

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

関口景子*・鹿沼信行

要 旨

2013年から2020年までの8年間、水稲小麦の二毛作を行っている多湿黒ボク土の水田と水稲単作の灰色低地土の水田において、わらのすき込みの有無が収量や土壌に及ぼす影響を調査した。わらすき込み区では、化学肥料単用区と比べ、水稲において、精玄米重、稲わら重が多く、水稲作物体の加里やケイ酸吸収量が多くなっていた。一方、小麦においては、小麦子実重や子実養分吸収量では明確な傾向は見られず、小麦わらの加里吸収量ではわらすき込み区が多くなっていた。土壌については、わらのすき込みによって炭素や可給態ケイ酸、可給態窒素が維持され、わらを持ち出した場合は、可給態ケイ酸、可給態窒素、交換性加里が減少していくことが示唆された。

結 言

地球温暖化防止対策として二酸化炭素等の温室効果ガスの削減が求められている。現在、農業分野においても「みどりの食料システム戦略」¹⁾により2050年までに、温室効果ガスのゼロエミッション達成に向けた取り組みが行われている。一方、土壌は炭素を有機物の形で固定する能力を有しており、温室効果ガスの吸収源となっている²⁾。また、土壌有機物は、土壌の物理的、化学的、生物的な性質を良好に保ち、養分を作物に持続的に供給するために極めて重要な役割を果たしており、農業生産性の向上・安定化に不可欠³⁾である。

農林水産省関東農政局では2013年度から「農地土壌炭素貯留等基礎調査委託事業」を実施しており、農地土壌の炭素貯留量の調査を行っている。群

馬県においても、この事業に参画して本県の代表的な水田土壌である多湿黒ボク土の二毛作水田および灰色低地土の水稲単作水田において、稲わら(小麦わら)のほ場すき込み区を設けて、収量および土壌の炭素貯留に及ぼす影響の調査に取り組んだ。そのなかで、稲わらや小麦わらのすき込みの継続が作物収量や養分吸収量、土壌化学性に及ぼす影響を調査した。

試験方法

1 ほ場条件

試験は、2013年から、群馬県農業技術センター稲麦研究センター(前橋市江木町、標高120m)内の水田ほ場(多湿黒ボク土、以下前橋ほ場)で水稲小麦の二毛作を、同東部地域研究センター(館林市当郷町、標高18m)内の水田ほ場(灰色低地土、以下館林

表1 調査ほ場の土壌化学性

試験場所	pH (H ₂ O)	CEC (me/100g)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	交換性塩基(mg/100g)			可給態 リン酸 (mg/100g)
					CaO	MgO	K ₂ O	
前橋ほ場	5.9	20	3.2	0.29	280	39	49	22
館林ほ場	6.2	19	2.1	0.19	348	49	13	20

注) 試験開始前2013年6月の作土の値。前橋ほ場は稲麦研究センター、館林ほ場は東部地域研究センター。

* 現 群馬県西部農業事務所普及指導課
 本研究の一部は、農林水産省関東農政局・農地土壌炭素貯留等基礎調査委託事業により実施された。

表2 試験区の処理内容

場所	試験区	わら施用		化学肥料施用量 (kg/10g)								
		水稻	小麦	水 稻				小 麦				
				基肥		追肥		基肥		追肥		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O			
前橋ほ場	化学肥料単用	無	無	3.9	3.9	3.9	—	—	7.0	9.0	8.0	2.0
	稲小麦わらすき込み	有	有	3.9	3.9	3.9	—	—	7.0	9.0	8.0	2.0
館林ほ場	化学肥料単用	無	—	6.0	7.7	6.9	2.0	1.9	—	—	—	—
	稲わらすき込み	有	—	6.0	7.7	6.9	2.0	1.9	—	—	—	—

注) わら施用の有は、わら全量すき込み。施肥量は2020年の値であり、年により多少異なる。
前橋ほ場の水稻の品種は「舞風」、小麦品種は「さとのそら」。
館林ほ場の水稻品種は、「あさひの夢」。

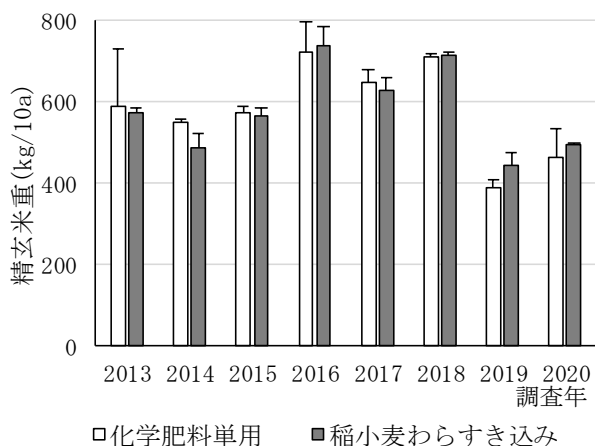


図1 精玄米重の推移 (前橋ほ場)

注) 縦棒は標準偏差を示す。品種は2013~2016年「群馬糯5号」、2017~2018年「舞風」、2019年「まんぷくもち」、2020年「舞風」。精玄米重は縦目篩1.8mmで調製した収量(水分15%換算)。

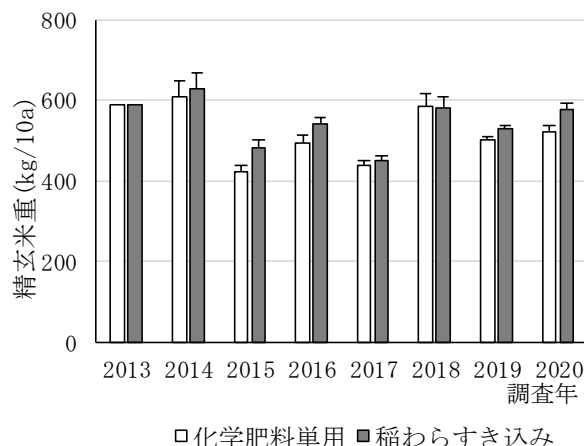


図2 精玄米重の推移 (館林ほ場)

注) 縦棒は標準偏差を示す。2013年は平均値のみ。品種は2013~2020年「あさひの夢」。精玄米重は縦目篩1.8mmで調製した収量(水分15%換算)。

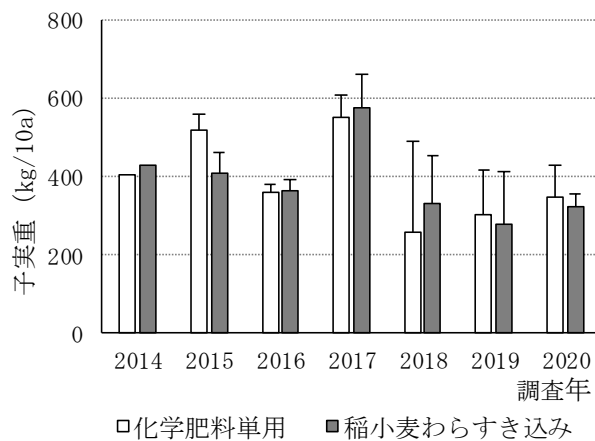


図3 小麦子実重の推移 (前橋ほ場)

注) 縦棒は標準偏差を示す。2014年は平均値のみ。品種は2014~2020年「さとのそら」。2.2mmで調製した小麦子実の収量(2015年までは自然乾燥重、2016年以降は水分12.5%換算)。

ほ場)で水稻単作を開始した。

前橋ほ場は、1985年から試験開始まで、麦作前に堆肥を施用(0.5t/10a)していた。館林ほ場では、試験開始前まで稲わらを持ち出していた。試験開始初年度である2013年の土壌の化学性を表1に示した。

2 試験区

表2に試験区の処理内容を示した。化学肥料単用区はわらを持ち出し、わらすき込み区はわら全量をすき込んだ。

3 土壌および作物体分析

土壌炭素および窒素については、各試験区から調査マニュアルの簡易調査法⁴⁾に準じて手動式円柱試料採取器(藤原製作所製、ハンドサンプラーHS-30)を用いて1区3カ所で長さ30cm×φ50mmの円筒に土壌を採取し、作土と第2層に分けて風乾し2mmの篩で篩い分け後に微粉碎し、元素分析装置(株)ジェイ・サイエンス・ラボ製)を用いて測定した。その他の土壌の化学性は、作土を対角線法の5カ所から採取し混合後、風乾し2mmの篩で篩い分けした試料を土壌標準分析・測定法⁵⁾に準じて分析した。可給態ケイ酸はたん水保温静置法⁵⁾で分析した。

作物体は、水稻精玄米と稲わら(40株、3カ所)、小麦子実と小麦わら(2条2m、3カ所)について収量調査を行い、乾燥後粉砕して試料とした。ケイ酸は、硝酸・過塩素酸で湿式分解後に重量法⁶⁾で分析

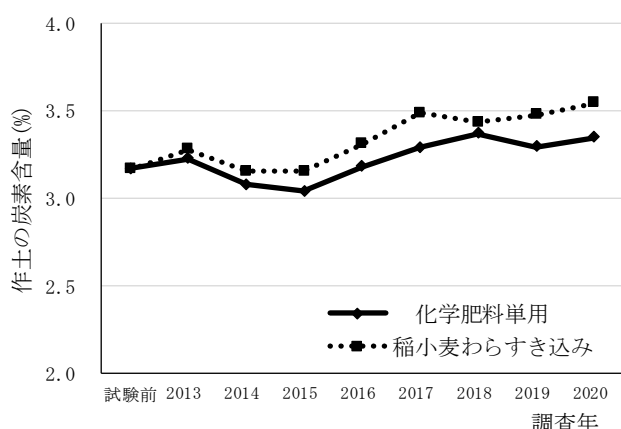


図4 作土の炭素含量の推移（前橋ほ場）
注) わらすき込み区は稲わら、小麦わらともすき込み。
土壌は水稻収穫後の10月に採取。

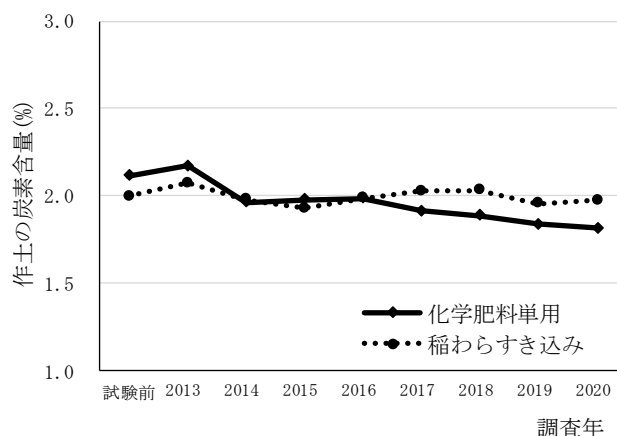


図5 作土の炭素含量の推移（館林ほ場）
注) わらすき込み区は稲わらのみすき込み。
土壌は水稻収穫後の10月に採取。

表3 2020年精玄米の養分含有率と養分吸収量

場所	試験区	精玄米重 (kg/10a)	蛋白質 (%) (d. b.)	含有率(%) (d. b.)						吸収量(kg/10a)					
				C	N	K	Mg	Ca	Si	C	N	K ₂ O	MgO	CaO	SiO ₂
前橋ほ場	化学肥料 単用	458	7.6	44.5	1.3	0.32	0.16	0.03	0.02	181	5.2	1.6	1.1	0.17	0.2
	稲小麦わら すき込み	489	7.6	44.5	1.3	0.32	0.16	0.03	0.03	193	5.7	1.7	1.1	0.18	0.3
館林ほ場	化学肥料 単用	515	8.1	44.7	1.2	0.32	0.14	0.03	0.01	203	5.5	1.8	1.1	0.17	0.1
	稲わら すき込み	571	8.2	44.6	1.3	0.31	0.14	0.03	0.00	225	6.3	1.9	1.1	0.18	0.1

注) 水稻の収量調査は、前橋ほ場；10月12日、館林ほ場；10月14日。
精玄米重は縦目篩1.8mmで調製した玄米の収量（水分15%換算）。

表4 2020年稲わらの養分含有率と養分吸収量

場所	試験区	稲わら重 (kg/10a)	含有率(%) (d. b.)						吸収量(kg/10a)					
			C	N	K	Mg	Ca	Si	C	N	K ₂ O	MgO	CaO	SiO ₂
前橋ほ場	化学肥料 単用	716	38.7	0.5	2.0	0.1	0.2	6.5	248	3.2	15.1	1.1	2.1	90
	稲小麦わら すき込み	775	38.0	0.5	2.0	0.1	0.2	7.1	264	3.6	16.9	1.0	2.1	105
館林ほ場	化学肥料 単用	1,036	39.0	0.5	1.6	0.1	0.2	5.9	364	4.4	17.9	1.7	3.1	117
	稲わら すき込み	1,220	38.6	0.6	1.8	0.1	0.2	6.3	423	6.3	23.9	2.0	3.5	148

注) 稲わらの収量調査は、前橋ほ場；10月12日、館林ほ場；10月14日。稲わら重は風乾物重量。

した。窒素および炭素は元素分析装置を用いて測定した。その他の元素は、粉碎した試料を1%塩酸抽出⁷⁾して、原子吸光光度計によって測定した。

結 果

1 水稻・小麦収量および土壌の炭素含量の推移

前橋ほ場の精玄米重は、試験開始（2013年）から3年目（2015年）までは化学肥料単用区の方が多い傾向であったが、4年目（2016年）以降は、稲小麦わらすき込み区で多い傾向であった（図1）。館林

ほ場の精玄米重は試験開始時（2013年）には同等であったが、その後、8年目（2020年）まで概ね稲わらすき込み区で多い傾向であった（図2）。前橋ほ場の小麦子実重は、わらすき込みの有無による明確な傾向は見られなかった（図3）。

作土の土壌炭素含量の推移をみると、前橋ほ場では、年による増減はあるものの、稲小麦わらすき込み区で化学肥料単用区に比べやや多い傾向で推移し、8年間で0.38%増加し、化学肥料単用区では0.18%の増加であった（図4）。館林ほ場では、試験開始前には稲わらすき込み区が化学肥料単用区に比べやや

表5 2020年の小麦子実および小麦わらの養分含有率と吸収量(前橋ほ場)

部位	試験区	収穫重 (kg/10a)	蛋白質(%) (d. b.)	含有率(%) (d. b.)					吸収量(kg/10a)				
				C	N	K	Mg	Ca	C	N	K ₂ O	MgO	CaO
小麦 子実	化学肥料 単用	355	8.9	43.5	1.2	0.47	0.13	0.03	134	3.7	1.7	0.6	0.1
	稲小麦わら すき込み	331	9.6	43.4	1.2	0.47	0.13	0.03	124	3.5	1.6	0.6	0.1
小麦 わら	化学肥料 単用	666	-	37.6	0.5	1.29	0.04	0.16	221	3.1	9.2	0.4	1.3
	稲小麦わら すき込み	645	-	37.0	0.6	1.43	0.05	0.17	212	3.2	9.9	0.4	1.4

注) 小麦の収量調査は6月4日。小麦子実収穫重は縦目篩2.2mmで調製した小麦子実の収量(水分12.5%換算)。小麦わら収穫重は風乾物重量。

表6 2020年の土壌分析結果

場所	試験区	pH (H ₂ O)	EC mS/cm	CEC me/100g	交換性塩基 mg/100g			可給態 リン酸	可給態 ケイ酸	無機態窒素 mg/100g		可給態 窒素
					CaO	MgO	K ₂ O	mg/100g	mg/100g	NH ₄ -N	NO ₃ -N	mg/100g
前橋ほ場	化学肥料 単用	6.4	0.1	22	322	30	36	27	30	0.7	0.2	16.4
	稲小麦わら すき込み	6.3	0.1	22	308	29	44	28	37	0.7	0.3	19.6
館林ほ場	化学肥料 単用	6.1	0.1	20	326	42	8	23	34	0.5	0.4	4.8
	稲わら すき込み	6.0	0.1	20	330	43	14	20	46	0.4	0.0	8.7

注) 可給態リン酸および無機態窒素、可給態窒素は水稻栽培前(4月)の作土を分析、その他は水稻収穫時(10月)の作土を分析した。可給態ケイ酸は湛水保温静置法(40℃、1週間培養)により測定。

表7 2020年の土壌の養分収支

試験区		N (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)	MgO (kg/10a)	CaO (kg/10a)	SiO ₂ (kg/10a)
前橋ほ場	化学肥料単用	-2.2	-15.7	-3.2	-3.7	-90.1
	稲小麦わらすき込み	3.7	8.6	-1.7	-0.3	-0.3
館林ほ場	化学肥料単用	-1.9	-10.8	-2.8	-3.3	-117.1
	稲わらすき込み	1.7	6.9	-1.1	-0.2	-0.1

注) 養分収支の算出方法は、NとK₂Oは施肥量から持ち出し量を差し引いた値、MgOとCaOは持ち出し量の値、SiO₂は水稻のみの持ち出し量の値。

低い炭素含量であった。試験開始から化学肥料単用区がやや減少傾向で推移し、8年間で0.30%減少し、稲わらすき込み区では増減しなかった(図5)。

2 2020年の作物体の養分吸収量

試験開始8年後の2020年の精玄米と稲わらの各養分の含有率と吸収量を表3、表4に示した。精玄米重は、前橋ほ場と館林ほ場ともにわらすき込み区で化学肥料単用区に比べ多くなっていた。精玄米の養分吸収量は、前橋ほ場と館林ほ場ともに化学肥料単用区と比べ、わらすき込み区で炭素、窒素が多く、加里、苦土、石灰吸収量は各試験区で同程度であった。稲わら重は、前橋ほ場と館林ほ場ともに、化学肥料単用区と比べ、わらすき込み区で多い傾向であった。稲わらの炭素、窒素、加里、ケイ酸の吸収量

は、化学肥料単用区と比べ、わらすき込み区でやや多くなっていた。

小麦の養分吸収量については、小麦子実では明確な傾向はみられなかった(表5)。小麦わらは、わらすき込み区で加里の吸収量が多くなっていた。

3 土壌化学性と養分収支(2013~2020年)

土壌分析結果について、試験開始前(2013年)(表1)と8年経過後(2020年)(表6)を比較すると、前橋ほ場と館林ほ場ともに、化学肥料単用区において、交換性加里が減少しており、わらすき込み区においては、大きな減少はみられなかった。可給態ケイ酸と可給態窒素については、試験開始時には測定していないが、前橋ほ場と館林ほ場ともに、化学肥料単用区と比べ、わらすき込み区で高い値であった。

2020年の施肥による投入量と玄米、稲わら、小麦子実、小麦わらによる持ち出し量から、ほ場の養分について見かけ上の収支を算出したところ、化学肥料単用区では窒素、加里、苦土、石灰、ケイ酸が減少していく傾向であった（表7）。

考 察

土壌の炭素含量については、前橋ほ場の二毛作水田において、化学肥料単用区は8年間に0.18%炭素含量が増加した。10aあたりに換算（作土深15cm仮比重0.7）すると炭素189kg/10aの増加になる。これは、Yokozawaらの二毛作水田では、有機態炭素が刈り株および残根から年間に1t/ha以上供給され、そのうち0.2t/ha程度貯留するとの報告⁸⁾と同程度となった。土壌炭素含量は、稲わらおよび小麦わらをもち出しても減少傾向にならなかった。稲小麦わらすき込み区では、8年間で炭素含量が0.38%増加し、10aあたりに換算すると炭素399kg/10aの増加になり、化学肥料単用区に比べ、210kg/10a多く増加した。館林ほ場の水稲単作水田では、化学肥料単用区の土壌炭素含量はやや減少傾向であり、稲わらすき込み区では維持された。今回の結果から、水稲の単作では、わらをもち出し、かつ有機物を施用しないと土壌中の炭素含量は減少していくことが示唆された。

前橋ほ場の開始4年目以降の水稲収量は、化学肥料単用区と比べ、わらすき込み区で多い傾向であった。館林ほ場の水稲単作水田では、稲わらすき込みによって開始初年度から収量が多くなったが、前橋ほ場の二毛作水田では、C/N比が高い小麦わらのすき込みによって試験開始直後は窒素の取り込みが起こり、窒素供給が始まるまで時間がかかり⁹⁾、開始から4年目（小麦わらすき込み3作目）に増収傾向となったと考えられる。

なお、試験ほ場の多湿黒ボク土や灰色低地土などの土壌種による違いは、水稲単作や二毛作など作付け体系が異なることから、作物収量や土壌化学性への影響は不明であった。

試験開始から8年目の水稲作物体の養分含有率は、化学肥料単用区と比べ、わらすき込み区で稲わらのケイ素の含有率が高く吸収量が多くなる傾向にあった。表6の2020年の土壌分析結果と表7の土壌の養分収支から、わらすき込みによって可給態ケイ酸や可給態窒素が維持され、わらをもち出した場

合は、次第に土壌中のケイ酸や窒素、交換性加里が減少していくことが示唆された。農業用水中のケイ酸含量が減少してきている¹⁰⁾といわれており、また、水稲栽培においてわらをもち出すとケイ酸収支はマイナスになるとの報告¹¹⁾もある。一方、ケイ酸の吸収量が増加すると病害・風害・高温に対する抵抗性が向上するとされ¹¹⁾、土壌中のケイ酸の維持のためにもわらすき込みは有効と考えられた。水稲単作や二毛作の場合、わらのすき込みは土壌養分が概ね維持され、土壌炭素貯留のみならず地力維持に重要と考えられた。

謝 辞

試験にあたり、多大なご協力をいただいた稲麦研究センター、東部地域研究センター、土壌保全係および環境安全係の関係職員の皆様には、厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 農林水産省. 2021年策定. みどりの食糧システム戦略.
- 2) 西田一平ら. 2015. 奈良県における農耕地土壌の炭素貯留量. 奈良県農業研究開発センター研究報告. 46:27-30
- 3) 農林水産省. 2017. 農林水産分野における温暖化対策-農地による炭素貯留について. https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/goudou/13/pdf/data3_3.pdf
- 4) 農業環境変動研究センター. 2021. 令和2年度農地土壌炭素貯留等基礎調査事業報告書. 92-96
- 5) 土壌標準分析・測定法検討委員会. 1986. 土壌標準分析・測定法. 博友社. 東京. 70-165
- 6) 日本土壌協会. 2001. 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法. 東京. 259-261
- 7) 安井明美ら. 2016. 日本食品標準成分表2015年版（七訂）分析マニュアル・解説. 建帛社. 東京. 66-67
- 8) Yokozawa M et al. 2010. Use of the Roth C model to estimate the carbon sequestration potential of organic matter application in Japanese arable soils.

- Soil science and plant nutrition. 56:168-176
- 9) 志賀一一. 1985. 土壌中における施用有機物の分解過程と土壌有機物の集積過程の解明. 農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定. 農林水産技術会議事務局 研究成果. 166:12-15
- 10) 熊谷勝巳ら. 1998. 山形県における農業用水のケイ酸濃度. 日本土壌肥科学雑誌. 69:636-637
- 11) 金田吉弘. 2019. 近年における水田土壌の変化と持続的水稲生産に向けた対応. 土壌の物理性. 141:41-48

(Key Words : Paddy Field , Rice Straw Plow , Soil Carbon, Silicic Acid, Nutrient Balance)

Effects on Crop Yield and Soil Chemistry of Plowing-in Straw

Keiko SEKIGUCHI and Nobuyuki KANUMA

Summary

In a paddy field of Wet Andosols where double-cropping of paddy rice and wheat is conducted, and in a paddy field of Gray Lowland soils where single cropping of paddy rice is conducted, the effects of straw plowing-in on the yields and the soils were investigated for eight years, from 2013 to 2020. In the straw plowing-in plot, compared with a chemical fertilizer single-use plot in paddy rice, the weight of polished brown rice, the weight of straw, and the absorption of potassium and silicic acid by the paddy rice plant all increased. On the other hand, in wheat, no clear trends were observed in the wheat grain weight or the nutrients absorption by the grains. Potassium absorption by wheat straw was higher in the straw plow-in plot. As for the soils: carbon, available silicic acid, and available nitrogen were maintained by the plowing-in of straw. This suggests that when straw was removed, the amounts of available silicic acid, available nitrogen, and exchangeable potassium all decreased.