

超腰高雨よけハウス及びミスト等による夏秋トマトの夏季高温対策

二村章雄・熊崎 晃

Heat measures of the summer and autumn tomatoes by the tall Pipe-Framed greenhouses and the mist.

Akio Futamura, Akira Kumazaki

Gifu prefectural Research Institute for Agricultural Technology in Hilly and Mountainous Areas, Furukawa Gifu 509-4244

摘要

雨よけパイプハウスを利用した夏秋トマト栽培において、棟高を高くし通気性を向上させることによりハウス内気温の低下が認められた。また、ミスト噴霧において、温度センサー付電磁弁と黒球を組み合わせることで、やや精度は低下するが曇雨天に噴霧を中止する制御が可能と考えられた。粒径 50 μm 以上の低コストミスト装置によりハウス内気温の低下が認められたが、収量性向上効果は判然としなかった。

キーワード：夏秋トマト、雨よけ栽培、超腰高パイプハウス、ミスト、低コスト日射比例制御

緒言

近年の夏季高温傾向の中、高冷地の冷涼な気象条件をいかした夏秋トマト産地においても、高温に遭遇したことを原因とする着果不良や障害果の発生が問題となっている。夏季に開花期を迎えた花房はその 35~40 日後に収穫期を迎えることから、着果不良や障害果の発生は、秋季の出荷量を減少させることに結び付く。

夏秋トマト栽培では、出荷ピークとなる夏季が比較的単価で推移する傾向の中、高単価の見込める秋季(9 月以降)に安定した出荷数量を確保するための夏季高温対策は、収益性確保の面から最重要課題とされている。

県内の夏秋トマト産地では、パイプハウスを利用した雨よけ栽培が主に導入されており、ハウス内気温を低下させる手段として、トマト上部の空間や開口部を広く確保することによる通気性の向上が挙げられる。

平成 10 年前後から、アーチパイプの原管を従来品より長いタイプへと変更し、パイプの屈曲部以下を長く(210 cm)確保した「腰高ハウス」が導入され始めた。夏季高温期には、パイプ屈曲部程度まで被覆資材を引き上げ、通気性の確保を図ることが一般的である中、「腰高ハウス」はより高い位置まで開口部を確保できること、ハウスサイド部でのトマト頭上空間を確保しやすいこと等から、新たに建設される雨よけハウスは「腰高ハウス」が主流となっている。

ハウスの構造以外に遮光資材や細霧冷房の利用が高温対策として考えられるが、遮光資材はその種類や使用時期によって減収を伴いやすいこと、機器に

よる自動開閉制御をする場合には多額のコストを要すること、手動で開閉するのは労力的に困難なこと等から県内における導入事例は多く見られない。細霧冷房についても、トマト茎葉が濡れにくい粒径の小さい高圧細霧(粒径 10 μm 以下)や低圧細霧(粒径 10~50 μm)は、ノズルや配管、ポンプ等に多額のコストを要することから導入事例は無いが、チューブの微細孔から噴出する方式の粒径が大きいミストは、一部の農業者で葉面散水を目的に利用する事例が少数ではあるが存在する。

このような産地背景のもと、本研究ではパイプハウスを利用した雨よけ夏秋トマト栽培を対象に、「腰高ハウス」よりも棟高を高くし通気性を向上させた「超腰高ハウス」によるハウス内気温への影響や、低コストで導入でき、粒径が 50 μm 程度以上のミストを噴霧した場合のハウス内気温や飽差に与える影響を明確化し、夏季における高温対策としての有効性を検討した。また、ミスト噴霧制御についても、低コスト化を図るため、温度センサー付電磁弁と黒球を組み合わせ、制御盤を用いない制御法の実用性を検討したので報告する。

材料および方法

1. 超腰高ハウスのハウス内気温への影響(試験 1)

1) 超腰高ハウスの概要

従来型ハウス、超腰高ハウスの原管長等を第 1 表に示した。従来型ハウスの棟高が 3.2 m に対し、超腰高ハウスでは 4.0 m 以上に高くすることで、栽培中のトマト頭上に空間を広く確保した(第 1 図)。

単純にアーチパイプの屈曲部以下を長くするの

みではハウスの耐風性が低下するため、超腰高ハウスではアーチパイプに STX 鋼管(大和鋼管工業(株)製)を使用した。STX 鋼管は、肉厚が 2.0 mm(従来パイプ比 125%)であることや使用する鋼管を改良することにより、強度を飛躍的に高めている。川上ら(2010)は、従来パイプと同等の構造(50 cm ピッチでアーチパイプ設置)とした場合に、鉛直雪荷重に対する耐力は 2.7 倍程度に向上し、その場合に資材費は 1.7 倍程度に上昇すると報告している。

本試験では、STX 鋼管アーチパイプを 75 cm ピッチで設置し、鉛直雪荷重を従来比 130%程度(推定)、導入コストを 2,196 千円/10a(従来型比 127%, 467 千円の増加)に抑制した雨よけハウスを使用した。

2) 栽培概要

試験は接ぎ木苗を用い、穂木品種は「桃太郎 8」(タキイ種苗(株))、台木品種は「がんばる根」(愛三種苗(株))である。2013年3月23日に台木品種を、3月27日に穂木品種を播種し、接ぎ木4月12日、仮植4月17日を経て、5月23日に定植した。栽培様式は、条間 100 cm、株間 40 cm、6 m 間口ハウスに 5 条(2,083 株/10a)、斜め誘引 1 本仕立てとし、第 11 果房上の 2 葉を残して摘心した。

施肥は産地慣行の施肥体系を採用し、10a あたりの施肥分量(kg)は窒素 23.9、りん酸 17.1、加里 22.3 とした。

3) 調査方法

1) で示した超腰高ハウス及び従来型ハウスを対象として、収量性や果実品質を調査した。

また、ハウス内の気温について、RTR-503((株)T&D 製)を遮光して設置し、5 分おきに測定した。設置した位置は長さ 20 mハウスの中央部で、地表面からの高さは 2 m と 3 m とした。

第 1 表 雨よけハウスの原管長と棟高

タイプ	原管長 (cm)	屈曲部以下の長さ (cm)	棟高 (m)
従来型	550	210	3.2
超腰高型	640	300	4.1



第 1 図 超腰高ハウス外観(左)

2. ミスト噴霧間隔の検討(試験 2)

1) ミスト装置の概要

1 で示した超腰高ハウスに、クールネットプロ(ネ

タフィルムジャパン(株))を、チューブ間隔 3 m とし て 3.5 m の高さに 2 条設置した(第 2 図)。このミスト装置は、配管に金属製パイプを使用しない(水圧 0.4 MPa 程度を想定)ことにより安価であり、10a あたり導入コストを 30~40 万円程に抑えることができる。

チューブに取り付けるノズルの間隔は、ノズル噴霧範囲の直径が 1.5 m 程度であることから、それよりもやや短い 1.3 m とした。

クールネットプロのミスト粒径は、平均 65 μ m (水圧 0.4 MPa 時、カタログ値)とされており、市販されている高圧もしくは低圧細霧システムに比較すると大きく、古野(2006)が指摘するようにトマトの植物体が濡れやすいと推測された。そこで、濡れを軽減するため、林(2003)や鈴木(2002)が示した多目的細霧システム((株)DIK アグリワーカーズ)の標準的な噴霧量を参考に、ノズルは水量の少ないタイプ(5.5L/hr)を使用するとともに、止水ノズルを利用することにより噴霧方向を 2 方向に制限した(第 3 図)。

このノズルで試験的に連続噴霧したところ、葉の濡れが噴霧直後に確認されたため、連続噴霧は不可能と判断し、間欠噴霧することを前提に試験を行った。水源は井水を用い、140 メッシュのディスクフィルターでろ過し、0.2~0.3 MPa の水圧で噴霧した。

2) 栽培概要

試験は接ぎ木苗を用い、穂木品種は「桃太郎 8」(タキイ種苗(株))、台木品種は「がんばる根」(愛三種苗(株))を使用した。2012年3月15日に台木品種を、3月16日に穂木品種を播種し、接ぎ木4月23日、仮植5月1日を経て、5月28日に定植した。栽培様式は、条間 100 cm、株間 40 cm、6 m 間口ハウスに 5 条(2,083 株/10a)、斜め誘引 1 本仕立てとし、第 11 果房上の 2 葉を残して摘心した。

3) 処理方法

2012年8月17日~8月26日の10日間において、1) で示したミスト装置を毎日 9~16 時の間、10 分間隔で 30 秒間作動させた。



第 2 図 ミスト設置状況

4) 調査方法

ミスト作動後のハウス内気温の変化を把握することにより、気温を低下させる効果を維持するための、噴霧間隔について検討を行った。

ハウス内気温は、RTR-503 を遮光した強制通風筒内に設置して 2 分おきに測定した。設置した位置は長さ 20 mハウスの中央部で、地表面からの高さ 1.5 mとした。また、ミスト装置を設置しない超腰高ハウスも同様に測定した。



第 3 図 ミストノズルの形状

3. ミスト制御方法の検討(試験 3)

1) 制御方法の概要及び調査方法

曇天や雨天時にミスト噴霧を自動的に中止するためには、日射センサーや湿度センサーを接続した制御盤を用いることが一般的であるが、本試験では制御機器の低コスト化を図るため以下の機器を利用した。

噴霧制御は温度センサー付電磁弁(Do バルブ、(株)T&D 製、第 4 図左)と「暑さ指数」の算出に使用される黒球(CK-150、(株)安藤計器製工所、第 4 図右)を組み合わせ用いた。黒球内気温が、強い日射のある場合に周辺の気温に比較して著しく上昇することに着目し、曇雨天時に自動的に噴霧を中止するように設定を試みた。

この電磁弁は、時刻設定やインターバル時間の設定に加え、温度センサーの指示値によって弁の開閉を制御できる仕様とされている。また、センサーの仕様として、センサーケーブルの先端部と中央部に感温部があり、両者の指示値の差によっても作動を制御することが可能である。

黒球内気温をセンサー先端部で、ハウス内気温をセンサー中央部で計測することにより、その差の値によって曇雨天時に自動的に噴霧を中止するよう、設定値(作動のしきい値)の検索を行った。



第 4 図 センサー付電磁弁(左)と黒球(右)

4. ミスト噴霧方法の検討(試験 4)

1) 噴霧条件の検討

試験 2 及び 3 の結果を踏まえ、噴霧間隔及び噴霧時間を第 2 表のとおり設定して、ハウス内気温等への影響を評価した。

さらに、システム導入コストの低減を図る観点から、面積あたりのノズル設置数を半減(ノズル設置間隔を 2.6 m)させたハウス(ミスト半減区)についても並行して調査し、ハウス内気温等への影響を評価した。

2) 調査方法

調査区として、ミスト区、ミスト半減区、無処理区の 3 区を設定した。ハウス内の気温及び相対湿度について、RTR-503 を遮光して設置し、2 分おきに測定した。

設置した位置は長さ 20 mハウスの中央部で、地表面からの高さ 2 m(第 5 図の黒丸印)に設置した。それに加え、ミストを噴霧する区では、ミスト噴霧の位置による効果の差を確認するため、その測定点からハウス外側に向けて 1 m 及び 2 m の位置に 1 個ずつ追加して設置した(第 5 図の白丸印)。

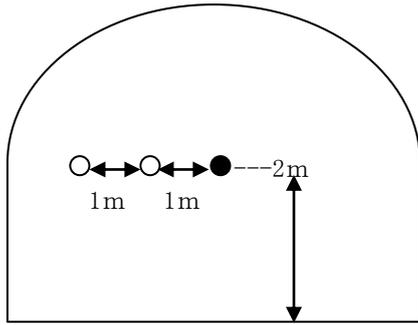
ミスト噴霧は、試験 2 の結果を踏まえ、4 分間隔で作動するように設定し、その制御は、試験 3 で用いた機器によって行った。ハウス内気温が 30℃以上でかつ晴天時に作動させるため、暫定的であったが黒球内気温が 38℃以上の場合に電磁弁が開くよう設定した。

また、上記の制御を行った上で、試験 1 と同様の栽培概要でトマトを栽培し、収量や果実品質に与える影響について評価した。

第 2 表 噴霧条件と設定期間

噴霧条件	噴霧間隔	噴霧時間	設定期間
30-210	4 分	30 秒	8/8-8/12
20-100	2 分	20 秒	8/26
30-90	2 分	30 秒	8/15-8/16

※噴霧条件は「作動時間(秒) - 休止時間(秒)」

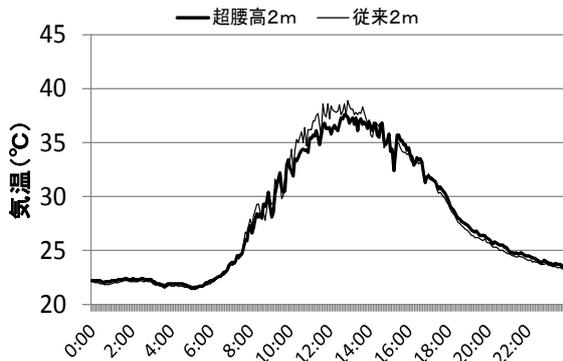


第5図 測定装置の設置位置

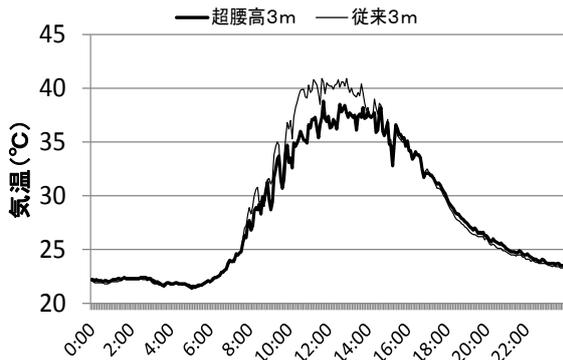
結果

1. 超腰高ハウスのハウス内気温への影響(試験1)

2013年8月10日(晴天)におけるハウス内気温(地上2m高、3m高)の変化を、第6図及び第7図に示した。地上高2mにおけるハウス内気温は11～15時の時間帯で35℃を超え、超腰高ハウスよりも従来型ハウスでやや上昇する傾向が認められた(第6図)。また、11～15時におけるハウス内気温の平均値は超腰高ハウス36.4℃、従来型ハウス37.3℃であり、約1℃の差が認められた。さらに、地上高3mにおける気温の平均値は、超腰高ハウスで37.1℃であったが、従来型ハウスでは39.4℃と上昇した(第7図)。収穫果数は超腰高ハウスで減少する傾向にあったが、格外果率の減少や平均果重の増加により、可販収量は超腰高ハウスで増加する傾向が認められた(第3表)。また格外果の発生理由に大きな差は認められなかった(第4表)。



第6図 地上高さ2mにおけるハウス内気温



第7図 地上高さ3mにおけるハウス内気温

第3表 収量性

区	収穫果数 (果/株)	可販収量 (kg/10a)	格外果率 (%)	平均果重 (g)
超腰高ハウス	32.9	11,901	21.1	217
従来ハウス	35.6	10,469	24.3	197

第4表 理由別の格外果率(%)

	放射状 裂果	空洞果	花落ち 跡	チャック 窓開き果	形状 不良	その他
超腰高ハウス	2.0	9.9	2.0	1.8	3.4	1.8
従来ハウス	2.4	11.9	1.3	2.5	4.7	1.6

2. ミスト噴霧間隔の検討(試験2)

調査期間が概ね晴天が続き、昼間はハウス内気温が30℃を超える状態が継続した。

ミスト噴霧後の経過時間に応じた、ミストを散布しない超腰高ハウスとの気温差を第5表に示した。

ミスト散布直後が最も気温差は大きく、その後は気温差が減少する傾向が認められた。また、散布4分後以降は変動が少なく0.3～0.4℃程度となった。

第5表 ミスト噴霧後の経過時間と気温差(°C)

	散布直後	2分後	4分後	6分後	8分後
超腰高	30.46	30.49	30.53	30.53	30.47
超腰高+ミスト	29.79	30.08	30.17	30.12	30.14
気温差	-0.67	-0.42	-0.36	-0.42	-0.33

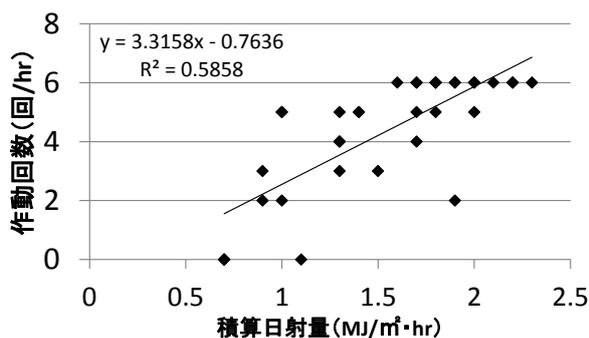
※2012年8月17日～8月26日の各日9～16時において2分おきに測定した気温の平均値。

3. ミスト制御方法の検討(試験3)

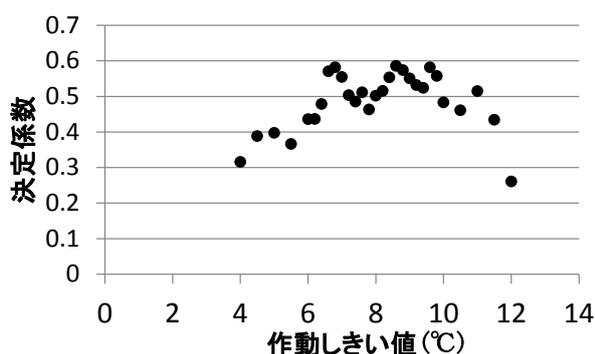
2013年8月25日～8月29日における9時～16時までの10分おきに計測した黒球内気温とハウス内気温の差が、電磁弁の設定値(以後、作動しきい値)以上の場合に電磁弁が開くと仮定し、電磁弁作動回数を模擬的に算出した。

さらに、算出した1時間あたりの電磁弁作動回数と対応する積算日射量との決定係数を、作動しきい値0.1きざみで算出した。その結果、作動しきい値8.6の場合に決定係数が約0.58(0.1%水準で有意)と最も高くなった(第8図)。また、作動しきい値と決定係数の関係(第9図)から、作動しきい値として7～9℃のときに電磁弁作動回数と積算日射量の相関がより高まることが確認された。

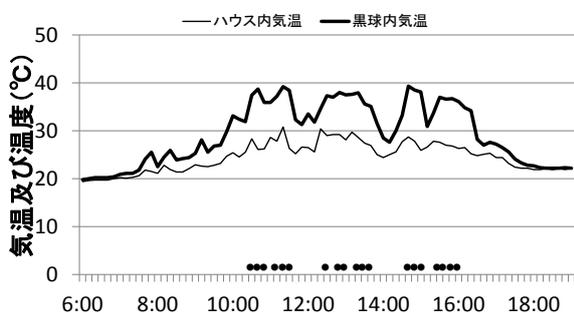
この結果から、作動しきい値を8℃に設定し、8月25日(晴時々曇)のミスト作動状況を確認したところ、作動時間帯9:00～16:00で日射が十分にあった時間帯は黒球内気温とハウス内気温の差が大きくなりミストが作動(●印)し、それ以外の時間帯はミストは作動しないと推測された(第10図)。



第8図 作動しきい値を8.6とした場合の電磁弁作動回数と積算日射量の相関



第9図 電磁弁作動回数・積算日射量の決定係数と作動しきい値の関係



第10図 曇天時におけるハウス内気温と黒球内気温及びミスト作動状況
※●印はミスト作動を示す

4. ミスト噴霧方法の検討(試験4)

試験期間内の高温となる時間帯11～14時の2分おきに計測した気温、並びに気温及び相対湿度から算出した飽差の平均値を示した(第6表、第7表)。

気温については、噴霧条件によって異なるものの、ミスト区で無処理区に比較して0.8～1.7℃の気温低下が確認された。また、ミスト半減区では気温の低下程度は減少した。噴霧条件では、噴霧量が最も多くなる「30-90」でハウス内気温が最も低下した。

飽差については、ミスト区で無処理区に比較して5.2～7.3 hPaの低下が認められ、ハウス内の乾燥が緩和された。また、ミスト半減区では飽差を低下さ

せる効果は低くなった。噴霧条件では、気温と同様に噴霧量が最も多くなる「30-90」で最も低下した。

ハウス中央部の気温に比較し、ノズルの直下付近となる中央から1 mの測定点では0.5～0.7℃低下した。また、中央から2 mの測定点では、中央から1 mの測定点より0.3～0.9℃高くなった。また、ミスト半減区で同様に0.5～1.2℃上昇した(第8表)。

ハウス中央部の飽差に比較し、ノズルの直下付近となる中央から1 mの測定点では大きな差は認められなかったが、中央から2 mの測定点では、高まる傾向が認められた。その程度はミスト半減区でやや強くなった(第9表)。

葉の濡れについては「30-90」及び「20-100」の噴霧条件で多く確認され、それぞれ1週間程度の噴霧条件を継続したところ、一時的に葉の黄化や褐変が発生した。

収穫果数や可販収量は、区間による大きな差は認められず、ハウス内気温低下による着果性の効向上効果は本試験では判然としなかった。(第10表)。また、格外果となった理由については、無処理区で空洞果がやや増加する傾向にあった(第11表)。

第6表 噴霧条件ごとの11～14時における気温

区	気温(°C)		
	30-210	20-100	30-90
ミスト (1)	34.5	29.7	33.9
ミスト半減 (2)	35.1	29.9	34.4
無処理 (3)	36.0	30.5	35.6
(1)-(3)	-1.6	-0.8	-1.7
(2)-(3)	-0.9	-0.6	-1.2

※ハウス中央部における測定。
※気温及び湿度は測定期間における11～14時まで2分おきに測定した平均値により算出。
ミスト稼働率は、4-30：99%、2-20：73%、2-30：100%。

第7表 噴霧条件ごとの11～14時における飽差

区	飽差(hPa)		
	30-210	20-100	30-90
ミスト (1)	28.7	17.1	25.6
ミスト半減 (2)	30.3	17.6	28.4
無処理 (3)	33.8	22.6	32.9
(1)-(3)	-5.2	-5.4	-7.3
(2)-(3)	-3.6	-4.9	-4.5

第8表 噴霧条件とハウス内位置による気温の差

区	測定点	中央部との気温の差(°C)		
		30-210	20-100	30-90
ミスト	中央から1m	-0.5	-0.7	-0.6
	中央から2m	0.1	-0.4	0.3
ミスト半減	中央から1m	-0.2	-0.4	-0.6
	中央から2m	0.5	0.1	0.6

第9表 噴霧条件とハウス内位置による飽差の差

区	測定点	中央部との飽差の差(hPa)		
		30-210	20-100	30-90
ミスト	中央から1m	-0.4	1.1	-0.5
	中央から2m	2.3	2.9	3.8
ミスト半減	中央から1m	0.2	0.5	-0.8
	中央から2m	3.3	3.4	4.2

第10表 収量性

区	収穫果数 (果/株)	可販収量 (kg/10a)	格外果率 (%)	平均果重 (g)
ミスト	33.3	11,904	19	208
ミスト半減	32.5	11,839	17	209
無処理	32.9	11,901	21	217

第11表 理由別の格外果率(%)

	放射状 裂果	空洞果	花落 ち跡	チャック 窓開き果	尻腐 れ果	形状 不良
ミスト	3	5	1	3	2	4
ミスト半減	2	6	1	1	2	6
無処理	2	10	2	2	1	3

考察

試験1において、「超腰高ハウス」は「従来型ハウス」よりトマト上部の空間を広く確保することにより、夏季に生長点付近が達する地上高2 mにおいて約1℃、3 mにおいて約2.3℃の気温上昇抑制効果が認められた。夏季の日中はハウス内気温が35℃を超えることも珍しくない気象条件のもと、腰高化によってトマトが高温に遭遇する時間を短くすることが可能であり、かつハウス内での作業者の負担軽減にも有効な対策と考えられた。

また、試験1での収量向上効果は1.5 t/10a程度であり、10aあたり販売金額は450千円増加することから、導入コストの増加分(467千円)を数年で吸収(利益率を考慮)できると考えられた。

試験2及び3において、ミスト粒径が50 μm以上と大きく、連続噴霧では葉の濡れが発生したことから、1回あたり30秒を繰り返し噴霧する間欠散水を前提とした。試験2において、噴霧後4分以降は0.3～0.4℃に安定して気温の低下が確認されたが、それ以上の効果を維持するためには4分以内の間隔で噴霧することが必要と判断した。

また、試験3において、黒球と温度センサーつき電磁弁を組み合わせることで、精度は低いものの日射の弱い曇雨天にミスト噴霧を中止させる制御が可能と思われた。この電磁弁の最大流量は1分間あたり100Lとされているため、ノズルピッチ(1.3 m)で6 mハウスに2条設置の条件では、40a程度の面積を噴霧できる。制御に必要な機器は電磁

弁と黒球のみであるため、4～5万円程度と、制御盤を利用する形式(約20万円～)に比較して導入時のコストを低く抑えることができる。

試験4では、3種類の噴霧条件とノズル設置数を半減(2.6 m間隔)することによるハウス内気温や飽差の影響を評価した。

噴霧条件では、噴霧量に応じて気温や飽差の低下が確認できたが、2分間隔で噴霧することにより、葉が継続的に濡れ併せて葉の黄化も発生した。よって、3種類の噴霧条件内では4分間隔で30秒程度の噴霧が適当と判断した。またノズル設置数を半減することによって、気温及び飽差を低下させる効果は弱くなったが、ハウス内気温を1℃程度低下させる目的からは適当と考えられた。本試験で採用した噴霧システムでは、ノズル数の半減は導入コストの低減に大きく寄与する。

ハウス中央部に比較してハウスサイドはミストの効果弱まることも確認され、開放部の多い雨よけハウス内では外気の影響を大きく受け、ハウス内環境の差が生じやすいことが示唆された。

本試験では、超腰高ハウス及びミスト噴霧によってハウス内気温が低下することを確認でき、雨よけパイプハウスの高温対策として一定の効果が見込めると考えられた。しかし、ミスト噴霧による明確な収量性向上効果(収穫果数や平均果重の増加)は認められなかったことから、夏秋トマト経営への積極的な導入を図るためには、噴霧条件の改善等が必要と考えられた。

謝辞

本試験を実施するにあたり、細霧冷房に関する情報を始め、黒球の利用など多くの助言をいただいた岐阜大学応用生物科学部 植物環境制御学研究室准教授 嶋津光鑑氏に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 林真紀夫. 2003. 冷房—細霧冷房による地上部環境制御. p.13-15. 農業技術体系・野菜編, 第12巻(追録第28号). 農文協. 東京.
- 鈴木隆志. 2002. トマトの養液栽培における細霧冷房利用による生理障害果対策. 農耕と園芸. 57(8): 72-75
- 川上暢喜・鍵谷俊樹・徳原 功. 2010. 載荷実験による農業用パイプハウスの鉛直雪荷重に対する耐力評価. 岐阜中山間農業研究所研報. 6: 18-25
- 古野伸典. 2006. パイプハウスにおける細霧システムの導入による生産安定効果. 施設と園芸. 133: 28-32