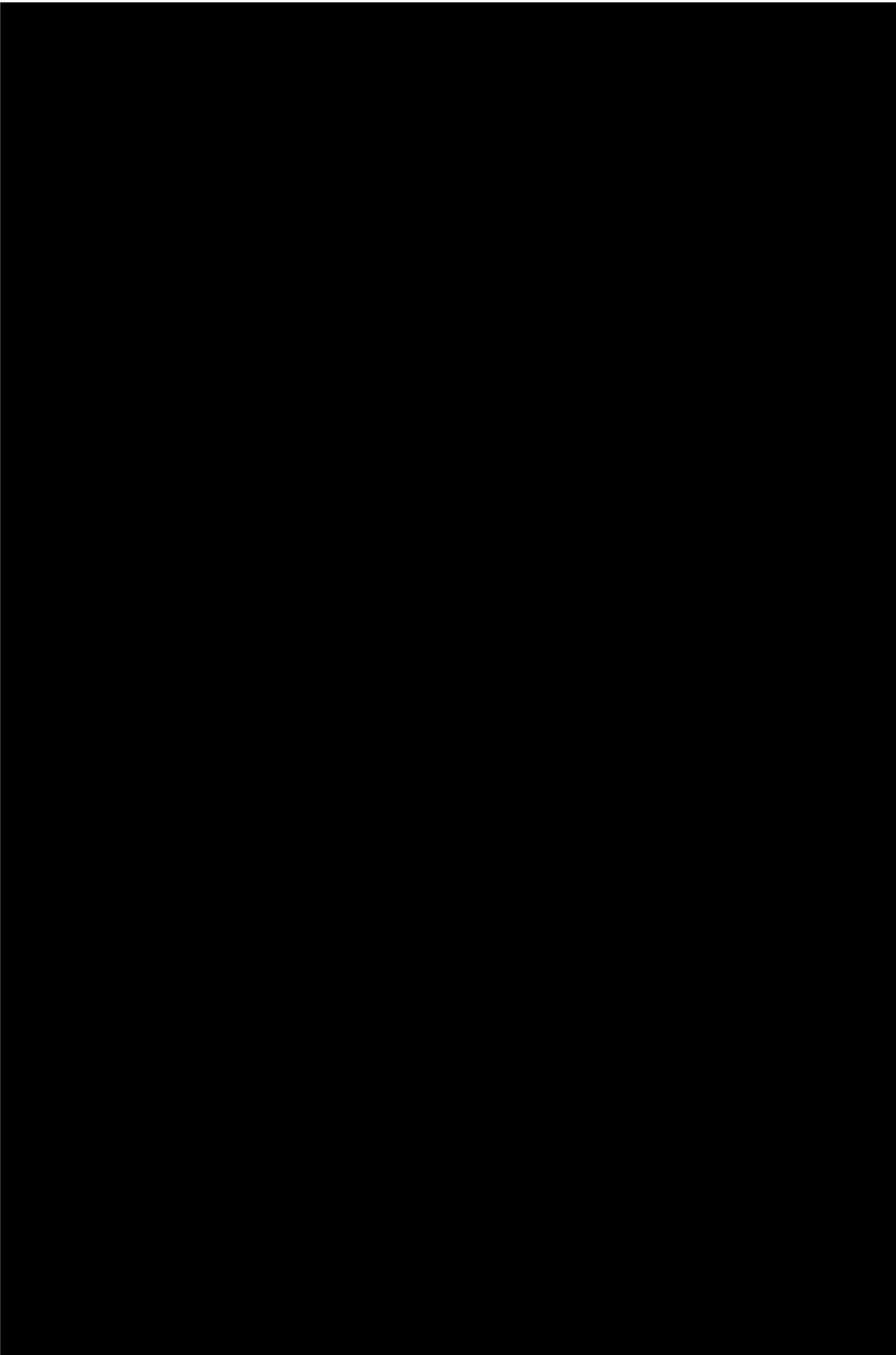
含有を許される植物にと 普通肥料の公定規格中汚泥発酵肥料の「含有を許される有害成
つての有害成分の最大 分の最大量」及び「その他の制限事項」とおり。
量 その他の規格

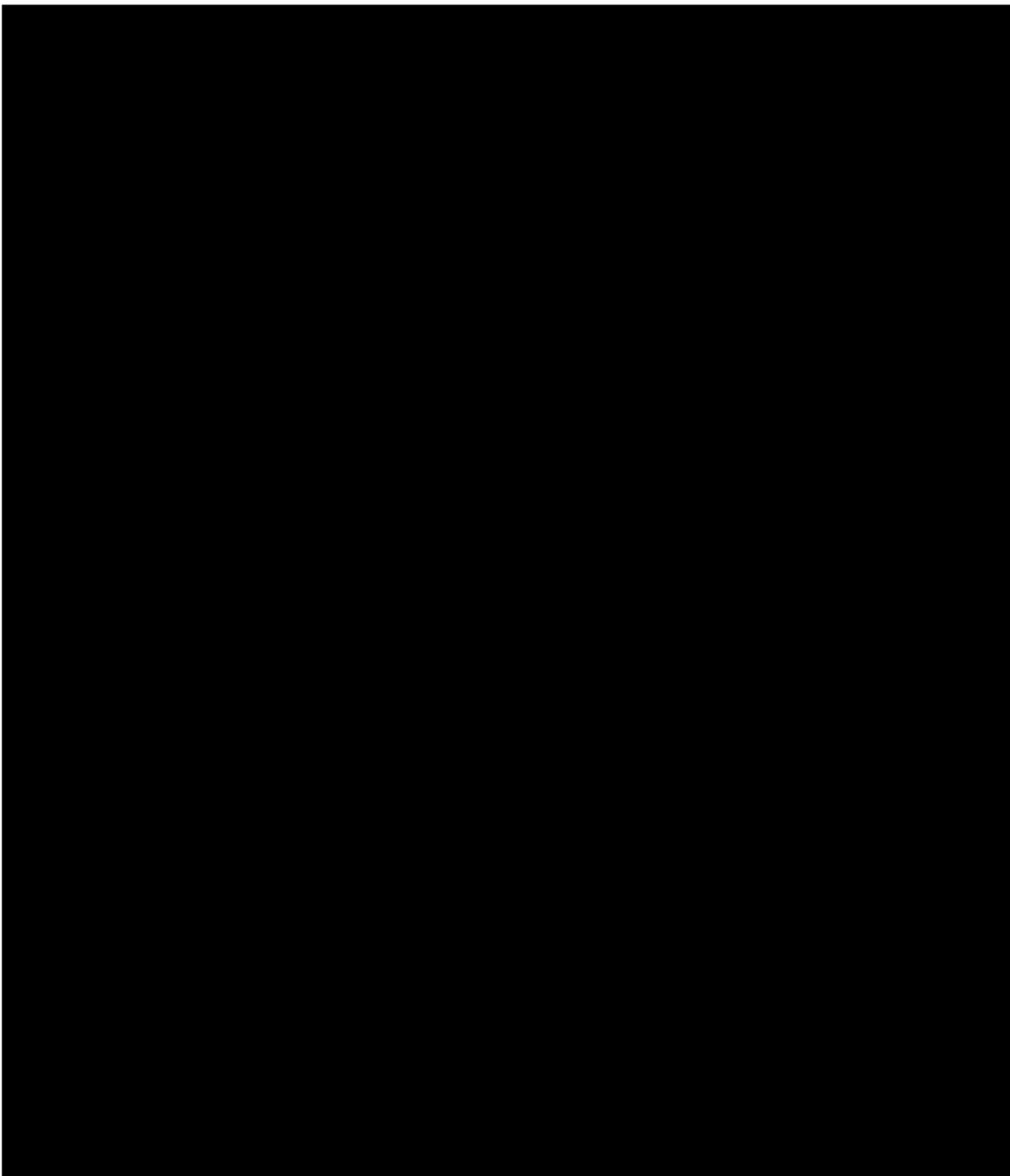
肥料の品質の確保等に関する法律第7条の規定に基づき上記のとおり登録したことを証する。

令 和 3 年 7 月 12 日

農林水産大臣 野上 浩太郎

図0.6 肥料登録証





5-2. 環境政策等への貢献

本研究は、以下の3点から、選択した【重点課題⑩】「地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発」、および、行政ニーズ3-5「地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する研究」に資すると考える。

- ・新規下水汚泥肥料は、食品廃棄物（焼酎粕）や竹資材といった鹿児島県特有のバイオマスを活用している。これにより、下水汚泥処理システムに茶栽培のみならず酒造メーカーや林業といった、第一次・第二次産業を巻き込んだ地域循環共生圏を創出できる。
- ・地域の一大産業（茶栽培）と結びつけることで、大量の下水汚泥を地域で有効活用できる。
- ・保水性が改善され、重金属含有量が低減し、肥料効果が格段に高まった新規下水汚泥肥料は、汚泥

肥料の付加価値を高め、販路拡大に寄与する。

このように、新規下水汚泥肥料を鹿児島県の特産であるお茶へ利用することで、地域の農業振興につながり、環境政策としての取り組みの一つである、「バイオマスの再資源化による地域循環共生圏の促進」、「地域資源を活用した持続可能な地域づくり」にも大いに貢献する。

<行政等が既に活用した成果>

2021年11月26日(金)に鹿児島県農業開発総合センターで開催された令和3年度土壌肥料成績設計検討会において、本県研究担当者から「普及に移す研究成果」として、本研究の成果である「高分子凝集剤を用いた下水汚泥肥料の肥料特性」が提案され、協議・審査の結果、鹿児島県の「研究情報(新知見や研究、行政施策策定等の基礎・基盤となり得る情報)」に採用された。また、2022年11月25日(金)に開催された令和4年度土壌肥料成績設計検討会では、本研究の成果として「下水汚泥肥料の施用が茶の収量、品質に及ぼす影響」及び「化学肥料の代替として利用可能な下水汚泥肥料の特性」が提案され、協議・審査を経て、前者は「研究情報」、後者は「普及情報」に採用された。「普及情報」は農業者、実需者等に直接的または間接的に利用可能な新技術であり、技術員が現場で指導する上で活用する情報であり、県のウェブサイト上で公開されている。

https://www.pref.kagoshima.jp/ag11/pop-tech/nenndo/documents/documents/104090_20230410115510-1.pdf

<行政等が活用することが見込まれる成果>

令和5年度においても、本研究成果が土壌肥料成績設計検討会に「普及に移す研究成果」として示される予定である。令和4年度は「化学肥料の代替として利用可能な下水汚泥肥料の特性」として、本研究成果の一部が公表されたが、「下水汚泥肥料を用いた茶栽培」についても「研究情報」から「普及情報」にとりまとめることで、研究成果の速やかな普及と生産現場での活用・定着が見込まれる。

5-3. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
<p>本研究では、脱水汚泥と複数の地域バイオマスを組み合わせ、安全で安価、かつ肥料効果が高い新規下水汚泥肥料量産化技術を確立する。量産化した汚泥肥料は国内初の試みとして高窒素・低カリウム肥料が求められている茶栽培に適用し、事業採算性の高い下水汚泥の地域循環システムを構築する。</p>	<p>目標を上回る成果をあげた。 (具体的な理由・根拠)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>新規下水汚泥肥料の量産化試験、窒素無機化試験及び植害試験を通して、肥料の主要成分の再現性(肥料の品質の確保等に関する法律の誤差許容基準(±20%)以内)、安全性等を確認できた。</u>また、これらの試験データを用いて、<u>肥料登録を行い、市場に流通可能な肥料の量産化技術を確立した。</u> ・<u>本肥料を年間1,000トン規模で調製すると、肥料を20円/kgで販売できることが製造コスト(原材料費、人件費、機械設備費など)から算出できた(目標値:20円/kg)。</u> ・<u>量産化した新規下水汚泥肥料を茶栽培に適用し、従来の有機質資材(菜種油粕)や有機配合肥料と収量、品質とも遜色ない結果を得ることができた。</u>加えて、本肥料を有機質資材の代替として、<u>24kgN/10a施肥することで、肥料費を当初の目標である20%を大きく上回る36.6%削減できることが示唆された。</u> ・鹿児島高専、自治体(霧島市、鹿児島市)、国・県の公設機関、地域の環境産業、農林業(茶栽培農家、米農家、竹チップ製造業)、製造業(酒造メーカー)及びコンサル業(下水道コンサル)とで、<u>事業化に向けてコンソーシアムを構築できた。</u>

サブテーマ 1 目標	目標の達成状況																																																																																																									
<p>研究協力機関（三州衛生公社）の肥料化施設の一部を借用し、まず5m³規模で新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施する。<u>本試験では小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の成分特性（N：P₂O₅：K₂O=4.0%：3.2%：1.5%、重金属量：配合肥料、牛糞堆肥などと同様）（表参照）を目標値とする。</u></p> <p>表1.1 新規下水汚泥肥料の目標値</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">資材</th> <th rowspan="2">pH</th> <th rowspan="2">C/N比</th> <th colspan="6">N P₂O₅ K₂O CaO MgO Cd Pb As T-Hg Ni Cr</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th colspan="6">(乾物%)</th> <th colspan="2">(mg/kg 乾物)</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>新規下水汚泥肥料</td> <td>7.5</td> <td>11.0</td> <td>4.0</td> <td>3.2</td> <td>1.5</td> <td>0.4</td> <td>0.9</td> <td>0.3</td> <td>3.8</td> <td>2.6</td> <td>N.D.</td> <td>4.7</td> <td>8.9</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(A)*</td> <td>8.4</td> <td>6.7</td> <td>4.4</td> <td>5.8</td> <td>0.7</td> <td>11.7</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> <td>11.0</td> <td>7.8</td> <td>0.5</td> <td>31.8</td> <td>25.2</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(B)*</td> <td>7.7</td> <td>7.6</td> <td>3.8</td> <td>5.3</td> <td>0.2</td> <td>8.4</td> <td>0.9</td> <td>1.4</td> <td>15</td> <td>5.0</td> <td>0.38</td> <td>13.0</td> <td>36.0</td> </tr> <tr> <td>牛糞堆肥**</td> <td>7.0</td> <td>16.4</td> <td>1.9</td> <td>3.2</td> <td>4.3</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> <td>N.D.</td> <td>1.0</td> <td>0.5</td> <td>N.D.</td> <td>3.2</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>配合肥料1***</td> <td>7.4</td> <td>1.0</td> <td>13.2</td> <td>2.2</td> <td>2.4</td> <td>1.7</td> <td>5.5</td> <td>0.4</td> <td>N.D.</td> <td>N.D.</td> <td>0.04</td> <td>77.5</td> <td>565</td> </tr> <tr> <td>配合肥料2***</td> <td>6.6</td> <td>3.1</td> <td>7.8</td> <td>3.9</td> <td>2.5</td> <td>2.7</td> <td>5.0</td> <td>0.9</td> <td>1.1</td> <td>N.D.</td> <td>0.05</td> <td>32.9</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>*市販されている下水汚泥肥料 **牛糞 油粕などを混合して調製された堆肥 ***有機配合肥料1, 2 茶栽培で利用される一般的な有機配合肥料 N.D.: 検出限界値以下</small></p> <p>新規下水汚泥肥料は、条件的嫌気条件のもと調製するため、従来の好気条件での製造法と比較して製造日数が2～3倍（好気：45日程度→条件的嫌気：90～120日程度）になることが想定される。このため、戻し肥料を利用することにより、肥料的效果を維持した状態で肥料製造期間を大幅に短縮することが可能か検討する。<u>目標としては、60日を目指す。</u>また、肥料的效果については、これまで窒素無機化試験において黒ボク土を利用して実施してきたが、茶園土壌は酸性土壌であることから、その特性を考慮し、酸性土壌を用いた無機化試験も併せて実施し、<u>菜種油粕や下水汚泥肥料市販品と同程度以上の肥料的效果（窒素無機化率）が得られることを実証する。</u>さらに、脱水方法が異なる脱水汚泥を用いて新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施し、同様な製品特性（低重金属量、高窒素無機化率（肥効率））を有する汚泥肥料を調製する。調製した新規下水汚泥肥料の原料及び製造コストの試算を行い、茶栽培に新規下水汚泥肥料を利用した場合、<u>1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減することを目指す。</u></p>	資材	pH	C/N比	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO Cd Pb As T-Hg Ni Cr								(乾物%)						(mg/kg 乾物)				新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2	下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0	牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9	配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565	配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786	<p>目標を上回る成果をあげた。 (具体的な理由・根拠)</p> <div style="background-color: black; height: 150px; width: 100%;"></div> <p>・下水汚泥肥料の肥料の特性は、2021年度(令和3年度)に「研究情報」、2022年度(令和4年度)に「普及情報」としてとりまとめ、鹿児島県のウェブサイトで公表した。</p>
資材				pH	C/N比	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO Cd Pb As T-Hg Ni Cr																																																																																																				
	(乾物%)						(mg/kg 乾物)																																																																																																			
新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9																																																																																													
下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2																																																																																													
下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0																																																																																													
牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9																																																																																													
配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565																																																																																													
配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786																																																																																													

サブテーマ 2 目標	目標の達成状況
<p>茶栽培における鹿児島県施肥基準は、窒素を主体に年間窒素施肥量50kg/10aで、一般的に肥料を秋肥、春肥、夏肥に分けて施肥する。新規下水汚泥肥料の特性に応じた施肥法を確立し、慣行栽培の茶葉収量1,517kg/10a(一番茶:582kg、二番茶:509kg、三番茶:426kg 鹿児島県茶業生産動向資料、H30年度)を目指す。加えて茶葉品質や茶園土壌環境への影響を慣行栽培区と比較し、問題なく新規下水汚泥肥料を施用できることを示す。具体的には、<u>茶葉品質</u>については、<u>Codex基準値以下</u>(T-As:2mg/kg、Pb:1mg/kg、T-Hg:0.5mg/kg)とし、茶園への<u>重金属蓄積値</u>について、<u>土壌環境基準値以下</u>とする。また、<u>1haあたりの肥料コスト</u>を現在の60万円から<u>20%削減</u>することを目指し、実装化に結びつける。</p>	<p><u>目標どおりの成果</u>をあげた。 (具体的な理由・根拠)</p> <div style="background-color: black; height: 450px; width: 100%;"></div> <p>・<u>下水汚泥肥料</u>を用いた茶栽培について、<u>2022年度(令和4年度)</u>の鹿児島県の「研究情報」に採用された。</p>

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

3件

<主な査読付き論文>

- 1) 山内正仁、原田隆大、山田真義、潟龍平、黒田恭平、片平智仁、碓智、山口隆司：土木学会論文集G（環境）、77(7)、Ⅲ_161-Ⅲ_168（2021）
「下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用」
- 2) 片平智仁、原田隆大、潟龍平、上菌一郎、中村憲知、山田真義、黒田恭平、碓智、山口隆司、山内正仁：土木学会論文集G（環境）、78(7)、Ⅲ_223-Ⅲ_231（2022）
「新規下水汚泥肥料の量産化技術の開発と茶栽培への適用」
- 3) K. Kuroda, T. Katahira, M. Yamada, I. Uezono, N. Nakamura, T. Yamaguchi, M. Yamauchi: Bioresource Technology Reports, 22 101401 (2023)
「Co-composting of sewage sludge with plant biomass, and analysis of microbiome relevant to plant growth promotion.」

6-2. 知的財産権

- 1) 山内正仁、山田真義、（株）日水コン、大成建設（株）、（株）海連：「窒素無機化率が高い汚泥肥料」特願2020-110731、2020年6月26日
- 2) 鹿児島工業高等専門学校：新規下水汚泥肥料の肥料登録、肥料登録番号：生第106792号
肥料の種類：汚泥発酵肥料肥料の名称：バイオ肥料農専、肥料登録年月日：2021年7月12日

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	4件
口頭発表（学会等）	17件
「国民との科学・技術対話」の実施	3件
マスコミ等への公表・報道等	11件
本研究費の研究成果による受賞	4件
その他の成果発表	7件

7. 国際共同研究等の状況

「特に記載すべき事項はない。」

8. 研究者略歴

研究代表者

山内 正仁

鹿児島大学大学院連合農学研究科生物環境保全科学専攻、博士（工学）、博士（農学）
現在、鹿児島工業高等専門学校都市環境デザイン工学科教授
豊橋技術科学大学大学院工学研究科教授（併任）

研究分担者

1) 山田 真義

長岡技術科学大学大学院博士後期課程エネルギー・環境工学専攻、博士（工学）
現在、鹿児島工業高等専門学校都市環境デザイン工学科教授

2) 上菌 一郎

高知大学農学部卒業、博士（農学）
鹿児島県農業開発総合センター大隅支場環境研究室研究専門員（～2022年3月）
鹿児島県農業開発総合センター企画調整部普及情報課農業専門普及指導員
（土壌肥料）農業革新支援専門員（2022年4月～2023年3月）
現在、鹿児島県農業開発総合センター生産環境部土壌環境研究室室長

3) 黒田 恭平

長岡技術科学大学大学院工学研究科エネルギー・環境工学専攻、博士（工学）
現在、産業技術総合研究所生命工学領域生物プロセス研究部門研究員

4) 片平 智仁

長岡技術科学大学大学院環境システム工学専攻、（修士）
現在、鹿児島工業高等専門学校都市環境デザイン工学科助教

5) 中村 憲知

鹿児島大学農学部卒業、
鹿児島県農業開発総合センター生産環境部土壌環境研究室研究専門員（～2022年3月）
現在、鹿児島県始良・伊佐振興局農林水産部農政普及課茶普及係技術専門員

6) 中川路 光庸

宮崎大学大学院生物資源利用学専攻、（修士）
現在、鹿児島県農業開発総合センター生産環境部土壌環境研究室研究専門員

7) 勝田 雅人

宮崎大学農学部卒業
現在、鹿児島県農業開発総合センター大隅支場環境研究室研究専門員（2022年4月～）

8) 田中 正一

九州大学大学院農学研究科、（修士）
鹿児島県農業開発総合センター生産環境部土壌環境研究室室長（2022年4月～2023年3月）
現在、鹿児島県農業開発総合センター企画調整部普及情報課農業専門普及指導員
（土壌肥料）農業革新支援専門員

II. 成果の詳細

II-1 新規下水汚泥肥料の量産化技術の開発

鹿児島工業高等専門学校

都市環境デザイン工学科 教授

山田 真義

都市環境デザイン工学科 教授

山内 正仁

都市環境デザイン工学科 助教

片平 智仁

鹿児島県農業開発総合センター

大隅支場 環境研究室 室長

上菌 一郎 (2020年4月～2022年3月)

大隅支場 環境研究室 研究専門員

勝田 雅人 (2022年4月～2023年3月)

※人事異動に伴う研究分担者の交代

産業技術総合研究所

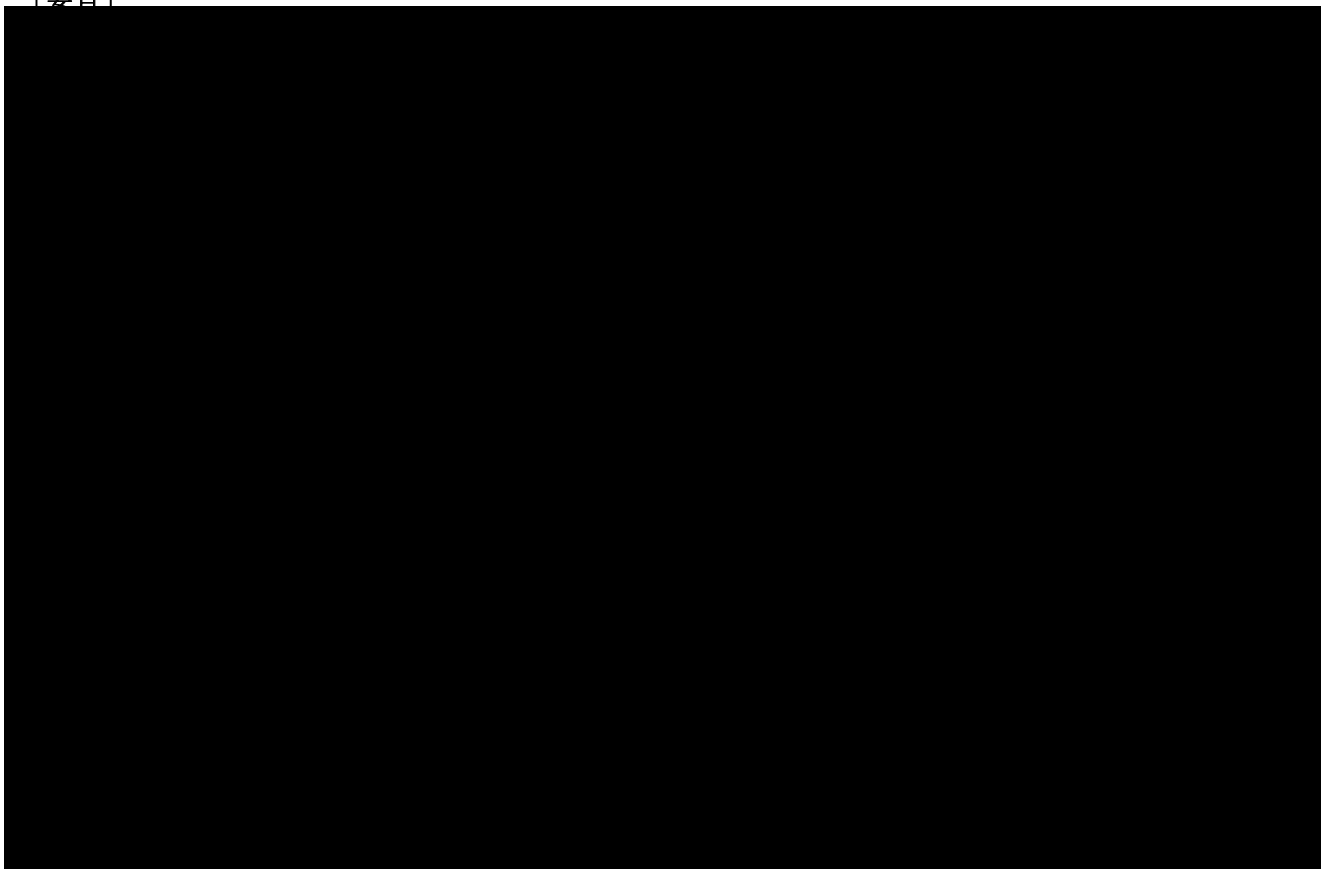
北海道センター 生物プロセス研究部門 微生物生態工学研究グループ 黒田 恭平

〈研究協力者〉

株式会社三州衛生公社 石川 武則、二見 勇二、松原 剛

株式会社日水コン 種市 尚仁、佐々木 俊郎、占部 章次郎、大嶋 義章

[要旨]



1. 研究開発目的

本研究は下水汚泥の農業利用に関する課題を、地域バイオマスの利用を通して顧客ニーズに合致した新たな下水汚泥肥料を調製し、地域の一次・二次産業と連携して事業採算性の高い循環システムを構築することを最終目的とする。具体的には、サブテーマ1では、下水汚泥（脱水汚泥）に地域バイオ

マスである竹おが屑、米糠、焼酎粕を混合し、利用者にとって使い勝手の良い、重金属含有量を低減した新規下水汚泥肥料の量産化技術を確立する。

2. 研究目標

目標	<p>研究協力機関（三州衛生公社）の肥料化施設の一部を借用し、まず5m³規模で新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施する。本試験では小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の成分特性（N：P₂O₅：K₂O=4.0%：3.2%：1.5%、重金属量：配合肥料、牛糞堆肥などと同等）（表参照）を目標値とする。</p> <p style="text-align: center;">表1.1 新規下水汚泥肥料の目標値</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">資材</th> <th rowspan="2">pH</th> <th rowspan="2">C/N比</th> <th colspan="5">N P₂O₅ K₂O CaO MgO</th> <th colspan="7">Cd Pb As T-Hg Ni Cr</th> </tr> <tr> <th colspan="5">(乾物%)</th> <th colspan="7">(mg/kg 乾物)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>新規下水汚泥肥料</td> <td>7.5</td> <td>11.0</td> <td>4.0</td> <td>3.2</td> <td>1.5</td> <td>0.4</td> <td>0.9</td> <td>0.3</td> <td>3.8</td> <td>2.6</td> <td>N.D.</td> <td>4.7</td> <td>8.9</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(A)*</td> <td>8.4</td> <td>6.7</td> <td>4.4</td> <td>5.8</td> <td>0.7</td> <td>11.7</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> <td>11.0</td> <td>7.8</td> <td>0.5</td> <td>31.8</td> <td>25.2</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(B)*</td> <td>7.7</td> <td>7.6</td> <td>3.8</td> <td>5.3</td> <td>0.2</td> <td>8.4</td> <td>0.9</td> <td>1.4</td> <td>15</td> <td>5.0</td> <td>0.38</td> <td>13.0</td> <td>36.0</td> </tr> <tr> <td>牛糞堆肥**</td> <td>7.0</td> <td>16.4</td> <td>1.9</td> <td>3.2</td> <td>4.3</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> <td>N.D.</td> <td>1.0</td> <td>0.5</td> <td>N.D.</td> <td>3.2</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>有機配合肥料1***</td> <td>7.4</td> <td>1.0</td> <td>13.2</td> <td>2.2</td> <td>2.4</td> <td>1.7</td> <td>5.5</td> <td>0.4</td> <td>N.D.</td> <td>N.D.</td> <td>0.04</td> <td>77.5</td> <td>565</td> </tr> <tr> <td>有機配合肥料2***</td> <td>6.6</td> <td>3.1</td> <td>7.8</td> <td>3.9</td> <td>2.5</td> <td>2.7</td> <td>5.0</td> <td>0.9</td> <td>1.1</td> <td>N.D.</td> <td>0.05</td> <td>32.9</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;">*市販されている下水汚泥肥料 **牛糞、油粕などを混合して調整された堆肥 ***有機配合肥料1, 2 茶栽培で利用される一般的な肥料 N.D.: 検出限界値以下</p> <p>新規下水汚泥肥料は、条件的嫌気条件のもと調製するため、従来の好気条件での製造法と比較して製造日数が2～3倍（好気：45日程度→条件的嫌気：90～120日程度）になることが想定される。このため、戻し肥料を利用することにより、肥料的効果を維持した状態で肥料製造期間を大幅に短縮することが可能か検討する。目標としては、60日を目指す。また、肥料的効果についてはこれまで窒素無機化試験において黒ボク土を利用して実施してきたが、茶園土壌は酸性土壌であることから、その特性を考慮し、酸性土壌を用いた無機化試験も併せて実施し、菜種油粕や下水汚泥肥料市販品と同程度以上の肥料的効果（窒素無機化率）が得られることを実証する。さらに、脱水方法が異なる脱水汚泥を用いて新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施し、同様な製品特性（低重金属量、高窒素無機化率（肥効率））を有する汚泥肥料を調製する。調製した新規下水汚泥肥料の原料及び製造コストの試算を行い、茶栽培に新規下水汚泥肥料を利用した場合、1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減することを目標に事業採算性を目指す。</p>	資材	pH	C/N比	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO					Cd Pb As T-Hg Ni Cr							(乾物%)					(mg/kg 乾物)							新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2	下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0	牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9	有機配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565	有機配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786
資材	pH				C/N比	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO					Cd Pb As T-Hg Ni Cr																																																																																																					
		(乾物%)					(mg/kg 乾物)																																																																																																									
新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9																																																																																																			
下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2																																																																																																			
下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0																																																																																																			
牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9																																																																																																			
有機配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565																																																																																																			
有機配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786																																																																																																			

3. 研究開発内容

3. 1 新規下水汚泥肥料の量産化試験

3. 1. 1 原料分析

3. 1. 2 新規下水汚泥肥料の調製

量産化試験は、研究協力機関の（株）三州衛生公社内に図1.1に示す肥料製造舎を設置し、5m³規模で4回（1回目：2020年4月24日～7月28日、2回目：2020年10月23日～2021年1月27日、3回目：2021年7月7日～10月15日、4回目：2022年4月15日～2022年7月22日）実施した。本試験では、小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の最適配合割合（下水汚泥（脱水汚泥）：40%、竹おが屑：30%、米糠：20%、甘藷焼酎粕乾燥固形物：10%、何れも乾物重量%）を用いて新規下水汚泥肥料の量産化を試みた。具体的には、まず堆積物（原料）全体の水分率が60%となるように各原料の使用量を算出した。つぎに、各原料を図1.2に示すように円錐状に以下の手順で堆積した。

①最下部に使用量の1/3量の下水汚泥を広げ、その上に米糠、竹おが屑および焼酎粕を使用量の1/2量ずつ積み上げる。

②必要加水量の1/2量の水道を加える。

③同様な作業を繰り返し、最後に使用量の1/3量の下水汚泥を積み上げる。

上記方法で円錐状に積み上げた肥料原料は、ホイールローダーによる切返し時のみに酸素供給を行う条件的嫌気条件（切返し時に酸素が供給されるがそれ以外では堆肥表面および表面近辺を除き嫌気状態が維持される条件）で発酵させた。図1.3に肥料製造時の発酵温度の変化を示す。切返し操作は資材中心部の発酵温度の低下を目安として約4週間ごとに計3回（1回目：製造開始後28日目、57日および81日目、2回目：製造開始後26日目、61日目および82日目、3回目：製造開始後30日目、58日目および85日目、4回目：製造開始後28日目、56日目および84日目）実施した。新規下水汚泥肥料の水分率が約20%になったところで、粉砕機（（株）カルイ：KDC-802B）で粉砕し、3. 1. 1と同様な分析法で、肥料成分、重金属成分等を調査し、既存の下水汚泥肥料、有機配合肥料と比較した。



図1.1 量産化試験状況

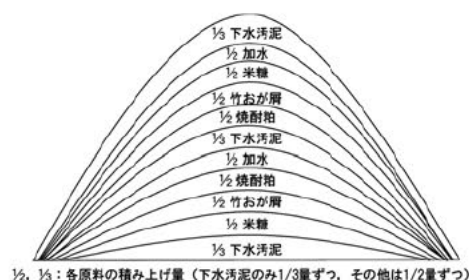
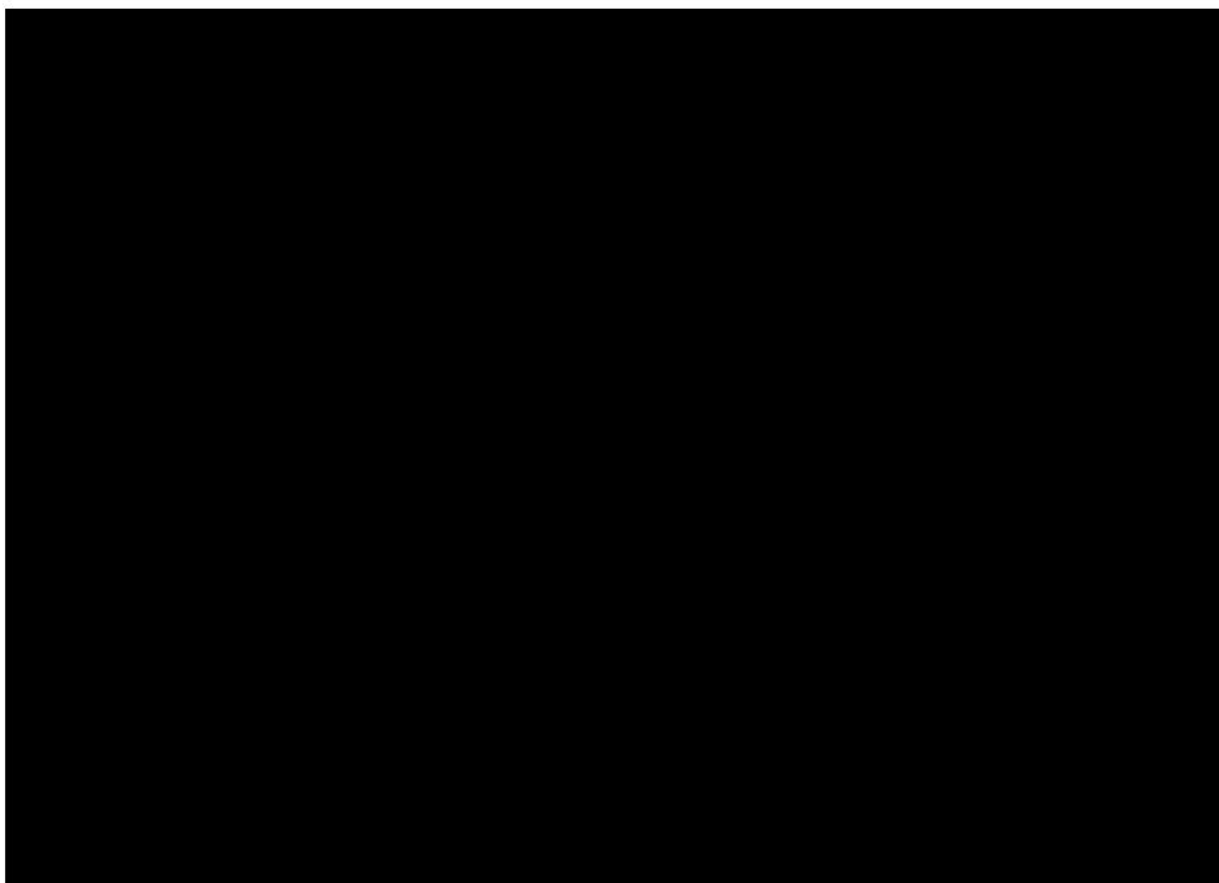
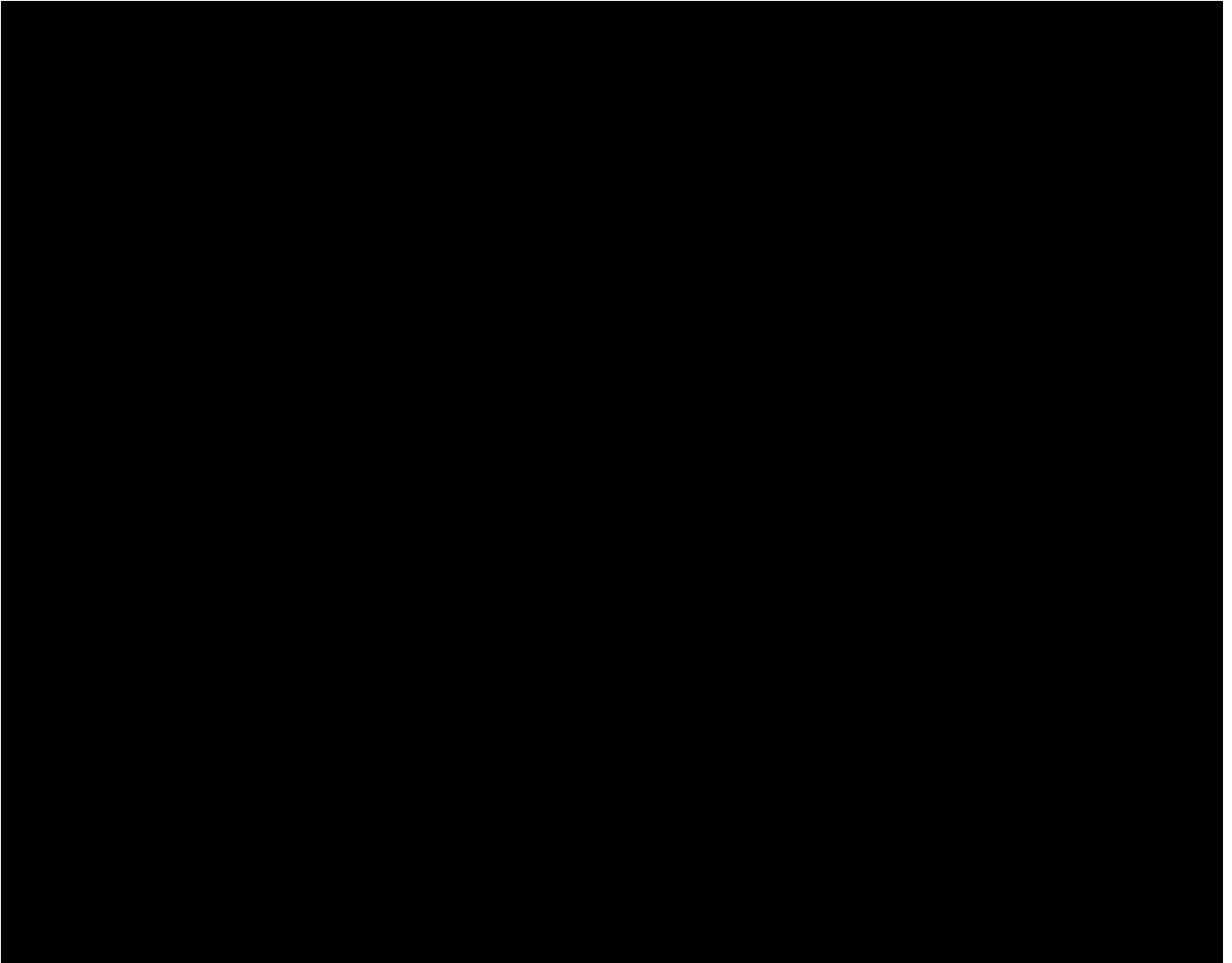


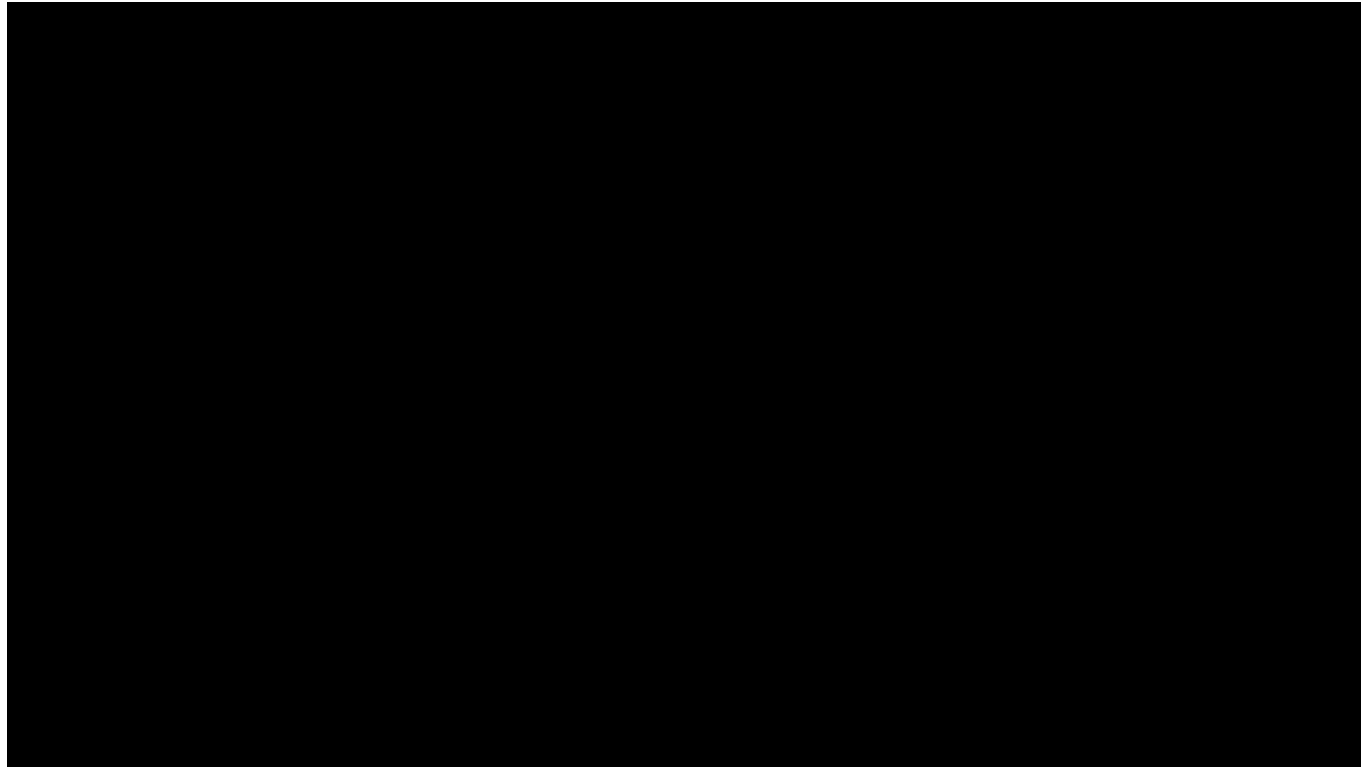
図1.2 原料堆積概略図



3. 1. 3 新規下水汚泥肥料を用いた植害試験



3. 1. 4 新規下水汚泥肥料を用いた窒素無機化試験



3. 1. 5 新規下水汚泥肥料の菌叢解析方法

3. 2 異なる脱水汚泥を用いた新規下水汚泥肥料の調製



図1.4 石灰系凝集剤使用の
脱水汚泥

3. 3 新規下水汚泥肥料の製造日数短縮試験

3. 4 新規下水汚泥肥料の事業化に向けた検討

新規下水汚泥肥料の事業化に向けて、次の項目について検討した。

① 地域バイオマスの賦存量調査

量産化試験で用いた資材の配合割合をもとに、原料の安定的な調達可能性を各原料の賦存量から検討した。賦存量の調査範囲は鹿児島県を対象とした。

② 新規下水汚泥肥料販売価格と肥料削減効果の検討

新規下水汚泥肥料の販売価格を原料費や製造施設、人件費等をもとに試算した。また試算した販売価格から新規下水汚泥肥を茶栽培に適用した場合の1haあたりの肥料費削減効果を検討した。

③ 新規下水汚泥肥料のマテリアルフロー分析（MFA）

新規下水汚泥肥料原料の地域バイオマス（下水汚泥・竹おが屑、米糠、焼酎粕）についてマテリアルフロー分析（MFA）を行い、地域産業への影響（貢献度など）を評価した。霧島市の茶畑面積の半分（297.5ha）を基準として、下水汚泥と地域バイオマスの使用量を算出した。そこから得られる新

規下水汚泥肥量をもとに下水汚泥の利用率と肥料費削減効果、温室効果ガス排出量を試算した。

④ 新規下水汚泥肥料の販路調査と普及に向けた検討

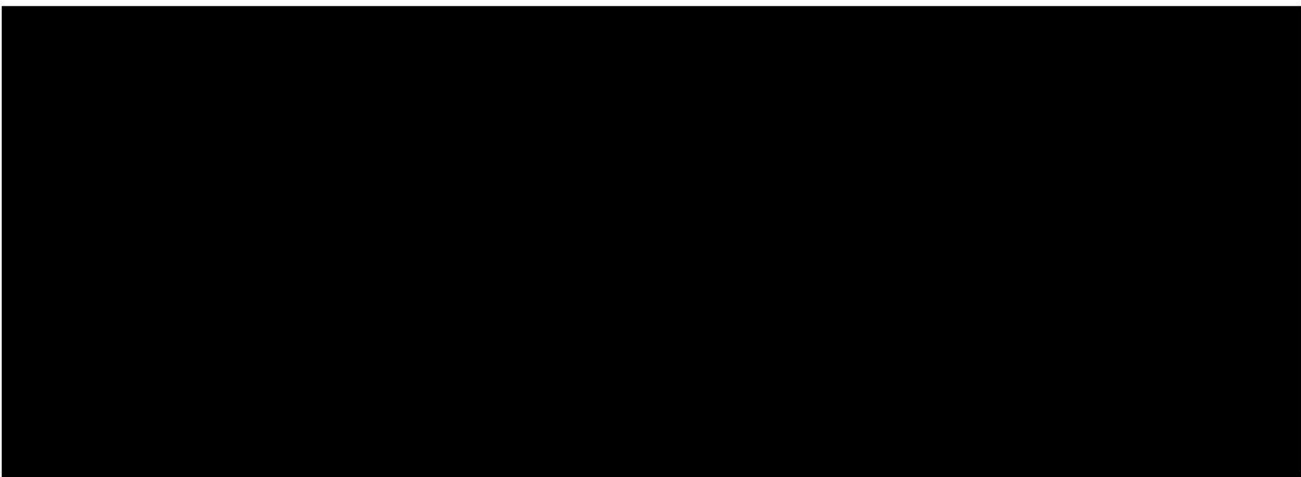
新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験の結果と肥料製造規模等をもとに販路を検討した。また、下水道資源利活用促進のためのイベント（BISTRO下水道 in 霧島・鹿児島高専）を2021年12月22日に実施した。本イベントでは、下水道資源の有効利用に関する研究成果の報告と「新規下水汚泥肥料は鹿児島県で普及できるのか?」、「新規下水汚泥肥料で作った作物は安全なのか?」について、パネルディスカッションを開催した。また、イベント終了時に来場者に対して、下水道資源の農業利用に関してアンケート調査を行い、普及に向けた情報を収集した。

4. 結果及び考察

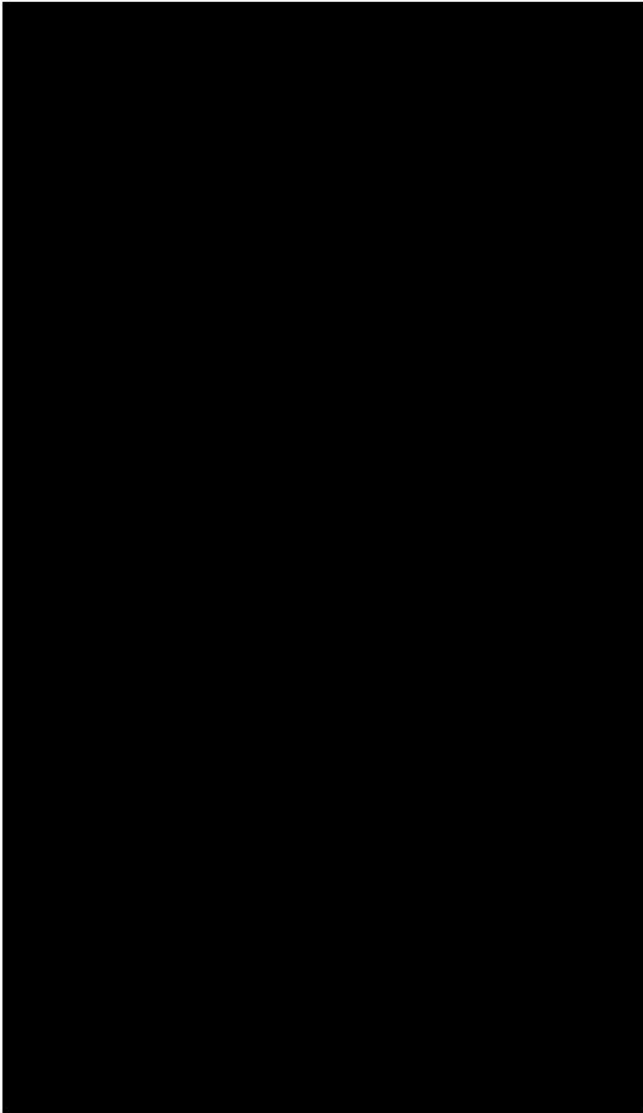
4. 1 新規下水汚泥肥料の量産化試験

4. 1. 1 原料分析

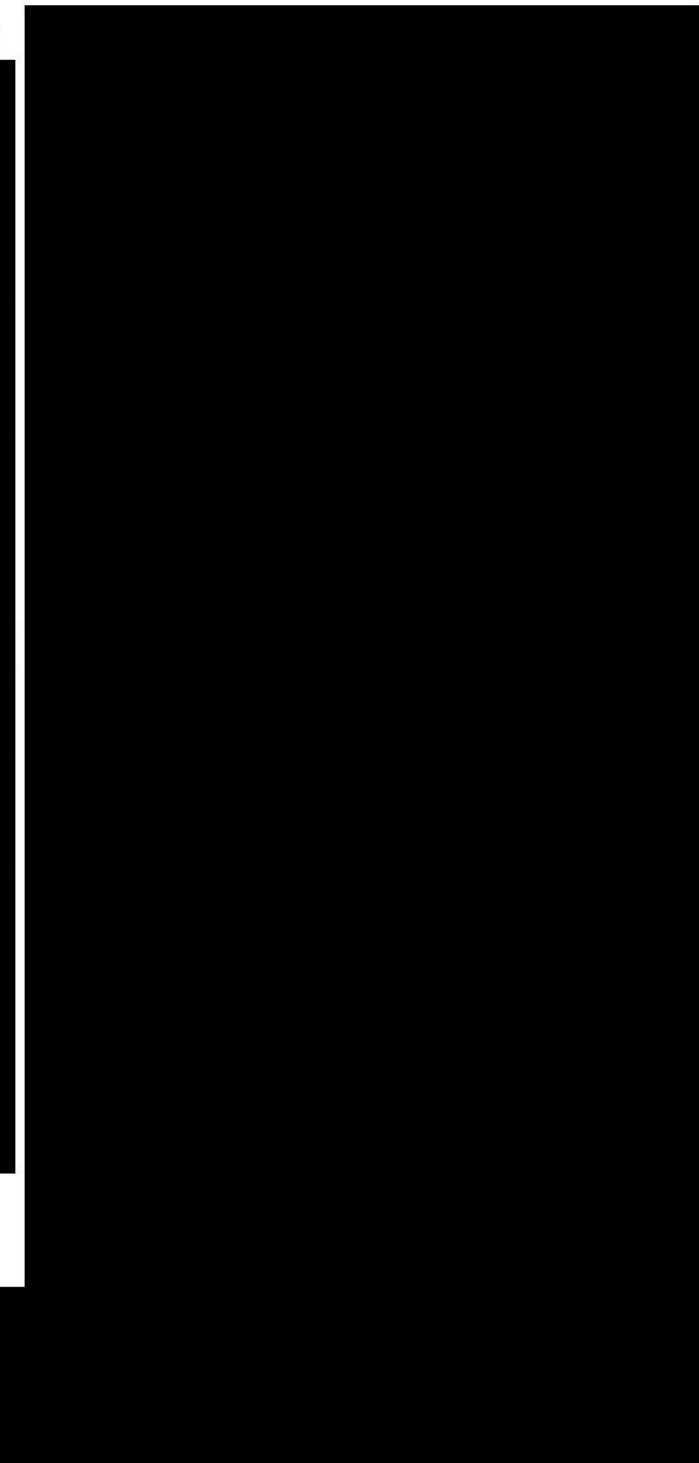
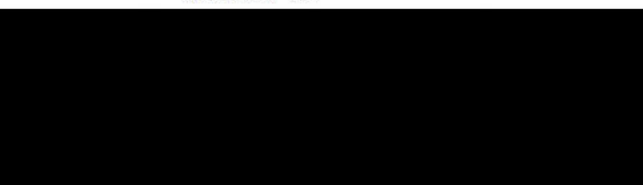
4. 1. 2 新規下水汚泥肥料の成分特性

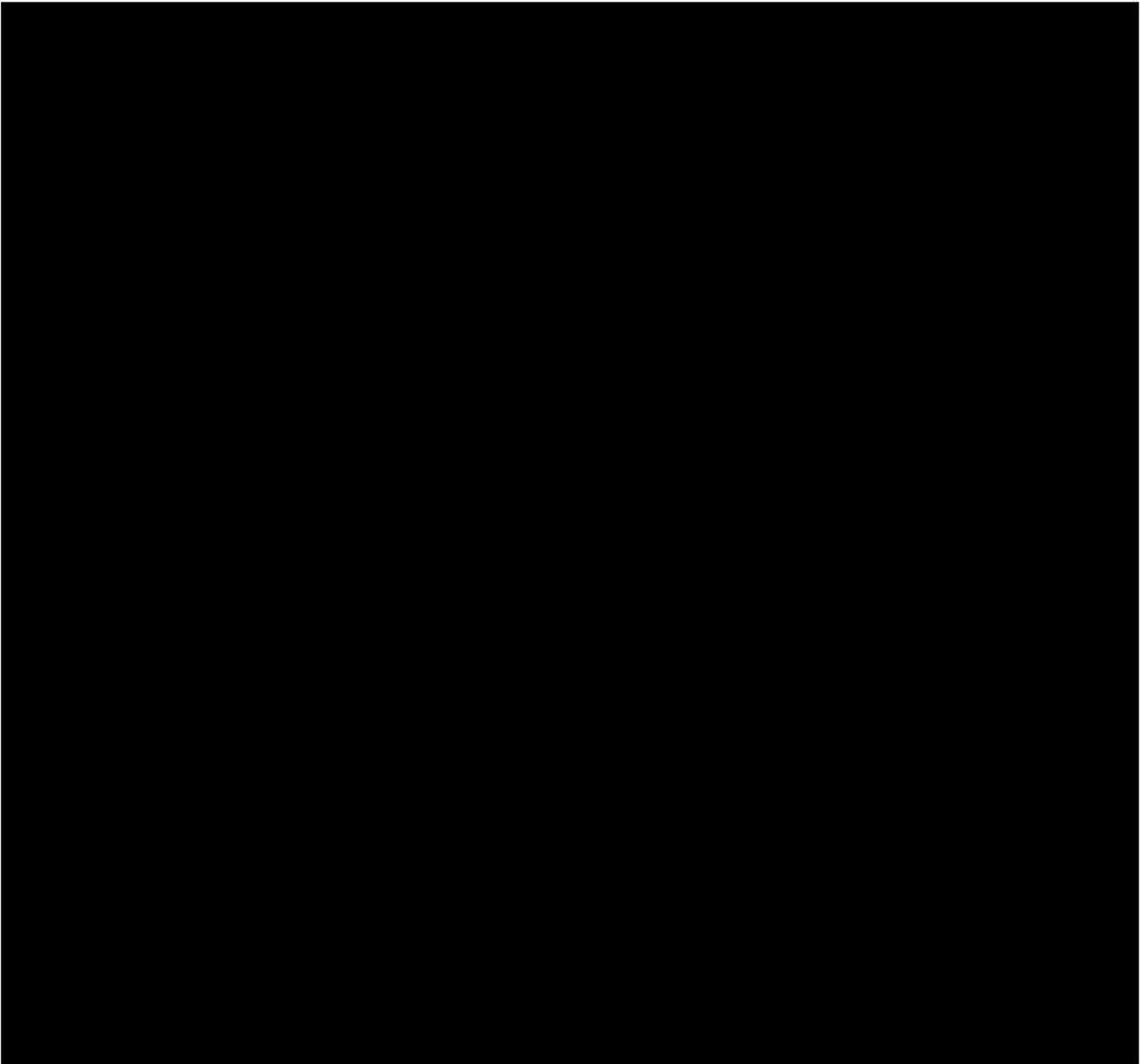


4. 1. 3 新規下水汚泥肥料を用いた植害試験

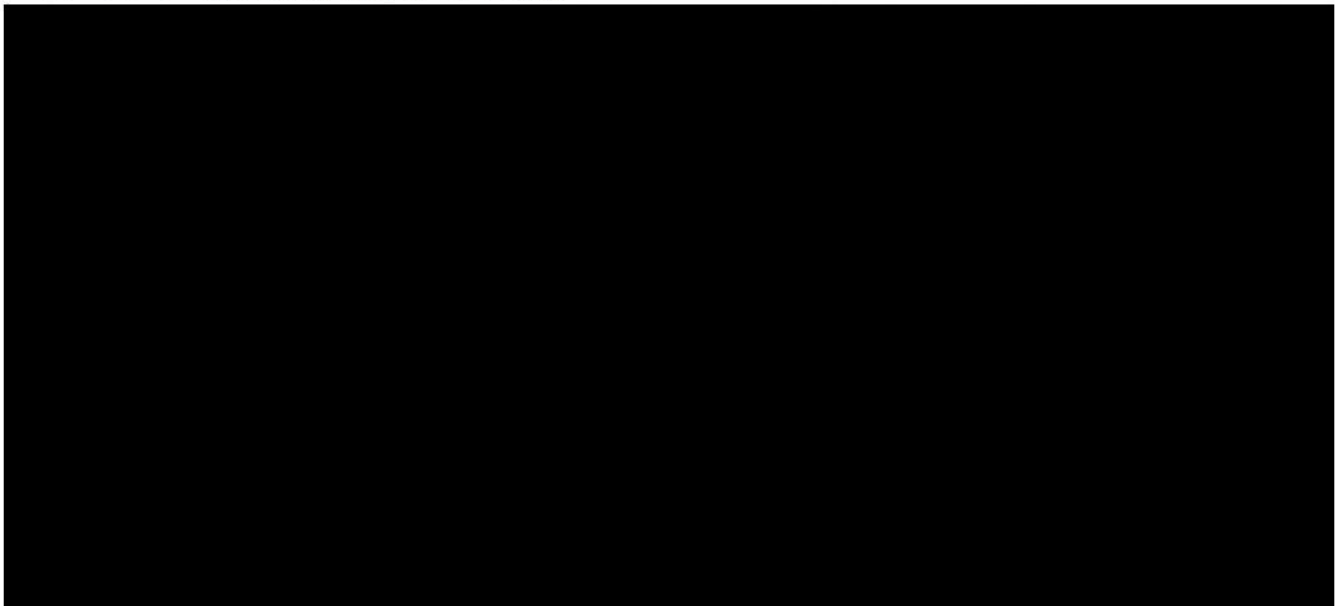


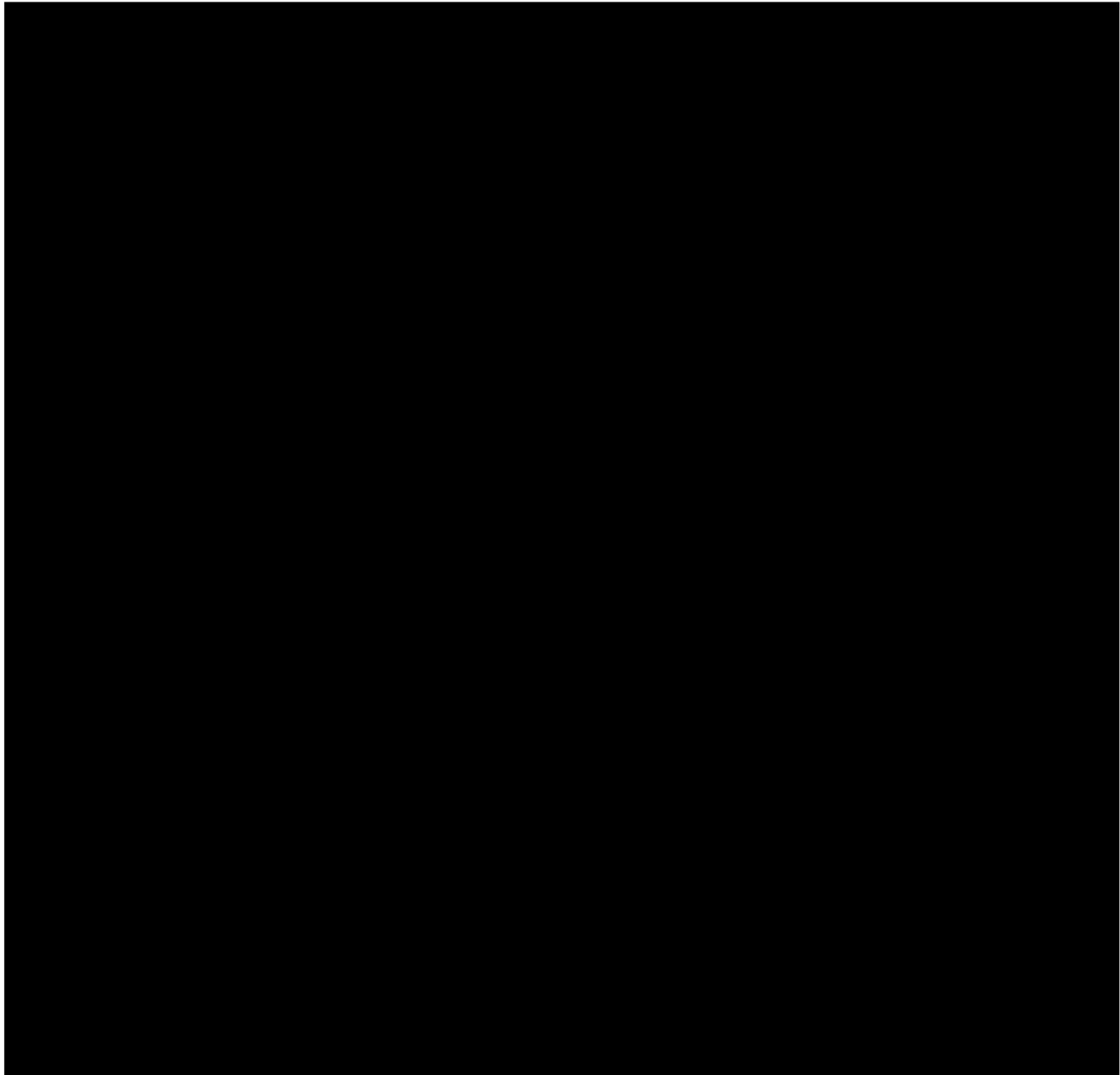
4. 1. 4 新規下水汚泥肥料を用いた窒素
無機化試験



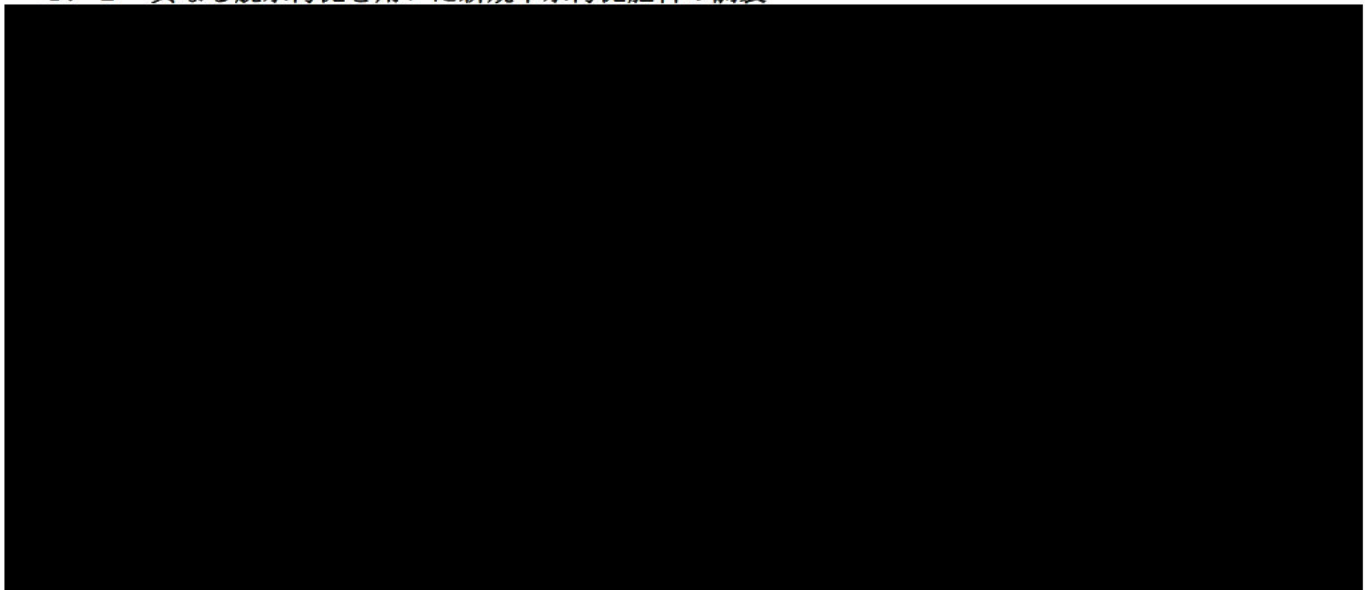


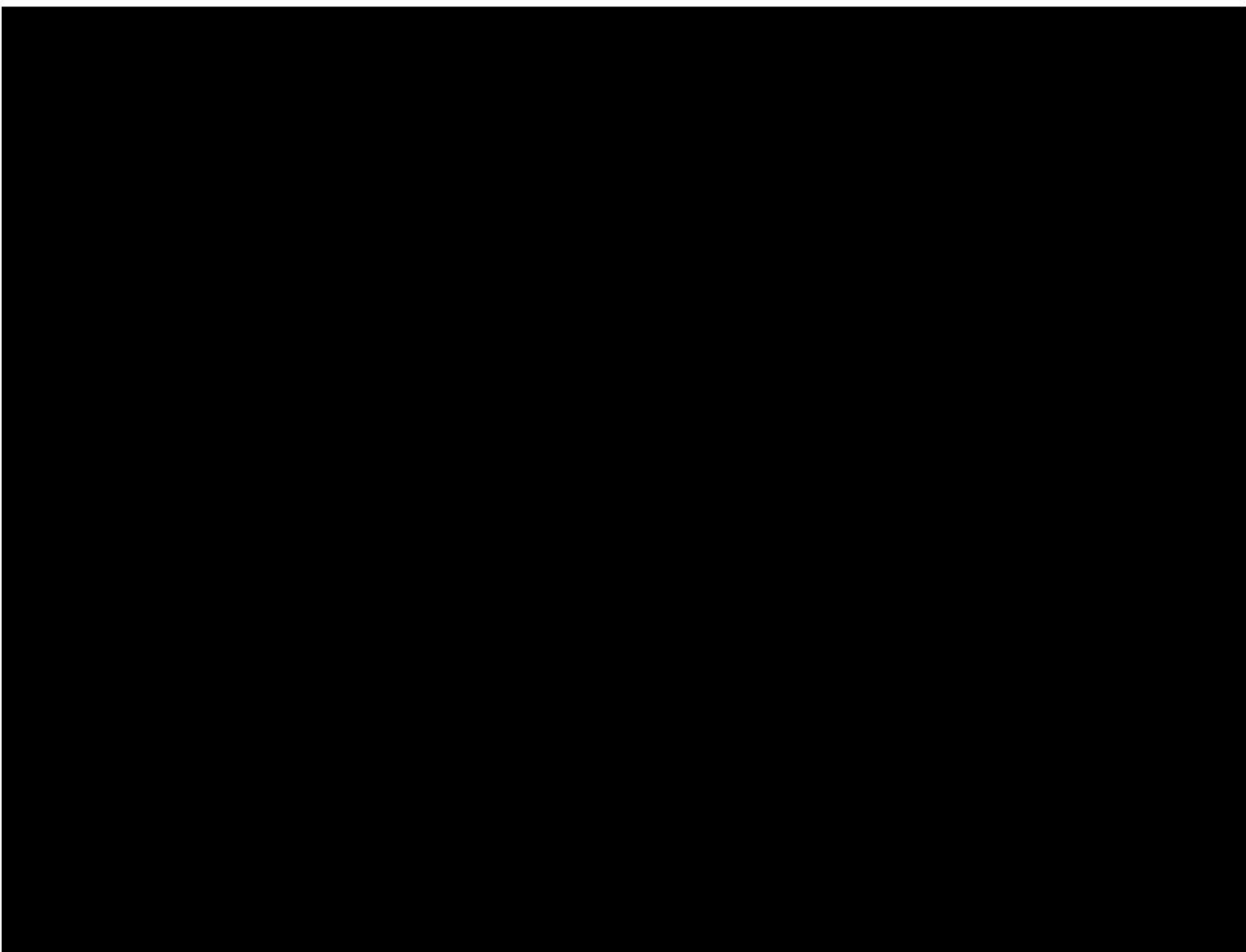
4. 1. 5 新規下水汚泥肥料の菌叢解析



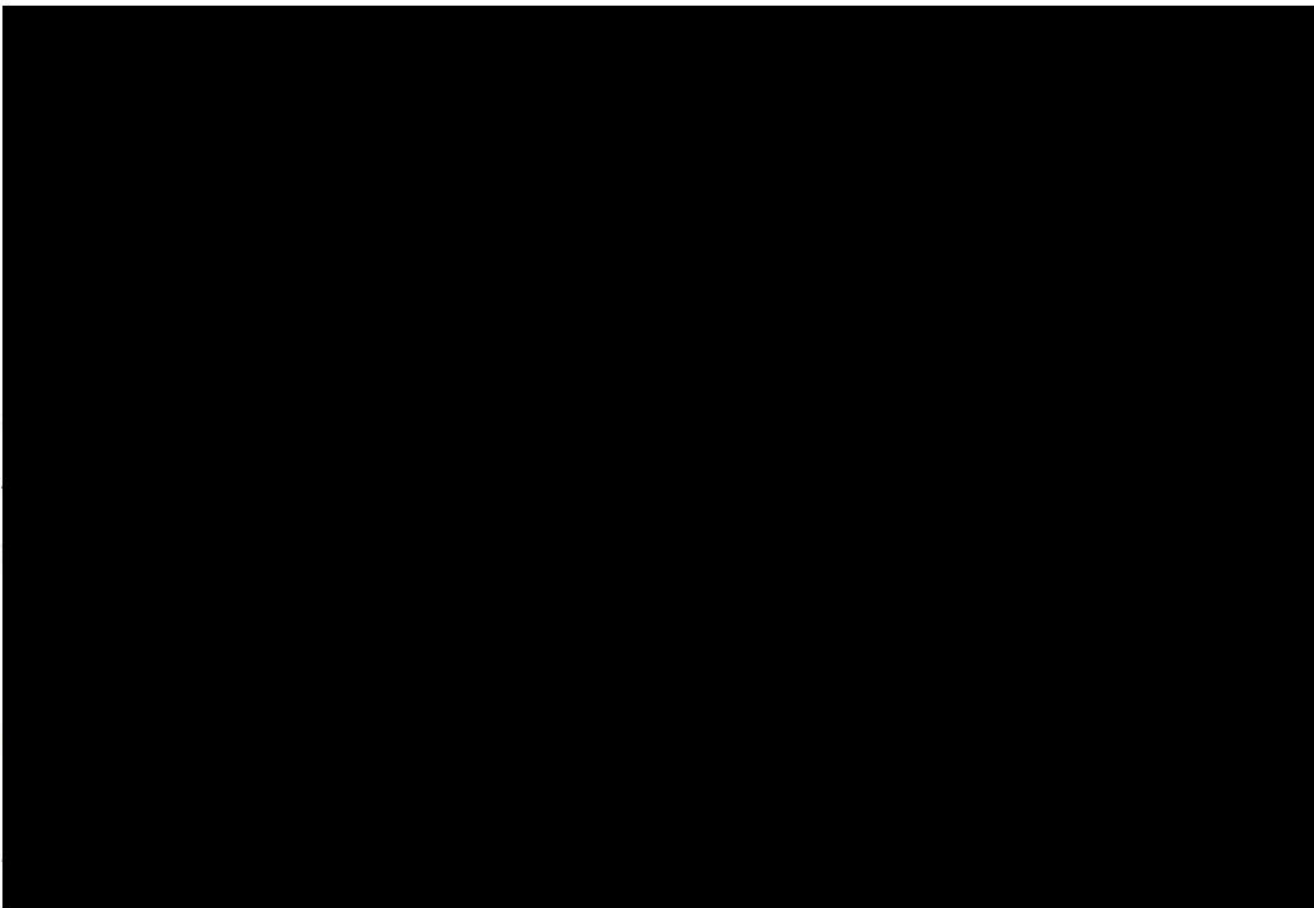


4. 2 異なる脱水汚泥を用いた新規下水汚泥肥料の調製





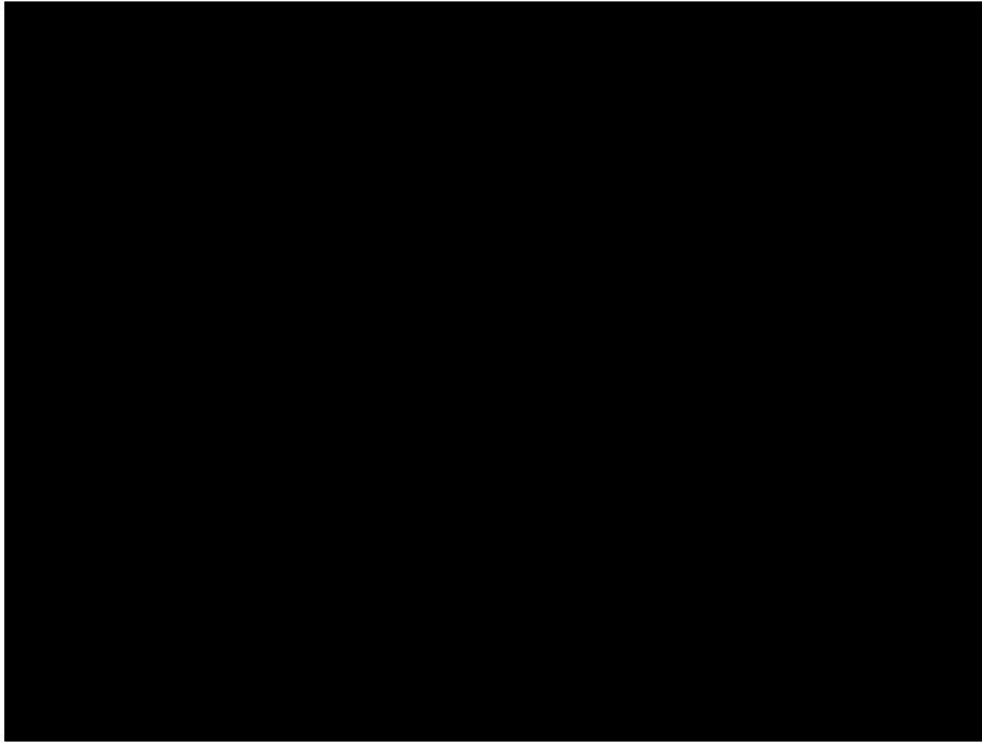
4. 3 新規下水汚泥肥料の製造日数短縮試験



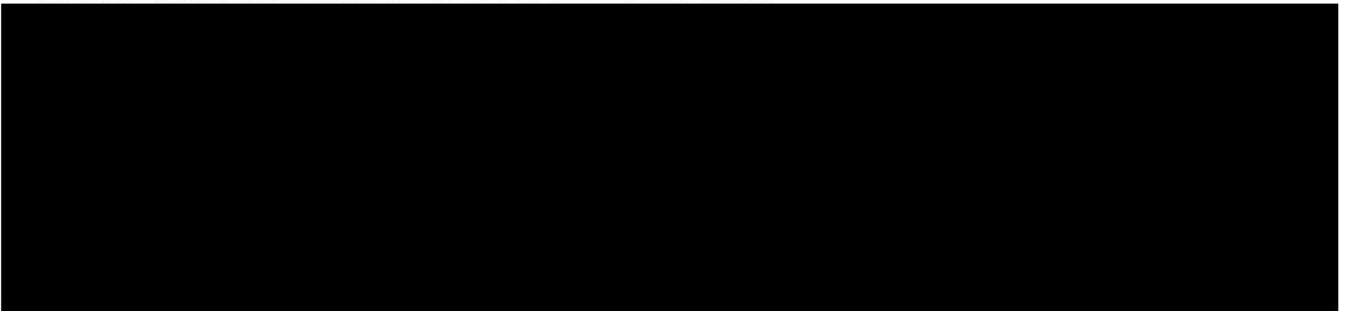
4.4 新規下水汚泥肥料の事業化に向けた検討

4.4.1 地域バイオマスの賦存量調査

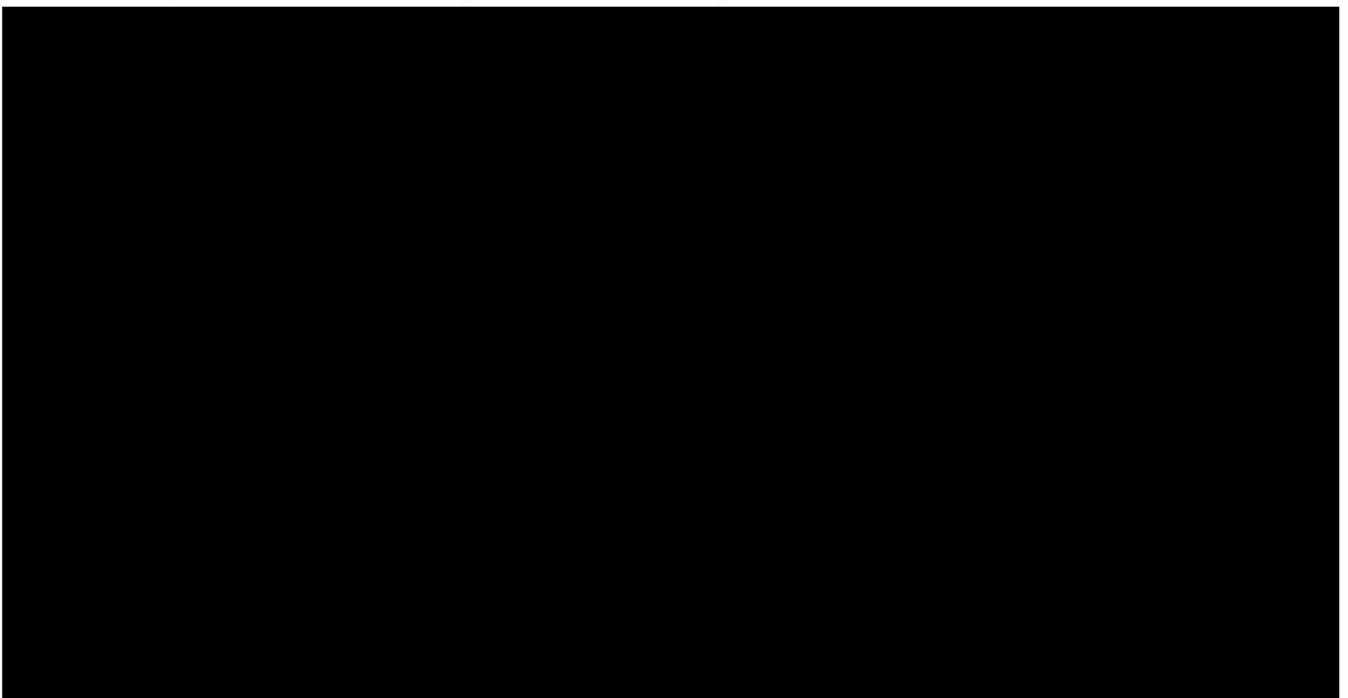
4.4.2 新規下水汚泥肥料販売価格と肥料削減効果の検討



4.4.3 新規下水汚泥肥料のマテリアルフロー分析 (MFA)



4.4.4 新規下水汚泥肥料の販路調査と普及に向けた検討



このような状況の中、新規下水汚泥肥料の今後の茶園への適用・実装化を見据えて、肥料の量産化による再現性、保証（肥料）成分・重金属成分の分析結果、汚泥原料の溶出試験および植害試験結果を、（独）農林水産消費安全技術センター（FAMIC）へ提出し、肥料登録申請（2021年5月31日）を行い、2021年7月12日に肥料登録（肥料登録番号：生第106792号）が完了した。また、2022年11月に開催された県の土壌肥料試験成績検討会において、本研究成果が鹿児島県農業開発総合センターの分担者から報告され、協議・審査の結果、「普及情報」に採用された。「普及情報」は農業者、実需者等に直接的または間接的に利用可能な新技術であり、技術員が現場で指導する上で活用する情報であり、県のウェブサイト上で公開されている。

https://www.pref.kagoshima.jp/ag11/pop-tech/nenndo/documents/documents/104090_20230410115510-1.pdf

下水汚泥肥料の農業利用については、バイオマス活用推進基本計画が2022年9月に閣議決定されたことも追い風となり、今後、加速すると考えられる。

5. 研究目標の達成状況

サブテーマ 1 目標	目標の達成状況																																																																																																										
<p>研究協力機関（三州衛生公社）の肥料化施設の一部を借用し、まず5m³規模で新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施する。<u>本試験では小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の成分特性（N：P₂O₅：K₂O=4.0%：3.2%：1.5%、重金属量：配合肥料、牛糞堆肥などと同程度）（表参照）を目標値とする。</u></p> <p>表1.1 新規下水汚泥肥料の目標値</p> <table border="1" data-bbox="162 1108 794 1283"> <thead> <tr> <th rowspan="2">資材</th> <th rowspan="2">pH</th> <th colspan="2">C/N比</th> <th colspan="8">N P₂O₅ K₂O CaO MgO Cd Pb As T-Hg Ni Cr</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th colspan="8">(乾物%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>新規下水汚泥肥料</td> <td>7.5</td> <td>11.0</td> <td>4.0</td> <td>3.2</td> <td>1.5</td> <td>0.4</td> <td>0.9</td> <td>0.3</td> <td>3.8</td> <td>2.6</td> <td>N.D.</td> <td>4.7</td> <td>8.9</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(A)*</td> <td>8.4</td> <td>6.7</td> <td>4.4</td> <td>5.8</td> <td>0.7</td> <td>11.7</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> <td>11.0</td> <td>7.8</td> <td>0.5</td> <td>31.8</td> <td>25.2</td> </tr> <tr> <td>下水汚泥肥料(B)*</td> <td>7.7</td> <td>7.6</td> <td>3.8</td> <td>5.3</td> <td>0.2</td> <td>8.4</td> <td>0.9</td> <td>1.4</td> <td>15</td> <td>5.0</td> <td>0.38</td> <td>13.0</td> <td>36.0</td> </tr> <tr> <td>牛糞堆肥**</td> <td>7.0</td> <td>16.4</td> <td>1.9</td> <td>3.2</td> <td>4.3</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> <td>N.D.</td> <td>1.0</td> <td>0.5</td> <td>N.D.</td> <td>3.2</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>配合肥料1***</td> <td>7.4</td> <td>1.0</td> <td>13.2</td> <td>2.2</td> <td>2.4</td> <td>1.7</td> <td>5.5</td> <td>0.4</td> <td>N.D.</td> <td>N.D.</td> <td>0.04</td> <td>77.5</td> <td>565</td> </tr> <tr> <td>配合肥料2***</td> <td>6.6</td> <td>3.1</td> <td>7.8</td> <td>3.9</td> <td>2.5</td> <td>2.7</td> <td>5.0</td> <td>0.9</td> <td>1.1</td> <td>N.D.</td> <td>0.05</td> <td>32.9</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>*市販されている下水汚泥肥料 **牛糞 油粕などを混合して調製された堆肥 ***有機配合肥料1, 2 茶園で利用される一般的な有機配合肥料 N.D.: 検出限界値以下</small></p> <p>新規下水汚泥肥料は、条件的嫌気条件のもと調製するため、従来の好気条件での製造法と比較して製造日数が2～3倍（好気：45日程度→条件的嫌気：90～120日程度）になることが想定される。このため、戻し肥料を利用することにより、肥料的效果を維持した状態で肥料製造期間を大幅に短縮することが可能か検討する。目標としては、60日を目指す。また、肥料的效果については、これまで窒素無機化試験において黒ボク土を利用して実施してきたが、茶園土壌は酸性土壌であることから、その特性を考慮し、酸性土壌を用いた無機化試験も併せて実施し、<u>菜種油粕や下水汚泥肥料市販品と同程度以上の肥料的效果（窒素無機化率）が得られることを実証する。</u>さらに、脱水方法が異なる脱水汚泥を用いて新規下水汚泥肥料の量産化試験を実施し、同様な製品特性（低重金属量、高窒素無機化率（肥効率））を有する汚泥肥料を調製する。調製した新規下水汚泥肥料の原料及び製造コストの試算を行い、茶栽培に新規下水汚泥肥料を利用した場合、<u>1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減することを目標に</u></p>	資材	pH	C/N比		N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO Cd Pb As T-Hg Ni Cr										(乾物%)								新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2	下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0	牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9	配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565	配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786	<p>目標を上回る成果をあげた。 (具体的な理由・根拠)</p>
資材			pH	C/N比		N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO Cd Pb As T-Hg Ni Cr																																																																																																					
				(乾物%)																																																																																																							
新規下水汚泥肥料	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9																																																																																														
下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2																																																																																														
下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0																																																																																														
牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9																																																																																														
配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565																																																																																														
配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786																																																																																														

事業採算性を目指す。

・本研究成果を鹿児島県の「普及に移す研究成果」に提案し、2021年度(令和3年度)に「研究情報」、2022年度(令和4年度)に「普及情報」としてとりまとめ、鹿児島県のウェブサイト上で公表した。

6. 引用文献

- 1) 独立行政法人農林水産省消費安全技術センター：植物に対する害に関する栽培試験の方法・解説(2017)、2017.
http://www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/sub9_8_2017.pdf
- 2) 内村浩二、三浦伸之：黒ボク茶園における有機物資材の窒素無機化特性、茶業研究報告、2004巻、98号、pp.11-19、2004.
- 3) 農林水産省告示：肥料の品質の確保等に関する法律に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件、
<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/kokuji/60k0284.pdf>
- 4) 大家理哉、鷺尾建紀、石橋英二：牛ふんを主原料とする堆肥中リン酸並びにカリウム含量の変動特性：岡山県農林水産総合センター農業研究所研究報告：9号、pp.33-39、岡山県農林水産総合センター農業研究所、2018.
- 5) 杉原進、金野隆光、石井和夫：土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報、No.1、pp.127-166、1986.
- 6) 西尾隆、荒尾知人：土壌中の施肥アンモニア態窒素有機化量の推移に関する土壌間差異、日本土壤肥料科学雑誌、73巻、5号、pp.493-499、2002.
- 7) 石垣幸三：茶樹に対するアンモニア態窒素と硝酸態窒素の比較(第1報)、茶業研究報告、1971巻35号、pp.57-64、1971.
- 8) 川口章：バクテリア製剤の現状と今後の展望、Agricultural biotechnology 2 (2)、pp.115-119、2018.
- 9) 横田健治：拮抗性 *Bacillus*属細菌を利用した植物病害の生物防除 機能性物質とその防除メカニズムを中心に、土と微生物 (Soil Microorganisms)、66(1)、pp.27-31、2012.
- 10) 農林水産省：茶生産における施肥の現状と課題、2009.
https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/nyenyu_koutou/n_kento/pdf/3siryo4.pdf
- 11) 岩橋光育：土壌のpH及び塩基飽和度が茶木の生育、品質に及ぼす影響、静岡県茶業試験場研究報告、15号、pp.21-28、1990.
- 12) 環境省・国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル～下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説～、2016.

Ⅱ－２ 新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

鹿児島工業高等専門学校

都市環境デザイン工学科 教授

山内 正仁

都市環境デザイン工学科 助教

片平 智仁

鹿児島県農業開発総合センター

生産環境部 土壌環境室 研究専門員

中村 憲知（2020年4月1日～2022年3月31日）

生産環境部 土壌環境室 室長

田中 正一（2022年4月1日～2023年3月31日）

※人事異動に伴う研究分担者の交代

生産環境部 土壌環境室 研究専門員

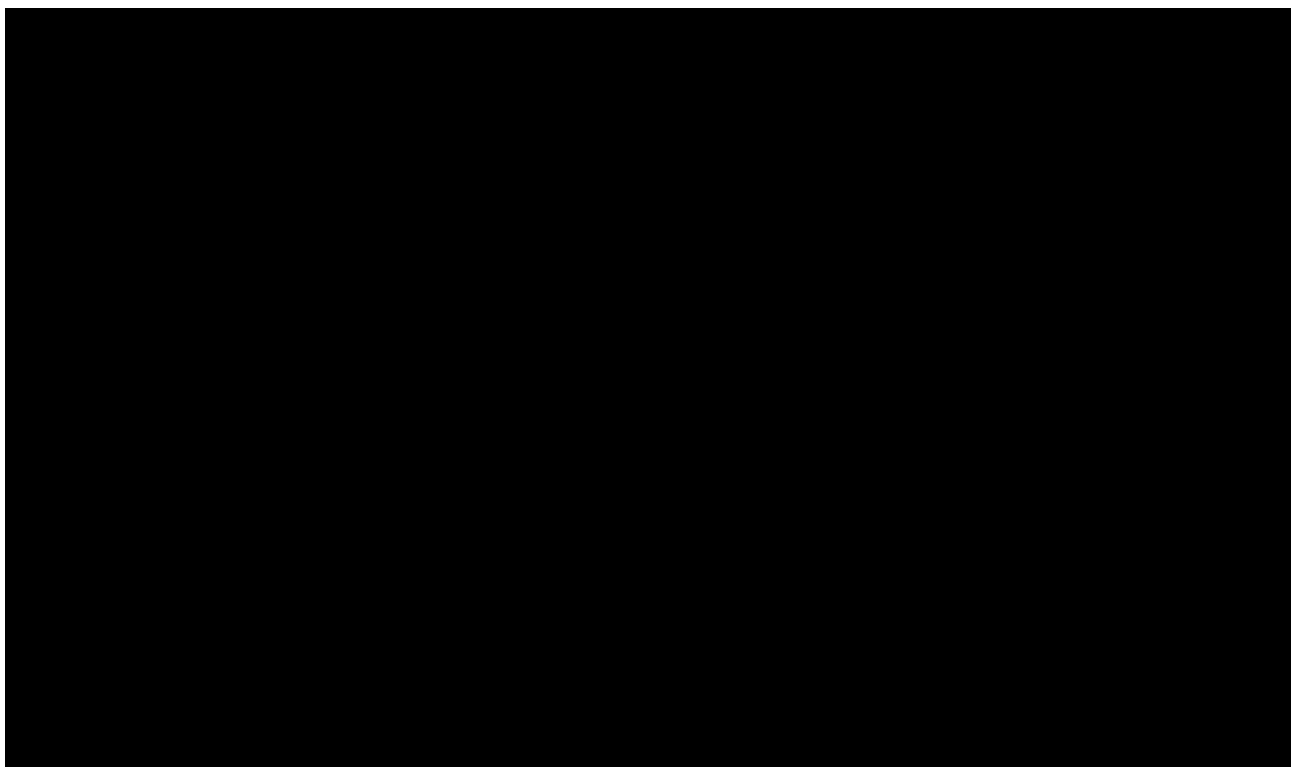
中川路 光庸

〈研究協力者〉

有限会社ヘンタ製茶 邊田 孝一

株式会社日水コン 種市 尚仁、佐々木 俊郎、占部 章次郎、大嶋 義章

[要旨]



1. 研究開発目的

本研究は下水汚泥の農業利用に関する課題を、地域バイオマスの利用を通して顧客ニーズに合致した新たな下水汚泥肥料に調製し、地域の一次・二次産業と連携して事業採算性の高い循環システムを構築することを最終目的とする。具体的には、サブテーマ2では、サブテーマ1で量産化した新規下水汚泥肥料を茶栽培に適用し、既存の有機質資材の代替として利用できることを実証する。さらに新規下水汚泥肥料の茶栽培への新規市場開拓可能性を評価し、事業採算性を明らかにする。

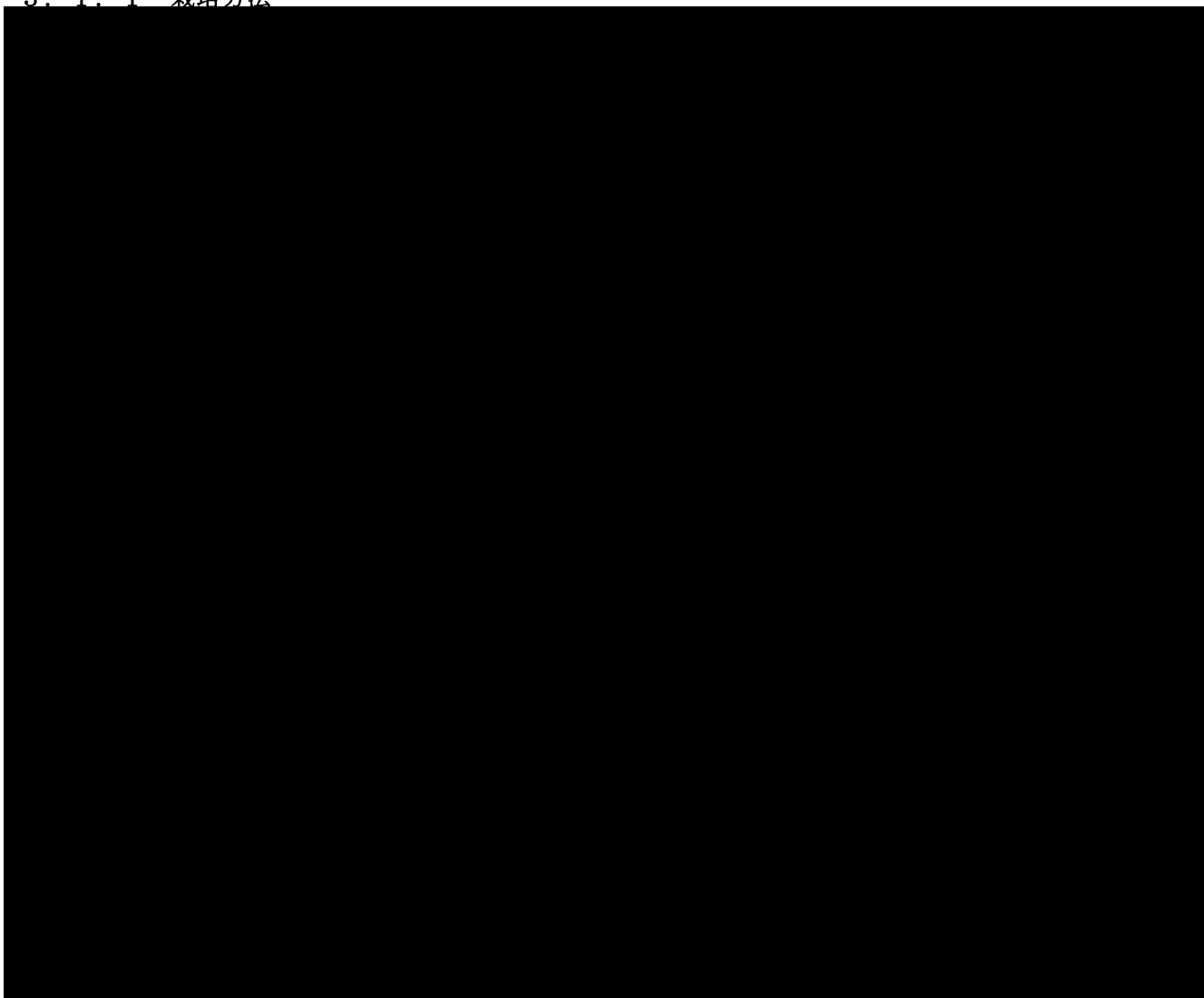
2. 研究目標

目標	<p>茶栽培における鹿児島県施肥基準は、窒素を主体に年間窒素施肥量50kg/10aで、一般的に肥料を秋肥、春肥、夏肥に分けて施肥する。新規下水汚泥肥料の特性に応じた施肥法を確立し、慣行栽培の茶葉収量1,517kg/10a（一番茶：582kg、二番茶：509kg、三番茶：426kg 鹿児島県茶業生産動向資料、H30年度）を目指す。加えて茶葉品質や茶園土壌環境への影響を慣行栽培区と比較し、問題なく新規下水汚泥肥料を施用できることを示す。具体的には、茶葉品質については、Codex基準値以下（T-As：2mg/kg、Pb：1mg/kg、T-Hg：0.5mg/kg）とし、茶園への重金属蓄積値について、土壌環境基準値以下とする。また、1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減することを目指し、実装化に結びつける。</p>
----	---

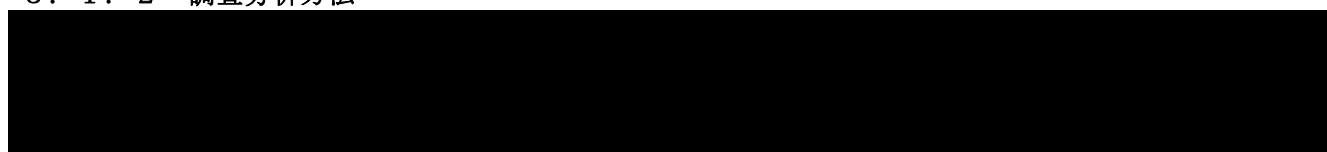
3. 研究開発内容

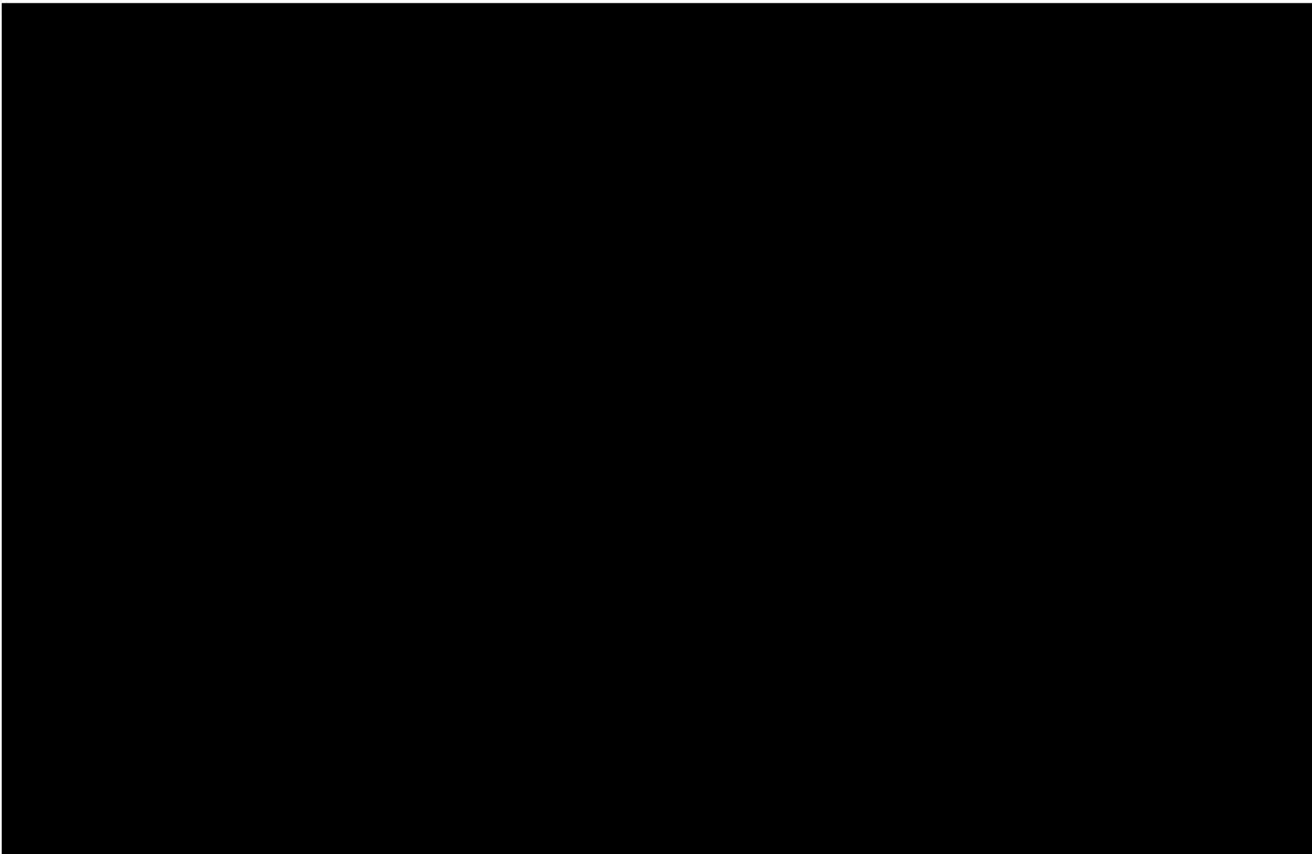
3. 1 新規下水汚泥肥料の最適施肥量(割合)の検討

3. 1. 1 栽培方法

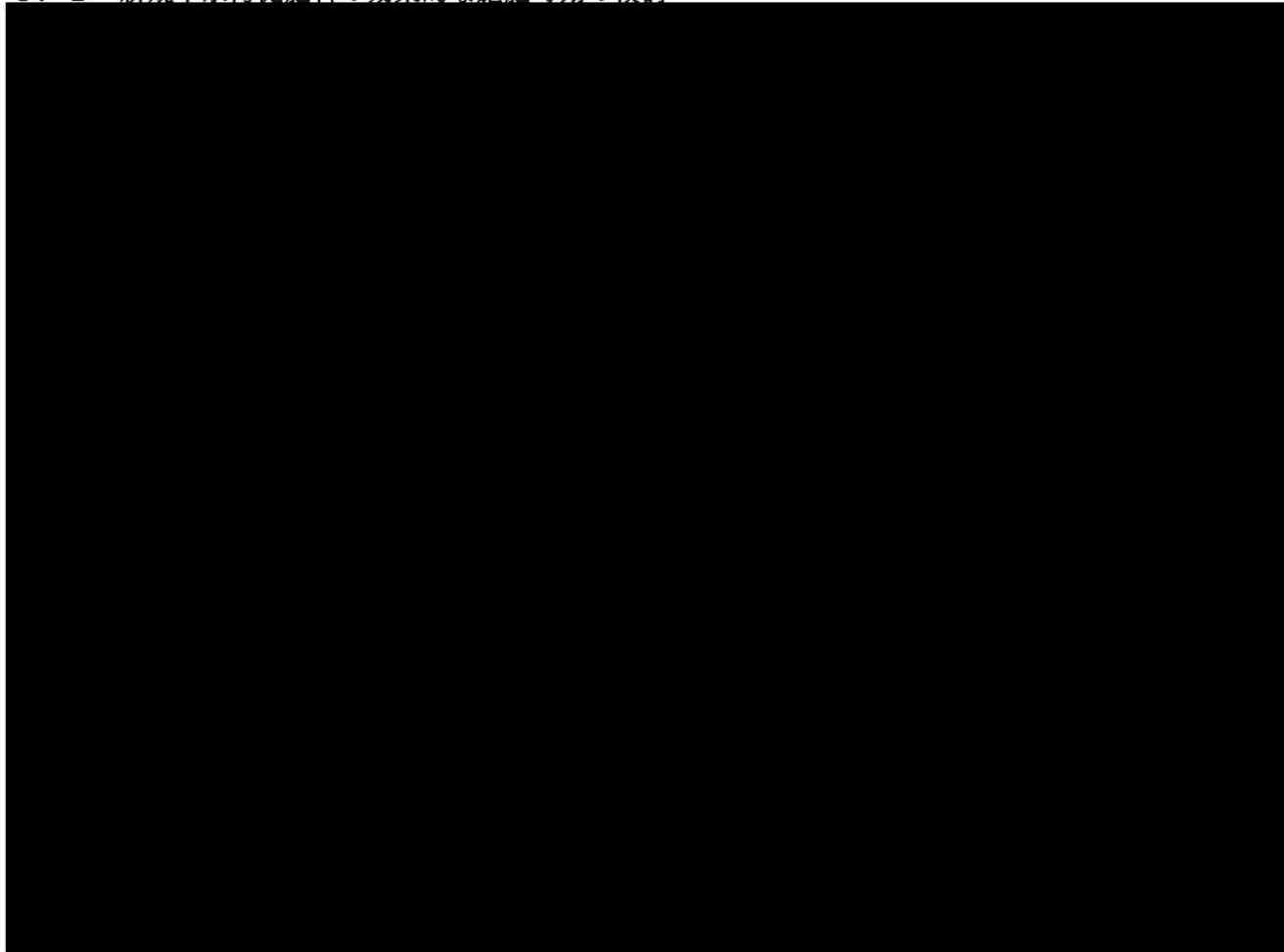


3. 1. 2 調査分析方法





3. 2 新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討



3. 3 新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量評価

新規下水汚泥肥料施肥による茶園土壌からの窒素溶脱量を調査するために、2020年10月21日に各試験区、うね間中央部の深さ100cmの位置にポーラスカップを埋設（各区3反復）した（図2.2参照）。土壌浸透水の採取は降雨があり、深さ100cmまで降雨が浸透したと予想された日に、ポーラスカップに接続したポンプを稼働させて吸引し、回収した。なお、ポンプの吸引圧は35kpaとした。浸透水（採水）中の硝酸態窒素濃度の測定は3. 1. 2の試験法に準じた。

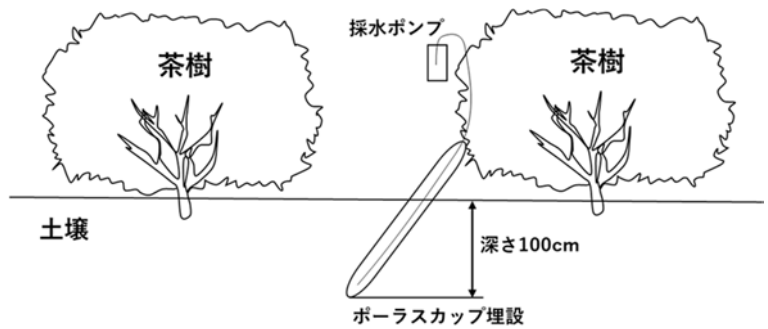
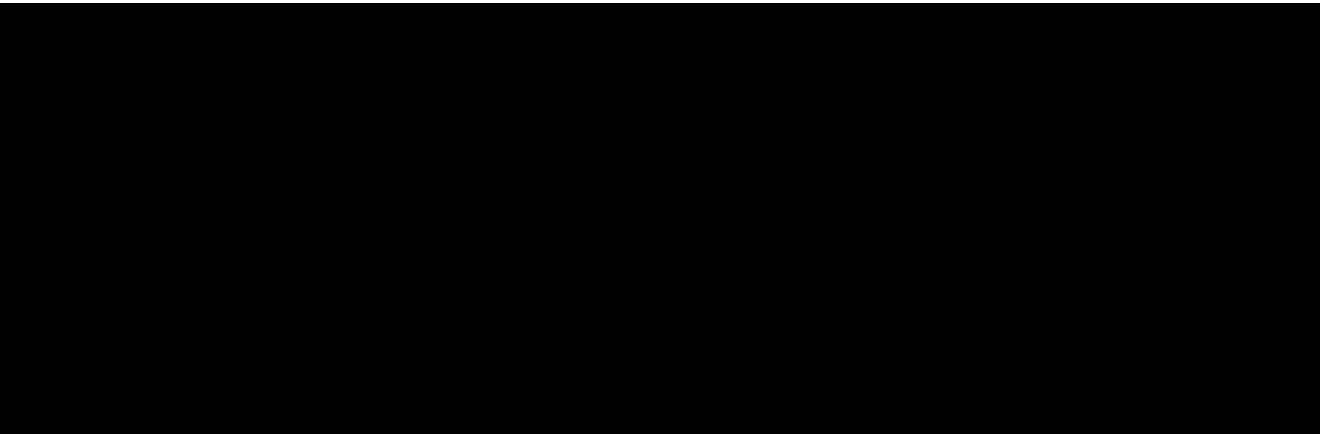


図2.2 浸透水採取概略図

3. 4 窒素・重金属成分のマテリアルフロー解析



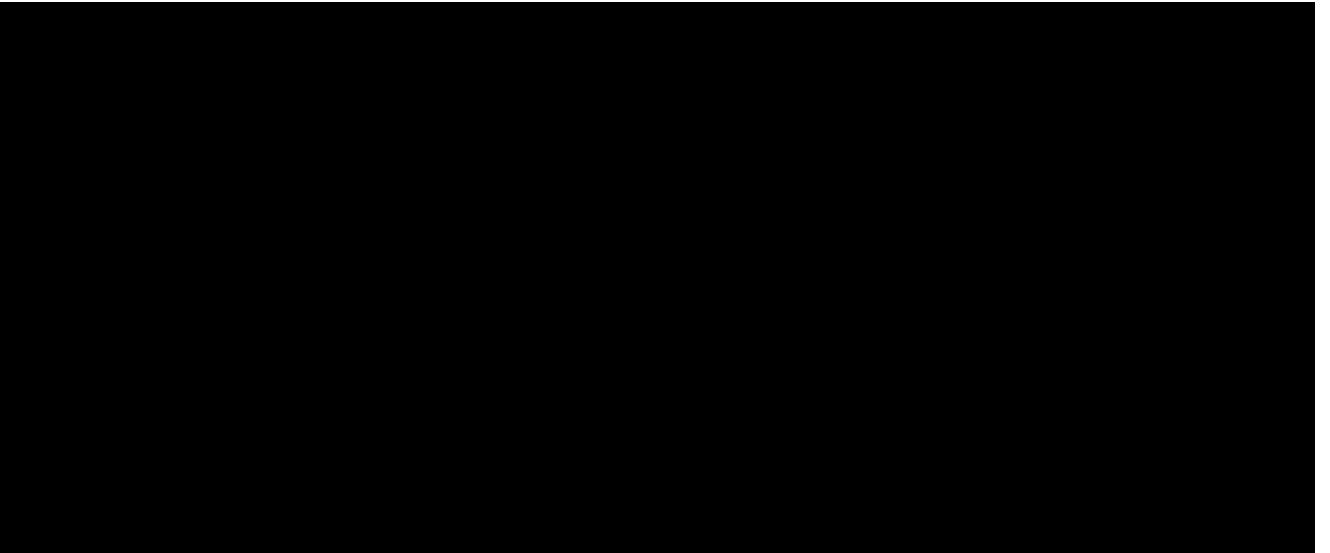
3. 5 肥料費削減効果の検討

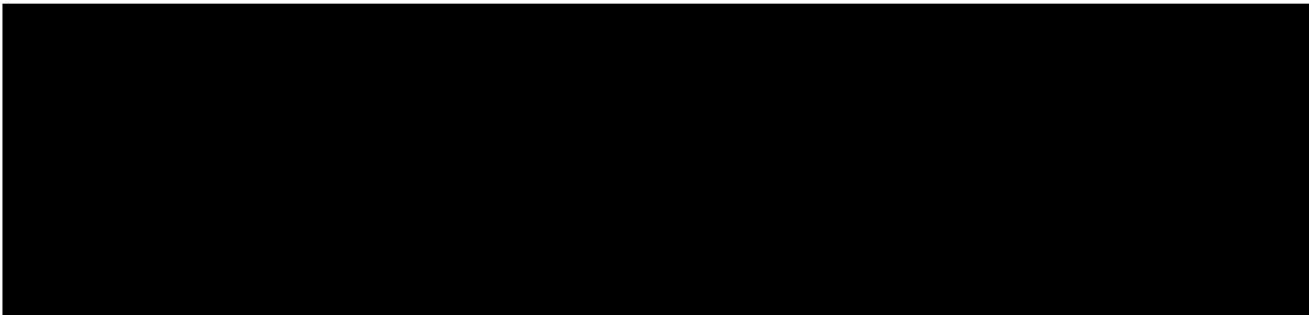
サブテーマ1（4. 4）で算出した新規下水汚泥肥料の販売価格および茶栽培試験の結果から、新規下水汚泥肥を菜種油粕の代替として茶栽培に利用した場合の1haあたりの肥料費の削減効果を検討した。

4. 結果及び考察

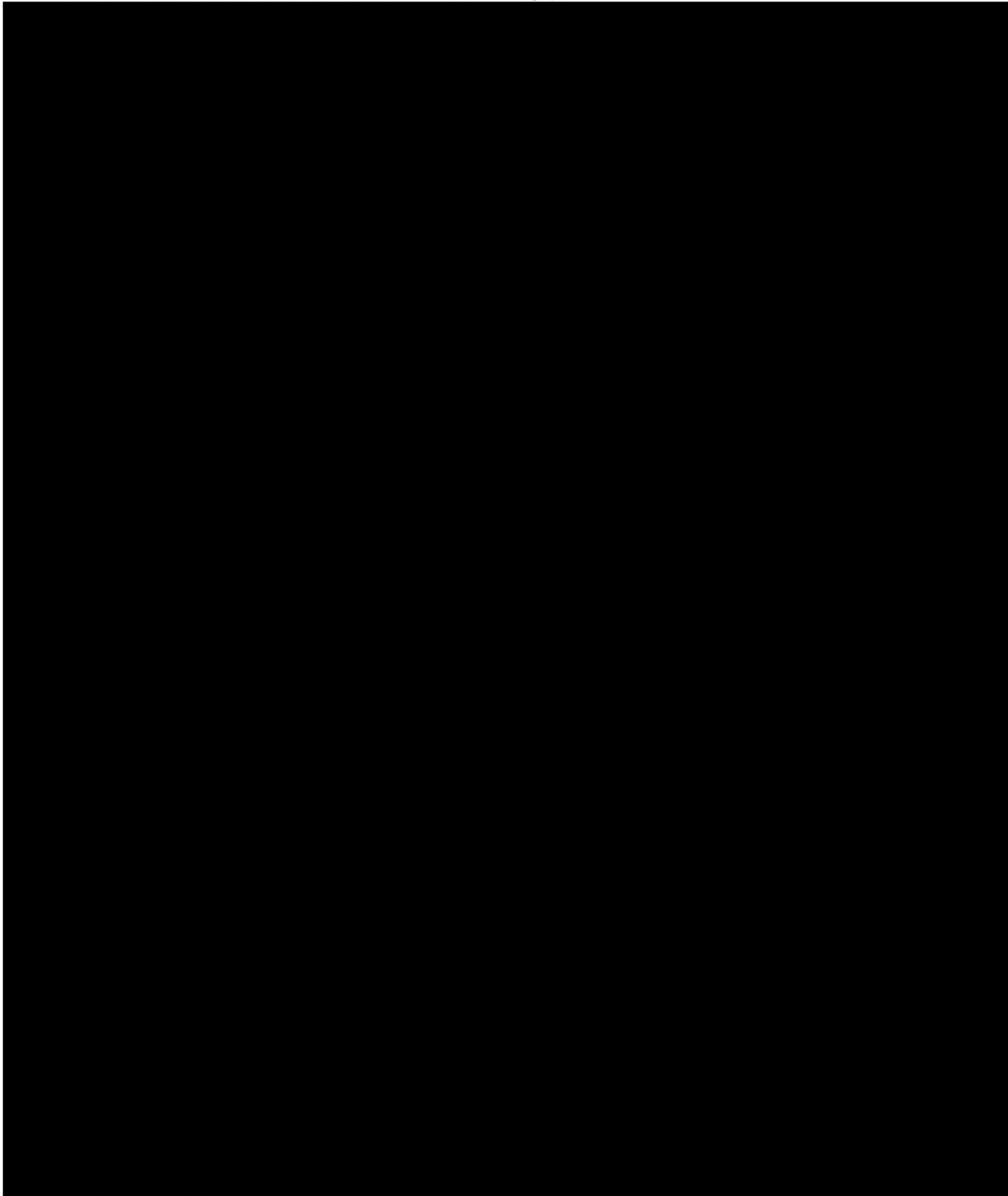
4. 1 新規下水汚泥肥料の最適施肥量(割合)の検討

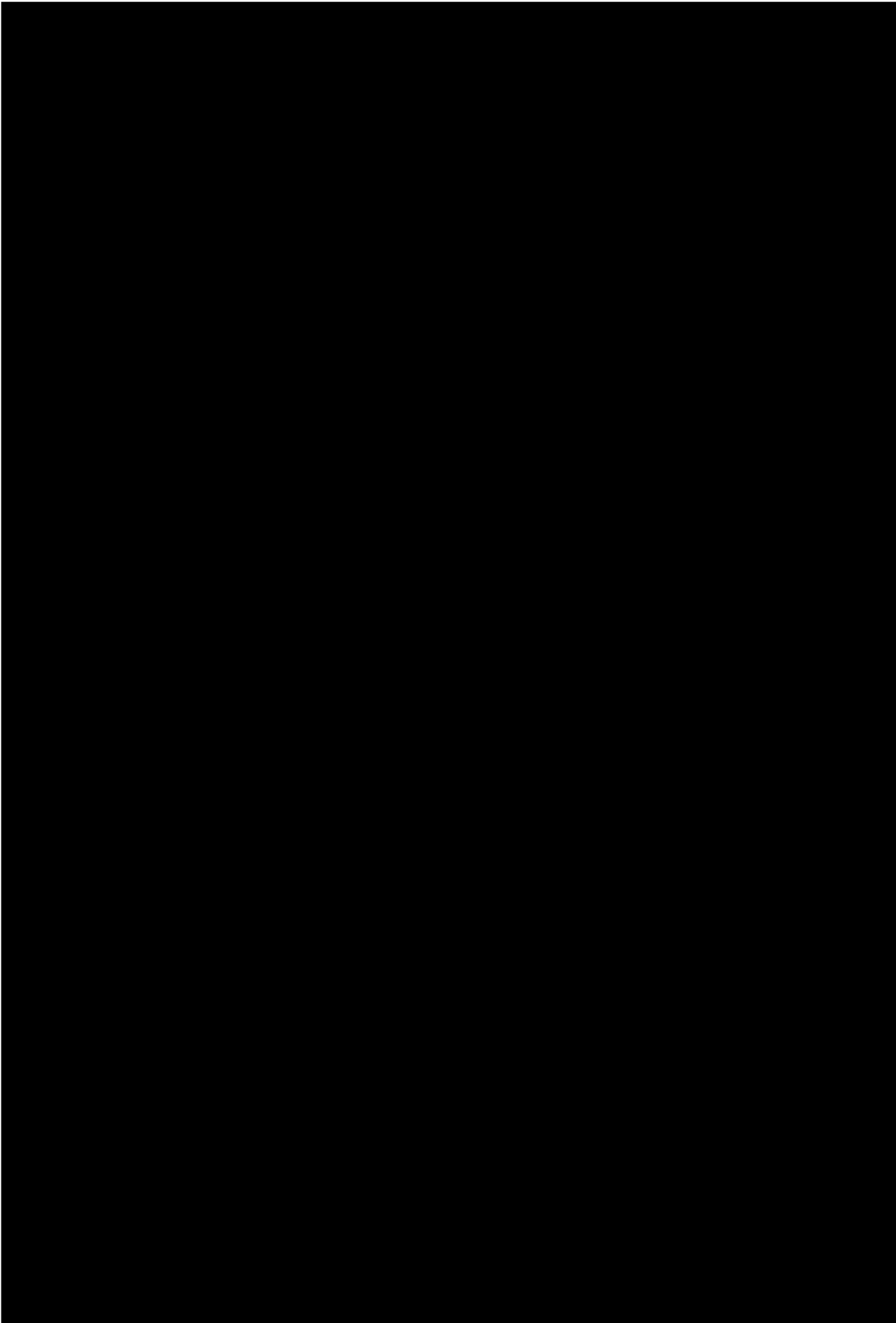
4. 1. 1 試験開始時の茶園土壌

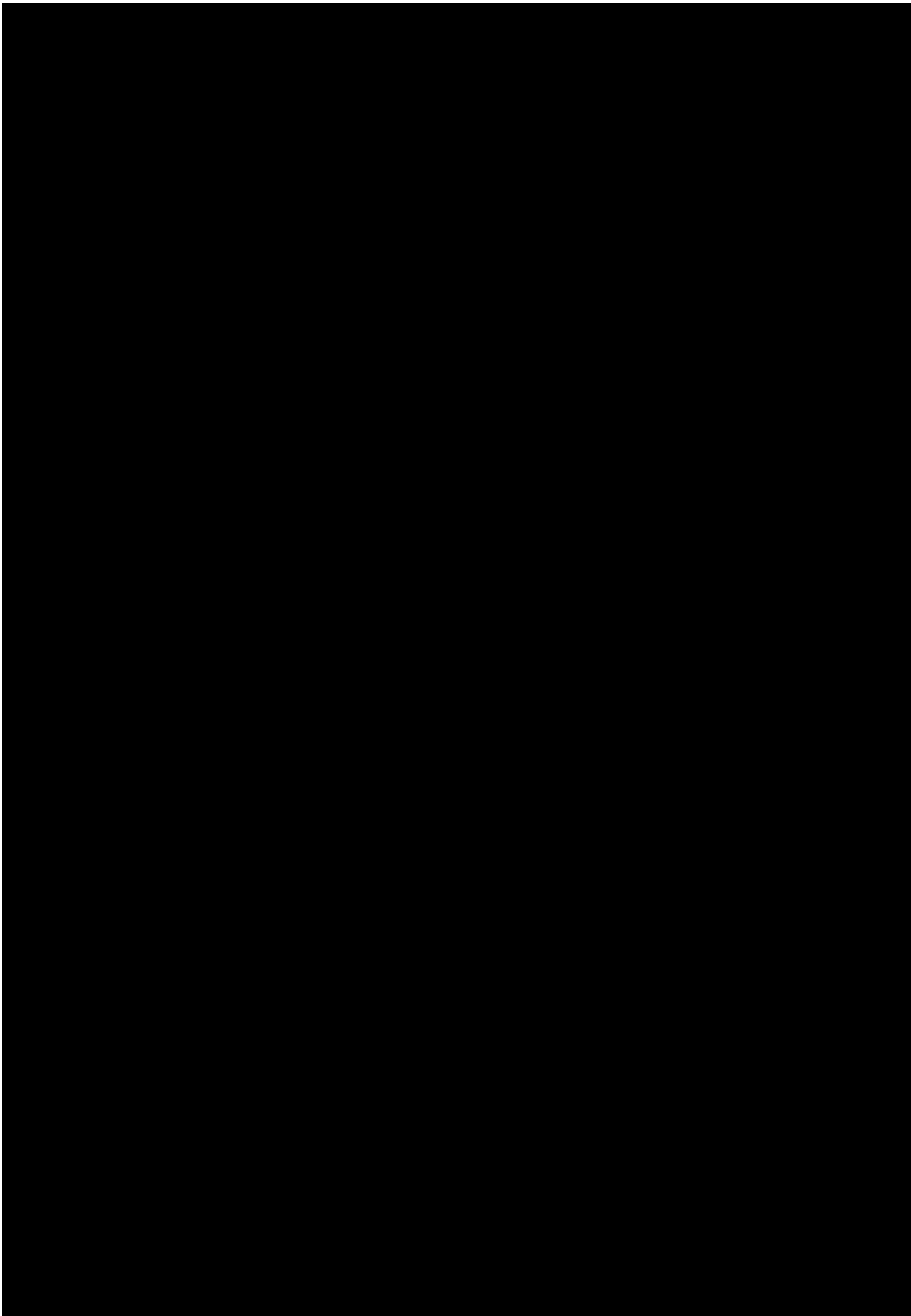




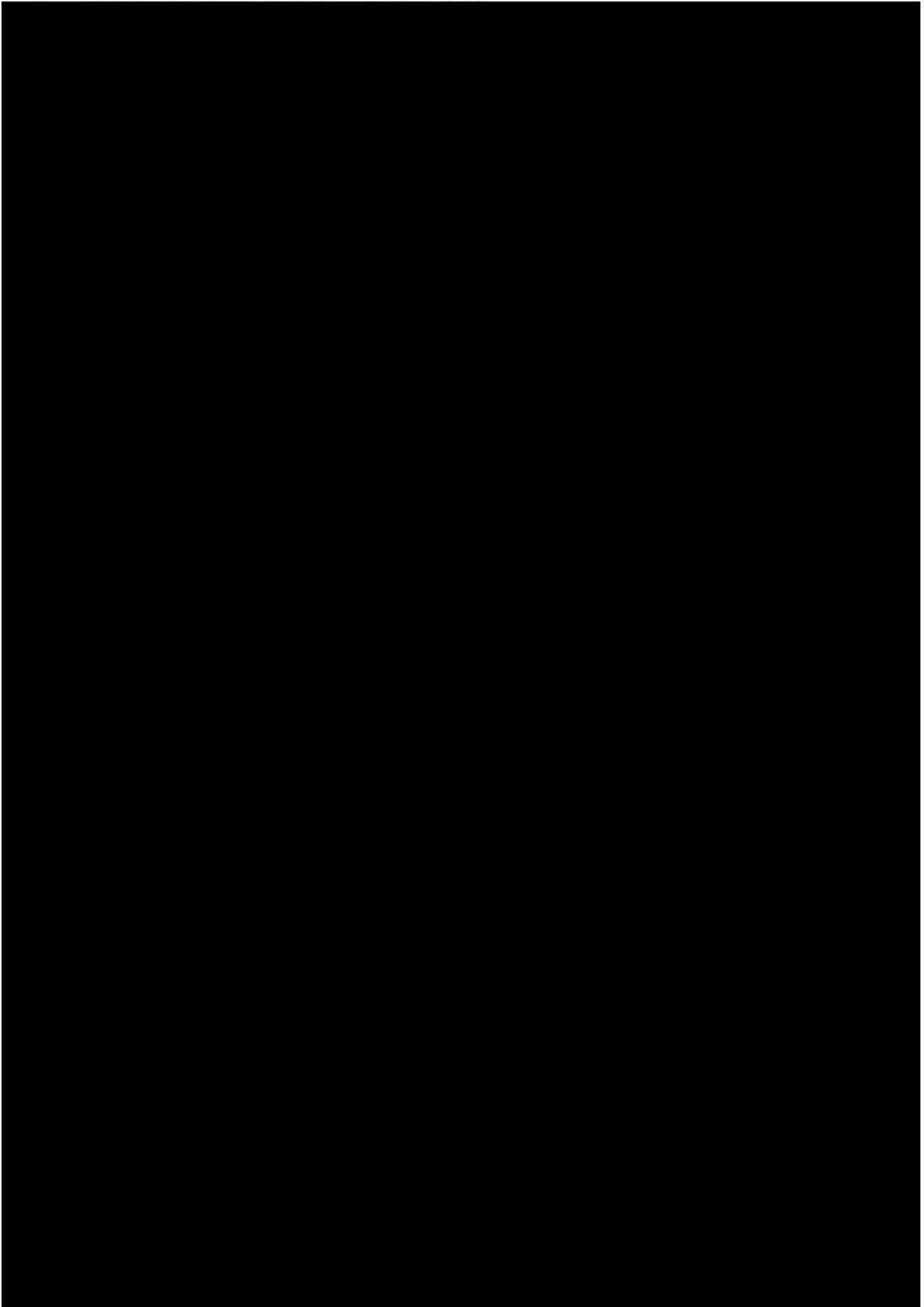
4. 1. 2 新規下水汚泥肥料の最適施肥量(割合)の検討

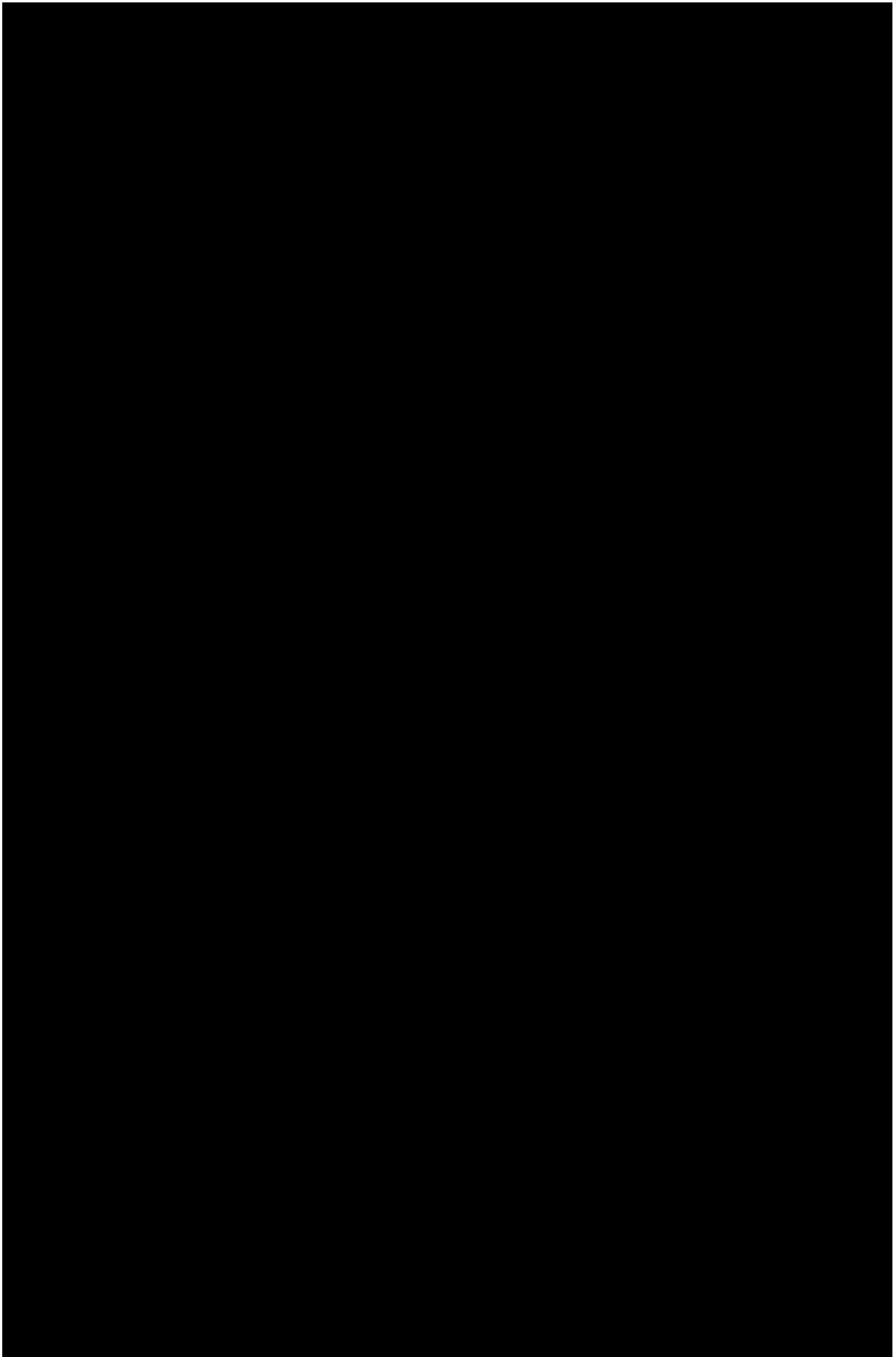






4. 2 新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討



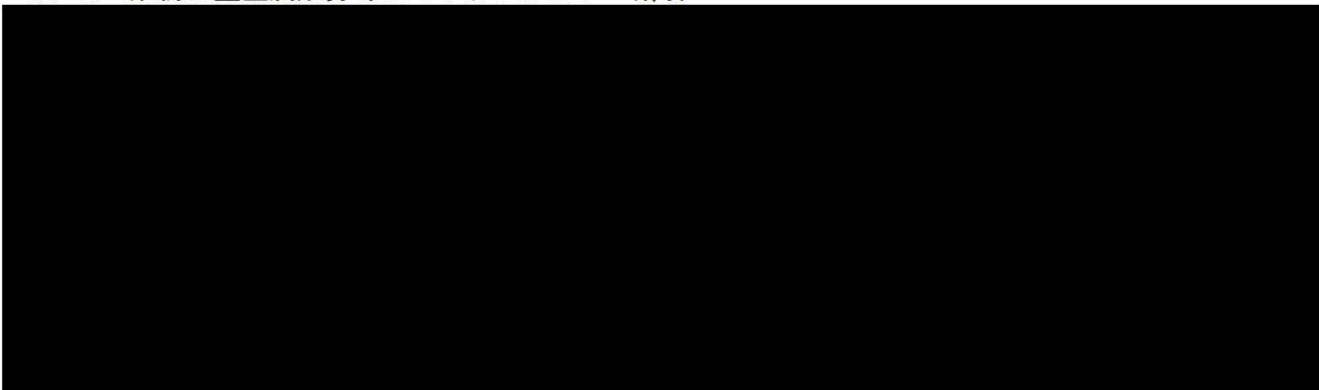


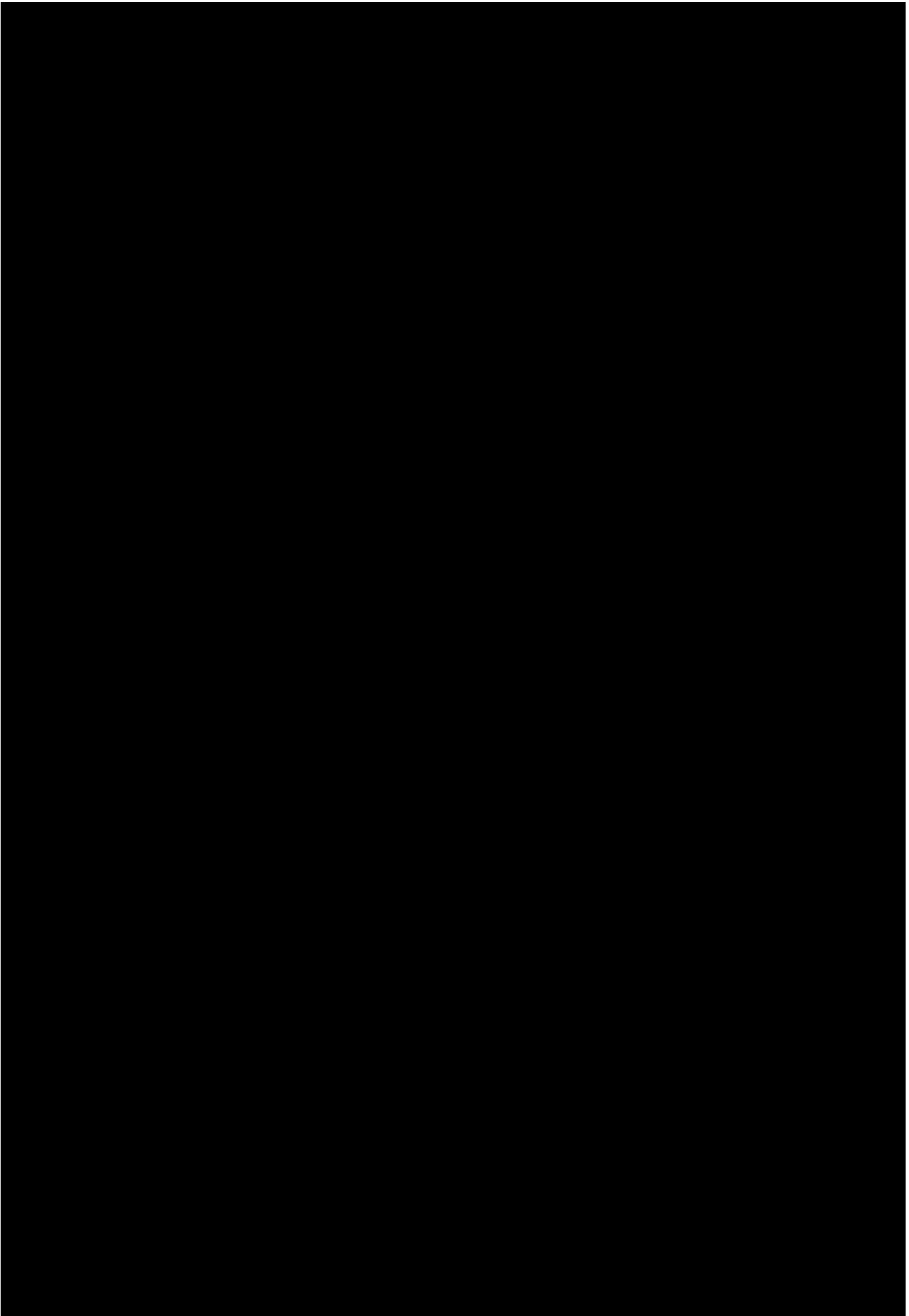


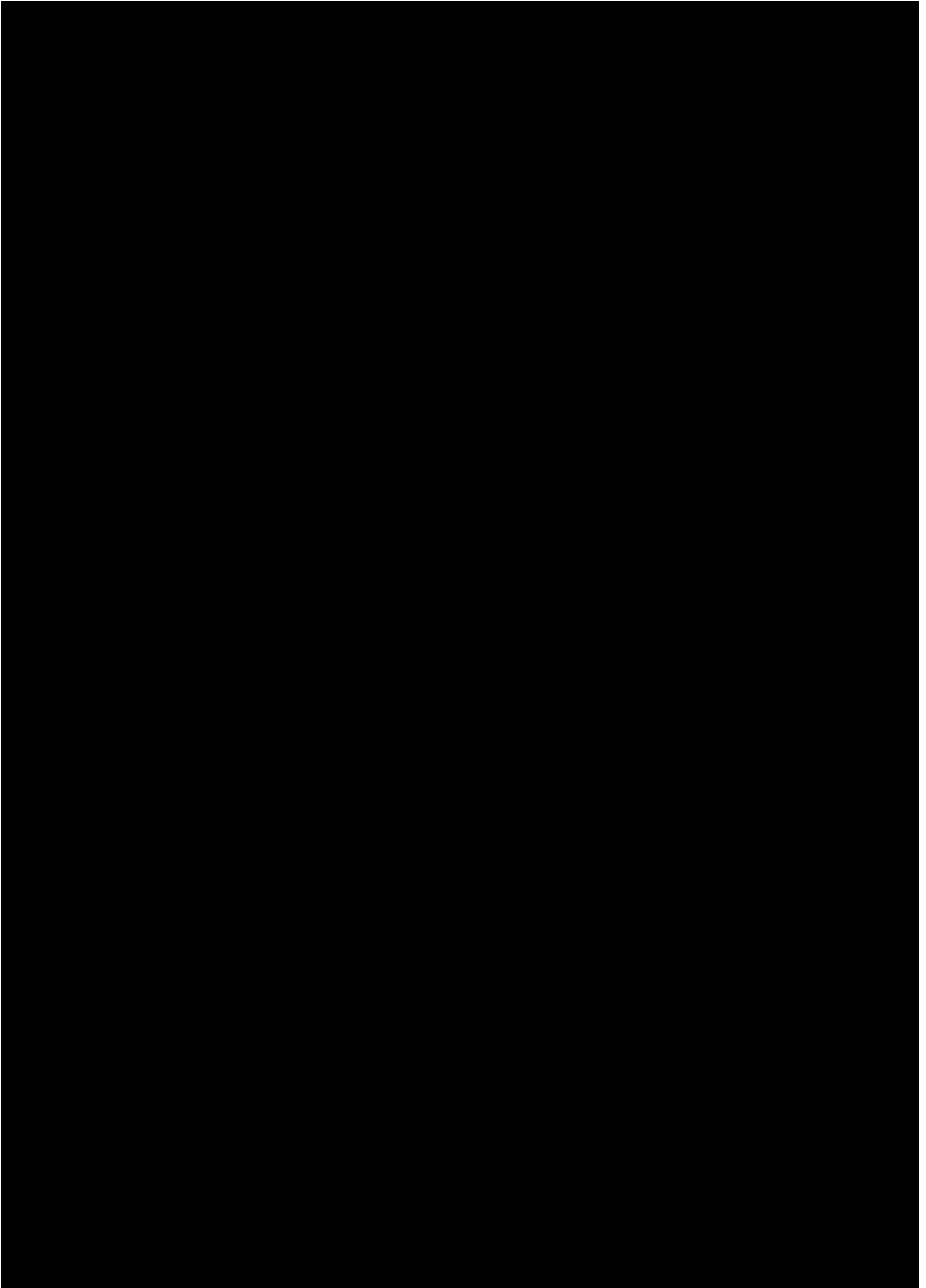
4. 3 新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価



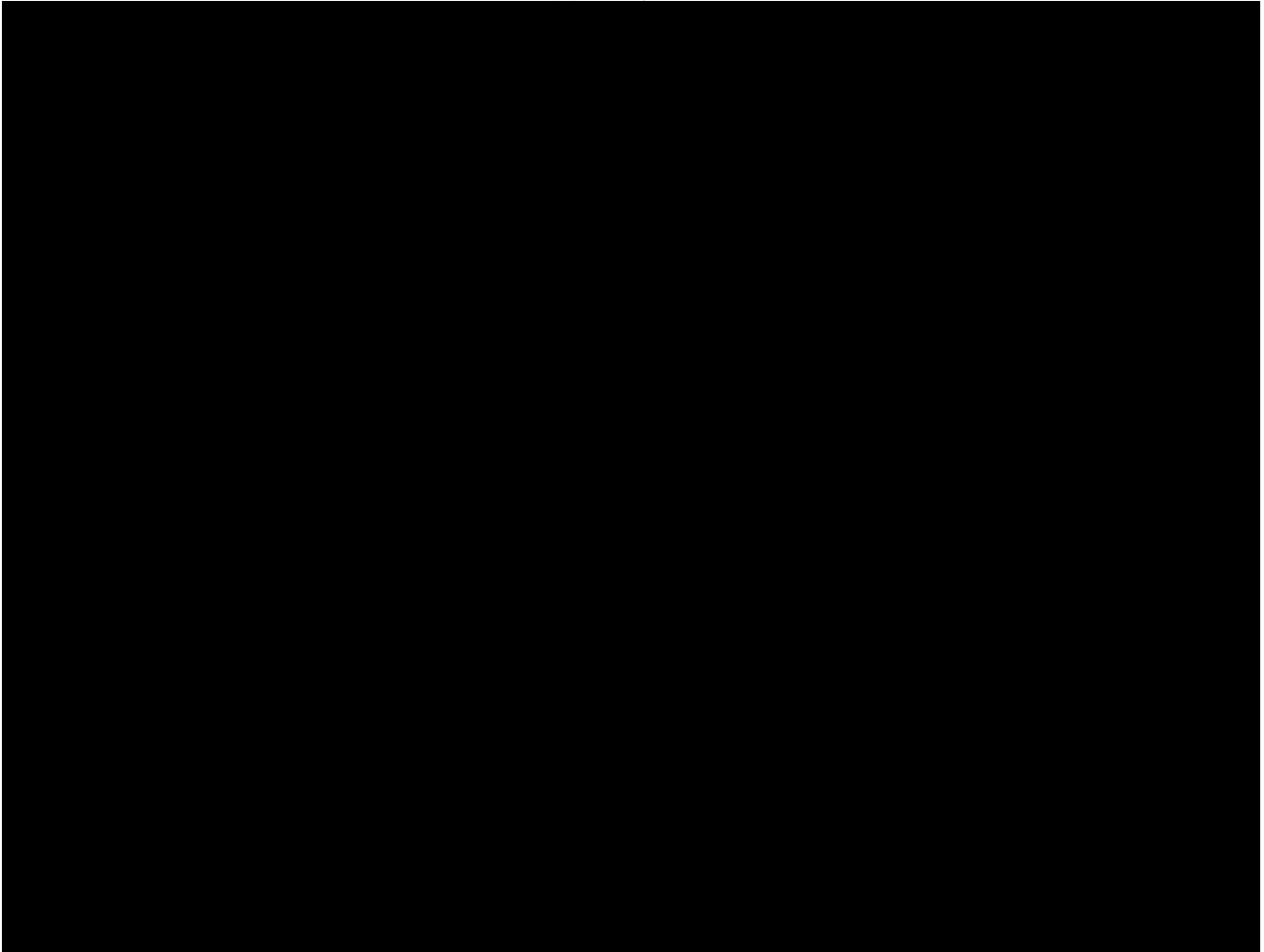
4. 4 茶樹の重金属成分等のマテリアルフロー解析








4. 5 新規下水汚泥肥料の利用による肥料費削減効果



5. 研究目標の達成状況

サブテーマ2 目標	目標の達成状況
<p>茶栽培における鹿児島県施肥基準は、窒素を主体に年間窒素施肥量50kg/10aで、一般的に肥料を秋肥、春肥、夏肥に分けて施肥する。新規下水汚泥肥料の特性に応じた施肥法を確立し、慣行栽培の茶葉収量1,517kg/10a(一番茶:582kg、二番茶:509kg、三番茶:426kg 鹿児島県茶業生産動向資料、H30年度)を目指す。加えて茶葉品質や茶園土壌環境への影響を慣行栽培区と比較し、問題なく新規下水汚泥肥料を施用できることを示す。具体的には、<u>茶葉品質</u>については、<u>Codex基準値以下</u>(T-As:2mg/kg、Pb:1mg/kg、T-Hg:0.5mg/kg)とし、<u>茶園への重金属蓄積値</u>について、<u>土壌環境基準値以下</u>とする。また、<u>1haあたりの肥料コストを現在の60万円から20%削減</u>することを目指し、実装化に結びつける。</p>	<p>目標どおりの成果をあげた。</p> 

	<div data-bbox="815 170 1481 645" style="background-color: black; height: 212px; width: 417px;"></div> <p data-bbox="815 651 1481 757">・本研究成果の「下水汚泥肥料の施用が茶の収量・品質に及ぼす影響」が、2022年度（令和4年度）の鹿児島県の「研究情報」に採用された。</p> <div data-bbox="815 779 1481 967" style="background-color: black; height: 84px; width: 417px;"></div>
--	---

6. 引用文献

- 1) 財団法人日本土壌協会：土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法、2001.
- 2) 環境省：農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準について、1984.
<https://www.env.go.jp/hourei/06/000049.html>
- 3) 大場正明：茶樹の更新方法とその後の生育収量および品質への影響、静岡県茶業試験場研究報告、14号、pp. 11-16、1989.
- 4) 森田明雄、小西茂毅、中村順行、清水絹恵、横田博実：チャ品種の育成年度に応じた茶葉中の各種成分含量の変化、育種学研6、pp. 1-9、2004.
- 5) 長崎県農林技術開発センター：近赤外分光法による乾燥茶葉中に含まれるカテキン含有率の簡易推定法、<https://www.pref.nagasaki.jp/e-nourin/nougi/theme/result/H25seika-jouhou/shidou/S-25-31.pdf>、2013.
- 6) 静岡県志太榛原農業改良普及センター・静岡県茶業試験場編：茶成分分析のための近赤外分析計マニュアル、2019.
- 7) 厚生労働省：食品、添加物等の規格基準、1959.
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/jigyousya/shokuhin_kikaku/index.html
- 8) 鹿児島県・鹿児島県茶業技術協会・一般社団法人鹿児島県茶生産協：茶生産技術指針（7版）、pp. 70、2017.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) K. Kuroda, T. Katahira, M. Yamada, I. Uezono, N. Nakamura, T. Yamaguchi, M. Yamauchi: Bioresource Technology Reports, 22 101401(2023)
「Co-composting of sewage sludge with plant biomass, and analysis of microbiome relevant to plant growth promotion.」
- 2) 片平智仁、原田隆大、瀧龍平、上菌一郎、中村憲知、山田真義、黒田恭平、碓智、山口隆司、山内正仁：土木学会論文集G（環境）、78(7)、Ⅲ_223-Ⅲ_231（2022）
「新規下水汚泥肥料の量産化技術の開発と茶栽培への適用」

【サブテーマ2】

- 1) 山内正仁、原田隆大、山田真義、瀧龍平、黒田恭平、片平智仁、碓智、山口隆司：土木学会論文集G（環境）、77(7)、Ⅲ_161-Ⅲ_168（2021）
「下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用」

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- 1) 山内正仁：水道公論 12月号、水道新聞社、pp. 24-27（2022）
「特別寄稿 下水汚泥と地域バイオマス廃棄物を活用した肥料の開発」
- 2) 山内正仁、高部祐剛、治多伸介、中村真人、堀部英郎、松下知広、和木美代子、野村洋平：農産業に関わる水・バイオマス循環技術研究委員会、水環境学会誌、44（A）（12）、417-423（2021）
「農産業における水・バイオマス循環利用に関する最近の動向」（下水道関連、2.1 汚泥利用の研究・導入事例を執筆）

【サブテーマ2】

- 1) 山内正仁：再生と利用、46（170）、pp. 85-90（2022）
「研究紹介 厄介者だった下水汚泥の有効利用」
- 2) 山内正仁：水環境学会誌 43（A）（4）、pp. 113-116（2020）
「下水汚泥と地域バイオマスの利用による食用きのこ生産技術の開発と廃培地、炭酸ガスの農業利用」

(2) 口頭発表（学会等）

【サブテーマ1】

- 1) 片平智仁、原田隆大、瀧龍平、上菌一郎、中村憲知、山田真義、黒田恭平、碓智、山口隆司、山内正仁：第59回環境工学研究フォーラム（2022）
「新規下水汚泥肥料の量産化技術の開発と茶栽培への適用」
- 2) 瀧龍平、志戸遥風、片平智仁、山田真義、中川路光庸、勝田雅人、黒田恭平、山内正仁：第3回エコテクノロジーフォーラム（2022）
「異なる凝集剤を含む下水汚泥肥料の成分特性と作物栽培への影響」
- 3) R. Gata, H. Shido, T. Katahira, M. Yamada, K. Kuroda, R. Harada, T. Yamaguchi and M. Yamauchi: 7th STI-Gigaku 2022(2022)
「Mass production test of new sewage sludge fertilizer for practical use and its

Adaptation to tea cultivation]

- 4) 瀧龍平、志戸遥風、原田隆大、片平智仁、山田真義、黒田恭平、中村憲知、上菌一郎、山内正仁：第56回日本水環境学会年会（2022）
「新規下水汚泥肥料の量産化による茶栽培試験への適用」
- 5) 原田隆大、瀧龍平、志戸遥風、片平智仁、山田真義、黒田恭平、中村憲知、上菌一郎、碓智、山口隆司、山内正仁：第58回環境工学研究フォーラム（2021）
「新規下水汚泥肥料の量産化と茶栽培への適用」
- 6) 原田隆大、森重朱理、片平智仁、山田真義、黒田恭平、佐々木俊郎、種市尚仁、碓智、山口隆司、山内正仁：第57回環境工学研究フォーラム（2020）
「新規下水汚泥肥料の開発とその利用」

【サブテーマ2】

- 1) 志戸遥風、田尾桃佳、瀧龍平、池田匠児、片平智仁、黒田恭平、中川路光庸、勝田雅人、山田真義、山内正仁：2022年度日本水環境学会九州沖縄支部研究発表会（2023）
「新規下水汚泥肥料の茶栽培への適用と地下水への影響」
- 2) 志戸遥風、瀧龍平、原田隆大、片平智仁、山田真義、黒田恭平、中村憲知、上菌一郎、碓智、山口隆司、山内正仁：第59回環境工学研究フォーラム（2022）
「新規下水汚泥肥料の茶栽培への適用効果」
- 3) 中川路光庸、中村憲知、上菌一郎、山内正仁、山田真義、片平智仁、黒田恭平：2022年度日本茶業学会研究発表会（2022）
「新規下水汚泥肥料の施肥時期が茶の収量及び環境負荷に及ぼす影響」
- 4) 田尾桃佳、志戸遥風、瀧龍平、片平智仁、山田真義、中川路光庸、勝田雅人、黒田恭平、山内正仁：第3回エコテクノロジーフォーラム（2022）
「下水汚泥と地域バイオマスで調製した肥料の茶栽培への適用」
- 5) 志戸遥風、瀧龍平、原田隆大、片平智仁、山田真義、山内正仁、黒田恭平、中村憲知、上菌一郎：2021年度日本水環境学会九州沖縄支部研究発表会（2022）
「新規下水汚泥肥料の特性と茶栽培への適用」
- 6) 志戸遥風、瀧龍平、原田隆大、片平智仁、山田真義、黒田恭平、中村憲知、上菌一郎、山内正仁：第2回エコテクノロジーフォーラム（2021）
「新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験」
- 7) 中村憲知、中川路光庸、上菌一郎、山内正仁、山田真義、片平智仁、黒田恭平：2021年度茶業学会研究発表会（2021）
「新規下水汚泥肥料の施肥時期が茶の収量・品質に及ぼす影響」
- 8) R. Harada, R. Gata, H. Shido, T. Katahira, M. Yamada, K. Kuroda, Z. Nagai, M. Nagai, T. Yamaguchi, M. Yamauchi: 6th STI-Gigaku2021（2021）
「Application of sewage sludge fertilizer and spent mushroom (*Agaricus bisporus*) substrate on tea (*Camellia sinensis*) cultivation」
- 9) 原田隆大、瀧龍平、山田真義、片平智仁、山内正仁：令和3年度廃棄物資源循環学会九州支部研究ポスター発表会（2021）
「下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験に関する研究」
- 10) 原田隆大、瀧龍平、山田真義、片平智仁、山内正仁：2020年度日本水環境学会九州沖縄支部研究発表会（2021）
「下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験に関する研究」
- 11) R. Harada, K. Kuroda, T. Watari, T. Yamaguchi, M. Yamauchi: 5th STI-Gigaku2020（2020）
「Application of sewage fertilizer for tea cultivation」

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ1】 【サブテーマ2】 共通

- 1) BISTRO下水道 in 霧島 鹿児島高専 4th（主催：鹿児島工業高等専門学校、2021年12月22日、定員100名に対し、参加者130名、ホテル京セラ）において、「地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業採算性の高い循環システムの構築」と題し、講演（山内正仁）。また、「下水道資源を活用した地域循環共生圏形成に向けて」と題し、パネルディスカッションを開催（原田隆大、山田真義、中村憲知、上菌一郎、黒田恭平、邊田孝一（ヘンタ製茶）、種市尚仁（日水コン）、中村真優（ミス日本「水の天使」））。
- 2) New環境展（主催：日報ビジネス株式会社、2022年5月25～27日、来場者67402人、東京ビックサイト）に参加し、国立高等専門学校機構のブースで「新規下水汚泥肥料の開発による地域循環共生圏の形成」と題し、本研究成果について説明、来場者と意見交換。
- 3) ビストロ下水道研究発表会 in 鶴岡（共催：鶴岡市、山形大学農学部、2022年8月23日、参加者150名（会場：90名、オンライン：60名、山形大学農学部301講義室）に参加し、「地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業採算性の高い循環システムの構築」と題し、講演（山内正仁）。また、パネルディスカッションにパネラーとして登壇し、「下水道資源の農業利用」をテーマに、今後の生産者および消費者への普及拡大方法などについて意見交換を実施（山内正仁）。

(4) マスコミ等への公表・報道等

【サブテーマ1】 【サブテーマ2】 共通

- 1) 南日本新聞（2021年5月25日、15面、「下水汚泥を肥料に」）
- 2) PR TIMES（2021年10月6日、「厄介者だった下水汚泥を鹿児島高専が有効利用」）
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000066.000075419.html>
- 3) 西日本新聞（2022年1月4日、3面、「下水汚泥から茶栽培肥料 鹿児島高専が開発 資源循環とコスト減両立」）、西日本新聞電子版にも掲載。
- 4) PR TIMES（2022年1月18日、「地域が元気になるBISTRO 下水道 in 霧島 鹿児島高専4th開催」）
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000121.000075419.html>
- 5) 日本下水道新聞（2022年1月26日、10面、「鹿児島高専 ビストロの知見を共有 資源循環でシンポ開催」）
- 6) 日刊工業新聞（2022年5月10日、13面、「第49回環境賞に5件」）
- 7) 水道産業新聞（2022年6月30日、3面、「下水汚泥と地域バイオマスで肥料」）
- 8) 日刊工業新聞（2022年7月12日、10面、11面、「第49回 環境賞 下水汚泥と地域バイオマス廃棄物を活用した肥料の開発」）
- 9) 環境新聞（2022年7月27日、9面、「下水汚泥から地域を元気にする方法」）
- 10) 水道産業新聞（2022年7月28日、21面、「下水汚泥と地域バイオマスを活用した肥料の開発」）
- 11) 日本水道新聞社（2022年3月、9頁、「下水汚泥をお茶栽培で活用」、BISTRO下水道パンフレット（令和4年度版）にBISTRO下水道関連の研究事例として紹介、令和5年度 国土交通省発行）

(5) 本研究費の研究成果による受賞

- 1) 原田隆大：下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験に関する研究、「優秀発表賞」、日本水環境学会九州沖縄支部、2021年3月16日（原田隆大、湯龍平、山田真義、片平智仁、山内正仁）
- 2) 鹿児島工業高等専門学校、鹿児島県農業開発総合センター、産業技術総合研究所、（株）日水コン、（株）三州衛生公社：下水汚泥と地域バイオマス廃棄物を活用した肥料の開発、「第49回環境賞/優

良賞」日刊工業新聞社、2022年5月10日

- 3) 瀧龍平: Mass production test of new sewage sludge fertilizer for practical use and its adaptation to tea cultivation, 「7th STI-Gigaku 2022 Best Research Presentation Award by Sumitomo Riko Company, (R. Gata, H. Shido, T. Katahira, M. Yamada, K. Kuroda, R. Harada, T. Yamaguchi and M. Yamauchi) , 2022年11月18日
- 4) 山内正仁、原田隆大、山田真義、瀧龍平、黒田恭平、片平智仁、碓智、山口隆司: 下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用、「第58回環境工学研究フォーラム論文賞」、土木学会環境工学委員会 2022年11月29日

(6) その他の成果発表

- 1) 第23回水環境学会シンポジウム(2020年9月10日)で「下水汚泥利用の新展開～きのこ及び永年作物栽培へ～」と題し講演、意見交換を実施(山内正仁)。
- 2) 鹿児島県農業開発総合センター令和3年度土壌肥料成績設計検討会(2021年11月26日)で研究情報として、「高分子凝集剤を用いた下水汚泥肥料の肥料特性」と題し発表、意見交換を実施。(上菌一郎)
- 3) 第2回エコテクノロジーフォーラム(主催:エコテクノロジー研究会、2021年12月4日、鹿児島県霧島市)で「鹿児島における循環型社会形成に関する研究の取り組み」と題し講演。意見交換実施(山内正仁)。
- 4) 日本水処理生物学会第58回(熊本)大会(2022年11月18日)で「下水汚泥(肥料)の農業利用(Fertilizer & Food)への展開」と題し講演、意見交換実施(山内正仁)。
- 5) 鹿児島県農業開発総合センター令和4年度土壌肥料成績設計検討会(2022年11月25日)で「地域未利用バイオマス有効活用による新下水汚泥肥料量産化技術の開発」と題し、(1)新規下水汚泥肥料が茶の収量、土壌環境などに及ぼす影響解析(中川路光庸)、(2)新規下水汚泥肥料の窒素無機化試験について(勝田雅人)発表、意見交換実施。
- 6) (独)環境再生保全機構パンフレット2022に研究成果紹介、8頁「厄介者だった下水汚泥を鹿児島高専が有効利用」

IV. 英文Abstract

Construction of a Highly Business-Profitable Sewage Sludge Circulation System through Composting in Collaboration with Local Industries

Principal Investigator: Masahito YAMAUCHI

Institution: National Institute of Technology, Kagoshima College, Kirishima, Kagoshima, JAPAN

Tel: +81-995-42-9124 / FAX: +81-0995-42-9126

E-mail: yamauti@kagoshima-ct.ac.jp

Cooperated by: Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

[Abstract]

Key Words: Sewage sludge, Newly developed sewage sludge compost, Tea cultivation, Regional biomass, Regional linking

