

「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3t/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ま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壤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
1. 試験（実証）場所	滋賀県農業技術振興センター内圃場
2. 試験（実証）方法	
(1) 供試機械名	KOBASHI フレールモア FF180
(2) 試験（実証）条件	
ア. 圃場条件	水田圃場 5a ※畑地固定して8年目
イ. 栽培等の概要	
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）
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30cm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耘した後、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35cmでキャベツを定植した。
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

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、ラッソ一乳剤（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畠間を中耕(2回目)
病害虫防除	ジュリボフロアブル（8月 20 日）、カスケード乳剤（9月 3 日）、プロフレア 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）、アフェットフロアブル（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

・土壤分析

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

・土壤の三相分布、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壤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

・土壤水分の測定

9月10日、9月17日、9月24日にキャベツ畠の体積含水率をハンディタイプの土壤水分センサー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

・土壤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

畠長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、交換性カリ、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ラリア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か月後までの畠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50cm×5か所、計250cm分の緑肥地上部の重量を計測し、条間30cm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

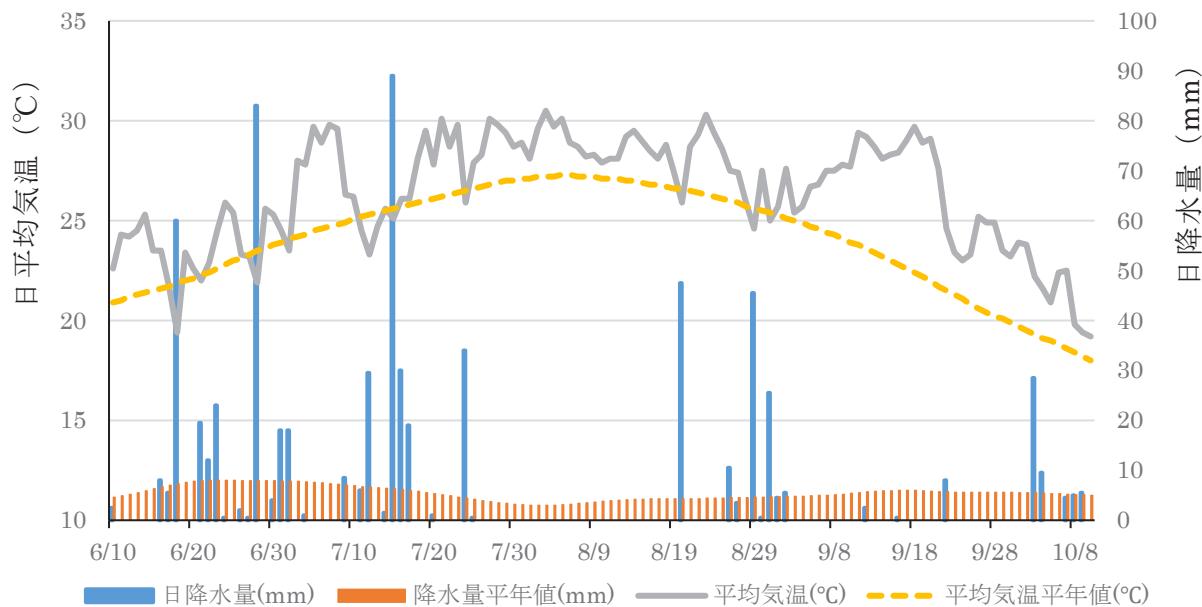


図1. 東近江アメダスの日平均気温および日降水量 (R6年 6/10～10/10)

表1. 土壤分析結果

測定項目	単位	緑肥播種前 (6/3)		キャベツ 定植前 (8/19)		基準値
		前年緑肥 あり	前年緑肥 なし	緑肥あり	緑肥なし	
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

測定項目	単位	キャベツ収穫直後 (10/23)					
		慣行		3割減		5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
pH		5.9	5.9	6.1	6.1	6.5	6.6
EC	mS/cm	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
アンモニア態窒素	mg/100g	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9
硝酸態窒素	mg/100g	6.3	7.5	3.6	3.0	2.6	1.7
有効態(可給態)リン酸	mg/100g	32.1	35.8	27.4	38.0	26.3	30.9
交換性加里	mg/100g	30.5	35.2	19.3	28.8	21.3	21.4
腐植	%	3.9	3.6	3.7	3.8	3.5	3.9

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

表2. 土壤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
液相率 (%)	35.4	34.3	20.6	27.9	24.4
固相率 (%)	45.8	49.5	45.1	49.8	45.1
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. 土壤水分の推移

	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。

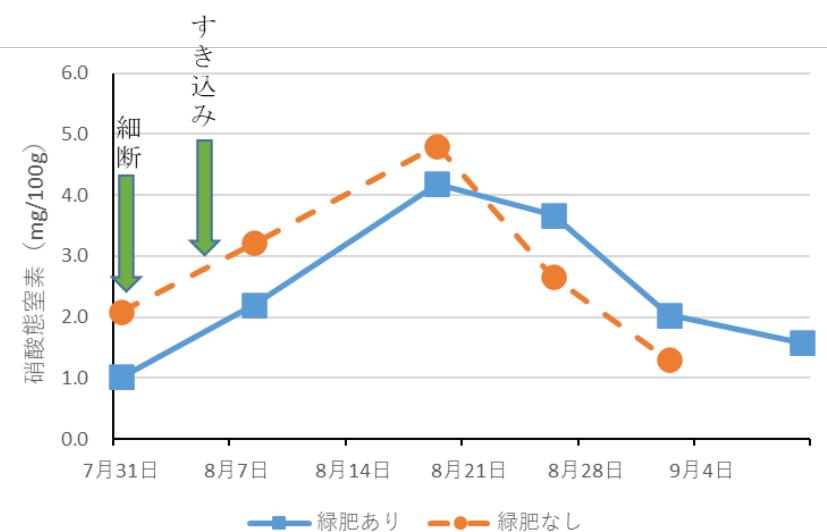
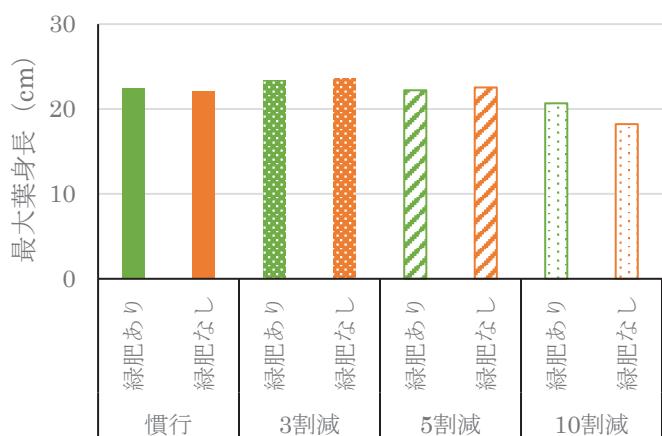


図2. 土壤中の硝酸態窒素濃度の推移

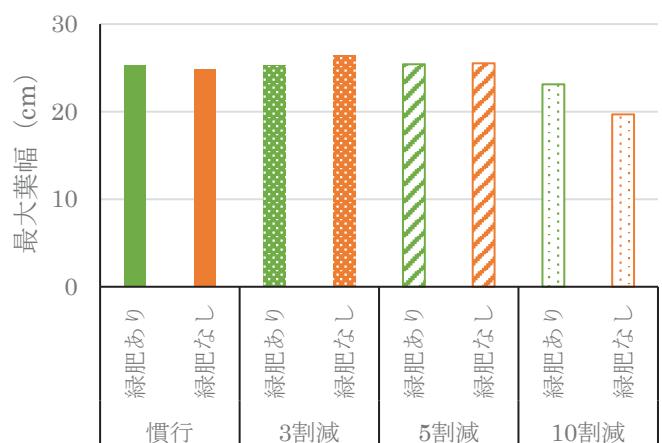


分散分析結果

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)

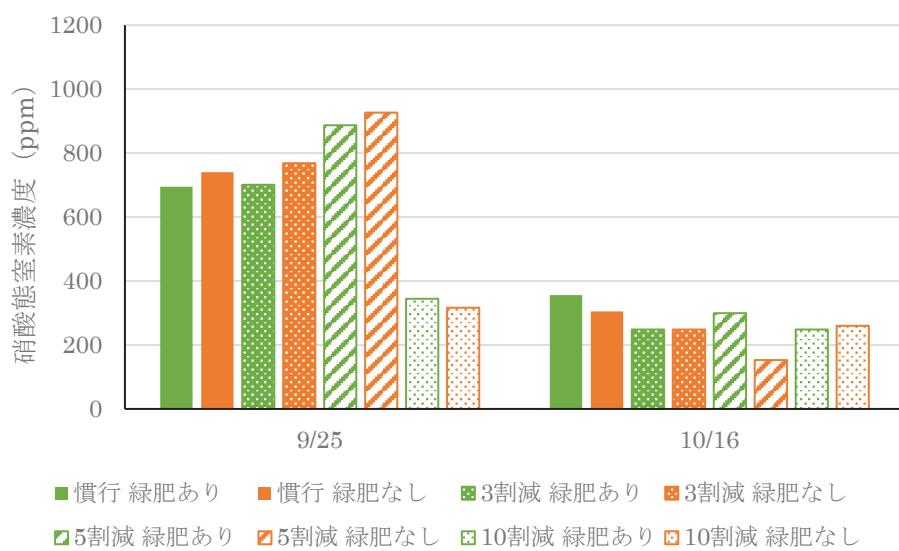


分散分析結果

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)

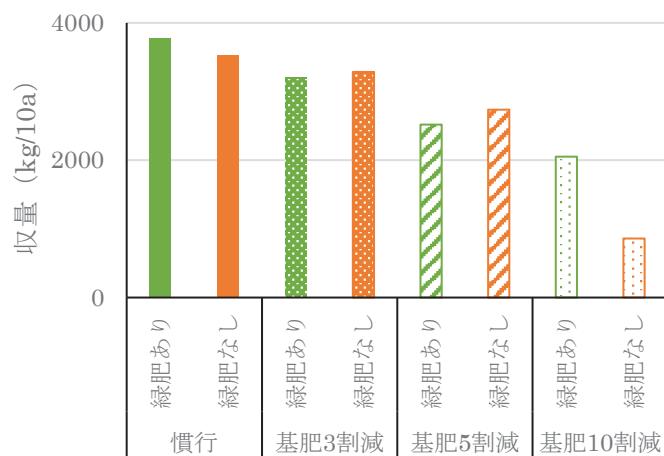
要因	p値	判定
基肥量	0.000831	* * *
緑肥有無	0.616	ns
交互作用	0.945	ns

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 35 cm 2条植で 1000 m² (10a)あたり 3800 本の植栽株数。試験区 6 m²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1ha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480m²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480m²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壤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15.0kgN/10a、4.6kg

$P_2O_5/10a$ 、 $15.5kg K_2O/10a$ となった（表 4）。しかし、すき込み後の土壤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）、土壤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）。土壤物理性については、緑肥のすき込みあるいは、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、土壤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つ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壤が乾燥気味で、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 と極端に少なかつた。一般的に土壤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壤に供給されにくく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つた（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、緑肥の有無による增收効果は認められなかつた（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つた（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 週間程度早かつた。生育期間中の降水量が少なかつ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つた。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、追肥の吸收が制限され、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。本年はクロタラ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つたが、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)