

委託試験成績（令和2年度）

担当機関名 部・室名	福島県農業総合センター 作物園芸部・稲作科
実施期間	平成30年度～令和3年度、継続
大課題名	V 情報処理等先端技術を活用した高生産システムの確立
課題名	ドローンリモートセンシングによる追肥診断技術を活用した水稲県オリジナル品種の収量、品質向上
目的	上空からの NDVI 値による生育診断及び食味値の推定技術が開発されてきているが、福島県オリジナル品種である「天のつぶ」等のデータがなかったため、平成30年度及び令和元年度の2年間「天のつぶ」「里山のつぶ」の NDVI 値と SPAD 値等のデータを収集し、幼穂形成期の可変追肥のための生育診断指標値（暫定版）を作成した。令和2年度には NDVI 値による生育診断指標値を確定する。また、令和2年度は所内ほ場を用いて、令和元年度に作成した指標値を用いて基肥時の可変施肥と可変追肥によるほ場の地力改善の実証を行い、生育指標値の検証を行う。
担当者名	松崎拓真
<p>1. 試験場所 福島県農業総合センター内ほ場（福島県郡山市）</p> <p>2. 試験方法 本年は、センター内において、窒素施肥量の異なるグラデーションほ場を設置し、幼穂形成期及び穂ばらみ期、出穂後20日・30日・40日の NDVI 値と、幼穂形成期の生育量（草丈、茎数、葉色）、玄米タンパク質含有率、籾水分、収量等との相関を調査し、NDVI 値による「天のつぶ」「里山のつぶ」の生育指標値を作成する。また、「天のつぶ」にて昨年度作成した NDVI 値の指標値を基に可変追肥の収量品質への影響を調査するとともに、前作の幼穂形成期の NDVI 値に応じた可変基肥の効果を調査する。</p> <p>(1) 供試機械名 ドローンマルチスペクトルカメラ</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件：水田ほ場（灰色低地土）</p> <p>イ. 栽培等の概要</p> <p>(ア) 品種名：天のつぶ、里山のつぶ</p> <p>(イ) 耕起：トラクタによるロータリ耕、4月27日</p> <p>(ロ) 代掻き：荒代5月11日、植代5月18日</p> <p>(ハ) 播種：播種機により播種、播種日：4月24日、播種量：乾籾150g/箱</p> <p>(ニ) 育苗：稚苗</p> <p>(ホ) 施肥量：2（3）のとおり</p> <p>(ヘ) 移植：機械移植、移植日：5月22日 栽植密度：60株/坪、植付本数：3～5本/株</p> <p>(ヘ) 除草：手散布、スマートフロアブル（5月27日）</p> <p>(コ) 病虫害防除：種子消毒 テクリードCフロアブル 3月23日 播種時：ダコニール1000、タチガレエースM液剤、カスミン粒剤 移植時：Drオリゼダントツ箱粒剤 いもち病防除：コラトップジャンボP 7月21日 カメムシ防除：キラップフロアブル 8月17日</p> <p>ウ. 窒素吸収量：幼穂形成期に植物体の窒素濃度と乾物量から算出した。</p> <p>エ. NDVI 値、植被率の測定 マルチスペクトルカメラを搭載したドローンにより、幼穂形成期、穂ばらみ期、出穂期20日後、30日後、40日後の5回測定した。</p>	

(3) 試験区の構成

表1 グラデーションほ場

区名	施肥量(kg/a)			
	基肥量			追肥量
	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	
2-0	0.2	0.2	0.2	0
6-0	0.6	0.6	0.6	0
8-0	0.8	0.8	0.8	0
10-0	1.0	1.0	1.0	0
12-0	1.2	1.2	1.2	0
2-2	0.2	0.2	0.2	0.2
6-2	0.6	0.6	0.6	0.2
8-2	0.8	0.8	0.8	0.2
10-2	1.0	1.0	1.0	0.2
12-2	1.2	1.2	1.2	0.2

追肥は7月20日に実施
区の面積：18 m²/区、2反復

表2 可変追肥ほ場

区名	基肥施肥量(kg/a)		
	(kg/a)		
	N	K ₂ O	P ₂ O ₅
2-0	0.2	1.0	1.0
6-0	0.6	1.0	1.0
8-0	0.8	1.0	1.0
12-0	1.2	1.0	1.0
2-可変追肥	0.2	1.0	1.0
6-可変追肥	0.6	1.0	1.0
8-可変追肥	0.8	1.0	1.0
12-可変追肥	1.2	1.0	1.0

追肥は7月21日に実施

表3 可変基肥ほ場

区名	施肥量(kg/a)				前年の 幼穂形成期の NDVI値
	基肥量			追肥量	
	N	K ₂ O	P ₂ O ₅		
①可変基肥10-2	1.0	1.0	1.0	0.2	0.6004
②可変基肥8-2	0.8	1.0	1.0	0.2	0.6536
③可変基肥6-2	0.6	1.0	1.0	0.2	0.6723
④可変基肥6-2	0.6	1.0	1.0	0.2	0.7205
⑤標準施肥6-2	0.6	1.0	1.0	0.2	0.7044
⑥標準施肥6-2	0.6	1.0	1.0	0.2	0.6497
⑦標準施肥6-2	0.6	1.0	1.0	0.2	0.6102
⑧標準施肥6-2	0.6	1.0	1.0	0.2	0.5585

追肥は7月20日に実施

3. 試験結果

(1) 天のつづ

ア. NDVI 値と生育量等との関係

基肥量が多い区及び追肥区ほどm²稈数が多くなり、施肥体系別の収量は多くなる傾向が見られた(表4)。また、玄米タンパク質含有率は基肥量が多い区及び追肥区で高くなる傾向が見られ、整粒歩合は基肥量が多い区で低くなる傾向が見られた(表4)。

幼穂形成期頃(7月13日)の生育量は、基肥量が多い区ほど草丈が長く、茎数が多く、葉色が濃く、NDVI 値は高くなる傾向が見られた(表5)。

7月13日のNDVI 値は、生育量(草丈×茎数×葉色)や窒素吸収量と高い相関が見られた(図1、2)。

穂ばらみ期(8月4日)及び出穂後20日~40日後のNDVI 値は、玄米タンパク質含有率と高い相関が見られた(図3、出穂後20~40日後のデータは省略)。

出穂後20日~40日後のNDVI 値と籾水分(図4)、幼穂形成期~出穂後40日のNDVI 値と葉色(図5)についても、相関が見られた。

イ. NDVI 値による可変追肥による収量への影響

表2に示した試験区にて、幼穂形成期のNDVI 値を基に施肥マップを作成し、NDVI 値0.65以下の場合には0.2kg/a、0.65~0.67の場合には0.15kg/a、0.67~0.69の場合には0.1kg/a、0.69~0.72の場合には0.05kg/aの追肥を実施した。0.72以上は追肥を行ななかった。(表6)

可変追肥を実施しなかった区は、基肥量が少ないほどm²稈数が少なく、精玄米重は少なくなった。一方、可変追肥を実施した区は、基肥0.6kg/a以上の区で概ね60kg/a以上の精玄米重が得られ、可変追肥を実施しなかった区に比べ、バラツキが少なかった(図6)

ウ. NDVI 値による可変基肥による収量への影響

表3に示したとおり昨年度(前作)の幼穂形成期のNDVI 値を基に、NDVI 値0.60以下の場合には1.0kg/a、0.60~0.65の場合には0.8kg/a、0.65以上の場合には標準的な施肥量0.6kg/aの可変基肥を行った。(表7)

可変基肥区では、基肥の施肥窒素量が多い区ほど、m²稈数が多く、収量も多い傾向が見られた。可変基肥区と標準施肥区では、収量やバラツキは同等であった。(図7)

エ. NDVI 値による生育指標値の作成

収量65~70kg/a以上を確保するためのm²稈数は、32,000~35,000粒程度であった(図8)。

幼穂形成期のNDVI 値とm²稈数とに相関が見られ、NDVI 値が0.61以下の場合追肥をすることにより、m²稈数が32,000粒程度になった。一方、NDVI 値が0.72以上の場合追肥をしなくともm²稈数が35,000粒程度になった。(図9)

以上の結果から、収量65~70kg/a、登熟歩合80%以上、整粒歩合80%以上、玄米タンパク質含有率6.7%以下にするためのm²稈数は32,000~35,000粒程度であり、32,000~35,000粒を確保するためのNDVI 値による生育指標値を作成した(表8)。

幼穂形成期のNDVI 値が0.61以下であれば0.2kg/aの追肥が必要であり、0.72以上であれば追

肥は必要ないと思われた。また、NDVI 値が 0.63～0.72 の間である場合は 0.1～0.15kg/a 程度の追肥が必要であると思われた。

また、穂ばらみ期の NDVI 値が 0.76 以下であれば、玄米タンパク質含有率は 6.7%以下になると考えられた。(表 8)

(2) 里山のつづ

ア. NDVI 値と生育量等との関係

幼穂形成期頃（7月6日）の生育量は、基肥量が多い区ほど草丈が長く、茎数が多く、葉色が濃く、NDVI 値は高くなる傾向が見られた（表 9）。

基肥量が多い区及び追肥区ほど m^2 粒数が多くなり、施肥体系別の収量は多くなる傾向が見られた。また、玄米タンパク質含有率は基肥量が多い区及び追肥区で高くなる傾向が見られ、整粒歩合は基肥量が多い区で低くなる傾向が見られた。（表 10）

7月6日の NDVI 値は、生育量（草丈×茎数×葉色）や窒素吸収量と高い相関が見られた（図 11、図 12）。

穂ばらみ期（7月30日）及び出穂後 20 日～40 日後の NDVI 値は、玄米タンパク質含有率と高い相関が見られた。（データは省略）

出穂後 20 日～40 日後の NDVI 値と籾水分、幼穂形成期～出穂後 40 日の NDVI 値と葉色についても、相関が見られた。（データ省略）

イ. NDVI 値による生育指標値の作成

収量 65～70kg/a 以上を確保するための m^2 粒数は 30,000～33,000 粒程度であった。（図 13）

m^2 粒数が 35,000 粒以上になると、整粒歩合が 80%以下になる傾向が見られ、幼穂形成期の NDVI 値が 0.65 を超えると追肥の有無に関わらず倒伏程度が 200 を超える区が見られた。

幼穂形成期の NDVI 値と m^2 粒数とに相関が見られ、NDVI 値が 0.55 以下の場合追肥をすることにより、 m^2 粒数が 30,000 粒程度になった。一方、NDVI 値が 0.62 以上の場合追肥をしなくとも m^2 粒数が 33,000 粒程度になった。（図 14）

以上の結果から、収量 65～70kg/a、登熟歩合 85%以上、整粒歩合 80%以上、玄米タンパク質含有率 6.7～6.8%以下にするための m^2 粒数は 30,000～33,000 粒程度であり、30,000～33,000 百粒を確保するための幼穂形成期の NDVI 値の生育指標値を作成した。（表 11）

幼穂形成期の NDVI 値が 0.55 以下であれば 0.2kg/a の追肥が必要であり、0.62 以上であれば追肥は必要ないと思われた。また、NDVI 値が 0.55～0.62 の間である場合は 0.1～0.15kg/a 程度の追肥が必要であると思われた。

また、穂ばらみ期の NDVI 値が 0.75 以下であれば、玄米タンパク質含有率は 6.7～6.8%以下になると考えられた。（表 11）

4. 主要成果の具体的データ

表 4 「天のつづ」グラデーションほ場における収量、収量構成要素及び食味品質

区名	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/ m^2)	精玄米重 (kg/a)	m^2 粒数 (百粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	食味値	玄米タンパク 質含有率(%)	味度値	整粒歩合 (%)	玄米 品質
2-0	8/8	9/15	67.0	16.6	350	48.5	228	22.7	93.7	75.3	6.3	78.5	79.3	2.0
6-0	8/8	9/16	70.6	16.9	393	57.5	274	22.6	92.9	74.8	6.3	78.2	79.6	2.0
8-0	8/8	9/16	72.7	17.0	455	62.3	301	22.2	93.3	72.3	6.6	77.6	80.7	2.0
10-0	8/9	9/19	75.7	17.2	516	73.1	363	21.8	92.6	71.8	6.7	76.8	79.3	4.0
12-0	8/9	9/19	77.3	17.4	529	75.2	386	21.5	90.8	70.3	6.9	76.7	77.9	4.5
2-2	8/8	9/20	69.1	17.8	379	60.8	286	22.8	93.2	71.3	6.6	77.7	82.1	2.5
6-2	8/8	9/21	70.9	17.8	439	64.3	308	22.4	93.2	73.0	6.5	78.3	82.3	2.0
8-2	8/8	9/23	75.3	17.6	492	73.1	361	21.9	92.2	72.0	6.7	74.3	80.8	3.5
10-2	8/9	9/22	75.7	18.3	534	77.2	398	21.8	89.2	69.5	7.0	72.5	76.6	5.0
12-2	8/9	9/23	78.3	17.9	528	77.9	407	21.5	89.2	67.5	7.2	72.9	75.3	6.0
基肥量	—	—	**	n.s.	**	**	**	**	*	**	**	**	**	—
追肥	—	—	**	**	*	**	**	n.s.	n.s.	**	**	**	n.s.	—
基肥量×追肥	—	—	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—

注) 精玄米重、千粒重は、網目 1.8mm 以上、水分は 15%調整

注) 食味値、玄米タンパク質含有率は、サタケ米粒食味計 (RLTA10B)

注) 玄米品質は、JA福島さくら農産物検査員による 10 段階評価 [1 (1 等上)～9 (3 等下)、10 (規格外)]

注) 整粒歩合は、サタケ穀粒判別器 (RGQI20A) による測定値

注) ** は分散分析により 1% 水準、* は 5% 水準で有意であることを示す。

表5 「天のつぶ」グラデーションほ場における幼穂形成期頃の生育量

区名	7月13日の生育量				
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)	NDVI値
2-0	60.7	409	42.5	282	0.5740
6-0	64.3	467	44.4	382	0.6654
8-0	65.0	518	45.2	444	0.6906
10-0	70.0	592	47.2	494	0.7230
12-0	70.6	590	48.2	527	0.7270
2-2	60.4	411	43.5	258	0.5684
6-2	63.3	494	44.6	370	0.6358
8-2	65.0	522	45.9	432	0.6808
10-2	67.6	611	46.2	510	0.7066
12-2	70.1	562	47.9	528	0.7295
基肥量	**	**	**	**	**

注) **は分散分析により1%水準で有意であることを示す。

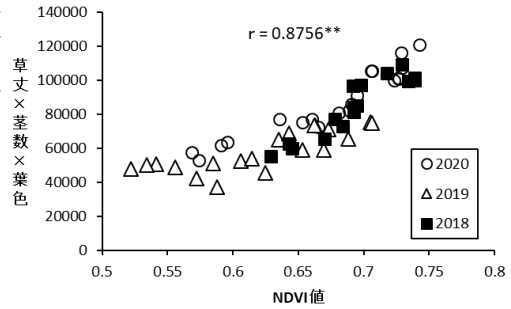


図1 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値と生育量との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

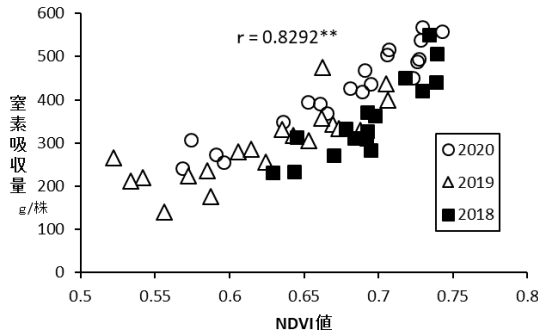


図2 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値と窒素吸収量との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

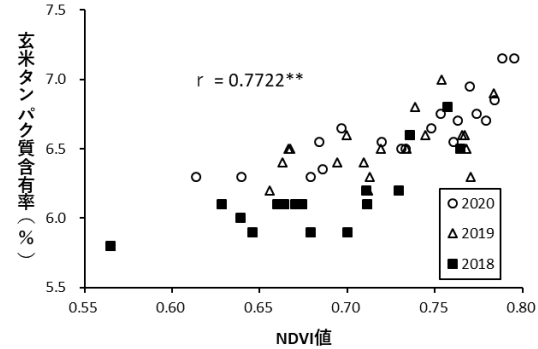


図3 「天のつぶ」穂ばらみ期のNDVI値と玄米タンパク質含有率との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

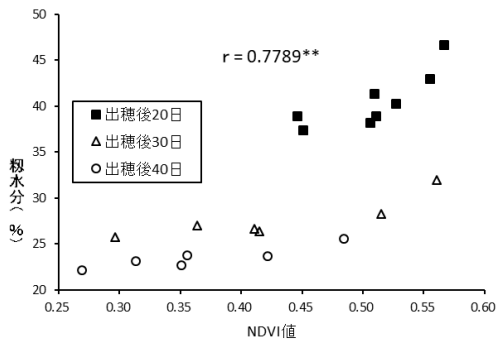


図4 「天のつぶ」出穂後20~40日のNDVI値と籾水分との関係
2020年のデータ、rは相関係数、**は1%水準で有意、n=20

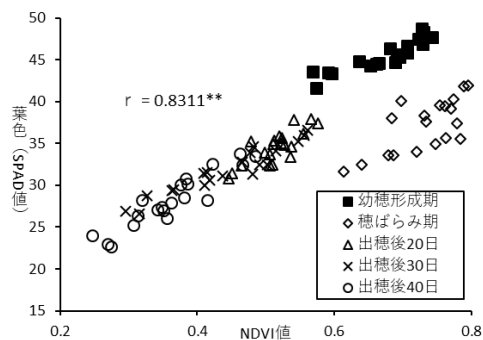


図5 「天のつぶ」幼穂形成期~出穂後40日のNDVI値と葉色との関係
2020年のデータ、rは相関係数、**は1%水準で有意、n=100

表6 可変追肥量

NDVI値	窒素散布量 (kg/a)
0.65以下	0.2
0.65~0.67	0.15
0.67~0.69	0.1
0.69~0.72	0.05
0.72以上	0

表7 可変基肥量

前年の幼穂形成期の NDVI値	窒素散布量 (kg/a)
0.60以下	1.0
0.60~0.65	0.8
0.65以上	0.6

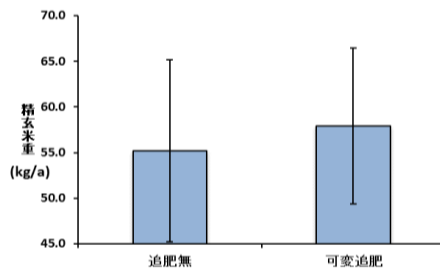


図6 「天のつぶ」無追肥と可変追肥による精玄米重の全処理区の平均の差

2020年のデータ、エラーバーは標準偏差

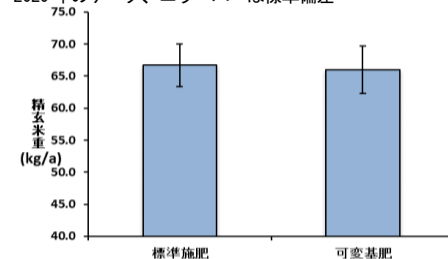


図7 「天のつぶ」無追肥と可変基肥による精玄米重の全処理区の平均の差

2020年のデータ、エラーバーは標準偏差

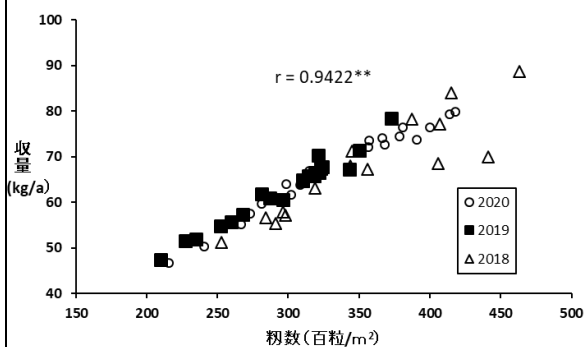


図8 「天のつづ」 穂数と収量との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

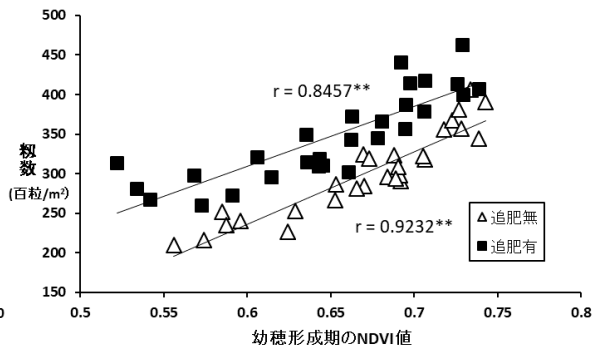


図9 「天のつづ」 幼穂形成期のNDVI値と穂数との関係
2018~2020年のデータ
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=28

表8 「天のつづ」 NDVI値による生育指標値

幼穂形成期	NDVI値	0.61以下	0.61~0.72	0.72以上
	草丈 × 茎数 × 葉色 (cm) (本/株) (SPAD502)		60,000 以下	60,000~ 95,000
窒素吸収量(mg/株)		282以下	282~448	448以上
追肥量(kg/a)		0.2	0.1~0.15	0
穂ばらみ期	NDVI値	0.76以下		
成熟期	収量	65~70kg/a		
	玄米タンパク質含有率	6.7%以下		
	整粒歩合	80%以上		
	登熟歩合	80%以上		
	m ² 穂数	32,000~35,000粒		

表9 「里山のつづ」 グラデーションほ場における幼穂形成期頃の生育量

区名	7月6日の生育量				
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)	NDVI値
2-0	53.7	440	43.1	221	0.4562
6-0	57.4	549	44.1	390	0.5992
8-0	59.1	545	45.5	398	0.6216
10-0	60.8	581	45.3	446	0.6340
12-0	61.9	610	45.5	482	0.6519
2-2	53.0	456	42.5	270	0.4808
6-2	56.2	543	44.7	348	0.5963
8-2	58.2	553	45.3	402	0.6163
10-2	62.3	601	46.0	415	0.6513
12-2	63.7	629	46.0	517	0.6485
基肥量	**	**	**	**	**

注) **は分散分析により1%水準で有意であることを示す。

表10 「里山のつづ」 グラデーションほ場における収量、収量構成要素及び食味品質

区名	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	精玄米重 (kg/a)	m ² 穂数 (百粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	食味値	玄米タンパク 質含有率(%)	味度値	整粒歩合 (%)	玄米 品質
2-0	8/6	9/11	74.5	17.9	388	55.6	251	23.0	96.1	76.0	6.2	79.8	84.8	2.0
6-0	8/5	9/12	80.8	17.6	475	66.7	316	22.5	94.1	74.8	6.3	74.3	82.9	3.5
8-0	8/6	9/13	84.1	17.9	478	67.3	326	22.2	93.1	71.8	6.6	75.8	80.7	4.0
10-0	8/6	9/15	85.9	18.2	514	68.6	349	21.7	90.7	71.8	6.7	73.5	78.1	5.0
12-0	8/6	9/16	88.7	18.2	534	73.4	378	21.5	90.2	69.5	7.0	72.2	74.5	6.0
2-2	8/5	9/11	75.5	18.4	414	60.8	278	23.2	94.2	75.5	6.2	77.0	83.4	2.0
6-2	8/6	9/13	82.6	18.3	489	70.4	348	22.1	91.5	71.8	6.7	73.4	80.9	5.0
8-2	8/6	9/15	82.3	18.5	497	69.9	354	21.9	90.0	72.3	6.7	73.9	79.3	4.5
10-2	8/6	9/17	87.5	18.2	545	71.1	374	21.5	88.3	70.3	6.9	70.7	77.6	4.0
12-2	8/6	9/19	90.6	18.7	560	76.4	408	21.4	87.6	68.3	7.1	72.0	73.8	6.0
基肥量	-	-	**	n.s.	**	**	**	**	*	*	*	**	**	-
追肥	-	-	n.s.	*	n.s.	**	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	**	n.s.	-
基肥量 × 追肥	-	-	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-

注) 精玄米重、千粒重は、網目1.8mm以上、水分は15%調整

注) 食味値、玄米タンパク質含有率は、サタケ米粒食味計(RLTA10B)

注) 玄米品質は、JA福島さくら農産物検査員による10段階評価[1(1等上)~9(3等下)、10(規格外)]

注) 整粒歩合は、サタケ穀粒判別器(RGQI20A)による測定値

注) **は分散分析により1%水準、*は5%水準で有意であることを示す。

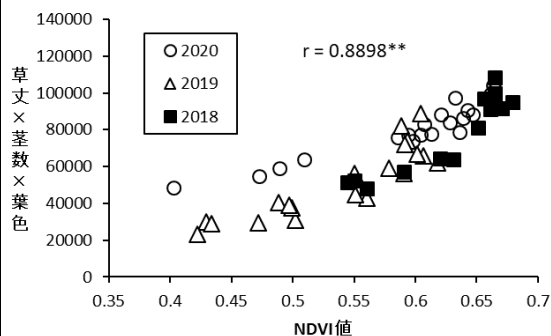


図11 「里山のつづ」 幼穂形成期のNDVI値と生育量
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

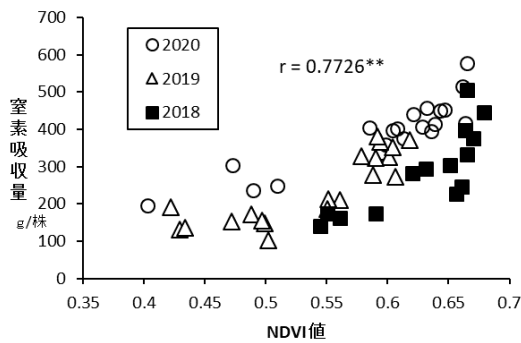


図12 「里山のつづ」 幼穂形成期のNDVI値と窒素吸収量
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

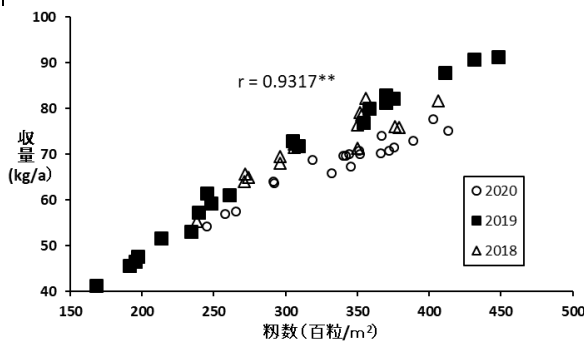


図13 「里山のつづ」 粒数と収量との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=56

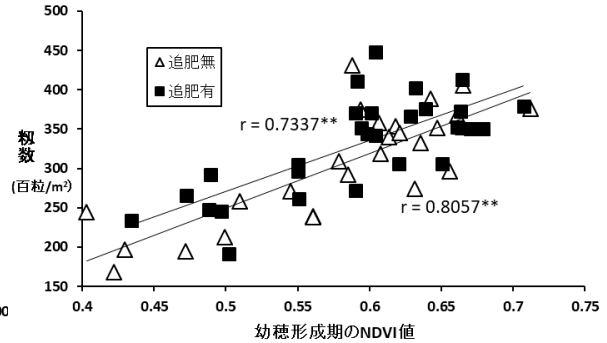


図14 「里山のつづ」 幼穂形成期のNDVI値と粒数との関係
2018～2020年のデータ
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=28

表11 「里山のつづ」 NDVI値による生育指標値

		NDVI値	0.55以下	0.55～0.62	0.62以上
幼穂形成期	草丈 × 茎数 × 葉色 (cm) (本/株) (SPAD502)		60,000 以下	60,000～ 80,000	80,000 以上
	窒素吸収量(mg/株)		268以下	268～356	356以上
	追肥量(kg/a)		0.2	0.1～0.15	0
穂ばらみ期		NDVI値	0.75以下		
成熟期	収量		65～70kg/a		
	玄米タンパク質含有率		6.7～6.8%以下		
	整粒歩合		80%以上		
	登熟歩合		85%以上		
	m ² 粒数 倒伏程度		30,000～33,000粒 200以下		

5. 考察

「天のつづ」「里山のつづ」とともに、3年間にわたって幼穂形成期のNDVI値と生育量（草丈×茎数×葉色）及び窒素吸収量と高い相関が見られたことから、幼穂形成期のNDVI値から生育量を推定することは可能であると考えられた。また、穂ばらみ期、出穂後20～40日のNDVI値と玄米タンパク質含有率との間に高い相関が見られたことから、収穫前に玄米タンパク質含有率を推定することは可能と考えられた。出穂後20～40日のNDVI値と粒水分、幼穂形成期～出穂後40日のNDVI値と葉色に相関が見られ、NDVI値からの推定が可能であると考えられた。

「天のつづ」については、昨年度作成した指標値を基に可変追肥を実施したが、その結果収量は基肥窒素施肥量0.6kg/a以上の区で概ね60kg/a以上得られバラツキも少なかったことから、指標値は妥当と考えられた。可変基肥については、今年度の結果からは有効性は確認できなかった。3か年の結果を踏まえ、「天のつづ」「里山のつづ」のNDVI値による生育指標値を作成した。

6. 成果の普及

1月の成績検討会において、普及指導員等に成果を伝える。
成果をとりまとめ、NDVI値による生育指標を公表する予定。

7. 問題点と次年度の計画

令和3年度は、新たな県オリジナル品種「福笑い」について、NDVI値による生育診断指標値を作成するとともに、品質向上のための食味値の推定指標値を明らかにする。あわせて、所内及び現地ほ場で可変追肥によるほ場の地カムラ改善の実証を行い、生育指標値の検証を行う。