

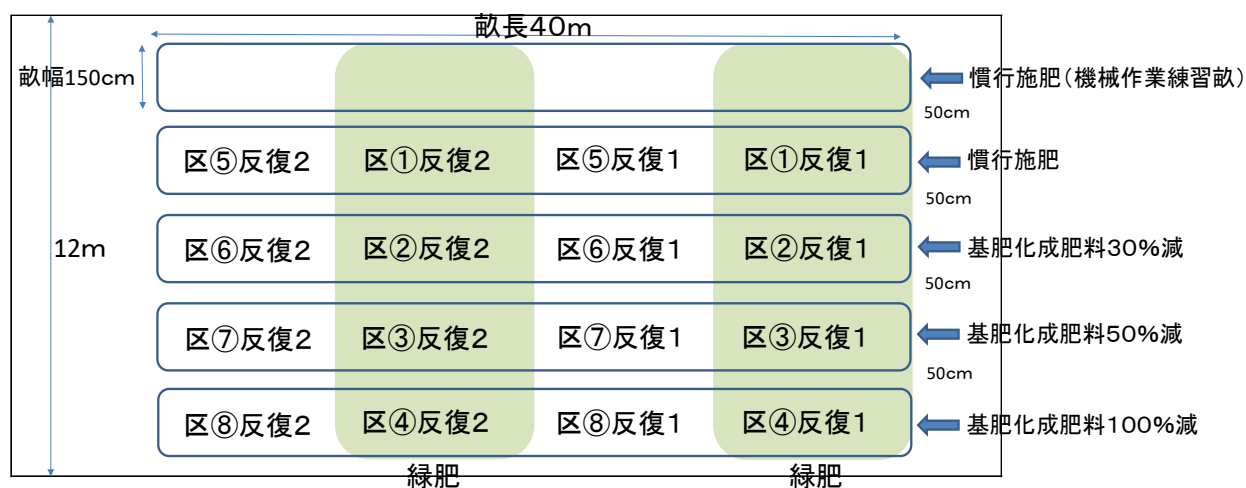
「委託試験および現地実証展示圃成績報告（令和 6 年度）」

担当機関名、代表者名	滋賀県農業技術振興センター 所長 南 重治
実施期間	令和 6 年度（令和 5 年度～ 6 年度）継続
大課題名	Ⅲ 環境保全を配慮した生産技術の評価・確立
課題名	緑肥すき込みによる後作キャベツでの化学肥料削減効果の実証
目 的	<p>本県では、水田率が 9 割を超える中で、水田の転換作物として大規模栽培が可能な露地野菜の普及拡大を進めており、「近江の野菜生産振興指針」においてキャベツの反収向上を目指している。県内のキャベツ作付面積は平成 21 年に 159ha まで減少したものの、「加工・業務用野菜生産基盤強化事業」ならびに「新しい野菜産地づくり支援事業」の活用により、令和 2 年度には 335ha まで増加した。</p> <p>しかし、キャベツについては県内の平均反収は 3 t /10a 程度（令和元年）で目標である 4.5t/10a に及んでいない。また、世界情勢の変化による化学肥料原料の供給不安定化やそれに伴う肥料の高騰など化学肥料への依存が生産を継続する上でのリスクになっている。そこで、化学肥料の使用量を節減し、持続可能な野菜生産を実現するため、注目されている緑肥利用技術を本県の水田土壌条件下でキャベツ栽培に適用した場合に、化学肥料の節減が収量に及ぼす影響を調査する。</p>
担当者名	栽培研究部野菜係 主任主査・井田陽介
<p>1. 試験（実証）場所 滋賀県農業技術振興センター内圃場</p> <p>2. 試験（実証）方法</p> <p>(1) 供試機械名 KOBASHI フレールモア FF180</p> <p>(2) 試験（実証）条件</p> <p>ア. 圃場条件 水田圃場 5a ※畑地固定して 8 年目</p> <p>イ. 栽培等の概要</p> <p>品種名 緑肥クロタラリア：ネマコロリ（雪印種苗） キャベツ：初恋（トーホク交配）</p> <p>栽培様式 令和 5 年 11 月 8 日に前作キャベツ収穫後の残渣をロータリーですき込んだ後、雑草管理のため定期的にロータリーで耕耘を行った。令和 6 年 3 月 11 日に額縁明渠、4 月 2 日に弾丸暗渠を施工し、6 月 11 日に緑肥を播種した。播種は手押しの播種機（向井工業社製ごんべえ）で 8kg/10a となるよう 30 cm 間隔で条播した。7 月 31 日（播種 50 日後）に緑肥をフレールモアにより細断し、8 月 5 日に圃場にすき込んだ。8 月 16 日にロータリーで一度耕起した後、8 月 19 日に畝幅 150cm、畝高 20cm の畝を立て、8 月 20 日に条間 50cm（2 条）、株間 35 cm でキャベツを定植した。</p> <p>施肥 緑肥は無施肥。キャベツは基肥として BM ようりん（0-20-0）を 40kg/10a、苦土石灰を 100kg/10a 施用し、BM 有機 1 号（13-10-12）のみ慣行区 150kg/10a、基肥 30% 減区 105kg/10a、基肥 50% 減区 75kg/10a、基肥 100% 減区 0kg/10a とした。待肥と</p>	

	して燐硝安加里 S604(16-10-14)を 10kg/10a を 8 月 19 日に施用した。 追肥は燐硝安加里 S604(16-10-14) 30kg/10a を 9 月 5 日および 9 月 26 日に計 2 回施用した。
除草	キャベツ定植後、ラッソー乳剤（8 月 22 日）、ザクサ液剤（9 月 9 日）を散布
中耕追肥	9 月 5 日に追肥と併せて溝切り機で条間を中耕(1 回目) 9 月 26 日に追肥と併せて管理機で畝間を中耕(2 回目)
病虫害防除	ジュリボフロアブル（8 月 20 日）、カスケード乳剤（9 月 3 日）、ブロフレア SC（9 月 11 日）、ディアナ SC（9 月 19 日）、プレバソンフロアブル 5（9 月 26 日）、バリダシン液剤 5（9 月 19 日、9 月 26 日、10 月 8 日）、アフエットフロアブル（9 月 19 日、9 月 26 日）、グレーシア乳剤（10 月 8 日）
収穫	10 月 16 日～10 月 22 日にかけて順次
ウ. 調査項目	
・ 土壌分析	
6 月 3 日（緑肥播種前）、8 月 19 日（緑肥すき込み後キャベツ定植前）、10 月 23 日（キャベツ収穫後）に表層部を取り除いた深さ 10cm 程度までの土を採取し、窒素、リン酸、カリ、腐植等の項目を分析	
・ 土壌の三相分布、仮比重	
6 月 4 日（緑肥播種前）、8 月 1 日（緑肥すき込み前）、10 月 24 日（キャベツ収穫後）に表層部分を取り除いた土壌表面からコアサンプラーで深さ 10cm 程度までの土を採取し計測	
・ 土壌水分の測定	
9 月 10 日、9 月 17 日、9 月 24 日にキャベツ畝の体積含水率をハンディタイプの土壌水分センサー HydroSense（クリマテック株式会社製）により計測	
・ 緑肥の生育量調査	
7 月 30 日に条播長 50cm 分×5 か所をサンプリングし、地上部生重量を測定	
・ 土壌の硝酸態窒素濃度の測定	
7 月 31 日、8 月 8 日、8 月 19 日、8 月 26 日、9 月 2 日、9 月 10 日に表層部を取り除いた深さ 10cm 程度までの土を採取し、風乾後 RQ フレックス（関東化学社製）により計測	
・ キャベツの生育調査	
9 月 24 日に最大葉身長・葉幅を計測。	
・ キャベツ葉の硝酸態窒素濃度の測定	
9 月 25 日、10 月 16 日にキャベツの展開 4 葉目（結球後は結球部外側 4 葉目）を採取し、にんにく絞り器で搾汁した液を RQ フレックス（関東化学社製）により計測	
・ キャベツの収穫調査	
畝長 4m 分のキャベツ全株を収穫適期になり次第順次収穫し、球重を測定し反収を算出	
・ 経営コスト	
緑肥の種子代、フレールモアの導入費、肥料購入費、キャベツの収量などのデータから緑肥導入のコスト比較	

(3) 試験（実証）区の構成

区名	施肥量 (N-P2O5-K2O) (kg/10a)	緑肥種類
慣行		ネマコロリ 8kg/10a
区①	基肥 (19.5-23.0-18.0) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
基肥化成肥料30%減		ネマコロリ 8kg/10a
区②	基肥 (13.7-16.1-12.6) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
基肥化成肥料50%減		ネマコロリ 8kg/10a
区③	基肥 (9.8-11.5-9.0) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
基肥化成肥料100%減		ネマコロリ 8kg/10a
区④	基肥 (0-8.0-0) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
慣行		緑肥なし
区⑤	基肥 (19.5-23.0-18.0) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
基肥化成肥料30%減		緑肥なし
区⑥	基肥 (13.7-16.1-12.6) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
基肥化成肥料50%減		緑肥なし
区⑦	基肥 (9.8-11.5-9.0) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	
基肥化成肥料100%減		緑肥なし
区⑧	基肥 (0-8.0-0) 待肥・追肥 (11.2-7.0-9.8)	



施肥を慣行、基肥 30%減、50%減、100%減の 4 種類、緑肥の有り/無しで計 8 区設定

3. 試験（実証）結果

(1) 気象条件

緑肥の播種（6/11）～細断（7/31）までの間、平年より降水量が多かった。額縁明渠と弾丸暗渠を施工するなど排水対策をしていたため、緑肥は概ね順調に生育したが、圃場の一部水が溜まりやすい箇所では湿害で生育不良を起こした。キャベツ定植後（8/20）は9月の1か月間の月降水量が21mmと極端に少なく、かつ平年より高温に推移したため、キャベツの収穫時期は例年より早まったが、球の肥大は著しく悪かった（図1）。

(2) 土壌分析

緑肥播種前（6/3）、キャベツ定植前（8/19）、キャベツ収穫後（10/23）の土壌を採取し、土壌分析を実施した。いずれの採取日においても、pH、EC、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、有効態リン酸、交換性加里、腐植などの値は、緑肥をすき込んだ土壌とすき込まなかった土壌の間で概ね同等であった（表1）。

(3) 土壌の三相分布、仮比重

6/4緑肥播種前の気相率、液相率、固相率、仮比重の値はクロタリヤ播種予定場所と播種しない場所で概ね同等となったが、8/1緑肥跡では緑肥を作付けた場所では作付けなかった場所と比較して気相率は高く、仮比重の値は低い傾向が見られた。また、10/24キャベツ収穫後では値は概ね同等となった（表2）。

(4) 土壌水分

キャベツ定植1か月後までの畝の土壌水分を計測したところ、緑肥の有無による差は認められなかった（表3）。

(5) 緑肥の生育量調査

条播長 50 cm×5 か所、計 250 cm分の緑肥地上部の重量を計測し、条間 30 cmとして反収換算したところ、緑肥のすき込み量は 3.40t/10a となった。昨年度の成分分析の結果を参考とし、水分含有率 82.4%、乾物当たり N 含有率 2.5%、P₂O₅ 含有率 0.78%、K₂O 含有率 2.6%とすると、すき込んだ緑肥の地上部乾物重は 598kg/10a、窒素含量は 15.0kg N/10a、リン酸含量は 4.6kg P₂O₅/10a、カリ含量は 15.5kg K₂O/10a となった（表4）。

(6) 土壌の硝酸態窒素濃度の測定

緑肥すき込みの有無に関わらず、8月中旬まで土壌中の硝酸態窒素濃度が増加し、中旬以降は減少する傾向が見られた（図2）。

(7) キャベツの生育調査

キャベツの定植後、9/24に最大葉身長・葉幅を測定した結果、緑肥の有無による有意差は認められなかった（図3、図4）。

(8) キャベツ葉の硝酸態窒素濃度の測定

キャベツの定植後、9/25、10/16に葉の硝酸態窒素濃度を測定した結果、緑肥の有無による有意差は認められなかった（図5）

(9) キャベツの収穫調査

10/16～22にかけて収穫を実施した結果、緑肥をすき込んだ場合、慣行施肥では 3777kg/10a、基肥 3 割減では 3206kg/10a、基肥 5 割減では 2519kg/10a、基肥 10 割減では 2052kg/10a となった（図6）。また、緑肥を作付けしない場合は慣行施肥では 3531kg/10a、基肥 3 割減では 3285kg/10a、基肥 5 割減では 2736kg/10a、基肥 10 割減では 860kg/10a となった。また、収穫物の規格については基肥量が少ないと球重 700g 未満の規格外球が増える傾向が見られたが、緑肥の効果については判然としなかった（表5）。

4. 主要成果の具体的データ

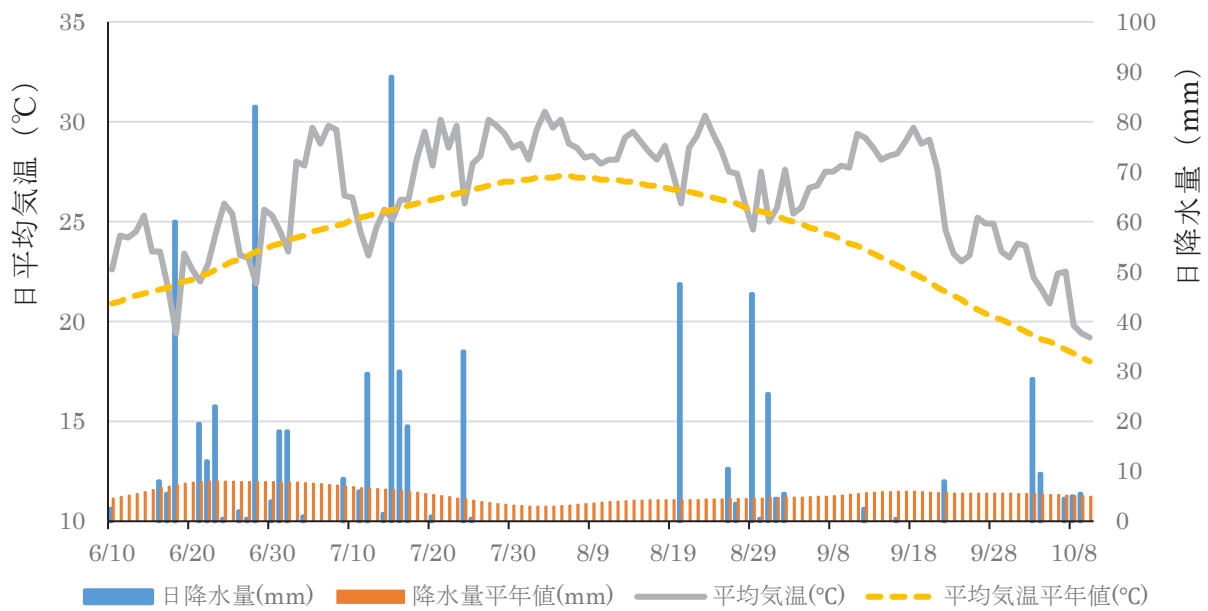


図 1. 東近江アメダスの日平均気温および日降水量（R6 年 6/10～10/10）

表 1. 土壌分析結果

調査時期		緑肥播種前		キャベツ		基準値			
		(6/3)		定植前 (8/19)					
		前年緑肥	前年緑肥	緑肥あり	緑肥なし				
測定項目	単位	あり	なし						
pH		6.3	6.5	6.0	6.1	6.0～6.5			
EC	mS/cm	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2			
アンモニア態窒素	mg/100g	0.6	0.5	1.0	0.7	合算2mg以上			
硝酸態窒素	mg/100g	1.1	1.1	2.8	3.7				
有効態（可給態）リン酸	mg/100g	23.4	30.5	25.5	29.0	10～75			
交換性加里	mg/100g	29.9	28.1	30.2	24.4	14～28			
腐植	%	3.8	3.8	4.0	4.0	3 %以上			
調査時期		キャベツ収穫直後 (10/23)							
		慣行		3割減		5割減		10割減	
測定項目	単位	緑肥あり	緑肥なし	緑肥あり	緑肥なし	緑肥あり	緑肥なし	緑肥あり	緑肥なし
pH		5.9	5.9	6.1	6.1	6.5	6.6	6.3	6.6
EC	mS/cm	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
アンモニア態窒素	mg/100g	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.7
硝酸態窒素	mg/100g	6.3	7.5	3.6	3.0	2.6	1.7	0.8	0.4
有効態（可給態）リン酸	mg/100g	32.1	35.8	27.4	38.0	26.3	30.9	27.2	40.8
交換性加里	mg/100g	30.5	35.2	19.3	28.8	21.3	21.4	18.2	17.7
腐植	%	3.9	3.6	3.7	3.8	3.5	3.5	3.9	3.9

※基準値は農林水産省「主要作物の土壌診断基準」の p18 キャベツ（普通畑）の非火山灰粘質土壌から引用した数値は 2 反復の平均値

表 2. 土壌の三相分布と仮比重

	6月4日緑肥播種前		8月1日緑肥跡		10月24日キャベツ跡	
	緑肥播種部分	緑肥なし部分	緑肥播種部分	緑肥なし部分	緑肥播種部分	緑肥なし部分
気相率 (%)	18.9	16.3	34.3	22.4	31.5	29.0
液相率 (%)	35.4	34.3	20.6	27.9	24.4	25.5
固相率 (%)	45.8	49.5	45.1	49.8	45.1	45.6
仮比重	1.25	1.28	1.25	1.35	1.18	1.21

※表の数値は 2 反復の平均値。1 反復につき 3 か所の土をサンプリングし、三相分布と仮比重を測定した。

表 3. 土壌水分の推移

	体積含水率 (%)	
	緑肥あり	緑肥なし
9月10日	15.6	14.7
9月17日	20.6	18.4
9月24日	10.7	10.7

※表の数値は 24 か所で計測した平均値を示す。

表 4. 緑肥地上部に含まれる成分 (n=2)

地上部生収量 (kg/10a)	地上部乾物重 (kg/10a)	すき込み窒素量 (kgN/10a)	すき込みリン酸量 (kgP ₂ O ₅ /10a)	すき込みカリ量 (kgK ₂ O/10a)
3,395	598	15.0	4.6	15.5

※地上部生収量および昨年の分析値（水分含有率 82.4%、乾物当たり N 含有率 2.5%、P₂O₅ 含有率 0.78%、K₂O 含有率 2.6%）から地上部乾物重、すき込み窒素、リン酸、カリ量を算出した。

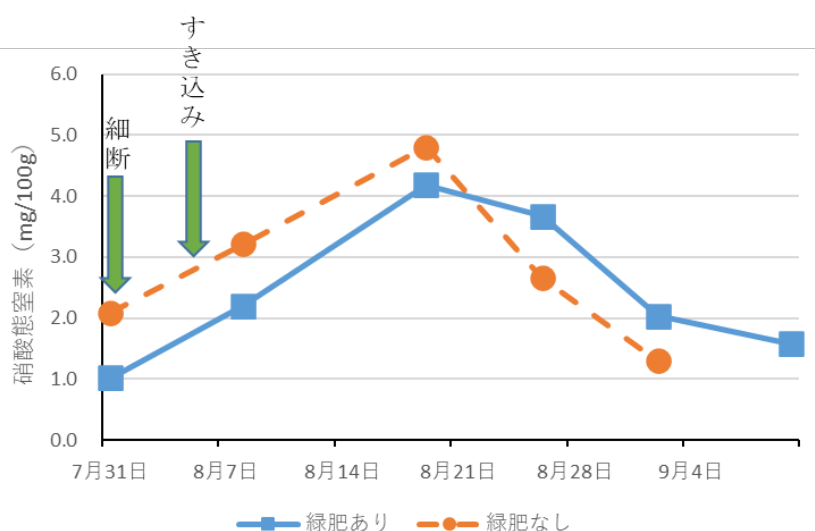
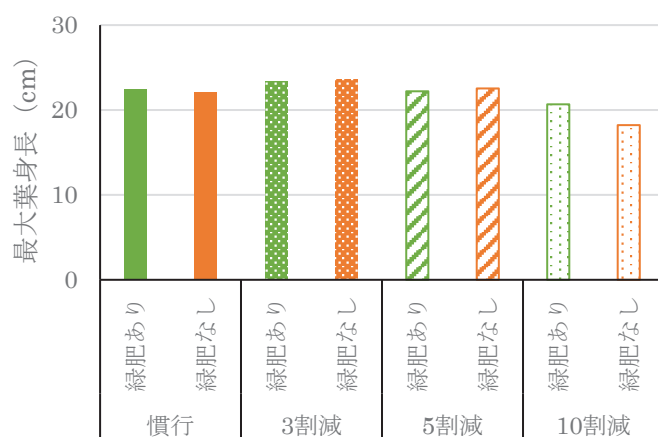


図 2. 土壌中の硝酸態窒素濃度の推移

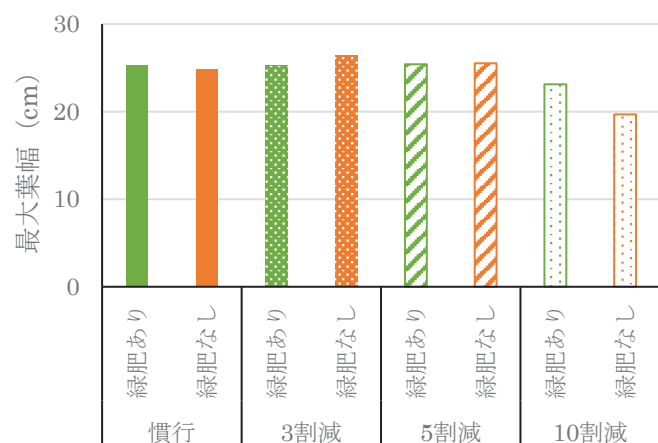


分散分析結果

要因	p値	判定
基肥量	0.000475	***
緑肥有無	0.158	ns
交互作用	0.116	ns

図 3．キャベツ最大葉身長（9/24）

※2元配置分散分析により***は0.1%水準、**は1%水準、*は5%水準で有意差があること、nsは5%水準で有意差がないことを示す。(n=2)

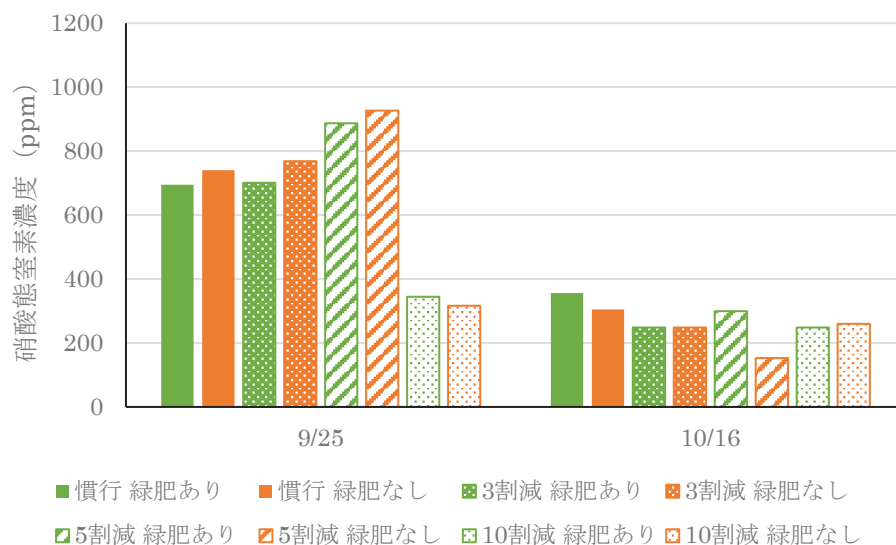


分散分析結果

要因	p値	判定
基肥量	0.000578	***
緑肥有無	0.210	ns
交互作用	0.0456	*

図 4．キャベツ最大葉幅（9/24）

※2元配置分散分析により***は0.1%水準、**は1%水準、*は5%水準で有意差があること、nsは5%水準で有意差がないことを示す。(n=2)



分散分析結果 (9/25)

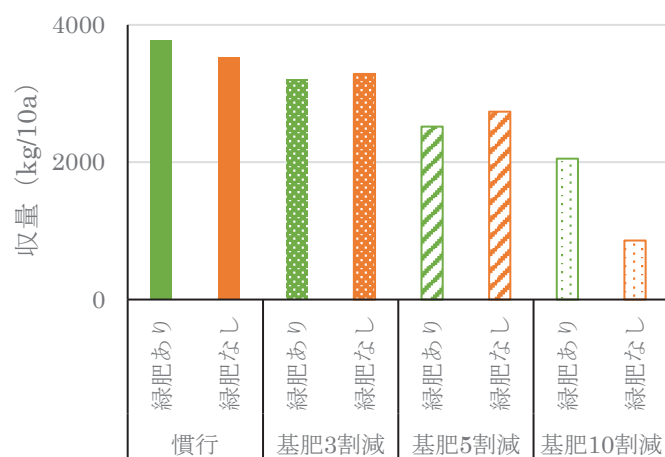
要因	p値	判定
基肥量	0.000831	***
緑肥有無	0.616	ns
交互作用	0.945	ns

分散分析結果 (10/16)

要因	p値	判定
基肥量	0.534	ns
緑肥有無	0.389	ns
交互作用	0.695	ns

図5. キャベツ葉の硝酸態窒素濃度 (9/25、10/16)

※2元配置分散分析により***は0.1%水準、**は1%水準、*は5%水準で有意差があること、nsは5%水準で有意差がないことを示す。(n=2)



分散分析結果

要因	p値	判定
基肥量	1.55E-05	***
緑肥有無	0.0677	ns
交互作用	0.0238	*

図6. キャベツの収量調査結果

※各試験区の反収は可販株の平均1球重×3800×(1-規格外株数/23)とした。(株間35cm2条植で1000㎡(10a)あたり3800本の植栽株数。試験区6㎡あたり23株)2元配置分散分析により***は0.1%水準、**は1%水準、*は5%水準で有意差があること、nsは5%水準で有意差がないことを示す。(n=2)

表 5. キャベツ収穫物の規格別割合

規格	慣行		3割減		5割減		10割減	
	緑肥あり	緑肥なし	緑肥あり	緑肥なし	緑肥あり	緑肥なし	緑肥あり	緑肥なし
L	17.4	6.5	8.7	2.2	6.5	4.3	2.2	0
M	37.0	43.5	30.4	47.8	15.2	21.7	23.9	4.3
S	13.0	15.2	28.3	19.6	28.3	39.1	19.6	15.2
規格外	2.2	8.7	13.0	10.9	30.4	21.7	41.3	71.7
結球異常・欠株	30.4	26.1	19.6	19.6	19.6	13.0	13.0	8.7

※数値は%を示す。L：1200 以上 1700g 未満、M：900 以上 1200g 未満、S：700 以上 900g 未満、規格外：700g 未満、結球異常・欠株：定植後成長せず結球しない、害虫による結球異常、病害による枯死、定植直後の枯死株など

5. 経営評価

本試験において、緑肥なし慣行施肥（以下対照）では 3531kg/10a、緑肥あり慣行施肥（以下慣行）では 3777kg/10a、緑肥あり基肥 3 割減（以下 3 割減）では 3206kg/10a、緑肥あり基肥 5 割減（以下 5 割減）では 2519kg/10a、緑肥あり基肥 10 割減（以下 10 割減）では 2052kg/10a となった。キャベツの販売単価を 1kg あたり 112 円（滋賀県経営ハンドブック令和 5 年版より）とすると、販売金額は対照と比較して、慣行では +27,552 円/10a、3 割減では -36,400 円/10a、5 割減では -113,344 円/10a、10 割減では -165,648 円/10a となる。肥料費は慣行で ±0 円/10a、3 割減で +10,253 円/10a、5 割減で +17,088 円/10a、10 割減で +34,177 円/10a の削減となり、種苗費（緑肥）は慣行、3 割減、5 割減、10 割減ともに -8,960 円/10a となる。また、同様にフレールモアの減価償却費は -9,142 円/10a（緑肥導入面積 1 ha とし、フレールモアの価格を 640,000 円、耐用年数を 7 年として計算）となる。

以上を合算すると、緑肥クロタラリアをキャベツ定植前にすき込むことにより、対照と比べた収益は慣行では +9,450 円/10a、3 割減では -44,249 円/10a、5 割減では -114,358 円/10a、10 割減では -149,573 円/10a となる（緑肥の播種・細断・すき込みにかかる人件費や燃料費については考慮していない）。図 6 に示すとおり、キャベツの収量は基肥量には影響されるものの、緑肥の有無には影響されず、本年においてはキャベツ作付前に緑肥クロタラリアをすき込むことの経営的なメリットを示すことはできなかった。

6. 利用機械評価

本試験に供試された KOBASHI 社製フレールモア FF180 は 480 m²の圃場を 11 分で緑肥細断することができた。昨年度試験で供試された KUHN 社製シュレッダー BRP240 は 480 m²の圃場を 6 分で処理できたので、フレールモアはシュレッダーと比較して約 2 倍の作業時間がかかる。しかし、フレールモアは価格面やトラクターが比較的高馬力でなくとも使用できる利点があるため、本県の一般的な露地野菜の栽培規模においてはフレールモアが緑肥の細断には適していると考えられた。

7. 成果の普及

2 か年の試験において、令和 5 年度は基肥を 3 割または 5 割は減らしても慣行栽培以上の収量を得られたが、令和 6 年度は少雨が影響してか緑肥の肥料的効果を確認することができなかった。こうした知見を普及指導機関と情報共有しながら緑肥の普及につなげていきたい。

8. 考察

緑肥クロタラリア（以降、緑肥と記載）すき込みの効果としてマメ科緑肥の窒素固定による肥料分供給や有機物のすき込みによる土壌物理性の改善が期待されるため、これらを明らかにするための調査を行った。

肥料分供給については、すき込んだ緑肥に含まれていた窒素、リン酸、カリは 15.0kg N/10a、4.6kg

$P_2O_5/10a$ 、 $15.5kg K_2O/10a$ となった（表 4）。しかし、すき込み後の土壌中の硝酸態窒素濃度の推移は緑肥の有無に関わらず同様の傾向を示し（図 2）、土壌の成分分析の結果についても、キャベツ定植前～収穫直後にかけて緑肥すき込みにより窒素、リン酸、カリなどの成分が増加する傾向は見られなかった（表 1）。土壌物理性については、緑肥のすき込みありは、なしと比較して作土層の気相率が高い傾向が見られた（表 2）。作土層より下部（地表から深さ 30 cm）の三相分布についても調査を行ったが、緑肥すき込みによる気相率の増加傾向は見られなかった（データ略）。また、土壌水分を経時的に測定したところ、緑肥の有無による差はなく（表 3）、排水性改善効果は認められなかった。肥料分供給について、昨年度は緑肥すき込み区では無機態窒素（アンモニア態窒素＋硝酸態窒素）および交換性加里の値が高い傾向が見られたが、今年はその傾向が見られなかった。これは極端な少雨により緑肥由来の有機物の分解がすすまなかったことが原因と推察される。緑肥すき込み～キャベツ収穫終了までの総降水量および降水日数（東近江アメダス）は R5 年で 402mm・35 日、R6 年で 219mm・17 日だった。R6 年は緑肥すき込み時から土壌が乾燥気味で、その後キャベツ定植まで降雨はなく、畝立て時には土埃が発生するほどであった。その後、8 月 20 日の定植直前から 8 月末までにかけてまとまった降雨があったものの、9 月 1 か月間の降水量は 21mm と極端に少なかった。一般的に土壌が湿潤状態の方が有機物の分解がすすむため、本年は緑肥由来の窒素やカリが土壌に供給されにくい条件であったと考えられた。

キャベツの生育については、生育中の最大葉身長葉幅・葉の硝酸態窒素濃度などを計測したが、緑肥の有無による差は認められなかった（図 3～5）。収量については、基肥量が多いほど高まる傾向が見られたが、緑肥の有無による増収効果は認められなかった（図 6）。また、収穫物の規格別割合については、基肥量が多いほど 700g 未満の規格外球が少なく、可販物（L 球、M 球、S 球）の割合が高まるが、緑肥の有無の規格割合への影響は判然としなかった（表 5）。本年は平年と比べて高温であったことから生育が早まり、昨年と比べて収穫時期は 1 週間程度早かった。生育期間中の降水量が少なかったため根から水を十分に吸えず、球は小さいが、生育自体は早まっていたため、獲り遅れると裂球の恐れがあった。大きな球を作るために重要な 9 月の生育期に少雨となり、根からの吸水が絞られたことで、追肥の吸収が制限され、昨年と比較して基肥量が収量に大きく影響を及ぼしたと推察された。

9. 問題点と次年度の計画

本県のキャベツの反収目標が $4.5t/10a$ とされる中、令和 5 年は天候が良好で多収量の $6.0t/10a$ （慣行区）、令和 6 年は極端に雨が少ない状況で低収量の $3.5t/10a$ （慣行区）であった。本年はクロタリアのすき込みがキャベツ収量へ及ぼす影響について確認することができなかったが、本年のような極端な少雨条件では緑肥の肥料的効果を得られない可能性があるという知見が得られた。少雨条件下で緑肥の肥効を発現させるためにはすき込む深度を深めるなどの対策が必要かもしれない。また、緑肥の活用については 1～2 年の短期間での効果ではなく、長期間施用した場合の影響を確認していく必要があると考えられた。

10. 参考写真



クロタラリア播種 13 日後 (6/24)



クロタラリア播種 48 日後 (7/29)



クロタラリア細断 (7/31)



キャベツ定植 50 日後 (10/9)