

吸引通気式堆肥化システムで回収された硫安液肥を用いた
飼料用イネ生産に関する研究

Effect of liquid ammonium sulfate fertilizer recovered by
ammonia-collecting equipment on the growth and yield of forage rice

2013

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物生産科学専攻
(山形大学)

森田昌孝

目 次

第 1 章 緒論

1-1 本研究の社会的背景	1
1-2 本研究の技術的背景	4
1-3 本研究の目的と構成	5

第 2 章 吸引通気式堆肥化システムで回収した硫安液肥が飼料用イネ の生育および収量に与える影響

2-1 はじめに	17
2-2 材料および方法	18
2-3 結果	20
2-4 考察	23
2-5 要約	32

第 3 章 吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安の基肥施用 がイネの生育と収量に与える効果

3-1 はじめに	33
3-2 材料および方法	34
3-3 結果	36
3-4 考察	38
3-5 要約	51

第 4 章 吸引通気式堆肥化システムから回収された硫安液肥の水口施用が水稻の生育および収量に与える影響

4-1 はじめに	52
4-2 材料および方法	53
4-3 結果	55
4-4 考察	56
4-5 要約	69

第 5 章 吸引通気式堆肥化システムに使用する未利用反応剤の活用およびその反応試験

第 1 節 吸引通気式堆肥化システムに天然由来の酸を用いた場合の臭気低減および回収効率への影響

5-1-1 はじめに	70
5-1-2 材料および方法	71
5-1-3 結果	73
5-1-4 考察	75
5-1-5 要約	89

第 2 節 吸引通気式堆肥化システムに濃縮した天然由来の酸を用いた場合の臭気低減および回収効率への影響

5-2-1 はじめに	90
5-2-2 材料および方法	91
5-2-3 結果	93
5-2-4 考察	95
5-2-5 要約	105

目次

第 6 章 総合考察

6-1 研究背景の整理	106
-------------	-----

6-2 本論文の到達点と今後の課題	107
-------------------	-----

6-3 総括	110
--------	-----

Summary	114
---------	-----

本論文の要約	120
--------	-----

謝辞	124
----	-----

引用文献	127
------	-----

第 1 章 緒 論

1-1 本研究の社会的背景

世界人口は 2050 年に 100 億人を超えると予測されている（石川ら 2011）（Fig1-1）（農林統計協会 2011, FAOSAT2010）. 特に新興国における人口増加は目覚ましく, その食糧需要から国際的な穀物価格についても高まりをみせている. それに伴い, 穀物生産資材である化学肥料についても価格上昇の傾向がみられ, 硫安においては 1993 年から約 2 倍となり（肥料経済研究所 2012）, その国内価格は上昇すると見込まれている（Fig1-2）（農林統計協会 2011a, 農林水産省 2009）. このような国際的な穀物価格や原材料価格の変動の中, 不安定ながらも輸入に依存してきた我が国の畜産は, その飼料自給率が 26%と極めて低い水準となっている（Fig1-3）（中野 2011）. 今後は飼料原料となる穀物輸入を安定的かつ低コストに継続できる確証が期待できないものと考えられている. そのため地域資源を活用していくことによって飼料自給率を向上させることが求められている（農林水産省 2005）.

一方, 消費者の食生活の変化や多様な趣向から 1975 年では約 90kg/年あった米の消費量は, 2008 年では約 60kg/年と減少している（Fig 1-4）（農林統計協会 2011b, 2011c）. それに伴い, 水田面積についても 1975 年に 280 万 ha であったものが, 2009 年では 170 万 ha と約 40%減少し, 農業所得の減少にもつながっている. また, 基幹的農業従事者の高齢化に伴い, 遊休水田や耕作放棄地は 2010 年では 40 万 ha に達し（農林水産省 2010）, 国土の新たな利活用が模索されている（小山 2009）.

その利活用の一つとして新規需要米の活用が広がりつつある. 2009 年に施行された「米穀の新用途への利用の促進に関する法律」においても, その

重要性が確認され、米粉や飼料用米として米の新たな活用の追い風となりつつある。新規需要米の畜産的利用としては、飼料用米などの飼料用イネをあげることができる。飼料用イネは水田機能や生産技術を活用しながら、家畜の飼料を生産することが可能であることから、飼料自給率の向上に貢献するものとして期待されている（吉田 1999，浦川 1999，千葉 2002，稲発酵粗飼料推進協議会 2002，細田ら 2004，金谷 2007，上垣ら 2010）。このような水田での飼料増産が求められる中（河本ら 2009）で、近年、急激な伸びを示す飼料用米の生産量は 2008 年に 0.9 万 t であったものを（Fig1-5）（農林水産省 2011），2010 年 3 月に閣議決定された食料・農業・農村基本計画では 2020 年に 70 万 t を目標（農林水産省 2010a）とし、今後は積極的な生産が見込まれる。それらを支える技術として、専用品種の育成，省力的かつ低コストな生産技術および新しい調製・給与技術の開発等が進められている（蔡ら 2003，徐ら 2007，日本草地畜産種子協会 2012）。

国民の消費カロリーは 1970 年では米穀中心の摂取形態から近年では油脂類や肉類へと変遷してきた（農林水産省 2012）。それに伴い、家畜飼養頭数が増加し、畜産公害という新たな問題が生じてきている。畜産に起因する環境問題についてみると、その苦情件数の総数はいずれの畜種についても減少し、1993 年では 2,861 件、2011 年では 1,260 件と報告されている（農林水産省 2012a）。しかし、農家 1 戸当たりの発生件数は年々増加し、苦情件数ではブタ、乳牛、ニワトリの順に多くなっている（Fig1-6）（農林統計協会 2010）。特に、悪臭に関係する苦情件数は、畜産に対する苦情全体の 57.4% を占めて最も多く、悪臭発生の低減が強く求められている。

これら悪臭発生の原因として、畜産業の大規模化に伴って、狭い限られた地域に多量のふん尿が集積することにより、適切な処理が困難となり、地域的な環境汚染が進む傾向を指摘することができる。家畜排せつ物は古くは有

機質肥料として利用され、地域内での資源循環が維持されてきたが（横内ら 2006）、このような畜産経営の規模拡大や偏在化に伴って有効利用されないばかりか、不適切な処理がみられるようになってきた。このような背景から環境汚染防止と利用拡大を目的とした「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が制定され、2004 年 11 月から完全施行されている。

1960 年での家畜排せつ物の総量は 4,600 万 t であり、現在はその約 2 倍の 9,000 万 t と見積もられる（Fig1-7）（農林統計協会 2010a, 農林水産省 2012a）。そのうち、家畜ふん尿中の窒素量は約 65.4 万 t と推定されるが、その 15～20%である 14 万 t 程度は堆肥化などの過程で大気中にアンモニアとして揮散すると推定されている（農林水産省 2012a）。これは 2009 年国内農業生産における硫安や尿素など窒素質肥料の消費量である 43.1 万 t（FAO SAT 2010）の 20%に匹敵すると見積もることが可能であり、資源の流失とみなすことができる。

また、アンモニア揮散は、悪臭苦情のみならず、大気汚染や土壌の酸性化の原因（Möller と Schiefferdecker 1985）となっており、EU においては国別排出上限指令によりアンモニアの排出基準が設定されている（Hyde ら 2003）。特にオランダは「ミネラル会計制度、MINAS」を導入し、系外に放出され、過剰な窒素損失となった場合に課徴金が徴収される制度もみられる（渡辺 2004）。これらアンモニアは資源であり、有効に活用していくことが重要である。

このようなことから、将来にわたり畜産物を安定的に生産し、供給し続けるためには、輸入に頼ることなく、環境負荷を抑え、地域内の生態系と調和した持続的な土地利用型畜産へと転換していくことが必須であると考えられ（平野 2008）、家畜ふん尿を利用した飼料用イネの栽培は、資源循環を強

化する点で、その拡大に期待が寄せられている（勝俣ら 2009）。

1-2 本研究の技術的背景

家畜ふん尿の有効活用は資源循環の推進や肥料費の削減に不可欠であるが、肥料成分利用を目的とする場合、生ふん尿や堆肥は成分当たりの容積、重量が大きく、そのままでは運搬して利用するには効率が悪い。堆肥化過程で発生するアンモニアは化学肥料の重要な窒素源であり、アンモニアを堆肥化過程で回収・資源化することは、環境汚染の抑制、処理コストの低減化や循環型農業の観点から好ましいと考えられる。

一般的な堆肥化処理方法であるホイールローダーなどの大型建設機械による切返し式およびファンで空気を圧送する圧送通気式では、そのまま堆肥表面を開放するため、両方式ともに堆肥中に含まれているアンモニアが大気中に揮散する（阿部ら 2007）。

これに対し、堆肥の底部からファンで空気を吸引する吸引通気式堆肥化は堆肥の表面から揮散するアンモニアを低減し、堆肥底部の吸引配管内にアンモニアを含んだ空気を収集できるため、アンモニア揮散抑制が容易になる。そのため、臭気対策として今までに行われてきた脱臭法である土壌脱臭、活性炭、樹木残渣、戻し堆肥脱臭などに比べ、堆肥底面から吸引された発酵排気中に含まれる高濃度アンモニアガスを効率的に低減可能である（阿部ら 2003, 2003a）。但し、このような高濃度のアンモニアガスは薬液洗浄方式でなければ処理・回収が困難である。この薬液洗浄方式によるアンモニアを回収する原理は、アルカリ性のアンモニアガスと酸性の薬液（リン酸や希硫酸溶液）を接触させて、化学反応によりリン酸アンモニウムや硫酸アンモニウム（以下、回収硫安、Fig1-8）などの安定した液肥として回収すると同時

に、アンモニアの系外放出を抑制させうるものである。

この吸引通気式堆肥化方法を臭気対策として検討する場合、市販の工業用スクラバを活用する方法もあるが、畜産農家への導入を考慮すると、可能な限り簡易で低コストとなる装置にする必要がある。そこで、市販の樹脂容器や塩ビ製の配管材料、薬液ポンプ、ヒータ、断熱材等を組み合わせた簡易スクラバが畜産草地研究所（阿部ら 2006, 2006a）によって開発された。この吸引通気式堆肥化方法の簡易スクラバ脱臭装置（以下、吸引通気式堆肥化システム）（Fig1-9, 10）は、圧送通気式に比べ高濃度のアンモニアガスが排出され（福重ら 2004）、それを効率よく回収する能力を有しており、臭気対策にも活用できる。

しかし、その反応により作り出される回収硫安は植物の生長に不可欠な窒素成分含量を多く含む一方で、回収硫安の積極的な活用がなければ吸引通気式堆肥化システムの安定的な稼働において、制限要因となる一面を有している。その回収硫安の利用を円滑に進めるためには、農作物、特に本研究において注目した飼料用イネへの利用を促す必要があると考えられる。飼料用イネへの利用は、堆肥から発生するアンモニアを回収し、それを飼料用イネの肥料として活用可能であり、得られた子実や稲わらを飼料として家畜に給与することが可能である。これにより未利用窒素を中心とした価値のある資源循環につながるといえる。

1-3 本研究の目的と構成

硫酸アンモニウム溶液である回収硫安は、窒素肥料としての可能性を有しており、堆肥の成分調整や液肥としての活用が期待できる。しかし、回収硫安の用途は、現段階においては限定的であるとともにその肥料としての有

効性については未解明な部分が多く、栽培試験を行った報告等（農業・食品産業技術総合研究機構（編）2009a, 2010）は多くない。

さらに、硫酸は劇薬であるため 労働安全衛生法（施行令別表 3 特化物）や毒物および劇物取締法（第 2 条劇物）、消防法（第 9 条の 3 届出を要する物質）によって制限されるとともに、回収された回収硫安の一時貯留、栽培地への搬送方法、施用方法などの補完技術が不十分なため、利用範囲・規模が限られていることが課題であると考えられる。

このような課題を受け、本論文においては 4 つの試験を実施することにより課題解決の一助となることを目的とした。まず、第 2 章では、吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安を飼料用イネと食用イネの追肥として用い、施肥水準を変えることにより、その施肥効果を明らかにした。次いで、第 3 章においては、回収硫安の利用を飼料用イネの基肥にも活用できるかを検討した。第 4 章においては、回収硫安を実規模で圃場に散布した際に、問題となる均一散布の手法について、4 つの処理区を設けて比較検討した。第 5 章では、吸引通気式堆肥化システムの課題となる反応剤を硫酸やリン酸などの工業製品由来の酸ではなく、天然由来の酸の活用を検討した。第 1 節では、天然由来の酸として、有機酸、強酸性泉水を用いて、第 2 節では、反応効果の改善と減容化を目的とし、天然由来の酸の濃縮が臭気低減効果ならびに窒素回収能力に与える影響を明らかにすることを目的とした。最終章においては、今後の技術的な方向性や問題点を踏まえて、総合的な考察を行った。

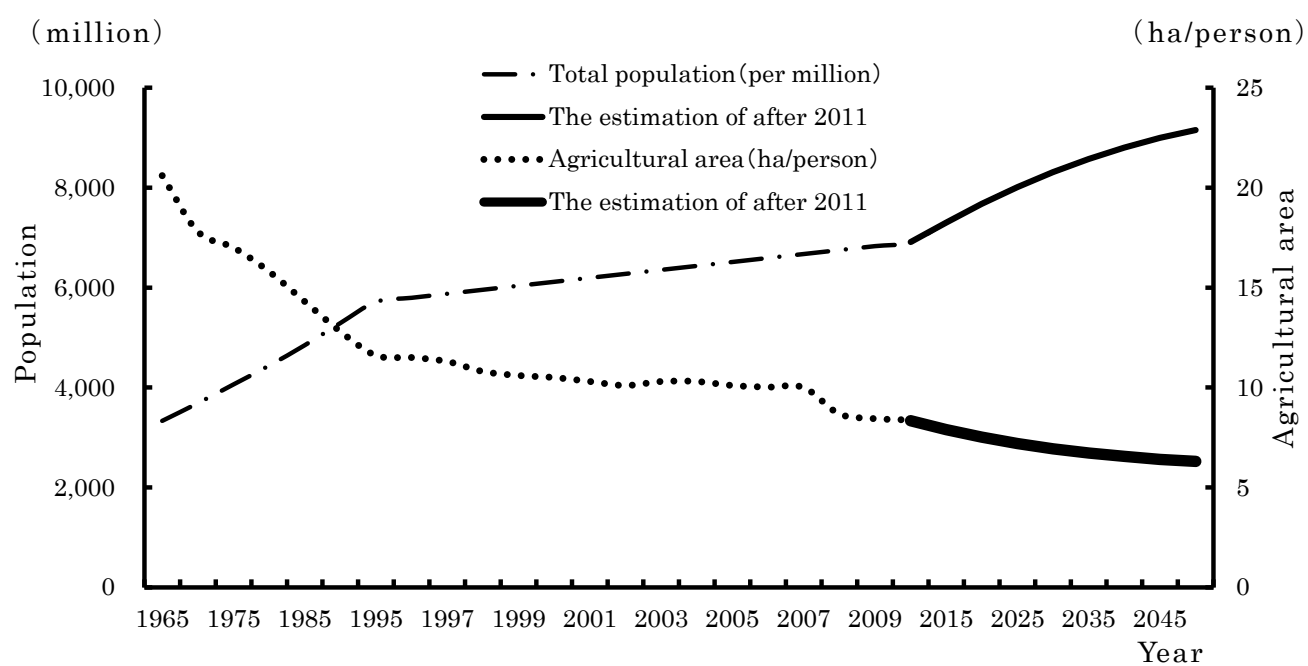


Fig1-1. Prospect of World population and agricultural area per person.

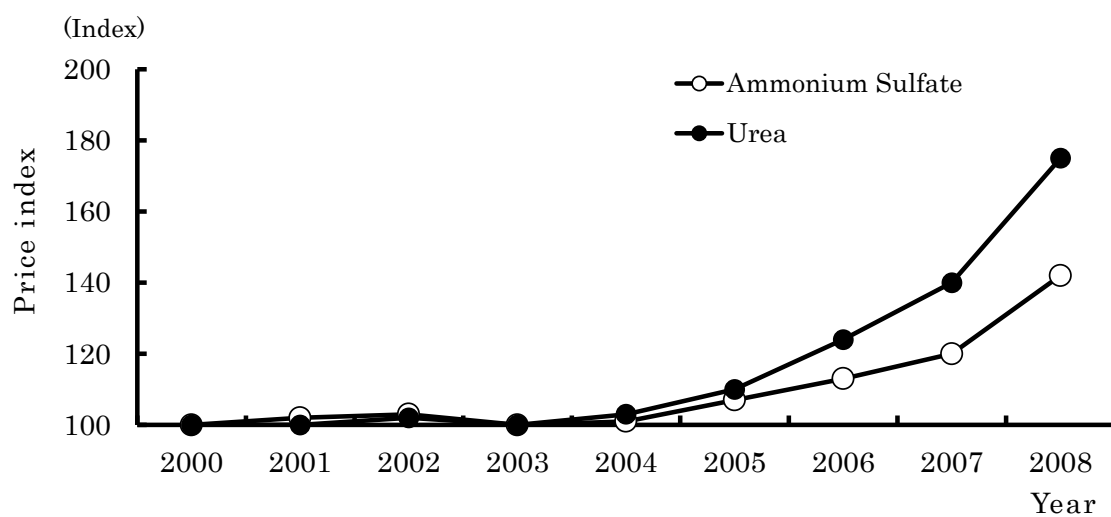


Fig1-2. Changes in the price of ammonium sulfate and urea.

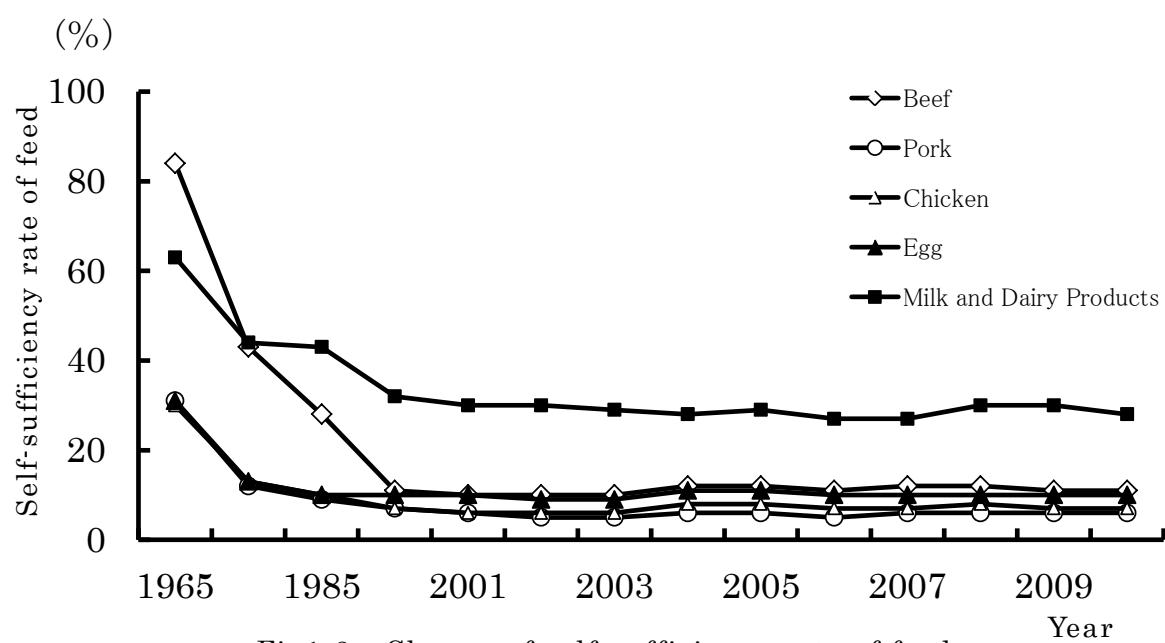


Fig1-3. Change of self-sufficiency rate of feed.

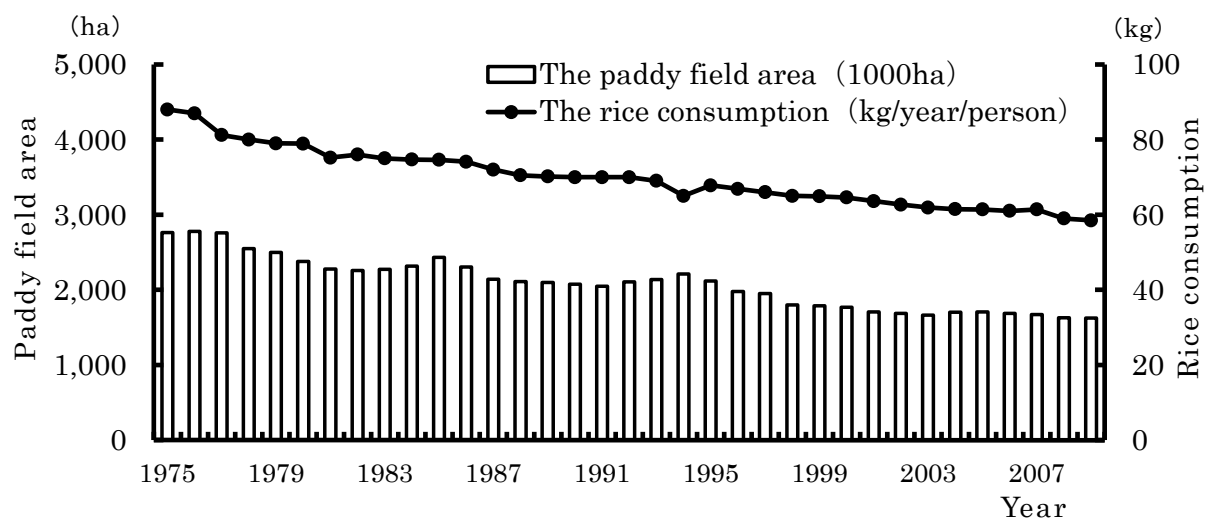


Fig1-4. Changes of the paddy field area and rice consumption.

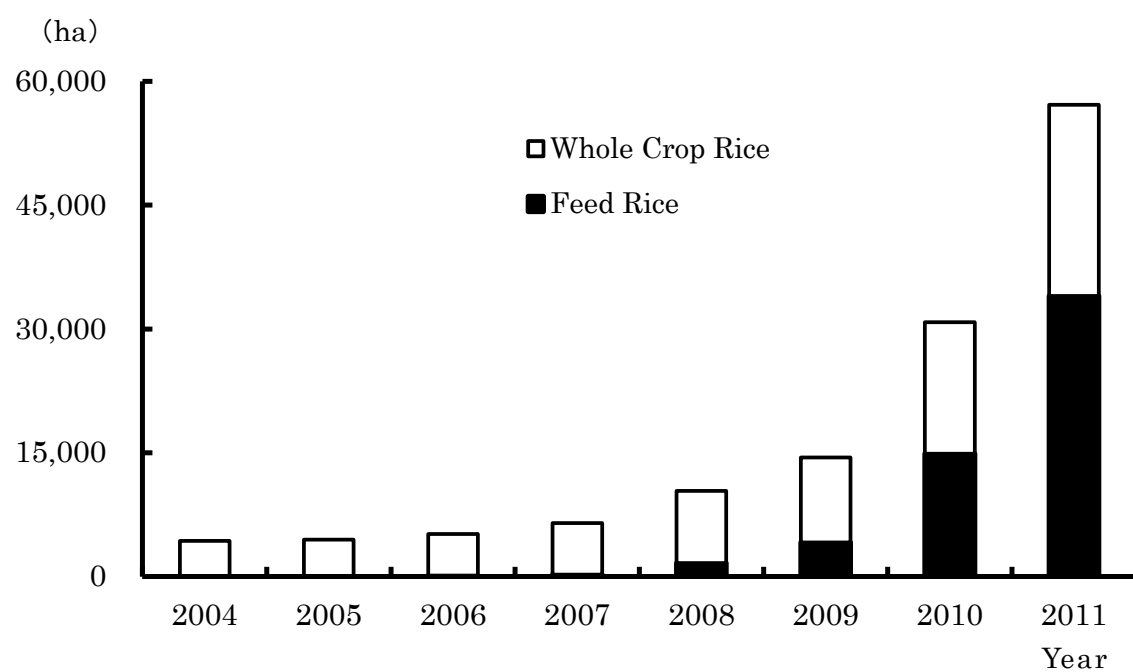


Fig1-5. Planted area of rice for whole crop silage and feed rice.

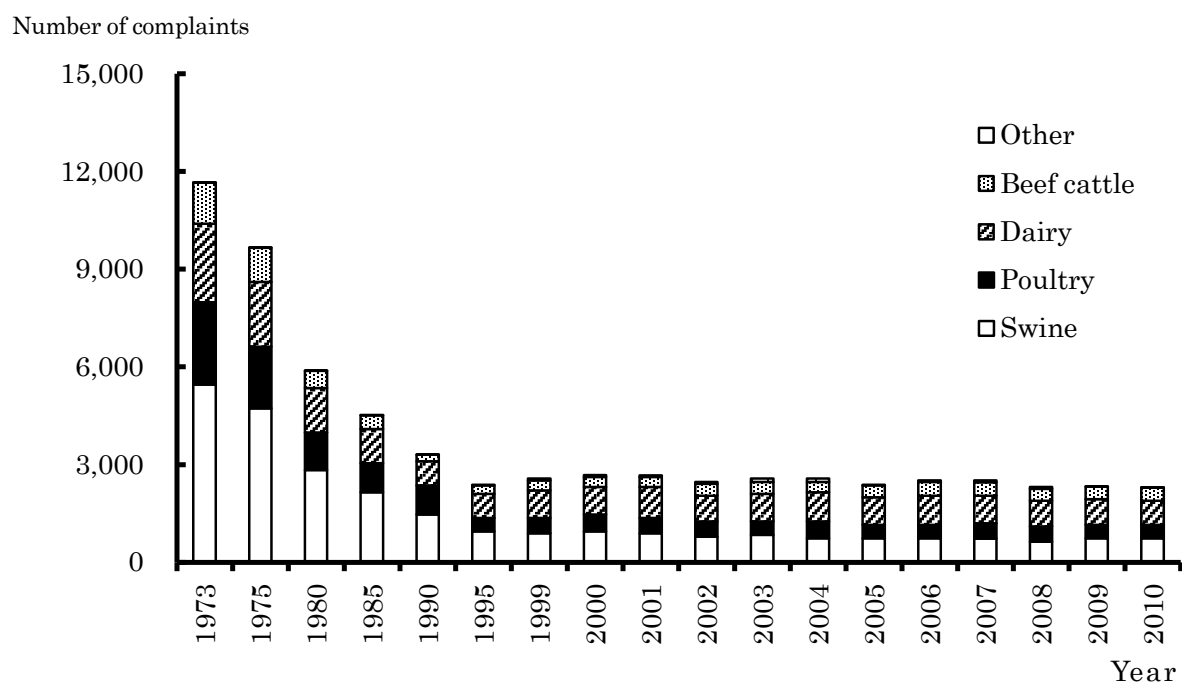


Fig1-6. Number of complaints about livestock management.

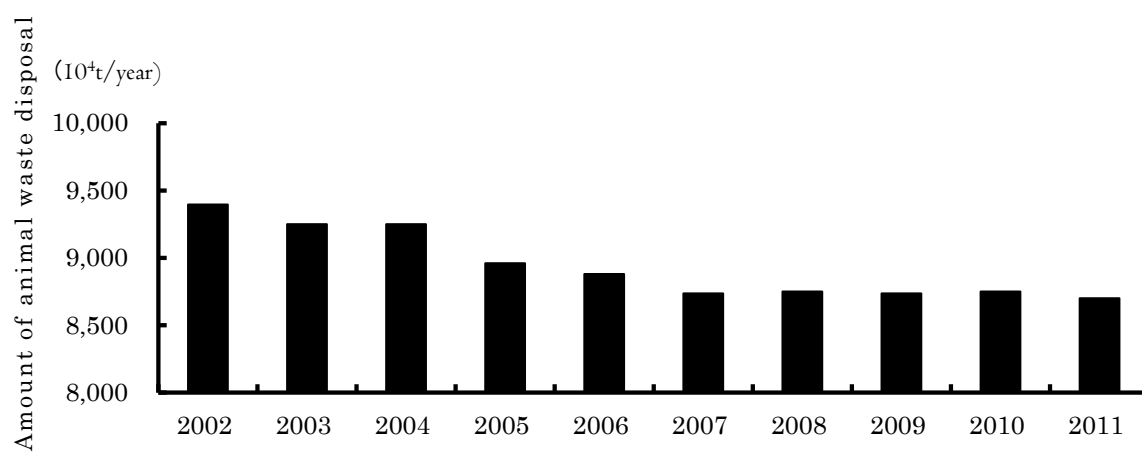


Fig1-7. Amount of animal waste disposal.



Fig1-8. Collected ammonium sulfate.

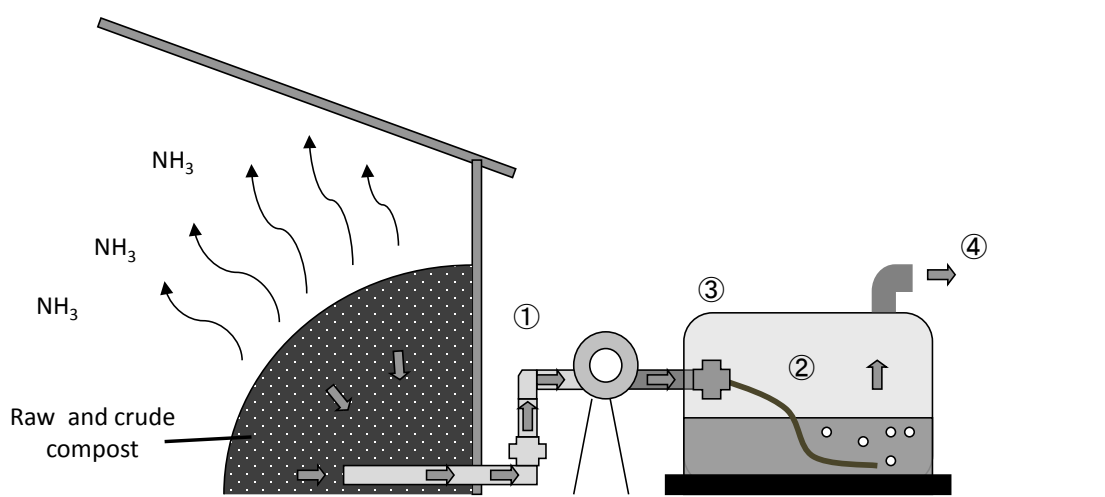


Fig1-9. Schematic diagram for the conversion of ammonia to liquid ammonium sulfate fertilizer.

Sulfuric acid solution (30%) and high concentration of ammonia reacted in reaction tank , generation of liquid ammonium sulfate fertilizer.

①Ammonia collecting equipment

②Chemical reaction

(Ammonia and sulfuric acid react chemically to form ammonium sulfate)

③Reaction tank

④Exhaust



Fig1-10. Ammonia collecting equipment.

第2章 吸引通気式堆肥化システムで回収した硫安液肥が飼料用イネの生育および収量に与える影響

2-1 はじめに

畜産由来の環境汚染防止と家畜から排せつされるふん尿の利用拡大を目的としての「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が制定され、2004年11月から完全施行された。それに伴い、畜産から排出された堆肥は畑地のみならず水田においても利用が促されている。

堆肥は家畜の敷料として利用される基材や畜種により、その肥効や成分は大きく異なっており、堆肥の生産者である畜産農家は成分特性を把握し、安定した品質の堆肥を生産・供給する必要があるが、堆肥成分の特性を把握することは容易ではない（牛尾ら2004）。肥効や特性を考慮せずに堆肥施用を続けると土壌養分が次第に過剰となり、農産物の品質や収量の低下、時には地下水の硝酸態窒素汚染を招く恐れもある（堀越ら2007、原ら2008）。そのため、堆肥の肥効やその特性を把握した施肥設計が必要となる。しかし、その算出は容易ではなく、堆肥熟度と肥効との関連性を明らかにする多くの研究が行われてきた（福光ら1996、小柳と安藤2001、古谷2003、池田ら2006）。このように堆肥の利用は細密に肥料成分を制御する必要がある作物栽培においては不向きな面もみられる。

本研究における吸引通気式堆肥化システムから得られた回収硫安は、堆肥中の高濃度のアンモニアと硫酸を反応させていることから市販硫安と成分組成が類似している（伊藤ら2006）。回収硫安をイネ栽培に用いることが可能となれば、窒素成分も計算により容易に算出することができ、その肥効についても堆肥と比較し、即効性があり細密な作物栽培においても利用が可能であると考えられる。

そこで本章ではイネ栽培における化学肥料の代替としての回収硫安の特性を明らかにするため、回収硫安を食用イネおよび飼料用イネの追肥に用い、施肥水準を変えて栽培し、生育と収量へ及ぼす影響について調査した。

2-2 材料および方法

1. 供試イネと栽培概要

供試イネは食用イネ品種「はえぬき」と飼料用米専用品種「ふくひびき」および飼料用米・稲発酵粗飼料用イネ兼用品種「べこあおば」の3品種を供試した。それぞれの供試イネの種子は催芽後、2009年4月14日にヒドロキシイソキサゾール・メタラキシル殺菌剤（タチガレエース、三井化成アグロ（株）、東京）を育苗箱土壤に均一に混和後、育苗箱に播種し、育苗器にて育苗した。それらの苗を2009年5月20日に山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場の試験圃場 5.3a に幼苗移植した。移植間隔は条間 24cm、株間 23cm とした。1 株あたりの移植本数は 4～5 本とした。

2. 基肥施肥水準設計と試験区での追肥設計

基肥は全区共通で、牛ふん堆肥 2t/10a、化成肥料（富印、燐安加里（窒素（N）：リン酸（ P_2O_5 ）：カリ（ K_2O ）＝13%：13%：13%）、住友化成（株）、東京）を窒素成分（以下、N 成分）で 5kg/10a となるように全層施肥した。追肥に用いた肥料のうち、慣行区については N 成分を基準として一般栽培と比較するため基肥と同様な肥料を供した。本試験に供試した回収硫安は、（独）農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所にて吸引通気式堆肥化装置およびスクラバを用いて回収した硫安液肥（pH7.3、N 成分含量 7.1%）を用いた。

追肥は幼穂形成期を基準とした次の 4 水準に設定した。幼穂形成期については分解調査を行うことにより判定を行った。1) 慣行区：化成肥料を出穂 25 日前に 1 回施肥・N

成分 3kg/10a. 2) 少肥区：回収硫安を出穂 25 日前に 1 回施肥-N 成分 3kg/10a. 3) 中肥区：回収硫安を出穂 25 日前および 出穂 5 日後にそれぞれ N 成分 3kg/10a を施肥-N 成分 6kg/10a. 4) 多肥区：回収硫安を出穂 25, 10 日前および出穂 5 日後にそれぞれ N 成分 3kg/10a を施肥-N 成分 9kg/10a. 出穂日は各品種全株のうち 80%に出穂が確認された日とした. 追肥方法は慣行区ではイネの上部から均等になるように散布し, 回収硫安は落水後, イネの株元に直接滴下散布した.

3. 試験区設計と調査株

供試品種 (1 品種につき 1,440 株) は PVC 樹脂性波板で 12 区画に区分し (1 区画面積 6.6 m²), 施肥水準 (慣行区, 少肥区, 中肥区, 多肥区) は 3 反復×4 水準のユーデン方格法にて設計した. 調査株は各区画につき連続した 10 株とし, 生育と収量の調査を行った.

4. 調査項目と調査方法

生育調査は移植後毎月 1 回行った. 調査項目は草丈, 茎数および葉色 (葉緑素計 SPAD-502, コニカミノルタ (株), 東京) とした. 最終の生育調査については刈り取り直前に行った. 調査項目は草丈, 茎数, 葉色 (SPAD 値), 稈長および穂長とした. 葉色測定は追肥直前および追肥後 6~8 日の間に行い, 水稻の止葉または最上位葉を用いて, 葉身中央部分を 3 回測定し, その平均値をデータとした.

収量調査のための調査株は完熟期に, 地際から約 5cm の部分を刈り取った. その後, 区画ごとに 10 株ずつ調査株をまとめ, ガラスハウス内で米麦水分計 (ライスター-f, ケット科学研究所 (株), 東京) での値が 15%程度になるまで自然乾燥させ, その後脱穀し, 脱ふを行った. 調査項目は地上部全重, 穂数, 籾重, わら重, 粗玄米重, 玄米千粒重および玄米粗タンパク質 (以下, 玄米 CP 含量) とし, 化学分析については常法 (倉田と林 1971) にて測定した.

5. 調査結果の比較方法と統計処理

調査から得られたデータは施肥水準の違いによる影響を比較した。生育調査は各調査日における施肥水準を要因とする一元配置の分散分析を行い、収量調査は品種と施肥水準を要因とする二元配置分散分析法を行った。それらの施肥水準で有意差が認められた場合に Tukey 法にて処理区間の多重検定(エクセル統計 2008, 社会情報サービス(株), 東京)による解析を行った。検定結果は分散分析では危険率 5%および 1%, 多重検定では 5%有意水準で有意差を比較し、有意な差がみられた結果についてのみ、アルファベットによる異符号およびアスタリスクを図 (Figure) および表 (Table) 中に記述した。

2-3 結 果

試験地から最も近い、鶴岡市のアメダスデータ(気象庁 2010)から作成した 2009 年と過去 10 年間の平均気温および日照時間の変化を Fig2-1 に示した。2009 年は過去 10 年間と比較し、平均気温では 7 月, 8 月, 9 月において低く推移し、日照時間においても 7 月, 8 月において低く推移した。

Table2-1 に品種ごとの生育結果を示した。本試験での各品種の生育時期は「はえぬき」と「ふくひびき」が同等であり、「べこあおば」が幼穂形成期, 黄熟期において 12 日, 収穫日で 11 日程度, 「はえぬき」, 「ふくひびき」に比べ生育が遅くなった。

Fig2-2 に草丈の経月的変化を示した。いずれの品種においても 8 月 19 日(移植 90 日後)の調査日まで直線的に増加し、その後緩やかに推移した。8 月 19 日(移植 90 日後)において「ふくひびき」では中肥区と多肥区が, 「べこあおば」では中肥区が高い値を示した ($p < 0.05$)。最終調査日では各品種とも処理の違いによる顕著な違いはみられなかった。

Fig2-3 に茎数の経月的変化を示した。「はえぬき」は初期の増加が著しかったが、そ

の後緩やかに推移した。いずれの品種においても、最終調査日には顕著な違いがなかったが、8月19日（移植90日後）では「はえぬき」において中肥区と多肥区が慣行区に比較して、「ふくひびき」と「べこあおば」では中肥区が慣行区と比較して良好な値を示した（ $p < 0.05$ ）。

Fig2-4 に葉色（SPAD 値）の経月的変化を示した。「はえぬき」と「ふくひびき」の値はほぼ同様に推移した。7月21日（移植60日後）と8月19日（移植90日後）では「はえぬき」と「ふくひびき」で中肥区と多肥区が他の2処理区より高かった（ $p < 0.05$ ）。「べこあおば」は8月19日（移植90日後）において中肥区と多肥区で慣行区と比較し SPAD 値が高くなった（ $p < 0.05$ ）。調査最終日にはいずれの品種においても多肥区が最も高い値を示した（ $p < 0.05$ ）。

Table2-2 に収穫時（完熟期）における異なる施肥水準が各品種の生育特性に与える影響を示した。草丈および茎数は施肥水準が同じ慣行区と少肥区で同程度となり、いずれの品種においても中肥区と多肥区が全般的には良好な値であった。葉色を示す SPAD 値はすべての処理区において追肥回数の増加とともに高くなり、多肥区が慣行区に比べ有意に高い値となった（ $p < 0.05$ ）。稈長は3品種ともに短稈品種であることから短い傾向であった。「べこあおば」の稈長は 60cm 程度となり、育成地での移植栽培成績（全国飼料増産行動会議 2009）である 70cm に比較して短かった。「はえぬき」、「ふくひびき」の稈長は中肥区で長くなる傾向を示したが、「べこあおば」では施肥水準の影響がなかった。穂長は「はえぬき」、「べこあおば」では施肥水準による大きな影響がなく、「ふくひびき」では中肥区が慣行区に比べおよそ 20%長くなった（ $p < 0.05$ ）。

異なる施肥水準が各品種の収穫後の収量特性に及ぼす影響を Table2-3 に示した。穂数は、「はえぬき」が3品種の中で最も多く（ $p < 0.01$ ）、中肥区で 318 本/m²、多肥区で 389 本/m²となり、処理区間の差は有意差がないものの他の品種に比較して大きくなった。「ふくひびき」と「べこあおば」では処理区間における規則的な違いがなかった。倒伏程度は、すべての品種において処理区間の違いが確認できず、0 となった。地上部

第2章

全重は、「はえぬき」、「ふくひびき」で中肥区と多肥区が慣行区と少肥区に比べ10%程度増加したが、有意な差ではなかった。「はえぬき」の中肥区では飼料用イネである2品種に匹敵する収量を確保できた。「べこあおば」では回収硫安を施用した区が、慣行区と比較して20%程度多くなり、中肥区(1,472kg/10a)が最も多くなった。粗玄米収量は、飼料用イネ2品種が「はえぬき」よりも多く($p<0.05$)、追肥回数を増やすと収量が増加した。特に飼料用イネ2品種では処理によっては750kg/10a以上の収量があった。供試品種すべてにおいて中肥区と多肥区が慣行区と少肥区に比べ多くなったが、有意な差ではなかった。玄米千粒重は、品種間で有意な差が確認され、「べこあおば」が多かった($p<0.01$)。また、各品種とも処理区間に大きな違いがなかった。粳収量は粗玄米収量と同様の傾向がみられ、「はえぬき」に比較して飼料用イネ2品種の収量が多かった($p<0.01$)。処理区間では「はえぬき」と「べこあおば」の中肥区、「ふくひびき」の多肥区が最も多くなる傾向となった。わら収量は、粗玄米収量および粳収量と異なり、「はえぬき」が「ふくひびき」、「べこあおば」よりも多くなった($p<0.01$)。処理区間では各品種とも中肥区と多肥区の収量が多くなったが、有意な差ではなかった。粳/わら比は3品種の中で「べこあおば」が1.7以上となり、最も高くなった($p<0.01$)。「はえぬき」、「べこあおば」では処理区間に有意な差がなかった。「ふくひびき」では有意な差ではないものの追肥回数を経るごとに増加し、多肥区で最大となった。玄米CP含量は、「はえぬき」、「ふくひびき」では中肥区と多肥区が慣行区と少肥区に比べ有意差はないものの多くなった。特に多肥区で8.0%を超える結果となった。「べこあおば」では回収硫安を施用した3処理区が慣行区と比べて高い傾向を示し、特に多肥区については有意な差はないものの8.4%と最も高くなった。

2-4 考 察

本試験における各品種の生育では、「はえぬき」、「ふくひびき」、「べこあおば」の熟期が一般的に中生の晩，中生の中，中生の晩（中込ら2005，新野2009）であることから、「はえぬき」と「べこあおば」の熟期は同程度となり、「ふくひびき」が最も早期となることが想定されていたが、「はえぬき」と「ふくひびき」の熟期が同程度になり、「べこあおば」が最も遅れるという結果となった．これは2009年の7～8月に日照時間が少なく，平均気温が低い期間が続き（農業環境技術研究所2009），耐冷性に優れる「はえぬき」（新野2009）に比較し，耐冷性に劣る「ふくひびき」，「べこあおば」（中込ら2005）の生育が低温により遅延したことが原因として推察された．

施肥水準では耐倒伏性が高く，多肥栽培に適する（農業・食品産業技術総合研究機構（編）2009）とされる飼料用イネ品種での多くの調査項目において中肥区が良好な値となる一方で多肥区がやや劣る結果となった．

東北地方における飼料用イネの一般的なN肥料の施肥は水稻慣行栽培の1.6～2倍程度（農業・食品産業技術総合研究機構（編）2009）とされている．本試験ではN成分を慣行区と比較した場合，多肥区で1.8倍，中肥区で1.4倍となったが，中肥区を超えた追肥回数の増加は効果的でないことが推察された．

「はえぬき」、「ふくひびき」の少肥区と慣行区，「べこあおば」ではすべての処理区で7月の調査日におけるSPAD値が減少した．これはN肥料が少量であったことにより葉緑体含量の増加が少なく，N成分が多い他の処理区で増加したことが考えられた．また，「べこあおば」は耐冷性が低いことから，7月では肥料に関係なく葉緑体含量の増加が抑制されたことが考えられた．

初期における茎数および草丈は「はえぬき」が著しい増加を示す一方で，他の品種の増加は緩かであった．これは，食用イネ品種である「はえぬき」の品種特性である早生

短稈や施肥反応性の高さ（大山 2001）が関連している可能性がある。

収量調査において、食用イネ品種である「はえぬき」は回収硫安の追肥の増加に伴い地上部全重が飼料用イネ品種に匹敵する結果となった。生産圃場において飼料用イネを栽培する場合、異品種混入のリスクが生じるため、それらの回避を望む地域での「はえぬき」と回収硫安の活用が期待できると考えられた。一方、穂重型品種でもある「ふくひびき」、「べこあおば」（農林水産技術会議 2009）は「はえぬき」に比べ、回収硫安の追肥回数の増加に伴い、地上部全重、わら収量の増加が少なく、籾収量や粗玄米収量が増加することが明らかになった。

一般的に飼料中の粗タンパク質含量が高い場合は飼料としての価値が高いとされている。飼料用米の生産・給与技術マニュアル（農業・食品産業技術総合研究機構（編）2009）では、「ふくひびき」、「べこあおば」の玄米 CP 含量は 6.1%と報告されている。本試験の結果では追肥回数の増加、すなわち N 成分施肥量の増加に伴い玄米 CP 含量は増加する傾向がみられ、特に多肥区においてはすべての品種で 8%以上となり、トウモロコシに匹敵する値となった。このことから玄米 CP 含量 8%程度を維持するには 6kg/10a 以上の回収硫安を追肥することが飼料用イネへの利用には必要かもしれない。

本試験の結果から、多くの調査項目において中肥区と多肥区との差がわずかであった。このことから追肥作業労力や窒素資源の有効活用の点を考慮すると飼料用イネの追肥には中肥区が効果的であると考えられた。さらに、慣行区と少肥区の間には顕著な差がないことや追肥回数の増加に伴って、収量が増加していることから回収硫安は化学肥料の代替肥料として活用できることが示唆された。

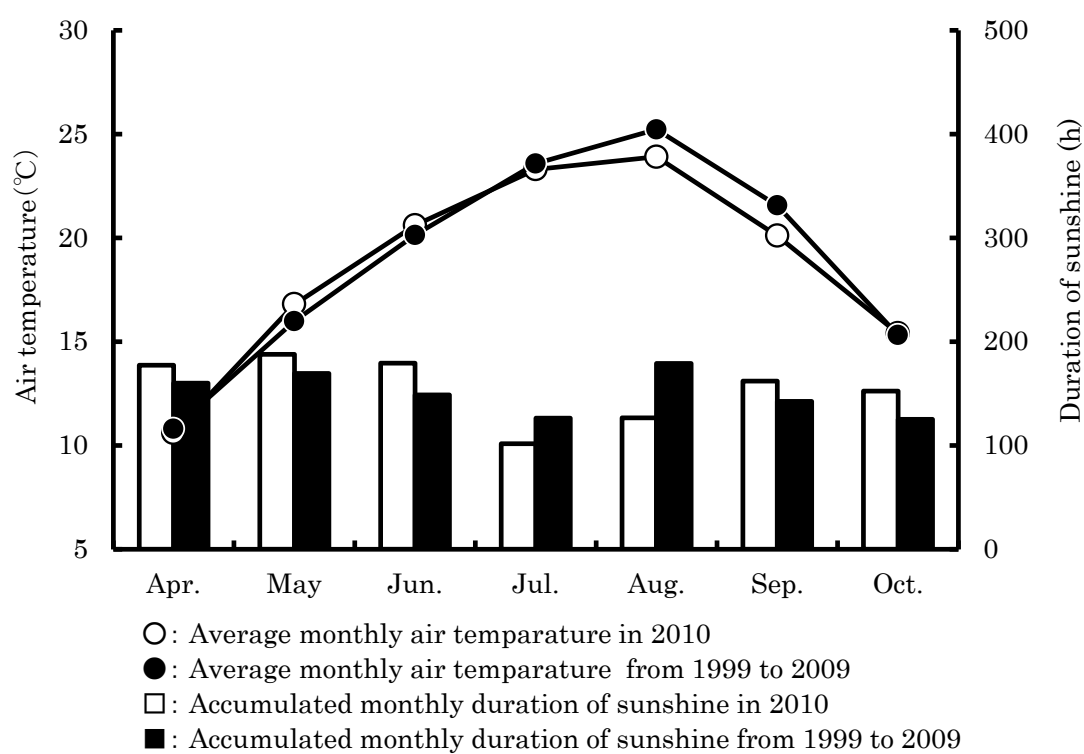


Fig. 2-1 . Meteorological data near the experimental field in 2009 and from 1998 to 2008 drawn from automated meteorological data acquisition system in Tsuruoka city.

Table 2-1. Growth stages of each rice varieties.

	Haenuki	Fukuhibiki	Bekoaoba
Panicle formation stage	4 Jul.	4 Jul.	16 Jul.
Heading date	29 Jul.	29 Jul.	10 Aug.
Full-heading stage	31 Jul.	1 Aug.	12 Aug.
Full-ripe stage	22 Sep.	22 Sep.	4 Oct.
Harvest date	24 Sep.	24 Sep.	5 Oct.

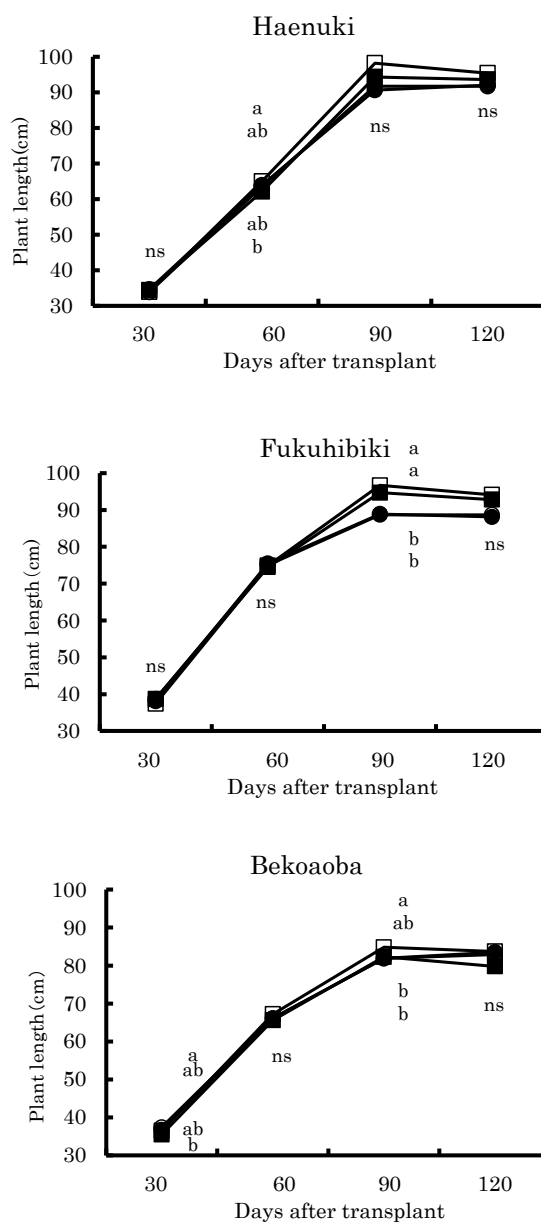


Fig2-2. The chronological change of plant length.

CF-● ; Chemical fertilizer-top dressing 1 times-3kg N/10a.

SF-○ ; Small amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 1 times-3kg N/10a.

MF-□ ; Moderate amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 2 times-6kg N/10a.

LF-■ ; Large amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 3 times-9kg N/10a.

a,b,c Means different letters were significant different ($p < 0.05$).

ns ; not significant.

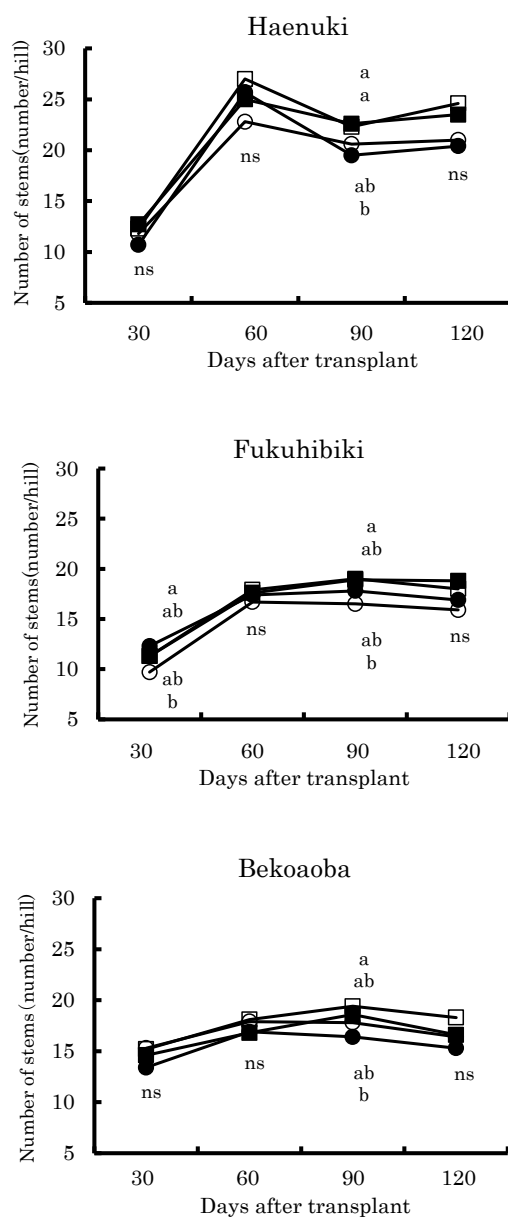


Fig2-3. The chronological change of number of stems.

CF-● ; Chemical fertilizer-top dressing 1 times-3kg N/10a.

SF-○ ; Small amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 1 times-3kg N/10a.

MF-□ ; Moderate amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 2 times-6kg N/10a.

LF-■ ; Large amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 3 times-9kg N/10a.

a,b,c Means different letters were significant different ($p < 0.05$).

ns ; not significant.

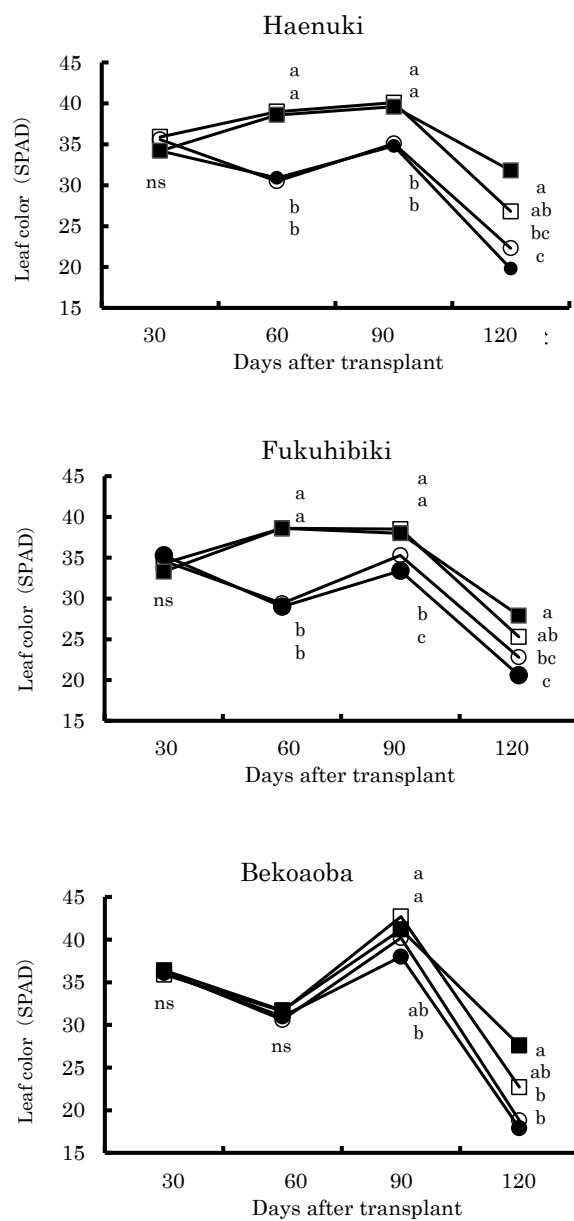


Fig2-4. The chronological change of leaf color.

CF-● ; Chemical fertilizer-top dressing 1 times-3kg N/10a.

SF-○ ; Small amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 1 times-3kg N/10a.

MF-□ ; Moderate amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 2 times-6kg N/10a.

LF-■ ; Large amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 3 times-9kg N/10a.

a,b,c Means different letters were significant different ($p < 0.05$).

ns ; not significant.

Table2-2. Effect of fertilizer application rate on growth character of the paddy rice.

	Haenuki				Fukuhibiki				Bekooba				ANOVA		
	CF	SF	MF	LF	CF	SF	MF	LF	CF	SF	MF	LF	V	F	V×F
Plant length (cm)	92.0	91.7	95.4	93.6	88.1 ^b	88.7 ^{ab}	94.1 ^a	92.8 ^{ab}	83.5	82.9	83.7	79.8	**	*	ns
Number of stems (number/hill)	20.4	21.0	24.6	23.5	16.9	15.9	18.0	18.8	15.3	16.4	18.3	16.6	**	*	ns
Leaf color (SPAD)	19.8 ^c	22.3 ^{bc}	26.8 ^{ab}	31.8 ^a	20.4 ^b	22.8 ^{ab}	25.3 ^{ab}	27.9 ^a	17.9 ^b	18.8 ^b	22.7 ^{ab}	27.6 ^a	**	**	ns
Culm length (cm)	77.5	76.4	79.1	77.7	71.6	68.4	75.0	74.8	60.5	59.4	60.8	56.4	**	ns	ns
Ear length (cm)	16.4	16.9	16.8	17.4	15.5 ^b	16.4 ^{ab}	19.4 ^a	18.5 ^{ab}	19.2	19.1	20.2	19.1	*	ns	ns

CF ; Conventional fertilizer ; Chemical fertilizer-top dressing 1 times-3kg N/10a.

SF ; Small amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 1 times-3kg N/10a.

MF ; Moderate amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate - top dressing 2 times- 6kg N/10a.

LF; Large amounts of fertilizer; collected ammonium sulfate-top dressing 3 times-9kg N/10a.

^{a,b,c}Means in a row with different superscripts differ significantly $p < 0.05$.

ANOVA; analysis of variance V; variety F; fertilizer V×F; interaction

* ; $p < 0.05$, ** ; $p < 0.01$ (ns ; not significant).

Table 2-3. Effect of fertilizer application rate on yield character of the paddy rice.

	Haenuki				Fukuhibiki				Bekoaboba				ANOVA		
	CF	SF	MF	LF	CF	SF	MF	LF	CF	SF	MF	LF	V	F	V×F
Hill of rice (number/m ²)	340	331	318	389	278	261	265	261	250	278	269	284	**	ns	ns
Lodging(0-5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
Weight of whole tops(kg/10a)	1344	1356	1523	1513	1411	1338	1555	1613	1170	1345	1472	1416	ns	ns	ns
Rough brown rice yield (kg/10a)	579	589	712	679	660 ^{ab}	622 ^b	777 ^{ab}	816 ^a	615 ^b	716 ^{ab}	795 ^a	751 ^{ab}	*	**	ns
Thousand kernel weight(g)	24.1	23.6	23.9	23.4	28.6	25.0	25.4	25.3	33.7	33.7	34.5	34.5	**	ns	ns
Unhulled rice(kg/10a)	706	716	856	822	779	733	910	972	732	848	941	890	**	ns	ns
Straw weight(kg/10a)	638	640	667	691	633	605	645	641	438	496	531	526	**	ns	ns
Grain straw ratio	1.1	1.1	1.3	1.2	1.2	1.2	1.4	1.5	1.7	1.7	1.8	1.7	**	ns	ns
Brown rice CP(%)	7.7	7.4	8.0	8.0	7.2	7.2	7.8	8.1	7.4	7.8	7.7	8.4	ns	ns	ns

CF ; Conventional fertilizer ; Chemical fertilizer-top dressing 1 times-3kg N/10a.

SF ; Small amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate-top dressing 1 times-3kg N/10a.

MF ; Moderate amounts of fertilizer ; collected ammonium sulfate - top dressing 2 times- 6kg N/10a.

LF; Large amounts of fertilizer; collected ammonium sulfate-top dressing 3 times-9kg N/10a.

The lodging tolerance was assessed in a scale of 0-5.

^{a,b,c}Means in a row with different superscripts differ significantly $p < 0.05$.

ANOVA; analysis of variance V; variety F; fertilizer V×F; interaction

* ; $p < 0.05$, ** ; $p < 0.01$ (ns ; not significant).

2-5 要 約

堆肥化過程で発生するアンモニアを硫酸で回収した硫安液肥（回収硫安）を飼料用イネの追肥に用い，生育および収量に与える影響を調査した．「はえぬき」，「ふくひびき」，「べこあおば」を供試し，追肥水準として次の 4 つを設け，試験を行った．慣行区には化成肥料を 3kgN/10a（追肥 1 回），少肥区には回収硫安を 3kgN/10a（追肥 1 回），中肥区には回収硫安を 6kgN/10a（追肥 2 回），多肥区には回収硫安を 9kgN/10a（追肥 3 回）施肥した．葉色は多肥区が慣行区に比べ 50%程度高い値となった（ $p < 0.05$ ）．また，草丈，茎数および稈長は中肥区と多肥区が慣行区と少肥区に比べ高い傾向となった．地上部全重および粗玄米重では中肥区と多肥区が慣行区と少肥区に比べ 15%程度多くなった．以上より，回収硫安は飼料用イネの追肥に利用可能であり，6kgN/10a の中肥区が，最も有効であることが示唆された．

第 3 章 吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安の基肥施用が イネの生育と収量に与える効果

3-1 はじめに

吸引通気式堆肥化システムは堆肥から発生するアンモニアを硫酸溶液中で薬液脱臭させ、硫酸アンモニウム溶液（以下、回収硫安）を生成するというものである。この手法で得られた回収硫安は液体であるため、水田に施肥する場合、水口から追肥施用する方法が最も効率的であることから、それらを想定した試験が行われている（崎尾と小森 2007）。前章（森田ら 2012）においても、水稻栽培における回収硫安の追肥による効果を明らかにしたが、追肥での窒素の施用量は基肥と比較して少ないため、より物資循環につなげるには施用量の多い基肥での利活用を検討することが好ましい。

一方、河川や湖沼の水質汚濁防止（辻 2000）、肥効の改善（金田 1994）を目的として移植時に水稻の稚苗根圏に直接施肥する側条施肥の取り組み事例が増えつつある（湯浅ら 1986）。側条施肥に使用する肥料の形態は粒剤とペースト状があり、後者の場合、天候に影響を受けない田植えの実施（高橋ら 1997）、初期生育の確保などの利点（高橋 1993）から兼業農家や中山間地域での需要は少なくない。さらに、代かき水の放出がないため、湖沼や水系の富栄養化防止上から有効な施肥技術（湯浅ら 1986）とされ、環境保全型農業として近年注目されている。

そこで、本章においては上記のような利点を持つ側条施肥ペースト肥料の原料に回収硫安を利用した回収硫安ペースト肥料（以下、回収硫安ペースト）を作製し、基肥施肥した場合の飼料用イネおよび食用イネの生育と収量に及ぼす影響について解明することを目的とした。

3-2 材料および方法

1. 供試イネと栽培概要

供試イネは飼料用イネ品種「ふくひびき」および「べこあおば」と食用イネ品種「つや姫」の 3 品種を供試した。

飼料用イネ品種については、東北地方が栽培適地である 2 品種とし、「つや姫」については、回収硫安を食用イネにも利用するために供試した。それぞれの供試イネの種子はベノミル殺菌剤（ベンレート水和剤，住友化学（株），東京）で浸種消毒後に，セルポット苗箱に播種し，育苗した。播種は 2010 年 4 月 14，15 日に行った。その後，覆土と殺菌剤（タチガレエース，三井化学アグロ（株），東京）を混合し，それらの苗を 2010 年 5 月 18 日に山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場の試験圃場 5.3a に移植した。移植間隔は条間 0.24m，株間 0.24m であった。移植した苗は 4～5 葉の稚苗を用い，それを 1 株とした。そのうち，3 条-7 列の 21 株を基本単位（以下，プロットという）とし，中央部 5 株を調査対象株とした。プロットは基肥 4 種，追肥 2 種と 3 反復の合計 24 プロット設けた。24 プロットは市販畔波板で 6 プロットずつ 4 分割し，基肥散布後に基肥区内の 6 つある各プロット外周に，同様の畔波板を設置して，追肥 2 種を交互に配置した。最終的な移植株数は 1 品種 9 条-56 列，合計 504 株であった。

2. 試験区での基肥と追肥における施肥設計

全区共通で，牛ふん堆肥を 2t/10a 施肥した。本試験では基肥肥料として，慣行肥料（庄内専用有機 020 号，片倉チッカリン（株），東京，窒素含量；10%），市販ペースト（ネオペースト 1 号，片倉チッカリン（株），東京；窒素含量；12%），回収硫安（窒素含量；5.9%w/w，pH；7.1，EC；20.2 mS/m，

炭素含量；0.01%), 回収硫安ペースト（窒素含量；5.2%w/w, pH ; 5.8, EC ; 18.0mS/m, 炭素含量；6.3%）の 4 処理区を設けた．回収硫安ペーストは粉碎モチ米，水，回収硫安を容積比で 1 : 3 : 5 となるよう混合して加熱し，粘度を高めたものを用いた（Fig3-1）．追肥は回収硫安，市販硫安（硫酸アンモニア，窒素含量；21%）の 2 処理区を設定した．各施用量のうち，基肥は施肥窒素量がいずれも 5kg/10a となるよう移植時に施用した．ペースト肥料は土中の根域へ注入する側条施肥とし，その他は表層施肥した．追肥は施肥窒素量で 6kg/10a を 2 回に分け施肥し，出穂前追肥は出穂約 14 日前である 7 月 15 日，出穂後追肥は出穂後 5 日目に行った．追肥はいずれの肥料も稲体に付着しないように株元に直接滴下散布した．

3. 調査項目と調査方法

苗移植後の 6 月 17 日から 2 週間ごとに葉の緑色の濃さを示す葉色（葉緑素計 SPAD-502, コニカミノルタ（株），東京）（以下，SPAD 値）および茎数と草丈を測定した．さらに稲収穫直前には SPAD 値，茎数，草丈のほかに稈長および穂長も測定した．SPAD 値は，水稻の止葉または最上位葉を用いて，葉身中央部分を 3 回測定し，その平均値を求めた．

収量調査のため，完熟期に地際から約 5cm の部分で刈り取り，ガラスハウス内で保管した．その後，米麦水分計（ライスタ-f, ケット科学研究所（株），東京）での値が約 15% となるまで自然乾燥させ，脱穀，粃すりした後，地上部重，穂数，粃重，わら重，粃/わら比，粗玄米重，玄米千粒重および玄米粗タンパク質（以下，玄米 CP 含量）を測定した．粗タンパク質の化学分析は AOAC (1990) に従い，ケルダール法（Kjeltec 8100, FOSS ジャパン（株），東京）を用いた．

4. 調査結果の比較方法と統計処理

各処理区のうち、同様の基肥、追肥を行った 3 プロットの調査結果 ($n=3$) から得られたデータは基肥では、回収硫安ペーストを含む 4 種類の基肥による影響の違いを、追肥では回収硫安の影響を市販硫安と比較した。統計処理は基肥と追肥を要因とする二元配置分散分析法で行い、各処理で有意差が認められた場合に Tukey 法にて処理区間の多重検定による解析を行った。検定結果は分散分析では危険率 1%および 5%、多重検定では 5%有意水準で有意差を比較し、有意な差がみられた結果についてのみ、アルファベットによる異符号およびアスタリスクを図 (Figure) および表中 (Table) に記述した。

3-3 結 果

試験地から最も近い、鶴岡市のアメダスデータ (気象庁 2011) から作成した 2010 年と過去 10 年間の平均気温および平均日照時間の変化を Fig3-2 に示した。2010 年は過去 10 年間と比較し、6 月から 8 月の平均日照時間が長く、平均気温も高かった。

Table3-1 に各品種の生育結果を示した。飼料用イネ 2 品種である「ふくひびき」および「べこあおば」の出穂期と完熟期は、食用イネ品種である「つや姫」と比較して、それぞれ 10 日と 2 週間程度早かった。

Fig3-3 から 3-5 に各品種の葉色を示す SPAD 値と茎数の経日的変化および分散分析の結果を示した。「ふくひびき」、「べこあおば」、「つや姫」の SPAD 値は基肥に回収硫安や慣行肥料を施用した場合に比較して市販ペースト、回収硫安ペーストを施用した場合に生育初期で高くなる傾向を示し、特に「ふくひびき」では明らかに高くなった。

茎数において、「ふくひびき」は基肥に市販ペースト、回収硫安ペーストを施肥した場合、生育初期の茎数増加が顕著であった。特に追肥に市販硫安を施用した場合、生育中期から後期においても高い値を示した。「べこあおば」は基肥に市販ペーストを施用すると初期から中期の茎数の増加が最も良好であった。しかし、回収硫安ペーストを施用した場合、初期の茎数はあまり増加せず、全期間を通じて他の基肥を施用した時と同様に推移した。「つや姫」は、基肥による顕著な影響は少なかったが、基肥に市販ペーストを施用すると他の基肥 3 種と比較し高い値を示す場合が多かった。

草丈については生育全般を通じて、基肥と追肥による顕著な影響がみられず、同様の推移を示した（データ未掲載）。

Table3-2 に「ふくひびき」の収量調査の結果を示した。「ふくひびき」の地上部重は基肥にペースト肥料を施用すると慣行肥料と比較し増加する傾向がみられ、その差は有意ではないものの 100kg/10a 以上となった。一方で基肥に回収硫安を施用すると追肥に関係なく最も低い重量となった。基肥に回収硫安ペースト、追肥に回収硫安を施用した栽培では、基肥に慣行肥料、追肥に市販硫安を施用する慣行栽培と比較し、同等程度の重量があった。しかし、基肥に市販ペーストを施用する場合よりは低い重量であった。粗玄米重についても同様の傾向がみられたが有意な差ではなかった。玄米 CP 含量は追肥に回収硫安を施用すると市販硫安と比較して増加した ($p < 0.05$) が、基肥に回収硫安または回収硫安ペーストを施用すると低くなった。しかし、慣行栽培である基肥に慣行肥料、追肥に市販硫安を施用すると 7.7% となり、同等程度であった。

Table3-3 に「べこあおば」の収量調査の結果を示した。地上部重は基肥に市販ペーストを施用した場合、他の基肥と比較して高い値を示す一方で、回収硫安ペーストを施用すると同等ないし、少なくなった。しかし、回収硫

安ペーストと慣行肥料を比較した時，追肥に市販硫安を施用すると増加し，追肥に回収硫安を施用すると同等程度となった．粗玄米重は基肥に回収硫安ペースト，追肥に市販硫安を施用した時の重量が最も大きくなったが，各試験区との間に有意な差はなかった．玄米 CP 含量では，4 種の基肥を施用後に，追肥として市販硫安を施用すると，基肥に回収硫安を施用したものが最も高くなり，基肥に回収硫安ペーストを施用したものが低くなった．一方で追肥に回収硫安を施用した時，基肥に回収硫安ペーストを施用した場合が最も高くなり，基肥に回収硫安を施用すると低くなった．

Table3-4 に「つや姫」の収量調査の結果を示した．地上部重は追肥に市販硫安を施用すると回収硫安に比較し重量が増加した ($p < 0.05$)．粗玄米重および籾重は，追肥で市販硫安を施用すると，基肥に市販ペーストを施用したものが最も増加し，慣行肥料と比較して有意な差があった ($p < 0.05$)．玄米 CP 含量では慣行栽培である基肥に慣行肥料，追肥に市販硫安を施用した場合と基肥に市販ペースト，追肥に回収硫安を施用した時とが 8.5%となり，最大となった．基肥に回収硫安ペーストを施用した場合，追肥に関係なく，他の処理と比較して玄米 CP 含量の増加はみられなかった．

3-4 考 察

吸引通気式堆肥化システムから得られる回収硫安の利用を拡大するには追肥だけではなく，基肥として利用することが重要である。それによりイネ栽培におけるすべての施肥を家畜糞尿処理由来の肥料でまかなえと考えられる。

回収硫安の活用に向けた本試験の結果からは，各品種で市販ペーストなら

びに回収硫安ペーストを基肥で施用すると生育初期の SPAD 値が高くなり、葉色が濃くなった。しかし、一部の品種で生育に伴い、市販ペーストと回収硫安ペーストで SPAD 値が早期に低下する傾向がみられた。高橋ら（1993）は「コシヒカリ」を供試し、肥効の点からペースト側条施肥と硫安表層施肥とを比較した時、肥効が持続しにくかったと報告している。このことから、品種によっては回収硫安ペーストを基肥として選択する場合に、追肥回数を増やすなどの配慮が必要であると考えられた。

本試験に用いた肥料の性状は粒剤から液体とそれぞれ異なっていたことから、その窒素利用率について差があり、草丈に影響を与える（佐藤ら 1993）と考えたが、いずれの品種においても施肥した肥料の違いによる影響は確認できなかった。この理由として、草丈に限り、イネの生育過程での窒素要求の違いが各肥料の肥効発現の差において結果的に同一になったことなどを推測できたが、詳細を明らかにすることはできなかった。

茎数は「ふくひびき」と「つや姫」において基肥に市販ペーストおよび回収硫安ペーストを施用した際の生育初期における茎数の増加が顕著であり、湯浅ら（1986）は初期生育が促されると報告していることから、有効茎数の早期確保につながったと考えられた。これら生育の違いとして、回収硫安と慣行肥料は表層に施肥された窒素成分が時間をかけて根域まで移動する施肥であるのに対し、側条施肥であるペーストは根の根域に直接施肥するため、窒素の吸収が早期に行われたと考えられた。後藤ら（2006）は窒素吸収の早期化により、分けつが促進され、さらには分けつした茎の形成に必要な窒素が葉鞘に移行し、生育が早まることをあげており、本試験においても同様の効果が推察された。

収量においては基肥に市販ペーストや回収硫安ペーストを施用することにより肥効が持続せず、地上部重や粗玄米重に影響を与えると本試験では推

測していた。しかし、生育が早まったことや肥効が低下する適期に追肥を行ったため、慣行肥料を基肥に施用した場合と同等の収量が確保できた。

一方で、回収硫安を基肥に施用した場合、多くの調査項目で他の基肥よりも低い値となった。本試験に供試した回収硫安は硫酸と堆肥過程で発生するアンモニアを反応させて作製したことから市販硫安と類似した肥効を持つと考えられる。上野ら（1991）は市販硫安を水稻に基肥施用すると 6 月末がピークとなり、最終的な利用率は、脱窒、流亡も含め 3 割程度と報告していることを考慮すると、回収硫安を基肥として施用すると窒素成分の利用が限られ、最終的に収量の低下につながると思われた。このことから回収硫安を直接、基肥施用するのではなく、ペースト化処理した後、側条施肥することは窒素の利用率の向上に対して一定程度の効果が期待できると考えられた。

本試験では、基肥の窒素成分含量を 5kg/10a として同一に施肥したが、地上部重では回収硫安をペースト化して、基肥施用した場合、市販ペーストには劣るものの、慣行肥料と同等程度となった。粗玄米重では「ふくひびき」、「べこあおば」の草型は穂重型品種であり、700kg/10a 程度の重量が得られるとされている（農業・食品産業技術総合研究機構，2012）。本試験においても基肥に回収硫安ペーストを施用した場合、それを上回る粗玄米重が得られた。

基肥に回収硫安または回収硫安ペーストを施用した際の玄米 CP 含量は 7.4～8.5% となり、品種によっては輸入トウモロコシに匹敵する値（宮地ら 2010）を示すものも見受けられた。しかし、基肥処理間においては市販ペーストと比較して、玄米 CP 含量の差が大きい点や規則的な効果を確認することができない点などからも、基肥肥料としては検討すべき点が多いことも明らかになった。

以上，回収硫安の基肥利用を検討した本試験の結果からは，回収硫安をペースト化して，基肥施用した場合，初期生育が確保され，有効茎数の増加に貢献できたが，慣行肥料と比較して，その持続性には課題が残った．しかし，回収硫安ペーストは地上部重や粗玄米重において慣行肥料と同等の重量が得られたことは，堆肥化過程で放出されていたアンモニアを材料とする回収硫安をイネ栽培にも利用可能であることを示唆している．

他方で，玄米 CP 含量が顕著に増加する結果を得ることができなかった．一般的に飼料用米中の玄米 CP 含量が高い場合，飼料価値が高いとされている．肥効が持続しないと玄米 CP 含量が低下すること（山本 1999）や施用する窒素成分含量を高めると玄米 CP 含量が高まること（鈴木ら 2005）なども考慮すると飼料用イネでは，慣行肥料と同等程度を目標に堆肥や尿液肥の活用も含めた施肥時期や施肥量を今後，検討していく必要があると考えられた．さらに，食用イネの栽培面積が 160 万 ha（農林水産省 2011）であり，イネ WCS を含む飼料用イネの 5.7 万 ha（農林水産省 2011）のおよそ 27 倍が作付されていることも考慮すると，回収硫安の持続的な活用には食用イネにも利用することが効果的である．食用イネの子実では，食味値に関係する玄米 CP 含量が重要な指標となっている（石間 1974，山下・藤本 1974，川村ら 1996）ことから，今後は玄米 CP 含量に注目した肥培管理（松田ら 1997，2000a, b，2001，藤井ら 1998，稲津 2005）について，回収硫安を用いて検討していく必要もあると考えられた．



Fig3-1. Conventional paste fertilizer (right side) and collected ammonium sulfate paste fertilizer (left side) .

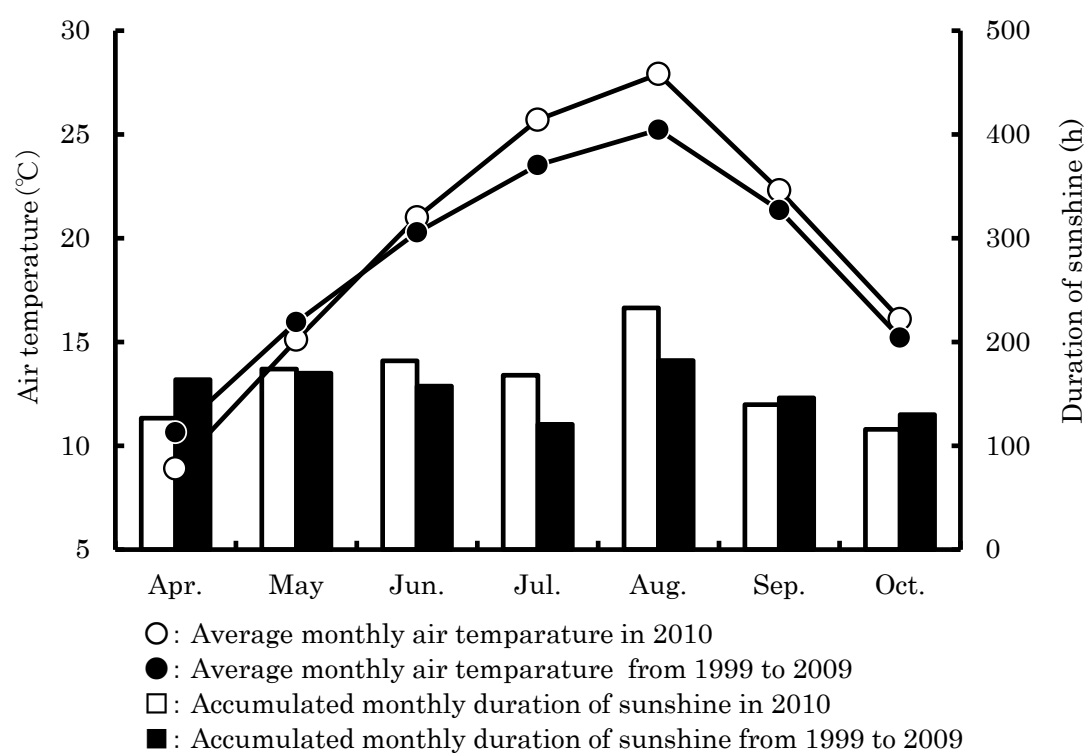


Fig. 3-2 . Meteorological data near the experimental field in 2010 and from 1999 to 2009 drawn from automated meteorological data acquisition system in Tsuruoka city.

Table 3-1. Growth stages of each rice varieties.

	Fukuhibiki	Bekoaoba	Tsuyahime
Panicle formation stage	5 Jul.	6 Jul.	16 Jul.
Heading date	30 Jul.	31 Jul.	10 Aug.
Full-heading stage	3 Aug.	2 Aug.	12 Aug.
Full-ripe stage	13 Sep.	13 Sep.	26 Sep.
Harvest date	14 Sep.	14 Sep.	27 Sep.

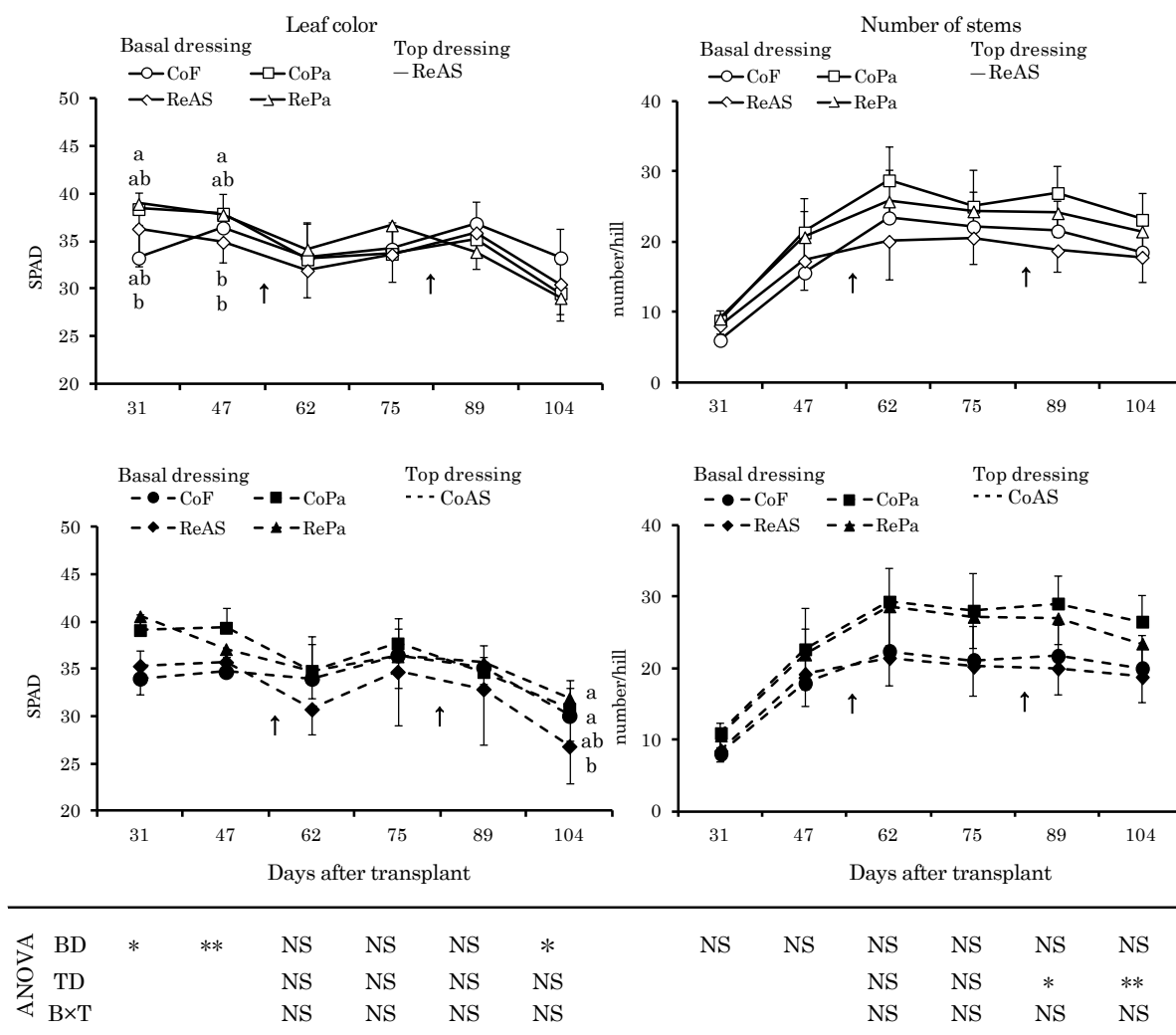


Fig. 3-3. Relationships between basal dressing and top dressing in leaf color, number of stems in a rice variety, Fukuhibiki.

○, ●; Conventional fertilizer (CoF) and □, ■; Conventional paste fertilizer (CoPa) to basal dressing.
◇, ◆; Recovered ammonium sulfate (ReAS) and △, ▲; Recovered ammonium sulfate paste fertilizer (RePa) to basal dressing.

○, □, ◇, △; Recovered ammonia sulfate (ReAS) and ●, ■, ◆, ▲; Conventional ammonia sulfate (CoAS) to top dressing.

BD ; basal dressing TD ; top dressing B×T ; Interaction between BD and TD.

** ; $p < 0.01$, * ; $p < 0.05$, NS ; not significant ($p \geq 0.05$). ANOVA ; Two-way Analysis of variance.

a,b,c ; Values with different superscript letters differ ($p < 0.05$).

↑ ; Arrow indicate the day of top dressing.

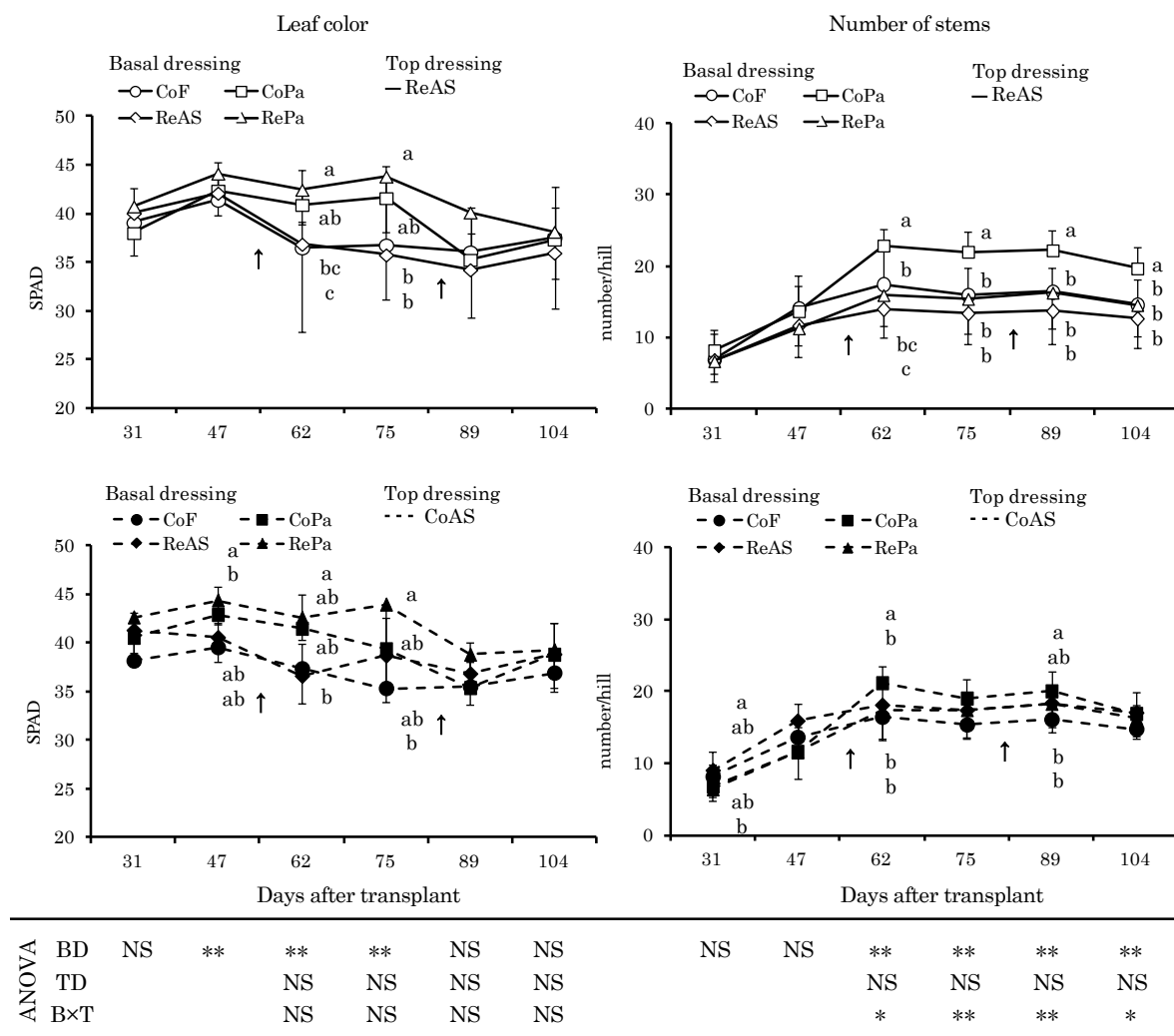


Fig. 3-4. Relationships between basal dressing and top dressing in leaf color, number of stems in a rice variety, Bekoaoba.

○, ●; Conventional fertilizer (CoF) and □, ■; Conventional paste fertilizer (CoPa) to basal dressing.
◇, ◆; Recovered ammonium sulfate (ReAS) and △, ▲; Recovered ammonium sulfate paste fertilizer (RePa) to basal dressing.

○, □, ◇, △; Recovered ammonia sulfate (ReAS) and ●, ■, ◆, ▲; Conventional ammonia sulfate (CoAS) to top dressing.

BD ; basal dressing TD ; top dressing B×T ; Interaction between BD and TD.

** ; $p < 0.01$, * ; $p < 0.05$, NS ; not significant ($p \geq 0.05$). ANOVA ; Two-way Analysis of variance.
a,b,c ; Values with different superscript letters differ ($p < 0.05$).

↑ ; Arrow indicate the day of top dressing.

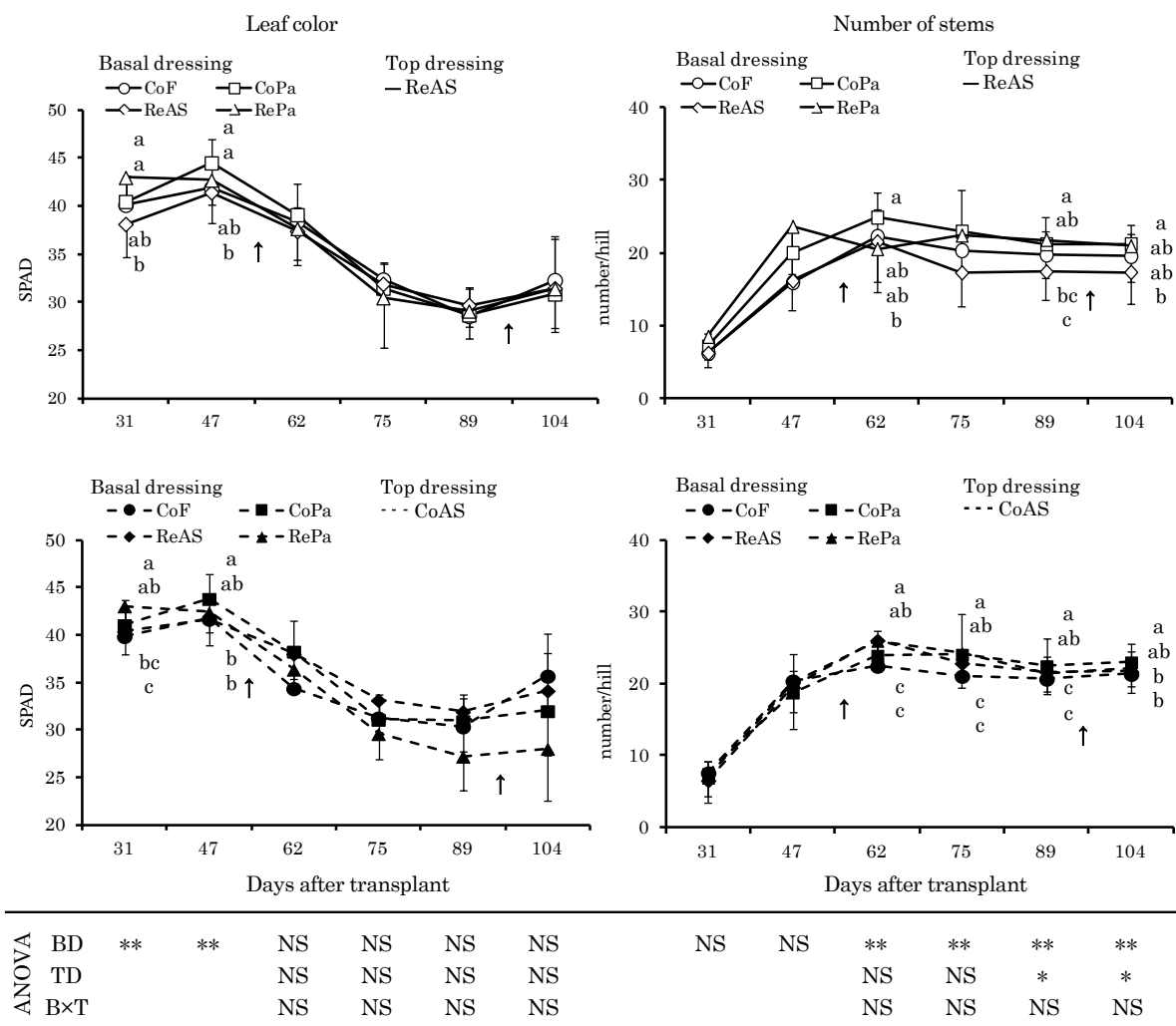


Fig. 3-5. Relationships between basal dressing and top dressing in leaf color, number of stems in a rice variety, Tsuyahime.

○, ●; Conventional fertilizer (CoF) and □, ■; Conventional paste fertilizer (CoPa) to basal dressing.
◇, ◆; Recovered ammonium sulfate (ReAS) and △, ▲; Recovered ammonium sulfate paste fertilizer (RePa) to basal dressing.

○, □, ◇, △; Recovered ammonia sulfate (ReAS) and ●, ■, ◆, ▲; Conventional ammonia sulfate (CoAS) to top dressing.

BD ; basal dressing TD ; top dressing B×T ; Interaction between BD and TD.

** ; $p < 0.01$, * ; $p < 0.05$, NS ; not significant ($p \geq 0.05$). ANOVA ; Two-way Analysis of variance.
a,b,c ; Values with different superscript letters differ ($p < 0.05$).

↑ ; Arrow indicate the day of top dressing.

Table 3-2. Influence of fertilizer application methods on yield performances of Fukuhibiki.

BD ²⁾	CoF ⁴⁾	CoPa ⁵⁾	CoAS ⁸⁾		CoF	ReAS		RePa	ANOVA ⁹⁾			
			ReAS ⁶⁾	RePa ⁷⁾		CoPa	ReAS		BD	TD	B×D	
TD ³⁾												
Thousand kernel weight (g)	23.4 ± 0.5 ¹⁾	21.5 ± 0.3	22.3 ± 0.3	21.8 ± 0.3	23.1 ± 0.5	21.3 ± 0.2	22.3 ± 0.2	21.9 ± 0.3	NS	**	NS	NS
Weight of whole tops (kg/10a)	1410 ± 83	1536 ± 70	1278 ± 247	1574 ± 110	1306 ± 65	1458 ± 66	1260 ± 132	1414 ± 239	NS	*	NS	NS
Grain straw ratio	1.2 ± 0.3	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.2	1.3 ± 0.1	1.4 ± 0.0	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.2	NS	NS	NS	NS
Rough brown rice yield (kg/10a)	629 ± 120	721 ± 49	576 ± 145	742 ± 51	629 ± 37	676 ± 43	568 ± 77	633 ± 58	NS	NS	NS	NS
Weight of unhulled rice (kg/10a)	763 ± 142	877 ± 57	699 ± 172	898 ± 60	757 ± 48	821 ± 51	695 ± 90	762 ± 84	NS	NS	NS	NS
Straw weight (kg/10a)	647 ± 68	659 ± 14	578 ± 75	676 ± 75	548 ± 17	636 ± 28	565 ± 45	652 ± 170	NS	NS	NS	NS
Brown rice CP (%)	7.7 ± 0.1 ^b	7.9 ± 0.1 ^a	7.6 ± 0.0 ^b	8.1 ± 0.1 ^a	8.6 ± 0.1 ^a	8.3 ± 0.1 ^b	7.7 ± 0.1 ^c	7.9 ± 0.0 ^c	**	**	**	**

1)Mean±SD(n=3) 2)Basal dressing 3)Topdressing 4)Conventional fertilizer 5)Conventional paste fertilizer 6)Recovered ammonium sulfate

7) Recovered ammonium sulfate paste fertilizer 8)Conventional ammonium sulfate 9)Two-way analysis of variance.

**p < 0.01, *p < 0.05 ^{a,b,c}Values with different superscript letters differ.

Table 3-3. Influence of fertilizer application methods on yield performances of Bekoaoba.

BD ²⁾	CoF ⁴⁾	CoPa ⁵⁾	ReAS ⁶⁾	RePa ⁷⁾	CoF	CoPa	ReAS	RePa	ANOVA ⁹⁾		
	CoAS ⁸⁾				ReAS				BD	TD	B×D
Thousand kernel weight (g)	28.4 ± 1.4 ¹⁾	27.7 ± 0.4	29.6 ± 0.1	28.8 ± 0.2	30.1 ± 0.9	26.6 ± 0.4	29.8 ± 1.0	27.8 ± 2.2	NS	**	NS
Weight of whole tops (kg/10a)	1183 ± 125	1369 ± 132	1456 ± 78	1418 ± 34	1274 ± 147	1467 ± 92	1101 ± 195	1185 ± 105	NS	NS	*
Grain straw ratio	1.4 ± 3.3	1.5 ± 0.3	1.5 ± 0.0	1.8 ± 0.0	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.1	1.6 ± 0.2	NS	NS	NS
Rough brown rice yield (kg/10a)	568 ± 60	663 ± 66	723 ± 44	757 ± 25	634 ± 77	713 ± 53	550 ± 95	604 ± 44	NS	NS	**
Weight of unhulled rice (kg/10a)	803 ± 275	806 ± 73	880 ± 51	910 ± 28	772 ± 103	871 ± 71	661 ± 119	735 ± 48	NS	NS	NS
Straw weight (kg/10a)	580 ± 205	563 ± 100	575 ± 26	509 ± 8	502 ± 56	596 ± 36	440 ± 78	450 ± 65	NS	NS	NS
Brown rice CP (%)	8.3 ± 0.1 ^{ab}	8.4 ± 0.1 ^{ab}	8.5 ± 0.1 ^a	8.2 ± 0.1 ^b	7.9 ± 0.0 ^b	7.9 ± 0.2 ^{ab}	7.8 ± 0.1 ^b	8.1 ± 0.1 ^a	**	NS	**

1)Mean±SD(n=3) 2)Basal dressing 3)Topdressing 4)Conventional fertilizer 5)Conventional paste fertilizer 6)Recovered ammonium sulfate

7)Recovered ammonium sulfate paste fertilizer 8)Conventional ammonium sulfate 9)Two-way analysis of variance.

**p < 0.01, *p < 0.05 ^{a,b,c}Values with different superscript letters differ.

Table 3-4. Influence of fertilizer application methods on yield performances of Tsuyahime.

BD ²⁾	CoF ⁴⁾	CoPa ⁵⁾	ReAS ⁶⁾	RePa ⁷⁾	ReAS			ANOVA ⁹⁾			
					CoF	CoPa	ReAS	RePa	BD	TD	B×D
TD ³⁾											
CoAS ⁸⁾											
Thousand kernel weight (g)	22.0 ± 0.2 ^{a 1)}	21.9 ± 0.0 ^b	22.1 ± 0.2 ^{ab}	22.1 ± 0.2 ^{ab}	22.0 ± 0.0	21.6 ± 0.2	22.0 ± 0.0	21.8 ± 0.1	*	**	NS
Weight of whole tops (kg/10a)	1404 ± 183	1641 ± 75	1569 ± 41	1478 ± 167	1274 ± 138	1540 ± 166	1229 ± 82	1478 ± 238	NS	**	NS
Grain straw ratio	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.0	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.3	NS	NS	NS
Rough brown rice yield (kg/10a)	570 ± 7 ^b	711 ± 11 ^a	684 ± 48 ^{ab}	633 ± 98 ^{ab}	528 ± 55	643 ± 77	528 ± 40	617 ± 46	**	**	NS
Weight of unhulled rice (kg/10a)	689 ± 19 ^b	853 ± 12 ^a	822 ± 57 ^{ab}	760 ± 116 ^{ab}	637 ± 64	769 ± 91	635 ± 53	766 ± 55	*	**	NS
Straw weight (kg/10a)	715 ± 165	788 ± 65	747 ± 19	717 ± 69	637 ± 77	770 ± 75	594 ± 49	712 ± 215	NS	NS	NS
Brown rice CP (%)	8.5 ± 0.0 ^a	8.4 ± 0.2 ^a	8.4 ± 0.1 ^a	7.4 ± 0.1 ^b	7.7 ± 0.9 ^b	8.5 ± 0.2 ^a	7.8 ± 0.1 ^{ab}	8.0 ± 0.1 ^{ab}	*	NS	**

1)Mean±SD(n=3) 2)Basal dressing 3)Topdressing 4)Conventional fertilizer 5)Conventional paste fertilizer 6)Recovered ammonium sulfate

7)Recovered ammonium sulfate paste fertilizer 8)Conventional ammonium sulfate 9)Two-way analysis of variance.

**p<0.01, *p<0.05 ^{a,b,c}Values with different superscript letters differ.

3-5 要 約

回収硫安液肥をペースト化し、基肥として側条施肥した場合の飼料用イネと食用イネに与える影響を調査した。供試品種には「ふくひびき」、「べこあおば」、「つや姫」を用い、基肥（5kgN/10a）と追肥（6kgN/10a）を施肥した。基肥は慣行肥料，市販ペースト，回収硫安，回収硫安ペーストの 4 処理とし，追肥は市販硫安，回収硫安の 2 処理であった。葉色と茎数は基肥に市販ペーストまたは回収硫安ペーストを施用すると他の基肥に比べ増加した。地上部重は，基肥に市販ペーストまたは回収硫安ペーストを施用すると増加する傾向を示した。玄米 CP 含量は，基肥では市販ペーストが高くなり，追肥では処理間の差は少なかった。以上のことから，市販ペーストに比べて劣るものの，回収硫安をペースト化することにより，イネの基肥と追肥に回収硫安を活用可能であると示唆された。

第 4 章 吸引通気式堆肥化システムから回収された硫安液肥の水口施用が イネの生育および収量に与える影響

4-1 はじめに

吸引通気式堆肥化システムは、アンモニアを堆肥化過程で回収、資源化することが可能である（阿部ら 2003, 2003a, 2006, 2006a, 2006b）。このシステムは堆肥から発生するアンモニアを硫酸溶液中で薬液脱臭させ、回収硫安を生成するというものである。この回収硫安を飼料用イネ、飼料用米へ施用した栽培は、物質循環を強化しうる点で、その拡大に期待が寄せられている。回収硫安を水稻肥料として活用する場合、液肥として追肥施用する方法が考えられる。

畜産由来の液肥を水稻へ施用する場合、メタン消化液（畜産環境整備機構 2011）、豚尿や牛尿（安西ら 1984, 1985, 1987a, 1987b, 小出 2001, 白石ら 2003, 須藤ら 2003）の施用などが行われてきている。さらに上田と下田（1981）は貯留牛尿について流入施用法も含めた評価を行っている。施用方法は水口から灌漑水とともに流入させる水口施用が水田に入ることなく施肥が可能であり、大区画水田で効果的（中島と関矢 1997）なことから軽労化や省力化につながる（市川ら 1995）とされ、省力栽培の視点から注目されている。その手法として、本田ら（2009）が行ったマリ奥特式液肥散布器による施肥方法や専用の水口専用施肥器を利用した液肥の精密な追肥法（久保田 1998）などをあげることができる。

しかし、この場合における水口施用は施肥ムラの発生などの問題が指摘されている（土田 1998）ことから、本章では、回収硫安を水稻品種の追肥として、より省力的に散布可能な水口施用を行った場合に、その拡散性および

イネの収量について実規模で実施した際の影響について調査した。

4-2 材料および方法

1. 供試イネの栽培概要と試験区

試験は山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター内の試験圃場 16, 17 および 18 番の各 30a 水田 (30m×100m) で行った。基肥は堆肥を 2t/10a, 市販化成肥料を窒素成分で 8kg/10a, 散布した。供試イネは山形県庄内地域で食用および飼料用イネ WCS にも兼用される「はえぬき」とし, 5 月 10 日に直播栽培にて移植した。追肥は 6 月 30 日から 7 月 1 日の 3 日間に, 畜産草地研究所において吸引通気式堆肥化システムから得られた回収硫安 (窒素成分, 6.02%, pH 6.97) を準備した。

試験区は, a) 作溝有区; 水口から回収硫安の施用が迅速に行われるようにエンジン式作溝機 (NP308, 吉徳農機, 新潟市) にて深さ約 10cm の溝を田面に作成した区 (Fig4-2), b) 作溝無区; 作溝機にて溝を作成せずに水口から回収硫安を散布した区, c) 慣行区; エンジン式動力噴霧器 (DKJ60G-26, クボタ, 大阪市) にて市販硫安 21% (新日本製錬 (株), 東京) を均一散布した区, d) 無施肥区; 2 株が入る 30cm×30cm の枠をサンプリング地点から 0.5m 以内に設置し, 灌漑水の侵入を防ぎ, 肥料成分の影響を受けない区の 4 つを設けた。田面水の採水および調査のサンプリング地点は圃場を長辺 8 つ (各 12.5m 間隔), 短辺を 4 つ (各 7.5m 間隔) に等分し, その交点 21 ヶ所とした (Fig4-3)。短辺は北側から A, B, C と標識し, 長辺については水口側から, 1 から 7 と標識した。各アルファベットと数字を組合せたものは, 交点の位置を示し, 採水および調査を行った地点を示している。生育調査ならびに収量調査株についてはサンプリング地点の付近の 2 株を代表株

とした．無施肥区については 2 株の平均値を求めた．

2. 追肥時の液肥散布法および採水時刻

マリオット式定速流入液肥器（Fig4-1）（本田 2009）を用いて 4 時間で 100ℓ の回収硫安が定速散布されるように調整し，10a あたり散布量が窒素成分で 2kg となるように行った．慣行区についても同様の施肥量とした．

入水は 4 時間で水深 5cm となるように流量を調節し，4 時間後に水門を閉め用水の流入をとめた．採水是水田に入ることなく経時的に田面水を採取するため，採水時に両側畦畔よりけん引した専用の容器にて採取し，水田の人為的攪乱による影響を最小限に抑えた．採水時刻は入水開始から 0.5, 2, 4, 24, 48, 72 時間後に 500ml をポリ容器に 100ml 程度を採取した．

3. 調査項目

肥料成分の拡散状況の指標となる電気伝導度（以下，EC）を EC 計（HI991300，ハンナ インスツルメンツ・ジャパン（株），千葉市）にて計測し，その経時的变化を示した．散布後 2 週間経過した各サンプリング地点の葉の緑色を測定するため SPAD-502（コニカミノルタ（株），東京）にて測定した．完熟期では地際から 5cm の部分を刈り取り，収穫時における地上部全重について測定した．圃場間の収量差を明らかにするために，2007 年から 2011 年までの過去 5 年間の 10a あたりの玄米収量について調査した．データは作溝有区と作溝無区の 16, 17 番圃場と，慣行区と無施肥区の 18 番圃場の結果から算出した．

4. 統計処理

地上部全重について得られた値は一元配置の分散分析を行い，有意差が認

められたものについては Tukey の方法によって多重比較（エクセル統計 2008，社会情報サービス（株），東京）を行った．検定結果は 5%有意水準で有意差を比較し，有意な差がみられた結果についてのみ，アルファベットによる異符号を表（Table）中に記述した．圃場間の収量差については平均値の差について Student の t 検定を行った．検定結果は 5%有意水準で有意差を比較し，有意な差がみられた結果についてのみ，アルファベットによる異符号を表（Table）中に記述した．

4-3 結 果

Fig4-4 から Fig4-6 における EC については，時間の経過とともに，各 A，B，C の 3 つのグラフ線が平行かつ同一の数値に近づくほど，均一に肥料成分が拡散していることを表している．Fig4-4 に作溝有区における EC の経時的变化を示した．EC は流入開始 0.5 時間および 2 時間では中央の水尻付近で低いもののすべての採水地点で EC が高い値を示し，時間の経過とともに全体に拡散した後，低下した．Fig4-5 に作溝無区における EC の経時的变化を示した．流入開始 0.5 時間では水尻付近において，すべての採水地点が低い値を示した．その後は採水地点間での差は少なく， $300\sim 400\mu\text{S}/\text{cm}$ で推移し，圃場全体へ拡散した．Fig4-6 に慣行区における EC の経時的变化を示した．動力噴霧器による機械散布のため流入開始後も採水地点間で顕著な差はみられず，肥料成分の拡散が行えた．

Fig4-7 に各処理区における施肥後 2 週間の SPAD 値の値を示した．SPAD 値は施肥による肥効がみられるほど緑色を示す値が高くなる．作溝有区の各調査地点における SPAD 値は，その差が大きくなり中央部付近で最大 18 程度の差が確認され，均一散布にはつながらなかった（Fig4-7）．作溝無区は

水口付近で SPAD 値が 48 以上となり，やや高い値を示したが，それを除くと各調査地点間の変化は少なかった（Fig4-7-b）．慣行区ではすべての調査地点において，SPAD 値の顕著な差はみられず全体に肥料成分が拡散した（Fig4-7）．無施肥区は，すべての調査地点において SPAD 値の変化が大きく，作溝有区と同様に圃場内での変化が顕著であり，品質に与える影響が懸念された（Fig4-7）．

Fig4-8 に各処理区における調査地点での収穫時における地上部全重の値を示した．作溝有区は全体として 800kg 程度となり収量が低く，特に水口での収量が少なかった．作溝無区，慣行区，無施肥区における各調査地点での収量の均一性は低く，その差が大きいものもみられた．特に慣行区と無施肥区においては，最大重量と最低重量の差が 400kg/10a もあった．

Table4-1 に各処理区間の収量の違いを示した．作溝有区で他の処理区に比較し収量が少なかった（ $p < 0.05$ ）．作溝無区は，1,000kg/10a 程度の収量があるものの，有意な差ではないが無施肥区よりも収量が少なくなった．

Table4-2 に各供試圃場に過去 5 年間の玄米収量を示した．作溝有区と作溝無区を供試した圃場は本試験を行う以前より，無施肥区と慣行区に供試した圃場に比べ玄米収量で約 70kg/10a も少なくなる（ $p < 0.05$ ）圃場であった．

4-4 考 察

本吸引通気式堆肥化システムを活用して，家畜堆肥から発生するアンモニアを硫酸により薬液脱臭し，得られた回収硫安の利用拡大を促すには，回収硫安の肥料としての特性を明らかにすることが重要である．回収硫安は液体であることから，水田に施用するには水口施用を行う必要がある．そのため，

本章では、その拡散性について検討した。水田での水口施用の拡散性について田中ら（1991, 1992）や北田ら（2008）は施肥ムラがないと報告している。一方で、中島ら（1997）は施肥ムラを生じる場合もあるとしている。このことから水口施用の最も重要な技術的課題は施肥ムラを低減させ、均一散布を行うことであると考えられる。

EC の値を示した Fig4-4 から Fig4-6 において、慣行区ではすべての経過時間で 3 つのグラフ線が同一になる傾向を示す一方で、作溝有区では開始初期での変動が大きく、後半においては EC の値が最も低下した。作溝無区は各調査時において 3 つのグラフ線も同一になる傾向を示し、調査後半になっても EC が高く推移した。このことから作溝の作成は均一拡散に対して、効果的ではないと考えられた。

市川ら（1995）は 3 日で、土屋ら（1996）は 5 日で圃場全体に肥料成分が拡散すると報告している。このことから、施肥後数日間で施肥された肥料は均一に拡散するものと推測された。しかし、72 時間後まで調査を実施した本試験での EC の値は作溝有区で調査地点間の変動が大きく、調査 3 日目においては EC の値が著しく低下した。このことは市川ら（1995）、須藤ら（2003）が指摘するように圃場条件による差であり、回収硫安を散布の際にもメタン発酵消化液を水田に散布する際の注意点（畜産環境整備機構 2011）である減水深が小さく、耕作面に極端な高低差がないことなどについて同様の配慮が必要かもしれない。

SPAD は稲体の葉緑素濃度から窒素栄養状態を簡易かつ客観的に数値化し（中鉢ら 1986, 岩谷ら 1997）、追肥などの施肥による効果を推定することができる。追肥 2 週間後の SPAD 値は、EC の結果と同様に作溝有区では、圃場内の調査地点間の差が大きくなった。一方で作溝無区は、水口で SPAD 値が高くなるものの、全体として同程度の SPAD 値を示し、施肥ムラは少

なくなり、慣行区と同等程度の値を示した。食用イネの追肥では施肥ムラ発生は食味等に影響するため（山下 1974）、水稻の生産現場で選択される施肥法は均一散布が可能な動力噴霧器による機械施用である。一方で、飼料用イネについては多収を目的とするため、従来よりも多肥条件で栽培されるとともに、専用品種は耐倒伏性に優れるため、施肥ムラが品質に与える影響は少ないとされている（関谷ら 2008）。本試験の EC と SPAD 値の結果から検討した場合、回収硫安の水口施用は、作溝を作成しなくても一定程度の均一拡散が可能であったことから、水口施用が可能であり、食用イネに比べ、均一拡散の要求が少ない飼料用イネ生産においては回収硫安を積極的に利用することが可能であると示唆された。これにより夏季に大量の肥料を背負うことなく、省力的な栽培管理につながる可能性があると考えられた。

本試験では一般栽培の 30a 圃場 3 区を用いて追肥施肥水準を同一にして行った。このため、無施肥区の収量が最も少なくなると推定していたが、収量調査では慣行区が最も収量が多かったものの、作溝無区と無施肥区との間に収量差がなかった。これは、Table4-2 に示すように過去 5 年間の収量差を考慮すると圃場状態の差が収量に影響したことが考えられ、減水深等の圃場条件に配慮した施用の検討が必要であることが示唆された。

以上のことから、回収硫安を水口施用する場合、圃場条件を事前に把握した上で施用することによって、均一拡散が可能となり、飼料用イネでの施用のみならず、食用イネへの追肥施用に対する利用につながると示唆された。



Fig4-1. Liquid fertilizer applicator of marriott bottle system.



Fig4-2. Preparing a shallow ditch with groove cutter.

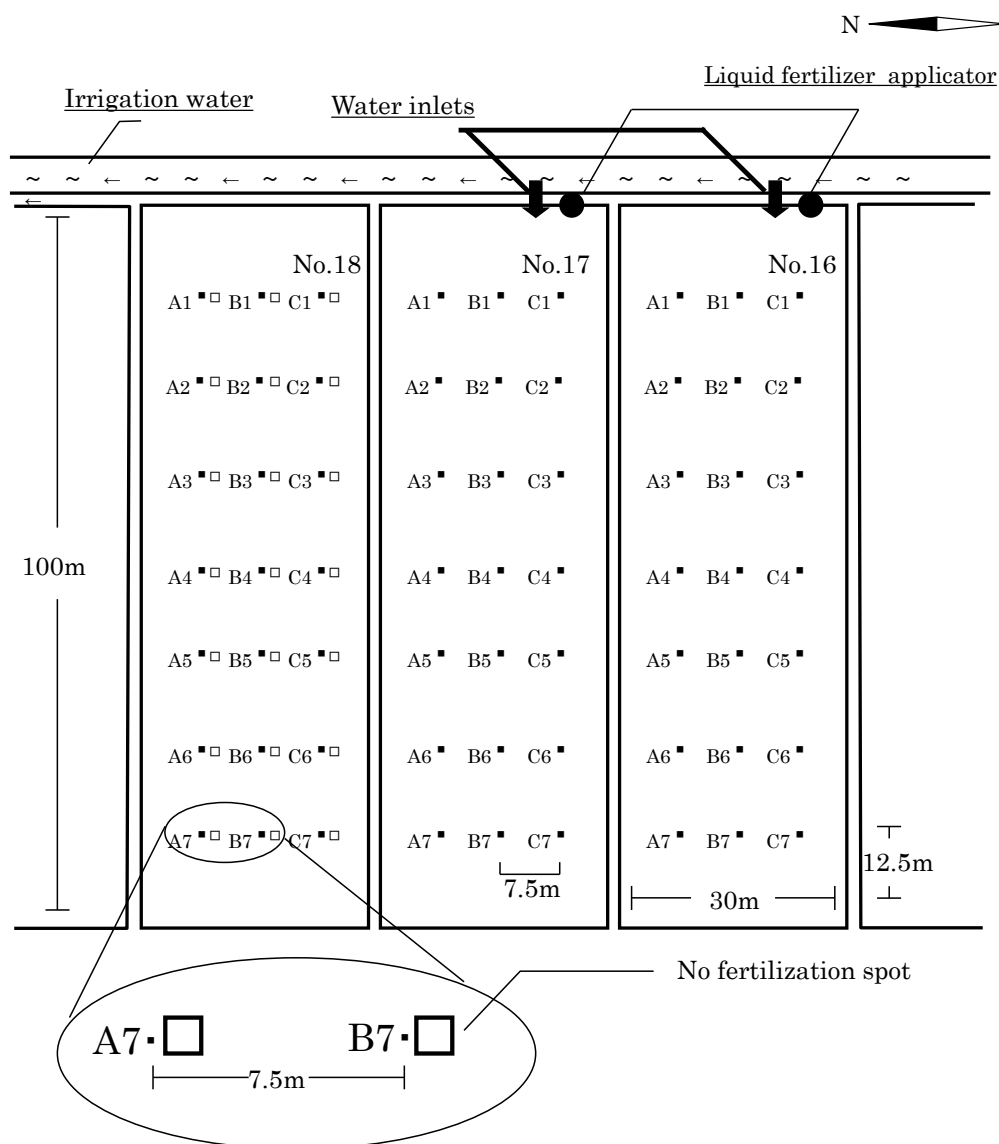
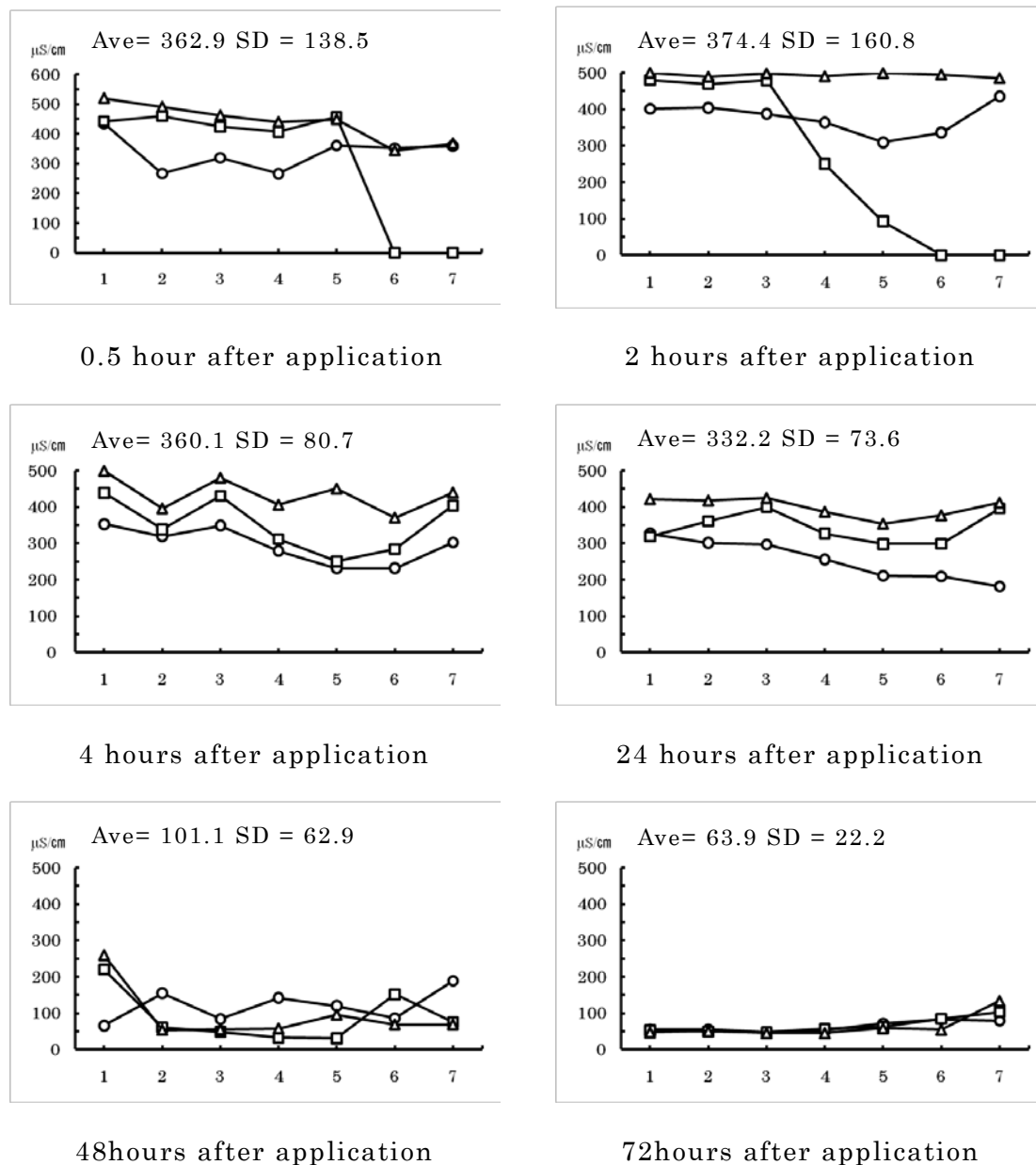


Fig4-3. Diagrammatic illustration of paddy field .

The alphanumeric show that coordinate date of each sampling point.

No16 indicate that preparing a shallow ditch using a groove cutter.

No17 show that no ditch. No18 indicate that conventional method-chemical fertilizer and no fertilization.

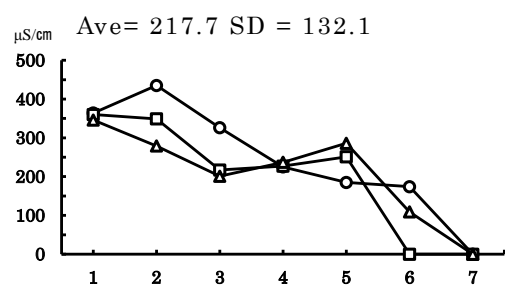


-○- : A -□- : B -△ : C EC49.3μS/cm (Irrigation water)

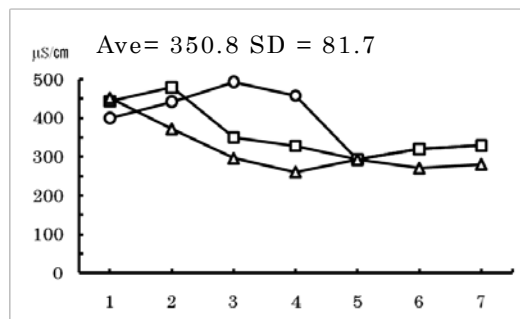
Fig4-4. Chronological change in electrical conductivity of preparing a shallow ditch using a groove cutter-spread a collected ammonium sulfate (CoAS) .

Legend symbol show that coordinate date of each sampling point.

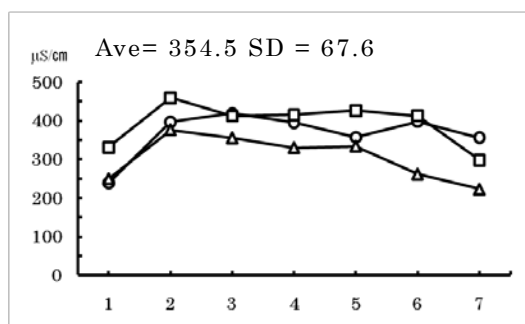
Ave; average. SD; standard deviation.



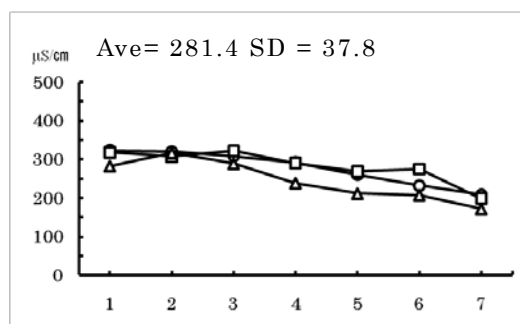
0.5 hour after application



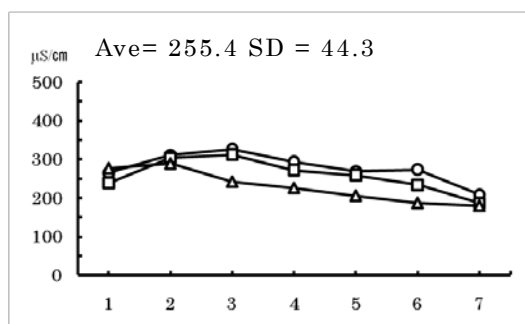
2 hours after application



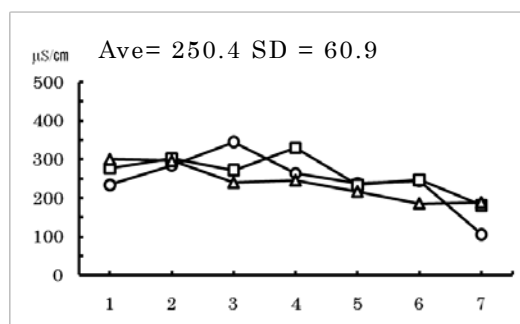
4 hours after application



24 hours after application



48 hours after application



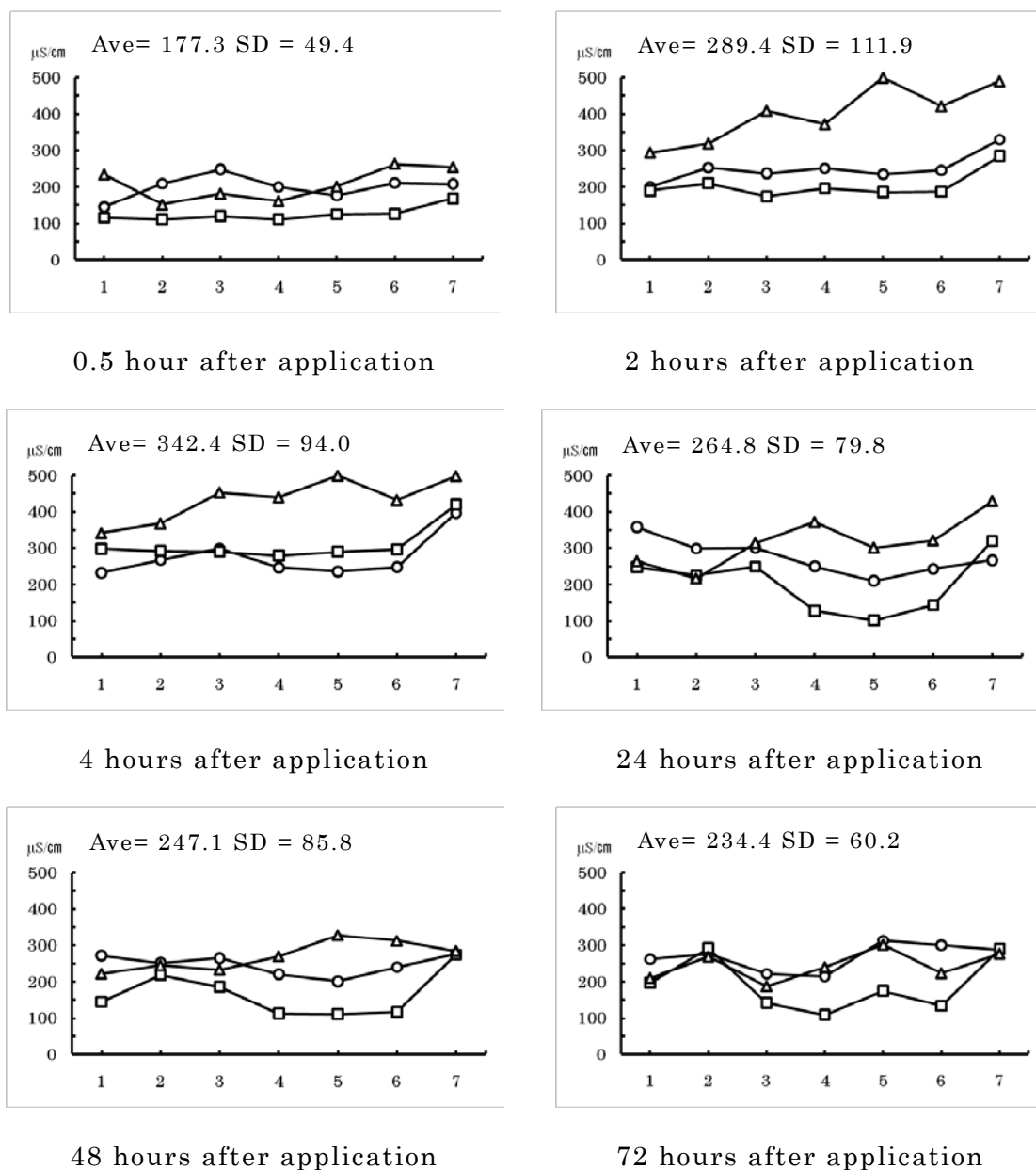
72 hours after application

-○- : A -□- : B -Δ- : C EC49.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Irrigation water)

Fig4-5. Chronological change in electrical conductivity of no ditch-spread CoAS

Legend symbol show that coordinate date of each sampling point.

Ave; average. SD; standard deviation.



-○- : A -□- : B -△- : C EC49.3μS/cm (Irrigation water)

Fig4-6. Chronological change in electrical conductivity of conventional method-chemical ammonium sulfate.

Legend symbol show that coordinate date of each sampling point.

Ave; average. SD; standard deviation.

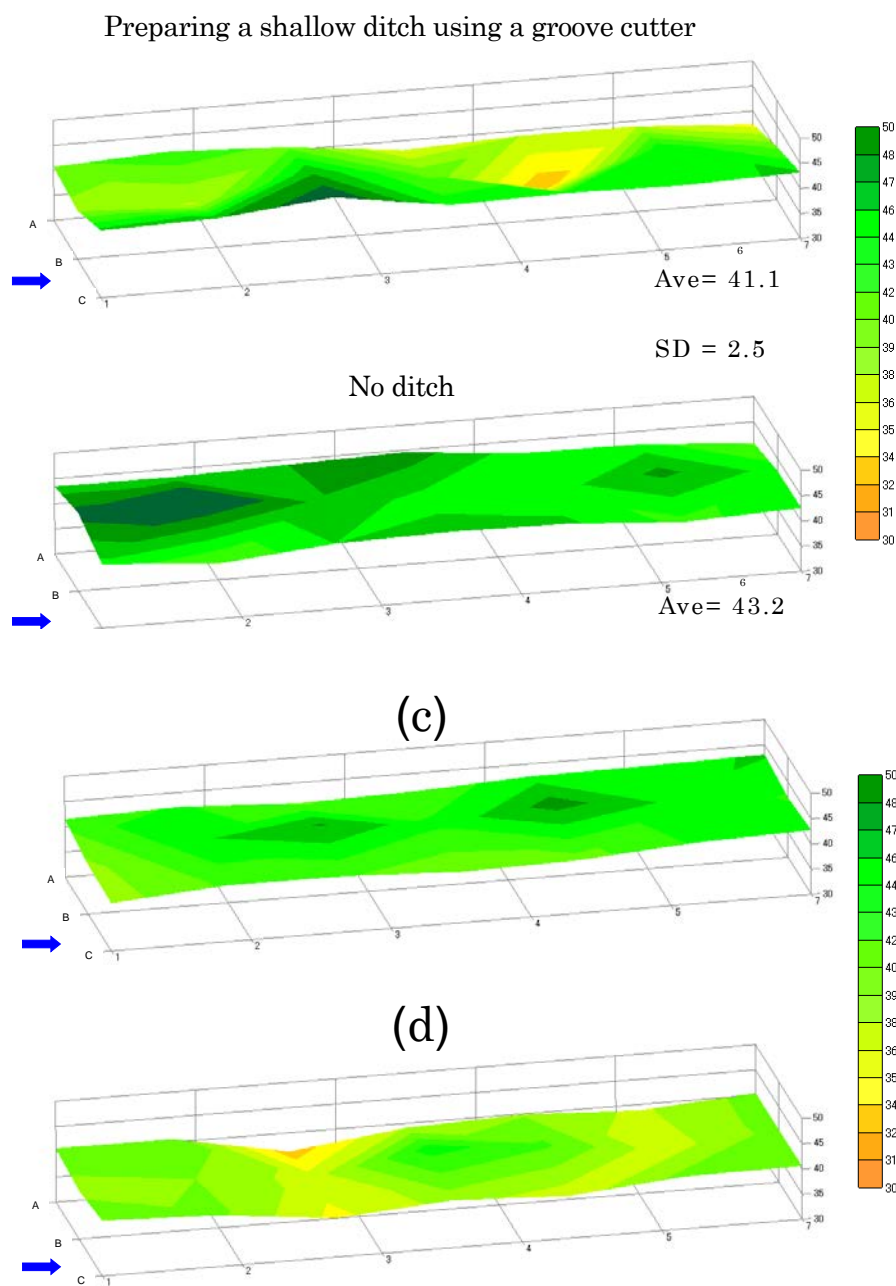


Fig4-7. T

ove cutter.

spread CoAS.

sulfate

Blue arrows indicate that water inlet. The alphanumeric show that coordinate
date of each sampling point. Ave; average. SD; standard deviation.

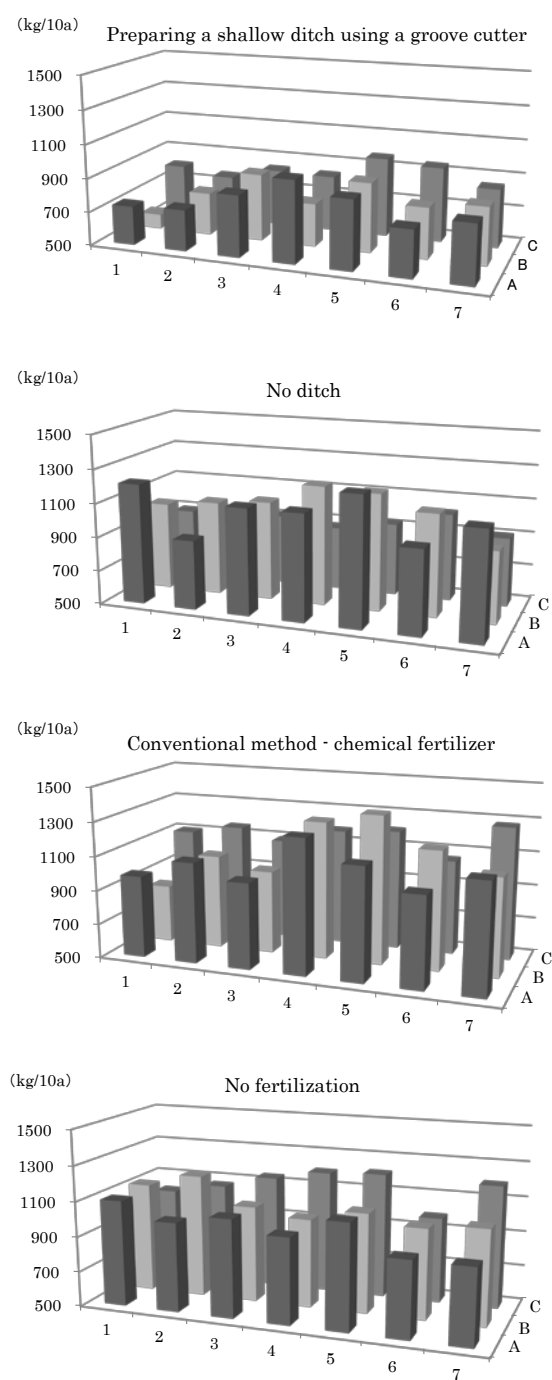


Fig4-8. Weight of rice whole tops.

■ (A), ■ (B), ■ (C) : Square pillar indicate dry weight yield of each sampling point

Table4-1. Effect of the different application of collected ammonium sulfate on rice yield.

Preparing a shallow ditch	No ditch	Conventional method	No fertilizer
828.3 ± 90.7 ^b	1035.5 ± 121.3 ^a	1121.0 ± 125.9 ^a	1067.0 ± 85.8 ^a

^{a,b,c}Values with different superscript letters differ($p < 0.05$).

Mean±SD (kg dry matter /10a)

Weight of rice whole tops

Table4-2. Brown rice yield change of last five years in experimental paddy field.

Preparing a shallow ditch and no ditch	Conventional method and no fertilizer
408.8 ± 83.3 ^b	480.9 ± 45.6 ^a

^{a,b,c}Values with different superscript letters differ($p < 0.05$).
Mean±SD (kg/10a, Brown rice has moisture contents of 16%)

4-5 要 約

吸引通気式堆肥化システムより得られて回収硫安液肥（以下，回収硫安）の利用拡大を図るため，回収硫安をマリOTT式液肥散布器にて水口流入施用による追肥を行い，その拡散性ならびに施肥効果について調査を行った．供試品種に「はえぬき」を用いて，追肥を除くすべての施肥および栽培管理については慣行法とした．処理区は作溝有区，作溝無区，慣行施肥区，無施肥区の 4 つ設け，追肥量は無施肥区を除き， $2\text{kgN}/10\text{a}$ を施肥した．EC については作溝有区が時間の経過によらず不安定な推移をする一方で，作溝無区および慣行区では安定した推移を示した．SPAD については無施肥区ならびに作溝有区で圃場内での差が顕著であったが，作溝無区は水口で高い値を示すものの圃場での均一散布が行えた．慣行区については概ね均一となり施肥ムラは確認されなかった．地上部全重では慣行区が最も多く，次いで無施肥区，作溝無区，作溝有区の順となり，地上部全重については施肥の効果を確認することができなかった．以上のことから，回収硫安を水口施用した場合，施肥ムラは流入部の一部においてみられるだけとなり，均一散布への可能性が示唆された．

第 5 章 吸引通気式堆肥化システムに使用する未利用反応剤の活用および その反応試験

第 1 節 吸引通気式堆肥化システムに天然由来の酸を用いた場合の臭気低減 および回収効率への影響

5-1-1 はじめに

吸引通気式堆肥化システムを安定に稼働させ、悪臭を除去することにより、持続的な循環型畜産を実施するには、その反応剤について検討する必要がある。吸引通気式堆肥化システムの反応剤はアルカリ性の臭気を酸性溶液中で中和反応され、脱臭することから、反応剤は酸性であることが必要である。特に高濃度のアンモニアと反応させるにはその pH が低いものほど効果が高い。

阿部ら（2006）や伊藤ら（2006）は、硫酸をその反応剤として利用して硫酸アンモニウムを作製し、前章にも論述した回収硫安を得ることやリン酸を反応剤として利用してリン酸アンモニウムを得る（杉本ら 2007，加藤 2010）ことを明らかにしている。しかし、反応剤として硫酸を用いる場合、劇物であることからその取扱いについては細心の注意を払う必要がある。リン酸については、世界的な化学肥料原料としての需要の高まり（農林水産省 2009a）から、その価格は非常に高価なものとなっている。さらにリン酸の場合、吸引通気式堆肥化システムを運転させるために反応剤を事前に準備するが、その場合に畜産農家の初期コストの負担増（加藤 2010）になってしまいう欠点がある。

一方、我が国には、天然由来の酸がいくつか存在する。飼料を中心に利用されている発酵乳酸や木材乾留過程で生じる木酢液、廃棄リンゴジュース粕

から生成可能なリンゴ酢などの有機酸がある．さらには地下資源の 1 つである温泉水の中には強酸性のものが含まれており湧出量も莫大であり，泉質も安定し国内各所に存在する．そこで，本章第 1 節においてはこれら天然由来の酸を吸引式堆肥化システムに活用することを目的とし，臭気低減効果と回収効率について明らかにした．

5-1-2 材料および方法

1. 供試材料

供試した天然由来の酸は，有機酸である発酵乳酸（CSM ジャパン（株），東京），市販リンゴ酢（ミツカングループ（株），東京），木酢液（北海道カーボナイズ（株），北海道）と強酸性温泉水である川湯温泉（北海道上川郡弟子屈町），酸ヶ湯温泉（青森県青森市），玉川温泉（秋田県仙北市），蔵王温泉（山形県山形市）の 7 種を用いた．各温泉水の性状は Table5-1-1 に示した．その他，対照として山形県鶴岡市高坂地区の地下水と 5%硫酸溶液（以下，5%硫酸）を供試し，合計 9 種の反応液を準備した．

2. 各種天然由来酸の臭気低減効果についての測定方法

アンモニアガス 50ml をポリプロピレンシリンジ(SS-50ESZ, テルモ(株), 東京)にて採取し，定量のアンモニアガスを準備した．反応液については，9 種それぞれ 1 ml, 2 ml, 10 ml, 20 ml, 100 ml 準備し，500 ml 容のポリエチレン容器にそれぞれ投入し，次いで，アンモニアガス 50 ml を注入し，常温にて 1 分間振とうした．その後，容器内部に残った気体をアンモニアガス検知管（3M，ガステック（株），東京）を用いて 100 ml 吸引し，残留アンモニア濃度（以下，アンモニア濃度）を測定した（Fig5-1-1）．さらに容

器中に残された各種反応液は、窒素成分、pH およびニオイセンサ指示値を測定した。

3. 各種天然由来酸が窒素成分の回収能力に及ぼす影響の測定方法

99.9%液化アンモニア（昭和電工（株），東京）50 kg ボンベに圧力調整バルブ（YS-51, ヤマト産業（株），大阪）を接続し，シリコンチューブ（φ7 mm）を用いてパージメータ流量計（P530-L04CR3, 東京計装（株），東京）と連結し，端末部は 500 ml 容のガラス容器の底部に導いた．アンモニアの流量は 10 ml/秒とした（Fig5-1-2）．以上の装置を用いて，各反応液 250ml をガラス容器に入れ，準備したアンモニアガスを連続 5 分間，上記流量で 3,000 ml 通気させ飽和状態にした．その後，反応液の窒素成分および pH，ニオイセンサ指示値を測定した．一方，温泉水については，アンモニア反応後に沈殿物が発生したため（Fig5-1-4），沈殿物と上澄みおよびその混合液についても窒素成分の分析を行った．

4. 分析方法

各反応液は 90℃で 30 分間，恒温機内で加熱し，遊離のアンモニアを揮発させた後，次の分析を行った．窒素成分含量（以下，窒素成分）は AOAC（1990）に従い，ケルダール法（Kjeltec 8100, FOSS ジャパン（株），東京）にて測定し，pH はガラス電極法（D-51AC, HORIBA（株），京都），ニオイセンサ指示値（XP-329 III R, 新コスモス電機（株），大阪）は複合臭の強度を指示値として（山本ら 2007）測定するため，容器から取り出し後，200 ml 容の容器に移し，20 秒間吸引測定を行い，最高値を測定値とした．温泉水のアンモニア反応後に生じた沈殿物については玉川温泉水と蔵王温泉水についてのみ，誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）によりアルミ

ニウムイオン濃度（越川と高松 2004）を測定した．

5. 統計処理

得られたデータの統計処理は各反応液を水準とする一元配置の分散分析を行い，有意差が認められたものについては **Tukey** の方法によって多重比較（エクセル統計 2008，社会情報サービス（株），東京）を行った．検定結果は 5%有意水準で有意差を比較し，有意な差がみられた結果についてのみ，アルファベットによる異符号を表（Table）中に記述した．

5-1-3 結 果

1. 各種天然由来酸の臭気低減効果に及ぼす影響

各反応液の臭気低減効果の違いを明らかにするためにそれぞれの酸 1 ml, 2 ml, 10 ml, 20 ml, 100 ml にアンモニアを 50 ml, 吸着させた後の容器に残ったアンモニア濃度（ppm）の推移を Fig5-1-3 に示した．すべての反応液で，1 ml, 2 ml はアンモニアを吸着する能力を超えてしまった．20 ml に反応させた場合では，有機酸ではすべての酸でアンモニア濃度が低下した．特にリンゴ酢での減少が顕著であった．温泉水では玉川温泉と川湯温泉でアンモニア濃度の減少がみられた．100 ml に反応させた場合，すべての酸でアンモニア濃度の低下がみられた．Table5-1-2 に反応液の臭気低減効果を比較するため 20 ml および 100 ml のアンモニア濃度，ニオイセンサ指示値，窒素成分および pH について示した．20 ml でのアンモニア濃度は有機酸ではリンゴ酢が最もアンモニア濃度の値が低くなった．温泉水では玉川温泉が最も少なくなり臭気低減効果がみられた．100 ml についてはすべての酸において，アンモニア濃度の低下がみられ，川湯温泉を除く，多く

の酸で地下水よりも低値 ($p < 0.05$) を示した。ニオイセンサ指示値は 20 ml と 100 ml の双方で有機酸が高い値を示し、温泉水や地下水は硫酸と近い値となった。特に玉川温泉は低い値を示した。窒素成分は 20 ml では発酵乳酸と玉川温泉が高い値を示し、すべての酸で地下水より高くなった ($p < 0.05$)。100 ml では発酵乳酸と木酢液が他の酸より高い値を示した ($p < 0.05$)。pH の 20 ml では有機酸の 3 種は変化が小さく、pH も低かった。玉川温泉を除く、3 種の温泉水はすべて地下水と同程度になった。100 ml では、すべての酸で地下水より小さい値を示し ($p < 0.05$)、アンモニアの影響は少なかった。

2. 各種天然由来酸が窒素成分の回収能力に及ぼす影響

反応前の原液 (control) とそのアンモニア飽和時のニオイセンサ指示値、窒素成分および pH を Table5-1-3 に示した。原液 (control) のニオイセンサ指示値は有機酸の 3 種で高い値を示し、温泉水は川湯温泉と酸ヶ湯温泉が地下水より低く、玉川温泉と蔵王温泉ではやや高い値を示した。一方、飽和後では、木酢液とリンゴ酢で高い値を示したが、発酵乳酸はすべての反応液の中で最も低い値を示した ($p < 0.05$)。4 種の温泉水は地下水と同程度となり、4 種とも 5%硫酸より低い値となった ($p < 0.05$)。原液の窒素成分はすべての酸液と地下水で低い値を示した。一方、飽和後ではすべての酸液で地下水より高い値を示した。特に発酵乳酸が 2%程度の窒素成分を示し、5%硫酸と同等程度となった。温泉水 4 種は、飽和前に比べ窒素成分が高くなったが、最も高い玉川温泉で約 0.2%となり、5%硫酸の 1 割程度と低値を示した。

原液の pH は地下水を除く、すべての酸で 3.0 以下の酸性であり、有機酸では発酵乳酸が、温泉水では玉川温泉が最も pH が低くなった。一方、アンモニア飽和後は発酵乳酸を除き、すべての反応液で pH が 9.0 以上の強いアルカリ性を示した。

アンモニア飽和後に生じた沈殿物について状態を Fig5-1-4 に示し、その結果を Table5-1-4 に示した。いずれの温泉についても上澄みと沈殿物、混合の 3 つの部分について、各間に窒素成分の違いは確認されなかった。

各反応液のアンモニア飽和前と後の状態について Fig5-1-5 および Fig5-1-6 に示した。

5-1-4 考 察

本試験に用いた温泉水や有機酸は化学的に合成された肥料とは異なり、家畜ふん由来のアンモニアと自然界に存在する酸を材料として用いたことから有機農産物や特別栽培農産物への特殊肥料として登録の可能性が残されており、数少ない窒素肥料として、今後の研究の進展によっては新たな付加価値を生み出すかもしれない。本結果 (Table5-1-3) から、温泉水は窒素成分が 0.2%前後となり、地下水と比較し玉川温泉で有意に高くなった ($p < 0.05$)。しかしながら、肥料として考えた場合、市販液肥と比較し、その窒素成分は低くなった。

市販液肥における施肥の際には、施肥ムラや肥料焼けなどの施肥障害を防ぐために数百倍から数千倍に希釈して施用するため、低濃度の場合は希釈の必要がない。このことを考慮すると本試験で得られた温泉水は 0.2%程度の濃度であり、それによる影響は限定的であると考えられた。むしろ窒素施用量を考えた場合、低濃度であるため多量の反応後溶液を準備する必要がある。そのため、流通コストの増大が課題であると考えられた。

食用米、特に良食味米生産では追肥や穂肥は少量の肥料を植物体の状態観察から判断し追肥するため、多量の窒素肥料を必要としない。さらに、基肥に堆肥等の有機質肥料を施用するが、肥効の調節が難しく、不測の気象変動

等により、植物体に窒素不足を生じた際に化学肥料（窒素系肥料）の追肥施用が必要となる。そのような場合、有機農産物や特別栽培米の生産現場では、化学肥料ではない窒素肥料が求められている。これらのことを考慮すると温泉水と反応させて、生成された低濃度の肥料成分であっても、流通での課題が解決されれば利用拡大につながることを推察された。

本節の中で、50 ml のアンモニアに 20 ml の各反応液と反応させた場合、有機酸の 3 種や玉川温泉で顕著にアンモニア濃度が減少し、地下水よりも低い値となり、5%硫酸と同等程度となった。これは天然由来の酸の中には 5%硫酸と同等程度、アンモニア濃度を低下させ、臭気を低減するとともにアンモニウム塩を生成する能力を有することが推察された。しかし、本節報告の中では、生成されたアンモニウム塩類の組成を明らかにするまでは至っていないため、肥料利用の点からも今後明らかにすることが必要である。

吸引通気式堆肥化システムにてアンモニアを回収するには強酸性の液体であることが望ましい。秋田県玉川温泉はその強酸性のため河川への直接放流が難しく中間処理施設を設け、下流域の田沢湖の生態系保持や農業用水の保全や治水のため（国土交通省 2010）費用かけて中和処理を行っている。地下資源に乏しい我が国において湧出量および泉質が周年安定供給可能な温泉水を利用することが可能となれば、臭気問題の解決のみならず環境保全や資源開発の一助になりうる。しかし、温泉成分には Table5-1-1 にも示すように肥料取締法にも関わるヒ素やカドミウムなどの重金属が含まれており、肥料利用には許容値以下にする必要がある。本試験で用いた温泉の中で玉川温泉のヒ素やカドミウムは許容値以下であるものの、やや高い値であったため肥料としての活用には注意が必要かもしれない。

一方、天然由来の有機酸である発酵乳酸は家畜への飼料添加剤として流通し、購入することが可能である（Purac 2011）。消臭性の持続性が低い（黒

田 2007) ものの, 広くその効果が期待されている (東野ら 2005) 木酢液の国内生産量は 2,323kl にのぼり, そのうち北海道と東北地方での生産量が約 50%を占め (農林水産省 2011b) おり, 反応剤確保における地理的な課題は少ないと考えられる. リンゴ酢はリンゴジュース生産の副産物として排出されるリンゴ搾汁残渣 (以下, リンゴ粕) を酵素処理 (高橋ら 2011) し, アルコール発酵させた後, 酢酸菌を添加後, 醸造させることにより未利用資源から生成することが可能である. 青森県のリンゴ粕廃棄量は, 毎年 1.5~2 万 t 発生し, 全国ではこの 1.5 倍程度発生すると推定され (豊川ら 2008) ている. このリンゴ粕の有効利用が可能となればさらなる資源循環につながると考えられる.

しかし, これら有機酸 3 種は窒素を回収する能力が高く, 肥料利用への可能性が期待できるものの, それ自体に特有の臭気があり, 新たな臭気源としての課題も考えられ, さらに個々の有機酸は確保するための費用や生成コストが高まることが想定され, それら課題が大きいと考えられた.

Table5-1-4 からアンモニア反応後に生じた沈殿物および上澄みの窒素成分に差がないことが明らかになった. 一般的に Al^{3+} 含む溶液をアンモニアと反応させた場合, ゲル状の白色沈殿である $Al(OH)_3$ の沈殿物が生じる (化学大事典編集委員会編 1981) ことから, 本試験に供試した温泉水中に含まれる, Al^{3+} の沈殿であると推察された. アルミニウムは根の伸長の阻害 (Parker ら 1989) やリンなどの吸収を抑制する (藤原ら 2006) ことから, 沈殿物は除去して利用することが好ましいと考えられた. 一方, 温泉水はアンモニアと反応させる前には無色透明の液体 (Fig5-1-5) であるが, アンモニアと反応させるとその泉質により緑黄色沈殿や褐色沈殿がみられた (Fig5-1-6) が本節の中では明らかにすることはできなかった.

以上のことから, 天然由来の酸の中では有機酸のように特有の臭気が少な

く、窒素成分が高くなった玉川温泉水は吸引通気式堆肥化システムの反応液である硫酸と代替可能であり、窒素肥料としての可能性が明らかになった。これにより、劇薬を用いない吸引通気式堆肥化システムが可能となり、普及拡大による物質循環の促進や家畜からの臭気問題を含む環境保全にもつながることが示唆された。

しかし、吸引通気式堆肥化システムにおいて温泉水を利用する場合、畜産現場と温泉地との間の距離は必ずしも近接しておらず、実規模での普及を検討した場合、現物状態での輸送は前述のとおり流通コストの上昇が懸念される。また、吸引通気式堆肥化システムでは、大量のドレインが発生するため反応液が高濃度であれば、その交換回数低減などにつながり保守管理においても重要である。このため、各反応液を濃縮させ、輸送コスト低減の可能性やアンモニアとの反応性について明らかにしていく必要がある。第 2 節においてそれらの課題を解決することを目的として、各反応液を濃縮した際の影響について検討することとした。

Table5-1-1. Contents of strong acidic hot spring water.

Sampling point hot spring water		Hokkaido ¹⁾ Kawayu	Aomori ²⁾ Sukayu	Akita ³⁾ Tamagawa	Yamagata ⁴⁾ Zao
Cation	H ⁺	16	17.5	89.52	15.7
	Na ⁺	557.6	65.2	66.2	47.3
	K ⁺	84.4	13.3	34.7	11.4
	NH ₄ ⁺	1.5	2.7	0.3	-
	Mg ²⁺	55	60.7	52.9	58.3
	Ca ²⁺	109.2	191	157.5	55.6
	Al ³⁺	29.4	141	275.1	38.1
	Mn ²⁺	11	1	2.5	3.3
	Fe ²⁺	21.4	14.2	-	-
	Fe ³⁺	10.2	15.6	161.5	8
	Li ⁺	0.2	0	<0.1	0.03
	Zn ²⁺	1	-	1.7	0.2
Anion	F ⁻	6.4	3.3	86.7	8.9
	Cl ⁻	876.8	408.3	4166	247
	Br ⁻	2.2	0	13	0.9
	I ⁻	-	0.2	4.4	0.1
	SO ₄ ²⁻	1336	1549	372.2	819.6
	HSO ₄ ⁻	713.1	906.6	1117	437.5
	HS ⁻	0	0	-	-
	S ²⁻	-	0	-	-
	S ₂ O ₃ ²⁻	0.4	4.1	-	-
	HCO ₃ ⁻	0	0	-	-
	CO ₃ ²⁻	0	0	-	-
Liberation component	SiO ₃ ²⁻	221.8	261.8	388.6	224.7
	HBO ₂	35.7	5.1	201.9	4.9
	H ₃ PO ₄	-	2.5	4	0.6
	H ₂ SO ₄	28.5	39.8	251.6	17.5
Minor component	T-As	0.053	0.046	3.5	0.01
	Cu ²⁺	0.082	<0.01	-	-
	Pb ²⁺	0.034	<0.01	2.7	-
	Cd ²⁺	0.045	<0.005	0.059	-
	T-Hg	-	<0.0005	<0.0005	-
	Cr ³⁺	0.019	-	-	-
Dissolved gas	liberation CO ₂	0	-	3160	499.3
	liberation H ₂ S	5.6	-	1.1	10.8
Nature of spring etc.	residue on evaporation	3.921	3615	4140	1986
	pH	1.76	1.76	1.05	1.8
	temperature	44.2	48.1	98	56.9
	EC (μS/cm)	-	8120	-	-

The unit is a mg/kg excluding pH, temperature and EC

¹⁾Hokkaido, cf Hokukan analysis center, hot spring water , No.0561015²⁾Aomori prefecture, cf Aoyakukenon -17031³⁾Akita prefecture, cf Akita-No.2⁴⁾Yamagata prefecture, cf Yamagata-No.3

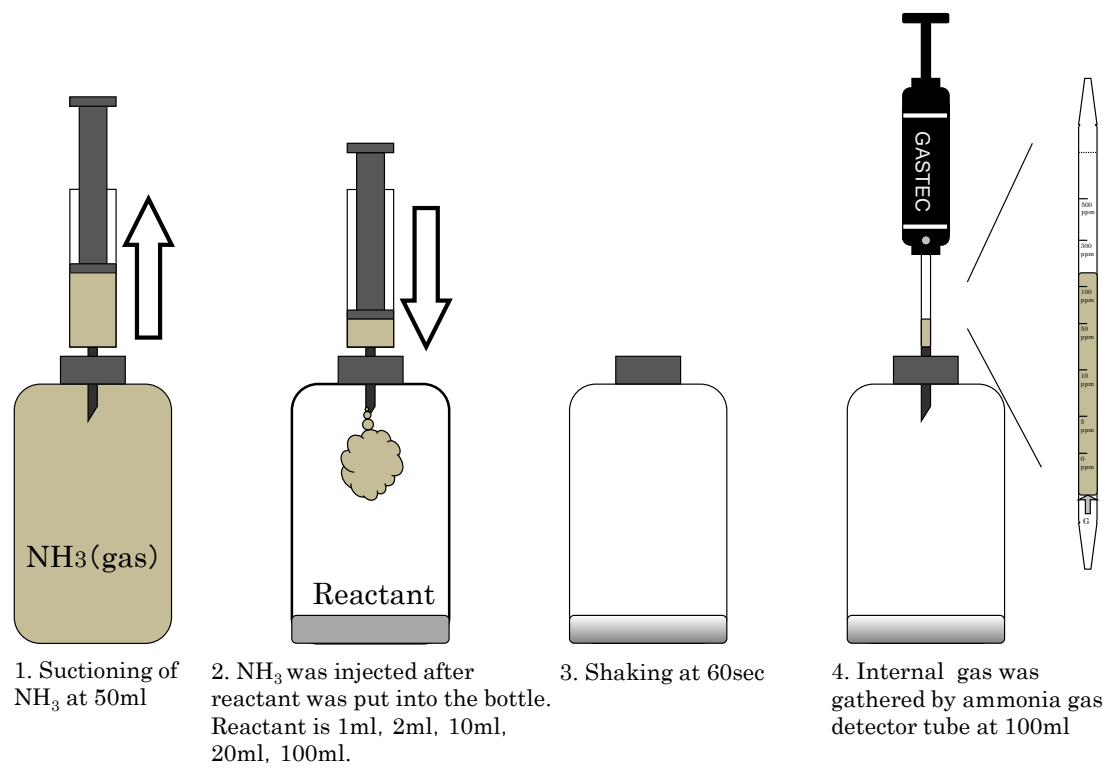


Figure5-1-1. Measurements for odor reduction.

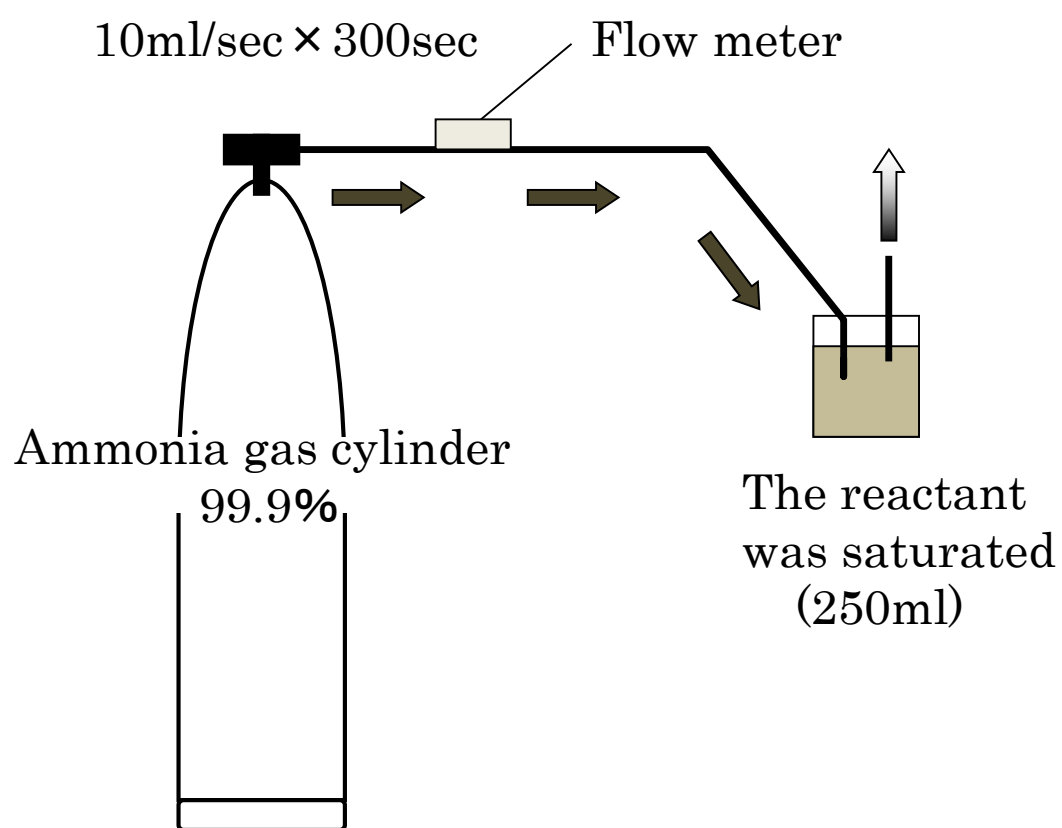


Fig5-1-2. Figure show measurement procedures for the effect of the recovery efficiency.

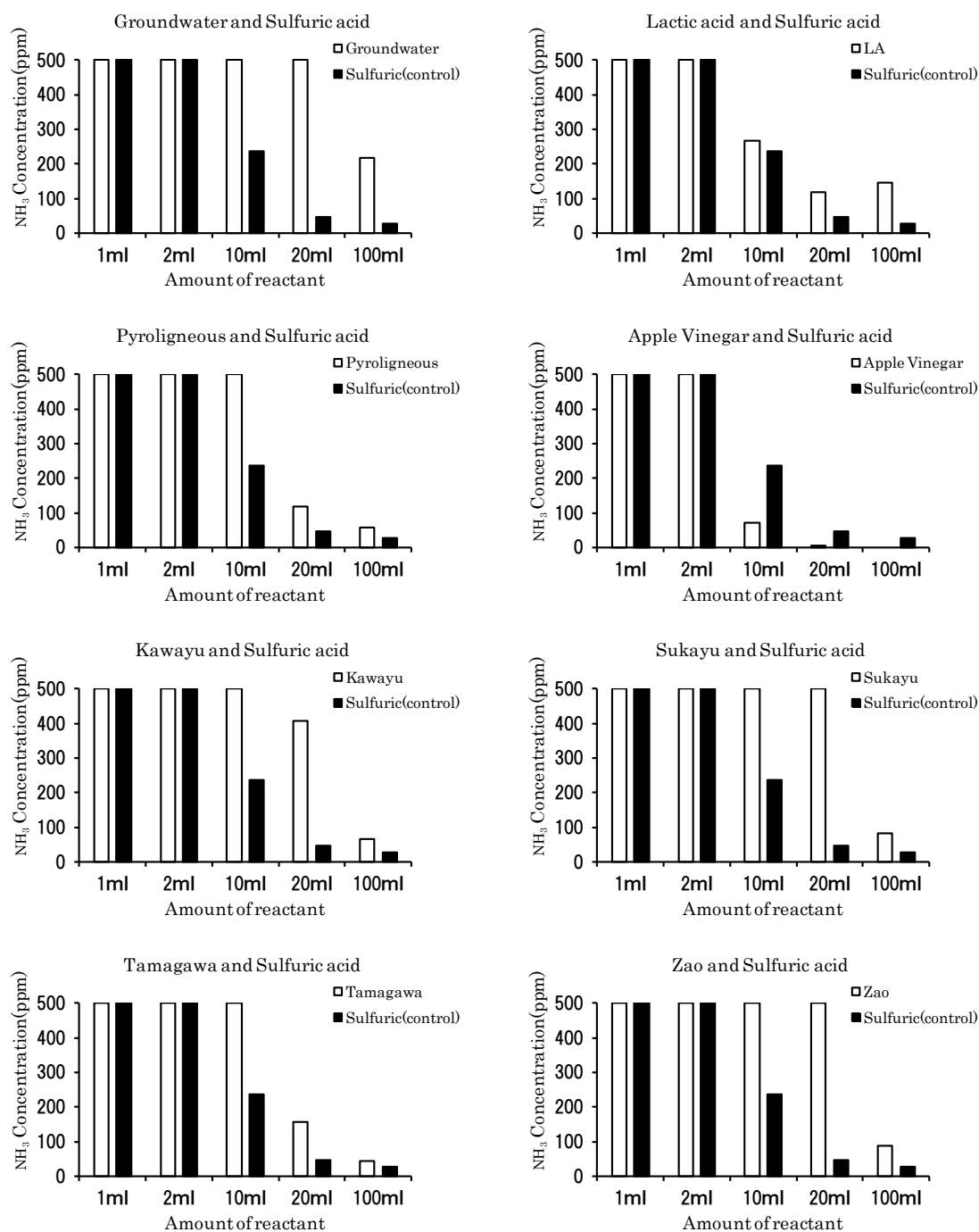


Fig5-1-3. Difference of odor reduction with ammonia of various acids.

NH_3 at 50ml was injected after reactant was poured over the bottle.
 Reactant is 1ml, 2ml, 10ml, 20ml, 100ml. Internal gas was gathered by ammonia gas detector tube at 100m

Table5-1-2. Effect of odor reduction by the acidic solution.

	G water	LA	Pyro acid	Avi	Kawayu	Sukayu	Tamagawa	Zao	Sulfuric 5%
ppm	20ml	117 ± 29 ^{ace}	117 ± 29 ^{ace}	5 ± 5 ^{ae}	407 ± 136 ^b	500 ± 0 ^b	157 ± 40 ^{ac}	500 ± 0 ^{bd}	47 ± 5 ^a
	100ml	147 ± 64 ^{ab}	42 ± 14 ^b	0 ± 0 ^b	67 ± 15 ^{ab}	83 ± 43 ^{ab}	43 ± 30 ^b	87 ± 32 ^{ab}	28 ± 18.9 ^b
Oder	20ml	279 ± 21 ^c	1006 ± 137 ^a	674 ± 78 ^b	68 ± 2 ^d	66 ± 22 ^d	3 ± 4 ^d	84 ± 27 ^d	10 ± 9 ^d
	100ml	314 ± 92 ^c	1012 ± 120 ^a	739 ± 47 ^b	70 ± 36 ^d	54 ± 30 ^d	10 ± 9 ^d	37 ± 2 ^d	1 ± 1 ^d
N%	20ml	0.01 ± 0.00 ^g	0.18 ± 0.02	0.09 ± 0.04 ^{abcte}	0.11 ± 0.01 ^{abedehi}	0.08 ± 0.00 ^{gdeh}	0.13 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.03 ^e	0.13 ± 0.01 ^{ab}
	100ml	0.01 ± 0.00 ^{abedg}	0.13 ± 0.01	0.48 ± 0.01 ^e	0.05 ± 0.03 ^{abedghi}	0.04 ± 0.01 ^{abedh}	0.04 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.01 ^{abc}	0.04 ± 0.01 ^{ab}
pH	20ml	10.63 ± 0.03 ^a	1.08 ± 0.04 ^f	3.72 ± 0.06 ^d	8.87 ± 0.03 ^c	8.98 ± 0.03 ^c	1.93 ± 0.03 ^e	9.727 ± 0.01 ^b	0.147 ± 0.05 ^g
	100ml	10.13 ± 0.05 ^a	0.91 ± 0.01 ^g	3.21 ± 0.01 ^c	1.83 ± 0.01 ^e	2.06 ± 0.01 ^d	1.24 ± 0.01 ^f	4.50 ± 0.22 ^b	0.137 ± 0.03 ^h

mean±SD.

ppm; NH₃ concentration, oder; oder index, Kj-N; Kjeldahl nitrogen.

G water; ground water, LA; crude lactic acid, Pyro acid; pyroligneous acid, Avi; Apple vinegar.

Kawayu, Sukayu, Tamagawa, Zao are hot spring water.

Values within columns superscript letters within (a-h)donate significante difference at a 5% level(p<0.05).

Table5-1-3. Recovery effect by the each acidic solution.

	G water	LA	Pyro acid	Avi	Kawayu	Sukayu	Tamagawa	Zao	Sulfuric 5%	
Oder	Control	8 ± 3 ^{de}	424 ± 25 ^c	577 ± 65 ^b	12 ± 1 ^{de}	15 ± 4 ^{de}	74 ± 8 ^d	68 ± 10 ^{de}	1 ± 1.5 ^e	
	Satu	367 ± 32 ^{de}	149 ± 31 ^f	843 ± 14 ^a	611 ± 38 ^c	378 ± 46 ^{de}	419 ± 20 ^d	321 ± 49 ^e	406 ± 22 ^{de}	821 ± 16 ^{ab}
N%	Control	0.00 ± 0.00 ^{abdegh}	0.08 ± 0.01	0.04 ± 0.02 ^{abde}	0.04 ± 0.03 ^{abde}	0.02 ± 0.02 ^{abde}	0.04 ± 0.02 ^{abde}	0.02 ± 0.02 ^a	0.02 ± 0.02 ^{abc}	0.00 ± 0.00 ^{ab}
	Satu	0.01 ± 0.01 ^{cdg}	2.43 ± 0.02	0.93 ± 0.04 ^{ae}	1.11 ± 0.01 ^{ei}	0.09 ± 0.01 ^{cdgh}	0.09 ± 0.01 ^{cdgh}	0.18 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.03 ^{ac}	2.05 ± 0.18 ^b
pH	Control	7.63 ± 0.09 ^a	0.86 ± 0.01 ^d	2.78 ± 0.33 ^b	2.83 ± 0.25 ^b	1.47 ± 0.42 ^{cd}	1.53 ± 0.26 ^{cd}	1.03 ± 0.33 ^{cd}	1.79 ± 0.35 ^c	0.00 ± 0.00 ^e
	Satu	11.88 ± 0.07 ^a	2.80 ± 0.18 ^{ac}	9.51 ± 0.21 ^{ac}	9.70 ± 0.38 ^{ab}	10.92 ± 0.07 ^{abc}	10.97 ± 0.19 ^{abc}	10.61 ± 0.21 ^{bcd}	11.07 ± 0.32 ^b	10.42 ± 0.07 ^{de}

Satu: saturated acidic solution.
mean±SD.

ppm; NH₃ concentration, oder; oder index, Kj-N; Kjeldahl nitrogen.

G water; ground water, LA; crude lactic acid, Pyro acid; pyroligneous acid, Avi; Apple vinegar.
Kawayu, Sukayu, Tamagawa, Zao are hot spring water.

Values within columns superscript letters within (a-h)donate significant difference at a 5% level(p<0.05).

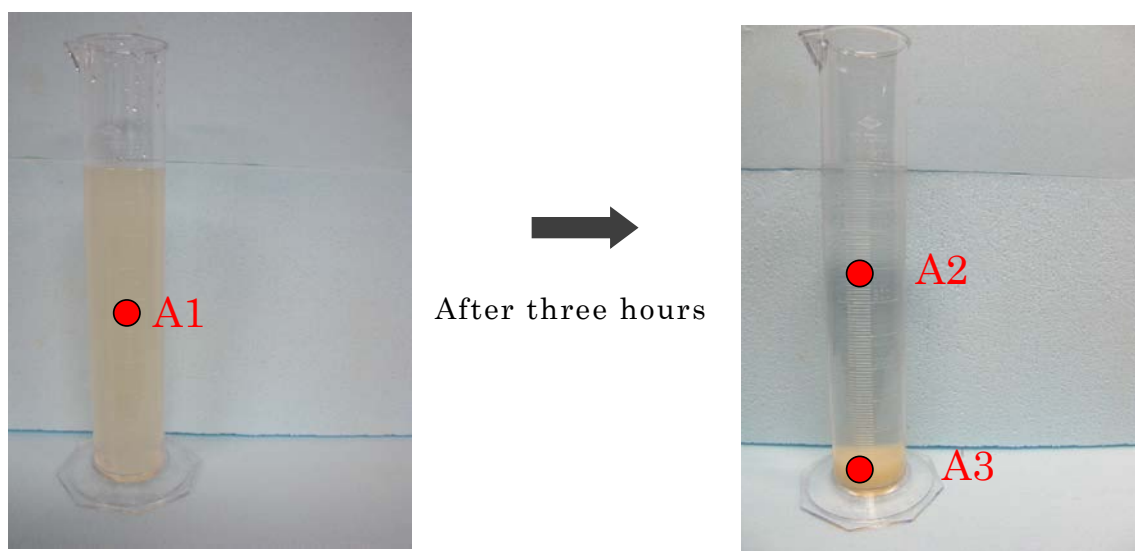


Fig5-1-4. The formation of a precipitate after reaction of ammonia to hot spring water.

A1; mixture A2; supernatant A3; precipitate

After three hours of reaction

Table5-1-4. Nitrogen contents of the supernatant, precipitate and the mixture after saturated with ammonia gas for each hot spring water.

		Kawayu	Sukayu	Tamagawa	Zao
N%	Supernatant	0.09 ± 0.0	0.09 ± 0.0	0.17 ± 0.0	0.07 ± 0.0
	Precipitate	0.09 ± 0.0	0.08 ± 0.0	0.17 ± 0.0	0.08 ± 0.0
	Mixture	0.08 ± 0.0	0.08 ± 0.0	0.17 ± 0.0	0.08 ± 0.0
mean ± SD					

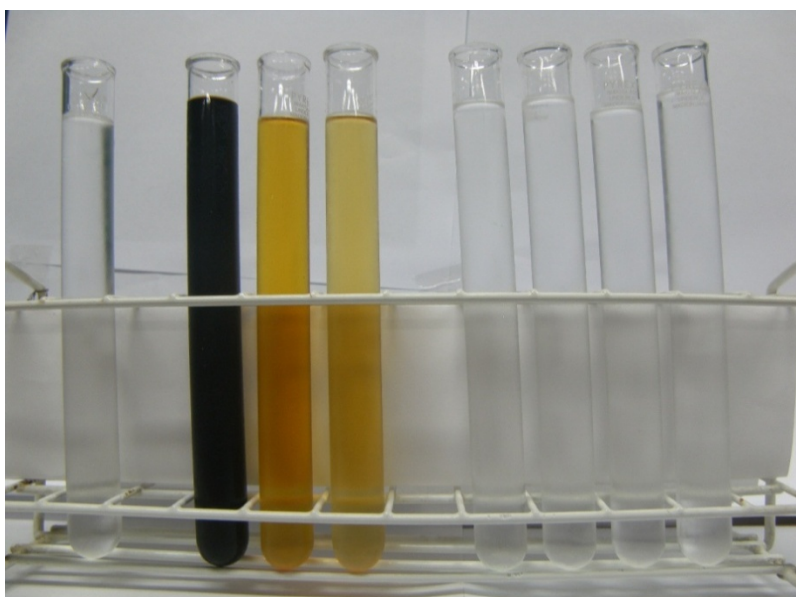


Fig5-1-5. Differences color state in each acidic solution before reaction with ammonia.

From the left side to the order of ground water, fermented lactic acid, pyroligneous acid, apple vinegar, kawayu hot spring water, sukayu hot spring water, tamagawa hot spring water and zao hot spring water.

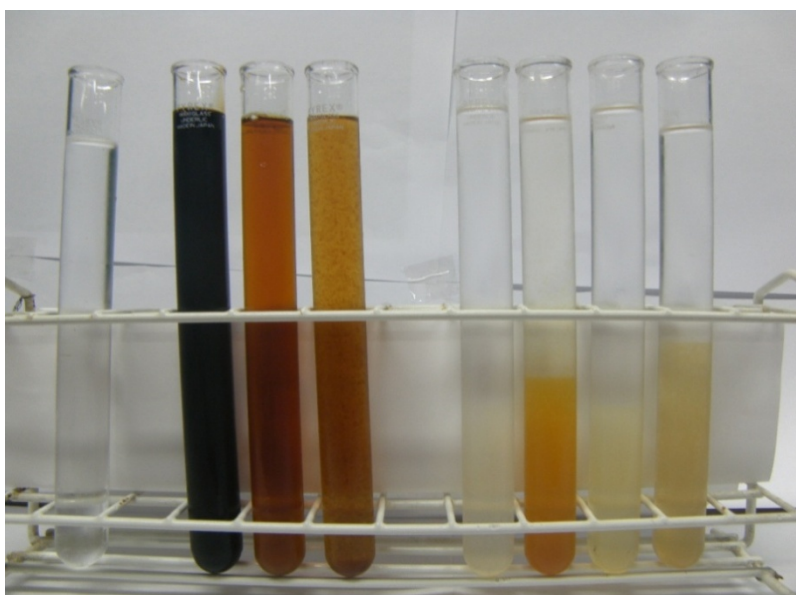


Fig5-1-6. State of different color and precipitation in each acidic solution after reaction with ammonium.

From the left side to the order of ground water, fermented lactic acid, pyroligneous acid, apple vinegar, kawayu hot spring water, sukayu hot spring water, tamagawa hot spring water and zao hot spring water.

5-1-5 要 約

堆肥過程で発生するアンモニアを吸引通気式堆肥化システムにて、硫酸と反応させアンモニウム肥料として回収することは臭気低減および資源循環につながり重要である。本試験では取扱いに注意を要する硫酸と代替するために天然由来の酸をアンモニアと反応させ、その臭気低減効果および回収効率について調査を行った。供試試料は、有機酸である発酵乳酸、木酢液、リンゴ酢、温泉水である川湯温泉、酸ヶ湯温泉、玉川温泉、蔵王温泉および地下水と 5%硫酸の 9 種であった。臭気低減効果はアンモニア濃度、窒素成分、pH について、回収効率は飽和時の窒素成分、pH、ニオイセンサ指示値を調査した。臭気低減効果については有機酸ではリンゴ酢が最も高い効果がみられ ($p < 0.05$)、5%硫酸と同等程度であったが、ニオイセンサ指示値が有機酸では高くなった。玉川温泉は、温泉水の中では最も臭気を低減させた。反応液の飽和時の窒素成分は有機酸では発酵乳酸が最も高くなり、温泉水では玉川温泉が最も高くなった。これらから天然由来の有機酸や温泉水は硫酸に代替可能であることが示唆された。

第 5 章 第 2 節 吸引通気式堆肥化システムに濃縮した天然由来の酸を用いた場合の臭気低減および回収効率への影響

5-2-1 はじめに

大気へのアンモニア揮散のうち、全産業に占める畜産の割合は約 60%となっており（神成 2001）、その数値は看過できない状況である。Martins と Dewes（1992）は堆肥化における窒素損失のそのほとんどはアンモニア揮散によるものと報告しており、これらの資源を有効活用し、地域内の生態系と調和した持続的な土地利用型畜産体系へ転換していくことが重要である（平野 2008）。

アンモニアと反応し、脱臭ならびに回収するには、酸との中和反応が重要である。そのため硫酸に代わり、劇薬指定されず取扱い容易な天然由来の酸と反応させることが可能となれば、より安全にアンモニア回収を継続することが可能となることは前節において確認をした。我が国に存在する天然由来の酸は、地下資源の 1 つである温泉水がある。その中には強酸性のものが含まれており湧出量も莫大な量であり、泉質も安定し国内各所に存在する。その他にも、木酢液、廃リンゴ酢などがある。しかし、実規模での普及を検討した場合、現物のままでは輸送コストや反応液の交換回数増加などの課題がある。そこで、本節ではこれら天然由来の酸を濃縮し、減容化させ、吸引式堆肥化システムに活用することを想定した場合に及ぼす影響ならびに臭気低減能力と回収効率について調査した。

5-2-2 材料および方法

1. 供試材料

供試した天然由来の酸は、有機酸である市販リンゴ酢（ミツカングループ（株），東京），木酢液（北海道カーボナイズ（株），北海道）と強酸性温泉水である川湯温泉（北海道上川郡弟子屈町），酸ヶ湯温泉（青森県青森市），玉川温泉（秋田県仙北市），蔵王温泉（山形県山形市）の 6 種を用いた．反応液の性状は Table5-1-1 のとおりであった．その他，対照として山形県鶴岡市高坂地区の地下水と 5%硫酸溶液（以下，5%硫酸）を供試し，合計 8 種の反応液を準備した．

2. 各種反応液の濃縮方法と臭気低減効果についての測定方法

2,000 ml 用の丸底フラスコに 8 種の反応液をそれぞれ注入後，マントルヒーター（HF-2000T，アズワン（株））にて加熱して水分を減らし，濃度が 2 倍，5 倍，10 倍になるよう濃縮した．また，加熱濃縮しない反応液（以下，0 倍）についても準備した．硫酸については濃縮せず，すべて 5%硫酸を用いた．反応液 8 種について，前項と同様に，それぞれ 20 ml を 500 ml 容のポリエチレン容器に先に投入し，次いで，ポリプロピレンシリンジ（SS-50ESZ，テルモ（株），東京）にて採取した定量のアンモニアガス 50 ml を注入させ，1 分間振とうしてアンモニアガスと十分反応させた．その後，容器内部に残った気体をアンモニアガス検知管（3M，ガステック（株），東京）で 100 ml 吸引し，残留アンモニア濃度を測定（以下，アンモニア濃度）した．容器中に残された各種反応液を 100 ml 容の容器に移し，窒素成分，pH およびニオイセンサ指示値を測定した．

3. 各種天然由来酸が窒素成分の回収能力に及ぼす影響の測定方法

前項と同様に，99.9%液化アンモニア（昭和電工（株））50 kg ボンベに圧力調整バルブ（YS-51，ヤマト産業（株），大阪）を装着し，シリコンチューブ（φ7 mm）にてパージメータ流量計（P530-L04CR3，東京計装（株），東京）との間を連結した．流量計のニードルバルブで流量を調節しアンモニアガス量を 10 ml/秒に定め，準備した．

各反応液は 500 ml 容のガラス容器に 250 ml 入れ，準備したアンモニアガスを連続 5 分間，上記流量で 3,000 ml 通気させ飽和状態にした．硫酸については濃縮せず，5%硫酸溶液にアンモニアガスを飽和させた．その後，窒素成分およびニオイセンサ指示値についての分析試料とした．

4. 分析方法

各反応液は 90℃で 30 分間，恒温機内で加熱し，遊離のアンモニアを揮発させた後，次の分析を行った．窒素成分は AOAC（1990）に従い，ケルダール法（Kjeltec 8100，FOSS ジャパン（株），東京）にて測定し，pH はガラス電極法（D-51AC，HORIBA（株），京都），ニオイセンサ指示値（XP-329 III R，新コスモス電機（株），大阪）は複合臭の強度を指示値として表示（山本ら 2007）させるため，容器から取り出し後，200 ml 容ビーカーに移し，20 秒間吸引測定を行い，最高値を測定値とした．

5. 統計処理

得られたデータの統計処理は各反応液を水準とする一元配置の分散分析を行い，有意差が認められたものについては Tukey の方法によって多重比較（エクセル統計 2008，社会情報サービス（株），東京）を行った．検定結果は 5%有意水準で有意差を比較し，有意な差がみられた結果についてのみ，

アルファベットによる異符号を表 (Table) 中に記述した。

5-2-3 結 果

1. 濃縮が各種天然由来酸の臭気低減効果に与える影響

各反応液の濃縮による臭気低減効果の違いを明らかにするために、各反応液の濃度をそれぞれ 0 倍, 2 倍, 5 倍, 10 倍に濃縮して, 20 ml を準備し, それにアンモニアを 50 ml 注入し, 反応させた後の容器内に残ったアンモニア濃度 (ppm) の推移を Fig5-2-1, 窒素成分の推移を Fig5-2-2 に示した。木酢液は濃縮による影響に規則的な変化がなく, リンゴ酢は濃縮するに従い, 臭気低減効果が低くなった。玉川温泉は濃縮に関わらず, 高い臭気低減効果がみられた。その他の温泉水は, 濃縮することよりアンモニア濃度が低下した。窒素成分ではすべての反応液で地下水より良好な値を示した。特に木酢液では, 濃縮により窒素成分の増加がみられたが, その他は濃縮による窒素成分の増加がみられなかった。

濃縮による各反応液間のニオイセンサ指示値, pH, アンモニア濃度および窒素成分について Table5-2-1 に示した。ニオイセンサ指示値では, 濃縮しない場合, 有機酸は高い値を示し, 温泉水は低い値を示した。しかし, 濃縮することにより, 酸ヶ湯温泉と蔵王温泉で反応させる前のニオイセンサ指示値が高値を示す結果となった。さらに濃縮して反応させた場合, 玉川温泉についても高い値を示したが, 川湯温泉については濃縮による影響が少なく 5%硫酸と同程度であった。pH は川湯温泉で濃縮による変化がみられたが, その他の酸液は顕著な差異は明らかにならなかった。アンモニア濃度は濃縮しない場合, 有機酸 2 種と玉川温泉で 5%硫酸と同等程度の濃度低下がみられたが, 濃縮することにより, 地下水とリンゴ酢と比較して, その他の酸で

は顕著に低下すること ($p < 0.05$) が明らかになった。窒素成分は木酢液を除き、すべての酸で濃縮による窒素成分に与える影響が確認されなかった。

2. 濃縮した各種天然由来酸との臭気低減効果の関係

濃縮しない反応液 (0 倍) と濃縮した反応液 (10 倍) にアンモニアを飽和させた場合のニオイセンサ指示値、窒素成分を Table5-2-2 に示した。0 倍で飽和した場合、ニオイセンサ指示値では、温泉 4 種が有機酸 3 種と 5% 硫酸に比べ低い値を示し ($p < 0.05$)、地下水と同等程度であった。10 倍に濃縮し飽和した場合でも、酸ヶ湯温泉を除き、0 倍で飽和した場合と類似した結果となった。窒素成分では、0 倍で飽和させた場合、5% 硫酸には及ばないものの有機酸 2 種では温泉 4 種と地下水に比較し高い値となった ($p < 0.05$)。一方、10 倍に濃縮して飽和させた場合、0 倍で飽和した場合と異なる結果となり、有機酸が低く、温泉水が高くなった。特に玉川温泉では、5% 硫酸を上回り、顕著に増加した ($p < 0.05$)。

3. 臭気低減効果と回収効率の関係

臭気低減効果と回収効率との関係を明らかにするために各種反応剤について 0 倍、2 倍、5 倍、10 倍、0 倍飽和、10 倍飽和時のアンモニア濃度および窒素成分の関係について Fig5-2-3 に示した。その中で、玉川温泉を 10 倍に濃縮させ飽和させた場合、5% 硫酸を上回る窒素成分と同等程度の臭気低減効果がみられた。ついで、0 倍時のリンゴ酢、木酢液、10 倍飽和の酸ヶ湯の順であった。温泉水は濃縮させなかった場合、玉川温泉を除き、臭気低減効果と窒素を回収する能力は低くなった。すべての天然由来の酸において、地下水よりも臭気低減効果と回収効率が上回った。

4. 反応後の濃縮が窒素成分の増加に与える影響

蔵王温泉についてのみ，飽和後に濃縮させた場合と濃縮後に飽和させた場合の窒素成分を Table5-2-4 に示した．飽和後の窒素成分は 0.12%となり，それを 10 倍に濃縮した場合も 0.13%と変化がみられなかった．一方，10 倍に濃縮した後に飽和させた場合，0.23%となり有意に高い値を示した ($p < 0.05$)．

5-2-4 考 察

アンモニアは悪臭防止法（悪臭法令研究会編 1996）で規制される物質の一つであり，適正な堆肥化处理を行っても堆肥の温度が上昇する初期（一次発酵）には窒素化合物の分解にともないアンモニアが堆肥化施設から大量に発生する（羽賀 2010，松中と實示戸 2010）．ヒトの嗅覚閾値は非常に低濃度で認識し，感じ取ることができる（日本化学会 1976）ため，可能な限り臭気を発生させない飼養管理技術が畜産業に求められている（Haga1998）．その方策として，家畜ふん尿中のウレアーゼ活性を制御する微生物資材の投入（Kuroda ら 2004）や炭化資材の投入（庄野ら 2005），炭入り飼料の給与（佐々木ら 2010），飼料中の窒素含量を減らす低タンパク質飼料の給与（寺田ら 1998，佐藤 2001）．堆肥の pH 調整（佐藤ら 2005）など多くの技術や資材を用いて臭気の低減が試みられてきた．

その一つとして硫酸やリン酸溶液を用いてアンモニアを薬液脱臭する方法が伊藤ら（2006）や阿部ら（2003，2003a，2006）により開発され，実規模での試験が終わり，普及を待つ段階となっている．しかし，反応液が劇物である硫酸を利用する点や高価であるリン酸を用いる点，さらに得られたアンモニウム肥料が市販の安価な硫安やリン安に比べ窒素成分値が低く，液

体である点など、取扱いに困難が伴うため利用促進への課題となっていた。さらに、工業的な方法で硫酸やリン酸が生成されることから、これらを用いた場合、有機農産物における肥培管理の際の肥料として活用することはできない（日本農林規格協会 2003）ため、粒状硫安の動力噴霧器施用に比べて一般栽培への利用は限定的であった。

一方、本試験に用いた温泉水や有機酸は化学的に合成された肥料とは異なり、家畜ふん由来のアンモニアと自然界に存在する酸を材料として用いたことから有機農産物や特別栽培農産物への特殊肥料として登録の可能性が残されており、数少ない窒素肥料として、今後の研究の進展によっては新たな付加価値を生み出すかもしれない。そこで、本節では、反応液を濃縮することによりこれらの課題解決につながるかを検討した。

反応剤である各種酸の濃縮が与える影響を示した Fig5-2-1 および Fig5-2-2 から、リンゴ酢を加熱濃縮した場合、濃縮が進むにつれて臭気低減効果が著しく低下することが明らかになった。このことから臭気低減を考えた場合、リンゴ酢の加熱による濃縮は避ける必要があることが推察された。一方、温泉水は濃縮が進むにつれて臭気低減効果が高くなり、濃縮が効果的であった。さらに、5%硫酸と比較した場合、すべての酸で5%硫酸と同等程度かそれを上回る結果となったが、窒素成分を増加させる効果は限定的であった。Table2-2-1 に示した濃縮した各種天然由来酸との臭気低減効果の関係を中で、濃縮により複合臭が有機酸よりは低いものの顕著に増加する温泉があった。これは実規模で吸引通気式堆肥化システムを活用した場合、新たな臭気源として課題となる可能性があることから、今後は臭気物質を特定し、低減させることが望ましいと考えられた。アンモニア濃度では、リンゴ酢を除く、その他の酸で5%硫酸と同等程度の臭気低減効果があった。このことは濃縮することによりアンモニア濃度を低下させる能力が向上し、5%硫酸

と同等程度となったことを示しており，5%硫酸との代替への可能性を示唆する結果となった．

Table5-2-2 に 0 倍と 10 倍に濃縮した後に飽和させた窒素成分の結果を示したが，その中で玉川温泉を 10 倍に濃縮し，飽和させたものが 5%硫酸を上回ることが明らかになった．本節の結果から，吸引通気式堆肥化システムにて，これらの酸を反応剤として活用し，肥料利用を検討した場合，Fig5-1-1 にも示すように玉川温泉はヒ素の濃度が原液中に 3.5mg/kg 含有されており，10 倍に濃縮した場合は 35mg となることから前節でも課題とした，肥料取締法による許容値を注意して管理する必要がある．さらにヒ素は環境中から食生活を通じて暴露されないように飼料用の稲ワラの基準値の見直しが行われた（農林水産省 2007）ことなどを考慮すると，場合によっては，工業的手法（岡田ら 2003）により特定の重金属を除去して利活用することが必要になるかもしれない．その際，酸化鉄を添加，凝集させる化学的処理が加わることから，有機農産物や特別栽培米の生産現場での，化学肥料ではない窒素肥料として活用するには課題が残ると考えられた．

得られた反応剤を肥料として活用する場合，広域流通させるには濃度を高くし，容積を小さくする必要がある．Table5-2-4 にも示したように飽和させた蔵王温泉水を 10 倍に加熱濃縮させた場合，著者らは 10 倍の 1.2%になると推定していたが，濃縮前の窒素成分の値と有意な差は確認されなかった．この原因として，本節の中で 10 倍に濃縮した場合，2,000ml を約 6 時間かけて濃縮した．硫酸アンモニウムは一般的に 120℃から分解を始め，硫酸水素アンモニウムとアンモニウムに生ずるとされている（国立医薬品食品衛生研究所 2001）ことから，濃縮過程の中で，加熱部より徐々に熱分解され，揮発し，窒素成分が低下したものと推察された．リンゴ酢で濃縮が進むにつれて臭気低減効果が低下したことからも，濃度を高めて広域流通を模索する

には加熱濃縮によらない手法の選択が好ましいと考えられた。その方法として、逆浸透膜法（伊神ら 1995）や減圧乾燥法（飯島と村岡 2001）、凍結乾燥法（伊藤ら 2004）などの手法を活用すれば、本節で用いた加熱濃縮による結果と異なる成果が得られるかもしれない。特に、本節内で供試した材料は、標高が高く、冬季氷点下になる地点での採取であることから、地熱および低温を効率よく活用すれば、濃縮による新たなコストを抑えることができると思われた。

一方で Fig5-2-1, Fig5-2-2 および Fig5-2-3 に示した臭気低減効果と回収効率の関係からも明らかなように、濃縮により効果が高くなり、減容化が可能で、臭気低減効果と窒素の回収効率が高く、重金属が少ない川湯温泉や酸ヶ湯温泉、蔵王温泉を上記手法も視野に入れ、さらに濃縮させることが可能となれば、これらの酸について、5%硫酸と代替可能になるかもしれない。

以上のことから、天然由来の酸の中では濃縮による注意点があるものの、臭気低減効果と窒素成分が高くなった 10 倍に濃縮した玉川温泉水は吸引通気式堆肥化システムの反応液である 5%硫酸と完全に代替可能であり、窒素肥料としての可能性が明らかになった。

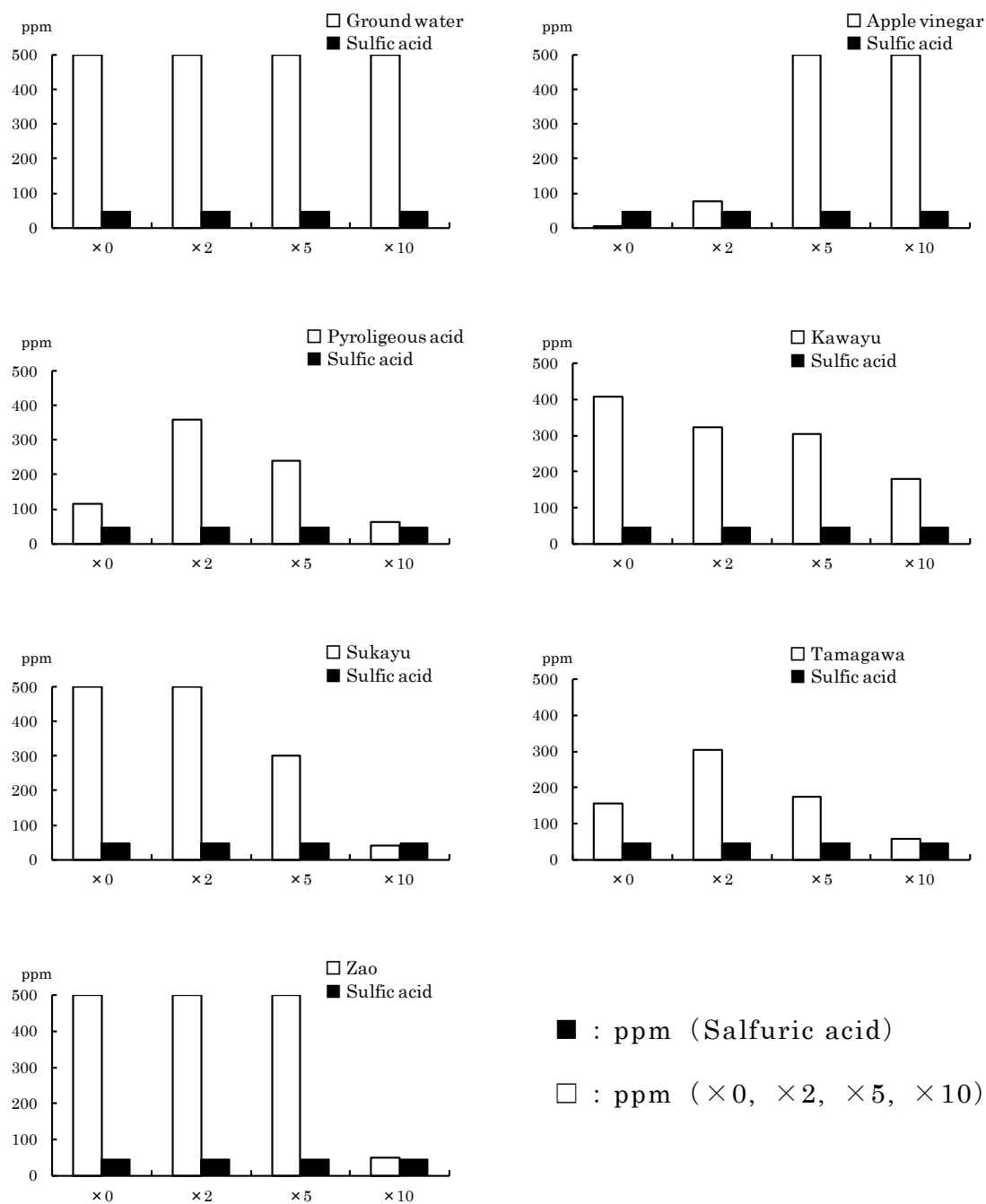


Fig5-2-1. Relationship between concentration rate and density of ammonia in each acids.

NH_3 at 50ml was injected after reactant was poured over the bottle. Reactant was concentrated using a 20ml. Internal gas was gathered by ammonia gas detector tube at 100ml.

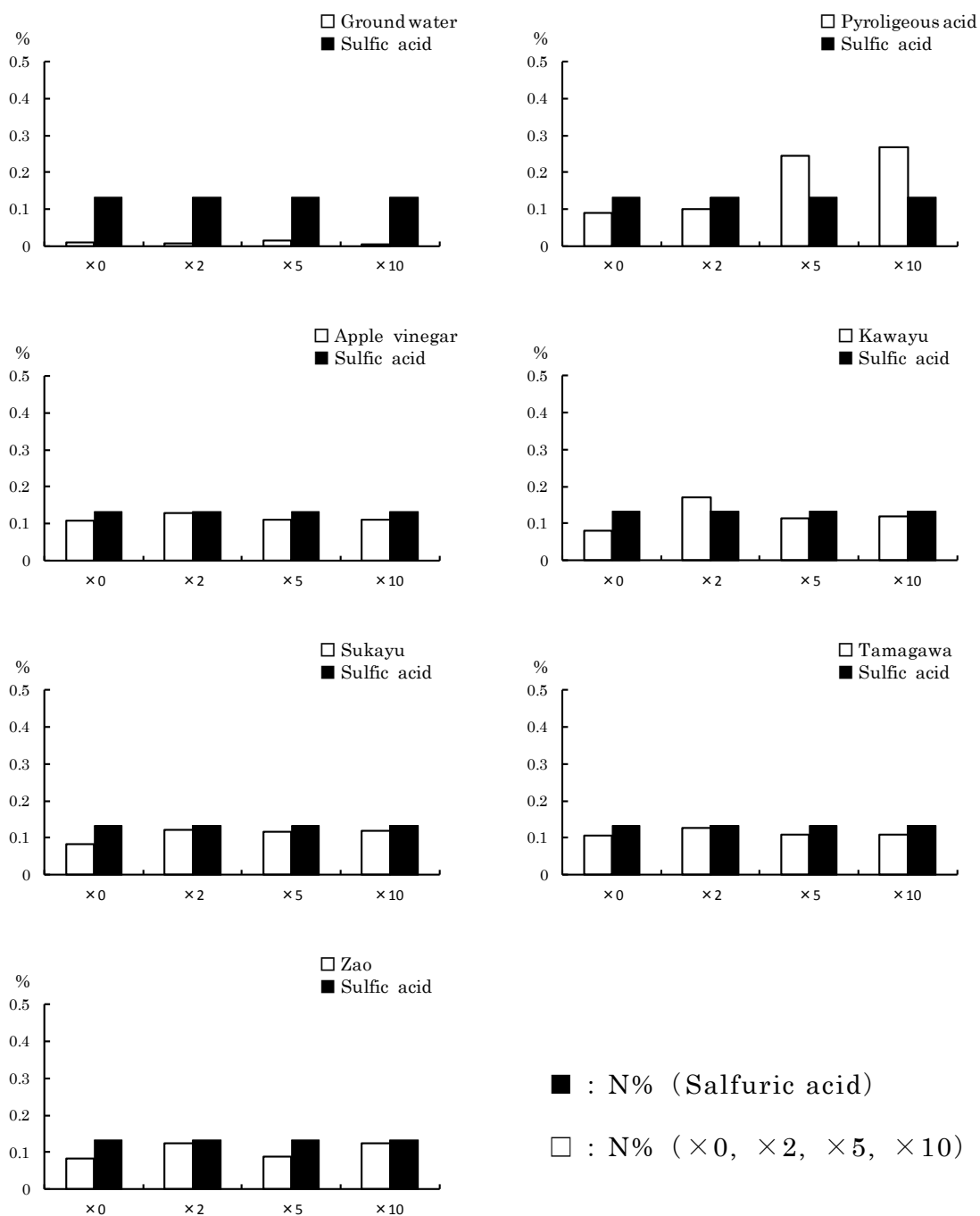


Fig5-2-2. Relationship between concentration rate and nitrogen contents in various acids.

NH_3 at 50ml was injected after reactant was poured over the bottle. Reactant was concentrated using a 20ml. Internal gas was gathered by ammonia gas detector tube at 100ml

Table5-2-1. Impact of each concentrated acidic solution after the reaction with ammonia.

	G water	Pyro acid	Avi	Kawayu	Sukayu	Tamagawa	Zao	Sulfuric 5%	
Oder	Control	8 ± 3 ^{cd}	1096 ± 25 ^a	577 ± 65 ^b	12 ± 1 ^{cd}	15.3 ± 4 ^{cd}	74 ± 8 ^c	68 ± 10 ^{cd}	1 ± 2 ^d
	×10(before) ¹⁾	14 ± 6 ^c	632 ± 108 ^a	734 ± 54 ^a	16 ± 3 ^c	345 ± 9 ^b	46 ± 8 ^c	348 ± 13 ^b	1 ± 2 ^c
	×10(after) ²⁾	25 ± 5 ^d	793 ± 12 ^a	828 ± 46 ^a	5 ± 0 ^d	351 ± 7 ^{bc}	449 ± 90 ^b	337 ± 14 ^c	10 ± 10 ^d
pH	Control	7.6 ± 0.1 ^a	2.8 ± 0.3 ^b	2.8 ± 0.2 ^b	1.5 ± 0.4 ^c	1.5 ± 0.3 ^c	1.0 ± 0.3 ^c	1.8 ± 0.3 ^c	0.0 ± 0.0 ^d
	×10(before)	7.3 ± 0.1 ^a	3.2 ± 0.0 ^b	3.2 ± 0.0 ^b	1.1 ± 0.0 ^e	1.2 ± 0 ^e	0.2 ± 0.0 ^d	1.4 ± 0.1 ^c	0.0 ± 0.0 ^f
	×10(after)	7.4 ± 0.1 ^b	3.4 ± 0.0 ^c	3.4 ± 0.0 ^c	9.8 ± 0.1 ^a	1.3 ± 0.0 ^e	0.2 ± 0.0 ^f	1.8 ± 0.0 ^d	0.0 ± 0.0 ^g
ppm	Control	500 ± 0 ^a	117 ± 29 ^{bc}	5 ± 5 ^c	407 ± 136 ^a	500 ± 0 ^a	157 ± 40 ^b	500 ± 0 ^a	47 ± 6 ^{bc}
	×10(after)	500 ± 0 ^a	63 ± 32 ^b	500 ± 0 ^a	180 ± 182 ^b	40 ± 13 ^b	58 ± 28 ^b	48 ± 63 ^b	47 ± 6 ^b
N%	Control	0.00 ± 0.00 ^e	0.09 ± 0.03 ^{cd}	0.11 ± 0.01 ^{abcd}	0.13 ± 0.00 ^{ab}	0.08 ± 0.01 ^d	0.13 ± 0.13 ^{abc}	0.08 ± 0.01 ^d	0.13 ± 0.01 ^a
	×10(after)	0.01 ± 0.01 ^f	0.27 ± 0.07 ^a	0.09 ± 0.03 ^{bcdef}	0.13 ± 0.00 ^{bc}	0.12 ± 0.00 ^{bcd}	0.14 ± 0.01 ^b	0.27 ± 0.06 ^a	0.13 ± 0.01 ^{bcd}

Control; Non concentrate.

mean±SD.

×10(before) ; acidic solution before reaction with ammonia.

×10(after) ; acidic solution after reaction with ammonia.

oder; oder index, ppm; NH3 concentration, Kj-N; Kjeldahl nitrogen.

G water; ground water, Pyro acid; pyroligneous acid, Avi; Apple vinegar.

Kawayu, Sukayu, Tamagawa, Zao are hot spring water.

Values within columns superscript letters within (a-h)donate significant difference at a 5% level(p<0.05).

Table5-2-2. Effect of the difference in concentration rate of each acidic solution.

	G water	Pyro acid	Avi	Kawayu	Sukayu	Tamagawa	Zao	Sulfuric 5%
N%	Satu	0.00 ± 0.01 ^d	0.93 ± 0.04 ^c	1.11 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.01 ^d	0.18 ± 0.01 ^d	0.08 ± 0.03 ^d	2.05 ± 0.18 ^a
	Satu ×10 ¹⁾	0.00 ± 0.01 ^f	0.30 ± 0.09 ^{de}	0.13 ± 0.01 ^{ef}	0.49 ± 0.01 ^{cd}	2.33 ± 0.04 ^a	0.23 ± 0.00 ^e	2.05 ± 0.18 ^b
Oder	Satu	367 ± 32 ^{cd}	843 ± 14 ^a	611 ± 38 ^b	378 ± 46 ^{cd}	321 ± 49 ^d	4067 ± 22 ^{cd}	821 ± 16 ^a
	Satu ×10	387 ± 25 ^c	856 ± 37 ^a	830 ± 54 ^a	357 ± 43 ^c	325 ± 81 ^c	297 ± 32 ^c	821 ± 16 ^d

Satu; saturated acidic solution.

1)Satu×10; After tenfold concentrated, reacts with ammonia.
mean±SD.

ppm: NH₃ consentration, oder; oder index, Kj-N; Kjeldahl nitrogen.

G water; ground water, LA; crude lactic acid, Pyro acid; pyroligneous acid, Avi; Apple vinegar.

Kawayu, Sukayu, Tamagawa, Zao are hot spring water.

Values within columns superscript letters within (a-h)donate signficante difference at a 5% level (p<0.05).

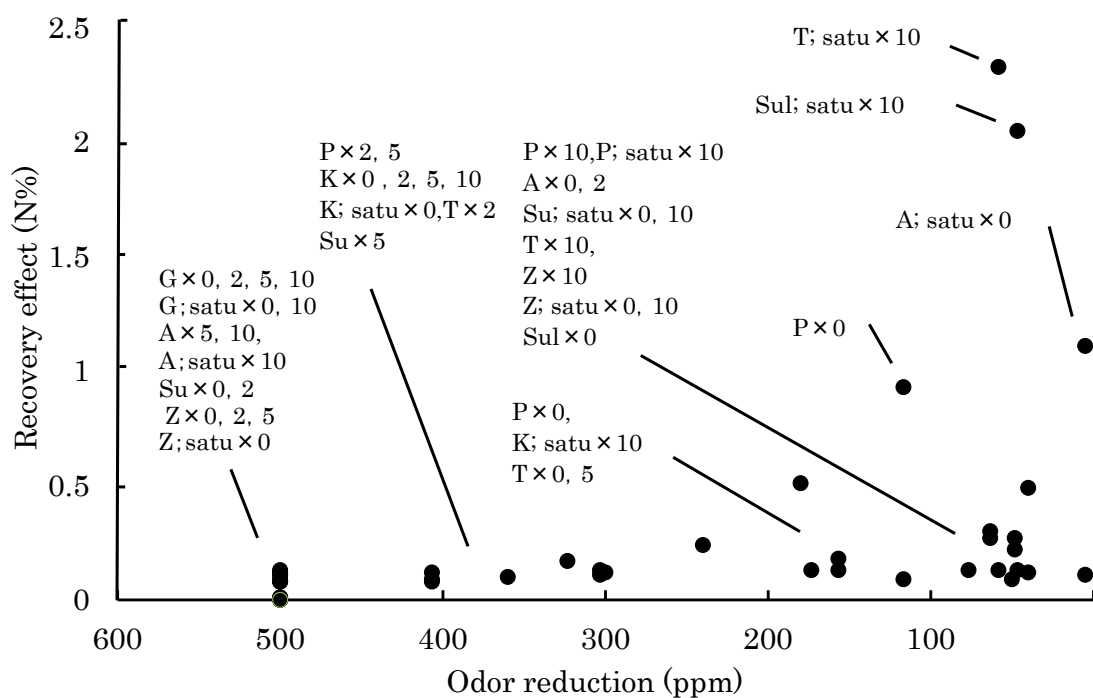


Fig5-2-3. Relationship between recovery effect and odor reduction in each solution.

G; ground water, P; pyroligneous acid, A; apple vinegar.

K; kawayu hot spring water, Su; sukayu hot spring water, T; tamagawa hot spring water, Z; zao hot spring water, Sul; sulfuric acid.

×0, ×2, ×5, ×10; concentration.

Satu ×0, ×2, ×5, ×10; after tenfold concentrated, saturated with ammonia.

Table5-2-4. Difference in concentration of nitrogen content before heating and after heating.

	Saturaiton	Concentrated ten fold after saturation	Saturated after ten fold concentrated
Zao hot spring water	0.12 ± 0.00^b	0.13 ± 0.01^b	0.23 ± 0.00^a

5-2-5 要 約

本節では取扱いに注意を要する硫酸と代替するために濃縮した天然由来の酸をアンモニアと反応させ、その臭気低減効果および回収効率について調査を行った。供試試料は、有機酸である木酢液、リンゴ酢、温泉水である川湯温泉、酸ヶ湯温泉、玉川温泉、蔵王温泉および地下水と 5%硫酸の 8 種であった。これらを 2 倍、5 倍、10 倍に濃縮し、反応剤とした。臭気低減効果はアンモニア濃度、窒素成分、ニオイセンサ指示値と pH について、回収率は飽和時のニオイセンサ指示値、窒素成分を調査した。濃縮が臭気低減効果に与える影響のうち、アンモニア濃度はリンゴ酢を除き、濃縮することによりアンモニア濃度が低くなった。また、それは濃縮による効果は少なく、すべての反応剤で 5%硫酸と同等程度であり、地下水より高くなった。回収率では、10 倍に濃縮した反応剤を飽和させた場合、ニオイセンサ指示値は温泉 4 種が有機酸 2 種と 5%硫酸に比べ、有意に低くなり ($p < 0.05$)、地下水と同程度となった。窒素成分では、玉川温泉が 5%硫酸より高い値となり ($p < 0.05$)、川湯温泉ならびに酸ヶ湯温泉も高い値を示した。これらから天然由来の酸は濃縮することにより 5%硫酸に代替可能であることが示唆された。

第 6 章 総合考察

6-1 研究背景の整理

吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安の持続的な活用は、本システムを安定的に運用する上で不可欠である。すなわち、回収硫安の利用がなされなければ液肥である回収硫安の貯留量が肥大化し、やがて本システムの運用停止を余儀なくされることになる。それは資源循環の停滞を意味し、悪臭対策として吸引通気式堆肥化システムを導入した生産者にとっては困難な場面に直面することとなる。本システムは開発されて以降、装置の改良や技術的課題を中心とした試験研究が盛んに行われてきた(阿部ら 2003, 2003a, 2006, 2006a, b, 福重ら 2004, 伊藤ら 2006, 本田 2009)。一方でシステムから得られた回収硫安を肥料として用いた栽培試験は必ずしも十分とは言えない(農業・食品産業技術総合研究機構(編) 2009a, 2010)。回収硫安の利用を促すためには、多種多様な農作物を供試した栽培試験を重ね、多くの知見を得ることにより、その利用主体となる生産者からの信頼を得ることが必要と考えられる。そのため本研究は回収硫安の積極的な利用を図り、資源循環の停滞といった状態に陥ることがないように飼料用イネを中心とした栽培試験を体系的に行うことを目指した。

回収硫安の利用を促進するためには肥料としての有効性やその特性、施用方法について明らかにする必要がある。そのため、まず、第一として、回収硫安が植物体の肥料として利用可能であるかという点を解明する必要があることから、第 2 章においては回収硫安の施肥水準を変え、市販肥料と代替して利用することが可能かという点を追肥施用にて確認した。次いで、施肥量が多い基肥にも利用可能となればイネ栽培におけるすべての施肥を回収硫安でまかなえる

とともに、その利用の幅を広げることが可能となるため、第 3 章では基肥にも活用を目指すための試験を行った。第 4 章では、実際に圃場にて生産者が散布することを想定した場合に、考えられる課題を抽出するために均一な散布手法について検討した。その手法として実規模での、均一散布に取り組んだ。最後に第 5 章では吸引通気式堆肥化システムの反応剤として用いる劇物である硫酸や高価なリン酸ではなく、安全な天然由来の酸を反応剤として活用することを目的とし有機酸と酸性泉水を用いて試験を行った。

6-2 本論文の到達点と今後の課題

第 2 章から第 5 章まで、吸引通気式堆肥化システムから得られた回収硫安を飼料用イネに施用した際の影響と反応剤として天然由来の酸を用いた研究を行った。本論文の到達点は飼料用イネにおける回収硫安の利用拡大を目指すところにあった。

本研究の結果から、第 2 章において行った飼料用イネの追肥については、回収硫安の施肥水準を高めることにより、収量や玄米 CP 含量において改善がみられ活用の可能性について確認することができた。しかし、第 2 章は小規模での栽培試験であったため、実規模かつ多肥条件で収量や玄米 CP 含量がどのような影響を受けるか再確認をする必要があると考えられた。

第 3 章では 4 つの基肥を準備したが、そのうち回収硫安を加工しないで施用する方法は株元に滴下する方法をとった。それらから得られた結果を比較考察した場合、回収硫安の肥効が良好であると結論付けることができなかった。現在、市販されているペースト肥料に対応した側条施肥機 (Fig6-1) は、専用機となっている。この側条施肥機は粘度の低い液体も適量計測し、稚苗根域に直接施用することが可能である。このことから、基肥に加熱加工した

ペーストを施用するのではなく、回収硫安を原液のまま側条施肥すれば、本論文の結果と異なる成果を得られたかもしれない。そのため、加熱加工の工程を省略するためにも今後はそれらの確認試験が必要であると考えられた。

回収硫安をペースト加工し、根域に直接施用した場合、生育調査の結果から初期生育が改善されるものの、肥効が持続しないという課題が明らかになった。本章での追肥回数は 2 回であったことから、3 回に分施した場合は、肥効が持続し、生育や収量について良好な成果を得られたかもしれない。しかし、3 回にわたる分施は、回収硫安の活用にはつながるものの、省力作業には結びつかないことから、稲体の発育ステージに細密に合わせた施用の検討や肥効の持続につながる増粘剤の模索などを行い、基肥と追肥の両面からアプローチしていくことが重要であると推察された。

第 4 章で行った実規模での散布試験では、圃場の勾配が少なく、かつ漏水田を避けることにより、圃場面に溝切などを施す必要なく、回収硫安を均一に近い形で散布可能であることが明らかとなった。しかし、第 4 章で供試したイネ品種は食用イネとして広く知られている「はえぬき」であったことから、今後は飼料用イネについても実規模かつ多肥条件で施用を行い、その施肥反応による生育や収量に関する影響について確認することが必要であると考えられた。

第 5 章で検討した吸引通気式堆肥化システムの反応剤として天然由来の酸を用いた場合、有機酸については、その特有の臭気と収集コストを考慮すると、強酸性温泉水が好まれる。強酸性温泉水は、泉質や性状が安定しており、大容量の反応剤を一括して収集することが可能であるが温泉水の中には重金属を含むものがある。本研究においてもアンモニアと反応することにより、水酸化物の沈殿として分離可能な金属イオンは問題とならないが、沈殿分離しないヒ素については、回収塩に含まれる可能性があり問題となるかも

しれない．肥料取締法の中で規制された濃度である 35ppm 以下でコントロールしても，安全安心が必要条件の消費市場においては，例え 1ppm しか含まれていなくても，マイナス要因となる可能性が十分にある．そのため，温泉水から得られた回収塩を肥料として利用する場合には従来技術をもってヒ素を取除き，流通させる必要があると考えられた．さらに第 5 章第 2 節の結果では，pH が低く，濃縮倍率が高いものほど反応剤としての可能性が高まる効果が確認されたが，pH が低い強酸性泉は，それほど多くなく温泉水の輸送コストを考慮すると，その近郊の畜産業に利用が限られることが想像できる．また，1.0kg の水を 10 倍，つまり 0.1kg にするには $2.12 \times 10^3 \text{kJ}$ の熱量が必要であり，仮に 100 ℓ の反応剤を確保したい場合，900 ℓ の水分を蒸発させる必要がある．それは灯油で加熱すると想定し，換算すると約 1,500 ℓ となることから，濃縮については，温泉そのものの熱を利用するか，日本古来の製塩法を模した施設等の作製や，夏季の育苗ハウス太陽熱を利用するなどの工夫は必要不可欠である．

吸引通気式堆肥化システムは高濃度のアンモニアガスを効率よく脱臭し，臭気を低減できる反面，高温多湿かつ腐食性成分を含む排気ガスは吸引機自体の運転年数を短くしてしまう (Fig6-2)．この課題は本田 (2007) や福川 (2009) も指摘しており，吸引機の導入時には，耐腐食性能を有するステンレス製のものを導入するか，防錆加工を施すとともに保守点検を定期的に行う必要がある．また，排気中に含まれる水蒸気は結露水となって，配管内もしくは反応槽に蓄積し，液肥の濃度を薄めてしまう．仮に反応槽に対する断熱対策や加温設備を有しない場合，24 時間の結露水の蓄積量は，冬季の最も多い時で 180 ℓ に達し (加藤 2010)，急激な濃度低下と液肥量の増加につながる．薬害の軽減という意味では濃度低下は好ましいが圃場への運搬や一時貯留などのハンドリング性においては結露水の蓄積は好ましくない．そ

のため外気との温度差がなくなるよう断熱材等の設置や加温などの対策が不可欠であると考えられた。

6-3 総 括

近年、臭気の問題は深刻化し、地域住民との訴訟や新規就農者への障壁となり、特に農外就農希望者においては参入をさらに困難とする理由となっている。地域住民との訴訟や問題を避けるため、経営体そのものの移転もしくは臭気対策の実施は不可欠となり、経営負担となる事例も少なくない。対策に伴う投資を行えない畜産経営体は、今後、行き詰まる可能性もあり、臭気対策を行うための費用を抑える技術が切望されている。吸引通気式堆肥化システムは簡易のスクラバと吸引機、電源設備を備えるだけの簡単な構造であるためコストを抑えた臭気対策としての利用も期待されている。

本研究では吸引通気式堆肥化システムを利用し、得られた回収硫安の利用を促すために、基肥、追肥、実規模施用、硫酸コストの低減と安全な管理を目指した天然反応剤の模索を行い、一連の研究に取り組んだ。

その結果、吸引通気式堆肥化システムおよびそれから得られた回収硫安の活用に向けた利点と欠点を明らかにすることができた。また、同時に本研究の中では、確認することができなかった多くの課題についても明らかとなった。

この吸引通気式堆肥化システムは、課題はあるものの、資源循環への強力なツールであるとともに臭気問題に悩む生産者にとって低コストで価値のある重要な技術である。岐阜県が目指す、回収硫安の肥料取締法公定規格改正（岐阜県畜産研究所，2011）を見守るとともに、今後、各方面での更なる研究が進み、日本国内に留まらず世界の悪臭苦情処理に悩む生産者に受け

入れられ、回収硫安の活用とともに臭気問題がなくなり、飼料用イネへも利用が図られ、持続的な資源循環が行われることを願い、本論文の結びとした
い。



Fig6-1. Application of side dressing rice planter.



Fig6-2. Two years after installation of corrosion turbofan.

SUMMARY

1. Background

In the future, securing a stable supply of Japanese livestock feed is predicted to be difficult due to factors such as global population growth and extreme weather conditions. Considering this scenario, forage rice has recently been attracting attention in Japan. The cultivation of forage rice can both produce livestock feed and maintain paddy function. Consequently, the cultivated area of this crop has been increasing rapidly in Japan.

Ammonia generated from livestock waste can be a major source of pollution. Therefore, livestock management stability is important to reduce environmental pollution. Recently, techniques have been developed to solve the problem of livestock-generated ammonia. One such technique involves the use of ammonia-collecting equipment. When using this technique, the ammonia that is released in the process of composting is reacted with sulfuric acid, which stabilizes the ammonia as ammonium sulfate and reduces the unpleasant odor.

In this study, I applied liquid ammonia sulfate liquid fertilizer, produced using the aforementioned ammonia-collecting equipment, to cultivated forage rice. In section 2, I verify the amounts of liquid ammonium sulfate fertilizer (LASF) required for the cultivation of forage rice. In the three sections that follow, I consider how to increase the benefits of liquid ammonium sulfate fertilizer, and in section 4, I investigate how to minimize the variation in fertilizer dispersal. Sections 5-1 and 5-2 examine the use of

SUMMARY

naturally occurring reactants as alternatives to sulfuric acid in stabilizing the recovered ammonia and increasing the safety of the system's operation.

2. Influence of ammonium sulfate fertilizer, recovered through the ammonia-collecting equipment, on the growth and yield of forage rice

The study presented in this section investigated the effectiveness of LASF topdressing for forage rice cultivation. The rice varieties tested included Haenuki, Fukuhibiki, and Bekoaoba. I assigned four different topdressing treatments to each variety: 1) conventional method chemical fertilizer, 3 kgN/10a (CF); 2) Small amounts of fertilizer-LASF, 3 kgN/10a (SF); 3) Moderate fertilizer-LASF, 6 kgN/10a (MF); and 4) Large amounts of fertilizer-LASF, 9 kgN/10a (LF). The leaf color in the LF group was approximately 50% brighter than that of the CF group ($p < 0.05$). Plant length, stem number, and culm length in the MF and LF groups tended to be higher than those in the CF and SF groups. Moreover, in terms of top dry weight and crude brown rice production, MF and LF groups had a yield approximately 15% higher than those of the CF and SF groups. Therefore, LASF is a suitable topdressing treatment for forage rice, and MF is suggested to be the most effective rate of application.

3. The effect of ammonium sulfate paste fertilizer on the growth and yield of forage and edible rice

This section describes ammonium sulfate (ReAS) that was recovered from

SUMMARY

livestock manure compost using ammonia-collecting equipment and used as fertilizer for forage and edible rice. We produced ReAS paste fertilizer (RePa) from ReAS and examined the effects on rice crops. The fertilizer was applied both into the side row soil as a basal dressing and as a topdressing. The cultivation trial involved the rice varieties Fukuhibiki, Bekoaoba, and Tsuyahime, which received the basal dressing at an application rate of 5 kgN/10a and a topdressing at an application rate of 6 kg N/10a. We compared four types of basal dressing, each containing one of the following: conventional chemical fertilizer(CoF), conventional paste fertilizer(CoPa), ReAS, or RePa. The topdressing was composed of either ReAS or conventional ammonium sulfate. The application of CoPa or RePa fertilizer as a basal dressing resulted in an increase in leaf color and in the number of stems compared when compared with the other two treatments. When CoPa or ReAS was added as basal dressing, the whole top weight of the stalks increased. Of the four basal dressing treatments, that containing RePa improved the crude protein content of the brown rice; however, the differences were not significant among topdressing treatments. These results indicate the benefits of applying RePa as a basal dressing, and ReAS as a topdressing, suggesting that these treatments can be used in specific amounts and at specific times during crop planting to enhance rice growth and yields when used as a component of fertilizer.

4. Application of recovered liquid ammonium sulfate fertilizer at the paddy water inlet and its influence on forage rice growth and yield

SUMMARY

The study described in this section examined the effect of liquid ammonium sulfate fertilizer (LASF) applied as a top-dressing to forage rice following application at the paddy water inlet. The tested rice variety was Haenuki and fertilizer was sprayed at a rate of 2 kg/10a. I assessed four types of topdressing treatments: (1) after preparing a shallow ditch using a ditching machine, LASF was applied as a spray at the paddy water inlet (DI); (2) no ditch, LASF was applied as a spray at the paddy water inlet (ND); (3) conventional chemical fertilizer was power-sprayed (PS); and (4) no fertilization (NF). Using these treatments, the electrical conductivity (EC), PS and ND remained stable. However, DI made the transition unstable. In leaf color, the SPAD value was highest in the ND water inlet treatment because LASF was dispersed evenly in this treatment. However, the change in leaf color was greater in the DI and NF treatments. Uniform fertilization was achieved in the PS treatment. The whole top weight was highest for the PS treatment, followed in decreasing order by the NF, ND, and DI treatments; however, the differences were not significant. These results indicate that when the LASF is applied at the paddy water inlet uniform fertilization can be achieved.

5-1. Effect of using naturally occurring acids on the deodorization capability and recovery efficiency of ammonia-collecting equipment

Using the ammonia-collecting equipment, ammonia discharged from livestock manure is reacted with sulfuric acid and what would otherwise be pollution is collected. This procedure therefore represents an important

SUMMARY

means of recycling wastes. To enhance the safety of the procedure, I reacted ammonia with naturally occurring compounds instead of sulfuric acid and investigated the effects on odor and recovery. The naturally occurring reactants investigated were as follows: lactic acid, pyroligneous acid and apple vinegar (organic acids); hot springs water from Kawayu, Sukayu, Tamagawa and Zao; and controls using groundwater or 5% sulfuric acid. With respect to odor reduction, apple vinegar performed the best among the organic acids ($p < 0.05$) and produced an effect comparable to that of 5% sulfuric acid. Among the hot springs waters, Tamagawa water had the greatest effect on odor reduction. In terms of ammonia recovery, lactic acid (of the organic acids) and Tamagawa water (of the hot springs waters) were associated with the highest recoveries. However, a large reduction in odor levels occurred when using each of the organic acids. These results indicate that naturally occurring acids provide effective alternatives to sulfuric acid when using the ammonia-collecting equipment.

5-2. Deodorization using concentrated naturally occurring acids and their effect on ammonia recovery

In this section, I present the results of using concentrated preparations of naturally occurring compounds instead of sulfuric acid to react with ammonia, and I investigated the effects on odor reduction and ammonia recovery. I used pyroligneous acid and apple vinegar as organic acids, and hot springs waters from Kawayu, Sukayu, Tamagawa, and Zao as reactants. As controls, I used groundwater and 5% sulfuric acid. These solutions

SUMMARY

were used at 2, 5, and 10 times concentrations. With the exception of apple cider vinegar, increasing the concentration of the reactant decreased the concentration of recovered ammonia. In each case, the effect of increasing the reactant concentration on the nitrogen content of the reaction product was small. The effect of all the reactants was equivalent to that of 5% sulfuric acid and was superior to that of groundwater. In terms of odor index, the effect was maximal at 10 times concentration. The effect of the hot springs waters on the odor index was significantly less than that of either the organic acids or 5% sulfuric acid. Hot springs water had an approximately equivalent effect on odor as groundwater. In terms of nitrogen content, the effect of hot springs water from Tamagawa was higher than that of 5% sulfuric acid. These results indicate that concentrated naturally occurring acids provide effective alternatives to 5% sulfuric acid in the stabilization of collected ammonia.

本論文の要旨

本研究では、堆肥化の過程で大気中に放出されるアンモニアを効率的に回収することが可能となる吸引通気式堆肥化システムを活用し、その反応の際に得られる硫安液肥（回収硫安）の有効活用を、飼料用イネを中心として検討するため、一連の試験を実施した。

試験の全容としては、回収硫安が飼料用イネに利用可能であるかの検証（第2章）、次いで回収硫安の利用拡大方法の模索（第3章）、散布ムラの少ない液肥散布方法の検討（第4章）、最後に、安全な吸引通気式堆肥化システムの利用方法として反応剤を硫酸から天然由来の酸へ代替した際の課題抽出を行った（第5章）。

まず初めに、第2章では、吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安を飼料用イネと食用イネの追肥として用い、施肥水準を変えることにより、その効果を明らかにした。各施肥水準は、窒素成分を基準として、少肥区は 3kg/10a、中肥区は 6kg/10a、多肥区は 9kg/10a、そして慣行肥料 3kg/10a の4処理を設けた。その結果、施肥量を増やすにしたがい、葉色（SPAD）の改善や収量ならびに粗玄米タンパク質が増加する傾向が確認されたことから、飼料用イネおよび食用イネの追肥肥料として、利用可能であることが示唆された。

第3章においては、回収硫安の利用を飼料用イネの基肥にも活用することにより、活用範囲を拡大することを目的とした。その際に用いた基肥は4種類であり、市販硫安、市販ペースト、回収硫安、回収をペースト化した回収ペーストを用いた。施肥水準は 5kg/10a で全て同一であった。回収硫安をペースト化する目的として、イネ栽培における環境保全型施肥法として、注目されつつある側条ペースト施肥体系への応用の可能性を目指し、供試した。

その結果、イネの稚苗の根域付近に直接施用する回収ペーストは初期生育においては効果がみられるものの肥効が持続せず、課題を残す結果となった。しかし、回収硫安を直接施用する場合と比較して、粗玄米収量や地上部重などで多くなる傾向がみられたことから、ペースト化することは、一定程度の効果が収量に対して期待できることが明らかになった。

第4章では、回収硫安を実規模で圃場に散布した際に、課題となる均一散布の手法について4つの処理区を設けて比較検討した。処理区は、田面にV字状の溝を作製した作溝有区、それを設けなかった作溝無区、動力噴霧器にて散布した慣行施肥区、無施肥区の4処理区であった。低コストかつ省力的に散布するために水口から流入施用することとした。さらに不均一散布を防ぐためにマリOTT式施肥器にて散布を行った。尚、調査は肥料成分の田面拡散において、人為的な攪乱が最小となるように実施した。調査項目としては田面水中の経時的な電気伝導度ならびにpHの変化、散布後14日目のSPADによる施肥効果、収穫後の最終的な収量調査を行った。その結果、V字状の溝を作製した作溝有区の場合、液肥が迅速に水尻方向へ移動し、均一散布においては不向きであることが明らかとなる一方で、作溝無区では、肥料成分が田面全体に比較的均等に拡散し、その後の生育についても効果的であった。しかし、圃場条件による影響が大きいことが考えられることから、事前に漏水田かどうかなどの圃場条件を確認する必要があると考えられた。

第5章については、吸引通気式堆肥化システムの課題となる反応剤を硫酸やリン酸などの工業製品由来の酸ではなく、天然由来の酸への活用を検討した。第1節では、天然由来の酸として、乳酸廃液、木酢液、リンゴ酢の有機酸、川湯温泉、酸ヶ湯温泉、玉川温泉の強酸性酸性泉水と5%硫酸を供試した。臭気低減効果はアンモニア濃度、窒素成分、pHについて、回収効率は飽和時の窒素成分、pH、ニオイセンサ指示値を調査した。これらの結果か

ら、臭気低減効果については有機酸ではリンゴ酢が最も高い効果がみられ、5%硫酸と同等程度であったが、ニオイセンサ指示値が有機酸では高くなった。玉川温泉は、温泉水の中では最も臭気を低減させた。反応液の飽和時の窒素成分は有機酸では発酵乳酸が最も高くなり、温泉水では玉川温泉が最も高くなった。これらから天然由来の有機酸や温泉水は硫酸に代替可能であることが示唆された。次いで、天然由来の酸の課題として、硫酸と比較し、低濃度による流通コストの増大と反応効果の低下をあげることができる。第2節では、このような課題を解決するために天然由来の酸の濃縮が臭気低減効果ならびに回収効率を与える影響を明らかにすることを目的とした。供試材料は、有機酸である木酢液、リンゴ酢、温泉水である川湯温泉、酸ヶ湯温泉、玉川温泉、蔵王温泉および地下水と5%硫酸の8種であった。これらを2倍、5倍、10倍に濃縮し、反応剤とした。臭気低減効果はアンモニア濃度、窒素成分、ニオイセンサ指示値とpHについて、回収効率は飽和時のニオイセンサ指示値、窒素成分を調査した。その結果、濃縮が臭気低減効果に与える影響の内、アンモニア濃度はリンゴ酢を除き、濃縮することによりアンモニア濃度が低くなった。窒素成分は濃縮による効果は少なく、すべての反応剤で5%硫酸と同等程度であり、地下水より高くなった。回収効率では、10倍に濃縮した反応剤を飽和させた場合、ニオイセンサ指示値は温泉4種が有機酸2種と5%硫酸に比べ、低くなり、地下水と同程度となった。窒素成分では、玉川温泉が5%硫酸より高い値となり、川湯温泉ならびに酸ヶ湯温泉も高い値を示した。これらから天然由来の酸は濃縮することにより5%硫酸に代替可能であることが示唆された。

以上、本研究の主要な結果をまとめると、吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安は飼料用イネの基肥および追肥にも活用可能であるが、基肥においては、初期生育において課題がみられたことから、肥効持続につな

がる手法の検討が必要であると考えられた。一方、追肥においては、施肥回数を増やすことで生育および収量に対して良好な成果となったが、実規模での追肥回数増加については今後の検討課題となった。天然由来酸液を吸引通気式堆肥化システムの反応剤として用いるには、その安定的な確保やコストの点、臭気低減効果、回収効率などから検討した場合、強酸性温泉水が有効であることが明らかとなった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって、山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センターの吉田宣夫教授には、終始懇切丁寧な指導と論文の校閲を賜った。山形大学農学部の堀口健一教授には実験の細部にわたって懇切丁寧なご助言と論文の校閲をいただいた。同学部、高橋敏能教授には論文作成にあたり有益なご助言とご校閲をいただいた。また、弘前大学農学生命科学部の松崎正敏教授には、多方面からの的確なご指導と論文のご校閲をいただいた。さらに、帯広畜産大学の花田正明准教授には、本論文の作成にあたり、論文のご校閲を賜った。

本研究の実施にあたっては、畜産草地研究所の阿部佳之氏、天羽弘一氏、小島陽一郎氏、九州沖縄農業研究センターの本田善文氏、東北農業研究センターの福重直輝氏には吸引通気式堆肥化システムの導入と貴重なご助言をいただいた。また、中央農業研究センターの石川哲也氏および江波戸宗大氏においても、得られた反応液の利用拡大に関するご助言をいただいた。

試験材料の提供においては、ピューラックジャパン（株）の瀧澤誠氏、環境省ウトロ自然保護官事務所(当時)の中村仁氏、酸ヶ湯温泉の武田照夫氏、玉川温泉の村木勝正氏にはご協力をいただいた。

本研究は、山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センターにおいて実施した。同センター職員の皆様には本研究を遂行するにあたり栽培技術について終始様々なご指導とご協力を受けた。

ここに記して各位に厚く感謝の意を表する。

引用文献

A

- 1) 阿部佳之・福重直輝・伊藤信雄・加茂幹男（2003）吸引通気式堆肥化处理技術の開発(第1報)吸引通気式堆肥化の特徴. 農業施設 33:39-45.
- 2) 阿部佳之・福重直輝・伊藤信雄・加茂幹男（2003a）吸引通気式堆肥化处理技術の開発（第2報）-吸引通気式堆肥化におけるアンモニアの回収の可能性-. 農業施設 34:21-30.
- 3) 阿部佳之（2006）家畜排せつ物の堆肥化工程の課題と展望. 日本草地学会誌 52:50-58.
- 4) 阿部佳之・福重直輝（2006a）堆肥化处理に向けた簡易なアンモニアスクラバ. 農業機械学会誌 68:29-31.
- 5) 阿部佳之・本田善文・伊藤信雄・福重直輝・坪井正規・岡本富夫（2006b）吸引通気式堆肥製造施設の廃棄処理及び排気処理方法，特許番号；4418886号.
- 6) 阿部佳之（2010）牛ふん尿の堆肥化過程におけるアンモニアの回収と利用. 平成22年度家畜ふん尿処理利用研究会資料 平22-2:11-16.
- 7) 安西徹郎・戸村雅彦・松本直治（1984）豚尿連用水田における土壌の理化学性と水稻の生育，第一報作土の科学性の推移及び水稻生育からみた豚尿施用法. 千葉農業試験研究報告 25:145-154.
- 8) 安西徹郎・戸村雅彦・松本直治（1985）水田に対する豚尿施用の実際-土壌への影響及び水稻生育の両面から見る. 農業及び園芸 60:1017-1022.
- 9) 安西徹郎（1987a）豚尿連用水田における土壌の理化学性と水稻の生育，第4報水田における豚尿の施用時期について. 千葉農業試験研究報告

28 : 29-38.

- 10) 安西徹郎 (1987b) 水稻に対する豚尿の追肥としての施用効果. 日本土壌学会誌 58 : 369-373.
- 11) AOAC (1990) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th Edn, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- 12) 悪臭法令研究会編 (1996) 新訂ハンドブック悪臭防止法. 東京, p23-31.

C

- 13) 蔡 義民・藤田泰仁・村井 勝・小川増弘・吉田宣夫・北村 亨・三浦俊治 (2003) 飼料イネサイレージ調製への乳酸菌 (*Lactobacillus plantarum* 畜草 1 号) の利用. 日本草地学会 49 : 477-485.
- 14) 千葉寿夫 (2002) 水田飼料作物の生産利用拡大. 全農 Grass15 : 19-28.
- 15) 畜産環境整備機構 (2011) メタン発酵消化液の水田利用および堆肥の燃焼利用マニュアル. 東京, p23-38.

F

- 16) FAOSTAT (2010) <http://faostat.fao.org/>, イタリア (ローマ), [2012 年11月10日参照].
- 17) 藤井弘志・安藤 豊・松田裕之・柴田康志・森 静香・小南 力・長谷川 愿 (1998) 追肥時期および遮光処理による穎花生産効率の変化とそれが精米中タンパク質含有率に及ぼす影響. 土壌肥料学雑誌 69 : 463-469.
- 18) 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎 (2006) 土壌肥料用語辞典. 東京, p121.

- 19) 福重直輝・阿部佳之・朴 宗洙・伊藤信雄（2004）吸引通気式堆肥発酵処理における環境負荷物質の回収技術の開発．農業機械102：25-34.
- 20) 福川たい一郎（2009）実証中のクレーン型吸引通気式堆肥化技術とは - 臭気のない資源回収に挑む．酪農ジャーナル 62：21-23.
- 21) 古谷 修（2003）新技術・内外畜産環境情報 新技術情報 堆肥の熟度判定器「コンポテスター」の原理とその使用上の留意点．畜産環境情報 20：23-27.

G

- 22) 岐阜県畜産研究所（2011）平成23年度畜産研究所の基本方針，岐阜，
http://www.beef.rd.pref.gifu.jp/WELCOM/H23KITA/H23%20kihonhoshin_Ver3.pdf [2012年11月10日参照].
- 23) 後藤英次・野村美智子・稲津 脩（2006）寒冷地稲における施肥法別の窒素利用率と各器官への分配率が白米タンパク質含量に及ぼす影響．日本作物学会記事 75：451-458.

H

- 24) Haga K. (1998) Animal Waste Problems and Their Solution from the Technological Point of View in Japan. Japan Agricultural Research Quarterly 32：203-210.
- 25) 羽賀清則（2010）家畜ふん尿処理の今後の方向性．日本畜産学会報 81：207-211.
- 26) 原 嘉隆・土屋一成・中野恵子・田中章浩（2008）熟度が異なる牛ふん堆肥を飼料イネ栽培前後に施用した水田土ポットにおける冬季の窒素溶脱．日本作物学会九州支部会報 74：14-16.

- 27) 東野孝明・柴田 晃・谷田貝光克 (2005) 蒸留による木酢液の品質規格作成に向けての基礎的研究 (第 1 報) -蒸留木酢液における構成成分の規則性と再現性の研究. 木材学会誌 51 : 180-188.
- 28) 平野 清 (2008) 持続的畜産のための草地管理に関する諸課題. 日本草地学会誌 54 : 74-77.
- 29) 肥料経済研究所 (2012) 肥料の農家購入価格情報, 東京,
http://www.hi-kei-ken.jp/hiryou/price/h_price.html
[2012年11月10日参照].
- 30) 本田喜文 (2007) 吸引通気式堆肥化処理方式等による家畜排せつ物資源化システムの開発. 中央畜産会, 東京,
http://group.lin.gr.jp/2008/siryo/honda_sro.pdf [2012 年 12 月 2 日参照].
- 31) 本田善文 (2009) 飼料米の生産技術・豚への給与技術-新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「飼料米」の成果. 茨城, p10-11.
- 32) 堀越 壮一・飯島 明宏・富岡 淳・関 順司・加藤 政彦・小澤 邦壽 (2007) 群馬県における地下水硝酸性窒素濃度低下に関する考察. 水環境学会誌 30 : 283-286.
- 33) 細田謙次・西田武弘・石田元彦・松山裕城・吉田宣夫 (2004) 飼料イネ「ホシアオバ」ロールベールサイレージ給与泌乳牛の採食量. 消化率および乳生産量. 日本草地学会誌 51 : 48-54.
- 34) Hyde B.P., Carton O.T., Tool P.O., Misselbrook T.H. (2003) A new inventory of ammonia emissions from Irish agriculture. Atmospheric Environment 37 : 55-62.

I

- 35) 市川岳志・有坂通展・種田貞義・植木一久（1995）水口流入による穂肥施用技術．北陸作物学会報 30：38-39.
- 36) 飯島徹穂・村岡信義（2001）真空で何ができるか．東京，p42-44.
- 37) 伊神晴之・早川喜郎・山田康則・石黒幸雄（1995）トマトジュースの高濃縮方法．特許出願第 235967 号．
- 38) 池田加江・小山 太・高椋九次郎・福田憲和（2006）家畜ふん堆肥の腐熟度判定における発芽インデックス法の有効性．福岡県農業総合試験場研究報告 25：135-139.
- 39) 稲発酵粗飼料推進協議会（2002）稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル．東京，p7-24.
- 40) 稲津 脩（2005）高品質米（低タンパク質米）の栽培技術．農業機械学会誌 67：4-9.
- 41) 井上孝司・太田隆・宮脇長人（2004）凍結濃縮法及び濃縮液．特許出願第 367967 号．
- 42) 石川晃・佐々井司・別府志海（2011）国連世界人口推計2010年版の概要．人口問題研究所67：13-50.
- 43) 石間紀夫・平 宏和・平 春枝・御小柴穆・吉川誠次（1974）米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響．食品総合研究所研究報告 29：9-15.
- 44) 伊藤 元・田口 裕・伊藤広孝・今枝紀明・大谷 健（2006）硫酸溶液へのバブリング方式による堆肥舎の脱臭．岐阜県畜産研究所研究報告 6：34-39.

- 45) 岩谷 潔・山本晴彦・早川誠而（1997）葉緑素計とプラントキャノピーアナライザーを用いた水稻の収量構成要素の推定．日本作物学会中国支部研究集録 38：86-87.

J

- 46) 徐 春城・蔡 義民・守谷直子・甘利雅弘・村井 勝・小川増弘（2007）近赤外分析法による無粉碎飼料イネの飼料成分の推定．日本草地学会誌 53：6-10.

K

- 47) 化学大事典編集委員会編（1981）化学大事典．東京，p436.
- 48) 金谷千津子（2007）飼料イネの β -カロテンおよび α -トコフェロール含量と肉用牛肥育に対応したサイレージ調製．日本草地学会誌 53:167-171.
- 49) 金田吉弘（1995）肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 2 不耕起移植栽培の育苗箱全量施肥技術．土壤肥料学雑誌 66：176-181.
- 50) 神成陽容・馬場剛・速水洋（2001）日本におけるアンモニア排出の推計．大気環境学会誌 36：29-38.
- 51) 加藤誠二（2010）アンモニアリサイクラーを用いた高窒素豚ふん堆肥の製造．平成22年度家畜ふん尿処理利用研究会資料 平22-2：17-20.
- 52) 勝俣昌也・佐々木啓介・斎藤真二・石田藍子・京谷隆侍・本山三知代・大塚 誠・中島一喜・澤田一彦・三津本充（2009）肥育後期豚への玄米の給与が皮下脂肪の性状に及ぼす影響，日本畜産学会報80：63-69.
- 53) 河本英憲・山口弘道・小松篤司・押部明德（2009）飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切・高密度詰込みの影響．日本草地学会誌 54:323-327.

- 54) 川村周三・夏賀元康・河野慎一・伊藤和彦（1996）機器分析法と官能試験法とによる米の食味評価．農業機械学会誌 58：95-104.
- 55) 気象庁（2010）気象統計情報．気象庁総務部総務課広報室，東京，
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> [2010 年 12 月 2 日参照].
- 56) 気象庁（2011）気象統計情報．気象庁総務部総務課広報室，東京，
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> [2011 年 12 月 2 日参照].
- 57) 小出繁夫（2001）牛尿豚尿は，安くて限りなく魅力的な肥料．現代農業 3：182-185.
- 58) 国土交通省（2010）玉川酸性水中和処理事業の効果について．東北地方整備局・玉川ダム管理所，東京
<http://www.thr.mlit.go.jp/tamagawa/02koho/11tyuuwa/tyuuwakouka.pdf>. [2012年11月10日参照].
- 59) 国立医薬品食品衛生研究所（2001）国際化学物質安全性カード，東京，
<http://www.nihs.go.jp/ICSC/icssj-c/icss0632c.html>
[2012 年 11 月 10 日参照].
- 60) 越川昌美・高松武次郎（2004）土壌-河川-湖沼系におけるアルミニウムの動態と化学．地球環境 9：83-91.
- 61) 小山信明（2006）耕作放棄地の畜産的利用．日本草地学会誌 52:109-110.
- 62) 小柳 渉・安藤義昭（2001）外観色による家畜ふん堆肥の評価．新潟県農業総合研究所畜産研究センター研究報告 13：18-19.
- 63) 久保田勝（1998）水稻の流入施肥の現状と新しい流入施肥法．農業及び園芸 73：795-799.
- 64) 倉田陽平・林 弥太郎（1971）一般成分分析法，動物栄養試験法（森本

- 宏監修) . 東京, p286-298.
- 65) Kuroda K., Hanajima D., Fukumoto Y., Suzuki K., Kawamoto S., Shima J., Haga K. (2004) Isolation of Thermophilic Ammonium-tolerant Bacterium and Application to Reduce Ammonia Emission during Composting of Animal Wastes. *Bioscience Biotechnology Biochemical* 68 : 286-292.
- 66) 黒田和孝 (2006) 養豚で利用される臭気対策資材. 日本養豚学会誌 43 : 143-167.

M

- 67) Möller D., Schieferdecker H. (1985) A relationship between agricultural ammonia emissions and atmospheric sulphur dioxide content over industrial areas. *Atmospheric Environment* 19: 695-700.
- 68) 松田裕之・藤井弘志・柴田康志・小南 力・長谷川愿・大渕光一・安藤 豊 (1997) 水稻の窒素吸収量からみた籾生産効率と精米中のタンパク質含有率の関係. 土壤肥料学雑誌 68 : 501-507.
- 69) 松田裕之・藤井弘志・安藤 豊・柴田康志・横山克至・森 静香・小南 力 (2000a) 精米一粒当たり窒素量および一穎花当たり窒素量と精米一粒重が精米中のタンパク質含有率に与える影響. 土壤肥料学雑誌 71 : 41-46.
- 70) 松田裕之・藤井弘志・安藤 豊・森 静香・小南 力・柴田康志 (2000b) 一穂穎花数の多少が精米中のタンパク質含有率に与える影響. 土壤肥料学雑誌 71 : 697-699.
- 71) 松田裕之・森 静香・藤井弘志・安藤 豊・横山克至・小南 力 (2001) 幼穂形成期の追肥窒素量の違いが登熟期間の光合成や根の活性におよぼ

- す影響. 土壤肥料学雑誌 72 : 667-672.
- 72) 松中照夫・寶示戸雅之 (2010) 循環型酪農へのアプローチ. 江別, p138-145.
- 73) Martins O., Dewes T. (1992) Loss of nitrogenous compounds during composting of animal waste. *Bioresource Technology* 42 : 103-111.
- 74) 宮地 慎・野中和久・松山裕城・細田謙次・小林良次 (2010) 品種及び加工法の異なる飼料米の第一胃内分解特性. 日本草地学会誌 56 : 13-19.
- 75) 森田昌孝・石川 恵・吉田宣夫・堀口健一・高橋敏能 (2012) 吸引通気式堆肥化システムで回収した硫酸液肥が飼料用イネの生育および収量に与える影響. 日本草地学会誌 58 : 166-172 .

N

- 76) 中込弘二・山口誠之・片岡知守・滝田正・東 正昭・横上晴郁・加藤 宏・田村泰章 (2005) 直播栽培に適する稲発酵粗飼料専用新品種「べこあおば」の育成. 東北農業研究 58 : 3-4.
- 77) 中島秀治・関矢博幸 (1997) 大区間水田における水口流し込み追肥法の検討. 日本土壤肥料学会講演要旨集 43 : 196.
- 78) 中野真理 (2011) 飼料用米の現状と課題. 国立国会図書館 ISSUE BRIEF. 716 : 3-6.
- 79) 新野 崇 (2009) 飼料用米栽培の基本と多収・省力技術飼料用米の栽培・利用～山形県庄内の取り組みから～ (小沢 亙・吉田宣夫編). 東京, p15.
- 74) 日本化学会 (1976) 味とにおいの化学. 東京, p47-50.
- 80) 日本農林規格協会 (2003) 有機農産物検査認証制度ハンドブック (改訂版). 東京, p7-25.

- 81) 日本草地畜産種子協会（2012）稲発酵粗飼料生産・
ル．東京，3-189.
- 82) 農業環境技術研究所（2009）2009年夏の低日照が水稻作況低下に影響，茨城，<http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/sokuhou/091027/html>
[2010年12月10日参照].
- 83) 農業・食品産業技術総合研究機構（編）（2009）粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発-飼料用米の生産・給与技術マニュアル<第1版>.
東京，p1-3，7，89.
- 84) 農業・食品産業技術総合研究機構（編）（2009a）飼料米の生産技術・豚への給与技術〈新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「飼料米」の成果．東京，p9-13.
- 85) 農業・食品産業技術総合研究機構（編）（2012）飼料用米の生産・給与技術マニュアル〈2011年度版〉，東京，p-2.
- 86) 農林水産技術会議（2009）新しい多収米品種—加工用米及び飼料用米等，新規需要米の生産に向けて—．東京，p4.
- 87) 農林水産省（2005）食料・農業・農村基本計画．東京，
http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf
[2012年11月10日参照].
- 88) 農林水産省（2007）稲わら中のひ素基準の見直し（平成19年12月7日付け農業資材審議会資料），東京，
http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/siryou/18_17/pdf/ref_data4.pdf
[2012年11月10日参照].
- 89) 農林水産省（2009）平成20年度 食料・農業・農村白書，東京，p 88.

http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h20/pdf/z_all.

[2012年11月10日参照].

90) 農林水産省 (2009a) 肥料および肥料原料をめぐる情勢, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h20/pdf/z_all.pdf

[2012年11月10日参照].

91) 農林水産省 (2010) 2010年世界農業センサスー耕作放棄地面積. 農林水産省大臣官房統計部, 東京,

[http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001034606&cycode=](http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001034606&cycode=0)

0 [2012年11月10日参照].

92) 農林水産省 (2010a) 食料・農業・農村基本計画. 農林水産省, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf

[2012年11月10日参照].

93) 農林水産省 (2011) 飼料用稲の生産・利用を推進する施策の展開. 農林水産省生産局畜産振興課, 東京, [http](http://www.naro.affrc.go.jp/project/research_activities/files/shiryoine2011_06.pdf)

[://www.naro.affrc.go.jp/project/research_activities/files/shiryoine2011_06.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/project/research_activities/files/shiryoine2011_06.pdf)[2011年12月2日参照].

94) 農林水産省 (2012) 平成23年度 食料・農業・農村白書, 東京, p 88.

http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h23/pdf/z_1_1_1.pdf

[2012年11月10日参照].

95) 農林水産省 (2012a) 畜産環境をめぐる情勢, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/meguru_zyousei.pdf [2012年11月10日参照].

96) 農林統計協会 (2010) 畜産統計平成21年度版, 農林水産省大臣官房統

計部編，東京，p 141.

97) 農林統計協会（2010a）畜産統計平成21年度版，農林水産省大臣官房統計部編，東京，p 144.

98) 農林統計協会（2011）ポケット農林水産統計平成22年度版，農林水産省大臣官房統計部編，東京，p 65.

99) 農林統計協会（2011a）ポケット農林水産統計平成22年度版，農林水産省大臣官房統計部編，東京，p 174.

100) 農林統計協会（2011b）ポケット農林水産統計平成22年度版，農林水産省大臣官房統計部編，東京，p 182.

101) 農林統計協会（2011c）ポケット農林水産統計平成22年度版，農林水産省大臣官房統計部編，東京，p 188.

O

102) 岡田秀彦・小原健司・三橋和成・和田仁・柳谷茂夫（2003）水溶液中の砒素除去処理方法及び水溶液中の砒素除去処理システム．特許第281589号．

103) 大山興央（2001） 水稻新奨励品種「はえぬき」の特徴と栽培上の留意点，香川，
<http://www.pref.kagawa.jp/noshi/seika/houzyou/41pdf/41crop1.pdf>
[2010年11月30日参照].

P

104) Parker D.R., T.B. Kinraide and L.W. Zelazny（1989） On the phytotoxicity of polynucle arhydroxy-aluminum complexes. Soil Science Society of America Journal53 : 789-796.

- 105) Purac (2011) Purac products. Animal Health, T 引用文献
http://www.purac.com/EN/Animal_health/Products/Pigs.aspx.
[2011 年 9 月 1 日参照].

S

- 106) 崎尾さやか・小森谷博 (2007) 豚ふんの吸引通気式堆肥舎と簡易スクラバ及び剪定枝を活用したバイオフィルタの組み合わせ脱臭技術の開発. 埼玉農林総合研究センター研究報告 7 : 25-30.
- 107) 佐々木浩一・鈴木人志・池田幸生 (2009) 粃殻炭添加飼料給与による豚ふんからの臭気低減効果. 秋田県農林水産技術センター畜産試験場研究報告 23 : 48-53.
- 108) 佐藤克昭・片山信也・望月建治・芹沢駿治 (2005) pH の調整で堆肥からの悪臭 (アンモニアガス) 発生を低減する技術. 静岡県農業水産部・環境森林部農林水産関係試験研究成果情報. 2005 : 104-105.
- 109) 佐藤守 (2001) ニワトリおよびブタからの環境負荷物質の低減化に関する栄養飼料学的研究の動向. 日本畜産学会報 72 : 177-199.
- 110) 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤郎 (1993) 肥効調節型被覆尿素を用いた水稻の全量不耕起直播栽培. 日本作物学会紀事 62 : 408-413.
- 111) 関矢博幸・木村勝一・西田瑞彦 (2008) 飼料用イネ向けの簡易な流入施肥による追肥法. 東北農業研究 61 : 25-26.
- 112) 白石誠・佐藤和久・大家理哉・正吉輝彦・吉田拓司・脇本進行・内田啓一・古川陽一・奥田宏健 (2003) 飼料イネに対する牛尿の施用試験. 岡山県総合畜産センター研究報告 14 : 65-70.
- 113) 杉本清美・大泉長治・山口岑雄 (2007) 乳牛ふんの吸引通気式堆肥化とリン酸スクラバ及び地域未利用資源による簡易脱臭法. 千葉県畜産総合

研究センター研究報告 7 : 65-75.

引用文献

- 114) 須藤和久・新井一博・茂木浩徳・福田博文 (2003) 飼料イネ栽培における家畜尿液肥の利用. 群馬県畜産試験場研究報告 10 : 55-64.
- 115) 須藤和久 (2003) 牛・豚尿液肥の水田水口施用による稲発酵粗飼料用イネの生産特性. 関東東海北陸農業研究成果情報 1 : 8-9.
- 116) 須山哲男 (2004) 土地利用を基盤とした家畜生産の展望. 日本草地学会誌 50 : 429.
- 117) 庄野俊一・黒田和孝・鈴木一好 (2005) 炭化パルプスラッジによる貯留豚ふんの臭気抑制. 鳥取県中小家畜試験場研究報告 55 : 57-62.

T

- 118) 高橋匡・市田淳治・加藤陽治 (2011) リンゴ搾汁残渣からの醸造酢製造とその機能性. 日本食品科学工学会誌 58 : 37-42.
- 119) 高橋能彦 (1993) 水稻不耕起移植栽培におけるペースト側条施肥の肥料利用率と稲体の窒素吸収特性. 土壤肥料学雑誌 64 : 681-684.
- 120) 高橋能彦・土田 徹・岩津雅和 (1997) 水稻側条施肥における緩効ペースト肥料の効果. 日本土壤肥料学会講演要旨集 43 : 194.
- 121) 田中良・神名川真三郎・猪野亮 (1991) 水田の自動水口管理システムを利用した農薬・肥料の省力施用法. 東北農業研究 44 : 95-96.
- 122) 田中良・佐野幸一・猪野亮・神名川真三郎 (1992) 水田の自動水口管理システムを利用した農薬・肥料の省力施用法. 東北農業研究 45 : 107-108.
- 123) 寺田文典・阿倍啓之・西田武弘・柴田正貴 (1998) 肥育牛の窒素排せつ量の推定. 日本畜産学会報 69 : 697-701.
- 124) 豊川好司 (2008) リンゴ粕の飼料化技術. pp. 1-74. 弘前大学出版.
- 125) 土田徹・高橋能彦・佐藤孝・大山卓爾 (1998) 水稻に対する液肥の灌

- 126) 土屋一成・菅原修・金和裕・金田吉弘 (1996) 大区画圃場における流し込み施肥による水稻の省力的追肥技術．東北農業研究 49 : 49-50.
- 127) 辻 藤吾 (2000) ペースト肥料による水稻の初期生育抑制障害と障害に対する資材の施用効果．日本土壤肥料学雑誌 71 : 454-463.
- 128) 中鉢富夫・浅野岩夫・及川勉 (1986) 葉緑素計による水稻 (ササニシキ) の窒素栄養診断．日本土壤肥料学雑誌 57 : 190-193.

U

- 129) 上垣隆一・重田一人・小川増弘・小林寿美・遠野雅徳・蔡 義民 (2010) 飼料米の調製貯蔵時の処理がソフトグレインサイレージの発酵品質に及ぼす要因の解析．日本畜産学会報 81 : 353-362.
- 130) 上田弘美・下田健之助 (1981) 水稻に対する牛ふん尿の流入施用法．農業技術 36 : 313-315.
- 131) 上野正夫・熊谷勝巳・富樫政博・田中伸幸 (1991) 土壤窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術．土壤肥料学雑誌 62 : 647-653 .
- 132) 牛尾進吾・吉村直美・斎藤研二・安西徹郎 (2004) 家畜ふん堆肥の成分特性と肥料的効果を考慮した施肥量を示す「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」．日本土壤学雑誌 75 : 99-102.
- 133) 浦川修司 (1999) ホールクロップ用稲のロールベール収穫調製システム．畜産の研究 53 : 141-146.

W

- 134) 渡辺昭三 (2004) 次の段階に入るEUの畜産環境規制と農家の対応--

最近のデンマーク・オランダ・フランス調査から（その環境問題の現状と対策）．畜産環境情報27：2-7.

Y

- 135) 山本 朗（1999）水稻に対する緩効性ペースト肥料の肥効．作物中国支部研録 40：20-21．
- 136) 山本朱美・古谷修・小堤恭平・小川雄比古・吉栄康城（2007）畜産臭気における臭気指数と市販ニオイセンサ指示値との関係．日本畜産学会報 79：235-238.
- 137) 山下鏡一・藤本堯夫（1974）肥料と米の品質に関する研究 4 窒素施肥による精米中のタンパク質の変化と食味の関係．東北農試研報 48：91-96.
- 138) 吉田宣夫（1999）尿素添加式ロールベアラーワラ類，飼料イネの尿素処理－．畜産の研究53：134-140.
- 139) 横内圀生・市戸万丈・代永道裕・鈴木一好（2006）家畜排せつ物利用の背景と技術開発の現状．特集：家畜排せつ物の利用研究の課題と方向．日本草地学会誌 52：43-49.
- 140) 湯浅佳織・岩田忠寿・青木研一（1986）側条施肥が水稻の地上部および地下部の生育におよぼす影響．北陸作物学会報 21：65-67.

Z

- 141) 全国飼料増産行動会議（編）（2009）稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル．東京，p9.

