

現地実証展示圃成績（令和7年度）

| | |
|---|---|
| 担当機関名 部・室名 | 福井県奥越農林総合事務所 農業経営支援部 |
| 実施期間 | 令和7年度～8年度、新規 |
| 大課題名 | IV 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 | 緑肥とスマート農業（ドローン・栽培管理システム）による低コストかつグリーンな栽培体系の実証 |
| 目的 | 当管内では、肥料価格高騰の影響により、化学肥料を使用しない農業への転換を目指す農家が増えてきている。化学肥料や鶏糞の代替（実証組織で臭いの問題有り緑肥への切り替えを検討中）の一つとして、緑肥の活用が挙げられるが、緑肥の窒素発現量や水稻の生育予測が難しい。そこで、スマート農業技術を活用し、緑肥による高精度で低コストな栽培体系の実証を行う。 |
| 担当者名 | 主任 高田 和典 |
| 圃場の所在地、組織名 | 福井県大野市富塚、蕨生 (農) 中休営農組合 |
| 組織の経営概要 | 福井県で一般的にみられる協業型の集落営農組織であり、経営面積約43ha、圃場区画30a程で酒米、主食用米、加工用米を主とした経営を実施している。R7年度以降の基盤整備により、圃場7枚を1つにまとめた約2ha規模の大区画化が予定されている。 |
| <p>1. 実証場所 福井県大野市富塚、蕨生</p> <p>2. 実証方法</p> <p>(1) 実施期間 令和6年10月～令和7年9月</p> <p>(緑 肥) ヘアリーベッチ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・播種方法：品種 藤えもん（雪印種苗）、播種量 3kg/10a、散播（T-25） ・作業内容：播種 10月、細断・すき込み 5月13日、入水 5月20日 <p>(水 稲)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・品種：にじのきらめき、移植：5月26日、栽植密度：11.2株/m² ・施肥：基肥は基肥一括肥料（YM レインボー：N27%, P5%, K5%）を田植機で施用 追肥は試験区では、幼穂形成期に尿素（N46%）をT-25で散布。慣行区では、根付肥として硫安（N21%）、穂肥として尿素（N46%）を流し込みで施用 <p>(2) 調査内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ・緑肥の地上部草丈、被覆率の測定、窒素成分の推定 ・水稻の生育・収量・品質調査 ・ザルビオの栽培管理システムを用いてセンシングデータと実際の生育状況等を比較 ・作業能率の調査（緑肥のすき込み、ドローン施肥等のかかりまし作業の時間測定） | |

(3) 区の設定

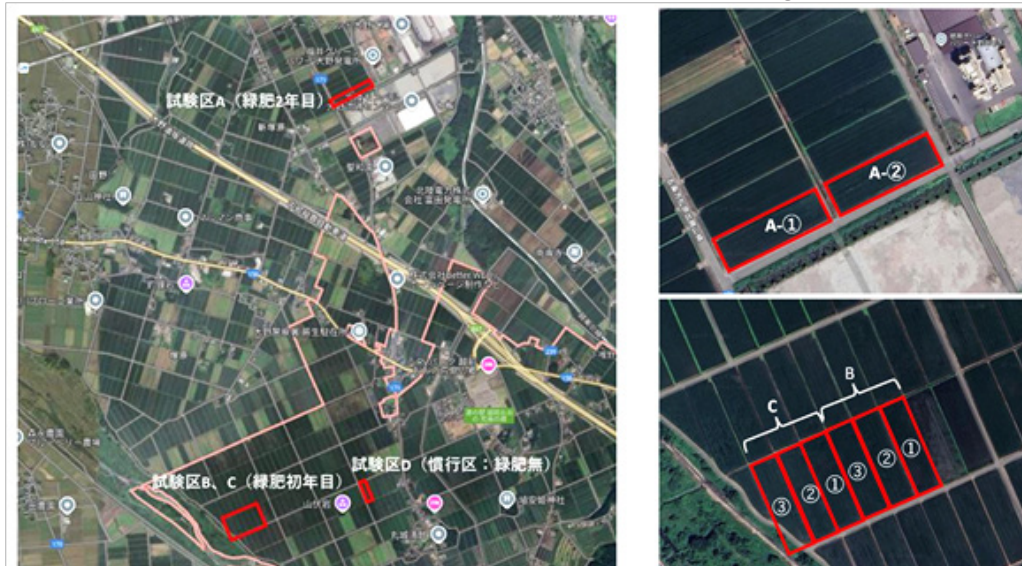
| 区名 | 緑肥 施用歴 | 基肥 | 追肥 |
|-----------|-----------|-----|--|
| 試験区 | A-1 | 2年目 | 無 |
| | A-2 | 2年目 | 尿素※2 |
| | B-1 | 初年 | 無 |
| | B-2 | 初年 | 無 |
| | B-3 | 初年 | 基肥一括肥料(減肥)※1 |
| | C-1 | 初年 | 無 |
| | C-2 | 初年 | 無 |
| 慣行区 | D-1 | - | 基肥一括肥料 37kg/10a(N:10kg) |
| | D-2 | - | 基肥一括肥料 28kg/10a(N:7.6kg) |
| 参考区 ※3 | D-2 | - | 硫安 10kg/10a(N2:1kg) 尿素 7kg/10a(N:3.2kg) |

※1 基肥一括肥料：YMレインボー（N:27%）は、緑肥由来窒素と合計し 10kg/10a になるよう設定

※2 尿素（N:46%）を、緑肥由来の窒素と合計して窒素量 10kg/10a になるよう想定

※3 参考区は、地域で従来から行われている施肥管理を参考に施肥設計した区

D-1, D-2 共に緑肥は施用していないが、鶏糞を前年 10 月に 300kg/10a 施用。



3. 実証結果

- ・緑肥由来の無機化窒素量は区により 6.8～8.9kg/10a であった（表 1）。また、実際の施肥実績を加味して合計窒素量を推定した結果、一部では当初設計施肥量よりやや多めの 7.4～13.2kg/10a となった（表 2）。
- ・緑肥施用 2 年目の A-1、A-2 及び B-1 で、他の区に比べ草丈が低く茎数、穂数が少なく低収となった。一方、緑肥施用+施肥を行った B-3、C-2,3 では、慣行区 D-1 と比べ稈長、穂長は短かったものの、収量は同等程度となった（表 3、4）。
- ・収量については、C 区では高い順に C-3、C-2、C-1 となり、B 区では B-3、B-2、B-1 の順となり、緑肥施用+基肥一括肥料（減肥）、緑肥施用+穂肥施用区、緑肥施用区の順に収量が高い傾向であった（表 3、4）。
- ・品質については、慣行区は緑肥施用の試験区に比べタンパク値が高く、食味値が 77 と 3～9 ポイント低かった（表 5）。

・ザルビオによる NDVI 値と生育調査に基づく生育量の関係等を見ると、NDVI 値と生育量、収量に正の相関が見られ、幼穂形成期頃の NDVI 値 0.82 を超えると収量が 600kg/10a 以上となることが分かった（表 6、図 1～4）。

4. 主要成果の具体的データ

表 1. 緑肥の草丈・被覆率からの窒素量推定

| 区 | 草丈 H (cm) | 被覆率 S (%) | 窒素量 B (推定) (kg/10a) | すき込み ～入水 X (日) | 無機化 窒素量 C (推定) (kg/10a) | 無機化 窒素量 D (推定) (kg/10a) |
|-----|-----------------|-----------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| A-1 | 44.8 | 92.0 | 15.7 | 7 | 7.2 | 8.8 |
| A-2 | 45.4 | 92.1 | 15.9 | 7 | 7.3 | 8.9 |
| B-1 | 41.6 | 92.3 | 14.6 | 7 | 6.7 | 8.2 |
| B-2 | 41.0 | 92.3 | 14.4 | 7 | 6.6 | 8.1 |
| B-3 | 41.8 | 90.4 | 14.4 | 7 | 6.6 | 8.0 |
| C-1 | 39.2 | 88.5 | 13.2 | 7 | 6.1 | 7.4 |
| C-2 | 35.4 | 90.4 | 12.2 | 7 | 5.6 | 6.8 |
| C-3 | 39.0 | 89.7 | 13.3 | 7 | 6.1 | 7.4 |

*細断時の窒素量：B=S（被覆率）×H（草丈）/100×0.38

*無機化窒素量：C=B×（0.09X²-5.37X+96.85）

*緑肥由来の窒素量=C+B×0.1（6月中旬からBの10%が発現）

（富山農試の研究報告「水稻栽培におけるヘアリーベッチの活用」を参考）

表 2. 合計窒素量の推定

| 区 | 緑肥由来 無機化 窒素量 (推定) (kg/10a) | 基肥 | 追肥 1 (根付肥) | 追肥 2 (穂肥) | 合計窒素量 (推定) (kg/10a) |
|------------|--|------|---------------|--------------|---------------------------|
| A-1 | 8.8 | - | - | - | 8.8 |
| A-2 | 8.9 | - | - | 1.1 | 10.0 |
| B-1 | 8.2 | - | - | - | 8.2 |
| B-2 | 8.1 | - | - | 1.9 | 10.2 |
| B-3 | 8.0 | 3.8 | - | - | 11.8 |
| C-1 | 7.4 | - | - | - | 7.4 |
| C-2 | 6.8 | - | - | 3.2 | 10.1 |
| C-3 | 7.4 | 3.6 | - | - | 11.0 |
| D-1 (慣行) | 0 | 10.5 | - | - | 10.5 |
| D-2 (参考) ※ | 0 | 7.9 | 2.1 | 3.2 | 13.2 |

表 3. 水稻の生育

| 区 | 6/13 | | | 7/1 | | | 7/8 | | |
|-----|------------|---------------------------|-----|------------|---------------------------|-----|------------|---------------------------|-----|
| | 草丈 (cm) | 茎数 (本/m ²) | 葉色 | 草丈 (cm) | 茎数 (本/m ²) | 葉色 | 草丈 (cm) | 茎数 (本/m ²) | 葉色 |
| A-1 | 19.6 | 53 | 2.8 | 34.1 | 96 | 3.5 | 41 | 209 | 4.5 |
| A-2 | 15.8 | 33 | 2.8 | 31.8 | 100 | 3.5 | 40 | 211 | 4.5 |
| B-1 | 21 | 38 | 3.1 | 39.1 | 187 | 4 | 53.2 | 364 | 4.3 |
| B-2 | 21 | 38 | 3.1 | 42.6 | 184 | 3.8 | 49.5 | 293 | 4.1 |
| B-3 | 23.9 | 47 | 3.3 | 46.8 | 207 | 4.1 | 55.4 | 342 | 4.5 |
| C-1 | 24.1 | 36 | 3.1 | 44.8 | 160 | 3.8 | 52.3 | 304 | 4 |
| C-2 | 24.3 | 42 | 3.1 | 47.2 | 184 | 3.8 | 55.9 | 318 | 4.1 |
| C-3 | 21.8 | 37 | 3.3 | 47.4 | 184 | 4.1 | 55.9 | 291 | 4.3 |
| D-1 | 23.4 | 33 | 3 | 48.4 | 173 | 4.2 | 54.2 | 309 | 4.3 |
| D-2 | 24.4 | 36 | 3 | 48.8 | 142 | 4 | 57.8 | 320 | 4.1 |

表3の続き

| 区 | 7/16 (幼穂形成期) | | | 7/28 | | | 9/10 (成熟期 9/16~17 前) | | | | |
|-----|--------------|---------------------------|-----|------------|-------------------------------|-----|----------------------|------------|---------------------------|-------------------------------------|----------|
| | 草丈 (cm) | 茎数 (本/m ²) | 葉色 | 草丈 (cm) | 茎数 (本/ m ²) | 葉色 | 稈長 (cm) | 穂長 (cm) | 穂数 (本/m ²) | 平均 穂数 (本/ m ²) | 倒伏 程度 |
| A-1 | 62.4 | 227 | 4 | 66 | 213 | 3 | 54.4 | 19.1 | 178 | 304 | 0 |
| A-2 | 61 | 227 | 4.2 | 63.4 | 209 | 3.5 | 46.7 | 17.7 | 171 | 275 | 0 |
| B-1 | 64.2 | 342 | 3.8 | 69.2 | 293 | 3 | 56.7 | 18.8 | 204 | 299 | 0 |
| B-2 | 66.8 | 322 | 4 | 85.8 | 309 | 3.5 | 73.0 | 21.2 | 289 | 374 | 0 |
| B-3 | 69.6 | 356 | 4 | 87 | 329 | 3.5 | 74.8 | 21.5 | 296 | 444 | 0 |
| C-1 | 66.4 | 327 | 4 | 86.4 | 302 | 3.8 | 73.6 | 21.8 | 291 | 465 | 0 |
| C-2 | 68.3 | 304 | 3.8 | 86.6 | 304 | 4 | 74.8 | 21.9 | 291 | 396 | 0 |
| C-3 | 71.5 | 284 | 4.2 | 85.6 | 273 | 4 | 72.6 | 21.5 | 264 | 415 | 0 |
| D-1 | 73.2 | 313 | 4.3 | 89.4 | 304 | 4.1 | 77.3 | 23.5 | 261 | 305 | 0 |
| D-2 | 80.2 | 336 | 4.3 | 91.2 | 333 | 4.1 | 81.8 | 22.3 | 282 | 456 | 0 |

表4. 収量および構成要素

| 区 | 全重 (kg/10a) | わら重 (kg/10a) | 籾重 (kg/10a) | 全籾数 (百粒/m ²) | 登熟 歩合 (%) | 千粒重 (g) | 精玄 米重 (kg/10a) | 慣行比 (%) |
|-----|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------|-----------------|------------|----------------------|------------|
| A-1 | 795 | 467 | 312 | 131 | 80.9 | 20.6 | 220 | 33 |
| A-2 | 815 | 436 | 355 | 140 | 86.6 | 21.2 | 255 | 39 |
| B-1 | 1,115 | 545 | 542 | 200 | 91.6 | 22.3 | 406 | 61 |
| B-2 | 1,459 | 727 | 703 | 270 | 89.8 | 22.2 | 528 | 80 |
| B-3 | 1,706 | 808 | 858 | 336 | 88.0 | 22.5 | 657 | 99 |
| C-1 | 1,613 | 777 | 802 | 308 | 89.8 | 22.4 | 607 | 92 |
| C-2 | 1,700 | 814 | 848 | 325 | 84.2 | 23.2 | 655 | 99 |
| C-3 | 1,719 | 800 | 881 | 329 | 92.1 | 22.9 | 679 | 103 |
| D-1 | 1,660 | 712 | 880 | 337 | 85.1 | 23.1 | 662 | - |
| D-2 | 1,822 | 810 | 961 | 358 | 88.4 | 23.2 | 734 | 111 |

表5. 品質

| 区 | 整粒 (%) | 未熟粒 | | | | | | 被害 粒計 (%) | 胴割 計 (%) | 玄米タ ンパク (%) | 水分 (%) | 食味 値 |
|-----|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------|---------|
| | | 計 (%) | 乳白 (%) | 基部 未熟 (%) | 腹白 (%) | 青未 熟 (%) | その 他 (%) | | | | | |
| A-1 | 46.3 | 49.4 | 1.1 | 0.0 | 0.1 | 1.8 | 46.5 | 3.9 | 0.4 | 4.9 | 14.6 | 82 |
| A-2 | 54.9 | 42.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 4.7 | 36.8 | 2.8 | 0.3 | 4.6 | 14.3 | 85 |
| B-1 | 55.7 | 41.8 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 8.2 | 33.1 | 2.3 | 0.3 | 4.9 | 14.1 | 82 |
| B-2 | 62.1 | 34.9 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 5.7 | 28.8 | 2.9 | 0.5 | 4.7 | 14.2 | 84 |
| B-3 | 62.3 | 35.3 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 4.8 | 29.4 | 2.2 | 0.5 | 4.6 | 14.3 | 84 |
| C-1 | 62.9 | 34.6 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 29.6 | 2.2 | 0.3 | 4.5 | 14.4 | 86 |
| C-2 | 61.9 | 36.1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 30.6 | 2.0 | 0.4 | 5.1 | 14.5 | 80 |
| C-3 | 64.2 | 33.2 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 3.8 | 28.9 | 2.4 | 0.4 | 4.8 | 14.4 | 83 |
| D-1 | 61.7 | 36.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 8.1 | 28.1 | 1.7 | 0.1 | 5.5 | 14.5 | 77 |
| D-2 | 62.1 | 35.8 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 10.1 | 25.6 | 2.0 | 0.6 | 5.6 | 14.4 | 76 |

品質判定機

静岡製機 ES5

食味計

静岡製機 TM3500

表6. 生育量と NDVI 値

| 区 | 生育量(×10 ⁶) (草丈×茎数×葉色) (7/16 調査結果より) | NDVI 値 (7/20 ギャルビオより) |
|-----|---|--------------------------|
| A-1 | 0.50 | 0.70 |
| A-2 | 0.50 | 0.67 |
| B-1 | 0.74 | 0.79 |
| B-2 | 0.75 | 0.82 |
| B-3 | 0.87 | 0.85 |
| C-1 | 0.76 | 0.82 |
| C-2 | 0.71 | 0.83 |
| C-3 | 0.73 | 0.83 |
| D-1 | 0.84 | 0.85 |
| D-2 | 0.98 | 0.84 |



7/20 ギャルビオによる NDVI 値の表示 (C-1)

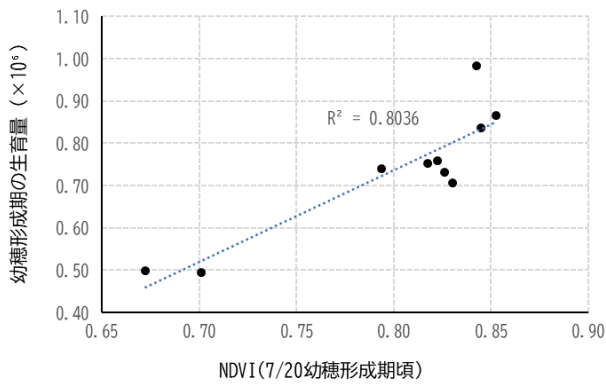


図1. 7/20(幼穂形成期頃)の NDVI (ギャルビオから取得) と生育量の関係

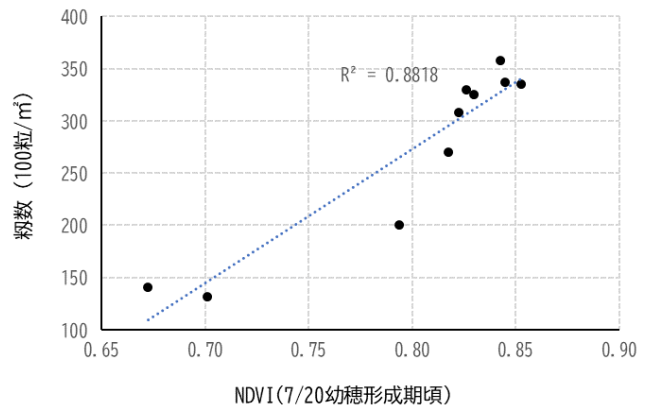


図2. 7/20(幼穂形成期頃)の NDVI (ギャルビオから取得) と粒数の関係

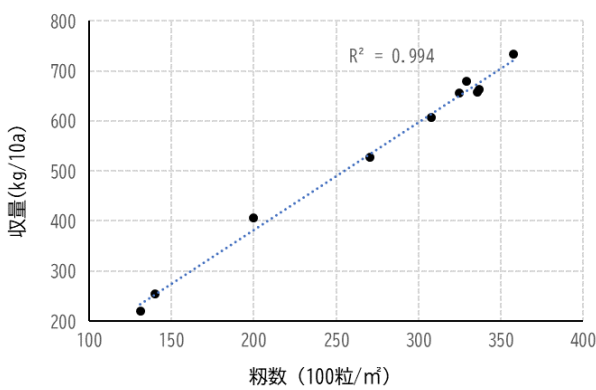


図3. 粒数と収量の関係

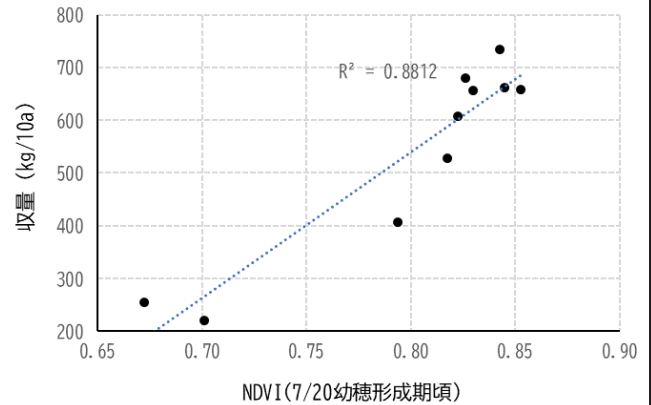


図4. 7/20(幼穂形成期頃)の NDVI (ギャルビオから取得) と収量の関係

表 7. 収支の比較

| | 販売単価 A (円/俵) | 精玄米重 B (kg/10a) | 販売収入 C=A×B (円/10a) | 資材費 (肥料費のみ) D (円/10a) | かかりまし 労務費、 償却費※1 E (円/10a) | 慣行区との収支 差額※2 F=C-D-E+1,269 (円/10a) | 慣行区 との 収益比 |
|----------|--------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|--|---|------------------|
| A-1 | 31,000 | 220 | 113,667 | 6,600 | 1,461 | -219,972 | 32 |
| A-2 | 31,000 | 255 | 131,750 | 7,040 | 1,869 | -202,736 | 38 |
| B-1 | 31,000 | 406 | 209,767 | 6,600 | 1,461 | -123,872 | 62 |
| B-2 | 31,000 | 528 | 272,800 | 7,410 | 1,869 | -62,056 | 81 |
| B-3 | 31,000 | 657 | 339,450 | 10,682 | 1,461 | 1,730 | 101 |
| C-1 | 31,000 | 607 | 313,617 | 6,600 | 1,461 | -20,022 | 94 |
| C-2 | 31,000 | 655 | 338,417 | 7,832 | 1,869 | 3,138 | 101 |
| C-3 | 31,000 | 679 | 350,817 | 10,452 | 1,461 | 13,326 | 104 |
| D-1(慣行区) | 31,000 | 662 | 342,033 | 15,187 | - | 0 | 100 |
| D-2(参考) | 31,000 | 734 | 379,233 | 14,767 | - | 37,620 | 112 |

※1 慣行区対するかかりまし労務費、償却費は、ドローン、トラクタを使用した作業労賃、償却費から算出

※2 慣行区では別途鶏糞散布に 1,269 円/10a (労務費、償却費) がかかっており、試験区のかかりまし経費と差し引きして算出

5. 経営評価

収益を比較すると、B-3、C-3 緑肥施用+基肥一括用肥料減肥区、C-2 緑肥施用+穂肥区で慣行区との収益比 101~104 となり、コストも含めた総合的な収益性が高かった (表 7)。

6. 利用機械評価

散布用ドローン (T-25) については、散布精度の誤差を 10%程度を見込んでおり、その範囲内の高精度での散布結果となった。基肥一括肥料の減肥施用については実証した組織の所有機械では、10kg/10a 前後の少量施肥が困難でやや多めに肥料が投入された。次年度は新たに可変施肥田植機を利用する予定である。

7. 成果の普及

7/15 営農現地実証研修会で途中経過を福井県奥越管内の生産者等に紹介、12/8 奥越地区稲作検討会で提示。引き続き、協力機関、関係機関と緑肥やザルビオ活用推進の可能性について意見交換しながら、今後の継続調査を進めていく。

8. 考察

- ・緑肥施用+基肥一括用肥料減肥区、緑肥施用+穂肥区の一部で慣行区との収益比 101~104 となり、コストも含めた総合的な収益性が高く経営的に実用可能な技術であると考えられた。
- ・幼穂形成期頃の NDVI 値と収量の相関が見られたことから、幼穂形成期の追肥のみではなく、緑肥施用に加えて基肥一括肥料や根付肥、中間肥の施用により幼穂形成期までの生育を促す必要があると考えられた。
- ・収量が著しく低かった区 A-1、A-2 では窒素不足が生じていたと考えられ、地上部の緑肥は繁茂していたものの、単位面積あたりの個体数 (積雪や排水不良等により出芽後減少したと想定) が少なく、根粒菌の付きが総合的に少なかったものとみられる。

- ・慣行区は緑肥施用の試験区に比べタンパク値が高くなったことから、収量性だけではなく品質面を考慮したい実証組織の意向もあり、経営評価において考慮すべきであると考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

- ・収益性が高かった「緑肥＋基肥一括肥料」を基本とし、「緑肥＋基肥（硫安）＋穂肥（尿素）」（協力する実証組織の希望する設計）、一部の地力の高い圃場では「緑肥＋基肥なし＋追肥（尿素の圃場内可変施肥）」の3つの区を設けて、品質・作業負担・機械償却を加味した最適解「緑肥＋基肥減肥 or 適量追肥」を検証する。
- ・ヘアリーベッチによる窒素発現量換算については、富山県方式（被覆率×草丈）を活用し算出したことで、本実証においては推定窒素量と実際の窒素量に乖離があったと思われるため、坪刈調査も併せて行い推定することとする。また、ザルビオとのデータ連携強化（緑肥の LAI 値評価、地力加味、生育期間中の LAI 値推移の観察など）により、緑肥を活用した水稻栽培のリスクが低減できるよう継続してデータ収集する。

10. 参考写真



5/13 フレールモアによる緑肥刈り倒し



5/26 田植え

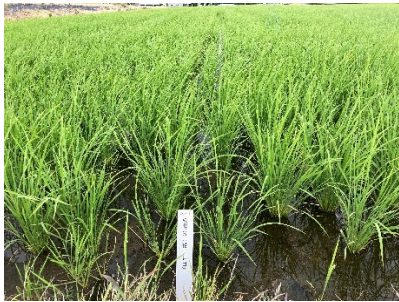


7/12 ドローン施肥事前練習

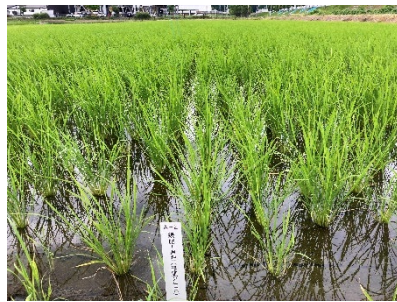


7/15 営農現地研修会

7/16 幼穂形成期頃の写真



A-1 緑肥のみ



A-2 緑肥+尿素



B-1 緑肥のみ



B-2 緑肥+尿素



B-3 緑肥+基肥一括肥料



C-1 緑肥のみ



C-2 緑肥+尿素



C-3 緑肥+基肥一括肥料



D-1 慣行区 (基肥一括肥料)



D-2 参考区 (基肥一括肥料+硫安+尿素)