

トマト養液栽培における愛知県版「環境制御機器導入効果試算シート」の作成

荒巻 忍¹⁾・落合幾美²⁾・近藤貴士¹⁾・吉村幸江³⁾・田中雄一¹⁾・金原義浩¹⁾

摘要：愛知県ではICTを活用した環境制御技術による「あいち型植物工場」を推進している。特に多様な環境制御機器の導入が進んでいるトマト養液栽培(大玉トマト)について、指導機関及び生産者自身が生産性向上や所得向上の視点で機器の導入効果を簡易に試算できる「環境制御機器導入効果試算シート」(以下、試算シート)を考案・作成した。

試算シートは表計算ソフトExcelを利用したもので、予定導入機器を選び、目標収量等の数値を入力することで、現状所得に対する推定所得の増減を算出でき、機器の導入効果を試算できる。

キーワード：養液栽培、環境制御、導入効果試算、トマト

緒言

トマトは本県の主力品目であり、収穫量は46600 t(全国第4位、平成29年産)¹⁾である。このうち施設栽培の主体である冬春トマトは、収穫量は42400 t(全国第2位、平成29年産)¹⁾で、東三河地域が主産地である。また、トマト施設栽培の約半数は養液栽培が占めている(農林水産省²⁾から計算)。本県では、ICTを活用した環境制御技術による「あいち型植物工場」を推進しており、特にトマトでは多様な環境制御機器の導入が進んでいる。そこで、機器導入について、生産者が生産性向上の視点で、機器選定、導入コスト及び所得等を総合的かつ簡易に試算する手法が必要である。

野菜生産に関する所得の試算については、大石ら³⁾の「営農計画策定支援システムZ-BFM」、南石ら⁴⁾の「営農計画支援システムFAPS-DB」、宮城県⁵⁾の「収穫補助機を用いた加工用トマトの導入を検討するための経営試算シート」があるが、これらは環境制御機器の導入を想定していない。

このため、生産者が導入効果や費用対効果を把握できるように、表計算ソフトExcel (Microsoft® Excel® 2016)を利用した「環境制御機器導入効果試算シート」(以下、試算シート)を考案・作成した。試算シートの構成・手法は他の作目での試算シート作成の参考になる可能性があり、これらを含め報告する。

材料及び方法

1 試算シートの利用場面を想定した設計の考え方

試算シートの利用者は、指導機関及びトマト養液栽培(大玉トマト)生産者とする。

利用場面は、生産者が既存施設又は新規施設へ環境制御機器を導入するときに、環境モニタリング機器と統合環境制御の選択、その導入コストの観点等で迷い、指導機関に相談する場面を想定する。指導機関は、収量、労働力、施設等の現在の経営状況や予定導入機器を聞き取り、試算シートへ入力する。推定所得が算出され、希望所得に満たない場合は条件を見直し、導入機器や目標収量を決定する。

簡易に試算できるように単価、経費、労働時間等の項目について一般的な値を調査・設定し、試算シートに組み込む。ただし、組み込んだ値は適宜変更可能とする。

試算シートを作成するため、以下の調査を行った。

2 調査項目

(1) 単価

トマト販売単価は、本県の主産地である東三河地域の主な出荷先、東京都中央卸売市場における2014年～2018年の国産トマト5か年平均卸売単価⁶⁾を利用した。

(2) 経費

経費は、愛知県農業総合試験場⁷⁾の経営モデル(以下、従来モデル)を基に、一部修正した値を利用した。例えば、種苗費は従来モデルでは319千円(2900株×150円)だが、現状の苗代(指導機関から聞き取り)から500千円(2900株×2本接ぎ木苗 345円/2)とした。動力光熱費は

¹⁾企画普及部 ²⁾企画普及部(現食育消費流通課) ³⁾企画普及部(現環境基盤研究部)

近年技術導入が進んでいる変温管理を含め設定温度から算出されるよう修正した。減価償却費、修繕費は設備・機器等を入力すると適宜算出されるよう修正した。雇用労賃は労働時間と時間あたり賃金から算出されるよう修正し、時間あたり賃金は2018年10月1日効力発生地域別最低賃金（厚生労働省愛知労働局）とした。荷造り・運賃・手数料は、指導機関が経営改善を目的に調査した事例（以下、指導機関調査事例）から売上の25%で算出されるよう修正した。

各機器の導入費用は従来モデルを基に、指導機関調査事例、機器メーカーの性能・仕様書等を参考とした。

(3) 労働時間

労働時間についても指導機関調査事例を基にしたが、環境制御機器管理作業に係る労働時間が不明であったため、生産者に聞き取り調査を行った。対象は、本県東三河地域のトマト大規模産地である豊川市で、既に環境制御装置を導入している4経営体を対象とした（表1）。機器管理作業に係る労働時間は、ミニトマト生産においても同程度と考えられ、ミニトマト生産者も調査した。そのうち2経営体の導入機器は温室内の機器を高度に制御する統合環境制御機器、2経営体の導入機器は環境モニタリング機器であった。聞き取り調査内容は、機器利用に係る労働時間とした。

(4) 環境制御の段階による収量目標設定

試算シート作成において、環境制御の段階を想定し収量目標の目安を設定した。

(5) 変温管理

トマト経営における動力光熱費は売上の9.6%⁸⁾であり、この大半を占める暖房費は設定温度で大きく変動する。高市ら⁹⁾の「温室暖房燃料消費試算ツール(ver.0.9)」、千綿ら¹⁰⁾の「施設園芸暖房コスト試算ツール(佐賀県版Ver1.0)」及び林ら¹¹⁾を参考に、設定温度(変温管理を含む)から動力光熱費を計算する式を試算シートに組み込んだ。なお、本県全体での利用を考え、設定温度と気温の温度差の算出には名古屋地方気象台の2009~2018年時間別平均気温(例えば、1月1日1時の気温を10年間平均、2時以降同じ)を利用した。

結果及び考察

1 試算シートの構成

試算シートは1つのExcelファイルとし、ファイル内は「質問表」及び「結果表」のシートで構成した(図1)。「質問表」へ入力すると、「結果表」に推定所得や現状所得と比較した所得向上額が示される。

2 試算シートの構成項目

想定規模は従来モデルの30 aとした。

国産トマト5か年平均卸売単価から販売単価は1 kg当たり360円と設定した。また経費を表2のとおりとした。時間あたり賃金は898円とした。機器導入費用は統合環境制御機器2500千円、環境モニタリング機器80千円、

CO2制御機器120千円、CO2施用機350千円等とそれぞれ設定した(表3)。

環境制御機器利用に係る労働は、計測データ分析及び機器設定を含めたモニター確認作業が中心であり、その時間は経営全体で5~60分/日であった(表4)。これを踏まえ試算シートでは環境制御用モニター確認等の労働時間を経営全体で30分/日、150時間/年と設定した(表5)。

取り組んでいる環境制御の段階を、I:既存生産方式(慣行;比較用)、II:環境モニタリング機器+基本環境制御(既存施設)、III:既存施設に統合環境制御導入(軒上げ工事含む)、IV:高軒高施設改築(新設)し統合環境制御導入、の4つとし、これらを環境制御レベルと定義した。この環境制御レベル毎に収量目標の目安を設定した(表6)。

変温管理への対応のため、暖房費の金額は以下のとおり設定した。

計算式は、高市ら⁹⁾の日暖房負荷から暖房費を求める考え方と計算式を参考に、千綿ら¹⁰⁾の時間別平均気温から時間別暖房デグリアワーを計算する手法を加え、林ら¹¹⁾の昼間暖房負荷を軽減する日射量の影響を求める計算方法を利用した。

まず、日暖房負荷を以下の式で求めた。

$$Q = Q_{nt} + Q_{dt}$$

$$Q_{nt} = (Aw \times h \times DH_{nt} - As \times Hs) \div 1000$$

$$Q_{dt} = (Aw \times h \times DH_{dt}) \div 1000 - As \times q_{solar}$$

ここで、Q:温室の日暖房負荷(GJ)、 Q_{nt} :温室の夜間暖房負荷(GJ)、 Q_{dt} :温室の昼間暖房負荷(GJ)、Aw:表面積(m²)、h:放熱係数(W/m²/K)、 DH_{nt} :夜間暖房デグリアワー(内外気温差)($\times 10^6 K \cdot s$)、As:床面積(m²)、 Hs :地中伝熱量(W/m²)、 DH_{dt} :昼間暖房デグリアワー($\times 10^6 K \cdot s$)、 q_{solar} :単位床面の温室内吸収日射量のうち昼間の暖房負荷減少に寄与する熱量(GJ)である。

試算シートでは、変温管理に対応するため、夜間暖房負荷、昼間暖房負荷を求める際に、 DH_{nt} と DH_{dt} を区別せず、日暖房デグリアワーとして求め、そこから夜間暖房負荷に関わる「 $As \times Hs$ 」及び昼間暖房負荷に関わる「 $As \times q_{solar}$ 」を除いて計算した。日暖房デグリアワーは、時間別施設内設定気温から名古屋地方気象台時間別平均気温を除いて時間別暖房デグリアワーを計算し、24時間分を足して計算した。

暖房費は「燃料消費量(kL/年/10 a、A重油)=日暖房負荷÷A重油発熱量(MJ/l)÷暖房効率(定数)」を求め、これにA重油価格66円/l(2014~2018年全国A重油5か年平均価格¹²⁾)を掛けた。

3 試算シートの特徴と活用

試算シートは以下の特徴を持つ。環境制御機器等の種類や台数等、入力条件を変えて試算することで環境制御レベル別の推定所得を簡単に比較できる。機器導入費用や動力光熱費等のランニングコストが同時に表示される。このうち、動力光熱費は設定温度を入力することで自動表示され、変温管理にも対応している。

使用方法は、試算シートの「質問表」へ入力し、「結

表1 調査対象

経営体 ¹⁾	作目	施設面積 (a)	うち高軒高面積 (a)	施設 ²⁾	環境制御機器 ²⁾					
					統合環境制御機器	環境モニタリング機器	ミスト装置	湿度制御機器	CO ₂ 施用機	CO ₂ 制御機器
A	トマト	30		普通軒		あぐりログ	○	○	○	○
B	トマト	33		普通軒		あぐりログ	○	○	○	
C	トマト	67	20	高軒高	マキシマイザー		○	3)	○	3)
D	ミニトマト	38	17	高軒高	プロファイnder		○	3)	○	3)

- 1) 調査対象はいずれも、養液栽培、秋-春の農協出荷という特徴を持つ。
- 2) 各経営体で最も環境制御機器が整った施設及び装置を記載した。
- 3) 統合環境制御装置があり、単独制御機器は必要ない。

環境制御機器導入効果試算シート (トマト編) 質問表

以下の質問項目に入力してください。自動計算された試算結果が別シート「結果表」に表示されます。

1 試算したいタイプを選んでください

- A: 既存生産方式 (慣行; 比較用)
- B: 環境モニタリング機器 + 基本環境制御 (既存施設)
- C: 既存施設に統合環境制御導入 (軒上げ工事含む)
- D: 高軒高施設改築 (新設) し統合環境制御導入

2 現在導入している、またはこれから導入したいと考えている施設・機械設備について

現在の施設ごとに面積と、導入している機械設備について、記入ください。

(1) 施設について

No	名称 (覧入)	施設	面積 (坪)	面積 (a)	単価 (10aあたり)	取得価格 (千円)	新規	軒上げ工事 (2.5-3.5m)	有無	価格	新規
1		普通軒硬質ポリカーボネイト	900	30	15,000	45,000	○		○	18,000	○
2											
3											
4											
合計			900	30	-	45,000	○	-	-	18,000	○

以下の表について、上記施設Noに導入されている、または導入予定の機器を、同じNoの行へ選択・入力ください

(2) 機器・機械設備について

No	名称	環境制御機器				CO ₂ 制御機器				
		台数	単価	取得価格	新規	有無	台数	単価	取得価格	新規
1	統合環境制御	1	2,500	2,500	○					
2										
3										
4										
合計		1	-	2,500	2,500	-	0	-	0	0

質問表

環境制御機器導入効果試算シート (トマト) 結果表 結果表

タイプ: C: 既存施設に統合環境制御導入 (軒上げ工事含む)

収支	経営全体	10a	増収率
経営規模 (a)	30		
単収 (kg/10a)		35,000	146%
単価 (円/kg)		360	
粗収益 (千円)	37,800	12,600	
副産物収入等	0	0	
収入合計 (千円)	37,800	12,600	

生産方式等モデルの前提
促成長期作型 (養液栽培)
軒上げ工事を行い高軒高へ
購入苗利用、共同機械運集、出荷場の利用
統合環境制御 CO₂施用機
微粒ミスト装置

現状単収 24,000 kg/10a
目標単収 35,000 kg/10a
所得向上額 2,081 千円

経費	経営全体	10a
種苗費	1,500	500
肥料費	642	214
農業薬剤費	264	88
農具費	165	55
動力光熱費	3,516	1,172
その他生産資材費	2,574	858
減価償却費	5,511	
修繕費	1,446	
雇用労賃等	3,330	
地代・賃賃料	30	10
利子割引料	585	180
農業共済・保険料	195	65
荷造り・運賃・手数料	9,450	3,150
販売費	0	0
福利厚生費	150	50
研究費	60	20
水利費・土地改良費	75	25
租税公課	384	128
その他企业管理費	180	60
合計	30,057	6,575
農業所得	7,743	
農業所得率 (%)	20	

作業名	経営全体	10a
育苗	0	0
定植準備	150	50
耕起・畝立	0	0
施肥	39	13
定植	36	12
かん水	33	11
防除	165	55
収穫	3,474	1,158
後片づけ	300	100
その他栽培管理	4,398	1,466
個別包装荷造搬出出荷	180	60
モニター確認等	450	150
合計	9,225	3,075
うち雇労	3,823	1,274

区分	台数・総額		取得価格		耐用年数		年償却額		総償却額		新規	
	台数	総額	取得価格	取得価格	耐用年数	年償却額	年償却額	総償却額	取得価格	取得価格	耐用年数	年償却額
高軒高施設 (4a/2)(a)	1	18,000	0	18,000	0	0	0	18,000	0	18,000	0	0
普通軒 (4a/2)(a)	30	15,000	45,000	0	14	3,240	450	0	0	0	0	0
その他ハウス(a)	1	15,000	0	15,000	0	14	1,296	180	1	1,296	180	1.0
軒上げ工事(a)	30	6,000	18,000	0	14	1,296	180	1	1,296	180	1.0	
統合環境制御	1	2,500	2,500	0	7	358	75	0	0	0	0	0
統合環境制御	1	750	0	750	0	7	358	75	0	0	0	0
環境モニタリング機器	1	80	0	80	0	7	358	75	0	0	0	0

結果表

図1 試算シートの構造 (一部抜粋)

表2 設定した経費

単位: 千円

経費	金額		備考
	経営全体	10aあたり	
種苗費	500	500	高軒高、普通軒で変動
肥料費	214	214	単収に応じて変動
農業薬剤費	88	88	
農具費	55	55	
動力光熱費	1124	1124	設定温度と軒高で変動
その他生産資材費	858	858	
減価償却費 ¹⁾	5511	5511	導入設備により変動
修繕費	1446	1446	導入設備により変動
雇用労賃等	3164	3164	労働時間と単収で変動
荷造り・運賃・手数料	3150	3150	単収に応じて変動
その他の経費	538	538	

1) 減価償却費は、新規導入設備は 100%計上、既存施設は 50%計上とした

果表」に試算された値を機器導入検討の資料とする。

質問表での主な入力項目は、既存及び新規導入施設・機器、現状所得、目標収量、労働力、設定温度等であ

表3 主な環境制御機器の導入費用

機器名	金額
統合環境制御機器	2500 千円/台
複合環境制御機器	750 千円/台
環境モニタリング機器	80 千円/台
CO ₂ 制御機器	120 千円/台
湿度制御機器	130 千円/台
CO ₂ 施用機	350 千円/台
超微粒ミスト装置	2000 千円/10a
微粒ミスト装置	1000 千円/10a

る。トマト販売単価や機器の金額等は設定済みの値を利用するが、変更も可能である。

大石ら³⁾、南石ら⁴⁾、宮城県⁵⁾の先行研究と比較すると、トマトの環境制御機器導入に特化した試算シートであり、導入を予定する機器に対して、総合的に導入効果を試算することができる。

試算シートは、機器選定による導入効果を試算する

表4 環境制御機器利用に係る労働時間

単位：分/日

経営体	分析・操作時間(経営全体)
A	30
B	15-30
C	5
D	30-60

表5 設定した労働時間

作業名	時間	
	経営全体 10aあたり	
定植準備	50	
施肥	13	
定植	12	
かん水	11	
防除	55	
収穫	1158	
後片づけ	100	
その他栽培管理	1466	
選別包装荷造搬出出荷	60	
環境制御用モニター確認等	150	

表6 環境制御レベルに応じた収量目標の設定

環境制御レベル ¹⁾	I	II	III	IV
生産施設	既設普通軒	既設普通軒	軒上げ工事高軒高	新設高軒高
高軒高施設	×	×	○ ²⁾	○
環境モニタリング機器 ³⁾	×	○	×	×
複合環境制御機器 ⁴⁾	×	×	×	×
統合環境制御機器	×	×	○	○
CO ₂ 施用機	×	○	○	○
ミスト装置	×	○ ⁵⁾	○ ⁵⁾	○ ⁶⁾
養液栽培	○	○	○	○
環境制御	一部手動	一部手動	自動	自動
収量目標 (t/10a)	24	28	35	40

- 1) I：既存生産方式（慣行；比較用）
 II：環境モニタリング機器＋基本環境制御（既存施設）
 III：既存施設に統合環境制御導入（軒上げ工事含む）
 IV：高軒高施設改築（新設）し統合環境制御導入
- 2) 軒高改修工事による2.5→3.5 m軒高を想定
- 3) あぐりログを想定
- 4) 微粒ミスト装置
- 5) 超微粒ミスト装置
- 6) 単収は全てのタイプで長段栽培年1作体系を想定し算出した

ツールであるが、推定農業所得を保証するものではない。しかし、目標収量、目標単価が明確となることで、栽培技術向上に取り組むことができ、本県における環境制御技術のガイドライン¹³⁾に即した経営を目指す生産者に有用なツールとなる。

謝辞：本研究を行うに当たり、生産者の皆様には多忙な中、調査に協力いただいた。東三河農林水産事務所農業改良普及課の鈴木章文氏（現田原農業改良普及課）、牧

宏優氏には生産者調査の支援に協力いただき、田原農業改良普及課の齋藤俊久氏、白谷嘉朗氏、宇野紋香氏には有用な助言をいただいた。皆様に感謝の意を表する。

引用文献

1. 農林水産省. 野菜生産出荷統計平成29年産. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kikaku/book/seisan/29_yasai.html (2019. 5. 28参照).
2. 農林水産省. 園芸用施設の設定等の状況(H28). http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/haipura/setti_28.html (2019. 8. 5参照).
3. 大石亘, 松本浩一, 梅本雅, 東野裕広, 村岡賢一. 営農計画策定支援システムZ-BFMの特徴と活用方法. 関東東海農業経営研究. 101, 63-68(2011)
4. 南石晃明, 前山薫, 本田茂広. 農業技術体系データベースと統合化された営農計画支援システム FAPS-D B. 農業情報研究. 16(2), 66-80(2007)
5. 宮城県農業・園芸総合研究所. 収穫補助機を用いた加工用トマトの導入を検討するための経営試算シート. 普及に移す情報. 91, https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/res_center/hukyuu-index91.html (2019. 5. 13参照)
6. 東京都中央卸売市場. 市場統計情報(月報・年報). <http://www.shijou-tokei.metro.tokyo.jp/> (2019. 7. 26参照)
7. 愛知県農業総合試験場. あいち型植物工場マニュアル(トマト編). 愛知県農業総合試験場. 愛知, p24 (2016)
8. 農林金融公庫. 施設園芸(トマト)の規模と収益性に関する調査. https://www.jfc.go.jp/n/findings/pdf/topics_170407a.pdf (2019. 5. 13参照).
9. 高市益行, 川嶋浩樹, 黒崎秀仁, 安場健一郎. わが国各地における各種温室の暖房燃料消費量の試算ツール. 野菜茶業研究成果情報. 平成19年度, 9-10 (2008)
10. 千綿龍志, 高取由佳, 松村司, 坂本健一郎. 佐賀県内における栽培施設の保温・暖房設備から暖房コストを算出できる試算ツール. 平成27年度佐賀県研究成果情報. <https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00349659/index.html> (2019. 5. 13参照)
11. 林真紀夫, 古在豊樹, 岡田益己. 園芸環境工学における最近の話題-10-暖冷房負荷の算定法-1-暖房負荷算定法. 農業および園芸. 61(11), 1342-1348 (1986)
12. 経済産業省資源エネルギー庁. 石油製品価格調査. https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html (2019. 8. 27参照).
13. 愛知県農業総合試験場. あいち型植物工場環境制御ガイドライン(トマト、ナス、イチゴ). 愛知県農業総合試験場. 愛知, p1-84(2019)