

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 9 月 6 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03097

研究課題名(和文)有機質資材を利用した肥効と温室効果ガス削減の両立できる複合型肥料の開発

研究課題名(英文) Development of combined organic fertilizer aiming for both acting and mitigating effect

研究代表者

須藤 重人(SUDO, Shigeto)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・グループ長

研究者番号：40354071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：家畜ふんたい肥等有機肥料を原料とし、化学肥料成分の追加によって肥効を調整したペレット肥料(混合堆肥複合肥料)の土壌施用による温室効果ガス(GHG)の発生傾向とその削減手法の開発を3年間行った。GHGのうち最も肥料由来で重要なのは一酸化二窒素(N₂O)であった。ペレット肥料とN₂O排出量の間にはペレットのpH(酸性度)との関係性が深いことが明らかとなった。野菜栽培など肥効を維持しつつN₂O排出を可能な限り削減するには、ペレットのpHを塩基性に近い状態に調整することが有効だが、この条件に適したpHの領域を好む野菜等に適するものとの組み合わせが必要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

畜産排泄物を活用した肥料生産は地球上の物質循環を加速させ、炭素貯留を促進することから一般に環境に配慮した営農体系とされている。本研究では、家畜ふんたい肥のペレット化は、上記の家畜排せつ物の可搬性を高める意味で有効な手段であるが、有機態窒素の集積によって脱窒など温室効果ガス(N₂O)の排出増加の傾向があることを示すとともに、肥効を維持しつつN₂O排出量を抑制するためのたい肥そのた成分の混合条件の提示をする先駆けとなった。今後、肥効のみならずGHG排出の観点からも、ペレットたい肥ベースの肥料が改良されていくことが期待される。

研究成果の概要(英文)：Development of greenhouse gas (GHG) generation tendency and its reduction method by soil application of pellet fertilizer (mixed compost compound fertilizer) whose fertilizer effect is adjusted by adding chemical fertilizer components using organic fertilizer such as livestock manure. The most fertilizer-derived and important GHG was nitrous oxide (N₂O). It was clarified that there is a close relationship between the pellet fertilizer and N₂O emissions with the pH (acidity) of the pellets. In order to reduce N₂O emissions as much as possible while maintaining fertilizer effect such as vegetable cultivation, it is effective to adjust the pH of the pellet to a state close to basic, but for vegetables that prefer a pH range suitable for this condition. It was suggested that a combination with a suitable one was necessary.

研究分野：境界農学

キーワード：温室効果ガス 一酸化二窒素 ペレット肥料 混合堆肥複合肥料 土壌 酸性度

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化学肥料、堆肥の双方について、硝化抑制効果や、分解時間調整などの施肥法テクニックにより土壌から発生する N_2O の削減への試みがなされてきた。しかし、施肥方法によって一時的に硝化を抑えても、最終的には硝酸態窒素への転換は進むため、一定の割合（施肥窒素の約 1%）の N_2O が副生成物として産生するため、施肥法での N_2O 抑制は困難であった。

2. 研究の目的

窒素高付加ペレット堆肥の場合は、高窒素付加によって、逆に N_2O の排出量が下がる。畑での肥効を考慮した、窒素高付加ペレットは、肥料としての実用性、かつ N_2O 排出削減効果によって、低炭素社会実現にも有望だが、現時点では、 N_2O 低減の明確な理由はわからない。本研究はこの「何故」を解明し、肥効と GHG (N_2O)削減を同時に実現する手法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

堆肥ペレット状肥料として実用化されているものは、混合堆肥複合肥料として販売されている。本研究では牛ふん堆肥と他の有機質資材とを組み合わせた混合堆肥複合肥料の肥効検証題材に、たい肥、追加化学成分の混合比を変化させた試作品について、試験管レベルおよび圃場レベルでの N_2O 排出量の違いを観測した。また、当該混合堆肥複合肥料の施用によって作物栽培の肥効に現れる影響について解析した。

(1) 窒素肥効評価：ポット栽培試験（コマツナ）

- ア 供試資材：朝日アグリア（株）試作混合堆肥複合肥料 5 点
試作混合堆肥複合肥料（6-6-6）酸性
試作混合堆肥複合肥料（6-6-6）アルカリ性
試作混合堆肥複合肥料（6-6-6）中性
試作混合堆肥複合肥料（6-4-4）消石灰混合
試作混合堆肥複合肥料（6-4-4）もみ殻くん炭混合
（製品 pH を調整した 4 種及びもみ殻くん炭混合製品 1 種）

イ 試験場所：神奈川県農業技術センター内ガラス温室

ウ 試験規模：1/5000a ワグネルポット、3 反復

エ 供試作物：コマツナ「夏楽天」（サカタのタネ）

オ 試験区構成：

供試肥料施用区：供試肥料 $N_{250mg/pot}$ 相当量施用区を設定。

では、リン酸、カリは重焼リン、硫酸カリで不足分を補てんした。

化学肥料施用区（対照区）：窒素 0, 125, 250mg 相当量（硫安）施用区を設定。

カ 試験方法：淡色黒ボク土に供試資材又は化学肥料を施用後、コマツナ種子 25 粒を播種し、約 10 日後に間引きを行い、5 株とし、施用約 1 ヶ月後に生育調査を行った。

1 作目：2020.6.2 播種 7.3 調査 2 作目：2020.7.6 播種 8.18 調査

キ 調査項目：コマツナ生育量及び葉色（SPAD）

窒素吸収量（VarioMAX-CN（エレメンタル社製）で測定）

(2) リン酸肥効評価：ポット栽培試験（チンゲンサイ）

ア～ウ：(1)に同じ。

エ 供試作物：チンゲンサイ「青冴」（サカタのタネ）

オ 試験区構成：

供試肥料施用区：供試肥料リン酸 250mg/pot 相当量施用区を設定。

化学肥料施用区（対照区）：リン酸 0, 125, 250mg 相当量（重焼リン及び過リン酸石灰）施用区を設定。

なお、土壌は未耕地黒ボク土（腐植質黒ボク土）を用い、栽培前にタイニー 30g/pot 混合し土壌の pH 調整を行った。

カ 試験方法：各ポットにチンゲンサイ種子 25 粒を播種し、約 10 日後に間引きを行い、5 株とし、約 1 ヶ月後に収穫調査を行った。

1 作目：2020.6.2 播種 7.6 調査 2 作目：2020.7.8 播種 8.25 調査

キ 調査項目：チンゲンサイ生育量

(3) 肥料埋設試験（供試資材の窒素分解特性の検討）

ほ場に施用した有機質資材の残存性（土づくり効果）を検討するため、土壌と供試資材をガラス繊維ろ紙に包んで作土中に埋め込み、分解経過を測定した。

- ア 供試肥料：朝日アグリア（株）試作混合堆肥複合肥料5点（1）に同じ
 イ 試験方法：各試料（同炭素量）を圃場土壌と混合し、ガラス繊維ろ紙に充てん、防根シートに封入したものを2020年10月5日に神奈川県農業技術センター内露地圃場作土中に埋設し、1か月後及び収穫時に取り出し、乾燥、粉碎後、測定に供試した。
 ウ 測定項目：内容物（土壌+肥料）重量、含水率、炭素含有率、地温（10cm深）

（4）温室効果ガスの圃場観測試験

（1）各種ペレット肥料施用時の亜酸化窒素発生量の検討

（ア）試験区：

- 試作混合堆肥複合肥料（6-6-6）酸性 施用区
- 試作混合堆肥複合肥料（6-6-6）アルカリ性 施用区
- 試作混合堆肥複合肥料（6-6-6）中性 施用区
- 試作混合堆肥複合肥料（6-4-4）消石灰混合 施用区
- 試作混合堆肥複合肥料（6-4-4）もみ殻燻炭混合 施用区
- 化成肥料施用区（普通化成8-8-8を施用）
- 無窒素区 無施用区

各肥料の特性は、表1のとおり。

表1 各肥料の特性

試作品名	水分	pH	TC	TN	C/N比	TP	TK
	%		%			%	
酸性ペレット	3.78	5.58	29.0	6.55	4.4	7.15	6.34
アルカリペレット	2.89	7.05	29.4	6.31	4.5	7.31	6.53
中性ペレット	3.30	10.09	29.8	6.54	4.5	7.05	6.82
消石灰混合ペレット	2.72	12.29	29.7	6.40	4.4	4.66	4.43
もみ殻炭混合ペレット	4.23	6.36	33.8	6.57	5.2	4.18	4.04

（イ）供試作物：ハウレンソウ‘クロノス’（サカタのタネ）

（令和2年10月5日施肥 10月6日播種 11月19日収穫）

（ウ）試験場所：所内共同圃場 露地ほ場

（エ）試験規模：試験規模：7.5 m²/区（2.5×3.0m）（栽植様式：30cm間隔×8条）

～ は、各3区、 は1区設定

（オ）調査項目：作物収量、土壌理化学性、地温、土壌水分など（表2）

温室効果ガス：亜酸化窒素（約20cm径のチャンバーを設置し、1週間に1回ないし2回の定期的にガス採取を行い、測定に供試する）測定は島津GC-17A型ECD付きガスクロマトグラフにより行った。

表2 供試土壌の理化学性

試験区名	栽培前													栽培後	
	pH	EC (mS/cm)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	交換性塩基			CEC (meq/100g)	塩基飽和度				pH	EC (mS/cm)
						CaO	MgO	K ₂ O		CaO	MgO	K ₂ O	合計		
酸性	6.7	0.08	3.7	1.6	14.2	532	98	61	32.3	59	15	4	78	6.6	0.08
アルカリ	6.6	0.10	4.3	1.4	13.7	536	100	72	32.8	58	15	5	78	6.5	0.09
中性	6.6	0.09	4.0	1.6	14.0	554	104	65	33.1	60	16	4	80	6.4	0.10
消石灰	6.6	0.07	3.7	1.7	13.7	525	98	62	32.8	57	15	4	76	6.5	0.09
もみ殻炭	6.6	0.05	4.4	1.7	13.9	549	103	67	33.0	59	15	4	79	6.5	0.08
化成肥料	6.7	0.08	3.6	1.7	13.6	553	105	60	32.7	60	16	4	80	6.5	0.08
無窒素	6.6	0.09	3.9	1.6	14.3	526	98	63	32.5	58	15	4	77	6.4	0.11
無施肥	6.7	0.10	3.9	1.7	12.6	569	105	70	33.1	61	16	5	82	6.5	0.07
平均	6.6	0.08	3.9	1.6	13.8	541	101	65	32.8	59	15	4	78	6.5	0.09

4. 研究成果

（1）栽培前土壌では、各区間で大きな差は認められなかった。また、pH、ECは栽培前後で大きな変化は認められなかった（表2）。

（2）ハウレンソウ収量は、有意な差ではないが、酸性ペレット区で若干低い傾向にあった（表3）。

（3）ハウレンソウの窒素含有率、窒素吸収量では、酸性ペレット区で低く、化成肥料区、もみ殻燻炭混合ペレット区で高い傾向にあった（表3）。

（4）コマツナのポット栽培試験で各資材の窒素肥効を評価したところ、1作目で消石灰添加区が若干低いが、2作合計では、同分量の硫安区と同等程度となった（図2）。

（5）チンゲンサイのポット栽培試験で各資材のリン酸肥効を評価したところ、1作目では、全資材で同分量の過リン酸石灰や重焼リンに比べ、低く、消石灰添加区で極めて低かったが、2

作目で回復し、各資材とも、化学肥料区を上回った(図3)

(6)埋設試験により各資材の窒素成分の動態を評価したところ、比較的速やかな溶出が認められ、各資材間での大きな差は認められなかった。また、溶出率は、収穫期までで、6~7割程度となった(図4)

ポット栽培試験などで各資材の肥効を評価したところ、初期の窒素、リン酸肥効が低い部分が認められたが、全期間では、十分な肥効が認められた。

(7)ポット栽培試験に基づいて、上記のpHの異なる試作肥料から排出されるN₂Oを観測した。また、神奈川県平塚市の黒ボク土圃場において、上記の試作肥料を施用した土壌において、ホウレンソウの栽培を実施し、肥効を検証した。pH(酸性、中性、アルカリ性)の違いによってN₂Oの排出傾向は明瞭に異なった(図1)。酸性条件において排出量は低い傾向にあった。一方で、肥効については、ホウレンソウがアルカリを好む傾向があるため、酸性では収量は低くなった。今後は、上記の知見を踏まえて、好適なpH条件で作物を大まかに分類し、それぞれに適したペレット肥料を作成することが望ましい。

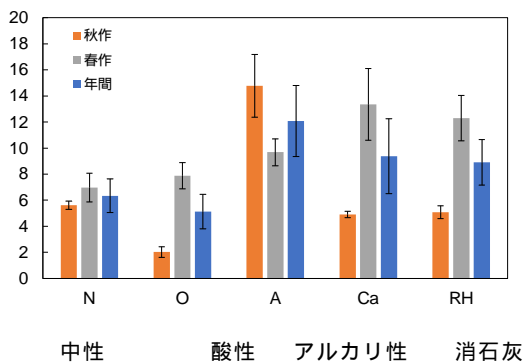


図1 酸性度の違いがN₂O排出傾向に及ぼす傾向の違い(ブリケット型混合堆肥複合肥料)

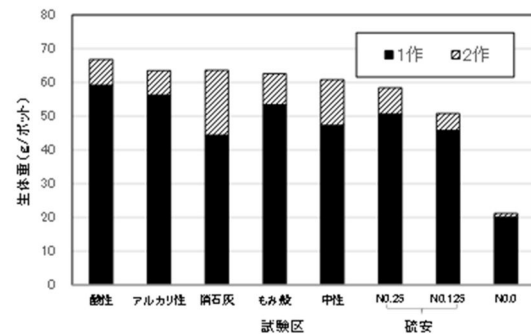


図2 酸性度の違いコマツナ生育に及ぼす傾向の違い(ブリケット型混合堆肥複合肥料)(ポット試験)

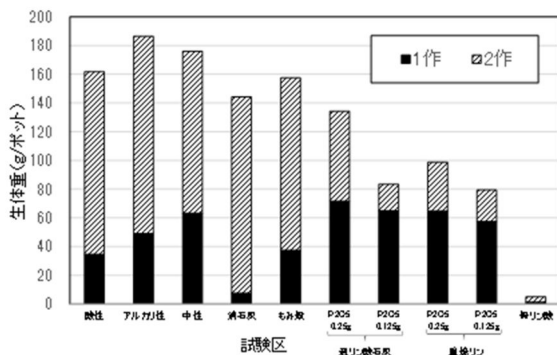


図3 酸性度の違いがチンゲンサイ生育に及ぼす傾向の違い(ブリケット型混合堆肥複合肥料)(ポット試験)

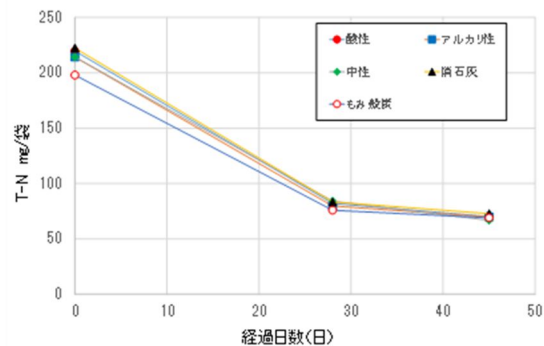


図4 酸性度の違いが土壌中での窒素分解に及ぼす傾向の違い(ブリケット型混合堆肥複合肥料)(埋設試験)

関連する研究成果:

水田転換畑での大豆栽培における肥効調節型窒素肥料の使用と減肥による一酸化二窒素削減効
 Hiroyuki Hasukawa, Yumi Inoda, Takayuki Takayama, Kunihiro Takehisa, Shigeto Sudo, Hiroko Akiyama, Junta Yanai, Soil Science and Plant Nutrition 1-11 2021年12月31日

チェルノゼムおよび黒ボク土における堆肥混合化学肥料がCO₂、N₂O生成と植物生育に与える影響
 Makiba Sato, Magdolna Tállai, Andrea Balláné Kovács, Imre Vágó, János Kátai, Miwa Yashima Matsushima, Shigeto Sudo, Kazuyuki Inubushi
 Soil Science and Plant Nutrition 1-8 2021年10月23日

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hasukawa Hiroyuki, Inoda Yumi, Toritsuka Satoshi, Sudo Shigeto, Oura Noriko, Sano Tomohito, Shirato Yasuhito, Yanai Junta	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of Paddy-Upland Rotation System on the Net Greenhouse Gas Balance as the Sum of Methane and Nitrous Oxide Emissions and Soil Carbon Storage: A Case in Western Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 52 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture11010052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oo Aung Zaw, Sudo Shigeto, Fumoto Tamon, Inubushi Kazuyuki, Ono Keisuke, Yamamoto Akinori, Bellingrath-Kimura Sonoko D., Win Khin Thuzar, Umamageswari Chellappan, Bama Kaliappan Sathiya, Raju Marimuthj, Vanitha Koothan, Elayakumar Palanisamy, Ravi Venkatachalam, Ambethgar Vellaisamy	4. 巻 10
2. 論文標題 Field Validation of the DNDC-Rice Model for Methane and Nitrous Oxide Emissions from Double-Cropping Paddy Rice under Different Irrigation Practices in Tamil Nadu, India	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 355 ~ 355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture10080355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須藤重人	4. 巻 91
2. 論文標題 農耕地温室効果ガスの高精度測定法開発と温暖化緩和策研究への活用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 325-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山本昭範	4. 巻 91
2. 論文標題 農耕地における一酸化二窒素の生成経路の解明と発生削減策に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 337-338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Basalirwa Daniel, Sudo Shigeto, Wacal Cosmas, Oo Aung Zaw, Sasagawa Daisuke, Yamamoto Sadahiro, Masunaga Tsugiyuki, Nishihara Eiji	4. 巻 66
2. 論文標題 Impact of fresh and aged palm shell biochar on N2O emissions, soil properties, nutrient content and yield of Komatsuna (Brassica rapa var. perviridis) under sandy soil conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 1~16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2019.1705737	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kimani Samuel Munyaka, Bimantara Putu Oki, Hattori Satoshi, Tawaraya Keitaro, Sudo Shigeto, Cheng Weiguo	4. 巻 66
2. 論文標題 Azolla incorporation and dual cropping influences CH4 and N2O emissions from flooded paddy ecosystems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 152~162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2019.1705736	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 郷内 武、藤田 裕、佐野 智人、大浦 典子、須藤 重人、朝田 景、江口 定夫	4. 巻 90
2. 論文標題 黒ボク土ナシ園における豚糞堆肥を活用した代替施肥による大気圏および水圏への窒素負荷軽減効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 363~371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20710/dojo.90.5_363	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大澤剛士, 山崎和久, 田淵研, 吉岡明良, 須藤重人, 石郷岡康史, 高田まゆら
2. 発表標題 レガシーデータを再利用してアカスジカスミカメの分布拡大メカニズムに迫る
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会大会講演要旨
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蓮川 博之, 猪田 有美, 武久 邦彦, 秋山 博子, 須藤 重人
2. 発表標題 水田転換小麦跡大豆畑における被覆肥料と減肥の組合せによるN2O排出量削減効果の定量評価
3. 学会等名 日本土壌肥料学会講演要旨集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 須藤重人, 山口誠之	4. 発行年 2020年
2. 出版社 サイエンスウインドウ 2020年4月	5. 総ページ数 4
3. 書名 農業で地球温暖化に立ち向かう ~水田からのメタン抑制と高温耐性のイネ育種~	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 メタン除去装置、高純度窒素供給システム、ガスクロマトグラフ 分析システム及び触媒機能再生方法	発明者 須藤重人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-219549	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

農研機構ホームページ https://www.naro.go.jp/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山本 昭範 (YAMAMOTO AKINORI) (20733083)	東京学芸大学・教育学部・准教授 (12604)	
研究分担者	竹本 稔 (TAKEMOTO MINORU) (80502096)	神奈川県農業技術センター・三浦半島地区事務所・課長 (82722)	
研究分担者	上山 紀代美 (KAMIYAMA KIYOMI) (40503652)	神奈川県農業技術センター・生産環境部・課長 (82722)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関