

4 個別技術の紹介

(1) エダマメ～後作コカブ

ア 栽培概要

- 品種 エダマメ ‘湯あがり娘’(カネコ)、コカブ ‘白鷹’(武蔵野)
- 試験場所 農業技術センター (平塚)
- 播種日 ①エダマメ：4月下旬、②コカブ：9月上旬
- 栽植様式 ①エダマメ：ベッド幅 100cm、畝間 180cm、条間 40cm、株間 30cm、2条千鳥、2粒/穴
②コカブ：ベッド幅 100cm、条間 15cm、株間 10cm、6条、1粒/穴
- 栽培管理 ①エダマメ：4月下旬にマルチを展張し、7月上旬に収穫を行った。
②コカブ：エダマメ収穫後、8月上旬に生分解性マルチをすき込み、後作としてコカブを9月上旬に播種し、10月下旬に収穫した。圃場を固定し、エダマメ～コカブを4連作した。
- 分解酵素 分解酵素 PaE は、エダマメ収穫後の7月下旬に生分解性マルチ表面に処理した(濃度：6 U/ml、散布量：120mL/m²)。処理2日後に回収したマルチを切片(7×5cm)に加工し、市販のシイタケネットに入れて、8月上旬に地下 10cm に埋設し、1か月ごとに回収した。また、埋設する圃場に牛ふん堆肥 (2 t/10a)を施用する処理区を設け、同様にマルチ切片を地下 10cm に埋設した。
- 施肥量 ①エダマメ：10a 当たり石灰肥料を 100kg、全量基肥として成分量 N：P₂O₅：K₂O=10：15：10kg を施用した。
②コカブ：基肥として成分量 N：P₂O₅：K₂O=10：12：10kg、追肥として成分量 N：P₂O₅：K₂O=5：0：5 kg、合計で成分量 N：P₂O₅：K₂O=15：12：15kg を施用した。

イ エダマメの生育及び収量

- 生分解性マルチと酵素を組み合わせることで4年連作したところ、エダマメの生育及び収量は、慣行の農ポリマルチと概ね同等であった。このことから、酵素処理した生分解性マルチをすき込み連作しても、エダマメの生育及び収量に影響を及ぼさないと考えられた (図9、表1)。



図9 エダマメ生育状況 (撮影：2023年6月13日)

左：生分解(キエ丸)、中央：生分解(ビオフィレックスマルチ)、右：慣行(農ポリマルチ)で生育状況は同等。

表1 4年連作エダマメの収穫物特性

試験区	処理			主茎長 (cm)	着莢数 (個/株)	可販莢重 (g/株)	可販莢割合 ^z (%)	3粒莢割合 ^z (%)	2粒莢割合 ^z (%)	可販収量 ^y (kg/10a)
	連作	酵素処理	すきこみ							
キエ丸	有	有	有	52.7	40.4	104.0	98.6	47.2	42.5	770.3
キエ丸	有	無	有	51.7	40.3	103.1	98.6	48.5	41.7	763.6
農ポリマルチ	有	無	無	51.6	39.8	102.3	98.7	48.3	43.1	757.5
有意差				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

収穫調査：2023年7月5日。^z重量割合。^y栽植密度7,406本/10a(畝間180cm,株間30cm,条間40cm,2条,2粒播種)として莢収量を算出した。可販収量は一元配置分散分析において有意差なし。

- 生分解性マルチの耐久性は、資材のタイプや厚さにより差があり、用途に合ったものを選ぶ必要がある。一般的に地際から分解してくるが、栽培中に剥がれることはなかった。ただし、収穫後にエダマメがなくなると、強風時などで剥がれ、千切れて飛散があった（図10、図11）。



図10 栽培中のマルチ耐久性
(撮影：2022年5月27日)
暴風雨翌日(9m/秒)

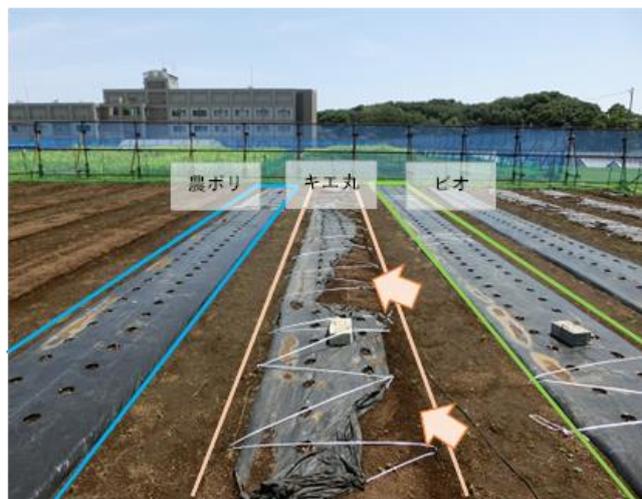


図11 栽培後のマルチ耐久性
(撮影：2022年7月22日)

ウ 分解酵素の効果

- 酵素処理の翌日、マルチ表面の亀裂が確認された(図12)。
- エダマメ栽培後の生分解性マルチは、小型耕運機ですき込んだ。1回目の耕耘では、土壌表面にマルチ断片が散見されたが、2回目の耕耘でほとんど見えなくなった。ロータリに巻き付くマルチ断片は、酵素処理区で少ない傾向がみられた（図13）。
- 土壌内におけるマルチ分解程度は、メッシュバッグ法⁶⁾により埋設処理し、回収したフィルムの面積や周囲長⁵⁾（亀裂、穴）により調査した（図14）。

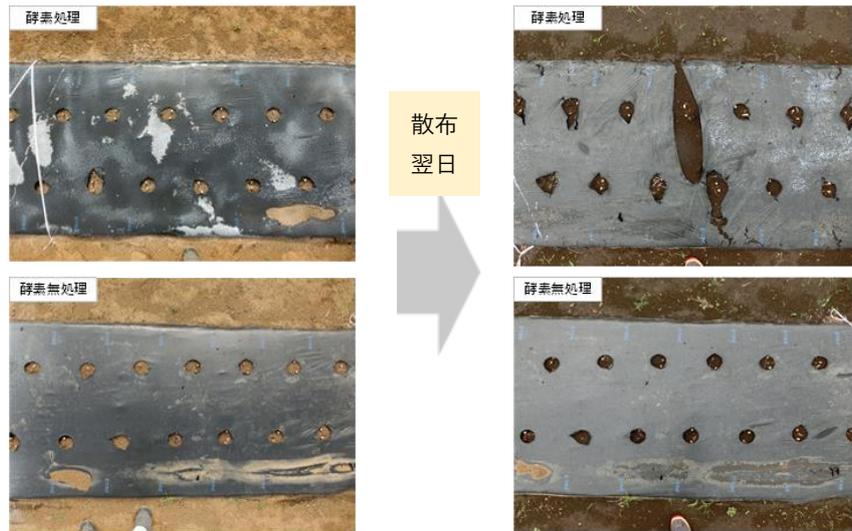


図12 酵素処理によるマルチの外観変化
(撮影：2022年7月25日、7月26日)



図13 マルチすき込みの様子

左：2022年8月1日に小型耕運機(4PS)ですき込みを実施した。

右：9月7日にマルチャー作業時に、酵素無処理区でロータリー部へのマルチ付着が見られた。

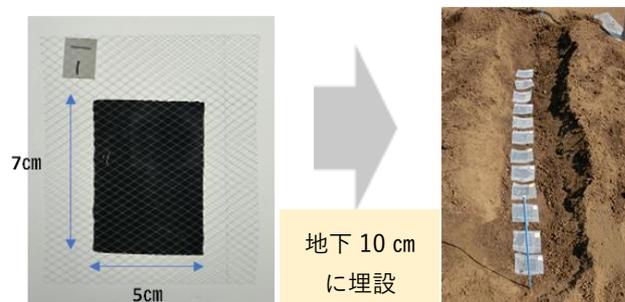


図14 メッシュバック法

エダマメ栽培に使用した生分解性マルチに分解酵素を処理し、回収した。その後、7×5cmの切片にし、市販のシタケネットに入れて地下10cmに埋設し、1か月～2か月ごとに回収し、フリーソフトのimageJにて面積を測定した。

- エダマメ栽培に使用した生分解性マルチをメッシュバッグ法で埋設調査したところ、1年以内に完全に消失した（図15）。
- 酵素処理によりマルチ分解が促進され、分解の指標である周囲長（相対値）が増加した（図16）。
- 埋設後の面積残存率は、酵素処理により低下する傾向がみられた。また、酵素処理とマルチ埋設時の牛ふん堆肥施用を組み合わせることで、面積残存率はさらに低下し、埋設から約10か月で約2%とほぼ消失した（図17）。

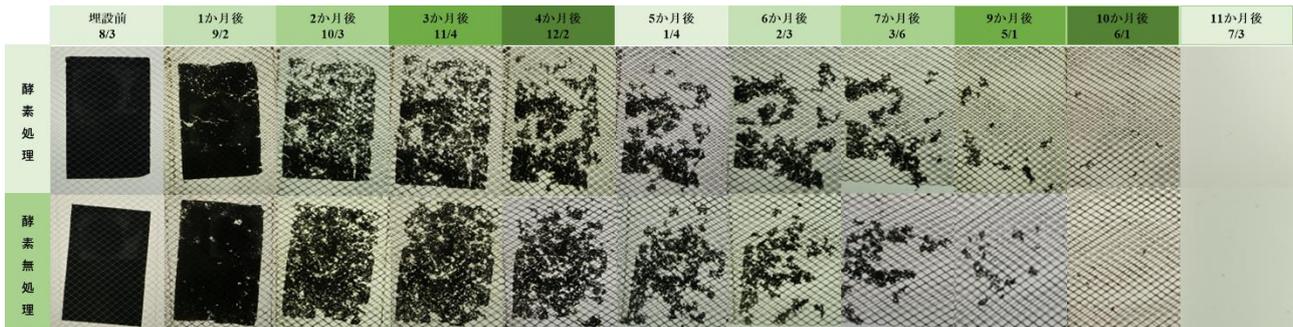


図15 埋設マルチの消失までの推移

2022年8月3日にマルチ(ビオフィレックスマルチ)を地下10cmにメッシュバッグ法にて埋設し、約1か月毎に掘り上げた。

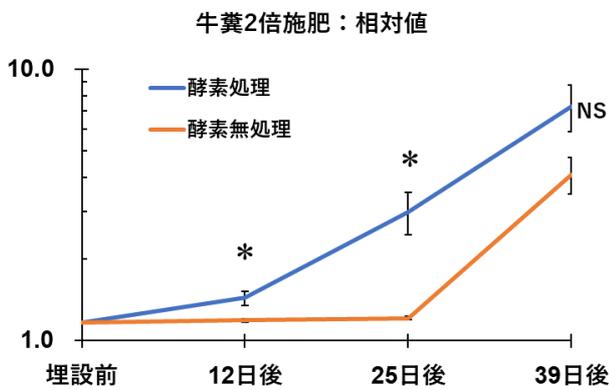


図16 埋設マルチの周囲長のデータ

2022年4月21日にマルチ(ビオフィレックスマルチ)を展開し、約2か月後の6月27日にマルチ上に酵素散布した(周囲長測定：農研機構)。

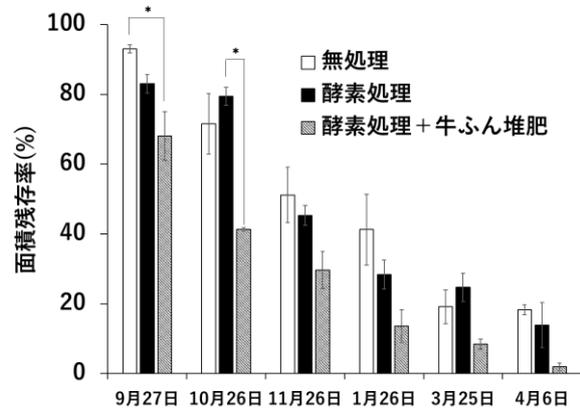


図17 メッシュバックのデータ

エダマメ栽培後の生分解性マルチに酵素散布し、メッシュバッグ法にて埋設した。その後1か月ごとにほりあげ、画像解析ソフト(imageJ)により面積残存率を測定した。

エ 後作コカブへの影響

- 分解酵素処理した生分解性マルチをすき込んだ土壌の影響をみるため、コカブ（根菜類）を後作にした。エダマメ栽培に使用した生分解性マルチ（キエ丸）に酵素処理をしてすき込み、後作にコカブを栽培する体系を4年連作したところ、コカブの欠株及び収量は、慣行の農ポリマルチ体系と概ね同等であった（図18、19）。

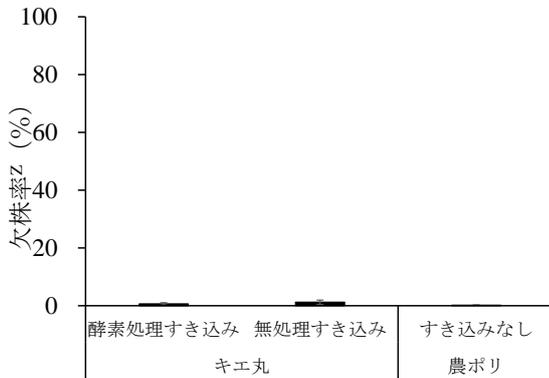


図18 後作コカブの欠株率

2022年9月16日調査。z2粒まきにより欠株数を調査。

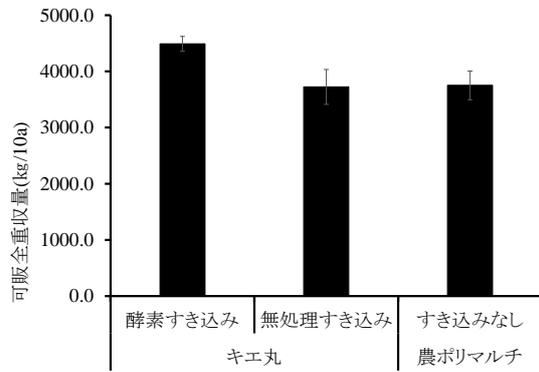


図19 後作コカブ(全重)の可販収量

オ 現地試験の聞き取り調査

- エダマメ農家(三浦市)への聞き取り調査の結果、供試マルチ間で農機による展張のしやすさに違いはなく、エダマメの生育にも差はなく、慣行の生分解性マルチに比べて耐久性があり、飛散しにくいとのことであった（表2）。

表2 現地試験での聞き取り調査

項目	感想・評価等
栽培終了後	<ul style="list-style-type: none"> ・収穫後、生分解性マルチは畑にすき込む。
飛散対策について	<ul style="list-style-type: none"> ・生分解性マルチが周辺の畑に飛散すると苦情がくるため、飛散対策としてマルチの上に覆土を行っている。 ・覆土が十分にできてない場合は飛散しやすいため、収穫が終わるとすぐにロータリーですき込むようにしている。
酵素の効果について	<ul style="list-style-type: none"> ・生分解性マルチを普及していくためには良い方法かもしれない。
市販生分解性マルチの問題点	<ul style="list-style-type: none"> ・風が強く、乾燥していると飛散しやすい。 ・農ポリマルチに比べて保湿性・保温性がないため、梅雨期の少雨時などは生育しにくい。 ・値段が高い。

対象：三浦市生産農家（調査日：2021年7月26日）

(2) スイートコーン

ア 栽培概要

品種	スイートコーン ‘ゴールドラッシュ’ (サカタのタネ)
試験場所	農業技術センター (平塚)
播種日	3月下旬 (6月中旬収穫)、4月下旬 (7月中旬収穫)
栽植様式	ベッド幅 70cm、通路幅 70cm、株間 30cm、条間 45cm (2条千鳥)
栽培管理	播種の1週間程度前にマルチングを行った。3月下旬播種では、播種直後から4月下旬にかけて有孔フィルムによるトンネル被覆を行った。無除けつ・無除房栽培とし、収穫終了後に、スイートコーン地上部をハンマーナイフモアで破碎し、植物残渣と生分解性マルチをすき込んだ。
分解酵素	分解酵素 PaE は、スイートコーン栽培後に生分解性マルチ表面に処理した (濃度: 6U/mL、散布量: 120mL/m ²)。なお、作業性を評価するため、濃度や散布量の検討を行った。
施肥量	牛ふん堆肥 1t/10a、苦土石灰 100kg/10a、基肥は N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=15:15:15 kg/10a、追肥は N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=5:0:5kg/10a の化成肥料を2回施用した。

イ 生育・収量

- 生育および収量は、生分解性マルチと農ポリマルチ (慣行) で同等であった (表3、図20)。
- 生分解性マルチは、収穫終了後まで崩壊せずベッド表面を被覆していた (図21)。

表3 マルチの種類が収穫物および草丈に及ぼす影響^z (2019)

試験区	雌穂重 (g)	剥包葉雌穂重 (g)	穂心長 (cm)	雌穂径 (mm)	先端不稔長 (cm)	粒列数 (列)	Brix (°Brix)
生分解性マルチ (製品A)	364	249	18.6	47.6	0.8	17.0	16.8
生分解性マルチ (製品B)	364	247	18.4	47.9	0.9	16.3	17.0
農ポリマルチ	365	258	18.6	48.3	0.9	16.4	16.9
有意性 ^y	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

z: 収穫物は2019年6月19日、草丈は同年6月20日に調査した。y: Kruskal-Wallis検定により ns は有意な差が認められなかったことを示す。(n=15~24)



図20 スイートコーン生育状況外観^z (2020)

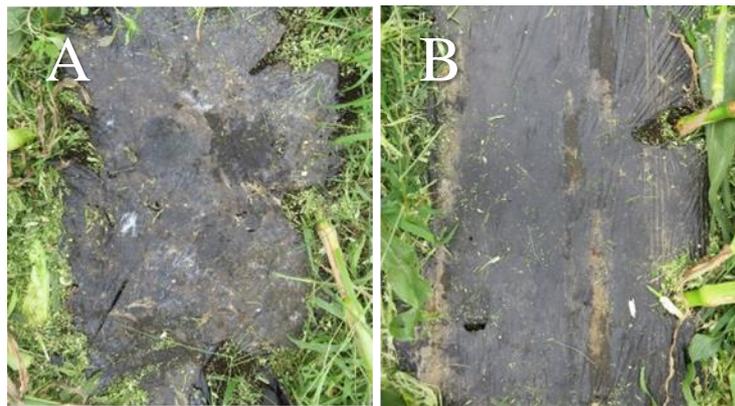


図 21 収穫終了後（すき込み直前・展張 105 日後）の生分解性マルチ外観（2020）
（A：生分解性マルチ分解酵素栽培体系 B：生分解性マルチ栽培体系）

ウ 作業性

- 生分解性マルチ栽培体系は、マルチ回収作業が減ることで農ポリマルチ栽培体系（慣行）より作業時間の短縮が可能であった（表 4）。
- スイートコーンの酵素処理方法について、株間からマルチ直上へ噴霧管を挿入しての処理では腰を曲げる姿勢となる。そこで、腰を曲げない処理法として処理濃度を 3 倍希釈し、3 倍量を通路から歩行時に処理したところ、マルチ上からの処理以上の付着度が得られた（表 5）。

表 4 スイートコーン栽培における収穫後の栽培体系別作業時間^z

作業名	使用機械・作業方法	作業時間(h・人/10a) ^y		
		生分解性マルチ 分解酵素栽培体系	生分解性マルチ 栽培体系	農ポリマルチ 栽培体系
分解酵素処理	動力噴霧機で生分解性マルチ表面に分解酵素液剤を処理 ^x	1.5	-	-
地上部破砕 ^w	歩行型ハンマーナイフモアで地上部を破砕(2回/ベッド)	-	-	2.0
	歩行型ハンマーナイフモアで地上部を破砕(1回/ベッド)	1.0	1.0	-
マルチ剥離・回収	手作業で畝から農ポリマルチを剥離し、回収	-	-	2.3
すき込み ^v	ロータリでスイートコーン残渣を土中にすき込み	-	-	1.7
	ロータリでスイートコーン残渣、生分解性マルチを土中にすき込み	1.8	1.9	-
耕うん ^v	ロータリで圃場を耕うん	1.0	1.0	1.0
合計		5.3	4.0	7.0

z：機械などの運搬、移動時間、分解酵素液剤の調製時間は除外した。y：圃場は幅 20m、長さ 50m とした (50m/ベッド×14 本)。作業時間は、2020 年 6 月 23 日から 7 月 22 日にかけてタイムスタディ法で調査した。被験者：男性 52 才、農作業経験 31 年。x：噴霧管（1 頭口、長さ 50cm）を用いて、散布量が 120mL/m² になるように吐出量 800mL/分で散布した。w：刈幅 70cm、8.0PS の機種を用いて作業した。v：耕うん幅 150cm のロータリをトラクタ（25.0PS）に装着して作業した。耕種概要：畝幅 140cm（ベッド幅 70cm、通路幅 70cm）、株間 30cm、条間 45cm（2 条千鳥）で 2020 年 3 月 24 日に播種し、同年 6 月 19～22 日に収穫した。

表5 分解酵素処理法が標準付着度指数に及ぼす影響^z

処理位置	処理量	標準付着度指数
通路	3倍	8.5
通路	標準	6.2
マルチ上	標準	7.7

z: ベッド両端および中央部の3か所に感水試験紙(26×38mm)を設置し、2023年7月31日に散布量が標準区は120mL/m²、3倍区は360mL/m²になるように通路もしくはマルチ上から水を散布し、液斑の被覆面積率を「カンキツの調査方法(農水省果樹試験場興津支場)」に基づいて目視で0~10の指数で評価した(n=3)。

エ 分解酵素の効果(ロータリ付着、すき込み後の残存量および飛散量)

- ロータリへの付着は、酵素処理によって長い断片が減る傾向がみられた(図22)。
- すき込み後の生分解性マルチの土壌表面残存量、土壌中の残存重量および飛散量は、分解酵素処理により減少する傾向が示された(表6、図23、表7)。
- 分解酵素処理法の違いがマルチ表面の穴数および亀裂周囲長に及ぼす影響について調査したところ、通路からの散布が面積当たりの穴数が多く、特に3倍量を処理して当日に地上部破碎を行った区が多かったが、有意な差は認められなかった(表8)。

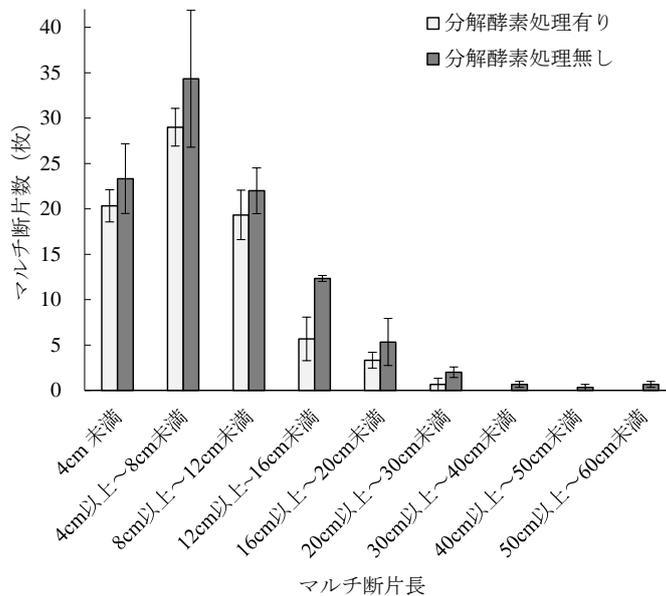


図22 分解酵素処理がすき込み時にロータリに付着した断片長別生分解性マルチ断片数に及ぼす影響^z

z: 分解酵素散布は2020年6月29日、すき込みは同年6月30日に幅150cmのロータリをトラクタ(25.0PS)に装着して行き、15m走行後にロータリに付着した生分解性マルチを回収した。縦棒は標準誤差を示す。(n=3)

表6 分解酵素処理が土壌表面残存マルチ量に及ぼす影響^z

分解酵素処理	枚数 (枚/m ²)	平均面積 (cm ² /枚)	総面積 ^y (cm ² /m ²)
有り	5.1 ± 0.2 ^y	84.1 ± 12.3	424.5 ± 49.6 (4.6) ^x
無し	5.0 ± 0.2	149.4 ± 55.1	770.3 ± 302.0 (8.3)
有意性 ^w	ns	ns	ns

z：分解酵素処理は2023年7月28日に行い、7月31日に幅150cmのロータリをトラクタ(25.0PS)に装着してすき込みを行った後に土壌表面に残存した生分解性マルチを回収し、面積計(LI-3100C)を用いて測定した。y：標準誤差を示す(n=3)。x：栽培開始時に展張した生分解性マルチ面積(9,253cm²/m²)に対する百分率(%)。w：t検定により、nsは有意な差が認められないことを示す。

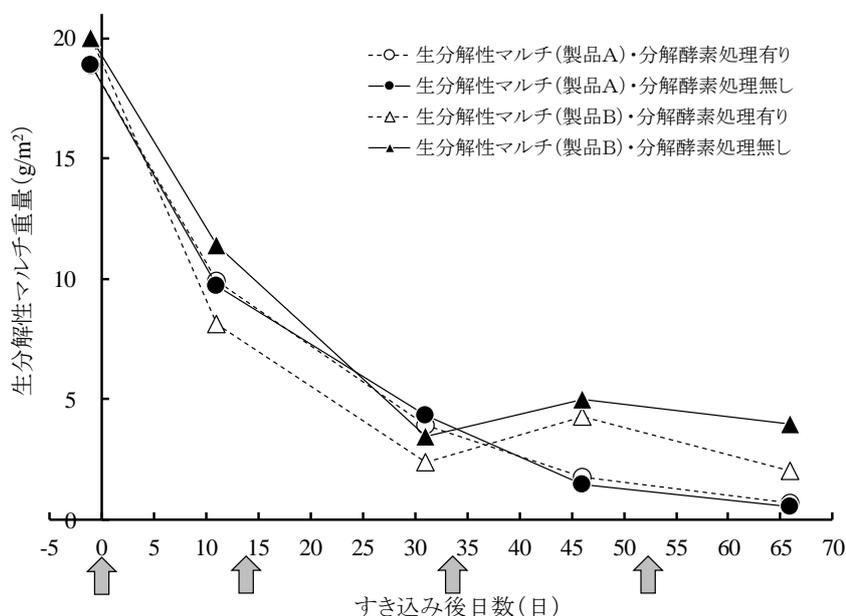


図23 土壌中の生分解性マルチ残存重量の推移^z

z：生分解性マルチは、分解酵素処理直前の2019年6月20日(すき込み-1日)は土壌表面に展張されているものを回収し、すき込み後の同年7月2日(すき込み11日後)から8月26日(すき込み66日後)は、土壌中に埋設されたものを回収し、重量を測定した。図中の矢印は耕うん作業を行った日を示す(n=3~4)。

表7 分解酵素処理が飛散マルチ量に及ぼす影響^z

分解酵素処理	枚数 (枚/m ²)	平均面積 (cm ² /枚)	総面積 (cm ² /m ²)
有り	0.8 ± 0.2 ^y	21.4 ± 6.8	16.5 ± 6.6 (0.2) ^x
無し	1.2 ± 0.1	22.4 ± 1.7	26.4 ± 3.8 (0.3)
有意性 ^w	ns	ns	ns

z：分解酵素処理は2023年7月28日に行い、7月31日に幅150cmのロータリをトラクタ(25.0PS)に装着してすき込みを行った後、幅1.4m、長さ10mの範囲に防獣網(目合い1.6cm)を設置した。8月3日から8月21日にかけて、防獣網付近に有り、埋没部分が無いマルチを飛散マルチとして回収し、面積計(LI-3100C)を用いて測定した。y：標準誤差を示す(n=3)。x：栽培開始時に展張した生分解性マルチ面積(9,253cm²/m²)に対する百分率(%)。w：t検定により、nsは有意な差が認められないことを示す。

表8 分解酵素処理方法がマルチ表面の穴数および亀裂周囲長に及ぼす影響^z(農研機構測定データ)

処理位置	処理量	地上部破碎	面積あたりの穴数 (個/cm ²)	面積当たりの周囲長 (cm/cm ²)
通路	3倍	当日	1.16 ± 0.43 ^y	0.75 ± 0.01
通路	3倍	翌日以降	0.39 ± 0.02	0.71 ± 0.00
通路	標準	翌日以降	0.38 ± 0.07	0.72 ± 0.00
マルチ上	標準	翌日以降	0.18 ± 0.10	0.71 ± 0.00
無散布		翌日以降	0.16 ± 0.11	0.71 ± 0.00
有意性 ^x			ns	ns

z：分解酵素は、2023年7月28日に噴霧管(1頭口、長さ50cm)を用いて、散布量が標準区は120mL/m²、3倍区は360mL/m²になるように通路もしくはマルチ上から散布した。地上部破碎は、当日区は7月28日、翌日以降区は7月31日に歩行型ハンマーナイフモアを用いて行った。生分解性マルチは、7月31日に翌日以降区の地上部破碎を行う前に回収した。y：標準誤差を示す(n=3)。x：Welchの1元配置分散分析により、nsは有意な差が認められないことを示す。

オ 現地試験(綾瀬市)の聞き取り調査

- 防除作業用の噴霧管を用いたマルチ直上からの分解酵素処理は、身体的負担が大きく、作業姿勢の改善、時間の短縮が求められた(図24A)。
- ハンマーナイフモアを用いた地上部破碎作業でベッド中央を歩行する際に、分解酵素処理区では生分解性マルチが破れる感じがしたとのことであった(図24)。
- 分解酵素無処理区では、すき込み作業時に生分解性マルチがロータリ中央に巻き付いていたが、分解酵素処理区では見られなかった(図24B、C、D、E)。
- すき込み作業性、すき込み後の土壌表面残存量は、分解酵素処理の有無で同等に感じるとのことであった。分解酵素の効果として、生分解性マルチの分解速度が遅い低温期に分解を促進することが可能であれば、使用する意義があるとの意見が得られた(図24)。



図24 生産者による分解酵素処理およびすき込み作業

(A: 分解酵素処理、B: すき込み、C: すき込み直後のロータリ(分解酵素無処理区)、D: ロータリに巻付いた生分解性マルチ(分解酵素無処理区) E: すき込み直後のロータリ(分解酵素処理区)

(3) サトイモ

ア 栽培概要

①所内試験 (平塚・腐植質黒ボク土造成相)

品種 サトイモ '神農総研1号'

定植日 4月上旬

栽植様式 ベッド幅 60 cm、通路幅 40 cm、株間 50 cm

栽培管理 定植約 1 週間前に生分解性マルチと農ポリマルチを展張した。6 月中旬に生分解性マルチは除覆せず、農ポリマルチは除覆して、通路に追肥後、培土した。11 月から 12 月に収穫し、洗浄・乾燥後に収量を調査した。

分解酵素 分解酵素によるマルチ分解の促進により、培土時の追肥が畝内に移行する効果を評価するため、6 月中旬に生分解性マルチの一部に分解酵素 PaE を散布し、生分解性マルチ酵素処理区と生分解性マルチ区を設けた。

施肥量 基肥は $N:P_2O_5:K_2O=8:12:15\text{kg}/10\text{a}$ (CDUS555、重焼リン、硫酸カリ)、苦土石灰 $100\text{ kg}/10\text{a}$ 、畑のカルシウム $40\text{ kg}/10\text{a}$ 、硫酸マグネシウム $40\text{ kg}/10\text{a}$ を施用した。追肥は $N:P_2O_5:K_2O=7:0:7\text{kg}/10\text{a}$ (NK 化成) を施用。

②現地試験 (平塚市岡崎水田転作圃場・灰色低地土)

品種 サトイモ '土垂'

定植日 3月下旬

栽植様式 ベッド幅 60 cm、通路幅 45 cm、株間 50 cm

栽培管理 定植前日に生分解性マルチと農ポリマルチを展張した。6 月下旬に生分解性マルチは除覆せず、農ポリマルチは除覆して、通路に追肥後、培土した。10 月に収穫し、洗浄・乾燥後に収量を調査した。

分解酵素 6 月中旬に生分解性マルチの一部に分解酵素を散布し、生分解性マルチ酵素処理区と生分解性マルチ区を設けた。

施肥量 基肥は $N:P_2O_5:K_2O=13.6:28.7:13.6\text{kg}/10\text{a}$ (スーパーIBS222、重焼リン、鶏糞)、苦土石灰 $100\text{ kg}/10\text{a}$ 、畑のカルシウム $40\text{ kg}/10\text{a}$ を施用した。追肥は $N:P_2O_5:K_2O=13.0:3.2:13.0\text{kg}/10\text{a}$ (MMB262、NK 化成) を施用。

イ サトイモの生育および収量

- 所内試験では、分解酵素の有無に関らず生分解性マルチは農ポリマルチと同等の生育および収量であった (図 25、図 26)。
- 現地試験では、生分解性マルチを用いたサトイモの初期生育が農ポリマルチに比べてわずかに劣るものの、7 月には同等となり、収量も同等であった (図 27、図 28、図 29)。
- 現地試験を実施した生産者からは、生分解性マルチについて「除覆および廃マルチ処理が省略でき、概ね同等の生育・収量が得られる」と高い評価を得た (表 9)。
- 上記から生分解性マルチを用いたマルチ除覆を省略する栽培体系は、11 月以降に収穫する作型において分解酵素の有無に関らず農ポリマルチと同等の収量を得ること

ができると考えられた (図 30)。

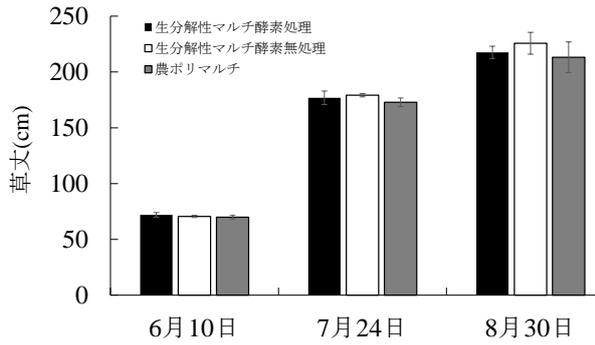


図 25 マルチの種類および分解酵素処理が生育に及ぼす影響^z

z:2021 年度センター内試験試験。1 元配置分散分析により 5%水準で有意差なし(n=3)。 図中の縦棒は標準誤差を示す。

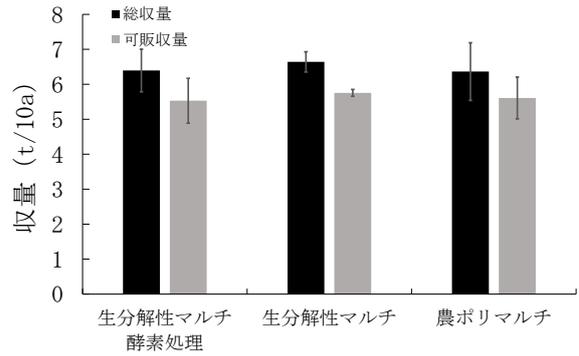


図 26 マルチの種類および分解酵素処理が収量に及ぼす影響^z

z:2021 年度センター内試験。1 元配置分散分析により 5%水準で有意差なし(n=3)。 図中の縦棒は標準誤差を示す。

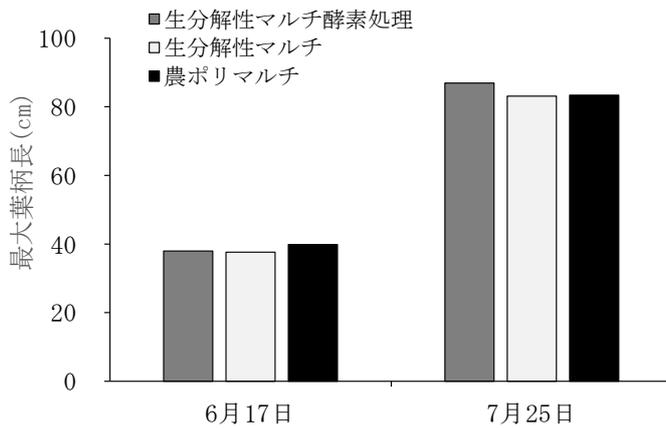


図 27 マルチの種類および分解酵素処理が生育に及ぼす影響^z

z:2022 年度現地試験(n=8)。

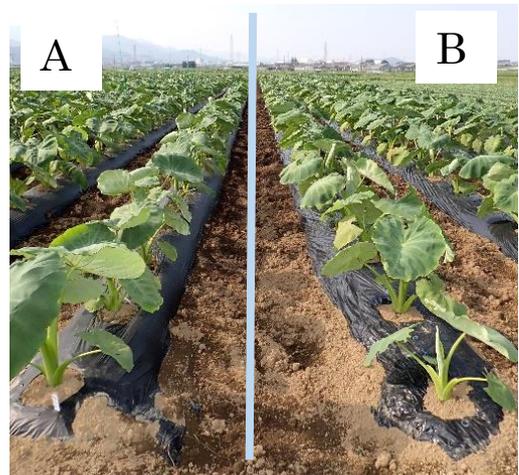


図 28 現地試験のサトイモの様子^z (2022 年 6 月 17 日撮影)

z:A は生分解性マルチ、B は農ポリマルチ。

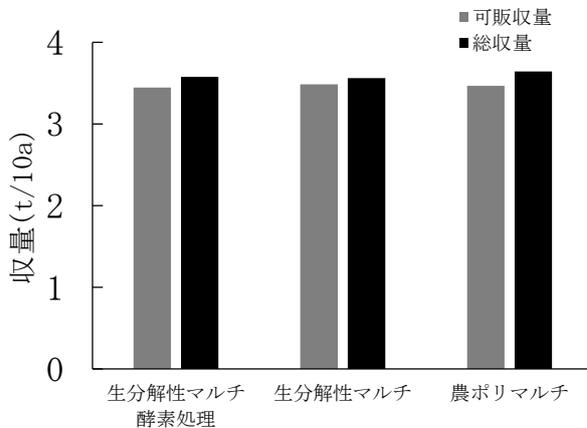


図 29 マルチの種類および分解酵素処理が収量に及ぼす影響^z

z:2022 年度現地試験(n=8)。

表9 現地試験を実施した生産者の生分解性マルチに対する意見

- ・マルチャーで展張でき、植穴から裂けることもなく培土までの間（2022年3月21日～6月30日）、十分な強度と抑草効果が維持できた。
- ・マルチごと培土できるので除覆を省略でき、回収したマルチを廃棄する手間がかからない点が良い。
- ・農ポリマルチに比べ初期生育が僅かに劣ったが、7月には同等となった。芋の肥大は10月に試し掘りした際にはやや劣ったが、11月には同等になった。早出しの作型には向かないが、11月以降に収穫する作型なら問題なく使用できると思う。
- ・収穫時にはマルチの分解は十分進んでおり、芋を掘る機械や収穫した芋にマルチが絡まることはなかった。



生分解性マルチ展張

マルチ除覆省略

マルチごと培土

図30 生分解性マルチを用いたサトイモ栽培のイメージ

ウ 分解酵素の肥料動態およびサトイモへの影響

①分解酵素の肥料動態への影響

- 分解酵素を処理した生分解性マルチの周囲長（亀裂、孔）は、培土後短期間で長くなる（図31）。
- 生分解性マルチ酵素処理区の追肥培土後のマルチ下（畝内）の硝酸態窒素濃度は、生分解性マルチ区に比べ高くなる傾向がある（図32）。
- 上記から分解酵素により生分解性マルチの分解が促進され、追肥由来の硝酸態窒素のマルチ下（畝内）への移行が増えたと考えられる（図33）。

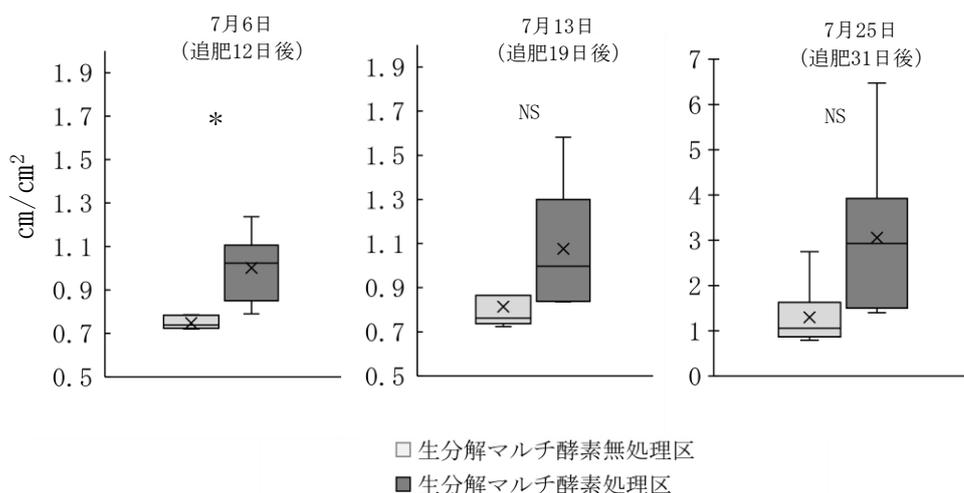


図31 酵素処理が生分解性マルチの周囲長に及ぼす影響^z

z：酵素処理直後（2022年6月23日）に「生分解性マルチ酵素処理区」及び「生分解性マルチ区」から生分解性マルチを採取、7cm×5cmに切り出し、メッシュバッグに封入した。翌6月24日にサトイモの畝上に設置し、バッグごと追肥培土した。7月6日（追肥12日後）、7月13日（追肥19日後）、7月25日（追肥31日後）にメッシュバッグを掘り出し、画像解析によりマルチにあいた孔や亀裂等の周囲長を調査した。*はt-testにより5%水準で有意な差があり、NSは有意な差がないことを示す（n=6）。

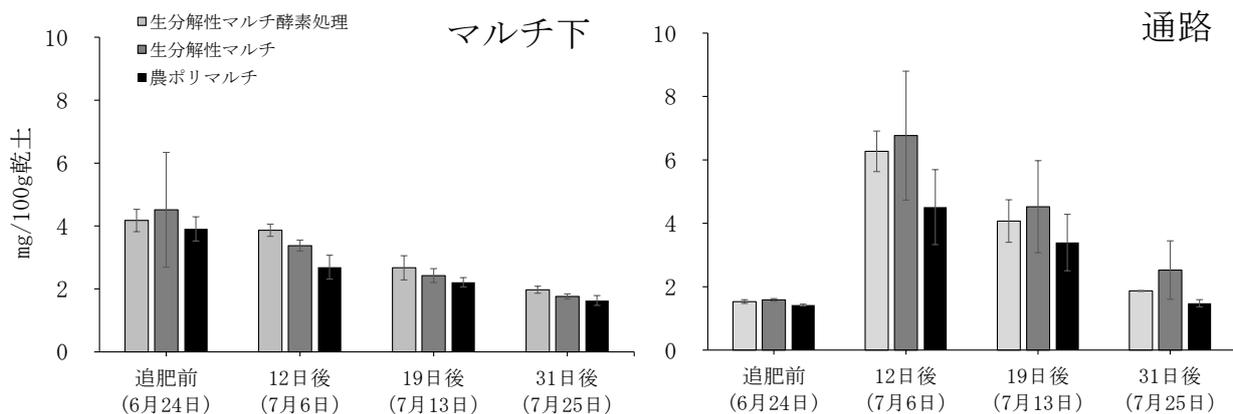


図 32 分解酵素処理が追肥された硝酸態窒素の動態に及ぼす影響^z

z: 2022年6月23日に生分解性マルチ酵素処理区のマルチ表面に分解酵素を散布した。6月24日に生分解性マルチを除覆せず追肥(N:P₂O₅:K₂O=7.0kg:0.0kg:7.0kg),農ポリマルチ区は除覆して追肥し、培土した。6月24日(追肥直前),7月6日,13日,25日にマルチ上下に分けて採土し硝酸態窒素の濃度を測定した。図中の縦棒は標準誤差を示す。

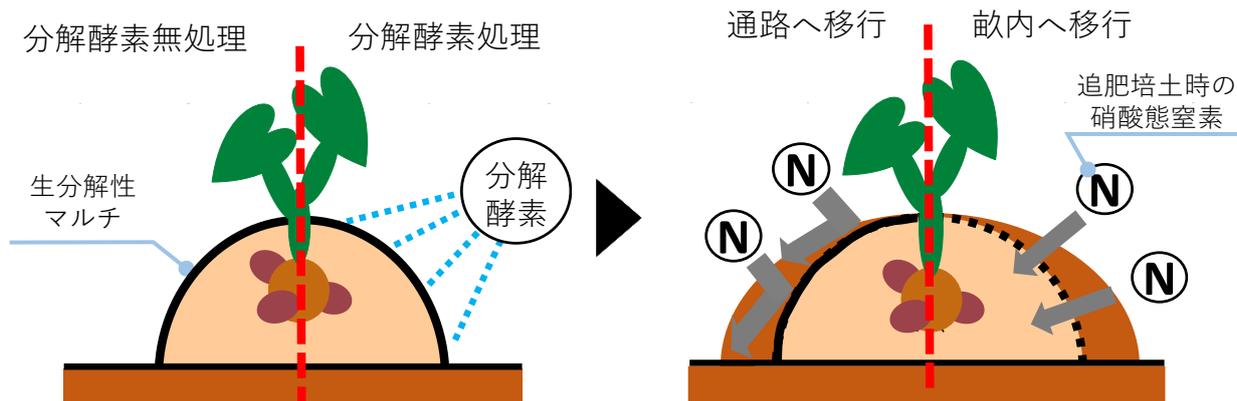


図 33 分解酵素処理時の追肥の硝酸態窒素の動態のイメージ

②分解酵素のサトイモへの影響

- 分解酵素で処理していない生分解性マルチでは、追肥由来の硝酸態窒素は通路に移行すると考えられた(図32、図33)。
- 農ポリマルチを展張したまま追肥培土し、追肥由来の硝酸態窒素が通路に移行する条件で栽培したサトイモの収量は、農ポリマルチを除覆する慣行栽培と同等の収量であった(図34)。
- これらの結果から、生分解性マルチを除覆しない、または酵素処理をしない場合でも、追肥由来の硝酸態窒素は通路からサトイモに吸収され、慣行栽培と同等の収量が得られると考えられた(図35)。

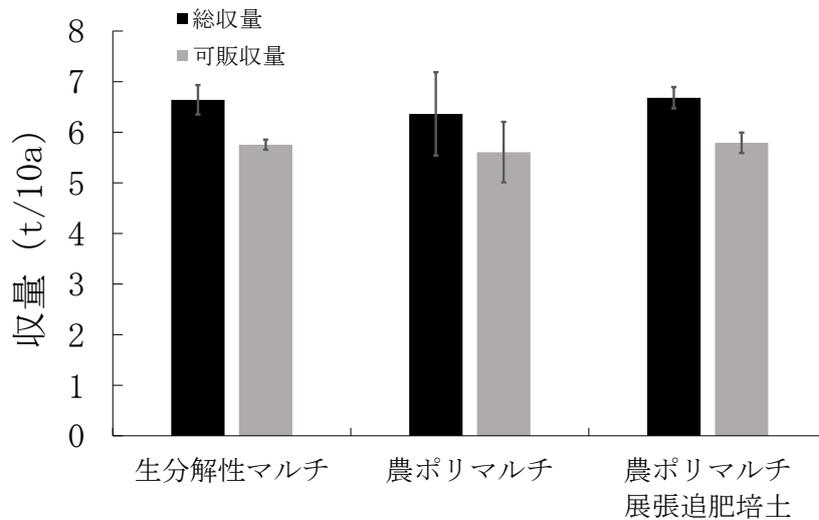


図 34 通路からの硝酸態窒素の吸収がサトイモ収量に及ぼす影響^z

z: 2021年6月18日に生分解性マルチはマルチごと、農ポリマルチは除覆後、農ポリマルチ展張追肥はマルチを展張したまま追肥培土した。11月10日に収穫し、洗浄・乾燥後に収量を調査した(n=3)。1元配置分散分析により5%水準で有意差なし。図中の縦棒は標準誤差を示す。

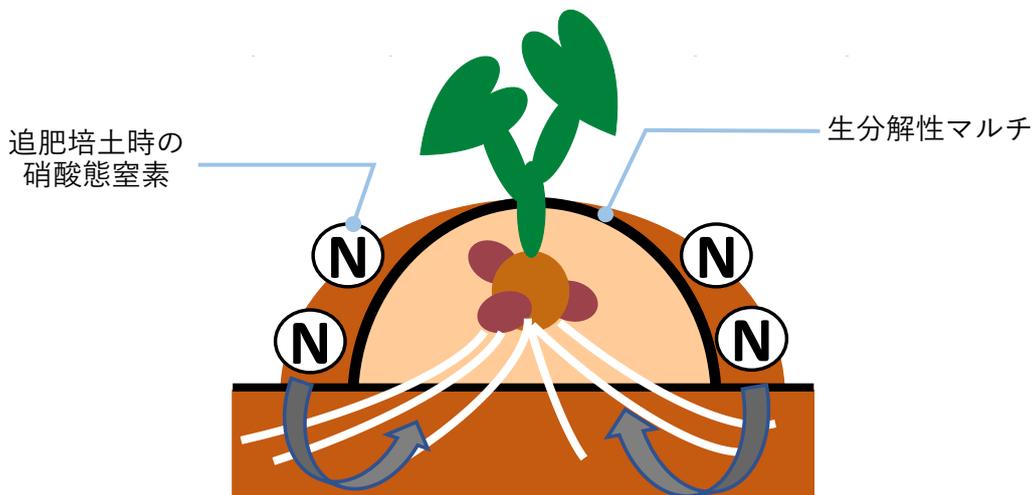


図 35 サトイモの生分解性マルチ栽培における硝酸態窒素吸収のイメージ

(4) スイカ～ダイコン

ア 栽培概要

- 品種 スイカ穂木 ‘祭りばやし 11’(萩原)、台木 ‘四国トウガン’(三浦市農協)、ダイコン ‘福誉’(ヴィルモランみかど)
- 試験場所 農業技術センター三浦半島地区事務所
- 栽培期間 ①スイカ：2022年3～8月、2023年3～8月
②ダイコン：2022年9～12月
- 栽植様式 ①スイカ：ベッド幅1m、つる先3.8m、株間80cm(栽植密度260株/10a)
②ダイコン：シーダーテープ3粒播、畝間50cm、株間21cm
- 栽培管理 ①スイカ(ベッドとつる先にマルチ使用)
2022年は、台木3月8日、穂木3月23日に播種し、5月4日定植、7月21日～8月5日に収穫した。8月5日につる回収(図40)、8月8日につる搬出(図42)。2023年は、台木3月7日、穂木3月23日に播種し、5月4日定植、7月21日～8月1日に収穫した。8月4日につる回収(図40)、8月7日につる搬出(図42)。
②ダイコン(無マルチ栽培)
2022年9月28日に播種、10月12日に間引き、12月19日に収穫した。
- 施肥量 ①スイカ：10a当たり成分量で基肥 $N:P_2O_5:K_2O = 8:28:15$ kg、追肥 $N:P_2O_5:K_2O = 8:16:9$ kg、合計 $N:P_2O_5:K_2O = 16:44:24$ kgを施用した。
②ダイコン：10a当たり成分量で基肥 $N:P_2O_5:K_2O = 9:20:16$ kg、追肥 $N:P_2O_5:K_2O = 12:0:12$ kg、合計 $N:P_2O_5:K_2O = 21:20:28$ kgを施用した。
- 酵素処理 背負動噴(排気量23.9cc、ノズル2頭口)により基準濃度(6U/ml)でマルチ表面に散布(液量120ml/m²) (図44)。2022年は、8月8日に分解酵素散布、8月9日にすき込み、8月17日にプラソイラ及びロータリー耕耘、8月22日にD-D剤処理、9月6日にガス抜き耕耘を行った。2023年は、8月7日に分解酵素散布、8月8日にすき込み(図49)を行った。なお、スイカ栽培のつる先部分に展開したマルチは金属製のピンで固定しているため、ピンを抜かないと生分解性マルチのすき込みができない。そのため2023年試験のつる先の生分解性マルチは、分解酵素散布後にピンを抜き、同日中に回収して、まるめた状態で圃場外縁部の土中(深さ約25cm)に埋設した(図45～48)。
- その他 試験区の概要は、表10、表11、図36、図37のとおり。
調査項目は、スイカの果重、果高、果径、果実硬度、糖度等、マルチのスイカ栽培期間中の分解スコア、スイカ栽培終了後の強度、後作ダイコン圃場内におけるメッシュバッグ法による分解程度(画像解析)、スイカ栽培終了後の片付け作業時間、ダイコンの根長、根重、品質等。

表 10 スイカ試験区の概要 (2022)

		試験区				
		慣行区	生プラ 0.018mm区	生プラ 0.02mm区	生プラ分解抑制 0.02mm区	
ベッド部分 ^z	資材	強化白マルチ、両丸ポール印+ライン (透明)		ビオフィレックスマルチ黒・厚さ0.018mm (生分解性マルチ)	ビオフィレックスマルチ黒・厚さ0.02mm (生分解性マルチ)	ビオフィレックスマルチBP黒・厚さ0.02mm (生分解性マルチ)
	メーカー	北越化成(株)		アキレス(株)		
つる先部分 ^y	資材	いきいきマルチ	グリーンネット	オオムギ‘マルチムギワイド’		
	メーカー	辻野プラスチック工業(株)	京浜興農(株)	カネコ種苗(株)		

z:ベッド部分の展張日はいずれも4月18日、y:つる先部分の慣行区の展張日は、5月19日、その他の区は5月17日にオオムギをリビングマルチとして播種

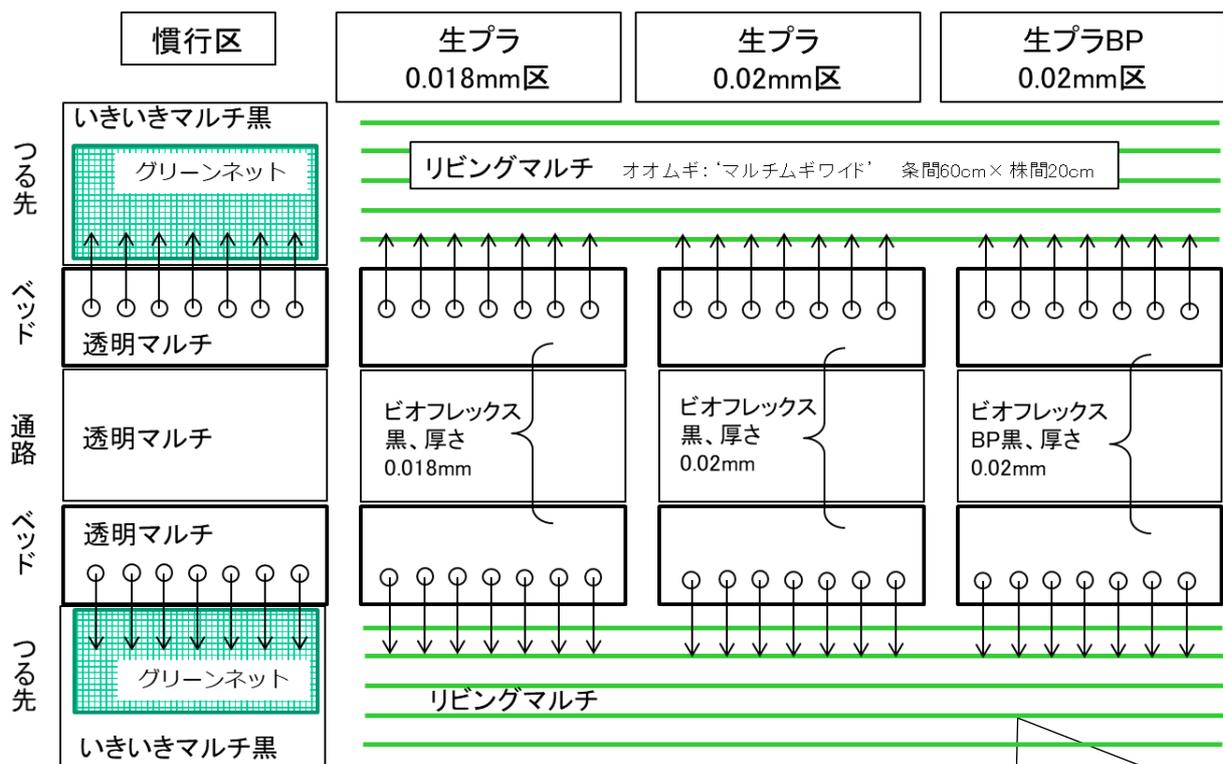


図 36 試験区の概要 (2022)

○はスイカ株元、矢印はつるの伸長方向を表す。
 図中の生プラは、生分解性プラスチックの略。



表 11 スイカ試験区の概要 (2023)

		試験区					
		慣行区		生プラ・グリーンネット区		生プラ・紙ネット区	
ベッド部分 _z	資材	強化白マルチ、 両丸ボール印+ライン (透明)		ビオフィレックスマルチ黒・厚さ 0.02mm(生分解性マルチ)			
	メーカー	北越化成(株)		アキレス(株)			
つる先部分 _y	資材	いきいきマルチ	グリーンネット	ビオフィレックスマルチ黒・厚さ 0.02mm (生分解性マルチ)	グリーンネット	ビオフィレックスマルチ黒・厚さ 0.02mm (生分解性マルチ)	TEND LEAF 15cm 目合い (紙ネット)
	メーカー	辻野プラスチック工業(株)	京浜興農(株)	アキレス(株)	京浜興農(株)	アキレス(株)	横山製網(株)

z:ベッド部分の展張日はいずれも 4 月 17 日、y:つる先部分の展張日はいずれも 5 月 17 日

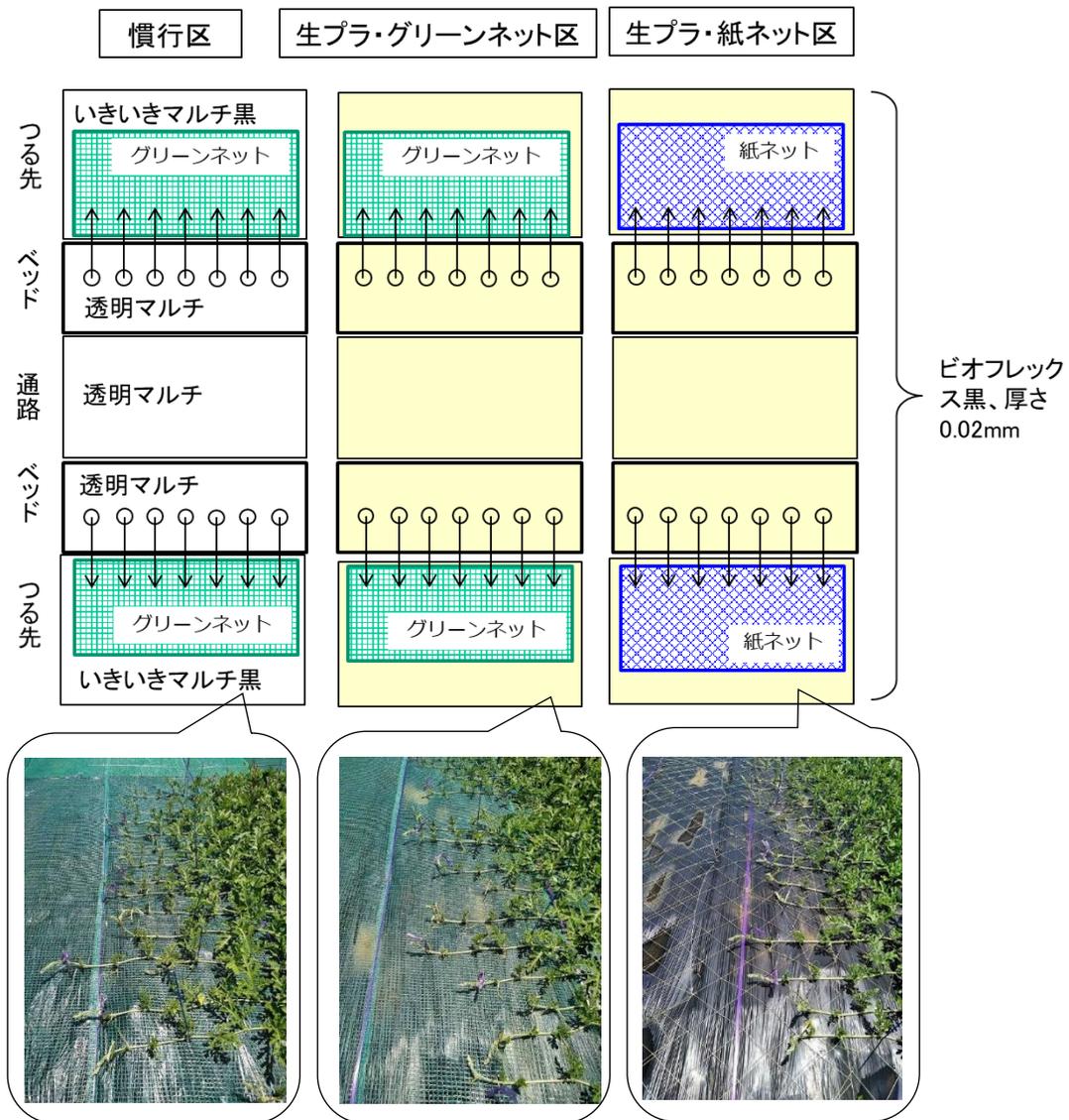


図 37 試験区の概要 (2023)

○はスイカ株元、矢印はつるの伸長方向を表す。

イ スイカの収量

- つる先にリビングマルチ(草生栽培)を用いると、全体を畑にすき込み可能であるが、果実重は小さく、スイカは減収した(表 12)。
- つる先にグリーンネットまたは紙ネットと生分解性マルチ(ビオフィレックスマルチ(黒、厚さ 0.02mm))を組み合わせた場合は、慣行栽培と同等以上の収量が得られた(表 13)。

表 12 スイカの収量及び果実品質^z(2022)

試験区	つる先 ^y	株当たり着果数	果実重(kg)	果高(cm)	果径(cm)	収量 ^x (t/10a)	収量対慣行比(%)	糖度(° Brix)(赤道部)			果皮厚 ^w (mm)	果肉の硬さ ^v (kg)
								中心部	種子部	果皮部		
慣行区		2.5	9.27	28.1	25.1	6.0	-	11.8	11.0	6.9	16.2	0.55
生プラ 0.018mm 区		2.2	7.47	25.2	23.2	4.3	72	11.6	11.3	7.4	13.1	0.56
生プラ 0.02mm 区	リビングマルチ	2.4	7.05	24.3	23.0	4.4	73	11.2	11.2	7.1	12.7	0.56
生プラ BP 0.02mm 区		2.2	7.91	25.5	23.6	4.5	75	11.2	11.4	7.1	14.1	0.54

z:開花日は6月9日～6月28日、収穫日は7月21日～8月5日、各区14果を調査(生プラ0.018mm区は13果)、y:慣行区以外の試験区はいずれもつる先にリビングマルチを用いている、x:収量は株当たり着果数×果実重×栽植本数260株(480cm×80cm)により算出、w:果皮厚は赤道面の果皮の厚さ、v:果肉の硬さは果実硬度計KM-5型(針頭は円錐型、基部径12mm、高さ10mm)を赤道部の中心部の果肉面に垂直に圧入して2点測定した値の平均値。

表 13 スイカの収量及び果実品質(2023)

試験区	株当たり着果数	果実重(kg)	果高(cm)	果径(cm)	収量(t/10a)	収量対慣行比(%)	糖度(° Brix)(赤道部)			果皮厚 ^z (mm)	果肉の硬さ ^y (kg)
							中心部	種子部	果皮部		
慣行区	2.1	10.56	28.2	26.3	5.7	-	11.7	11.6	7.5	14.0	0.50
生プラ・グリーンネット区	2.7	10.49	27.4	26.2	7.4	130	12.1	11.7	7.4	14.9	0.49
生プラ・紙ネット区	2.9	10.91	28.2	26.4	8.3	150	11.8	11.8	7.7	15.1	0.48

z:果皮厚は赤道面の果皮の厚さ、y:硬さは果実硬度計KM-5型(針頭は円錐型、基部径12mm、高さ10mm)を赤道部の中心部の果肉面に垂直に圧入して2点測定した値の平均値。

ウ 分解酵素の効果

- ビオフィレックスマルチ（黒、厚さ 0.02mm）は、スイカの開花終了（6月28日）頃まで被覆を維持しつつ（表 14）、収穫後の酵素散布によって有意に強度が低下し（表 15）、後作ダイコン収穫終了時点（埋設後 134 日）での土中における酵素の分解促進効果が高い（表 16）。よって当該マルチは、分解酵素を使用するスイカ栽培に適している。

表 14 スイカ栽培における生分解性マルチの分解スコア^zの推移（2022）

試験区	月 日	観察日										
		5		6				7				8
		18	30	3	9	16	28	6	14	21	28	5
生プラ 0.018mm 区	東 ^y	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	西	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
生プラ 0.02mm 区	東	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	西	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
生プラ BP 0.02mm 区	東	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	西	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

z:スコアは下記評価基準に基づき、ベッドマルチの観察により判定した。

0:亀裂や穴なし

1:肩や表面の一部に穴や亀裂があるが、十分被覆できている

2:肩や表面が裂けて、ごく一部被覆できていない（25%未満）

3:肩や表面が大きく裂けて、被覆できていない部分が25~50%

4:肩や表面が大きく裂けて、被覆できていない部分が51~75%

5:肩や表面が大きく裂けて、被覆できていない部分が75%以上

y:東西は、各試験区内の反復

x:スコア2以上の欄を着色した。

表 15 スイカ栽培における展張および酵素処理によるマルチ強度の変化(引張試験^z)（2022）

評価内容	マルチ種類 ^y	未使用	展張 ^v	酵素処理 ^u	
伸び ^x (mm)	縦 方向	黒 0.018mm	51.3	38.5	33.1 *
		黒 0.02mm	53.4	41.0	36.4 *
		BP 黒 0.02mm	29.8	17.3	18.3
	横 方向	黒 0.018mm	80.2	29.5	22.7 *
		黒 0.02mm	77.2	42.7	24.8 *
		BP 黒 0.02mm	54.8	33.6	30.7
力 ^w (N)	縦 方向	黒 0.018mm	7.5	5.6	4.9 *
		黒 0.02mm	9.0	6.0	5.4 *
		抑 BP 黒 0.02mm	8.0	7.4	7.5
	横 方向	黒 0.018mm	7.0	4.5	3.7 *
		黒 0.02mm	8.6	5.1	4.8 *
		BP 黒 0.02mm	9.2	5.3	5.1

z:引張試験と統計処理は農研機構にて実施、y:マルチ種類はいずれもビオフィレックスマルチで、mm は厚さを表す、x:伸びの値は移動距離(mm)の中央値(平均値より外れ値の影響を受けにくい)、w:力の値は引張力(N)の中央値(平均値より外れ値の影響を受けにくい)、v:スイカ栽培における展張は4月18日、収穫終了は8月5日、酵素処理は8月8日、マルチ採取は8月9日に実施、u:tukey多重検定により展張の値と比較して有意な差(p<0.05)があった酵素処理の値に*を付した。

表 16 後作ダイコン圃場における埋設マルチ^zの分解程度(画像解析^y)
(2022)

埋設後 日数 ^x	マルチ種類 ^w	残存面積 (c m ²)			単位面積当たり 周囲長 (cm/c m ²)		
		無処理	酵素処理	t 検 定 ^v	無処理	酵素処理	t 検 定 ^v
48 日 (9月26日)	黒 0.018mm	34.7	29.1		1.4	12.3	
	黒 0.02mm	34.3	32.8		2.8	3.9	
	BP 黒 0.02mm	31.7	31.9		4.5	5.9	
134 日 (12月21日)	黒 0.018mm	28.5	15.4	*	7.4	15.8	*
	黒 0.02mm	26.7	19.9	*	12.6	15.4	*
	BP 黒 0.02mm	23.8	22.2		17.2	20.2	

z:スイカ栽培後のベッドから採取したマルチ片(5×7cm)をメッシュバックに入れ、各時期各処理区3反復で深さ10cmを基点に短辺を縦軸として垂直に埋設(ダイコン栽培時は条間に埋設)、y:画像解析と統計処理は農研機構にて実施、x:埋設はマルチすき込み日(8月9日)に実施し、途中、プランソイラ及びロータリー耕耘(8月17日)、D-D剤処理(8月22日)、ガス抜き・堆肥耕耘(9月6日)、基肥施肥耕耘(9月27日)、追肥(1回目)(10月18日)の機械作業時に掘出しと埋め戻しを実施した(ダイコン播種は9月28日、収穫は12月19日)、w:マルチ種類はいずれもピオフィレックスマルチで、mmは厚さを表す、v:t検定は無処理と酵素処理の間に有意な差(p<0.05)があったものに*を付した。

●生分解性マルチや分解酵素の使用は、後作ダイコンの出芽率、収量や品質に影響は認められなかった(表17、表18)。

表 17 スイカ後作ダイコンの出芽率^z
(2023) (%)

マルチ種類	無処理	酵素処理
慣行マルチ	96.7	-
ピオフィレックスマルチ (黒、厚さ0.02mm) ^y	97.5	99.2

z:各区40株(120粒)を10月5日(播種後8日)に調査、
y:ピオフィレックスマルチはマルチをすき込んだベッド側の区域について調査

表 18 後作ダイコンの収穫期における特性^z (2022)

試験区	根重 (g)	葉重 (g)	根長 (cm)	葉長 (cm)	根径 (cm)	根部障害発生率 ^y (%)		
						岐根	裂根	
慣行	1,068	233	31.4	35.8	7.4	5	0	
生プラ 0.018mm 区	無処理	1,051	215	32.1	34.8	7.1	0	0
	酵素処理	1,005	192	31.1	33.6	7.1	0	0
生プラ 0.02mm 区	無処理	1,032	208	30.8	35.1	7.2	0	0
	酵素処理	1,045	204	31.8	34.6	7.2	0	0
生プラ BP 0.02mm 区	無処理	1,108	223	32.0	36.0	7.4	5	0
	酵素処理	1,070	214	31.7	35.2	7.2	0	0
リビングマルチ	1,073	216	32.3	35.7	7.1	0	0	

z:播種は9月28日、調査は12月19日、各区20本を測定、y:いずれの試験区も生育初期の乾燥により横縞がほぼ100%発生、根部肥大期の乾燥によりへこみの発生率が高かったが、マルチ種類や酵素処理の有無による影響とは考えられないことから、ここでは省略する。

- 圃場外縁に埋設した生分解性マルチは、酵素散布によって分解が促進された（図 38、図 39）。



図 38 埋設 44 日後のつる先マルチ分解状況（酵素散布）
（2023 年 9 月 20 日撮影）



図 39 埋設 44 日後のつる先マルチ分解状況（無処理）
（2023 年 9 月 20 日撮影）

エ スイカ片付けの作業性

- スイカ片付け作業（図 40～49）について、紙ネットの場合はつると一緒に回収できるが、グリーンネットより固定ピン数が多いため「つる＋紙ネット回収」作業時間が長く、省力効果はなかった（表 19）。



図 40 つる回収
（2023 年 8 月 4 日撮影）



図 41 グリーンネット回収
（2023 年 8 月 4 日撮影）



図 42 つる搬出
（2023 年 8 月 7 日撮影）



図 43 ベッドに土載せ
（2023 年 8 月 7 日撮影）



図 44 分解酵素散布
(2023年8月7日撮影)



図 45 つる先マルチのピン抜き
(2023年8月7日撮影)



図 46 つる先マルチ回収
(2023年8月7日撮影)



図 47 つる先マルチまるめ作業
(2023年8月7日撮影)



図 48 圃場外につる先マルチ埋設
(2023年8月7日撮影)



図 49 生分解性マルチすき込み
(ベッド部分) (2023年8月8日撮影)

- グリーンネットと生分解性マルチを組み合わせた栽培では、ベッドマルチのすき込みにより回収時間が削減され、慣行区より作業時間が10a当たり約50分減少した(表19)。
- 分解酵素を散布した場合は、散布作業時間約50分が追加され、省力効果は相殺された(表19)。

表19 10a当たりスイカ片付け作業時間(2023)

試験区	酵素処理	作業内容と作業時間 ^z							作業時間合計	
慣行区	無	抜根 1:31	つる回収 2:15	グリーンネット回収 3:23	つる搬出 0:27	ベッドマルチ回収 2:50	つる先のいきいきマルチ回収 1:53			13:48
生プラ・グリーンネット区	無				つる+紙ネット回収 6:12	つる+紙ネット搬出+ベッドに土載せ ^y 1:34	酵素散布 0:54	つる先の生プラ回収 2:15	圃場外に埋設穴掘り 0:30	圃場外穴につる先の生プラ埋設 0:17
	有		13:53							
生プラ・紙ネット区	無		つる+紙ネット回収 6:12	つる+紙ネット搬出+ベッドに土載せ ^y 1:34	酵素散布 0:54	つる先の生プラ回収 2:15	圃場外に埋設穴掘り 0:30	圃場外穴につる先の生プラ埋設 0:17	13:48	
	有								14:42	

z: 時間の表記は、時間:分、y:土載せは、つる搬出後、すき込みまでの間にマルチが風により飛ばないようにするための措置。つる先のマルチはすき込まず回収するため、土載せしない。

オ 現地試験における生産者への聞き取り調査

- 生分解性マルチのすき込み時、ベッドをまたいでロータリーをかけたため、ロータリー一端でからむマルチはなかった。
- 回転もゆっくり、走行もゆっくりだったため、飛散もみられなかった。
- 栽培後、生分解性マルチを回収したのち、埋めておいて消えるような技術がほしい。

カ まとめ

本研究では、スイカ栽培における生分解性マルチのすき込みはベッド部分に限られたため、その省力効果は限定的であった。一方、つる先の生分解性マルチに酵素散布した後、回収して圃場外に埋設処理した場合、土中で分解促進されることから、農協等への持ち込み処理に伴う運搬作業や処理経費を削減できる。

まとめ

品目	主な目的	結果および考察、今後の課題
エダマメ(後作コカブ)の連作	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチ栽培でのエダマメの生産性評価 ○酵素処理によるマルチ分解促進効果の評価 ○酵素連用処理が後作コカブに及ぼす影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチは、エダマメの栽培期間中は分解されずマルチの機能を保持し、農ポリマルチと同等の収量が得られる。 ○酵素処理によりマルチ強度の劣化が早まる。また、酵素処理と牛ふん堆肥施用の併用で分解が早まり、埋設マルチは約7か月で消失する。 ○酵素処理と生分解性マルチのすき込みを4作連用しても、エダマメ、コカブの収量は農ポリマルチと同等であり、連用可能と考えられる。 <p>●エダマメの栽培が終わる夏期高温時に酵素処理すると、すぐに乾いて加水分解に必要な水分が不足する可能性があり、乾きにくい製剤ができるとよい。</p> <p>●マルチの成分によって酵素の効果に違いがあることから、耐久性が高く、酵素で分解しやすいマルチの選定が必要である。</p>
サトイモ	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチ栽培でのサトイモの生産性評価 ○酵素処理による追肥した窒素動態への影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチの除覆を省略しても、農ポリマルチを除覆する慣行栽培と同等の収量が得られる。 ○追肥・培土時に酵素処理することで、追肥窒素の畝内への移行が促進されたが、有意な増収効果がなかったことから、追肥窒素は通路からの吸収で十分と考えられた。 <p>●生分解性マルチに酵素処理をしなくても追肥の効果が得られることから、生分解性マルチでサトイモを栽培する場合は、除覆および酵素処理は不要と考えられた。</p>
スイートコーン	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチ栽培でのスイートコーンの生産性評価 ○酵素処理体系の作業時間 ○酵素処理によるマルチ飛散への影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチは、スイートコーンの栽培期間中は分解せずマルチの機能を保持し、農ポリマルチと同等の収量が得られる。 ○収穫後の作業時間は、酵素処理体系の方が農ポリ栽培体系より約24%短かった。 ○飛散マルチ面積は、酵素処理で約38%減少した。 <p>●マルチ表面に酵素処理する際の作業性を向上するための簡易な散布方法、機械化等の検討が必要である。</p>
スイカーダイコン輪作体系	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチ栽培でのスイカの生産性評価 ○酵素処理によるマルチ分解促進効果の評価 ○酵素処理が後作ダイコンに及ぼす影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○生分解性マルチ、スイカの栽培期間中は分解せずマルチの機能を保持し、農ポリマルチと同等以上の収量が得られる。 ○酵素処理によりマルチの強度低下や残存面積が減った。 ○後作ダイコンの収量、品質は、酵素処理の影響を受けない。 <p>●つる先に生分解性マルチを使うためには、酵素処理～すき込む時に風で飛散しないようにマルチを固定するピンなどの固定資材を生分解性にする必要がある。</p>