

簡易設置型パッドアンドファン冷房が高温期のハウス内温度、飽差並びにトマトの生育、収量に及ぼす影響

渡邊圭太*・中西幸太郎**・光川嘉則*・櫻井基生***

要 約

簡易設置型パッドアンドファンによる加湿冷却が、夏季高温期の施設トマト栽培にもたらす昇温抑制効果並びに生育・収量に及ぼす影響について検討したところ、次の結果を得た。

- 1 ハウス内気温および地温が低下するとともに、飽差が縮小し、顕著な加湿冷却効果が得られた。
- 2 草丈および茎径とも簡易設置型パッドアンドファン区が対照区を上回り、トマトの生育が旺盛となった。
- 3 果実の糖度は両区でほぼ同等であったが、着果率、全果重、1果重および正常果率が増加し、増収効果が得られた。
- 4 天窓や天井扇を追加し換気を促進することで、加湿冷却効果がさらに向上した。

Effect of Simple Installable Pad-and-Fan Cooling System in a Plastic House on Growth and Yield of Tomato Plants with Change of Temperature and Saturation Deficit under High-Temperature Conditions

Keita WATANABE, Koutarou NAKANISHI, Yoshinori MITSUKAWA, Moto-o SAKURAI

Summary

We investigated the effects on tomato plant growth and yield of a simple installable pad-and-fan cooling system for the inhibition of temperature rise and humidification under high-temperature conditions in a tomato cultivation plastic house. We obtained the following results.

- (1) When the air and soil temperatures fell, saturation deficit was reduced and a remarkable humidification cooling effect was acquired with the pad-and-fan cooling system.
- (2) Plant height and stem diameter in the experimental house with the installable pad-and-fan cooling system were superior to those in the control house.
- (3) Although the sugar contents of harvested fruit differed little between the cultivation conditions with and without the installable pad-and-fan cooling system, bearing rate, all fruit weight, single fruit weight and normal fruit rate increased. Therefore, overall yield also increased.
- (4) Furthermore, the humidification-cooling effect improved upon introducing ventilation by adding top vents and ceiling fans to the plastic house.

キーワード：パッドアンドファン, 冷却, 気温, 地温, 飽差, トマト, 高温

緒 言

県内での施設トマト生産においては、害虫等の侵入防止を目的とし、施設開口部を防虫ネットで被覆するケー

2013年9月30日

* 兵庫県立農林水産技術総合センター農業技術センター

** 兵庫県西播磨県民局龍野農業改良普及センター

*** 兵庫県西播磨県民局光都農林振興事務所

スが多い。特に近年、トマトの重要病害である黄化葉巻病を媒介するタバココナジラムの侵入を防ぐため、0.4mm目合いの細密防虫ネットの利用が増加している。これにより通風性が低下し、近年の気象温暖化の影響も相まって、施設内の高温化が顕在化している。

施設内の高温化により、作業者の負担や健康被害の増

加だけでなく、作物への悪影響も懸念される。特にトマトでは、高温乾燥による生育不良、花粉の稔性低下による着果不良および、障害果の発生増加等、複数の要因による減収が大きな問題になっている。

既存の冷房技術として気化冷却を利用した細霧冷房やパッドアンドファンがあるが、いずれも導入時の初期コストが高く、中小規模施設での利用には不向きである。また、パッドアンドファンは装置の構造上、新規施設への導入に限定される。

パッドアンドファン装置とは、水を滴下し湿らせた網目状の冷却パッドに通風し、気化冷却による冷房効果を得るしくみである（図1）。簡易設置型パッドアンドファン（以下簡易P&F）は既存のパッドアンドファンと原理は同じだが、一人で持ち運びできるサイズの冷却パッドを施設床面に複数台設置し、給水・通風して冷房効果を得る構造であるため、導入コストも比較的安価で、既存の中小規模温室にも容易に設置が可能である（図1）。

そこで、簡易P&Fによる加湿冷却が、夏季高温期の施設トマト栽培における昇温抑制効果並びに生育・収量に及ぼす影響について検討した。また、同装置の昇温抑制効果をさらに向上させる換気方法についても検討した。

なお、本技術は、新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業に係る「簡易設置型パッドアンドファン冷房を利用した実証試験」（2010-2012年）により実施した成果である。

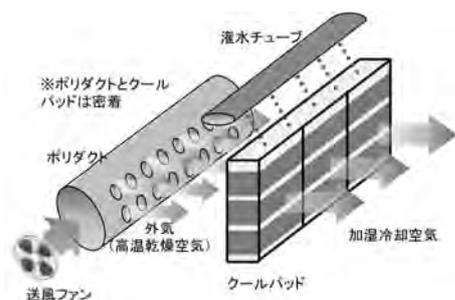


図1 簡易P&F装置概要図

材料および方法

【試験1】簡易設置型パッドアンドファンが施設内環境およびトマトの生育に及ぼす影響

2011年および2012年の2ヵ年試験を実施した。同一規格の南北単棟パイプハウス（70㎡）2棟を、それぞれ簡易P&F設置区（以下P&F区）とその対照区とした。両区ともハウスサイドおよび妻面を0.4mm目合いの防虫ネットで被覆し、暑熱対策として循環扇による妻面強制換気を実施した。

P&F区ではハウス中央南北方向に通風用ポリダクト

を配置し、簡易P&F筐体を、東西方向に交互に設置して日中のみ稼働させた。

作型は促成の土耕栽培で、穂木品種として「桃太郎グランド」、台木品種として「Bバリア」を供試した。畝幅220cm、株間50cm、2条植え（栽植密度1,818株/10a）とし、ハウス内気温、地温、飽差、トマトの生育、着果性、収量性等を調査した。

(1) 2011年

ハウス（70㎡）当たり簡易P&F筐体数を6台（パッド露出面積1.7㎡）、送風ファン数を1台（施設内空気交換回数28.3回/h）とし、2011年7月24日から稼働させた。送風ファンの運転時間は6:00-18:00、冷却パッドへの給水時間は10:00から10:40までを連続とし、11:00から15:30までは8分間給水の後12分間休止の間欠方式とした。8月24日以降は給水時間を6:00から17:00までとし、2分間給水、13分間休止の間欠方式に変更し、試験期間を通じて余剰水が発生しないよう給水量を調整した。

穂木を5月12日には種、5月27日に接ぎ木後6月3日に鉢上げし、6月30日に定植した。施肥は元肥に複合燐加安を用い、追肥は行わず総窒素施用量は0.5kg/aとした。各花房4果に摘果し、8段目の上位2葉で摘心した。

(2) 2012年

ハウス（70㎡）当たり簡易P&F筐体数を4台（パッド露出面積1.4㎡）、送風ファン数を2台（施設内空気交換回数58.9回/h）とし、2012年7月14日から稼働させた（写真1）。送風ファンの運転時間は6:00から19:00までとし、5分間給水、5分間休止の間欠方式とし、余剰水は外部へ排出した。

穂木を5月15日には種、6月1日に接ぎ木後6月11日に鉢上げし、7月2日に定植した。施肥は元肥に複合燐加安を用い、追肥は行わず総窒素施用量は0.7kg/aとした。各花房4果に摘果し、3段目の上位2葉で摘心した。

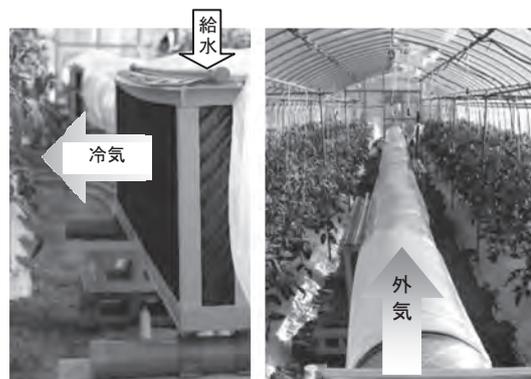


写真1 簡易P&F外観および設置状況（2012）

【試験2】天窓・天井扇による換気が加湿冷却効果に及ぼす影響

同一規格の南北単棟パイプハウス(70㎡)2棟を用い、いずれもハウスサイドおよび妻面を0.4mm目合いの防虫ネットで被覆し、暑熱対策として循環扇による妻面強制換気を実施した。2棟のうち一方に簡易P&Fを設置し試験区とし、他方は対照区とした。試験区ではさらにハウス屋根部に天窓(解放部縦36.6×横109cm,3カ所,総開放面積1.2㎡)および天井扇(フルタエアビーム,3基)を設置した。2012年8月29日から10月19日にかけて、表1のとおり異なる換気方法を各試験区当たり7日間(天候不良日等は除く)実施し、日中の施設内気温および飽差を

表1 試験2における各区の換気方法

区割	換気方法			
	P&F	天窓	天井扇	
試験区	I	○	×	×
	II	○	○	×
	III	○	○	○
対照区	×	×	×	

※試験区における各換気方法実施期間は以下の通り

I区:8月29日、9月4・9・20・25日、10月8・13日

II区:9月2・8・15・24・29日、10月12・19日

III区:8月31日、9月6・13・22・27日、10月10・16日

表2 簡易P&Fが施設内の日中温度および飽差に及ぼす影響(試験1)

試験年度	試験区	気温(°C)		-5cm地温(°C)		-10cm地温(°C)		飽差(hPa)	
		平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値
2011	屋外	30.8	32.9	-	-	-	-	6.2	18.9
	P&F区	32.7	35.4	30.3	31.3	29.4	30.2	7.1	21.2
	対照区	34.0	36.8	30.5	31.4	29.8	30.5	9.7	28.5
	対照差	-1.3	-1.4	-0.2	-0.1	-0.4	-0.3	-2.6	-7.3
2012	屋外	32.1	34.4	-	-	-	-	18.0	24.2
	P&F区	32.7	35.0	31.4	32.7	30.9	32.0	15.4	20.9
	対照区	35.3	38.5	33.2	34.7	32.2	33.5	23.3	31.3
	対照差	-2.6	-3.5	-1.8	-2.0	-1.3	-1.5	-7.9	-10.4

※いずれも期間中10:00~15:00の測定値から算出

表3 簡易P&Fがトマトの生育および収量に及ぼす影響(試験1)

試験年度	試験区	草丈(cm)	茎径(mm)	糖度(brix)	着果率(%)	全果重(g/株)	1果重(g)	異常果及び正常果個数割合(%)					正常果重(g/株)		
								異常果	正常果	異常果	正常果	異常果		正常果	
								裂果	チャック果	尻腐果	小果	クロイド他	正常果		
2011	P&F区	192	14.6	5.8	83	3,274	113	34.9	1.6	1.0	6.2	1.2	55.7	1,867	
	対照区	181	13.6	5.9	72	2,544	102	35.9	2.5	1.3	9.7	4.0	49.1	1,353	
	対照比	106%	107%	-	115%	129%	110%	-	-	-	-	-	-	-	138%
2012	P&F区	-	20.0	7.2	91	664	91	39.1	0.3	1.9	26.2	0.3	29.2	266	
	対照区	-	18.7	6.9	77	577	75	42.1	0.5	0.3	37.7	0.4	19.0	149	
	対照比	-	107%	-	117%	115%	121%	-	-	-	-	-	-	-	178%

※収穫期間:2011年8月8日~11月8日および2012年8月10日~9月18日

※異常果及び正常果個数割合はのべ数であるため、合計値は100にならない場合がある

対照区と比較した。

なお、試験区ではハウス(70㎡)当たり簡易P&F筐体数を4台(パッド露出面積1.4㎡)、送風ファンを2台(施設内空気交換回数58.9回/h)設置した。送風ファンの運転時間は6:00から19:00まで連続稼働とした。冷却パッドへの給水時間は6:00から19:00までとし、5分間給水、5分間休止の間欠方式とし、余剰水は外部へ排出した。

結 果

【試験1】

(1) 2011年

ハウス内気温は対照区に比べ平均値で1.3℃、最高値で1.4℃低下した。地温は-5cmおよび-10cm地点のいずれにおいても対照区に比べやや低下する傾向がみられた。飽差は平均値で2.6hPa縮小した(表2)。

草丈および茎径とも簡易P&F区が対照区を上回り、トマトの生育が旺盛となった。果実の糖度は両区ではほぼ同等であった。着果率は対照区に比べ約5%増加し、1果重もP&F区で対照区より大きくなった。

障害果の発生は両区とも裂果が最も多く、次いで小果、

チャック果が多かったが、いずれも対照区に比べP&F区では発生が少なかった。全果重および正常果率が増加したため、株当たり正常果重が38%増加した(表3)。

各花房における開花日は、両区で明瞭な差はみられなかった。花房別着果率について、対照区では上位花房ほど減少する傾向が見られたが、簡易P&F区では80%以上を維持できた。花房別正常果重は、第3花房以降ではP&F区において優れており、その差が顕著であった(図2)。

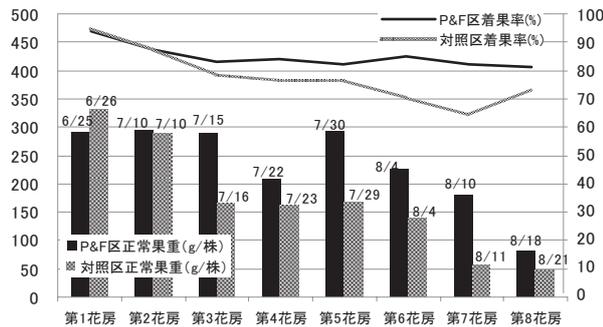


図2 簡易P&Fが開花・着果および花房別正常果重に及ぼす影響(試験1,2011年)
※7月14日から簡易P&Fを稼動した

(2) 2012年

ハウス内気温は対照区に比べ平均値で2.6℃、最高値で3.5℃低下し、平均地温は-5cm地点で1.8℃、-10cm地点でも1.3度低下した。飽差は平均値で7.9hPa縮小し、前年度に比べ顕著な加湿冷却効果が得られた(表3)。試験期間中に最高気温を記録した8月4日の日中においても、P&F区における気温・飽差は外気以下に抑えられた(写真2,図3)。

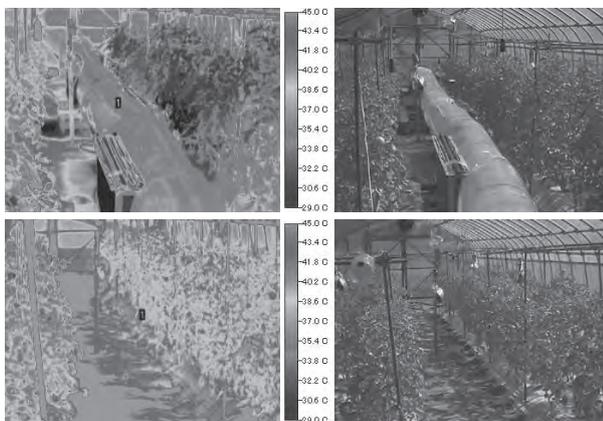


写真2 トマト群落の加湿冷却状況(試験1,2012年)
※上段:P&F区、下段:対照区

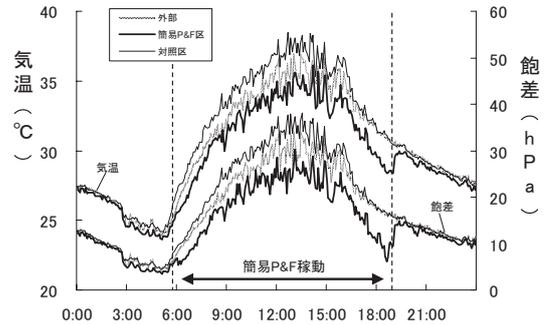


図3 気温及び飽差の日変化(試験1,1012年)
※2012年8月4日(最高気温日)の測定値

試験実施中に黄化葉巻病が発生したため、当年度は第3花房までのみ収穫調査を実施した。果実の糖度は簡易P&F区と対照区ではほぼ同等であった。着果率、全果重、1果重および正常果率のいずれも前年度同様対照区を上回ったが、特に正常果重が対照区に比べ10.2%増加し、株当たり正常果重は78%増加した。障害果について、両区で小果の発生が前年度に比べ多かったが、簡易P&F区では尻腐果以外は対照区に比べ発生が少なかった(表3)。

【試験2】

I区とII区では平均気温、最高気温および平均飽差の対照差について、いずれも大きな差はみられなかった。III区では対照区に比べ平均気温は2.8℃、最高気温は3.6℃低下し、平均飽差は8.0hPa縮小し、天窓および天井扇による換気で、加湿冷却効果が向上した(図4)。

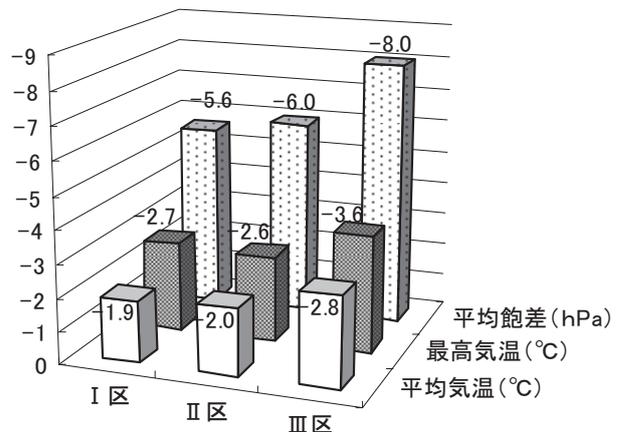


図4 天窓・天井扇による換気が加湿冷却効果に及ぼす影響(試験2)

※図中の数値はいずれも対照ハウスとの差
※2012年8月29日~10月19日、10:00~15:00の測定値から算出

考 察

2011年度および2012年度について、簡易P&Fの稼働により施設内の平均気温はいずれも32.7℃まで抑えられた。トマトの生育適温は20～25℃であるが、高温により生育が抑制され、受粉不良や落花による着果率の低下、小果や裂果などの生理障害果の発生が助長される⁴⁾。特に着果率は35℃以上の高温に遭遇することで極端に低下する⁵⁾。簡易P&Fを稼働することで、施設内気温が35℃以下に抑えられたことにより、対照区に比べて生育が良好となるとともに、着果率も向上したものと考えられた。また、小果などの生理障害果の発生が減少したことも、施設内の昇温抑制によるもの¹⁾と考えられた。

また、簡易P&F稼働による地温低下の要因として、装置を畝間に設置したため、冷気の吹き出し口が畝の表面に近く、加湿冷却空気が土壌表面に直接到達したこと、加湿冷却効果によりトマトの生育が旺盛となり、莖葉が繁茂し土壌への直達光が減少したことなどが考えられた。トマトの生育に最適な根域温度は22℃であるが、これが33℃を超えると根の伸育が阻害される⁶⁾。すなわち、簡易P&Fの稼働により地温が33℃以下に抑えられたことも、生育改善を助長したと考えられた。

平均飽差は2011年度および2012年度でそれぞれ対照比2.6hPaおよび7.9hPa縮小しており、顕著な加湿効果が確認された。通常、夏季施設内のような高温乾燥状態においては、植物は過度な蒸散による萎凋を避けるため気孔を閉鎖するが、これにより植物体内外でのガス交換が抑制されるため、光合成能力が低下する²⁾。村上ら⁷⁾によると、水ストレス下のトマト栽培において簡易P&Fを稼働することで、飽差が縮小し、蒸散が抑制されることにより気孔閉鎖が緩和され、葉内へのガス拡散を維持して光合成速度の低下を軽減するとしている。本試験でも土壌の乾燥しやすい作型での試験であり、同様の効果により光合成能力が向上したものと考えられた。

また、P&F設置により裂果発生の改善効果もみとめられた。夏秋トマト栽培における放射状裂果の発生要因は幼果期の強日射によるコルク層の形成および転流による果実肥大が要因であるとされている³⁾が、本試験では簡易P&Fの加湿冷却効果でトマトの生育が旺盛となり、莖葉の相互遮蔽により果実への日射が減少したため、裂果発生が抑えられたと考えられる。しかし、その他の異常果の発生に対する効果については試験年次により傾向が異なり、さらなる調査が必要である。

いずれの年度においても簡易P&Fの稼働により加湿冷却効果が得られたが、2012年度は前年度に比べ筐体設置数を減じたにも関わらず、効果がより顕著であった。これは送風ファンを前年度より1台多く設置したことで施設内への外気導入が促進されたこと、および余剰水を施設外へ排出できるようにしたため冷却パッドへの給水量が増加できたことに起因すると考えられる。このことから、確実に加湿冷却効果を得るには風量を確保し、冷却パッドを十分に湿らせる事が重要であると考えられる。

以上の結果から、夏季高温時のトマト栽培施設へ簡易P&Fを導入すると、加湿冷却効果により施設内気温がトマトの生育適温に近づき、飽差が縮小することで生育が良好となり、着果が改善するとともに障害果の発生が抑制され、増収効果を得ることができる。また、確実に効果を得るには風量の確保とパッドの保湿が重要であり、天窓および天井扇の追加により換気を促進することで、加湿冷却効果はさらに向上する。

引 用 文 献

- (1) 岩堀修一・崎山亮三(1964):トマトの高温障害に関する研究(第2報)、種々のステージの花蕾に及ぼす高温の影響:園学雑,33,67-74
- (2) 島田縁子,(1992):光合成・蒸散過程の統合的理解について(I)―光合成モデルと気孔開閉の仕組み:日本緑化工学会誌,17(4),224-235
- (3) 鈴木隆志(2010):夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果発生要因の解明と対策技術開発に関する研究:岐阜中山間農研研報,6,26-49
- (4) 藤本ら(1968):トマト果実の発育に及ぼす昼温の影響:農業技術体系野菜編2,基124
- (5) 藤井健雄(1946):トマトの落花に関する研究(第3報)高温が落花に及ぼす影響:園学研,3,12-28
- (6) 堀裕・巽穰・室園正敏・鈴木武・船場益良・阿部隆(1972):培地温の組み合わせが蔬菜の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響,Ⅲ培地温との組み合わせにおけるリン酸、窒素施用量とキュウリ、トマトの生育・養分吸収に関する実験:園試報A,11,104-123
- (7) 村上健二・山崎敬亮・吉田祐子・生駒泰基・濱本浩・嶋津光鑑(2013):簡易設置型パッドアンドファン冷房が水ストレス下のトマトの生育・品質に与える影響:園学研,12(1),341