

大規模施設園芸の生産性を飛躍的に向上させるスマート技術体系の実装

大阪府立大学・人間社会システム科学研究科 大山克己

本実証事業では、大規模施設園芸の生産性を飛躍的に向上させるためのスマート技術体系を実装することを目的とした。大分県玖珠郡九重町にある大規模パプリカ生産拠点である「愛彩ファーム九重」(図1)を対象として、生産管理支援システム(図2)と無人搬送システム(図3)とを、開発および導入した。



図1 「愛彩ファーム九重」の大規模施設内でのパプリカの状況

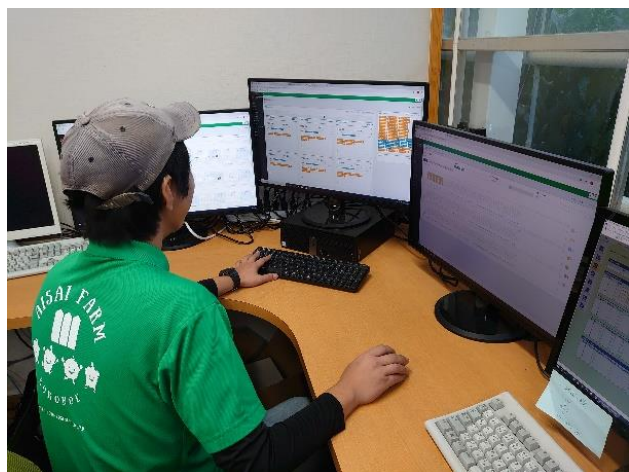


図2 生産管理支援システムの操作

現在、生産管理支援システムは、計画立案機能、現場管理機能、通知機能など、生産管理支援システムの基本部分の開発は終了し、「愛彩ファーム九重」において試験運用を開始している。また、生産管理支援システムの有する機能を発展させるための付属アプリの開発に取り掛かっている、これが完成すれば、さらなる生産性の向上やGAP取得の一助となることが期待される。

実終了時点において、無人搬送システムの開発は終了している。現在は、圃場での試験走行を実施中である。当初懸念された追突や搬送物の転落といった不具合は、これまでのところ発生していない。

本実証事業では、労働生産性、土地生産性および売上にかかわる数値目標をすべて達成した。実証開始前(平成31年度)と比べて、実証終了年度(令和2年度)では、収量あたりの労働時間(労働生産性)9%減、面積あたりの収量(土地生産性)24%増、売上27%増となった。試験運用を経た上で両システムが実稼働すれば、上述したよりも高い生産性向上が達成できる。



図3 走行中の無人搬送システム

スマートグリーンハウスに関する指導者育成研修 2021 開講

昨年度に引き続き、PFCセミナーⅡ中級程度の内容でスマートグリーンハウスの展開促進に関する基礎・実務・展望について講義します。詳細はセンターHPをご覧ください。

No.	日程	テーマ	講義名
1	8月19日 (木)	植物工場における 環境調節	・環境変動と植物応答/ 渋谷 俊夫(大阪府立大学)
			・次世代施設園芸と環境調節/ 東出 忠桐(農研機構)
			・太陽光型植物工場における環境調節の実践/ 東馬場 怜司(株式会社東馬場農園)
2	9月9日 (木)	植物工場における 管理・運営	・大規模施設園芸における組織づくりと人的資源管理/ 田口 光弘(農研機構)
			・大規模生産施設における生産管理の概要/ 大山 克己(大阪府立大学)
			・人工光型植物工場/ 島田 悠平(株式会社木田屋商店)
3	10月14日 (木)	植物工場の展望	・農業経営における地域エネルギー戦略(温泉)/ 松尾 崇史(株式会社タカヒコアグリビジネス)
			・被災地での園芸復興と都市園芸への発展/ 佐藤 拓実(株式会社一草一笑)
			・アクアポニックス/ 遠藤 雅人(東京海洋大学)

「大規模施設園芸・植物工場実態調査・事例調査」報告（令和3年3月発行）その2

前号に続き、一般社団法人日本施設園芸協会からの報告（続き）を日本施設園芸協会の許可を頂いて連載します。

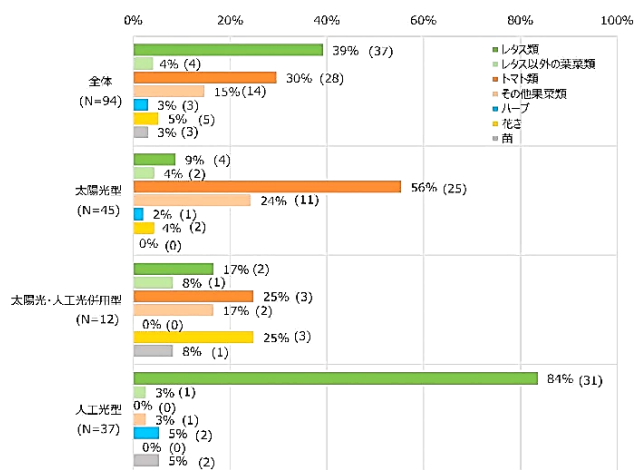
⑥栽培品目

各事業者での主要栽培品目を集計すると、全体でレタス類及びトマト類がそれぞれ39%、30%であった。

太陽光型については、トマト類の割合が56%と最大で、次いでその他果菜類（いちご、パプリカ等）が24%であった。温室での栽培品目の中で、周年を通じて安定した需要があり、かつ施設栽培に関する情報が揃って比較的栽培のしやすいトマトを育てていることがわかる。

人工光型については、周年を通じて安定した需要があり、果菜類に比べて光の要求量が少なく、比較的栽培のしやすいレタス類が84%で最多となっている。

また、併用型では、トマト類、花きがそれぞれ25%（3件）で最も多い。



図表 15 主な栽培品目

※なお本調査における品目分類の内訳は以下の通りとしている。

カテゴリ	品目
レタス類	リーフレタス（フリルレタス、グリーンリーフ、サニーレタス）、ロメインレタス、ベビーリーフ等
レタス以外の葉菜類	ホウレンソウ、コマツナ、ミズナ、ミツバ等
トマト類	大玉トマト、ミディトマト、ミニトマト等
その他果菜類	いちご、パプリカ、ピーマン、キュウリ等
ハーブ	バジル、パクチー、ルッコラ、クレソン等
花き	バラ、胡蝶蘭、トルコギキョウ、エディブルフラワー等
蒔	花き苗、野菜苗、等

（2）生産・労働・販売の概況

①品目ごとの生産量

栽培形態別に見た、主要品目別の生産量の分析として、太陽光型において大半を占めるトマト類及び人工光型において大半を占めるレタス類に関して、それぞれ栽培実面積及び年間生産量を整理した。

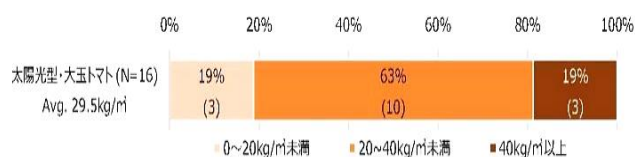
太陽光型のトマト類の栽培に関しては、1~2万㎡の栽培実面積の事業者が52%（13件）と最も多い。昨年度まで栽培実面積2万㎡以上の事業者の割合が増加していたが、今年度は44%（11件）となっている。（平成30年度は57%（19件）、平成31年度は43%（16件））

また、トマト栽培のうち大玉トマトについて、栽培実面

積1㎡当たりの生産量（以下、「単収」という。）をみると、下図のような分布となり、約6割が20~40kg/㎡で、平均は29.5kg/㎡であった。単収20kg/㎡未満と答えた事業者のうち、最も低かったのは5.3kg/㎡であった。



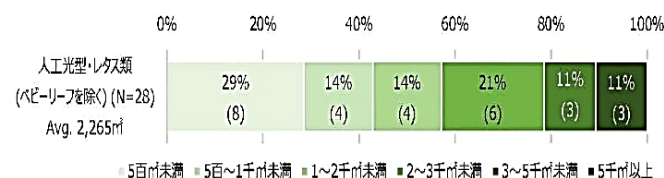
図表 16 主要品目の栽培実面積（太陽光型・トマト類）



図表 17 単収（太陽光型・大玉トマト）

人工光型のレタス栽培（レタス類のうちベビーリーフを除く）は、直近2年の調査と比較して、栽培実面積1,000㎡以上の事業者の割合が増加しており、規模拡大の傾向が見られる（平成29年度は33%（9件）、平成30年度は40%（12件）、H31年度は42%（14件）、今年度は57%（16件））。

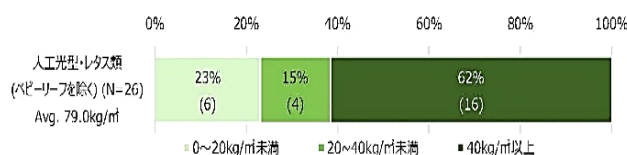
なお、留意が必要なのは、太陽光型で栽培されるトマトと異なり、人工光型では重量の異なる複数品目の葉菜類を栽培する傾向があり、単純に単収の多寡を比較できるものではないという点である。



図表 18 主要品目の栽培実面積（人工光型・レタス類（ベビーリーフを除く））

単収をみると、下図のような分布となり、半数弱が単収40kg/㎡以上となっている。なお平均単収は79.0kg/㎡であった。20kg/㎡未満と答えている6件の事業者の栽培開始年にはばらつきがあるが、課題として「品質の安定」を挙げていることに共通点がある。

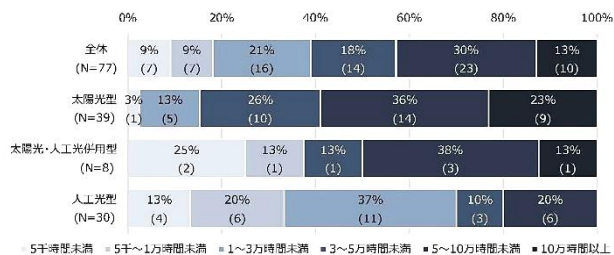
40kg/㎡以上と答えた事業者の中には、60kg/㎡以上の事業者も9社あった。



図表 19 単収（人工光型・レタス類（ベビーリーフを除く））

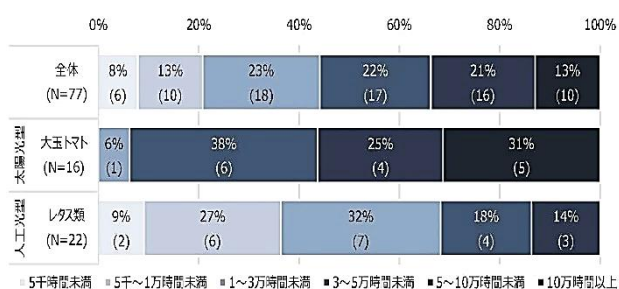
②従業員の労働時間

施設全体での年間積算労働時間をみると、5万時間以上としている事業者が、太陽光型で59%と大半を占める一方、人工光型では20%となっている。



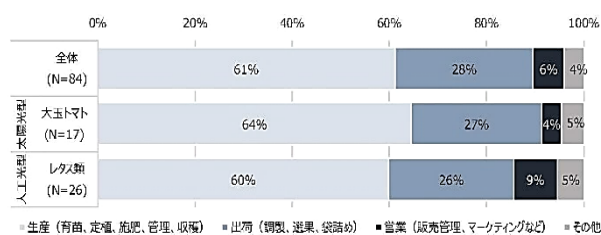
図表 20 施設全体（従業員全員）の年間積算労働時間

主要品目別でみると、太陽光型の大玉トマトで年間積算人工光型のレタス類（ベビーリーフを除く）では、5万時間未満が68%となっている。



図表 21 主要品目に係る年間積算労働時間

主要品目別の作業割合では、いずれも生産にかかる時間が60%を超え、最も時間を費やしている。人工光型のレタス類で比較的営業に時間が割かれているのは、市場外出荷がほとんどであり、事業者によっては数十の取引先があるため、その分の販売管理に時間が割かれているものと推測される。



図表 22 主要品目に係る作業割合

施設面積、施設全体での年間積算労働時間、年間労働時間を人数ベース換算したものが下表である。この数値は、調査項目について回答があった事業者の結果を単純に平均したものであり、参考値である。

図表 23 栽培形態別の平均施設面積と平均年間積算労働時間

栽培形態	栽培用施設面積	年間積算労働時間	人数換算
太陽光型 (N=38)	2.5ha	7.1万時間	36人相当
太陽光・人工光併用型 (N=8)	2.5ha	8.3万時間	42人相当
人工光型 (N=30)	1.6千ha	2.7万時間	14人相当

※人数換算においては、一人当たり年間労働時間を、2,000時間と仮定して換算している。

年間積算総労働時間を、栽培形態ごと、栽培実面積当りに換算したものが以下である。

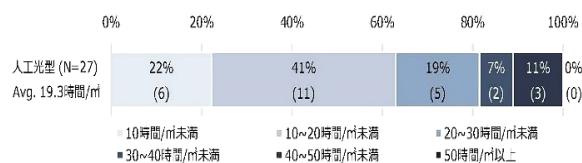
まず、太陽光型について、1㎡当たり年間積算労働時間をみると、2~3時間/㎡未満の施設が最も多く43%を占め（17件）、次いで3~4時間/㎡未満の施設が25%を占めた（10件）。また、平均は3.6時間/㎡であった。



図表 24 栽培実面積（1㎡）当たりの年間積算労働時間（太陽光型）

続いて、人工光型について1㎡当たり年間積算労働時間をみると、10~20時間/㎡の施設が最も多く41%を占め（11件）、次いで10時間/㎡未満の施設が22%を占めた（6件）。また、平均は19.3時間/㎡であった。

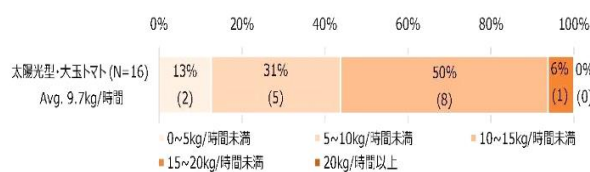
太陽光型と人工光型を比較すると、平均でも人工光型の方が約5倍と大きい。これは人工光型の方が面積当たりの労働が集約されているためと考えられる。



図表 25 栽培実面積（1㎡）当たりの年間積算労働時間（人工光型）

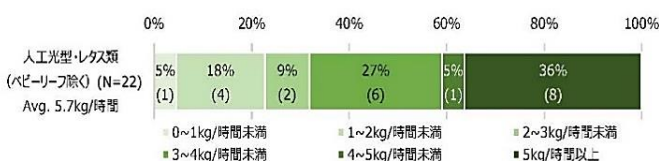
③労働時間当たり収量

太陽光型トマト栽培のうち大玉トマトについて、労働時間1時間当たりの収量をみると、10kg/時間未満の施設が44%を占める。なお、平均は9.7kg/時間であった。



図表 26 労働時間当たりの収量（kg/時間）（太陽光型・大玉トマト）

続いて、人工光型レタス類栽培（ベビーリーフ除く）について、労働時間1時間当たりの収量をみると、3kg/時間未満の施設が31%を占める。なお、平均は5.7kg/時間であった。



図表 27 労働時間当たりの収量（kg/時間）（人工光型・レタス類（ベビーリーフ除く））

施設園芸・植物工場展（GPEC）2021 出展報告

施設園芸・植物工場展（GPEC）2021 が、愛知県国際展示場において、7月14日から16日までの3日間開催されました。本学植物工場研究センター（PFC）も出展しました。GPECは、一般社団法人 日本施設園芸協会が主催する、施設園芸、植物工場に特化した国内唯一の専門展示会で、これまで西暦偶数年に東京ビッグサイトで開催されていました。本年は東京オリンピックに伴う会場の変更と、新型コロナウイルスの蔓延による1年延期という変則的な開催となりました。本年は、入口での検温を初め、ラウンジのテーブルの衝立など、新型コロナウイルスへの対策が随所に見られました。開催直前に東京都に緊急事態宣言が発出されたことから、人員を配置せず、ポスターのみの展示にしたブースもありました。

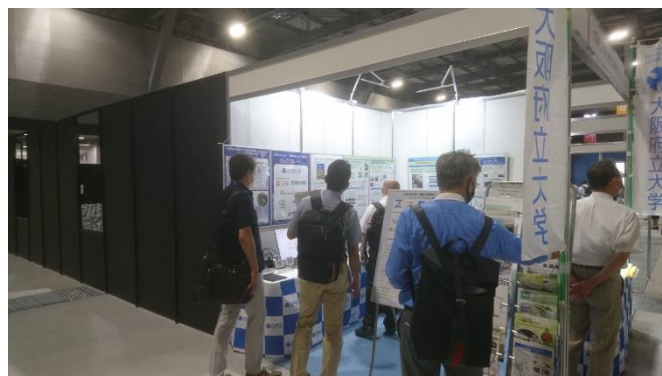


衝立の設置されたラウンジのテーブル

PFCのブースは4部構成で、①PFCの人材育成の概要とコンソーシアム参画企業名のパネルの展示、②大山克己教授からスマート農業関連の研究紹介パネルと開発中の生産管理システムの展示、③物質循環プロジェクトから研究紹介パネルの展示、④空調プロジェクトから研究紹介パネルと配風模型の展示が行われました。PFCのブースには企業担当者、大学教職員、農業生産者等様々な業種の方の訪問があり、植物工場研究におけるPFCへの期待が感じられました。

例年GPECでは、主催者による特別セミナーやシンポジウム、出展者によるプレゼンテーションが行われており、本年も19題の特別セミナーと、シンポジウム、10題の出展者プレゼンテーションが行われました。14日に行われた次世代シンポジウムでは、「次世代施設園芸の発展と生育・収量予測の可能性」というテーマのもと「収量予測にもとづく生産管理の重要性」と題して大

山教授が講演されました。大山教授は、15日も「大規模施設園芸の生産性を飛躍的に向上させるスマート技術体系の実装」と題して特別セミナーで講演されました。全体として、栽培データの集積・活用、AIによる画像解析、ロボットによる作業自動化など、農業のスマート化に向けた話題が多く、施設園芸・植物工場分野ではスマート化が必須になりつつあることを実感するものでした。



初日のPFCブースの様子

本年のGPECの全期間来場者数は、再入場を含めて16,288人で、3年前に開催時の40,180人の40%程度であったようです。来場者数の減少は、会場変更による影響が大きかったと思われますが、コロナ禍による行動の制限や心理的な負担も大きく影響したように思われます。次回開催時にはコロナ禍が収束し、例年のように活発な交流ができるようになることを願うばかりです。（文責 江口）



開場直前の会場の様子

PFC2020 年度研究等の成果発表会の概要紹介（6月23日開催）

2020年度にPFCで行われた研究成果の発表会をオンラインで開催しました。以下は、そのタイトル・発表者・概要です。詳細はPFCのホームページに掲載しています。

1. 可販収量から考えるレタス類の光環境の検討

江口 雅文（大阪府立大学研究推進機構）

人工光型植物工場では、光源を電力で賄うため、光源にかかるコストが常に生じる。そのため、光源から照射された光が効率よく植物の成長に利用されるとともに、成長した植物が製品として販売可能であることが重要である。本発表では、本共同研究の概略について説明する。

2. 概日時計制御技術の高度化研究

福田 弘和（大阪府立大学大学院工学研究科）

PFC設立時から10年以上にわたって研究してきた概日時計の制御技術を紹介する。概日時計の重要性は2017年にノーベル医学・生理学賞が贈られたことから広く世に知られている。しかし、その制御技術は未だ研究開発の途上にある。制御の鍵となるのは「位相応答曲線（PRC）」であるが、PRCの同定は非常に効率が悪いことで知られている。そこで本研究では、伝統的な手法に対し約2.5倍の効率を示すMP-PRC法を2017年に開発し、さらに2021年には約100倍効率のSR-PRC法を開発した。これは1年間で取得できるPRCが1200個となり得ることを意味し、全ての入力に対するPRCを網羅的に同定できる可能性をもつ。本発表では、PRCと環境設計の最適化やAI栽培ロボットとの関係にも触れた。

3. 大規模施設園芸の生産性を飛躍的に向上させるスマート技術体系の実装

大山 克己（大阪府立大学人間社会システム科学研究科）

本研究では、大規模パプリカ生産拠点である「愛彩ファーム九重」を対象として、生産管理支援システムと無人搬送システムとを開発および導入を目指した。生産管理支援システムは、その基本部分の開発は終了し、試験運用を開始している。また、機能をより発展させるための付属アプリの開発に取り掛かっていて、これが完成すれば、GAP取得の一助となることが期待される。他方、無人搬送システムの開発も終了し、圃場での試験走行を実施中である。実証開始前と比べて本年度では、収量あたりの労働時間（労働生産性）9%減、面積あたりの収量（土地生産性）24%増、売上27%増となり、

すべての項目で目標をクリアした。試験運用を経た上で両システムが実稼働すれば、さらなる生産性向上が期待される。

4. 独立トレイ方式による節水型栽培システムの検当およびワサビ栽培システムの検討報告

林 伯彦・河合 真帆（エスペックミック株式会社）

1) .独立トレイ方式による節水型栽培システムの検討
大阪府立大学C21棟の旧コケ室に、2020年に新しく設置した独立トレイ方式の栽培設備を用いて、この栽培方式に適した栽培環境やレタス品種の検討を行った。レタス品種として、レッド系3品種、フリル系4品種、バタバ系4品種、計11種類のレタスに対し、液肥の種類、濃度、エアー供給の有無などの栽培環境を変化させ試験を行った。その結果、複数の品種で本栽培方式に適すると考えられる品種を選定した。

2) .ワサビ栽培システムの検討

人工光下におけるワサビ栽培システムについて、CO₂施肥がワサビの葉柄および茎の伸長に与える影響について検討を行った。その結果、CO₂施肥の有無で優位に生育に差異が生じることがわかった。

5. ドジョウを用いたアクアポニックスにおける葉菜類の生育促進要因の解明

山内 悠司（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科）

本研究では培養液のpHを7および8に管理し、バイオフィルタを設置したアクアポニックスでハウレンソウを栽培した。また、培養液のpHを5に管理したアクアポニックスでレタスを栽培し、フィルタによる固形物の除去が植物の生育に及ぼす影響を調査した。結果として、ハウレンソウでは培養液のpHが8の場合、培養液中に亜硝酸が蓄積した。これは亜硝酸の生成速度が硝酸の生成速度を上回ったためと考えられた。レタスではフィルタを設置することで培養液中の固形物が除去され、植物の生育が回復した。また、pHが5のアクアポニックスでは硝化がほとんど進まず、アンモニア態窒素の比率が上昇した。今後は培養液中のアミノ酸等の分析を行い、植物の生育に及ぼす影響を調査することを検討している。

6. 藻類に対する酸化亜鉛ナノ粒子の環境毒性の緩和

久保 陽（大阪府立大学大学院理学系研究科）

化粧品や日焼け止め等に利用されている酸化亜鉛ナノ粒子（以下、ZnO NP）は、使用された後、下水道等から水棲環境中へと放散されている。既往研究では、水棲

環境中へ放散された ZnO NP から溶出した Zn イオンは、微生物に対して毒性を発現することが報告されている。しかし本研究では、藻類に対して ZnO NP を曝露した際に、ある特定の濃度条件では細胞増殖を促進する現象を見出した。これは細胞表面に ZnO NP が付着し、その難溶性から、持続的に細胞へと Zn イオンを供給したためと考えられる。しかしながら、その付着現象の直接的観察や定量化は困難を極める。よって本研究では FACS を利用し、間接的に ZnO NP の付着現象を可視化、定量するための試行的検討を行った。

7. 植物工場における環境システム解析と生産性向上のための設備検討

渡辺 匡(大阪府立大学大学院工学研究科)

完全人工光型植物工場は、閉鎖環境で安全に農作物を育成できるという利点がある一方で、運転コストが課題となっている。本研究では完全人工光型植物工場の省電力化、作物の生産性向上のため、エネルギーを効率的に利用できる環境システムを検討する。まず工場環境・植物生育予測モデルを構築し、工場運営における消費電力と生産量を算出する。実際の植物工場と比較して再現性を確認した後、環境条件の変化による消費電力・生産性への影響評価を行い、効率的な制御条件を検討する。また、太陽光発電による再生可能エネルギーを含め、環境負荷を低減する植物工場の運営条件を数値解析に基づいて提案する。

8. 同化箱法による生理応答評価と環境因子を考慮した光合成モデルの構築

密原 秀真(大阪府立大学大学院工学研究科)

完全人工光型植物工場は、閉鎖環境で安全に農作物を育成できるという利点がある一方で、高額な運転コストが課題となっている。本研究では完全人工光型植物工場の省電力化、作物の生産性向上を目的として、エネルギーを効率的に利用できる環境システムを検討する。まず、照明や空調の条件から植物栽培環境の温湿度・CO₂濃度を解析するプログラムを作成する。次に、植物の生育予測モデルを適用し、植物の生産量と生育に必要な消費電力を算出する。その後、実際の栽培実験と比較して、植物生産量と消費電力の再現性を確認し、環境条件の変化による消費電力・生産性への影響評価を行い、効率的な制御条件を検討する。

9. アオジソの機能性成分におけるジャスモメートの効果

山口 夕(大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)

完全人工光型植物工場における高品質アオジソの生

産に向けて、アオジソの機能性成分であるペリラルデヒドとロスマリン酸の含量増加を目指している。これらの物質含量がストレス応答経路の刺激によって増加するか、植物成長調整剤であるジャスモメート(有効成分:プロヒドロジャスモン)を水耕液に添加することによって調べた。PPFDが200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光で育苗したアオジソでは効果が見られなかったものの、PPFD100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光で育苗したアオジソでは効果が認められた。ペリラルデヒド含量が増加した葉では、ジャスモメート処理により貯蔵器官である葉の分泌腺の直径と密度が増加していることが分かった。

10. 植物工場アオジソの育成に向けた在来系統の特性評価

山口 夕(大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)

人工光型植物工場での栽培に適したアオジソを育成するために、市販4品種に加えて農業生物資源遺伝バンクより取得した17系統を12週間栽培し、収量、背丈、分枝数と、機能性成分であるペリラルデヒドとロスマリン酸の含量を調査した。ペリラルデヒド含量が高い系統として#41が挙げられ、極端に含量が低い系統も5系統あった。#41は21系統中もっとも生育が早く収量も多かったが、その分背丈や分枝数が多く、ロスマリン酸含量は平均的であった。一方、背丈、分枝数、ペリラルデヒド含量が平均的で、ロスマリン酸含量が安定して高い系統として#60と#82があげられた。現在#41、#60、#82を中心に交配による新品種の育成を計画している。

11. 風によるチップバーン抑制効果

坂 幸憲(CKD株式会社)

人工光型植物工場での植物栽培の課題、チップバーン抑制について取組み、栽培植物に強制的に風を与えて栽培する方法を提案、量産植物工場の栽培棚に導入した事例を紹介。植物工場研究センターでのレタス栽培試験により、風を与える事でチップバーン発症が抑制され、生育が促進された結果を報告する。