

委託試験成績（令和7年度）

担当機関名 部・室名	長崎県農林技術開発センター 畑作営農研究部門 干拓営農研究室
実施期間	令和7年度～8年度、新規
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	バイオ炭散布における作土層の透水性および通気性改善効果ならびに露地野菜作への効果検証
目的	<p>バイオ炭は、土壌の透水性、保水性、通気性を改善する効果が認められている土壌改良材である。</p> <p>J クレジット制度では、農地にバイオ炭を施用することで、難分解性の炭素を長期間土壌に固定し、これにより炭素貯留量をクレジットとして認証できるようになった。</p> <p>本研究では、バイオ炭の圃場への投入方法が作土層の透水性および通気性に及ぼす影響を明らかにする。併せて、同一圃場においてブロッコリーの栽培試験を行い、露地野菜生産における生育、収量および経営性への影響を評価する。</p>
担当者名	専門研究員 宮寄朋浩
<p>1. 試験場所 長崎県諫早市中央干拓 諫早湾干拓 長崎県農林技術開発センター畑作営農研究部門干拓営農研究室圃場 (灰色低地土)</p> <p>2. 試験方法</p> <p>1) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件 海成沖積土壌 (灰色低地土) 前作: 飼料作物 (グリーンソルゴー)</p> <p>イ. 栽培等の概要</p> <p>品種名: ブロッコリー (品種: おはよう)</p> <p>育苗 播種 令和7年8月12日 128穴トレイ、16トレイ 育苗培土 与作 N-150</p> <p>耕起 令和7年6月24～25日</p> <p>バイオ炭搬入 令和7年8月5日</p> <p>バイオ炭投入 令和7年8月27日</p> <p>耕うん・整地 (バイオ炭混和) 令和7年8月28日</p> <p>施肥・整形 令和7年9月3日</p> <p>施肥量: N=2.4kg/a (硫安 21%) 基肥 N=1.8kg/a、 成形: 畦幅 140cm、畦上部 100cm</p> <p>定植 令和7年9月8日</p> <p>栽植様式: 畦幅 70 cm、株間 35 cm、1 畝 1 条植え (4,080 株/10a)</p> <p>成形した平高畝を 1 回目の中耕の際に中央部を歩行型管理機で培土して 2 畦に再成形した。</p> <p>追肥中耕培土 令和7年9月22日 (定植後 2 週目、1 回目)、 令和7年10月6日 (定植後 4 週目、2 回目) 追肥量 N=0.3kg/a×2回</p> <p>病虫害防除 随時</p> <p>収穫調査 令和7年11月17日～12月11日 (調査回数8回)</p>	

2) 試験方法

バイオ炭施用試験：バイオ炭の施用は令和7年8月27日に行い、以下の3つの試験区を設定した。

(1) 試験区 目標投入量：1 t/10a (図1) 最終投入量 830kg/10a

(2)

- a. 表面散布区：マルチスプレッダ（デリカ）を用いてバイオ炭を圃場全面に散布後、ロータリーで土壌と混和した（目標耕深 15cm）。
- b. 削溝充填区：削溝充填機（モミサブロー）を用いて、作土層下部（目標深度 20cm）にバイオ炭を帯状に投入した。
- c. 対照区（バイオ炭無投入）：バイオ炭を施用せず、通常の耕起のみを実施した。

(2) 供試機械：表面散布：マルチスプレッダー（デリカ DMS-1035R）

削溝充填：削溝充填機（モミサブロー）（スガノ M451ABP）

原動機：自動操舵装置付きトラクター（YT333R、YT465A）

(3) 作業能率試験：各作業の作業幅、作業速度、作業時間等から圃場作業量（a/hr）ならびに圃場作業効率（%）を算出する。

(4) 作業精度調査：表面散布は炭回収用の容器（縦 24cm、横 11.5cm、高さ 12.5cm）を用い、1工程（散布幅 6.0m）に5箇所のサンプリングを行い、バイオ炭散布量を測定する。削溝充填は、用いたバイオ炭の量と施工距離から投入量を計算する。

(5) 土壌試験：

- a. 土壌水分・EC：土壌水分センサー（5TE）を深度 5cm と 15cm にセンサー部分が水平方向で設置し、令和7年9月17日から12月11日まで1時間ごとに自動記録を行った。
- b. 土壌物理性：11月10日（収穫調査終了後）に採土管を用いて株間の畝上部から深さ 5～10cm の土壌を採取し、三相分布および透水係数を測定した。

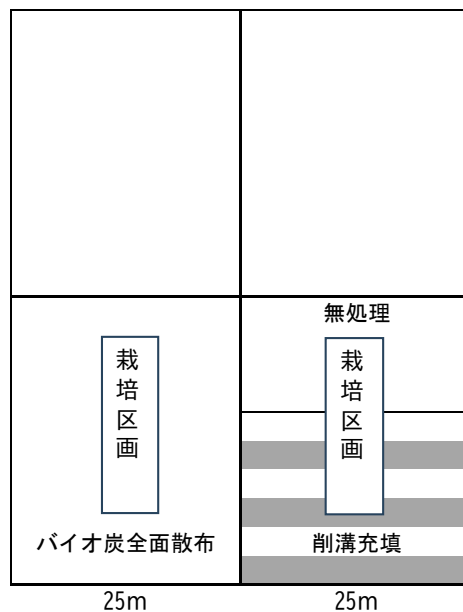


図1 試験圃場概要

栽培試験

- (6) 初期生育：定植 2 週間後に、各区 25 株を対象に葉数と最大葉長を測定した。
- (7) 中期生育：令和 7 年 10 月 28 日に、茎長と最大葉長を測定した。
- (8) 出蕾調査：各区の出蕾率（出蕾株数/残存株数）を複数回にわたり調査した。
- (9) 収穫調査：最低花蕾径 12cm（L 規格）以上に達した株を随時収穫し、収穫日、花蕾数、花蕾重量を記録し、積算温度と累積収穫割合の関係を分析し、収穫の早晚性および集中度を評価した。

4. 主要な成果の具体的データ

ア. バイオ炭投入試験

a. 資材の状況

今回供試したバイオ炭は、体積含水比が 84%~148%とフレコン間で違いが見られた（データ省略）。これはバイオ炭がセンターに到着後、屋外で保管したため降雨や冠水によってフレコン内のバイオ炭の水分が増えたためと考えられた。

バイオ炭の投入試験において、表面散布ではバイオ炭の水分は大きく影響しなかったが、削溝充填では、フレコンによってはモミサブローのホッパー内でブリッジが生じてしまい、そのバイオ炭の体積含水率は 145~149%と高い状態であった。

b. 作業能率

- 表面散布：試験箇所の圃場幅が 25m であったため、作業幅 6 m では 4 行程（作業幅 24m）で対応した、バイオ炭 1 t/10a の投入には合計 22 工程が必要であった。10a あたりの作業時間は 41.6 分（圃場作業量 14.4a/hr、圃場作業効率 30.1%）であった（表 1）。供試した機械の散布口は地上高 60cm の位置でマニュアルスプレッダー等に比べ地面に近いところで散布できたことと当日の平均風速は 1.8m/s と風が少なかったため、圃場外へのバイオ炭の飛散はほとんど認められなかった（写真 4）。

今回用いた 500kg フレコンのバイオ炭を 1 回でホッパーに投入できたが、ユニック車の所に補給のために戻らなくてはならず、圃場作業効率は低くなった。

- 削溝充填：バイオ炭がホッパーの中でブリッジを形成し、落ちなくなるトラブルが発生した。そのため、5.0m 間隔 16 本の施工から 2.5m 間隔 4 本に変更した。

この作業調査の結果から求めた 10a あたりの作業時間は 38.9 分（圃場作業量 15.4a/hr、圃場作業効率 45%）となった（表 2）。今回供試したモミサブローのホッパー容量ではフレコン 1 袋分のバイオ炭は 2 回に分けて投入するため、フレコンの出口の結びなおし等で時間がかかってしまった。

表1 表面散布の作業能率

作業名	バイオ炭表面散布	
ほ場区画		
縦	m	40
横	m	25
作業面積	m ²	1000
作業速度	m/s	1.17
作業幅	m	6.25
工程数	回	22
作業時間		
作業	分	12.5
旋回	分	8.6
補給	分	9.1
移動	分	11.4
合計		41.7
有効作業量 ^z	a/hr	47.9
圃場作業量	a/hr	14.4
圃場作業効率	%	30.1

z:本作業は4工程で圃場散布1回となるため、通常の有効作業量を5.5(=全22工程/4)で除したものをを用いる

表2 削溝充填の作業能率

作業名	バイオ炭削溝充填	
ほ場区画		
縦	m	20
横	m	20
作業面積	m ²	400
作業速度	m/s	0.19
作業幅	m	5.00
工程数	回	4
作業時間		
作業 ^z	分	7.0
旋回	分	1.3
補給	分	5.4
移動	分	1.9
合計		15.6
有効作業量 ^z	a/hr	34.2
圃場作業量	a/hr	15.4
圃場作業効率	%	45.0

z：パーク炭が詰まらなかった工程の作業時間をもとに計算

c. 作業精度

○ 表面散布

バイオ炭散布時に1往復あたり10点、3反復で散布した炭の量を測定した。回収地点および調査回数でそれぞれ有意差 ($p<0.01$) は見られたものの、作業終了後、試験区的に全体的には均一に散布が確認できた (表3)。

表3 表面散布での炭の回収量 (g)

位置番号	1回目	2回目	3回目	平均
1	6.31	0.22	4.47	3.67
2	0.07	1.91	3.41	1.80
3	3.97	2.82	2.51	3.10
4	0.04	2.62	5.92	2.86
5	0.06	2.85	2.1	1.67
6	8.5	3.18	7.43	6.37
7	0.12	14.55	4.55	6.41
8	4.48	1.5	5.12	3.70
9	0.03	2.97	7.12	3.37
10	0.04	NA	0.7	0.37
合計	23.58	32.62	42.63	32.94

○ 削溝充填

施工後を断面調査したところ、圃場表面から20cmの深さに、幅5cm深さ20cmでバイオ炭の充填が確認できた。

イ. 栽培試験

a. 栽培期間中の気象概況

定植直後の初期生育期は、ブロッコリーの生育適温 (18~20°C) を大幅に上回る高温に加え、降水量は平年より少ない24.0mmに留まり、追加の灌水が必要となる厳しい乾燥環境となった。続く花芽分化期には、気温が生育適温帯へと移行し、健全な花芽分化に好適な条件となったが、期間中には集中豪雨も見られた。花蕾肥大期から収穫期にかけては、理想的な低温・乾燥条件となり花蕾の形成を後押しした (図2、3)。

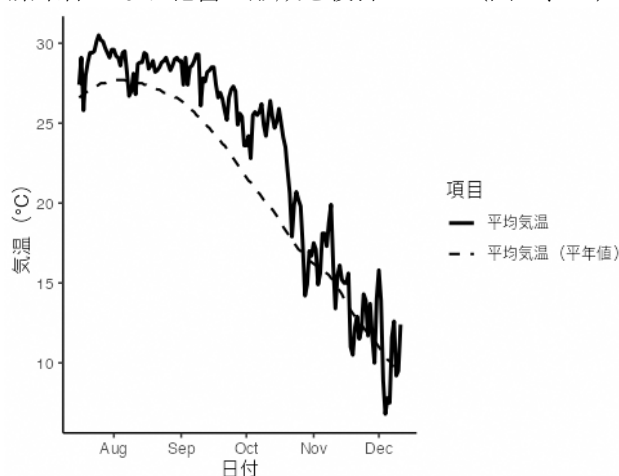


図2 栽培期間中の日平均気温の推移

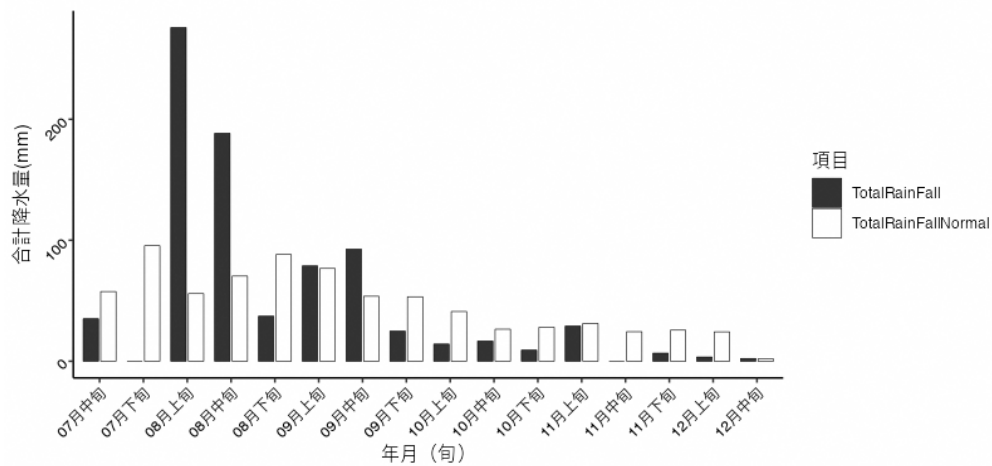


図3 栽培期間中の旬別降水量

b. 生育調査

定植後の高温・乾燥ストレス下において、各区の活着率（調査株数/定植株数）には差が見られた（表面散布区：81.4%，削溝充填区：55.6%，対照区：52.2%）。ピアソンのカイ二乗検定の結果（ $p=0.0585$ ）は統計的な有意水準（ $p<0.05$ ）には達しなかったものの、表面散布区で残存率が明らかに高い傾向が示された。

定植2週間後（9月25日）の生育調査では、Tukey HSD 検定の結果、表面散布区の葉数（平均5.86枚）と最大葉長（平均9.1 cm）が、他の2区（削溝充填区、対照区）と比較して有意に大きいことが確認され、初期生育の優位性がデータで裏付けられた。初期生育の差は、栽培中期においても維持・拡大した。10月28日の生育調査では、表面散布区の生育が他の区を有意に上回る結果となった。

表4 各試験区の活着率

試験区	定植株数 (株)	活着数 (株)	不活着数 (株)	活着率 (活着数/定植株数) (%)
表面散布区	285	232	53	81.4
削溝充填区	205	114	91	55.6
無処理区	205	107	98	52.2

表5 生育調査

調査日	9月25日		10月28日	
	葉数 (枚)	最大葉長 (cm)	茎長 (cm)	最大葉長 (cm)
表面散布区	5.86 a ^z	9.1 a	17.9 a	51.6 a
削溝充填区	4.86 b	7.37 b	14.5 b	46.4 b
無処理区	4.76 b	6.67 b	13.2 b	43.8 b

z：異なる文字は危険率5%で有意差あり（TukeyHSD）

c. 出蕾調査

出蕾調査においても表面散布区の出蕾率が最も高く推移した。一方、削溝充填区は対照区と同程度の進捗であった（図4）。

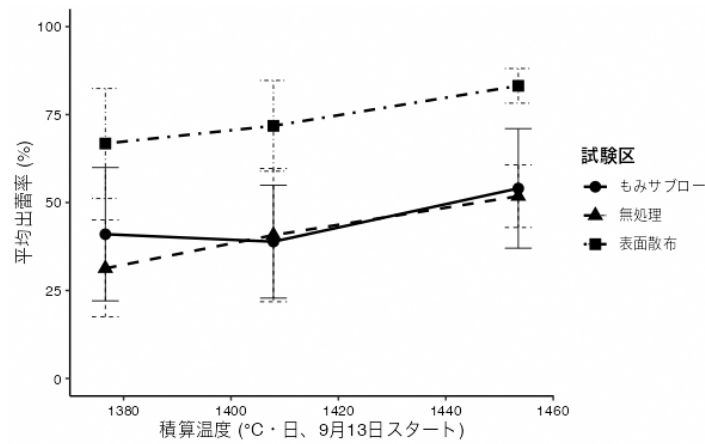


図4 各試験区の積算温度と出蕾率

d. 収穫調査

積算温度と累積収穫割合の関係を分析した結果、施用方法による収穫パターンの違いが明確になった。

表面散布区では、対照区に比べて収穫が早期に開始され、かつ短期間に集中した。一方で、削溝充填区の収穫パターンは対照区と大きな差は見られなかった（図5）。表面散布区では収穫が前倒しされたにもかかわらず、外品率が低く、高い品質が維持されていた（図6）。

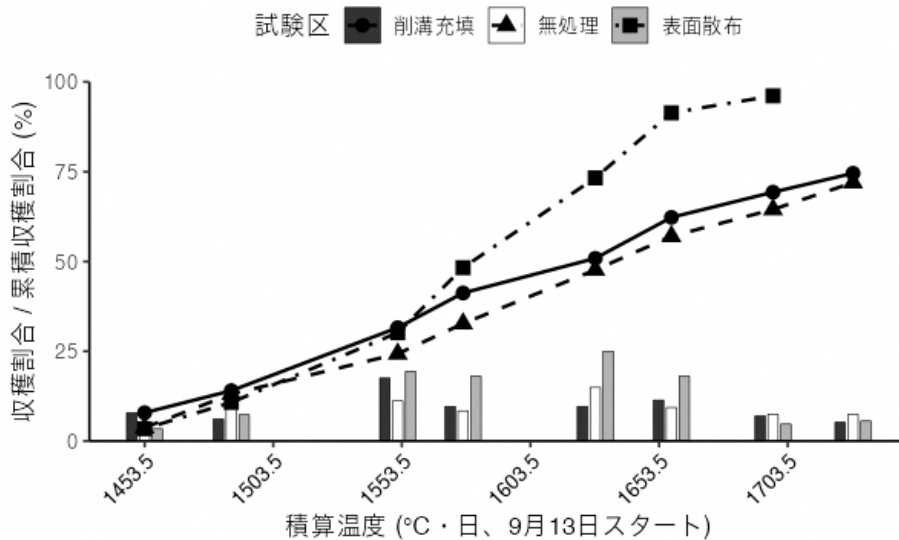


図5 各試験の収穫時の積算温度と累積収穫割合

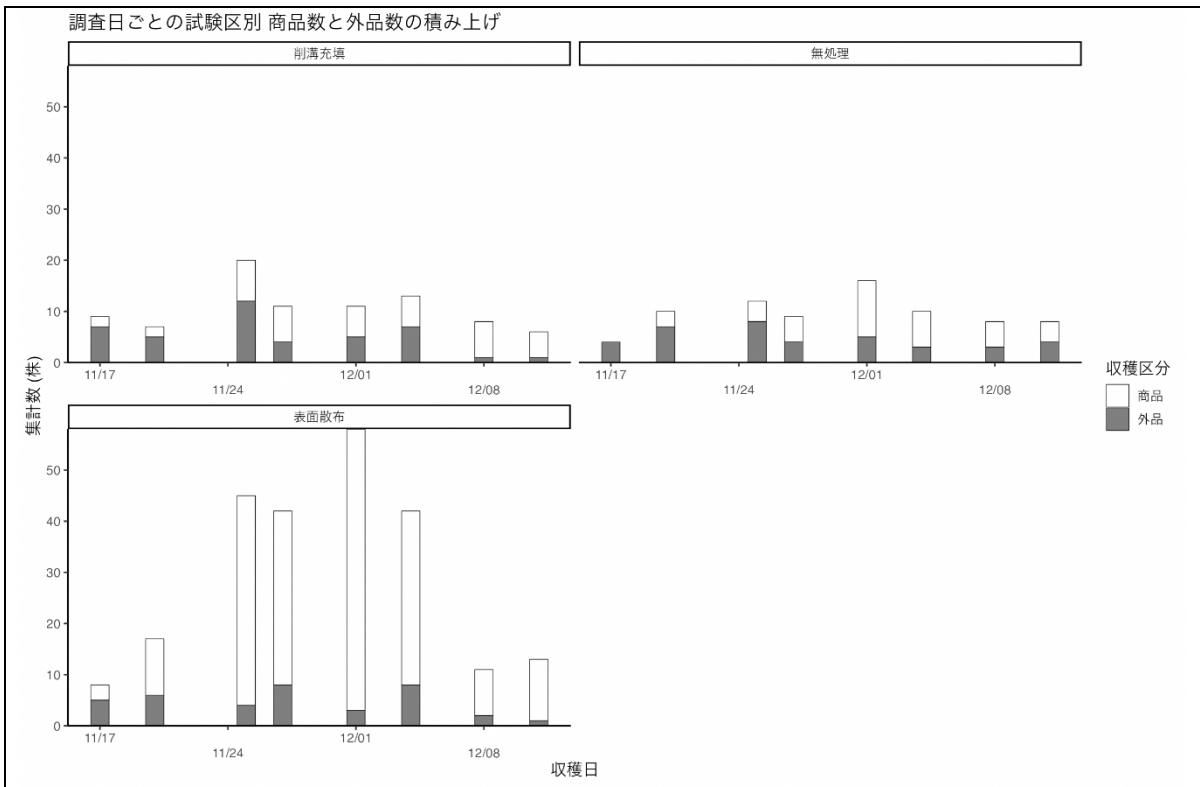


図6 調査日毎の収穫数と外品数

e. 10aあたり収量

10aあたりの商品収量は表面散布区が1431.7kgと最も高く、無処理区(772.2kg)や削溝充填区(841.1kg)を大きく上回った(表5)。これは表面散布区において生存株数(残存率81.4%)が確保されたことが要因と考えられる。一方、他2区は生存率・商品化率ともに低迷し、欠株と生育不良の両面が収量を抑制する結果となった。

表6 10aあたり収量

試験区	栽植密度 株/10a	残存率 %	総収量 kg/10a	商品収量 kg/10a	商品化率 %
表面散布	4080	81.4	1431.7	1201.0	83.9
削溝充填	4080	55.6	841.1	395.6	47.0
無処理区	4080	52.2	772.2	385.8	50.0

注：10a収量=(調査区の合計重量/調査区の全株数) × (4080株 × 残存率) ÷ 1000

f. 栽培期間中の土壌環境

畝内(畦面5cm)と畦下部(畦面15cm)に土壌センサー(5TE)を設置して栽培期間中の土壌水分(体積含水率)と土壌EC(電気伝導度)を記録した。その結果を時系列に示した(図7、8)。

畝内の土壌水分はバイオ炭を投入することで、無処理に比べて低く推移し、特に降雨等のイベントの後は速やかに土壌水分が低下した。畦下部の土壌水分の変化は無処理と大きな差は見られなかった。土壌ECは、表面散布区は無処理区に比べて畦内部、畦下部とも栽培期間中有意に高い値を示した。また、削溝充填区は無処理に比べて常に低い値を示した。土壌水分(体積含水率)とECは、深度5cmおよび15cmの両方において、全試験区間で統計的に有意な差(p

く 0.001) が認められた (ウィルコクソン符号順位検定)。
 本試験結果から、バイオ炭の施用方法が土壤水分動態に影響を与えることが示唆された。

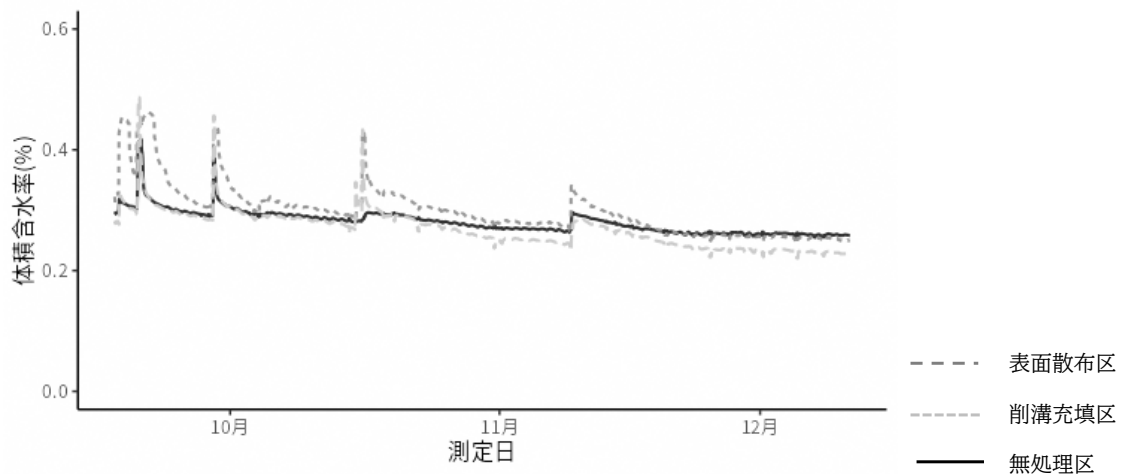
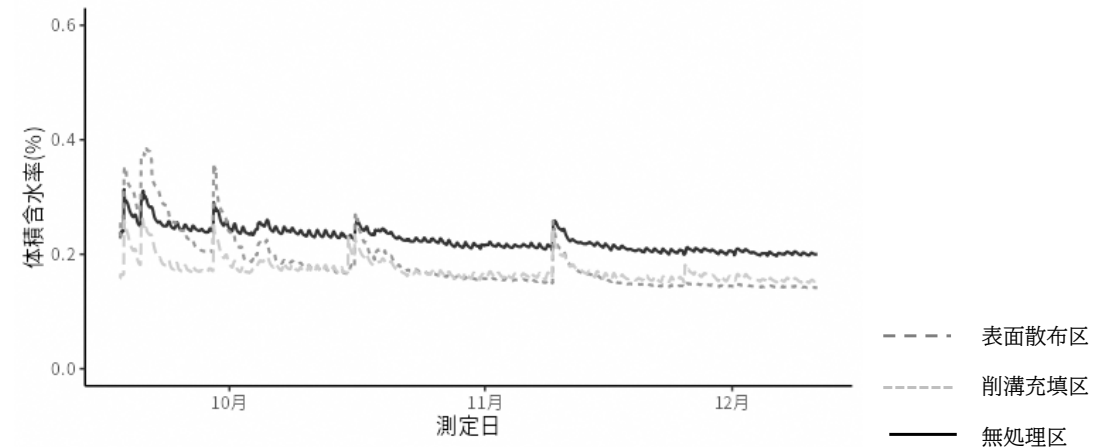
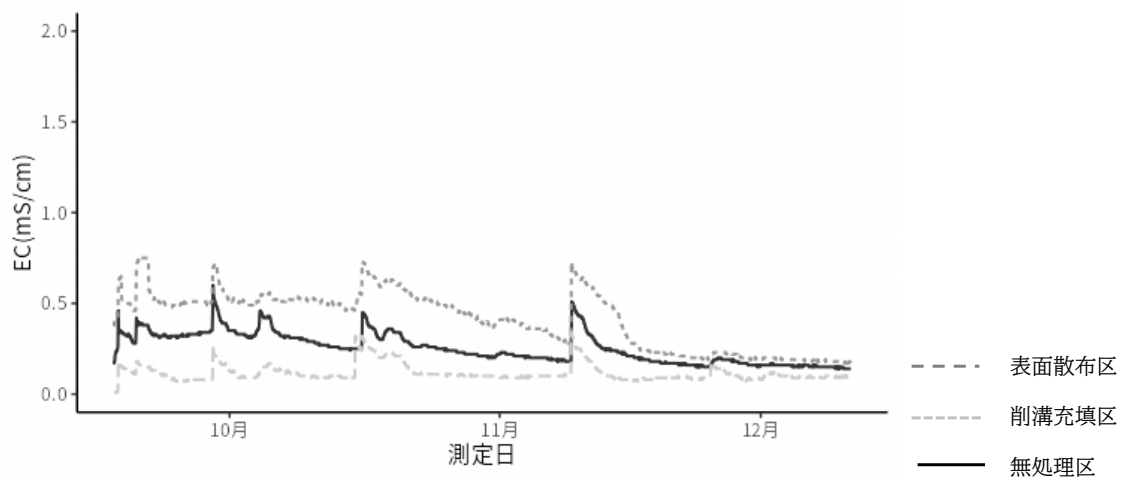


図 7 栽培期間中の土壤水分 (体積含水率) の変化 (上: 深さ 5cm、下: 深さ 15cm)



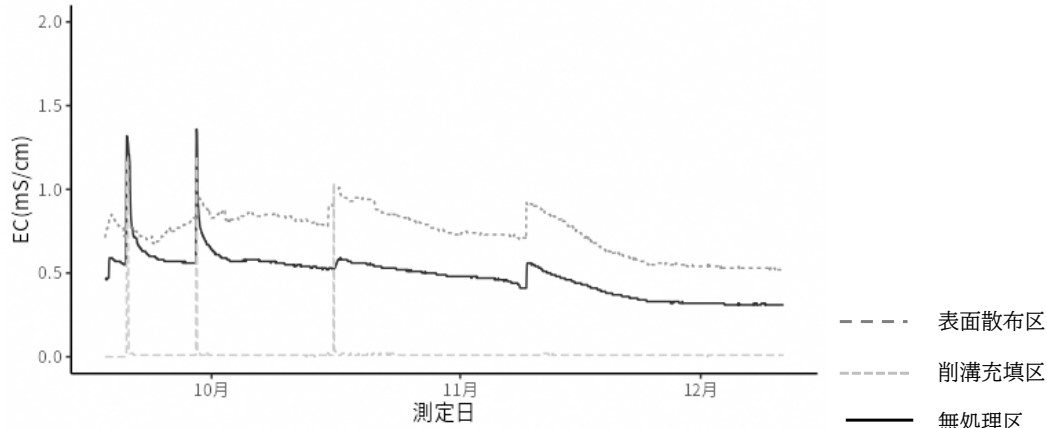


図8 栽培期間中の土壌 EC の変化 (上: 深さ 5cm、下: 深さ 15cm)

栽培終了後の土壌物理性

表面散布でのバイオ炭の施用により、栽培跡地土壌の固相が有意に低下し気相および孔隙率が有意に高まった。また、飽和透水係数も有意に向上した。一方、仮比重や有効水分には有意な差は認められなかった (表 7)

表 7 栽培跡地土壌の物理性

	仮比重 (g/ml)	三相分布(%/100ml)				保水性(%/100ml)				有効水分(%/100ml)		飽和透水係数 (cm/sec)
		固相	液相	気相	孔隙率	pF1.5	pF2.0	pF2.7	pF3.0	pF1.5-2.7	pF1.5-3.0	
表面散布	0.84	42.1	41.8	16.2	57.9	44.0	42.4	39.4	38.5	7.2	8.0	1.5E-02
無処理	0.86	45.6	43.0	11.4	54.4	46.4	45.0	42.0	41.2	7.1	8.0	6.7E-03
t検定	ns	*	ns	*	*					ns	ns	*

t検定は、* 5%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す

5. 経営評価

今回の試験結果をもとに、秋作前に行うバイオ炭散布にかかるコストを求めた (表 8)。

長崎県の梅雨明け (平年 7月 20日 ごろ) からブロッコリー定植が始まる 9月上旬までに圃場へのバイオ炭投入を行うと仮定すると、総作業時間は 294 時間確保できる。この期間の作業可能面積は、表面散布は 42.42ha、削溝充填は 45.30ha となる (表 9)。

10a あたりの総コストは、表面散布区で 2982 円/10a、削溝充填区で 2619 円/10a となった (表 10)。

表 8 経営評価 (前提条件)

項目	値	備考
作業期間	60日間	7月下旬~9月上旬
作業可能日数率	70%	
1日あたり作業時間	7時間	
総作業時間	294時間	
機械購入費 ^z		
マルチスプレッダー	1,683,000円	
モミサブロー	1,089,000円	
償却期間	7年	
人件費		
オペレータ	2,000円/時	計算のため仮定
補助者	1,500円/時	計算のため仮定

^z: 機械のカタログより希望小売価格 (税込み) を使用

表9 経営評価（作業可能面積）

	10aあたり作 業時間 (時間/10a)	期間中作業 可能面積 (ha)
表面散布	0.69	42.42
削溝充填	0.65	45.30

表10 経営評価（10aあたりの総コスト）

投入方法	機械購入費 (円)	年間償却費 ^z (円/年)	固定費 (円/10a)	人件費 (円/10a)	総コスト (円/10a)
表面散布区	1,683,000	240,429	567	2,415	2,982
削溝充填区	1,089,000	155,571	344	2,275	2,619

z：機械の償却年数は7年で計算

6. 利用機械評価

表面散布に用いた「マルチスプレッダー」は、コントローラによる散布量の調節が可能であり今回の作業（作業幅6m、散布距離25m×2往復）で500kgフレコンのバイオ炭を散布できるよう調整したところ、過不足なしで散布を完了できた。2連のディスク式での散布であり、散布資材の大きさが問題になることはなかった。散布口は地上高50cm程度で下方向への散布であったため、風による圃場外への飛散は見られなかった。

削溝充填に用いた「モミサブロー」はホッパー内のバイオ炭をスクリーンで土壌内部に作成した溝に押し込む機械である。土壌内部には施工幅4cm、深さ20cm程度にバイオ炭が充填されていた。炭の水分（体積含水比）が85～100%程度の時は問題なく施工できたが、炭の水分が手で握ると固まるような高水分状態（本試験では145%）では、ホッパー内のスクリーンが回転すると回転部分の炭が落ちた後、それ以外の炭が固まってスクリーン部分まで落ちず、炭の充填ができなかった。このことから用いる炭の状態はマルチスプレッダーよりもシビアであると考えられた。また、ホッパー容量が0.45m³と500kgフレコンのバイオ炭を一度に投入できなかったため、ホッパー容量の拡大（枠をつけるなど）も検討する必要があると考えられた。

両機種とも作業の際に直進アシスト付きトラクタを用いたことで、表面散布では散布幅のズレがなく、ほぼ均一なバイオ炭散布ができた。削溝充填では設定した位置へのバイオ炭投入が確認できた。いずれも機械の直進性が作業精度に関係することから、作業精度の向上ならびにオペレータへの負担が少なかったと考えられた。

7. 成果の普及

次年度の結果と合わせて、バイオ炭投入の基礎資料として長崎県農林業研究成果情報として公表の予定

8. 考察

バイオ炭投入の方法によってブロッコリーの生育及び収量に影響があると考えられた。表面散布区では対照区（無処理）に比べ、ブロッコリー収穫の早期化と品質の向上が見られた。この要因として、栽培畦内の土壌水分および EC が安定的に維持されたことにより、生育促進に加え、花蕾径性が健全に進んだ可能性が考えられた。削溝充填区は処理区と比較して、商品収量の割合がわずかに高い傾向が見られた。バイオ炭の削溝充填を行うことで、収穫時期を大きく早める効果はなかったものの、病害虫や生理障害（形状不良など）に対する耐性或生育環境を改善し、結果的に品質を維持する効果があった可能性が考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

バイオ炭の表面散布区における初期生育促進の要因について、今年度調査した土壌水分、ECに加えて pH 等の要因等、効果発現のメカニズムを解明するための追加調査が必要である。本結果は単年度の結果であり、バイオ炭の土壌改良効果の持続性については未検証である。次年度は今年度表面散布を行った圃場に再度バイオ炭を投入する連続施用圃場を作り、バイオ炭のブロッコリー収量・品質への長期的な影響や、土壌への影響を評価する。

今年度計算した投入のためのコストに加え、バイオ炭の資材費、ブロッコリー栽培の収益性等を総合的に勘案した経営評価を行う。

10. 参考写真



写真1 マルチスプレッダー
(デリカ_DMS-1035R)



写真2 モミサブロー
(スガノ_M451ABP)

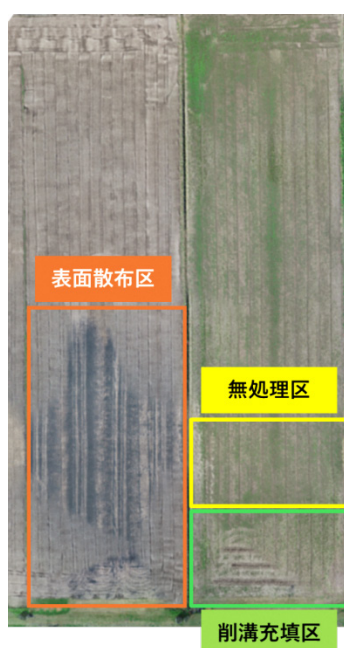


写真3 試験圃場
(令和7年8月27日撮影)



写真4 表面散布作業後の圃場



写真5 モミサブローのホッパー内で
生じたブリッジ



写真6 削溝充填後のバイオ炭