

## 幼苗期における工場野菜の生育診断システムの開発

大星 仁<sup>†</sup> 細田 侑也<sup>†</sup> Ganzurkh Bilguun<sup>†</sup> 後藤 仁志<sup>†</sup>豊橋技術科学大学<sup>†</sup>

## 1. はじめに

施設内で栽培する植物工場では、天候によらずに年中通して工場野菜を収穫できる。ただし、人工灯が終日稼働しているため、露地栽培よりも収益率が乏しい。人工灯の稼働状況を調整することで費用を削減できるが、不適切に設定すると工場野菜に不調が生じる。たとえば、光の量が不足していると生育不良が、一定でなければと過剰な伸長成長が、光が強すぎると葉に不良が生じる。もし早期にこれらの不調を検出できれば、栽培環境を見直して被害を最小限に留められる。そこで本研究では、幼苗期における工場野菜の生育診断システムを開発する。

## 2. 栽培環境

本研究では、屋内栽培施設で栽培しているスイートバジルを生育診断システムの対象とする。このとき、室温が20度から24度を保つように空調機器が終日稼働している。水耕栽培キットは、JustSmart社のGS1 Maxとホームハイポニカ社のPLAABOを使用する。液肥の電気分解度は約1.2 mS/sで、水温は平均21.2度を記録した。また、人工灯は毎日16時間稼働している。

スイートバジルは2023年9月20日から11月22日まで113株栽培した。ここで、高さの半分まで水につけたスポンジに播種した日を栽培1日目とする。そして、栽培3日目までは遮光して栽培10日目から水耕栽培キットに定植する。本研究では、栽培20日目から30日目までを幼苗期として生育記録を取得する。



図1 正常な葉(左)と不良な葉(右)

## 3. 幼苗期における生育診断システム

## 3.1 頂芽優勢に基づく非破壊な重量計測

野菜卸売市場では、重量で販売単位を定める。本研究では、相対的に生育遅れを識別するために、葉の重量を非破壊で計測することに取り組む。シソ科であるスイートバジルは、側芽よりも頂芽を優先して垂直方向に成長する頂芽優勢という特性をもつ。そこで、生育画像から上部の構造や高さという情報に関係する特徴量を抽出する。本研究では、植物の上部から撮影した生育画像からは投影面積、エッジ長、輪郭長、長軸および短軸を、側面から撮影した生育画像からは投影面積、高さおよび茎の傾きを取り出す。そして、回帰モデルで葉の重量を予測する。

## 3.2 テクスチャ情報に基づく不良な葉の識別

図1は、正常な葉および不良な葉を表す。正常な葉は表面の滑らかさや光沢があるが、不良な葉ではざらつきやシワが生じている。そこで本研究では、これらのテクスチャ情報を参考に葉の不良を識別する。まず、暗幕上に葉を一枚ずつ配置して中央に位置するように撮影する。そして、ImageNetで事前学習されたVGGNetおよびResNetに対して、転移学習で識別モデルを構築する。このとき、多様な葉の形状にも対応するために、拡大や縮小、回転および平行移動でデータ拡張を画像データに施す。

Development of growth diagnosis system for seedling stages in plant factories

<sup>†</sup> Jin OBOSHI

<sup>†</sup> Yuya HOSODA (hosoda.yuya.ho@tut.jp)

<sup>†</sup> Ganzurkh BILGUUN

<sup>†</sup> Hitoshi GOTO

Toyohashi University of Technology (<sup>†</sup>)

### 3.3 高さの変動に基づく伸長成長の状態予測

植物は成長するにつれて、光合成で必要な光エネルギーが増加する。このとき、光の量が不足すると、葉よりも茎が優先して成長する傾向がある。もし伸長成長の異常を事前に診断できれば、茎の根元から植物が倒れることを防止できる。伸長成長が異常な株では、不安定かつ急峻に高さが増える。そこで本研究では、幼苗期の高さに基づいて伸長成長の状態を識別する。高さの変動に関する特徴量を次式で与える。

$$D_n^1 = h_n - h_{n-1} \quad (1)$$

$$D_n^2 = g_n - h_n \quad (2)$$

$$D_n^3 = (g_n - h_n) - (g_{n-1} - h_{n-1}) \quad (3)$$

ここで、 $h_n$ は栽培 $n$ 日目における植物の高さを、 $g_n$ は正常な株における高さの変動を表す成長モデル [1] を表す。このとき、 $D_n^1, D_n^3$ は変動の安定性を、 $D_n^2, D_n^3$ は成長モデルとの一致度(正常性)を評価している。本研究では、栽培20日目から $N$ 日目までの特徴量を用いて栽培30日目における伸長成長の状態を識別する。

## 4 実験

まず、重量計測の有効性について栽培25日目の44株を対象に検証した。評価指標として、決定係数(R2)とMean Absolute Percentage Error(MAPE)を扱う。表は、重回帰における一つ抜き交差検証の結果を示す。上部だけでなく側面からも特徴量を取り出すことで、R2は0.07向上した。頂芽優勢であるスイートバジルでは、高さの情報を取り入れることが葉の重量計測において有効であることが示された。このとき、MAPEは10%未満で、幼苗期における生育の遅れを識別することを達成した。

つづいて、不良な葉の識別について栽培30日目の72株を対象に検証した。このとき、正常な葉と不良な葉はそれぞれ271枚と121枚であった。ここで、枝付きが垂直方向である葉を不良とした。表2は、10-fold交差検証における評価指標Accuracy(ACC)、Area Under the Curve(AUC)の結果を表す。単純な構造であるVGGNetよりも、複

表1 葉の重量計測性能

	R2	MAPE [%]
上部のみ	0.74	12.30
上部と側面	0.81	9.97

表2 葉の不良の識別性能

	ACC	AUC
VGGNet	0.88	0.96
ResNet	0.93	0.98

表3 伸長成長の状態予測性能 ( $N = 23$ )

	ACC	F値
$D_n^1$	0.90	0.94
$D_n^2$	0.81	0.88
$D_n^3$	0.96	0.99

雑な特徴を捉えられるResNetがACCおよびAUCが上回った。このとき、ACCは0.926を達成して、幼苗期に葉の不良を識別できることが示された。

さいごに、伸長成長の状態識別について栽培30日目の33株を対象に検証した。本実験では、成長に合わせて人工灯の光強度を意図的に弱めることで、過剰に伸長成長している株を13株栽培した。また、伸長成長が正常である20株のうち7株は成長モデル[1]を構築するために用いられた。本実験では、識別モデルとして最近傍法を採用した。栽培20日目から30日目までの特徴量を用いた場合で、一つ抜き交差検証によるACCおよびF値の結果を表3に示す。 $D_n^3$ を用いた場合、AUCは0.95を、F値は0.99を達成した。幼苗期における高さの変動に関して安定性および正常性を評価することが伸長成長の状態を予測するために有効であることが示された。

## 5 おわりに

本研究では、幼苗期におけるスイートバジルの生育状況を診断する手法を提案した。今後は、時系列情報を取り入れて将来的な生育不良の予測および予測範囲の拡大に取り組む。

## 参考文献

- [1] 多田他, “機械学習を用いた工場野菜の収穫量予測モデルの開発,” 情報処理学会全国大会, 2023.