

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05766

研究課題名（和文）飼料イネ連作水田における土壌カリウム肥沃度の長期持続性の評価と改善策の提示

研究課題名（英文）Long-term monitoring and improvement of soil potassium availability under continuous cropping of forage rice

研究代表者

森塚 直樹（Moritsuka, Naoki）

高知大学・教育研究部総合科学系生命環境医学部門・准教授

研究者番号：10554975

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：熊本県上益城郡御船町の同一農家が管理する8筆の水田の39地点を調査定点として、飼料イネから食用米に作付を戻した時に土壌のK肥沃度がどのように回復するのかを評価した。飼料イネから食用米に作付を戻すと、表層土（0-15 cm）の交換態Kは速やかに回復し、熱硝酸可溶性非交換態Kは逆に減少する傾向を示した。飼料イネ水田では下層土（15-30 cm）の交換態Kと非交換態Kも食用米水田より低い値を示した。そして食用米に作付を戻すと下層土の交換態Kも回復し、K溶脱が示唆された。また、国内の水田作土（6圃場群、190試料）を供試して、テトラフェニルホウ酸ナトリウム法を利用した土壌難溶性K簡易評価法を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、全国に先駆けて飼料イネ栽培を導入した圃場を用いて、長期間の飼料イネ栽培を止めて食用米に作付を戻した時に土壌のK肥沃度が回復するのかどうかを評価した。飼料イネ連作で粗放的な管理を続けると、土壌中のK含量が低下し、その後の食用米の収量を制限しうると予想していたが、土壌の交換態K含量は速やかに回復し、逆に非交換態K含量は減少するという予想外の結果が得られた。さらに下層土も表層土と同様に、飼料イネ連作水田の交換態Kと非交換態Kが食用米水田より低い値を示した。そのため土壌のK肥沃度診断では交換態Kだけでなく非交換態Kの評価、また作土だけでなく下層土の評価も重要であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：In Mifune town, Kumamoto prefecture, Japan, the production of rice for whole crop silage (WCS rice) started in around 2000. After the 2016 Kumamoto earthquake, however, the production of WCS rice in Mifune town was returned to the production of edible rice. Since 2014, we have conducted a monitoring survey by evaluating soil fertility in four WCS rice fields and four edible rice fields. In this study, we evaluated the changes of soil K fertility following the land use change from WCS rice to edible rice. Soon after the land use change, the concentration of exchangeable K in the surface soil (0-15 cm) increased and the concentration of nonexchangeable K tended to decrease. Similar trends were observed in the subsoil (15-30 cm), suggesting the leaching of K from the surface to the subsurface layer by the edible rice production. Besides these results, we developed a simple method for estimating the content of nonexchangeable K in paddy soil using extraction with sodium tetraphenylborate.

研究分野：土壌肥科学、植物生育環境学、持続的農業科学

キーワード：飼料イネ カリウム 水田生態系 土壌診断 長期持続性評価

1. 研究開始当初の背景

1970年にイネの減反政策が始まり、田畑輪換や転作畑が普及してきた。近年では転作水田での発酵粗飼料用イネ(以下、飼料イネ)の栽培が急速に拡大している。飼料イネの作付が最も盛んな都道府県は熊本県である(2021年作付面積7994ha、全国の18.1%)(農林水産省、2021)。その中でも上益城郡御船町のタバコ農家は、県内の他の市町村に先駆けて1998年に飼料イネを葉タバコの後作のクリーニング作物として導入し、その後、稲作農家にも飼料イネ栽培が広まった。

圃場に稲わらが還元される食用米とは異なり、圃場から地上部全体が持ち出される飼料イネ栽培において地力を維持するためには持ち出された養分量に応じた施肥が求められる。しかし御船町の飼料イネ栽培では、コスト削減を優先した結果、食用米よりもむしろ粗放的な施肥管理が行われてきた。

これまでに飼料イネの連作が土壤肥沃度に及ぼす影響を農家圃場で評価した事例はほとんどない。しかも既存の研究では耕畜連携が適切に機能し、圃場から持ち出された肥料成分を堆肥として再び圃場に施用できる体制が整っている圃場での研究が行われてきた。そのため御船町のような粗放的な施肥管理が水田土壤肥沃度に及ぼす影響は不明であった。

研究代表者らは、2014年に御船町の同一の稲作農家が管理する水田から4筆の食用米(ヒノヒカリ)連作水田と4筆の飼料イネ(ミナミユタカ)連作水田を定点調査圃場として選定し(図1)飼料イネの連作が土壤肥沃度に及ぼす影響を継続的に調査してきた。その結果、2014-2016

2018年の表層土壌特性値の飼料イネ水田/食用米水田比は、低い順に交換態K(0.54/0.54/0.28)、熱硝酸可溶性K(0.69/0.66/0.61)、可給態ケイ素(0.73/0.72/0.69)、可給態窒素(0.80/0.84/0.76)、可給態リン(0.80/0.79/0.77)となった。Kは飼料イネ水田がより低いだけでなく、食用米水田との差が広がる傾向にあった。



図1: 定点調査圃場と作付形態。食: 食用米水田、飼: 飼料イネ水田。写真は国土地理院の空中写真閲覧サービスを利用して入手した。

2. 研究の目的

(1) 上記の定点調査圃場を用いて、飼料イネ水田と食用米水田の土壤Kの肥沃度と動態を明らかにすることを目的とした。さらに定点圃場では2016年4月の熊本地震後に飼料イネ連作から食用米へと作付体系が急速に変化してきたため、長期間に亘る飼料イネ連作を止めて食用米栽培に戻した時に土壤のK肥沃度がどのように回復するかも合わせて評価した。

(2) 土壤のK肥沃度の長期持続性を推定するためには、交換態Kよりも難溶性の非交換態Kの量や動態を考慮することも重要であるという見地から、テトラフェニルホウ酸ナトリウム(NaBPh₄)法を利用した土壤難溶性K簡易評価法の開発を試みた。具体的には、多量の非交換態Kを抽出できるNaBPh₄は、Na⁺によって交換抽出された交換態および固定態KがKBPh₄として沈殿するため、この沈殿量がK抽出量と比例しうると考えて、この沈殿反応を利用した手法の開発を試みた。

3. 研究の方法

(1) 御船町の同一の生産者が管理する水田から4筆の食用米(ヒノヒカリ)連作水田と4筆の飼料イネ(ミナミユタカ)連作水田を選定した(図1)。水田あたり4~5ヶ所を対角線法によって選び、計39か所の定点を設置した。2018年、2020年、2021年、2022年のコムギ糊熟期に表層土(0~15cm)を採取した。2022年には下層土(15~30cm)も採取した。そして酢酸アンモニウム法と熱硝酸法を用いて交換態Kと非交換態Kを測定した。

(2) NaBPh₄抽出はCox et al. (1996)に従った。風乾細土1gとNaBPh₄粉末0.41gを15mL

容遠沈管 (Falcon 製) に入れ、高濃度の塩化ナトリウム溶液 ($1.7 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaCl}$ 、 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ EDTA-2Na}$) を 6 mL 添加後によく混和した。その後、25 で静置し、6, 24, 48, 72, 96 時間後に遠沈管の目盛で土壌体積を目測した。対照区として NaBPh_4 無添加区も設置した。添加区と無添加区は各 2 連とした。また目測は 1~2 名で行った。圃場群スケールで採取した国内の水田作土 (6 圃場群、190 試料) を供試して、 NaBPh_4 添加区と無添加区の土壌体積差から静置 48 時間後における NaBPh_4 可溶性 K 含量を推定できるかを評価した。K 含有鉱物も供試した。

4. 研究成果

(1) 2018 年と 2019 年に飼料イネから食用米に作付を戻した飼 3 圃場と飼 4 圃場の 2018 2020 2021 2022 年の表層土の交換態 K 含量は、飼 3 が 62 164 182 200 mg/kg、飼 4 が 113 201 220 212 mg/kg と増加した。一方、非交換態 K 含量は、飼 3 が 296 263 202 178 mg/kg、飼 4 が 331 356 275 251 mg/kg と交換態 K とは逆に減少傾向を示した。また、2022 年に採取した下層土は表層土と同様に、飼料イネ連作水田の交換態 K と非交換態 K が食用米水田より低い値を示した (図 2)。さらに飼料イネから食用米に作付を戻すと交換態 K 含量は表層土だけでなく下層土でも回復し、下層への K 溶脱が示唆された。以上より、土壌の K 肥沃度診断では交換態 K だけでなく非交換態 K の評価、また作土だけでなく下層土の評価も重要であることが示された。

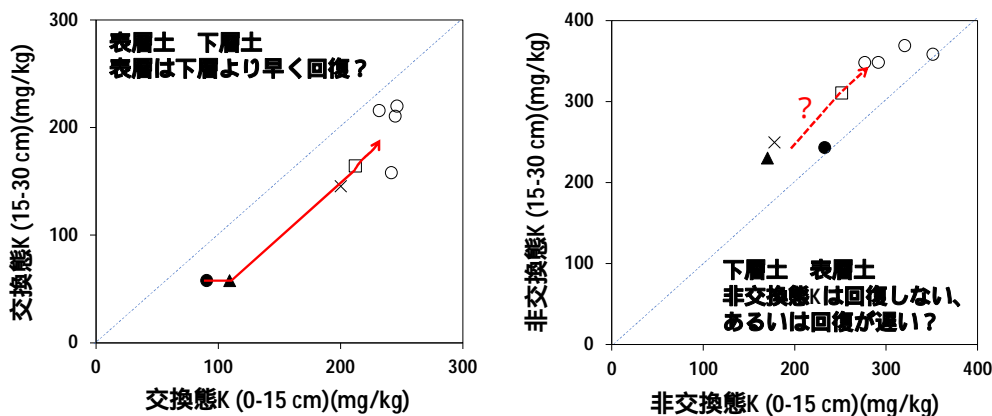


図 2: 飼料イネを食用米に作付を戻したときの土壌の交換態 K 含量の変化。
 ○: 食用米連作、□: 飼料イネ連作、△: 飼料イネ 食用米 (2021 年作 ~)
 ×: 飼料イネ 食用米 (2019 年作 ~)、×: 飼料イネ 食用米 (2018 年作 ~)

(2) 雲母由来鉱物のみで NaBPh_4 添加区と無添加区の体積差が静置時間とともに増加した。土壌試料の場合、静置時間とともに増加した体積差は 48 時間後に安定化した。この 48 時間後の体積差と NaBPh_4 可溶性 K 含量の決定係数は全土壌試料で 0.78 となり、 NaBPh_4 可溶性 K 含量を大まかに推定できた (図 3)。しかし圃場群ごとの決定係数は、 NaBPh_4 可溶性 K 含量の圃場間差が大きかった 1 圃場群を除いて、全試料の決定係数を下回った。さらに遠沈管の目盛の誤差を解消するために、 NaBPh_4 添加区と無添加区の試料で同一の遠沈管を繰り返し用いた結果、48 時間後の体積差と NaBPh_4 可溶性 K 含量の決定係数は全土壌試料で 0.85 となり、推定精度をさらに改善できた。以上より、本手法は土壌の難溶性 K 含量の簡易診断として利用できることが示された。

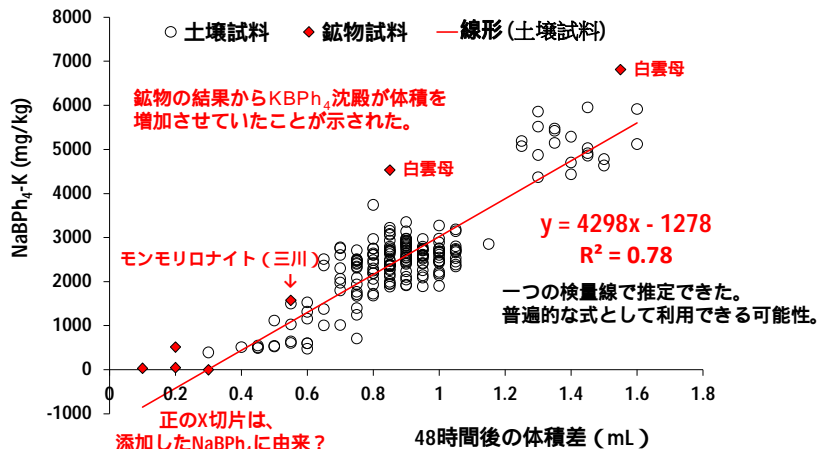


図 3: 48 時間静置後の NaBPh_4 添加区と無添加区の試料の体積差と NaBPh_4 -K 含量の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Naoki Moritsuka, Kaori Matsuoka, Keisuke Katsura, Shuji Sano, Junta Yanai	4. 巻 393
2. 論文標題 Laboratory and field measurement of magnetic susceptibility of Japanese agricultural soils for rapid soil assessment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 115013
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geoderma.2021.115013	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 森塚 直樹、松岡 かおり	4. 巻 93
2. 論文標題 発酵粗飼料用稲の連作が水田土壌肥沃度に及ぼす影響?熊本県御船町の農家圃場の事例?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 384 ~ 391
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20710/dojo.93.6_384	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5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 森塚直樹、馬場康輔、堀内浩臣、齊藤大樹、田島亮介、高橋行継、平井英明、松岡かおり、上野大勢
2. 発表標題 テトラフェニルホウ酸ナトリウム抽出法を用いた土壌難溶性カリウム簡易評価法
3. 学会等名 日本土壌肥科学会第117回関西支部講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森塚直樹、堀内浩臣、齊藤大樹、田島亮介、高橋行継、平井英明、松岡かおり、上野大勢
2. 発表標題 水田表層土壌の土色の測定による遊離酸化鉄含量の推定：農場スケールでの推定精度に及ぼす土壌有機物の影響
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2021年度北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Moritsuka, Kaori Matsuoka, Kosuke Baba
2. 発表標題 Soil Fertility Decline by Repeated Cropping of Rice for Whole Crop Silage; A Case of Mifune Town in Kumamoto Prefecture, Japan
3. 学会等名 10th Asian Crop Science Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Moritsuka, Kosuke Baba, Hiroomi Horiuchi, Hiroki Saito, Ryosuke Tajima, Yukitsugu Takahashi, Hideaki Hirai, Kaori Matsuoka, Daisei Ueno
2. 発表標題 Simple method for estimating the content of nonexchangeable potassium in paddy soil using extraction with sodium tetraphenylborate
3. 学会等名 The 22nd World Congress of Soil Science, Glasgow, Scotland (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場梢吾、森塚直樹、松岡かおり、馬場康輔
2. 発表標題 飼料イネ連作停止に伴う水田土壌のカリウム肥沃度の回復
3. 学会等名 日本土壌肥料学会第118回関西支部講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	松岡 かおり (Matsuoka Kaori)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	馬場 康輔 (Baba Kosuke)		
研究協力者	馬場 梢吾 (Baba Shogo)		
研究協力者	堀内 浩臣 (Horiuchi Hiroomi)		

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