

陽熱プラス

実践マニュアル

太陽熱土壌消毒の効果は病原菌だけではなく土壌環境全体に影響します。

陽熱プラスは、太陽熱土壌消毒を単なる病害対策だけではなく、

健全な土づくりにも資すると位置づけた栽培体系です。

私たちは、太陽熱土壌消毒を組み入れた栽培体系を実践される方、

さらにその技術指導を担う営農指導者に対して、

この陽熱プラスを提案いたします。

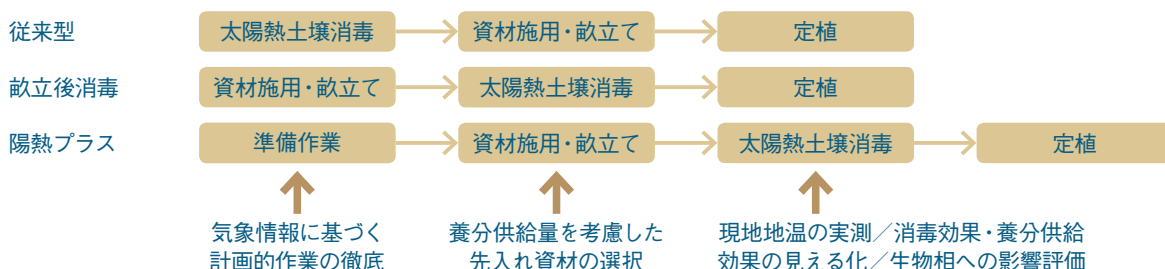


陽熱プラスとは	2
陽熱プラスのみそ1—地温と病原菌低減効果—	4
陽熱プラスのみそ2—窒素・リン酸の動態—	6
陽熱プラスのみそ3—土壌生物環境への影響評価—	8
陽熱プラスのみそ4—地温の計測方法—	10
コラム 気象情報を利用した地温の推定方法	12
陽熱プラス「肥効調節型肥料を用いた全量基肥施用」	14
陽熱プラス「バレイシヨ有機栽培でのそうか病抑制と肥料効果」	16
陽熱プラス「地域未利用有機質資源利用による肥料・土壌消毒効果の安定」	18
よくあるお問い合わせ	20

陽熱プラスとは

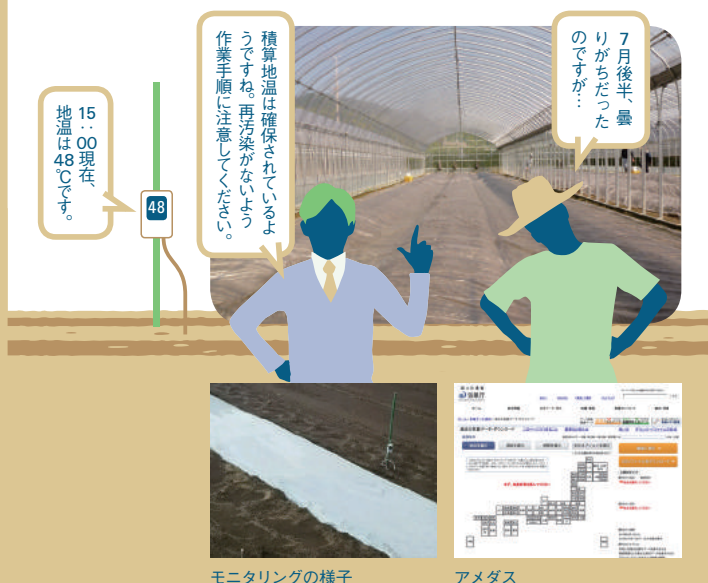
太陽熱土壤消毒(従来型)は、地表をフィルムで被覆し、太陽エネルギーで地温を高め、土壌中の病害虫の発生を抑制する、臭化メチル代替技術のひとつです。
従来型の作業手順を見直し、消毒処理後の土壌混和を防ぐことで
防除効果を高めた畝立後消毒(宮崎方式)を基に、病害対策はもちろんのこと、
消毒効果や養分供給効果の見える化、生物相への影響評価を組み入れた圃場管理技術、
それが陽熱プラスです。

太陽熱土壤消毒法の作業手順



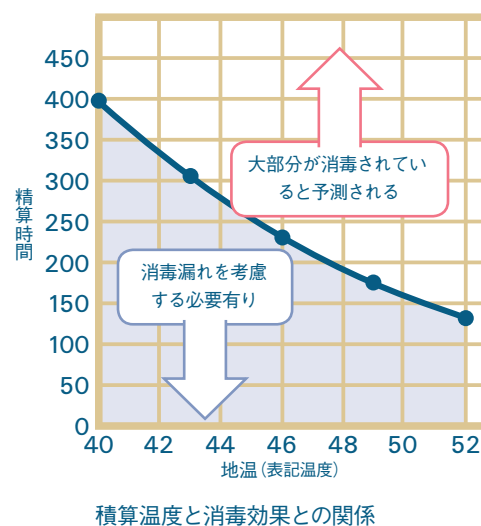
【地温の計測】

陽熱プラスのポイントは現場での地温の計測です。最近は、温度記録計が入手しやすくなり、またその使用方法も簡便化しています。温度記録計を利用することで、積算地温を指標とした太陽熱土壤消毒の効果を判断できます。また、温度記録計を設定していない場合でも、気象情報を利用した積算地温と太陽熱土壤消毒効果の推定が可能です。



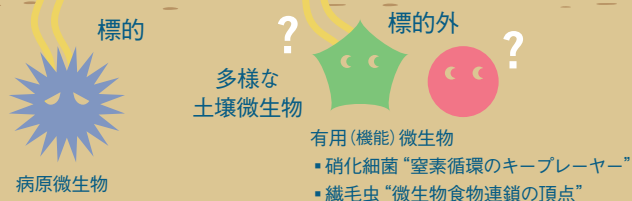
【消毒効果の見える化】

現場の地温を計測すると太陽熱土壤消毒効果を判定できます。地温と積算時間の関係による病原菌の死滅データを目安とし、消毒の効果を推定します。



【生物相への影響評価】

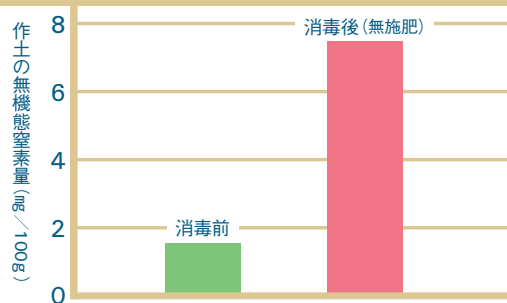
陽熱プラスによる太陽熱土壌消毒では、病原菌だけでなく土壌中の一般微生物も大きな影響を受けます。土壌微生物群集に対する太陽熱土壌消毒のダメージの程度と消毒後に健全な状態に回復する過程を、土壌DNA（環境DNA [eDNA]）の解析により迅速に評価することができます。



【合理的な肥培管理】

資材を先入れする陽熱プラスでは、太陽熱土壌消毒中の高地温の影響を受け、窒素・リン酸といった主要な肥料成分の可給化（作物が利用しやすい形態に変化すること）が増加します。土壌窒素の可給化量は簡易診断法で評価できるので、基肥量を2割程度*減らすことができます。

*土壌の肥沃さや地温の高まり具合などにより異なります。



高地温の影響による窒素可給化の例

【陽熱プラス栽培技術体系】

これらの技術を導入し、さらに土づくり資材として肥効調節型肥料&堆肥、有機質肥料、地域未利用有機質資源を利用した実証試験に基づく技術情報を紹介します。

「陽熱プラス」実証試験



この冊子で紹介する技術の詳細は、技術資料集をご覧ください。入手方法は下記までお問い合わせください。

問い合わせ先…国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター (029-838-8421)

陽熱プラス 「肥効調節型肥料 &堆肥」

基肥にハイパーCDU入り
豆用配合肥料を利用した実
エンドウ施設栽培への適用
事例

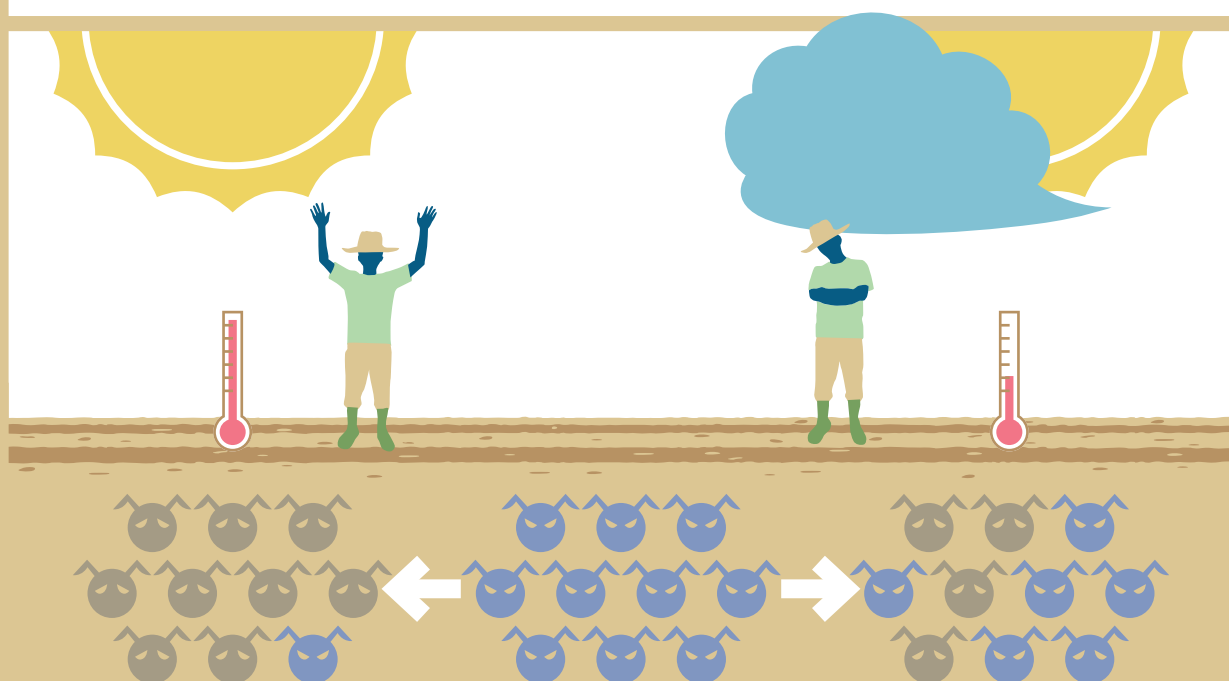
陽熱プラス 「有機質肥料 &移植機」

基肥に有機質肥料を、また
太陽熱土壌消毒後に移植機
を利用する露地パレイショ
秋作有機栽培への適用事例

陽熱プラス 「焼酎粕濃縮液」

基肥に焼酎粕濃縮液(発酵
かす肥料)を利用した施設果
菜類栽培への適用事例

陽熱プラスのみそ1 —地温と病原菌低減効果—



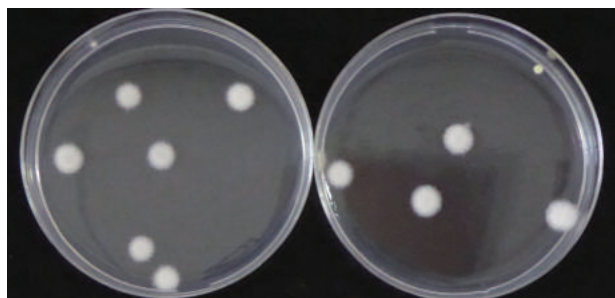
陽熱プラスでは、処理前後の土壌中の菌密度を調査することで、対象病原菌に対する消毒効果の判定を行います。また、処理中の地温を測ることで、対象病原菌の消毒に必要な積算地温を知ることができ、今後の作付け時における太陽熱土壌消毒の効果を考える目安となります。

【 調査の方法 】

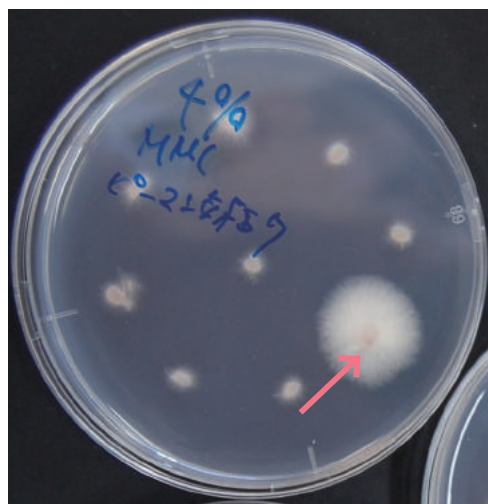
太陽熱土壌消毒の処理前後における土壌中の対象病原菌の量を比較し、消毒効果を調査します。今回は主に宮崎県で問題となっているトマト立枯病の原因菌である *Haematonectria ipomoeae* (以下、立枯病菌) という糸状菌(カビ)を対象に試験しました。

病原菌だけを見つけるための工夫

土壌中にはたくさんの微生物がいます。そこから特定の病原菌だけを見つけるのは困難です。今回は立枯病菌の中で、通常の糸状菌では生育できない培地で生育できるものを選抜しました (*nit* 変異株、右図、下図)。



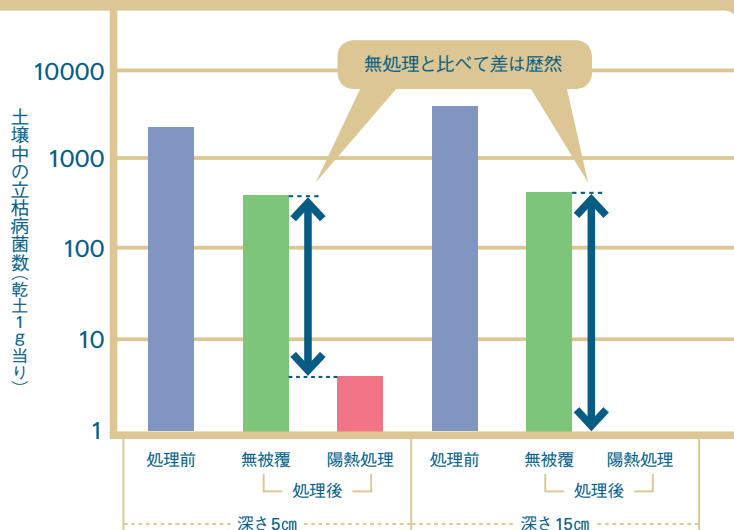
土壌から検出された立枯病菌 *nit* 変異株 (白い円形のコロニー)。本来は土壌中には様々な糸状菌が生息しているが、立枯病菌 *nit* 変異株のみが生育している



通常の糸状菌は生育困難な培地で生育した株を選抜 (赤の矢印)

【病原菌の消毒効果】

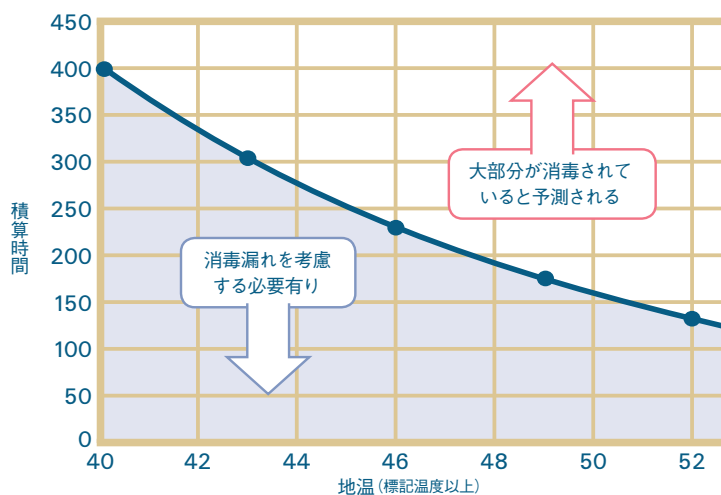
立枯病菌 *nit* 変異株を混和した土壌へ太陽熱土壌消毒を行いました。処理前後の *nit* 変異株数を調査し消毒効果を確認しました。ほとんどの病原菌が死滅しました(右図)。大きな消毒効果がある一方、すべての病原菌が死滅しない場合もあり、消毒漏れに十分注意する必要があります。



太陽熱土壌消毒による病原菌の消毒効果

太陽熱消毒期間中の積算温度との関係

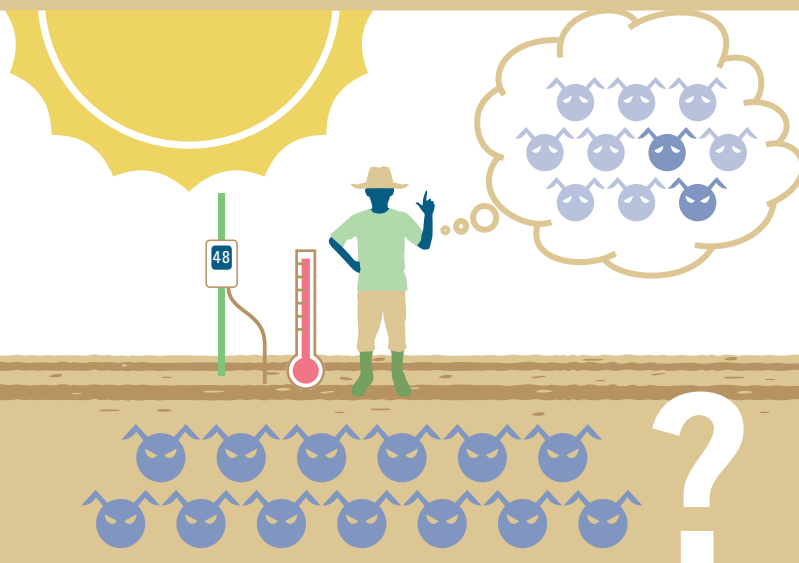
病原菌によって死滅するのに必要な積算温度は大きく異なりますが、多くの菌では死滅するには地温 40°C 以上が一定時間以上積算されることが条件となります。今回、立枯病菌の大部分が死滅するには 40°C が 398 時間、 43°C が 309 時間必要な結果となりました(右図)。



積算温度と消毒効果との関係

【まとめ】

陽熱プラスでは、消毒中の地温をモニタリングすることで、過去の積算温度による病原菌の死滅データを目安とし、消毒の効果を推定することが可能となります。



陽熱プラスのみそ2 —窒素・リン酸の動態—

消毒中の高温は、土壤中における窒素・リン酸量にも影響することがわかりました。

高温による土壌窒素の無機化*1量を診断する手法と、

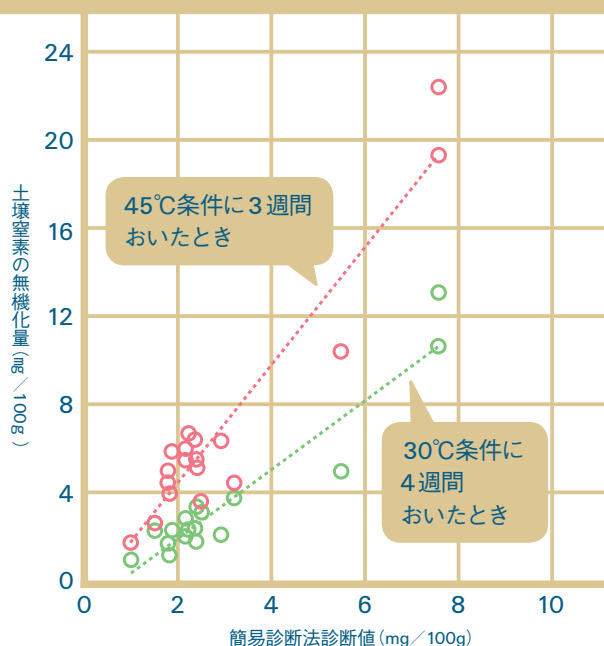
陽熱プラスのキーとなる肥料のひとつ、新開発の「ハイパーCDU入り豆用配合肥料」について、肥料を施用した土壌からのリン酸可給化量*2を推定した事例を紹介します。

*1…土壌有機物が分解し作物が利用しやすい無機の窒素が生じること

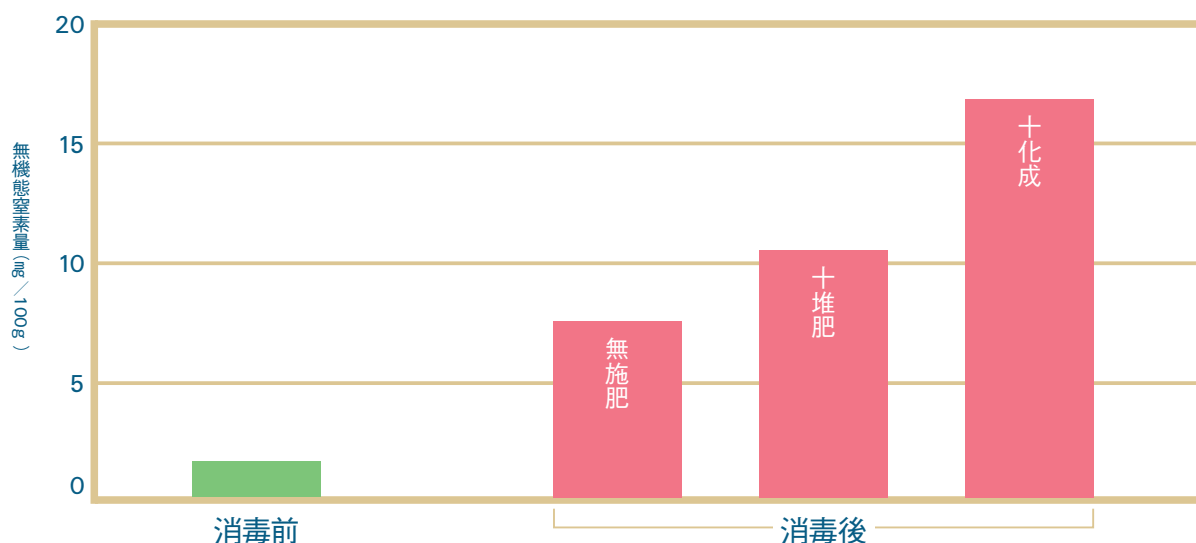
*2…有機質肥料中のリン酸が作物が利用できる可給態リン酸に変化した量

【地温データと簡易土壌診断により】 無機化量を計算します

30℃で4週間に比べて、45℃で3週間おいたときの土壌窒素の無機化量が多くなりました(右図)。高温での土壌窒素の無機化量を、地温と消毒時間、また、土の肥沃さから予測する方法を提案しました。土の肥沃さは、土の有機物をお湯で抽出する簡易法(詳細は「80℃ 16時間水抽出」で検索)で診断します。無機化した土壌窒素は基肥窒素と同じ効果を持つ(下図)ので、診断値が高い土壌では基肥量が減らせます。詳しくは、技術資料集で。なお、後のページで紹介する陽熱プラス実証で用いた資材を含む、有機肥料等30資材以上についても、高温での窒素無機化特性を調べました。有機質資材の窒素肥料としての効果の見積もりの考え方は技術資料集に記載しています。



30℃と45℃での土壌窒素無機化量の比較

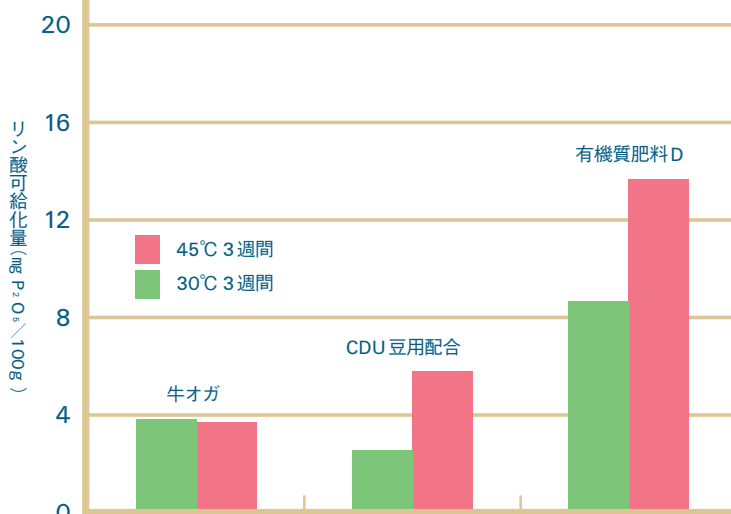


診断値 1.9mg/100gの圃場での窒素無機化量

※牛ふん堆肥 1t10a⁻¹、化成は硫安 10gNm⁻²を消毒前に施用した

【 高温で有機質肥料施用 土壌のリン酸可給化量 が増加しました 】

土壌消毒を模した室内実験で、ハイパーCDU入り豆用配合肥料、有機質肥料Dを施用した土壌を高温(45℃)で3週間おくことで、30℃と比べてリン酸可給化量が増加しました。



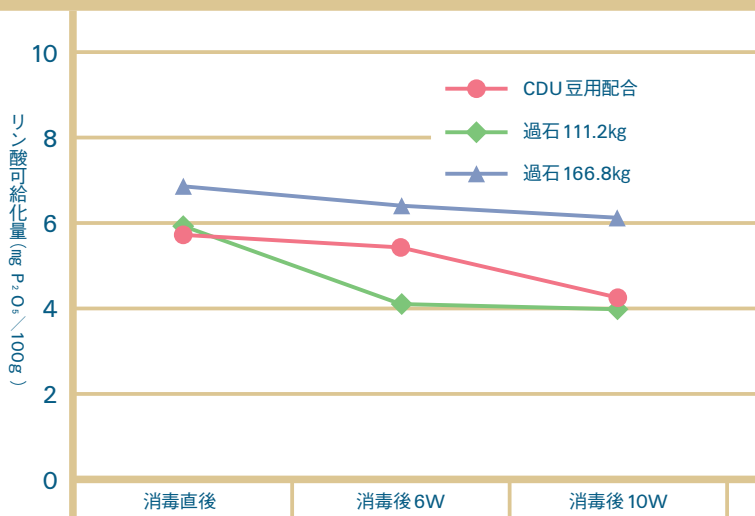
高温がリン酸可給化量の変化に及ぼす影響

現物施用量(10aあたり):

牛ふんオガズ堆肥2t、ハイパーCDU入り豆用配合肥料300kg、有機質肥料D 250kg

【 室内実験で リン酸可給化量を 推定しました 】

上述の土壌消毒を模した室内実験後に土壌培養を行い、可給態リン酸を分析することで、有機質肥料からのリン酸可給化量を推定しました。右図ではハイパーCDU入り豆用配合肥料(リン酸施用量9kg/10a)により、過リン酸石灰111.2kg/10a(リン酸施用量20kg/10a)施用と同等のリン酸が可給化することを示しています。



消毒後のハイパーCDU入り豆用配合肥料のリン酸可給化量の推移

現物施用量(10aあたり):

ハイパーCDU入り豆用配合肥料300kg、過リン酸石灰111.2kg及び166.8kg

【 窒素・リン酸の動態について、より詳しく知りたい方は… 】

別紙、技術資料集の窒素肥効予測のための有機質資材・土壌の迅速評価手法の開発、バイオマスリンによる可給態リン評価法の開発をご覧ください。

引用…井原ら(2018)日本土壌肥科学雑誌、杉戸ら(2016)農研機構研究報告北海道農業研究センター

問い合わせ先…国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター(096-242-7765)

陽熱プラスのみそ3

—土壤生物環境への
影響評価—

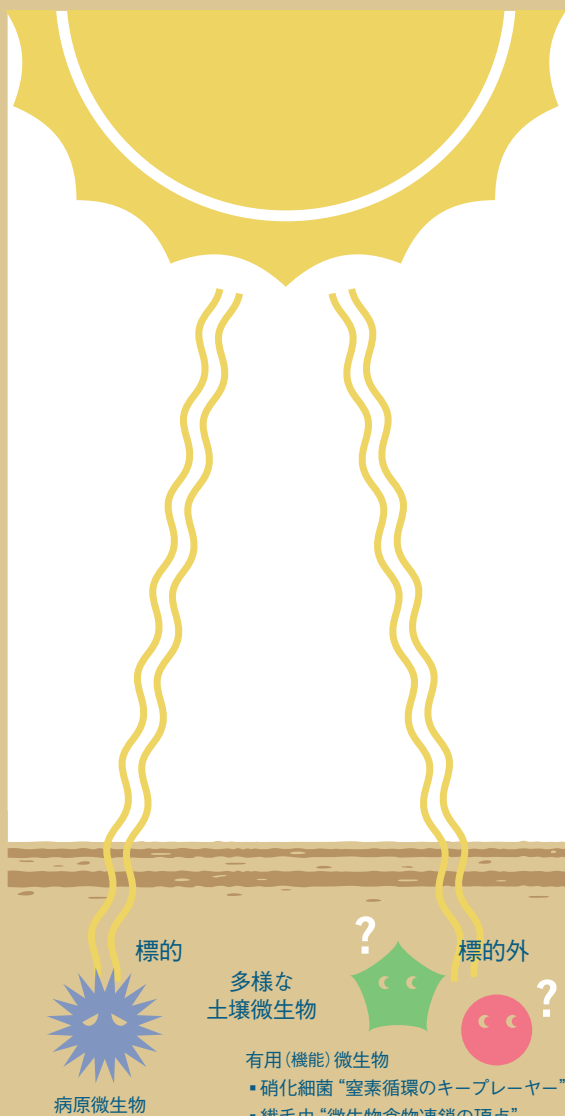
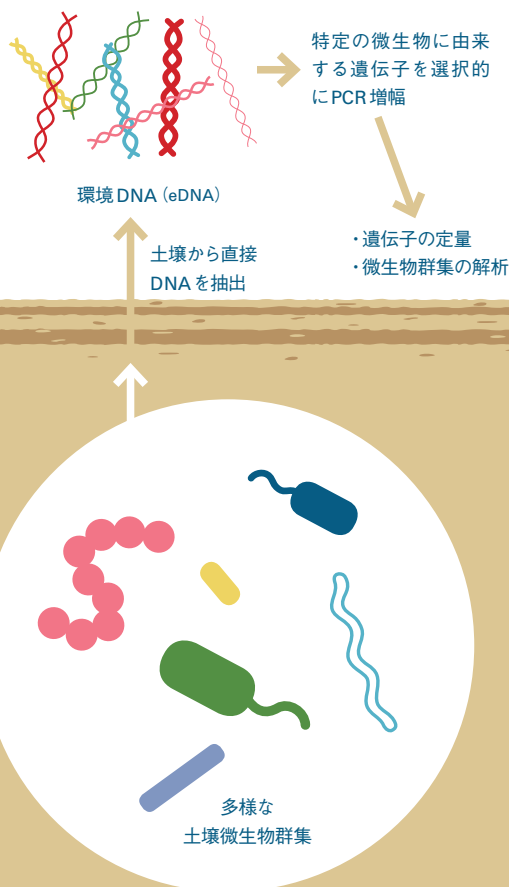
陽熱プラスによる太陽熱土壤消毒では、病原菌だけでなく土壤中の一般微生物も大きな影響を受けます。それらの影響を土壌DNA（環境DNA [eDNA]）の調査により評価する方法を紹介します。

【調査の方法】

環境DNA（eDNA）

—遺伝子の窓で土壤微生物群集を視る—

土壌に生息する多様な微生物群集から直接DNAを抽出し、対象とする微生物に特徴的な遺伝子を選択的にPCR法により増幅することにより、微生物存在量の変動や群集構成の変化を調査します。太陽熱土壤消毒が土壌中の細菌、糸状菌（かび）、アンモニア酸化細菌（硝化細菌）、繊毛虫に与えるダメージと消毒後の回復について解析しました。



【太陽熱土壤消毒】

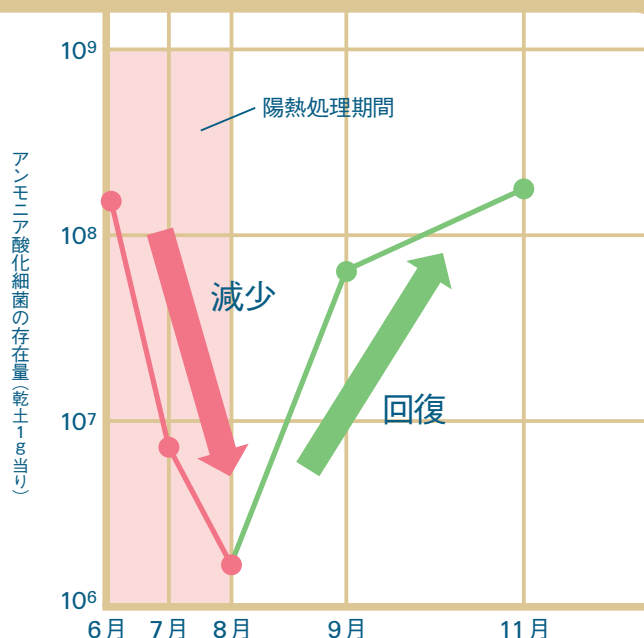
太陽熱土壤消毒は、対象となる病原菌だけでなく、土壌の肥沃性に重要な役割を果たす有用微生物などにも影響を与えるため、土壌中の養分の動きや微生物間のバランスに乱れが生じます。

【微生物群集の 存在量への影響は？】

- 微生物全体の存在量は消毒により半減し、消毒後は1～3ヶ月かけて徐々に回復します。
- 消毒により、アンモニア酸化細菌は大きく減少し、消毒後1ヶ月程度でほぼ回復します。

*アンモニア酸化細菌とは？

肥料に含まれるアンモニアを作物が好んで吸収する硝酸へと変換する反応のキープレーヤーとして重要な働きをしています。



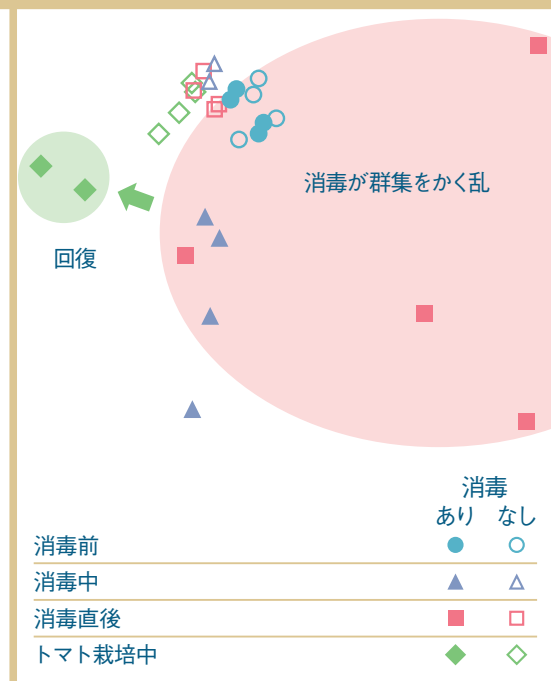
太陽熱土壌消毒が土壌中の
アンモニア酸化細菌群集に及ぼす影響

【微生物の 群集構成への影響は？】

- 細菌や糸状菌(かび)の種類構成は消毒により一時的に大きく変化しますが、消毒後は時間の経過とともに徐々に回復します。
- 繊毛虫も消毒により大きくかく乱されますが、消毒後時間が経つと次第に回復・安定します。

*繊毛虫とは？

細菌・糸状菌(かび)を食べる微小な捕食者で、土壌の養分循環に役立っています。繊毛虫群集の変動過程を追跡することにより、土壌微生物群集全体のバランスを診断できると期待されます。



太陽熱土壌消毒が土壌中の
繊毛虫群集に及ぼす影響

【まとめ】

土壌微生物群集に対する太陽熱土壌消毒のダメージの程度と消毒後に健全な状態に回復する過程を、eDNAの解析により迅速に評価できることを明らかにしました。

引用…Yokoeら(2015) Soil Science Plant Nutrition, Muraseら(2015) SSPN, Yamagataら(2017) SSPN
問い合わせ先…名古屋大学大学院生命農学研究科 土壌生物化学研究分野 (052-789-4135、5509)

陽熱プラスのみそ4

—地温の計測方法—

「陽熱プラス」では、消毒中の地温を計測します。地温を計測することで、消毒効果や養分への影響を客観的に判定し、効果を予測することができます。地温は、深さや位置によって異なるため、計測方法を一定のやり方にそろえることが重要です。陽熱プラスでは、深さ 15cm の位置で計測します。

【 必要なもの 】

- ①温度記録計+センサ
 - ②データ収集機、パソコン
 - ③支柱、支柱に固定するためのビニールひも等
- いずれも市販品があります。防水タイプの記録計も便利です。

構成例

おんどとり TR-52i (センサ付属の商品ですが、別売りの TR-5320 ステンレス保護管センサのほうが土に差し込み、位置を固定するのが容易です)、データ収集機 TR-50U2 (または RTR-500DC)、農業用支柱 (外径 13.7mm × 長さ 90cm)、ねじりっこ、USB ポートがある Windows パソコンおよび表計算ソフト

*無線を使って圃場外のパソコンにデータ転送する記録計もあります。

*防水ではありませんが、USB 端子がついていてデータ収集機が不要な記録計もあります (TR-7wf など)。この場合、防雨スイッチボックス (WB-DM など) 等に入れて使います。



RTR-500DC
(T&D 社)

TR-52i
(T&D 社)

【 計測手順 】

1 設置場所を計画します

施肥・畝立て後 (消毒開始直前) に設置します。
圃場内の 1 か所、深さ 15cm で観測します。

● 記録計
● 観測地点



端にしか場所を確保できない場合、ケーブル長が許す範囲で、圃場の中心、畝の中心に近づける。

畝立てした圃場での設置場所の○×例

2 記録計の設定をします。

何分ごとに記録するか、いつから記録開始するかを設定します。一般的には、記録計、データ収集機、パソコンがあれば設定できます。

たとえば、設置予定日の午前0時から、1時間間隔(毎時0分)とします。

3 設置場所、ケーブル埋設場所を掘り、センサを設置します*

穴を掘り、センサを置き、埋め戻します(下図)。



センサの埋設

4 データを回収し、効果の目安となる数値を計算します

記録計に保存されたデータは、消毒途中でも回収できるので、地温の推移を確認して、消毒終了までの期間の目安にすることもできます。

最終的に、消毒終了時点で得られたデータを使って、病原菌密度の低減効果の目安となる「〜℃以上の積算時間」(利用方法は本パンフ21ページQ11)や、高温による養分の可給化効果の目安となる「30℃換算日数」(技術資料集)を計算します。

*センサの設置手順については、動画でも確認できます。

また、表計算のひな形を技術資料集に添付します。

コラム 気象情報を利用した 地温の推定



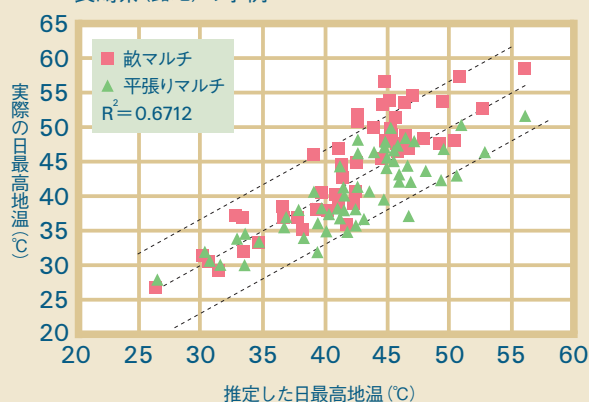
「陽熱プラス」は地温の計測が基本です。
 これまでは温度記録計を設置していない場合、あるいは設置圃場の
 近隣ではあるものの消毒期間が異なる圃場の場合には、
 太陽熱による土壌消毒効果の判断はできませんでした。
 そこで、情報として入手可能な日最高気温から日最高地温を推定して、
 太陽熱による土壌消毒効果を見積もる手法を開発しました。

気象庁が提供する気温データベース

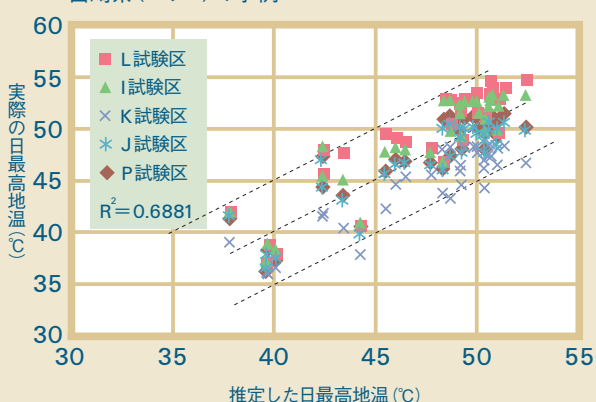


【日最高地温の推定】

長崎県（露地）の事例



宮崎県（ハウス）の事例



露地の場合

$$\text{日最高地温} = 1.3 \times (\text{日最高気温}) + 1.2 \times (\text{日照時間}) - 9.3$$

ハウスの場合

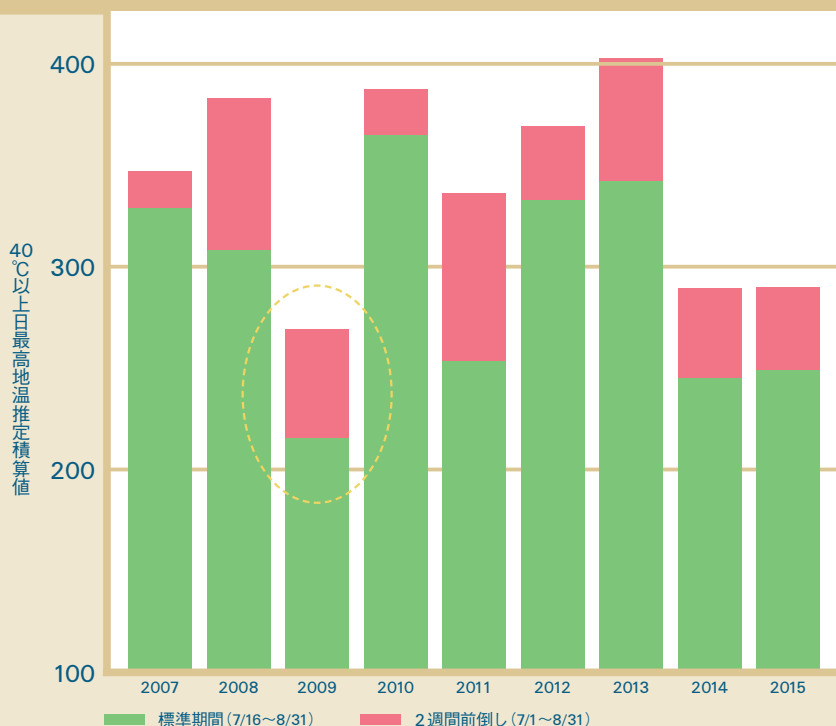
$$\text{日最高地温} = 10.6 \times (1.3 \times (\text{日最高気温}) + 1.2 \times (\text{日照時間}) - 9.3)^{0.40}$$

推定式の特徴…日最高地温の知りたい地点の近隣のアメダスデータの日最高気温と日照時間（気象庁が公開しているデータ）から簡単に推定できます。

推定式使用における注意点

- ◎この推定式は被覆資材使用を前提とした、露地の場合深度5cm、ハウスの場合15cmの日最高地温を推定する。
- ◎陽熱処理時以外の用途で使用した場合、日最高地温の推定精度は低くなる。
- ◎土壌に施用する資材によっては実際の地温より低く推定される場合がある。

この地温推定法を利用することで、太陽熱土壌消毒の開始時期を前倒しした場合に、消毒に必要な地温が確保しやすくなると推定できます(右図)。前作後の圃場片付け、そして太陽熱土壌消毒作業を計画的に実施することが重要です。



消毒開始時期の前倒しによる積算地温増大効果



これまで「例えば地温が45度以上になった日数の合計」で評価してきた消毒効果について、気象情報から「閾値(45度)以上の地温となったときの積算温度(陽熱負荷指数)」として再評価する研究も進めています(下高ら2016)。

〔 陽熱負荷指数の利用場面 〕

消毒効果の推定

- 1 病原菌数や発病度などと積算地温を組み合わせたデータがあれば、陽熱処理開始日と終了日、調査地点の情報から消毒効果を推定できるようになります。
- 2 過去の気象データから、調査地点における陽熱処理終了予定日を推定し、より明確な栽培計画を立てることができるようになります。
- 3 気象メッシュデータを利用することで、太陽熱土壌消毒の適地を地図上で把握できるようになります。

引用…下高ら(2016)生物と気象、下高ら(2017)地域論叢(長崎総合科学大学地域科学研究所紀要)

問い合わせ先…国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター(029-838-8421)



ハイパーCDU入り
豆用配合肥料*1

*1…現在の名称は
「ハイパーCDU有機入り配合048」

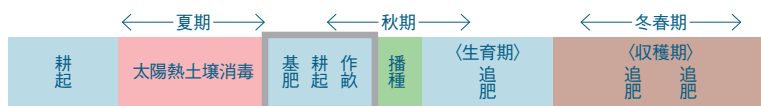
肥効調節型肥料を用いた全量基肥施用

基肥にハイパーCDU入り 豆用配合肥料*1 を利用した 実エンドウ施設栽培

実エンドウ秋まき冬春どりハウス栽培における「陽熱プラス」技術として、自然の熱エネルギーを利用した太陽熱土壌消毒に、和歌山県の実エンドウ用に開発した肥効調節型肥料（ハイパーCDU入り豆用配合肥料*1）をプラスした環境にやさしい、省力・減肥栽培技術を紹介します。

安定した防除効果
プラスハイパーCDU入り豆用配合肥料で
超省力・減肥栽培

実エンドウ秋まき冬春どりハウス栽培



従来型

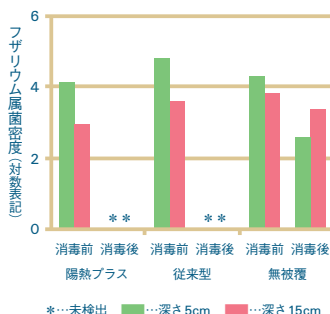


陽熱プラス

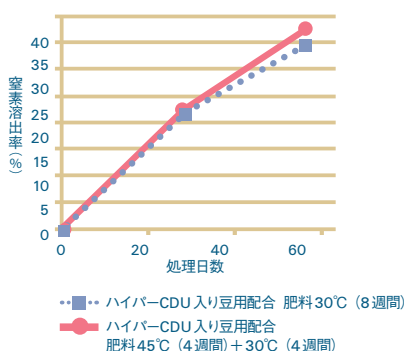
太陽熱土壌消毒前に基肥、耕起、畝立て

[基肥にハイパーCDU入り豆用配合肥料と堆肥を全量施用] すると、

- ・消毒後の施肥・耕起による土壌混和での再汚染が生じにくく、土壌消毒効果が維持される
- ・追肥労力が削減できる ※施肥時間の55%を削減
- ・減肥できる ※慣行栽培（窒素30kg/10a）にくらべて窒素20%削減（窒素24kg/10a）



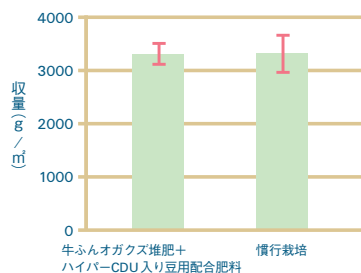
太陽熱土壌消毒によるエンドウ
苗立枯症状原因菌（フザリウム属菌）
の殺菌効果



ハイパーCDU入り豆用配合肥料の
窒素溶出パターン

ハイパーCDU入り
豆用配合肥料

- ・実エンドウの「陽熱プラス」技術に適合し本事業で開発された微生物分解性肥効調節型肥料。（保証成分N:P₂O₅:K₂O=8:3:7、窒素成分として、微生物分解性肥効調節型肥料ハイパーCDU50%+有機質資材50%）
 - ・微生物分解により成分が溶出するので、太陽熱土壌消毒による温度の影響を受けにくい。
 - ・産地土壌のリン酸集積の実態を反映し、リン酸は3%に抑えて配合。
 - ・リン酸9kg/10a（窒素24kg/10aを施用した場合）は、過リン酸石灰20kg/10aと同等の肥効が期待できる。
- ※リン酸肥効についての詳細はP7「陽熱プラスのみそ2—窒素・リン酸の動態—」を参照



慣行栽培との収量比較

※ 1㎡枠内にて試験
（畝幅1m、株間20cm[4株/区]）

[実エンドウハウス栽培での陽熱プラス技術の作業手順]

処理開始の適期…5～7月

- 1** 前作の作土を耕起
家畜ふん堆肥(牛ふんオ
ガクズ堆肥等1t/10a程
度)とハイパーCDU入
り豆用配合肥料(窒素
24kg/10a)、土壌改良
剤などを施用



家畜ふん堆肥+肥料 施用

- 2** なるべく深くまで耕起
し、畝立ての後、温度
記録計を設置
*設置、モニタリングはp10-11「陽
熱プラスのみそ4 地温の計測方法」
を参照



耕起、畝立て

- 3** 散水チューブなどで十分
かん水(体積含水率40%
を目標)する。透明ビ
ルフィルム(0.1mm厚)な
どで全面を被覆



かん水

- 4** ハウスを閉めきり太陽
熱土壌消毒開始、消毒
に必要な地温の積算時
間をモニタリング



マルチ

[最適かん水量の目安]

目標土壌 体積含水率	初期土壌体積 含水率	必要散水量 (L/m ²)
40	10	60
	15	50
	20	40

[壤土～埴壤土での土壌体積含水率の目安]

20%…作物がしおれ始める水分状態／30%…大雨が降った翌日の土壌水分状態／40%…
土壌を手で握りしめると水がしみでる

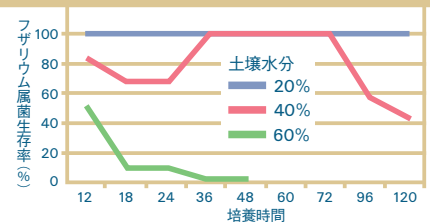
地温の上昇のし易さの指標となる熱拡散係数は、和歌山県の土壌(壤土、
埴壤土など)の場合、体積含水率20～35%で極大値となるため、かん
水直後の水分の流出や太陽熱消毒期間中の水分消失を勘案し、体積
含水率40%を目安にかん水することで、高い消毒効果が期待できます。

*江種ほか(2008)

[苗立枯症状に対する効果]

太陽熱処理開始前の土壌水分は高
い方が消毒効果が高くなります。

土壌水分が高地温(45℃、室内)に
おけるフザリウム属菌の死滅時間
に及ぼす影響



対象とする苗立枯症状原因菌によ
って消毒に必要な地温の積算時間
は異なります。

主要な苗立枯症状原因菌を死滅さ
せるために必要な地温の積算時間
(土壌水分…最大容水量の60%、室内)

消毒するために必要な地温の積算時間

	43℃	45℃	50℃
フザリウム属菌	48時間	36時間	24時間
2核リゾクトニア属菌	—	—	72時間

‘—’は積算時間が144時間でも死滅しなかったことを示す。

[まとめ]

- 太陽熱土壌消毒前に、基肥として「ハイパーCDU入り豆用配合肥料」を全量施用することで、省力(無追肥)・減肥(慣行栽培にくらべて窒素施用量を20%削減)栽培ができます。
- 太陽熱土壌消毒前に、十分量かん水することで、消毒効果が高まります。
- 太陽熱土壌消毒処理期間は、地温をモニタリングすることで終了時期を判断できます。

問い合わせ先…和歌山県農業試験場(0736-64-2300)

バレイショ有機栽培での そうか病抑制と肥料効果



ソイルサブリペレット

バレイショの有機栽培を行なう場合、商品性を損なうそうか病の発生をいかに抑えるかが課題です。そこで、有機栽培でも利用できる太陽熱土壌消毒の効果を高めるとともに、土壌微生物相を豊かにしてそうか病を抑制することが期待される有機質肥料「ソイルサブリペレット」*1を消毒前に施用し、生育・収量性を改善させる「陽熱プラス」技術の開発・検証を行いましたので、紹介します。

【バレイショの畝立て消毒+移植機体系の作業手順 および慣行体系との作業時間比較】

「陽熱プラス」体系では、消毒後の土壌混和を避けるため移植機を用いて畝に種いもを挿し込み、植付け時の培土や生育期の中耕・培土を省略します。そのため、畝幅は従来の秋作露地栽培より少し広い65cmとし、2畝用の透明マルチ(幅180cm)で被覆します。マルチ被覆と除去に時間を要しますが、植付け以降の作業が簡略化されるので、合計の作業時間は慣行栽培と同じくらいです。



消毒前にソイルサブリペレットを
500kg/10a施用・混和



畝立て後マルチを被覆しながらピンで固
定



野菜移植機を利用した植付け

体系	施肥・耕うん	畝立て	マルチ被覆・除去	植え付け	中耕・培土	合計	比較
移植機	480*2	80	150	150		850	96%
慣行	480*2			360*2	60	900	100%

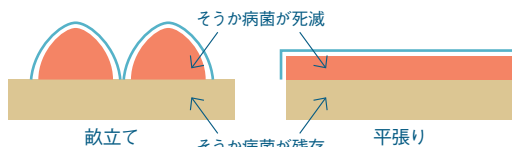
移植機利用体系の作業時間は実証試験の調査からの試算値、慣行の作業時間は長崎県農林業基準技術より抜粋

*1…片倉コープアグリ㈱の植物性有機質肥料 主原料は、ソイルサブリエキス(麦焼酎発酵かす濃縮液)、脱脂米ぬかなど

*2…2人組み作業の延べ労働時間、その他は1人作業

【 消毒方法は、畝立て方式が平張り方式より高温を確保しやすい 】

バレイショは露地作物のため、従来の太陽熱土壌消毒法ではそうか病の防除効果が安定しないことが問題でした。耕耘した状態でマルチを張って消毒する平張り方式に比べ畝を立ててから消毒する畝立て方式が高地温を確保しやすく、夏季の日照時間が少ない年でも消毒効果が安定します。



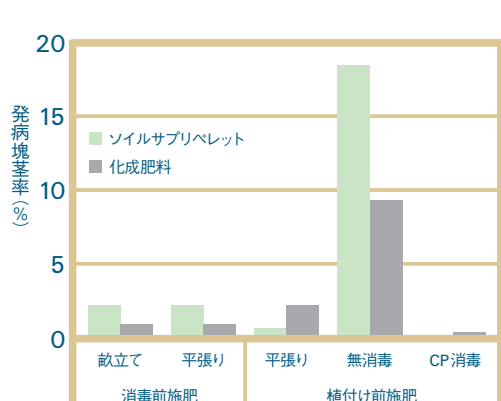
太陽熱土壌消毒の様子

地温 43℃以上の積算時間

深さ	畝立て	平張り	無消毒
5cm	182	101	10
15cm	29	0	0

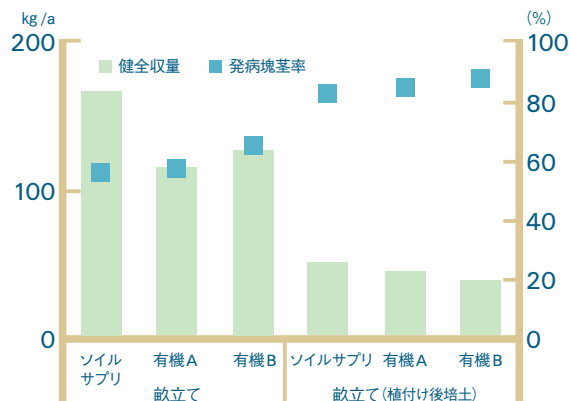
そうか病菌の死滅には、地温 40℃の恒温条件では 5 日 (120 時間) 以上、43℃では 1 日 (24 時間) 以上が必要

【 陽熱プラスでそうか病の発生を低く抑えることができる 】



少発生圃場では、クロロピクリン (CP) 消毒並みにそうか病の発生を抑える。ただし、激発圃場では、そうか病抑制効果が劣る場合がある。

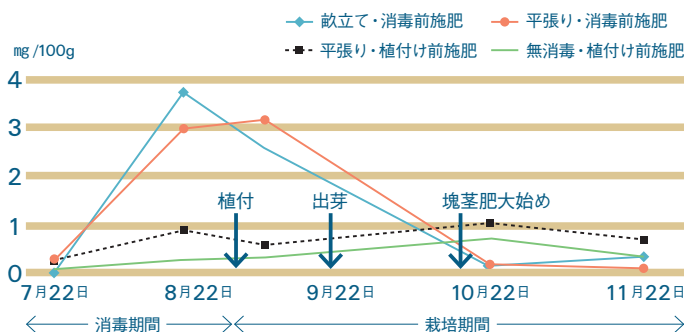
そうか病少発生圃場での検証結果



有機質肥料の中では、ソイルサブリエットの健全収量が高い。植付け後の培土を行わない方がそうか病を抑制できる。

有機栽培圃場での検証結果

【 消毒前施肥により秋作バレイショの生育前半に養分量が増加する 】



NO₃-N の推移

陽熱プラス



無消毒



有機質肥料を消毒前に施肥することで、初期生育が促進される。

有機栽培なのに堆肥なし！
ソイルサブリエットの消毒前施肥で
可販収量アップ!!

焼酎粕濃縮液



地域未利用有機質 資源利用による 肥料・土壌消毒効果の安定

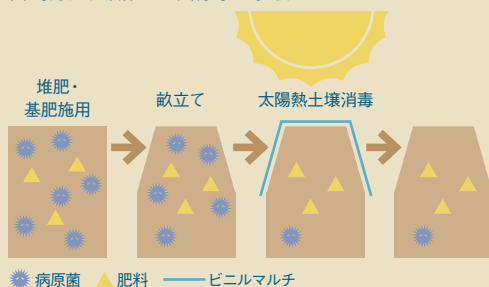
【技術の概要】

自然の熱エネルギーを利用した「畦立て後消毒（宮崎方式）の太陽熱土壌消毒」と、地域の未利用有機質資源である「焼酎粕濃縮液」を肥料として組み合わせた、環境・人にやさしい低コスト化技術です。

宮崎方式太陽熱土壌消毒

宮崎県で考案された宮崎方式の太陽熱土壌消毒は、処理前に施肥、耕耘、畝立てを行うため、太陽熱消毒終了後は直ちに定植が可能な状態になります。さらに、地温の上がりにくいハウス周辺部や作土深部等の土壌が、ロータリー作業などで消毒済みの土壌に混ざることが無いため、未消毒土壌による再汚染のリスクが極めて低いのが特徴です。

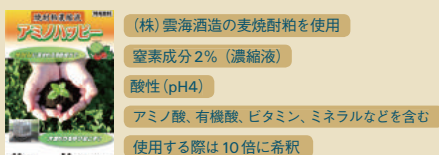
宮崎方式太陽熱土壌消毒の手順



焼酎粕濃縮液

焼酎粕濃縮液は焼酎生産ラインから排出された焼酎蒸留廃液を固液分離し、液部をさらに低温濃縮したものを主原料としており（下図）、すでに特殊肥料として登録・市販されています。主な特徴として、窒素を約2%含むため、10a当たり1tを施用することにより、窒素を20kg施用することが出来ます。

焼酎粕濃縮液の特徴



焼酎粕濃縮液の肥料成分 (%)

原料名	窒素	リン酸	カリウム	カルシウム	マグネシウム
麦	2.1	0.6	0.4	0.04	0.1
ソバ	2.4	1.1	0.9	0.02	0.4
イモ	1.3	0.9	3.5	0.02	0.3

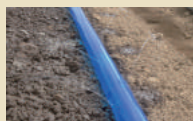
【処理方法】

堆肥施用 → 畝立て → 焼酎粕濃縮液施用 → 太陽熱土壌消毒 → 定植



焼酎粕濃縮液施用

動力噴霧器等を用いて1t/10aの焼酎粕濃縮液（原液）を畝の中央部にかん注します。



水で希釈

灌水チューブを用いて、9t/10aの水を、かん注した焼酎粕濃縮液上に散水し、焼酎粕濃縮液を10倍に希釈します。

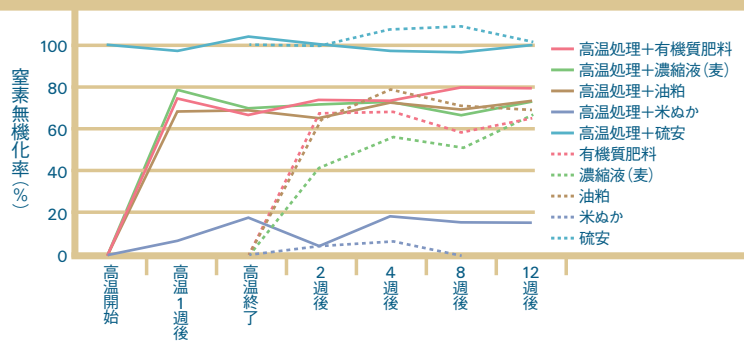


太陽熱土壌消毒

【水で希釈】の後、すぐにマルチ被覆を行い、ハウスを密閉して太陽熱土壌消毒に入ります。

【「陽熱プラス」のメリット】

焼酎粕濃縮液は、窒素が分解しやすい形態で2%程度含まれていますので、有機質肥料として活用できます。また、太陽熱消毒中に速やかに無機化されるので、生育初期から肥料効果が安定します。



肥料の窒素無機化率の推移

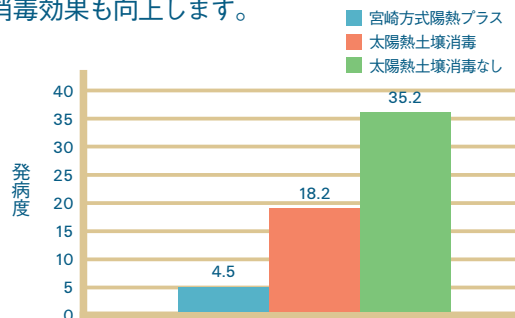
※高温処理期間(3週間)は45℃、高温処理後は30℃で培養

【太陽熱土壌消毒安定効果】

メロンにおいて「陽熱プラス」処理で、陽熱消毒のみ処理(有機質肥料)よりも初期の生育が旺盛で、土壌消毒効果も向上します。



左…宮崎方式陽熱プラス、右…太陽熱土壌消毒(2013年11月11日)



メロンつる割れ病の発病程度

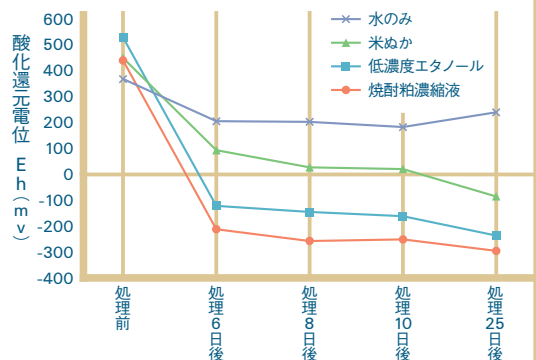
宮崎方式陽熱プラスの生育について

宮崎方式陽熱プラスは太陽熱土壌消毒よりも初期の生育が旺盛になります。

	草丈cm	本葉6枚目		
		葉長cm	葉幅cm	葉色
宮崎方式陽熱プラス	67.7c	10.6b	16.9c	35.4
太陽熱土壌消毒	59.9b	9.4ab	14.9b	33.9
太陽熱土壌消毒なし	52.2a	8.3a	12.9a	34.7

数値は平均値(n=15)。同一アルファベット間に有意差なし(Tukey法、P(0.05))。葉色はMINOLTA SPAD-502の測定値
生育調査(2013年11月1日)

表は、定植16日後の生育の様子。陽熱プラス区以外には基肥として、苦土有機化成新特A801(有機オパール8)を使用



酸化還元電位の推移

太陽熱土壌消毒と焼酎粕濃縮液を組み合わせることで、フスマや米糠などを利用した土壌還元消毒と同様に、また土壌還元資材である低濃度エタノールと同等に、酸化還元電位が低下します。この土壌還元状態が太陽熱土壌消毒の効果にプラスの影響を及ぼしているものと考えられます。

【経費削減効果】

トマト促成栽培の場合、太陽熱土壌消毒のみとの比較では、太陽熱土壌消毒の効果が安定し、慣行防除との比較では、低コストで済む大きなメリットがあります。 トマト促成栽培における経営効果

	10a当たり		
	肥料代	焼酎粕濃縮液	土壌消毒 経費計
太陽熱土壌消毒	50,133		50,133
宮崎方式陽熱プラス(陽熱+焼酎粕)	19,340	63,750	83,090
クロピクフロー処理(慣行土壌消毒)	50,133		68,628 118,761

JA 宮崎中央管内での慣行肥料にて試算

[円]

よくあるお問い合わせ

Q₁ どうして太陽熱で消毒できるのですか。

A 太陽熱エネルギーで上昇する地温により病原菌が死滅するからです。病原菌の死滅温度データは多数あります。

Q₂ 陽熱プラスは従来の太陽熱土壤消毒と何が異なるのですか。

A 従来の太陽熱土壤消毒は防除技術として開発されました。私たちは、地温の実測、消毒効果の見える化、使用する資材や土壌由来養分の評価、土壌中の生物性評価により、防除技術としてだけではなく、土づくりに役立つ技術を開発し、新しい肥効調節型肥料や有機質肥料、特殊肥料(焼酎粕濃縮液)を利用した実証試験に基づく成果を陽熱プラスとして提案します。

Q₃ 太陽熱土壤消毒はどんな病気に有効なのですか。

A 太陽熱エネルギーで暖められる地温は、表層近くで50度以上にまで上昇し、多くの微生物が死滅する温度域を確保できます。しかし、下層にいくほど地温は上昇しにくくなるので、土壌深くに生息する病原菌にはあまり効果がありません。

Q₄ 太陽熱土壤消毒処理はどのくらいの期間必要なのですか。

A 従来は、梅雨明け後の晴天約2週間程度の期間が必要と説明されてきました。この説明では消毒効果を経験で判断しなければなりませんが、消毒効果の期待できる処理期間は圃場により年次により異なります。陽熱プラスは地温の実測に基づく消毒効果の判定を基本とします。つまり太陽熱土壤消毒実施期間の積算地温から効果の判定をします。

Q₅ 太陽熱土壤消毒には、どの程度の土の湿り具合が必要なのですか。

A 土壌のタイプや透水性などにより異なりますが、一般的には土壌の保水性の評価手法の一つ、最大容水量の60%以上を目標とします。湿った土をぎゅっとにぎりしめてから、ゆっくり手を開いた時に、土の塊にひびが入る程度です。

Q₆ マルチを張る前の散水はどのようにすればいいのですか。

A 散水前の乾き具合により異なりますが、時間をかけて、十分なかん水をしましょう。短時間に大量の散水をするよりも、少なめの水量で時間をかけて散水する、同じ水量でも複数回に分けて散水する方が、土壌中の水分含量が高くなります。計画的な散水作業が必要です。

Q₇ 露地圃場のため、水管理ができないのですが。

A 散水設備のない露地畑では、梅雨時期の降雨後、作業に入ることができる程度に乾いてすぐに消毒を開始すると、地温上昇効果が高まります。

Q₈ 被覆に使うビニルの種類は決まっているのですか。

A 冬期間等に光の透過度の高い資材を利用することで地温を確保する場合もありますが、梅雨明け後であれば、ハウスの古ビニルの転用で十分な積算地温を確保できます。

Q₉ いつからいつまでの地温を測る必要がありますか。

A 測定期間は、施肥・畝立て後(太陽熱土壤消毒開始直前)から、少なくとも定植までの期間です。地温推定式を補正するために、可能であれば、栽培期間を通した測定が望まれます。温度記録計はできるだけ圃場の中心に設置してください。

Q₁₀ なぜ 15cm 深の地温を測るのですか。

A 根が深い作物とその病原菌、根が浅い作物とその病原菌、どちらにも対応できるように、中間をとりました。また、深いほど、現場で温度記録計が設置しにくくなることも考慮しました。同じ条件で測定することで、いろいろな地域の情報を比較検証できるようになります。

Q₁₁ ~℃以上の積算時間はどのように調べるのですか。

A 地温は、朝日が照り始めると上がり、日没後には下がります。たとえば、ある日、午前0時から1時間ごとに観測をして、27、26、25、24、24、24、25、25、28、30、35、40、**43、46、48、49、47、43**、40、37、34、31、28、27℃という観測値が得られた場合、43℃以上の積算時間は6時間、45℃以上の積算時間は4時間です。10日間の観測を行った場合は、10日分の観測値から、~℃以上となった時間数を数えることで、~℃以上の積算時間が計算されています。

Q₁₂ 降雨が続き、晴天日が少ない場合でも消毒効果はありますか。

A 太陽熱土壤消毒処理期間の地温を測ってください。このことにより、消毒効果の判定ができるようになります。

Q₁₃ 地温が上がらない場合はどうすればよいのですか。

A 生育期間中の防除対策等が必要です。また地温を上げるために二重被覆法(パワーアップ法)の利用も効果的です。

Q₁₄ 温度センサーがない場合、消毒効果を判断するにはどうすればいいのですか。

A 陽熱プラスでは地温の実測が基本ですが、気象情報から積算地温を推定する方法も紹介します。これ以外にも、太陽熱土壤消毒後の雑草の発芽状況を効果判定の目安とする場合もあります。

Q₁₅ 陽熱プラスを利用すると、
どれだけ窒素施肥量を
減らせますか。

A 土壌の肥沃さや積算地温により変わりますので一概には言えませんが、私たちの実証試験地の場合には10～20%の減肥が可能です。

Q₁₆ 陽熱プラスで使用する
資材や農機は
どこで手に入りますか。

A ハイパーCDU入り豆用配合肥料*¹は片倉コープアグリ株式会社が製造販売しています。入手情報は和歌山県農業試験場におたずねください。

露地ジャガイモの移植機や有機質肥料は長崎県農林技術開発センターにおたずねください。

焼酎粕濃縮液(発酵かす肥料*²)は雲海酒造株式会社が製造販売しています。入手情報は宮崎県総合農業試験場におたずねください。

*¹…現在の名称はハイパーCDU有機入り配合 048

*²…アミノハッピー

Q₁₇ 窒素の簡易分析法、
80℃ 16時間水抽出法は
どんな方法なのでしょうか。

A 具体的操作は下記にて公開しています。
http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto21/10/21_10_02.html
既に複数の普及指導機関にこの手法が導入されています。

Q₁₈ パンフレットで紹介した手法
(環境DNA [eDNA] の解析) を
利用した土の生物性診断は
どこでできますか。

A パンフレット制作時点(2015年11月)ではまだ普及指導機関や営農支援機関の分析センター等では対応できません。開発手法の簡易化・実用化が必要です。

Q₁₉ 陽熱プラスについて
詳しく知りたいのですが。

A このパンフレットの内容を詳しく紹介した技術資料集を用意しています。また陽熱プラスの概要や作業風景を動画(DVD)にまとめています。これらの資料(無料、ただし配布は在庫限り)をご希望の方は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター(029-838-8421)宛にお問い合わせください。

陽熱プラス作業上の留意点

前作栽培直後に圃場の片付けと太陽熱土壤消毒の準備作業を実施します。

- 前作物栽培期間中から圃場内を整理整頓、年間作業計画を確認します。
- 前作物栽培期間中から随時、罹病残渣を圃場外に持ち出します。
- 残渣分解促進の圃場管理作業（細断、窒素源添加、適湿化、通気）を実施します。

有効積算温度を確保する管理作業を徹底します。

- 電子機器やプラスチック製品等高温に弱い機材は事前にハウス外に持ち出しておきます。
- 被覆資材を張る前に十分な散水を行います。少量で時間をかけ畦芯まで湿らせないと効果がありません。
- 被覆資材を張るときにはスキマがないように注意します。特にハウスの谷、端、重なり部分は厳重に行います。
- 被覆資材の上に物を置かないようにします。

汚染土壤の混入を避ける管理作業を徹底します。

- 消毒処理後は土を動かさないようにします。
- 消毒効果が劣るとされるハウス内の外周部をきれいに整地します。
- 大雨・台風時は、泥水等が進入しないように注意します。
- 外ビニルを除去する場合、被覆資材がはげないように土のうなどで押さえます。

太陽熱土壤消毒実施期間の積算温度に基づく管理作業を徹底します。

- 温度記録計を設置し実測します。
- あるいは、本パンフレット12ページのように、気象情報から推定します。

適正な施肥管理を徹底します。

- 土壤有機物の無機化促進等の温度上昇効果により、消毒後に施肥量以上の窒素が溶出する場合があります。基肥窒素は、土壤診断（EC、硝酸態窒素、80℃ 16時間水抽出法）に基づいて減肥します。簡易土壤診断と地温データから基肥窒素の調整を行う方法は技術資料集をごらんください。
- 陽熱消毒が十分に行われた場合、硝酸化成作用に影響がみられる場合があります。陽熱プラスでは、硝酸化成を復元させるような資材の開発を試みています（まだ実用化していません）。

陽熱プラスは圃場衛生管理に有効です。

- 陽熱プラスの作業工程は、未熟な牛ふん堆肥に由来する大腸菌など衛生微生物の圃場混入リスクを軽減します。
- 化学薬剤に比べた時の土壤生物相への影響が少なくなる場合もあります。

これは農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業

「太陽熱土壌消毒効果を活用した省エネ・省肥料・親環境栽培体系「陽熱プラス」の確立」
の成果普及資料です。

研究グループ

農研機構中央研
全体統括・成果の広域普及

養分供給

農研機構北農研
可給態リンの評価

農研機構九州研
生物的硝化促進

土壌微生物群集(病害防除)

農研機構中央研
新規病害防除
可給態窒素の評価

名古屋大
eDNA解析

連携(材料提供・技術協力)

陽熱プラス技術体系の開発、現地実証、マニュアル作成

陽熱プラス肥効調節型肥料

- 和歌山県農業試験場
- JA 紀州みなべいなみ 豆部会

陽熱プラス有機質肥料

- 長崎県農林技術開発センター
- 長崎有機農業研究会
- 片倉コープアグリ(株)

陽熱プラス地域未利用
有機質資源

- 宮崎県総合農業試験場
- 宮崎県営農支援課
- 宮崎県経済連

モニタリング
データの提供

積算地温推定
結果の提供

研究グループ外の機関

長崎総合科学大学
気象情報からの地温推定法の開発

2015年11月25日 第一版発行
2016年6月30日 第二版発行
2017年12月28日 第三版発行

事業全般に関するお問い合わせ先

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台2-1-18
Tel 029-838-8421