

循環扇を用いた送風処理が促成トマトの病害発生と生育・収量に及ぼす影響

松浦昌平・星野 滋・川口岳芳

キーワード：促成トマト，循環扇，送風，灰色かび病，葉かび病

広島県島しょ部地帯の促成トマト栽培では、4～5月に灰色かび病 (*Botrytis cinerea* Persoon), 葉かび病 (*Fulvia fulva* Ciferri) などの好湿性病害が急増し問題となる。近年、薬剤耐性菌の出現 (古谷, 1984) や安全性の高い農作物生産への需要から、農薬のみに依存しない病害防除技術の開発が急務となっている。これまで、施設園芸分野において種々の吸湿性、透湿性資材による施設内湿度低減や病害抑制効果が検討されている。黒住・川島 (1985) は、不織布やPVA (ポリビニルアルコール) フィルムなどの透湿性資材を内張りにすると、内張り外への水分透過により、霧発生が軽減されると報告している。また、ハウス内に敷きわらやフィルムマルチを行うことにより、地表面からの水蒸気発生が抑制されることで、施設内の湿度が低下し、灰色かび病、べと病などの好湿性病害の発生が抑制されることが明らかにされている (金磯・山本, 1981; 古在ら, 1985)。これらの諸技術は、生産現場で既に実用化されている。

しかし、循環扇を用いた送風が促成トマトを含む野菜・花き類の好湿性病害に及ぼす影響を詳細に調査した事例はほとんどない。本実験では、循環扇を用いた施設内での送風が促成トマト栽培におけるトマト群落内温湿度、灰色かび病、葉かび病の発生及びトマトの生育・収量に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1. 循環扇送風がトマト群落内の風速に及ぼす影響

県立農業技術センター内の東西方向に並設 (間隔3.8 m) した丸屋根型鉄骨ハウス (1 a, 幅6 m, 長さ15 m, 高さ3.6 m, 内張りの高さ2.8 m, 沖積土) 2棟を用いて実験を行った。トマト‘ハウス桃太郎’を2001年9月14日に播種し、11月2日に定植した。トマト苗は、4畝で、畝間120 cm, 株間40 cmの1条で植え付け、畝面から2 m

の高さで折り曲げ、11段果房の上葉を3枚残し摘心した。元肥として、バーク堆肥を200 kg/a, 窒素, リン酸, カリを2.0, 1.7, 2.0 kg/aの割合で施用した。暖房機 (KA-321, ネポン社) の温度センサーはハウス中央部, 高さ1 mに設置し、施設内の最低夜温は12℃とした。冬季晴天時の日中はハウスの側窓を開放し、内張りは天候に関わらず日中は開放した。4月以降は内張りを終日開放し、夜間は側窓を閉めて管理した。灌水量は、流量メーターを利用し、両区とも1日あたり45～49 L/aになるようにした。収穫し終えた果房より下の複葉は果房直下の1枝を残して摘除した。なお、以上の耕種概要は実験2～5と共通したものである。

施設の入口 (南側) から2 m, 高さ2.2 mに循環扇 (ボルナド・エアー・サーキュレーター, 280B, 羽根径: 25 cm, 山本産業株式会社) を1基設置し、送風区とした (Fig. 1)。2001年12月13日から循環扇の回転速度を高速 (78 W, 1375 rpm) に設定して、トマト群落上に水平方向で終日送風した。なお、循環扇を設置しない施設を無処理区とした。

2002年2月8日の午後 (曇天) に内張りし、側窓を閉め、循環扇から5～8 mのトマト群落上層部 (1.5 m) お

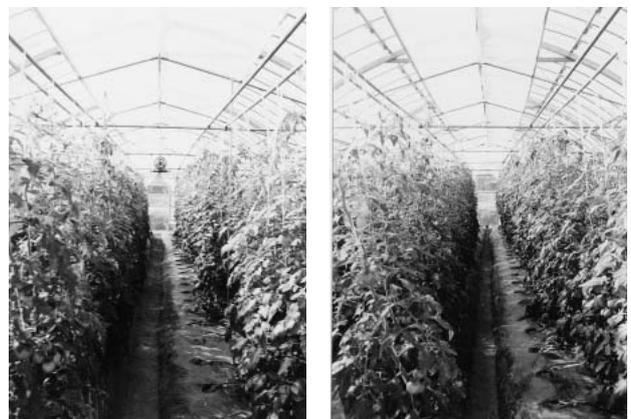


Fig. 1 Circulation fan equipped to provide horizontal air flow in vinyl-house of tomato forcing culture.

Left: horizontal air flow, right: untreated control

Table 1 Effect of horizontal air flow by circulation fan in vinyl-house of tomato forcing culture on air flow velocity, humidity and temperature in tomato canopy in winter ^{a)}

Aerial condition in tomato canopy	Horizontal air flow	Untreated control
Air flow velocity and direction in upper layer of plant(m/sec) ^{b)}	0.5~1.3, fair wind	<0.1
Air flow velocity and direction in lower layer of plant(m/sec)	0.1~0.2, counter wind	<0.1
Average temperature in upper layer of plant (°C)	16.3	17.3
Average temperature in lower layer of plant (°C)	15.5	14.5
Temperature gradient between upper and lower(°C)	0.8	2.8
Average relative humidity in upper layer of plant (%)	87.8	84.7
Average relative humidity in lower layer of plant (%)	87.7	88.3
Humidity gradient between upper and lower(%)	0.1	3.6

^{a)} Investigations were carried out from early January to early February when heater operated in vinyl-house with internal thermal screen

^{b)} Air flow velocity was measured 5-8 m apart from circulation fan

Table 2 Effect of horizontal air flow by circulation fan in vinyl-house of tomato forcing culture on air flow velocity, humidity and temperature in tomato canopy in spring^{a)}

Aerial condition in tomato canopy	Horizontal air flow	Untreated control
Air flow velocity in upper layer of plant(m/sec) ^{b)}	0.3~0.9	<0.1
Average temperature in upper layer of plant (°C)	19.8	19.9
Average relative humidity in upper layer of plant (%)	84.8	85.3

^{a)} Investigations were carried out from late April to late May when heater stopped in vinyl-house without internal thermal screen

^{b)} Air flow velocity was measured 5-8 m apart from circulation fan

よび下層部 (0.3m) に熱線式風速計 (S101, 日吉電気製作所) のセンサーを設置し, 1分間隔で10回, 風速を測定した。また, 同時に線香(山水香, 日本香堂)を焚き, 煙の方向により風向を観察した。一方, 5月16日の午後(曇天)に, 内張りのみ開放した以外は冬季と同様の方法で群落上層部内の風速を計測した。

2. 循環扇送風がトマト群落内の温湿度に及ぼす影響

2002年1月上旬~2月上旬に両施設内の循環扇から5mの位置(無処理区は相当する位置)のトマト群落の上層部と下層部に自記温湿度計(カード・ロガー MR6661, チノー社)を設置し, 群落内温湿度を1時間おきに計測した。2002年4月下旬~5月下旬は, 下葉は摘葉しているため, 上層部のみ温湿度を1時間おきに計測した。

3. 循環扇送風が付着水滴の蒸発量に及ぼす影響

循環扇から5~8mの群落上層部内3ヶ所にプラスチック製プレート(チップ・タブ, エッペンドルフ社)を水平に設置した。2月8日の午後(曇天)に, 各プレート上の3ヶ所に蒸留水100 μ lを滴下し, 内張り, 側窓を閉め, 1時間後に回収した水滴を計量した。無処理区も同様に調査した。

5月16日の午前6~7時(曇天)に, 循環扇から5~8mの群落上層部から任意に10果を採取後, 果実表面の水滴をキムワイプでふき取り, 直ちにビニル袋内に密閉した。キムワイプの増加重量から果実あたりの付着水滴重量を計量した。各果実は半径と容積から表面積を算出し, トマト果実表面の単位面積あたりの付着水滴量を算出した。無処理区も同様に調査した。

4. 循環扇送風が灰色かび病および葉かび病の発生量に及ぼす影響

4月8日に両施設中央の株の群落内にポテトデキストロース寒天平板培地(日水製薬社)上で培養した灰色かび病菌(薬剤抵抗性型:RSS)接種源を静置した。葉かび病は自然発生とした。接種源の静置後, 約10日間隔で, 循環扇から5~9mの中央2畝の指定した20株の総側枝数及び灰色かび病, 葉かび病が発病した複葉数を株単位で計数した。無処理区も同様に調査した。また, 最終調査時(5月22日)に, 各区20株の全果実数及び灰色かび病発病果実数を計数した。最終調査日の発病複葉率はMann-Whitneyの検定(5%有意水準)により統計処理した。

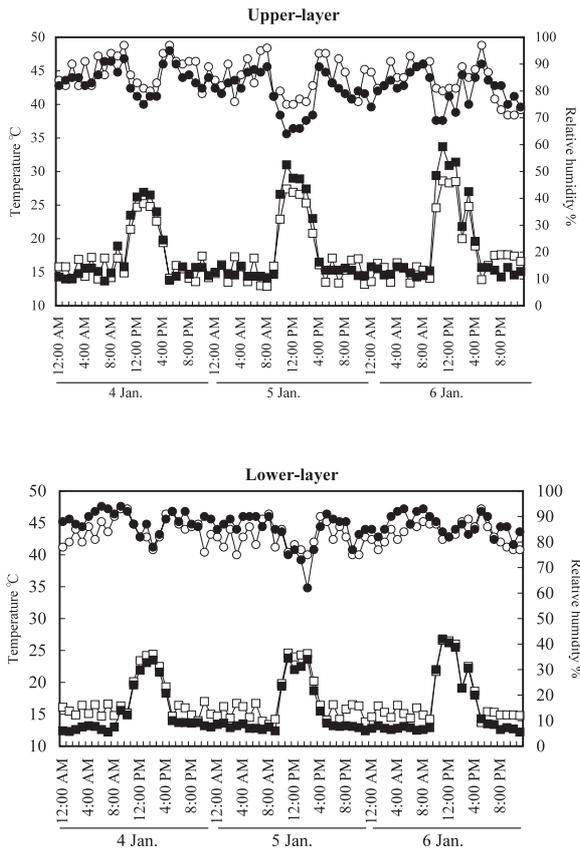


Fig. 2 Effect of horizontal air flow by circulation fan on temperature and relative humidity in upper and lower-layer of tomato canopy in winter.

□: Temperature, horizontal air flow, ■: Temperature, untreated control, ○: Relative humidity, horizontal air flow, ●: Relative humidity, untreated control

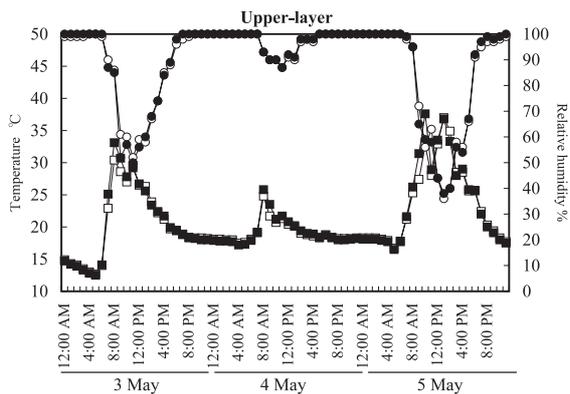


Fig. 3 Effect of horizontal air flow by circulation fan on temperature and relative humidity in upper-layer of tomato canopy in spring.

□: Temperature, horizontal air flow, ■: Temperature, untreated control, ○: Relative humidity, horizontal air flow, ●: Relative humidity, untreated control

5. 循環扇送風がトマト生育・収量に及ぼす影響

栽培期間中、約10日間隔で、各区中央2畝の指定した20株の収穫果実重量を株単位で測定した。栽培終了時に各区20株の茎長、茎重、第2, 6, 10段果房直下の茎径を計測した。各計測値は Mann-Whitney の検定(5%有意水準)により統計処理した。

結 果

1. 循環扇送風がトマト群落内の風速に及ぼす影響

1~2月の内張りを設置した状態では、循環扇から5~8mのトマト群落上層部で0.5~1.3m/sの順風が、下層部で0.1~0.2m/sの逆風が観測された(Table 1)。一方、内張りを除去した4~5月は、群落上層部で風速0.3~0.9m/sの順風が観測された(Table 2)。無処理区では1~2月の群落上下層部及び4~5月の上層部ともに風速0.1m以下であった(Table 1, 2)。

2. 循環扇送風がトマト群落内の温湿度に及ぼす影響

1~2月におけるトマト群落上層部の夜間気温は、送風区で約2~3℃の範囲で変動したが、無処理区では送風区に比べて変動幅が小さかった(Fig. 2)。群落上層部の日平均気温は送風区で16.3℃と、無処理区の17.3℃に対し約1℃低かった(Table 1)。一方、群落下層部では、上層部と同様、送風区で約2℃の範囲で変動したが、無処理区では送風区に比べて変動幅が小さかった(Fig. 2)。群落下層部の日平均気温は送風区が15.5℃と、無処理区の14.5℃に対し約1℃高かった(Table 1)。1~2月の群落上下層間の平均気温較差は無処理区の2.8℃に対し、送風区で0.8℃と小さかった(Table 1)。一方、暖房機が停止する4~5月における群落上層部の気温は送風区、無処理区ともに同等に推移し(Fig. 3)、日平均気温は送風区で19.8℃、無処理区で19.9℃とほぼ同等であった(Table 2)。

1~2月における群落上層部の夜間湿度は、送風区で無処理区より高く推移し(Fig. 2)、日平均湿度は送風区で87.8%と、無処理区の84.7%より僅かに高かった(Table 1)。一方、群落下層部の夜間湿度は送風区で無処理区より僅かに低く推移したが(Fig. 2)、日平均湿度は送風区が87.7%と、無処理区の88.3%とほぼ同等であった(Table 1)。群落上下層間の湿度較差は、無処理区の3.6%に対し、送風区では0.1%と低かった(Table 1)。4~5月における群落上層部の平均湿度は送風区、無処理区ともに同等に推移し(Fig. 3)、日平均湿度は送風区で84.8%、無処理区で85.3%とほぼ同等であった(Table 2)。

Table 3 Effect of horizontal air flow by the circulation fan on the removal of dew on plastic plates or tomato fruits

Wetting condition	Horizontal air flow	Untreated control
Winter(heater operates)		
Water transpired from dew on plate ($\mu\text{l/h}$) ^{a)}	70.8 \pm 0.5 ^{b)}	42.3 \pm 2.6
Spring(heater stops)		
Dew on fruit in morning (mg/cm^2)	0.80 \pm 0.32	2.52 \pm 0.86

a) Quantity of water transpired from 100 μl droplet on the plastic plates for one hour

b) Values are mean \pm standard error for the replications

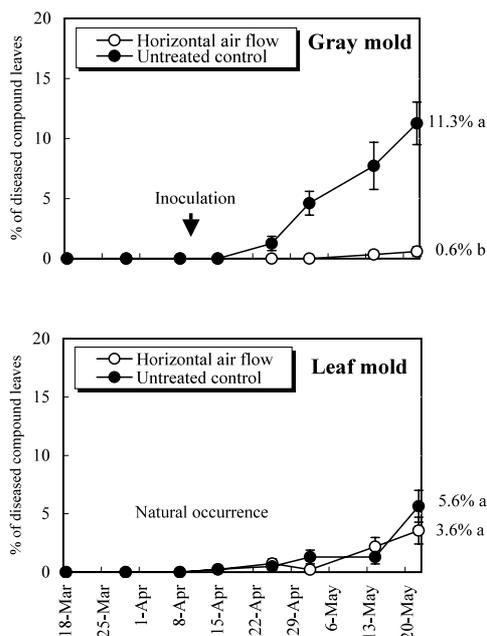


Fig. 4 Effects of horizontal air flow by circulation fan on the incidence of gray mold and leaf mold in vinyl-house of tomato forcing culture.

Percentage of diseased compound leaves at final assessment that are followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$) according to Mann-Whitney U-test. Vertical bars indicate standard error

3. 循環扇送風が付着水滴の蒸発量に及ぼす影響

暖房機が作動する1～2月におけるトマト群落内プラスチックプレート上の水滴の時間当たり蒸発量は、送風区で70.8 $\mu\text{l/h}$ と無処理区の42.3 $\mu\text{l/h}$ に対して約1.7倍であった (Table 3)。また、暖房機が停止する4～5月早朝におけるトマト果実の平均付着水滴量は送風区では0.80 mg/cm^2 と、無処理区の2.52 mg/cm^2 に対して約30%であった (Table 3)。

4. 循環扇送風が灰色かび病および葉かび病の発生量に及ぼす影響

2003年4月下旬以降、最低外気温は約12℃と平年より

高く推移し、施設暖房の停止頻度が増加した。また、5月前半は降雨量が平年より多く、好湿性病害の発生しやすい気象条件であった。

無処理区における灰色かび病の初発生は4月25日に認められ、その後、病勢は進展し、最終調査時(5月22日)には発病複葉率が11.3%と中程度の発生になった。一方、送風区では約20日遅れて5月14日に初発生したが、その後の病勢進展は極めて緩慢で、最終調査時の発病複葉率は0.6%と少なく、処理区間に有意差が認められた ($P = 0.00001$) (Fig. 4)。また、無処理区の最終発病果実率は1.7%に対し、送風区では0%であった。

一方、葉かび病の初発生は両区ともに、4月15日に確認され、その後、いずれの処理区とも同様に病勢進展し、最終調査時(5月22日)には送風区が3.6%、無処理区が5.6%と処理区間に有意差は認められなかった ($P = 0.2559$) (Fig. 4)。

5. 循環扇送風がトマト生育・収量に及ぼす影響

各処理区のトマトの生育を Table 4 に示した。茎長は、送風区で272.2cm、無処理区で284.4cmと処理区間に有意差が認められ ($P = 0.0055$)、送風区での伸長抑制が確認された。茎重は送風区で503.0g、無処理区で424.7gと処理区間に有意差が認められた ($P = 0.0038$)。一方、茎径は、第2段果房直下において、送風区で15.0mm、無処理区で13.9mmと処理区間に有意差が認められたが ($P = 0.0084$)、第6、10段果房直下では処理区間に有意差は認められなかった ($P = 0.2085$, $P = 0.2448$)。

各処理区における月別収量を Fig. 5 に示した。送風区では第1段果房の収穫開始日が無処理区より約5日早まり、1月の総収量は送風区で62.2kg/aと無処理区の36.9kg/aに比べて多く、処理区間に有意差が認められた ($P = 0.0047$)。一方、2月以降の月別総収量では処理区間に有意差は認められなかった。総収量は送風区が925.6kg/a、無処理区が905.6kg/aと処理区間に有意差は認められなかった ($P = 0.9892$)。また、乱形果、空洞果、チャック果、くず果(80g以下)などの規格外果実は送風区が

Table 4 Effect of horizontal air flow by circulation fan on the growth of tomato forcing culture in vinyl-house

Treatments	stem length (cm)	stem weight (g)	stem diameter(under fruit cluster)		
			2nd fruit cluster (mm)	6th fruit cluster (mm)	10th fruit cluster (mm)
Horizontal air flow	272.2±2.7 ^{a)} a ^{b)}	503.0±19.7 a	15.0±0.2 a	13.4±0.3 a	10.3±0.7 a
Untreated control	284.4±3.4b	424.7±14.6 b	13.9±0.3 b	12.8±0.3 a	8.9±0.3 a

a) Values are mean ± standard error for the replications

b) Numbers in the same row that are followed by different letters are significantly different ($P<0.05$) according to Mann-Whitney U-test

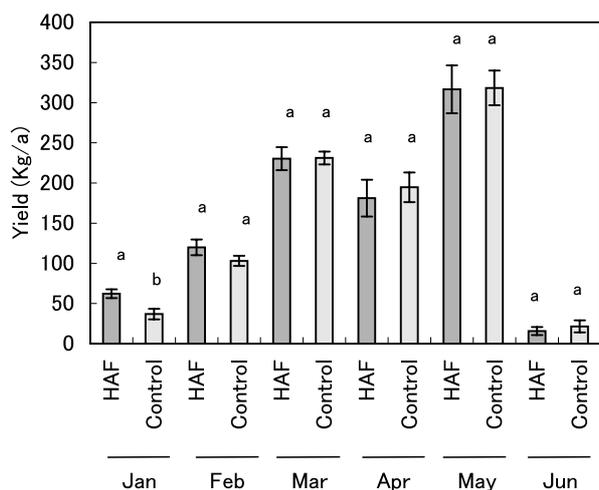


Fig. 5 Effect of horizontal air flow (HAF) by circulation fan in vinyl-house on seasonal yield of tomato forcing culture. Yields in same month that are followed by different letters are significantly different ($P<0.05$) according to Mann-Whitney U-test. Vertical bars indicate standard error

201.8kg/a, 無処理区が186.8kg/a と処理区間に有意差は認められなかった ($P=0.7353$)。

考 察

近年、食品の安全性、環境への化学汚染等の懸念から化学農薬の使用量を減らした環境保全型の防除技術が求められている。これらの要望から、化学農薬に替わりうる、拮抗微生物による生物的防除 (川根, 2000) や各種物理的防除技術が研究され、実用化されつつある。しかし、循環扇を利用した送風が病害発生へ及ぼす影響を調査した事例はほとんどなく、その効果は不明であった。

暖房機が作動し、内張りを設置した冬季 (1~2月) は、循環扇の送風により、トマト群落上層部に風速0.5~1.3mの順風が、下層部に0.1~0.2mの逆風が観測された。暖房機が作動する冬季においては、循環扇の送風により、群落上下層間の気温、湿度較差が縮小することが

判明した。循環扇送風は、暖房による高温乾燥した空気を施設内で均等化させるため、上下層間の温湿度較差を減少させたものと推察される。一方、暖房機が停止し、内張りも除去した春季 (4~5月) においては、循環扇送風により、群落上層部に風速0.3~0.9mの順風が観測されたが、群落内の温湿度への影響は確認されなかった。これは、春季の施設内の温湿度が比較的均一に分布していることによるものと推察される。以上の結果から、促成トマト施設内での循環扇送風は暖房機が作動する冬季のトマト群落内の温湿度を均等化する効果があるが、除湿効果は時期にかかわらず、ほとんど無いものと判断された。

送風により、灰色かび病の初発時期は無処理区に比べ20日程度遅れ、その後の病勢進展は著しく抑制された。一方、葉かび病は両区とも同時期に発生し、その後の病勢進展は送風区、無処理区とも同等であった。手塚ら (1983) は灰色かび病の感染行動すなわち分生子発芽には水滴が不可欠であり、夜間の湿度が高く結露時間が長いとき発生が激しくなり、その閾値として93%以上の湿度と5時間以上の連続結露時間が必要であると報告している。本実験では、送風によるトマト群落内における除湿効果はほとんど認められなかったが、プラスチックプレート上及び果実表面の付着水滴量の減少が認められたことから、送風による灰色かび病の発生抑制効果は植物体表面の付着水滴の軽減に起因するものと推察される。

一方、送風は葉かび病の発生にほとんど影響を示さなかった。我孫子・石井 (1986) はトマト葉への接種実験から、葉かび病はトマト葉表面が結露しない条件下でも空気湿度が80%以上あれば、発病すると報告している。本実験で循環扇送風が葉かび病に対して抑制効果を示さなかったのは、送風による付着水滴軽減作用が葉かび病の感染・発病には影響しなかったためと推察される。

循環扇送風により収穫開始日が約5日程度早まり、収穫初期の1月の収量が増加した。循環扇送風によりトマト群落下層部の気温が約1℃上昇したため、収穫開始期が早まったものと推察される。しかし、栽培期間を通し

た総収量に区間の有意差は認められず、送風の総収量への影響は認められなかった。一方、送風により伸長抑制、茎重の増加と茎径のわずかな増加が認められ、株がいわゆる「ズングリ」型になる傾向がみられた。植物は、接触刺激によって、生長を抑制するエチレンや内生アブシジン酸生成量の増加が引き起こされ、伸長抑制することが知られている(太田, 1983)。また、接触刺激による伸長抑制作用はトマトでも観察されている(川崎・楊, 1986)。本実験で送風によりトマトの伸長抑制が認められた要因として、風による作物体の刺激が接触刺激と同様の物理的刺激として作用した結果と推察される。

今後、本技術の実用化に向けて、大型施設における灰色かび病多発生条件下における病害抑制効果、灰色かび病抑制効果と風速及び循環扇の設置間隔との関係、さらに送風による電力コスト等を明らかにする必要がある。

摘 要

促成トマト施設内で循環扇を用いた送風がトマト群落内の温湿度、灰色かび病、葉かび病の発生及びトマトの生育・収量に及ぼす影響を小型鉄骨ハウスで調査した。

循環扇送風により群落上層に内張りのある冬季に0.5~1.3m/s、内張りのない春季に0.3~0.9m/sの風が生じた。送風による施設内空気の均等化により、冬季の群落下層部の気温が約1℃上昇した。送風による群落内湿度への影響は小さかったが、送風区の植物体表面の水滴付着量は無処理区の約30%であった。

送風区における最終調査時の灰色かび病の発病複葉率は0.6%と無処理区の11.3%に対し、著しい抑制効果が認められた。一方、葉かび病の抑制効果は認められなかった。

送風により、トマト茎長は伸長抑制され、茎径は増加する傾向が認められたが、総収量への影響は認められなかった。

以上から、促成トマト施設内の循環扇による送風は、トマト収量を減少させることなく、植物体表面の付着水滴を軽減することによって、灰色かび病の発生を抑制することが明らかとなった。

謝 辞

本実験を実施するにあたり、終始助言を頂いた房尾一宏主任研究員、施設の構築、栽培管理ならびに種々計測の補助に協力された土肥義信主任技術員、松原宏文技術員、猪野 淳技術員に感謝します。なお、本実験は課題「環境にやさしい施設果菜類の病害虫防除技術の確立(平成10~14年度)」の取り組みにより行った。

引用文献

- 我孫子和雄・石井正義. 1986. トマト葉かび病の発病に及ぼす温度並びに湿度の影響. 野菜試報. A. 14: 133-140.
- 金磯泰雄・山本 勉. 1981. 稲わら施用がハウス内の環境ならびに病害の発生に及ぼす影響. 徳島農試報. 19: 21-30.
- 川根 太. 2000. 微生物農薬(病害防除剤)の特性および開発の現状. 植物防疫. 54: 342-345.
- 川崎重治・楊 健. 1986. 接触刺激による果菜苗の徒長防止効果(第2報)トマトとキュウリについて. 農及園. 61: 64-66.
- 古在豊樹・菅 明子・奥屋 毅・渡部一郎. 1985. 敷きわら及びフィルムマルチが無暖房ハウスの夜間温湿度環境におよぼす影響. 農業気象. 40: 393-397.
- 古谷真二. 1984. 施設栽培における薬剤耐性灰色かび病菌の発生推移. 植物防疫. 38: 454-457.
- 黒住 徹・川島信彦. 1985. 園芸用ハウスにおける湿度環境改善に関する研究(第1報)被覆資材と霧の発生について. 奈良農試報. 16: 29-35.
- 太田保夫. 1983. 接触刺激による作物の生育制御法. 農及園. 58: 499-504.
- 手塚信夫・石井正義・渡辺康正. 1983. 施設栽培におけるトマト灰色かび病の発生に及ぼす空気湿度の影響. 野菜試報 A. 11: 105-111.

Effect of horizontal air flow by circulation fan on the disease incidence, growth and yield of tomato forcing culture in vinyl-house

Shohei MATSUURA, Shigeru HOSHINO and Takeyoshi KAWAGUCHI

Summary

The effect of horizontal air flow by circulation fan in the tomato forcing culture on temperature and humidity in tomato canopy, disease incidence, growth and yield was investigated using two vinyl-houses.

In the vinyl-house equipped with circulation fan, air flow velocity of 0.5-1.3 m/s in canopy was observed in vinyl-house with internal thermal screen in winter. Air flow velocity of 0.3-0.9 m/s was observed in vinyl-house absence of internal thermal screen in spring.

The differences of temperature and humidity between upper and lower layer of tomato canopy were reduced by mixing the air in the vinyl-house equipped with circulation fan.

Although dehumidifying effect by air flow was not observed, the dew of the plant surface reduced to approximately 30% by using circulation fan.

In the untreated vinyl house, percentage of diseased compound leaves of gray mold (*Botrytis cinerea*) increased to 11.3% at final assessment. In the vinyl-house equipped with circulation fan, percentage of diseased compound leaves remained very low, with only 0.6%. Control effect against leaf mold (*Fulvia fulva*) by air flow was not observed.

Yields in early period of cultivation slightly increased by horizontal air flow because of the temperature rise in lower layer of plants. Although tomato stem length was shortend and the stem diameter tended to increase by air flow, no effect on total yield was recognized.

These our findings suggest that horizontal air flow by circulation fan in vinyl-house suppressed incidence of gray mold by preventing the dew condensation of the plant surface in the forcing tomato without adverse effect on the tomato yield and quality.

Key words : tomato forcing culture, circulation fan, horizontal air flow, gray mold, leaf mold