

外気導入型細霧冷房が夏季ハウス内環境およびミニトマトの生育・収量に及ぼす影響

東 卓弥・西森裕夫¹・神谷 桂²・奥野憲治³

和歌山県農業試験場

Influence of Mist Cooling-Forced Ventilation on Air Temperature and Humidity in the Greenhouse and Growth and Yield of Mini-tomatoes in Summer

Takaya Azuma, Hiroo Nishimori, Katsura Kamiya

Wakayama Agricultural Experiment Station

緒 言

和歌山県のトマト産地では、トマト黄化葉巻病の病原ウイルス（TYLCV：Tomato yellow leaf curl virus）を媒介するタバココナジラミのハウス内への侵入を防ぐため、ハウス開口部に0.4mm目合いの防虫ネット展張が行われている。しかし、防虫ネットの展張は、ハウス内の換気効率低下により、ハウス内温度を上昇させ、夏季のハウス内では40℃を越す高温に達し、トマト類の生育や果実品質への悪影響が問題となっている。

日高地方を中心とするミニトマト産地では促成長期作型（8月定植，10月～7月収穫）が、紀北地域のトマト産地では半促成作型（2月定植，5月～7月収穫）と抑制作型（8月定植，11月～1月収穫）による年2作体系が一般的である。これら作型では定植から収穫前期の8月中旬～10月中旬頃，収穫中期～後期の5月中旬頃～7月上旬までの間，高温の影響を受ける。

ハウス内の温度低下技術として，水の気化熱を利用した細霧冷房技術（林ら1998，山本ら1977，片岡ら2001）があり，林（2003）は細霧冷房の温度低下効果は水の蒸発に左右されることから，細霧冷房時には換気装置を併用する必要があると報告している。県内のトマト栽培ハウスには通常妻面上部に排出型換気扇1機と吸気口が装備されているが，防虫ネット展張で換気効率が低下することで，十分な換気量が得られないと考えられる。一方で，防虫ネットを展張したハウスでも外気導入型ファンは換気能力が高く，昇温抑制効果が高いことを井手ら（2007）が報告している。

そこで本研究では，ハウス内に外気を導入することで換気効率を高める外気導入型ファンと，排出型換気扇を細霧冷房時に併用した外気導入型細霧冷房システムを構築し，本システムの稼働がハウス内環境およびミニトマトに及ぼす影響について調べた。

¹現在：農林水産総務課

²現在：和歌山県農業大学校

³現在：商工観光労働部観光交流課

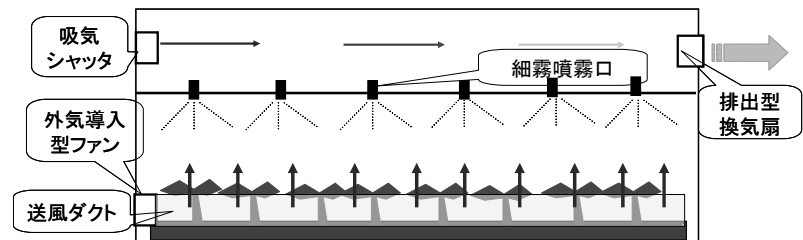
材料および方法

1. 細霧冷房と換気がハウス内温度、湿度に及ぼす影響（実験1）

調査は2009年に行った。農業試験場（紀の川市）内の同型のビニールハウス2棟（間口7.5m×長さ26m×棟高3.6m）で、側窓は両側を幅約70cm解放、天窗は全開（床面積に対する天窗の開口部面積約30%）とし、開口部には0.4mm目合いの防虫ネットを展張した。ハウス内には、畝幅170cm、幅26cmの栽培ベッドにミニトマト‘キャロル7’を8月18日に定植した。

細霧冷房と換気装置を稼働させる「処理区」と、もう1棟は細霧冷房や換気装置を設置しない「対照区」を設置した。細霧冷房と組み合わせる換気装置は、①排出型換気扇、②外気導入型ファン、③排出型換気扇＋外気導入型ファン、④換気装置なし（細霧冷房のみ稼働）とした。

換気装置は第1図のとおり、排出型換気扇は妻面上部に設置し、排出型換気扇稼働時には反対側妻面の吸気シャッターが開くようにした。外気導入型ファンは妻面下部に1.8m離して2台設置し、それぞれに直径50cmのダクトを接続し、



第1図 細霧冷房装置に組み合わせる換気装置の配置位置

50cm間隔に直径5cmの穴を上向きに開け、ハウス全体に下から上に外気を送風した。換気装置の能力は、排出型換気扇が風量290m³/分、外気導入型ファンが最大風量50m³/分である。

ビニールハウス内に設置した細霧冷房装置は、ヤマホ工業㈱のヤマホキリハウスシステムを用い、2.3mの高さに平行して2本給水管を配管し、噴霧口を2m間隔で配置した。噴出量は噴霧口1個当たり約350ml/分（圧力2MPaで噴霧）とした。平均霧粒子径は約40μmある（メーカー公表値）。

以下では、排出型換気扇と外気導入型ファンを併用した細霧冷房システムを「外気導入型細霧冷房」と呼ぶ。

2009年8月28日14時40分～15時20分に10分間ずつ、排出型換気扇、外気導入型ファン、換気装置なし、排出型換気扇＋外気導入型ファンの順に処理を行い、この間10秒ごとにハウス内気温を60回測定した。細霧は試験中20秒間噴霧、休止1分を繰り返した。処理区と対照区ともに乾球温度、湿球温度を調査し、相対湿度を算出した。また、同時に外気温も調査した。なお試験時のミニトマトは、第1果房開花期で茎長65cm程度であった。

2. 外気導入型細霧冷房がミニトマトの栽培環境および生育・収量に及ぼす影響（実験2）

調査は2010年および2012年に行った。ハウス開口部に0.4mm目の防虫ネットを展張した同型ハウス（ハウス規模およびハウス内設備は実験1と同じ）を2棟使用し、外気導入型細霧冷房を設置した「処理区」と、ハウス北妻面の排出型換気扇と南妻面の吸気口のみ「対照区」を設置した。処理区では、ミニトマト栽培期間中、8時30分～16時の間、細霧冷房および換気装置を自動制御で稼働した。細霧冷房の制御は、ハウス内の温度と湿度により稼働制御を行い（第1表）、噴霧時間および停止時間はハウス内に導入する外気の湿度による可変とした（第2表）。

ミニトマトの品種は、‘キャロル7’を用い、半促成作型および抑制作型で栽培した（第3表）。栽培様式は実験1と同じ栽培ベッドを用いた隔離床での養液土耕栽培で、株間20cmの1条植えとした。給液は、養液土耕2号（14-8-25）を最高EC1.2mS/cmに調整し、株当たり360～600ml/日とし

た。整枝は主枝1本仕立てで2条振り分け誘引とした。

処理区、対照区ともに1区あたり2ヶ所で10株ずつ、計20株について葉長（上位第7葉について調査）、茎長、収量、裂果や尻腐れ果の発生の有無、果実糖度（果実全体を潰し、果汁のBrix値を測定）について調査した。また、各ハウスで1ヶ所、ハウス中央部の地上150cmで、ロガー付き温湿度センサーで温湿度を測定した。

第1表 細霧冷房の稼働・停止の制御(○:稼働、×:停止)

ハウス内温度	ハウス内湿度		
	60%未満	60%以上～70%未満	70%以上
28℃以上	○	○ ^y	×
28℃未満～27℃以上	○ ^x	○ ^z	×
27℃未満	×	×	×

x:28℃以上から温度低下時には細霧冷房が稼働し、27℃未満から温度上昇時は停止

y:60%未満から湿度上昇時には細霧冷房が稼働し、70%以上から湿度低下時は停止

z:温度、湿度いずれかの稼働条件で稼働、いずれかの停止条件に達した時に停止

第2表 細霧冷房稼働中の噴霧時間・停止時間の制御

外気湿度	噴霧動作	
0～30%	噴霧40秒	停止60秒
30～40%	噴霧30秒	停止60秒
40～60%	噴霧20秒	停止60秒
60%以上	噴霧停止	

第3表 作型別・年別の耕種概要

作型	年次	定植日	収穫期間(収量調査期間)		収穫段数
半促成	2010年	2010年2月12日	2010年4月12日	～ 2010年7月5日	11
	2012年	2012年2月21日	2012年5月7日	～ 2012年7月5日	10
抑制	2010年	2010年8月11日	2010年9月27日	～ 2010年11月30日	9
	2012年	2012年8月28日	2012年10月12日	～ 2012年11月30日	8

注) 畝幅、栽培ベッド、株間、条数、整枝方法、給液管理は、それぞれの年度・作型ともに本文のとおり。

結果

1. 細霧冷房と換気がハウス内温度、湿度に及ぼす影響（実験1）

結果を第4表に示した。細霧冷房と換気装置の組み合わせでは、どの換気装置も換気装置なしに比べて対照区との差でみたハウス内の温度低下効果が向上した。最も温度低下効果がみられたのは、排出型換気扇と外気導入型ファンとの併用で、試験時間10分間のうち10秒ごとの測定値の平均は、対照ハウスに比べて6.5℃、外気温に比べて2.6℃、換気装置なしに比べて1.0℃低くなった。次いで、排出型換気扇、外気導入型ファンの順であった。また、処理区の相対湿度は、69.9%～79.1%で、すべての換気方法で細霧冷房を稼働しない対照区よりも高くなった。

第4表 細霧冷房と組み合わせる異なる換気装置が温度と相対湿度に及ぼす影響

処理方法 (換気装置の種類)	処理区 温度 (℃)	対照区 温度 (℃)	対照区との 差(℃)	外気温 (℃)	処理区 湿度 (RH%)	対照区 湿度 (RH%)	対照区との 差(RH%)
排出型換気扇	30.6	36.7	-6.1	32.5	69.6	51.2	18.4
外気導入型ファン	30.2	36.1	-5.9	32.3	79.1	52.4	26.7
排出型換気扇+外気導入型ファン	30.5	37.0	-6.5	33.1	70.4	51.1	19.3
換気装置なし(細霧冷房のみ稼働)	30.8	36.3	-5.5	32.4	71.9	52.3	19.6

注) 調査日:2009年8月28日(晴れ)

数値は試験時間(10分間)中の10秒ごとの測定値の平均値

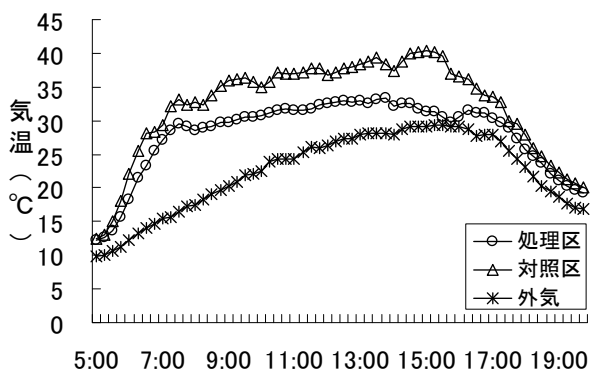
処理区では、試験中は細霧冷房装置を可動。

対照区では、処理区での各処理と同時刻に温度と湿度を測定。

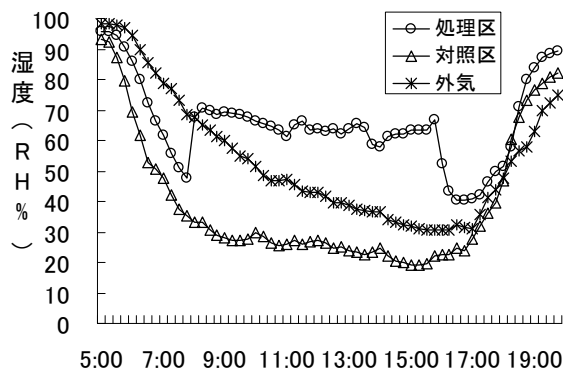
2. 外気導入型細霧冷房がミニトマトの栽培環境および生育・収量に及ぼす影響（実験2）

1) ハウス内環境

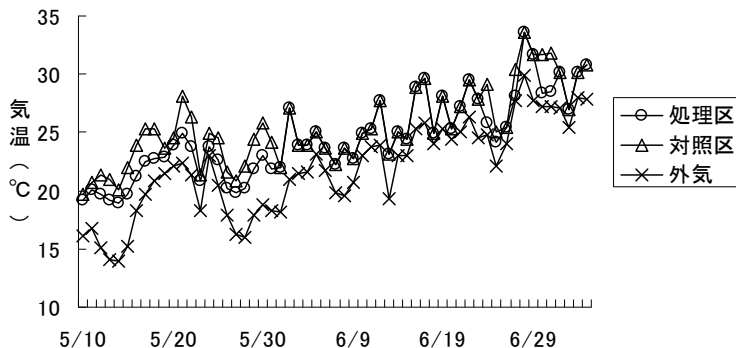
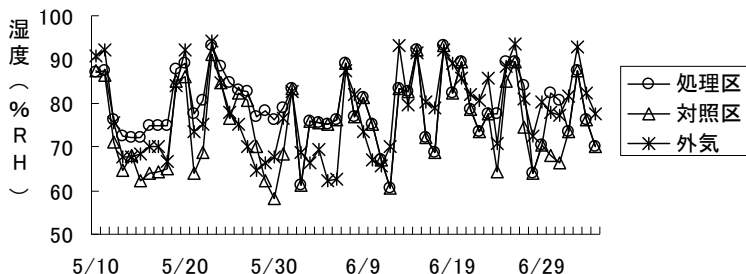
晴天日中には、日の出とともに外気温は上昇し15時頃に最高気温を記録した。対照区の気温も外気温と同様に推移し、最高気温は40.4℃まで達した。これに対して処理区では、稼働中の気温は29~33℃で推移した。処理区と対照区の気温較差は最大で約8℃であった。また、ハウス内の相対湿度は、処理区、対照区ともに気温の上昇とともに低下するが、対照区で日中最低約20%まで低下したのに対して、処理区での稼働中の湿度は約60~70%で推移した。細霧冷房が停止する16時以降は、約40%まで低下した後、対照区と同様に推移した（第2図、第3図）。ミニトマト栽培期間中の日平均温湿度の推移は、時期や天候により異なり、5月には処理区で対照区よりも気温が0.5~3℃低く、湿度が0~15%高く推移したが、梅雨期の6月以降は両区で温度、湿度ともにほぼ同程度で推移した（第4図）。



第2図 外気導入型細霧冷房の有無とハウス内温度の日変化
注)調査日:2010年5月30日



第3図 外気導入型細霧冷房の有無とハウス内湿度の日変化
注)調査日:2010年5月30日



第4図 外気導入型細霧冷房の有無と日平均温湿度の推移
注)調査日:2010年5月10日~7月5日

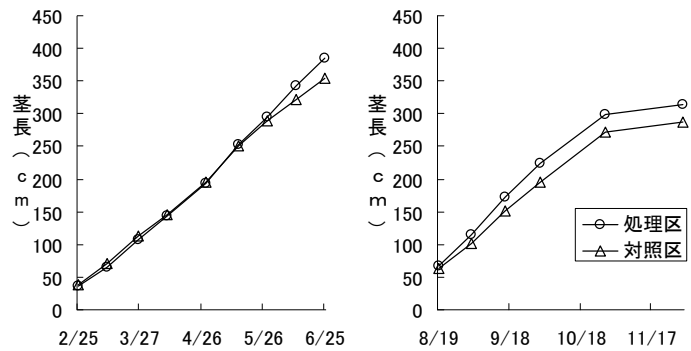
2) ミニトマトの生育・収量

ミニトマトの茎長は、半促成作型では、定植から5月上旬まで処理区、対照区ともに同様に推移したが、5月中旬以降は処理区の方が対照区より長くなった。抑制作型では、調査期間を通じて処理区で対照区より茎長が長く推移した(第5図)。半促成作型における葉長は、4月下旬まで処理区、対照区ともに同程度に推移し、3月下旬に最大値となり、その後は調査期間を通じて徐々に短くなった。5月上旬以降は処理区で対照区に比べて長く推移した。抑制作型では調査期間を通じて処理区の方が対照区に比べて長く推移した。9月中旬以降は対照区と処理区の差が小さくなり、対照区が処理区に近づいた(第6図)。

ミニトマトの総収量は、半促成作型では果数、重量ともに処理区で対照区に比べて有意に多く、抑制作型でも有意性は認められないものの多い傾向であった。

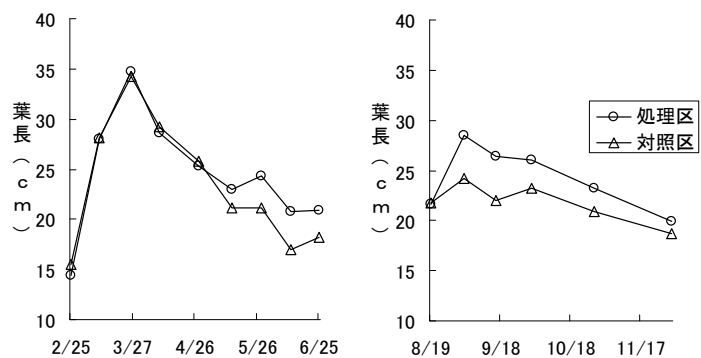
上物収量でも果数、重量が、半促成作型、

抑制作型ともに処理区が対照区に比べて多い傾向であった。上物果実1個あたりの平均果重は、半促成作型では有意性は認められなかったが、抑制作型では処理区が対照区に比べて有意に重くなった。裂果は各作型、各年度で発生が少なく、細霧噴霧による影響は明らかでなかった。尻腐れ果は、半促成作型で発生したが、有意性は認められなかった。小果は半促成作型では処理区と対照区間に有意性は認められなかったが、抑制作型では対照区の重量が処理区より有意に大きかった。果実糖度は半促成作型が抑制作型よりも高かったが、処理区と対照区の差は認められなかった(第5表)。



第5図 細霧冷房の有無とミニトマトの茎長(2010)

注)左:半促成作型,右:抑制作型



第6図 細霧冷房の有無とミニトマトの葉長(2010)

注)左:半促成作型,右:抑制作型

第5表 細霧冷房の有無とミニトマトの収量および糖度、生理障害果の発生

作型	年度	試験区	総収量		上物		果重 (g/個)	裂果 (個/株)	尻腐れ (個/株)	小果(5g以下)		果実糖度 (Brix%)
			(個/株)	(g/株)	(個/株)	(g/株)				(個/株)	(g/株)	
半促成	2010年	処理区	292	2553	188	2189	11.7	1.1	3.6	99	315	8.3
		対照区	239	2088	170	1819	10.7	2.9	8.1	59	187	8.4
	2012年	処理区	246	1517	166	1221	7.4	0.2	13.8	66	210	8.7
		対照区	192	1149	128	917	7.2	1.1	14.3	49	152	9.2
	有意性	**	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
抑制	2010年	処理区	148	1164	125	1065	8.5	0.9	0.6	22	86	8.0
		対照区	107	681	70	541	7.7	1.0	0.0	36	132	7.7
	2012年	処理区	101	1025	88	931	10.6	0.3	0.5	12	87	7.5
		対照区	104	928	85	802	9.4	0.2	0.6	18	121	7.9
	有意性	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	

注)上物:5g以上で販売可能な果実

**、*:各作型の細霧区と対照区を比較した対応のあるt検定において、1%、5%有意果重は上物果実の平均値

考 察

細霧冷房は、ハウス内の気温の低下と同時に湿度が上昇することから、松沼（2006）は、①晴天時の使用に限定する、②噴霧時は必ず換気を行う、③細霧噴霧終了後は湿度を低下させるような管理をすることを細霧噴霧時の注意点としてあげている。本試験では、排気型換気扇に加えて低温低湿な外気をハウス内に導入する外気導入型ファンについて検討し、細霧冷房時に二つの換気装置を同時に稼働させた場合に最も高い冷房効果が得られた。今回の研究では、二つの換気装置を併用することで換気量が最大であり、更に換気量を増やすことで冷房効果が高まる可能性が示唆された。

また、1回の噴霧時間を外気の湿度に応じて0~40秒で制御した結果、処理区では晴天日の日中に対照区よりも気温が最大8℃低下するとともに、設定湿度（60%）を保持しながら自動運転が可能であった。このことから、外気導入型細霧冷房の制御においては外気の湿度を指標の一つとして用いることが適当であると考えられた。

鈴木（2003）は、細霧処理によりトマトの茎葉が拡大し、着果数の増加と平均果重が大きくなることにより収量が増加することを報告し、ハウス内気温の低下と湿度の上昇の影響が大きいことを指摘している。本研究においても、最も効果の高かった外気導入型細霧冷房の稼働により、半促成作型ではミニトマトの収量が有意に増加し、抑制作型でも増加傾向となった。半促成作型では5月中旬~生育後半、抑制作型では中期にかけて気温を低下させることができたためと考えられ、高温回避による増収効果は収穫中期以降で高温にさらされる半促成作型で、より高いことが示唆された。

光合成速度は光量、CO₂濃度、葉温、風速などの外的要因に影響され、葉内水分の欠乏により気孔が閉鎖し、光合成を抑制すること（伊藤 1971）や、相対湿度が上昇すると気孔開度が高まり光合成速度が増加する（長岡ら 1984）ことが報告されている。また、外気導入により対照区と比べてハウス内CO₂濃度が高かったと考えられることから、今回の検討においても、処理区における増収には光合成速度の増加が関与していると推察される。

トマト栽培で細霧処理によりハウス内の湿度上昇や果実表面に細霧が付着することで裂果が発生した事例を板木（1996）が報告しているが、本研究では処理区、対照区ともに裂果は極小発生であり、外気導入型細霧冷房の影響を比較することはできなかった。本研究では、細霧冷房は換気装置と同調していることと、細霧冷房が停止後も換気装置は稼働することで、夜間のハウス内湿度の上昇を軽減できたことが要因として考えられた。尻腐れ果についても、高温・乾燥が軽減されることで発生が減少すると考えられたが、発生数が少なかったため、その効果を比較することはできなかった。本試験で尻腐れ果の発生が少ない原因として、栽培様式が隔離床での養液土耕栽培であり、対照区でも定期的な給液により常に水分が必要量供給されるとともに地温の上昇が抑制されたことが考えられた。しかし、栽培現場では裂果や尻腐れ果の発生が問題となっていることから、土耕栽培での検討が必要である。

本試験において、外気導入型細霧冷房のミニトマト栽培における有効性が認められたが、装置の導入には150万円（細霧冷房110万円、外気導入型ファン40万円）の初期投資が必要であり、モーターポンプや温湿度センサー、制御盤等は施設規模に関わらず必要なため、大規模ハウスで高い費用対効果を得ることができると考えられる。今後、本システムのコスト低減はもとより、その効果を更に高める技術の開発や高温期に栽培する他の作物への適応性の検討が必要である。また、今回供試したハウスでは、細霧ノズルの設置位置が高さ2.3mで低かったことから、上位の茎葉だけ

でなく下位の果実にも細霧付着による濡れが発生し、収穫果実に水滴斑が認められた。送風ダクトの設置場所についても、本研究では通路に設置したため、作業時に送風を停止することが必要であったり、ダクト下が湿ったままであった。外気導入型細霧冷房を導入する際には、細霧冷房はハウス内の出来るだけ高い位置に配管するとともに、ノズルからの噴霧方向を斜め上方に設定して、細霧の滞留時間が長くなるように留意する。送風ダクトについては作業性と冷房効果を妨げないように、今後の検討が必要と考えられた。

摘 要

細霧冷房効果を高めるための換気装置と換気装置を併用した細霧冷房がハウス内環境およびミニトマトの生育・収量に及ぼす影響を明らかにした。

1. 細霧冷房の冷房効果は、ハウス内の高温の空気を外部に排出する排出型換気扇と気温が低く乾燥した外気をハウス内に導入する外気導入型ファンと併用した時に最も高くなった。
2. 外気導入型細霧冷房では、噴霧と停止の制御を外気の湿度による可変とすることで、晴天日中のハウス内温度を最大8°C低下、ハウス内湿度を設定湿度の約60%で維持することができた。
3. 外気導入型細霧冷房を設置したハウスのミニトマトは、茎葉の伸長が促進され、着果数が増加、一果重が増加して増収した。増収効果は、収穫中期以降で高温にさらされる半促成作型で、より高いことが示唆された。また、細霧噴霧による糖度への影響は認められなかった。裂果や尻腐れ果の発生は極小発生であり外気導入型細霧冷房の影響は明らかでなかった。

引用文献

- 板木利隆. 1996. 施設園芸省力・快適化検討会報告書. P. 47-54. 日本施設園芸協会. 東京.
- 井手治ら. 2007. 高温期の施設栽培における外気導入式強制換気法がトマトの生育、収量およびリコペン含量に及ぼす影響. 福岡県農業総合試験場研究報告. 26: 51-55.
- 伊藤正. 1971. そ菜の光合成特性とその栽培的意義(第2報) トマト苗の光合成速度の日変化に及ぼす内、外的要因, 特に葉内の水分, 澱粉含量の影響. 園学雑. 40. 1: 41-47.
- 片岡圭子ら. 2001. 夏季のガラス温室における室内気温低下への細霧冷房の効果. 京大農場報告. 10: 7-12
- 鈴木隆志. 2003. トマト養液栽培における3~7月期の利用効果. 施設と園芸. 123. P. 14-17. 日本ハウス園芸協会. 東京.
- 長岡正照・高橋和彦・新井和夫. 1984. トマト・キュウリの光合成・蒸散に及ぼす環境条件の影響. 野菜試験場報告. A. 12: 97-117
- 林真紀夫・菅原崇行・中島浩志. 1998. 自然換気型細霧冷房温室の温湿度環境. 生物環境調節. 36. 2: 97-104
- 林真紀夫. 2003. 冷房. 5訂施設園芸ハンドブック. P. 142-157. 日本施設園芸協会. 東京
- 松沼俊文. 2006. 施設キュウリの細霧による病害への影響と温熱環境の改善効果. 農業および園芸. 81. 3. P. 400-404. 養賢堂. 東京
- 山本英雄・川島信彦. 1977. 強制換気温室における細霧冷房法. 奈良県農業試験場研究報告. 8: 1

