

生分解性プラスチックマルチと生分解性プラスチック分解酵素「PaE」溶液の 散布時期の違いが施設夏秋トマト栽培後の資材片付け作業時間に及ぼす影響

富田和美・北本宏子¹⁾・植田浩一¹⁾・山下結香¹⁾・竹内明彦¹⁾・古矢桃子・藤田 裕

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

長期間マルチを被覆して栽培する施設夏秋トマトを対象として、生分解性マルチの利用と PaE (生分解性プラスチック分解酵素) 溶液の散布時期の違いが、栽培後の資材片付け作業時間の短縮に及ぼす効果を検証した。

PaE 溶液を散布した生分解性マルチと無処理の生分解性マルチおよび慣行のポリエチレン製マルチについて、マルチと灌水資材の回収作業にかかる時間を比較したところ、全体の作業時間が最も短かったのは、無処理の生分解性マルチであった。栽培期間中であるトマト定植 1 か月後のハウス内日平均気温が 30~40°C の時に PaE 溶液を散布すると、生分解性マルチが急速に劣化し、灌水資材の回収作業時間が最も短くなった。しかし、PaE 溶液の散布処理作業時間が加わったため、全体の作業時間は無処理の生分解性マルチより長くなった。

生分解性マルチを利用することで、慣行のポリエチレン製マルチと比較して、マルチと灌水資材片付け作業の省力化が可能となり、PaE 溶液の散布処理作業時間を短縮する手法が開発されれば、さらなる作業の省力化が見込めることを明らかにした。

キーワード：施設栽培、トマト、生分解性プラスチックマルチ、生分解性プラスチック分解酵素

1. はじめに

茨城県内の総農家数は、2020 年農林業センサス（農林水産省、2020）によると 71,761 戸で、2015 年に比べ 18.2%減少した。中でも基幹的農業従事者数は年々減少しており、平均年齢も 2020 年は 67.5 歳と、高齢化が進んでいる。その対策として、作業の省力化と規模拡大が可能な畑作物生産技術が求められている。

作業の省力化技術の一つとして、生分解性プラスチックマルチ（以下、生分解性マルチ）の利用が挙げられる。生分解性マルチは、農作物の栽培が終わった後に圃場の土壌にすき込むことで、土壌の中にいる微生物の働きによって水と二酸化炭素に分解されてなくなる農業用マルチである（ABA 農業用生分解性資材普及会、2023）。そのため、マルチ片付け作業の省力化が期待できることに加え、廃棄物を削減し環境への負荷を軽減することができる。

茨城県における生分解性マルチの利用は、主に露地野菜において進んでいる。しかし、生分解性マルチは気象条件や土壌条件によって分解程度が異なり、耐久性の高い生分解性マルチは利便性が高い反面、使用後の分解が遅くなる（Kitamoto et al., 2023）。このように、生分解性マルチは分解程度が予測しにくいいため、耐久性の高い生分解性マルチでの被覆および栽培後にマルチ下に設置した灌水資材の片付け作業を必要とする長期施設栽培においては、連続で使用した場合のすき込み後の分解や片付け作業の省力効果に対する懸念の声が多く、導入が進んでいない。

一方、北本ら（2017）は、イネなどの植物常在真菌である *Pseudozyma antarctica* と呼ばれる酵母が作る生分解性プラスチック分解酵素「PaE」が、生分解性マルチを急速に分解することを明らかにした。さらに、畑に展開した生分解性マルチの表面に PaE 溶液を散布する処理方法において、マルチフィルムの分解が加速されることを明らかにした（Kitamoto et al., 2023）。

そこで、長期間マルチを被覆して栽培する施設夏秋トマトを対象として、生分解性マルチの利用と PaE 溶液の散布時期の違いが、生分解性マルチの分解程度および栽培後の資材片付け作業時間の短縮に及ぼす効果を検討した。

1) 農研機構 農業環境研究部門

2. 材料および方法

2. 1 試験場所と栽培の概要

試験は、2023年7月5日から2023年11月27日まで、茨城県桜川市農家圃場において、東西方向に建てられた間口4.5m、長さ85mの農業用パイプハウスで実施した。パイプハウスの被覆資材は、農POフィルム（厚さ0.1mm、M社製、UVカット加工無し）を使用した。栽培品目はトマト（品種名‘夏和恋’、台木‘TTM-158’）を用いた。施肥は、7月5日に堆肥（N-P₂O₅-K₂O=5.7%-5.6%-2.9%）を46.8kg/10a、硫酸カリウム（N-P₂O₅-K₂O=0%-0%-50%）を52kg/10a、石こうを52kg/10a圃場全面に施用した。追肥として、8月中旬と9月上旬に、液肥（N-P₂O₅-K₂O=10%-5%-8%）を600倍に希釈し、10L/10a施用した。また、8月下旬に、微生物液体資材（N-P₂O₅-K₂O=0.05%-0.01%-0.01%）を1L/10a、灌水と同時に施用した。7月6日に幅95cmの畝を立て、畝の中央に灌水チューブ（折形58mm、水平散水、S社製）を配置し、その上にマルチを展開した。畝立て、灌水チューブ設置、マルチ展開は畝立て同時マルチ機を使用し、同時に行った。定植は7月8日に行い、株間45cmの2条植えとした。栽培は、1株2本仕立てで直立誘引とした。わき芽は、随時除去し圃場外に持ち出した。収穫は、9月1日～11月7日まで行った。栽培期間のハウス内気温は、日中30℃、夜間15℃を目安に管理した。灌水は、7月8日～9月22日まで、3～4日ごとに1回、10,000L/10aを目安に実施した。病害虫防除は、5～7日ごとに1回の目安で農薬（100L/10a）を散布した。収穫後のマルチおよび灌水資材の片付け作業は11月27日に行った。

2. 2 マルチフィルム試験区の概要

生分解性マルチ区は、Aマルチ（厚さ0.02mm、幅135cm、表面が白で裏面が黒の2層フィルム、A社製）を用いた。慣行区は、ポリエチレン製マルチ（厚さ0.025mm、幅150cm、表面が白で裏面が黒の2層フィルム、M社製）を用いた。1区1列82m、反復なしとした。

2. 3 酵素散布の処理方法

生分解性マルチに散布するPaE溶液の濃度や量はKitamoto et al. (2023)の方法に従った。すなわち、PaE溶液と超微粒子重質炭酸カルシウム（ソフトン）粉末溶液を混合し、最終濃度がPaE 6U、超微粒子重質炭酸カルシウム2%となるように水道水で希釈し、これを生分解性マルチ1m²あたり120mL散布した。PaE溶液の散布処理（以下、PaE処理）区は、Shinozaki et al. (2013)の室内実験で得られたPaEに適した温度条件である30-40℃にハウス内日平均気温に近い栽培期間中処理区と、収穫終了後処理区および無処理区の3処理区を設定した。栽培期間中処理区は、定植1ヶ月後の8月8日10時（ハウス内気温31.8℃）に散布した。収穫終了後処理区は、11月24日11時30分（ハウス内気温33.5℃）に散布した。散布は、背負い式動力噴霧器（霧太郎、丸山製作所製）にノズル（NN-SL-10S 人力用新広角1頭口S型、ヤマホ工業社製）を装着して用い、1区77.9m²（1畝分0.95m×82m）のAマルチ表面全体に均一に散布した。

2. 4 調査項目と方法

栽培期間は7月8日の定植日から11月7日の収穫終了日までとした。マルチ展開期間は、マルチを展開した7月6日から収穫後のマルチおよび灌水資材の片付け作業を行った11月27日までとした。

マルチ展開期間中のハウス内気温は、温度データロガー（TR-71U、T&D社製）を用い、ハウス内中央付近の地表からの高さ100cmの気温を1時間毎に測定した。

各試験区の地温は、温度データロガー（TR-71U、T&D社製）を用いて、マルチ下10cmの地温を1時間毎に測定した。

マルチ展開期間中のマルチ表面に照射された紫外線強度は、照度UVレコーダー（TR-71i、T&D社製）を用い、畝の中央部分のマルチ表面に照度紫外線センサー（ISA-3151、T&D社製）を設置して、1時間毎に測定した。測定された紫外線強度に照射時間（60分）を掛けて積算紫外線照射量（積算光量）を求めた。日照時間は、気象庁の地域気象観測所下館（筑西市西石田）のアメダスによる観測値を用いた。

PaE処理後のマルチ分解程度は、PaE処理前日、翌日および片付け作業前に、各試験区内の0.95m×1m（3ヶ所）について、亀裂の有無や程度を目視により調査した。

栽培後に行われる片付け作業のうち、利用するマルチの種類によって差が生じる「マルチをはがして回収する作業」と「灌水チューブを巻き取り回収する作業」について、作業開始から終了までの時間を計測した。マルチと灌水資材の片付け作業にかかる時間の測定は、作業者を現地生産者1名として11月27日に実施した。また、PaE処理作業についても同じく作業開始から終了までの時間を計測した。

3. 結果

3. 1 生分解性マルチの分解に影響を及ぼす環境要因

マルチ展張期間中のハウス内の日平均気温および各試験区のマルチ下 10cm の日平均地温の推移を図 1 に示す。マルチ下 10cm の日平均地温はいずれの試験区も同等に推移した。ハウス内の日平均気温は、マルチ展張後 2 ヶ月間は 25℃以上の日が続いた。9 月下旬から 25℃を下回りはじめ、その後は徐々に下降し、11 月中旬以降は 10～15℃の間で推移した。マルチ展張期間中のハウス内の平均気温は 23.5℃、平均地温は生分解・栽培期間中処理区で 25.4℃、生分解・収穫終了後処理区および生分解・無処理区で 25.1℃、ポリエチレン製・慣行区での平均地温は 25.2℃であった。

栽培期間中のマルチ表面の日平均紫外線強度の推移と筑西市の日合計日照時間を図 2 に示す。マルチ展張期間中の各生分解性マルチ表面への日平均紫外線強度は、収穫後処理区の方が、栽培期間中処理区と比べて高く推移した。各試験区の日平均紫外線強度は、マルチ展張期間中を通して、筑西市の一日の日照時間が長いと高い傾向がみられた。7 月 30 日頃からいずれの試験区も日平均紫外線強度が低下し、9 月 10 日以降においては、栽培期間中処理区で 0.01～0.04mW/cm²/day、収穫後処理区で 0.01～0.08mW/cm²/day の間で推移した。各試験区の日平均紫外線強度の平均値は、7 月 7 日から 9 月 9 日までの期間においては、栽培期間中処理区で 0.10mW/cm²/day、収穫後処理区で 0.16mW/cm²/day、9 月 10 日から 11 月 27 日までの期間においては、栽培期間中処理区で 0.02mW/cm²/day、収穫後処理区で 0.04mW/cm²/day であった。筑西市の日合計日照時間の平均は、7 月 7 日から 9 月 9 日までは 8.3 時間、9 月 10 日から 11 月 27 日までは 5.9 時間であった。マルチ展張期間中の積算光量および平均紫外線強度は、収穫後処理区が栽培期間中処理区と比較して高かった (表 1)。

3. 2 PaE 処理後の生分解性マルチの表面の様子と、マルチおよび灌水資材の回収作業時間

PaE 処理による各試験区の生分解性マルチ表面の様子は、栽培期間中処理区においては処理前には亀裂がほとんど見られなかったが、処理翌日にはマルチ表面の一部に大きな亀裂が見られ、さらに片付け作業時にはマルチ下に設置した灌水チューブが一部露出した状態であった。収穫後処理区においては処理前にはマルチ表面に小さな亀裂が多数見られたが、処理後は亀裂がほとんど増加せず、片付け作業時は、灌水チューブはほとんど露出していなかった。無処理区は、片付け作業時にはマルチ表面に小さな亀裂が多数見られたが、灌水チューブはほとんど露出していなかった (図 3)。

マルチの片付けと灌水資材の回収に要した時間について、1 人で作業した場合の 10a 当たりの作業時間を表 2 に示す。生分解・栽培期間中処理区および生分解・収穫後処理区において、PaE 処理作業に要した時間は 0.9 時間であった。生分解・無処理区およびポリエチレン製・慣行区では、PaE 処理を行わなかったため 0 時間とした。マルチの回収作業に要した時間は、ポリエチレン製・慣行区では 0.8 時間であった。生分解の各試験区では、マルチの回収作業は必要ないため 0 時間とした。灌水チューブの回収作業に要した時間は、生分解・栽培期間中処理区が 0.2 時間で最も短く、次いでポリエチレン製・慣行区で 0.3 時間であり、生分解・収穫後処理区と生分解・無処理区は 0.5 時間であった。PaE 処理、マルチ回収、灌水チューブ回収の作業時間の合計は、生分解・栽培期間中処理区がポリエチレン製・慣行区と同じ 1.1 時間であった。最も短かったのは、生分解・無処理区の 0.5 時間であった。

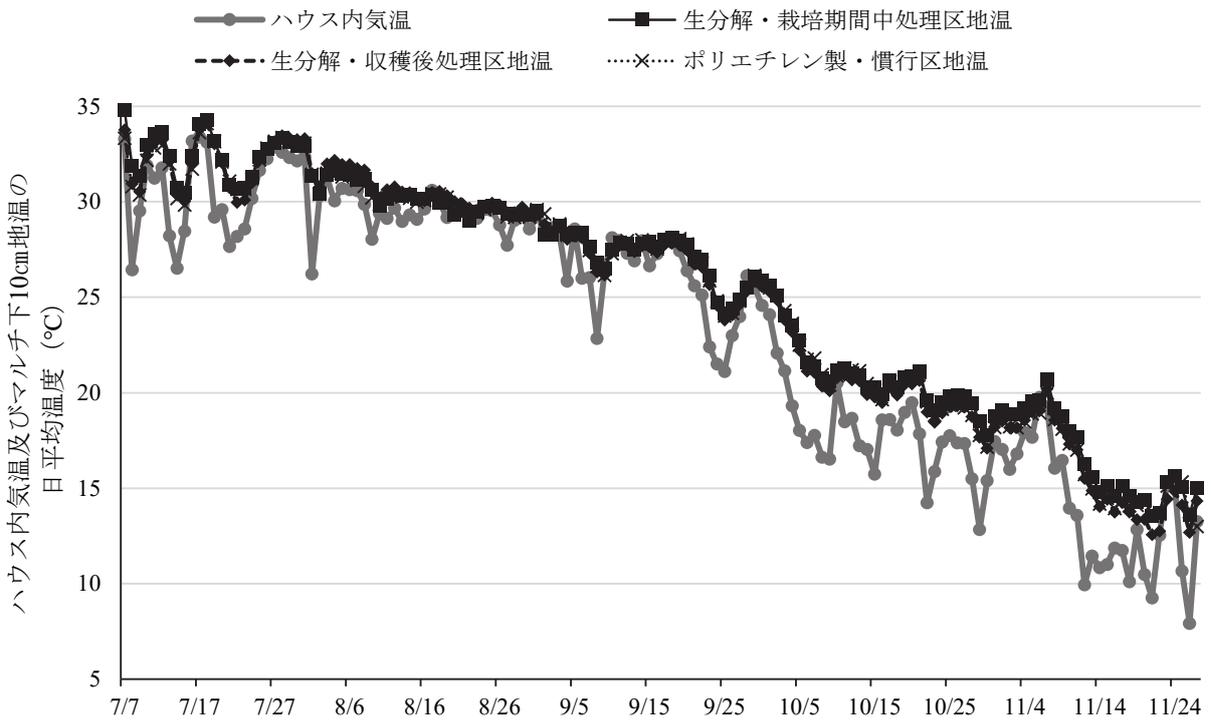


図1 マルチ展張期間中のハウス内の日平均気温および各試験区のマルチ下 10cm の日平均地温の推移

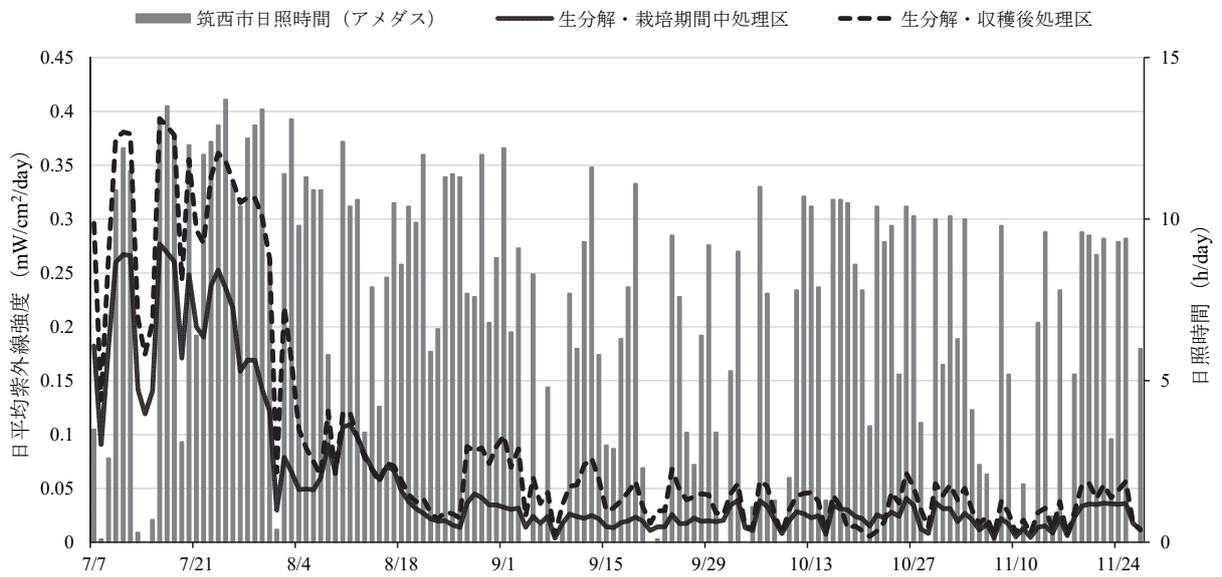


図2 栽培期間中の各試験区の生分解性マルチ表面への日平均紫外線強度の推移と筑西市の日合計日照時間

表1 栽培期間中の各試験区の生分解性マルチ表面への積算光量と平均紫外線強度

試験区	積算光量 (J/cm ²)	平均紫外線強度 (mW/cm ²)
生分解・栽培期間中処理区	727	0.059
生分解・収穫後処理区	1,132	0.091



図3 PaE 処理前日、PaE 翌日および片付け作業時の生分解性マルチの様子

表2 マルチの違いおよび PaE 処理がマルチおよび灌水チューブ回収時間に及ぼす影響^{a)}

試験区	PaE 処理	マルチ 回収	灌水チューブ 回収	合計
	(h/10a)			
生分解・栽培期間中処理区	0.9	0	0.2	1.1
生分解・収穫後処理区	0.9	0	0.5	1.4
生分解・無処理区	0	0	0.5	0.5
ポリエチレン製・慣行区	0	0.8	0.3	1.1

a) 作業者を現地生産者1名とした

4. 考察

4. 1 環境要因が生分解性マルチの分解及び PaE の生分解性マルチ分解能力に与える影響

生分解性マルチは、水分や温度等の環境要因による加水分解と微生物による生分解によって、最終的に水と二酸化炭素に分解される。加水分解は、一般的な栽培環境の温度帯において、温度が高い方が進みやすい。佐藤ら(2003)は、室内土壌埋設試験において、温度が高く土壌水分が多いと生分解性マルチの引張強さ伸び率が低下し、穴あきが見られ強度維持が困難になり、分解度が高まることを明らかにしている。本試験において、片付け作業時のマルチ表面は、栽培期間中処理区が収穫後処理区よりも亀裂が多く、劣化していた。PaE 処理時のハウス内気温と PaE 処理後から片付け作業までの日数を比較してみると、いずれの試験区も PaE 処理時のハウス内

気温は30℃を超えていたが、栽培期間中処理区ではPaE処理後もハウス内日平均気温が25℃以上の日が続いており、PaE処理後から片付け作業までの日数は111日であった。一方、収穫後処理区はPaE処理後のハウス内日平均気温が15℃以下で、PaE処理後から片付け作業までの日数が3日であった。これらのことから、PaE処理後のハウス内日平均気温が高く片付け作業までの日数が長い方が、生分解性マルチの分解が促進すると考えられる。

また、Kitamoto et al. (2023) は、黒く着色された生分解性マルチを用いて野菜を育てずに露地に展張のみ行った試験において、PaE処理翌日の分解促進効果は、初夏(27℃)と晩秋(14℃)の気温の影響に関係なく再現性があるとしている。本試験におけるPaE処理日までのマルチの展張期間は、栽培期間中処理区では32日間で、Kitamoto et al. (2023) の試験に近い条件であった。一方、収穫後処理区では140日間であった。温度と土壤水分以外の生分解性マルチの分解程度に影響を及ぼす環境要因として、紫外線の照射が挙げられる。一般的に有機高分子が光劣化を起こすことは知られている。牧ら(2002)は、ガラスハウス内では4ヶ月にわたって延性の低下が認められなかった生分解性マルチが、紫外線の照射により延性が低下することを明らかにしている。本試験においては、マルチ展張期間中の各試験区の紫外線強度について、7月30日頃からいずれの試験区でも日平均紫外線強度が低下した。これは、栽培しているトマトの植物体が成長し、葉が繁茂することによってマルチ表面に影ができたためと考えられる。また、栽培期間中の積算光量および平均紫外線強度については、栽培期間中処理区を東西方向のハウスの北側に、収穫後処理区をハウスの南側に設置したため、収穫後処理区が栽培期間中処理区と比較して高かったと考えられる。そして、積算光量が多かった収穫後処理区は、PaE処理前までに紫外線によるマルチの分解が進んでいた可能性がある。

栽培期間中処理区ではPaE処理後にマルチ表面の亀裂が増えたことに対して、収穫後処理区では亀裂がほとんど増加しなかった。その理由として、収穫後処理区ではPaE処理日までの展張期間が長く、温度や紫外線等の環境要因により生分解性マルチの分解が進んでいたため、PaEの効果は判然としなかった可能性が考えられる。

4. 2 生分解性マルチの利用および生分解性マルチの分解程度が片付け作業時間に与える影響

PaE処理、マルチ回収および灌水チューブ回収時間は、ポリエチレン製・慣行区と比較すると生分解・無処理区が短かった。このことから、施設夏秋トマト栽培において生分解性マルチを利用すると、PaE処理を行わなくても片付け作業が省力化されることが明らかとなった。馬場(2023)は、露地栽培における生分解性マルチを利用した2作1回施肥栽培において、2作目のブロッコリーの残渣処理とマルチの剥ぎ取りが不要になることで、栽培終了後の片付けに要する作業の省力化が可能であることを明らかにしている。

しかし、灌水チューブ回収作業時間をみると栽培期間中処理区が最も短かった。収穫後処理区および無処理区における片付け作業時の生分解性マルチでは小さな亀裂が多数見られたが、灌水チューブはほとんど露出していなかった。そして、マルチと灌水チューブが密着しており、畝端から灌水チューブを引き抜くことができなかった。そのため、まず灌水チューブをマルチ下から通路に引き出し、その後畝端から灌水チューブを巻き取った。一方、栽培期間中処理区においては、灌水チューブの露出が一部で確認できるほど、マルチに亀裂が多く発生していた。そのため、マルチを剥がさずマルチ下の灌水チューブを畝端から巻き取ることができ、作業時間の短縮につながった。PaE処理作業時間を含めると、PaE無処理区の方が作業全体の時間は短い、PaE処理作業時間を短縮する手法が開発されれば、栽培期間中処理区の方が無処理区に比べて省力効果が高くなる可能性がある。

4. 3 まとめ

本研究では、マルチ下に灌水チューブ等の灌水資材を設置する施設夏秋トマト栽培において、生分解性マルチを利用すると慣行ポリエチレン製マルチと比較してマルチと灌水資材の回収作業を省力化できることを明らかにした。さらに、生分解性マルチを利用した場合、トマト定植1ヶ月後のハウス内日平均気温が30~40℃のときにPaE溶液をマルチ表面に散布処理することで、マルチ下の灌水チューブ回収作業時間を短縮できることを明らかにした。

しかし、栽培後の土壌へのすき込みにかかる時間や、ポリマルチの運搬等廃棄処分にかかる時間については詳細な検討を行っていない。また、栽培期間中のトマトの生育や収量、雑草の発生程度については、試験農家から慣行ポリエチレン製マルチ区と生分解性マルチ区で同程度であったことを確認しているが、生分解性マルチを連続で使用した場合のすき込み後の土壌中でのマルチの分解程度やトマトの生育に与える影響は未検討である。施設夏秋トマト栽培において、生分解性マルチの利用とPaE処理を組み合わせた栽培技術を確認するためには、

これらについての検討が必要である。

今後、様々な栽培様式や品目において、作業の省力化等につながる生分解性マルチの利用方法および PaE 処理技術が開発され、生分解性マルチの普及が一層進むことを期待する。

付記

本研究は、生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(JPJ007097)の支援を受けて行った。

引用文献

- ABA 農業用生分解性資材普及会編 (2023) 生分解性マルチハンドブック普及の手引き. ABA 農業用生分解性資材普及会、東京、pp.7
- 馬場久美子 (2023) 野菜の同一マルチ 2 作 1 回施肥栽培に対する生分解性マルチの適用性. 山梨県総合農業技術センター研究成果情報 令和 5 年度
https://www.pref.yamanashi.jp/documents/112835/r5_7_seibunkai2saku.pdf (2024 年 7 月 12 日アクセス)
- Kitamoto H, Koitabashi M, Sameshima-Yamashita Y, Ueda H, Takeuchi A, Watanabe T, Sato S, Saika A and Fukuoka T(2023) Accelerated degradation of plastic products via yeast enzyme treatment. *Scientific Reports*. 13, 2386
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-29414-1> (2024 年 7 月 12 日アクセス)
- 北本宏子・鈴木 健・佐藤 俊 (2017) 植物常在真菌の酵素が生分解性プラスチックを急速に崩壊させる仕組み. 農研機構農業環境変動研究センター研究成果情報
https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/niaes/2017/niaes17_s17.html (2024 年 7 月 12 日アクセス)
- 牧 浩之・岩田 均・大塩哲視 (2002) 気象要因による生分解性プラスチックフィルムの崩壊特性. 兵庫県立農林水産技術総合センター研試験研究報告「農業編」50 : 29-32
- 農林水産省 (2020) 農業センサス 確報 第 1 巻 都道府県別統計書 (茨城県)
- 佐藤勲征・赤間鉄宏・矢口 仁 (2003) 生分解性プラスチックの分解性制御に関する研究. 平成 14 年度宮城県産業技術総合センター研究報告 No.1 : 6-9
- Shinozaki Y, Morita T, Xiao-hong Cao, Yoshida S, Koitabashi M, Watanabe T, Suzuki K, Sameshima-Yamashita Y, Nakajima-Kambe T, Fujii T and Kitamoto H(2013) Biodegradable plastic-degrading enzyme from *Pseudozyma antarctica*: cloning, sequencing, and characterization. *Appl. Microbiol. Biot.* 97(7), 2951–2959.
<https://doi.org/10.1007/s00253-012-4188-8> (2024 年 7 月 12 日アクセス)

The Effect of Using Biodegradable Plastic Mulch and Different Spraying Times of “PaE” Biodegradable Plastic-Degrading Enzyme Solution on the Time Required for Material Cleanup after Summer/Autumn Tomato Cultivation in Greenhouses

Kazumi TOMITA, Hiroko KITAMOTO¹, Hirokazu UEDA¹, Yuka YAMASHITA¹, Akihiko TAKEUCHI¹, Momoko FURUYA and Yutaka FUJITA

Summary

We examined the effects of using biodegradable mulch and different spraying times for PaE solution (a biodegradable plastic-degrading enzyme) on shortening the time required to clean up materials after summer/autumn tomato cultivation in greenhouses, which typically uses mulch for a long period of time.

When the time required to recover irrigation materials was compared between biodegradable mulch sprayed with PaE solution, untreated biodegradable mulch, and conventional polyethylene mulch, the untreated biodegradable mulch required the shortest total work time. When the PaE solution was sprayed one month after tomato planting when the average daily temperature inside the greenhouse was 30-40°C, the mulch rapidly deteriorated and the time required to recover the irrigation materials was the shortest. However, due to the addition of the PaE solution spraying process, the overall working time was longer than that of untreated biodegradable mulch.

Compared to conventional polyethylene mulch, the use of biodegradable mulch makes it possible to save labor in cleaning up the mulch and irrigation materials, and further improvements can be anticipated if a method is developed to shorten the time required to spray PaE solution.

Keywords: greenhouse cultivation, tomato, biodegradable plastic mulch, biodegradable plastic-degrading enzyme

¹ Address : Institute for Agro-Environmental Sciences, National Agriculture and Food Research Organization(NARO),3-1-3 Kannondai,Tsukuba,Ibaraki,305-8604 Japan