

地下水熱利用型ヒートポンプを利用した ミディトマト栽培について

森永 一*, 畑中 康孝**

Study of midi-tomato cultivation with underground water-source heat pump system.

Hajime MORINAGA , Yasutaka HATANAKA

冬期間積雪の多い福井県において、ミディトマトの8月上旬定植、越冬作型で、地下水熱利用型ヒートポンプを導入した場合、冷暖房の安定性、暖房費の低コスト化、そして冷暖房によるミディトマトの生育・収量に及ぼす影響について検討した。

地下水熱利用型ヒートポンプを導入することにより、盛夏期の夜間冷房、厳寒期の終日暖房ともに安定的に使用できること、また、ミディトマトの可販収量は、無夜間冷房で石油式暖房機単体使用と比較して20%程度増加すること(2月末日までの結果)、そして暖房コストを40%程度に抑制できることが明らかになった。また、熱転換後に本体から排出される排水を、ハウスサイドの融雪に再利用できることも明らかになった。

キーワード：地下水熱利用型ヒートポンプ、低コスト、ノンデフロスト運転、ミディトマト
key word:underground water-source heat pump,low cost,non defrosting operations,medi-tomato

I. 緒言

福井県のブランド農産物であるミディトマト(糖度7～8の高糖度,中玉トマト)は,6～10月に生産が集中し,冬場の生産が少なく,流通業者等からの通年で需要に応えられていない。また,野菜類を周年栽培できる施設では,冬期は暖房を必要としない,葉菜類の生産が殆どである。

ところで,現地では,暖房コストが石油式暖房機と比較して低いヒートポンプを利用した,周年型の果菜類生産に取り組む農業者が出てきている。

しかし,導入されているヒートポンプは空熱型であり,本県のような寒冷地では,厳寒期にデフロスト運転(霜取り運転)が頻繁に入り,ヒートポンプ単体では栽培に適する温度の維持ができない問題がある。そのため,冬期の暖房は,石油式暖房機とのハイブリッド運転が基本であり,根本的な暖房コストの削減には至っていない。

近年,地下水熱利用型ヒートポンプ(以下地下水ヒートポンプ)が他県で利用され始め,厳寒地でもノンデフロスト運転ができるとの報告がある¹⁾。

そこで,8月上旬定植,越冬作型のミディトマト栽培に,地下水ヒートポンプを用い,温度制御の安定性と,経済性,及びミディトマトの収量・品質に及ぼす影響について検討したので報告する。

II. 試験方法

1. 盛夏期の夜間冷房がミディトマトの収量・品質に及ぼす影響

平成26年8月6日定植のミディトマト少量培地隔離栽培(平成24年度 福井農試開発)で,夜間冷房を8月8日から9月7日まで31日間,22時から翌4時までの,6時間を20℃設定で行い,夜間冷房の安定性と,冷房コスト,およびミディトマトの生育・初期収量・品質に及ぼす影響について検討した。

使用した地下水ヒートポンプは,第1図に示した菱名工業株式会社製 WEHP-5(冷房能力15.0kw,暖房能力18.0kw,使用水量40～60L/分)である。



第1図 供試した地下水熱利用型ヒートポンプ

* 福井県園芸研究センター

** 嶺南振興局 若狭農業経営支援部

2. 冬期の変温管理がミディトマトの収量・品質に及ぼす影響

同じく平成26年8月6日定植のミディトマト少量培地隔離栽培で、冬期、藤原の報告²⁾ (福井県小浜市でのミディトマト現地実証試験) に準じた12~16℃の変温管理を行い (表1)、温度管理の安定性と、石油式暖房機を対照とした暖房コスト、ミディトマトの生育中期~後期の収量・品質に及ぼす影響について検討した。

なお、石油式暖房機はネポン社製 KA-201 (出力 23.3 kw) を使用した。また、試験1, 2ともに使用したハウスはF75型で、間口 7.5 m、奥行 38 m、ハウス内に内張カーテンを設置し2分割して使用した (1区:143 m²)。

表1 冬期の変温管理

暖房機の種類	暖房時期	
	11月5日~12月8日	12月9日~2月26日
石油式暖房機 (2STEP 変温管理)	9~15時: 16℃	9~15時: 16℃
	15~翌9時: 12℃	15~翌9時: 12℃
地下水ヒートポンプ (12月9日以降は 4STEP 変温管理)	9~15時: 16℃	7~9時: 14℃
	15~翌9時: 12℃	9~15時: 16℃
		15~0時: 14℃
		0~7時: 12℃

3. 地下水ヒートポンプから排水される排水の有効利用

第1図に示した地下水ヒートポンプは、稼働時には40~60 L/分、熱転換を終えた排水が出るため、それを有効活用できるかについて検討した。

具体的には、暖房運転時の排水をハウスサイドの散水配管に接続し、ハウスの融雪に使えるかどうかについて検討した。

Ⅲ. 結果および考察

1. 盛夏期の夜間冷房がミディトマトの収量・品質に及ぼす影響

地下水ヒートポンプによる夜間冷房は8月8日~9月7日の31日間で、稼働時間は107.3時間であった。また、22時から6時間、設定温度20℃では、稼働後速やかに温度が下がり、設定温度には10分足らずで制御でき、処理時間終了の翌4時まで、安定して20℃を維持できた (図1)。

なお今回の試験では、冷房が始まる30分前まで、強制的に24時間タイマーで換気を行い、ハウス内に昼間蓄積された熱を放出し、その後外サイド、内張カーテンを閉めた条件で行った。

夜間冷房により、無処理区と比較して生育が旺盛になり草丈が伸び、芯止まりの発生も少なくなった。また、

株あたりの果実数、平均果重は多くなった。ただ、糖度については、無処理区より劣った (表2)。

そして冷房コストは、地下水ヒートポンプの使用電力量:353 kwh、電気代:4,199 円、地下水ポンプ:同 102 kwh、1,216 円の合計 5,415 円であった (143 m²分、表3)。

以上の結果から、143 m²ハウスで、冷房能力 15.0 kwの地下水ヒートポンプは安定的に夜間冷房に使用できること、定植直後から約1ヶ月間、盛夏期の夜間温度 (22時~翌4時) を20℃まで下げることによって、芯止まり (高温障害) を軽減し、初期生育を旺盛にし、果実数、平均果重を増加させることが明らかになった。糖度の低下については栃木ら³⁾の報告にあるように、生育・収量と糖度は負の相関があるためと考えられた。

また冷房コストも、143 m²ハウスあたり31日間で5,415 円と、暖房コストの月別平均コスト (約12,000 円程度、表6参照) より低く、冷房処理が栽培期間を通しての冷暖房コストに及ぼす影響は少ないと考えられた。

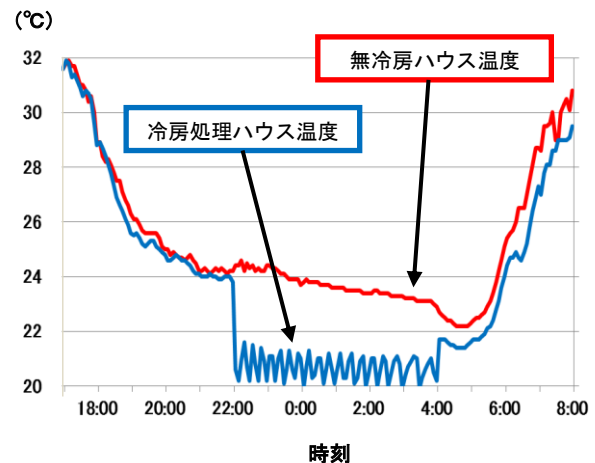


図1 平成26年8月13日~14日、17時~翌8時、冷房処理有無のハウスの温度の推移 (22時~翌4時、6時間20℃処理)

表2 夜間冷房の有無が生育・初期収量・品質に及ぼす影響

試験区	草丈 (cm)	茎径 (mm)	芯止まり 発生率 (%)	果実数 (個/株)	平均果重 (g)	糖度 (Brix)
無処理	161.6	10.3	19.6	40.0	40.0	7.0
夜間冷房6H	172.9	9.9	9.5	45.5	42.0	6.7

注) 冷房期間: 平成26年8月8日~9月7日

生育調査: 9月9日, 収穫期間: 平成26年10月10日~11月30日

表3 夜間冷房に必要な経費 (円 143m²/ハウス)

試験区	ヒートポンプ 電気代	地下水ポンプ 電気代	合計
夜間冷房6H	4,199	1,216	5,415

注) 電気代単価: 11.89円/kwh

2. 冬期の変温管理がミディトマトの収量・品質に及ぼす影響

地下水ヒートポンプは、厳寒期（12月～翌2月）に、空熱型ヒートポンプで頻繁に発生するデフロスト運転（霜取り運転）は発生せず、期間を通して安定した温度制御ができた（図2）。また、月毎の稼働時間は、地下水ヒートポンプは石油式暖房機の2倍強であった（表4）。

石油式暖房機による2STEP変温管理と、地下水ヒートポンプによる4STEP変温管理では、地下水ヒートポンプが石油式暖房機より、若干、株あたりの果実数、平均果重が増加した。糖度については、区間の差は明確ではなかった（表5）。

暖房コストは、石油式暖房機で稼働時間：485.6時間、消費石油量：1359.7L、燃油代：119,652円、本体電気代：2,049円の合計、121,701円であった。

一方、地下水ヒートポンプは稼働時間：1044.8時間、使用電力量：3,446kwh、本体電気代：37,388円、地下水ポンプ同999kwh、同：10,842円の合計、48,230円で、地下水ヒートポンプは、石油式暖房機より本体電気代は高く、別途地下水ポンプ電気代もかかるが、燃油代が不要なので、総合計の暖房コストは40%に抑制できた（表6）。

以上の結果から、143 m² 規模のハウスで、地下水ヒートポンプは、暖房能力が18kwあれば、冬期でもノンデフロスト運転ができ、安定的に温度制御できると考えられた。また株あたりの果実数、平均果重は、千葉県⁴⁾の報告にあるように、主に前夜半の加温により転流が促進された結果、増加したものと考えられた。そして暖房コストも、従来の石油式暖房機と比較して40%に抑制できることから、地下水ヒートポンプの導入メリットは十分にあると考えられた。

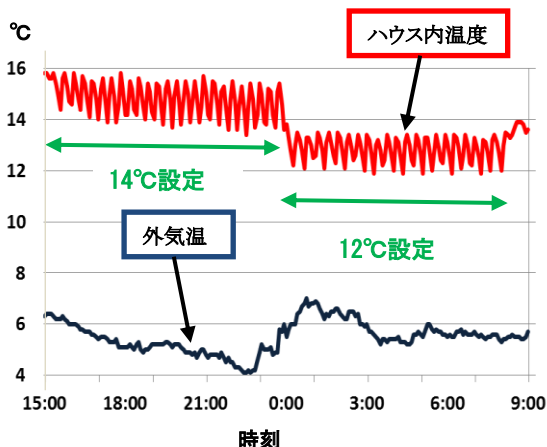


図2 平成27年1月22～23日、15時～翌9時の外気、ハウス内温度の推移（15～0時：14℃、0～9時：12℃設定）

表4 暖房方式の違いによる稼働時間（時間）

試験区	11月	12月	1月	2月	合計
石油式暖房機	70.4	151.0	154.9	109.3	485.6
ヒートポンプ	144.6	309.4	326.3	264.5	1044.8

表5 暖房方式の違いが果実品質に及ぼす影響

試験区	果実数 (個/株)	平均果重 (g)	糖度 (Brix)
石油式暖房機	37.4	27.5	7.9
ヒートポンプ	40.8	28.9	7.8

注）収穫期間：平成26年12月1日～27年2月26日

表6 暖房方式の違いによる暖房コストの比較（円、143m²分）

試験区	本体 電気代	地下水P 電気代	燃油代	合計	同比
石油式暖房機	2,049	0	119,652	121,701	100
ヒートポンプ	37,388	10,842	0	48,230	40

注）暖房時期：平成26年11月～27年2月末日まで

電気代単価：10.85円/kwh、灯油単価：88円/L

また、地下水ヒートポンプを利用して、夏期：夜間冷房＋冬期：4STEPの変温管理を行うと、無夜間冷房＋冬期：石油式暖房機：2STEP変温管理より、栽培期間全体を通して株あたりの果実数が増加し、平均果重、可販率がやや向上することにより、2月26日までのデータではあるが、可販収量が20%程度多くなった（表7）。

地下水ヒートポンプの導入により、慣行の年2作（促成＋抑制）の作型とは異なる、夏定植、翌年6月まで長期間収穫できる周年作型が可能となり、慣行の作型による収量（6t/10a）より多い12t/10aは到達できると考えられること、定植・後始末等の煩雑な作業が年1回で済むこと、冬期のミディトマト生産が可能となることから、ミディトマト周年栽培の有望な技術の1手法であると考えられた。

表7 ヒートポンプを冷暖房に使用した場合のミディトマトへの収量等の影響

試験区	果実数 (個/株)	平均果重 (g)	株あたり収量 (g/株)	可販率 (%)	可販収量 (g/株)	同比
対照	77.4	34.0	2,632	73.4	1,933	100
ヒートポンプ	86.3	35.8	3,090	74.8	2,312	120

注）対照：無夜間冷房＋石油式暖房機による2STEP変温管理

ヒートポンプ：夏期の6H夜間冷房＋4STEP変温管理

収穫期間：平成26年10月10日～平成27年2月26日

3. 地下水ヒートポンプから排水される排水の有効利用

冬期，地下水ヒートポンプに使用される地下水は，17～18℃，熱交換後，地下水ヒートポンプ本体から排出される排水は，15℃弱で安定していた．その排水をハウスサイド融雪に使えるように配管し，融雪に使用した結果，対照の地下水連続散布と同様の融雪効果が見られた（表8）．

以上の結果から，地下水ヒートポンプが暖房運転時に排水される排水はハウスの融雪に有効であると考えられた．ただし，地下水ヒートポンプが冷房運転時に，排出される排水温度は25℃前後であり，ハウスサイドに同様に噴霧しても，夜間は外気温が25℃より低い時間帯では噴霧処理による冷房の効果は少ないと考えられた．

表8 冬期の熱交換後の排水による融雪効果

試験区	平成26年 2月8日		平成27年 2月10日	
	融雪水温度 (℃)	ハウス周囲 平均積雪 (cm)	融雪水温度 (℃)	ハウス周囲 平均積雪 (cm)
対照（連続散水）	18.5	0	17.8	0
ヒートポンプ排水	14.6	0	14.8	0
融雪なし	—	19	—	35

注)対照は通常の地下水を融雪に使用、平均積雪はハウスサイドから30cm離れた地点を5m間隔14地点/棟の平均

4. 地下水ヒートポンプ導入時の経営試算について

以上の結果を踏まえて，一般的な300 m² 規模のハウスに5馬力の地下水ヒートポンプ：2台と，地下水ポンプ一式を導入する場合，イニシャルコスト（初期投資額）が500万円以上必要（地下水ヒートポンプ：120万円/台，地下水ポンプ一式285万円，合計525万円）となる．設備費の自己負担率を50%，7年償却と考え，更に減価償却費の他にエネルギー代（電気代），契約電力基本料金を含めると，慣行作型よりランニングコストは年56万円弱追加となる（表9）．しかし，周年作型が可能となり増収し，所得は追加分のランニングコストを差し引いても慣行作型より126千円/300 m² 増加する試算となる（表10）．

これまでの結果をまとめると，

- ① ミディトマトの周年栽培が可能となり，これまで出荷できなかった冬期の出荷が可能となること．
- ② 地下水ヒートポンプ導入コストを差し引いても慣行作型（年2作）より所得が126千円/300 m²増加すること．
- ③ 定植等の作業が年1回で済み，労力が軽減されること．
- ④ 本体からの排水が冬期のハウスの融雪に使えること．

これらの4項目により，地下水ヒートポンプの普及性はあると考えられた．

表9 300m²ハウスへの地下水ヒートポンプ導入コスト

減価償却費 (円/年)	電気料金 (円/年)	契約電力基本料金 (円/年)	合計 (円/年)
375,000	127,439	55,684	558,123

注) 減価償却費：機器の自己負担率 50%、7年償却で計算
電気料金は平成26年度実績を基に試算

表10 ミディトマト栽培収支の試算(300 m² ハウス)

作型	収量 (t/10a)	単価 (円/kg)	販売額 (千円)	経費 ^{*1} (千円)	所得 (千円)
慣行	6	750	1,350	810	540
ヒートポンプ	12	850	3,060	2,394	666

注) *1 経費は所得率40%として試算，ヒートポンプの経費は追加分コスト558千円も含む

IV. 謝辞

本研究の実施にあたり，地下水ヒートポンプの取り扱い等について，菱名工業株式会社 堀 恒久代表取締役，また，トマトの冷暖房管理について千葉県農林総合研究センター 野菜研究室 大木 浩主席研究員，同東総野菜研究室 草川 知行室長，静岡県農林技術研究所 野菜科 大石直記科長には適切な助言を頂いた．ここに深謝の意を表する．

V. 引用文献

- 1) 細井 友亨 (2013)．農業電化 2013 別冊特集号 寒冷地における地下水熱利用型ヒートポンプの活用．p. 2～7
- 2) 藤原 拓真 (2013)．R&D NEWS KANSAI 施設園芸におけるヒートポンプ適用評価研究 3月号．p. 8～9
- 3) 栃木 博美・川里 宏 (1989)．栃木農試研報 No36 トマトの促成栽培における土壌水分が果実品質に及ぼす影響．p. 15～24
- 4) 千葉県農林水産部農業改良課 (2006)．施設園芸の省エネルギー対策 検討会資料．p. 8～9

Study of midi-tomato cultivation with underground water-source heat pump system.

Hajime MORINAGA , Yasutaka HATANAKA

Summary

The air-heat-source heat pump type air conditioners (ASHPs) for horticultural cultivations are able to reduce energy cost compared to that of the oil combustion type hot air heater.

In winter season, however, it is difficult to maintain the appropriate temperature for a cultivation environment because of the defrosting operations.

To solve this problem, the underground water-source heat pump type air conditioners (GWSHPs) are developed in recently; because the temperature of the underground water is stable in all season.

In Fukui prefecture, the 'midi-tomato' was bred in Fukui prefectural university in late 1980's, they have high sugar content similar to that of the mini-tomato.

In this study, we examined the energy cost and the stability of cooling/heating of the GWSHPs in summer/winter. Moreover we examined the influence to quality and yield of midi-tomato under this condition.

We installed two GWSHPs which produce 5 horsepower in the double thermal insulation curtained plastic greenhouse (300-m²), and we planted the 'midi-tomato' plants on early August and cultivated them until next February.

The temperature of greenhouse, the nighttime (set-time: 22:00 to 4:00 of next day, set temperature: 20°C) in summer season (one month from planting) and all-day in winter season (set-temperature: 12 to 16°C) was stable without the defrosting operations.

In addition, the heating cost of GWSHPs are reduced by 40% compared to the oil combustion type hot air heater in winter season.

The yield of salable products (October to February) of the 'midi-tomato' which cultivated under the control of the night air-conditioning in summer and 4-step variable air-conditioning in winter by GWSHPs was increased by 20% compared to the control of no-night air-conditioning in summer and 2-step variable air conditioning in winter by the oil combustion type hot air heater.

Under the control by GWSHPs, the number of tomatoes per plant, average weight of tomato and the rate of salable product were increased, so the weight salable products was increased by them.

As the temperature of drainage (40 to 60 L/m) from the GWSHPs' heating driving was almost 15°C, they can reuse for the melting snow of the house side.

The initial investment costs of the installment of the GWSHPs and underground water supply devices are more expensive than that of the oil combustion type hot air heater, so it is necessary to consider a cost estimate against the profitability. But the using the GWSHPs, the wintering or annual cultivations of the 'midi tomato' are able to perform in snow zone. And the harvesting periods will be expanded and the yield will be higher than that of the conventional cultivation system (forcing and retarding cultivation, double-cropping, no air-conditioning).