

農林水産省 食料生産地域再生のための先端技術展開事業

最先端種苗産業確立のための野菜苗生産技術の

実証研究マニュアル

苗産業ふくしま復興コンソーシアム



福島県農業総合センター

目次

【はじめに】

序文：福島県農業総合センター所長 小巻 克巳	1
プロジェクトの概要	2～3

【第1章】人工光育苗を用いた高品質野菜の実証研究

1. 可視光域LEDを用いた野菜苗の生育制御	4～7
2. 紫外線LED照射によるストレス耐性付与の実証研究	7～10

【第2章】化学農薬に頼らない病害虫フリー化技術の実証研究

1. 高濃度炭酸ガスによる害虫フリー苗の実証	11～14
2. 温湯熱ショック、紫外線照射による病害抵抗性苗の実証	15～19

【第3章】最適培地と養水分精密管理

1. 添加資材活用による活着促進・安定化生産のための実証研究	20～25
2. 施肥省力土地利用型野菜生産の実証	26～27
3. 均質な苗生産のための省力的な育苗管理技術の実証研究	28～33

【第4章】苗生産における放射性物質のリスクマネジメント

【第5章】先端プロ技術の実用例および経済性評価

1. 先端プロ開発技術の実用例と評価	38～40
2. 経済性評価	40～41

【野菜苗生産と復興に向けた取り組み】

【参考文献、執筆者一覧】

序文

福島県浜通り地域は、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災による津波で甚大な被害を受けました。さらに、東京電力福島第一原子力発電所の事故により放射性物質が大気中に放出されたことで広範囲に及ぶ農地が放射能に汚染されました。これにより避難を余儀なくされた地域では、農業の再開に困難を極めており、それ以外の地域でも風評による農産物の買い控えなど、大きな打撃を受けています。

震災以前の浜通り地域は、福島県内への種苗供給産地として苗生産を行ってきた実績があることから、最先端技術の導入により種苗産業を再生し、さらに発展させることが浜通り地域の農業早期復興実現に繋がると考えました。

そこで、福島県農業総合センターが中核となり、国立研究法人、大学、民間企業等の合計 12 機関が共同で、平成 25 年から 29 年の 5 年間、農林水産省食料生産地域再生のための先端技術展開事業の「最先端種苗産業確立のための野菜苗生産技術の実証研究」に取り組み、試験研究で開発された最先端の技術の現地実証に取り組んで参りました。

本研究では、LED を用いた人工光育苗や、高濃度炭酸ガスを用いた化学農薬に頼らない病害虫フリー苗、育苗時の養水分精密管理等の苗生産技術を確立し、高付加価値野菜苗生産に必要な最先端技術として体系化しました。これらの研究成果は、浜通りの地域農業の核となる周年苗供給拠点の再生を後押しし、高品質の野菜苗販売による営農活動や雇用創出等復興に向けた一助となる、と考えております。

本稿は、5 年間の研究成果を図、写真を用いて簡潔にわかり易くまとめてあります。本研究成果が野菜苗の生産安定、さらには福島県浜通りを中心とした被災産地の復興・創生のために少しでも役立つことを願っております。

最後に、本事業の推進に当たって、尽力を賜りました農林水産省農林水産技術会議事務局、専門プロジェクトオフィサー及び参画機関の皆様並びに実証協力農業者の皆様方には衷心より厚く御礼申し上げます。

平成 30 年 3 月

福島県農業総合センター所長
小 卷 克 巳

プロジェクトの概要

実施事業名 食料生産地域再生のための先端技術展開事業

研究実施期間 平成25年10月～平成30年3月

研究機関

- 研究代表機関： 福島県農業総合センター
一般社団法人 食品需給研究センター
- 共同研究機関： 国立大学法人 千葉大学
パナソニック株式会社エコソリューションズ社
国立大学法人 茨城大学
株式会社 アグリクリニック研究所
日本液炭株式会社
ナラサキ産業株式会社
片倉コープアグリ株式会社
国立研究法人 産業技術総合研究所
日本バイリーン株式会社
ベルグアース株式会社

研究背景

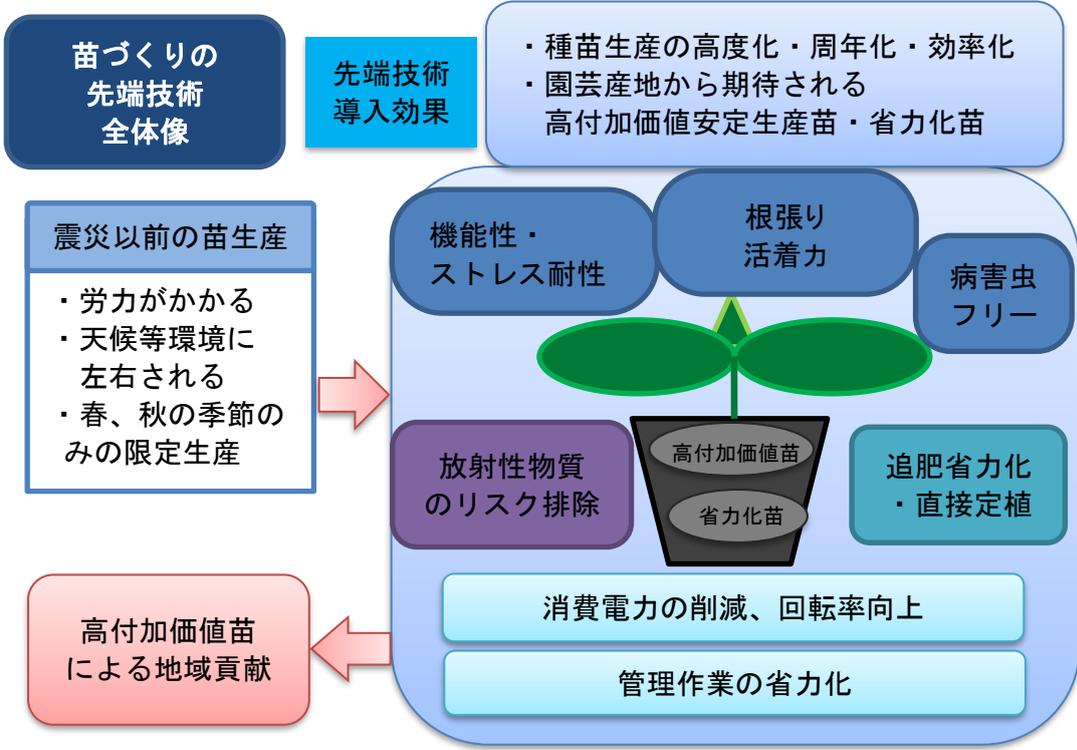
浜通り地域は、震災以前から福島県内への種苗供給産地でした。苗作りを最先端種苗産業として発展させることで、雇用の創出、地域農業の起爆剤となることが可能です。また避難地域に野菜苗を供給することで、早期営農再開と収益性の高い園芸農業への転換が図られます。

研究目標

- ・ 苗生産の高度化、周年化、効率化により種苗供給産地の再生・復興を目指します。
- ・ 苗生産農家と栽培農家の分業化により、効率的で安定した園芸産地づくりを支援します。



研究内容



南相馬市鹿島区 苗産業ふくしま復興コンソーシアム研究実証施設

第1章 人工光育苗を用いた高品質野菜の実証研究

1. 可視光域LEDを用いた野菜苗の生育制御

1-1 植物育成用赤白LEDの開発と生育評価

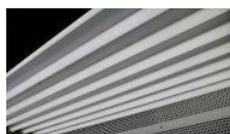
(1) 技術の概要

人工光育苗では従来から一般照明用の蛍光灯が用いられてきました。しかし、近年は省エネ、調光可能などの利点を持つLED光源の導入が試みられつつあります。本研究では、一般照明用のLEDの中でも、光合成に有効な赤色光を多く含む電球色LED（赤白LED）を光源に用いて、果菜類（キュウリ、トマト）の栽培試験を行い、有効性を評価しました。

その結果、従来の色温度5000Kの昼白色蛍光灯（以下、F5）に比べ、色温度3000Kの電球色LED（以下、L3）を用いることで、トマトやキュウリ苗の成長速度を速め、高品質苗を省エネで生産できることを明らかにしました。また、閉鎖型苗生産システム（苗テラス）の消費電力量を夏季と冬季に測定したところ、光源を昼白色蛍光灯から電球色LEDに置き換えたことで約50%の消費電力量が削減できることが明らかになりました。LED光源からの発熱量が減少することで、冬季の苗テラス内気温の低下が心配されましたが、本研究の結果では、夏季と同様、冬季も苗テラス内の気温と湿度は設定通りに維持できました。



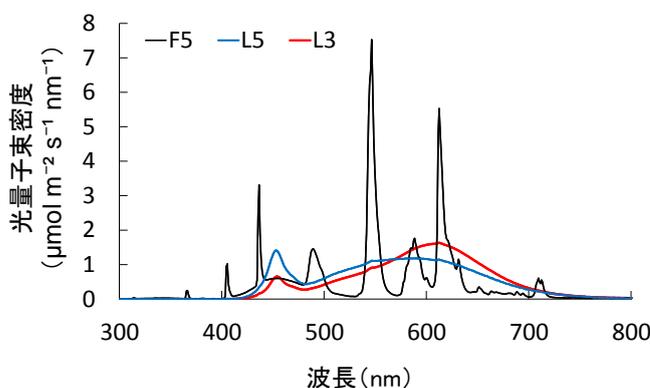
F5: 昼白色蛍光灯
(色温度 5000K)



L5: 昼白色LED
(色温度 5000K)



L3: 電球色LED
(色温度 3000K)



各光源の波長組成

波長 (nm)	光子束密度*($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
	F5	L5	L3
400-700	225.0	225.0	225.0
301-400 (UV)	2.0	0.1	0.0
401-500 (B)	59.8	48.9	25.5
501-600 (G)	97.3	101.8	96.7
601-700 (R)	67.8	74.3	102.8
701-800 (FR)	8.0	9.5	10.5
B/R	0.9	0.7	0.2
R/FR	8.5	7.8	9.8

図1 本研究に用いた光源の特性

セルトレイ面上の光合成有効光子束密度 (PPFD) は $225 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ としました。

(2) 期待される効果

従来の昼白色蛍光灯に比べ、電球色LEDを用いることで、トマトやキュウリ苗の成長速度を速め、高品質苗を省エネで生産できます。また、苗テラスの電灯系の消費電力量を約30%削減でき(図3、4)、栽培期間の短縮と消費電力の両面から約50%のコスト削減(図2)につながることを期待されます。

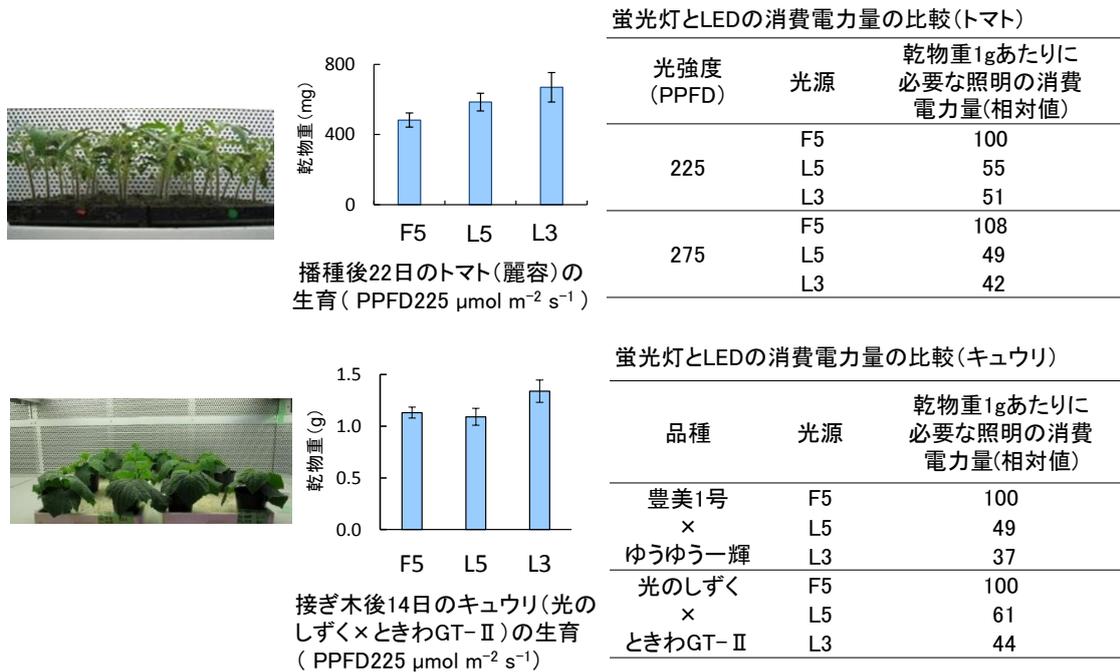


図2 蛍光灯とLEDの消費電力量の比較(トマト、キュウリ)

(ア)

区名	消費電力量(kWh)		
	電灯系	動力系	合計
LED3000K	254	254	508
蛍光灯5000K	372	269	641
削減率(%)	32	6	21

測定期間:平成28年9月15日から9月22日
室外機付近気温:平均28.4℃

(イ)

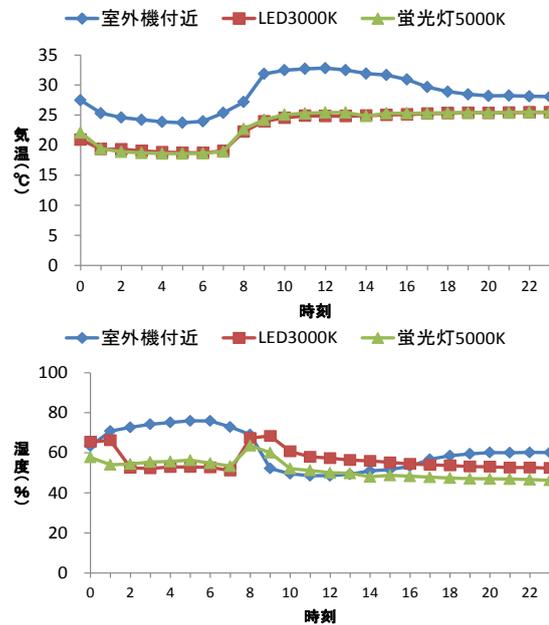
区名	消費電力量(kWh)		
	電灯系	動力系	合計
LED3000K	254	235	489
蛍光灯5000K	373	259	632
削減率(%)	32	9	23

測定期間:平成28年9月29日から10月6日
室外機付近気温:平均24.9℃

(ウ)

区名	消費電力量(kWh)		
	電灯系	動力系	合計
LED3000K	254	206	460
蛍光灯5000K	382	237	619
削減率(%)	34	13	26

測定期間:平成28年10月5日から10月12日
室外機付近気温:平均21.8℃



夏秋季ではLED 苗テラスの電灯系が蛍光灯苗テラスの1/3。動力系は設定温度と室外機周辺温度の差が大きいと消費電力量が大きくなります。

図3 夏秋季における時期・光源別の消費電力量とLEDの削減率

(ア)

区名	消費電力量(kWh)		
	電灯系	動力系	合計
LED3000K	253	185	438
蛍光灯5000K	375	192	567
削減率(%)	33	4	23

測定期間:平成28年12月21日から12月28日
 室外機付近気温:平均11.7℃

(イ)

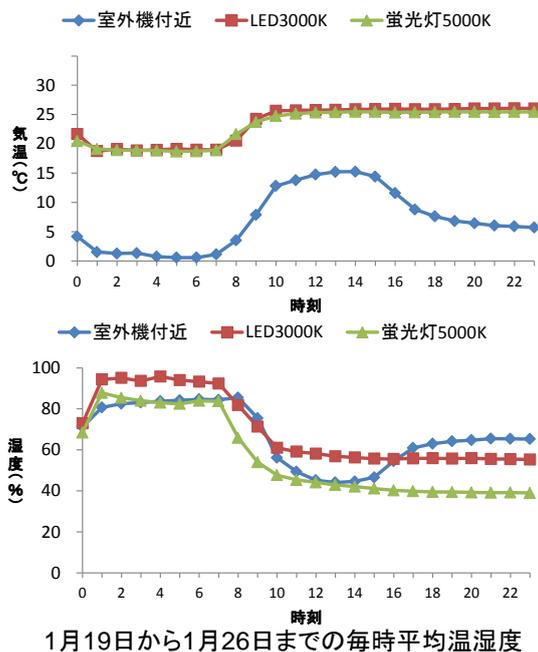
区名	消費電力量(kWh)		
	電灯系	動力系	合計
LED3000K	254	180	434
蛍光灯5000K	372	192	564
削減率(%)	32	6	23

測定期間:平成28年12月28日から平成29年1月4日
 室外機付近気温:平均8.8℃

(ウ)

区名	消費電力量(kWh)		
	電灯系	動力系	合計
LED3000K	254	179	433
蛍光灯5000K	372	190	562
削減率(%)	32	6	23

測定期間:平成29年1月19日から1月26日
 室外機付近気温:平均7.0℃



冬季ではLED 苗テラスの電灯系がFL 苗テラスの1/3。LED 苗テラスでも補助暖房なしで目標温度を維持できます。

図4 冬季における時期・光源別の消費電力量とLEDの削減率

1-2 LED 多波長制御による苗の高機能化

(1) 技術の概要

人工光育苗では従来から一般照明用の蛍光灯が用いられてきました。しかし、近年は省エネ、調光可能などの利点を持つLED光源の導入が試みられつつあります。閉鎖型苗生産システムをはじめとする人工環境下において、LEDを用いて光環境(光強度、光質)を適切に制御することにより、栄養機能性成分含有量の高い高品質のベビーリーフ類の生産が可能になります。

(2) 期待される効果

閉鎖型苗生産システムにおいて、育苗を行わない時期にベビーリーフ類の生産も可能です。適切に光環境を制御することで、栄養・機能性成分濃度が高い高品質なベビーリーフ類の生産が可能です。ベビーリーフは、複数品目を混ぜた状態で消費者に提供されるため、複数の品目を同時に生産することが多いです。植物種や成分により適した光環境が異なるため、複数品目を混ぜて提供する場合に、着目する成分(例えば、アスコルビン酸)の含有量が高い品目の組み合わせの探索および適した光環境の制御が可能になります(図5~8)。



図5 播種後21日のP300区 (PPFD 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) のコマツナ

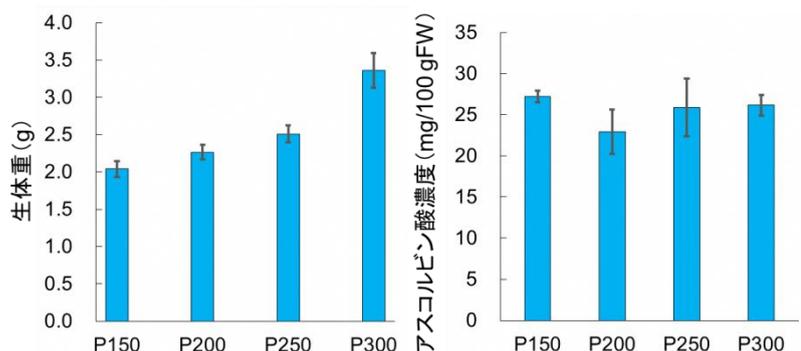


図6 播種後21日のコマツナ'ピノグリーン'の生体重およびアスコルビン酸濃度

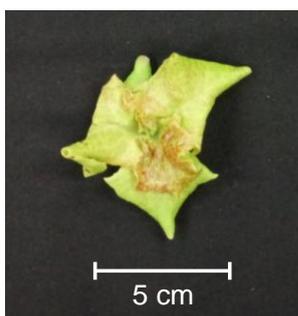


図7 播種後21日のP300区 (PPFD 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) のサニーレタス

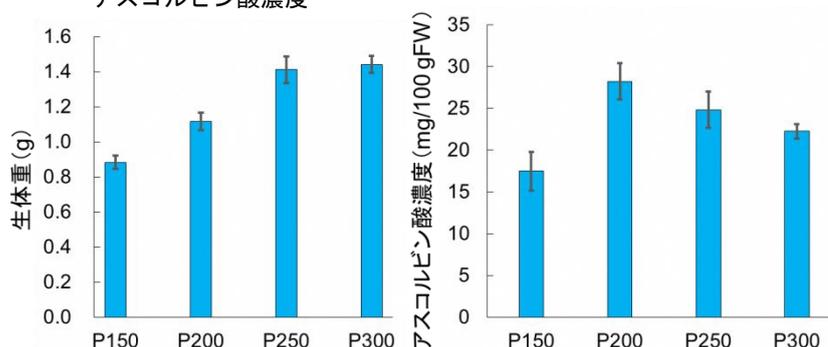


図8 播種後21日のレタス'レッドファイヤー'の生体重およびアスコルビン酸濃度

2. 紫外線 LED 照射によるストレス耐性付与の実証研究

2-1 紫外線付加蛍光灯によるトマト葉こぶ症の抑制技術の開発

(1) 技術の概要

閉鎖型苗生産システムは、光源として白色蛍光灯が用いられてきました。しかし近年、農業照明において、白色蛍光灯に代わる光源として、少ない消費電力で蛍光灯と同じ光合成有効光量子束を得られる LED の導入が検討されつつあります。しかし、紫外線 (UV) を含まない LED 光下でトマトを育苗すると葉こぶ症という生理障害が発生しやすくなります。

葉こぶ症は近紫外線 (UV-B) の照射で抑制できることは既に報告されています。また、UV-B の波長域を発光する LED は価格が高く、寿命も短いため、当面普及は難しい状況です。

そこで、本研究では UV-B 発光蛍光体 (UV-B 蛍光体) を付加した UV 付加白色蛍光灯 (UV-FL) を新たに開発しました。生育および葉こぶ症発症に及ぼす影響を調査したところ、白色 LED を主光源とする育苗では、UV-FL を組み合わせることで葉こぶ症の発生、ならびに葉こぶ症による生育抑制を回避できることを明らかにしました。



電球色 LED (UV なし)



電球色 LED に UV-FL を加えたハイブリット LED 照射装置

トマト葉こぶ症

(水泡症, *intumescence, oedema*)

非病原性のこぶ状突起が葉や茎などに発生する生理障害のひとつ。葉の組織内に水泡のようなこぶができ、葉緑体が抜けることで光合成速度の低下、成長阻害や枯死につながる。



(2) 期待される効果

播種後 16 日目のトマト苗（品種りんか 409）は、UV なしでは葉こぶ症により子葉が脱落し本葉が萎縮しましたが、UV 照射により葉こぶ症発生指数が小さくなり、葉の乾物重が回復しました（図 1）。

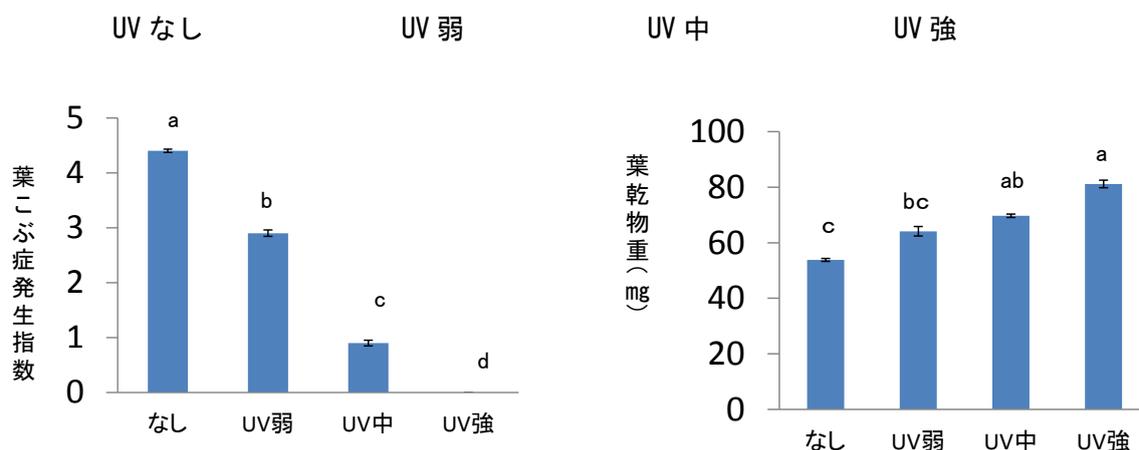


図 1 播種後 16 日目の本葉の葉こぶ症抑制効果

※Tukey 法によりアルファベット異符号間には 5%水準で有意差あり (n=10)

葉こぶ症発生指数について



発生指数 1



発生指数 3



発生指数 5

・えそ
・枯れ

調査対象:子葉から数えて第 1 本葉, 第 2 本葉

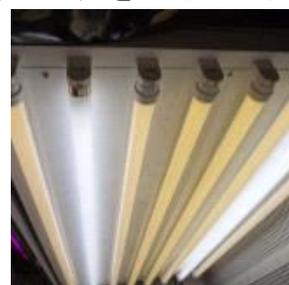
0:無し, 1:一部に小斑点, 2:面積の 1/4 以下, 3:面積の 1/4~1/2, 4:面積の 1/2~3/4, 5:面積の 3/4 以上に分類し, 個体あたりの平均点数とした。

2-2 紫外線によるストレス耐性付与

(1) 技術の概要

LED は放射波長に紫外線が全く含まれないため、太陽光育苗や蛍光灯育苗で自然に受けている光ストレスがなく、ストレス耐性が低いことが懸念されます。そこで本研究では、主光源である電球色 LED に紫外線 (UV) 付加蛍光灯 (UV-FL) を加えたハイブリット LED 照射装置を用い、二次育苗時の環境ストレス (高光強度、高・低気温、乾燥、UV など) や、育苗後の本圃の環境変化に適応できる能力、すなわちストレス耐性のあるトマト苗を生産する技術の開発を行いました。

ハイブリット LED 照射装置で育苗した結果、トマト葉こぶ症が軽減され、健全な苗が生産できました。また、トマト苗の葉に含まれる抗酸化成分濃度が高くなることが明らかになりました。この成分が高い苗は、二次育苗時の環境ストレス (高光強度、高・低気温、乾燥、UV など) に耐性が強いと考えられ、これまで乾燥による萎れからの回復が早いことが観察されています。



電球色 LED と UV-FL を組み合わせたハイブリット LED 照射装置

(2) 期待される効果

UV 照射強度が高いほど、葉こぶ症による生育抑制が軽減し、アントシアニン濃度や抗酸化成分濃度 (ORAC 値) が高くなりました。ORAC 値は抗酸化成分の濃度を基準物質である Trolox (TE) 等量で表した指標であり、値が高いほど抗酸化成分濃度が高いことを示します (図 2)。

クロロフィル蛍光パラメータ (F_v/F_m) は光合成能力の指標の一つで、通常は約 0.8 です。本試験では、ストレス条件下で全区の光合成能力が低下したものの、UV 照射区の方が対照区より高く推移し、これは UV 照射によるストレス耐性の向上を示します (図 4)。

‘桃太郎セレクト’ 21 DAS

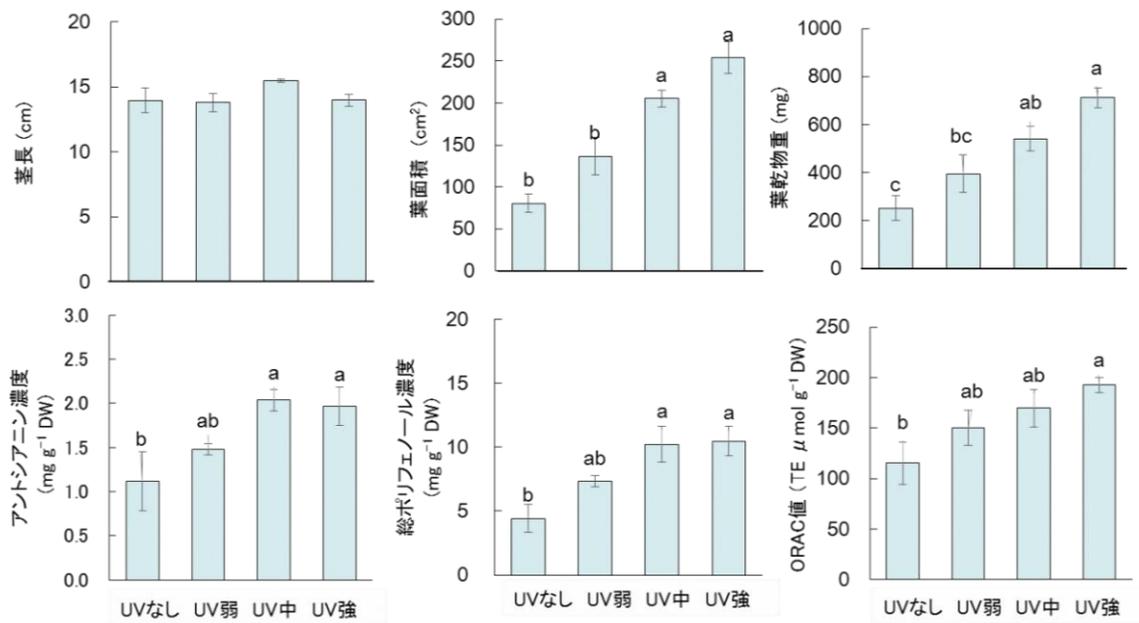


図2 UV-FLのUV強度とトマト葉に含まれる抗酸化成分



図3 人工環境下でのストレス耐性の評価

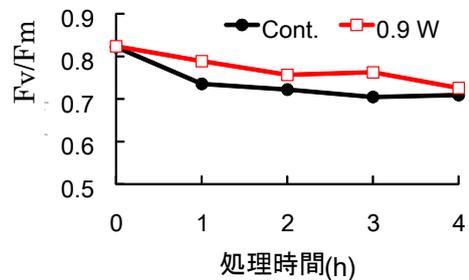


図4 クロロフィル蛍光パラメータ(Fv/Fm)
 ‘桃太郎セレクト’高温処理中の例



図5 温室でのストレス耐性の評価

問い合わせ先：福島県農業総合センター 作物園芸部 野菜科
 〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116 番地
 電話 024-958-1724

第2章 化学農薬に頼らない病虫害フリー化技術の実証研究

1. 高濃度炭酸ガスによる害虫フリー苗の実証

(1) 技術の概要

野菜苗を処理装置に入れ、一定の温度に保ち、一定時間、高濃度炭酸ガス処理することで、苗についた害虫を防除する技術です。

高濃度炭酸ガス処理試験は、イチゴ、キュウリおよびトマト苗を対象に行っています。平成28年9月7日に「炭酸ガス濃度40%、24時間、25℃」の条件でイチゴのナミハダニに、平成30年2月14日に「炭酸ガス濃度40%、24時間、25℃」の条件でイチゴのシクラメンホコリダニに農薬登録されました。また、平成30年2月14日に「炭酸ガス濃度60%、7時間、40℃」の条件でイチゴのナミハダニに、「炭酸ガス濃度40%、3時間、40℃+後処理（20%1時間+10%1時間）」の条件でキュウリのワタアブラムシに農薬登録されました。

現在、バッグ方式の処理装置が市販されていますが、この技術をさらに効率よく行うために、高濃度炭酸ガス大量処理装置が開発されました。この装置は、一連の高濃度炭酸ガス処理作業を自動化したものです。操作盤で一連の作業の設定ができ、迅速で正確な炭酸ガス注入や高温での温度を維持することが可能です。



高濃度炭酸ガス大量処理装置

高濃度炭酸ガスでハダニ類やアブラムシ類などの防除が可能。



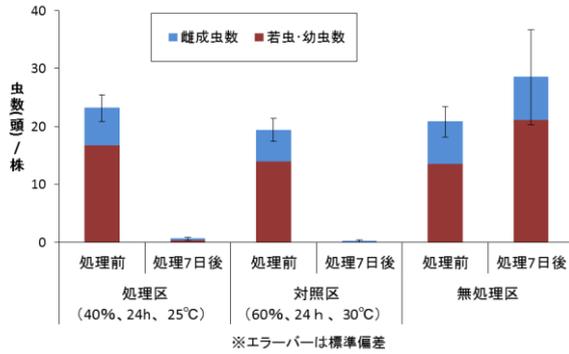
炭酸ガス処理したイチゴ苗

定植前の各野菜苗を炭酸ガス処理し、害虫防除が可能。

(2) 期待される効果

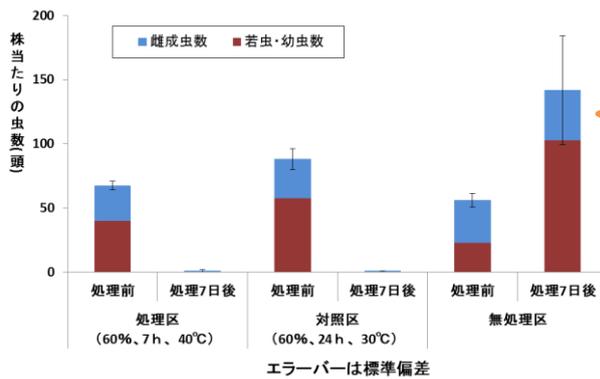
①化学農薬に抵抗性のある害虫の防除が可能です。

高濃度炭酸ガスによる好氣的エネルギー代謝阻害により、害虫を殺虫します。



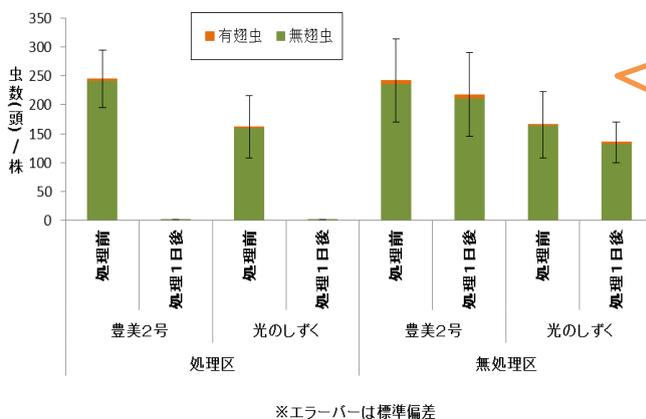
平成28年9月7日に、「炭酸ガス濃度40%、24時間、25°C」の登録条件でイチゴのナミハダニに農薬登録されました。

図1 高濃度炭酸ガスイチゴのナミハダニに対する防除効果 (2015年)



作業の効率化を図った「炭酸ガス濃度60%、7時間、40°C」の条件でもイチゴのナミハダニに高い防除効果があります。この条件で、平成30年2月14日に農薬登録されました。

図2 高濃度炭酸ガスのイチゴのナミハダニに対する防除効果 (2016年)



「炭酸ガス濃度40%、3時間、40°C+後処理(20%1時間+10%1時間)」の条件でキュウリのワタアブラムシに高い防除効果があります。この条件で、平成30年2月14日に農薬登録されました。

図3 高濃度炭酸ガスのキュウリのワタアブラムシに対する防除効果 (2016年)

②慣行栽培と比較して育苗期の化学農薬の削減が可能。併せて本圃での化学農薬の削減も期待できます。

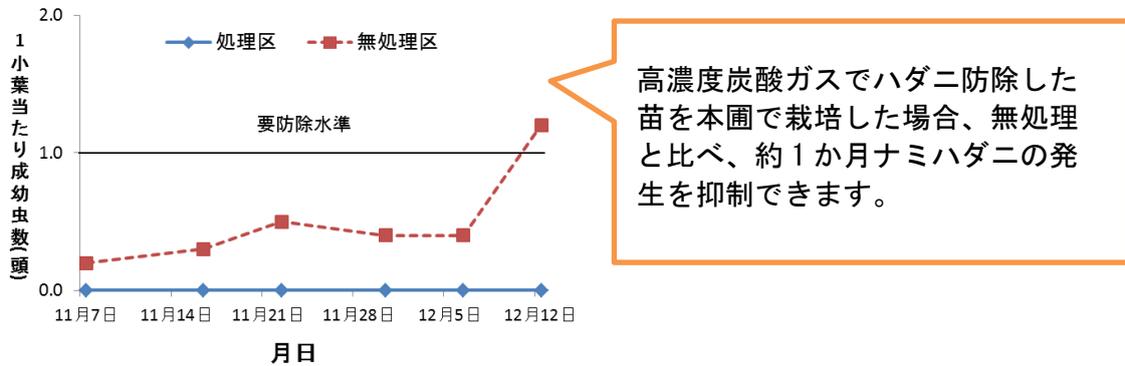


図4 高濃度炭酸ガス処理後のイチゴのナミハダニの発生推移 (2016年)

③処理ムラがなく、苗の隅々まで害虫の防除が可能です。ガスで処理するので、散布剤がかかりにくい場所に隠れた害虫にも高い防除効果を発揮します。

表1 高濃度炭酸ガスのイチゴのシクラメンホコリダニに対する防除効果

処理条件	株当たり成幼虫数			処理17日後成・幼虫数の対無処理比	障害
	処理前 (11月11日)	処理4日後 (11月19日)	処理17日後 (12月2日)		
炭酸ガス濃度40%、24時間、25℃	6.3	0.0	0.4	2.5	—
無処理	6.7	7.3	16.0		

処理日: 2016年11月14~15日
各回12株分解調査

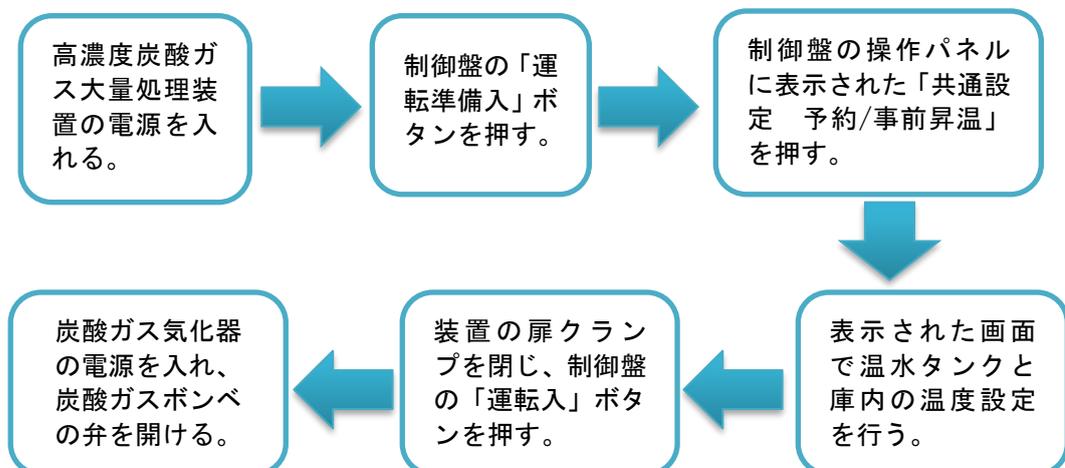
微小害虫のシクラメンホコリダニにも高い防除効果があります。

平成30年2月14日に「炭酸ガス濃度40%、24時間、25℃」の条件で、農薬登録されました。

(3) 技術の内容

①高濃度炭酸ガス大量処理装置による炭酸ガス処理方法

○事前操作



○処理操作

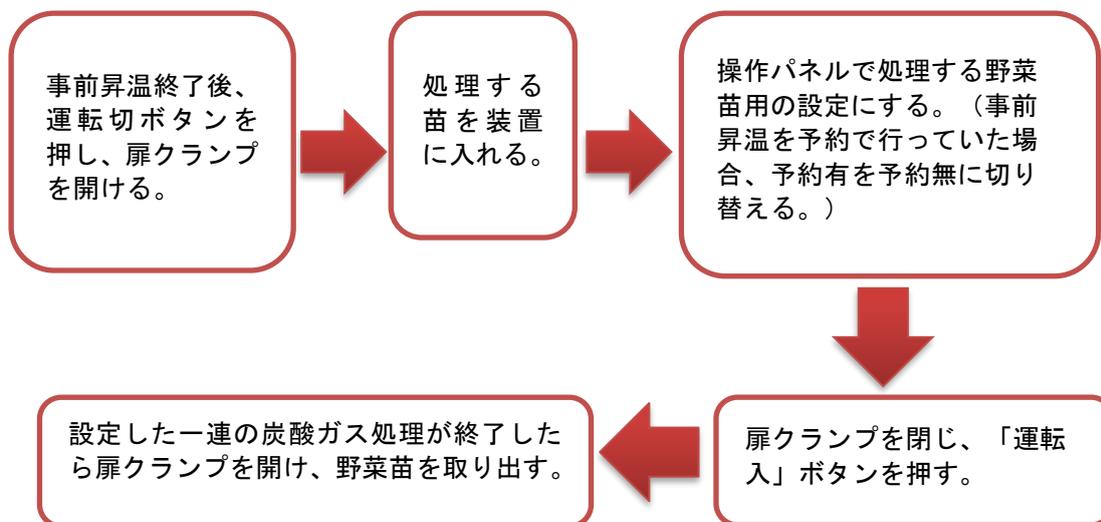


図5 高濃度炭酸ガス大量処理装置の制御盤



図6 高濃度炭酸ガス大量処理装置の操作パネル



図7 炭酸ガス気化器

②高濃度炭酸ガス大量処理装置を利用した炭酸ガス処理の注意点

- ・高濃度炭酸ガス大量処理装置内に人が入っていないことを確認してから扉を閉じ、炭酸ガス処理を開始する。
- ・高濃度炭酸ガスを扱っているため、処理終了後に野菜苗を取り出す前に庫内の炭酸ガス濃度が低くなっていることを確認する。装置周辺の換気を行う。
- ・徒長苗や軟弱苗はガス障害が発生する恐れがあるため、炭酸ガス処理を行う野菜苗は健全苗を用いる。
- ・炭酸ガスは残効がないため、炭酸ガス処理後の管理で苗に害虫が付かないよう注意する。

問い合わせ先：福島県農業総合センター 生産環境部 作物保護科
〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116 番地
電話 024-958-1716

2. 温湯熱ショック、紫外線照射による病害抵抗性苗の実証

(1) 技術の概要

ハウス育苗期間の長い果菜類では、病害防除のために主に化学合成殺菌剤が利用されています。しかし、栽培農家におけるキュウリうどんこ病菌は、特定の薬剤に対して耐性を持っているケースもあります(図1)。そこで、キュウリおよびトマトに対しての温湯熱ショックならびに紫外線(以下 UV-B)照射の抵抗性誘導処理の効果を確認し、化学合成殺菌剤の使用回数を減らした新たな防除体系を確立しました。

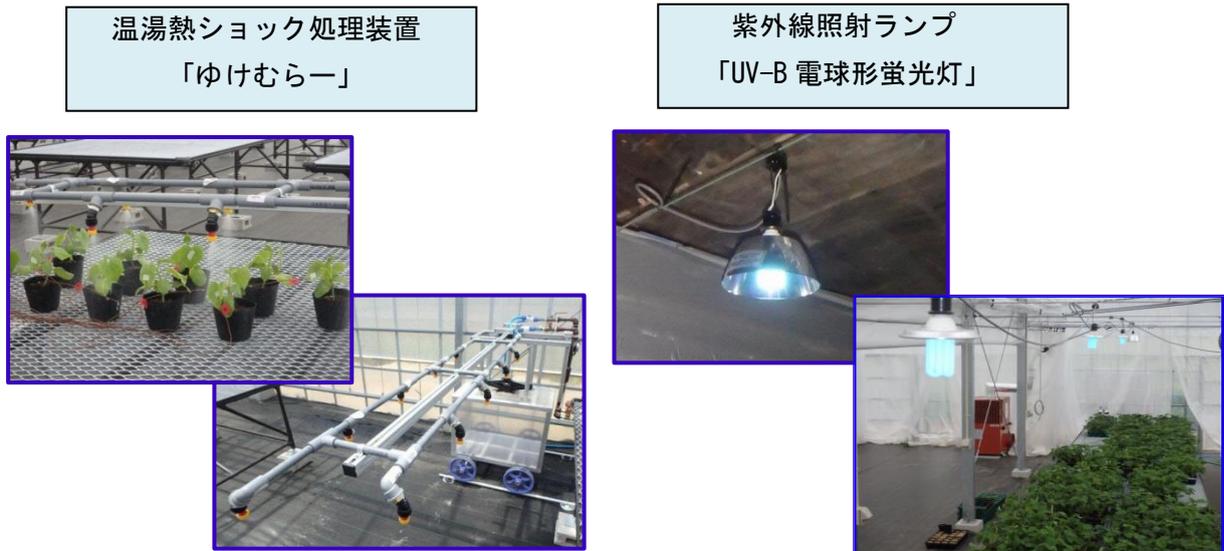


写真1 野菜苗に対する温湯熱ショック処理と UV-B 照射処理の様子

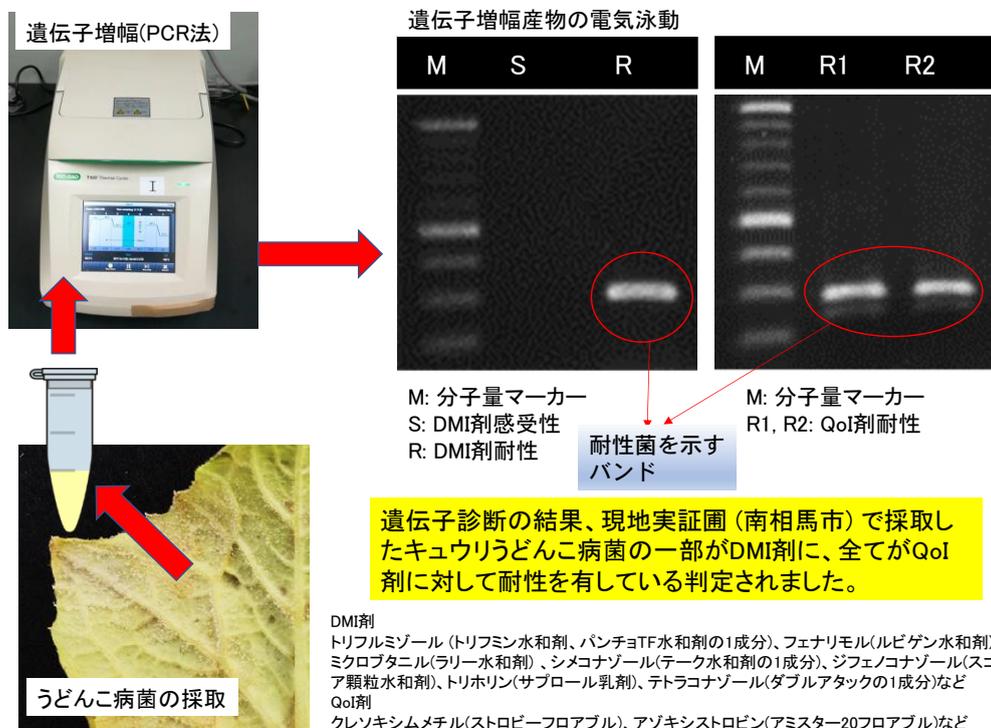


図1 キュウリうどんこ病のDMI剤およびQoI剤耐性菌の検出

(2) 期待される効果

①キュウリ、トマト苗に対する、温湯熱ショックおよび UV-B 照射の単独あるいは併用処理との比較では、UV-B および熱ショック併用 \geq UV-B $>$ 熱ショック $>$ 無処理の順にうどんこ病の抑制効果がありました(図2)。この結果から、UV-B 照射処理は、実用的な病害抑制のための手法として利用できることが明らかとなりました。

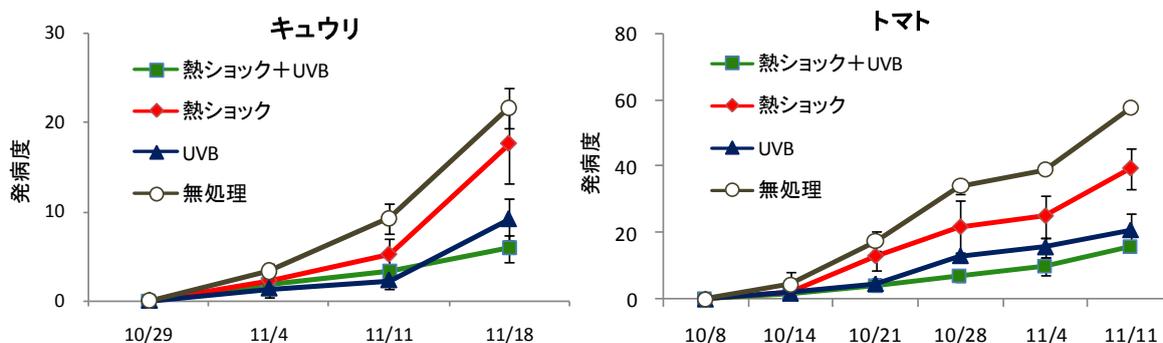


図2 キュウリ、トマト苗に対する温湯熱ショックおよび UV-B 照射によるうどんこ病抑制効果 (2015)

- ・キュウリは台木 'GT-II'、穂木 'パイロット'、トマトは台木 'ボランチ'、穂木 'りんか 409' を供試
- ・熱ショック処理は「ゆけむらー」により、52°C20 秒間の温湯を7日間隔で育苗期間中に2回散布
- ・UV-B 処理は UV-B 電球形蛍光灯により、毎日 23:00~2:00 に照射

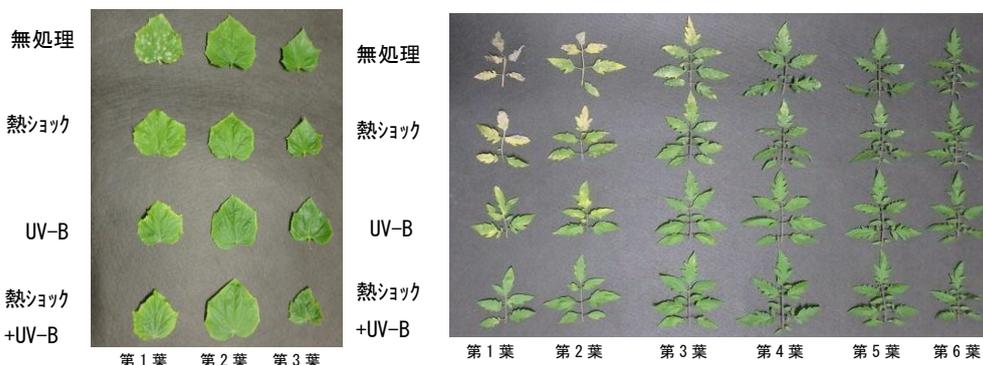


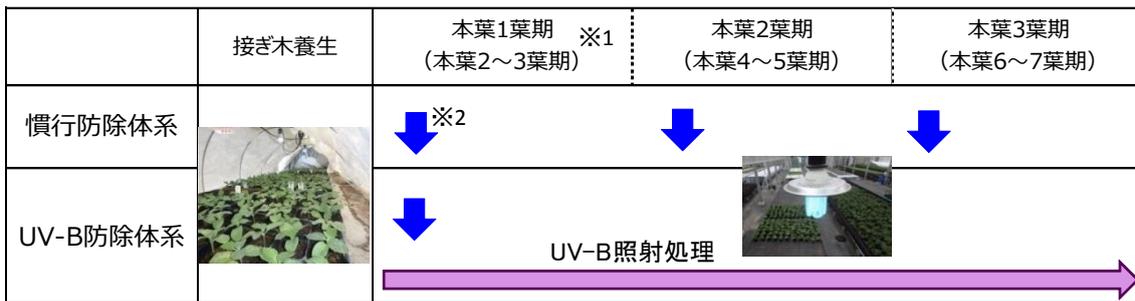
写真2 抵抗性誘導処理によるうどんこ病抑制効果 (2015、左:キュウリ、右:トマト)

②UV-B 照射をキュウリ、トマトで導入した場合、接ぎ木の養生直後からの二次育苗期間において、化学合成殺菌剤の使用回数を1/3に削減できます(図3)。

UV-B 照射防除体系の要点としては、UV-B 照射処理の開始時には、農薬等で病害の発生を抑えた状態からとし、近接照射用 UV-B 電球形蛍光灯を使用します。UV-B 電球形蛍光灯の設置は、対象作物の上部に固定します。また、低温時の UV-B 処理は障害発生を引き起こす可能性があるため、各品目の生育適温の範囲内で使用します。



写真3 近接照射用 UV-B 電球形蛍光灯によるキュウリ苗への照射処理



※1 ()内はトマトの生育ステージ

※2 図中の ↓ は化学合成殺菌剤の使用、UV-Bの照射は接ぎ木養生後から毎日2時間処理

図3 キュウリ、トマト育苗期の慣行防除体系とUV-B防除体系の模式図

(3) 技術の内容

①キュウリ、トマト苗に対しての適正なUV-B放射照度は、 $2.0 \sim 7.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ となります。UV-B放射照度が強い場合、葉身の萎縮症状が発生します。



写真4 UV-B照射処理による葉身の萎縮症状の発生 (2014、左:キュウリ、右:トマト)

②UV-Bの照射時間は、3時間と2時間ではほぼ同等のうどんこ病抑制効果が得られません。UV-Bは人体の皮膚や眼に有害な光線であることから、UV-B照射時間帯は作業者の施設への立ち入る機会の少ない時間帯の稼働とし、夜間の2時間を基本とします。

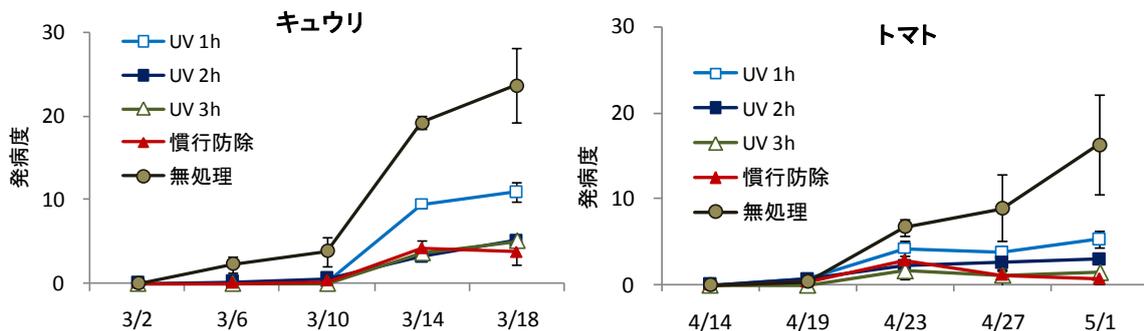


図4 野菜苗に対するUV-B照射処理時間の違いがうどんこ病の発病度に及ぼす影響 (2017)

- ・ 供試品種は図2と同じ
- ・ UV-B処理はUV-B電球形蛍光灯により、23:00~2:00の時間帯のうち設定した照射時間である1時間、2時間、3時間を各区で毎日処理した
- ・ 化学合成殺菌剤の使用は、慣行防除区のみで、試験期間中にキュウリ、トマトともに3回とした

③ UV-B 照射による病害抵抗性関連遺伝子の発現

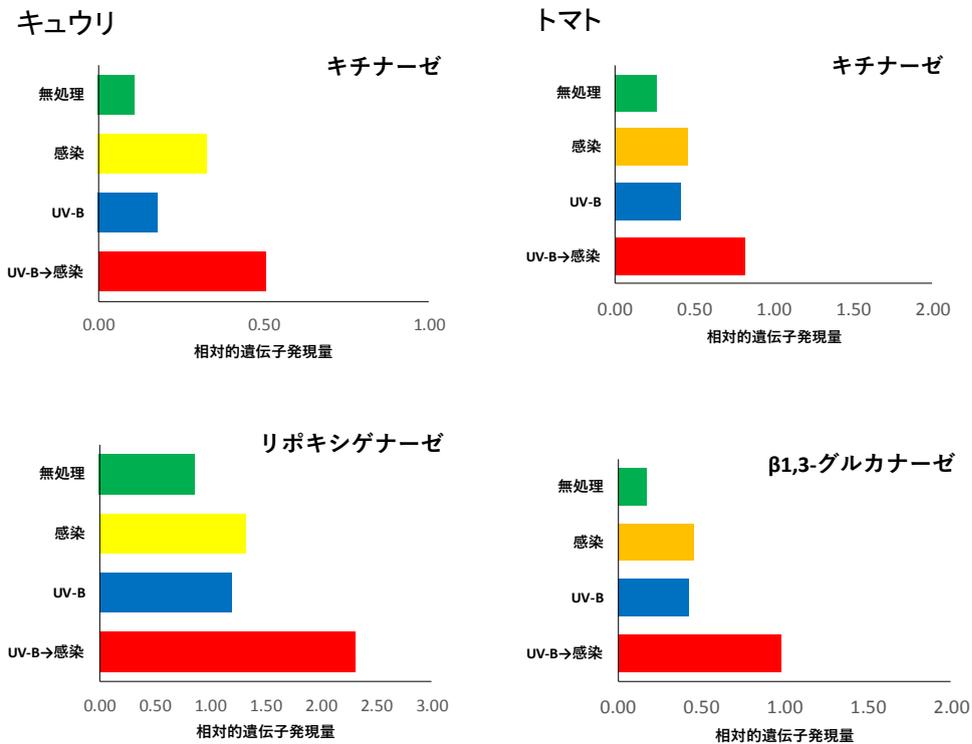
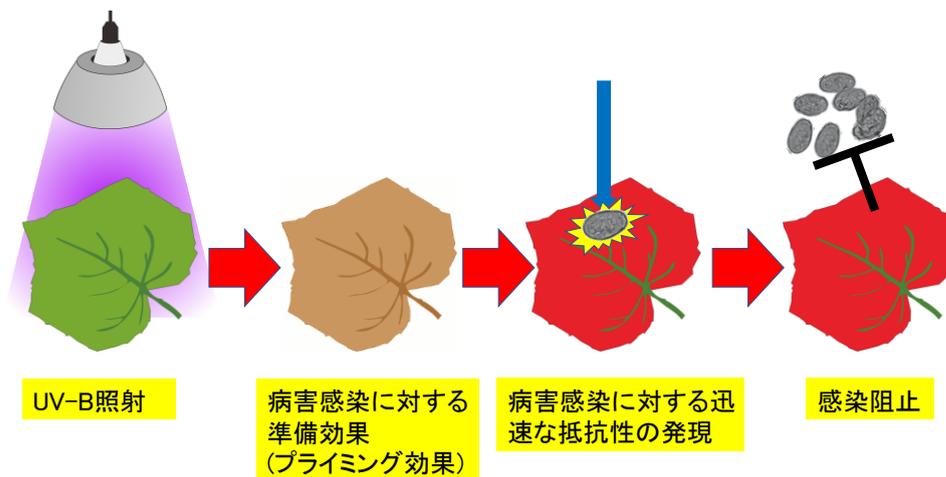


図5 UV-B照射が病害抵抗性関連遺伝子の発現レベルに及ぼす影響

キチナーゼやβ1,3グルカナーゼは病原感染特異的タンパク質、リポキシゲナーゼは病害抵抗性誘導のシグナル伝達物質の生成に関与する遺伝子として、発現量が多いほど強い抵抗性反応が起きていることを示します。



- ・UV-B照射には病害感染に対する準備効果(プライミング効果)があり、その後に病害が感染することによって作物に強い抵抗性が迅速に発現し、以降の感染を防ぎます。
- ・UV-Bが当たらない部位には抵抗性が発現しにくいいため、できるだけ葉影ができないよう、スペースをあけて苗を並べるようにします。
- ・プライミング効果の持続は短いため、原則として毎日の照射が必要です。

図6 UV-B照射による病害抵抗性発現のメカニズム

④苗生産施設 10a の UV-B 照射機器の導入費用は、UV-B 電球形蛍光灯を含めた資材代として約 67 万円、年あたりの電気代として約 4 万円となります（表 1）。なお、UV-B 電球形蛍光灯の耐用年数は約 4,500 時間であるため、毎日 2 時間の点灯の場合、約 6 年間の使用が可能な計算となります。

表 1 導入初年度の UV-B 照射機器一式の資材費および運転費試算（参考）

（円/10a）

資材名	単価	数量	単位	金額
UV-B電球形蛍光灯	50,000	12	箱	600,000
電球用防水ソケット	550	72	個	39,600
電気ケーブル1m	125	250	-	31,250
タイマー	2,000	2	個	4,000
コンセントプラグ	250	2	個	500
電気（従量灯C契約）	28.75	1260	kWh	36,225
合計				711,575

※苗生産施設1000㎡の全てを二次育苗で使用し、ベンチ面積500㎡とした場合

UV-B電球形蛍光灯は、箱あたり6球入り

電気はUV-B電球形蛍光灯 24W/球、2h/日で1年間使用した場合

※単価はオープン価格のものも含まれるため、表中の金額は目安となります

問い合わせ先：福島県農業総合センター 作物園芸部 野菜科
〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116 番地
電話 024-958-1724

パナソニック ライティングデバイス（株）
電話 0120-878-213

※UV-B 電球形蛍光灯の導入の詳細については下記 URL から情報をお求めください
<http://panasonic.co.jp/es/pes/ld/products/others.html>

第3章 最適培地と養水分精密管理

1. 添加資材活用による活着促進・安定化生産のための実証研究

1-1 微生物資材の用土への活用

(1) 技術の概要

微生物資材(バイオ有機)を用土に1%添加し、病原菌接種条件下で栽培したキュウリ苗は、添加していない場合に比べ健全株率が高くなります。また、微生物資材(エコガード)を用土に3%添加し育苗したトマト苗を病原菌に汚染された土壤に定植すると、添加していない場合に比べ健全株率が高くなります。



(2) 期待される効果

微生物資材(バイオ有機・エコガード)を添加した用土で育苗した場合、条件によっては圃場に直接微生物資材を施用する場合と同様の効果が得られます。また、圃場に直接施用する場合に比べ省力的であり、使用量も少ないことから費用削減が期待できます。

表1 微生物資材の使用に関わる費用の試算

品目 (植え付け本数)	使用量 (kg/10a)	資材費用 (円/10a)	
		ほ場施用	育苗用土添加
バイオ有機 キュウリ (1,000株/10a)	200~300	60,000~90,000	600
エコガード トマト (2,000株/10a)	100	40,000	4,800

※育苗用土への添加量は、バイオ有機:1%、エコガード3%(ともに重量当たり)で試算した。

(3) 技術の内容

①バイオ有機の用土への活用

キュウリホモプシス根腐病菌を接種したポット栽培試験では、バイオ有機添加苗はバイオ有機無添加苗に比べ健全株率が高くなります。また、バイオ有機添加で、根が残っていたのに比べ、バイオ有機無添加では細根が脱落して根腐れが生じていました。

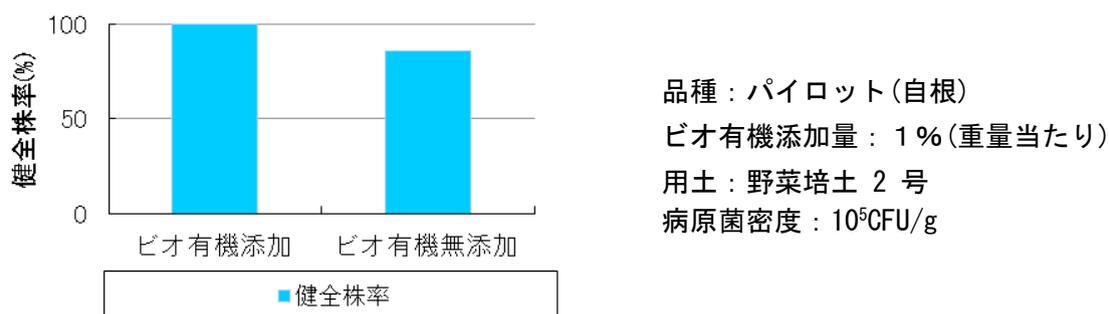


図1 バイオ有機の添加の有無によるキュウリ苗の健全株率

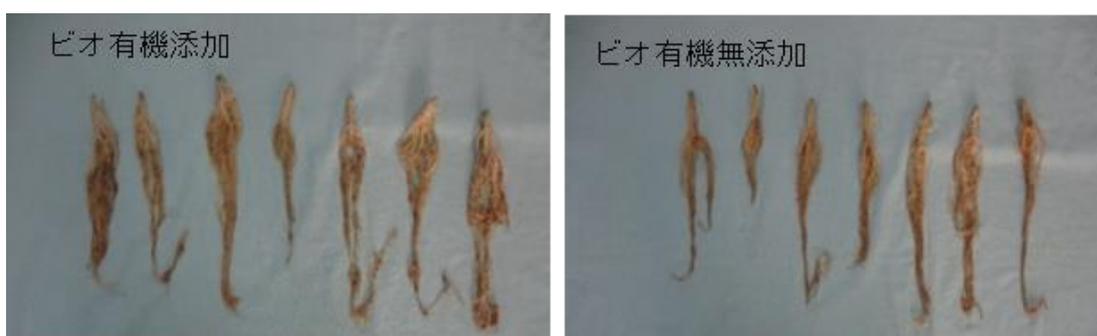


写真1 試験後のキュウリの根の様子

②エコガードの用土への活用

トマト青枯病菌を接種した隔離床に定植した栽培試験では、エコガード添加苗はエコガード無添加苗に比べ健全株率が高くなります。

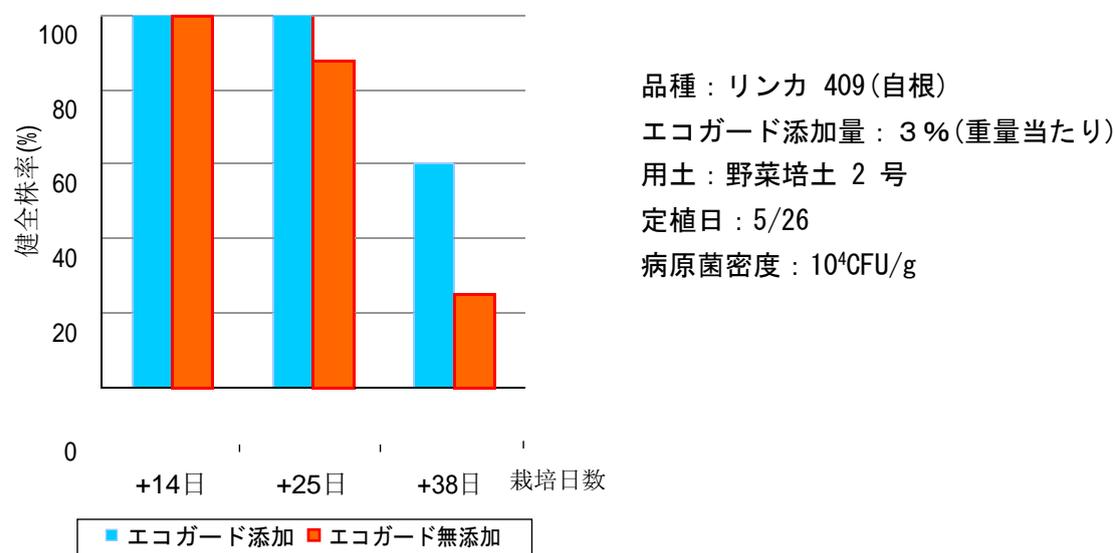


図2 エコガードの添加の有無によるトマト苗の健全株

③その他留意点

- ・ スコップや用土作製用ミキサー等を用い、添加した微生物資材が均一となる様に用土とよく混合してください。
- ・ 微生物資材を添加した用土は速やかに使用してください。保管により有用微生物が減少し、効果が得られない場合があります。
- ・ 微生物資材や用土は、長期間の高温や直射日光の当たる場所を避け、冷暗所に保管してください。また、開封後は速やかに使用してください。
- ・ 土壌診断による適正な土壌管理を行うことで、より効果が期待できます。

1-2 高吸水性ポリマー添加によるトマト、キュウリ育苗時の用土量・費用の削減

(1) 技術の概要

トマト、キュウリの二次育苗時の用土に高吸水性ポリマー8g/L~12g/L 添加することで、使用用土量を削減でき、無添加時と同等の生育の苗を生産することが可能です。



写真1 高吸水性ポリマー
数十~数百倍の水を吸水、膨張しゲル化する。



写真2 高吸水性ポリマー添加用土
8g/Lの濃度で用土に混和。白く半透明に見えるものが吸水した高吸水性ポリマー。



写真3 高吸水性ポリマー添加用土でのキュウリ苗（左）とトマト苗（右）
ポットに白ラベルがついているものが高吸水性ポリマー添加用土。

高吸水性ポリマーについて

高吸水性ポリマーは、紙おむつなどの衛生分野をはじめとして様々な分野で使用されています。今回使用したものはポリアクリル酸ナトリウムで食品添加物としても認められている安全性の高いものです。紫外線や塩に弱く、農地土壌に混和すると徐々に崩壊し消失します。

(2) 期待される効果

①使用用土量、用土費用を削減することができます。用土に添加した高吸水性ポリマーは吸水により膨張します。8g/Lの濃度で添加したときの用土量は3割～5割、12g/Lでは4割～6割削減され、そのときの費用は、ポリマーの費用を含めても、2割～4割削減できます。

育苗 用土	ポリマー濃度	生土重量	ポリマー重	ポリマー価格	用土費用合計		液肥施用量	液肥費用	用土費用+液肥費用	
	(g/L)	(g/ポット)	(g/ポット)	(円/ポット)	(円/ポット)	対照比	(ml/ポット)	(円/ポット)	(円/ポット)	対照比
育苗 用土1	0 (対照)	165	0.00	0.00	5.00	(100)	10	0.008	5.01	(100)
	8	88	1.55	1.16	3.83	77	30	0.023	3.85	77
	12	63	1.66	1.25	3.16	63	40	0.030	3.19	64
育苗 用土2	0 (対照)	155	0.00	0.00	13.33	(100)	10	0.008	13.34	(100)
	8	110	2.10	1.57	11.03	83	30	0.023	11.06	83
	12	70	2.00	1.50	7.52	56	40	0.030	7.55	57

育苗用土：育苗用土1は現地実証地用土、育苗用土2は市販用土（片倉コープアグリ）
ポリマー価格：ポリマー単価（円/g）を0.75（市場価格）として算出。
用土費用合計：高吸水性ポリマー無添加時の育苗用土1、育苗用土2の用土単価（円/ポット）を、それぞれ5.0（生産者聞き取り）、13.33（市場価格）として算出。
液肥施用量：高吸水性ポリマー濃度0、8、12g/Lのときの追肥施用量（N mg/ポット）をそれぞれ5、15、20としたときを想定。
液肥費用：液肥価格（円/ml）を0.15（市場価格）として算出。

②最大吸水量が増加します。高吸水性ポリマーは吸水性に優れるため、用土の保水性増加に効果的です。

※野菜苗の育苗時の過剰水分は徒長を招くため、過灌水に留意が必要です。

表2 高吸水性ポリマー添加用土の費用の試算

育苗 用土	ポリマー 濃度 (g/L)	9cmポリポット充填時 ^{a)}			吸水後 ^{b)}	
		生土重量 (g)	乾土重量 (g)	水分重量 (g)	生土重量(SD) (g)	水分重量 (g)
育苗 用土1 ^{c)}	0	165 (100)	98	67	267 (2)	200 (100)
	8	88 53	52	36	296 (5)	260 130
	12	63 38	37	26	280 (6)	254 127
育苗 用土2 ^{d)}	0	155 (100)	121	34	271 (3)	236 (100)
	8	110 71	86	24	277 (11)	252 107
	12	70 45	55	15	251 (7)	235 100

a)：ポリマー添加培土は吸水後膨張するため、予備試験を実施の上、充填重を決定した。充填時の乾土重量および水分重量は含水率から求めた。

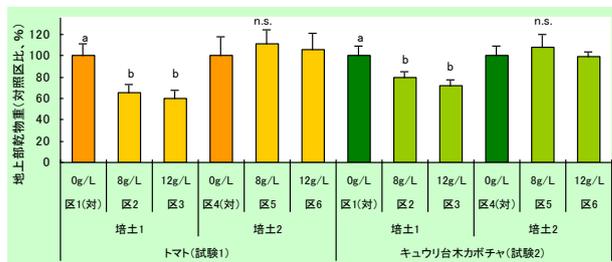
b)：調査ポット数：用土1は各処理14ポット、用土2は7ポット。

c)：県内生産者オーダーメイド品

d)：一般市販品（片倉コープアグリ製）

(3) 技術の内容

①苗の生育：用土中の肥料分が少なくなるため、肥料分が少ない用土では追肥が必要となる場合があります。



※：図中0～12g/Lは用土中の高吸水性ポリマーの濃度

※※：図中エラーバーは標準偏差

※※※：使用培土が同一の試験区での結果について、Tukeyの多重比較検定により異符号間に有意差あり (P<0.05)

○試験の内容 (①試験1、②試験2)

品種：①りんか409（サカタのタネ）、②ときわGT-II（ときわ研究場）

播種日：①2月中旬、②5月中旬

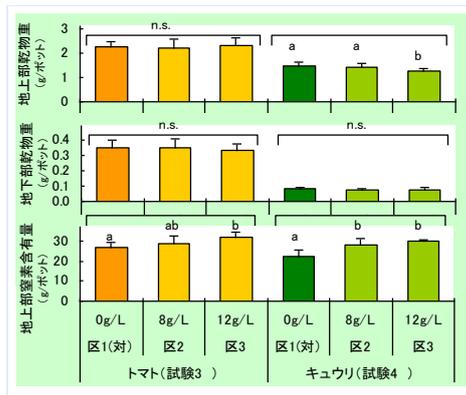
試験期間：①仮植（3/2）～3/20、②5/20に断根、仮植。5/20～6/8

供試培土：試験1、試験2ともに用土1、用土2は表1と同じ。9cmポリポットに表1の内容で用土を充填し、供試した。

調査株数：①各区7株、②各区6株

試験期間中の追肥：①なし、②区1～区3は各区7.5 (Nmg/ポット)を液肥で株元灌注、区4～6はなし。

図1 高吸水性ポリマー添加用土での苗の生育（追肥による生育コントロールなし）



○試験の内容 (①試験3、②試験4)
 品種：①りんか409(サカタのタネ)、②光のしずく+ときわGT-II(ときわ研究場)
 播種日：①3月中旬、②5月中旬
 試験期間：①仮植(4/15)～5/18、②7/17に断根挿し接ぎ。7/17～8/5
 調査株数：①各区16株、②区1は14株、区2、区3は13株
 試験期間中の追肥(液肥で株元灌注)：
 ①区1はN10.0mg/ポット、区2、区3は20.0mg/ポット
 ②区1はN2.5mg/ポット、区2は12.mg/ポット、区3は17.5mg/ポット

※：図中0～12g/Lは用土中の高吸水性ポリマーの濃度
 ※※：図中エラーバーは標準偏差
 ※※※：使用培土が同一の試験区での結果について、Tukeyの多重比較検定により異符号間に有意差あり(P<0.05)

図2 高吸水性ポリマー添加用土での苗の生育(追肥による生育コントロールあり)

②定植後の生育：定植後の生育は通常用土のものと同じです。

表3 定植後の生育の比較(キュウリ)

区名	草丈(cm)	葉数(枚)
キュウリほ場①(定植後27日)	ポリマー 112 (24)	17.2 (1.2)
慣行	113 (25)	17.0 (1.4)
キュウリほ場②(定植後32日)	ポリマー 151 (4)	21.9 (0.3)
慣行	151 (5)	21.8 (0.4)

注1):カッコ内の数字は標準偏差。
 注2):いずれの項目も区間で有意差なし(Studentのt検定)。
 ※ほ場①:加温ハウス。3/18定植(2016)、ほ場②:加温ハウス。3/25(2016)定植。

表4 定植後の生育の比較(トマト)

区名	草丈(cm)	葉数(枚)
トマトほ場①(定植後29日)	ポリマー 81 (1)	17.2 (0.3)
慣行	82 (1)	17.3 (0.3)
トマトほ場②(定植後33日)	ポリマー 103 (4)	20.9 (0.3)
慣行	109 (4)	20.3 (0.7)

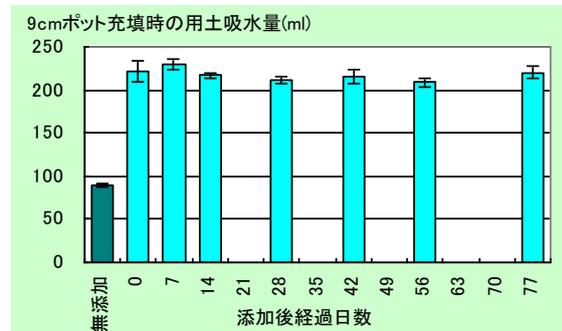
注1):カッコ内の数字は標準偏差。
 注2):いずれの項目も区間で有意差なし(Studentのt検定)。
 ※ほ場①:加温ハウス。4/26(2016)定植、ほ場②:無加温ハウス。5/26(2016)定植。



※ キュウリ(左写真)の左株、トマト(右写真)の右2株がポリマー苗
 写真4 定植1ヶ月後の生育の比較

③添加用土の性能変化：ポリマー添加直後に比べ、添加後2週間以上保管した場合、その吸水量、膨張程度はやや減少するものの、2ヶ月半で大きな変化は見られませんでした。

※保管条件で結果は変わることが予想されますので、速やかな使用をお勧めします。



※ポット内用土の吸水量：保管した用土を充填し、その後2日ほど底面吸水させた、ポット重量を測定し、充填土壌量とその水分率から初期の含有水分量を算出し、ポット重量からその値を差し引いた値をその時点の吸水量とした。

図3 高吸水性ポリマー添加用土の吸水量と添加後日数の関係

④その他留意点

○使用したポリマーについて

高吸水性ポリマーには様々な種類があり、特徴（価格、剤形、吸水量、吸水速度、耐塩性などの機能性など）も異なります。今回の試験研究で用いた高吸水性ポリマーは「ポリアクリル酸ナトリウム」（製品名：CP-1、製造元：大興物産（株）、2018年2月時点、大手インターネットショップで購入可能。）です。ポリマーの種類によっては今回紹介した効果が得られない可能性があります。

○ポリマー添加時の留意点

今回の試験研究で用いたポリマーの剤形は顆粒状で、混和も容易です。用土の製造業者に用土への肥料添加と同じ作業内容でポリマーの添加・混和を依頼し、実用規模（1,000L）で作製していただいたところ、十分均一な混和がなされました。小規模であれば用土使用者がミキサー等を用いてポリマー添加用土を作製することも十分可能です。使用するポリマーの剤形が粉状、大粒状のものは留意する必要があると考えられます。

○実使用までの流れ

ポリマーを添加した用土の膨張の程度は添加したポリマーの性能だけでなく、使用する用土によっても変化します。一般に、高吸水性ポリマーは肥料分などの塩分に弱く、肥料分が多い用土ほど、吸水、膨張の程度は小さくなります。膨張の程度を十分把握しないと、ポットへ充填した用土が吸水、膨張した際にあふれるほど過剰、あるいは、不足してしまう場合があります。実際の使用にあたっては、膨張程度とポットへの充填量を把握するために、ポットへの充填量を数段階に設定した予備試験を行います。

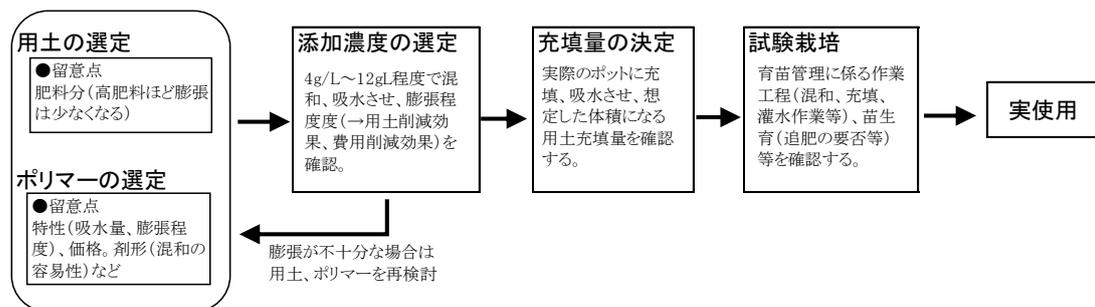


図4 高吸水性ポリマー添加用土の実使用までのフロー

問い合わせ先：福島県農業総合センター 生産環境部 環境・作物栄養科
〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116 番地
電話 024-958-1718

片倉コープアグリ株式会社 筑波総合研究所
〒300-0061 茨城県土浦市並木 5-5511
電話 029-832-0901

2. 施肥省力土地利用型野菜苗生産の実証

(1) 技術の概要

ブロッコリーの夏まき作型において、肥効調節型肥料（窒素成分含有量が40%、溶出抑制期間が30日、80%溶出期間が60日のシグモイド型溶出タイプ）を播種時の育苗培土内に混和（セル内施肥）することで、定植後の窒素成分の追肥作業を省略することができます。

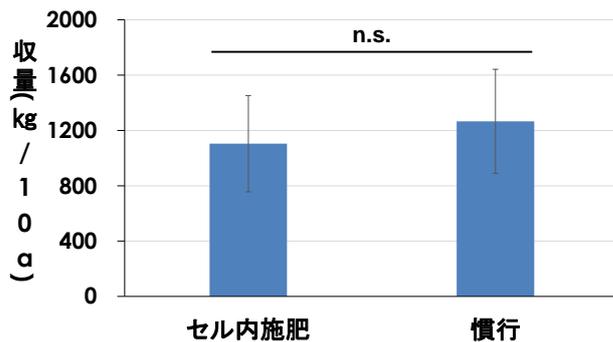


肥効調節型肥料混和培土
 矢印先端の白い粒が肥効調節型肥料

肥効調節型肥料を混和した培土で育苗した定植期のブロッコリー苗
 左側がセル内施肥苗、右側が慣行苗

(2) 期待される効果

①セル内施肥技術を取り入れることによって、収量は慣行と同程度を維持しつつ窒素成分の追肥作業を省略することができます。

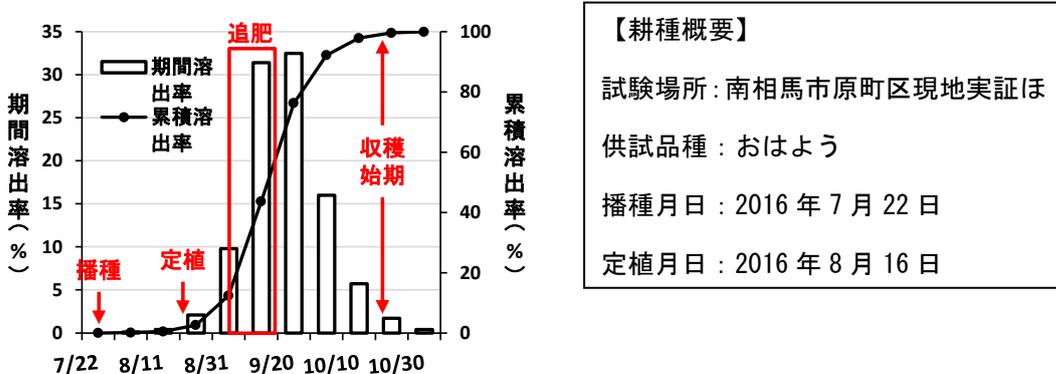


【耕種概要】
 試験場所：南相馬市原町区現地実証ほ
 供試品種：おはよう
 播種月日：2016年7月22日
 定植月日：2016年8月16日

図1 セル内施肥が収量に及ぼす影響（2016）

注) n. s. は5%水準で有意差なし、エラーバーは標準誤差 (n=3)

②育苗培土に混和した肥効調節型肥料の窒素成分の溶出は、育苗期間ではほとんど起こらず、定植後徐々に溶出し慣行の追肥時期を中心にピークを迎えると想定されます。



【耕種概要】
 試験場所：南相馬市原町区現地実証ほ
 供試品種：おはよう
 播種月日：2016年7月22日
 定植月日：2016年8月16日

図2 肥効調節型肥料の溶出想定（2016）

注) 溶出は育苗期間中及び現地実証ほの地温測定結果を基に想定

(3) 技術の内容

①肥効調節型肥料の培土混和量

肥効調節型肥料の培土混和量は、128穴トレイ1枚当たり117gとします。栽植密度が4,000株/10aの場合、窒素成分は1.5kg/10aに相当します。肥効調節型肥料と培土を良く混和した後に、通常通りの播種作業を行います。



写真1 肥効調節型肥料を混和した培土を128穴セルトレイに詰めた状態
※撮影用に黒トレイを使用しているが、白トレイの使用を推奨。

②育苗上の注意点

育苗期間は25日を基本とします。育苗ハウス内の気温が高温になると肥効調節型肥料の溶出が早まり大苗になってしまうため、育苗期間中はハウス内温度が25℃以下となるよう管理します。また、地温の上昇を抑えるために白色トレイの使用を推奨します。

問い合わせ先：福島県農業総合センター 浜地域研究所

〒979-2542 福島県相馬市成田字五郎右エ門橋 100

電話 0244-35-2633

3. 均質な苗生産のための省力的な育苗管理技術の実証研究

(1) 技術の概要

底面給水マットを利用して育苗時の苗の灌水管理を行うことにより、従来の頭上灌水と比較して、均質な苗の生産、育苗作業の省力化を図ることができます。さらに、水の跳ね上がりによる病害拡大を防ぐ効果も期待できます。

頭上手灌水



多大な作業時間
不均質な苗

底面給水マットを利用した灌水



イチゴ、トマト、キュウリ
において、底面給水による育苗
試験を実証。



作業の省力化！
病害拡大を防ぐ！

(2) 期待される効果

①キュウリ、トマト、イチゴ、ブロッコリー、タマネギの育苗において、底面給水マットを利用した灌水方法でも、頭上灌水と同等の生育を確保できます。

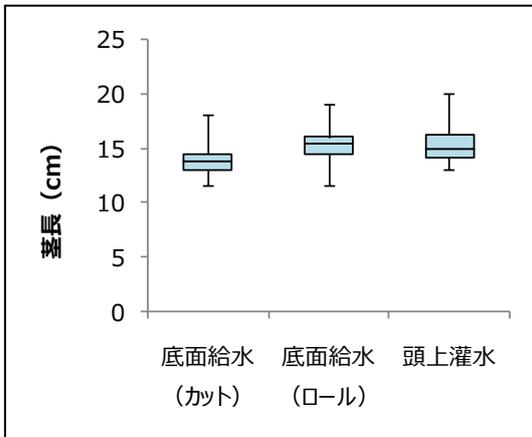


図1 育苗終了時のキュウリ苗の主茎長 (2015)

※箱ひげ図の長方形の線は、下から第1四分位数、中央値、第3四分位数を示し、ひげは最小値および最大値を示す。

※底面給水：ロール区は底面給水資材をベンチ上に配置。カット区は底面給水資材を育苗箱サイズにカットして使用。

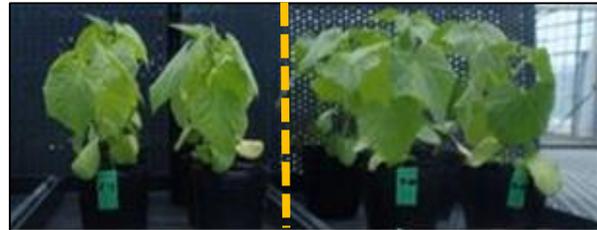


写真1 左：底面給水により育苗したキュウリ苗
右：頭上手灌水により育苗したキュウリ苗



写真2 底面給水による育苗の様子
(左：タマネギ、右：イチゴ)

②底面給水マットと電磁弁付きタイマーを組み合わせることで、灌水を自動化することで、灌水に関わる作業時間を約 1/8 時間まで短縮できます。

表 1 イチゴ苗の灌水に関わる作業時間

灌水方式	設置時間	灌水時間	合計
頭上灌水(慣行)	4.8	37.5	42.3
底面給水マット	5.5	0	5.5

※7500株(本圃10a相当分)に相当する試算値
 育苗期間: 48日間



電磁弁付きタイマーは設定された時間になると、自動的にスイッチを入切するため、灌水を自動化することができます。

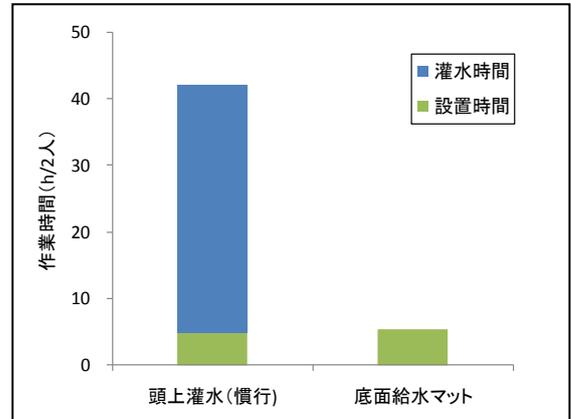


図 2 灌水方法の違いによるイチゴの育苗に関わる作業時間の比較

③定植 1 週間前のブロッコリー苗に 0.3%塩水を 1 週間灌水することで、ブロッコリー苗に耐干性が付与されることが明らかになっています。底面給水システムを用いた省力的な塩水灌水方法で育苗したブロッコリー苗への耐干性付与効果は、塩水を頭上灌水した場合と同程度です。

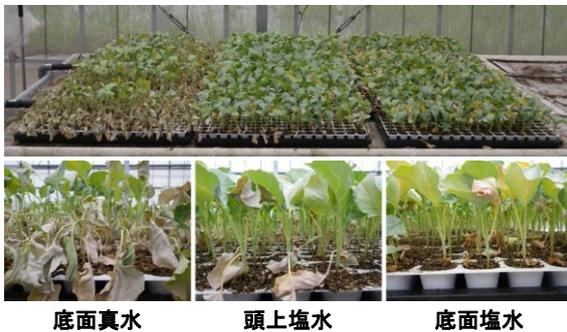


写真 3 塩水及び真水灌水打ち切り 9 日後のブロッコリー苗の様子 (2015)

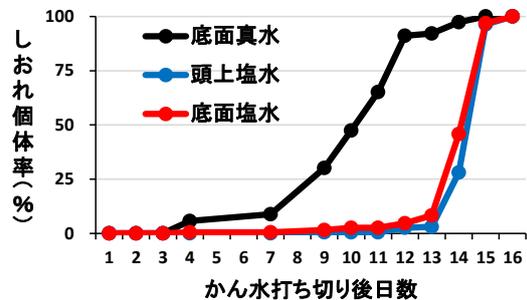


図 3 塩水及び真水灌水打ち切り後のブロッコリー苗しおれ個体率の推移 (2015)

注) しおれ: 第 1 及び第 2 本葉の葉身がしおれ、葉柄が草丈の頂点となった株と定義

④底面給水マットを利用して灌水を行うことで、灌水時の水の跳ね上がりによるイチゴ炭疽病の伝染リスクを軽減することができます。また、PCR を用いた炭疽病、萎黄病の病害診断法は親株定植前に実施することで診断コストを削減でき、病害診断の有効性も維持できます。

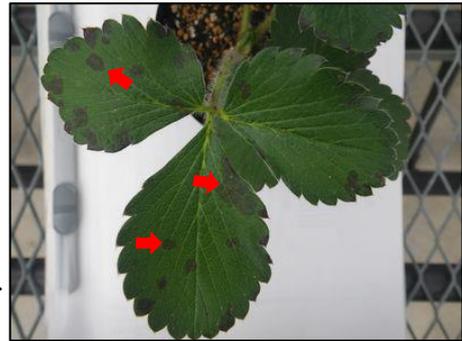
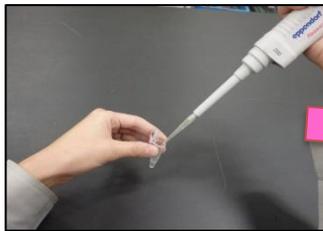


写真4 イチゴ炭疽病の病斑

<PCR を用いた病害診断の流れ>



定植前の親株に対し PCR
 による病害診断を実施



陰性の株のみ定植



陰性の株から採苗した
 子苗を健全苗として出荷

(3) 技術の内容

①底面給水マットによる野菜苗の育苗

底面給水マットを用いた野菜苗の育苗では、電磁弁付タイマーを利用することで、設定した日時、回数で自動灌水することができます。灌水チューブから配水された水は、灌水中はマット上に停滞しますが、灌水終了後はベンチ上から垂らされたマットを伝い通路へ排水されるため、苗に十分量灌水できるだけでなく、過剰灌水を防ぐことができます。(※ただし、品目、生育、天候に合わせて灌水時間、灌水量を調整する必要があります。) また、ベンチ面積 400 m²あたりの初年度資材購入費用は約 ¥480,000 となります。底面給水マットの耐用年数は3年、マット以外の資材はホームセンター等で購入可能です。

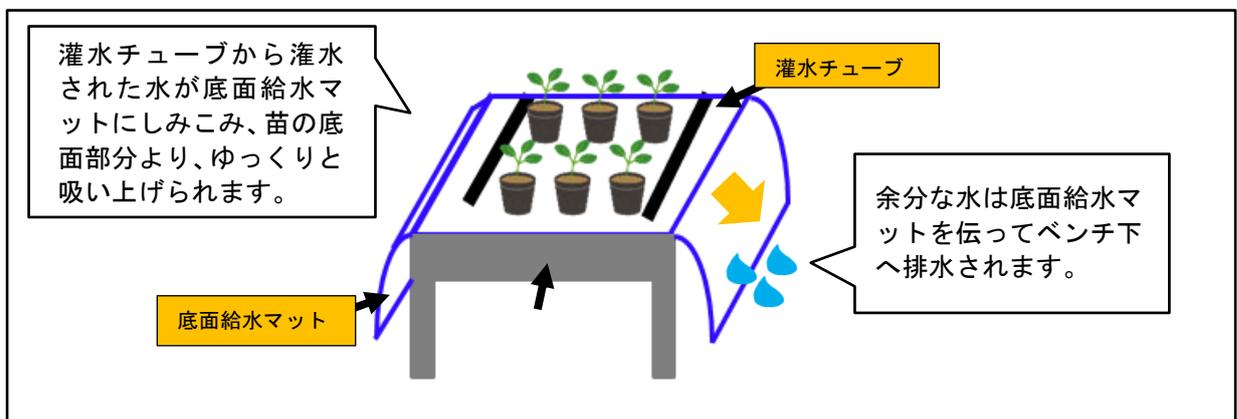


表2 底面給水マットを導入した場合の
初年度購入費用

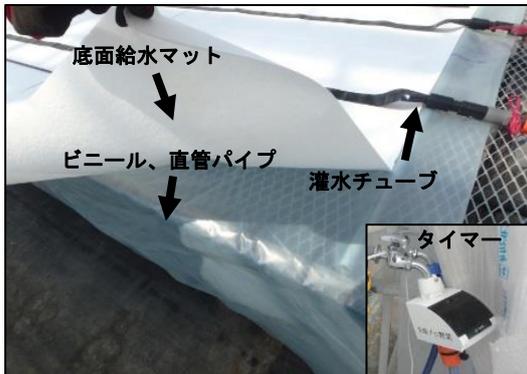
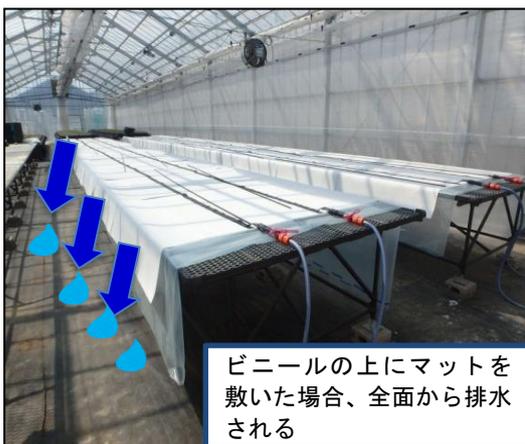


写真5 底面給水に用いる資材

資材名	購入費用(円)
底面給水マット	284,087
直管	76,000
ビニール	8,505
タイマー	50,400
灌水チューブ	27,450
配管資材	42,116
合計	488,558

＜底面給水マットを利用した自動灌水の注意点＞

- ・ベンチの水平が保たれていない部分には、水が行き渡りにくくなります。高低差により水が行き渡らない部分がないかどうかを確認してから使用して下さい。
- ・タイマーを用いて自動灌水する場合でも、生育、天候に合わせて、灌水時間を調整する必要があります。
- ・使用后、底面給水マットを放置すると、マット表面にカビや藻が発生し、排水が十分に行われなくなることがあります。使用後はよく汚れを洗い流し（汚れがひどい場合は農業資材用の消毒液を用いる）、マットを乾かしてから保管して下さい。
- ・余分な水がベンチ下へ排水されるため、足場が悪くなる可能性があります。底面給水マットの下に敷くビニールでマットを包むことで一箇所に排水できます（下写真参考）。



②底面給水システムを用いたブロッコリー苗の塩水灌水育苗法

ブロッコリー苗に耐干性を付与させるためには、定植1週間前より0.3%塩水を1日1回灌水する必要があります。そこで、塩水灌水が始まる前に0.3%塩水を予めタンクに作成し、塩水灌水期間は水中ポンプを動力として0.3%塩水を底面給水システムに送ります。水中ポンプのオン・オフはタイマーで管理します。塩水の灌水時は1日1回10～15分間、灌水量は128穴トレイ56枚当たり約100L/日です。



写真6 0.3%塩水を底面給水するための機材類

底面給水システムに加え、0.3%塩水・タンク・水中ポンプ・タイマー（右下）から構成される。中央の白い機材はブローア。ブローアは0.3%塩水作成時に良く攪拌する場合は不要。

③イチゴ炭疽病の伝染リスクの軽減

イチゴ炭疽病に罹病した苗を配置し、その後、育苗中の病害伝染状況について調査したところ、頭上灌水により灌水した場合は周囲の株へも病害が伝染する様子が確認されましたが、底面給水を用いて灌水した場合には、病害の伝染は見られませんでした。

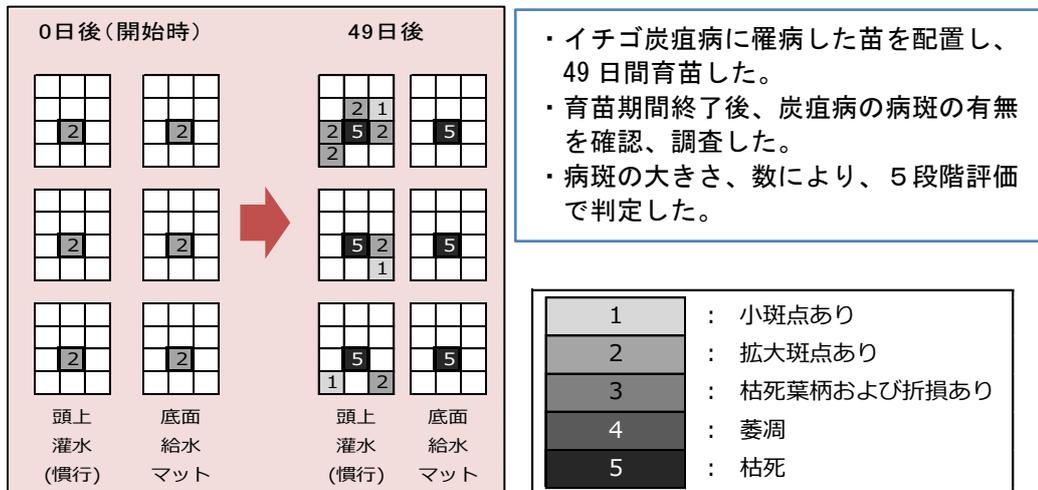


図3 炭疽病の発病推移 (2014)

④PCR 法を用いたイチゴの病害診断

PCR 法によりイチゴ炭疽病、萎黄病の病害診断を実施し、健全な親株のみを定植し、苗を採苗します。実証試験では、この親株から採苗した子苗に病害の発生がみられなかったことから、親株への病害診断の有効性が育苗後の子苗まで維持されることが確認できました。親株定植前に病害診断を実施することでコストは子苗 1 株あたり炭疽病 6.0 円、萎黄病 8.8 円まで削減できます。

表 3 PCR を用いた炭疽病診断にかかるコスト

診断時期	サンプル部位	サンプル数	診断費用(円)	出荷時の子苗1株にかかる診断コスト(円)
親苗定植前	親苗の外葉	1	297.8	6.0
切り離し時	太郎苗の外葉	10	2,978	59.6
出荷前	子苗の外葉	50	14,892	297.8

表 4 PCR を用いた萎黄病診断にかかるコスト

診断時期	サンプル部位	サンプル数	診断費用(円)	出荷時の子苗1株にかかる診断コスト(円)
親苗定植前	親苗ポット土	1	440.4	8.8
切り離し時	ランナー	10	2,353	47.1
出荷前	子苗ポット土	50	22,018	440.4

問い合わせ先：福島県農業総合センター 作物園芸部 野菜科

〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116

電話 024-958-1724

福島県農業総合センター 浜地域研究所

〒979-2542 福島県相馬市成田字五郎右エ門橋 100

電話 0244-35-2633

第4章 苗生産における放射性物質リスクマネジメント

(1) 技術の概要

本技術は、放射性セシウムをよく吸着する銅置換体プルシアンブルーカートリッジ（以下、Cu-C）を活用することで、施設栽培等で使用する農業用水中の放射性セシウムを2.5Lから最大200L分まで濃縮し、多くのエリアで普及しているNaIシンチレーションカウンターを用いて、放射性セシウム濃度を、0.01~1 Bq/Lの定量下限（水道水目標値10 Bq/L）で測定が可能な技術です。

定量下限が1Bq/Lの場合には、放射性セシウムの濃縮が30秒、NaIシンチレーションカウンターでの測定が35分程度で実施可能です。また、定量下限を0.01Bq/Lまで下げる場合には、放射性セシウムの濃縮が40分、NaIシンチレーションカウンターでの測定が35分程度で可能となります（表1）。

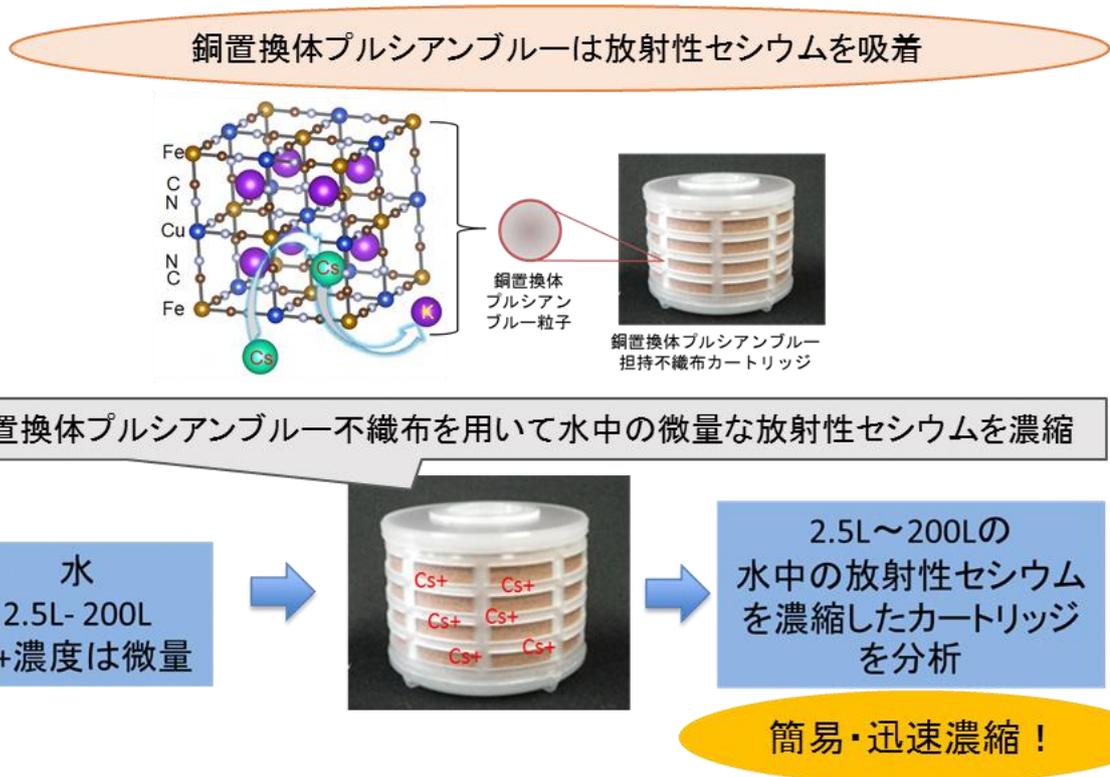


図1 モニタリング技術の概要

表 1 定量下限値と濃縮時間・NaI シンチレーションカウンターによる測定時間

定量下限	開発した方法		従来法 Geの直接測定時間
	通水量	通水時間 +測定時間	
1.0 Bq/L	2.5 L	35分 (30秒 + 35分)	約1.5時間
0.5 Bq/L	5 L	36分 (1分 + 35分)	約3時間
0.13 Bq/L	20 L	39分 (4分 + 35分)	約12時間
0.01 Bq/L	200 L	1時間15分 (40分 + 35分)	難しい

また、この 10 インチの銅置換体プルシアンブルーカートリッジ（下図）を用いれば、何らかの原因で作物影響が生じる濃度になった場合、1本で 300~400 m³ の水中の放射性セシウムを 80-90%浄化が可能です。



写真 1 浄化装置と浄化用カートリッジ

(2) 期待される効果

①農業用水中の放射性セシウム濃度は、福島県内の多くの地点では 1 L あたり 0.1Bq/L 以下（飲料水基準値 10 Bq/L）であり、低い状況となっていますが、低濃度でも測定したい、というニーズに対して、従来の方法と比較しても大幅にシンプルな方法・機材（写真 2 ホース、ハウジング {カートリッジを装着する入れ物} を接続し、水を流すだけ）、で測定が可能となりました。



写真2 接続状態（左写真）、簡易モニタリングシステム（右写真）

- ②ゲルマニウム半導体検出器ではなく、多くのエリアで普及している NaI シンチレーションカウンターでも測定ができるため、多くのニーズに答えることが可能です。
- ③モニタリング装置は2万円、カートリッジは4000円程度で購入可能です。
- ④作物影響が生じる濃度になった場合、浄化用カートリッジ1本で300 - 400 m³の水中の放射性セシウムを80-90%浄化できます。

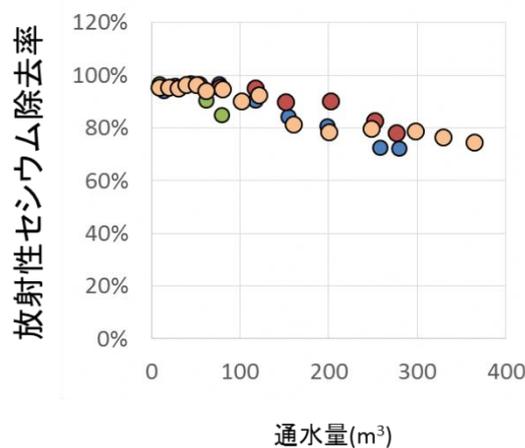


図2 浄化用カートリッジによる放射性セシウムの除去率。

(同一条件の4試験の結果を色違いで示す。)

(3) 技術の内容

① 簡易モニタリング装置の使用法

モニタリングにおいては、数値が正確であることが望ましいですが、農家さんの日常管理等における実用では有効数字一桁あれば十分と考え、通水流量については実用面を重視した簡易的な考え方を採用しました。

- A) 事前に蛇口を全開にした場合の、流速をバケツ等で調べておく。(一般的には 10 L/分～ 12 L/分であることが多い。)
- B) 専用のハウジングと蛇口を市販のホースでつなぐ。
- C) Cu-C をハウジングに取り付け、要望する定量下限に応じて、約 2.5 L -200 L の水を流す。流量は(A)で求めた流速と通水時間から算定する。
- D) Cu-C を通過した水は、そのまま排水が可能。
- E) Cu-C をカートリッジから取り外し、ジップロックに入れて汚れ等が付着しないように移動して、NaI シンチレーションカウンターで放射性セシウム量を測定。
- F) 通水時間から流量を推定し、得られた放射性セシウム量を流量で除して、水中の放射性セシウム濃度を推定する。(放射性セシウム量が 3 Bq、通水量が 100L の場合には、3 Bq/100 L で 0.03 Bq/L となる。)

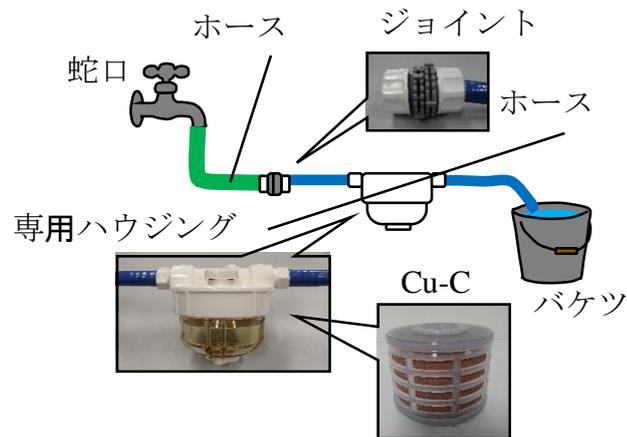


図3 簡易モニタリングシステム

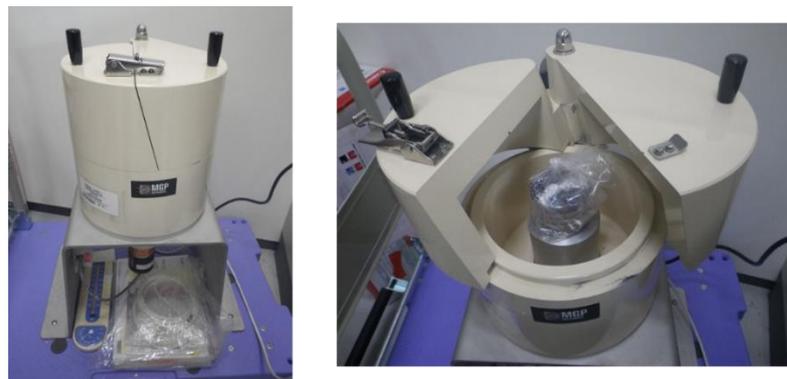


写真3 NaI シンチレーションカウンター

問い合わせ先：産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第7
電話 029-849-1545

第5章 先端プロ技術の実用例および経済性評価

1. 先端プロ開発技術の実用例と評価

(1) 先端プロ開発技術の実用例

開発された技術の①「閉鎖型苗生産装置とLED照明を用いた高品質苗生産技術（以下、苗生産装置）」、②「高吸水性ポリマー添加用土によるコスト削減技術（以下、ポリマー）」、③「底面給水による省力的な育苗管理技術（以下、底面給水）」、④「紫外線UV-B照射による病害抵抗性誘導技術（紫外線照射）」、⑤「高濃度炭酸ガス処理装置による害虫フリー苗生産技術（以下、炭酸ガス処理）」を組み合わせたキュウリ苗生産を例として図1に示しました。

①苗生産装置により発芽後から接ぎ木前までの温度・かん水・炭酸ガス施用のコントロールが可能となり、②ポリマーと③底面給水により均一な根張りの良い苗が生産できます。さらに、④紫外線照射と⑤炭酸ガス処理により農薬使用回数を削減することが可能となりました。

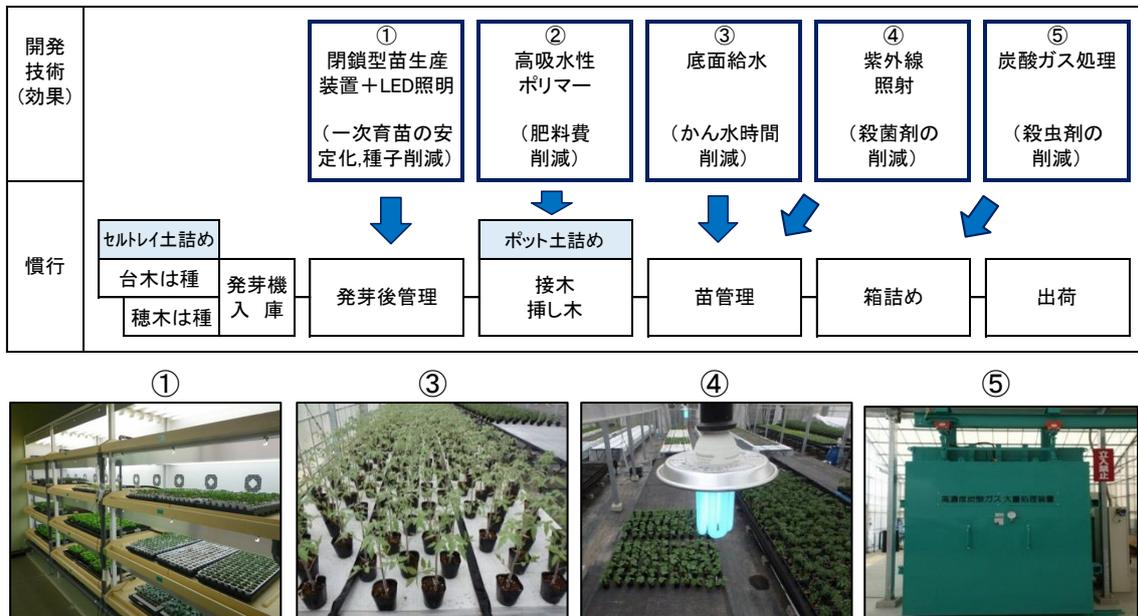


図1 キュウリ苗生産の慣行育苗の流れと導入された開発技術及び効果

(2) 開発技術の評価

開発された主な技術について、技術の内容、適用の前提条件、導入効果を整理しました。

① 閉鎖型苗生産装置とLED照明を用いた高品質苗生産技術（第1章－1）

技術の内容	①閉鎖型苗生産装置(三菱ケミカルアグリドリーム(株) 苗テラス)内で、発芽後から接ぎ木前までも一次育苗を苗テラスで育苗する。 ②温度、光、水管理を24時間自動で、気象の影響を受けずに均質な苗を生産できる。 ③照明は蛍光管(32W)の代わりにLED管(19W)を使用する。
技術適用の前提条件	①購入価格は7,980,000円、耐用年数、修理費より年間固定費1,380,540円。 キュウリ苗320,000ポット分を育苗すると稼働率は64%で1,000ポット当たり4,314円。 ②LED管580,800円(1年当たり73,529円)、蛍光管の場合121,920円(1年当たり51,450円)。 ③1,000株当たりの電気代は1,215円(蛍光管の場合1,472円)+炭酸ガス代 81円。
技術の導入効果	①一年を通して生育の揃った苗の生産が可能となる。 ②接木に不適な苗や接木後の廃棄苗が減少するため播種量を削減できる。 (1,000ポット当たりの接ぎ木苗の種子代が50,057円→45,886円) ③照明の消費電力が32%、空調の消費電力が8%削減できる。
対象品目	キュウリ、トマト、その他の野菜・花苗等で利用可能

② 高吸水性ポリマー添加用土によるコスト削減技術（第3章－1）

技術の内容	①高吸水性ポリマーを二次育苗時の育苗培土に添加して、育苗培土を削減する。 ②慣行の育苗培土を使用した場合と同等の生育の苗を生産できる。
技術適用の前提条件	①ポリマー添加培土は9cmポリポット当たり、育苗培土88g+ポリマー1.55g(慣行は育苗培土165g) ②育苗培土は18.6円/リットル(607g)、高吸水性ポリマーは750円/kg。
技術の導入効果	①育苗培土費用の削減できる。(1,000ポット当たり慣行培土:5,010円→ポリマー添加培土:3,853円) ②慣行の培土と比較して、根部の生育が優れる。
対象品目	野菜苗・花苗等、ポリポットで育苗する苗については適用可能と考えられる。

③ 底面給水による省力的な育苗管理技術（第3章－3）

技術の内容	①底面給水マットを利用して育苗時の灌水管理を行うことにより、従来の頭上手灌水と比較して、均質な苗の生産均質な苗を生産、育苗作業の省力化を図ることができる。 ②電磁弁付タイマーで制御することにより、設定した日時、回数で自動で灌水することができる。
技術適用の前提条件	①底面給水マット(株)ベル開発 アクアベール)、灌水チューブ(三菱ケミカルアグリドリーム(株) エバーフロ-ム)、電磁弁付タイマーを育苗ベンチに設置する。②設置費用は100㎡当たり122,140円、耐用年数で割ると29,861円/年。
技術の導入効果	①灌水作業時間を削減できる。 (1,000ポット当たり1日の灌水5分2回→3分1回により育苗期間を通して3時間→0.9時間)。 ②頭上灌水で起きる水の跳ね上がりによる病害拡大を防ぐ効果もある。
対象品目	野菜・花苗等、ポリポットまたはセルトレイで育苗する苗については適用可能と考えられる。

④ 紫外線 UV-B 照射による病害抵抗性誘導技術（第2章－2）

技術の内容	①植物体に紫外線を照射し病害抵抗性を誘導することにより、うどんこ病の防除を行う。本防除法は菌の薬剤耐性の発達が無いため、安定した防除ができる。 ②UV-B電球形蛍光灯により1.9～7.8 μw/cm ² で毎日夜間2時間処理し、タイマースイッチで制御する。
技術適用の前提条件	①UV-B電球形蛍光灯とタイマースイッチを設置する。設置費用は育苗ベンチ100㎡当たり135,070円、耐用年数10年で13,507円/年。 ②電気代 1,000ポット当たり74.5円
技術の導入効果	①キュウリ育苗の殺菌剤散布を削減できる。(農薬散布回数 4剤→2剤 1,000ポット当たり農薬代 582円→212円、散布作業時間 0.2時間→0.1時間) ②農薬使用回数は制限があり、苗購入者からの育苗時の農薬使用回数を減らす要望に応えられる。
対象品目	キュウリ、トマト、イチゴ
備考	イチゴでは育苗に限らず、イチゴハウスでうどんこ病防除に活用できる。

⑤ 高濃度炭酸ガス処理装置による害虫フリー苗生産技術（第2章－1）

技術の内容	①大型炭酸ガス処理装置で苗を一定温度で高濃度炭酸ガス処理することにより害虫を防除する。 ②炭酸ガス濃度40%、処理温度40℃、処理時間3時間(＋後処理2時間)、1回の処理苗数は2,560株 ③化学農薬を使用しないため、薬剤抵抗性の影響がなく、防除効果の低下がない。
技術適用の前提条件	①購入価格は試作品のため未定 ②1,000ポット当たり炭酸ガス代3,906円、電気代902円
技術の導入効果	①殺虫剤散布回数を3剤から2剤に削減できる。(1,000ポット当たり 5,724円→5,616円) ②使用できる回数が少ない微小害虫を対象とした農薬について、育苗時の農薬散布を削減できるため、その分を本ぼでの散布に回すことができる。 ③有機栽培や無農薬栽培等、農薬を制限する栽培向け苗生産に利用できる技術である。
対象品目	キュウリ、イチゴ
備考	イチゴで実用化された技術で、以下の効果がある。 ①薬剤抵抗性が発達しやすいハダニ類やアザミウマ類に対して効果が高く、抵抗性が発達しない。 ②農薬がかかりにくい苗の中にあるホコリダニ類にも効果が高い。

2. 経済性評価

(1) 開発技術を組み合わせた場合の経済性評価（キュウリ苗）

①苗生産装置、②ポリマー、③底面給水、④紫外線照射の4つの技術を導入した場合の経済性をキュウリ苗生産で評価すると、慣行と比較して、経営費及び労働時間が削減され、所得が向上しました(表1)。⑤炭酸ガス処理については、装置が販売されていないため評価に含めませんでした。

経営費は慣行栽培より1.5%低く、所得が15%向上しました。主な要因は、①苗生産装置による種苗費(種子代)削減、②ポリマーによる肥料費削減、③底面給水による雇用労働費削減でした。

苗生産装置は導入費用が高いですが、環境条件の影響を受けずに一次育苗(発芽後から接ぎ木前)が可能となり、苗の品質向上や接ぎ木作業効率の向上が図られるため、導入のメリットは大きいと考えられます。

表1 慣行育苗と開発技術を導入した育苗の経営収支の比較

項目	慣行	開発技術導入				(計算条件)
		①+②+③+④		②+③+④		
粗収益(千円)	46,400	46,400	—	46,400	—	・ キュウリ苗 32万本(キュウリ苗の出荷時期と苗生産装置の処理能力により決めました)を生産 ・ 販売単価は慣行と同一で、労働時間から家族労働時間(2名)を差し引いた雇用労働時間から雇用労働費を算出
経営費(千円)	42,033	41,394	(-1.5) ^{a)}	41,138	(-2.1)	
種苗費	16,018	14,683	(-8.3)	16,018	—	
肥料費	1,928	1,501	(-22.1)	1,529	(-20.7)	
農業薬剤費	1,854	1,685	(-9.1)	1,735	(-6.4)	
光熱動力費	1,253	1,668	(+33.1)	1,279	(+2.1)	
諸材料費	1,059	1,230	(+16.1)	1,197	(+13)	
農機具費	4,487	5,868	(+30.8)	4,487	—	
雇用労働費	2,271	1,597	(-29.7)	1,731	(-23.8)	
その他 ^{b)}	13,162	13,162	—	13,162	—	
所得(千円)	4,367	5,006	(+14.6)	5,262	(+20.5)	
労働時間(時間)	5,798	4,934	(-14.9)	5,081	(-12.4)	

a ()は慣行と比較した増加率(%)

b その他は建物費、販売費等

(2) 作物を組み合わせた場合の経済性評価

大規模苗生産者を想定して、キュウリ苗の他にトマト、スイカ、パングー苗を生産した場合と、これに加えてブロッコリー、タマネギ苗を生産した場合について、慣行育苗と開発技術(①②③④)を導入した場合の経営収支を試算して比較しました。

①苗生産装置はキュウリ以外の作物でも利用できますが、1台でキュウリのみで使用する可としました。②ポリマーはポリポットで育苗する作物に利用できます。③底面給水はポリポットだけでなく、セルトレイでの育苗にも広く使えます。④紫外線照射はうどんこ病にかかりやすい作物に有効です(表2)。

育苗する作物を増やすことにより粗収益(売上げ)と所得が向上します。慣行育苗と開発技術導入を比較すると粗収益(売上げ)が同じでも、開発技術導入により種苗費、肥料費、農薬費が削減され、さらに、労働時間を短縮することができるので、慣行育苗より所得の増加が大きくなります(表3)。

表2 生産する苗の育苗本数と導入可能な技術

作物名	育苗本数 (トレー数)	①	②	③	④
		苗生産装置	ポリマー	底面給水	紫外線照射
キュウリ	320,000本	○	○	○	○
トマト	50,000本		○	○	○
スイカ	40,000本		○	○	○
パングー	60,000本		○	○	
ブロッコリー	6,200枚			○	
タマネギ	4,000枚			○	

ブロッコリー、タマネギはセルトレイ苗

表3 複数の作物を組み合わせた場合の経営収支試算の比較

	キュウリ、トマト スイカ、パングー		ブロッコリー、タマネギ を追加		
	慣行育苗	①+②+③+④	慣行育苗	①+②+③+④	
1 粗収益(千円)	63,680	63,680	80,146	80,146	・育苗規模は育苗ベンチ 1600㎡とした。 ・販売単価は慣行と同一。 ・労働時間から家族労働時 間(2名)を差し引いた 雇用労働時間から雇用労働 費を算出した *その他は、建物費、販売費 等
2 経営費(千円)	51,906	51,391	63,202	62,377	
種苗費	20,410	19,075	24,145	22,810	
肥料費	2,802	2,181	5,069	4,449	
農業薬剤費	2,029	1,830	2,539	2,340	
光熱動力費	1,671	2,098	1,671	2,098	
諸材料費	1,816	2,526	5,315	6,026	
農機具費	4,487	5,868	4,645	6,025	
雇用労働費	3,936	3,057	4,569	3,380	
その他*	14,755	14,755	14,755	14,755	
3 所得(千円)	11,774	12,289	16,944	17,769	
所得率(%)	18.5	19.3	21.1	22.2	
4 労働時間(時間)	8,530	7,208	9,461	7,696	
5 時間当たり所得 (円/時間)	3,262	3,629	4,518	5,119	

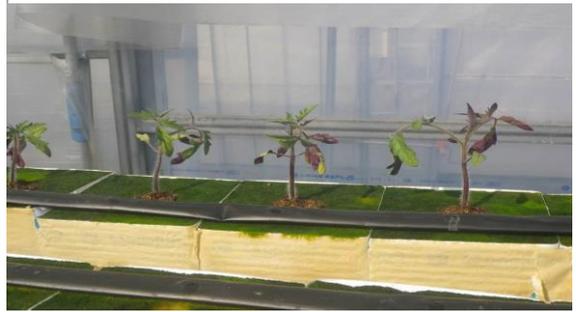
野菜苗生産と復興に向けた取り組み

苗の現地導入事例

トマト苗



浜地域大型養液栽培施設長期多段取りトマト栽培に適した夏期定植用セル苗、ミニトマト2本仕立て苗の供給(いわき市)



キュウリ苗



添加資材培土により育苗されたキュウリ苗(郡山市)

イチゴ苗



高濃度炭酸ガス大量施用装置により処理を行ったイチゴ苗が定植されたほ場(須賀川市)

ブロッコリー苗



津波被害畑地において、いち早く定植された底面給水塩水かん水苗とセル内施肥苗(南相馬市)

底面給水によるタマネギ苗

震災後に作付けが拡大した春まきタマネギ、
秋まきタマネギの苗生産を支援した。



播種作業



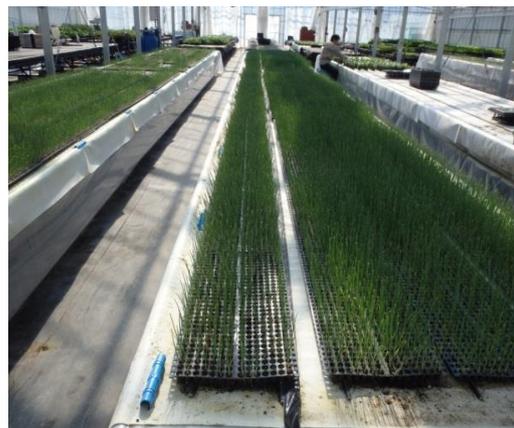
発芽したタマネギ



剪葉作業



底面給水灌水



南相馬市における
タマネギ定植

実証施設苗生産状況と福島県内への野菜苗導入実績（H28～H29）



参考文献、執筆者一覧

【第1章】人工光育苗を用いた高品質野菜の実証研究

1. 可視光域LEDを用いた野菜苗の生育制御

参考文献：

Hikosaka, S., Moriyama, F. and Goto, E. (2017) Effects of blue/red light ratio and light intensity on the shape and functional compounds of basil leaves. Abstract book of GreenSys2017. International Symposium on New Technologies for Environmental Control, Energy-saving and Crop Production in Greenhouse and Plant Factory. ISHS (Beijing, China). P146.

彦坂晶子・神田祐麻・後藤英司. (2017) 光質および培養液浸透圧がトマト苗の生育および形態に及ぼす影響. 日本生物環境工学会 2017 年松山大会講演要旨. P110-111.

彦坂晶子・新井智子・後藤英司・円谷祐未・新野美佐子・伊東かおる・山田真. (2016) 白色系LEDの光質がキュウリ接ぎ木苗の生育に及ぼす影響園芸学会平成28年度春季大会(農大). 園芸学研究. 第15巻別冊1. P.189.

彦坂晶子・森山文彦・後藤英司. (2016) LED光の青/赤比および強度がバジル葉の形態と機能性成分に及ぼす影響. 日本農業気象学会 2016 年全国大会(岡山大会). 講演要旨. P85.

後藤英司・久志智恵美・彦坂晶子・石神靖弘. (2015) 植物育成用白色系LEDの開発とトマト苗の生育評価. 日本生物環境工学会 2015 年宮崎大会講演要旨. P72-73.

執筆者：国立大学法人 千葉大学大学院園芸学研究科 後藤 英司
彦坂 晶子
石神 靖弘
パナソニック株式会社エコソリューションズ社 山田 真
福島県農業総合センター 円谷 祐未

2. 紫外線LEDによるストレス耐性付与の実証研究

参考文献：

円谷祐未・伊東かおる・彦坂晶子・後藤英司・山田真. (2017) 紫外線付加蛍光灯によるトマト葉こぶ症の抑制技術の開発. 園芸学会平成29年度春季大会(日大). 園芸学研究. 第16巻別冊1. P.109.

円谷祐未・伊東かおる・後藤英司・彦坂晶子・石神靖弘・山田真. (2017) 紫外線付加蛍光灯によるトマト葉こぶ症抑制効果の品種間差. 日本生物環境工学会 2017 年松山大会講演要旨. P34-35.

後藤英司・石丸海渡・久志智恵美・彦坂晶子・石神靖弘. (2017) トマト人工光育苗における葉こぶ症問題の解決に向けて -UV光の活用-. 日本生物環境工学会 2017 年松山大会講演要旨. P32-33.

執筆者：国立大学法人 千葉大学大学院園芸学研究科 後藤 英司
彦坂 晶子
石神 靖弘
パナソニック株式会社エコソリューションズ社 山田 真
福島県農業総合センター 円谷 祐未

【第2章】化学農薬に頼らない病虫害フリー化技術の実証研究

1. 高濃度炭酸ガスによる害虫フリー苗の実証

参考文献：

関昌夫・村井保(2011)ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis*(Pergande)に対する高濃度炭酸ガスの殺虫効果. 応動昆 55:174-177

執筆者：福島県農業総合センター 山内 富士男
福島県農業総合センター 三本菅 猛

2. 温湯熱ショック、紫外線照射による病害抵抗性苗の実証

参考文献：

小林智之・山田真(2015) UV-B照射がキュウリとトマト苗の病害抑制および障害発生に及ぼす影響. 園学研 14 別 1. P152

小林智之・佐藤達雄・山田真(2016) キュウリ苗へのUV-B照射および温湯熱ショック処理がキュウリうどんこ病の抑制に及ぼす影響. 園学研 15 別 2. P379

久松 完 (2014). 電照栽培の基礎と実践. 誠文堂新光社

執筆者：福島県農業総合センター 小林 智之
国立大学法人 茨城大学 佐藤 達雄
パナソニック株式会社エコソリューションズ社 山田 真

【第3章】最適培地と養水分精密管理

1. 添加資材活用による活着促進・安定化生産のための実証研究

参考文献：

中山秀貴, 高吸水性ポリマー添加によるトマト育苗時の用土量・費用の削減. 2015. 農研機構平成27年度成果情報, (<http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/h27/yasaikaki/h27yasaikaki013.html>)

中山秀貴・片桐優亮・笠井友美. 高吸水性ポリマー添加育苗用土でのキュウリ苗の生育. 2016. 園学研 15 別 2, p169

執筆者：福島県農業総合センター 中山 秀貴
片倉コープアグリ株式会社 佐藤 均

2. 施肥省力土地利用型野菜苗生産の実証

参考文献：

鎌田淳・畑克利・江村薫. 2010. リン酸・カリ蓄積ほ場におけるブロッコリーセル苗全量基肥法の確立. 埼玉県農総研研報. (10). 31-36.

執筆者：福島県農業総合センター 浜地域研究所 門田 敦生

3. 均質な苗生産のための省力的な育苗管理技術の実証研究

参考文献：

常盤秀夫. 2008. ブロッコリーセル苗への食塩水灌水による収穫の斉一化.

東北農業研究. 61: 183-184.

天野昭子・堀之内勇人・越川兼行. 2002. イチゴの底面給水による炭疽病及び疫病の防除効果. 関西病虫研報. (44). 69-70.

執筆者：福島県農業総合センター 笠井 友美

福島県農業総合センター 浜地域研究所 門田 敦生

【第4章】苗生産における放射性物質リスクマネジメント

参考文献：

保高徹生, 申文浩, 恩田裕一, 信濃卓郎, 林誠二, 塚田祥文, 青野辰雄, 飯島和毅, 江口定夫, 大野浩一, 吉田幸弘, 上東浩, 北村清司, 久保田富次郎, 野川憲夫, 吉川夏樹, 山口裕顕, 末木啓介, 辻英樹, 宮津進, 岡田往子, 栗原モモ, TARJAN Sandor, 松波寿弥, 内田滋夫(2017)、陸水中における微量溶存態放射性セシウムの濃縮法の比較、分析化学、Vol. 66 (2017) No. 4 p. 299-307

保高徹生, 辻英樹, 今藤好彦, 鈴木安和 (2013) ; プルシアンブルー不織布カートリッジを用いた水中の溶存態放射性セシウムの迅速モニタリング技術の開発, 分析化学, 62(6). pp. 499-506.

Yasutaka, T., Miyazu, S., Kondo, Y., Tsuji, H., Arita, K., Hayashi, S., Takahashi, A., Kawamoto, T. & Aoyama, M. (2016). Development of a copper-substituted, Prussian blue-impregnated, nonwoven cartridge filter to rapidly measure radiocesium concentration in seawater. Journal of Nuclear Science and Technology, 1243-1250.

Yasutaka, T., Tsuji, H., Kondo, Y., Suzuki, Y., Takahashi, A., & Kawamoto, T. (2015). Rapid quantification of radiocesium dissolved in water by using nonwoven fabric cartridge filters impregnated with potassium zinc ferrocyanide. Journal of Nuclear Science and Technology, 52(6), 792-800.

執筆者：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 保高 徹生

日本バイリーン株式会社 今藤 好彦

ベルグアース株式会社 瓦 朋子

福島県農業総合センター 星野 輝彦

【第5章】先端プロ技術の実用例および経済性の評価

執筆者：福島県農業総合センター 仁井 智己

【プロジェクトの概要】【野菜苗生産と復興に向けた取り組み】

執筆者：福島県農業総合センター 伊東 かおる