

ミスト噴霧時の温湿度及び濡れに及ぼす送風の影響

樋江井清隆¹⁾・伊藤 緑¹⁾・大藪哲也¹⁾・番 喜宏¹⁾

摘要：愛知県内のトマト産地に多い自然換気方式の高軒高施設を想定し、細霧冷房装置(以下、ミスト)の効果的な利用技術を開発するために送風の併用について検討した。試験は、いずれも無栽植条件とした。供試ミストノズルは、粒径14~21 μm で吐出量100 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ の性能を有し、高さ2.6 mから水量7.5 $\text{mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ で噴霧した。さらに送風機を用いて水平方向に送風する条件(高さ0.6~2.4 mの畝上平均風速0.2~2.2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)を設け、温湿度に及ぼす影響を調査した。その結果、ミスト噴霧時の送風は水平及び垂直方向の温湿度差を小さくした。また、感水紙を用いた調査の結果、送風は畝面の濡れ程度を軽減した。

キーワード：ミスト、温湿度、濡れ、送風、自然換気

緒 言

愛知県内のトマト産地には、高温対策又は湿度調節用として細霧冷房装置(以下、ミスト)が約11 ha普及している(農総試広域指導室調べ、2015)。その多くは、噴霧粒径10数~50 μm 程度の比較的低価格な製品である。これらの装置は、「超微粒ミスト」¹⁾の高精度に揃った粒径14~16 μm に比べてやや粗く、粒径のばらつきも大きい。従って、処理方法によっては植物体を濡らし、病害の発生や品質低下を招く恐れがある。一方、近年の県内トマト栽培施設では、コナジラミ類の侵入を防止する目的で開口部に0.4 mm目合の防虫網を展張し、自然換気方式とする事例が多く、ミスト粒子が一層蒸発しにくい環境下にある²⁾。ミストを導入した生産者は濡れを回避するため、間欠噴霧時に長めの休止時間を設けて対応している。しかし、噴霧周期に伴う温湿度の上下変動が大きくなるため³⁾、安定した冷却効果は得難く、むしろ植物体がストレスを被ることも懸念される。こうしたことから、生産者は温湿度の制御に苦慮している。この対策として、Toidaら⁴⁾はミストノズルの下部に微小ファンを取り付け、上向きの気流を付与する「上方拡散法」を考案した。これにより噴霧されたミスト粒子の滞留時間を延長させて蒸発を促進できると報告したが、ノズル価格の上昇を伴うため、実用化には至っていない。そこで本研究では、水平方向の送風による空気の流動がミスト噴霧時の温湿度分布及び濡れ軽減に及ぼす影響について検討した。その結果、ミストの効果的な利用に資する知見が得られたので報告する。

材料及び方法

1 試験場所

試験施設は愛知県農業総合試験場内の高軒高フィルムハウス(間口 4.5 m×奥行 19.7 m×3 連棟×軒高 3.5 m、床面積 266 m^2 、表面積 557 m^2 、容積 1143 m^3 、農 P0 フィルム被覆、南北棟)とした。施設の開口部は天窗(0.9 m×17.2 m、片側開き、3 か所)及び側窓(1 m×15.7 m、巻上げ式、2 か所)で、いずれも 0.4 mm目合の防虫網で被覆した。換気方式は、天窗及び側窓による自然換気とした。試験区画の設置に当たっては、ハウス中央部に厚さ 0.05 mmの透明ポリフィルムを用いて高さ 3 mの隔壁を設置し、東側で試験を実施した。試験規模は 133 m^2 とし、施設内は無栽植とした。調査に当たっては、遮光率 50%の白色割布シート(SLS50 ハーモニー、ポリエステル 52%+ポリオレフィン 48%、(株)誠和、東京)を高さ 3.1 mで水平に展張した。

2 供試資材

(1) ミストの設置及び噴霧方法

供試ノズルには「N10」(粒径 14~21 μm 、吐出量 100 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 、なごミスト設計(有)、名古屋)を用い、133 m^2 当たり 10 個を 4 m 間隔×2 列に配置し、ノズルの方向は千鳥とした(図 1)。また、ノズルは遮光カーテン下 50 cm(高さ 2.6 m)で噴射角度を水平に設置し、遮光カーテンを濡らさないように調整した。噴霧制御には湿度調節用制御盤(しつど当盤、トヨタネ(株)、豊橋)を用いた。原水には上水を用い、高圧ポンプ(高圧洗浄機を代用、K2.900 サイレント、KÄRCHER、ヴィネンデン、ドイツ)

本研究は「温暖化対策貢献技術支援事業」により実施した。

¹⁾園芸研究部

(2016.10.12受理)

で 5 MPa に加圧して噴霧した。周辺部材(フィルタ、バルブ等)の構成及び配管方法については、樋江井ら²⁾の既報に準じた。噴霧方法は、噴霧時間を連続 3 又は 5 分に設定し、水量を 1 m² 当たり 7.5 mL・min⁻¹ とした。

(2) 送風機の設置方法

施設内に水平方向の気流を発生させるため、回転翼直径 35 cm で最大風量 90 m³・min⁻¹ の送風機(すくすくファン SHC-35C-3、(株)スイデン、大阪)を用い、気流の中心軸(以下、送風軸)が高さ 1.2 m で畝の長軸と平行となるように設置した(図 1)。また、濡れ程度の調査時には、送風軸の高さを 2.1 m とする処理も設けた(後述)。

3 処理区の構成

(1) 温湿度分布に及ぼす送風の影響調査

処理区としてミスト噴霧のみのミスト区、送風のみの送風区、そしてミスト噴霧及び送風を併用するミスト+送風区を設定した。2014 年 7 月 23 日の午後、ミスト区、送風区及びミスト+送風区の順に各処理を施し、施設内の温湿度を比較した。各処理時間は 5 分とし、それぞれの処理間には前歴の影響を取り除くため、無処理の時間を 10 分ずつ設けた。換気条件は、天窓を常時開放としたが、側窓開度は 2 水準とした。試験 1 回目は側窓 50 cm 開とし、2 回目は全閉とした。このとき、施設開口部面積率(=天窓及び側窓面積÷施設表面積×100)は前者で 11.1%、後者で 8.3%であった。

(2) 濡れ程度に及ぼす送風の影響調査

送風機の設置高さを 1.2 m(低位送風)及び 2.1 m(高位送風)の 2 水準とした。処理区としてミスト区、ミスト+低位送風区及びミスト+高位送風区を設定し、7 月 24 日の午後、通路床面から高さ 30 cm に位置する畝面の濡れ程度を比較した。ミスト噴霧方法及び遮光条件は前述と同様とし、各処理時間は 3 分とした。換気条件は天窓を開放とし、外気流入による横風の干渉を排除するため、側窓は全閉とした。

4 施設内環境の測定方法

(1) 風速

風速は熱式風速計(testo-405-V1、(株)テストー、横浜)を用い、側窓全閉条件のもと、送風軸下の畝及び送風軸から 1.8 m 離れた畝(以下、隣接した畝)において調査した。前者では送風機からの距離 2、5、10 及び 14 m 地点とし、後者では前者の各測定地点から送風軸との垂線上に位置する 4 地点(送風機からの正味距離 2.7、5.3、10.2 及び 14.1 m)とした。各地点では、それぞれ高さ 0.6、1.2 及び 2.4 m の 3 点で測定した。なお、風速測定時はミストを噴霧しなかった。

(2) 温湿度

施設内の温湿度は、自作の通風筒内に設置した温湿度記録計(MR6662、(株)チノー、東京)を用い、1 分ごとに通風条件(風速 4~5 m・s⁻¹)で測定した。温湿度の測定場所は送風軸下の畝上とし、送風機からの距離 5 及び 12 m 地点において、それぞれ高さ 1、2 及び 3 m の 3 点で測定した。外気の温湿度は、施設外において同様の通

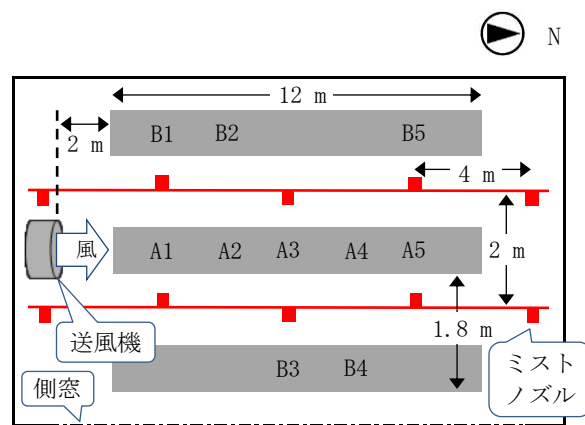


図1 ミスト噴霧下の濡れ程度調査における感水紙の設置場所

A:送風軸下の畝、B:隣接した畝
奇数:ノズル前、偶数:ノズル間

風筒を高さ 2 m に設置して測定した。

(3) 日射量

日射量は日射計(MS-601、英弘精機(株)、東京)を用い、施設外の高さ 1.2 m で全天日射を 2 分ごとに測定した。

5 濡れ程度の測定方法

濡れ程度の測定には、感水紙(26 mm×76 mm、シンジエンタジャパン(株)、東京)を用い、受感面を水平上向きに設置した。設置場所は送風軸下にある畝の表面中央部及び隣接した畝の表面中央部とし、それぞれミストのノズル噴射軸下(以下、ノズル前)に 3 か所、ノズルとノズルとの中間(以下、ノズル間)に 2 か所とした(図 1)。なお、ノズル噴射軸は、畝の長軸と直角方向で仰角 0°(水平)とした。畝の表面はマルチフィルムを用いて被覆した。感水紙はイメージスキャナ(GT-9800F、セイコーエプソン(株)、長野)により画像データ化し、感水紙被覆面積率測定ソフトウェア⁵⁾(農研機構)を用いて解析した。

結果及び考察

1 送風機からの距離と畝上の風速

畝上の風速を表 1 に示す。無処理のとき、高さ 0.6~2.4 m で平均 0.1 m・s⁻¹ 程度であった。一方、送風処理時には、送風軸下の畝はもとより、隣接した畝においても無処理に比べて風速が増加した。送風軸下の畝において送風軸と同じ高さ(1.2 m)で測定した結果、送風機からの距離が 2 m 地点で 4.8 m・s⁻¹、14 m 地点で 0.7 m・s⁻¹ を示した。隣接した畝上においても平均 0.2~0.3 m・s⁻¹ 程度の風速が確保された。一般に循環扇で生じる噴流範囲は約 25° の領域とされるが⁶⁾、本試験でも、気流は送風機から円錐状に広がっているものと推察された。

表1 送風機からの距離と畝上の風速¹⁾

測定 高さ	送風機 ²⁾ からの距離別風速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)										無処理時の畝上 ⁴⁾ 風速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	
	送風軸下の畝					隣接した畝 ³⁾					Min. - Max.	平均
	2 m	5 m	10 m	14 m	平均	2.7 m	5.3 m	10.2 m	14.1 m	平均		
2.4 m	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.02 - 0.11	0.1
1.2 m	4.8	2.2	1.1	0.7	2.2	0.1	0.4	0.4	0.1	0.2	0.07 - 0.33	0.1
0.6 m	0.1	0.7	0.9	0.7	0.6	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.04 - 0.26	0.1

1) 条件は天窗を開放、側窓を全閉、遮光カーテンを全面展張とした。 2) 送風軸を高さ 2.1 m に設置した。

3) 送風軸下の畝から送風軸と平行に 1.8 m 離れた畝 4) 高さ別に 2 畝上の計 8 地点で測定して平均値を算出した。

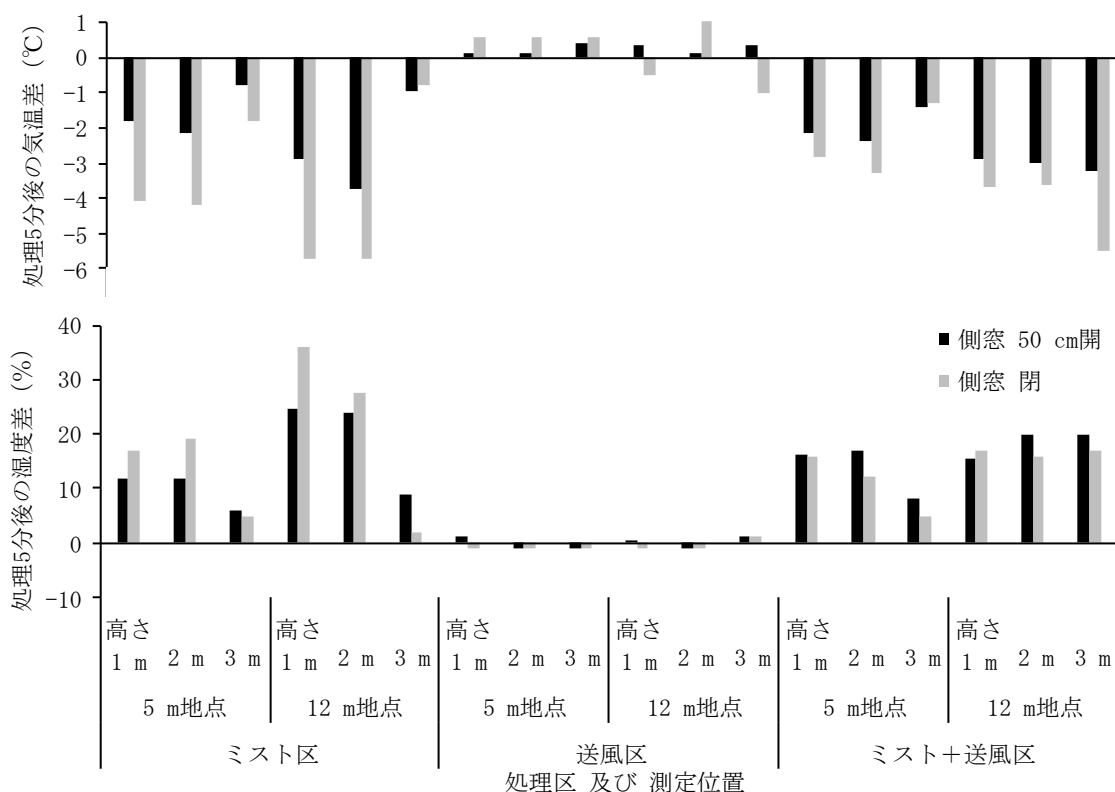


図2 処理開始から 5 分後の温湿度変化(送風軸下の畝)

気温差 又は 湿度差 = 処理開始時の温湿度 - 処理 5 分後の温湿度

外気条件 : 側窓 50 cm 開時 33~34°C・55~59%・平均風速 3.4~4.4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ・風向 NW

側窓閉時 34~35°C・51~54%

2 施設内の温湿度分布に及ぼす送風の影響

処理日は曇天で、側窓 50 cm 開時 (13:00~14:00) 及び全閉時 (14:30~15:30) の日射量は 454~519 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 及び 303~435 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ で推移し、それぞれの処理期間内に急変はみられなかった。各処理開始から 5 分後の温湿度変化を図 2 に示す。ミスト区では、側窓の開度条件、測定地点 (水平方向) 及び測定高さ (垂直方向) ごとに温湿度変化のばらつきが大きかった。気温低下及び湿度上昇は、最大 5.7°C 及び 36% を示した。一方、ミスト + 送風区では、側窓開度、測定地点及び高さによる温湿度変化のばらつきがミスト区に比べて小さくなる傾向がみられ、気温低下及び湿度上昇は最大 5.5°C 及び 20% を示した。な

お、送風区の温湿度変化は、いずれも僅かであった。Toida らの上方拡散法では、細霧の蒸発効率 60% を 95% 以上に高め、より広い空間で蒸発させられるとしている^{4, 7)}。本研究は水平方向に送風したが、風速が増した空間では、これと同様な効果が生じているものと考えられる。なお、5 m 地点では、ミスト + 送風区においても垂直方向の温湿度むらは軽減されなかった。この原因は、表 1 に示したように、送風による風速増加が 5 m 地点の高さ 3 m 付近で少なかったためと推測される。

3 濡れ軽減に及ぼす送風の影響

連続噴霧 3 分後の感水紙における濡れた部分の面積

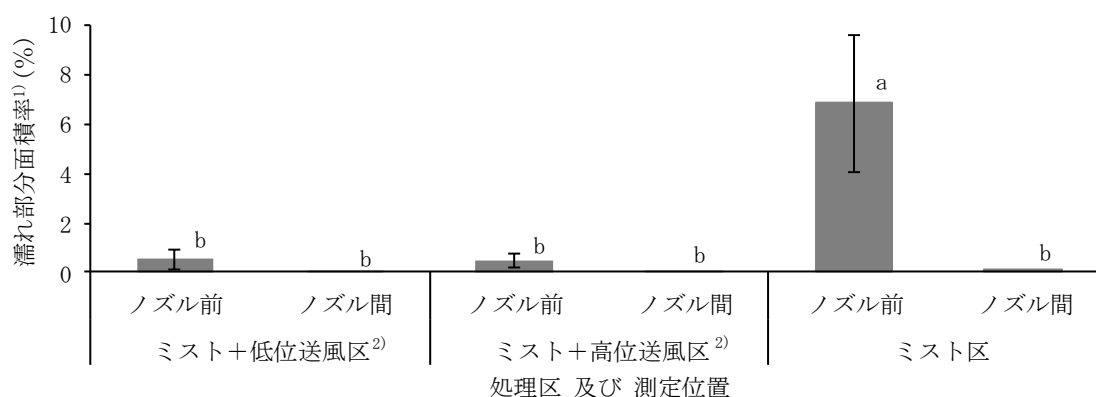


図3 ミスト噴霧時の送風が濡れ軽減に及ぼす影響

1) 感水紙の濡れ部分面積率=濡れた斑点部分の全面積÷感水紙の面積×100

2) 低位送風：送風軸の高さ 1.2 m、高位送風：送風軸の高さ 2.1 m

Tukey-Kramer 検定により異なる英字間に 5%水準で有意差あり

図中の縦棒は標準誤差、ノズル前 n=6、ノズル間 n=4

を集計した濡れ部分面積率(=濡れた斑点部分の全面積÷感水紙面積×100)を図3に示す。送風機の高さ 1.2 及び 2.1 m(それぞれノズルより下方 1.4 及び 0.5 m)ともに同様の傾向がみられた。ミスト区では、ノズル前とノズル間とで濡れ程度に差異が認められた。一方、ミスト+低位送風区及びミスト+高位送風区では、ノズルと感水紙との位置関係に伴う濡れの差は認められず、濡れ程度もミスト区に比べて一様に少なかった。畔柳ら⁸⁾は、高湿度環境下でも $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の送風処理により、葉面に付着した水の蒸発が促進されることを室内実験で確認している。このことから、水平方向の送風は落下中のミスト粒子に加えて、落下後の蒸発促進にも有効と考えられる。なお、送風機近傍に位置したノズルからのミスト粒子は送風機の表面及び回転翼に付着して結露を生じさせたため、送風機の配置には検討を要する。

4 送風併用によるミストの効果的利用の可能性

樋江井らは、風速 $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の自然換気下において、高性能な超微粒ミストであれば温湿度の上下変動を小さくし、かつ植物体を濡らさずに利用できることを既に報告した²⁾。しかし、普及しているミストノズルを利用した場合、自然換気下での安定した温湿度制御及び濡れ回避の両立は容易でない。本研究ではその対策として、送風による空気の流動が施設内における水平及び垂直方向の温湿度差を小さくするとともに、濡れ軽減に効果を示すことを明らかにした。送風の併用は、ミストの効果的な利用に繋がるものと考えられる。

謝辞：本研究の遂行に当たり、JAあいち経済連の須原健氏には試験装置の設置及び各種調査等で多大なるご協力

を頂いたので、ここに感謝の意を表する。

引用文献

1. 愛知県農業総合試験場. ミストを使った高温対策技術を開発. 農業の新技术. No.100(2012)
2. 樋江井清隆, 伊藤緑, 番喜宏, 大藪哲也. 自然換気下のトマト施設栽培において昇温抑制に及ぼす超微粒ミスト噴霧及び遮光の併用効果. 愛知農総試研報. 47, 41-49(2015)
3. 林真紀夫. 五訂 施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京. p.116-157(2003)
4. Toida, H., T. Kozai, K. Ohyama and Handarto. Enhancing fog evaporation rate using an upward air stream to improve greenhouse cooling performance. Biosystems Engineering SE (Structures and environment). 93(2), 205-211 (2006)
5. 窪田陽介, 白井善彦, 林和信, 水上智道, 宮原佳彦, 大里大, 中野和弘. 感水紙の葉液付着液斑被覆面積率を簡易かつ高精度に測定する画像処理ソフトウェアの開発. 農業情報研究. 19(2), 16-22(2010)
6. 日本施設園芸協会編. 施設園芸・植物工場ハンドブック. 農山漁村文化協会. 東京. p.206-208(2015)
7. 古在豊樹, 大山克己. 園芸施設の周年利用推進のための環境制御と苗生産[1]. 農業及び園芸. 83(2), 286-291(2008)
8. 畔柳武司, 川嶋浩樹, 木下貴文. 送風処理が高湿度環境下のトマト葉面の濡れ状態に及ぼす影響. 園学研 10別1, 115(2011)