
亜臨界水処理有機液肥による地域内有機資源
循環型農業システムの構築

平成25年度～平成29年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
研 究 成 果 報 告 書

平成30年5月

学 校 法 人 名 学校法人明治大学

大 学 名 明治大学

研 究 組 織 名 環境保全型農業研究所

研 究 代 表 者 玉置 雅彦

(明治大学 農学部 教授)

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(S1311025)

「亜臨界水処理有機液肥による地域内 有機資源循環型農業システムの構築」 (2013～2017年) 実績報告書



私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「亜臨界水処理有機液肥による地域内有機資源
循環型農業システムの構築(2013～2017 年)」成果資料

目 次

緒 言

第1章 亜臨界水処理（水熱分解とは）

1. 有機性廃棄物利用の課題
2. 水熱分解とは
3. 装置の構成
4. 水熱分解の方法

第2章 亜臨界水処理による有機性廃棄物の有機液肥化技術開発

1. 有機性廃棄物の液肥化特性の解明
2. 水熱分解処理による植物生育阻害物質生成メカニズムの解明
3. 生育阻害物質の除去技術の開発
4. 水熱分解処理による高品質液肥の製造方法確立
5. 有機液肥の長期保存方法の検討
6. 有機液肥製造に適した水熱分解装置の開発
7. 水熱分解処理液肥の市場性・経済性の評価

第3章 亜臨界水処理有機液肥を用いた地域循環型栽培システムの確立

1. 土耕による水熱処理有機液肥栽培方式の開発
2. 養液土耕方式による水熱処理有機液肥栽培方式の開発
3. 無培地方式による水熱処理有機液肥栽培方式の開発
4. 水熱分解液肥の水稲栽培への適用
5. 水熱分解有機液肥の土壌中における挙動
6. 水熱分解処理物によるイチゴ培土の作成
7. 水熱分解物による土壌還元消毒法の開発
8. 都市近郊有機資源循環型農業システムの検討
9. 離島及び発展途上国における有機資源循環型農業システムの検討

第4章 液肥製造マニュアル

1. 有機性廃棄物処理に水熱分解を導入する意義
2. 有機性廃棄物の液肥化方法
3. 野菜残渣の液肥化特性
4. 水熱分解液肥の利用方法

第5章 有機液肥栽培マニュアル

1. 水熱分解有機液肥の特性
2. 具体的施肥法

第6章 研究成果（論文・講演発表等）

1. 論文等
2. 学会発表等（国内）
3. 国内外シンポジウム・ポスター等
4. 特 許
5. 外部資金の獲得状況

第7章 検討会及び情報交換会

1. 研究グループ打ち合わせ
2. 外部機関との研究打ち合わせ
3. ワークショップ

研究担当者

テーマ1

玉置 雅彦	農学部・教授
藤原俊六郎	農場・特任教授
佐倉 朗夫	農場・特任教授
池浦 博美	農学部・特任助教
鈴木 千夏	研究知財・研究推進員
中崎 清彦	東京工業大学大学院・教授
鈴木 邦彦	(株)小桝屋・部長
朽本 信彦	パルミイベント(株)・社長

テーマ2

伊藤 善一	農学部・専任講師
小沢 聖	農場・特任教授
岡部 勝美	農場・特任教授
甲斐 貴光	農場・特任講師
蜷木 朋子	研究知財・研究推進員
七夕小百合	茨城大学農学部・准教授
堂本 晶子	三重県農業研究所・研究員
原 正之	三重県農業研究所・課長
竹本 稔	神奈川県農技術セ・主任研究員
岡本 昌広	神奈川県農技術セ・主任研究員
後藤 慎吉	国際農林水産研究センター

緒 言

人口の集中化にしたがい、有機性廃棄物の有効活用は先進国、途上国を問わず、世界的な課題となっている。有機性廃棄物の活用の方と考えられている農業でさえ、農業廃棄物処理に課題を抱えている。とりわけ都市農業では作物残渣の処理が大きな課題であり、近隣に廃棄場所が確保できず、廃棄による悪臭の発生、廃棄残渣から溶脱する硝酸等による地下水汚染などの原因となっている。本研究は、亜臨界水処理により、農業生産に伴う廃棄物に限らず、近隣地域から発生する有機性廃棄物を衛生的に処理し、液肥として農業生産に活用する方法を確立するものであり、都市と連携した循環型農業を推進することを意図したものである。

有機性廃棄物の有効活用については、堆肥化やメタン発酵などの方法が考えられるが、現実には焼却処理されることが多い。有機性廃棄物は貴重な資源ではあるが、種類が多く形状や組成が多様なため、有効利用するためには、課題が多い。また、メタン発酵や乳酸発酵などの微生物処理では、発酵残渣の処理が残るが、堆肥化のような農業利用では完全処理できるという利点がある。しかし、堆肥化は広大な土地と長い処理期間を必要とし、たとえ悪臭発生を完全に抑制できたとしても、都市部では実施しにくい。そのため、狭い面積で短時間に高水分の有機性廃棄物を処理する方法として、水熱分解処理による液肥化技術の導入を考えた。

「水熱分解」とは、高温・高圧下における水の力で有機物を短時間で糖やアミノ酸、有機酸などに加水分解する技術であり、水の臨界点以下の条件で処理するため、一般的には「亜臨界水処理」ともいわれている。廃棄物処理の新技術として注目されている水熱分解技術を活用して作物残渣などの有機性廃棄物を分解し、肥料として利用する技術開発を行った。水熱分解処理については、農業利用への研究は極めて少なく、独創的な研究である。

研究は、テーマ1「亜臨界水処理による有機性廃棄物の有機液肥化技術開発」とテーマ2「亜臨界水処理有機液肥を用いた地域循環型栽培システムの確立」の二つに分けて実施した。テーマ1では、農業廃棄物を中心とした水熱分解液肥の製造技術を確立するとともに、液肥成分の多様な解析を行い、水熱分解液肥の特性を明らかにすることができた。また、テーマ2では、栽培手法による水熱分解液肥の有害性を軽減する技術を確立し、多様な作物の栽培に成功した。さらに養液土耕システムには適した液肥であること、肥料の吸収特性の優れた肥料であること、など従来知られていなかった新しい知見を得ることができた。これらの成果は有機性廃棄物の水熱分解技術普及の上では、極めて重要な知見であり、世界に先駆けた成果である。

実用化のためにはまだ解決すべき課題もあるが、本研究により開発された技術は、国内はもとより、廃棄物処理に悩むと同時に肥料の入手が困難な途上国において有機質資源を利用した循環型農業を確立するうえで有効な技術であるといえる。

本研究を実施するに当たり、黒川農場職員の方々、明治大学生田研究知財事務所の方々、農学部学生の方々には多大なるご支援をいただいた。記して感謝いたします。

第1章 亜臨界水処理(水熱分解とは)

1. 有機性廃棄物利用の課題

有機性廃棄物は貴重な資源ではあるが、種類が多く、形状や組成の多様さとともに含水率が高い物が多いため、有効利用する上での課題が多く、実用化が進んでいない。生ごみなど含水率の高い有機性廃棄物の有効活用については、飼料化や堆肥化、メタン発酵、乳酸発酵などの技術が確立されているが、現実には大部分が焼却処理され、有効利用が進んでいない(図1-1)。

現在の技術では、メタン発酵や乳酸発酵などの微生物処理は、処理過程で多大なエネルギーを必要とするとともに発酵残渣の処理という課題がある。その点、肥料化や堆肥化のような農業利用では完全処理できるという利点がある。しかし、堆肥化は広大な土地と長い処理期間を必要とし、都市部では実施しにくい。都市部で高含水率の有機性廃棄物を、狭い面積で短時間に処理する方法として亜臨界水による水熱分解処理がある。この方法は、罹

病あるいは腐敗した有機物の完全に無害化できるという特徴もあり、今後の有機性廃棄物の活用技術として有望である。また、水熱分解は、閉鎖系で分解するためCO₂の発生や悪臭の発生も少ない。このため、これからの有機性廃棄物処理の新技术として普及すべき方法といえる。

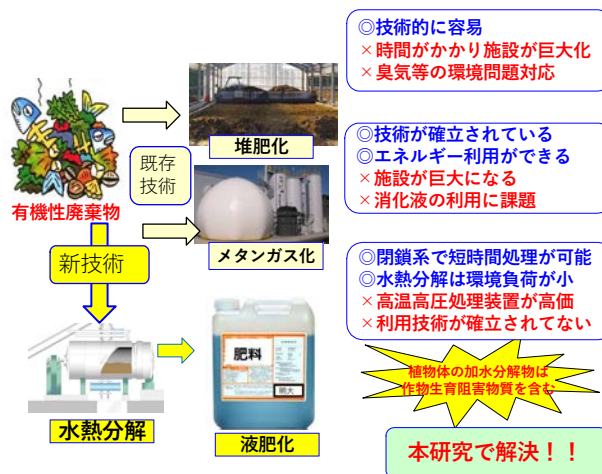


図1-1 有機性廃棄物有効活用技術の特徴

2. 水熱分解とは

水を密閉容器に入れ温度を高めると、水は温度の上昇に伴い水は膨張して密度が小さくなるが、水蒸気の生成量が増加して圧力が高まり、水蒸気の密度は高くなる。さらに温度を上げていくと圧力も高まり、水と水蒸気の密度が等しくなり、水と水蒸気の区別のない状態になる。この点を臨界点(374℃、22.1MPa)という(図1-2)。

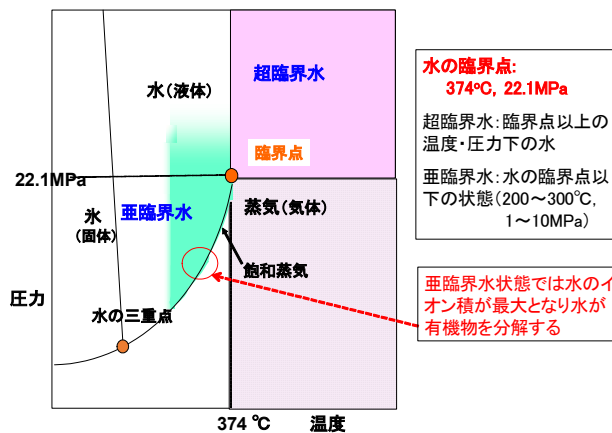


図1-2 温度と圧力の変化に伴う水の状態変化

臨界点以上の温度、圧力の水を「超臨界水」、臨界点以下の状態を「亜臨界水」という。亜臨界水といわれる領域は幅が広いが 200℃ (1.6MPa) から 300℃ (9MPa) の温度帯で圧力は飽和水蒸気圧の領域が良く利用される。この領域では、水のイオン積が常温水の約 1,000 倍になり、加水分解力が高まるとともに、誘電率が低下して有機溶媒のような機能を持つ。すなわち、水が、有機物の分解力と油との親和性という 2 つの力を持つことになる。

とくにこの領域では加水分解力強まることから、この領域で起こる反応を「水熱分解」という。この水熱分解力により、有機物を、ペプチド、アミノ酸、有機酸、糖などに変換することが行われている。水熱分解は、全ての有機物を一律に加水分解するわけではなく、タンパク質は容易に分解できるが、植物体に含まれる繊維成分のように結合力の強い物質は分解しにくいという特性がある。

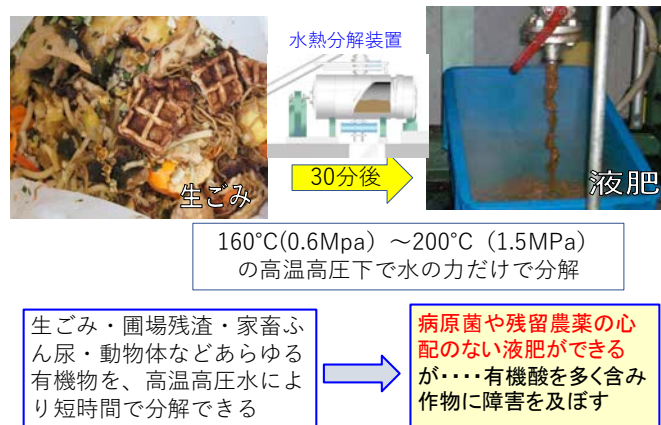


図 1-3 亜臨界水状態による水熱分解の特徴

3. 装置の構成

水熱分解の基本は、高温高压の耐圧容器であり、容器内に水を入れ、外部から加温することにより容器内の温度と飽和水蒸気圧を高める方法（外部加温法）と、外部のボイラーから密閉容器に高温高压水蒸気を導入することにより槽内の温度と圧力を高める方法（内部加温法）がある。前者では装置は安価に出来るが加温に時間がかかり、後者には高価な高温高压ボイラーを必要とする欠点がある。水熱分解は飽和蒸気圧下で分解するため蒸気導入法が効率的に優れているため、本研究で用いた装置は、ボイラーで製造された高温高压水蒸気を密閉槽内に導入する方法とした。分解槽の構造上、この方法ではバッチ式が基本となる。

明治大学黒川農場に設置されている 200L の分解槽を有する「高温高压水熱分解装置」の外観を図 1-4 に示した。



図 1-4 明治大学黒川農場の高温高压水熱分解装置

装置の構成は図 1-5 に示したように、高压ボイラー（210℃、2MPa）から発生する高温高压水蒸気を、容量 200L の攪拌装置付き分解槽に導入することにより加温・加圧することにより水熱分解を行う。システム全体の制御や情報の収集は制御盤のタッチパネルでコントロールでき、情報はパソコンで取り出せるシステムとなっている。



図 1-5 水熱分解装置の構成

本装置は、本事業により、フジムラインベント株式会社が 2013 年に製造し、明治大学黒川農場内に設置したものである。

4. 水熱分解の方法

水熱分解は水の力で分解するため、固液比は高い方（水分が多い）が分解しやすい。有機性廃棄物は含水率が 90%程度あるため、原料をそのまま投入した。乾燥物を用いるときは、固液比を 1 : 5～10 に調整した。温度は 160℃～200℃の範囲で目的に応じて調整し、圧力は飽和蒸気圧とした。カリフラワー茎葉の分解例を図 1-6 に示した。



図 1-6 カリフラワー茎葉の水熱分解事例

参考文献

吉田弘之監修「亜臨界水反応による廃棄物処理と資源・エネルギー化」，シーエムシー出版(2007)

第2章 亜臨界水処理による有機性廃棄物の有機液肥化技術開発

1. 有機性廃棄物の液肥化特性の解明

(1) 適正温度と処理時間

農場に設置した 200L の容量を有する水熱分解槽により実用規模に近い規模で野菜屑の水熱分解条件を検討した。水熱分解は、密閉槽内で飽和蒸気圧のもとで水の力により分解するため、含水率が高い物に適している。多種類の分解実験を行うことにより、原料の固液比が 1 : 4 (含水率 80%) 以上は必要であり、1 : 9 (含水率 90%) が理想と考えられた。しかし、固液比を高めると液肥としての成分は希釈されるため、実用上は固液比 1 : 4 程度が妥当と考えられる。有機性廃棄物は、含水率の高い物が多く、生ゴミ等食品廃棄物や野菜屑では含水率は 70~90% であり、加水することなく水熱分解が可能である。農業廃棄物(カリフラワー茎葉)を処理温度 160℃ (0.6MPa) ~180℃ (1MPa) 30 分間処理により分解した事例を図 2-1 に示した。液肥化率は、原料と分解残渣の乾物含量比から求め、pH と EC (電気伝導率) は液肥を直接測定した。

160℃では液肥化率 57%であり分解が不十分であったが、温度を高めると液肥化率と EC は高くなったが、pH は低下した。液肥化率と pH は 170℃以上になると大きく変化しないが、EC が増大することから、無機化が進行すると考えられた。

温度を 200℃ (1.6MPa) まで上げると液肥化率はあまり向上しないが、糖やアミノ酸が激減し有機酸が増加する(表 2-1)。160℃から 200℃の間に、繊維など高分子が分解して水溶性高分子(腐植物質も含む)が増えるとともに、低分子の炭水化物やタンパク質の分解が進み、二酸化炭素になるとともに有機酸が増加するものと推察された。

多種類の野菜屑を水熱分解した結果、水熱分解は繊維分の分解が苦手であり、ダイコンやトマト果実や軟弱野菜類は 170℃ (0.8MPa) または 180℃ (1MPa) 30 分間で十分に分解するが、繊維分の多い茎類やイネ科の作物の分解には 200℃まで上げる必要があることが明らかになった。繊維分の多い野菜を効率的に水熱分解するには、160℃ (0.6MPa) 10 分間で易分解性物質の分解による

組織の膨潤化した後、200℃ (1.6MPa) で 20 分間分解する 2 段階温度による方法が短時間にエネルギー消費量も少なく効率的に分解できる方法と考えられた。

また、処理時間について検討した結果、200L 容器に 50kg 程度の試料を入れた場合、処理時間を 30 分以上にしても液肥化率には大きな差がなく、野菜屑では 30 分の分解で良いと思われた。

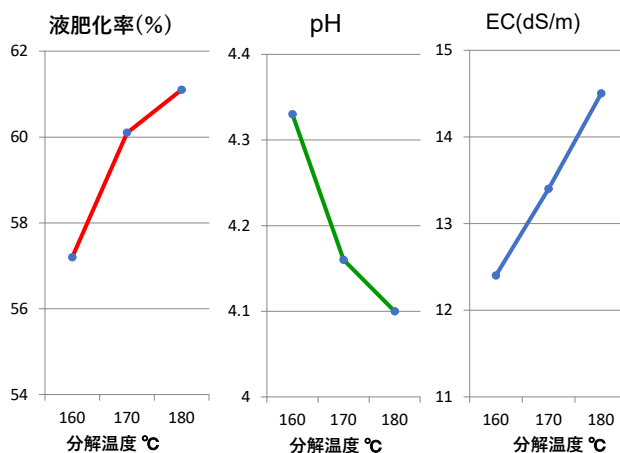


図 2-1 分解温度が液肥化に及ぼす影響

(カリフラワー茎葉を各温度下で 30 分間分解)

表 2-1 分解温度が液肥成分の有機成分に及ぼす影響

試料名	トマト茎葉		ダイコン根部	
処理温度	170℃	200℃	160℃	160/200℃
pH	4.90	4.56	4.04	3.77
EC (dS/m)	9.2	11.3	8.4	8.5
全炭素 (g/L)	7.31	8.54	9.88	9.57
全窒素 (g/L)	0.65	0.99	0.85	0.82
アンモニア (g/L)	0.16	0.23	0.19	0.17
遊離糖 (g/L)	5.51	0.66	25.97	13.31
アミノ酸 (g/L)	0.15	0.02	0.15	0.02
有機酸 (g/L)	5.54	7.32	2.22	2.93
リン酸 (g/L)	0.21	0.44	0.56	0.57

- ・ トマト茎葉は170℃(0.8MPa)または200℃(1.6MPa)で30分間処理
- ・ ダイコン根部は160℃(0.6MPa)または160℃10分後200℃20分間処理

(2) 野菜の種類による分解特性

農場の圃場から出る野菜屑や大学祭の生ごみなどを原料として 45 種類の液肥を製造した(表 2-2)。野菜屑以外にイノシシ(1 個体全体)を水熱分解した液肥、栽培の標準物質として使用しているラビットフード(チモシー主体)を水熱分解した液肥についても水熱分解液肥の特性を解析した。分解条件は資材により異なり、170℃(0.8MPa)～200℃(1.6MPa)で 30 分間分解した。

表 2-2 水熱分解により液肥化した資材

液肥化した原料(45点)

区分	資材名	点数	処理量/lot
葉菜類	コマツナ	1	30kg/lot
	チンゲンサイ	1	15kg/lot
	レタス	2	15kg/lot
	キャベツ	3	20kg/lot
果菜類	ブロッコリー茎葉	1	30kg/lot
	スイートコン茎葉	2	15kg/lot
	トマト果実及び茎葉	8	10-40kg
根菜類	ダイコン根部及び茎葉	6	20-40kg
マメ類	ソラマメ茎葉	1	12kg/lot
イモ類	バレイショ	2	30kg/lot
その他	サトウキビ(バカス)	3	5kg/lot
	生ごみ	2	27-50kg
動物	イノシシ	2	30kg/lot
基準物	ラビットフード	11	4.5-13.5kg



その中から農場の野菜屑 5 種類について、170℃ (0.8MPa) 30 分間、水熱分解した事例を表 2-3 に示した。供試した野菜屑の含水率は、キャベツ 72%を除き 80%以上であり、全ての野菜屑は加水せず、そのまま水熱分解した。

液肥化率は、屑ダイコン、キャベツ外葉、トマト果実では 85%であったが、繊維分を多く含むカリフラワーやトマトの茎葉は、液肥化率が低い傾向にある。液肥化物の pH は 5 以下の酸性であり、分解の良い原料では pH が低くなる傾向がみられる。EC (電気伝導率) は葉部を多く含む物では高くなる傾向にあった。分解の程度は繊維成分の含量に比例し、表には示していないが、繊維分が主体であるバカス (サトウキビ抽出残渣) ではほとんど分解しなかった。

野菜屑は種類が多く、種類により内容成分に大きな違いがあるが、おおまかに野菜の水熱分解をモデル化すると、含水率 80%の野菜屑 50kg (乾物 10kg) を 200℃30 分間水熱分解した場合、含水率 70%の未分解固形物 10kg (乾物 3kg) と液肥 50kg が得られ、30L 程度の排蒸気が生成する

表 2-3 代表的野菜屑の水熱分解特性

試料名	原料		液肥		
	含水率%	処理量kg	液肥化率%	液肥 pH	液肥EC (dS/m)
ダイコン	87%	15kg	86%	3.9	6.4
キャベツ	72%	24kg	85%	4.1	12.0
トマト果実	90%	18kg	85%	3.8	6.9
カリフラワー茎葉	80%	15kg	60%	4.2	13.4
トマト茎葉	88%	10kg	49%	4.9	9.2

分解条件 ; 170℃ (0.8MPa) 30分間、放冷無

(3)原料による養分特性の違い

表 2 に示した 45 点の水熱分解液肥について、pH、EC、全炭素、全窒素、腐植態炭素、腐植態窒素、アニオン (Cl、NO₃、PO₄、SO₄)、カチオン (Na、NH₄、K、Mg、Ca)、遊離糖、アミノ酸、有機酸を測定し、原料や処理の違いによる液肥成分の違いを検討した。

このうち、農場から廃棄される野菜屑等 13 種類 19 点の有機性廃棄物を 170℃ (0.8MPa) ~200℃ (1.6MPa) 30 分間、水熱分解して液肥を製造した。それらの分析値の平均値、最大値、最小値を表 2-4 に示した。

液肥化物の pH は 3.5~5.6 であり、平均値でみると液肥 1 L あたり窒素 0.9g、リン酸 0.3g、カリ 1.7g と肥料成分は液肥としてはものたりない反面、遊離糖は 6.6g、有機酸は 6.0g と多く、少量のアミノ酸もあり、有機液肥としての利用が期待できる。しかし、この多量に

含まれる有機酸は、植物根には障害を及ぼし、液肥として作物栽培する上では課題がある。

表には、参考としてイノシシ（ト体）を水熱分解した結果を示した。イノシシは窒素、リン酸、アミノ酸が多く、また有機酸があってもアンモニアが多いために pH は中性であり、肥料としては優れた特性がある。水熱分解物を液肥として使うためには、植物質単独ではなく、動物質との混合が好ましく、その点、生ごみは良い資材であるといえる。

表 2-4 代表的野菜屑水熱分解液肥の成分含量

項 目	平均値	最大値	最小値	(参考) イノシシ
pH	4.5	5.6	3.5	6.8
EC (dS/m)	9.2	16.9	4.02	18.0
有機体炭素(C g/L)	10.1	42.3	3.4	27.9
全窒素 (N g/L)	0.9	2.3	0.1	8.7
アンモニア (NH ₄ g/L)	0.2	1.1	0.0	4.2
リン (PO ₄ g/L)	0.3	1.1	0.1	1.5
カリ (K g/L)	1.7	3.6	0.1	0.9
遊離糖 (g/L)	6.6	41.8	0.0	1.1
アミノ酸 (g/L)	0.1	0.3	0.0	3.1
有機酸 (g/L)	6.0	13.0	2.2	6.6

農場産野菜屑等13種19点の水熱分解液肥の分析結果を示した。
分解条件は、170℃ (0.82MPa) ~ 200℃ (1.6MPa) 30分間とした。

2. 水熱分解処理による植物生育阻害物質生成メカニズムの解明

(1) 植物生育阻害物質の検索

植物生育阻害要因としては、pH、EC(電気伝導率)、アニオン、カチオン、有機化合物などがあげられる。水熱分解ではさまざまな有機化合物が生成することが考えられるため、有機化合物に着目した検討を行った。

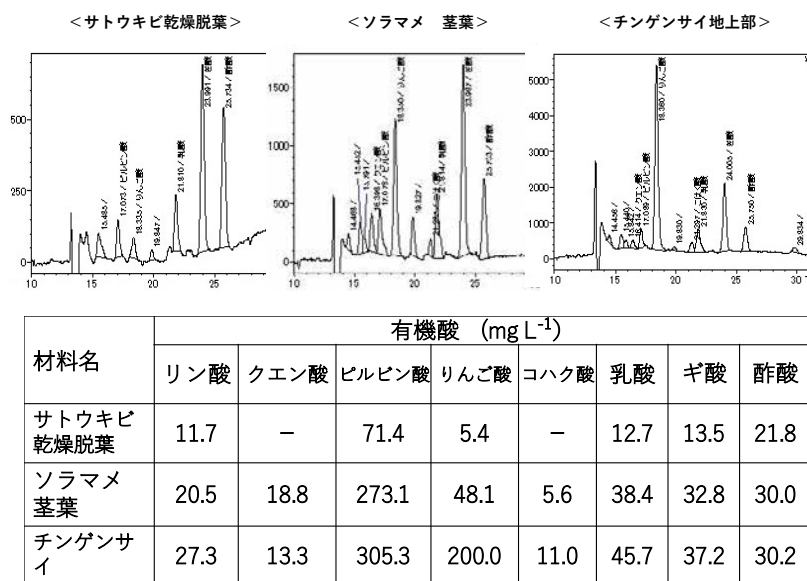
水熱分解は、水のイオン積増大による有機物の加水分解反応であり、多糖類は遊離類に、遊離糖は有機酸に、タンパク質はアミノ酸に、アミノ酸はアンモニア基がはずれ有機酸にと、低分子化が起こり、有機酸が蓄積する。このとき六単糖は有機酸になるが、五単糖の一部はフルフラール類に変化するとされている。有機酸やフルフラール類はともに作物根に障害を及ぼすことが知られている。

原料の特性の大きく異なる3種類の資材を用いて有機酸及びフルフラール類の定量を行い、コマツナを用いた幼植物検定結果と比較した。用いた資材は、①硬い繊維分が主体であり乾燥したサトウキビ収穫時の脱葉（石垣島産）、②やや硬い繊維が多いソラマメ収穫後の茎葉、③繊維分の少ないチンゲンサイ、である。170℃ (0.8MPa) 30分間水熱分解したところ、液肥化率は、サトウキビ脱葉は約20%、ソラマメ茎葉は約30%、チンゲンサイは約60%であった。

有機酸を分析した結果を図2-2、フルフラール類を分析した結果を図2-3に示した。有機酸は、クエン酸、ピルビン酸、りんご酸、コハク酸、乳酸、ギ酸、酢酸が検出され、総量

では、チンゲンサイ＞ソラマメ＞サトウキビであった。フルフラール類はフルフラールと5-HMFについて調査した結果、サトウキビ＞ソラマメ＞チンゲンサイであった。

この3種類の水熱液肥についてコマツナ種子を用いた幼植物検定を行ったところ、原液を用いると3種類とも著しい障害を示したが、10倍希釈液では障害が軽減した。しかし、根に対する障害性を検討したところ、障害の強さはチンゲンサイ＞ソラマメ＞サトウキビであり（図2-4）、有機酸が大きく影響していることが伺えた。



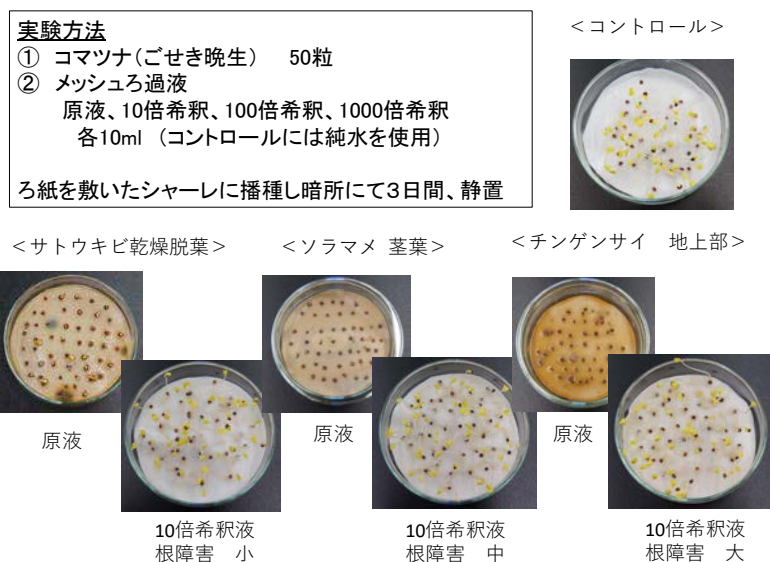
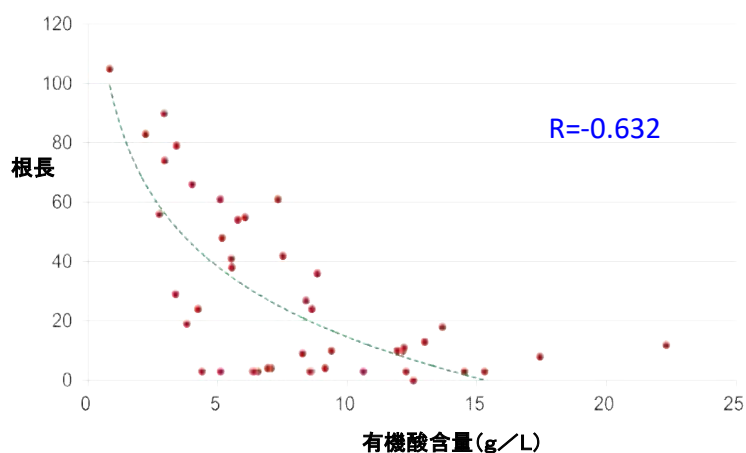


図 2-4 3 種類の資材のコマツナ幼植物検定結果

(2) 多様な原料についての検討

野菜屑等から製造した 45 種類の液肥（表 2-2）を用い、コマツナの幼植物検定で根の生育（根長）に及ぼす影響と各種成分含量を比較調査した。根長と単相関係数を求めた結果、有機酸＞全炭素＞EC≒全窒素＞アンモニア＞であり、pH、遊離糖、アミノ酸とは相関が認められなかった。有機酸総量と根長の単相関係数は-0.632 であった（図 2-5）。

有機酸総量と高い相関がみられたため、個別の有機酸について検討した結果、酢酸にとくに強い相関が見られた(図 2-5)。このことは、作物根に強い障害を及ぼすのは有機酸であり、とくに酢酸の寄与が大きいことが推察された。



有機酸	クエン酸	ピルビン酸	リンゴ酸	こはく酸	乳酸	ギ酸	酢酸
根長	-0.083	-0.118	-0.169	-0.366	-0.258	-0.432	-0.704

図 2-5 根長と有機酸含量の関係

(3)窒素飢餓効果の検討

有機液肥を土壤施用すると、作物が窒素不足になる「窒素飢餓」が生じることがある。トマト茎葉水熱分解液肥を用いて、土壤中における窒素の無機化特性を検討した結果を図2-6に示した。10aあたり窒素として21kgに相当する水熱分解液肥を土壤に混合し、30℃で培養したところ、急激に無機態窒素が減少しマイナスになる窒素の有機化がみられ、約2週間で回復した。この有機化は、糖や有機酸のように窒素を含まない有機化合物を微生物が分解するとき、微生物が増殖するために必要な窒素を外部から取り込み、菌体構成物質に変換するために生じる現象である。急激に増加した微生物は有機酸などの餌が無くなると死滅し、その遺体を他の微生物が分解することによって窒素が放出されるようになるが、これを無機化という。この窒素の形態変化は微生物活動によるため、温度依存性が高く、急激な分解は、夏季は1週間で終了するが、冬季では2週間以上を必要とするので、実際の栽培に当たっては注意が必要である。

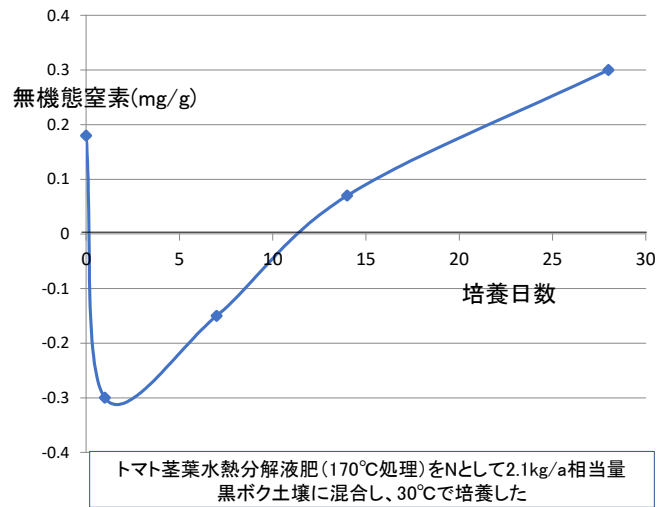


図 2-6 水熱分解液の窒素

3. 生育阻害物質の除去技術の開発

(1)直交表による障害除去要因の検討

有機酸除去効果を検討するために、ラビットフード水熱分解液肥（200℃処理）を用い、希釈、塩基資材混合、菌液混合の3要因について、それぞれ処理、無処理の2水準を設け、L8型直交表を用いた実験計画法により、要因の効果を検討した。原液のpHは4.0であったため、測定はpHの変化を有機酸の指標とした。

室温（約25℃）において7週間保持し、1週間ごとにpHを測定した。その結果を分散分析した結果を表2-5に示した。希釈の効果が大きく次いで塩基の混合に効果があったが、菌液の混合効果は認められなかった。希釈の効果は大きいですが、時間とともに低下し、約1ヶ月（28日）で有意差がなくなった。また、塩基資材によるpH上昇効果は約2週間で有意差がなくなった。2週間をすぎると、希釈と塩基資材の相乗効果がみられるようになり、7週目（49日）で顕著になった。

このことから、原液では有機酸分解微生物の増殖は困難であり、希釈する必要性が明らかになったが、希釈すると液肥としての優位性がないため、現実的な方法とはいえない。

また、土壤カラムを通して有機酸を分解する方法も検討したが、原液を短期間流す方法では期待した効果が得られなかった。

表 2-5 直交表による pH 変動変化の解析結果

因子と水準 (L8直交表)

因 子	水準 1	水準 2
希 釈	原液	5 倍希釈
塩基資材	無添加	高炉率10%w/w
菌 液	無添加	腐敗液2%添加

3 要因 2 水準の L8 直交表を利用した試験区を設定し、49 日間経時的に pH を測定して有機酸の消長を測定した。

pH 測定結果分散分析結果 (L8直交表)

日 数	0	7	14	21	28	35	42	49
A ; 希釈	1 2 2	1 6 0	1 4 1	2 3	2 1	8	1 4	1 9
B ; 塩基	5 3	7 2	6 6	4	1	1	2	9
C ; 菌液	1	2	4	0	1	1	2	1 6
A * B	6	1	9	2 0	3 1	2 3	6 2	3 0 4
A * C	1	2	1	0	1	1	1	4

F(1,2)0.01=98.5

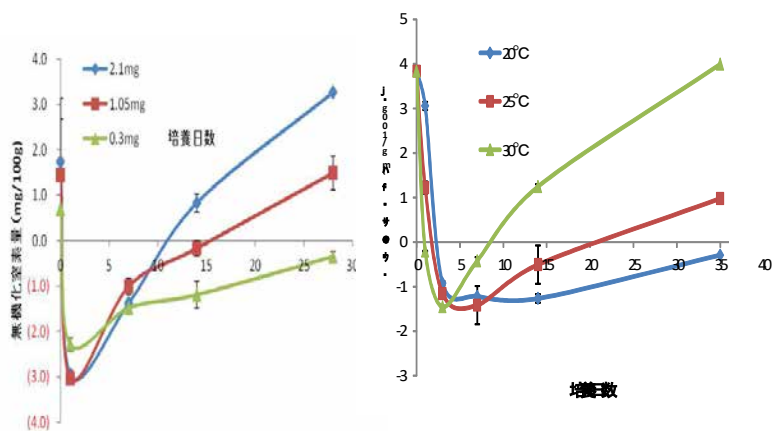
F(1,2)0.05=18.5

(2) 窒素飢餓現象の解明

有機液肥は土壤施用後、有機物分解に伴う窒素飢餓を生じるが、トマト茎葉水熱分解液肥 (170℃分解) を用い、施用量と温度の効果をモデル試験で検討した。その結果、土壤施用後急激に窒素の有機化がみられ、回復には 1 週間以上必要であった。

肥料濃度を比較すると、少量施用よりも多量施用の方の回復が早くみられた。この原因は十分な解析が行われていないが、有機液肥に含まれる有機物が多量なほうが、微生物の活性化が増大するものと推察される。

また、微生物分解であるため温度依存性が高く、窒素の無機化速度は温度に比例し、元の無機態窒素レベルに回復するまで、30℃では 1 週間でよいが、20℃では 1 ヶ月を要する。



10gの土壤に 3 濃度
(100,350,700ppm)
の液を 3 mL 加え、30℃で培養

10gの土壤に添加液を 3 mL
(2.1mg)
加え 3 温度 (20,15,30℃) で培養

図 2-7 液肥濃度・培養温度と窒素無機化率の関係

4. 水熱分解処理による高品質液肥の製造方法確立

(1) 放冷時間の検討

外部から高温高压水蒸気を導入して、飽和水蒸気圧を利用して容器内圧力を高めることにより水熱分解するため、分解終了時には排気して圧力を常圧に戻した後に分解物を取り出す必要がある。この脱気過程で、水蒸気とともに肥料成分が揮散する可能性が大きい。分解槽内は飽和水蒸気圧であり、放冷により温度が下がれば水蒸気が水に変わる量が多くなるため、揮散量を減少することができる。

標準物質（ラビットフード）を 170℃30 分間水熱分解した後、装置を停止し、30 分間放冷した結果、アンモニアとリン酸は経時的に回収率が増加する傾向がみられた（図 2-8）。30 分間放置により温度は 30℃の低下にすぎなかったが、槽内圧力及び飽和蒸気量は半減し、分解直後に蒸気を排出したものに比べ、アンモニアは約 30%、リン酸は約 20%増加したが、硝酸とカリは変化がなかった。

放置時間が長くなれば肥料成分の回収率は向上するが、槽が冷却し、次の分解作業において蒸気を多く使用することになる。連続して分解処理を行う場合、容積 200L 程度の分解槽では 20～30 分程度の放置時間が適当と判断される。装置が大型化すれば、放冷時間も長くとる必要がある。

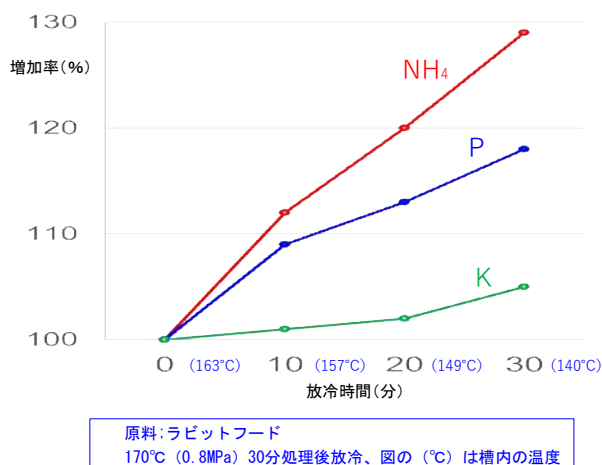


図 2-8 水熱分解後放冷時間に伴う内容成分の変化

(2) 尿素添加効果の検討

水熱分解は、水のイオン積の増大による分解とともに、各種のイオンが分解促進に役立つことが知られている。有機物はタンパク質を含むが、水熱分解で過程でタンパク質から遊離したアンモニアは触媒として分解を促進するといわれている。

野菜屑は窒素分が少なく、また水熱分解液の pH が低くても、分解終了後の脱気過程で水蒸気とともにアンモニアが揮散して肥料成分として重要な窒素成分が減少する。そこで、窒素の補

原料	窒素添加	液肥化率 %	pH	有機態炭素 g/L	全窒素 g/L	アミノ酸 g/L	有機酸 g/L
トマト茎葉	無	76%	4.6	8.54	0.99	0.11	7.32
	2%添加	77%	5.4	8.36	1.69	0.17	7.51
パレیشヨ屑	無	70%	3.4	42.28	0.99	0.00	12.55
	2%添加	72%	3.9	50.06	2.69	0.02	14.52

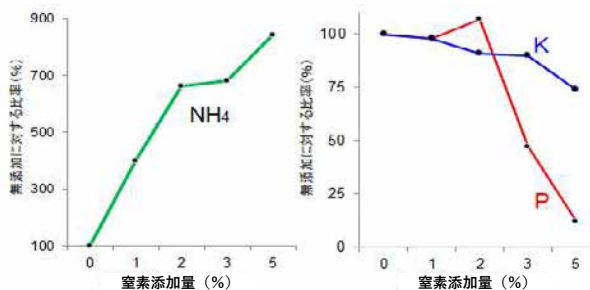


図 2-9 窒素添加が水熱液肥成分に及ぼす影響

給と分解促進のために窒素添加する方法を考案した。原料の乾物あたり 1～3%に相当する窒素を尿素として加えた結果、窒素成分はもとより、液肥中の全炭素含量が増加し、アミノ酸や有機酸が増加したことから分解促進効果が伺える（表 2-7）。しかし、リン酸は減少傾向にあり、他の試験結果から乾物 2%相当量を超えると激減するため、窒素添加量は試料の乾物 2%に相当する尿素を添加することが適当である。（特願 2017-150228）

5. 有機液肥の長期保存方法の検討

170～180℃で水熱分解した液肥は pH が低いため、室温のまま放置すると原液の状態では、夏季は 2 か月、冬季は半年放置しても成分的にはほとんど変化はないが、貯蔵原液を顕微鏡で観察すると乳酸菌様の菌が多数みられる。原液を希釈すると 1 か月以内に空気に触れる面に菌の増殖が認められるため、貯蔵は原液のまま、できるだけ温度の低い環境に置くことが必要である。

また、200℃で水熱分解すると遊離糖や遊離アミノ酸が減少する。糖やアミノ酸の減少は、貯蔵中の微生物増殖を抑制するため、200℃で処理したものは、原液状態では常温で 1 年間の保存に耐えることができる。

貯蔵中に有機酸を分解する方法として、貯蔵タンクに炭を入れ、微生物増殖の場とすることを試みた。常温で 1 ヶ月経過後の液肥を顕微鏡観察したところ、炭添加区では微生物の著しい増加がみられたが、液肥を分析すると乳酸が増加しており（図 2-10）、観察された微生物は乳酸発酵菌と推察された。したがって、炭を入れて保存すると逆に有機酸が増殖するため好ましくないことがわかった。

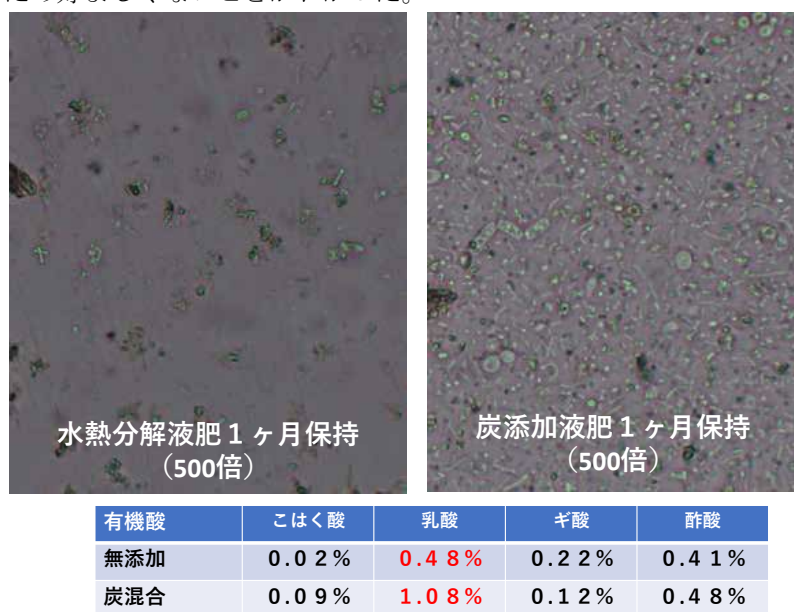


図 2-10 炭添加による有機酸の変化（常温 1 ヶ月保持）

6. 有機液肥製造に適した水熱分解装置の開発

動物肉片を含む廃棄物を水熱分解して高品質液肥製造を行うために、分解槽 1 において低温度で水熱分解し、アミノ酸などの有機物に富む液肥を製造し、液肥 1 を分離した後、継続して高温で処理する分解槽 2 において高温下で低分子化して肥料成分の高い液肥を製造する方法を考案した。この 2 段階分解槽は「液状肥料の製造方法と肥料化システム」として特許申請した（特願 2014-119323）。

7. 水熱分解処理液肥の市場性・経済性の評価

(1) 水熱分解技術導入のメリット

有機性廃棄物の多くは含水率が高いが、多くの場合、焼却処理されている。高水分の有機物を燃焼させるためには多大なエネルギーを必要とする。水熱分解は高温高压下で処理するため設備投資に多大な投資を必要とするが、水を使って分解するため高水分の処理には適している。試験機（分解槽 200L 容）と実用機（分解槽 10 m³容）の運転に関わる光熱水道費の経費を表 2-6 に示した。大規模で連続運転を前提にすれば 1kg の有機性廃棄物処理に数円のランニングコストですむことになり、焼却処理に十分対応できる。

熱量計算すると、常圧下で 20℃の水が蒸気になるのに潜熱・顕熱を含め 2.59MJ/kg の熱が必要になる。有機物（乾物）の低位発熱量 15MJ/kg、灯油の低位発熱量 37MJ/L とすると、含水率 90%の有機物 1kg を燃焼させるとき、水の蒸散に必要な熱量は 2,333 kJ、有機物の発熱量は 1,500kJ であり、833kJ の熱量が不足する。これを灯油で補えば 22mL の灯油が必要になる。灯油の燃焼効率を 1/2 とすると 44mL となる。実用機では 1kg あたりの処理に約 30mL の重油を使っており、燃焼よりも燃料の使用量が少ないことになる。

また、燃焼では酸化反応のためほとんどの炭素は二酸化炭素として大気中に拡散するが、水熱反応は加水分解が主となるため二酸化炭素の発生量は少ない。また、水熱分解中に発生した二酸化炭素は炭酸イオンとして液中に存在する可能性もあるため、必要エネルギーが少ないことと相まって二酸化炭素の発生抑制に大きく寄与する。

表 2-6 水熱分解装置の運転経費試算例

処理機械	試験機（200L 容） 170℃60分単独処理		実用機（10,000L） 170℃120分連続処理	
処理量	1 パッチあたり 50 kg		1 パッチあたり 2,500kg	
電力 (kW)	3.3 kW	56 円	82 kW	1,321 円
水道 (t)	0.05 t	20 円	0.95 t	483 円
燃料 (L)	4.5 L (灯油)	338 円	68 L (A重油)	3,899 円
経費計	414 円		5,703 円	
1kgあたり	8.3 円		2.3 円	



(2) 自治体事業所への設置と利用

水熱分解は、高水分で腐敗した物も肥料化できる。自治体の焼却施設の一部に水熱分解施設と作物栽培用ハウスを設置すると、焼却ゴミの減少と作物栽培が同時に可能になる。近年の焼却炉はストーカー方式で効率よく燃焼させ熱エネルギーを回収し、発電ボイラーの熱源として利用している。このとき、K市の事例では、発電ボイラーから約 300℃3MPa 程度の高温高压蒸気が排出されている。この一部を水熱分解槽に導入すれば、わずかな電気エネルギーだけで水熱分解が可能になる。

水熱分解装置は大規模な物ではなく、500L 程度の小規模な水熱処理装置を設置し、食品廃棄物の一部を液肥化し、併設されたハウスで農作物を栽培すれば、焼却施設のイメージアップにも大きく寄与する。

(3) 有害鳥獣対策としての利用

水熱分解は繊維分の分解は苦手とするが、タンパク質の分解には適している。また、動物質資材には窒素とリンが多く含まれているため肥料として適している。これらのことから、有害鳥獣の液肥化には適した技術といえる。

図 2-11 にイノシシをそのまま（ト体）水熱分解した事例を示した。毛や皮は分解し、骨も軟らかくなり碎ける。

現在、日本各地ではイノシシをはじめ有害鳥獣の対策と捕獲後の処理に苦慮している。さらに、牛の口蹄疫や鳥インフルエンザなどの罹病動物も水熱分解により無害な液肥に変えることができ、水熱分解の新たな用途として、有害鳥獣対策が期待できる。

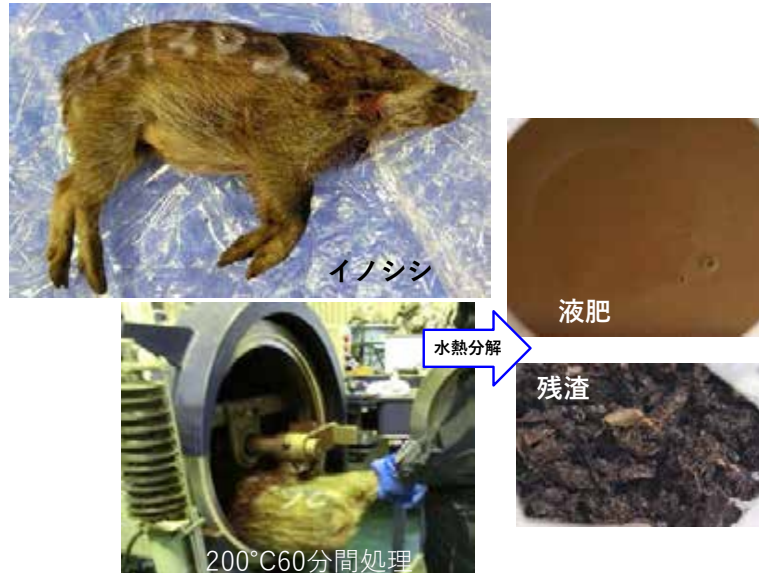


図 2-11 イノシシ（ト体）の水熱分解液肥化の様子

第3章 亜臨界水処理有機液肥を用いた地域循環型栽培システムの確立

1. 土耕による水熱処理有機液肥栽培方式の開発

(1) 作物の感受性検討

野菜屑を原料とした液肥は、原料により成分に違いがあるため、常に同一液肥で比較することが重要なため、標準原料として市販ラビットフード(主原料；チモシー)に尿素添加した亜臨界水処理有機液肥(以下、「亜液肥」)を使用した。対照として市販の液肥(OAT液肥1号、2号を等量混合、以下「培養液」)と比較した。

異なる窒素濃度の有機液肥と培養液をポット栽培する作物に供給し、生育に及ぼす影響を解析した。冬に明治大学農場の最低気温を15℃に保った加温温室内で実験した。赤玉土を充填した1/2000a ワグネルポットに、過リン酸石灰でリン酸40kg/10a、炭酸カルシウム20kg/10a、堆肥200kg/10a 相当を混入し、チンゲンサイ、ホウレンソウ、セロリの各苗を定植した。全窒素濃度を100、150、200mg/L に調節した培養液と有機液肥を、収穫適期まで、数日ごとにポット当たり 1L 供給し、チンゲンサイ、ホウレンソウ、セロリをそれぞれ22、31、41日後に地上部生体重を測定した。培養液濃度の上昇に伴ってホウレンソウ、セロリで生体重は増加したものの、チンゲンサイでは増加がみられなかった。また、有機液肥は著しく生育を抑制し、セロリ=ホウレンソウ>チンゲンサイで、ホウレンソウ、チンゲンサイでは有機液肥の濃度による抑制差はみられなかった。チンゲンサイの100mg/L 以外で、生育は培養液で有機液肥より有意に優れた(図3-1)。これらの結果から、濃度に対する感受性が培養液で低く、有機液肥の高いチンゲンサイが有機液肥による生育反応を評価する実験に適する葉菜類といえた。

明治大学農場の露地圃場に十分なリン酸を施用し、夏に向かう栽培で、10kg/10a の窒素に相当する尿素と有機液肥を株間にスポット条施し、施肥当日にキュウリ、ナスの苗を定植、ラッカセイを播種、バレイショ、サトイモの親芋を植付け、収量に及ぼす影響を解析した。その結果、全ての作物で有機液肥が収量を抑制したものの、キュウリで76%と低かったほかは、抑制は小さく90%以上の収量が得られた。このことから、果菜類では収量低下が大きかったキュウリで有機液肥への感受性が強く、が実験作物として適するといえた。

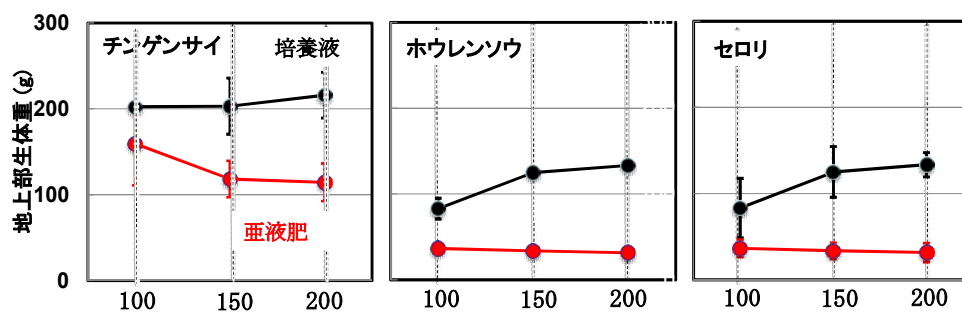


図3-1 有機液肥の濃度が各種作物生育に及ぼす影響

(2) 定植前施肥による生育抑制軽減

亜臨界水処理有機液肥が生育に及ぼす効果と阻害の特徴を定量的に解明し、生育改善のための耕種的な指針を得るため、明治大学農場の露地圃場に2014年10月14日にチンゲンサイを定植した。①肥料の種類で、化学液肥（「化」）あるいは亜臨界水処理有機液肥（「亜」）を施肥、および無施肥（「無」）を設け、②定植前施肥での地温で、定植21日前（「-21」）から定植1日前（「-1」）まで、透明マルチ（「透」）あるいは白マルチ（「白」）で畝を被覆し、③これらの生育に及ぼす影響で、「-21」あるいは「-1」に、窒素濃度を1500mg/Lに調節した「化」と「亜」を畝に表層全面施肥し、合計10処理を比較した。「化」には、窒素には硝酸を主とした OAT ハウス1号を用いた。同一個体の総葉面積を、葉長から非破壊で7日ごとに推定し、相対生長率（RGR）として個々の要素による効果と阻害を定植後日数（DAT）との関係で解析した。2処理間の RGR の差の符号が逆転しない期間を効果の持続期間、その間の差の積算である $\Sigma DRGR$ を影響量とした。

定植前の-21から-1DATの深さ10cmの平均地温は、気温より「透」で14.0℃、「白」で8.3℃高かった。0から32DATまでの日平均気温は13℃から7℃まで徐々に低下し、この間の深さ10cmの平均地温は平均気温より6.2℃高かった。32DATの個体当たり地上部乾物重は、「化透-1」 $\geq$ 「化白-1」 $\geq$ 「化白-21」 $\geq$ 「化透-21」 $>$ 「亜透-21」=「亜白-21」=「無透」 $>$ 「亜透-1」=「無白」 $>$ 「亜白-1」、の順であった。

図3-2に、肥料の種類と施肥時期の組合せが相対生長率の経時変化に及ぼす影響を、定植前地温が異なる「透」と「白」に分けて示す。相対生長率は、全ての処理で定植後に9DATあるいは14.5DATにかけて増加し、その後、低下した。9DATに最大となった「化透-1」、「化白-1」で初期生育増大の優位性が活き、32DATの地上部乾物重が上位の2処理になった一方、同様の「亜白-21」では、その後の相対生長率は低下した。

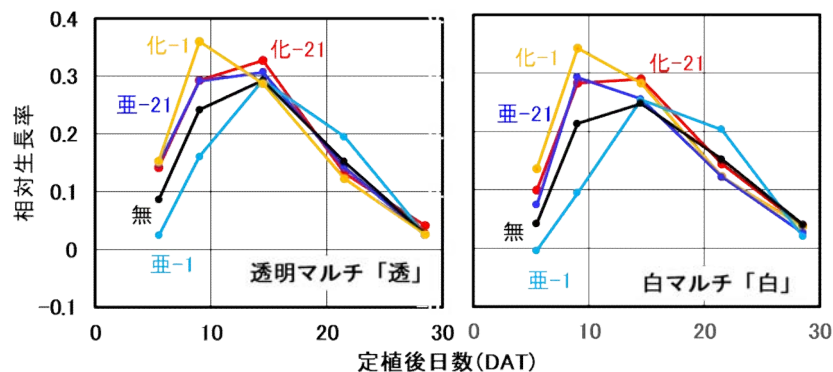


図3-2 相対生長率の経時変化に及ぼす肥料の種類、施肥時期、定植前地温の影響

「透」、「白」それぞれで「無」との相対生長率差を求め、影響の持続期間と量を表3-1に示す。これらは「化-21」と「化-1」で、定植前地温が高かった「透」で「白」より短く、小さかった。「透」の減少割合は「化-1」で著しく大きく、この原因として施肥・定植前の高地温による微生物活性の高まりが、後に施肥した化学液肥の窒素を多く消費した可能性を示唆する。また、「化-21」でこの減少割合が低かった理由として、地上部乾物重が「化-1」を下回ったことから、定植時にすでに窒素消費が進んでいたと考えられる。一方で、

「亜-21」では、「透」で「白」より持続期間は長く、影響量の差は小さかった。「亜-21」の効果の影響量は、「化-1」と「化-21」より著しく小さく、地温低下による「亜」の無機化の遅さがうかがえる。「亜-1」は阻害を起こし、持続期間の14.5DAT までは積算日平均地温は299℃日で、阻害の影響量の絶対値は「亜-21」の効果の絶対値を上回った。したがって、1) 定植前施肥では、施肥後、積算日平均地温299℃日を経過した後に定植すべきで、2) 亜臨界水処理有機液肥の追肥としての利用は避けるべきである。

表3-1 相対生長率に及ぼす肥料の種類と施肥時期の影響

処理の差	肥料の種類と 施肥時期の影響	透明マルチの影響		白マルチの影響	
		持続日数	影響量	持続日数	影響量
「化-21」-「無」	「化-21」の効果	19.0	0.66	20.4	0.81
「化-1」-「無」	「化-1」の効果	14.3	0.82	18.3	1.17
「亜-21」-「無」	「亜-21」効果	16.7	0.56	15.8	0.53
「亜-1」-「無」	「亜-1」の効果	14.5	-0.64	14.2	-0.73

影響量は $\Sigma DRGR (=DRGR \times \text{日数})$

(3) 露地レタス栽培試験

茨城大と共同で根量測定に新たな画像解析法を導入し、水熱分解液肥が作物根に及ぼす影響を検討した。図3-3に示すように根を観察する透明アクリル板を設置した露地圃場でコスレタスを栽培し、定植2週間前に水熱分解液肥と化学肥料を、株の両側に混ざらないように仕切板で分けて側条施肥し、肥料の違いが根の発達に及ぼす影響を解析した。根は、水熱分解液肥で施肥層に多く発達したが、化学肥料（N：尿素、P：過石）で尿素的施肥層を避け、施肥層以深に多く発達した。地上部重に化学肥料と水熱分解液肥で差はなかった。

また、化学肥料と水熱分解液肥の側条施肥での組合せで、窒素とリン酸が共存する施肥層で根は多く発達し、

水熱分解液肥は化学肥料に比べ、とくにリン酸吸収が優れた。これらの結果から、水熱分解液肥は、播種・定植前施肥で、根の発達を促進し、リン酸吸収効率が低い、優れた肥料となるといった。

別途のダイズ栽培では、新知見として水熱分解液肥での根粒菌増加が確認され、今までにない特性を有する肥料といえる。

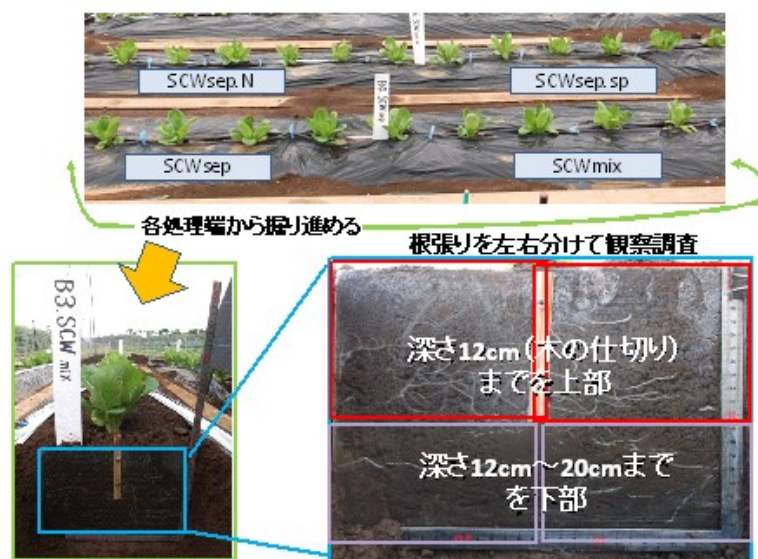


図3-3 レタスの根張り調査方法（露地圃場）

2-2 養液土耕方式による水熱処理有機液肥栽培方式の開発

(1) 施設キュウリ栽培試験

水熱分解液肥（有機液肥）を、継続的に低濃度で供給する養液土耕栽培に利用する方法をハウス栽培キュウリで検討した。はじめに、低濃度培養液の供給開始時期の影響を解析したところ、相対生長率は、有機液肥の定植当日開始で化学液肥（OAT 液肥 A 処方）に比べて著しく低下した。しかし、定植当日から化学液肥を供給し、7日後以降から有機液肥を供給することで、抑制は大幅に軽減できた。そこで、養液土耕システム（ZeRo-agri）で、窒素濃度を同一にした有機液肥と化学液肥を低濃度で同量供給し、親蔓20節摘芯、子蔓と孫蔓2節摘芯として解析したところ、個体当たり収量は有機液肥で化学液肥の76%、葉面積あたりの収量は同93%であった。この結果は、葉面積を増やす栽培法で収量向上が期待できたことから、有機液肥と化学液肥で、子蔓2節摘芯と3節摘芯で比較したところ、子蔓3節摘芯で両処理区の収量差はなくなった（図3-4）。

このことから、葉面積を増やす栽培管理で、有機液肥の欠点を補えるといえた。また、本実験では、養液土耕支援システム ZeRo.agri を用い、このシステムが有機液肥で有効に利用できることを証明した。

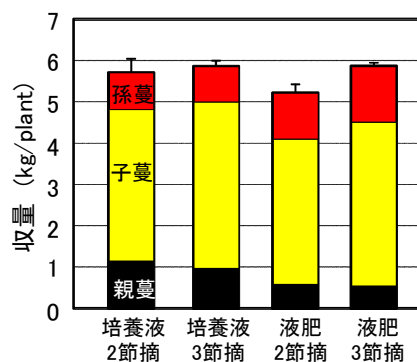


図3-4 肥料と小蔓摘芯節数が
キュウリ収量に及ぼす影響

(2) 施設トマト栽培試験

メロンとトマトで、葉の生体重の相対生長率に及ぼす培養液の種類、定植後の有機液肥供給開始時期（DAT）の影響を解析した。その結果、メロンと比べてトマトの有機液肥に対する感受性は極めて低かった（図3-5）。

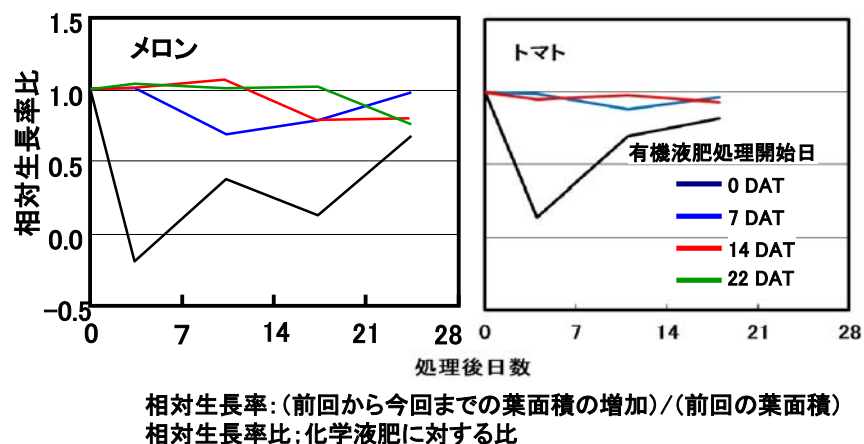


図3-5 メロンとトマトの葉の相対生長率に及ぼす培養液の種類と処理開始日の影響

そこで、有機液肥と化学液肥を供給するトマトを加温ハウスで栽培したところ、両処理

に収量差はみられなかった。このように定植後根が活着してから有機液肥を点滴施肥することで、障害なく生育した。また、有機液肥は有機物を含むものの、ZcRo-agri で目詰まりせず、安定供給できた。また、栽培前後の土壌中の残留成分は、有機液肥で OAT 液肥 A 処方に比べ極めて少なかったことから、養液土耕用とし優れた肥料といえる。

(3) 隔離床栽培試験

水熱分解液肥による作物生育は、湛液水耕栽培では根が著しい障害を受けたが、養液土耕栽培では作物は良好に生育することができた。この差の原因と境界条件を明確にするため、ココピート（有機培地）と赤玉土（土壌）を用いて隔離床の培地組成を変え、養液土耕システムでカツオ菜とセロリの生育を比較した。隔離床に定植した後2週間、化学液肥を供給した後、有機液肥に切り替えた。

カツオ菜では有機培地100%では有機液肥による生育阻害がみられたが、ココピートを混合することにより有機液肥による生育抑制はなくなった（図3-6）。

一方、セロリでは全ての組成で、大きく有機液肥が生育を抑制した。今後、作物の種類による感受性の差を、微生物活性等と関連して解析する必要がある。



図3-5 隔離床におけるカツオ菜の生育状況

3. 無培地方式による水熱処理有機液肥栽培方式の開発

コマツナの養液栽培における、水熱分解液肥の活用の可能性を明らかにすることを目的とした。水熱分解液肥を化学肥料の代替利用することを想定し、代替割合を5段階（市販培養液：水熱分解液肥＝10：0、9：1、7：3、5：5、0：10）に設計した。

また、水熱分解液肥の養液栽培への適用法を検討するために、無培地の「たん液水耕栽培」、土耕と水耕を組み合わせた「土・水耕栽培」の2種類の栽培法を設計した（図3-6）。



図 3-6 養液栽培の2種類の方法

(1)コマツナたん液水耕栽培

水耕栽培の直接的な影響を評価した。その結果、コマツナ地上部新鮮重は、水熱分解液肥の割合が増加するほど低下した。同様に、処理液中の根の発達も、水熱分解液肥の割合が増加するほど減少した。0:10 区では特に阻害が大きく、定植後ほとんど根が伸長せず、枯死した葉もあることが確認された（図 3-7）。水耕液表面に膜が張ったため、この膜が根の吸水、吸肥、酸素取り込みを抑制したと考えられた。

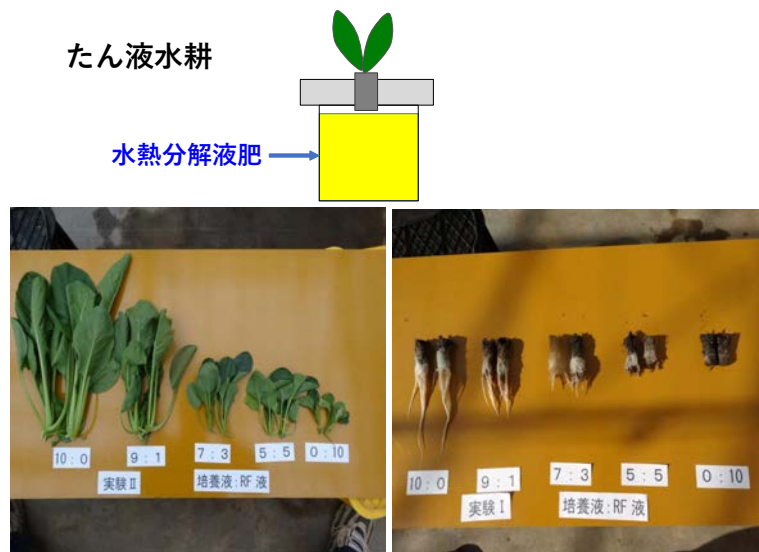


図 3-7 コマツナたん液水耕栽培の地上部と根部

(2)コマツナ土・水耕栽培

土に定植し水耕と組み合わせた場合の影響を評価した。本栽培法においても水熱分解液肥の割合が大きいほど生育が阻害される傾向が認められた。土の有無の影響を明らかにするために、たん液水耕栽培法と土・水耕栽培の結果を比較すると、阻害作用が大きい 5:5, 0:10 区において、土・水耕栽培の方がたん液水耕栽培よりも生育が良かった。土・水耕栽培 0:10 区はたん液水耕栽培の 0:10 区よりも葉色が良く、葉数や葉長も改善する傾向にあった。たん液水耕栽培 0:10 区は、根の表面に皮膜があり生育阻害作用が大きかったが、土・水耕栽培では土耕部分の根の表面には皮膜が無かったため、水熱分解液肥の阻害作用が軽減されたと考えられる。このことから、直接的な水耕栽培よりも土と水耕を組み合わせ

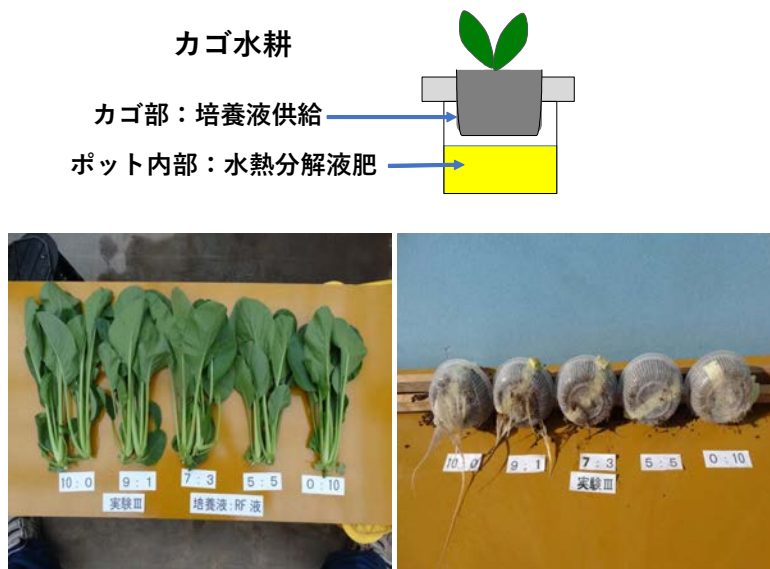


図 3-8 コマツナかご水耕栽培の地上部と根部

わせた方が水熱分解液肥の利用に適することが分かった。

さらに、土耕のみに水熱分解液肥代替液肥を処理し、水耕部分には市販培養液を供与した場合を調査した。水耕液面まで根が到達した個体は、生育が著しく回復した。土耕部分の水熱分解液肥の阻害は、市販培養液の効果により補われたと考えられる（図 3-8）。一方、土耕部分に市販培養液を供与し、水耕のみに水熱分解液肥を処理した場合、土耕部分の根が発達し、地上部の生育は上記栽培法と比較して最も良かった。0:10 区では水耕液面に接した根が伸長を停止したことから、水熱分解液肥はほとんど吸収されなかったと考えられる。

以上から、水熱分解液肥をそのまま水耕栽培に活用することが難しいこと、活用する際には土耕と組み合わせ、代替率を低く設計する必要があることが明らかとなった。

4. 水熱分解液肥の水稻栽培への適用

(1) 流し込み施肥

水田の水口から灌漑用水と一緒に水熱分解液肥を施用する技術の検討を行った。1/2000 a ワグネルポットに飼料用米「べこあおば」を定植し、3 日後に水熱分解液肥を田面施用した。その結果、植物体は強い障害を受け、移植 30 日後までほとんど成長しなかった。その後、成育後期に向けて徐々に生育が回復したが、収量は化学肥料に及ばなかった。本研究から、水熱分解液肥は流し込み施肥には向かないことが示された。

(2) 入水直前施用

化学肥料全面施用と同様に、入水直前に水熱分解液肥施用して耕起する方法を検討した。1/2000 a ワグネルポットに施肥、代かき後、主食用米「コシヒカリ」を定植した。茎数の推移から、定植約 50 日後までは無施肥区と同程度の生育を示し、約 70 日後に生育促進が見られた。このことから、予め土壌と混合することで液肥の生育阻害作用は現れないこと、湛水条件下で肥料効果が現れるのは入水 40 日後からであることが示された。

(3) 入水 3 週間前施用

畑土壌条件下では定植 3 週間前の施用で効果が現れることから、水田において入水 3 週間前に施用することで生育初期から肥料効果が得られると考え、これを調査した。水田圃場に入水 3 週間前に施用し、耕起、代かき後、主食用米「コシヒカリ」を定植した。同等の生育の推移から、化学肥料基肥区とほぼ同時期に肥効が現れることが分かった。

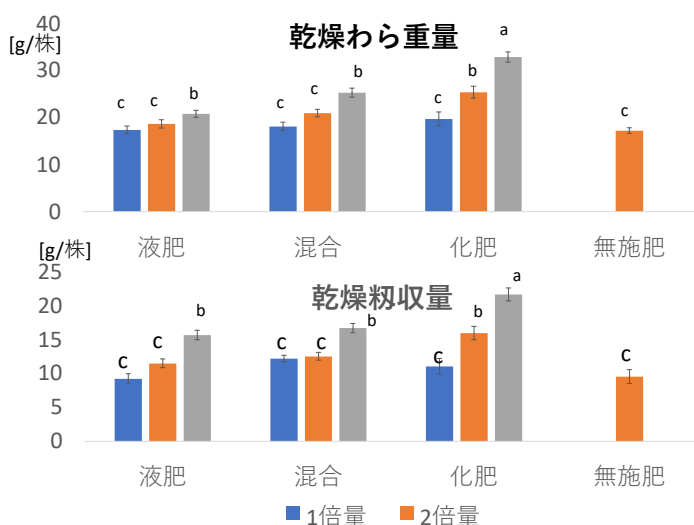


図 3-9 液肥入水 3 週間前施肥の水稻栽培結果

水熱分解液肥の窒素肥効率は約 60%であった。また、水熱分解液肥を N 基準 4 倍施用した多肥区においても、阻害作用は現れず、食味などの品質も低下させないことが分かった。これらの結果から、定植 3 週間前の施用が適切であることが示された（図 3-9）。

以上の結果から、水稻栽培においては入水 3 週間前に予め水熱分解液肥を施用することで、化学肥料基肥の代替として利用できることが示された。施用量は、窒素基準の肥効率が化肥よりは劣るため、化肥よりは劣ると考えられるため、N 基準で化肥の 2 倍程度の施用が望ましい。ただし、土壌条件を考慮する必要がある。また、リン酸、カリの不足分は化学肥料等で補う必要がある。

5. 水熱分解有機液肥の土壌中における挙動

水熱分解液肥は有機酸などの有機物を含む液肥のため、

①有機酸による作物根への影響、②有機物の分解に伴う窒素飢餓、の二つの作物に対する障害がある。作物栽培時におけるこの障害を把握するために、窒素飢餓については各種土壌の培養試験を実施し、有害物分解の微生物活性を把握するためには、土壌 ATP の測定による微生物活性の把握を行った。

各種の水熱分解液肥を黒川土壌（腐植質黒ボク土）、大浜土壌（赤黄色土）、鈴鹿土壌（非アロフェン質黒ボク土）の 3 種類を用い窒素の無機化率を測定したところ、資材により大きな違いがありコマツナやダイコン葉部では 80%の窒素が無機化する傾向がみられたが、バレイショでは窒素の有機化傾向が認められた。また土壌別にみると大浜土壌は無機化を促進する土壌であることが伺えた（図 3-10）。

これを炭素率（C/N 比）別にみると窒素無機化率は C/N 比に影響していることがわかる。

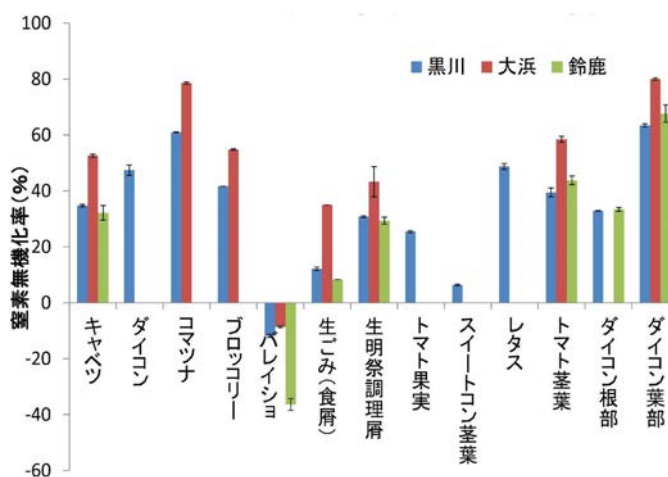


図 3-10 原料の異なる水熱分解液肥の窒素無機化率

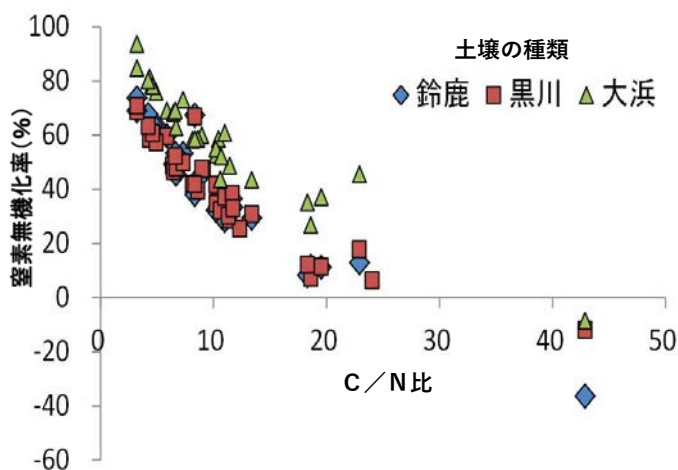


図 3-11 液肥の C/N 比と窒素無機化率の関係

C/N 比 20 で無機化率と有機化が分かれるが、これは一般の有機物が土壌中で分解するときの数字とほぼ同じである。また、土壌により違いがあり、黒ボク土の黒川土壌や鈴鹿土壌に比べ、赤黄色土の大浜土壌では無機化傾向が大きく、C/N 比が高くなっても有機化しない傾向がみられた（図 3-11）。

水熱分解液肥は有機物を含むため、土壌施用後微生物が急激に増殖するため、一時的に窒素の有機化がみられる。無機態窒素の変化とともに無機態リン酸を調査しても 7 日に最大となり、以後土壌吸着することが明らかになった。すなわち、窒素もリンも土壌施用後、1 週間の変化が激しいことが明らかになった。このため、土壌施用後の微生物活性を評価するために、ATP 測定によるバイオマスリンの測定を実施した。その結果、5 日目に最大となり、約 2 週間で安定化することが明らかになった（図 3-12）。これは、水熱分解液肥に関わる微生物の動向をいものと推察された。

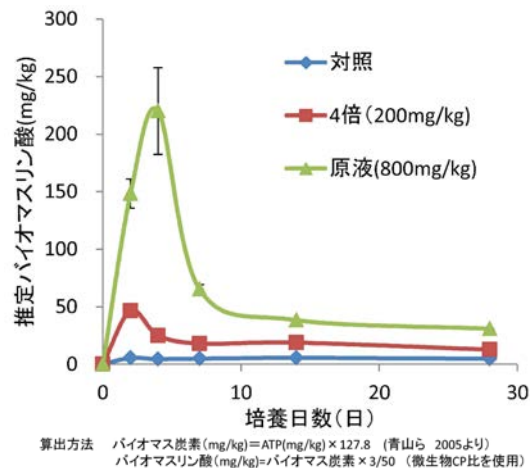


図 3-12 水熱分解液肥土壌施用後の ATP の変化

6. 水熱分解処理物によるイチゴ培土の作成

人気の高いイチゴは、隔離床による高設栽培が主体になっているが、隔離床用の培土にコストがかかる。このため、水熱分解処理物の固形物部分を用いたイチゴ栽培用培土を開発する試験を行った。

食品廃棄物と木材を混合し、180℃ (1MPa) で処理した物を、赤土、パーライト、籾殻燐炭を混合し、イチゴ培土を製造した。この培土を用いて、三重県の 3 圃場においてイチゴの栽培試験を実施したところ、生育収量は現行の培土と同等以上であり、実用性のある培土が製造できた（図 3-13）。

しかし食品廃棄物の水熱処理物は、易分解性

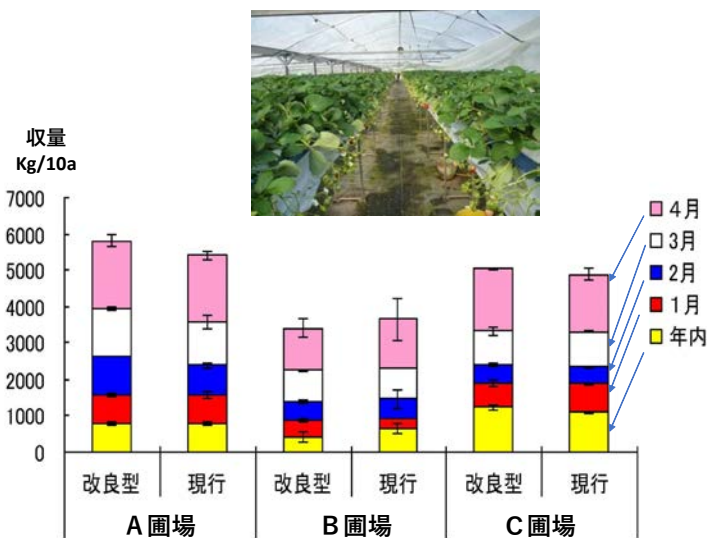


図 3-13 3 圃場におけるイチゴ栽培試験結果

有機物を多く含むため、水熱分解処理物を含むイチゴ用培土は貯蔵時に糸状菌 (*Aspergillus fumigatus*) が激発し、菌糸が撥水性の原因となることがあり、実用化上課題があった。(図 3-14)

この改良のために、水熱処理物と牛ふん堆肥を混合し堆積することにより易分解性物質を分解し、糸状菌の発生を抑制する技術を開発し、製品を試作した。牛ふん堆肥は、堆積 1 日から 90 日まで腐熟程度の異なる 5 種類を供試したが、いずれを混合しても今までの課題であったカビの発生による培土の撥水性は認められなかった。この結果、食品廃棄物と木材を混合した水熱分解物を牛ふん堆肥と混合し、10 日間堆積発酵することにより有機酸等を分解した後、赤土、パーライト、籾殻燐炭を混合し、イチゴ培土を製造すると実用化可能な培土が製造できた。

それらの堆肥を混合したイチゴ培土を使用して栽培試験を実施した結果、生育は良好であり、いずれの処理物も市販の培土と同等の収量が得られた。価格的にも低コストであり、実用性の高いイチゴ培地が作成できた。



図 3-14 水熱分解物による糸状菌の発生

7. 水熱処理物による土壌還元消毒法の開発

土壌還元消毒とは、フスマ・米ぬかなどの有機物を土壌に大量に混和し、十分なかん水処理と太陽熱による一定以上の加温により、土壌を還元状態にして、農薬に頼らず土壌消毒を行う方法である。有機物としてはフスマ、米ぬか、スイートコーン残渣ショ糖、廃糖蜜、低濃度エタノールなどが用いられている。野菜屑の水熱分解液肥には有機酸などの有機物が含まれているため、これを用いて土壌還元消毒を検討した。

ダイコン、キャベツ、ラビットフード等の水熱分解液肥 (170～200℃分解処理物) を用いて土壌還元消毒効果を、室内実験で検討した。その結果、ラビットフード及びキャベツ処理物では、病害抑止、硝化抑制効果が認められ土壌還元効果があることが伺えたが、ダイコン液肥では効果が認められなかった (表 3-2)。水熱処理液肥による土壌還元処理は、原料や処理法により効果が異なることが示唆された。

供試した資材の全炭素、COD を測定したが、土壌還元消毒効果とこれら成分の間には明確な関係は認められなかった。

表 3-2 水熱液肥原料と土壌還元効果の関係

水熱分解原料	土壌還元処理効果
ラビットフード	◎
キャベツ外葉	○
スイートコーン茎葉・レタス屑	△～○
ダイコン葉部及び根部	×

効果の期待できたラビットフードとキャベツ外葉を用いて病原菌の殺菌効果を検討した。病原菌はハウレンソウ萎凋病菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae*)を用いた。チューブに汚染土(供試土壌に菌液を添加)にそれぞれ資材の資材を加え、水分量を調整した後、窒素を充填して密閉した環境で行った。対照として農薬(タゾメット)とエタノールを使用した。結果は(図 3-15)に示した。ラビットフードはエタノールに近い効果が期待できたが、菌密度の低下は、0.5%エタノール処理とラビットフード 20%処理が同等であり、水熱分解液肥を使用するときは、大量使用が必要になる。

また、ダイコン(葉部と根部混合)を用いてトマト萎凋病(*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*)汚染圃場で実用化レベルの試験を実施したが、期待したような効果は得られなかった。

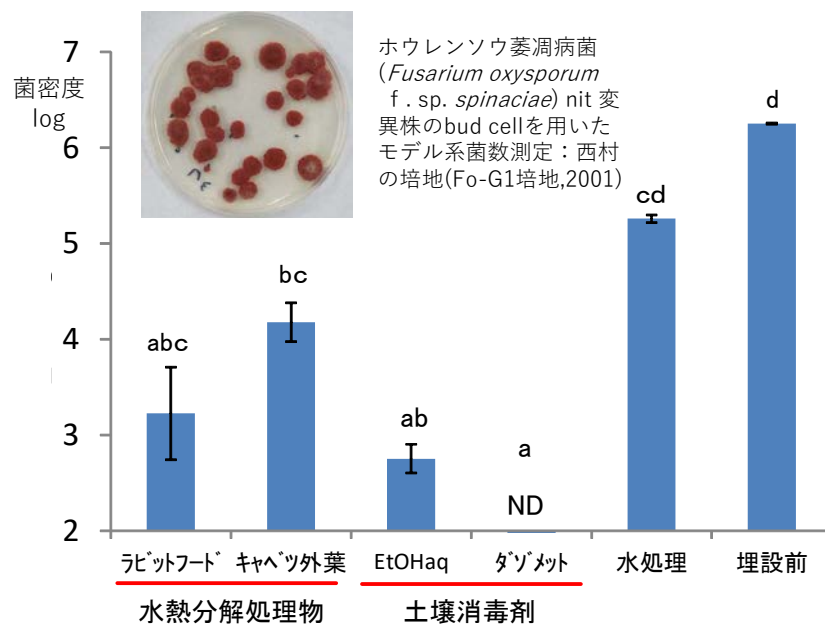


図 3-15 病原菌抑止効果 (モデル試験)

8. 都市近郊有機資源循環型農業システムの検討

多くの栽培試験を実施した結果整理し、栽培マニュアルを作成した。

9. 離島及び発展途上国における有機資源循環型農業システムの検討

(1) 国際ワークショップの開催

本研究成果の海外普及の可能性を検討するため、2014年3月9-14日、都市のごみ汚染と施肥による水質汚染が深刻なフィリピン共和国の土壤・水管理局から専門家2人（Samuel M. Contreras 土壤保全部長、Teresita S. Sandoval 技師）を招聘し、三重県農業研究所において国際ワークショップ「亜臨界水処理有機廃棄物の農業利用」を開催した。



図 3-16 三重県農業研究所における国際ワークショップ風景

(2) 離島および途上国の有機性廃棄物処理調査

2015年2月2日～4日、石垣市の石垣島精糖(株)及び国際農林水産業研究センター熱帯島嶼研究拠点を訪問し、サトウキビによる砂糖生産過程で排出される廃棄物の調査を行った。

2015年2月22日～25日、フィリピン共和国農業省土壤・水管理局 Samuel M. Contreras 土壤保全部長らの案内によりフィリピン共和国 ネグロス島サガイ市およびバコロド市における有機性廃棄物の排出と処理状況を調査した。サガイ市では市長と会見し、提案システムの有意性を説明し、理解を得た。

さらに、他の事業と関連させ、長崎県対馬における鳥獣害の実情調査と、害獣の水熱分解による液肥化について検討し、地域循環システムに組み込める可能性のあることを明らかにした。



図 3-17 サガイ市役所において Alfredo D. Maranon III 市長との会談風景

第4章 液肥製造マニュアル

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「亜臨界水処理有機液肥による地域内有機資源循環型農業システムの構築(2013～2017年)」成果資料(1)

「水熱分解による液肥製造マニュアル」

1. 有機性廃棄物処理に水熱分解を導入する意義

(1) 有機性廃棄物利用の課題

有機性廃棄物は貴重な資源ではあるが、種類が多く、形状や組成の多様さとともに含水率が高い物が多いため、有効利用する上での課題が多く、実用化が進んでいない。生ごみなど含水率の高い有機性廃棄物の有効活用については、飼料化や堆肥化、メタン発酵、乳酸発酵などの技術が確立されているが、現実には大部分が焼却処理され、有効利用が進んでいない。現在の技術では、メタン発酵や乳酸発酵などの微生物処理は、処理過程で多大なエネルギーを必要とするとともに発酵残渣の処理という課題がある。その点、肥料化や堆肥化のような農業利用では完全処理できるという利点がある。しかし、堆肥化は広大な土地と長い処理期間を必要とし、都市部では実施しにくい。都市部で高含水率の有機性廃棄物を、狭い面積で短時間に処理する方法として高温高压水（亜臨界水）による水熱分解処理がある。この方法は、罹病したり腐敗した有機物の完全に無害化できるという特徴もあり、今後の有機性廃棄物の活用技術として有望である。水熱分解は、閉鎖系で分解するためCO₂の発生や悪臭の発生も少ない。このため、人口の密集した都市部における有機性廃棄物処理の新技术として普及すべき方法といえる。

(2) 水熱分解とは

水を密閉容器に入れ温度を高めると、水は温度の上昇に伴い水は膨張して密度が小さくなるが、水蒸気の生成量が増加するため、圧力が高まり、水蒸気の密度は高くなる。さらに温度を上げていくと圧力も高まり、水と水蒸気の密度が等しくなり、水と水蒸気の区別のない状態になる。この点を臨界点（374℃、22.1MPa）といい、臨界点以上の温度、圧力の水を「超臨界水」、臨界点以下の状態を「亜臨界水」という。

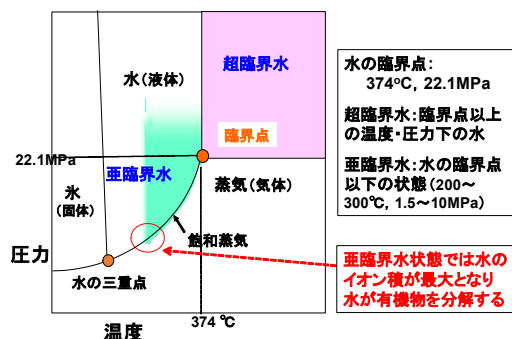


図1 亜臨界水とは (温度圧力と水の形態)

亜臨界水といわれる領域は幅が広いが、200℃（1.6MPa）から 300℃（8.5MPa）の温度帯で圧力は飽和水蒸気圧の領域が良く利用される。この領域では、水のイオン積が常温水の約 1,000 倍になり、加水分解力が高まるとともに、誘電率が低下して有機溶媒のような機能を持つ。すなわち、水が、有機物の分解力と油との親和性という 2 つの力を持つことになる。とくにこの領域では加水分解力強まることから、この領域で起こる反応を「水熱

(3) 装置の構成

本マニュアルで用いた装置は、明治大学黒川農場に設置されている 200L の分解槽を有する「高温高压水熱分解装置」を用いた(図1)。高压ボイラー(210℃、2MPa)から発生する高温高压水蒸気を、容量 200L の攪拌装置付き分解槽に導入することにより加温・加圧することにより水熱分解を行う。システム全体の制御や情報の収集は制御盤のタッチパネルでコントロールでき、情報はパソコンで取り出せるシステムとなっている。

Figure 1 is a schematic diagram of the experimental system for the synthesis of liquid fertilizer. The diagram illustrates the flow of materials and information through various components:

- 試料投入口** (Sample Input Port): The starting point for material input.
- 制御パネル** (Control Panel) and **コントロールユニット** (Control Unit): These units manage the system's operation.
- 高圧ボイラー (200°C, 2MPa)** (High Pressure Boiler): A vertical cylindrical vessel used for heating and pressurizing the mixture.
- 高温高圧分解槽 (容積200L)** (High Temperature High Pressure Decompression Tank): A horizontal cylindrical vessel where the high-pressure mixture is decompressed.
- 排気タンク** (Exhaust Tank): A vertical cylindrical vessel that receives the decompressed mixture.
- 液肥化物** (Liquid Fertilizer): The final product, shown being collected in a blue container.

The flow is indicated by arrows:

- 情報** (Information) and **制御** (Control) arrows connect the control units to the boiler and decompression tank.
- 蒸気** (Steam) arrows show the flow from the boiler to the decompression tank and from the decompression tank to the exhaust tank.
- 液肥** (Liquid Fertilizer) arrows show the flow from the decompression tank to the exhaust tank and then to the final collection point.

2. 有機性廃棄物の液肥化方法

水熱分解は高温の飽和蒸気圧のもとで水の力により分解するため、含水率が高い物に適している。多くの分解実験を行う中で、原料の固液比が 1 : 4（含水率 80%）以上は必要であり、1 : 9（含水率 90%）が理想と考えられた。しかし、固液比を高めると液肥としての成分は希釈されるため、実用上は固液比 1 : 4 程度が妥当と考えられる。

- 32 -

(2) 分解温度と圧力条件

農業廃棄物（カリフラワー茎葉）を処理温度 160℃（0.6MPa）～180℃（1.1MPa）30 分間処理により分解した事例を図 2 に示した。液肥化率は、原料と分解残渣の乾物含量比から求め、pH と EC（電気伝導率）は液肥を直接測定した。

160℃では液肥化率 57%であり分解が不十分であったが、温度を高めると液肥化率と EC は高くなったが、pH は低下した。液肥化率と pH は 170℃以上になると大きく変化しないが、EC が増大することから、無機化がすすむと考えられる。

温度を 200℃（1.6MPa）まで上げると液肥化率はあまり向上しないが、糖やアミノ酸が激減し有機酸が増加する（表 1）。160℃から 200℃の間に、繊維など高分子が分解して水溶性高分子（腐植物質も含む）が増えるとともに、低分子の炭水化物やタンパク質の分解が進み、二酸化炭素になるとともに有機酸が増加するものと推察される。このため有機液肥としてアミノ酸等の含有量を期待するのであれば 180℃（1MPa）30 分間処理にとどめるべきと思われる。

多種類の野菜屑を水熱分解した結果、水熱分解は繊維分の分解が苦手であり、ダイコンやトマト果実や軟弱野菜類は 180℃で十分に分解するが、繊維分の多い茎類やイネ科の作物の分解には 200℃まで上げる必要があることが明らかになった。繊維分の多い野菜を効率的に水熱分解するには、160℃で易分解性物質の分解による組織の膨潤化の後、200℃で分解する 2 段階温度による方法が短時間にエネルギー消費量も少なく効率的に分解できる方法と考えられた。

また、処理時間について検討した結果、200L 容器に 50kg 程度の試料を入れた場合、処理時間を 30 分以上にしても液肥化率には大きな差がなく、野菜屑では 30 分の分解で良いと思われた。

(3) 尿素的分解促進効果

水熱分解は、水のイオン積の増大による分解とともに、各種のイオンが分解促進に役立つことが知られている。有機物はタンパク質を含むが、水熱分解の過程でタンパク質から遊離したアンモニアは触媒として分解を促進するといわれている。

野菜屑は窒素分が少なく、また水熱分解液の pH が低くても、分解終了後の脱気過程で水蒸気とともにアンモニアが揮散して肥料成分として重要な窒素成分が減少する。そこで、

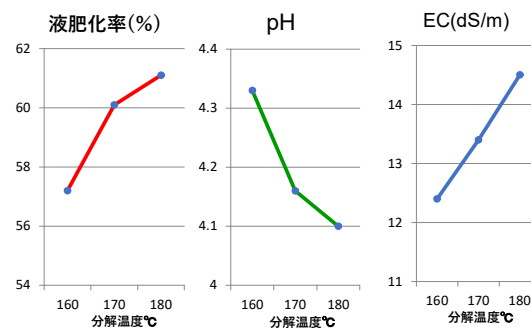


図3 処理温度が野菜屑分解に及ぼす影響

- 原料：カリフラワー茎葉
- 分解条件：160℃(0.6MPa)～180℃(1MPa)、30分、放冷0分

表1 分解温度が液肥成分に及ぼす影響

試料名	トマト茎葉		ダイコン根部	
	170℃	200℃	160℃	160/200℃
pH	4.90	4.56	4.04	3.77
EC (dS/m)	9.2	11.3	8.4	8.5
全炭素 (g/L)	7.31	8.54	9.88	9.57
全窒素 (g/L)	0.65	0.99	0.85	0.82
アンモニア (g/L)	0.16	0.23	0.19	0.17
遊離糖 (g/L)	5.51	0.66	25.97	13.31
アミノ酸 (g/L)	0.15	0.02	0.15	0.02
有機酸 (g/L)	5.54	7.32	2.22	2.93
リン酸 (g/L)	0.21	0.44	0.56	0.57

- トマト茎葉は170℃(0.8MPa)または200℃(1.6MPa)で30分間処理
- ダイコン根部は160℃(0.6MPa)または160℃10分後200℃20分間処理

窒素の補給と分解促進のために窒素添加する方法を考案した。原料の乾物あたり1～3%に相当する窒素を尿素として加えた結果、窒素成分はもとより、液肥中の全炭素含量が増加し、アミノ酸や有機酸が増加したことから分解促進効果が伺える(表2)。しかし、リン酸は減少傾向にあり、他の試験結果から乾物2%相当量を超えると激減するため、窒素添加量は試料の乾物2%に相当する尿素を添加することが適当である。

(特願 2017-150228)

(4) 分解後の冷却による窒素成分の回収

外部から高温高压水蒸気を導入して、飽和水蒸気圧を利用して容器内圧力を高めることにより水熱分解するため、分解終了時には脱気して圧力を常圧に戻した後に分解物を取り出す必要がある。この脱気過程で、水蒸気とともに肥料成分が揮散する可能性が大きい。分解槽内は飽和水蒸気圧になっているため、放冷により温度が下がれば水蒸気が水に変わる量が多くなるため、揮散量を減少することができる。

標準物質(ラビットフード)を170℃30分間水熱分解した後、装置を停止し、30分間放冷した結果、アンモニアとリン酸は経時的に回収率が増加する傾向がみられた(表3)。30分間放置により温度は30℃の低下にすぎなかったが、槽内圧力及び飽和蒸気量は半減し、分解直後に蒸気を排出したものに比べ、アンモニアは約30%、リン酸は約20%増加したが、硝酸とカリは変化がなかった。

放置時間が長くなれば肥料成分の回収率は向上するが、槽が冷却し、次の分解作業において蒸気を多く使用することになる。連続して分解処理を行う場合、容積200L程度の分解槽では20～30分程度の放置時間が適当と判断される。装置が大型化すれば、放冷時間も長くとる必要がある。

(5) 貯蔵性の向上

170～180℃で水熱分解した液肥はpHが低いいため、室温のまま放置すると原液の状態では、夏季は2か月、冬季は半年放置しても成分的にはほとんど変化はないが、貯蔵原液を顕微鏡で観察すると乳酸菌様の菌が多数みられる。原液を希釈すると1か月以内に空気に触れる面に菌の増殖が認められるため、貯蔵は原液のまま、できるだけ温度の低い環境に

表2 窒素添加量が液肥成分に及ぼす影響

窒素添加量	無添加	1% / D.M.	2% / D.M.	3% / D.M.
pH	4.56	4.93	5.37	5.75
EC (dS/m)	11.3	11.2	13.0	14.1
全炭素 (g/L)	8.54	7.79	8.36	9.18
全窒素 (g/L)	0.99	1.21	1.69	1.99
アンモニア (g/L)	0.23	0.54	0.99	1.50
遊離糖 (g/L)	0.66	0.98	0.99	1.01
アミノ酸 (g/L)	0.02	0.11	0.17	0.23
有機酸 (g/L)	7.32	5.78	7.51	8.84
リン酸 (g/L)	0.44	0.36	0.32	0.20

- 原料: トマト茎葉, 処理条件: 200℃ (1.6MPa), 30分間
- 窒素源は原料の乾物あたり窒素1～3%量の尿素を添加

表3 処理後の放冷時間と成分の変化

原料: ラビットフード (含水率80%) 分解条件: 170℃ (0.8MPa) 30分処理後放冷				
放冷時間	0分	10分	20分	30分
槽内温度 (℃)	163	157	150	140
槽内圧力 (MPa)	0.69	0.59	0.48	0.37
飽和蒸気量 (g/200L)	688	598	490	390
pH	5.00	4.77	4.73	4.68
EC (dS/m)	4.35	4.48	4.56	4.67
NH ₄ (mg/L)	133 (100)	149 (112)	159 (120)	171 (129)
NO ₃ (mg/L)	32 (100)	33 (103)	33 (103)	33 (103)
PO ₄ (mg/L)	706 (100)	774 (110)	801 (113)	831 (118)
K (mg/L)	904 (100)	915 (101)	917 (101)	949 (105)

() 内数字は放冷0分に対する比、飽和蒸気量は槽容積換算値

置くことが必要である。

また、200℃で水熱分解すると遊離糖や遊離アミノ酸が減少する（表1）。糖やアミノ酸の減少は、貯蔵中の微生物増殖を抑制するため、200℃で処理したものは、原液状態では常温で1年間の保存に耐えることができる。

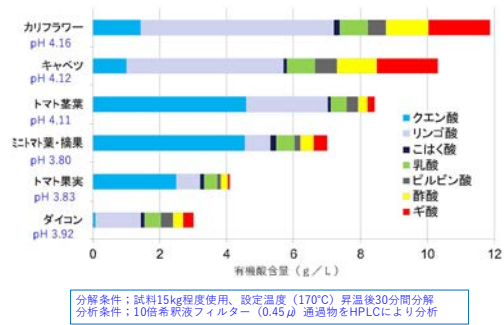


図4 野菜屑の種類別有機酸含量

3. 野菜残渣の液肥化特性

(1) 野菜屑の分解特性

農場の圃場から出る野菜屑を用い、170℃（0.8MPa）30分間、水熱分解して種類別液肥化特性を検討した。その事例を表1に示した。供試した野菜屑の含水率は、キャベツ72%を除き80%以上であった。液肥化率は、屑ダイコン、キャベツ外葉、トマト果実では85%であったが、繊維分を多く含むカリフラワーやトマトの茎葉は、液肥化率が低い傾向にある。液肥化物のpHは5以下の酸性であり、分解の良い物はpHが低くなる傾向がみられる。EC（電気伝導率）は葉部を多く含む物では高くなる傾向にあった。

表4 各種野菜屑の水熱分解特性

試料名	原料の含水率%	原料処理量kg	液肥化率%	液肥pH	液肥EC (dS/m)
ダイコン	87%	15kg	86%	3.9	6.4
キャベツ	72%	24kg	85%	4.1	12.0
トマト果実	90%	18kg	85%	3.8	6.9
カリフラワー	80%	15kg	60%	4.2	13.4
トマト茎葉	88%	10kg	49%	4.9	9.2

分解条件：170℃（0.8MPa）30分間、放冷無

分解の程度は繊維の含量に比例し、表には示していないが、繊維分が主体バカス（サトウキビ抽出残渣）ではほとんど分解しなかったが、繊維分のない海藻類はほぼ完全に分解した。

原料により大きく異なるが、おおまかに野菜の水熱分解をモデル化すると、含水率80%の野菜屑50kg（乾物10kg）を200℃30分間水熱分解した場合、含水率70%の未分解固形物10kg（乾物3kg）と液肥50kgが得られ、30L程度の排蒸気が発生する。

(2) 液肥の成分特性

農場から廃棄される野菜屑等13種類19点の有機性廃棄物を170℃（0.8MPa）～200℃（1.6MPa）30分間、水熱分解して液肥を製造した。それらの分析値の平均値、最大値、最小値を表5に示した。

液肥化物のpHは3.5～5.6であり、平均値でみると液肥1Lあたり窒素0.9g、リン酸0.3g、カリ1.7gと肥料成

表5 各種野菜屑液肥の成分特性

項目	平均値	最大値	最小値	(参考)イノシシ
pH	4.5	5.6	3.5	6.8
EC (dS/m)	9.2	16.9	4.02	18.0
有機体炭素(C g/L)	10.1	42.3	3.4	27.9
全窒素(N g/L)	0.9	2.3	0.1	8.7
アンモニア(NH ₄ g/L)	0.2	1.1	0.0	4.2
リン(PO ₄ g/L)	0.3	1.1	0.1	1.5
カリ(K g/L)	1.7	3.6	0.1	0.9
遊離糖(g/L)	6.6	41.8	0.0	1.1
アミノ酸(g/L)	0.1	0.3	0.0	3.1
有機酸(g/L)	6.0	13.0	2.2	6.6

農場産野菜屑等13種19点の水熱分解液肥の分析結果を示した。
分解条件は、170℃（0.82MPa）～200℃（1.6MPa）30分間とした。

分は液肥としてはものたりない反面、遊離糖は 6.6g、有機酸は 6.0g と多く、少量のアミノ酸もあり、有機液肥としての利用が期待できる。しかし、この多量に含まれる有機酸は、植物根には障害を及ぼし、液肥として作物栽培する上では課題がある。

表 5 には、参考としてイノシシ（ト体）を水熱分解した結果を示した。イノシシは窒素、リン酸、アミノ酸が多く、また有機酸があってもアンモニアが多いために pH は中性であり、肥料としては優れた特性がある。水熱分解物を液肥として使うためには、植物質単独ではなく、動物質との混合が好ましく、その点、生ごみは良い資材であるといえる。

(3) 作物生育阻害物質

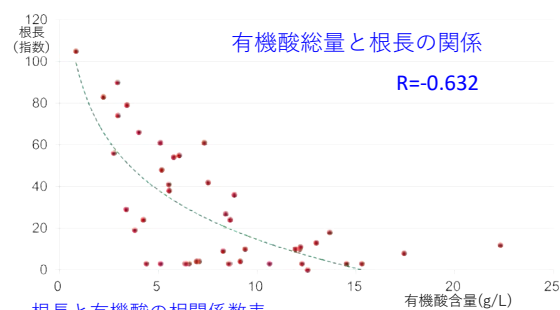
水熱分解は水のイオン積増大による加水分解であり、多糖類は遊離類に、遊離糖は分解し有機酸に、タンパク質はアミノ酸に、アミノ酸はアンモニア基がはずれ有機酸に変化する。このとき六単糖は有機酸になるが、五単糖の一部はフルフラール類に変化する。有機酸やフルフラール類はともに作物根に障害を及ぼす。野菜屑ではフルフラール類の生成量は少なく、有機酸が作物生育阻害要因としては最も大きいと考えられる。

図 4 に数種の野菜から製造した液肥の有機酸組成を示したが、トマト屑ではクエン酸が多く、葉菜類ではリンゴ酸とギ酸が多いというように、作物によって特徴がある。

また、野菜屑等から製造した 45 種類の液肥を用い、コマツナの幼植物検定

で根の生育に及ぼす影響と有機酸含量を調査した結果、有機酸総量との相関が強くみられ、有機酸の中では酢酸が最も強く影響していることが伺えた（図 5）。

有機酸等の有機物を多く含む液肥を土壌施用すると、作物が窒素不足になる「窒素飢餓」が生じる。トマト茎葉水熱分解液肥を用いて、土壌中における窒素の無機化特性を検討した結果を図 6 に示した。10a あたり窒素として 21kg に相当する水熱分解液肥を土壌に混合し、30℃で培養したところ、急激に無機態窒素が減少しマイナスになる窒素の有機化がみられ、約 2 週間で回復した。この有機化は、糖や有機酸のように窒素を含まない有機化合物を微生物が分解するとき、微生物が増殖するために必要な窒素を外部から取り込み、菌体構成物質に変換するために生じる現象である。急激に増加した微生物は有機酸などの餌が無くなると死滅し、その遺体を他の微生物が分解することによって窒素が放出されるようになるが、これを無機化という。この窒素の形態変化は微生物活動によるため、温度依存性が高く、急激な分解は、夏季は 1 週間で終了するが、冬季では 2 週間以上を必要とす



根長と有機酸の相関係数表

総量	クエン酸	ピルビン酸	リンゴ酸	こはく酸	乳酸	ギ酸	酢酸
-0.632	-0.083	-0.118	-0.169	-0.366	-0.258	-0.432	-0.704

図5 根長と有機酸量の関係

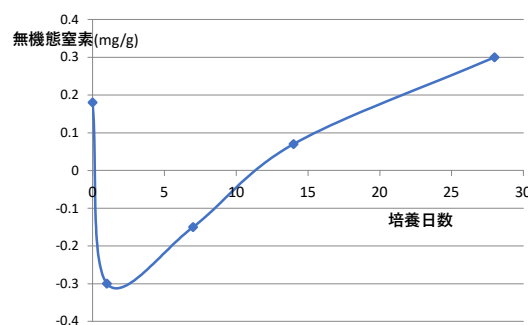


図6 土壌中における窒素無機化率の推移
(土壌混合30℃培養における無機態窒素量の変化)

るので、実際の栽培に当たっては注意が必要である。

4. 水熱分解液肥の利用方法

(1) 水熱分解導入のメリット

有機性廃棄物の多くは含水率が高いが、多くの場合、焼却処理されている。高水分の有機物を燃焼させるためには多大なエネルギーを必要とする。水熱分解は高温高圧下で処理するため設備投資に多大な投資を必要とするが、水を使って分解するため高水分の処理には適している。試験機（分解槽 200L 容）と実用機（分解槽 10 m³容）の運転に関わる光熱水道費の経費を表 6 に示した。大規模で連続運転を前提にすれば 1kg の有機性廃棄物処理に数円のランニングコストですむことになり、焼却処理に十分対応できる。

熱量計算すると、常圧下で 20℃の水が蒸気になるのに潜熱・顕熱を含め 2.59MJ/kg の熱が必要になる。有機物（乾物）の低位発熱量 15MJ/kg、灯油の低位発熱量 37MJ/L とすると、含水率 90%の有機物 1kg を燃焼させるとき、水の蒸散に必要な熱量は 2,333 kJ、有機物の発熱量は 1,500kJ であり、833kJ の熱量が不足する。これを灯油で補えば 22mL の灯油が必要になる。灯油の燃焼効率を 1/2 とすると 44mL となる。表 6 からみると実用機では 1kg あたりの処理に約 30mL の重油を使っており、燃焼よりも燃料の使用量が少なくなることになる。

また、燃焼では酸化反応のためほとんどの炭素は二酸化炭素として大気中に拡散するが、水熱反応は加水分解が主となるため二酸化炭素の発生量は少ない。また、水熱分解中に発生した二酸化炭素は炭酸イオンとして液中に存在する可能性もあるため、必要エネルギーが少ないことと相まって二酸化炭素の発生抑制に大きく寄与する。

(2) 自治体事業所への設置と利用

水熱分解は、高水分で腐敗した物も肥料化できる。自治体の焼却施設の一部に水熱分解施設と作物栽培用ハウスを設置すると、焼却ゴミの減少と作物栽培が同時に可能になる。近年の焼却炉はストーカー方式で効率よく燃焼させ熱エネルギーを回収し、発電ボイラーの熱源として利用している。このとき、K 市の事例では、発電ボイラーからは 300℃3MPa 程度の高圧高温蒸気が排出されている。この一部を水熱分解槽に導入すれば、わずかな電気エネルギーだけで水熱分解が可能になる。

水熱分解装置は大規模な物ではなく、500L 程度の小規模な水熱処理装置を設置し、食品廃棄物の一部を液肥化し、併設されたハウスで農作物を栽培すれば、焼却施設のイメージアップにも大きく寄与する。

表6 水熱処理装置運転経費の例

処理機械	試験機（200L容） 170℃60分単独処理		実用機（10,000L） 170℃120分連続処理	
処理量	1バッチあたり 50 kg		1バッチあたり 2,500kg	
電力（kW）	3.3 kW	56 円	82 kW	1,321 円
水道（m ³ ）	0.05 m ³	20 円	0.95 m ³	483 円
燃料（L）	4.5 L （灯油）	338 円	68 L （A重油）	3,899 円
経費計	414 円		5,703 円	
1kgあたり	8.3 円		2.3 円	



(3)有害鳥獣対策として利用

水熱分解は繊維分の分解は苦手とするが、タンパク質の分解には適している。また、動物質資材には窒素とリンが多く含まれているため肥料として適している。これらのことから、有害鳥獣の液肥化には適した技術といえる。

図7にイノシシをそのまま（ト体）水熱分解した事例を示した。毛や皮は分解し、骨も軟らかくなり砕ける。

現在、日本各地ではイノシシをはじめ有害鳥獣の対策と捕獲後の処理に苦慮している。さらに、牛の口蹄疫や鳥インフルエンザなどの罹病動物も水熱分解により無害な液肥に変えることができ、水熱分解の新たな用途として、有害鳥獣対策が期待できる。

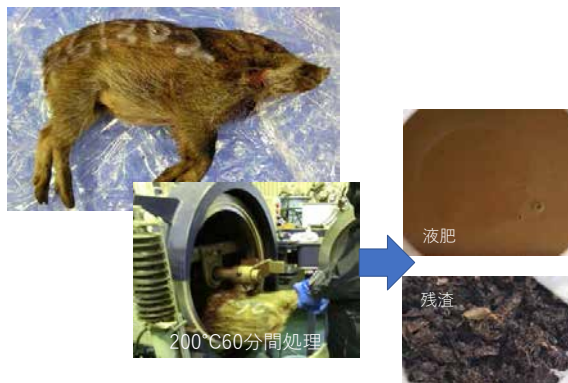


図7 イノシシ(ト体)の液肥化例

(2018/03/31)

第5章 有機液肥栽培マニュアル

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「亜臨界水処理有機液肥による地域内有機資源循環型農業システムの構築(2013～2017年)」成果資料(2)

「水熱分解有機液肥栽培マニュアル」

1. 水熱分解有機液肥の特性

(1) 水熱分解有機液肥利用の注意点

水熱分解有機液肥は今までにない新しい液肥であり、微生物分解により製造された液肥と異なる性質があるため、以下の注意が必要である。

①熱水分解有機液肥は、有機酸などの作物生育に有害な物質を含む。また、土壌に施肥すると微生物活性の高まりにより一時的に窒素飢餓を起こす。熱水分解有機液肥を利用するには、これらの影響を排除することが必要となる。

②培地を介さずに作物根が直に熱水分解有機液肥に接触する水耕栽培では、根が強い障害を受けるので利用できない。

③露地、ハウスの土耕栽培では熱水分解有機液肥を、定植前の高濃度局所施肥、あるいは定植後の低濃度継続施肥で化学肥料に近い収量が得られる。

(2) 熱水分解有機液肥不足する栄養成分

熱水分解有機液肥と市販で代表的な液肥である OAT 液肥 A 処方とで、双方の全窒素比を 1 として、主要な栄養成分の割合を比較したのが表 1 である。熱水分解有機液肥では、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウムが不足する。熱水分解有機液肥で、リン酸は化学肥料に比べて肥効が 2 倍高く、カリは OAT 液肥 A 処方で過剰であることから問題にならない。一方、カルシウムの極端な不足と、マグネシウムの不足は問題で、土壌に施肥して補う必要がある。

表1 熱水分解有機液肥とOAT液肥A処方との主要な栄養塩含有率の比較

	全炭素	全窒素	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
					(mg/L)			
熱水分解有機液肥(a)	43136	5952	1046	17	1312	2084	252	716
OAT液肥A処方(b)	0	260	23	233	120	405	230	60
全窒素比を1とした時の(a)/(b)	∞	1.00	1.99	0.00	0.48	0.22	0.05	0.52

(3) 残肥、溶脱の少ない熱水分解有機液肥

とくにハウス内では、塩類集積の抑制が全国的な課題である。熱水分解有機液肥では、OAT 液肥 A 処方の液肥に比べて、土壌に残存する栄養塩が圧倒的に少ない。ハウス土壌のキュウリ栽培終了後で、OAT 液肥 A 処方では、カルシウム、硝酸、硫酸が多く残存したが、熱水分解有機液肥での残存はわずかなナトリウムに限られた。

また、熱水分解有機液肥に有機質として存在する窒素は、有機質の分解に伴って低速度で無機化するので、露地栽培での雨による溶脱が極めて少ない。そのため、窒素の利用効率は、尿素の 2 倍であった。このことは、熱水分解有機液肥で地下水、河川水の窒素による汚染を減らせることを示す。

(3) デリバリー問題

本研究の成果から、熱水分解有機液肥は緩効性の有用な肥料といえた。しかし、熱水分解有機液肥に限らず有機液肥では化学肥料に比べて栄養成分の含有率が低いため、デリバリーの問題がある。今後、ごみ処理施設内に熱水分解有機液肥製造設備と温室を建設する、農業団地に熱水分解有機液肥製造設備を建設する等、広域な地域計画としての対策が求められる。

2. 具体的施肥法

(1) 定植前の高濃度局所施肥

窒素 6000、リン酸 1300mg/L 程度の熱水分解有機液肥原液を、定植前に定植位置に対して側条施肥する。積算日平均地温が 300℃を経過した後に苗を定植する。地温上昇促進、雑草予防のため、施肥後、マルチで被覆する。マルチが必要なため、播種する作物には作業面から適さない。同じ窒素施肥量、栽植密度で、熱水分解有機液肥で尿素を上回る収量が得られる。露地圃場での春夏作の増加率は、キュウリで 30%、レタス 27%、ラッカセイで 16%、サトイモで 9%、ナスで 5%、ピーマンで 0%であった。

一方、熱水分解有機液肥は肥効の持続期間が長いので、サツマイモでは蔓ボケで収量が低下する。熱水分解有機液肥の定植後施肥では、窒素飢餓を起こすので利用しない。バレイショでは植付け 30 日後の施肥で収量が 14%低下した。

(2) 定植後の低濃度継続施肥

ハウスで点滴灌水チューブなどを利用した養液土耕栽培では、熱水分解有機液肥の窒素濃度を 100～150mg/L に希釈して利用する。キュウリでは熱水分解有機液肥の窒素濃度 200mg/L でアンモニア障害が発現する。

定植直後からの熱水分解有機液肥の供給が葉面積拡大を大きく抑制するものの、定植後 2～3 週間、化学培養液を供給し、その後、熱水分解有機液肥に切替えることで抑制は著しく軽減される。さらに、葉面積を増やす整枝法にすることで、化学液肥と同等の収量が得られる。キュウリでは定植直後から熱水分解有機液肥を供給すると、収量は化学液肥の 5%以下に低下するものの、定植後 2 週間、化学液肥を供給し、その後、熱水分解有機液肥を供給することで子蔓 2 節摘芯の整枝では化学液肥の 75%の収量が得られた。整枝を 3 節摘芯にして葉面積拡大を促進したところ、化学液肥と同じ収量が得られた。

トマトでは、キュウリより熱水分解有機液肥による葉面積拡大抑制は少ないうえに、収量に及ぼす葉面積の影響は小さい。そのため、十分に葉面積が確保できれば、特別な整枝法をしないで化学液肥と同等の収量が得られる。しかし、葉面積が少ない場合、脇芽の葉を 1～2 枚残して芽欠きする。

隔離培地で同様に液肥を供給すると、熱水分解有機液肥は切替え直ぐには作物生育を抑制しないが、促成が数日で始まり、徐々に拡大し、収量は著しく低下する。このことから、養液土耕栽培で生育抑制が軽減されるのは、毎回供給する熱水分解有機液肥の拡散範囲が根圏より小さいためと考えられる。

第6章 研究成果（論文・講演発表等）

1. 論文等

(1) テーマ1 亜臨界水処理による有機性廃棄物の有機液肥化技術開発

- 1) K. Nakasaki, S. Araya, H. Mimoto, Inoculation of *Pichia kudriavzevii* RB1 degrades the organic acids present in raw compost material and accelerates composting, *Bioresource Technology*, Vol.144, pp.521-528 (2013)
- 2) K. Nakasaki, S-H.Kwon, H.Ikeda, Identification of microorganisms in the granules generated during methane fermentation of the syrup wastewater produced while canning fruit, *Process Biochemistry*, Vol.48, pp.912-919 (2013)
- 3) H. A. Hoang, M. Abe, K. Nakasaki, A novel colorimetric method for the detection of *Escherichia coli* using cytochrome c peroxidase-encoding bacteriophage, *FEMS Microbiology Letters*, Vol.352, pp.97103 (2014)
- 4) N.T. Dinh, K. Hatta, S-H. Kwon, A.P. Rollon, K. Nakasaki, Changes in the microbial community during the acclimation stages of the methane fermentation for the treatment of glycerol, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 68, pp.240-249 (2014)
- 5) S. Ozawa, H. Ikeura, E. Kaimi and M. Tamaki. Selection of the most effective cultivar of genus *Zinnia* flowers for phytoremediation of oil-contaminated soil. *International Journal of Plant & Soil Science*. 4 (1) :pp.61-71 (2014)
- 6) Q.N.M. Tran, H. Mimoto, K. Nakasaki, Inoculation of lactic acid bacterium accelerates organic matter degradation during composting, *International Biodeterioration Biodegradation*, Vol.104, pp377-383 (2015)
- 7) K. Kuroda, M. Waki, T. Yasuda, Y. Fukumoto, A. Tanaka, K. Nakasaki, Utilization of *Bacillus* sp. strain TAT105 as a biological additive to reduce ammonia emissions during composting of swine feces, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol.79, pp. 1702-1711 (2015)
- 8) K. Nakasaki, S.H. Kwon, Y. Takemoto, An interesting correlation between methane production rates and archaea cell density during anaerobic digestion with increasing organic loading, *Biomass and Bioenergy*, Vol.78, pp.17-24 (2015)
- 9) K. Nakasaki, H. Mimoto, Q.N.M. Tran, A. Oinuma, Composting of food waste subjected to hydrothermal pretreatment and inoculated with *Paecilomyces* sp. FA13, *Bioresource Technology*, Vol.180, pp.40-46 (2015)
- 10) 藤原俊六郎, 「研究最前線 水の力でごみを肥料に」, 季刊明治, 明治大学, p.40-41 (2015)
- 11) 鈴木千夏・藤原俊六郎・朽本信彦・玉置雅彦, 水熱分解反応を利用した農作物非食用部分の有機液肥化: 原料の特性が処理産物に及ぼす影響, *日本土壌肥科学雑誌*, 87(3), 177-183 (2016)
- 12) H. Ikeura, S. Ozawa and M. Tamaki Varietal Differences in *Zinnia hybrida* for remediation in oil-contaminated soil. *Journal of International Scientific Publications*. 10:265-272. (2016)

13) 玉置雅彦・池浦博美, マイクロバブル・ナノバブルの農業への活用・その可能性.
農業 12 : 19-29
(2016)

14) H. Ikeura, F. Takahashi, M. Sato, M. Tamaki, Effect of different microbubble generation methods on growth of Japanese mustard spinach. Journal of Plant Nutrition. 40 (1):115-127 (2017)

15) 藤原俊六郎, 水熱分解 (亜臨界水処理) による有機性廃棄物の液肥化 その 1 水熱分解液肥の特性, 月刊廃棄物, 43 (4), 30-33 (2017)

16) 藤原俊六郎, 水熱分解 (亜臨界水処理) による有機性廃棄物の液肥化 その 2 水熱分解液肥の作物栽培への利用, 月刊廃棄物, 43 (5), 26-29 (2017)

(2) 亜臨界水処理有機液肥を用いた地域循環型栽培システムの確立

1) 大池新二郎・七夕小百合・鈴木千夏・小沢聖・藤原俊六郎, 「水熱分解液肥の作物生育に及ぼす効果と阻害の特性評価」, 生態工学会誌, 29 (1), 1-10 (2017)

2) S.Fujiwara, Recycling of organic resources in suburban agriculture, Soils of Japan (in press)

3) 堂本晶子・原正之・吉田誠・藤原俊六郎, 食品廃棄物水熱分解物を用いたイチゴ用培土の開発, 土肥誌 (in press)

4) 岡本昌弘・竹本稔, 平成 27 年度試験研究成績書 生産環境, 神奈川県農業技術センター, p166-171 (2016.3)

5) 岡本昌弘・竹本稔, 平成 28 年度試験研究成績書 生産環境, 神奈川県農業技術センター, p15-20 (2017.3)

2. 学会発表等(国内)

(1) 亜臨界水処理による有機性廃棄物の有機液肥化技術開発

1) 園芸学会春季大会, 小澤鈴佳・池浦博美・玉置雅彦, 「由汚染土壌へのパーライト添加が植物の生育および浄化効果に及ぼす影響」, 筑波大学, 2014.03.

2) 日本土壌肥料学会 (東京大会), 藤原俊六郎・鈴木千夏・朽本信彦・小沢聖・玉置雅彦, 「野菜残渣の水熱分解による液肥化条件の検討」, 東京農工大, 2014.09

3) 日本土壌肥料学会 (京都大会), 鈴木千夏・藤原俊六郎・朽本信彦・玉置雅彦, 「野菜残渣の水熱分解処理により得られた液肥の幼植物へ与える影響」, 京都大学, 2015.09

4) 日本土壌肥料学会 (京都大会), 藤原俊六郎・鈴木千夏・七夕小百合・朽本信彦・熱田洋一, 「水熱分解処理による動物性液肥の製造」, 京都大学, 2015.09

5) 日本土壌肥料学会 (佐賀大会), 藤原俊六郎・鈴木千夏・蜷木朋子・竹迫紘・小沢聖, 「水熱分解による各種野菜屑の液肥化条件」, 佐賀大学, 2016.09

6) 第 5 回 日本マイクロ・ナノバブル学会, 延命直紀・三田誠・川端鋭憲・池浦博美・玉置雅彦, 「オゾンマイクロバブル処理が植物 2 種の生育に異なる影響を及ぼす要因の解析」, 2016.12

7) 日本土壌肥料学会 (仙台大会), 藤原俊六郎・蜷木朋子・朽本信彦・吉田誠・小沢聖, 「水熱分解液肥の成分特性」, 東北大学, 2017.09

(2) 亜臨界水処理有機液肥を用いた地域循環型栽培システムの確立

- 1) 日本土壌肥料学会（東京大会），七夕小百合・小沢聖・藤原俊六郎，「野菜残渣水熱分解液肥が作物生育に及ぼす影響」，東京農工大，2014.09
- 2) 日本土壌肥料学会（中部大会），堂本晶子・服部侑・原正之・藤原俊六郎，「野菜残渣水熱分解液肥の利用条件の検討」，福井県敦賀市，2014.11
- 3) 農業施設学会，堂本晶子，「未利用有機資源の地域循環型栽培システムの構築」，岩手大学，2015.09
- 4) 日本土壌肥料学会（京都大会），七夕小百合・小沢聖・藤原俊六郎，「野菜残渣水熱分解液肥が作物生育に及ぼす影響（第2報）」，京都大学，2015.09
- 5) 日本土壌肥料学会（関東支部会），大池新二郎・七夕小百合・小沢聖・藤原俊六郎・玉置雅彦，「植物残渣水熱分解液肥の施用方法がチンゲンサイの生育に及ぼす影響」，東洋大板倉キャンパス，2015.11.28
- 6) 日本土壌肥料学会（佐賀大会），蜷木朋子・小沢聖・竹迫紘・藤原俊六郎，「水熱分解液肥のリン酸肥料としての効果」，佐賀大学，2016.09
- 7) 日本土壌肥料学会中部支部会（名古屋市），堂本晶子・原正之・小沢聖・藤原俊六郎，「野菜残渣水熱分解液肥の利用条件の検討（第2報）」，名古屋大学，2017.03
- 8) 日本土壌肥料学会（仙台大会），蜷木朋子・小沢聖・七夕小百合・藤原俊六郎，「水熱分解液肥の窒素、リン酸の効果」，東北大学，2017.09
- 9) 日本土壌肥料学会（仙台大会），七夕小百合・岡部勝美・蜷木朋子・小沢聖・藤原俊六郎，「水熱分解液肥がコマツナの生育に及ぼす影響」，東北大学，2017.09
- 10) 日本土壌肥料学会（中部支部大会），堂本晶子・原正之・小沢聖・藤原俊六郎，「野菜残渣水熱分解液肥の利用条件の検討（第3報）」，富山市，2017.10
- 11) 日本土壌肥料学会（関東支部会），若林万由香・蜷木朋子・藤原俊六郎・玉置雅彦，「水熱分解液肥の土壌中における窒素の変化」，日本大学，2017.11
- 12) 日本土壌肥料学会（関東支部会），土田直希・蜷木朋子・小沢聖・藤原俊六郎・七夕小百合，「水熱分解液肥がイネの生育及び収量に及ぼす影響」，日本大学，2017.11

3. 国内外シンポジウム等

(1) 国内シンポジウム等

- 1) 生態工学会（特別講演），藤原俊六郎・小沢聖・鈴木千夏・七夕小百合・朽本信彦・玉置正彦，「水の力でゴミを肥料に」，明治大学黒川農場，2015.06
- 2) アグリビジネス新技術説明会，藤原俊六郎，「水熱分解技術で有機性廃棄物から作物栽培用液体料をつくる」，科学技術振興機構，2017.11
- 3) 日本土壌肥料学会（関東支部会），藤原俊六郎，「都市近郊農業における有機資源リサイクル」，日本大学，2017.11
- 4) 茨城大共同研究報告会，七夕小百合，「水熱分解液肥の紹介」，茨城大，2018.3.7

(2) 国際シンポジウム及び学会

- 1) Suzuka Ozawa, Hiromi Ikeura and Masahiko Tamaki. Selection of the most effective cultivar of genus Zinnia flowers for phytoremediation of oilcontaminated soil. ,2nd International

Conference on Environmental Science and Technology.アンタルヤ（トルコ）.2014.05

2) K.Ozawa, Liquid fertilizer subcritical water produced from agricultural and animal waste, Workshop on Joint project "Recycling-based agricultural production system in upland farming areas of Northern China", 2016.03.02

3) H. Ikeura, S. Ozawa and M. Tamaki. Varietal Differences in Zinnia hybrida for remediation in oil-contaminated soil. 25th International Conference Ecology & Safety. Conference Program. P5. ブルガス（ブルガリア）. 2016.06.25.

4) 小沢聖；ウランバートルにおける有機性廃棄物の利用、モンゴル国連携環境シンポジウム、札幌市、2016.07.25～29

5) 藤原俊六郎；有機性廃棄物の農業利用、中日土壤肥料技術交流会、安徽省農業科学院（合肥市）、2016.10.09

6) 藤原俊六郎；「明治大学の取り組む研究（水熱分解の利用）」、中日交流シンポジウム、西南林業大学生態旅游学院（昆明市）2016.10.12

(3)ホームページなど

1) 明治大学ホームページ（http://www.meiji.net/magazine/study/vol38_shunrokuro-fujiwara）
「研究最前線 水の力でごみを肥料に」、

4. 特 許

1) 藤原俊六郎・小島嘉富・大門浩之・長谷川克久・熱田洋一・鈴木邦彦・朽本信彦，「液状肥料の製造方法と肥料化システム」（特願 2014-119323），2014 年 6 月 10 日

2) 藤原俊六郎・小沢聖・朽本信彦・長谷川克久・鈴木邦彦・小島将揮，「液肥の製造方法」（特願 2017-150228），2017 年 8 月 2 日

5. 外部資金の獲得状況

1) 玉置雅彦（主査）；企業共同研究「施設栽培にて生産した野菜の品質調査」、2015

2) 玉置雅彦（主査）；企業委託研究「ミトコンドリア活性による植物育成促進装置の開発に関する研究」、2014

3) 藤原俊六郎（分担）；愛知県循環型社会形成推進事業「水熱処理による高タンパク未利用資源（獣害およびその加工残渣）の高品質液状肥料化事業」、愛知県、2014

4) 小沢聖（主査）；食料生産地域再生のための先端技術展開事業「クラウドを利用した養液土耕栽培支援システムの開発」、復興庁・農水省、2013～2015

5) 小沢聖（主査）；攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業「ハウス土壌除塩のための養液土耕栽培自動制御システムの開発」、生物系特定産業技術支援センター、2014～2015

6) 岡部勝美；「NFT によるレタス類栽培に関する研究」、学術研究奨励寄付、2013

第7章 検討会及び情報交換会

1. 研究グループ打ち合わせ

(1) 2014 年度研究計画検討会

日時；2014 年 5 月 20 日、 場所；黒川農場、 出席者；8 名
内容；全体の研究計画確認と 2014 年の研究計画を検討した。

(2) 2014 年度進捗状況検討会

日時；2014 年 12 月 8 日、 場所；黒川農場、 出席者；8 名
内容；各担当から 2014 年の研究進捗状況を報告した。

(3) 2014 年度成績検討会

日時；2015 年 3 月 30 日、 場所；黒川農場、 出席者；8 名
内容；2014 年度の研究とりまとめ結果と次年度の計画を検討した。

(4) 2015 年度計画検討会

日時；2015 年 6 月 12 日、 場所；黒川農場、 出席者；9 名
内容；これまでの進捗状況を報告し、2015 年度の計画を検討した。

(5) 2015 年度中間検討会

日時；2015 年 10 月 22 日、場所；黒川農場、 出席者；15 名

(6) 2015 年度成績検討会

日時；2015 年 12 月 21 日、場所；黒川農場、 出席者；8 名
内容；中間検討会に向けたこれまでの成果と今後の研究計画を検討した。

(7) 中間検討会

日時；2016 年 1 月 15 日、場所；黒川農場、 出席者；23 名
内容；これまでの成績を報告し、外部委員の評価を受けた。

(8) 試験方法検討会

日時；2016 年 5 月 23 日、場所；黒川農場、 出席者；4 名
内容；各機関でそれぞれ実施している液肥の土壌培養試験方法を検討した。

(9) 沖縄土壌による試験打ち合わせ

日時；2016 年 6 月 3 日、場所；沖縄県石垣島市、 出席者；6 名
内容；沖縄県の特徴ある土壌として 4 地点を選定し、土壌採取を依頼した。

(10) 2016 年度中間検討会

日時；2016 年 11 月 4 日、場所；黒川農場、 出席者；13 名
内容；これまでの成果と課題について検討した。

(11) 試験方法検討会

日時；2016 年 12 月 1 日、場所；三重県農業研究所、 出席者；3 名
内容；水熱分解液肥に含まれる腐植物質の測定方法と測定試料について検討した。

(12) 2016 年度成績検討会

日時；2017 年 3 月 6 日、場所；黒川農場、 出席者；14 名
内容；2016 年度の成績と最終年度に向けての取り組みを検討した。

(13) 試験方法検討会

- 日時；2017年5月11日、場所；神奈川県農業技術センター、出席者；4名
内容；液肥の用途拡大として土壌還元消毒技術の実施方法を検討した。
- (13) テーマ1とりまとめ方法検討会
日時；2017年7月25日、場所；名古屋市、出席者；4名
内容；共同研究企業と研究テーマ1のとりまとめ方法を検討した。
- (14) 2017年度成績検討会
日時；2018年1月11日、場所；黒川農場、出席者；22名
内容；これまでの成績と研究とりまとめについて検討した。
- (15) テーマ2とりまとめ方法検討会
日時；2018年1月29日、場所；黒川農場、出席者；5名
内容；関係機関によりテーマ2のとりまとめ方法を検討した。
- (16) マニュアル作成検討会
日時；2018年3月23日、場所；黒川農場、出席者；20名
内容；液肥製造マニュアルと栽培マニュアル作成の考え方について検討した。

2. 外部機関との研究打ち合わせ

(1) 水熱分解によるイノシシの液肥化について

日時；2014年6月16日、場所；愛知県庁環境部資源循環推進課
出席者 明治大学、豊橋技術科学大学、愛知県庁環境部資源循環推進課、
フジムラインベント(株)、(株)小桝屋
内容；愛知県をはじめ、全国では鳥獣害の対策が重要な課題となっているが、愛知県において被害の著しいイノシシの、食肉に使用不可能な廃棄部分を使用して水熱分解により液肥を製造し、農地に還元する可能性について意見交換した。

(2) 亜臨界水処理による腐植構造の変化について

日時；2014年10月10日、場所；神戸大学農学部
出席者 明治大学、神戸大学農学部生命機能化学科、三重県農業研究所
内容；亜臨界水領域では、分解と合成が相互に生じる複雑な変化が生じ、腐植様物質が変化することが想定される。神戸大学は腐質物質の化学構造変化解析では高い実績があり、高温高压下における腐植物質変化について意見交換した。

(3) 亜臨界水処理液肥の製造方法に関する打ち合わせ

日時；2014年12月24日、場所；橋下水道局中島処理場
出席者；明治大学、豊橋技術科学大学、フジムラインベント(株)
内容；豊橋技術科学大学では、国土交通省の助成を得て豊橋下水道局中島処理場に、下水汚泥や生ごみを亜臨界水処理し、処理液をメタン発酵して電気エネルギーに変換する実験プラントを稼働させ、実用化研究を行っている。水熱分解液肥の製造方法について意見交換した。

(4) 水熱分解液肥の水稲栽培への適用について

日時；2015年7月22日、
場所；茨城大学農学部附属フィールドサイエンスセンター
出席者；明治大学、茨城大学農学部

内 容；水熱分解液肥の水稲作に対する施用効果について、茨城大と共同研究を実施することとした。

(5)その他の国内外自治体や企業との連携

- ①2016年5月9日、福島県いわき市、水熱分解処理による廃棄物処理について
- ②2016年12月19日、コンサル企業・製造企業、水熱分解装置導入の要件について
- ③2017年4月17日、コンサル企業、水熱分解処理技術の利用方法について。
- ④2017年5月15日、情報企業、水熱分解処理技術の有機性廃棄物処理について。
- ⑤2017年6月2日、製造企業、水熱分解処理技術の利用方法について。
- ⑥2017年6月6日、モンゴル国のPRECOM社、モンゴル国における食品廃棄物の水熱分解液肥化事業について
- ⑦2017年6月26日、コンサル企業、水熱分解処理技術の利用方法について。
- ⑧2017年6月27日、製造企業、水熱分解処理技術の有機性廃棄物処理について。
- ⑨2017年7月25日、製造企業、水熱分解処理技術の有機性廃棄物処理について。
- ⑩2017年11月28日、食品企業、水熱分解処理技術による液肥製造について。
- ⑪2017年12月13日、製造企業、水熱分解処理技術の有機性廃棄物処理について。
- ⑫2018年1月16日、運輸企業、水熱分解処理技術の有機性廃棄物処理について。
- ⑬2018年1月31日、中国新疆の企業、水熱分解液肥の農業利用について
- ⑭2018年3月16日、金融企業、水熱分解処理技術の有機性廃棄物処理について。

3. ワークショップ

(1)国内ワークショップ(沖縄市石垣市)

目 的 サトウキビバガスの亜臨界水処理材料としての利用可能性評価

日 時 2015年2月2日(月)～2015年2月4日(水)

場 所 国際農林水産業研究センター熱帯島嶼研究拠点(石垣市)ほか

出席者 明治大学黒川農場 小沢 聖・藤原俊六郎

フジムラインベント(株)朽本社長、(株)小樹屋 鈴木部長

内容

① 国際農林水産業研究センター(JIRCAS)熱帯島嶼研究拠点

JIRCAS 熱帯島嶼研究拠点の圃場で栽培しているサトウキビの視察をした。高糖量のものから、バイオマス生産量の高い物まで多様なサトウキビが栽培され、品種開発も進んでいる状態が見られた。その後、圃場のライシメーターを用いて、亜臨界水処理液肥の栽培試験を行うことについて安藤象太郎PJリーダー、後藤慎吉主任研究員と意見交換した。

② 石垣島精糖(株)

石垣島製糖工場は2～4月の3ヶ月間砂糖を製造している。製糖方法の概要紹介を受けた後、製造工程を視察した。石垣島精糖(株)加納成浩社長・蔵盛之元部長とバカス(搾汁残渣)の有効利用の方法について意見交換した。

③ かわみつ農園(石垣市登野城2242)

アセロラやパパイヤを栽培している「かわみつ農園」の栽培現場を視察し、熱帯果樹の土壌管理と施肥について調査し、川満哲生園主と亜臨界水処理液肥の導入の可能性について意見交換した。

(2) 国際ワークショップ(フィリピン共和国)

目 的 フィリピン共和国における亜臨界水処理によるゴミ処理技術支援

日 時 2015 年 2 月 22 日(日)～2015 年 2 月 25 日(水)

場 所 フィリピン共和国 ネグロス島 サガイ市およびバコロド市

出席者 明治大学黒川農場 小沢聖（ファシリテーター）・藤原俊六郎

(株)小樹屋・鈴木邦彦・フジムラインベント(株)長谷川克久

フィリピン共和国農業省土壌・水管理 Sumuel Contreras 土壌保全部部長、Teresita

内容

① サガイ市役所における意見交換

サガイ市役所を訪問し、Alfredo D. Maranon III 市長と会談して明治大学の進める「亜臨界水処理による有機性廃棄物肥料化」研究の概要を紹介し、サガイ市へ導入の可能性について意見交換した。市長は処理時間の速さとランニングコストが安価であることに強い興味を示し、具体的なデータを送ってくれるよう要請された。

② 製糖工場における亜臨界水処理の活用

サガイ中央製糖工場を訪問し、Primitivo G. Rivera, Jr. 社長と会談し、明治大学の有機性廃棄物処理計画概要を紹介した。施設見学後、サトウキビの砂糖抽出残渣（バカス）の肥料化について意見交換したが、現状バカスは 100%燃焼によるエネルギー回収しており、肥料利用には環境問題を含めたメリットを確認する必要があると感じられた。

③ 農園における亜臨界水処理の活用

バコロド市で大規模に園芸を営んでいるペナロサ農園を訪問し、社長と面談し、意見交換した。明治大学の実施している亜臨界水処理による蛋白質分解効果に強い興味を示し、亜臨界水処理により羽毛を飼料化するビジネスを検討したいので、明治大学を訪問したいとのことであった。

④ バコロド市役所における意見交換

バコロド市役所を訪問したが、市長用急用のため、Ma.Fep.Trespuentes 市長補佐官と会談した。市内のゴミの発生量の説明を受けた後、バコロド市の廃棄物処理利用の可能性について意見交換した。有機性廃棄物の亜臨界水処理は新技術として関心があり、経済効果を検討したいとのことであった。

⑤ バコロド市のごみ処理状況調査

バコロド市内の魚や野菜の市場を訪問し、廃棄物の処理状況を調査した。市内には 4 市場があり、視察した市場では 1 日 3 回の清掃が行われ、日量 10～15 トンの廃棄物が発生している。バコロド市からは 1 日 50 トン以上のゴミが市場から排出され、家庭ゴミを含めると 1 日 250 トン程度が排出されている。さらに、バコロド市のゴミ終末処理場（埋め立て地）を視察した。ここではゴミの中から有価物を探し生活している人々数百人が活動しており、市民生活の格差を強く感じた。