

有機物連用圃場における土壌中の炭素・窒素量の変化

阿部 政人^{a)}・松野 宏治^{a)}・山下 陽子^{a)}

キーワード：有機物連用，土壌炭素，稲わら，麦わら，牛糞たい肥

Changes in carbon and nitrogen levels in the soil of fields with continuous application of organic materials

Masahito ABE^{a)}, Koji MATSUNO^{a)}, Yoko YAMASHITA^{a)}

Key words: continuous application of organic materials, soil carbon, rice straw, wheat straw, cattle manure

緒 言

土壌への有機物施用は，炭素を土壌中に貯留することで温室効果ガスの一つである二酸化炭素の排出量削減に繋がり，地球温暖化を抑制する効果が期待されている。このことから，2021年に農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」では，農地への炭素貯留が2050年までに二酸化炭素のゼロエミッションを達成するための主要な取組みの一つに挙げられている。

また，国全体の温室効果ガスの吸収・排出量については，国連気候変動枠組条約において事務局への報告が義務づけられており，各分野において報告に必要なデータを収集するための調査が行われている。

香川県農業試験場では，農林水産省の委託事業である土壌由来温室効果ガス・土壌炭素調査事業（2008年～2012年），農地土壌温室効果ガス排出量算定基礎調査事業（2013～2014），農地土壌炭素貯留等基礎調査事業（2015年～現在）に参画して，水稻－小麦および水稻－レタス体系の水田において，わら類と牛糞たい肥の連用試験を行い土壌中の炭素と窒素の含有量を調査している。この結果は，国立研究開発法人農業・食品産業技術

総合研究機構 農業環境研究部門において全国の調査結果とともに取りまとめられて国立研究開発法人国立環境研究所地球環境研究センターに提供され，条約に基づく日本国温室効果ガスインベントリとして国連に報告されている。

今回は，農業試験場が高松市仏生山町から綾歌郡綾川町に移転し新たに試験圃場を設置した2011年から2022年までの12年間で捉えて，有機物連用が全炭素含有量および全窒素含有量に及ぼす影響について取りまとめたので報告する。

材料および方法

1. 試験区および耕種概要

試験圃場は，香川県農業試験場内の中粒質普通灰色低地土の2圃場を供試し，以下の2試験を行った。

1) 水稻－小麦二毛作圃場における稲・麦わら連用試験
わら連用試験は水稻「ヒノヒカリ」－小麦「さぬきの夢2009」の二毛作体系で，2011年の水稻から栽培を始め，収穫後の稲わらから連用処理を開始した。試験区毎のわらおよび化学肥料の施用条件は表－1，2のとおりとし，1区当たり50m²を供試した。水稻および小麦の

a) 病虫・環境研究課

受理日：2024年11月1日

表－１ 水稲作におけるわら連用試験の処理区の概要 (2011～2022年)

No.	試 験 区	わら施用内容 (kg/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	無 肥 料		0	0	0
2	化学肥料単用		7.5	4.5	4.5
3	稲 わら 連 用	(稲わら600)	7.5	4.5	4.5
4	麦 わら 連 用	(麦わら500)	7.5	4.5	4.5
5	稲・麦わら連用	(稲わら600) (麦わら500)	7.5	4.5	4.5

施肥は、次の肥料を全量基肥施用した。

2011～2012年：さぬきの米一発（20-12-12苦土5：緩効性割合約56%（LPSS100 42%, LPS120 14%））

2013～2017年：さぬきの米一発（改）（20-12-12苦土2：緩効性割合約70%（LPS120 70%））

2018～2022年：さぬきの米一発（J）（20-12-12苦土2：緩効性割合約70%（Jコート100日タイプ 20%, 120日タイプ 50%））

表－２ 小麦作におけるわら連用試験の処理区の概要 (2011～2022年)

2011～2019年

No.	試 験 区	わら施用内容 (kg/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	無 肥 料		0	0	0
2	化学肥料単用		12.4	7.8	7.8
3	稲 わら 連 用	稲わら600	12.4	7.8	7.8
4	麦 わら 連 用	(麦わら500)	12.4	7.8	7.8
5	稲・麦わら連用	稲わら600 (麦わら500)	12.4	7.8	7.8

施肥は、さぬきの小麦専用（19-12-12：緩効性割合約40%（LPコート30 40%））を全量基肥施用した。

2020～2022年

No.	試 験 区	わら施用内容 (kg/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	無 肥 料		0	0	0
2	化学肥料単用		13.0	7.8	7.8
3	稲 わら 連 用	稲わら600	13.0	7.8	7.8
4	麦 わら 連 用	(麦わら500)	13.0	7.8	7.8
5	稲・麦わら連用	稲わら600 (麦わら500)	13.0	7.8	7.8

施肥は、さぬきの夢一発（20-12-12：緩効性割合約55%（Mコート20 30%, グッドIB 25%））を全量基肥施用した。

表－４ レタス作における牛糞たい肥連用試験の処理区の概要 (2011～2022年)

No.	試 験 区	たい肥施用内容 (t/10a)	基肥 1			基肥 2			合計 (kg/10a)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	無 肥 料		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	化学肥料単用		22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8
3	牛糞たい肥 1 t	オガクズ牛糞たい肥 1 t	22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8
4	牛糞たい肥 2 t	オガクズ牛糞たい肥 2 t	22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8
5	牛糞たい肥 3 t	オガクズ牛糞たい肥 3 t	22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8

基肥 1 は、らりるれレタス177（11-7-7：なたね油粕34.6%, フェザーミール15.8%）を施用した。

基肥 2 は、粒状ジャンプ（10-6-7：魚由来有機質原料21.8%（変動有り））を施用した。

牛糞たい肥：カウ・コン（原料：牛糞, オガクズ T-N：0.75%, T-C：15.9%, CN比：21.2（2022年分析値））

全ての試験区に稲わら600kg/10aをすき込んだ。

作物残渣（地上部）は収穫時に一度持ち出したうえで、稲わらは小麦作の前に、麦わらは水稲作の前に計量・散布してすき込み、栽培管理は地域慣行に従った。

2）水稲－レタス二毛作圃場における牛糞たい肥連用試験

牛糞たい肥連用試験は水稲「ヒノヒカリ」－レタス「シスコ」の二毛作体系で、2011年の水稲から栽培を始め、収穫後に牛糞たい肥の連用処理を開始した。牛糞たい肥は「カウ・コン」（原料：牛糞, オガクズ T-N：0.75%, T-C：15.9%（2022年分析値））を使用した。化学肥料等の施用条件は表－3、4のとおりとし、1区当たり50m²を供試した。なお、牛糞たい肥はレタス作の前に散布して稲わらと一緒にすき込み、レタスは地上部全てを収穫した。栽培管理は地域慣行に従った。

2. 土壌中の全炭素含有量および全窒素含有量分析

試料は、水稲収穫後有機物施用前の10月中旬に、農地管理実態調査の定点調査および基準点調査における土壌

表－３ 水稲作における牛糞たい肥連用試験の処理区の概要 (2011～2022年)

No.	試 験 区	たい肥施用内容 (t/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	無 肥 料		0	0	0
2	化学肥料単用		7.5	4.5	4.5
3	牛糞たい肥 1 t	(たい肥 1 t)	7.5	4.5	4.5
4	牛糞たい肥 2 t	(たい肥 2 t)	7.5	4.5	4.5
5	牛糞たい肥 3 t	(たい肥 3 t)	7.5	4.5	4.5

肥料は、次の肥料を全量基肥施用した。

2011～2012年：さぬきの米一発（20-12-12苦土5：緩効性割合約56%（LPSS100 42%, LPS120 14%））

2013～2017年：さぬきの米一発（改）（20-12-12苦土2：緩効性割合約70%（LPS120 70%））

2018～2022年：さぬきの米一発（J）（20-12-12苦土2：緩効性割合約70%（Jコート100日タイプ 20%, 120日タイプ 50%））

全ての試験区に稲わら600kg/10aをすき込んだ。

炭素調査実施方法⁵⁾に従い、対象圃場の代表的な値が得られると想定される1カ所で、作土層全体から1kg程度の土壌を採取した。風乾後に磁製乳鉢で粉碎して1mmの篩に通し、エレメンタル社製Vario MAX CNを用いて測定した。

結果および考察

1. 土壌中の全炭素含有量の変化

1) 水稻－小麦二毛作圃場における稲・麦わら連用試験

2011年（処理前）から2022年のわら連用圃場における全炭素含有量の推移を図－1に示した。わらを連用した3つの区では、連用開始から2年後の2013年まで全炭素含有量が増加し、その後2年間は減少したが2016年からは再び増加に転じた。わらを施用しない化学肥料単用区と無肥料区では、期間を通して大きな変化は見られなかった。

2022年の全炭素含有量は、稲・麦わら連用区が1.65%で最も多く、10a当たり（作土深10cm、仮比重1.1（2022稲・麦わら連用区））の含有量に換算すると1,811kgの炭素が貯留されていると推定された。次いで稲わら連用区が1.59%、麦わら連用区が1.54%、化学肥料単用区が1.50%であった。11年間の増加量は稲・麦わら連用区が0.40%で、この内わら由来の増加量は化学肥料単用区の0.02%を差し引いた0.38%と考えられ、10a当たりの増加量に換算すると416kgと推定された。稲わら連用区と麦わら連用区の増加量は0.09%で、この内わら由来が約0.07%となり、10a当たりの増加量は約80kgと推定された。施用した稲わらの全炭素含有量を39.1%、麦わらを42.2%（有機利用農作物栽培手引書²⁾）とすると、11年間に施用された全炭素量は、稲わらから2,581kg/10a、麦わらから2,321kg/10aの合計4,902kg/10aとなることから、稲・麦わら連用区では施用量の約8%、稲わら連用区と麦わら連用区では約3%が蓄積していると推定された。

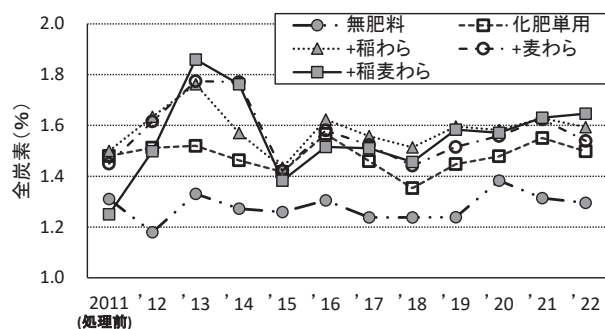
2) 水稻－レタス二毛作圃場における牛糞たい肥連用試験

2011年（処理前）から2022年の牛糞たい肥連用圃場における全炭素含有量の推移を図－2に示した。牛糞たい肥を2～3t連用した区では、全炭素含有量が施用開始4年後の2015年に増加し始め、9年後の2020年まで増加し、その後横ばいとなった。1t連用区では施用開始4年後から増加し始めて11年後の2022年までその傾向が続いた。牛糞たい肥を施用しない化学肥料単用区と無肥料区は僅かな増加に留まった。

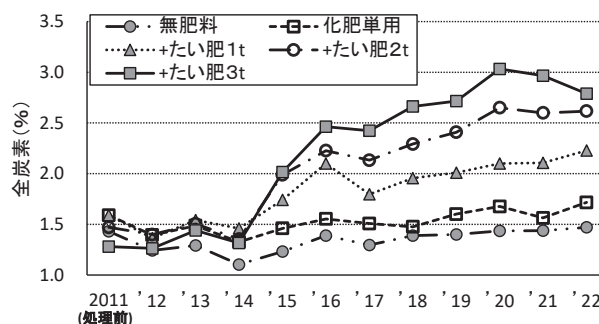
2022年の全炭素含有量は、牛糞たい肥3t連用区が2.79%で最も多く、10a当たり（作土深10cm、仮比重1.1（2022牛糞たい肥連用区））の含有量に換算すると3,068kgの炭素が貯留されていると推定された。次いで2t連用区が2.62%、1t連用区が2.23%、化学肥料単用区が1.72%であった。11年間の増加量は3t連用区が1.51%で、この内牛糞たい肥に由来する増加量は化学肥料単用区の0.13%を差し引いた1.38%と考えられ、10a当たりの増加量に換算すると1,521kgと推定された。2t連用区の増加量は1.15%、1t連用区は0.64%で、牛糞たい肥1t当たりの増加量は約0.5%、10a当たりに換算すると約550kgと推定された。施用した牛糞たい肥「カウ・コン」の分析値から全炭素含有量を15.9%とすると、11年間に施用された牛糞たい肥1t当たりの全炭素量は1,749kg/10aとなり、いずれの牛糞たい肥連用区も施用量の約30%が蓄積していると考えられた。

これらのことから、水稻－小麦と水稻－レタスのいずれの作付け体系においても、作物残渣（地上部）をすき込む一般的な水田の栽培管理では全炭素含有量は減少しないことが確認できた。また、水稻－レタス作付け体系の圃場では、牛糞たい肥を1～3t/10a連用することによって全炭素含有量が施用量に比例して増加することが認められたが、2～3t/10a連用した圃場では施用開始9年目以降横ばいになった。

水稻－小麦作付け体系のわら連用区では処理開始後4年間の全炭素含有量の増減が顕著であり、その要因として土壌炭素動態に気候や農地管理方法が影響する（白



図－1 わら連用圃場における全炭素含有量の推移



図－2 牛糞たい肥連用圃場における全炭素含有量の推移

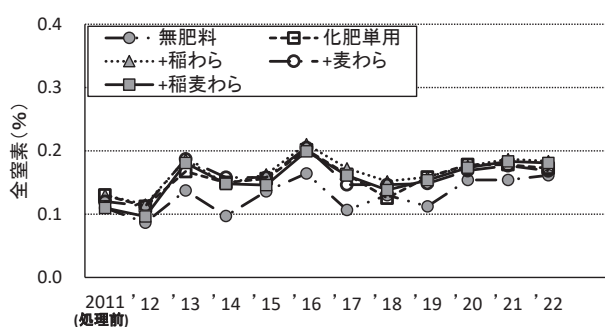
戸⁷⁾）ことが考えられるが、これらの関係性については判然としなかった。一方で、全炭素含有量が年毎に増減を繰り返しながら増加傾向を示すことは、香西ら⁴⁾や関口ら⁶⁾の報告と一致することから、前述の変化は有機物連用圃場に散見される動態であると考えられた。

なお、試験開始前の全炭素含有量は試験区間に最大で0.3%の差があったが、これは試験圃場の造成に伴い、元は異なる圃場の作土が混合されたことが影響していると考えられた。

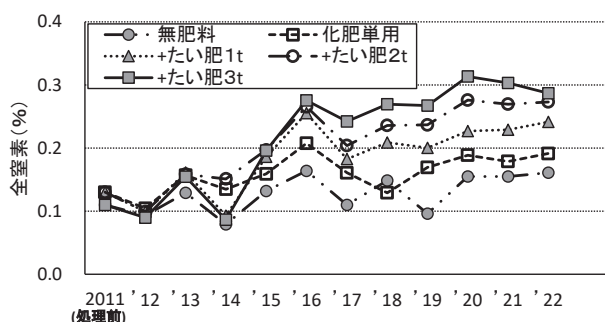
2. 土壌中の全窒素含有量の変化

2011年（処理前）から2022年の水稻－小麦二毛作のわら連用圃場における全窒素含有量の推移を図－3に示した。全窒素含有量は、無肥料区を含む全区で僅かな増加傾向が見られたが、化学肥料を施用した4つの区の間にはわらの施用方法の違いによる差は見られなかった。

水稻－レタス二毛作の牛糞たい肥連用圃場における全窒素含有量の推移を図－4に示した。全窒素含有量は牛糞たい肥施用量に比例して増加した。2～3t連用区では施用開始4年後の2015年に増加し始め、9年後の2020年まで増加傾向が見られ、その後横ばいとなった。1t連用区と化学肥料単用区は施用開始4年後以降僅かな増加傾向が見られた。11年間の全窒素含有量の変化は、3t連用区では0.18%増えて0.29%、2t連用区は0.14%増えて0.27%、1t連用区は0.11%増えて0.24%となった。牛糞



図－3 わら連用圃場における全窒素含有量の推移



図－4 牛糞たい肥連用圃場における全窒素含有量の推移

たい肥に由来する1t当たりの全窒素増加量は化成肥料単用区の増加量0.06%を差し引いた0.04%となり、10a当りに換算（作土深10cm仮比重1.1（2022年牛糞たい肥連用区））すると44kgに相当し、11年間に施用された牛糞たい肥1t当たりの全窒素量83kgの約50%が蓄積していると考えられた。

これらのことから、水稻－小麦と水稻－レタスのいずれの作付け体系においても、わらを連用することによる全窒素含有量の増加は認められなかった。一方で、牛糞たい肥を連用する圃場では全窒素含有量が施用量に比例して増加することが確認できたが、2～3t/10a連用圃場では施用開始9年目以降横ばいになっており、全炭素含有量と同様の傾向が見られた。

3. まとめ

以上のことから、中粒質普通灰色低地土の水田において水稻－小麦や水稻－レタスの栽培を行った場合、作物残渣（地上部）をすき込む一般的な水田の栽培管理では、一定の全炭素含有量が維持されることが認められた。また、炭素貯留量を増加させるためには、牛糞たい肥等難分解性有機物が多いたい肥は炭素貯留に向く（小柳ら³⁾）の報告のとおり、作物残渣のすき込みに加えて牛糞たい肥を施用することで全炭素含有量が増加し、その量は施用量に比例することが確認できた。このことは、土壌への炭素貯留を維持促進させ、温室効果ガスの一つである二酸化炭素の排出削減に寄与できるものと考えられた。一方で、有機物の投入量を増やして土壌中の炭素量が増加したとしても、有機物の投入は一酸化二窒素の発生を増加させる可能性があり、水田においてはメタンの増加にも留意が必要である（白戸⁷⁾）ため、これらのトレードオフについて考慮する必要がある。また、稲わら及び牛糞の投入により窒素含有量が増加すると施肥窒素の減肥が必要（出岡ら¹⁾）の報告があることから、土壌の理化学性や作物の収量・品質等の調査を継続し、有機物の長期連用が作物の生育や品質に及ぼす影響について検討する必要があると考えられた。

引用文献

- 1) 出岡裕哉・宮林威佐夫・山口千香子・中川智仁・石川裕一・安田典夫（1996）：三重県の農耕地土壌に関する研究（第6報）有機物連用処理が水田土壌と水稻収量に及ぼす影響，三重農技セ研報，24：87-96.
- 2) 香川県有機利用推進協議会（1989）：有機利用農作物栽培手引書.

- 3) 小柳 渉・村松克久・小橋有里 (2011): 分解特性からみたバイオマスおよび堆肥の利用方向, 新潟畜セ研報17: 9-14.
- 4) 香西清弘・川田陽子 (2000): 稲わらの連用が土壌の理化学性に及ぼす影響, 香川農試研報, 52: 9-14.
- 5) 農研機構 農業環境研究部門 (2013~2022): 農地管理実態調査の定点調査および基準点調査における土壌炭素調査実施方法 (調査マニュアル).
- 6) 関口景子・鹿沼信行 (2022): わらすき込みが作物収量および土壌化学性に及ぼす影響, 群馬農技セ研報, 19: 13-18.
- 7) 白戸康人 (2016): 家畜ふん堆肥等の有機物施用による土壌の炭素貯留, 畜産環境情報, 64: 11-22.