

平成22年 5月24日現在

研究種目： 基盤研究（A）  
 研究期間： 2006～2009  
 課題番号： 18208022  
 研究課題名（和文） 西南暖地の施設園芸における空気および培土の冷却技術の農業生産への応用

研究課題名（英文） Applicable greenhouse cooling of ambient air and root medium for horticultural production at the Southwest area of Japan.

## 研究代表者

吉田 敏（YOSHIDA, Satoshi）  
 九州大学 生物環境調節センター・准教授  
 研究者番号：90191585

研究成果の概要（和文）： 西南暖地の施設園芸における冷却技術の普及を阻む原因が、冷却技術を導入したときの温度効果を定量的に評価する手法や、冷却がもたらす植物生育、収量および収穫物の品質への影響について、生産現場に十分な理解が得られていないことにあるとの観点から、環境制御施設、模擬実験温室および実際の生産現場において施設冷房・冷却を導入した場合の環境観測および植物生体計測に関する検討を行い、冷却がもたらす生産性向上効果について評価した。

研究成果の概要（英文）： Although technology on greenhouse cooling could be regarded as important at the relatively warm area of Japan, i.e. Kyushu Island and the Ryukyu Islands, growers in the area do not necessarily adopt the technology widespreadly in the case of practical horticultural production. From the viewpoint, this study deals with applicable greenhouse cooling of ambient air and root medium for horticultural production at the Southwest area of Japan.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	26,700,000	8,010,000	34,710,000
2007年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：施設園芸，制御工学，冷却，環境調節，農林水産物

## 1. 研究開始当初の背景

施設園芸における農業生産場面では、従来

から主に加温による温度調節が行われてきた。しかし、施設が高度化し、施設にかかる

費用が増大するのにもない、当該施設を高度な周年利用に供することが求められ、夏季を中心とした過剰昇温の抑制を目的とする施設の冷房が注目されてきた。これに加えて、近年の気候の温暖化傾向、なかでも都市近郊における気温の上昇の下で、施設園芸の生産場面における冷房すなわち冷却技術の発展がさらに期待される場所である。とくに、九州・沖縄地区を中心とする西南暖地では比較的温暖な冬季において施設園芸生産が盛んな一方で、高温によって生じる問題も大きい。冷却技術については、高温期に栽培することが不可能な低温性作物を栽培可能とするだけでなく、従来から高温期に栽培可能とされている作物についても、たとえば昼夜温差がもたらす花色・食味の向上など、冷却技術によって得られる高付加価値への期待も大きい。農業工学的場面でよく知られた DIF（昼夜温差の制御による農産物の品質調節）についても、冷却技術の積極的な利用がもたらす技術的展望は有望であろう。しかし、元来冷却技術による温度制御は加温に比べて高コストであるとされ、現在認知されている気化潜熱冷房と低温熱源冷房の双方について、長所とともに短所や弊害が指摘されており、施設園芸において冷却技術を活用してゆくことはなかなか普及・進展していないのが現状である。冷却する対象や手法について、空気調和における多大なる冷房負荷を軽減するために局所冷房、培土や培養液の冷却、蓄冷システム導入など、これまで様々な技術的提案がなされてきたにもかかわらず、生産現場に十分浸透しているとは言い難い。以上の経緯から、園芸施設において冷却システムを稼働させた際の温度低下を厳密に計測して定量的に評価するとともに、その温度低下に対する植物反応を高度な方法論を用いて様々な観点から解析し、冷却がもたらす生産性向上効果について評価して、この成果を集積することにより、園芸施設の空気と培土の冷却に関する技術開発を促し、これを農業生産場面に普及させる道を開くことができると考えるに至った。

## 2. 研究の目的

施設園芸生産において過剰昇温の抑制を目的とした施設冷房が注目され、その効果が期待され続けてきた。しかし、過剰昇温がとくに問題となりうる西南暖地において施設園芸への冷却技術の普及は進んでいない。本研究では、施設園芸における冷却技術の普及を阻む原因が、冷却技術を導入したときの温度効果を定量的に評価する手法や、冷却がもたらす植物生育、収量および収穫物の品質への影響について、生産現場に十分な理解が得られていないことにあるとの観点から、園芸

施設において冷却システムを稼働させた際の温度低下を厳密に計測して定量的に評価すること、さらに、その温度低下に対する植物の反応を生理的過程、物質生産、生長、収穫物の収量と品質、収穫後の貯蔵性など様々な面から解析し、冷却がもたらす生産性向上効果について評価することを目的としている。そのため、高度な温度環境計測法の開発・装置化を試みるとともに、環境制御施設、模擬実験温室および実際の生産現場において施設冷房・冷却を導入した場合の環境観測および植物生体計測を実施することを試みた。

## 3. 研究の方法

施設園芸生産において過剰昇温の抑制を目的とした施設冷房が注目されているにもかかわらず、とくに問題となりうる西南暖地において冷却技術の導入が進んでいないことに鑑み、園芸施設内で冷却システムを稼働させた際の温度低下を厳密に測定して定量的に評価し、その温度低下に対する植物の反応を生理的過程・物質生産・生長・収穫物の収量と品質・収穫後の貯蔵性など、様々な面から解析し、冷却がもたらす生産性向上効果について評価することを目的とした。

研究を実施する体制については、九州大学の植物環境調節実験室において園芸施設内の環境条件を模した環境を再現する実験系を整備するとともに、長崎大学においては計測用センサと制御系に関する開発・装置化を行う体制を整えた。併せて、植物生産現場における施設冷房の実践とこれによる効果を明らかにするために宮崎大学に試験研究用温室を、琉球大学に光合成・蒸散の沿革監視システム、鹿児島大学および九州大学に収穫物の品質と貯蔵性について検証する分析システムを整備した。

まず、長崎大学を研究拠点として園芸施設内の昇温の様相と冷却効果を計測するための新たな温度計測方法について開発・装置化を検討したうえで、九州大学において園芸施設内で多発する結露や細霧冷房によるセンサ検出部の濡れによる影響の少ないセンサの開発を試作した。この計測システムを用いて各研究拠点の試験用園芸施設における施設内過剰昇温を把握することを試みたうえで、「園芸施設に特異的な温度センシングの障害となる事項」に関連してセンサのさらなる改良を行った。次に、施設冷房により植物周囲の気温が乱高下する条件で光合成速度など各種生体計測を正しく実施する方法など、センサ類の適正な運用方法について検討した。

次に、九州大学の生物環境調節施設、および宮崎大学等の研究拠点に整備した園芸生

産施設において、施設内過剰昇温について実測して園芸施設内における園芸作物をとりまく温度環境要因について明らかにするとともに、各種の冷却装置を稼働させて、その冷却効果を定量化し、その冷却方法の評価を試みた。また、細霧冷房の下にある園芸作物の環境反応について、植物の養水分吸収と光合成、生育、収量、収穫物の品質や貯蔵性への影響を、詳細に解析することを試みた。

さらに、研究の進展に合わせて、本研究に関する情報の収集と交換を図るため、研究代表者および研究分担者の間で行き来して議論する他、関連国際学会への参加、国内関連学会における学術研究発表を遂行することにより、関連分野の多くの研究者との学術情報交換を行なった。

以上、本研究の成果を総括し、実用生産場面に有用な施設冷房法について提言すべく情報をとりまとめた。その最終的な成果については日本生物環境工学会の学術イベント等の機会において研究者や生産者等に紹介した。

#### 4. 研究成果

本研究課題を実施する体制としては、九州大学（環境調節、生体計測および貯蔵性検証システム）、宮崎大学（試験栽培施設）、鹿児島大学（収穫物の品質を検証する分析システム）および琉球大学（生産現場での光合成・蒸散などの監視システム）における研究拠点を整備するとともに、長崎大学および九州大学において温度センサなどの技術開発を行った。

まず、園芸施設内の昇温の様相と冷却効果を計測するための新たな温度計測方法について開発・装置化を検討したうえで、園芸施設内で多発する結露や細霧冷房によるセンサ検出部の濡れによる影響の少ないセンサの開発を試作した。ただし、園芸施設を模した環境条件においてこれを試用した場合、ここで発生するきわめて大きな外乱による影響を十分に回避すること、および施設内環境の不均一な環境条件において実験対象植物が直接的に暴露されている環境の質を明らかにすること、等が困難であることが明らかとなった。そこで、温度計測法について、センサの構造改良と運用方法の検討を行った。その結果、「従来型温度計測技術の問題点」に関して一定の効果が得られた。さらに、この計測システムを用いて各研究拠点の試験用園芸施設における施設内過剰昇温を把握することを試みたが、施設内温度環境要因と従来型冷却装置の冷却効果に関する評価について十分な成果が得られず、「園芸施設に特異的な温度センシングの障害となる事項」に関連してセンサのさらなる改良を行った。

また、施設冷房により植物周囲の気温が乱高下する条件で光合成速度など各種生体計測を正しく実施する方法を検討し、外乱を回避するいくつかの手法が提唱された。

このようにして試験的に構築した計装を用いて園芸生産施設における過剰昇温を実測し、園芸施設内における園芸作物をとりまく過剰昇温の弊害について明らかにするとともに、各種の冷却装置を稼働させて、その冷却効果を定量化し、その冷却方法の評価を試みた。その結果、施設内の日射による温度上昇と細霧冷房による温度降下の様相を明らかにした。次に、細霧冷房の下にある園芸作物の環境反応について、植物の養水分吸収と光合成、生育、収量、収穫物の品質や貯蔵性への影響の解析を試みた。その結果、過剰昇温が生じた場合とこれを回避した場合を比較した場合、植物体温、蒸散への影響を明らかにしたが、光合成などの生理的過程や生育、あるいは収穫物の有用成分量などへの効果については、ある程度認められる場合とこれと全く異なる結果となる場合があり、施設冷房の効果に関する普遍的なデータが得られず、定量的な評価はきわめて困難であった。これについては、データの再現性もさることながら、植物の養水分吸収と光合成、生育、収量、収穫物の品質や貯蔵性への影響については、冷却そのものよりも換気による空気の流動や加湿の効果によるものではないかと疑われることもあった。

日中の強光・高気温下にヒートポンプでは十分な排熱に至らないうえ、設置および稼働に過大なコストが発生することから、主な過剰昇温対策として効率的な換気と間歇的な細霧冷房などの蒸発冷却法が援用されることとなる。しかし、零細な生産者の下でパイプハウスなどの簡易施設が用いられている西南暖地の生産場面では、間歇的な細霧冷房しか選択肢がない。これについては、一部で懸念されているよりも比較的高い冷却効果が得られる場合もあることがわかったが、施設内の温度分布が認められ、さらに湿度を低下させるための側窓開放を伴う場合の冷却効率の低下は施設内に大きな気温偏差を生じさせる、そのため、これを運用した場合の経時的な気温の乱高下が作物の体温、水収支や生理的過程に偶発的な影響をもたらし、結果として生育、収量や収穫物の品質について大きな偏差を生じさせると考えられた。また、冷房の稼働と停止が繰り返される環境制御法においては冷房停止時に過渡的に著しい高温へ推移することによる障害（あるいは馴化の妨げ）のために長期的ストレスも軽減できないことが示唆された。局所的冷却については高温の影響が水収支、光合成、転流、器官生長におよぶ場合は冷却の意義が不明確で、局所冷却による降温の作用か、その動作

による副次的効果か、という観点からも効果が疑問視された。さらに、ここで想定されている現場に細霧冷房設備を設置する場合、原水となる農業用水が必ずしも清浄な水ではなく、一流体ノズルのシステムは水流に障害が出やすく維持管理に多大なる労力を要することとなり、二流体ノズル・システムは設置コストが著しく高く不適である。さらに、この原水を用いるのは（さらにはこの原水が貯留されて用いられる場合は特にレジオネラ汚染などの懸念もあり）。閉鎖性の高い施設内での噴霧は作業者の安全ということからも適切ではないと考えられる。このような観点からパットアンドファン法の採用が注目される。ただし、これは堅牢で密閉性の高い高度化ガラス温室で用いられる技術であり、西南暖地にありがちな小規模零細施設では従来の方法をそのまま採用できない。そこで、「パイプハウス型の施設で、ハウス用耐候性フィルムの中から耐久性の高いプラスチック素材を選定し、密閉性の高い構造で湿式パッドとファン式強制換気で側窓・天窓を開閉しないという新たな管理方法を構築することが最も期待される」との結論に至った。一方、局所冷房については、必ずしも十分な冷却効果が見出せない場合があることが示された。局所への冷却操作による植物への影響が、温度を降下させることによるものというよりも、温度降下による水分条件など二次的な環境への影響による間接的な効果であることと深く関連していることがその原因であった。また、過剰昇温の影響が生長点近傍における器官の分化と発達への作用に起因するものか、葉身における蒸散や光合成の作用によるものか、また転流や代謝などの生理的反応を阻害するものか、という観点から、どこをどのように冷却すれば必要な効果が得られるかという観点からも、冷却技術が必ずしも適切に試用されていなかったことも示唆された。

なお、学術的成果については、関連する研究者が数多く所属する日本生物環境工学会（およびその九州支部）の学術イベントで継続的な成果発表と情報交換を行なった。併せて、国際的情報交換として、2006年に温室冷房に関する国際シンポジウム（Almeria, Spain）での関連研究者との交流により学術情報を収集し、また、2008年の米国園芸学会年次大会（Orland, USA）において成果発表を行った。

以上の全ての成果について総括し、冷却技術の仕様や特徴を整理したうえで有効な施設冷房法について提言すべく情報をとりまとめた。これらの成果については日本生物環境工学会等で研究者や生産者等に紹介した。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計15件）

- ① Eguchi, T. and Yoshida, S. Effect of application of sucrose and cytokinin to roots on the formation of tuberous roots in sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *Plant Root*, 2: 7-31. 2008. 査読有.
- ② Yasunaga, E., Furue, G., Yoshida, S. and Uchino, T. Respiratory characteristic and change in quality of garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium*) under distribution condition. *Acta Hort.*, 746: 387-392. 2007. 査読有.
- ③ Shimamura, S., Yoshida, S. and Mochizuki, T., Cortical aerenchyma formation in hypocotyl and adventitious roots of *Luffa cylindrica* subjected to soil flooding., *Annals of Botany*, 100: 1431-1439., 2007.

〔学会発表〕（計21件）

- ① 吉田 敏. 自然光型植物環境調節実験室（ファイトトロン）の学術研究への利用、日本生物環境工学会 2009 年大会シンポジウム. 2009 年 9 月 7 日, 九州大学.
- ② 吉田 敏. 西南暖地の施設園芸における空気および培土の冷却技術について、日本生物環境工学会九州支部大会. 2008 年 11 月 21 日, 九州大学.
- ③ Yasunaga, E., Hirakawa, T., Yoshida, S., Chikushi, J. and Uchino, T., Predicton of quality changes of garland chrysanthemum during simulated distribution., ASHS, 2008 年 7 月 21 日, Rosen Plaza Hotel, Orlando, Florida, USA.

〔図書〕（計4件）

- ① 位田晴久. 植物における養液栽培技術と新光源 HEFL, 「植物工場ビジネス戦略と最新栽培技術（技術情報協会）」. p. 115-127. 2009 年.
- ② 位田晴久. ネギの生理生態と栽培技術 I 原産・来歴と品種分化, 「野菜の栽培技術シリーズ・ネギの生理生態と生産事例（農耕と園芸編集部 編, 誠文堂新光社, 東京）」. p.7-14. 2008 年.

〔産業財産権〕

- 出願状況（計1件）

名称：植物体の適応応答測定装置及び植物体の適応応答測定方法

発明者：下町多佳志  
権利者：国立大学法人長崎大学  
種類：特許  
番号：2007-255783  
出願年月日：2007年9月28日  
国内外の別：国内

○取得状況（計1件）

名称：既存のものと花色の異なる花を咲かせる植物の製造法  
発明者：渡部由香・宮内信文  
権利者：独立行政法人科学技術振興機構  
種類：特許  
番号：3831335号  
取得年月日：2006年7月21日  
国内外の別：国内

〔その他〕

研究代表者のWEBページ  
（<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K001576/index.html>）において関連情報を発信している。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉田 敏 (YOSHIDA Satoshi)  
九州大学生物環境調節センター・准教授  
研究者番号：

### (2) 研究分担者

位田 晴久 (INDEN Haruhisa)  
宮崎大学・農学部・准教授  
研究者番号：60151768  
下町 多佳志 (SHIMOMACHI Takashi) :故人  
長崎大学・環境科学部・准教授 :逝去時  
研究者番号：60249886

川満 芳信 (KAWAMITSU Yoshinobu)  
琉球大学・農学部・准教授  
研究者番号：20192552

尾崎 行生 (OZAKI Yukio)  
九州大学・大学院農学研究院・准教授  
研究者番号：30264104

渡部 由香 (WATANABE Yuka)  
鹿児島大学・農学部・准教授  
研究者番号：70244267

安永 円理子 (YASUNAGA Eriko)  
九州大学生物環境調節センター・助教  
研究者番号：00380543

### (3) 連携研究者

なし