

小規模施設に適する気化冷却システムの開発

〔令和3～5年度〕

木下沙也佳・野口 貴・海保富士男・大槻優華・蜷木朋子*・徳田真帆・沼尻勝人*²

・中村圭亨*³

(園芸技術科・*³スマ農室) *小笠原農セ・*²現三宅支庁産業課

【要 約】気化冷却システム「ネット&ファン」はハウス内の気温を外気温より下げる効果があるが、小規模なトマト栽培では、コストの回収が難しい。一方、培地気化冷却システムはコストを回収でき増益になる。

【目 的】

夏季の高温は年々厳しくなっており、特に近年増加している施設栽培トマトでは、生理障害や生育不良事例の報告が多い。生産現場においては、遮光だけでは対処できておらず、細霧冷房などの技術が注目されている。しかし、こうした技術は比較的大規模な施設を対象としており、都内に普及する小規模ハウスでは重装備となり実用的ではない。

そこで本課題では、東京フューチャーアグリシステム (TFAS) で開発した気化冷却システムを基に改良し、都内に多い小規模施設に向く、低コストで汎用型の高いシステムとして再検討するとともに、普及上の留意点を明らかにする。

【成果の概要】

1. 小規模ハウスへの気化冷却システムの設置と冷却効果の確認 (2021 年)

(1) 「ネット&ファン」システムの実装費用と作動条件の設定

48.6 m²の小型ハウス (間口 5.4m, 奥行 9 m, 軒高 1.8m, 棟高 3.6m および散光性農 P0 フィルム被覆) 3 棟を用い、うち 1 棟に「ネット&ファン」システムを実装した (以下, NF 区, 表 1, 図 1)。比較のため、同型のコントローラーで制御するハウス内の細霧噴霧システム (以下, 細霧冷房区), および何も設置しない区 (以下, 慣行区) を設けた (表 2)。「ネット&ファン」システムを自家で実装する際の費用をハウス 100m²あたりに換算試算すると 30 万円を超え、うち 5 割以上をコントローラーが占めた。

(2) 冷却効果の確認

日中の NF 区の気温は慣行区より 5℃程度低下したが、細霧冷房区とは大差なかった (データ略)。一方, NF 区を, 換気扇のみ稼働させた場合と比較すると, 1～2℃の抑制効果にとどまった (データ略)。

2. トマト栽植下における「ネット&ファン」および培地気化冷却システムの環境改善効果, 収量およびコスト比較 (2022 年)

NF 区, 換気扇のみ稼働させる区 (以下, 換気扇区) および慣行区を設け, 表 2 の設定のもと, トマトを慣行法で栽培した。培地気化冷却システムでは, 東京エコポニックス®のベッド先端に換気扇を設置し, 地温が 25℃を超えた場合に稼働させた (図 1)。6 月 24 日～9 月 22 日まで「スリムホワイト TW30」で遮光した。

(1) 環境改善効果

遮光前のハウス内気温は慣行区で高く, 次いで換気扇区, NF 区, 外気温となった (データ略)。一方, 遮光後は慣行区でも外気温との差は小さくなり, 日中の NF 区は外気温

を1～2℃下回った。培地を気化冷却したところ、地温は目標の25℃を上回ったが、無処理区に対しては2～5℃低く、全栽培期間を通して30℃を超えることはなかった（データ略）。地温は慣行区よりNF区で低かったが、地温抑制の程度は慣行区で大きかった。

(2) 果実収量と品質

株あたり収穫果数（全果）は、換気扇、NFで多く、培地冷却の有無では差がなかった（表3）。株あたり全果収量は培地冷却が多かったが、下物果収量も培地冷却が多かった。果実品質をみると、ハウスによる違いはないが、培地冷却により果実重（一果重）は高くなり、糖度および酸度は低下した。

(3) 経営評価

2022年の試験データをもとに、収支を試算した。粗収益から経営費を引いた差額は慣行で131,856円、培地冷却で183,591円、NFで97,117円、NFと培地冷却の併用区で100,821円などとなった（表4）。慣行に対する所得の増減をみると、増益したのは培地冷却のみで、他は慣行と同等か減益になった。

3. トマト栽植下における「ネット&ファン」および細霧冷房システムの環境改善効果、収量およびコスト比較（2023年）

NF区と比較のため、細霧冷房を設置する区（細霧冷房区）および何も設置しない区（慣行区）を設け、慣行法でトマトを栽培した。4月21日～6月上旬、および6月24日～栽培終了まで「スリムホワイトTW30」で遮光し、7月7日以降は「クールホワイト520SW」（遮光率35～40%）を重ねて展張した。6月23日からNF区のノズル数を2倍にした。

(1) 環境改善効果

二重遮光前（5月）のハウス内気温は慣行区で高く、NF区と細霧冷房区ではほぼ同等だったが、二重遮光後（7月）は慣行区に比べNF区で最も気温が下がり、最大3℃程度低下した（図2）。培地を気化冷却したところ、地温は慣行区よりNF区で低かったが、細霧冷房の気化冷却区の地温が最も低かった（図3）。

(2) 果実収量と品質

株あたり収穫果数は、全果、可販果、下物果ともに有意な差はなかった（表5）。ただし、下物果のうち側面裂果のみ処理区間で差があり、慣行に対してNF、細霧冷房区、培地冷却で減少した。株あたり全果収量は細霧冷房が多かったが、下物果も多かった。

(3) 経営評価

2023年の栽培データをもとに収支を試算した。粗収益から経営費を引いた差額は慣行で181,226円、培地冷却で199,688円、NFで94,064円、NFと培地冷却の併用区で116,501円などとなった（データ略）。慣行に対して所得が増加したのは慣行ハウスの培地冷却区のみで、他は軒並み減益になった。

4. 「ネット&ファン」システムの損益分岐点

NF区の100m²あたり収量について、2022年は慣行区を77kg上回ったが、2023年は18kg下回った。2022年の収量をもとに収益分岐点を考察したところ、販売単価を600円とした場合、栽培規模320m²が損益分岐点となり、単価400円/kgでは規模拡大しても増益にならなかった（図4）。

【成果の活用・留意点】

「ネット&ファン」の効果として昇温抑制による作業負担の軽減が期待できる。

【具体的データ】

表1 「ネット&ファン」システムの実装費用（面積100m²，自家設置の場合）

項 目	税別価格（円）
細霧ノズル（クールネットシングルヘッド）	7,040
水だれ防止バルブ（ADバルブ）	8,640
コネクター，継手類	6,400
ポリエチレンパイプ（50m）	5,400
直管パイプ（径22mm，5m×14本）	15,120
金具類	11,400
換気扇（2台）	78,980
ミストコントローラー（参考価格）	175,000
配線・電機資材，取付資材ほか	10,000
合 計	317,980

注）水道圧が不足する場合，別途送水ポンプ（25,000円〜）や取付資材が必要。



図1 試験で使用した気化冷却システム

左：ネット&ファンシステム 施設側窓の防虫ネットをミストで湿らせ，換気扇による強制換気で気化冷却を図り，施設内の昇温抑制と湿度改善を目的とするもの
右：東京エコボニック®に気化冷却システムを設置したものの栽培槽の先端に換気扇を置き，後端から空気を取り込む仕様となっている

表2 システムの作動条件（資材の性能とコントローラーの設定値）

試験区名	システム作動時刻	作動開始温度（℃）	換気扇風量 m ³ /分 ×台数	噴霧ノズル位置	ノズル設置数	ノズル噴霧量 (L/時間)	粒子径 (μm)	噴霧周期	噴霧時間 ^a
NF	8:00～16:00	28	41×2台	側窓外側 90cm間隔	16	7.5	65	2分	1秒以上
細霧冷房	8:00～16:00	28	41×2台	ハウス内2m間隔 (4方向) × 2列	40	5.5	65	1分	1秒以上
慣行	-	-	-	-	-	-	-	-	-

間口5.4m×奥行9.0m=48.6m²，棟高3.6m，軒高1.8mのパイプハウス3棟を試験に利用。いずれも散乱光農P0フィルムで被覆し，無遮光条件，側面は0.4mm目合い防虫ネット展開，妻面は常時閉。

a：ハウス内外の温度差に0.8を乗じた数値を加算して噴霧

表3 ハウス装備と培地気化冷却の有無がトマト「かれん」の収穫果数，収量および品質に及ぼす影響

ハウス (A)	培地 冷却 (B)	果数/株			下物果内訳(果数/株)						収量(kg)/株		
		全果	可販果	下物果	放射状 裂果	側面 裂果	同心円 裂果	小果	尻腐れ 果	その他	全果	可販果	下物果
慣行	無	55.5	16.2	39.3	8.9	10.0	5.1	5.9	4.1	5.1	5.2	1.8	3.4
	有	57.6	19.1	38.5	9.1	10.6	8.9	3.0	1.1	4.5	6.8	2.5	4.3
換気扇	無	59.3	18.6	40.8	10.4	8.3	3.8	5.6	7.0	5.3	5.7	2.1	3.6
	有	60.1	13.8	46.3	12.5	10.0	2.8	4.9	9.7	6.3	6.3	1.7	4.6
NF	無	59.1	17.6	41.5	7.4	6.4	3.7	9.3	5.3	9.4	5.3	2.1	3.2
	有	60.5	18.3	42.3	10.2	12.5	6.1	1.9	4.7	6.7	7.1	2.3	4.8
要因効果	A	*	ns	ns	**	ns	**	ns	**	**	ns	ns	ns
	B	ns	ns	ns	**	*	**	**	ns	ns	**	ns	*
	A×B	ns	*	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	*	*	ns

要因効果において*は5%水準，**は1%水準で有意性があり，nsは有意性なし。

表3 続き

ハウス (A)	培地 冷却 (B)	果実 重 (g)	糖度 (Brix%)	酸度	硬度 (kg/cm ²)
慣行	無	111	4.0	0.32	0.60
	有	133	3.8	0.30	0.59
換気扇	無	113	4.0	0.32	0.60
	有	125	4.0	0.32	0.60
NF	無	118	4.5	0.37	0.60
	有	125	3.7	0.30	0.58
要因効果	A	ns	ns	ns	ns
	B	**	**	**	ns
	A×B	ns	**	**	ns

注) 糖度および酸度は「フルーツセクターK-BA100R」(クボタ(株)製)で測定。

表4 「ネット&ファン」および培地気化冷却システムを用いたトマト半促成栽培における経営試算 (円/100m²)

ハウス	培地 気化 冷却	可販果収量(kg)		粗収益 ^c (A)	経営費(ネット&ファンおよび培地気化冷却関連) ^d				収支 (A-B)	所得の 増減 ^h
		株あたり ^a	ハウス あたり ^b		装備費用 ^e	電気代 ^f	水道料金 ^g	経営費計 ^d (B)		
慣行	無	1.8	449	146,816	0	0	14,960	14,960	131,856	0
	有	2.5	637	208,214	6,557	3,105	14,960	24,623	183,591	51,735
換気扇	無	2.1	527	172,396	13,790	8,796	14,960	37,546	134,850	2,993
	有	1.7	440	143,719	20,347	13,678	14,984	49,009	94,710	-37,146
NF	無	2.1	526	172,039	45,426	8,796	20,700	74,922	97,117	-34,740
	有	2.3	574	187,545	51,983	13,406	21,335	86,724	100,821	-31,036

a) 2022年トマト半促成栽培試験での実績値. b) 252株/100m²で計算. c) トマト単価を327円/kgとして計算. d) 各区共通の経費は除外した. e) 減価償却を7年として算出. f) 東京電力電気料金で算出. g) 表3をもとに東京多摩地区の水道料金・下水道料金早見表(2か月用, 呼び径20mm)より算出. h) 慣行区(装備なし)に対する増加額.

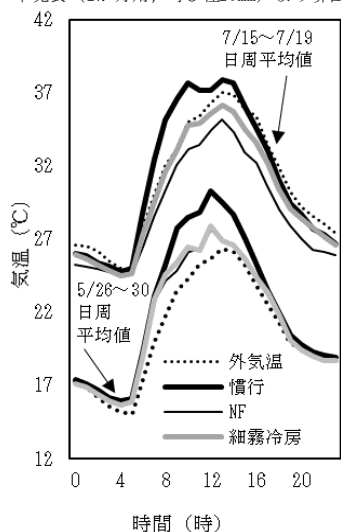


図2 遮光前後のハウス内の日周平均気温

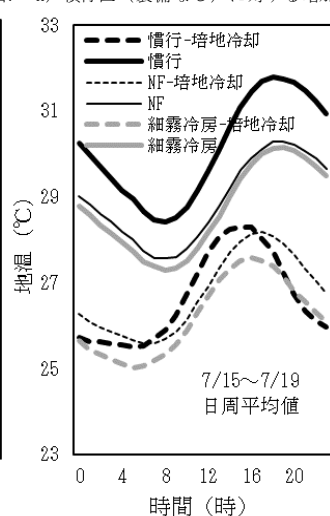


図3 培地の日周平均気温

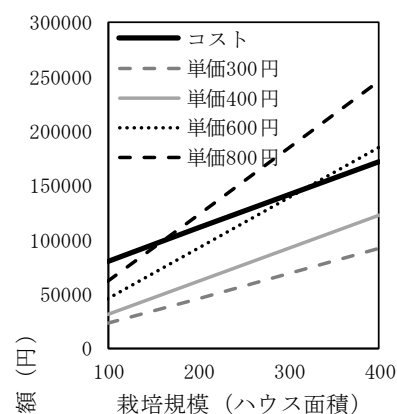


図4 NFの損益分岐点

注) 培地冷却なしの場合。
200m²以上の栽培規模の場合、初期費用は同額で試算

表5 ハウス装備の違いと培地気化冷却の有無がトマト「桃太郎ピース」の収穫果数と収量に及ぼす影響

ハウス (A)	培地 冷却 (B)	果数/株			下物果内訳(果数/株)							収量(kg)/株		
		全果	可販果	下物果	放射状 裂果	同心円 裂果	側面 裂果	小果	尻腐 れ果	その他		全果	可販果	下物果
慣行	無	36.8	18.6	18.3	3.1	0.8	3.7	7.6	0.1	3.0		3.5	2.0	1.5
	有	37.6	20.8	16.8	1.6	1.2	3.0	6.9	0.0	3.6		3.6	2.3	1.3
NF	無	35.8	16.5	19.3	2.8	1.8	2.9	7.3	0.9	3.5		3.6	1.9	1.7
	有	37.0	18.4	18.6	3.8	1.2	2.3	7.8	0.5	2.6		3.8	2.3	1.6
細霧冷房	無	37.2	20.3	16.9	2.4	2.3	3.3	5.3	0.5	2.9		4.1	2.5	1.6
	有	36.4	19.6	16.8	4.2	1.3	2.8	5.3	0.3	2.9		4.1	2.5	1.6
要因効果	A	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns		*	ns	*
	B	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns		ns	ns	ns
	A×B	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns

要因効果において*は5%水準, **は1%水準で有意性があり, nsは有意性なし。

【発表資料】

- 令和3～5年度成果情報
- 2024年園芸学会春季大会