

## 2020年度 上期 PFC活動報告

本年度の上期の活動報告には、新型コロナウイルス感染症対策に触れざるを得ないと思います。我が国では本年1月に初めての症例が報告されて以来、拡大が広がり続け、4月7日には緊急事態宣言が発出されました。その後、5月25日には全面解除されたものの、それ以降も多くの行動制約が余儀なくされる状況が続いています。

本学も4月上旬には活動制限指針レベル3（制限：大）が発行され、全館施設し基本学外者の入校禁止とされました。その後、5月末から6月14日の間はレベル2（制限：中）に引き下げられ、必要最小限の研究室関係者のみの立ち入りを許可。6月14日から6月末までの間はさらにレベル1（制限：小）に引き下げられ、本格的な研究活動の開始に向けた対応の検討が開始されました。7月1日以降はレベル0.5（一部制限）に引き下げられ「感染拡大に最大限配慮し研究活動を行うことができる」こととなりました。一方、イベントの開催や参加への自粛、学内施設の貸出し禁止などが継続しており、対面型活動の制限が今日まで続いています。

このような状況の中で、研究・技術開発に関しては、コンソーシアムの法人会員様が43社と昨年とほぼ同数の参画を頂き、6月中旬以降、徐々に共同研究や受託研究等が再開されるとともに新たな研究も開始されつつあります。また、例年6月に開催されていた「2019年度共同研究発表会」は7月に冊子媒体としてWEB上に公開しました。また、初めての試みとして9月14日にはリモート形式で開催し、多くの方々に参加いただきました。8月に開催していた「企業ポスターセッション」と昨年度初めて開催した「合同就職説明会」は、本年度は「企業就職案内集と企業研究関連シーズ集」の冊子編集に代えました。前者は本学キャリア支援室の協力を得て、10月上旬には学生向けに冊子を学内で配架するとともに、学生ポータルにも掲示しました。後者は冊子媒体としてWEB上での掲載に留める予定です。人材育成に関しては、PFCセミナーⅠは中止、PFCセミナーⅡは前回の「たより」でも報告したように後期（10月以降）から対面型で開催しています。PFCセミナーⅢとPFCサロンは将来への試行も兼ねてリモート形式での開催を企画中です。一方、普及啓発事業に関しては多大な影響を受けており、アグリビジネス等への出展は全て見送ることとなりました。視察や見学会の受け入れ、

試食会やレシコンテスト等のイベントも中止せざるを得ない状況でした。4月17日に予定していた南花田ラボの開所式と内覧会も中止としたが、このような事態への対応としてWEB上での情報発信の強化に取り組んでいます。内覧会に代わり、6月には南花田ラボの解説動画を配信し、C20・21棟並びにC22棟の解説動画もHP上に公開しました。また、イベントに代わり、小学生向けにPFCの概要を解説した動画を公開するとともに、10月上旬には府大の学生・院生が参加したレシコンテスト等の記録動画もHP上で公開しました。

本センターも南花田ラボの開設に伴って第3フェーズへと発展しつつありますが、これを機会にパンフレットとホームページの日本語版、英語版とも改訂作業を進め、10月以降順次公開する予定です。

一方、C20・21棟が建設されて丸10年を向かえようとしています。C22棟も丸6年となり、施設や設備等の老朽化や陳腐化が課題となっています。研究や技術開発を先端的に進める上で、それらの更新や修繕の在り方が問われています。C22棟では4色混合LEDを白色系LEDへと本年末を目標に一定の交換を進めていますが、残された課題も多くあります。C20・21棟の施設や設備等の更新、修繕費用に関しては、本年度から導入したスペースチャージやコンソーシアム会計から支出できるよう一定検討を進めています。マネジメント会議やコンソーシアム運営協議会の議を経て、年度内には部分的に実行できればと考えています。

新型コロナウイルス感染症の蔓延を契機に社会の在り方や生活様式が大きく変わろうとしています。食料に関しても、地産地消の重要性、免疫力向上への寄与や安全性へのさらなる期待など、人工光型植物工場の生産や栽培品目等への影響も少なくありません。また、我が国ではその対応が遅れていると言われたICTやIoT、AIが大きく進展すると考えられ、

研究・技術開発に留まらず、セミナーや会議、情報発信のあり方も大きく変える必要が出てくると思います。

With コロナの状況はまだまだ続くと考えられるが、Post コロナに向けて大きく舵を切る必要もあろうかと思っています。今後とも、ご支援、ご協力をお願いします。

（文責：センター長 増田）

## 酸化亜鉛ナノ粒子をミネラル供給源とする藻類培養法の検討

吉原静恵、藤村花凜、久保陽、堺化学工業(株)、ナカライトスク(株)、徳本勇人(大阪府立大学大学院理学系研究科)

ナノ粒子 (NP) は、ナノメートル ( $10^{-9}$  m) オーダーの大きさを持つ粒子である。粒径を小さくすると単位質量あたりの総表面積が大きくなるため、触媒粒子を小さくすることで反応を促進したり、触媒量を減らすことが可能になる。

酸化亜鉛ナノ粒子 (ZnO NP) は世界中で年間550トン生産され (*Arch Toxicol* 2013 87: 1181-1200)、化粧品、繊維、光伝導体など広い分野で使用されている。ZnCl<sub>2</sub>の水への溶解度は4,320 g L<sup>-1</sup>であるのに対して、ZnO NPの水への溶解度は1.6 mg L<sup>-1</sup>と低い。しかし、ZnO NPは環境中に拡散したのちに蓄積すると考えられるため、生物に与える影響が懸念されている (*Toxicol* 2010 269: 105-119)。特に、植物は移動手段を持たないため、ナノ粒子から受ける影響が大きいと考えられる。実際に、400-4,000 mg L<sup>-1</sup> ZnO NPは、シロイヌナズナなど複数種の植物の種子発芽や根の伸長を抑制することが報告されている (*Environ Toxicol Chem* 2010 29: 669-675, *Environ Pollut* 2007 150: 243-250)。

従来、抑制作用が示されているZnO NPが、条件によっては促進作用を示すことを新たに見出したため、タバコの葉から作成したカルスを用いて解析を行った。

**細胞成長に与える影響**：白色光照射下でカルスを培養すると、ZnO NPを含まない対照培地で培養したカルスは、葉緑体が発達せず白色を呈した (図1A)。一方、100 mg L<sup>-1</sup> ZnO NPを含む培地で培養したカルスは、光合成色素クロロフィルの緑色を強く呈し (図1A)、カルスの生重量はZnO NPの暴露によって有意に増加した (図1B)。カルス生重量の増加はZnO NP濃度依存性を示し、100 mg L<sup>-1</sup> ZnO NPで飽和した。興味深いことに、ZnO NPはカルスの生育を促進し、阻害を示さなかったことから、ZnO NPを培地の亜鉛供給源として用いる検討を開始した。

**光合成に与える影響**：細胞あたりのクロロフィル量は、白色光照射下でZnO NPを暴露することによって約2倍に増加した (図1B)。さらに、白色光の代わりに青

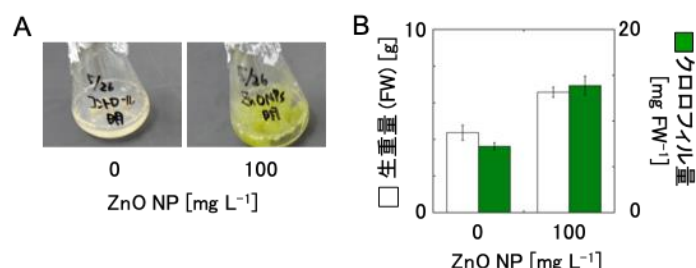


図1 酸化亜鉛ナノ粒子 (ZnO NP) がタバコカルスの生育に与える影響 (A) 光照射下で培養したタバコカルス ZnO NP暴露によって強い緑色を呈した。(B) 培養2週間後のタバコカルスの生重量とクロロフィル量 ZnO NP暴露によって光合成(クロロフィル)が発達し、光合成生産(生重量)が増加した。

色単色光を照射すると、細胞あたりのクロロフィル量は6倍にまで増加した。現在、植物工場で主流となっている赤と青色光の照射比や、強度などの光照射条件を検討している。

**酸化亜鉛ナノ粒子の作用機序**：ZnO NP暴露1時間後、イオン吸収に関わる遺伝子の発現が増加したことから、カルスはZnO NPから溶出した細胞外Zn<sup>2+</sup>を取り込む準備を開始したと考えられる。続いて、5~24時間後には細胞構築や成長に関わる遺伝子、24時間以降には光合成関連の遺伝子の発現が有意に増加した。亜鉛は、光合成に必要な酵素タンパク質の構成成分であり、ZnO NPは、植物細胞や藻類の細胞表面に付着することが知られている (*Environ Sci Technol* 2008 42: 5580-5585, *Sci Total Environ* 2009 407: 1461-1468)。カルスでは、イオン吸収に関わる遺伝子発現、タンパク質合成の誘導を伴って細胞外Zn<sup>2+</sup>が吸収され、光合成が活発になった結果、細胞成長が促進されたと考えられる。本来、細胞内のイオン濃度は、外液の濃度と平衡になるように調整される (図2 左)。他方、細胞に付着した粒子から溶解したZn<sup>2+</sup>が細胞に吸収されると、再びZn<sup>2+</sup>が溶解して細胞に吸収されることを繰り返す結果、細胞内に取り込まれるZn<sup>2+</sup>量は粒子がない場合よりも多くなると推察される (図2 右)。既にこれまでの研究成果は、*Plant Cell, Tissue and Organ Culture*誌で発表している (2019 138: 377-385)。その後、シアノバクテリアやクラミドモナス、褐虫藻でも、ZnO NPを暴露すると生育が促進することを確認できた (未発表)。このような必須元素の微細粒子の暴露と照射光や生育条件の最適化により、既存の方法よりも藻類の生育を向上させる培養法の開発を目指している。

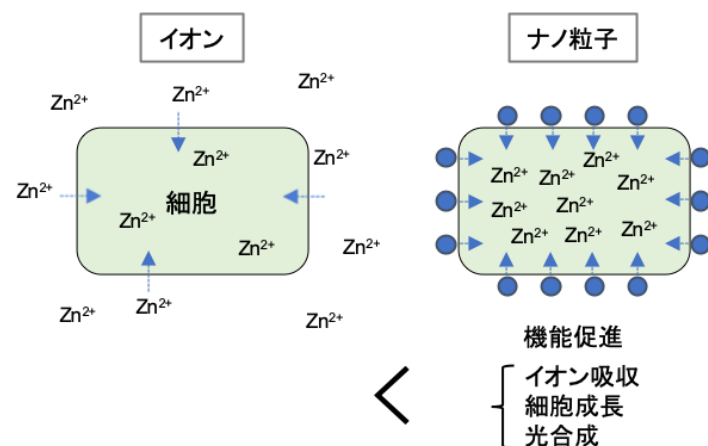


図2 亜鉛イオン溶液と酸化亜鉛ナノ粒子による作用機序の違い  
イオン：外液のZn<sup>2+</sup>が細胞内に吸収され、細胞内外のZn<sup>2+</sup>濃度は平衡になる。ナノ粒子：細胞に付着した粒子から溶解したZn<sup>2+</sup>が吸収されると、Zn<sup>2+</sup>が溶解してさらに吸収されることを繰り返す、細胞内Zn<sup>2+</sup>濃度が上昇すると考えられる。酸化亜鉛ナノ粒子は、カルスのイオン吸収、細胞成長、光合成の機能を促進するように作用する。

## 実証栽培による局所空調式配風システムの機能検証 上田保司(株式会社精研企画開発部)

令和元年度の最適化空調プロジェクト共同研究の一環として、植物工場用配風システム「同葉楽」の実験装置を製作し、C20棟にてリーフレタスの栽培実験を行った。

図1に示す本装置は多段栽培棚の背面から前方に一方向の気流を流して栽培棚内のみを局所空調する仕組みである。空調コスト削減を図るとともに、各装置毎にそれぞれ別の温湿度に制御できるので、多品目を同時栽培する植物工場の新たな展開に寄与できる。

また、従来は場所ごとの温度差によって収穫野菜の大きさがばらつくこともあるが、本装置では表面全体から一様な気流が吹出す布製のソックダクトを用いることで、風速や温湿度がより均質な空調環境に制御できる。

図1の実験（以下では同葉楽）を3回、比較のために装置を稼働させず実験室全体の空調のみで栽培する実験（以下、無制御）を2回、空調機とは接続せず送風機のみ作動させる実験（以下、送風のみ）を1回の、計6回を行った。いずれの実験でも別室にて播種、20日間育苗した後、装置に定植して19日間栽培（明期16hr、暗期8hr）した後に収穫、1株毎の生重量を計測した。CO<sub>2</sub>の施肥は行っていない。実験1回あたりの栽培株数は160株である。栽培期間中、温湿度とCO<sub>2</sub>濃度の連続自動計測を行った。また、実験中に随時、気温・風向風速・光量の空間分布を計測した。

同葉楽の場合、明期には装置外部の気温が+25.5℃前後で推移するが装置内部は+23.5℃前後に維持され、暗期には装置内外とも約1℃低下するが温度差2℃は保たれており、装置内部のみを個別空調できることが確認された。これに対して無制御では、明暗期を通して装置内外の温度差はほとんど無かった。

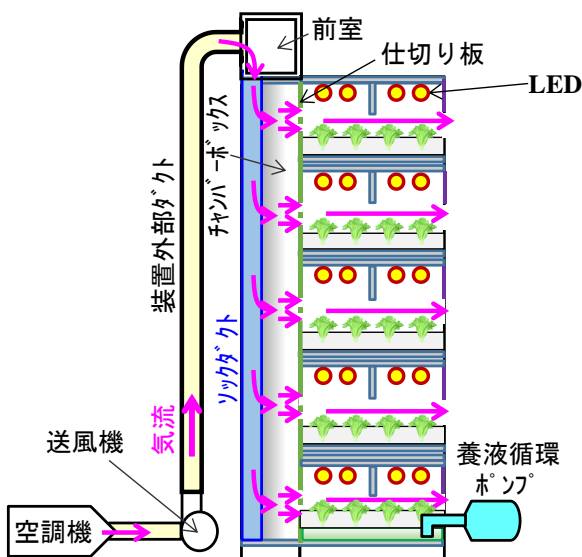


図1 「同葉楽」実験装置の模式図

同葉楽における気温の空間分布は、装置の幅・奥行・高さ方向とも±1℃以内の範囲であった。また、風速も±0.1m/sec以内の範囲に収まっていた。これらから、同葉楽ではほぼ均質な空調環境に制御できたといえる。

無制御における風速は装置内のいずれの位置でも0.1m/sec以下であったが、送風のみおよび同葉楽では収穫直前まで0.3m/sec以上が確保されていた。

光量の空間分布については、装置幅1500mm（図1の紙面垂直方向）を500mm間隔で3区画に分けると、左端部で130~200μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>、中央部では200μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>でほぼ一定、右端部で200~100μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>であり、端に近くなるほど低下する傾向が見られた。

各実験における収穫結果を上記3区画で区別して図2に整理した。いずれの実験でも、1株の平均生重量は中央部、右端部、左端部の順に大きく、上述した光の強さの順序通りであった。各実験間の比較では同葉楽③の生重量が卓越したものの、それ以外の同葉楽①・②は無制御①・②との間に明確な差が見られなかった。

一方、図2下に示すように、無制御では全収穫株の半数以上にチップバーンが発生するのに対して、送風のみでは20%以下の発生に留まり、同葉楽ではチップバーンの発生はほとんど見られなかった。また、無制御におけるチップバーン発生率を区画別にみると、光が強い区画ほど発生が多い。つまり、収穫量を増やすために照明を補強するとチップバーン発生リスクも高まるが、同葉楽ではこのリスクを回避できる。

以上のように、今回、多くの有益な結果を得ることができた。これは一重に吉田篤正教授をはじめ最適化空調プロジェクトの皆様の多大なるご指導とご協力の賜物である。末筆ながら、ここに記して感謝申し上げます。

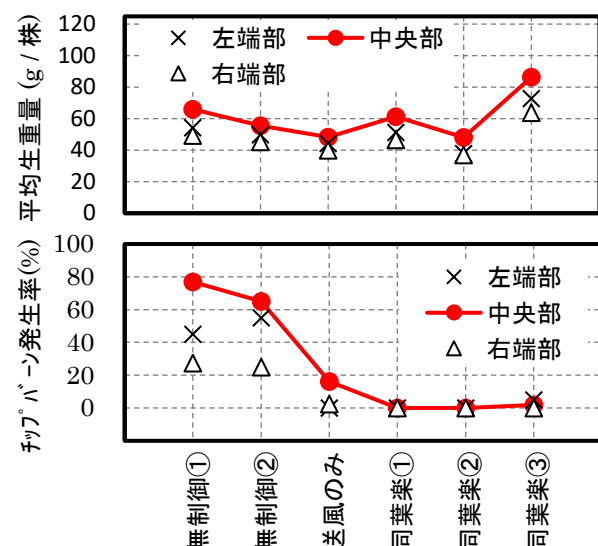


図2 収穫結果の比較

## 植物体内でカルシウムは何をしているのか？ 江口雅丈(大阪府立大学植物工場研究センター特認助教)

カルシウムは、植物の成長になくてはならない栄養素の1つであり、欠乏すると、様々な生理障害が発生する。

人工光型植物工場では、レタス類の栽培が盛んに行われているため、カルシウムと関係がある生理障害として、チップバーンが挙げられることが多い。しかし、チップバーンの発生とカルシウムの関係について、分子レベルでの明確な答えは出ていない。

植物体内において、カルシウムはそもそもどのような働きをしているのであろうか。カルシウムは植物体内では2価の陽イオンの形態で存在し、細胞壁、小胞体、液胞に局在する(図1)。細胞質中のカルシウムイオンは積極的に外部へ排出されるか、小胞体や液胞に隔離される。そのため、細胞質中のカルシウムイオン濃度は低く維持されている。このことは、カルシウムイオンが、細胞質中のリン酸イオンや核酸のもつリン酸基と結合して不溶化することを防ぎ、細胞内の代謝を正常に行うことに貢献していると考えられている。

細胞壁に局在しているカルシウムイオンは、細胞壁の密着性に重要な影響を及ぼす。細胞壁を構成するペクチンの主成分は、末端にカルボキシル基(-CO<sub>2</sub>H)を持つガラクトツロン酸が連なった、ポリガラクトツロン酸という鎖状分子である。カルシウムイオンは、負に帯電しているガラクトツロン酸のカルボキシル基とイオン結合し、ポリガラクトツロン酸鎖同士を結び付ける(図2)。ポリガラクトツロン酸は集合してゲル化し、これが細胞壁の隙間を埋める‘接着剤’のような役割を果たす。

また、カルシウムイオンは、外部刺激を細胞内で伝達する役割を担っている。植物は、塩、乾燥ストレスや光といった外部刺激を受けると、細胞外部からカルシウムイオンを流入させ、細胞質中のカルシウムイオン濃度を

一時的に上昇させる。流入したカルシウムイオンは、カルシウムイオンと結合できる部位を持つタンパク質と結合し、他のタンパク質の活性に関与して、生理応答を誘導する。植物ホルモンの1つであるアブシシン酸による気孔の閉口も、このメカニズムに依っていることが明らかにされている。

カルシウムは、細胞壁を強化すること、細胞内の情報伝達を行うことの上記2つの機能のほかにも、細胞膜の透過性の制御や染色体の安定化といった機能も持つ。これらの機能については後日言及する機会があれば紹介したいと思う。

このように、カルシウムは、植物の生理応答の要を担っている極めて重要な栄養素なのである。

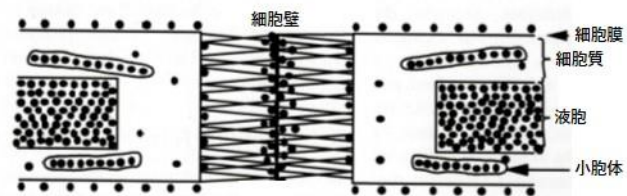


図1. カルシウムイオンの局在 (●がカルシウムイオン)  
(Marschner 2012 Mineral Nutrition of Higher Plantsより一部改変)

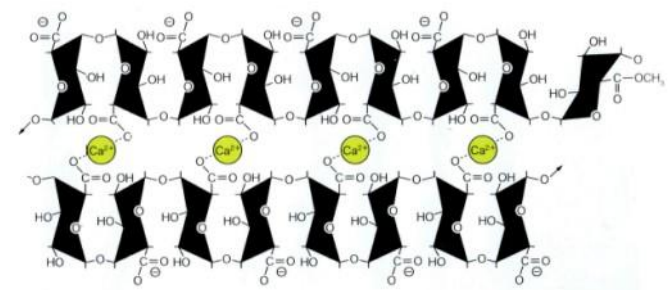


図2. カルシウムイオンによるポリガラクトツロン酸の架橋  
(間藤 2001 植物栄養学 第2版より)



新型コロナウイルス感染症対策を施し  
対面型研修(PFCセミナーⅡ)が始まりました

For Earth, For Life  
Kubota

澄みきった世界を広げていく。

クボタ環境サービス株式会社  
http://www.kubota-kesk.co.jp/  
〒104-8307 東京都中央区京橋2-1-3  
TEL 03-6281-9910

お手持ちのスマートフォンでQRコードから動画をご覧いただけます。