

革新的技術開発・緊急展開事業
(うち経営体強化プロジェクト)
経営体(大規模施設園芸)コンソーシアム

作業管理システム及び生育予測を核とした 大規模施設園芸発展スキームの構築 宮城県拠点成果集



令和元年度(2019年度)

宮城県農業・園芸総合研究所

目 次

- 1 長段どりトマト、パプリカ栽培における合理的作業管理方法の確立 1
 - (1) パプリカ栽培における作業工程の見直しによる効率化 2
 - (2) 暑さの軽減と休憩時間の延長による生産性の向上 4

- 2 寒冷地の長段どりトマト、パプリカ栽培における労務管理に連動した
生産管理技術の開発 7
 - (1) 日射量に基づいたトマトの収量シミュレーション 8
 - (2) 草勢が異なるパプリカにおける最適な栽植密度 16
 - (3) 日射量と積算温度に基づいたパプリカの収量予測 20

1 長段どりトマト、パプリカ栽培 における合理的作業管理方法の 確立

(1) パプリカ栽培における作業工程の見直しによる効率化

①背景

施設園芸経営体では大規模化するほど労働生産性が経営の律速要因となりやすい。現在、多くの大規模施設園芸経営体では、経験を基盤とした試行錯誤により効率的な作業体系を模索しており、作業方法の改善による効果を評価しにくく普及性に乏しい。そこで本研究では、労務管理データに基づいた効率的な作業体系を構築し、普及性の獲得を目指す。

②成果の概要

- a) パプリカ栽培の年間作業時間は、10a 当たり 1,850 時間（2017-2018 年作）で、「収穫」、「芽かき摘果」（以下「整枝」という。）、「巻きつけクリップ留め」（以下「誘引」という。）及び「選果」作業が全体の約 95%を占る（図 1）。
- b) 全作業時間の約 43%を占める「整枝」と「誘引」については、整枝と誘引作業を同一行程とすることから、それぞれを別工程にすると、作業時間が短縮される（表 1、2）。

③利活用の留意点

- a) 整枝と誘引作業工程の見直しによる作業時間の短縮には個人差がある。

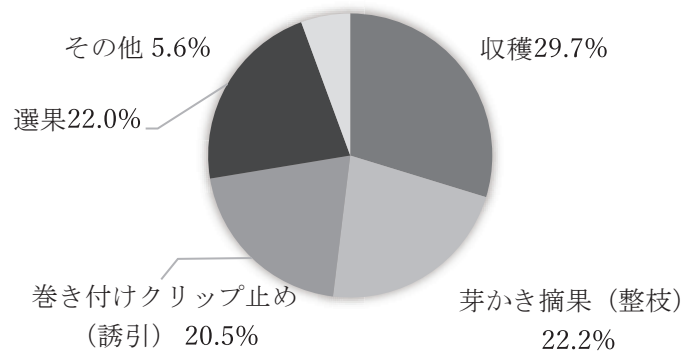


図1 作業時間割合 (パプリカ)

表1 パプリカの整枝・誘引作業時間の比較

計測回	作業工程改善前	作業工程改善後	
	整枝+誘引	整枝	誘引
1	168	74	83
2	169	71	82
3	175	77	83
4	170	77	80
5	171	74	77
平均	170.6	74.6	81

* 60歳代熟練女性作業者

* 30株の作業時間を5回計測した値と平均 (秒)

表2 パプリカ作業工程改善と作業能率

時間1人当たりの平均作業面積 (m ² /h/人) 2107年12月を100とした場合			
作業行程改善前 「整枝 + 誘引」	2017年12月	14.5	100.0
	2018年1月	30.4	209.9
	2018年2月	40.4	278.7
作業行程改善後 「整枝」 「誘引」	2018年3月	48.6	335.2
	2018年4月	47.5	327.6
	2018年5月	36.2	249.7
	2018年12月	26.6	183.7

* PRIVA FS PERFORMANEデータによる

(2) 暑さの軽減と休憩時間の延長による生産性の向上

①背景

施設園芸経営体では、大規模化するほど労働生産性が経営の律速要因となりやすい。作業員個々の身体的パフォーマンスを高いレベルで維持することは、生産性の向上の重要な要素の一つと言える。そこで、作業員が労働負荷を感じる要因の解明と解決方法を明らかにする。

②成果の概要

- 手首に装着し、作業員の熱ストレスを推定する富士通（株）製ウェアラブルセンサ（型式名；FUWV01001 製品名；バイタルセンシングバンド）の指標は、作業員周囲の熱環境が身体へ及ぼすリスクを示す（図1、表1）。
- 作業員が感じる作業負荷の強さと疲労度は熱環境と中程度の相関が認められる（表2）。
- ファン付き作業着（以下「空調服」という。）の利用により、疲労度は41.4%軽減される（表3）。
- 施設内の温度が高くなる時期に休憩時間を追加すると、生産性が向上する可能性がある（表4）。

③利活用の留意点

- 空調服着用による疲労の軽減効果には個人差がある。

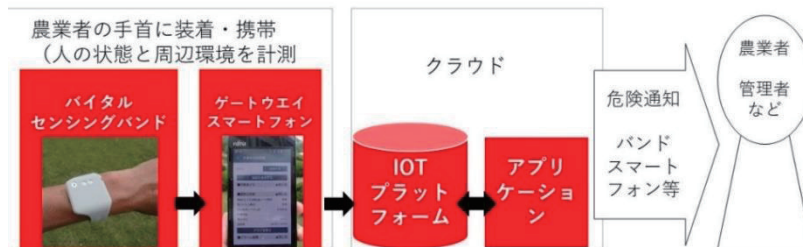


図1 ウェアラブルセンサーの概要

表1 バイタルセンシングバンド が示す指標とその内容

指標	値	内容
気温	-102.3~102.3	作業員周囲の温度
相対湿度	0~100	作業員周囲の相対湿度
パルス数	1~255	作業員の心拍数
熱環境レベル	1（ほぼ安全） ~5（危険）	温度、湿度から身体熱環境指数推定アルゴリズムを用いて算出した値
身体負荷レベル	1（ほぼ安全） ~5（危険）	安静時パルス数と最大パルス数を基に、現在のパルス数を身体負荷推定アルゴリズムを用いて算出した値
熱ストレスレベル	1（安全） ~4（危険度高）	安静時パルス数と作業時のパルス拍数、および身体熱環境指数を基に、熱ストレス推定アルゴリズムを用いて算出した値

富士通（株）ユーザーガイドより

表2 疲労度及び作業負荷の強さとセンシングデータとの相関係数

センシングデータ	自覚調査項目			
	疲労度		作業負荷の強さ	
気温	0.06		-0.08	
相対湿度	0.63	*	0.55	*
パルス数	0.11	*	0.11	*
熱環境レベル	0.40	*	0.30	*
身体負荷レベル	0.15		0.08	
熱ストレスレベル	0.45	*	0.47	*

* 相関係数は5%水準で有意

表3 暑さを強く感じる割合の比較

	調査回数	暑さ自覚	
		強く感じる回数(回)	頻度(%)
空調服	9	2	22.2
通常作業着	11	7	63.6

* 調査は両区ともH30 7/31 8/10 9/6パプリカ, トマト作業で実施

* 「強く感じる」は以下の5段階評価で4以上

* 暑さ自覚: 1全く気にならない~3気になる~5非常に気になる

表4 暑熱期の休憩時間追加と作業能率

	時間1人時間当たりの平均収穫量 (kg/h/人)	休憩追加前を100とした場合
休憩追加前	65.1	100
休憩追加後	96.7	148

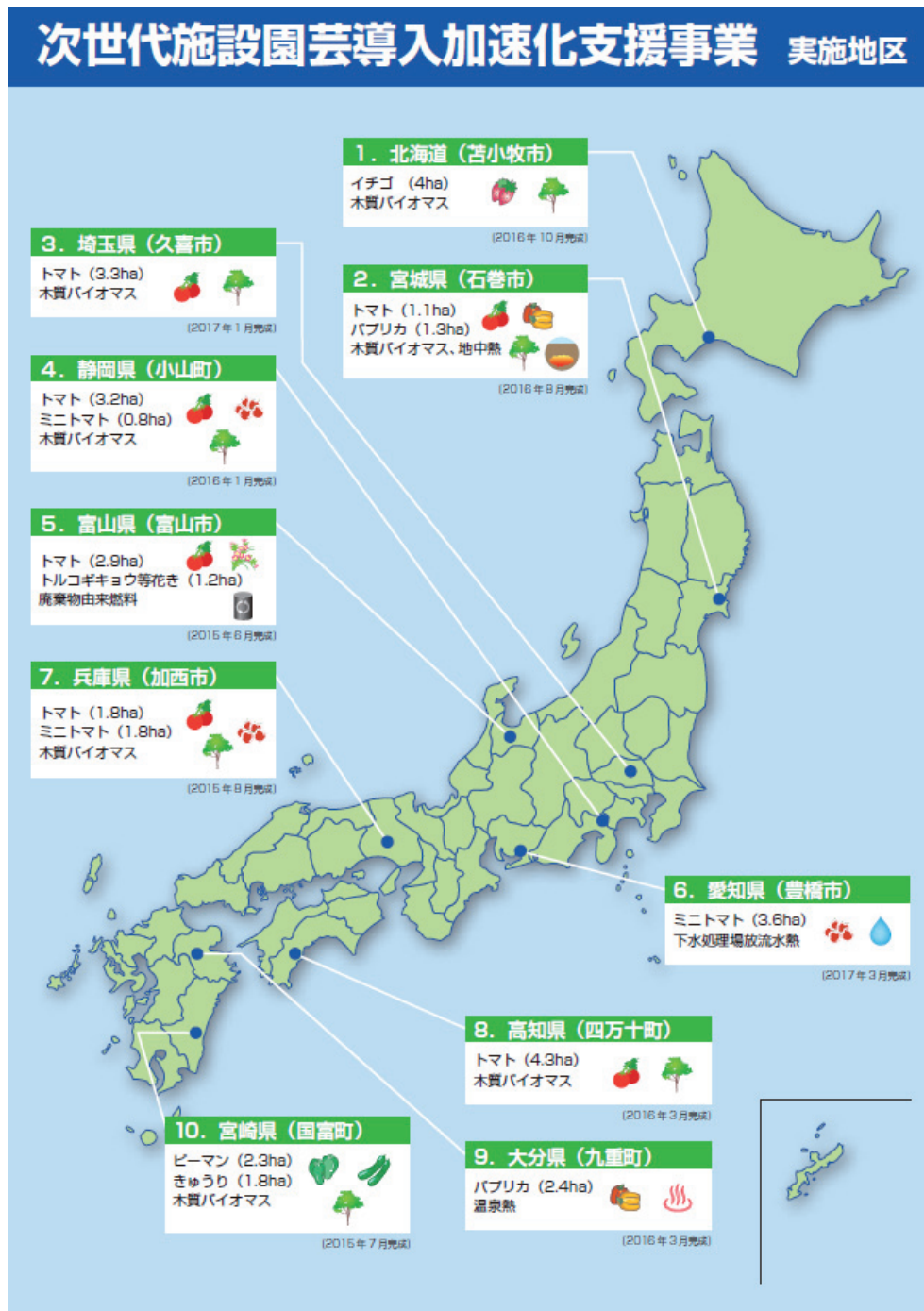
* パプリカ収穫作業

* PRIVA FS PERFORMANEデータ (収穫量は聞き取り)

* 休憩前: 2018年2月~3月の平均値

* 休憩後: 2018年4月~8月の平均値

【トピックス】 次世代施設園芸の展開



※引用元：一般社団法人 日本施設園芸協会発行「次世代施設園芸の全国展開」

農林水産省では、我が国における施設園芸の収益性を向上していくため、オランダの施設園芸を日本型にアレンジした高収益型施設園芸のモデルとして、全国10カ所に「次世代施設園芸拠点」を整備しました。

次世代施設園芸拠点では、①高度な環境制御技術の導入による生産性向上、②地域エネルギーの活用による化石燃料依存からの脱却、③温室の大規模化や生産から出荷までの施設の集積を行うことにより、所得の向上と雇用の創出が期待されます。また、本成果集の成果は宮城県拠点「(株)デ・リーフデ北上」の協力により得られたものです。

2 寒冷地の長段どりトマト、パプリカ栽培における労務管理に連動した生産管理技術の開発

(1) 日射量に基づいたトマトの収量シミュレーション

①背景

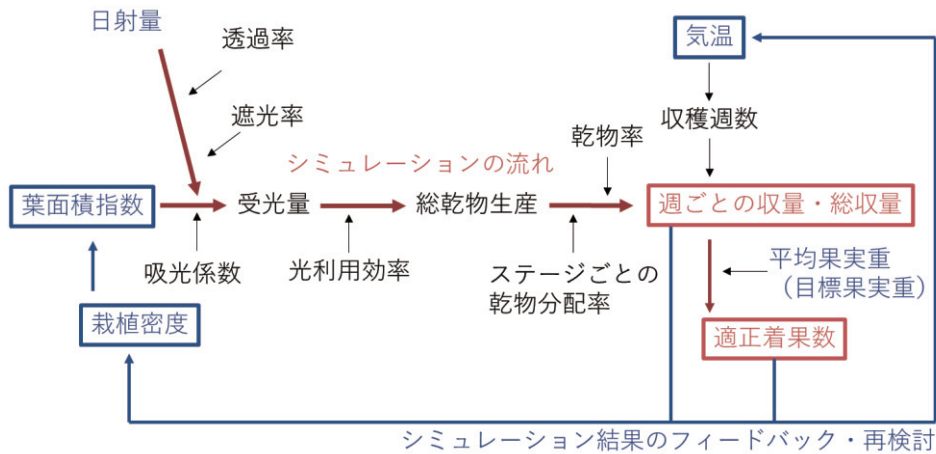
大規模施設園芸のトマト栽培における労働時間は、収穫や選果作業など収量に影響を受けるものの割合が2/3を占めるため、季節や生育状況に応じて作業時間が大きく変動することから、あらかじめ雇用や作業の計画を立てるため、収量のシミュレーションシステムが求められていた。また、栽培開始前に収量のシミュレーションが可能となれば、栽培条件、管理方法の検討も行うことが可能となり、効率的に改善を行うことができる。そのため、日射量等に基づきトマトのポテンシャル収量を推定するシミュレーションシステムを作成した。

②成果の概要

- a) このシミュレーションでは日射量に基づいて乾物生産を推定し、乾物分配率などからポテンシャル収量を算出しており、その概要は図1のとおりである。ポテンシャル収量については、開花から収穫までの発育ステージごとの果実の相対生長率に基づきシミュレーションしており、週ごとの推定が可能である。
- b) シミュレーションシートは表計算ソフトExcelで作成しており、4つのシートで構成されている。日射量、葉面積指数、商品化率、施設内気温、目標1果重などの基本情報(図2)を入力することで、自動的に可販収量、総収量、週当たり収量、収穫到達週数、適正着果数の5項目が出力され、簡易にシミュレーションできる(図3)。
- c) 栽培開始前にシミュレーションすることで、具体的な目標収量(ポテンシャル収量)の設定が可能となるため、栽培・事業計画などの作成に利用できる。また、栽培開始は、実測値と比較することで客観的に栽培を評価することができる。

③利活用の留意点

- a) 生育温度は生育適温(15~30℃程度の範囲)でのシミュレーションであり、これを大きく逸脱した場合にはシミュレーションできない。
- b) 病虫害の発生や養分の過不足、作業遅れ等による影響を考慮していない。これらの影響は光利用効率の低下を通じて収量に影響する。
- c) 極端な着果負荷の増減による短期的な収量及び光利用効率の低下は評価できない。
- d) 施設ごとにパラメータがわかっている場合にはその値を入力する。また、入力する値は過去のその施設のデータや、アメダス、NEDOの日射量データベースなど外部のデータを用いても良い。
- e) 果実重は目標とする平均1果実重を入力する。果実重を入力すると、目標の果実サイズを得るための、適正な着果数を推定できる。
- f) シミュレーションの結果、着果数や果実サイズなど品種特性により、設定した条件では達成が困難と思われる場合には、栽植密度などの栽培条件を見直す。



青：設定条件、赤：シミュレーション結果

図1 シミュレーションの流れ

	入力欄	備考
透過率 %	60	施設の固有値 (60-70%)
遮光 %	-	時期別に直接入力
吸光係数 K	0.8	品目・品種による。0.7-0.9程度
葉面積指数	-	時期別に直接入力
光利用効率 g/MJ	1.93	2-3 g/MJ程度。CO2で×1.3くらい。
果実分配率 g/g	0.48	0.5-0.7程度
果実乾物率 %	5	大玉トマトは4-6%程度
栽植密度 枝/m ²	3.3	
1果重 g	160	
収穫週数 週	-	5-7週程度 (積算1000°C・日)
収穫開始番号 W	47	
栽培終了週番号 W	30	

図2 シミュレーションの基本情報

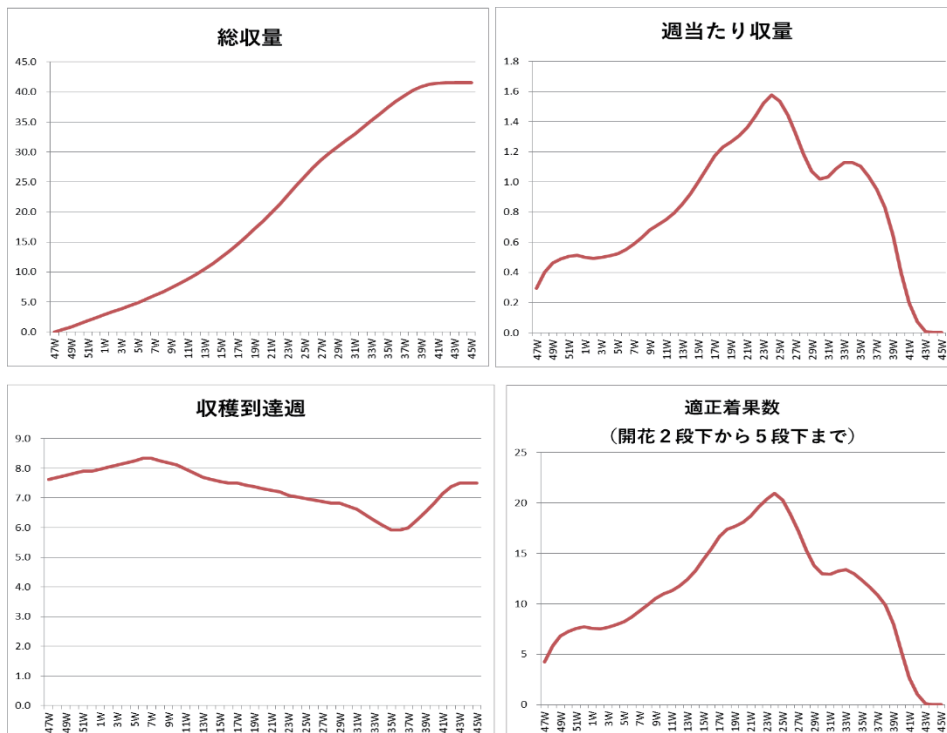


図3 シミュレーションの結果の算出画面

トマトの収量予測シミュレーションマニュアル (簡易版)

(1) 日射量に基づいたトマトの収量予測

①日射量に基づいたトマトの収量予測の概要

本シミュレーションシステムは、過去の日射量に基づきトマトのポテンシャル収量を推定するシステムである(図1)。栽培開始前に栽植密度や栽培期間、遮光の程度、CO₂の施用などの条件を入力することで、その影響をシミュレーションし、ポテンシャル収量を把握するとともに、目標収量に対しての戦略を立てることが出来る。また、栽培開始後は、各要因の実測値を入力することで、ポテンシャル収量(目標収量)との比較を行い、客観的に評価することが出来る。

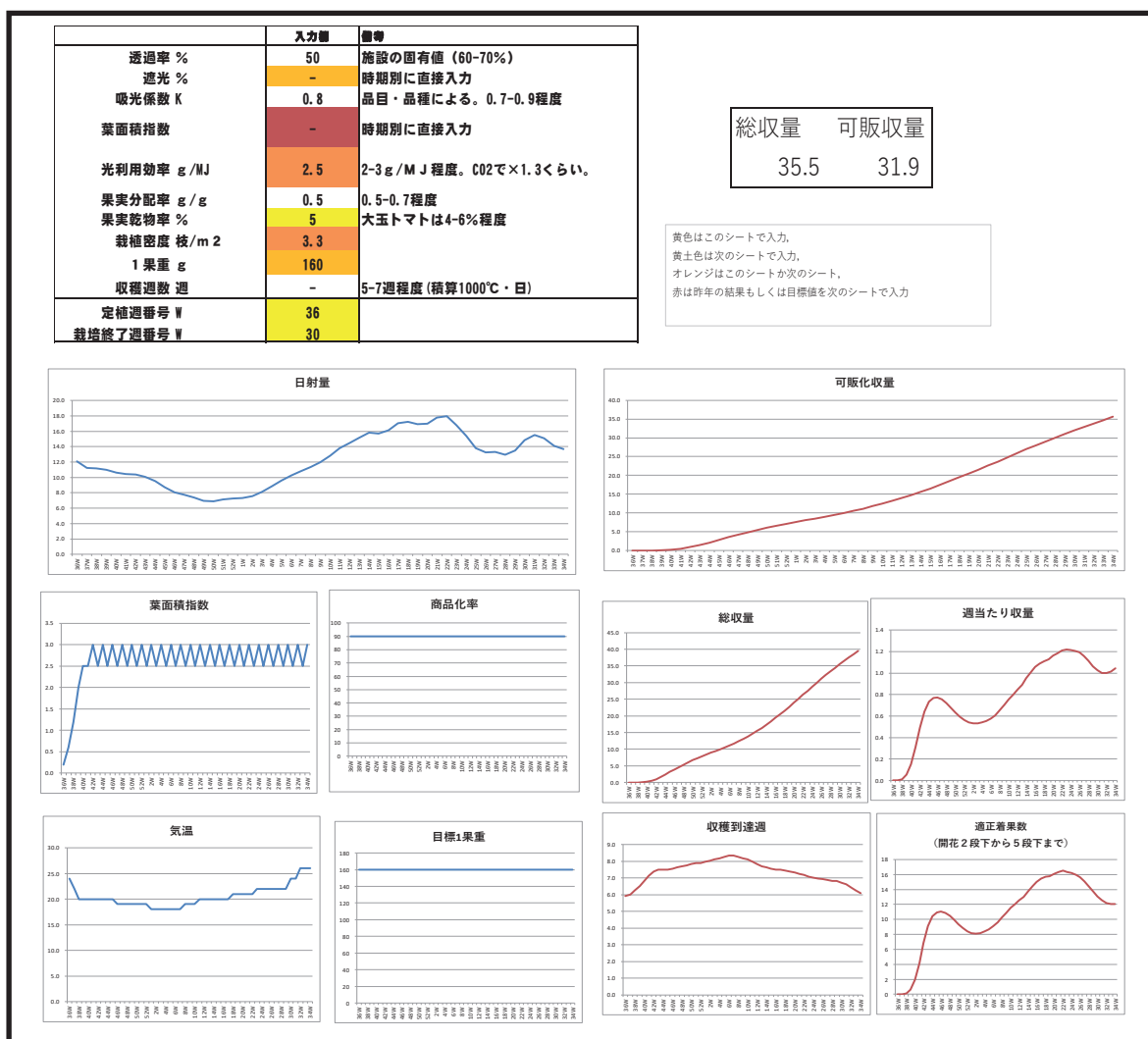


図1 シミュレーション画面

②シミュレーションシステムの概要

シートはエクセルの4つのシートより構成されており（図2）、1枚目「基本情報と結果」に施設や栽培期間などの基本情報とシミュレーションによる年間収量及び週当たりの収量が示される。2枚目のシートでは過去の週ごとの日射量や遮光期間、また、管理目標とする葉面積指数（以下、LAI）、光利用効率などをするシートとなっている。3枚目のシートは基本的にグラフの作成等のためのシートとなっており、通常は使用しない。4枚目は週番号の確認に利用する。

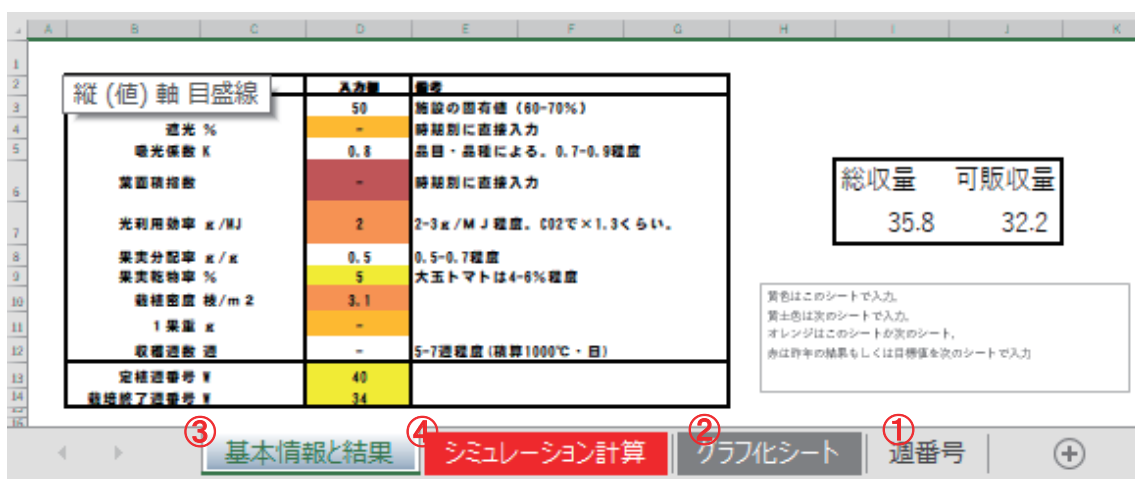


図2 シート構成

③シミュレーションの注意点

本シミュレーションでは、病虫害の発生や養分の過不足、作業遅れ等による影響を考慮していない。これらの影響は光利用効率の低下を通じて収量に影響する。また、極端な着果負荷の増減による短期的な収量及び光利用効率の低下は評価できない。

④シミュレーション使い方

1枚目のシートでは、黄色のセルは入力が必要な箇所、橙のセルは栽培期間中に変更の予定がない場合に入力する箇所となっている。ここで橙のセルに入力しない場合には2枚目のシートに直接値を入力する。

黄色のセルは果実乾物率と収穫開始週番号及び、栽培終了予定の週番号となっている。週番号は1月の第1月曜日を1Wとする（週番号のシートで確認できる）。果実乾物率は大玉品種では4-6%程度である。海外の多収品種では4%、食味重視の品種であれば6%程度とする。

	入力値	備考
透過率 %	50	施設の固有値 (60-70%)
遮光 %	-	時期別に直接入力
吸光係数 K	0.8	品目・品種による。0.7-0.9程度
葉面積指数	-	時期別に直接入力
光利用効率 κ /MJ	2	2-3 κ /MJ 程度。CO2で $\times 1.3$ くらい。
果実分配率 κ / κ	0.5	0.5-0.7程度
果実乾物率 %	5	大玉トマトは4-6%程度
栽植密度 枝/m ²	3.3	
1果重 κ	-	
収穫週数 週	-	5-7週程度 (積算1000°C・日)
定植週番号 W	40	
栽培終了週番号 W	34	

図3 基本条件の入力

2枚目のシートでは赤と橙、黄色のセルに週ごとの目標値や想定値等を入力する。灰色若しくはピンクのセルには式が入っているため通常使用しないが、施設ごとにパラメータがわかっている場合には入力する。入力する値は過去のその施設のデータや、アメダス、NEDO の日射量データベースなど外部のデータを用いても良い。

遮光については、遮光に必要な時期について入力する。この値は使用している資材や遮光時間によって大きく変わるため、栽培者がおおよその値を想定する必要がある。葉面積指数 (LAI) は実測値などを利用するほか、下記の式で推定しても良い。LAI=平均個葉の葉面積 (m²) ×葉枚数×栽植密度 (枝/m²)。トマトでは栽培時には個葉の葉面積は 600cm²-1200cm² となることが多い。目標は 3-4 程度であるが、宮城県内では 2.0-2.5 程度で管理されていることが多い。

光利用効率は 2-3 程度を入力する。光利用効率に影響する要因としては、CO₂ 濃度や飽差などの環境条件があげられる。例えば高濃度で CO₂ を施用したりすると光利用効率は 1.3 倍程度になる。これらの値は品種の影響を受けるため、文献値等を参考とする。時期による糖度の変化が把握出来ている場合には、果実乾物率を入力する。果実感物率は概ね糖度程度と考える。果実重は目標とする果実サイズを入力する。果実重を入力すると、1枚目のシートで目標の果実サイズに対して、適正な着果数を推定出来る。

時期により増枝を行う場合には栽植密度のその値を反映させる。商品化率には目標値若しくは過去の値を入力する。

	日平均日射量	平均気温	週積算日射量	透過率	遮光	透光係数	葉面積指数	相対受光積算量	光利用効率	地上部果実分	果実乾物率	果実新鮮積算量	収穫到達果実重	栽植密度	果実数	商品化率	可販化収量					
	kJ/m ²	°C	kJ/m ²	%	%	m ² /m ²	g/NU	g/NU	%	%	kg/m ²	kg/m ²	kg	株/株	個/株	%	kg					
1W	7.3	20.0	51	50	0	0.9	2.5	0.9	22.2	2.4	53	0.5	27	5	0.5	0.5	7.1	140	3.3	8.2	90	0.48
2W	7.6	20.0	53	50	0	0.9	3.0	0.9	24.1	2.4	58	0.5	29	5	0.6	1.1	7.1	140	3.3	9.0	90	0.96
3W	8.1	20.0	57	50	0	0.9	2.5	0.9	24.6	2.4	59	0.5	29	5	0.6	1.6	7.1	140	3.3	9.1	90	1.48
4W	8.9	20.0	62	50	0	0.9	3.0	0.9	28.2	2.4	68	0.5	34	5	0.7	2.2	7.1	140	3.3	10.5	90	2.01
5W	9.6	20.0	67	50	0	0.9	2.5	0.9	29.1	2.4	70	0.5	35	5	0.7	2.9	7.1	140	3.3	10.8	90	2.62
6W	10.3	20.0	72	50	0	0.9	3.0	0.9	32.7	2.4	78	0.5	39	5	0.8	3.6	7.1	140	3.3	12.1	90	3.25
7W	10.8	20.0	76	50	0	0.9	2.5	0.9	32.6	2.4	78	0.5	39	5	0.8	4.4	7.1	140	3.3	12.1	90	3.95
8W	11.3	20.0	79	50	0	0.9	3.0	0.9	36.1	2.2	79	0.5	40	5	0.8	5.2	7.1	140	3.3	12.3	90	4.66
9W	12.0	20.0	84	50	0	0.9	2.5	0.9	36.3	2.2	80	0.5	40	5	0.9	6.0	7.1	140	3.3	12.4	90	5.37
10W	12.8	20.0	90	50	0	0.9	3.0	0.9	40.9	2.2	90	0.5	45	5	0.9	6.8	7.1	140	3.3	13.9	90	6.09
11W	13.8	20.0	97	50	0	0.9	2.5	0.9	41.8	2.2	92	0.5	46	5	0.9	7.7	7.1	140	3.3	14.2	90	6.90
12W	14.5	20.7	101	50	0	0.9	3.0	0.9	46.0	2.0	92	0.5	46	5	0.9	8.59	6.9	140	3.3	13.8	90	7.73
13W	15.2	20.4	106	50	0	0.9	2.5	0.9	45.9	2.0	92	0.5	46	5	0.9	9.5	7.0	140	3.3	13.9	90	8.56
14W	15.8	21.5	111	50	0	0.9	3.0	0.9	50.4	2.0	101	0.5	50	5	1.0	10.4	6.7	140	3.3	14.5	90	9.38
15W	15.7	21.2	110	50	0	0.9	2.5	0.9	47.6	2.0	95	0.5	48	5	1.0	11.4	6.7	140	3.3	13.9	90	10.29
16W	16.2	21.4	113	50	0	0.9	3.0	0.9	51.4	2.0	103	0.5	51	5	1.0	12.4	6.7	140	3.3	14.9	90	11.15
17W	17.1	21.5	119	50	0	0.9	2.5	0.9	51.6	2.0	103	0.5	52	5	1.0	13.4	6.6	140	3.3	14.9	90	12.1
18W	17.3	22.0	121	50	0	0.9	3.0	0.9	54.9	2.0	110	0.5	55	5	1.1	14.4	6.5	140	3.3	15.4	90	13.0
19W	16.9	21.4	118	50	0	0.9	2.5	0.9	51.1	2.0	102	0.5	51	5	1.0	15.5	6.7	140	3.3	14.8	90	14.0
20W	17.0	21.2	119	50	0	0.9	3.0	0.9	54.1	2.0	108	0.5	54	5	1.1	16.6	6.8	140	3.3	15.8	90	14.9
21W	17.8	21.4	125	50	0	0.9	2.5	0.9	53.9	2.0	108	0.5	54	5	1.1	17.7	6.7	140	3.3	15.6	90	15.9
22W	17.9	21.9	126	50	0	0.9	3.0	0.9	57.1	2.0	114	0.5	57	5	1.1	18.7	6.5	140	3.3	16.1	90	16.9
23W	16.8	21.1	118	50	0	0.9	2.5	0.9	50.8	2.0	102	0.5	51	5	1.0	19.9	6.8	140	3.3	14.9	90	17.9
24W	15.4	21.1	108	50	0	0.9	3.0	0.9	49.0	2.0	98	0.5	48	5	1.0	20.9	6.8	140	3.3	14.4	90	18.8
25W	13.8	21.1	97	50	10	0.9	2.5	0.9	37.5	2.0	75	0.5	38	5	0.8	21.9	6.8	140	3.3	11.0	90	19.7
26W	13.3	23.8	93	50	10	0.9	3.0	0.9	38.0	2.0	76	0.5	38	5	0.8	22.6	6.0	140	3.3	9.9	90	20.4

図4 詳細条件の入力

これらを入力すると1枚目のシートの上部に右側に推定収量、その下部の左側に設定した基本条件(日射量、葉面積指数、商品化率、施設内気温、目標1果重)が、右側にシミュレーション結果(可販収量、総収量、週当たり収量、収穫到達週数、適正着果数)が表示される。ここで着果数や果実サイズなど品種特性により、設定した条件では結果の達成が困難と思われる場合には、栽植密度などの栽培条件を見直すこととなる。

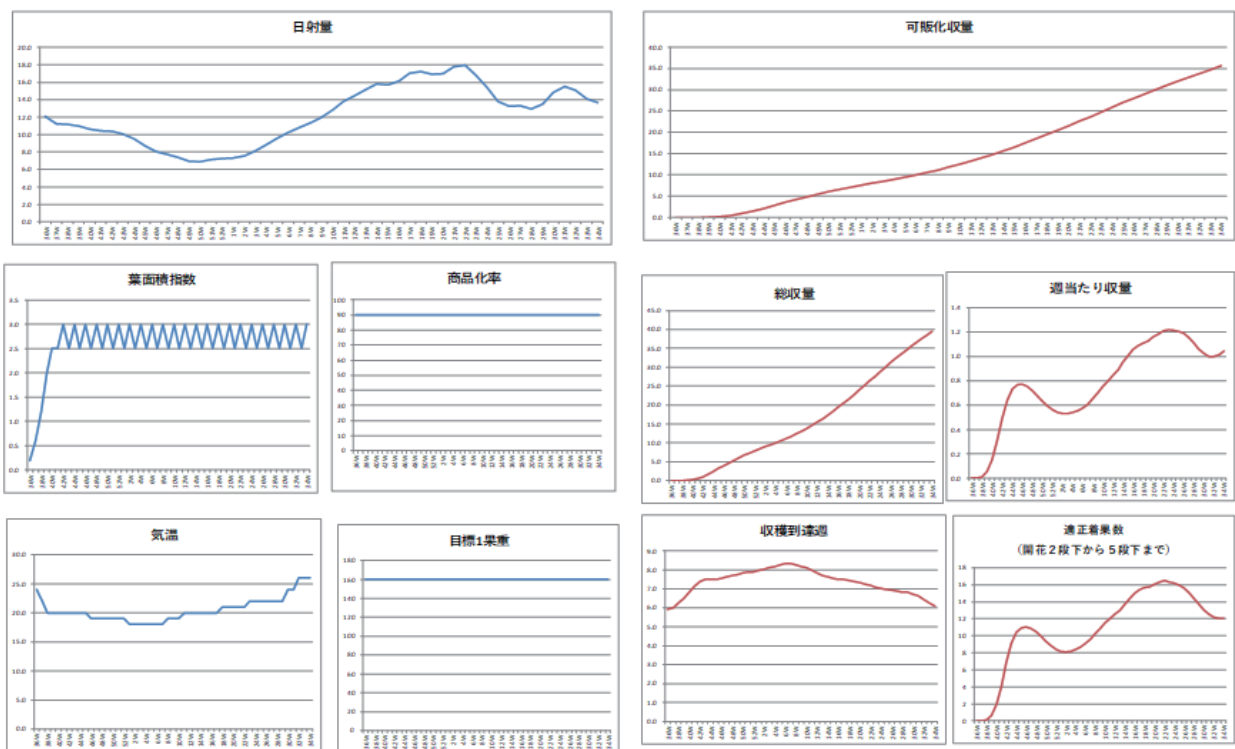
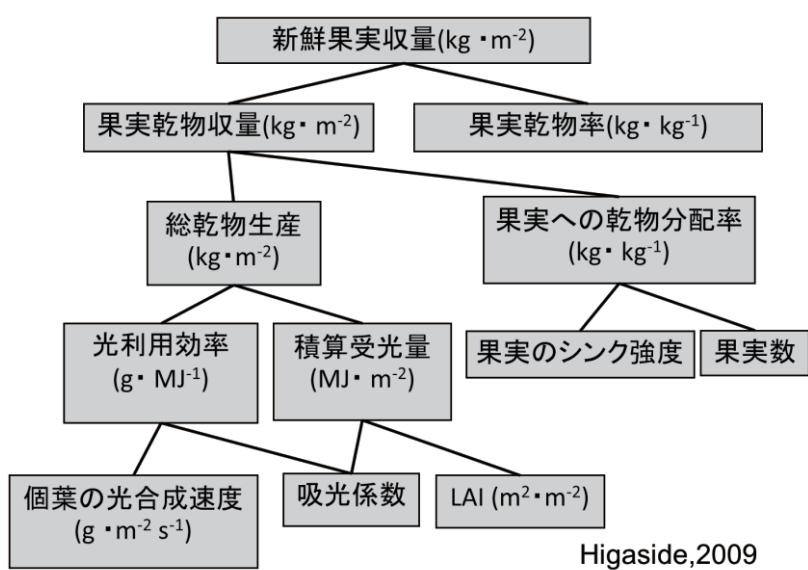


図5 条件の確認とシミュレーション結果画面

⑤シミュレーションの考え方

このシミュレーションでは日射量に基づいて乾物生産を推定し、そこから収量を推定している(図6)。それぞれの値は下記の式より算出している。また、果実収量については、開花から収穫までのステージごとの相対生長量に基づいて、週ごとの収穫量を推定している。



Higaside,2009

図6 生産モデル構造

果実新鮮重(g/m²) = 果実乾物重(g/m²) / 果実乾物率
果実乾物重(g/m²) = 総乾物生産量(g/m²) × 果実への乾物分配率
総乾物生産量(g/m²) = 群落の受光量(MJ/m²) × 光利用効率(g/MJ)

相対受光量(%) = (1 - e^{-k×LAI}) × 100

群落の受光量(MJ/m²)

= 相対受光量 × (全天日射量(MJ/m²) × 施設内への光の透過率 × 遮光率)

L A I = 株毎の葉面積 × 栽植密度

最適着果数(個/枝)

= 果実新鮮重(g/m²) / 平均果実重(g/個) / 栽植密度(枝/m²) × 収穫到達週数

初期設定では全天日射量は過去の仙台市の平均値、吸光係数は0.8(文献値)を用いたほか、不明な値は文献等からの推定値を用いた(果実乾物率:0.5, 果実への乾物分配率:0.5, 光利用効率:2.5, 施設内への光の透過率:0.5)。また、遮光については、時期により0~20%の間で設定している。

⑥使われている用語の説明

- ・ 光透過率 (%)

光透過率 (%) = 屋内日射 / 屋外日射

日本の高軒高温室では50~60%程度となる。海外の施設では65~72%程度。

- ・ 遮光率 (%)

屋内日射のうち、カーテン下部の日射量 / カーテン上部日射量。

- ・ 吸光係数 (K)

群落内部への光の通りやすさ。光がある媒質に入射したとき、その媒質がどれくらいの光を吸収するのかわかる定数。長さの逆数の次元を持つ。ランベルト・ベールの法則に従う。

- ・ 葉面積指数

Leaf Area Index (LAI)。葉の多少を示す指数。

ある土地の上部にある植物のすべての葉面積を積算した値を単位土地面積あたりに換算した値。例えばLAI=3は、1平方メートルの地面の上にある葉の面積の合計が3平方メートルあることを意味する。

- ・ 光利用効率 (g /MJ)
一定の光あたりの乾物生産の効率。二酸化炭素施与や品種の影響を受ける。
- ・ 果実分配率 g / g
総乾物生産のうち果実へ分配される割合。中間は幼葉の摘除などにより高めることができる。
- ・ 果実乾物率 %
果実の水分との乾物の割合。糖度が高い品種は高くなる。
- ・ 栽植密度 枝/m²
一定面積当たりの株(頭)数。増枝により栽培期間中に増減することもある。
- ・ 収穫週数 週
その果実が開花から収穫(赤熟)までの週数。青取りする場合には短くなる。

⑦参考文献

東出忠桐

建築基準法および消防法に準拠した植物栽培施設(つくば植物工場拠点)における施設内への光透過特性

野菜茶業研究所研究報告 = Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science (13), 27-33, 2014-03

東出忠桐

施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産の関係の利用

園芸学研究 2018年17巻2号 p. 133-146

(2) 草勢が異なるパプリカにおける最適な栽植密度

①背景

パプリカは品種ごとに草勢も収量性も異なる。また、栽植密度は作業性に大きく影響を及ぼす。一般的なパプリカの栽培においては、収益性にとって最適な栽植密度は明らかとなっておらず、品種の草勢、作業性を考慮して検討する必要がある。そこで、草勢が異なる品種ごとの栽植密度と収量性、受光量に対する着果数を示すとともに、どのような栽植密度の収益性が高いかを明らかにする。

②成果の概要

- a) 現在の生産現場で栽培されている主な大果形の赤色品種の日射量に対する茎葉乾物増加量を比較すると、‘サッポロ’、‘ナガノ’、‘スペシャル’の順に多く、草勢の強さに比例すると考えられる(表1)。
- b) 草勢が特に強い品種‘サッポロ’の異なる栽植密度の収量を比較した場合、栽植密度が主枝7.5本/m²と主枝6.4本/m²では、収量性が同等である(図1)。草勢が弱い品種‘スペシャル’は、栽植密度が高いが、主枝7.5本/m²の方が収量が多い。草勢が強い‘ナガノ’では、栽植密度が主枝7.5本/m²と、主枝6.4本/m²で収量に差が確認できない(図2)。
- c) 受光量に対する着果数の違いを調査したところ、草勢の特に強い‘サッポロ’の方が、草勢が弱い‘スペシャル’よりも同じ受光量でも着果数が多い(図3)。
- d) 宮城県内の現地生産法人において、‘ナガノ’で主枝6.3本/m²、主枝7.2本/m²の栽植密度が異なる区の収量を調査したところ、主枝6.3本/m²の方が主枝7.2本/m²よりも2.3%収量が少ない(図4)。
- e) ‘ナガノ’の主枝6.3本/m²、主枝7.2本/m²の栽植密度が異なる区で作業能率を比較したところ、栽植密度が低い主枝6.3本/m²の方が、26%以上作業能率が高い(表2)。主枝6.3本/m²、主枝7.2本/m²区の10a当たりの作業時間を比較すると、それぞれ合計で1628時間、1850時間になると推定され、主要な作業の作業時間が変化する(図5)。
- f) 品種‘ナガノ’で、主枝6.3本/m²、主枝7.2本/m²区の収益性を比較したところ、本条件では同等である(表3)。
- g) 草勢が異なる各品種における最適な栽植密度の範囲は、表4のとおりとなる。

③利活用の留意点

- a) 草勢が強い品種は、茎葉の生長が早く受光量が少なくとも着果数を確保しやすいため、主枝 6.3 本/m²以上 7.5 本/m²以下の栽植密度がおおよその設定範囲である。草勢が弱い品種は、茎葉の生長が遅く、受光量に対して着果数が少ない傾向がみられるため、主枝 7.5 本/m²以上で 8.5 本/m²以下の栽植密度が望ましい。
- b) 品種や施設内の環境条件で生育程度が変わるため、生産者は場ごとに確認が必要である。
- c) パプリカの作業時間の 9 割以上は、誘引作業、芽かき作業、収穫作業、出荷調製作業である。収益性の評価のためには、植物体の生育具合に応じて、月 1 回程度主要な作業の作業能率を調査する。各調査区の作業時間が調査できない場合でも、作業能率の差から各栽植密度区の作業時間を推定する。
- d) 試験場内の耕種概要は以下のとおりである。
 栽培施設：所内パイプハウス（間口 6.3m、奥行き 12m、棟高 3.3m）
 栽培様式：やしがら培地の養液栽培
 養液 EC は 1.2～1.8dS/m で給液し、各試験区ともかん水量は一定
 主枝 7.5 本/m²区は主枝 3 本仕立て
 主枝 6.4 本/m²区は主枝 2 本仕立て
- e) 調査した現地生産法人の耕種概要は以下のとおりである。
 栽培施設：フェンロー型高軒高温室
 定植日：平成 29 年 10 月初旬
 栽培様式：やしがら培地の養液栽培、主枝 3 本仕立て

表 1 各品種の施設内積算日射量に対する茎葉乾物増加量 (g/MJ)

作型 1		作型 2	
サッポロ	スペシャル	サッポロ	ナガノ
0.42	0.34	0.44	0.40

² 試験場内で調査。作型 1 は、平成 29 年 5 月 29 日に定植、10 月 16 日まで栽培、作型 2 は令和元年 5 月 23 日に定植、11 月 18 日まで栽培した。栽培期間中の施設内積算日射量に対する茎葉乾物増加量を算出することで草勢を評価した。

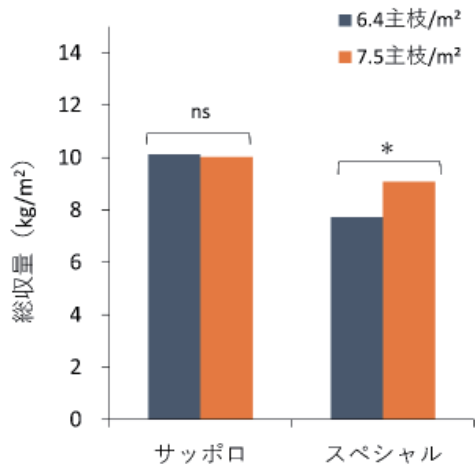


図1 ‘サッポロ’の各栽植密度の総収量

² 試験場内で調査

³*は t 検定により有意水準 5%で差があることを示し、ns は有意差なしを示す。(n=3)

⁴平成 29 年 5 月 29 日に定植，10 月 16 日まで収穫

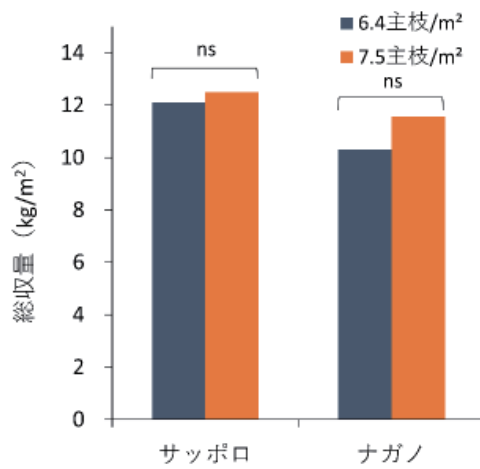


図2 ‘ナガノ’の各栽植密度の総収量

² 試験場内で調査

³ns は t 検定により有意差なしを示す (n=3)

⁴令和元年 5 月 23 日に定植，11 月 18 日まで収穫

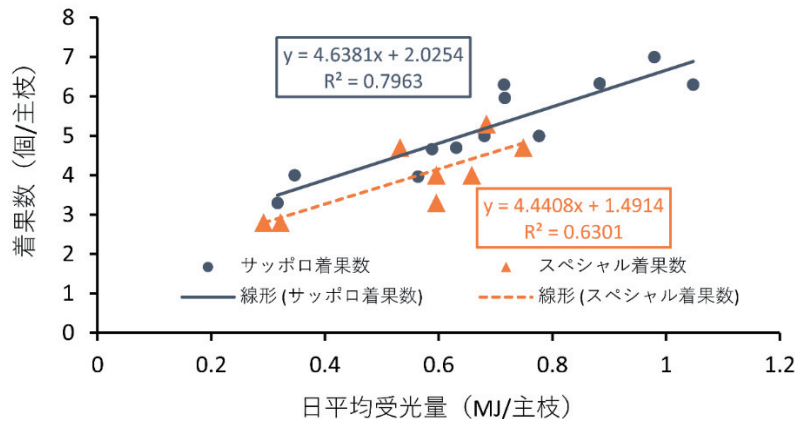


図3 ‘サッポロ’と‘スペシャル’の受光量当たりの着果数

² 平成 29 年度に試験場内で調査

³日平均受光量は着果数調査日 10 日前から 2 日前までの平均受光量

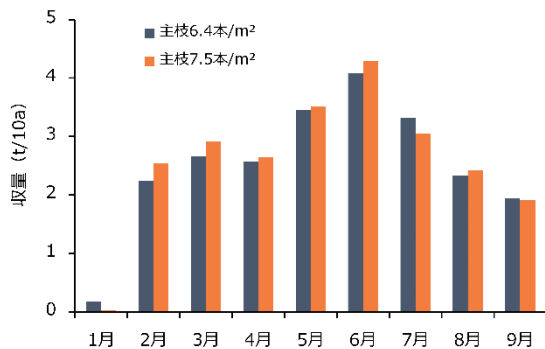


図4 ‘ナガノ’の異なる栽植密度区の収量

²平成 30 年度に現地生産法人において調査した。

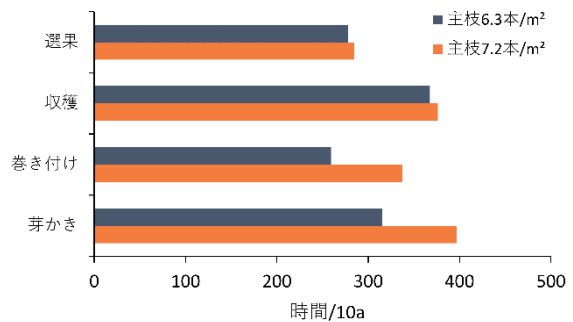


図5 各作業区の作業時間比較

²平成 30 年度に現地生産法人において調査した。

表2 異なる栽植密度区における芽かき、誘引の作業能率

	主枝 6.3 本/m ²				主枝 7.2 本/m ²				作業能率 (a)/(b)×100 (%)
	3/13	5/1	7/31	平均 (a)	3/13	5/1	7/31	平均 (b)	
芽かき作業 (m/分)	6.5	4.4	2.4	4.4	5.2	4.0	1.7	3.6	126
誘引作業 (m/分)	3.9	3.3	2.9	3.4	3.1	2.9	1.9	2.4	130

²それぞれの作業は、現地生産法人の同じ従業員が行い、平成30年度に調査。各作業の1分辺りに進む畝の長さを示す。

表3 異なる栽植密度区における10a当たりの収益性（試算）

	主枝 6.3 本/m ² (a)	主枝 7.2 本/m ² (b)	差 (a)-(b)
収量 (t)	22.8	23.3	▲ 0.5
収入 ①	11,400	11,650	▲ 250
種苗費 (千円)	420	480	▲ 60
作業労賃 (千円)	1,384	1,573	▲ 189
出荷経費 (千円)	2,280	2,330	▲ 50
その他経費 (千円)	5,000	5,000	0
経費 (千円) ②	9,084	9,383	▲ 299
所得 (千円) ①-②	2,316	2,268	49

² 収量および収入の単価 (500 円/kg), 種苗費, 作業労賃 (850 円/h), 出荷経費 (収入の20%) は、現地データに基づいた。

³ その他の経費は、償却費, 諸材料費, 肥料費, 農薬費, 動力光熱費が含まれており、現地データに基づいた。

⁴ 経費には、事務管理費等は含まれていない。

表4 異なる草勢のパプリカにおける最適な栽植密度

草勢	特に強い	強い	弱い
最適な栽植密度	主枝 6.3~7.5/m ²		主枝 7.5~8.5/m ²
品種例	サッポロ	ナガノ	スペシャル

² 草勢は、日射量に対する茎葉乾物増加量, 茎葉伸長量, カタログを元に評価し、特に強い, 強い, 普通, 弱い, 特に弱い, の5段階で判断した。

³ 最適な栽植密度は、収量性, 作業性, 収益性, 過去の知見等を総合的に判断した。

(3) 日射量と積算温度に基づいたパプリカの収量予測

①背景

パプリカの全作業時間の約半分は収穫及び選果作業である。また、収量の変動が大きい作物であるため、作業管理の観点から次週の収量を予測することは、作業管理を効率化でき、収益性を高めることが可能である。そこで、生育環境からパプリカの着果数を予測するとともに、収穫可能までの積算温度を調査することで、パプリカの収量予測を可能とする。

②成果の概要

- a) パプリカの着果数は、極端な高温条件等がなければ、受光量に依存して変化する。群落の葉面積、吸光係数等を調査し、群落の受光量を調査し、それに応じて着果数を予測できる(図1)。また、今週の新たな着果数は以下の計算式により算出できる。

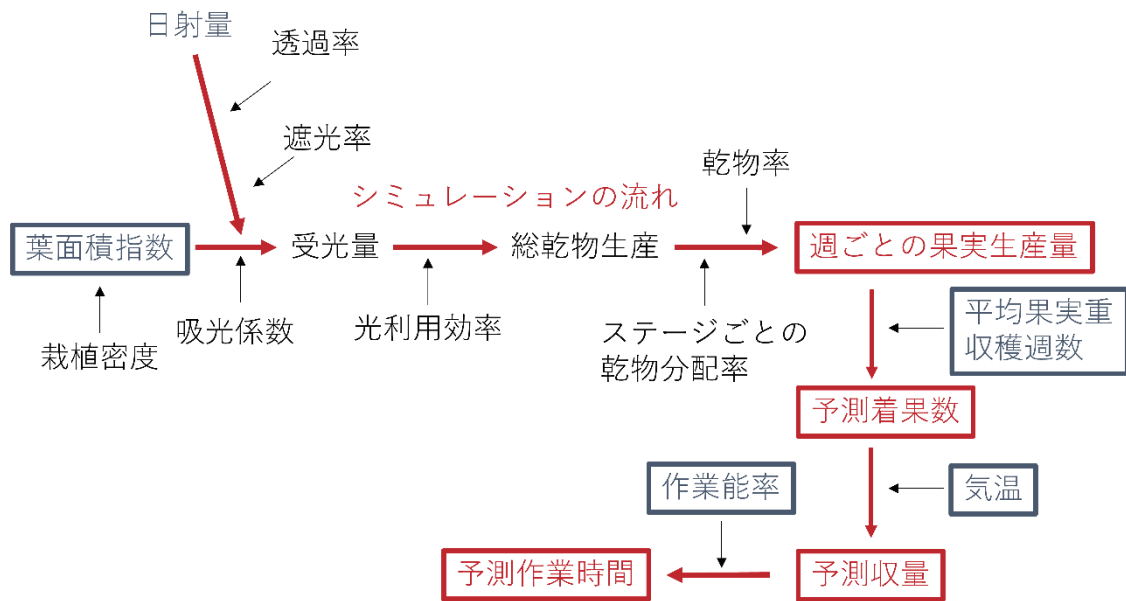
今週の新規着果数 = 今週の予測着果数 - (先週の予測着果数 - 今週の収穫数)

目視で確認の方が確実であり、10株程度の着果数を調査し、新規着果数の把握ができる。また、パプリカは落果しやすいため、直径2cm程度の果実を新規に着果した果実と判断する。実測着果数と予測着果数は、気候が安定している時期は一致しやすいが、曇天雨天が続く季節は、着果数及び新規着果数の予測精度が下がる(図2、3)。

- b) 目視により着果数を実測した場合と着果数を予測した場合では、果実数を実測した方が、精度良く収穫量のシミュレートができる(図4)。そして、予測収量と作業能率を基に、収穫作業時間が推定できる(図5)。

③利活用の留意点

- a) 生育温度が高温となる日(30℃以上)が続く場合、着果数は減少する。
- b) 着果数予測は病虫害や養分の過不足、作業遅れ等による影響を考慮できない。
- c) 時期により果実重が異なり、着果負担も変化する。前年度の時期ごとの1果実重などのデータ等を用いることで、より正確な着果数を推測できる。
- d) パプリカ群落の高低により温度差が生じる。正確に収穫量を推定させるために、群落内に最低2台温度センサーを設置し、平均値を活用するなど検討が必要である。
- e) 着果数が多い時期は1果重が減少するため、予測される収穫量が実際の収穫量よりも多くシミュレートされる傾向がある。
- f) 2cm程度の着果した果実が、日積算温度で1300℃・日に達して収穫されるとした。



青：設定条件、赤：シミュレーション結果

図1 シミュレーションの流れ

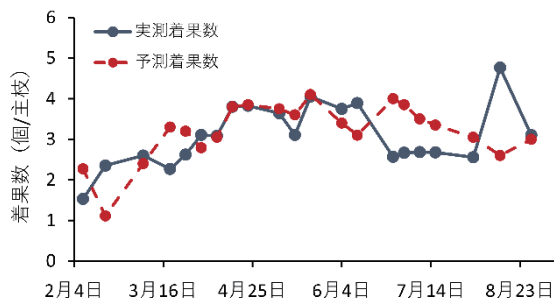


図2 着果数の予測

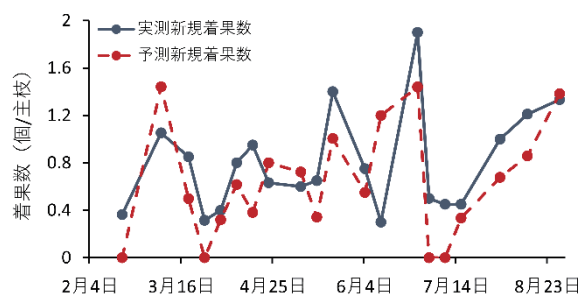


図3 新規着果数の予測

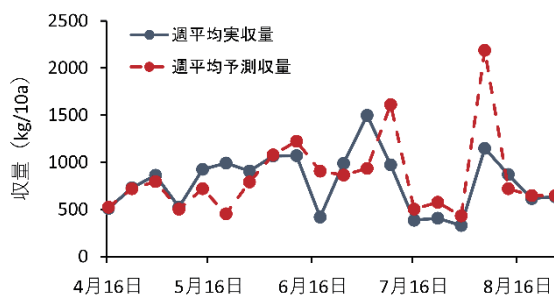


図4 収量の予測

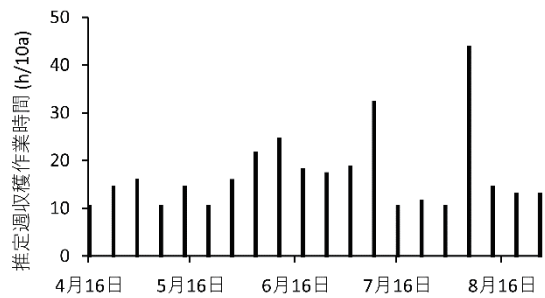


図5 収穫作業時間の推定

本成果集の内容は、革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）
「作業管理システム及び生育予測を核とした大規模施設園芸発展スキームの構築」により
得られたものである。

発行 令和2年2月
宮城県農業・園芸総合研究所
〒981-1243
宮城県名取市高舘川上字東金剛寺1番地
TEL：022-383-8111
FAX：022-383-9907

問い合わせ先
宮城県農業・園芸総合研究所 野菜部
TEL：022-383-8135