

氏名	安場 健一郎
----	--------

(論文内容の要旨)

わが国の夏季の気温は多くの作物にとって適温以上であるため、施設生産では高温対策を実施するが、しばしば水の気化潜熱を利用した冷却が実施される。また、温室内の湿度制御にも気化潜熱が利用される。しかし、潜熱を利用した冷却は制御が難しく、根圏の冷却では効率的な冷却手法や冷却限界温度が明らかでない。地上部の潜熱による冷却では、細霧冷房の利用が一般的であるが、温室の換気率が冷却効果に影響を及ぼすため制御が難しい。そこで、潜熱の利用によって根圏と温室内の空気を効率的に冷却する方法や、冷却量を制御する手法について検討した。得られた結果は、以下のように要約される。

1. 通気防水性を有する多孔質フィルムを水槽の資材として利用すると、気体である水蒸気や酸素はフィルムを透過する。そのため、フィルムを通した水の蒸発で気化熱が奪われて水槽内の水が冷却され、また、空気中の酸素が水に溶解する。高温期の水耕槽の資材としての多孔質フィルムの利用を想定し、多孔質フィルムによる湛水の冷却特性と酸素透過性を検証した。底面に多孔質フィルムを使用し、フィルム面に送風用のダクトを設置した水槽を利用した場合に、風速 $1.2\sim 1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ のダクトへの送風が、 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の風速に比べて水温低下が大きいことを認めた。また、多孔質フィルムを利用した湛水の冷却では、理論的な冷却限界である湿球温度までの水温低下の 60% 程度の効果があることを明らかにした。多孔質フィルムを水槽資材とした場合、フィルムを通した酸素供給速度はおよそ $0.22\ \mu\text{ mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ であることを明らかにした。

2. 通気防水性を有する多孔質フィルムを水耕槽の資材とすると、根圏への酸素供給に加え、培養液温が低下し、高温期の電気による冷却なしにホウレンソウの水耕栽培が可能であることを認めた。水耕槽底面を多孔質フィルムとし、フィルム面の下部に設置したダクトに送風を行うと、培養液温が低下し、夏季のホウレンソウ栽培時には高温による生育阻害が軽減されることを明らかにした。液温は、1日のうち、気温が低下する時間帯には、恒温室の実験で算出した空気の飽差と水温低下の関係を示す回帰式による推定値と同程度で、気温が上昇する時間帯は推定値より低くなることを認めた。円筒状に加工した多孔質フィルム製ダクトをプラスチックチューブに通して作成した冷却チューブによる根圏冷却法を、ホウレンソウの地床栽培で実施した。冷却チューブは畝表面に埋め込んで使用した。プラスチックチューブとダクトの間に水を満たし、ダクトに送風処理すると気化熱が奪われ、特に日中の冷却チューブ近傍の地温上昇が抑制され、冷却チューブ付近の植物体の高温による生育抑制が軽減されることを明らかにした。

3. LAN の通信で環境制御を実施するユビキタス環境制御システム (UECS) を利用した、換気率のモニタ機器 (換気率ノード) の開発を行った。UECS の機器は、機器が保有する情報を LAN 内に発信し、受信した他の機器の情報をもとに環境制御を実

施している。換気率ノードは、温室内外の気温と相対湿度、屋外の日射、遮光カーテンの開度を LAN から収集し、換気率、蒸発散速度、細霧冷房実施時に有用な情報を計算し、発信する。本ノードの利用により、UECS の各機器は換気率等の情報をリアルタイムに受信可能であることを明らかにした。

4. 2分ごとに温室内エンタルピを $60 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ とするよう換気窓の開度を調整し、細霧を相対湿度 (RH) が 75~81% になるまで噴霧する処理を実施すると、温室内の気温、RH、エンタルピは、制御目標値にほぼ維持することが可能であった。また、換気窓の開口部面積が適正值より過度に大きいまたは小さい場合には、高温期の細霧による昇温抑制効果が小さくなることを示した。高温期の細霧を利用した温室内の昇温抑制には、温室内のエンタルピをモニタリングし、相対湿度を基準とした換気窓開度の調節を実施する手法が有効であることを明らかにした。さらに、2008年8月より、細霧による高温期の昇温抑制と低温期の気温湿度調節、炭酸ガス施用、ヒートポンプによる夜間冷房等の環境制御を実施してトマトの長期多段ロックウール栽培を行うと、これらの技術未導入の温室で栽培を実施するより、初期収量が高くなることを明らかにした。また、高温期に細霧による昇温抑制を実施すると、日中、遮光カーテンによる昇温抑制と同程度の葉温となり、細霧による昇温制御は日射量を減じずに植物体温を低下させ、トマトの光合成に、より適した環境に制御することが可能であることを認めた。

氏名	安場 健一郎
----	--------

(論文審査の結果の要旨)

水の気化潜熱を利用した冷却は、施設栽培での高温対策として利用されている。しかし、潜熱による冷却は、空気の状態によってその効果が影響を受けるため制御が難しく、冷却の制御手法が整備されていない。本論文は、根圏と地上部を潜熱によって冷却する際の問題点や対策を検討し、潜熱による冷却を効率的に実施する技術を開発したものである。評価される点は以下の通りである。

1. 通気防水性資材を利用し、潜熱により湛液を冷却する技術を開発した。資材に貯留した水の温度を、資材表面の風速制御による水の蒸発量の制御により、効率的に低下させる手法を開発し、冷却限界を明らかにした。

2. 水耕槽に通気防水性資材を用いることで、資材を通した培養液への酸素供給と培養液温低下により、高温期でも電気未使用でホウレンソウを1株あたり40g程度にまで栽培可能であることを明らかにした。また、資材表面の風速を制御することで、ホウレンソウの高温による生育抑制の軽減が可能であることを示した。また、潜熱を利用した培養液冷却実施時の、圃場での液温の変動特性を温室内気象をもとに解析し、明らかにした。さらに、地床栽培での潜熱による冷却はこれまで実施されていないが、通気防水性資材の利用で実施可能としたことは高く評価される。

3. ローカルエリアネットワーク (LAN) を利用した自律分散型の環境制御システムを利用し、温室内外の熱収支より温室の換気率、温室内の蒸発散速度、昇温抑制のために必要な細霧の噴霧量を計算し、LAN内に計算した情報を発信する機器を作成した。計算が煩雑で環境制御に利用されていない換気率の情報を、リアルタイムに収集、利用可能としたことは評価される。

4. 高温期の細霧運転時に換気窓の開度を適切に制御することで、温室内外のエンタルピの差を小さく、かつ相対湿度を低下させない、温室内の昇温抑制を効果的に実施する手法を開発した。また、温室内のエンタルピを指標として換気窓の開度を決定し、細霧の噴霧によって湿度を調整する気温湿度同時調整法を開発した。開発した細霧噴霧と換気窓の開閉の協調制御、炭酸ガス施用、ヒートポンプによる冷房などを取り入れた環境制御手法がトマトの長期多段栽培での果実収量に及ぼす影響を明らかとし、トマトの収量増加に有用な複合環境制御手法を示したことは高く評価される。

以上のように本論文の成果は、我が国の高温期の施設園芸生産の安定化に水の気化潜熱による冷却を効率的に実施する方法を確立したものであり、園芸学の発展並びに温室の環境制御技術の新たな手法開発に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成21年3月16日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。