

樹脂系被覆肥料の代替としてのイソブチルアルデヒド縮合尿素 肥料や崩壊性被覆肥料の効果

黒瀬咲弥 森重陽子

Effects of Isobutylidene Diurea and disintegrating coated fertilizer as an alternative to resin-coated fertilizer

KUROSE Sakuya and MORISHIGE Yoko

要 旨

2019年～2020年に‘あきだわら’の全量基肥施肥栽培において、慣行一発肥料の配合原料である樹脂系被覆肥料（以下、被覆肥料）の10～1.5割をイソブチルアルデヒド縮合尿素肥料（以下、IB肥料）に置き換え、生育収量面から適切な代替割合を明らかにするとともに、Jコート（被膜）の崩壊性について検討した。

2019年は収量及び収量構成要素、玄米品質はいずれの項目も試験区間に有意差はなかったが、被覆肥料の削減割合が大きいほど1穂粒数が減少する傾向にあった。また、被覆全量削減区で出穂後の葉色が薄く、1穂粒数がやや少なく、精玄米重は最も軽かった。2020年の収量及び収量構成要素、玄米品質も試験区間に有意差はみられなかったが、被覆肥料の削減割合が高い被覆6割削減区で1穂粒数が最も少なく、精玄米重は最も軽かった。これらのことから、安定した生育収量を得るためにはIB肥料への代替割合は6割を超えてはならないと考えられた。

また、Jコートは窒素の溶出安定性もLPコートと同等であることから、Jコートへの代替は可能と考えられた。またLPコートと比べ水稻栽培後の被膜の崩壊性が高く、次作以降の代かき時に被膜の浮き上がりが少なくなると考えられることから、IB肥料とJコートを基肥一発肥料の配合原料とすることで、被覆肥料の被膜のうち、海洋に流出する量の減少が期待できる。

キーワード：水稻，‘あきだわら’，被覆肥料，IB肥料，崩壊性被覆肥料，Jコート

1. 緒言

愛媛県の水稲作における被覆肥料を配合原料とする基肥一発肥料の使用量は、2017年で63.7%（愛媛県農林水産部農業振興局農産園芸課，2018年）と高い。高齢化の進行や一経営体当たり作付面積の増大に伴い、施肥作業の労力軽減のため、今後さらに被覆肥料の使用割合は高まっていくと思われる。

被覆肥料は、肥料成分を合成樹脂などの被膜で覆うことにより溶出速度を調節したもので、肥料成分の溶出は被覆資材の特性や地温、土壤水分等に左右される（農業・生物系特定産業技術研究機構，2006）。被膜には光崩壊性があるものの（藤田，1996）、自然環境下での分解には時間がかかるため、溶出を終えて中空となった被膜が代かき時に浮上する可能性が指摘されており（小林，

2015）、水系へ流亡することが懸念されている（日本肥料アンモニア協会・全国複合肥料工業会，2018）。藤枝（2011）は瀬戸内海219海岸に漂着した1mm以上の微小プラスチックの1.8%（平均密度855個/m²）が徐放性肥料カプセルであり、そのサイズは2.0～4.0mmが98.5%を占めると報告している。被覆肥料の粒径は2～4mm程度であり、藤枝（2011）の報告から、水田に施用された肥料は被膜がほぼ分解されず形を保ったまま海洋に流出していると推察される。

海洋に流出する被覆肥料の被膜を減らすためには、化学合成緩効性肥料で代替する、または被膜の崩壊性を高める方法があげられる。化学合成緩効性肥料のうち、IB肥料の溶出は粒の大きさで一定程度調節されるが、溶出コントロール性は被覆肥料に劣るため（農業・生物系産業技術研究

機構, 2006), どの程度被覆肥料から代替可能であるかは検討が必要である。一方, 被膜の崩壊性を高めた被覆肥料としては J コートがあり, LP コートと比較して崩壊性が高いことが報告されている(松田, 2021; 松永・白鳥, 2019; 川島, 2019)。

そこで本試験では, 慣行一発肥料の配合原料である被覆肥料を IB 肥料で代替した基肥一発肥料において, 水稻の生育収量面から適切な代替割合を明らかにするとともに, 水田における J コートの被膜の崩壊性と溶出パターンについて検討する。

なお, 本調査は全農肥料委託試験(2019 年~2020 年)で実施した。

2. 材料及び方法

2.1 気象の概況

2019 年及び 2020 年の水稻栽培期間中の平均気温及び日照時間は, 松山アメダスデータを用いた。また, 各項目の平均値は 1981~2010 年の 30 年間の平均値をもとに気象台が算出した値を用いた。

2.2 被覆肥料の特性調査

窒素溶出率, 圃場の地温, 被膜崩壊度を 2020 年に調査した。窒素溶出率は, LP コート 3 種(LPS60, LPSS100, LP100), J コート 2 種(J コート SD, J コート SE) について各 2.5g を入れたポリエチレンメッシュ袋を代かき当日に田面から 5cm の深さに埋設し, 6 月 20 日から 9 月 10 日までの間で 2 連 5 回サンプリングを行った。窒素分析はジェイカムアグリ株式会社に依頼した。圃場の地温は, 埋設後から坪刈りまで温度記録計(T&D 社 TR-71wf)で 5cm 深を 1 時間ごとに測定した。被膜崩壊度の調査では, J コート SE, LPSS100(いずれも 25°C 約 100 日で 80% が溶出)及び J コート SD(同様に約 80 日で溶出)を窒素溶出率のサンプル同様代かき当日に田面から 5cm の深さに埋設し, 261 日後の 2021 年 2 月 10 日に J コート SD と LPSS100, 352 日後の 2021 年 5 月 12 日に J コート SE と LPSS100 を掘り上げ, 附着した泥を優しく洗い落とし自然乾燥した。261 日後のサンプルではメッシュ袋から取り出した直後に写真を撮影し, 352 日後のサンプルでは指で押えたときの崩壊度から 6 段階で評価し

た。調査は 30 粒×3 反復とした。

2.3 圃場試験

試験は 2019 年~2020 年に農林水産研究所内の 1 区画 20a の水田圃場で実施した。圃場の土壌は花崗岩に由来する粗粒質低地水田土で, 作土の土性は砂質壤土である。供試品種には‘あきだわら’を用い, 前作は兩年ともはだか麦であった。

2019 年の試験区は, 被覆肥料を配合原料とする市販の基肥一発肥料(商品名:たわらくん)を用いた区を慣行区とし, 被覆肥料を全量 IB 肥料に代替した被覆全量削減区, 被覆肥料の 6 割を IB 肥料に代替した被覆 6 割削減区, 同様に 6 割代替し残り 4 割を J コートに置き換えた被覆 6 割削減(崩壊性)区, IB 肥料に 3 割代替した被覆 3 割削減区, の 5 区とした。IB 肥料には約 40~60 日で溶出するグッド IB を用いた。被覆肥料には被覆 3 割削減区では LPS60 と LPSS100, 被覆 6 割削減区では LPS80, 被覆 6 割削減(崩壊性)区では, LPS80 と同様に約 80 日で溶出する J コート SD を用いた(表 1)。各区 4 反復設置し, 1 区面積は 0.9a とした。

2020 年の試験区は, 前年同様, 慣行基肥一発肥料を用いた区を慣行区とし, 被覆肥料の 6 割を IB 肥料に代替した被覆 6 割削減区, IB 肥料に 3 割代替した被覆 3 割削減区, IB 肥料に 1.5 割代替した被覆 1.5 割削減区, IB 肥料に代替しない被覆 0 割削減区の 5 区とした。IB 肥料には約 80~100 日で溶出するスーパー IB を用い, 慣行区以外の被覆肥料には J コート SD を使用した(表 2)。各区 3 反復設置し, 1 区面積は 1.1a とした。

施肥量は, 2019 年は全区で N:P₂O₅:K₂O = 12.0:7.8:9.0 g/m², 2020 年は全区で N:P₂O₅:K₂O = 14.0:9.1:10.5 g/m²とした。施肥は, 2019 年では耕起後代かき前の 5 月 31 日に, 2020 年では同じく 5 月 25 日に全層施肥した。その後, 2019 年は代かきを 6 月 3 日, 移植を 6 月 5 日, 中干しを 7 月 12 日~7 月 26 日に実施した。2020 年は代かきを 5 月 27 日, 移植を 5 月 29 日, 中干しを 7 月 8 日~7 月 20 日に行った。2 年間ともに稚苗移植栽培で, 栽植密度 18.2 株/m²とした。

草丈と茎数を, 2019 年は 6 月 28 日, 7 月 8 日, 8 月 6 日に調査し, 葉色を 7 月 8 日, 7 月 31 日, 9 月 5 日に調査した。2020 年は草丈, 茎数, 葉色を 7 月 3 日, 7 月 17 日, 8 月 14 日に調査した。

いずれも各区1反復当たり連続10株調査とし、葉色は葉緑素計(コニカミノルタ SPAD502)を用いて、展開第2葉の葉身中央部を測定した。

成熟期に、生育調査を行った株の稈長、穂長、穂数を調査した。また、倒伏程度を0(無)~5(甚)の6段階で評価した。生育調査株から中庸な3株を採取し、全粒を脱粒し1穂粒数を測定するとともに、脱粒した全粒を比重1.06で塩水選を行い、沈下した粒の割合で登熟歩合を算出した。千粒重、精玄米重は、生育調査株に隣接する50株を刈取り、風乾し、脱穀、粒摺りした後1.8mmで篩選し、水分含有率14.5%に換算して算出した。整粒割合は穀粒判別器(サタケ RGQI10)、

玄米タンパクは食味分析計(静岡製機 TM-3500)で測定し、検査等級は(一財)日本穀物検定協会に格付けを依頼した。

3. 結果及び考察

3.1 気象

生育期間中の気温は、2019年では7月が平年より0.8℃低く、8月が平年並で、9月は平年より2℃高かった。2020年では7月は1.3℃低く、8月~9月上旬は平年より2℃高かった。日照時間は2019年の7月が平年比70%、8月中下旬が平年比51%と短く、2020年は7月が平年比56%、8月~9月上旬は平年比124%となった(図1)。

表1 供試肥料に占める緩効性肥料の配合割合(2019年)

試験区	供試肥料に占める窒素成分の割合(%)							合計	
	速効性	IB肥料	被覆肥料				小計		
			LPS60	LPS80	JコートSD	LPSS100			LP100
被覆全量削減		100					0	100	
被覆6割削減	33	40		27			27	100	
被覆6割削減(崩壊性)	33	40			27		27	100	
被覆3割削減	33	20.5	26.5			20	46.5	100	
慣行	33		36.5			20	10.5	67	100

※IB肥料にはグッドIB、被覆肥料にはLP, LPS, LPSSを使用。崩壊性被覆肥料にはJコートSDを使用。慣行には基肥一発肥料(たわらくん)を使用。

表2 供試肥料に占める緩効性肥料の配合割合(2020年)

試験区	供試肥料に占める窒素成分の割合(%)						合計	
	速効性	IB肥料	被覆肥料			小計		
			LPS60	JコートSD	LPSS100			LP100
被覆6割削減	33	40		27		27	100	
被覆3割削減	33	20.5		46.5		46.5	100	
被覆1.5割削減	33	10		57		57	100	
被覆0割削減	33			67		67	100	
慣行	33		36.5		20	10.5	67	100

※IB肥料にはスーパーIB、被覆肥料にはLP, LPS, LPSSを使用。崩壊性被覆肥料にはJコートSDを使用。慣行には基肥一発肥料(たわらくん)を使用。

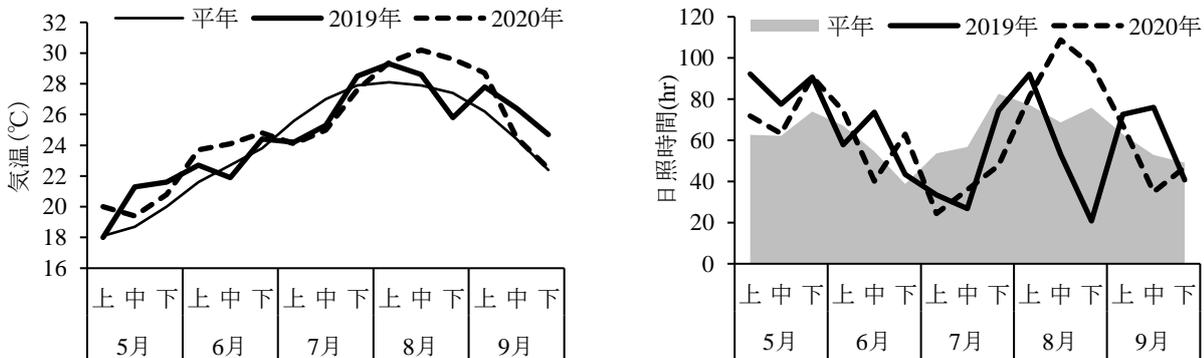


図1 栽培期間の平均気温及び日照時間(2019年, 2020年)

(気象庁松山アメダスデータを基に作成)

3.2 被覆肥料の溶出と被膜の崩壊

処理後溶出率 80%に到達した日数は LPS60 で 70 日, LPSS100 で 104 日, LP100 で 88 日, J コート SD で 78 日, J コート SE で 102 日であった (図 2). 栽培期間中の地温は平均 25.6°Cであったので (図 3), 各肥料はほぼ設計通りに溶出し, J コート SD と LPS60 の溶出パターンは似通っており, また J コート SE と LPSS100 も同様であっ

た.

埋設 261 日後の掘り取り後の形状は, J コート SD で一部割れがみられ, LPSS100 では埋設時の形状を保っていた (図 4). 埋設 352 日後の被膜の崩壊度は, J コート SE のみ被膜の割れまたは崩壊がみられ, LPSS100 は指で押えても割れない~数回押さえると亀裂が生じ広がる程度であった (図 5). J コートは LP コートに比べ水稻栽培

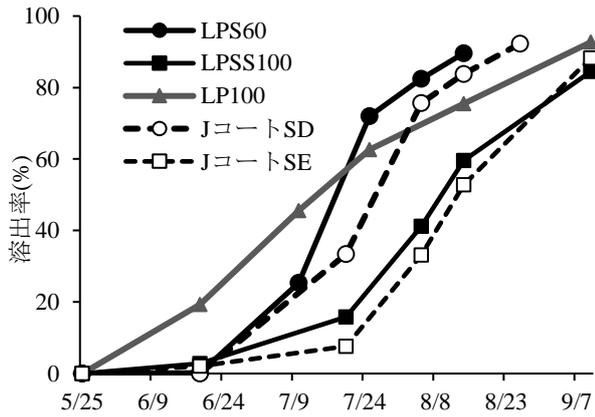


図 2 地下 5cm に埋設した緩効性肥料における窒素溶出率の推移 (2020 年)
(分析: ジェイカムアグリ (株))

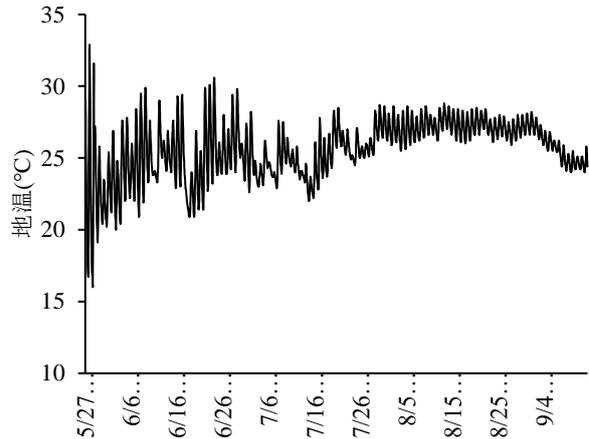


図 3 地下 5cm の地温の推移

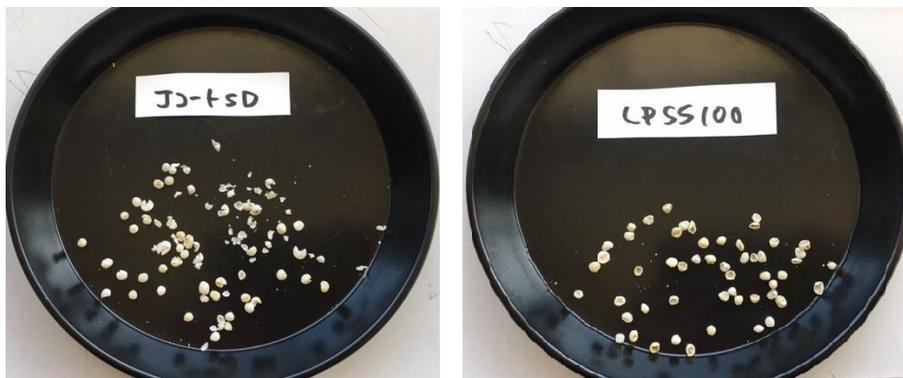


図 4 掘り出し後の肥料殻 (埋設 261 日後)

※左: J コート SD, 右: LPSS100

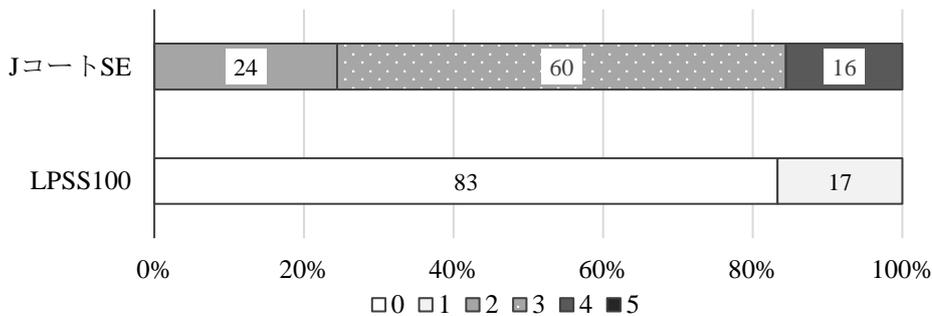


図 5 被覆肥料の被膜の崩壊度 (埋設 352 日後)

※指で押えたときの崩壊度から 6 段階で評価した. (0: 指で数回押えても割れない, 1: 指で 2, 3 度押えると亀裂が生じ広がる, 2: 指で押えると割れる, 3: 指で押えると弱い力で割れる, 4: 指で扱うのが困難な程度になっている, 5: 自然崩壊を起こしている)

終了後の被膜の崩壊性が高かったことから、栽培終了後や次作の準備の耕起等の衝撃で被膜が崩壊し、次作以降の被膜の浮き上がりが少なくなると考えられた。

3.3 被覆肥料をIB肥料に代替した基肥一発肥料を用いた‘あきだわら’の生育と収量

2019年の草丈、稈長、穂長は試験区間に有意差はなかったが、草丈は被覆全量削減区で低く推移した。茎数、出穂期、成熟期はいずれの試験区も同程度であった。葉色は、分けつ期ではいずれの試験区も同程度であったが、出穂後の9/5調査では被覆全量削減区で低かった。倒伏はいずれの試験区もみられなかった(表3)。

収量及び収量構成要素、玄米品質はいずれの項目も試験区間に有意差はなかったが、被覆肥料の削減割合が大きいほど1穂粒数が減少する傾向にあった。また、被覆全量削減区の1穂粒数がやや少なく、精玄米重は最も軽かった。8月中下旬の日照不足により収量水準は低かったが、等級はいずれも1等で、外観品質は良好であった(表4)。

2020年の出穂期までの草丈は被覆0割削減区で低かった。茎数はいずれの調査日でも試験区間に有意差はみられなかったものの、7/3では被覆6割削減区が最も多かった。葉色は7/3では被覆6割削減区、被覆3割削減区が濃く、7/17以降は試験区間に有意差がみられなかった。出穂期、成熟期、稈長はいずれの区も同等で、倒伏が全区で発生した(表5)。

精玄米重は全区で60kg/aを超え、試験区間に有意差はみられなかったが、被覆肥料の削減割合が高い被覆6割削減区で1穂粒数が最も少なく、精玄米重は最も軽かった。本年は整粒割合はいずれの区も低く、2等となった(表6)。

以上のことから、2019年において、被覆肥料をIB肥料に置き換え代替割合を10~3割とした場合、‘あきだわら’の各試験区の収量に有意差はみられず、2020年も同様に、被覆肥料を6~1.5割削減しIB肥料に置き換えても、前年同様‘あきだわら’の収量は同等であった。しかし2019年では、全量代替した場合出穂後の葉色が薄く、また両年とも、被覆肥料の削減割合が6割以上の場合、1穂粒数が少なくなる傾向があったことか

表3 基肥一発肥料体系におけるあきだわらの生育(2019年)

試験区	草丈(cm)			茎数(本/m ²)			葉色(SPAD)			出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	倒伏 (0-5)
	6/28	7/8	8/6	6/28	7/8	8/6	7/8	7/31	9/5					
被覆全量削減	29.5	54.2	95.3	296	364	388	44.8	42.0	32.2	8/14	9/17	83	18.7	0
被覆6割削減	31.6	57.3	98.3	312	403	419	45.2	41.8	36.5	8/14	9/17	85	19.2	0
被覆6割削減(崩壊性)	32.2	58.0	95.9	306	390	384	45.3	40.2	35.1	8/13	9/17	85	19.2	0
被覆3割削減	32.1	58.6	98.8	304	400	412	45.2	42.1	35.5	8/13	9/17	85	19.3	0
慣行	32.3	57.7	98.1	292	380	388	45.5	40.7	37.4	8/13	9/17	85	19.4	0
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*			n.s.	n.s.	

※分散分析の*は5%水準で有意, n.s.は有意差なし。

表4 基肥一発肥料体系におけるあきだわらの収量及び収量構成要素と玄米品質(2019年)

試験区	精玄	穂数	1穂	登熟	千粒	外観品質		玄米	等級
	米重		粒数	歩合	重	整粒	未熟粒	タンパク	
	(kg/a)	(本/m ²)	(粒)	(%)	(g)	(%)	(%)	(%)	
被覆全量削減	48.8	331	91	73	20.9	76	3	6.5	1
被覆6割削減	51.4	346	97	69	20.8	71	4	6.9	1
被覆6割削減(崩壊性)	49.8	330	98	66	21.0	72	5	6.8	1
被覆3割削減	53.6	332	101	73	21.1	74	4	6.8	1
慣行	52.5	336	102	65	21.0	72	4	7.0	1
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

※分散分析のn.s.は5%水準で有意差なし。千粒重、精玄米重は1.8mm以上で水分14.5%補正。外観品質はサタケRGQ110, タンパクは静岡製機TM-3500で測定し水分14.5%に換算。

ら、被覆肥料を IB 肥料に代替する場合は、安定した生育収量を得るために代替割合は 6 割を超えてはならないと考えられた。

3.4 まとめ

J コートは LP コートと比べ成分の溶出安定性が同等であることから、LP コートから J コートへの代替は可能と考えられた。また、水稻栽培後の被膜の崩壊性が高く、次作以降の代かき時の被膜の浮き上がりが少なくなると考えられた。

被覆肥料の一部または全量を IB 肥料に置き換え、‘あきだわら’における好適な代替割合について検討したところ、代替割合 10~1.5 割において収量に慣行との差はみられなかったため、最大で全量代替可能であると考えられた。ただし、代替割合 10 割の場合出穂後の葉色が薄く、代替割合が 10~6 割の場合 1 穂粒数が少なかったことから、安定した生育収量を得るためには代替割合は 6 割を超えてはならないと考えられた。

以上のことから、LP コートの代替に IB 肥料や J コートを配合原料とした基肥一発肥料を水稻栽培に用いることで、海洋に流出する被覆肥料の被膜が減少することが期待できた。

謝辞

本試験を実施するにあたり供試肥料の提供や肥料分析に協力いただいた、ジェイカムアグリ株式会社、全農愛媛県本部の関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 農業・生物系特定産業技術研究機構 (2006) : 最新農業技術辞典 NAROPEDIA, 農文協, 308, 1317.
- 藤田利雄 (1996) : ポリオレフィンによる肥料被覆技術の発明と被覆尿素の工業化, 日本土壤肥料学雑誌, 67 (3), 247-248.
- 小林新 (2015) : 樹脂系被覆肥料による革新的な施肥技術の開発と今後の展望 6. 樹脂系被覆肥料に期待される新たな機能と施肥技術への展望, 日本土壤肥料学雑誌, 86 (6), 563-572.
- 日本肥料アンモニア協会・全国複合肥料工業会 (2019) : 海洋漂着プラスチックを巡る肥料業界の対応について,
<http://www.jaf.gr.jp/topics/20190507.html>

表5 基肥一発肥料体系におけるあきだわらの生育(2020年)

試験区	草丈(cm)			茎数(本/m ²)			葉色(SPAD)			出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	倒伏 (0-5)
	7/3	7/17	8/14	7/3	7/17	8/14	7/3	7/17	8/14					
被覆6割削減	65.7	81.5	112.4	408	427	354	45.0	42.5	36.3	8/12	9/12	82	20.7	2.7
被覆3割削減	63.0	80.2	114.1	376	423	368	45.3	42.7	37.9	8/11	9/13	83	20.8	2.3
被覆1.5割削減	61.6	78.6	114.2	370	406	373	43.7	41.6	38.2	8/12	9/12	81	21.0	3.0
被覆0割削減	58.7	75.5	110.9	366	385	335	44.0	42.3	38.0	8/11	9/12	80	21.6	1.7
慣行	61.4	79.3	113.0	364	368	355	44.8	43.1	38.5	8/12	9/13	81	21.0	2.3
分散分析	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.

※分散分析の*は5%水準で有意, n.s.は有意差なし。

表6 基肥一発肥料体系におけるあきだわらの収量及び収量構成要素と玄米品質(2020年)

試験区	精玄 米重 (kg/a)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数 (粒)	登熟 歩合 (%)	千粒 重 (g)	外観品質		玄米 タンパク (%)	等級 (格付理由)
						整粒 (%)	未熟粒 (%)		
被覆6割削減	62.4	388	105	57	20.6	59	38	7.0	2(未熟粒)
被覆3割削減	63.0	384	114	53	20.6	59	37	7.4	2(未熟粒)
被覆1.5割削減	62.9	393	125	43	20.4	56	40	7.4	2(未熟粒)
被覆0割削減	64.2	355	117	52	21.0	57	39	7.1	2(未熟粒)
慣行	65.1	371	113	54	20.6	56	40	7.1	2(未熟粒)
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

※分散分析のn.s.は5%水準で有意差なし。千粒重, 精玄米重は1.8mm以上で水分14.5%補正。外観品質はサタケRGQ110, 玄米タンパクは静岡製機TM-3500で測定し水分14.5%に換算。

藤枝繁 (2011) : 瀬戸内海における微小プラスチックごみ, 沿岸域学会誌, 24 (1), 57-65.

松田英樹 (2021) : 被覆肥料「Jコート」の水稻に対する全量基肥施用の効果と被膜崩壊性, 農業と科学, 732, 1-4.

松永真, 白鳥孝太郎 (2019) : 新型被膜でコーテ

ィングされた水稻一発肥料 J コートの実用性の検討, 農業と科学, 707, 8-12.

川島寛 (2019) : 被覆尿素肥料 (Jコート) を用いた水稻の生育収量と被膜の崩壊程度, 農業と科学, 710, 1-5.