

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22780228

研究課題名（和文） トマト周年栽培における冷房効果・暖房コスト推定モデルの開発

研究課題名（英文） Development of a simulation model for estimation of the effect of cooling and the cost of heating in a tomato greenhouse.

研究代表者

石神 靖弘（ISHIGAMI YASUHIRO）

千葉大学・大学院園芸学研究科・助教

研究者番号：50361415

研究成果の概要（和文）：本研究では、近年拡大しつつある大規模温室での安定的な周年生産における複合環境制御技術の確立のために、園芸施設の環境制御に必要なコスト、具体的には夏季に蒸発冷却法の一つである細霧冷房を用いた場合の冷房効果、および冬季における暖房にかかるコストを推定するモデルを開発し、年間を通じた運用コストの推定をおこなった。その結果、年間の環境制御にかかるコストを地域ごとに推定することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：The cost of environmental control in a large-scale greenhouse was investigated. A simulation model was developed for estimation of the effect of cooling and the cost of heating in a tomato greenhouse. Using the model, the cost and efficiency of fog cooling, one of the evaporative cooling method, in summer and the cost of heating in winter were estimated

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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、植物工場、細霧冷房

1. 研究開始当初の背景

近年、日本国内においてもオランダなどで開発された技術をもとにして、商用の大規模温室が建設され、運用が始まっている。しかしながら、年間を通じて比較的気候が安定しているオランダ等で開発された施設内の環境制御方法は、必ずしも日本の気候条件に最適化されているとは言い難い。食料自給率の

向上や安定した経営のためにも年間を通じて安定した収量を得る生産技術の確立が望まれている。そのための一つのアプローチとして、より効果的な環境制御法の導入が挙げられる。施設内の環境制御には主に次に述べる2つの目的がある。1つは冬季の保温・暖房であり、もう1つは夏季の昇温抑制である。本研究ではその両者の制御にかかるコスト、

制御可能な範囲を推定することにより、効率的な施設運用、新規の施設を建設する際の立地条件を検討するための知見が得られると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、大規模温室におけるトマト周年栽培を想定し、夏季における細霧冷房の効果、すなわち細霧冷房を行った場合に制御可能な温室内の環境条件の範囲、冬季における暖房コストを試算することを目的とする。夏季の冷房については温室内外の環境条件から温室内の気温、相対湿度を推定するシミュレーションモデルを開発する。このとき、トマトの生育温度範囲を想定し、また、ある範囲の換気率を仮定することにより、細霧冷房を行うことにより温室内気温をその範囲内に制御することができるかを検討する。冬季の暖房においては既往の暖房の必要熱量に関する研究の知見をまとめ、必要なエネルギー・コストを試算する。さらに、それらの結果を統合し、年間を通じた周年栽培に適した地域、必要な条件を導き出す。

3. 研究の方法

(1) 細霧冷房の効果の推定

蒸散を考慮し、細霧冷房下の温室内気温を推定するシミュレーションモデルを構築した。一流体ノズルおよび二流体ノズルを用いた細霧冷房システムを隣接した2棟の温室（床面積 26.4 m²、棟高 3.5 m）にそれぞれ設置した。一流体ノズルおよび二流体ノズルを用いた細霧冷房システムの最大噴霧速度はそれぞれ 6.6 g m⁻² min⁻¹ および 13.7 g m⁻² min⁻¹ であった。測定項目は温室外日射量、温室内外気温、温室内外相対湿度および床面積当たりの蒸散速度とした。温室内外環境と蒸散速度の関係を回帰分析により調査し、蒸散速度の推定式を求めた。推定した蒸散速度に加え、温室諸元、目標気温および温室外の気象データを温室内気温を推定するプログラムに入力し、温室内気温を推定した。

(2) 細霧冷房の制御範囲および暖房コストの推定

年間を通じた施設内環境制御に関するコストを推定するために、夏季の冷房、冬季の暖房それぞれについて、コストおよび制御可能な環境条件の範囲を明らかにした（図 1）。冷房については、温室内の環境条件を推定するシミュレーションモデルを開発し、さらに、実際に実験温室においてトマトを栽培し、細霧冷房運転時の温室内外の気象条件およびトマト植物体の蒸散速度を測定し、温室内の全蒸発散速度および温室諸元との関係を把握した。また得られたデータをもとにモデルの推定精度の検証を行い、モデルの改良をお

こなった。冬季の暖房についてはデグリーアウアー法と実際に冬季に石油ボイラーおよびヒートポンプを運転させた場合の実測データを組み合わせて、コストの比較および両者を併用した場合のコストについて推定をおこなった。

屋外環境 (日射量, 気温, CO₂濃度, 相対湿度)

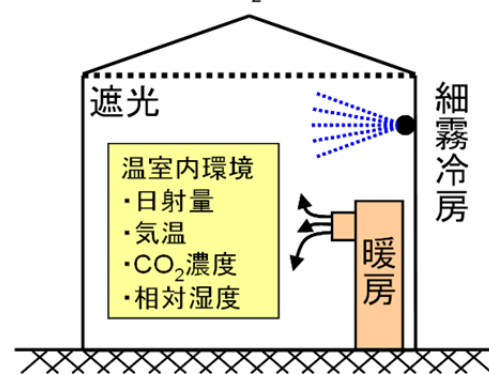


図1 施設内環境シミュレーションの概念図

4. 研究成果

(1) 細霧冷房効果の推定

回帰分析の結果、温室外日射量と葉面積当たり蒸散速度に高い相関がみられ、温室外日射量と LAI から床面積当たりの蒸散速度を推定する式を得た。この推定式の推定精度の検証を行ったところ、推定誤差（推定値と実測値の差）は約 0.4 g m⁻² min⁻¹ であった。シミュレーションプログラムによる気温および相対湿度の推定誤差は、両細霧冷房システムを設置した温室内とも気温および相対湿度をそれぞれ 1°C 以下および 10% 以下であった。この程度の推定誤差であれば、温室内で作物を栽培する際に実用上、問題にならないと考えられ、本シミュレーションプログラムの推定精度は十分であると考えた。

開発したシミュレーションプログラムに真夏日の温室外気象データを入力し、植物の繁茂状態が異なる場合（LAI が 1 および 3）を想定したシミュレーションを試みた。また本実験で使用した二流体ノズルを用いる細霧冷房システムを導入したことを想定した。細霧冷房を行わない場合、温室内気温は LAI が 1 の場合に平均で約 4.8 °C、LAI が 3 の場合では平均で約 2.0 °C 外気温より高くなった（図 2A）。一方で細霧冷房を行うと LAI の大小に関わらず、温室内気温は外気温よりも平均で約 2.0 °C 低くなり、相対湿度は限界相対湿度である 90% に達した（図 2B）。この時、LAI が 3 の場合は LAI が 1 の場合に比べ、蒸散が大となる一方で、噴霧速度は小となった（図 2C, D）。

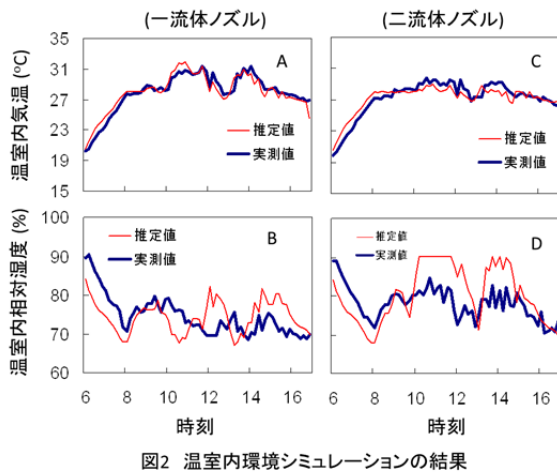


図2 温室内環境シミュレーションの結果

(2) 細霧冷房の制御範囲および暖房コストの推定

実際の商業温室で取得したデータをもとに開発したモデルの精度の確認を行い、さらにトマトの収量予測を行った。大規模温室(床面積1ha)でのトマト(品種:麗夏)の4段階栽培を想定したシミュレーションを行った。第1花房の開花した苗を毎月1日および15日に本圃に定植し、第4果房の収穫終了まで栽培を行うと仮定した。今回構築したモデルは、環境制御を行った場合の温室内環境を屋外気象データを用いて動的に予測し、その結果を反映したトマトの生育シミュレーションを行って成長・収量を予測することが可能である。モデルへの入力には、全国65ヶ所の気象官署ごとの1991年-2009年の時別値(全天日射量(W m²), 屋外気温(°C), 相対湿度(%))の1月1日-12月31日までを平年化したものを用いた。トマトの生育シミュレーションには、低段栽培トマトの生育・収量を良好な精度で予測可能なプロセス積上げ型モデルを用いた。環境制御の事例として、夏季に細霧冷房を行った場合を想定し、細霧冷房を行わなかった場合と比較して、温室内気温および栽培終了時の株あたり収量をシミュレーションで求めた。細霧冷房は蒸発効率は100%とし、明期中に温室内気温28°C以上かつ相対湿度90%以下の場合に運転すると仮定した。

細霧冷房を行うことで、低緯度の地域ほど温室内の明期平均気温が低下すること、特に潮岬、土佐清水、宮崎および鹿児島では1.5°C以上低下することが示された(図3)。細霧冷房に必要な水量も地域ごとにことなり、低緯度地域ほど大となった(図4)。細霧冷房を行った場合の株あたり収量の増加割合は低緯度の地域ほど大となった(図5)。また、細霧冷房によって明期平均気温は同程度に低下したが、株あたり収量の増加割合の異なった地域がみられた。これは、屋外気象データを

用いて予測する温室内の気温が地域ごとに異なるため、明期平均気温の低下によるトマト植物体の光合成速度や果実成長速度の増減が地域ごとに異なるためと考えられる。一方、北海道・東北など高緯度の地域では収量の増加割合は0-10%に留まっており、細霧冷房を実施しても株あたり収量がほとんど増加しないことが示された。以上より、構築したモデルを用いることで、細霧冷房を実施した場合の温室内環境を地域ごとに把握でき、細霧冷房の実施がトマトの生育・収量に及ぼす効果を地域ごとに評価できることが明らかとなった。

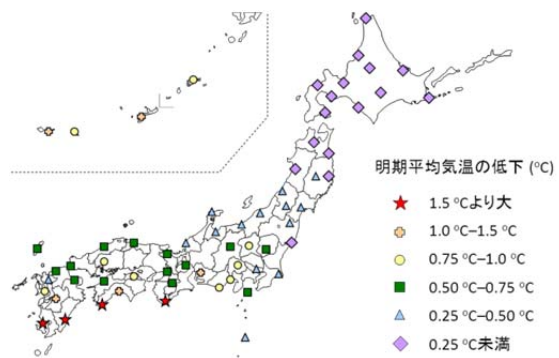


図3 細霧冷房を行った場合の温室内の明期平均気温低下の予測値

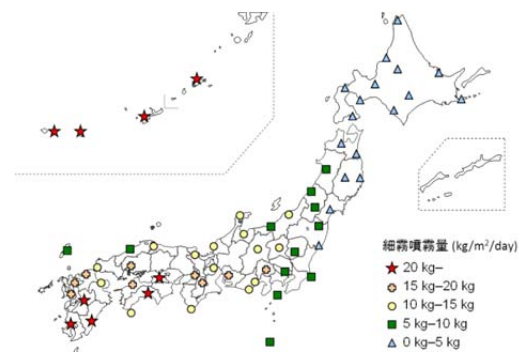


図4 細霧冷房量

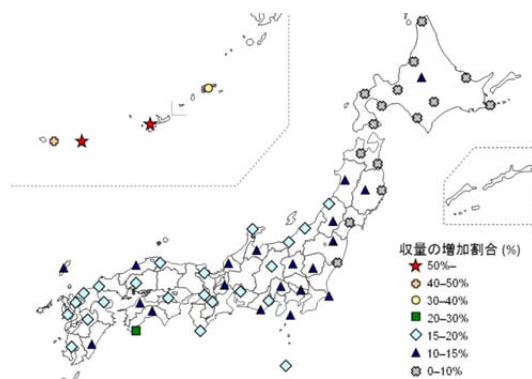


図5 細霧冷房を行った場合の株当たり収量の増加割合

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 1 件)

- ① Takahashi T., Ishigami Y., Goto E., Niibori K. and Goto K. Modeling the Growth and Yield of Tomatoes Cultivated with a Low Node-Order Pinching System at High Plant Density. Environment Control in Biology. 50(1):53- 61(2012) (査読有)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 高橋太郎、石神靖弘、後藤英司、細霧冷房を導入した大規模トマト温室の環境シミュレーションと収量予測. 日本農業気象学会 2012 年度全国大会講演要旨集、52 (2012)、大阪
- ② 高橋太郎、石神靖弘、後藤英司、新堀健二、後藤格士、生育モデルを組み込んだ大規模トマト温室の環境シミュレーションと収量予測. 日本農業気象学会 2011 年度全国大会講演要旨集、43 (2011)、鹿児島
- ③ 手塚達也、石神靖弘、後藤英司、細霧冷房温室の植物の蒸散を考慮した温室内環境シミュレーションモデルの構築. 日本農業気象学会 2011 年度全国大会講演要旨集、42 (2011)、鹿児島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石神 靖弘 (ISHIGAMI YASUHIRO)
千葉大学・大学院園芸学研究科・助教
研究者番号：50361415