

研究成果

GreenSeekerやドローンで省力的かつ広範囲な生育把握を実現 ～センシングによる水稻の生育調査手法の提案～

栽培課 研究員 佐藤 篤史

1 はじめに

近年、地球温暖化の進行による米の品質低下が問題となっています。特に、本県で作付けが最も多い「コシヒカリ」では、これまでも出穂後の高温の影響により白未熟粒が多発することがしばしばあり、極めて高温となった本年も「コシヒカリ」の1等米比率は46.4%（11月末現在）と、これまでで最も低くなっています。今後、本県が掲げる「高品質で美味しい富山米ブランド」の確立を目指す上で、水稻の生育状況に応じた水管理や肥培管理などの栽培技術指導がより一層重要になると考えられます。

現在、この技術指導を行うための水稻の生育状況の把握は、普及指導員や営農指導員がほ場内で草丈、茎数、葉色などの生育調査を実施して得られたデータをもとに行われています。この生育調査法では、ほ場に入り、人の手で計測する必要があることから、調査にかかる時間と労力の面で、調査できるほ場の数に限界があります。また、定点的な調査のため、ほ場1筆単位での広範囲な生育診断が困難という面もあります。

一方、近年リモートセンシング分野において、植物の分光反射特性から算出される正規化植生指数（NDVI）により植物の生育状況を評価する手法がよく使われています。現在、NDVIを簡易に測定できる携帯型の測定装置が商品化されているほか、空撮画像からNDVIを測定することも可能となっています。

そこで本研究では、「コシヒカリ」について、携帯型測定装置（GreenSeeker）やドローン空撮画像を用いてNDVIを算出し、その計測値と従来の生育調査法で得られる水稻生育指標との関係性を調査しました。

2 NDVI（正規化植生指数）について

NDVIは、植生の量や活性度を示す生育指数です。植物は、光合成色素の特性により赤色光（約650nm）を吸収しやすく、また近赤外光（約840nm）を反射しやすいという特徴があります（図1）。そのため、植物の生育が旺盛なほど葉面での赤色光と近赤外光の反射率の差が大きくなり、NDVIはこの反射率の差と和の比により計算されます。一般に植物のある条件下では、NDVIは0～1までの値をとります。そして、NDVIの数値が大きいほど植物の生育が旺盛であることを示します。

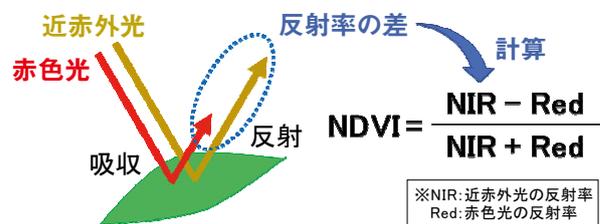


図1 NDVIの原理

3 GreenSeekerによる水稻の生育診断

現在、簡便にNDVIを測定できる携帯型装置として、ニコン・トリンプル社よりGreenSeekerが商品化されています（図2）。本機は、トリガーを引くことで測定対象となる植物に向けて赤色光と近赤外光を直接照射し、植物から反射されたそれぞれの波長の光をセンサが検知することでNDVIがリアルタイムで計算・表示されます（図3）。



図2 GreenSeeker



図3 GreenSeekerの測定原理

注) ニコン・トリンプル社 HPより一部引用

本研究では、GreenSeeker を使用して水稻の生育期間における NDVI を継時的に測定し、適正な測定方法及び水稻の生育との関係について調査しました。

(1) 測定方法

GreenSeeker を地上から1mの高さに設置した場合、長径約 40cm、短径約 25cm の楕円形の領域内が測定範囲となります(図4)。

この測定高で、GreenSeeker の測定範囲の長径を水稻の植付条に対して垂直に設定して測定した場合、平行に設定した場合に比べ、移植後 20 日の NDVI がより小さな値となりました(表1)。一方、幼穂形成期の値は同程度となりました。これらのことから、生育ステージの早い段階では、垂直方向の測定を行うことで、条間を含めた測定範囲となることから、水稻の生育量をより精度高く検出でき、精度高く水稻群落の生育量を評価できると考えられました。

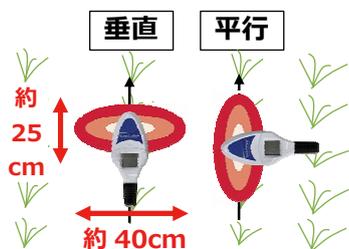


図4 GreenSeeker の測定向き

注1) 図中の赤色の楕円は、GreenSeeker の測定範囲を示す。
注2) ニコン・トリプル社 HP より一部引用

表1 測定範囲の向きが異なる場合の NDVI

測定の向き	移植後20日	幼穂形成期
垂直	0.398	0.670
平行	0.445	0.675

注1) 2022年5月16日移植のコシヒカリの調査結果
注2) NDVI は、10回測定の平均値

(2) NDVI の推移

5月中旬に移植した「コシヒカリ」の NDVI は、移植後～7月上旬頃までは生育に伴い増加しましたが、7月上旬以降は、ほぼ横ばいとなりました(図5)。

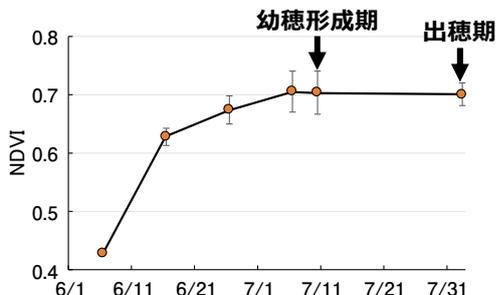


図5 NDVI の推移

注) 2020～2022年の平均値により作成、図中の縦棒は標準偏差を示す。
なお、6/6と幼穂形成期は2020年及び2022年の2か年データの平均値

(3) NDVI と水稻生育指標の関係

移植後 30 日頃、45 日頃、幼穂形成期、出穂前 10 日の4つの生育ステージについて、草丈、茎数、葉色 (SPAD 値)、生育量 (草丈 × 茎数 × SPAD 値 / 10,000) と NDVI との相関関係をみたところ、いずれの生育ステージにおいても、NDVI は茎数及び生育量との相関係数が安定して高いことがわかりました(表2)。また、移植後 30 日頃では、全ての水稻生育指標について NDVI との高い相関関係が確認されました。

表2 NDVI と水稻生育指標との相関係数

生育ステージ	草丈	茎数	葉色	生育量
移植後30日頃	0.79**	0.90**	0.76**	0.89**
移植後45日頃	0.26	0.76**	0.59**	0.81**
幼穂形成期	0.77**	0.81**	0.35	0.86**
出穂前10日	0.78**	0.74**	0.61**	0.83**

注1) 2020～2022年の3か年データより算出。なお、幼穂形成期は2020年及び2022年の2か年データより算出
注2) **: p<0.01, *: p<0.05 で有意
注3) 生育量: 草丈 × 茎数 × SPAD 値 / 10,000

(4) NDVI と籾数の関係

籾数は、一定の値までは多いほど収量が増加しますが、過剰になると登熟歩合が低下し減収する上、乳白粒や青未熟粒の発生により玄米品質が低下します。そのため、本県の「コシヒカリ」では、安定した収量と高い玄米品質を確保するため、籾数の目標値を 28,000 粒 / m² に設定しています。

本研究では、リモートセンシング技術の活用例として、NDVI による幼穂形成期における籾数予測を実施しました。その結果、幼穂形成期の NDVI と籾数には高い相関関係が認められました(図6)。今後も、NDVI と籾数の関係について引き続きデータ集積を行うとともに、追肥等の栽培管理の診断指標の策定を目指します。

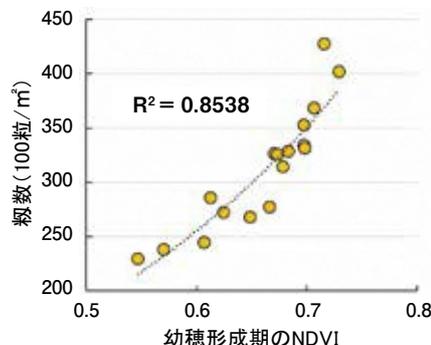


図6 幼穂形成期の NDVI と m² 当たり籾数

注1) 2020年及び2022年の2か年データより作成。2021年は7月の降雨により測定データなし
注2) 図中の回帰曲線は、指数式による。

4 空撮画像を利用した水稻の生育診断

次に、広範囲なリモートセンシング技術として、ドローンによる空撮画像を活用した水稻生育診断の実用性を検証しました。

(1) 空撮および NDVI 測定の方法

本研究では、ドローンを高度 30m で飛行させ、水稻ほ場内の複数地点にてホバリング撮影を実施しました。空撮には、マルチスペクトルカメラを使用し、赤色及び近赤外画像を撮影しました。

撮影された複数地点の画像を画像解析ソフトウェアを用いて合成し、1枚の歪みのない真上から見た広範囲の画像（オルソモザイク画像）を作成しました。指数計算を行い、NDVI の高低に応じて白～黒に塗り分けられた NDVI 地図を作成後、地理情報システムソフトウェア上で指定領域を選択して NDVI の平均値を算出しました（図7）。

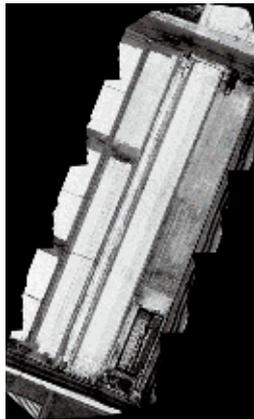


図7 NDVI 地図

注) NDVI が高い部分は白く、低い部分は黒く表示される。

(2) NDVI の推移

5月中旬に移植した「コシヒカリ」について、空撮画像から得た NDVI は、生育に伴って増加し、特に移植～7月2半旬にかけて増加量が大きくなりました。一方、7月3半旬以降の NDVI の増加は、緩やかとなりました（図8）。

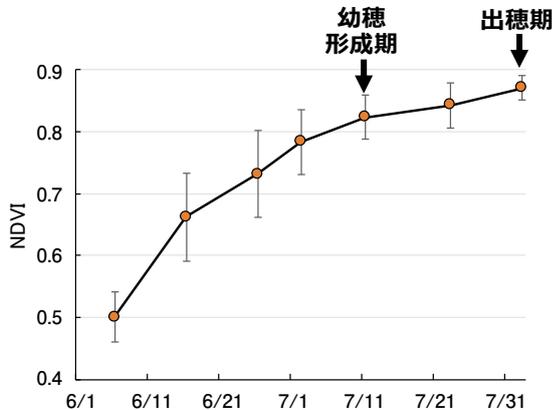


図8 空撮画像から得た NDVI の推移

注) 2020～2022年の平均値より作成、
図中の縦棒は標準偏差を示す。

(3) NDVI と水稻生育指標の関係

移植後 30 日頃、45 日頃、幼穂形成期、出穂前 10 日の4つの生育ステージについて、草丈、茎数、葉色（SPAD 値）、生育量と空撮画像から得た NDVI との相関をみたところ、GreenSeeker の場合と同様、いずれの生育ステージにおいても、NDVI は茎数、生育量との相関係数が安定して高く、移植後 30 日頃では全ての生育指標について NDVI との高い相関関係が確認されました（表3）。

表3 空撮画像から得た NDVI と水稻生育指標との相関係数

生育ステージ	草丈	茎数	葉色	生育量
移植後30日頃	0.79**	0.77**	0.74**	0.80**
移植後45日頃	0.74**	0.76**	0.52*	0.93**
幼穂形成期	0.77**	0.71**	0.29	0.81**
出穂前10日	0.49*	0.78**	0.43*	0.83**

注1) 2021年及び2022年の2か年データより算出

注2) **: p<0.01, *: p<0.05 で有意

注3) 生育量: 草丈 × 茎数 × SPAD 値 / 10,000

(4) 空撮画像から得た NDVI と 籾数の関係

幼穂形成期に測定した NDVI について、GreenSeeker で測定した場合と同様に、籾数との間に高い関係性があることがわかりました（図9）。今後、さらにデータを蓄積することで、より高精度な籾数予測と生育診断を行うことが可能と考えられます。

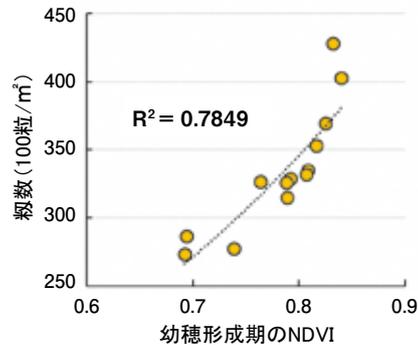


図9 空撮画像から得た幼穂形成期の NDVI と m^2 当たり籾数

注1) 2022年データより作成

注2) 図中の回帰曲線は、指数式による

5 おわりに

本研究の結果から、NDVI は、GreenSeeker、空撮画像のいずれの手法で測定した場合においても、水稻生育指標や籾数との高い関係性が認められ、生育量や籾数推定への可能性が示唆されました。現在、ドローンを用いてさらなる精度向上に向けた試験を実施しており、リモートセンシング技術による診断技術を構築し、実用化を目指したいと考えています。

「富富富」の食味を保つ収穫後の保管における留意点 ～「富富富」の美味しさを食卓へ～

農業バイオセンター 副主幹研究員 鍋島 裕佳子

1 はじめに

平成 30 年にデビューした「富富富」については、高品質・良食味という特性の認識が市場でも定着しつつあり、需要も増加しています。一方、「米」は生鮮食品であり、収穫後時間の経過とともに食味は低下することが知られています。今回、年間を通じて「富富富」を美味しく召し上がっていただくために、越年保管すると「富富富」の食味がどの程度低下するのか、また、その低下を防ぐにはどのように保管したらよいかを明らかにしました。

2 越年保管による「富富富」の食味変化の検証

「富富富」、「コシヒカリ」、「てんたかく」、「てんこもり」の玄米を紙袋に入れた状態で室温 15℃に制御した保冷庫において（以下 15℃紙袋）収穫翌年夏まで保管すると、いずれも食味官能値は低下しましたが、「てんたかく」を除いて食味官能値の低下程度に大きな差はみられませんでした。また、「富富富」は、12 月時点では基準コシヒカリ

に比べ硬いという評価でしたが、翌年 7 月ではねばり、かたさとも基準コシヒカリと同程度になりました。このことから、時間がたつと「富富富」は、ねばりと硬さのバランスが崩れる可能性があると考えられました（表1）。

3 肌ずれ程度の異なる「富富富」の保管による特性変化

肌ずれ程度が異なる「富富富」の玄米を 15℃紙袋で翌年夏まで保管しても、食味官能値の低下に大きな差はみられませんでした。今回、食味官能値の総合評価に差はみられませんが、肌ずれが多いと収穫年の 12 月ですでに脂質の酸価は高くなっていました（表2）。脂質の酸価は、遊離脂肪酸量を表し、この値が高くなると、古米臭の原因になると考えられます。調製時に肌ずれしないよう注意することが必要です。

表 1 品種別の食味官能値および味度値の経時変化（2020 年度）

品種	水分		食味官能値										味度値	
			総合評価		うまみ		ねばり +強、-弱		かたさ +硬、-柔		色・光沢			
			R1年12月	R2年7月	R1年12月	R2年7月	R1年12月	R2年7月	R1年12月	R2年7月	R1年12月	R2年7月		
富富富	13.8	16.0	-0.03	-0.10	0.15	-0.13	-0.03	-0.06	0.32*	0.09	0.03	0.07	77.7	78.7
コシヒカリ	14.4	15.9	0.00	-0.09	0.07	-0.05	-0.02	0.03	0.05	0.02	0.05	0.06	72.3	71.9
てんたかく	13.7	16.0	-0.13	-0.29*	-0.11	0.02	0.05	-0.10	0.18	0.41*	-0.03	-0.23*	72.5	73.6
てんこもり	14.5	15.9	-0.03	0.05	-0.07	-0.14	0.03	-0.09	0.23	0.28*	0.03	0.17	86.7	79.4

注 1) 現地試料の中から、玄米水分、玄米蛋白含有率、青米比率が中庸のものを供試

注 2) 食味官能試験は農業研究所コシヒカリを基準として -1.5 (不良) ~ 1.5 (良) の 7 段階で評価 (表 2、表 4 及び表 5 も同じ)

注 3) 味度値はトーヨーマルチ味度メーター (MA-90R2 型) にて測定

注 4) 紙袋に入れ 15℃保冷庫にて保管

注 5) *は t 検定で基準コシヒカリと有意差あり (p<0.05)

表 2 「富富富」玄米の肌ずれ程度が食味に及ぼす影響（2020 年度）

試験区分	水分 (%)			食味官能値						味度値			脂質の酸価 (mgKOH/脂質g)		
				総合評価			かたさ								
				R1年12月	R2年7月	差	R1年12月	R2年7月	差						
肌ずれ無	14.2	15.7	1.5	0.03	-0.11	-0.13	0.08	0.18*	0.10	69.9	74.6	4.6	3.7	9.0	5.3
肌ずれ多	14.0	15.8	1.8	0.00	-0.13	-0.13	0.02	0.23*	0.21	69.6	72.3	2.7	22.6	23.2	0.6

注 1) 紙袋に入れ 15℃保冷庫にて保管

注 2) *は t 検定で基準コシヒカリと有意差あり (p<0.05)

4 青米比率の異なる「富富富」の保管による特性変化

4つの試料からそれぞれ青米をすべて取り出し、取り出した青米を比率が異なるように戻して、様々な青米比率の「富富富」を調製しました（表3）。これらの玄米をポリエチレン袋に入れ、15℃に制御した保冷库において翌年夏まで保管し、食味官能試験および味度値を調査したところ、試料によって食味官能値の傾向は異なり、青米の多少と食味の関係は判然としませんでした（図1）。

表3 青米比率を調製した「富富富」の青米レベルと特性

試料No.	元のサンプルの形質				青米レベル毎の青米比率 (%)			
	水分 (%)	タンパク質 (%)	味度値	青米比率 (%)	無	少	中	多
A	14.7	6.2	81.8	4.2	0	3	5	9
B	14.4	6.1	83.3	5.6	0	6	8	14
C	15.0	6.1	84.7	18.8	0	5	10	15
D	13.8	5.7	87.7	7.6	0	5	10	15

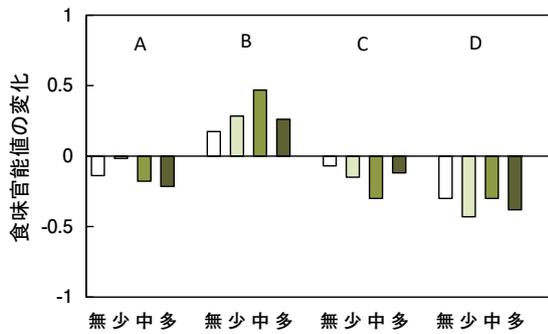


図1 異なる青米比率の「富富富」の保管による食味官能値の変化

5 保管条件の異なる「富富富」の保管による特性変化

玄米水分の異なる「富富富」を紙袋に入れ、15℃に制御した保冷库または室温で翌年夏まで保管したところ、室温保管では食味官能値が低下しました（表4）。また、「富富富」を湿度30%または70%と異なる湿度条件で翌年夏まで保管したところ、紙袋保管では湿度が低いと玄米水分が低下し、食味官能値や味度値が低下しましたが、ポリエチレン袋で梱包することで、ある程度の味度値の低下は防げると考えられました（表5）。

6 おわりに

長期間玄米を保管する場合は、15℃程度の保冷库において、ポリエチレン袋に入れるなど玄米水分が大きく変動しないようにすることが大切です。紙袋で保管する場合は、極端に高いあるいは低い湿度にならないよう留意してください。

また、「富富富」玄米の肌ずれ程度が大きいものは脂質の酸価が高く、食味不良の要因になる可能性があるため、調製時に肌ずれしないよう留意することも大切です。

以上を参考に、皆様の食卓で年間を通じて「富富富」を美味しく召し上がっていただけたらと思います。

表4 「富富富」玄米の水分、保管温度が食味に及ぼす影響（2020年度）

試験区分	保管温度	水分 (%)			食味官能値						味度値			脂質の酸価 (mgKOH/脂質g)		
		R1年12月	R2年7月	差	総合評価			かたさ			R1年12月	R2年7月	差	R1年12月	R2年7月	差
					R1年12月	R2年7月	差	R1年12月	R2年7月	差						
水分13%	15℃	13.0	15.4	2.4	0.06	-0.01	-0.07	-0.22	-0.19*	0.03	71.4	71.3	-0.1	11.1	8.0	-3.1
水分14%	15℃	14.0	16.2	2.2	0.03	-0.30*	-0.32	-0.10	0.15	0.25	70.9	71.5	0.5	14.1	11.7	-2.4
水分15%	15℃	15.0	15.9	0.9	0.07	-0.12	-0.18	0.07	-0.17	-0.23	70.8	68.0	-2.8	16.4	16.0	-0.4
水分13%	室温	13.0	13.1	0.1	0.06	-0.39*	-0.45	-0.22	0.14	0.36	71.4	64.1	-7.3	11.1	9.8	-1.3
水分14%	室温	14.0	13.0	-1.0	0.03	-0.34*	-0.36	-0.10	0.18*	0.28	70.9	66.5	-4.5	14.1	15.3	1.2
水分15%	室温	15.0	13.2	-1.9	0.07	-0.39*	-0.46	0.07	0.14	0.07	70.8	71.7	0.9	16.4	19.3	2.9

注1) 室温の平均は17.9℃、最低5.3℃、最高30.8℃

注2) 紙袋で保管

注3) *はt検定で基準コシヒカリと有意差あり (p<0.05)

表5 保管条件が「富富富」玄米の水分、味度値および食味に及ぼす影響（2021、2022年度）

湿度	保管形態	水分 (%)			食味官能値						味度値		
		12月	翌年7月	差	総合評価			かたさ			12月	翌年7月	差
30%	紙袋	14.3	10.3	-4.0	-0.01	-0.27*	-0.26	-0.08	0.24*	0.32	83.0	72.6	-10.4
70%	紙袋	14.3	15.0	0.7	-0.01	-0.19	-0.18	-0.08	-0.04	0.04	83.0	78.9	-4.1
70%	ポリエチレン袋	14.3	14.2	-0.1	-0.01	-0.22	-0.21	-0.08	-0.02	0.06	83.0	79.5	-3.5

注1) 各試験区ともn=12、保管温度は15℃

注2) *はt検定で基準コシヒカリと有意差あり (p<0.05)

注3) 数値は2021年度、2022年度の平均値

農業研究所セミナーを開催(農業研修会館, 10月30日)

当所研究員の緑肥に関する話題提供に加え、秋田県立大学より講師をお招きし、下記の演題でご講演いただきました。緑肥の地力向上の効果から各種緑肥を使用した現地試験の実例を交えてご紹介いただき、現場で活用が期待できる研究成果について理解を深めました。

○「富山県における緑肥栽培の取組み」

農林水産総合技術センター 農業研究所 土壌・環境保全課 高橋正樹 副主幹研究員

○「水稻栽培における緑肥作物の活用と今後の展開」

公立大学法人秋田県立大学 生物資源科学部 生物環境科学科 土壌環境学研究室 佐藤 孝 教授



【秋田県立大学 佐藤教授】



【農業研究所 高橋副主幹研究員】

学会・研究会での発表(4~12月)

北陸作物・育種談話会 第59回大会(上越市、10月19~20日)

- ・ **SCU 配合 J コート肥料が「てんたかく 81」の収量・品質に及ぼす影響** 栽培課 森川真紀子
SCU-M 配合 J コート肥料及び SCU-L 配合 J コート肥料は、慣行の J コート早生専用肥料と同等以上の収量・品質が確保できると考えられた。なお、SCU-M 配合は、減肥区でも収量が維持され、低コスト化に寄与する可能性がある一方、生育が過剰となった場合、倒伏の懸念があると考えられた。
- ・ **根出し種子を用いた各種散播栽培様式の適用性の検討** 栽培課 板谷恭兵
低コスト・省力直播栽培として、「てんこもり」の無コーティングの根出し種子を用いた代かき同時浅層土中播種やドローンによる表面散播では、苗立率は慣行の鉄コーティング直播より高く、適正な苗立数にすることで収量は多くなった。一方、水管理法を含めた雑草防除体系の検討が必要であると考えられた。
- ・ **高温登熟性品種に対する高温登熟性遺伝子 Apq1 の導入効果**
育種課 村田和優・北崎颯汰・長岡令・小島洋一朗 ほか2名
「富富富」の持つ高温登熟性遺伝子 Apq1 を「てんたかく」や「てんこもり」に導入した系統を育成したところ、出穂期や収量性等には影響せず、背白粒や基白粒の発生率を減少させ、原品種よりも玄米品質が向上した。
- ・ **高温耐性の水稻品種「富富富」による減農薬・減化学肥料栽培** 育種課 小島洋一朗
「北陸地域における『みどりの食料システム戦略』を考える」をテーマとしたシンポジウムにおいて、「富山県みどりの食料システム基本計画」の中に「富富富」の栽培面積の拡大を目標のひとつとして挙げたことなどを紹介した。

日本土壌肥料学会中部支部第103回例会・中部土壌肥料研究会第113回例会(津市、11月13~14日)

- ・ **大麦の全量基肥肥料のプラスチックフリー化に向けた硫黄被覆尿素肥料の適用性の検討**
土壌・環境保全課 高橋正樹・山田宗孝・野村幹雄 ほか1名
硫黄被覆尿素(以下 SCU)を配合した全量基肥肥料を施用した大麦の収量、品質を検討したところ、年次変動がみられるものの、SCU-M タイプを配合した肥料では、慣行のプラスチック被膜肥料と同等の精子実重が確保できた。また、品質については、容積重は同程度、硝子率は同程度~やや低かった。

令和4年度北陸作物・育種談話会【功労賞】(上越市、10月19~20日)

高橋副所長が、北陸作物・育種談話会より北陸作物・育種学会賞【功労賞】を受賞しました。この賞は、北陸信越地区での作物学、育種学の発展や作物栽培技術や品種の開発と普及啓蒙などにおいて多大な貢献をした者に授与されるもので、「気候変動に対応した水稻の高品質良食味米の安定生産技術の開発に関する研究」による受賞となりました。

農研ニュース 第39号 令和6年(2024年)1月発行
発行所 富山県農林水産総合技術センター農業研究所

〒939-8153 富山市吉岡 1124-1 TEL 076-429-2111

農林水産総合技術センターHPアドレス <http://taffrc.pref.toyama.jp/nsgc/nougyou/>