

委託試験成績（令和元年度）

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 竹傘禮 穰 研究専門員 四藏 文夫
<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>前年度は、「コシヒカリ」と「とよめき」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。</p> <p>本年度は、「コシヒカリ」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、穂肥可変施肥についても検討する。また、普及を推進中の新品種「なつほのか」を供試し、基肥窒素量4水準×穂肥窒素量3水準の試験区で、実測値と空撮値の関係、および収量を検討する。</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</p> <p>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）</p> <p>イ. 栽培の概要</p> <p>品 種 名 コシヒカリ（早期栽培用慣行品種）、なつほのか（早期栽培用多収品種）</p> <p>育 苗 箱育苗</p> <p>播 種 期 平成31年3月11日 150g/箱</p> <p>施 肥 平成31年4月4日 基肥：BBC284（N:P:K=12:18:14） 令和元年6月6日 穂肥：BBNK77号（N:P:K=17:0:17） （コシヒカリ出穂18日前、なつほのか出穂27日前）</p> <p>移 植 期 平成31年4月10日（早期栽培）、条間30cm×株間15cm（70株/坪）</p> <p>NDVI測定 令和元年5月29日（幼穂形成期）、 6月17日（コシヒカリ出穂1週間前、なつほのか出穂16日前）</p> <p>SPAD値測定 コシヒカリ5月29日、6月17日、なつほのか5月30日、6月16日</p>	

(3) 試験区の構成

【試験1】 幼穂形成期における実測値と空撮値との関係、

【試験2】 施肥と生育・収量との関係

ア. 品種「コシヒカリ」 (3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

イ. 品種「なつほのか」 (2反復)

基肥窒素量 (/10a) : 1kg、3kg、5kg、7kg の4水準

穂肥窒素量 (/10a) : 0kg、1kg、2kg の3水準

【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

ア. 品種「コシヒカリ」 (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水準を人力施用

可変施肥区 NDVI による穂肥暫定基準量(表5)を無人ヘリで施用

3. 試験結果

【試験1】 幼穂形成期における実測値と空撮値との関係

(1) “SPAD 値と NDVI” は、両品種とも正の相関があったが、“茎数と植被率” の相関はやや低かった。“草丈×茎数×SPAD 値と NDVI” は、両品種とも正の相関があり、「なつほのか」で相関が高かった。“窒素含有率と SPAD 値”、“窒素含有率と NDVI” は、いずれも両品種とも正の相関があり、前者の相関がやや高かった。(表1)。

(2) 乾物重も加味されるため窒素含有率より水稻の生育を正確に反映すると考えられる窒素吸収量について、“窒素吸収量と SPAD 値”、“窒素吸収量と NDVI” は、いずれも両品種とも正の相関があり、後者の相関が高かった。また、“窒素吸収量と NDVI” の相関は「コシヒカリ」に比べて「なつほのか」でやや高かった(表1、図1、図2、図3、図4)。

(3) 以上のことから、「コシヒカリ」と「なつほのか」両品種において、幼穂形成期における NDVI は生育を反映しており、穂肥施用のための生育診断基準値として活用できると考えられた。また、その相関は、「コシヒカリ」より「なつほのか」でやや高かった。

【試験2】 施肥と生育・収量との関係

(1) 「コシヒカリ」について、穂肥量を増量すると、収量は高くなる傾向であるが、稈長が長く、倒伏程度が大きくなり、玄米蛋白質含有率が高くなる傾向であった。鹿児島県における「コシヒカリ」の施肥基準は、「基肥窒素量 3~4kg/10a+穂肥窒素量 2~3kg/10a」である。今回の試験において、施肥基準に近い「基肥窒素量 3kg/10a+穂肥窒素量 2kg/10a」区の収量・収量構成要素等を参考に、玄米重 57~58kg/a、玄米蛋白質含有率概ね 7%以下、窒素吸収量 11~12kg/10a 倒伏程度 1 以下等を目標に判断すると、基肥窒素量 3kg/10a(幼穂形成期の NDVI が 0.58 程度)の生育時の穂肥窒素量は 2kg/10a 以下、基肥窒素量 5kg/10a(幼穂形成期の NDVI が 0.61 程度)の生育時の穂肥窒素量は 1kg/10a、基肥窒素量 7kg/10a(幼穂形成期の NDVI が 0.64 程度)の生育時の穂肥窒素量は 0kg/10a が適当であると考えられた(表3)。これらの結果から、今回検証できなかった NDVI が

低いレベルについては暫定基準のままとし、幼穂形成期の NDVI に応じた穂肥施用量の
新基準案を作成した（表 6）。

(2) 「なつほのか」について、穂肥量の増量が稈長、倒伏程度、玄米蛋白質含有率に及ぼす影響は「コシヒカリ」より小さかった。鹿児島県における「なつほのか」の施肥基準は、「基肥窒素量 6kg/10a+穂肥窒素量 2kg/10a」である。今回の試験において、施肥基準に近い「基肥窒素量 5kg/10a+穂肥窒素量 2kg/10a」区の収量・収量構成要素等を参考に、玄米重 65kg/a、玄米蛋白質含有率 6.3%以下、窒素吸収量 11kg/10a 等を目標に判断すると、基肥窒素量 3kg/10a 以下(幼穂形成期の NDVI が 0.53~0.57)の生育時の穂肥窒素量は 2kg/10a 以上、基肥窒素量 5kg/10a(幼穂形成期の NDVI が 0.61 程度)の生育時の穂肥窒素量は 2kg/10a 以下、基肥窒素量 7kg/10a(幼穂形成期の NDVI が 0.65 程度)の生育時の穂肥窒素量は 0kg/10a が適当であると考えられた（表 4）。これらの結果から、幼穂形成期の NDVI に応じた穂肥施用量の基準案を作成した（表 7）。今回は穂肥窒素量 2kg/10a までの試験であったため、穂肥窒素量 2kg/10a を超えた量が必要と推察される NDVI レベルの穂肥量については、上限 3kg/10a とした。

【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) 「コシヒカリ」について、幼穂形成期の NDVI に基づく穂肥暫定基準（表 5）による穂肥可変施肥区は、穂肥窒素定量 0kg/10a（穂肥なし）区と比較すると変動係数が小さく多収となったが、穂肥窒素定量 1kg/10a 区と比較すると玄米重は同程度で変動係数に差は認められず、生育のばらつきの補正効果は確認できなかった（表 8）。

(2) 【試験 2】において穂肥新基準の根拠とした、基肥窒素量+穂肥窒素量=3+2、5+1、7+0 (kg/10a) 区の平均は、穂肥窒素定量 0kg/10a（穂肥なし）区と比較すると変動係数が小さく多収となったが、穂肥窒素定量 1kg/10a 区と比較すると玄米重は同程度であった。また、穂肥窒素定量 1kg/10a 区と比較して、倒伏程度は同程度で、稈長、穂長、玄米重、窒素吸収量について、変動係数は小さくなる傾向であった（表 8）。

4. 主要成果の具体的データ

表1 幼穂形成期における各調査項目間の相関に対する決定係数(R²)

品 種	SPAD値と NDVI	茎数と 植被率	草丈×茎数 ×SPAD値と NDVI	窒素含有率と SPAD値	窒素含有率と NDVI	窒素吸収量と SPAD値	窒素吸収量と NDVI
コシヒカリ	0.4368	0.2203	0.5661	0.5169	0.4468	0.5070	0.5854
なつほのか	0.4058	0.2943	0.7586	0.4240	0.3888	0.4524	0.7998

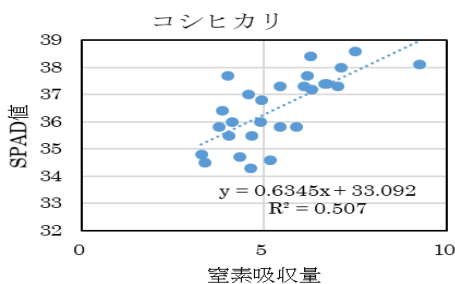


図 1 窒素吸収量と SPAD 値（コシヒカリ）

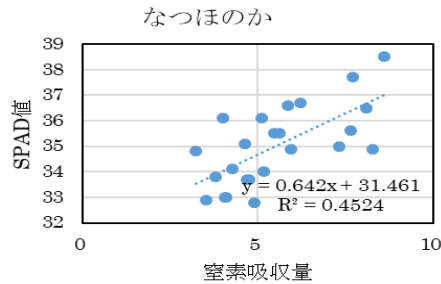


図 2 窒素吸収量と SPAD 値（なつほのか）

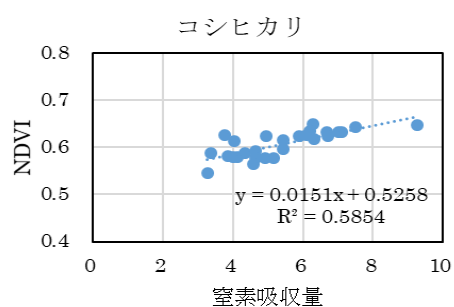


図3 窒素吸収量とNDVI（コシヒカリ）

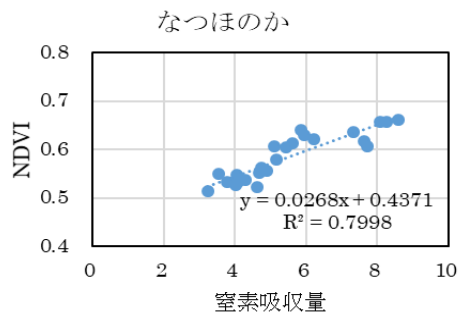


図4 窒素吸収量とNDVI（なつほのか）

表2 基肥N量ごとの幼穂形成期の生育(5/29) (コシヒカリN=9、なつほのかN=6)

品種	基肥N量 (kg/10a)	SPAD値	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	草丈× 茎数× SPAD値 (×万)	窒素 含有率 (%)	窒素 吸収量 (kg/10a)	NDVI	植被率
コシヒカリ	3	35.2	52.8	621	115	2.04	4.26	0.58	0.50
	5	36.6	53.5	635	125	2.29	4.98	0.61	0.50
	7	37.8	54.6	691	143	2.81	6.94	0.64	0.51
なつほのか	1	34.1	50.0	510	87	2.25	3.83	0.53	0.49
	3	33.7	51.3	583	101	2.34	4.71	0.55	0.50
	5	36.2	54.4	651	128	2.70	6.29	0.61	0.51
	7	36.1	55.6	718	144	2.61	7.35	0.65	0.53

表3 NDVIと、基肥N量+穂肥N量ごとの成熟期調査・収量調査結果（コシヒカリ） (N=3)

施肥N量 基肥+穂肥 (kg/10a)	NDVI 5/29	NDVI 6/17	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	全粒数 (百粒 /m ²)	登熟 歩合 (%)	玄米 蛋白質 含有率 (%)	窒素 吸収量 (kg/10a)	倒伏 程度 (0-5)
3+0	0.58	0.66	70.9	16.1	480	51.8	19.8	314	72.9	6.75	8.95	0.0
3+1	0.58	0.68	71.6	16.7	518	54.4	19.8	360	67.1	6.94	9.87	0.3
3+2	0.58	0.71	72.9	16.7	549	57.2	19.8	373	59.1	7.17	11.03	1.0
5+0	0.60	0.68	73.3	16.5	515	53.8	19.6	344	71.8	6.88	10.15	0.3
5+1	0.60	0.71	76.1	16.6	518	57.9	19.6	349	65.6	6.90	11.77	0.7
5+2	0.62	0.73	76.5	16.9	533	58.3	19.6	375	60.2	7.09	11.79	1.3
7+0	0.64	0.72	75.5	16.7	542	57.4	19.4	374	65.2	6.78	11.83	1.3
7+1	0.63	0.74	78.6	17.5	573	58.5	19.4	403	56.1	7.30	13.00	2.0
7+2	0.63	0.75	78.9	17.8	601	59.7	19.4	445	53.3	7.38	12.19	2.0

表4 NDVIと、基肥N量+穂肥N量ごとの成熟期調査・収量調査結果（なつほのか） (N=2)

施肥N量 基肥+穂肥 (kg/10a)	NDVI 5/29	NDVI 6/17	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	全粒数 (百粒 /m ²)	登熟 歩合 (%)	玄米 蛋白質 含有率 (%)	窒素 吸収量 (kg/10a)	倒伏 程度 (0-5)
1+0	0.53	0.61	65.4	17.2	406	54.3	22.4	276	84.7	6.18	9.68	0.0
1+1	0.53	0.64	66.3	17.3	439	58.2	22.1	300	73.8	6.35	10.04	0.0
1+2	0.53	0.66	67.1	17.3	445	58.3	22.4	276	81.6	5.99	10.55	0.0
3+0	0.54	0.61	66.5	16.5	452	55.6	22.1	289	86.9	6.04	9.18	0.0
3+1	0.55	0.64	63.6	17.4	477	56.4	22.5	325	81.7	5.91	9.24	0.0
3+2	0.57	0.67	66.8	17.5	504	60.7	22.3	337	76.4	5.85	9.39	0.0
5+0	0.61	0.67	71.9	16.4	529	62.3	21.5	342	68.0	6.01	10.40	0.0
5+1	0.61	0.69	72.8	17.3	491	63.5	21.4	344	73.8	6.13	10.19	0.0
5+2	0.61	0.71	71.3	17.9	536	65.9	21.6	392	64.5	6.13	11.20	0.0
7+0	0.65	0.70	76.2	16.5	539	68.0	21.2	408	62.4	6.22	10.82	0.0
7+1	0.65	0.73	75.2	17.2	587	67.1	21.3	413	69.0	6.23	12.05	0.0
7+2	0.65	0.74	78.8	17.8	579	68.8	21.4	417	57.4	6.52	12.42	0.0

表5 コシヒカリ穂肥暫定基準		表6 コシヒカリ穂肥新基準案		表7 なつほのか穂肥基準案	
幼穂形成期の NDVI	N量 (kg/10a)	幼穂形成期の NDVI	N量 (kg/10a)	幼穂形成期の NDVI	N量 (kg/10a)
0.41以下	3.00	0.41以下	(3.0)	0.53以下	(3.0)
0.42~0.49	2.38	0.42~0.49	(2.4)	0.54~0.57	(2.5)
0.50~0.57	1.75	0.50~0.57	2.0	0.58~0.61	2.0
0.58~0.65	1.13	0.58~0.62	1.0	0.62~0.63	1.0
0.66以上	0.50	0.63以上	0.0	0.64以上	0.0

表8 グラデーション圃場(基肥N量=3kg/10a、5kg/10a、7kg/10a)に対する穂肥の影響(コシヒカリ) (N=9)

穂肥N量 (/10a)	稈長 (cm)		穂長 (cm)		穂数 (本/m ²)		玄米重 (kg/a)		千粒重 (g)		玄米蛋白質含有率 (%)		窒素吸収量 (kg/10a)		倒伏程度 (0-5)
	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV	平均	CV	
定量0kg	73.3	0.028	16.4	0.027	513	0.098	54.3	0.064	19.6	0.021	6.80	0.064	10.31	0.155	0.6
定量1kg	75.4	0.042	16.9	0.032	536	0.090	56.9	0.041	19.6	0.009	7.05	0.036	11.55	0.136	1.0
定量2kg	76.1	0.037	17.2	0.034	561	0.069	58.4	0.028	19.6	0.010	7.21	0.022	11.67	0.138	1.4
可変施肥	77.2	0.046	17.2	0.036	553	0.096	56.3	0.040	19.6	0.015	7.44	0.051	11.88	0.087	1.2
新基準	74.8	0.026	16.7	0.022	536	0.098	57.5	0.030	19.6	0.017	6.95	0.044	11.54	0.075	1.0

注1)「定量0kg」は基肥N量(kg/10a)+穂肥N量(kg/10a)が、3+0、5+0、7+0区の平均。「定量1kg」、「定量2kg」も同様。

注2)「可変施肥」は表5により穂肥施用。基肥N量(kg/10a)+設定穂肥N量(kg/10a)の平均値は、3+1.85、5+1.67、7+1.32。

注3)「新基準」は表6に準拠。基肥N量(kg/10a)+穂肥N量(kg/10a)が、3+2、5+1、7+0区の平均。

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215円/kgとして、今回のコシヒカリについての試験成績を基に、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当たり18.7kg以上の増収、または7.0円/kg以上の単価上昇が必要であった。また、無人ヘリによる穂肥施用により、穂肥作業に要する労働時間は削減される。

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る。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であると考えられた。

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98.8%であった。

7. 成果の普及

今後も継続して試験を実施し、生育診断技術や可変施肥技術についての研究成果を蓄積する。得られた研究成果は、地域振興局農政普及課など関係機関にも周知を図る。

8. 考察

- (1) 「コシヒカリ」と「なつほのか」両品種において、幼穂形成期における NDVI は生育を反映しており、穂肥施用のための生育診断基準値として活用できると考えられた。また、その相関は、「コシヒカリ」より「なつほのか」でやや高かった。
- (2) 「コシヒカリ」について、NDVI に基づく穂肥可変施肥により、生育のばらつき補正に一定の効果が認められたが、今回の試験における生育条件を穂肥暫定基準に当てはめた場合、NDVI の差に基づく穂肥量差が小さかったため、効果は小さかった。穂肥新基準の根拠とした定量区データで比較すると、効果はやや高まったが、穂肥定量施肥に対する穂肥可変施肥の十分な効果は確認できなかった。しかし、穂肥施用により倒伏が懸念される地点と穂肥を必要とする地点が混在するほ場や、多数のほ場間の生育のばらつきを補正するために穂肥量を決定する場合、過剰な施肥をなくすことによる肥料費節減を目的とする場合など、条件によっては利用価値のある技術と考えられた。
- (3) 「なつほのか」は、穂肥量が倒伏、玄米蛋白質含有率に及ぼす影響が小さいことから、NDVI の差に基づく穂肥量差に幅をつけやすいため、穂肥可変施肥によって「コシヒカリ」よりも生育のばらつき補正に高い効果が期待できると考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

- (1) 「コシヒカリ」より NDVI に基づく穂肥可変施肥技術に適していると考えられる「なつほのか」について、空撮値と実測値との関係を継続調査するとともに、穂肥可変施肥技術を評価する。
- (2) 現場利用を考えた場合、より適用範囲が広いと考えられる、基肥可変施肥試験に向けた事前調査を実施する。

10. 参考写真



写真1 NDVI 測定



写真2 穂肥可変施肥