

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	Galih Kusuma Aji
審査委員	主査 羽藤 堅治 副査 高山 弘太郎 副査 河野 俊夫 副査 仁科 弘重 副査 奥田 延幸

### 論文名

Identifying and modeling the dynamic response of the plant growth to root zone temperature in hydroponic chili pepper cultivation using neural networks

(ニューラルネットワークを用いた唐辛子水耕栽培における液温に対する植物成長反応の同定とモデル化)

### 審査結果の要旨

愛媛大学で長年研究されてきたスピーキング・プラント・アプローチ (SPA)に着目し、将来的なインドネシア農業における生体情報の利用も考慮に入れ本研究を行った。SPA における環境制御の特徴として植物の状態を診断し、その結果から制御値を決定することにある。本研究においては、将来的に知能的な環境制御を目指した環境状況の評価のために指標とモデルの検討を行った。供試材料としては、インドネシアで多く栽培されている唐辛子を使用した。本論文は、①唐辛子の養液栽培における養液温度の最適制御の必要性とそれをニューラルネットによって求める方法、②養液温度の様々なステップ入力に対する植物応答モデルの検討、最後に③養液栽培における養液温度の自動最適制御システムの有効性の検証を行っている。本研究で使用した植物材料は、愛媛大学植物工場研究センターにおいて太陽光植物工場と人工光を利用したグロースチャンバー内で唐辛子を栽培し、その間の環境データや唐辛子の生育データを計測した。

養液栽培においては、栽培ベット中の養液の組成や温度によって栽培される植物の生育速度が大きく変化することが知られている。栽培中は養液の組成を大きく変えることはないが、養液の温度は気温の変化や日射量の変化の影響を大きく受けて変動する。いくつかの先行研究の事例によって、養液の温度は生育速度に影響を与えることが知られている。そこで、養液の温度変化が唐辛子の成長に与える影響を調査するために実験装置を作成した。この装置は同時に養液の最適温度を制御する仕組み (最適養液温度決定システム) を組み込むことにより、様々な温度変化を与えることが可能となり、これに対する唐辛子の生育速度の計測も可能となった。

最適養液温度決定システムは、先ず始めに栽培の設定値を決め、その温度に従って栽培した成長速度の実測値と成育モデルの予測値を比較し、その差を埋めるために設定値を変更する仕組みである。成育モデルの性能は最適養液温度決定システムにおける心臓部となる。成育モデルの作成には、本研究室で開発したニューラルネットワークによるダイナミックモデルを採用した。特徴としては、最適値の計算に過去とこれからの推定値を用いることによって予測精度を上げることが出来る利点がある。

唐辛子はグロースチャンバーへの定植後、養液温度以外は全て同じ条件下で実験を行った。日長は 12 時間、光量は  $270 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ 、養液濃度は  $2.3 \pm 0.2 \text{ mS/cm}$ 、室温昼間  $25^\circ\text{C}$ ・夜間  $20$ 、湿度昼間  $75 \pm 5\%$ ・夜間  $55 \pm 5\%$ 、溶存酸素  $8 \pm 1 \text{ mg/l}$ とした。養液温度は、 $15^\circ\text{C}$ から  $35^\circ\text{C}$ までをステップ入力として与えることとした。唐辛子の成長量は生体重としてその変化量から求めた。

養液温度はステップ入力として与え、植物の重さの変化のレスポンスを計測し、ニューラルネットワークによるシステム同定を行った。ステップ入力は、植物の生育環境に適している範囲内で4パターンを用意した。この研究では、最適制御モデルの作成を目的としていることから、植物の生育における誠意買う可能範囲を超え、かつ、実際の栽培で起こりうる温度を想定したパターンも1つ用意した。合計5パターンの実験をおこなった。

実験の結果、最適制御に必要な学習データを得ることができた。このモデルの有効性を検証するため、単純なステップ入力に対する応答から、養液温度による生育速度を求めたところ、実際の生育とほぼ合致した、以上の結果から、本研究の成果の有効性を示すことを示すことができた。

本論文に関する公開審査会は、令和2年(2020年)8月1日(土)にリモートシステムを利用して開催され、論文発表と質疑応答が行われた。引き続いて開催された学位審査委員会で本論文を慎重に審査し、審査員全員一致して博士(学術)の学位を授与するに値するものと判定した。