

学位論文要旨 Dissertation Abstract

氏名： 戸田 清太郎
Name

学位論文題目： 太陽光植物工場に実装可能な植物生体情報画像計測システム
Title of Dissertation ム

学位論文要旨：
Dissertation Abstract

本研究では、スピーキング・プラント・アプローチ（SPA）型太陽光植物工場への実装を念頭においた多元的植物生体情報画像計測技術の開発を目的として、クロロフィル（Chl）蛍光画像計測による光合成活性診断の高度化を目指したChl蛍光インダクションカーブの解析技術の開発、さらには、同化産物の分配先（主要なシンク）である茎・葉・果実の日単位の変化を計測する各種画像計測技術の開発を行った。

1. Chl蛍光インダクションカーブ解析による光合成活性診断の高度化

Chl蛍光インダクション現象は、暗条件下にある植物葉に一定強度の励起光を照射したときに確認される“Chl蛍光強度が経時的に変化する現象”である。インダクション現象中のChl蛍光強度の経時変化を対数時間軸に沿ってプロットした曲線をインダクションカーブとよび、その形状は光合成能力の高低や、種々のストレスの影響を受けて変化する。そのため、インダクションカーブの形状を数値解析することで光合成活性の数値評価が可能となる。特に、光合成反応系との関係が明確となっているインダクションカーブの特徴点（S点およびM点）の自動特定は、数値評価指標の再現性を保証する上で極めて重要である。そこで、本研究では、インダクションカーブのSlow phaseを数理モデルで表現することによりS点およびM点の自動特定を試みた。その結果、6次関数式がインダクションカーブのSlow phaseをよく近似することが確認され、得られた近似式を用いてS点およびM点を特定するアルゴリズムを確定した。

2. トマト個体群を対象とした茎伸長計測システムの開発

市販のChl蛍光画像計測ロボット(植物生育診断装置PD6-C[®], 井関農機(株))を用いてトマト個体群の茎伸長計測を行った。本ロボットは、指定した時刻に1レーン(栽培管理用の通路)を自動的に往復走行し、作物個体群を対象としたChl蛍光画像計測を行う。画像計測部を個体群の茎頂の高さに固定した状態で水平方向に移動しながら連続的にChl蛍光画像を取得して茎頂高を計測(茎頂のy座標[≒茎頂高]を目視で確認)し、前日の茎頂高との差分を日単位の茎伸長量と定義した。まず、レンズに起因する画像の歪み補正を行った。OpenCV 3.6(OpenCV)に標準実装されているパラメータ推定機能を用いて歪み補正パラメータを推定し、カメラ内部パラメータとして $f_x = 2245.95$, $f_y = 2402.34$, $c_x = 261.53$, $c_y = 326.65$, 半径方向歪みのパラメータとして $k_1 = -15.53$, $k_2 = 363.98$, $k_3 = -4761.52$, 円周方向歪みのパラメータとして $p_1 = 0.037$, $p_2 = -0.031$ を得た。これらのパラメータを用いて歪み補正を行うことで $1.6 \text{ mm pixel}^{-1}$ の空間分解能を達成した。次に、ロボットを用いた高さ計測の精密さを検証した。30 mm × 40 mmの方形蛍光シートを計測対象レーン上のほぼ同一の高さに0.4 m間隔で40箇所を設置し、5回の反復計測を行った。その結果、高さ計測の再現性は0.01 %以内であることを確認した。トマトの日単位の茎伸長量は20 mm程度であることから、本システムがトマトの茎伸長計測を行うのに十分な精度を有していると結論づけた。この結果に基づいて、70日間連続の茎伸長計測を行った。その結果、茎伸長量の日単位のダイナミックな変化を把握することに成功した。

3. トマト個体群を対象とした果実計測システムの開発

果実を対象とした日単位の変化の把握技術として、果実着色速度計測システムを開発した。白色光を照射しながらカラーカメラを用いて撮像した白色光反射画像(以降、カラー画像)を用いて、色相 $319 \sim 360^\circ$ および $0 \sim 40^\circ$, 彩度 $140 \sim 255$ [0-255が変域], 明度 $30 \sim 255$ [0-255が変域]のピクセルを赤色果実領域とした。なお、鏡面反射による白飛びの影響を低減するために、カラーカメラの左右に配置した白色LEDをそれぞれ個別に点灯させて取得した2枚のカラー画像の赤色果実領域の論理和をとった。愛媛大学農学部の太陽光植物工場で栽培されているトマト個体群を対象として4週間連続の果実計測を行った結果、成熟による日単位の赤色果実領域の増大、および、収穫による赤色果実領域の減少を捉えていた。なお、白飛び低減機能によって、色情報の欠落を約19.2 %低減でき、本システムを用いることで、果実着色速度の正確な計測が可能になると期待される。