

委託試験成績（令和2年度）

担当機関名 部・室名	鹿児島県農業開発総合センター 園芸作物部・作物研究室																								
実施期間	平成30年度～令和2年度、継続																								
大課題名	V 情報処理等先端技術の活用による高生産システムの確立																								
課題名	NDVI測定活用による暖地水稻生育予測診断技術の評価																								
目的	暖地地域の水稲作においても大規模化等に対応した経営の効率化が求められており、スマート農業に対する期待は大きい。そこで、可変施肥技術との組み合わせで省力的な安定生産に繋がると考えられる、NDVI空撮値に基づく水稻生育予測診断技術について、本県の奨励品種を供試して評価する。																								
担当者名	園芸作物部作物研究室 室長 竹牟禮 穰 研究専門員 小玉 泰生																								
<p>1. 試験場所 鹿児島県農業開発総合センター内ほ場</p> <p>2. 試験方法</p> <p>前年度までに、「コシヒカリ」と「とよめき」、「なつほのか」を供試し、マルチコプターによるNDVI空撮値と、暖地早期水稻の生育との関係についての基礎データが得られ、穂肥施用のための生育診断技術としての有効性を確認できた。また、「コシヒカリ」および「なつほのか」についてNDVIを利用した穂肥施肥基準（案）を作成した。</p> <p>本年度は、普及推進中の新品種「なつほのか」を供試し、基肥窒素量3水準×穂肥窒素量3水準の試験区で、実測値（草丈、茎数、SPAD値等）と空撮値（NDVI、植被率）の関係、および収量を検討するとともに、昨年度作成したNDVIに基づく穂肥施肥基準（案）に基づく可変施肥を行い、慣行施肥体系と比較しその効果を評価する。</p> <p>(1) 供試機械名 マルチコプター、コニカミノルタ製マルチスペクトルカメラ、無人ヘリ、穂肥用可変施肥機</p> <p>(2) 試験条件 ア. 圃場条件 灰色低地土（シラス砂壤土）水田14aの2圃場（うち可変施肥7a） イ. 栽培の概要</p> <table border="0"> <tr> <td>品 種 名</td> <td>なつほのか（早期栽培用多収品種）</td> </tr> <tr> <td>育 苗</td> <td>箱育苗</td> </tr> <tr> <td>播 種 期</td> <td>令和2年3月9日 150g/箱</td> </tr> <tr> <td>施 肥</td> <td>令和2年4月7日 基肥：BBC284（N:P:K=12:18:14） 令和2年6月8日 穂肥：BBNKC77号（N:P:K=17:0:17）（出穂26日前）</td> </tr> <tr> <td>移 植 期</td> <td>令和2年4月10日（早期栽培）、条間30cm×株間16.1cm（20.7株/m<sup>2</sup>）</td> </tr> <tr> <td>NDVI測定</td> <td>令和2年5月28日（幼穂形成期）、 令和2年6月22日（出穂12日前）</td> </tr> <tr> <td>SPAD値測定</td> <td>令和2年5月28日、令和2年6月22日</td> </tr> </table> <p>(3) 試験区の構成</p> <p>【試験1】幼穂形成期及び穂肥施用14日後における実測値と空撮値との関係、</p> <p>【試験2】NDVIと施肥・生育・収量との関係</p> <table border="0"> <tr> <td>品種「なつほのか」</td> <td>（2反復）</td> </tr> <tr> <td>基肥窒素量（/10a）</td> <td>3kg、5kg、7kgの3水準</td> </tr> <tr> <td>穂肥窒素量（/10a）</td> <td>0kg、1kg、2kgの3水準</td> </tr> </table> <p>【試験3】幼穂形成期のNDVIに基づく穂肥可変施肥と生育および収量との関係</p> <table border="0"> <tr> <td>品種「なつほのか」</td> <td>（3反復）</td> </tr> <tr> <td>基肥窒素量（/10a）</td> <td>3kg、5kg、7kgの3水準</td> </tr> </table>		品 種 名	なつほのか（早期栽培用多収品種）	育 苗	箱育苗	播 種 期	令和2年3月9日 150g/箱	施 肥	令和2年4月7日 基肥：BBC284（N:P:K=12:18:14） 令和2年6月8日 穂肥：BBNKC77号（N:P:K=17:0:17）（出穂26日前）	移 植 期	令和2年4月10日（早期栽培）、条間30cm×株間16.1cm（20.7株/m <sup>2</sup> ）	NDVI測定	令和2年5月28日（幼穂形成期）、 令和2年6月22日（出穂12日前）	SPAD値測定	令和2年5月28日、令和2年6月22日	品種「なつほのか」	（2反復）	基肥窒素量（/10a）	3kg、5kg、7kgの3水準	穂肥窒素量（/10a）	0kg、1kg、2kgの3水準	品種「なつほのか」	（3反復）	基肥窒素量（/10a）	3kg、5kg、7kgの3水準
品 種 名	なつほのか（早期栽培用多収品種）																								
育 苗	箱育苗																								
播 種 期	令和2年3月9日 150g/箱																								
施 肥	令和2年4月7日 基肥：BBC284（N:P:K=12:18:14） 令和2年6月8日 穂肥：BBNKC77号（N:P:K=17:0:17）（出穂26日前）																								
移 植 期	令和2年4月10日（早期栽培）、条間30cm×株間16.1cm（20.7株/m <sup>2</sup> ）																								
NDVI測定	令和2年5月28日（幼穂形成期）、 令和2年6月22日（出穂12日前）																								
SPAD値測定	令和2年5月28日、令和2年6月22日																								
品種「なつほのか」	（2反復）																								
基肥窒素量（/10a）	3kg、5kg、7kgの3水準																								
穂肥窒素量（/10a）	0kg、1kg、2kgの3水準																								
品種「なつほのか」	（3反復）																								
基肥窒素量（/10a）	3kg、5kg、7kgの3水準																								

穂肥窒素量 (/10a) : 定量区 0kg、1kg、2kg の3水準を手散布

可変施肥区 NDVI による穂肥基準量(表4)を無人ヘリで施用

### 3. 試験結果

#### 【試験1】幼穂形成期及び穂肥施用14日後における空撮値と実測値との関係

(1) “NDVI と SPAD 値” は、いずれの調査日も強い正の相関 (図1、2)、“NDVI×植被率と SPAD 値” の相関は幼穂形成期調査時は正の相関 (図3) で、穂肥施用14日後調査時は強い正の相関 (図4) であった。幼穂形成期調査時の“NDVI と草丈×茎数×SPAD 値” は正の相関があり、“NDVI×植被率と草丈×茎数×SPAD 値” の相関は弱かった。(表1)。

(2) “NDVI と全窒素吸収量” の幼穂形成期調査時の相関は弱く、穂肥施肥14日後の相関は強かった (図5、6)。“NDVI と玄米重” の相関は弱かった。

#### 【試験2】NDVI と施肥・生育・収量との関係

(1) 幼穂形成期 (5/28) における基肥窒素成分量ごとの NDVI に差はなく植被率も同様であった。一方、従来の生育診断指標の SPAD 値は施肥窒素成分量が増すごとにわずかに大きくなる傾向で、茎数、草丈×茎数×SPAD 値も同様であった。草丈、窒素含有率、窒素吸収量に一定の傾向は見られなかった (表2)。

(2) 穂肥施用14日後 (6/22) の NDVI はいずれの基肥窒素成分量においても穂肥施肥窒素成分量が増加するにつれ大きくなる傾向で、穂長、玄米蛋白含有率も同様の傾向であった。基肥施肥窒素成分量 3kg 及び 5kg/10a の玄米重は穂肥の施肥窒素成分量が多くなると増加する傾向で、基肥施肥窒素成分量 7kg/10a の玄米重は穂肥の施肥窒素成分量が増すと減少した。収穫時の全窒素吸収量も同様の傾向であった。穂数及び全粒数は基肥窒素成分量が多いほど多くなる傾向で、同じ基肥施肥窒素量では穂肥 1kg/10a が最も多い傾向であった。登熟歩合は基肥施肥窒素成分量 5kg 及び 7kg/10a では穂肥 1kg/10a が最も高く、基肥施肥窒素成分量 3kg/10a は穂肥なしが最も高かった。倒伏は基肥窒素施肥量 7kg/10a の穂肥 1kg、2kg/10a で認められた (表3)。

#### 【試験3】幼穂形成期の NDVI に基づく穂肥可変施肥と生育および収量との関係

(1) 基肥3水準に対し定量の穂肥3水準のグラデーションほ場を対照とし、NDVI に基づく基肥3水準に対する穂肥可変施肥を実施し、各区の生育差を変動係数を用いて検討した。その結果、幼穂形成期の NDVI に基づく穂肥基準 (案) (表4) による穂肥可変施肥区の千粒重、穂数、全粒数、登熟歩合、玄米重、玄米蛋白含有率の変動係数は、穂肥窒素成分定量区と比べ最も小さく、可変施肥による生育むらの補正効果と思われた (表5)。

(2) 玄米重は穂肥可変施肥区が最も重かった (表6)。

(3) 穂肥定量区において、登熟歩合は穂肥窒素成分量が増加するほど低くなり、玄米蛋白含有率は高くなった (表6)。

(4) 基肥窒素 7kg 区はわずかに倒伏が見られる傾向であった (表6)。

### 4. 主要成果の具体的データ

表1 幼穂形成期(5/28)及び穂肥施用14日後(6/22)における各項目間の相関係数

調査日/項目	NDVIとSPAD値	NDVI×植被率とSPAD値	NDVIと草丈×茎数×SPAD値	NDVI×植被率と草丈×茎数×SPAD値	NDVIと全窒素吸収量(5/28)	NDVIと全窒素吸収量(6/22)	NDVIと全窒素吸収量(8/12)
5/28	0.741	0.422	0.573	0.324	0.141	—	0.362
6/22	0.895	0.899	—	—	—	0.736	0.823

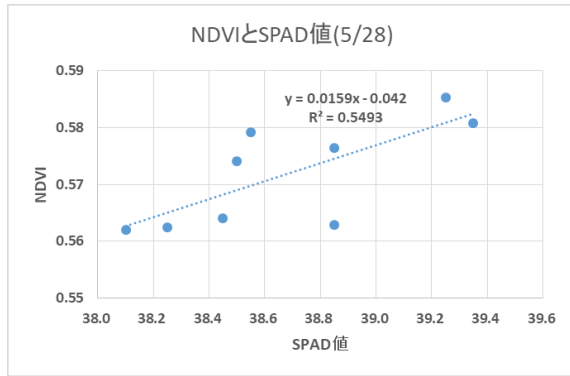


図 1

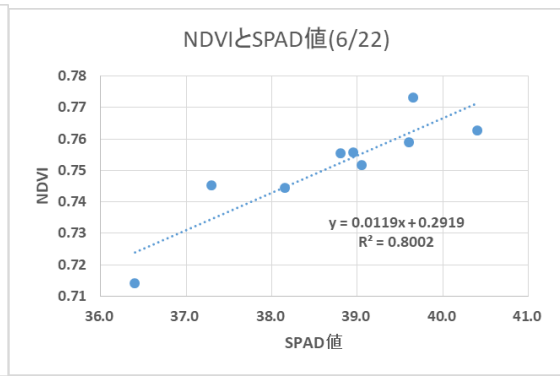


図 2

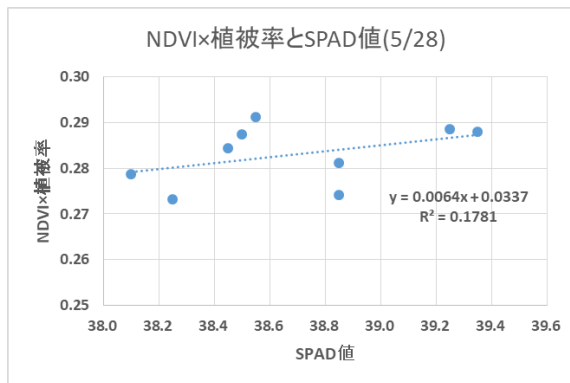


図 3

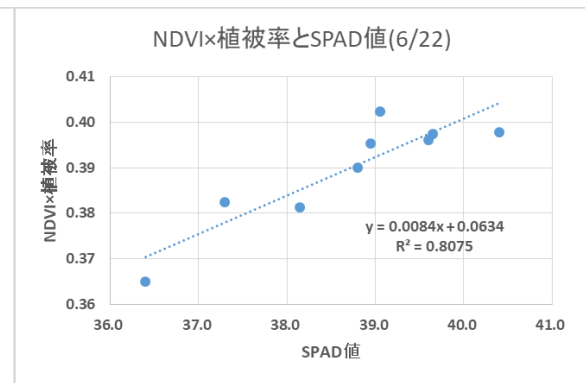


図 4

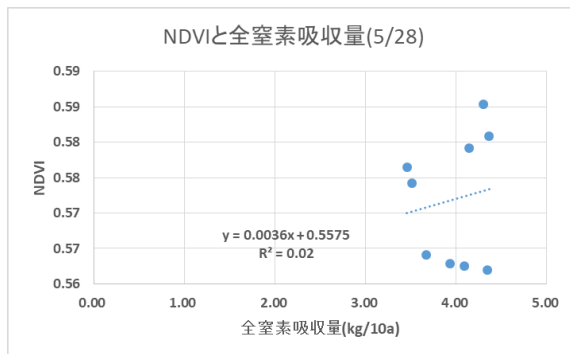


図 5

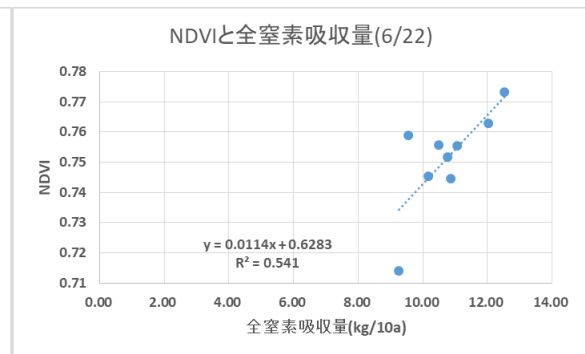


図 6

図 1 ～ 6 幼穂形成期 (5/28) 及び穂肥施用 14 日後 (6/22) の各項目間の関係 (散布図)

表 2 基肥窒素成分量別幼穂形成期生育調査結果 (5/28)

基肥窒素成分量 (kg/10a)	SPAD値	草丈 (cm)	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	草丈×茎数×SPAD値 (×万)	窒素含有率 (%)	窒素吸収量 (kg/10a)	NDVI	植被率
3	38.3	51.3	32.6	132	2.57	3.98	0.57	0.49
5	38.6	51.3	33.9	139	2.68	3.76	0.57	0.50
7	39.2	52.0	34.4	145	2.61	4.20	0.58	0.49

表3 施肥窒素成分別 NDVI (6/22) 及び成熟期, 収量調査結果

施肥窒素 成分量 基肥+穂肥 (kg/10a)	NDVI	稈長	穂長	穂数	玄米重	千粒重	全粒数	登熟 歩合	玄米蛋白 質含有率	全窒素吸収量 (kg/10a)		倒伏 程度
		(cm)	(cm)	(本/m <sup>2</sup> )	(kg/a)	(g)	(百粒/ m <sup>2</sup> )	(%)	(%)	6/22	8/12	(0-5)
3+0	0.71	72.8	18.5	424	52.0	21.3	311	62.3	5.92	9.3	12.1	0.0
3+1	0.75	73.6	18.7	461	51.5	21.0	329	48.0	6.15	10.2	13.6	0.0
3+2	0.76	75.4	19.4	454	54.7	21.5	307	55.2	6.34	9.6	13.9	0.0
5+0	0.75	75.6	18.6	498	50.4	20.5	361	52.5	6.13	10.8	13.0	0.0
5+1	0.76	78.2	18.0	519	51.7	21.0	394	53.5	6.61	10.5	14.4	0.0
5+2	0.77	77.5	19.3	514	53.2	20.6	383	47.6	6.78	12.5	15.4	0.0
7+0	0.74	77.1	18.6	503	53.4	21.3	363	48.5	6.30	10.9	14.5	0.0
7+1	0.76	78.2	19.0	527	50.1	20.4	398	52.4	6.97	11.0	14.1	0.5
7+2	0.76	77.9	19.1	519	48.9	20.5	356	39.3	7.06	12.0	13.9	1.5

表4 なつほのか穂肥基準 (案)

幼穂形成期の NDVI	窒素成分量 (kg/10a)
0.53以下	(3.0)
0.54~0.57	(2.5)
0.58~0.61	2.0
0.62~0.63	1.0
0.64以上	0.0

表5 グラデーションほ場に対する穂肥の影響

穂肥窒素 成分量 kg/10a	NDVI (6/22)		SPAD値 (6/22)		稈長 (cm)		穂長 (cm)		穂数 (本/m <sup>2</sup> )	
	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV
0	0.74	0.027	37.9	0.036	75.2	0.029	18.6	0.004	475	0.093
1	0.75	0.008	38.4	0.024	76.6	0.035	18.6	0.026	502	0.072
2	0.76	0.010	39.9	0.011	76.9	0.017	19.3	0.009	496	0.072
可変	0.76	0.009	40.2	0.016	77.8	0.041	18.8	0.015	507	0.014

穂肥窒素 成分量 kg/10a	千粒重 (g)		全粒数 (百粒/m <sup>2</sup> )		登熟歩合 (%)		玄米重 (kg/10a)		玄米蛋白含有率 (%)	
	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV
0	21.0	0.021	345	0.086	54.4	0.130	51.9	0.029	6.12	0.031
1	20.8	0.018	374	0.104	51.3	0.057	51.1	0.017	6.58	0.063
2	20.9	0.024	349	0.110	47.4	0.167	52.3	0.058	6.73	0.055
可変	20.8	0.009	369	0.059	50.5	0.034	53.4	0.010	6.59	0.025

注1) 穂肥窒素成分量 0kg 区は基肥+穂肥 (窒素成分量 kg/10a) が 3+0, 5+0, 7+0 区の平均  
穂肥窒素成分量 3kg 区, 穂肥窒素成分量 5kg 区も同様

注2) 可変施肥は基肥窒素成分量 3kg, 5kg, 7kg 区に表4に基づき無人へりで穂肥散布

表6 NDVI、成熟期、収量調査結果

施肥窒素 成分量 基肥+穂肥 (kg/10a)	NDVI		SPAD値	稈長	穂長	穂数	玄米重	千粒重	全粒数	登熟 歩合	玄米蛋白 質含有率	倒伏程 度
	5/28	6/22	6/22	(cm)	(cm)	(本/㎡)	(kg/a)	(g)	(百粒/㎡)	(%)	(%)	(0-5)
3+0	0.57	0.71	36.4	72.8	18.5	424	52.0	21.3	311	62.3	5.92	0.0
5+0	0.56	0.75	39.1	75.6	18.6	498	50.4	20.5	361	52.5	6.13	0.0
7+0	0.59	0.74	38.2	77.1	18.6	503	53.4	21.3	363	48.5	6.30	0.0
3+1	0.56	0.75	37.3	73.6	18.7	461	51.5	21.0	329	48.0	6.15	0.0
5+1	0.58	0.76	39.0	78.2	18.0	519	51.7	21.0	394	53.5	6.61	0.0
7+1	0.58	0.76	38.8	78.2	19.0	527	50.1	20.4	398	52.4	6.97	0.5
3+2	0.56	0.76	39.6	75.4	19.4	454	54.7	21.5	307	55.2	6.34	0.0
5+2	0.58	0.77	39.7	77.5	19.3	514	53.2	20.6	383	47.6	6.78	0.0
7+2	0.56	0.76	40.4	77.9	19.1	519	48.9	20.5	356	39.3	7.06	1.5
N3 可変	0.58	0.75	39.4	74.3	18.9	498	53.8	21.0	350	49.1	6.43	0.0
N5 可変	0.60	0.76	40.4	78.6	19.0	509	53.5	20.7	366	52.4	6.57	0.6
N7 可変	0.64	0.77	40.7	80.6	18.5	512	52.8	20.8	393	49.9	6.76	1.0

## 5. 経営評価

穂肥可変施肥の費用対効果として、センシングおよび可変施肥にかかる作業委託料金を4,000円/10a、玄米の販売単価を250円/kgとして、今回のなつほのかの試験成績を基に、ほ場全体の穂肥施用量が同量とし、労働費を除外して試算すると、10aあたり16.0kg以上の増収、または7.5円/kg以上の単価上昇が必要であった。また、慣行の追肥作業にかかる労働時間を0.5時間/10a、鹿児島県の最低賃金793円/時間とした場合、削減される労働費は396円/時間で、作業委託料の約1割程度となる。

## 6. 利用機械評価

マルチコプターによって、NDVIは短時間で測定でき、可変施肥機を搭載した無人ヘリによる穂肥施用も短時間で実施可能である。穂肥施用のための生育診断時期にはほ場全体の生育診断を速やかに実施して、生育に応じた穂肥量を施用できるので、ほ場内の生育のばらつき補正を目的とする場合、両者の組み合わせが有効と考えられる。また、委託作業となるため、慣行の動力散布機による追肥作業を省略できることから、肉体的労働負荷および作業時間の軽減になる。

今回の試験は可変施肥機の散布精度調査が目的ではなかったため、施肥マップ通りに散布できたかどうかの精度確認は行っていないが、全体の肥料散布量実績は設定量対比110%であった。

## 7. 成果の普及

地域振興局農政普及課など関係機関を通じ必要に応じて情報提供を行う。

## 8. 考察

(1) 幼穂形成期及び穂肥施用14日後のSPAD値とNDVIの相関は強く、草丈、茎数、植被率を加えた生育量の指標としての数値は概ね相関があり、NDVIは生育診断指標として概ね有効と思われた。しかし、幼穂形成期の全窒素吸収量とNDVIの関係については相関が低く更に検討が必要と思われた。

(2) 鹿児島県における「なつほのか」の施肥基準「基肥窒素量6kg/10a+穂肥窒素量2kg/10a」に近い「基肥窒素量5kg/10a+穂肥窒素量2kg/10a」区の収量・収量構成要素等を基準にすると、概ね基準通りの施肥体系の収量が高いと思われるが、異なる基肥窒素施肥成分量の幼穂形成期のNDVIに差が見られなかったことから、幼穂形成期のNDVIを基準にした判断は判然としなかった。一方、穂肥施用14日後のNDVIは概ね穂肥の窒素施肥成分量を反映しており、ほ場全体のばらつき程度の判定等に利用可能と思われた。

(3) 「なつほのか」において、昨年作成した「幼穂形成期のNDVIに基づく施肥基準(案)」に従い、幼穂形成期のNDVIを用いた無人ヘリによる穂肥の可変施肥を基肥3水準のほ場に行った結果、慣行の穂肥の定量散布区に比べ玄米重は同等以上で、可変施肥による散布区の変動係数は小さかったことから、可変施肥による生育むらの補正効果が認められた。

9. 問題点と次年度の計画

(1) 幼穂形成期の NDVI と全窒素吸収量の相関

10. 参考写真



マルチコプター



マルチコプター操作パネル



無人ヘリと可変施肥機



可変施肥による散布状況