

委託試験成績（平成30年度）

担当機関名 部・室名	山口県農林総合技術センター 農業技術部・土地利用作物研究室
実施期間	平成30年度、新規開始
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を利用したパン用小麦の生育量に応じた開花期追肥技術の開発
目的	山口県ではパン用小麦「せときらら」の生産振興と需要拡大に取り組んでおり、県産「せときらら」の利用が増えているところである。その一方、実需者からは製パン性に影響する子実タンパク質含有率（以下、子実タンパク）の高位安定化を強く求められている。小麦の子実タンパクは開花期の窒素追肥で高めることができるが、一般的に収量と負の相関関係があるといわれており、子実タンパクを安定させるには収量水準に応じた追肥量の調整が必要である。特に「せときらら」は多収で子実タンパクが低い特徴があるため、収量の予測と追肥量の調整は重要な課題である。これまで小麦においてはNDVI等の生育指数を利用した収量予測が研究され、実用化されている。しかし、子実タンパクの安定化を目的にした生育指数の利用と施肥基準の策定を行った事例は少ない。そこで本研究ではパン用小麦「せときらら」において、追肥基準の策定を目的として、植生指数NDVIと子実タンパク確保に必要な追肥量との関係を明らかにする。
担当者名	村田資治
<p>1. 試験場所 山口県農林総合技術センター農業技術部内圃場（山口市大内氷上）</p> <p>2. 試験方法 分げつ肥と穂肥の窒素量によって小麦「せときらら」の生育量を変化させる圃場（試験1、グラデーション圃場）と、窒素ではなく遮光率によって「せときらら」の生育量を変化させる圃場（試験2、遮光試験）を設置する。</p> <p>(1) 供試機械名 分光反射率の測定が可能なマルチコプター（ファームアイ社）</p> <p>(2) 耕種概要 ア. 圃場条件 礫質灰色低地土（水稻跡） イ. 栽培等の概要 品種名 小麦「せときらら」 土壌改良 炭酸苦土石灰 80kg/10a 2017年11月21日 耕起 ロータリー耕 2017年12月1日 施肥 基肥（N:P:K = 14:17:13） 2017年12月1日 分げつ肥（N:P:K = 15:5:20） 2018年2月9日 穂肥（N:P:K = 15:5:20） 2018年3月6日 開花期追肥 なし 施肥量 後述 播種 畝立て同時施肥播種（畝幅150cm、1畝4条） 平成29年12月1日 除草 ガレーズ乳剤250ml/10a 2017年12月1日 ハーモニー75DF 10g/10a 2018年2月28日（試験2のみ） アクチノール乳剤200ml/10a 2018年4月2日（試験1のみ） 中耕培土 なし 病虫害防除 シルバキュアフロアブル 2000倍 2018年4月25日 チルト乳剤 1000倍 2018年5月1日</p>	

(3) 試験項目

ア. 試験1 グラデーション圃場

- ・処理 分げつ肥 2 水準×穂肥 3 水準=6 水準、2 反復。内容は表 1 のとおり。
- ・1 区面積 24m² (3m×8m)
- ・調査項目 開花期の NDVI、SPAD 値(10 株分)、草丈(10 株分)、茎数(1.5m²)
成熟期の収量と収量構成要素、子実タンパク

表 1 処理の内容

	施肥			合計
	基肥	分げつ肥	穂肥	
窒素施用量 (kg/ 10a)	4	0, 2	0, 3, 6	4, 7, 10, 6, 9, 12

イ. 試験2 遮光試験

- ・処理 遮光率 4 水準×開花期追肥 1 水準=4 水準、2 反復。内容は表 2 のとおり。
- ・1 区面積 24m² (3m×8m)
- ・調査項目 開花期の NDVI、SPAD 値(10 株分)、草丈(10 株分)、茎数(1.5m²)
成熟期の収量と収量構成要素、子実タンパク

表 2 処理の内容

遮光率
%
0, 30, 50, 70

施肥は基肥-分げつ肥-穂肥 = 4-2-4 kg/10a (窒素成分) とした。

遮光は遮光シート (日本ワイドクロス株式会社) を 2018 年 3 月上旬 (茎立期前) から 4 月 20 日 (開花期前) まで設置した。

3. 試験結果

グラデーション圃場では、成熟期の「せときらら」の穂数と収量は穂肥によって有意に増加し、子実タンパクは穂肥によって有意に低下した (表 3)。収量と子実タンパクには有意な負の相関関係があった (図 1)。収量は開花期の NDVI と有意な正の相関関係にあった (図 2)。子実タンパクは開花期の NDVI と有意な負の相関関係にあった (図 3)。

遮光試験では、「せときらら」の生育、収量および子実タンパクに及ぼす遮光の効果は有意ではなかった (表 4)。特に収量に及ぼす影響が小さく、収量の変動係数は 4% でグラデーション圃場の変動係数 29% の 1/7 以下だった。子実タンパクの変動係数も 4% だったが、グラデーション圃場の変動係数 6% とあまり変わらなかった。この結果、遮光試験において収量と子実タンパクには有意な相関関係がなく (図 4)、収量と開花期の NDVI にも有意な相関関係はなかった (図 5)。開花期の NDVI と収量の関係をみると、遮光することでグラデーション圃場における回帰直線からの乖離が大きくなった (図 5)。一方、開花期の NDVI と子実タンパクには有意な相関関係が認められた (図 6)。ただし、グラデーション圃場では負の関係だったが、遮光試験では正の関係だった。

4. 主要成果の具体的データ

表 3 グラデーシオン圃場における「せときらら」の生育と収量

分けつ肥	穂肥	SPAD値	茎数	稈長	穂長	穂数	一穂粒数	千粒重	収量	子実タンパク	容積重
g m^{-2}	g m^{-2}		本 m^{-2}	cm	cm	本 m^{-2}		g	g m^{-2}	%	g L^{-1}
0	0	34.4	144	67	7.0	157	24.9	42.9	168	11.3	792
0	3	39.4	260	76	7.4	277	25.2	42.6	298	10.1	794
0	6	43.3	286	77	7.6	308	27.8	43.6	373	9.9	795
2	0	36.3	181	71	7.4	188	25.8	43.4	211	11.3	779
2	3	38.3	269	76	7.7	272	27.0	42.4	311	10.4	799
2	6	41.6	317	78	7.9	327	26.9	42.8	376	10.0	798
分散分析		分けつ肥	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		穂肥	**	***	***	ns	***	ns	***	**	ns
		交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

SPAD 値と茎数は開花期（それぞれ 4/27、4/26）に調査した。表 4 も同様。

***, **, *, ns:それぞれ 0.1, 1, 5%水準で有意差あり、および有意差なし。表 4 も同様。

表 4 遮光試験における「せときらら」の生育と収量

遮光率	遮光前の茎数	SPAD値	茎数	稈長	穂長	穂数	一穂粒数	千粒重	収量	子実タンパク	容積重
%	本 m^{-2}		本 m^{-2}	cm	cm	本 m^{-2}		g	g m^{-2}	%	g L^{-1}
0	258	33.0	266	78	7.2	269	23.9	44.9	288	9.4	769
30	276	33.6	263	83	7.3	248	26.2	46.1	297	10.0	768
50	263	32.7	277	83	7.3	277	22.6	45.6	287	10.2	770
70	259	34.9	264	77	7.4	268	23.1	43.3	267	10.4	781
分散分析		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

遮光前の茎数は 2/26 に調査した。

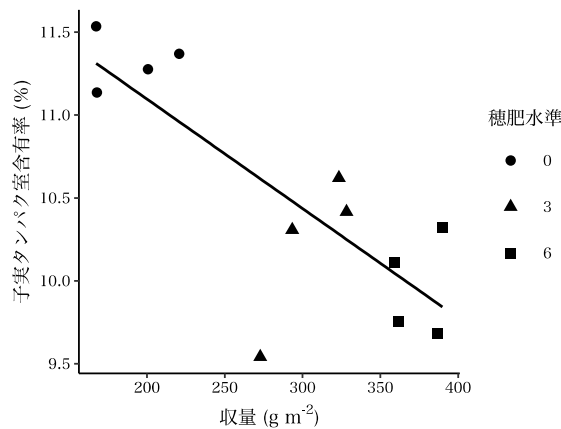


図 1 グラデーシオン圃場における収量と子実タンパクの関係。R² = 0.63, P < 0.01。

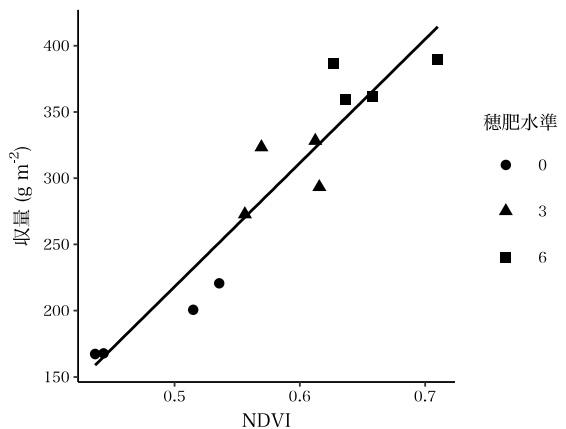


図 2 グラデーシオン圃場における NDVI と収量の関係。R² = 0.89, P < 0.01。

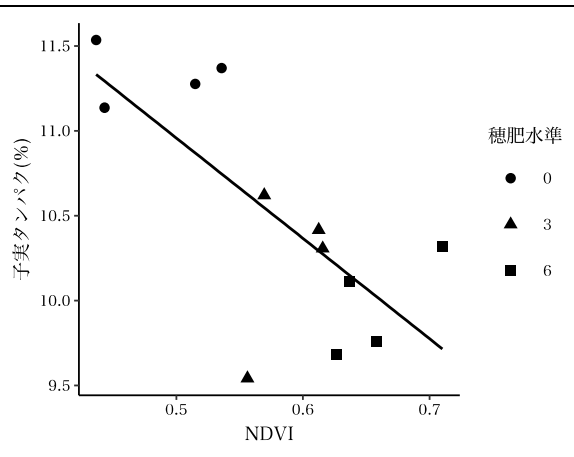


図 3 グラデーション圃場における NDVI と子実タンパクの関係。
回帰式 $y = -5.9x + 13.9$, $R^2 = 0.51$, $P < 0.01$ 。

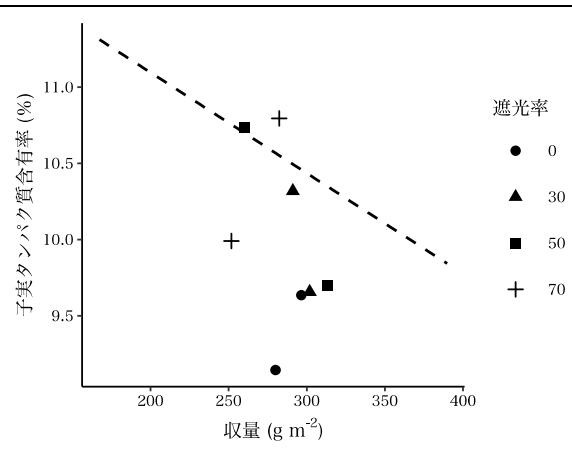


図 4 遮光試験における収量と子実タンパクの関係。 $R^2 = 0.15$, $P > 0.05$ 。点線はグラデーション圃場の回帰直線。

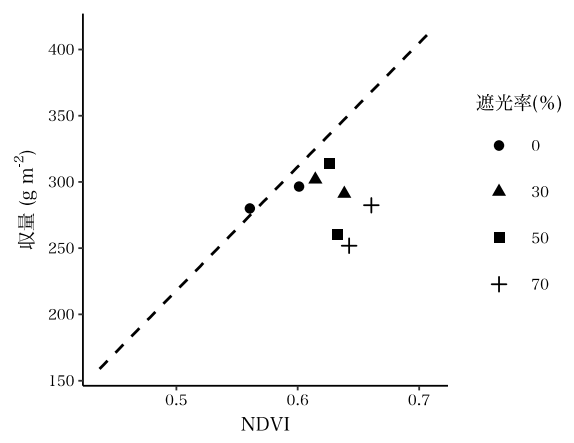


図 5 遮光試験における収量と NDVI の関係。 $R^2 = 0.04$, $P > 0.05$ 。点線はグラデーション圃場の回帰直線。

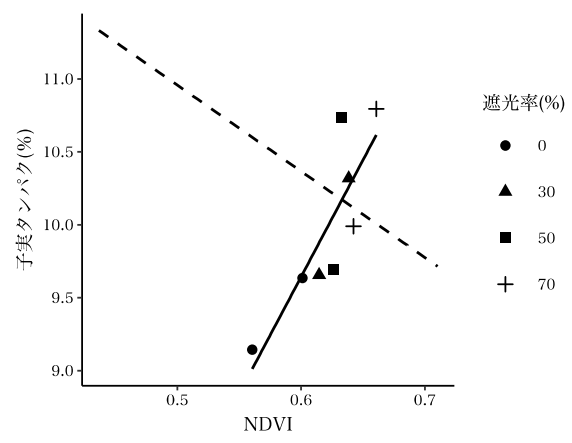


図 6 遮光試験における子実タンパクと NDVI の関係。
点線はグラデーション圃場の回帰直線。
実線は遮光試験における回帰直線。
回帰式 $y = 16.0x + 0.0$, $R^2 = 0.72$, $P < 0.01$ 。

5. 経営評価

現在、山口県では「せときらら」を栽培する場合、開花期に窒素成分で 6kg/10a の追肥を施用することとしている。肥料は硫安 (1,077 円/20kg) または尿素 (1,672 円/20kg) が使用されている。今回の方法で開花期にリモートセンシングを行った場合、費用は 1,500 円/10a である。したがって、センシングの結果に基づいて可変施肥を行った場合、硫安であれば 27.6kg/10a、尿素であれば 17.9kg/10a 減肥できれば生産費は増加しない。しかし、そもそも窒素成分 6kg/10a となる施用量は硫安 28.6kg/10a、尿素 13.0kg/10a であることから、減肥による費用の相殺は現実的ではなく、リモートセンシングによって「せときらら」の生産費は若干増加すると考えられる (平成 28 年度の都府県の麦生産費は 52,231 円/10a)。

※麦生産費は農業経営統計調査の値。肥料価格は一般財団法人肥料経済研究所の公表資料による (URL: http://www.hi-kei-ken.jp/hiryou/price/hiryou_1.html)

6. 利用機械評価

今回は小規模な試験圃場での運用だったため、作業効率等は評価できなかった。しかし、地上でのリモートセンシングに比べて比較的短時間で広範囲のセンシングが可能であると考えられた。

7. 成果の普及

現状では小麦の子実タンパクを目的としたリモートセンシングの利用は普及していない。技術の普及にあたっては、子実タンパク予測式の精度向上以外にも、情報の提供方法（マッピングする要素、解像度、センシングから提供までの期間等）について検討する必要がある。

8. 考察

グラデーション圃場において収量と子実タンパクには負の相関関係が認められた。開花期のNDVIと収量には正の相関関係があり、子実タンパクとは負の相関関係があったことから、開花期のNDVIを測定することで収量を介して子実タンパクを予測できると考えられた（図3、予測式 $y = -5.9x + 13.9$ ）。予測式から、子実タンパクが目標値12.0%を下回るNDVIは0.32だった。小麦「せときらら」においては、これまでの研究から開花期に窒素追肥を1kg/10a行うと子実タンパクが約0.5ポイント増加することがわかっている。これらのことから、必要な開花期追肥窒素量は $[(NDVI - 0.32) * 5.9] / 0.5$ で算出できることが明らかとなった。

一方、遮光試験では収量と子実タンパク、収量と開花期のNDVIには有意な相関関係がみられなかった。これは遮光処理が収量に影響せず、収量の変動が小さかったことが理由と考えられた。子実タンパクと開花期のNDVIには有意な相関関係があったが、グラデーション圃場とは異なり、正の関係だった。この理由については明らかではないが、少なくともグラデーション圃場で作成したNDVIによる子実タンパクの予測式は、遮光試験には適用できないことが明らかとなった。

以上のことから、開花期に小麦群落のリモートセンシングを行ってNDVIを取得することで、追肥窒素に由来する子実タンパクの変動を予測して必要な開花期追肥窒素量を計算できる可能性はあるが、子実タンパクの変動が日射量による場合にはうまく予測できない可能性があると考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

グラデーション圃場における開花期追肥窒素量の予測式は、平成30年産「せときらら」を対象に得られたものであり、年次間変動は考慮していない。さらに、この予測式は分けつ肥と穂肥の窒素量の違いに起因する子実タンパクの変動を予測するものであり、それ以外の要因、例えば気象条件や播種時期の違いに起因する子実タンパクの変動を予測できるかは不明である。実際に平成30年度のグラデーション圃場の予測式では遮光試験における子実タンパクの変動は予測できなかった（図6）。これらの問題を解決するためには、引き続き試験を行い、年次間変動、日射量、播種時期などがNDVIによる子実タンパクの予測に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

10. 参考写真



写真1 グラデーション圃場 (3/17)



写真2 遮光試験圃場 (3/12)



写真3 遮光シート撤去直前の様子 (4/20)



写真4 遮光シート撤去後の様子 (4/22)



写真5 センシングの様子1 (4/27)



写真6 センシングの様子2 (4/27)