

現地実証展示圃成績(令和3年度)

担当機関名	滋賀県湖北農業農村振興事務所農産普及課
実施期間	令和3年度～4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	リモートセンシングによる大麦生育診断を活用した麦茶用大麦の実肥施用体系の実証
目的	<p>滋賀県湖北地域（JA北びわこ管内）では、平成30年産から転作物として大麦「ファイバースノウ」が栽培されており、麦茶用途で利用されている。実需が求める高タンパク質含有率（10.5%以上）の大麦を得るためには、生育後期（4月中～下旬）における実肥施用が重要とされる。</p> <p>大麦栽培に取り組む多くの土地利用型農家は、水稻を軸とした栽培体系をとっており、4月中～下旬は大麦の実肥作業と水稻の移植作業との作業競合が生じ水稻の作業が優先される傾向にある。そのため、大麦の実肥施用農家割合は50%程度（令和元、2年産）にとどまっており、実肥未施用の農家はタンパク質含有率が低い傾向にある。</p> <p>当該地域に適した実肥施用時期および量を検討するため、平成30年産および令和元年産において調査研究を実施したところ、3月末（止葉展開前）の茎数の多少によって実肥施用適期の幅が異なることが明らかとなった。茎数が多い場合は、慣行栽培よりも2～3週間早い4月上旬（止葉展開期）に実肥をN2～4kg/10a施用しても、遅れ穂や倒伏のリスクを増加させずに、収量およびタンパク質含有率を向上させることが可能であるが、茎数が少ない場合は、早期実肥によって遅れ穂率や倒伏程度が高まり品質が低下した。すなわち、3月末に圃場ごとの生育量を把握し、“茎数が多い圃場では水稻作業が忙しくなる前の4月上旬に実肥施用可能”と診断、周知することにより、4月中～下旬の作業分散を促し、実肥施用農家割合を高め、タンパク質含有率を向上させることができる。</p> <p>しかし、排水不良の水田が多く、例年積雪が多い当該地域においては、湿害による分けつ抑制が生じるため、排水対策の良否によって圃場間や圃場内での生育差が生まれやすい。加えて、令和元年産および2年産では、記録的な暖冬による影響を受け、無効分けつが多く発生するなど、年次によっても生育は変動する。排水性や気象条件によってばらつきが生じる大麦の生育を、3月末の限られた期間に従来の生育調査による手法で広域的に判断することは、多大な時間を要するため現実的でない。また、生育調査地点は通常各圃場2点であり、圃場全体の傾向を把握することは困難であり、生育診断手法の改善が必要である。</p> <p>そこで、リモートセンシングによる大麦診断技術を構築し、生育診断の効率化と精密化を図る。1年目（令和3年産）にはNDVIの生育診断指標を作成し、2年目（令和4年産）では、その指標を活用した現場実証を行い、リモートセンシングによる大麦生育診断を活用した麦茶用大麦の実肥施用技術を確立する。</p>
担当者名	滋賀県湖北農業農村振興事務所 農産普及課 主任技師 新谷浩樹
圃場の所在地 農家(組織)名	滋賀県長浜市湖北町山本字三百坊4392、字中の町4341-1、4342-1 株式会社あさひ農園
農家(組織)の経 営概要	経営面積：52ha（令和元年度） 作目：水稻31ha、大麦21ha、白大豆17ha、黒大豆3ha、そば4ha 経営の構成：役員4名、常時雇用1名

1. 実証場所 滋賀県長浜市湖北町山本

2. 実証方法

(1) 供試機械名 リモートセンシング用ドローン P4Multispectral (DJI)

(2) 実証条件

ア. 圃場条件

土壌統名：細粒強グライ土 田川統 土壌分類名：中粒質斑鉄型グライ低地土

排水の良否：排水対策として額縁明渠および中明渠を施工、表面排水は良好

前作：水稲（「コシヒカリ」）

イ. 栽培等の概要

品種名 六条大麦「ファイバースノウ」

耕起 作業機：ニプロ グランドロータリー (SKL2400)

トラクタ設定：型式 YT488A、車速 1.6km/h、PTO 700rpm

時期：播種時

施肥 土づくり資材

資材：苦土石灰 80kg/10a

作業機：タイショウ グランドソー

時期：播種時

基肥

資材：大麦専用一発肥料 MFS (35-6-4)

施用量は後述の試験区に準ずる

なお、番外は N19.95kg/10a

作業機：試験区内は手散布（全層施肥）番外は播種同時（表層施肥）

時期：播種時

実肥

資材：硫安 (21-0-0)

施用量：40kg/筆（播種時期①N2.7kg/10a、播種時期②2.9kg/10a）

作業機：動力散布機（試験区によらず、均一に散布）

時期：止葉展開期

（播種時期①2021年3月27日、播種時期②2021年4月3日）

播種 播種量・時期：播種時期①2020年10月15日 9.1kg/10a

播種時期②2020年10月27日 9.7kg/10a

作業機：アグリテクノ矢崎 クリーンシーダ (RXG-10) 条間 25 cm

除草 除草剤：ハーモニー細粒剤 F

時期：播種時期①2020年11月2日、播種時期②2020年11月17日

病害虫防除 殺菌剤：1回目トップジンMゾル、2回目ワークアップフロアブル

作業機：ヤンマー 産業用無人ヘリコプター

時期：播種時期①2021年4月15・22日、播種時期②2021年4月15・21日

収穫 作業機：自脱型コンバイン（6条刈り） 試験区は坪刈りを実施

時期：2021年5月25日

(3) 実証項目

ア. リモートセンシングによる大麦生育診断技術の構築

人為的に生育に差(グラデーション)を設けた圃場で、3月中旬から4月上旬にかけてリモートセンシングによるNDVI等の測定と手作業による生育調査を行い、両者の相関関係から、NDVI等から茎数を推定する式を求め、茎数の多少を判断できるNDVI等の指標を策定する。

試験区

1) 調査圃場 約30a 2筆(播種時期①30.6a、播種時期②28.5a)

2) 試験区 基肥量 3水準(各区25㎡)各圃場3反復

I N3.5kg/10a

II N8.75kg/10a

III N17.5kg/10a(地域慣行)

供試肥料 大麦専用一発肥料MFS(35-6-4)※

※当該地域で広く使用されている全量基肥肥料を耕起・播種前に手散布

3) 調査時期 ・止葉展開前の2週間前:播種時期①3/16、播種時期②3/23

・止葉展開前 :播種時期①3/30、播種時期②4/6

(リモートセンシングによる大麦生育診断が実施可能な時期を

見極めるため、4回測定を実施。止葉展開前を播種時期①では3月末、播種時期②では4月上旬と仮定し、それぞれの日の2週間前にも測定。)

4) 調査内容 ・リモートセンシングによるNDVI等の測定

(リモートセンシングによるNDVI等は、ヤンマーアグリジャパン株式会社により測定・分析された。測定値は1mメッシュで値が入力されたCSVマップ形式で納品された。各試験区の測定値は、CSVマップから試験区の中央部3m×3mの値を平均化したものとした(図1)。)

・生育調査(茎数、草丈、葉色、生育ステージ)(各試験区1m×1条)

・収量調査、品質評価

3. 実証結果

(1) 生育概況

令和3年産の大麦は冬期の低温・降雪により生育が停滞していたが、2月以降は一転して高温で経過し生育ステージは前進した。10月15日播種では止葉展開期を3月23日、出穂期を4月4日に、10月27日播種では止葉展開期を3月30日、出穂期を4月9日に迎え、平年より1週間程度早まった。したがって、10月15日播種では3月16日、23日が、10月27日播種では3月16日、23日、30日が止葉展開期までの測定となった。

(1) NDVI等の測定結果と生育調査結果の関係性

実肥施用適期の判断には止葉展開期頃の茎数が指標となる(平成30年産、令和元年産の調査研究)ことから、NDVI等の測定結果を用いて茎数の推定が可能か検討を行った。各測

定日における NDVI および NDVI×植被率と茎数との相関係数は 10 月 15 日播種で 0.78～0.86、10 月 27 日播種で 0.68～0.79 と、10 月 27 日播種でやや低くなったものの、いずれも正の相関が認められた。植被率と茎数との相関係数は 10 月 15 日播種で 0.23～0.80、10 月 27 日播種で 0.63～0.79 であり、特に 10 月 15 日播種では測定時期によるばらつきが大きくなった。2 圃場を区別せず、各測定日における茎数と NDVI 等との関係性をみると、NDVI および NDVI×植被率との相関係数は 0.68～0.79、植被率との相関係数は 0.54～0.64 と正の相関が認められるが、測定時期ごとに回帰式の切片が異なった（表 1、図 2、一部データ略）。

なお、各測定日における NDVI 等（NDVI、植被率、NDVI×植被率）とその他の生育調査結果等（草丈、葉色、草丈×茎数×葉色）との関係性について、いずれも正の相関関係が認められた。草丈および葉色について見ると、NDVI および NDVI×植被率の間にはいずれも強い相関関係が認められた（表 1）。

(2) NDVI 等による生育診断指標

NDVI 等が遅れ穂や倒伏のリスク判定に利用できるか検討した。遅れ穂は成熟期の全穂数に占める遅れ穂の割合として算出した。なお、本実証ではいずれの区も倒伏は確認されなかった。

各測定日における NDVI 等と遅れ穂との関係性について、いずれも負の相関関係が認められた。特に、3 月 23 日の NDVI と遅れ穂率、4 月 6 日の植被率と遅れ穂率との相関が強く、相関係数はともに -0.87 であった（表 2）。しかし、生育診断は実肥施用時期より前の止葉展開前に実施する必要があるが、止葉展開期は 10 月 15 日播種で 3 月 23 日、10 月 27 日播種で 3 月 30 日であり、4 月 6 日には両圃場とも止葉展開期を過ぎていた。したがって、生育診断指標として利用可能な測定値は 3 月 23 日の NDVI であると考えられる。また、各測定日における生育調査結果と遅れ穂との関係性を見ると、いずれの調査項目の相関係数も -0.87 より大きく、遅れ穂率を推定する生育診断指標としての精度は NDVI より下回ると推察される（表 2）。3 月 23 日の NDVI と遅れ穂との関係性から求めた回帰式は、

$$y = -53.2x + 39.2 \quad (y: \text{遅れ穂率}, x: \text{3月23日のNDVI})$$

となる。遅れ穂率 10%を閾値とすると NDVI 0.55 以上が、遅れ穂率 5%を閾値とすると NDVI 0.64 以上が実肥施用時期を早めるための判断指標となる（図 3）。

4. 主要成果の具体的データ

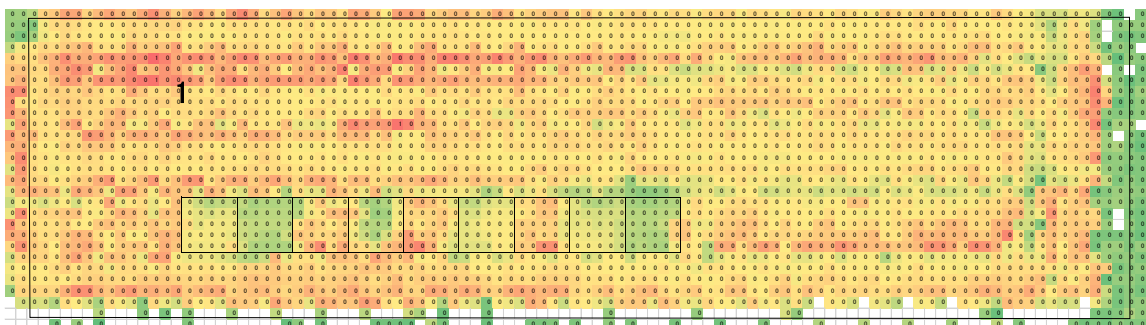


図 1 CSVマップの一例（10月15日播種ほ場の3月16日測定結果）

1) 四角で囲われた枠が試験区（5m×5m）を示す。

表 1 NDVI 等と生育調査結果の相関係数

ほ場	測定日	草丈	茎数	葉色	草丈 ×茎数×葉色	
NDVI	10/15 播種	3月16日	0.99	0.85	0.95	0.97
		3月23日	0.86	0.78	0.88	0.86
		3月30日	0.98	0.82	0.96	0.90
		4月6日	-	-	0.66	-
	10/27 播種	3月16日	0.92	0.75	0.96	0.88
		3月23日	0.92	0.69	0.86	0.85
		3月30日	0.95	0.77	0.87	0.87
		4月6日	0.95	0.69	0.82	0.77
植被率	10/15 播種	3月16日	0.71	0.80	0.76	0.73
		3月23日	0.10	0.23	0.36	0.14
		3月30日	0.73	0.53	0.68	0.59
		4月6日	-	-	0.76	-
	10/27 播種	3月16日	0.95	0.79	0.98	0.92
		3月23日	0.87	0.65	0.79	0.79
		3月30日	0.87	0.79	0.72	0.77
		4月6日	0.88	0.63	0.74	0.68
NDVI × 植被率	10/15 播種	3月16日	0.98	0.86	0.95	0.96
		3月23日	0.84	0.79	0.89	0.85
		3月30日	0.98	0.82	0.96	0.90
		4月6日	-	-	0.68	-
	10/27 播種	3月16日	0.94	0.78	0.97	0.91
		3月23日	0.91	0.68	0.84	0.84
		3月30日	0.96	0.79	0.87	0.88
		4月6日	0.95	0.69	0.81	0.76
NDVI	3月16日	0.88	0.68	0.94	0.93	
	3月23日	0.60	0.70	0.87	0.75	
	3月30日	0.75	0.77	0.91	0.86	
	4月6日	0.95	0.69	0.56	0.77	
植被率	3月16日	0.75	0.54	0.85	0.78	
	3月23日	0.25	0.55	0.56	0.39	
	3月30日	0.49	0.64	0.68	0.58	
	4月6日	0.88	0.63	0.05	0.68	
NDVI × 植被率	3月16日	0.88	0.68	0.96	0.94	
	3月23日	0.56	0.71	0.86	0.73	
	3月30日	0.73	0.79	0.90	0.84	
	4月6日	0.95	0.69	0.49	0.76	

1)相関係数が0.7より大きいものは太字で示す。

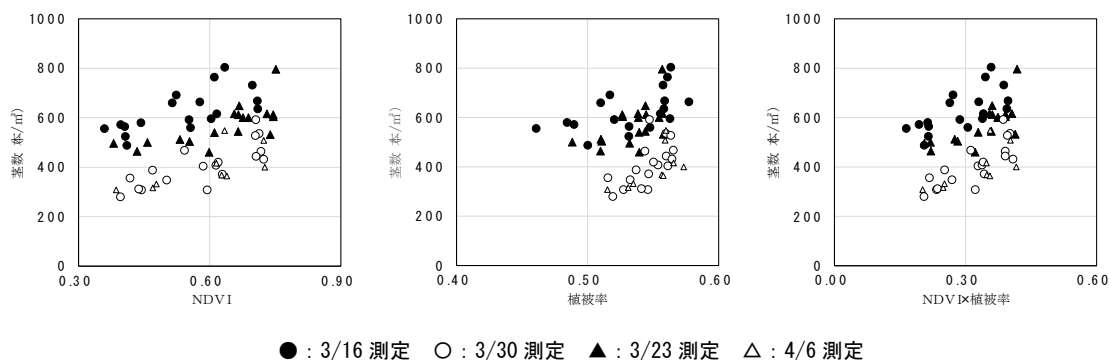


図 2 NDVI 等と茎数の相関関係

表2 NDVI等および生育調査結果と遅れ穂との相関係数

測定日	草丈	茎数	葉色	草丈 ×茎数×葉色
3月16日	-0.41	-0.71	-0.67	-0.58
3月23日	-0.40	-0.69	-0.82	-0.60
3月30日	-0.43	-0.74	-0.74	-0.65
4月6日	-	-	0.10	-

測定日	NDVI	植被率	NDVI ×植被率
3月16日	-0.73	-0.37	-0.67
3月23日	-0.87	-0.51	-0.85
3月30日	-0.81	-0.70	-0.82
4月6日	-0.66	-0.87	-0.71

1)相関係数が-0.7より小さいものは太字で示す。

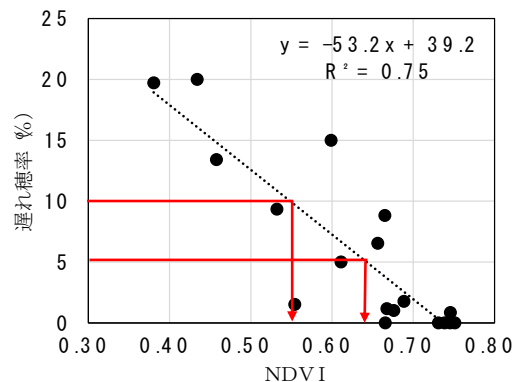


図3 3/23のNDVIと遅れ穂率との相関関係

5. 経営評価

ヤンマーアグリジャパン株式会社のリモートセンシング空撮請負サービスは1回当たり10ha撮影分を最低面積として利用でき、10haあたり165,000円の基本料金が発生する。それ以降1,650円/10aで面積の追加が可能である（ヤンマーアグリジャパン株式会社HP参照）。センシング結果を活用することによるメリットとして、実肥実施率の向上による大麦の収量・品質向上が想定される。本課題では収量・品質の向上を評価する調査を実施していないことから、正確な試算はできないが、10haで導入し実肥施用により50kg/10a増収すると仮定すると、診断により追加で実肥施用ができる面積が10a増えるごとに4,470円増益すると試算される。したがって、リモートセンシング費用165,000円を上回る収入を得るためには、追加で4ha以上実肥を散布する必要がある（4,470円×4ha=178,800円）。

高品質の大麦を生産することは、産地の評価を安定させるという意味で重要である。リモートセンシングは面的な生育診断が効率的に実施可能であるとの特性からも、1経営体で導入するより、JAなど組織が広域的に診断を行い、生産者に対して情報提供を行う体制が望ましいのではないかと考えられる。

※試算の前提条件

10haで導入。実肥施用により50kg/10a増収。

費用の増加（固定分）	
リモートセンシング費用10ha分	165,000円/10ha
費用の増加（変動分）	
肥料費（硫安17kg/10a（3.5kg/10a））	1,700円/10a
労務費（2000円/h×0.15h）	300円/10a
収入の増加（変動分）	
生産物の販売（500円/50kg）	500円/10a
畑作物直接支払交付金（1等Aランク）	5,970円/10a
収支（変動分）	
収入6,470円/10a－費用2,000円/10a	4,470円/10a

6. 利用機械評価

リモートセンシングによる NDVI 等の測定作業はヤンマーアグリジャパン株式会社により行われた。3/16 の測定時に作業時間を調査したところ、ドローンの離着陸などの移動時間を含む作業能率は 10a あたり 48 秒、NDVI 等の測定のための作業能率は 10a あたり 35 秒であった。本実証では 1 ほ場ずつ離着陸を行い測定しているため、隣接するほ場を連続して測定する場合はさらに作業効率が向上すると考えられる。したがって、リモートセンシングによる NDVI 等の測定は、手作業による生育調査と比べて極めて効率的に生育診断を行うことが可能である。

7. 成果の普及

2 月 28 日に開催される令和 3 年度調査研究成果報告会において、県内の普及指導員（作物分野）に対し実施結果を報告する。

8. 考察

(1) NDVI 等の測定結果と生育調査結果の関係性

リモートセンシングによる NDVI 等は、関係性の強弱はあるものの同一測定日の生育調査結果と正の相関が認められ、従来の生育調査の代替となりうるとみられる。しかし、茎数については測定日によって NDVI 等との相関の強弱が異なり、さらに測定日によって近似式の切片が異なるため、測定時期ごとに茎数を推定するための検量線を作成する必要がある。

(2) NDVI 等による生育診断指標

遅れ穂率が高くなると青未熟粒の混入による水分ムラ、外観品質の低下、細麦率の増加といった影響が生じるため、指標を活用して実肥時期を判断することで、労働時間の分散と同時に品質の改善が期待できる。本調査においては、3 月 23 日の NDVI と遅れ穂率の相関が強く、遅れ穂率 10% を基準とした場合、NDVI 0.55 を指標として実肥施用適期を判断できると考えられる。なお、令和 3 年産では 2 月以降の高温により生育が前進したことから、10 月 15 日播種で 3 月 23 日に止葉展開期を迎えたが、通常的气象条件では止葉展開期は 4 月上旬になると見込まれる。したがって、止葉展開前の 3 月下旬に NDVI を測定し、指標以上となる圃場では 4 月上旬(止葉展開期)に、指標未満となる圃場では 4 月中～下旬(出穂期～出穂 10 日後)に実肥を施用する体系をとることで、水稲作業との労働競合が回避できる。

9. 問題点と次年度の計画

本課題では播種時期を 2 時期設け、施肥量の違いによる生育差を作出・診断し、検量線を作成した。この検量線がその他の要因で生じる生育差(例えば、湿害による生育不良)にも適応可能かといった、より栽培の実情に即した条件での評価が必要である。そこで、次年度は本年度作成した診断指標に基づき実肥時期を判断することで、遅れ穂率を上昇させることなく収量やタンパク質含有率が改善することを実証する。

10. 参考写真



試験区の基肥散布



ドローンセンシング



3月23日の生育状況



遅れ穂の発生状況