

灰色かび病警報装置の開発(第2報)

— 乾湿計型灰色かび病警報装置の試作 —

久富 茂樹

藤井 勝敏

渡辺 秀樹*

Development of Alarm Device for Gray Mold (2nd Report)

- Prototype of Psychrometric type Gray Mold Alarm System -

Shigeki KUDOMI

Katsutoshi FUJII

Hideki WATANABE*

あらまし トマトの生産において、深刻な問題を引き起こす地上部病害の一つである「灰色かび病」について、ハウス施設内の環境をセンシングすることにより、灰色かび病発生の警報レベルを把握できる装置を開発する。本年度は、熱電対を用いた乾湿計型灰色かび病警報装置を試作し、トマトハウス内に設置し測定を行った。また、灰色かび病の発生警報レベルと実際の発病との関係について試験を実施した。今回の判定式および閾値では、やや早い時期から警報レベルが高くなる結果となった。

キーワード 清流の国ぎふ・農畜産物ナンバーワンプロジェクト、トマト、灰色かび病

1. はじめに

岐阜県のトマト生産は生産額も多く、岐阜県の重要な園芸品目であるが、病害の発生による生産の不安定化が問題となっている。地上部病害の一つである灰色かび病は、咲き終わってしぼんだ花弁や枯れた葉に灰色のかびが付きはじめ、病斑が拡大すると、図1に示すように、茎や果実もかびで覆われて枯れてしまう。この病害の対策としては、栽培環境の改善とあわせて殺菌剤による予防防除が行われるが、この病原菌は薬剤の耐性菌が発達しやすいため、同一系統の薬剤の多用は防除効果が低下するという課題がある。本病は、施設内に蔓延すると薬剤の防除効果が著しく低下するため、早期に防除することが重要である。

灰色かび病の発生には、施設内の温度、湿度環境が大きく影響することがわかっているため、本研究では、ハウス施設内の環境をセンシングし、温度や湿度等が一定の条件を満たした場合に灰色かび病発生の警報を出力することで、本病の危険度を把握できる装置を開発する。昨年度は、使用した温湿度センサのいくつかが故障するトラブルが発生した。今年度は、耐環境性を考慮して、熱電対を用いた乾湿計型灰色かび病警報装置を試作し、トマトハウス内に設置し測定を行った。灰色かび病の発生警報レベルと実際の発病との関係について試験を実施したので報告する。



図1 トマト灰色かび病

2. 温湿度記録装置の試作

昨年度使用した温湿度センサのいくつかは、環境が高湿度状態になり、相対湿度が100%近くに達したのち故障する不具合が発生した。センサに結露が発生し故障したものと推測される。そこで、今年度は、高湿度環境でも安定した測定ができるように、シース型熱電対を用いて乾湿計型の原理で温湿度測定を行った。

試作した装置の外観を図2に示す。シース型熱電対として、ステンレス管タイプのK型熱電対と熱電対アンプモジュール (MAX31855; 分解能:0.25℃) を使用した。熱電対とアンプモジュールは二組使用し、一組は乾球温度計として使用し、もう一組は感温部にガーゼを巻き、常時蒸留水で湿らした状態にして、湿球温度計として使用した。シース型熱電対には、シースと熱電対が導通している接地形とシースと熱電対が絶縁されている非接地形が

* 岐阜県農業技術センター



図2 試作装置の外観

ある。両者を用いて環境温度を測定したが、測定値にほとんど差がなかったため、今回の測定では、ノイズの影響を受けにくい非接地形の熱電対を使用することにした。マイコンには、mbed LPC1768 (NXPセミコンダクターズ)を使用し、サンプリング時間を10分として測定した。測定値は、マイコンに接続したSDカードに記録するとともに、LCDに表示するようにした。また、後述する灰色かび病発生危険度を知らせるための表示灯 (LED) を取り付けた。

測定した乾球温度 t_d [°C]と湿球温度 t_w [°C]から以下のようにして相対湿度を求めた。温度 t [°C]における飽和水蒸気圧 e_s [hPa]は式(1)となる。

$$e_s = 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t}{t+237.3}\right)} \quad (1)$$

湿球温度での飽和水蒸気圧を e_{sw} [hPa]、乾湿計係数を A [K⁻¹]、気圧を P [hPa]とすると、水蒸気圧 e [hPa]は式(2)で表される。

$$e = e_{sw} - A \cdot P \cdot (t_d - t_w) \quad (2)$$

相対湿度 h [%RH]は式(3)で求めることができる。

$$h = e / e_{sd} \times 100 \quad (3)$$

今回は、 $A=0.000662$ 、 $P=1013$ の値を使用して計算を行った。

3. 灰色かび病発生警報レベル判定

これまでに岐阜県農業技術センターで実施した灰色かび病発病条件の研究結果に基づき、測定した温度、湿度から、以下のように灰色かび病発生警報レベル判定を行った。

その時の気温 (乾球温度) における飽和水蒸気圧 e_{sd} [hPa]は、式(1)より、

$$e_{sd} = 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t_d}{t_d+237.3}\right)} \quad (4)$$

この時の水蒸気圧 e は、式(3)より次式で求めることができる。

$$e = \frac{h \times e_{sd}}{100} = \frac{h \times 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t_d}{t_d+237.3}\right)}}{100} \quad (5)$$

この水蒸気圧が飽和水蒸気圧となる温度が露点温度 t_l [°C]であるので、式(1)より、

$$e = 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t_l}{t_l+237.3}\right)} \quad (6)$$

これを t_l について解くと式(7)になり、式(5)で求めた水蒸気圧の値を使って、露点温度を求めることができる。

$$t_l = \frac{237.3 \times \log_{10}\left(\frac{6.1078}{e}\right)}{\log_{10}\left(\frac{6.1078}{e}\right) - 7.5} \quad (7)$$

乾球温度と露点温度の差を t_{diff} [°C]とし、次式のように結露危険度 R_{cnd} を定義する。 t_{diff} が閾値 α_c 未満の場合は結露危険状態、閾値以上の場合は安全状態とする。

$$R_{cnd} = \begin{cases} 1 (t_{diff} < \alpha_c) & : \text{危険} \\ 0 (t_{diff} \geq \alpha_c) & : \text{安全} \end{cases} \quad (8)$$

次式のように感染有効換算時間 T_{vi} を定義する。

$$T_{vi} = k_t \cdot R_{cnd} \cdot T_s \quad (9)$$

ここで、 k_t は各温度における菌糸伸長量を調べた実験結果から求めた温度調整係数、 T_s はサンプリング時間である。直近2日分の T_{vi} を積算し、感染有効積算時間 T_{sh_2days} を定義する。

$$T_{sh_2days} = \sum T_{vi} \quad (10)$$

感染有効積算時間の値によって、灰色かび病発生警報レベル S_{alm} を3段階で判定することにした。

$$S_{alm} = \begin{cases} 2 (T_{sh_2days} \geq \alpha_{a2}) & : \text{危険} \\ 1 (T_{sh_2days} \geq \alpha_{a1}) & : \text{注意} \\ 0 (T_{sh_2days} < \alpha_{a1}) & : \text{安全} \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 α_{a1} 、 α_{a2} はそれぞれ、注意レベル閾値、危険レベル閾値である。この警報レベルに応じて、装置に取り付けたLEDを点滅させるようにした。

4. ハウス施設内での試験運転

図3に示すように、試作した警報装置をハウス施設内の2か所に設置し試験運転を実施した。センサは図4に示す風洞内に設置した。2章で述べたように、湿球温度計とする熱電対の感温部にガーゼを巻き、蒸留水が入った容器に浸かる状態にした。容器の蒸留水は測定期間中なくなることがないように適宜補充を行った。熱電対の乾湿計の他に、比較のため、温湿度センサ (HYT221: IST製) と湿度-電圧変換モジュール (TAM-H1: トウプラスエンジニアリング製) も同じ風洞内に設置し測定を行った。このセンサ、モジュールは、高湿度環境でも対応できる仕様の製品ではあるが、やや高価である。風洞は、150mm×150mm×300mmの筒状で、材質は発泡スチロールである。表面にはアルミ箔を巻いて日光を反射している。筒の端にはファン (定格入力: 6.24W, 風量: 2.9m³/min) を取り付け、風洞内部に空気が滞留しないように常時送風した。

平成30年6月4日から7月11日までのハウス内の温度を図5に、湿度を図6にそれぞれ示す。湿度-電圧変換モジュール (TAM-H1) は温度測定の機能を備えていなかったため、湿度結果のみ示している。日中気温が上昇するにつれ湿度は低下していき、夜になり気温が低下すると湿度が上昇す



図3 ハウス施設への設置

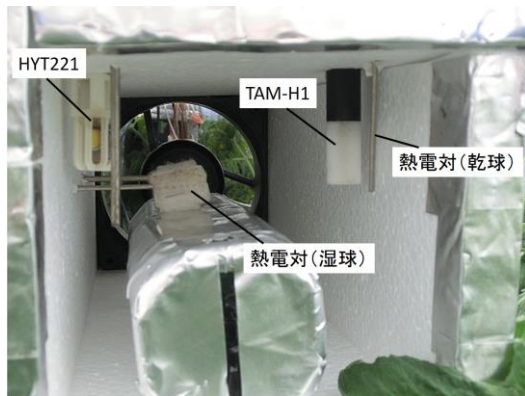


図4 風洞内に設置したセンサ

る傾向にある。7月4日から8日ころにかけて、気温が低く、100%近い湿度が続いているが、この時期に当地域では記録的な大雨が降っており、その影響が現れている。

また、警報レベルと実際の発病の対応を検討するために、数日おきに灰色かびの胞子をトマトに接種し、発病状況を観察した。測定した温度、湿度から求めた警報レベルと実際の発病との対応を図7に示す。星印は灰色かび病の発病が観察された日を示す。HYT221の測定結果から求めた警報レベルが高めになりやすく、警報レベルが早く上がり、長く継続する傾向になった。これは、高湿度状態において、HYT221が熱電対乾湿計に比べて、湿度が5%程度高く測定されたためであると考えられる。今回の実験では、実際に発病が観察されるまでもに何回か警報レベルが危険を示す2になった。実際の発病を精度よく捉えることができるように、判定式や閾値の改善を図りたい。

その後、10月まで測定を続けたが、今回使用した2組のセンサ、試作機はどれも故障することなく測定を継続できた。

5. まとめ

灰色かび病発生の危険度を把握できる装置開発において、高湿度環境でも安定した測定ができるように、シース

型熱電対を用いて乾湿計を用いた温度測定を行った。得られた温度、湿度から灰色かび病発生警報レベル判定を行い、トマトハウス施設内で試験運転を実施した。6月から10月までのトマトの栽培期間中、試作した装置およびセンサは故障することなく計測を行うことができた。また、今回組み込んだ警報レベル判定結果と実際の発病との対応について試験を行った。今回の判定式および閾値では、やや早い時期から警報レベルが高くなっており、今後、判定精度が向上するように改善を図りたい。

謝 辞

本研究で試作した部品の一部は、公益財団法人JKAの補助事業で導入した三次元造形機で製作した。

文 献

- [1] 立正大学地球環境科学部環境システム学科
http://es.ris.ac.jp/~nakagawa/met_cal/vapor_press.html
- [2] 株式会社第一科学
<https://www.daiichi-kagaku.co.jp/situdo/notes/note105.html>

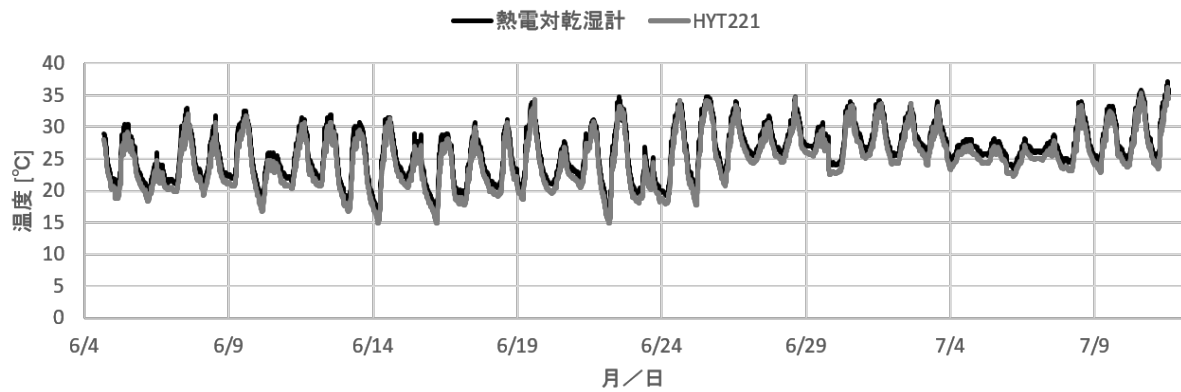


図5 トマトハウス内の温度変化（平成30年6月4日～7月11日）

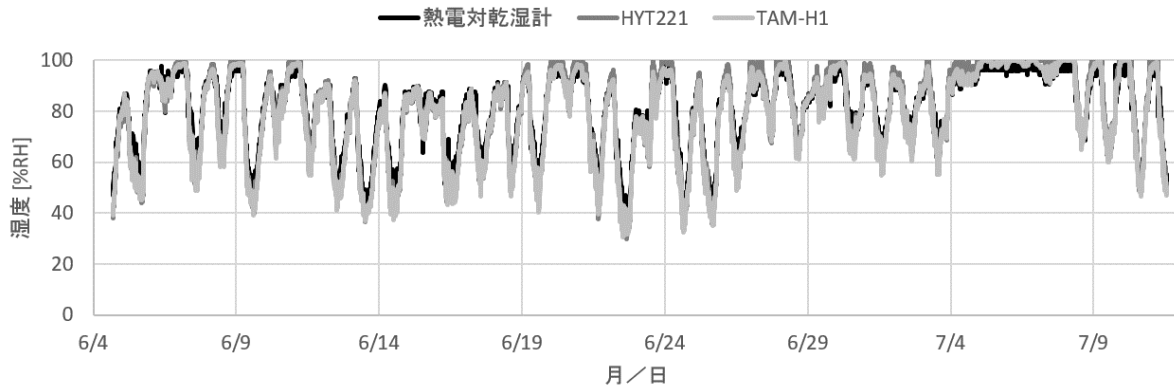


図6 トマトハウス内の湿度変化（平成30年6月4日～7月11日）

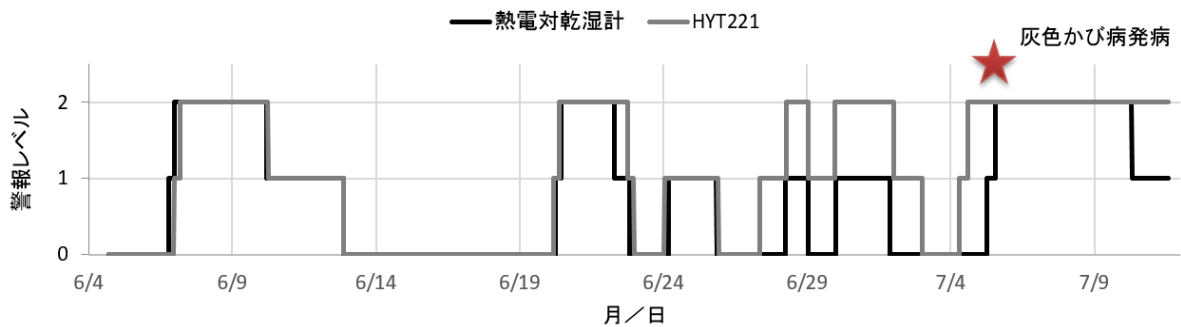


図7 警報レベルと実際の発病との対応