マンゴーハウスの温度管理がマンゴー果面への結露と炭疽病の発生に及ぼす影響

寺本 敏・今村 幸久・江尻 径史*
(宮崎県総合農業試験場)

Effect of mango greenhouse temperature management on the occurrence of anthracnose and dew condensation on fruit surface. Satoshi Teramoto, Yukihisa Imamura and Keiji Ejiri (Miyazaki Agricultural Research Institute, Miyazaki, Miyazaki 880-0212, Japan)

2008および2009年にハウス栽培マンゴーを5月から収穫期まで異なる夜温管理(24℃, 21℃)下で栽培し、果実表面への結露と炭疽病および軸腐病の発生状況を調査した。また、果面の方位(東西南北)と炭疽病の発生状況に関連が認められたため、水分試験紙を利用して果実表面への結露の発生状況を方位(東西)別に調べ、加えて果面温度の熱画像計測を行った。その結果、21℃区は24℃区に比較してハウス内が高湿度となりマンゴー果面への結露発生も多く、炭疽病および軸腐病の発病果率が高かった。また、果実の西面は東面より果面結露の発生程度が高く、これは晴天日の早朝に発生した結露が、朝日の陰となり果面温度が低い西面で比較的長時間持続するためと推察された。さらに、果実の西面は、炭疽病の病斑数が北、東および南面に比較して多かったことから、ハウス内の高湿度条件に起因して果実に生じた結露がマンゴー炭疽病の発生を助長することが示唆された。

Key words : *Colletotrichum* spp., dew point, fruit temperature, *Lasiodiplodia* sp., *Mangifera indica* L., relative humidity

緒 言

宮崎県で栽培されるマンゴー (*Mangifera indica* L.) は、樹上で完熟させ自然落果したものを4~7月に収穫・出荷する。2007年の栽培面積は65ha(農林水産省, 2007)で、年々増加の一途にあるなど宮崎を代表する果樹となっている。本県産の完熟マンゴーは、食味・外観とも高く評価され高級果実として取引される一方、マンゴー炭疽病(病原菌は *Colletotrichum acutatum* Simmonds ex Simmondsおよび *C. gloeosporioides* (Penzig) Penzig & Saccardo) やマンゴー軸腐病(病原菌は *Lasiodiplodia theobromae* (Patouillard) Griffon & Maublanc) による品質低下の問題が顕在化している。特に、6~7月に出荷する作型では、炭疽病を主体とした腐敗果の発生が多い傾向にあり、その

解決策が重要な課題となっている。筆者らは、これまで県内農家においてマンゴー栽培管理の実態調査を行い、梅雨期を中心としたハウス内の高湿度条件が炭疽病発生と関連性のあることを示唆した(寺本ら, 2009)。しかし、外部気象およびハウス内の温湿度条件が炭疽病発生に及ぼす影響を実験的に検証する必要性が残されていた。また、重油価格高騰対策のひとつとして2008年から県内への普及が始まった変温管理(開花盛期約40日後からの夜間設定温度を通常の24℃から21℃に下げる)による栽培法が病害発生に及ぼす影響についても明らかにする必要がある。

そこで本研究では、最低温度管理の異なる施設栽培環境を設定し、気象条件と炭疽病および軸腐病の発生との関係について検討した。また、マンゴー果実に結露が生じる現象は経験的に知られており、*Colletotrichum* 属菌の感染・発病と結露または濡れ時間との関係については、国内ではイチゴ炭疽病(稲田・山口, 2006; 石川, 2005)、シクラメン炭疽病(小林, 1994)についての知見はあるがマンゴー炭疽病に関する報告は見当たらない。そこで、マンゴー果

*現在 宮崎県東臼杵農林振興局; 宮崎県延岡市長浜町1-1713

*Present address: Higashiusuki Agricultural Community Development Bureau, Nobeoka, Miyazaki 882-0854, Japan

実における結露の発生実態を調査するとともに炭疽病発生との関係についても検討し若干の知見が得られたので概要を報告する。

材 料 お よ び 方 法

1. 試験圃の概要

試験は2008年と2009年の2か年、宮崎市の宮崎県総合農業試験場内の硬質フィルムハウス（8m×20m）2棟（AおよびB）を用いて行った。品種は「アーウィン」を供試し、作型は6～7月に収穫・出荷するタイプで、開花期および収穫期は第1表に示した。なお、両ハウスでの5月1日以降の温度管理は、最高気温30℃とし、最低気温については、ハウスAが慣行管理の24℃（24℃区）、ハウスBが変温管理の21℃（21℃区）とした（第1表）。

2. 炭疽病および軸腐病の発病調査

各ハウスの無防除の6樹から任意に抽出した90果（15果/樹×6樹）について、収穫直後に1個ずつポリ袋に入れて密閉し、室温（20～30℃）に静置して収穫7日後の発病果率を調査した。また、両ハウス内の気温および相対湿度は、複合環境制御システム（横河電機製）により5月から収穫終了日まで10分毎に測定した（測定位置は、ハウス中央部の高さ1.5m）。

3. 果実表面の結露計測

マンゴー果実表面における結露の発生程度は、水が

第1図 水分試験紙による結露測定法。Aはマンゴー果実、Bは水を充填したポリエチレン製瓶（500ml）。

付着すると白色から青色に変化する水分試験紙（20×80mm、ADVANTEC製）により測定した。水分試験紙は、果実（高さ1.5～2.0mに着生）の赤道面2か所（東面および西面）に密着するように輪ゴムで固定（第1図左）した（2008年）。また、球面である果実への密着固定が容易でないことや試験紙の装着が果実を傷つける恐れがあったことから、果実の代替として水を充填したポリエチレン製瓶（500ml、サンブラテック製、以下ポリ瓶と略す）（第1図右）を高さ2.0mに設置して同様の調査を実施した（2008年および2009年）。調査には、各ハウスとも2008年が果実5

第1表 試験圃の概要

管理法	ハウス	管理温度 ^{a)} (℃)	マンゴーの生育概要			
			2008年		2009年	
			開花期	収穫期	開花期	収穫期
慣行管理 (24℃区)	A	24～30	3月上～下旬	7/14～8/10	2月下～3月中旬	6/22～7/31
変温管理 (21℃区)	B	21～30	3月上～下旬	7/11～8/10	2月下～3月中旬	6/22～7/30

a) 5月1日から各年次の収穫終了日までの温度を示す（4月1～30日は、両区とも24～30℃）。

第2図 水分試験紙の変色度の算出に用いた変色程度と変色指数。（ ）内数値は、変色指数を示す。変色部位の面積率は、甚：50%，多：30%，中：20%，少：5%。

果、ポリ瓶3個、2009年がポリ瓶2個を供試した。調査期間は、果実肥大後期～収穫期（2008年7月1日～31日、2009年6月4日～7月13日）とした。水分試験紙の交換は、1～3日間隔（原則1日）で午前10時頃に行い、調査回数は、2008年が19回、2009年が27回であった。水分試験紙の変色程度（変色指数）は、無（0）、少（1）、中（3）、多（5）、甚（7）の5段階に分け（第2図）、以下の計算式で変色度を算出した。

$$\text{変色度} = \Sigma (i \times n_i) / (7 \times n) \times 100$$

i = 各水分試験紙の変色指数（ $0 \leq i \leq 7$ ）

n = 各変色程度別水分試験紙の枚数

4. 果実表面の温度計測

ハウスB（21℃区）内の北側に位置するマンゴー樹の高さ1.5mに着生した果実を被写体とし、赤外線サーモグラフィ装置（NEC三栄製サーモトレーサーTH7102W）を用いて北側から撮影した熱画像により果面温度を測定した（2008年6月17日17:00～18日7:30、10分間隔）。また、結露の有無を確認するためデジタルビデオカメラで果実を撮影するとともに必要に応じて肉眼観察を行った。

5. 果面方位別の炭疽病病斑数調査

果面の方位別に結露と炭疽病発生との関係調べのため、2009年6月3日（果実肥大後期）に、各ハウスの全樹に着生している全ての果実に対し北方向を示す印を油性ペンでマーキングした。その後、収穫直後の果実を1個ずつポリ袋に入れて室温条件下に静置し、炭疽病の発病が確認された果実60果について、その病斑数を果面の方位別（東西南北）にカウントした。

結 果

1. ハウスの温度管理が炭疽病および軸腐病の発生に及ぼす影響

最低温度管理の異なる2ハウス（ハウスA：24℃区、ハウスB：21℃区）におけるマンゴー炭疽病および軸

腐病の果実での発生は、2008年と2009年の2か年とも収穫後において両病害が併発した（第2表）。収穫7日後における軸腐病の発病果率は、24℃区と21℃区でそれぞれ2008年が61.1%、80.0%、2009年が18.9%、40.0%と21℃区が有意に高かった。一方、炭疽病の24℃区と21℃区における発病果率は、2008年が13.3%と10.0%、2009年が4.4%と15.6%となり、2009年については24℃区に比較して21℃区の発病果率が有意に高いことが認められた（第2表）。

試験を実施した2008年と2009年における5月上旬～7月上旬の気象経過をみると、降水量および降水日数は、2009年より2008年が多かった（第3図）。また、同期間のハウス内日最高相対湿度についても、2009年より2008年が比較的高く、温度別には24℃区より21℃区が高湿度で推移し、特に2008年の21℃区においては、98%以上となる日が5月下旬～7月上旬に69%の高い頻度で出現した（第4図）。

2. 果実表面の結露が炭疽病の発生に及ぼす影響

水分試験紙によるマンゴー果実表面の結露調査は、2008年は果実とポリ瓶で実施し（第3表）、両者間の結露による変色度には東西両面において高い正の相関関係（東面： $r = 0.962$, $P < 0.01$, 西面： $r = 0.968$, $P < 0.01$ ）が認められた（第5図）。さらに、2009年は調査が簡便なポリ瓶のみで試験を実施した（第4表）。その結果、水分試験紙の変色度は、温度別には24℃区より21℃区が有意に高く、果面の方位別には東面より西面が有意に高かった（第3表、第4表）。なお、ビデオカメラおよび肉眼観察においても、水分試験紙が変色した日の早朝に果実表面の結露を確認した。

果実に結露が発生した2008年6月17日17:00～18日7:30の21℃区における温湿度、露点温度およびマンゴー果面温度を第6図に示した。ハウス内気温と果面温度は、日没（19:22）後から次第に低下し、気温は4:30に21℃付近まで低下した時点で暖房機の稼働と日の出（5:08）により上昇に転じたのに対し、果面

第2表 収穫後のマンゴー果実における炭疽病および軸腐病の発病状況^{a)}

試験 年次	ハウス	温度 ^{b)} (℃)	調査 果数	炭 疽 病		軸 腐 病		炭疽病および軸腐病 ^{c)}	
				発病 果数	発病果率 ^{d)} (%)	発病 果数	発病果率 ^{d)} (%)	発病 果数	発病果率 ^{d)} (%)
2008	A	24	90	12	13.3	55	61.1	8	8.9
	B	21	90	9	10.0	72	80.0	6	6.7
2009	A	24	90	4	4.4	17	18.9	2	2.2
	B	21	90	14	15.6	36	40.0	8	8.9

a) 発病調査は収穫7日後に実施。b) 温度は、各ハウスの最低気温（夜間設定温度）を示す。c) 炭疽病と軸腐病の両方が発病した果実を示す。d) *は5%水準、**は1%水準で、それぞれ各年次の各病害について χ^2 検定による有意差があることを示す。

第3図 気温および降水量の日別推移（宮崎県総合農試場内露場）。上図は2008年，下図は2009年の気温（℃）と降水量（mm）を示す。

第4図 試験ハウス内における日最高相対湿度の推移。上図は2008年，下図は2009年の日最高相対湿度（％）を示す。

温度はやや遅れて5:40頃に最低となった。相対湿度は、日没後ハウスが密閉された後は次第に上昇し、

第5図 結露による水分試験紙変色度のマンゴー果実とポリエチレン製瓶との関係 (2008年)。第3表の変色度において果実は5果、ポリ瓶は3個の各平均値を示す。

23:30～5:30にほぼ100%を記録した。一方、露点温度は、早朝6:00頃まで22～23℃で推移した。以上のような温湿度の推移をみると、5:40～5:50頃に果面温度が露点温度を下回る状態となり、この時点の肉眼観察で果実の結露を確認した。その後、果実に生じた結露は、朝日が当たった東面では比較的速やかに消失したが、陰となる西面では午前8時頃まで観察された。同時刻に赤外線サーモグラフィで果実表面を撮影した熱画像をみると、マンゴー果実に朝日が当たると東面が速やかに昇温するのに対し西面は緩やかであり、その温度差は2時間以上継続した (第7図)。なお、果実の東西面で結露発生の様相が異なる現象は、晴天日の朝 (日の出前後) に観察されたものであり、曇天および雨天時の朝には果実全体が結露することはあっても果実面の方位による結露の違いは確認されなかった。

2009年に調査を行った炭疽病の発病果実における病斑数は、1果当たり1～2個でほとんどが1個であった。それを樹上着生時点での果面方位別に分別すると、果面の西側に形成された病斑数は1果当たり0.48個 (24℃区) および0.55 (21℃区) 個で、他の方位はいずれも0.20個以下であった (第8図)。すなわち、炭

第3表 温度管理の異なるハウスでのマンゴー果実およびポリエチレン製瓶の東西両面における水分試験紙の変色程度 (2008年)

ハウス	温度 ^{a)} (℃)	調査対象	方位	変色程度別枚数					変色率 (%)	変色度 ^{b)}	
				無	少	中	多	甚			
A	24	果実	東	41	38	9	4	3	95	56.8	15.9
			西	25	34	25	9	2	95	73.7	25.3
		ポリ瓶	東	25	24	4	1	3	57	56.1	15.5
			西	7	31	14	5	0	57	87.7	24.6
B	21	果実	東	7	34	32	18	4	95	92.6	37.3
			西	2	23	27	29	14	95	97.9	52.2
		ポリ瓶	東	3	19	22	13	0	57	94.7	37.6
			西	0	12	21	17	7	57	100.0	52.4

a) 温度は、各ハウスの最低気温 (夜間設定温度) を示す。b) 変色度の算出方法は材料および方法に示すとおり。
**は1%水準で Mann-Whitney の U 検定による有意差があることを示す。

第4表 温度管理の異なるハウスでのポリエチレン製瓶の東西両面における水分試験紙の変色程度 (2009年)

ハウス	温度 ^{a)} (℃)	調査対象	方位	変色程度別枚数					変色率 (%)	変色度 ^{b)}	
				無	少	中	多	甚			
A	24	ポリ瓶	東	32	7	11	4	0	54	40.7	15.9
			西	24	8	11	10	1	54	55.6	25.9
B	21	ポリ瓶	東	10	17	10	17	0	54	81.5	34.9
			西	4	16	11	15	8	54	92.6	47.6

a) 温度は、各ハウスの最低気温 (夜間設定温度) を示す。b) 変色度の算出方法は材料および方法に示すとおり。
**は1%水準、*は5%水準で Mann-Whitney の U 検定による有意差があることを示す。

第6図 温湿度、露点およびマンゴー果面温度の推移（ハウスB(21℃区)、2008年6月17日17:00～18日7:30）。露点温度は、温湿度とマンゴー果面温度を基に Tetens (1930) の式により算出した（国立天文台、2010）。果面温度は赤外線サーモグラフィで北半面を撮影した熱画像の温度範囲を示す。

第7図 マンゴー果実表面の熱画像の推移（ハウスB(21℃区)、2008年6月18日6:00～7:10）。北方向から撮影したため左側が東。赤外線サーモグラフィ装置により記録された熱画像を256色カラーからグレースケールに変換した。

第8図 マンゴー果実における炭疽病の方位別病斑数（2009年）。同一ハウス内で異なるアルファベット間では Tukey-Kramer の HSD 検定 ($P < 0.05$) で有意差あり。

疽病病斑の発生数は、北、東および南側に比較して西側が有意に多いことが認められた。この結果は、果実表面の結露が果実西面に多いという結果と合致するものであった。

考 察

マンゴー炭疽病菌は幼果段階で果実に感染し、追熟とともに発症する潜在感染を示す (Kuo, 1999)。沖縄県では花芽分化初期から潜在感染がすでに成立しているとの報告もある (澤岬ら, 2007)。本研究でも、樹上で病徴が認められなかった果実において、収穫後に炭疽病が発病したことから、本病原菌が収穫前の果実に潜在感染していた可能性があると考えられ、異なる夜温管理 (24℃および21℃) を行った期間 (5月～収穫期) は、炭疽病の感染時期に相当すると考えられる。試験を実施した2年間について炭疽病と軸腐病の発生を比較すると、軸腐病は2009年に比較して5月から収穫期までの降雨が多く、ハウス内の日最高相対湿度も高水準で推移した2008年に多発し、炭疽病も同様の傾向であった。また、24℃区と21℃区を比較すると、軸腐病が2年間とも21℃区の発病率が有意に高く、炭疽病についても、2008年は軸腐病の激発により炭疽病が一部確認できなかった可能性があるため2009年の結果から判断すると21℃区の発病率が高いことを認めた。特に6月以降の時期は外部気温の上昇により、最低温度の設定が低い21℃区ハウスでは加温機の稼働

割合が低下することで夜間の施設内湿度が高まり、両病害の発生に好適な環境条件となったことが想定される。このことから、マンゴー炭疽病と軸腐病の発生は、6月を中心とした梅雨時期に降雨日が多い年には特に警戒すべきであり、また、ハウス内最低気温の設定を慣行の24℃より低い21℃で管理する場合にも発生が助長されることに留意する必要がある。

寺本ら(2009)はマンゴー農家の栽培実態を調査し、降雨と関連してハウス内の高湿度環境が炭疽病の発生に影響を及ぼしていることを示唆しているが、本研究では、果実の結露に着目し、それが炭疽病の発生に及ぼす影響について検討した。その結果、マンゴー果実での結露は、果面温度が露点以下となった時点で発生し(第6図)、その発生程度は24℃区に比べて21℃区が高かった。また、果実の西面は東面に比べて結露発生の程度が高いことが明らかとなり、この要因としては、一度発生した結露は容易には消失せず、晴天日において日の出後に果実に朝日が当たる東面は速やかに昇温して結露が早く消失するのに対し、西面は昇温が緩やかであり結露状態が比較的長時間継続することが考えられる。なお、結露調査には果実の代替物として水を入れたポリ瓶を使用し、果実とポリ瓶間の結露による変色度には東西各面において高い正の相関関係が認められ(第5図)、水を充填したポリ瓶は、簡易な結露測定法として利用可能と考えられた。

以上の結果から、マンゴーハウスの夜温管理は、炭疽病および軸腐病の発生に影響を及ぼし、果実表面に発生する結露がマンゴー炭疽病の発生を助長していることが示唆された。従って、本県での後期出荷型のマンゴー栽培における炭疽病の感染抑止対策としては、梅雨期を中心に施設内の高湿度環境を回避し果実を結露させないことが重要であると考えられる。今後は、果実の結露防止を炭疽病防除対策の主眼とし、換気と加温機による湿度も含めた複合的な環境制御法や敷わ

らなどによる地表面マルチ、除湿機やヒートポンプの活用など新たな病害発生防止技術の開発が必要である。

引用文献

- 稲田 稔・山口純一郎(2006)促成栽培イチゴにおける炭疽病菌 *Colletotrichum acutatum* 及び *Colletotrichum gloeosporioides* による果実腐敗の発生. 九病虫研会報52: 11-17.
- 石川成寿(2005)イチゴ炭疽病の病原菌, 生態ならびに環境に配慮した防除技術開発. 栃木農試研報54: 1-187.
- 小林紀彦(1994)シクラメン炭そ病に対する品種間差異, 病原菌の諸性質, 感染と伝搬, ならびに薬剤感受性. 九病虫研会報40: 75-81.
- 国立天文台(2010)理科年表オフィシャルサイト http://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/kisyo/kisyo_003.html (2010年4月20日アクセス確認).
- Kuo, K. C. (1999) Germination and appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides*. Proc. Natl. Sci. Council. ROC (B) 23 (3): 126-132.
- 農林水産省(2007) 政府統計の総合窓口(e-stat) 特産果樹生産動態等調査 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do> (2010年4月20日アクセス確認).
- 澤嶋哲也・河野伸二・大城 篤・田場 聡・諸見里善一(2007)マンゴー炭疽病菌の潜在感染とその病原性. 日植病報74: 28-29 (講要).
- 寺本 敏・本山 宏・今村幸久(2009)栽培管理の異なる宮崎県のマンゴー農家ハウスにおける炭疽病の発生実態調査. 九病虫研会報55: 57-61.
- Tetens, O. (1930) Ueber einige meteorologische Begriffe. Zeitschrift für Geophysik 6: 297-309.
(2010年4月30日受領: 8月2日受理)