

BULLETIN
OF THE
WAKAYAMA PREFECTURAL EXPERIMENT STATIONS
OF
AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES

NO. 9 March 2021

和歌山県農林水産試験研究機関
研究報告

第9号

令和3年3月

和歌山県農林水産部

Wakayama Prefectural
Agriculture, Forestry and Fisheries Department

目 次

【農業試験場】

- 菌核病菌子のう胞子の飛散時期を基にしたキャベツ菌核病の防除対策 ————— 1～11
菱池政志
- 施設栽培コマツナのコナガの防除対策 ————— 13～28
井口雅裕

【果樹試験場】

- カンキツかいよう病に対する防除開始適期の再検討 ————— 29～36
武田知明・井沼 崇
- 着色期のウンシュウミカン果実を加害するハナアザミウマの防除対策 ————— 37～46
松山尚生・勘代博文
- ドローンを用いたマンゼブ水和剤散布によるウンシュウミカンにおける
カンキツ黒点病に対する防除効果 ————— 47～54
熊本昌平・衛藤夏葉・武田知明

【果樹試験場かき・もも研究所】

- 和歌山県におけるモモ‘さくひめ’の収穫適期判断に関する研究 ————— 55～61
堀田宗幹・柏木雄人・和中 学
- モモ寄生クワシロカイガラムシの薬剤感受性と有効積算温度を用いた
ふ化盛期予測法の現地適合性 ————— 63～71
弘岡拓人・間佐古将則・南方高志・増田吉彦

【果樹試験場うめ研究所】

- ウメ‘星秀’の育成 ————— 73～85
沼口孝司・北村祐人・武田知明・下村友季子・綱木海成・柏本知晟・
島津 康・菱池政志・岩本和也・根来圭一・中 一晃・林 恭平・
土田靖久・大江孝明
- アントシアニン含量の多いウメ‘露茜’果実を供給する効率的な追熟体制の確立 ——— 87～98
大江孝明・北村祐人・城村徳明・仲 慶晃・岡田 壮・丸野精二・
丸野普治・佐原重広・植田栄仁
- ウメ‘古城’の結実安定および早期摘果による樹脂障害果の軽減対策 ————— 99～109
城村徳明・仲 慶晃・下村友季子・大江孝明・稲葉有里・竹中正好・
赤木芳尊・前田起男・佐原重広・橘 実

【畜産試験場養鶏研究所】

- 龍神地鶏の産卵特性調査（第2報）産卵後期の産卵・卵質・卵殻表面の調査 ——— 111～118
橋本典和・松井 望・豊吉正成

【林業試験場】

- イタドリの特性調査と優良系統選抜および組織培養による増殖 ————— 119～130
杉本小夜・坂口和昭・坂本 淳

【水産試験場】

- 和歌山県沿岸海域における透明度の月変化および年変化 ————— 131~136
陶山公彦・安江尚孝
- イセエビ微孢子虫の検出に用いる LAMP 法の開発 ————— 137~143
堅田昌英
- Alexandrium pacificum* の検出に用いる LAMP 法の開発 ————— 145~152
堅田昌英

【学会誌掲載論文抄録】

- 薬剤散布および薬剤への展着剤の加用がシンガポールへの低温海上輸送後に発生するウンシュウミカン果実の腐敗に及ぼす影響 ————— 153
武田知明・衛藤夏葉・岡室美絵子・井沼 崇・中野龍平・福田文夫・河井 崇・深松陽介・西銘玲子
- 海上輸送によるカキ‘中谷早生’の東南アジア輸出時の軟化抑制技術の確立 ————— 154
古田貴裕・和中 学・熊本昌平・池永裕一・西銘玲子・河井 崇・深松陽介・福田文夫・久保康隆・中野龍平
- Estimation of demographic history of Japanese and Taiwanese populations in *Prunus mume* using SSR marker genotypes ————— 155
Koji Numaguchi・Yuto Kitamura・Ryo Ishikawa・Takashige Ishii
- Interspecific introgression and natural selection in the evolution of Japanese apricot (*Prunus mume*) ————— 156
Koji Numaguchi・Takashi Akagi・Yuto Kitamura・Ryo Ishikawa・Takashige Ishii
- アカマダラケシキスイ（コウチュウ目：ケシキスイ科）の季節消長と生活史 ————— 157
貴志 学
- 紀伊水道で漁獲された浮魚類における生体電気インピーダンスと脂質含量との関係 ————— 158
武田崇史・岡部修一・安江尚孝

菌核病菌子のう胞子の飛散時期を基にした キャベツ菌核病の防除対策

菱池政志

和歌山県農業試験場

Control of Sclerotinia Rot of Cabbage Based on Dispersal Period of Ascospores.

Masashi Hishiike

Wakayama Agricultural Experiment Station

緒 言

和歌山県のキャベツ栽培において、菌核病は冬どり、春どりともに発生するが、3月または4月収穫の春どりキャベツで発生が多い。菌核病の発生程度は年次間差、ほ場間差が大きい。調査を開始した2015年以降、毎年のように発病株率が20%以上に及ぶ多発ほ場が認められ、安定生産の阻害要因となっている。

本県の生産現場では、春どりキャベツの菌核病に対して、1月に薬剤散布による防除が行われている。菌核病の第一次伝染源は子のう胞子である (Abawi and Grogan, 1975, 1979)。子のう胞子は菌核から発生する子のう盤 (図1) に形成され、子のう盤の形成適温は15~16℃とされる (梅本ら, 1984; 米山ら, 2005)。和歌山市における過去10年 (2011~2020年) の1月の平均気温は4.3~8.6℃である (アメダス和歌山)。すなわち、和歌山市における1月の気温は、子のう盤の形成に適しておらず、子のう胞子が飛散していない可能性が考えられる。

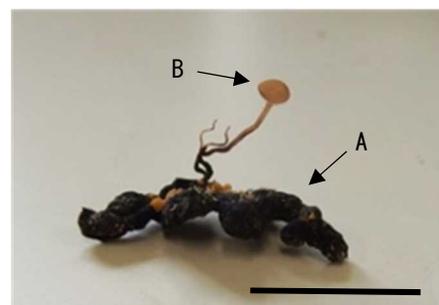


図1 菌核と子のう盤
A:菌核 B:子のう盤
スケールは1cm

子のう胞子の飛散時期については、海外で報告事例が多くあり、半選択培地を用いて空気中の子のう胞子を捕捉する方法 (Ben-Yephet and Bitton, 1985; Gutierrez and Shew, 1998; Hudyncia et al., 2000) や、バーカード型花粉採集器等を用いて空気中の子のう胞子を捕捉し、PCR法 (Freeman et al., 2002) やリアルタイムPCR法 (Rogers et al., 2009; Parker et al., 2014; Almquist and Wallenhammar, 2015) で検出する方法が試みられている。一方、わが国では、子のう盤の形成時期を調べた事例がある (長井・深津, 1968; 古木ら, 1969; 小芦, 1978; 梅本ら, 1984; 菱池, 2018)。この方法は、感染源である子のう胞子の飛散時期をおおむね把握できると考えられるが、子のう胞子を調査対象としていないため、正確な飛散時期を知ることはできない。

また、子のう胞子の飛散時期に薬剤の効果を持続させるためには、薬剤の残効期間を把握する必

要がある。キャベツ菌核病に対する薬剤の防除効果は、梅本ら（1984）が報告している。しかし、当時とは防除薬剤が変遷しており、現在の主要薬剤のキャベツ菌核病に対する防除効果や残効期間は明らかでない。

そこで、2017年作では子のう盤の形成時期を調査し、2018年作と2019年作では、リアルタイムPCR法を用いて空気中の菌核病菌子のう胞子の定量を試みることで、子のう胞子の飛散時期を検討した。また、主要薬剤の防除効果および残効期間を検討した。さらに、子のう胞子の飛散時期を基に、薬剤による体系防除を行い、防除効果を検証した。

材料および方法

1. 子のう盤の形成消長

菌核病菌（2014年12月に和歌山市のキャベツから分離）を、オートクレーブ滅菌したジャガイモ塊茎切片に接種し、約2か月間26℃の暗黒下で培養し、菌核を形成させた。菌核を回収し、4℃の冷蔵庫内で約3か月間保存した。ワグネルポット（1/5000a）に鹿沼土を充填し、深さ2～3cmに菌核を50個埋設した。このワグネルポットを、2017年9月15日にほ場に1か所設置した。ワグネルポットの上には寒冷紗を設置し、直射日光が当たらないようにした。10月2日から2018年5月29日まで、約1週間隔で菌核病菌の子のう盤の形成数を調査した。形成した子のう盤は調査日ごとに除去した。試験期間中の平均気温および降水量は、農業試験場内設置の気象観測装置のデータを利用した。

2. 簡易型胞子採集器の作成

草野ら（2014）および野村ら（2017）を参考に、簡易型胞子採集器を作成した（図2）。すなわち、大小2個のタッパーを用意し、大きい方のタッパーの蓋部から3cm下に5.5cm×3mmのスリットを1か所あけ、吸引口とした。スリットの内側（タッパー内部）には、ケーブルフックを両面テープで2個貼り付けた。大きい方のタッパーの底部中央に直径3cmの穴をあけ、タッパーの外側にDCファンモーター（山洋電機、San Ace 40）をねじで固定した。小さい方のタッパーの側面には排気口として直径4mmの穴を数個あけた。この2個のタッパーを、底部を上にした状態で大きい方を下、小さい方を上にして重ね、シリコンコーキングで接着した。



図2 簡易型胞子採集器

3. 菌核病菌子のう胞子の採集

簡易型胞子採集器をキャベツ栽培ほ場の中央部または近傍に設置した。トラップとして、テープ幅20mmの両面テープを貼り付けたスライドガラスを、粘着部分がスリット側になるように、ケーブルフックに引っかけた。簡易型胞子採集器のDCファンモーターを車用バッテリー（12V）につなぎ、連続駆動させた。おおむね1週間隔でバッテリーと両面テープを貼り付けたスライドガラスを交換した。胞子採集器は、2018年11月22日から2019年6月12日までと、2019年9月18日から2020年6月12日まで設置した。

4. 菌核病菌子のう胞子の定量

両面テープからの DNA 抽出および精製は、Almquist and Wallenhammar (2015) を参考に行った。すなわち、DNA 抽出は、FastDNA Kit (MP Biomedicals) を用いた。両面テープを Lysing Matrix A tubes に入れ、一晚以上-80℃で冷凍した。チューブに CLS-Y を 1ml 入れ、ミキサーミル (Retsch, MM301) を用いて、振動数 30 回/秒で 2 分間の破碎を 2 度行った。これ以降は、キットに添付のプロトコルどおり行った。DNA の精製は、illustra™ MicroSpin™ S-300 Columns (GE Healthcare) を用いて、添付のプロトコルどおり行った。リアルタイム PCR 装置は LightCycler® Nano (Roche Diagnostics) , 試薬は FastStart Essential DNA Green Master (Roche Diagnostics) , プライマーセットは Ss_F と Ss_R (Yin et al., 2009) を使用した。結果は、LightCycler® Nano Software 1.0 で解析し、融解曲線分析を行った。1 胞子あたりの DNA 量を 0.35pg (Rogers et al., 2009) として 1 平方センチメートルあたりの胞子数を算出した。試験期間中の平均気温および降水量は、農業試験場内設置の気象観測装置のデータを利用した。

5. 主要薬剤の残効性

2017 年 11 月 28 日に、農業試験場内露地ほ場にキャベツ ‘めぐみ’ を定植した。供試薬剤は表 1 に示すとおりとし、いずれも展着剤として、ポリ (オキシエチレン) =ノニルフェニルエーテル 10.0%・ポリナフチルメタンスルホン酸ナトリウム 6.0%剤 5,000 倍を加用した。表 1 に示す散布日に、供試薬剤を背負式電動噴霧機で十分量散布した。2018 年 4 月 17 日時点で自然発病が認められなかったため、同日、 1.0×10^3 個/ml に調整した菌核病菌の子のう胞子懸濁液を、背負式電動噴霧機で 1 区あたり 150ml 散布し、接種した。5 月 28 日に発病を調査し、発病株率を算出した。また、発病株率に基づいて防除価を算出した。防除価 60 以上の防除効果が得られた、最終散布日から接種日までの日数を、残効が期待できる日数と判断した。1 区 6.75m² (1.5×4.5m) , 28~30 株, 3 反復とした。

表 1 試験区の概要

供試薬剤	希釈 倍数	最終散布から 接種までの日数	散布日					
			12/3	12/18	12/25	3/13	3/29	4/3
ピラクロストロビン ・ボスカリド水和剤	1,500	14	○		○	○		○
		35	○			○		
ボスカリド水和剤	1,500	14	○		○	○		○
		35	○			○		
ピリベンカルブ水和剤	2,000	14	○		○	○		○
		35	○			○		
イプロジオン水和剤	1,000	14	○		○	○		○
		19	○	○		○	○	
		35	○			○		

○は散布したことを示す

6. 子のう胞子の飛散時期を基にした体系防除の防除効果

1) 2018 年作試験

2018 年 11 月 21 日、農業試験場内露地ほ場にキャベツ ‘めぐみ’ を定植した。試験区は 3 回散布区および 2 回散布区を設定した。供試薬剤および希釈倍数はボスカリド水和剤 1,500 倍、ピリベンカルブ水和剤 2,000 倍、ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤 1,500 倍とした。表 2 に示す散布日に供試薬剤を散布した。2019 年 4 月 19 日に発病を調査し、発病株率を算出した。また、発病株率に基づいて防除価を算出した。

表2 試験区の概要

区	散布日		
	12/1	12/18	2/26
3回散布	ボスカリド	ピリベンカルブ	ピラクロストロビン・ボスカリド
2回散布	ボスカリド	-	ピリベンカルブ
無処理			

2) 2019年作試験

2019年11月20日、農業試験場内露地ほ場にキャベツ‘めぐみ’を定植した。試験区は3回散布区、2回散布区、セルトレイ灌注+1回散布区を設定した。セルトレイ灌注剤の供試薬剤および希釈倍数はピラジフルミド水和剤100倍、500ml/トレイ、散布剤の供試薬剤および希釈倍数はボスカリド水和剤1,500倍、ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤1,500倍とした。表3に示すセルトレイ灌注日および散布日に供試薬剤を処理した。2020年4月17日に発病を調査し、発病株率を算出した。また、発病株率に基づいて防除価を算出した。

表3 試験区の概要

区	セルトレイ灌注日	散布日		
	11/19	11/25	12/19	3/7
3回散布	-	ピラジフルミド	ボスカリド	ピラクロストロビン・ボスカリド
2回散布	-	ピラジフルミド	-	ピラクロストロビン・ボスカリド
セルトレイ灌注+1回散布	ピラジフルミド	-	-	ピラクロストロビン・ボスカリド
無処理				

結果

1. 子のう盤の形成消長

子のう盤の形成は、11月中旬から12月中旬までと3月中旬から4月上旬まで認められた(図3)。調査日ごとの子のう盤の形成数は1~10個であった。子のう盤の形成が認められた期間の平均気温は、4.4~14.4℃であった。

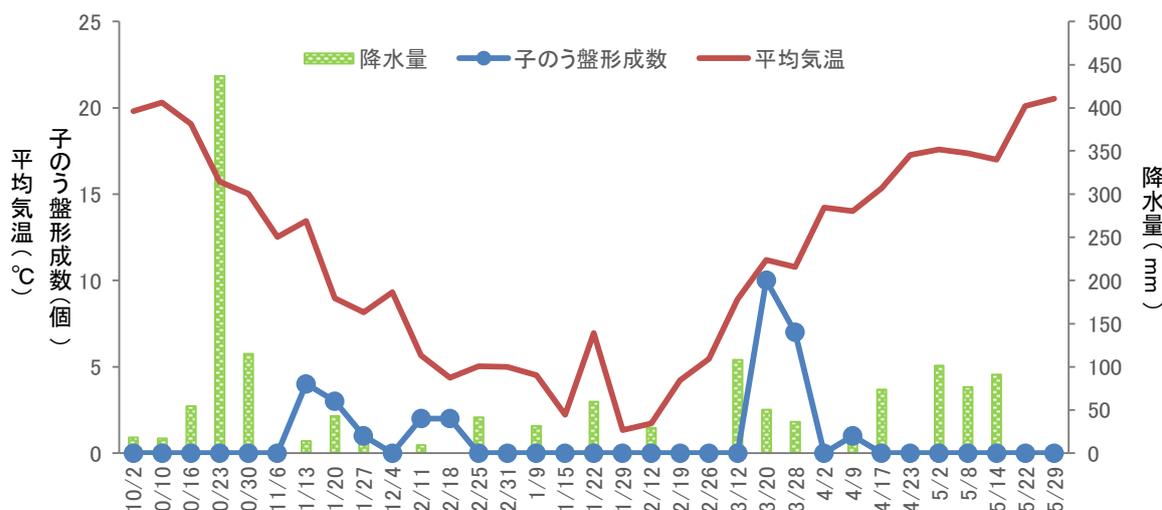


図3 菌核病菌子のう盤の形成数と平均気温、降水量の推移(2017~2018年)

注) 日付は調査日

2. 菌核病菌子のう胞子の飛散消長

2018年作では、2018年11月22日から2019年6月12日まで調査を行った。子のう胞子の主な飛散時期は、調査を開始した11月22日から12月20日までと、3月6日から6月5日までであった（図4）。3月6日以降は断続的な飛散であった。捕捉された1平方センチメートルあたりの子のう胞子数は1～43個であった。子のう胞子が検出された期間の平均気温は、5.4～20.4℃であった。

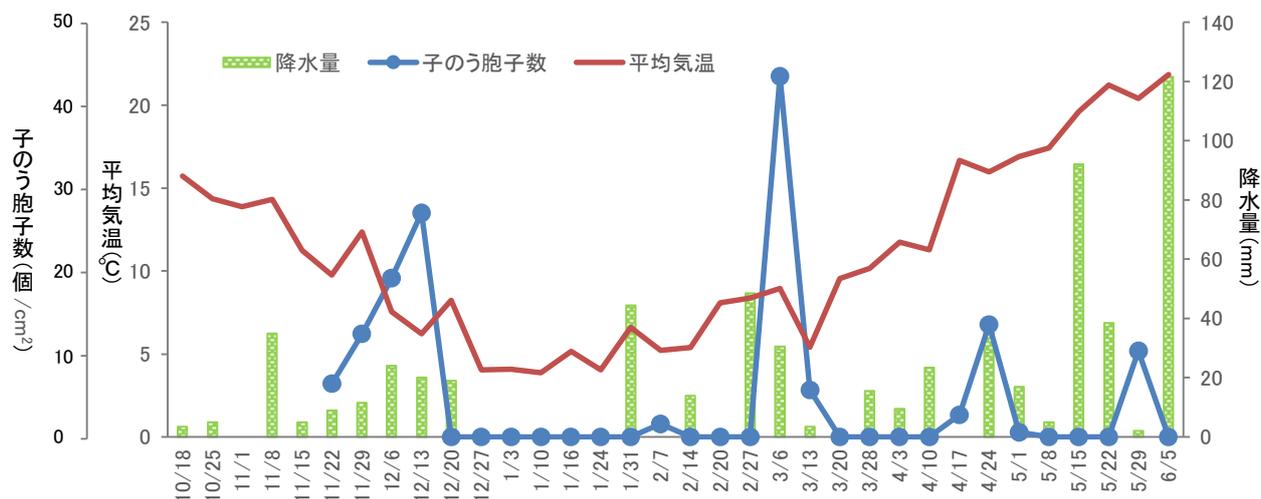


図4 菌核病菌子のう胞子の飛散量と平均気温，降水量の推移（2018～2019年）
注）日付はトラップの設置日

2019年作では、2019年9月18日から2020年6月12日まで調査を行った。子のう胞子の主な飛散時期は、12月6日から2月5日までと、4月2日から5月7日までであった（図5）。捕捉された1平方センチメートルあたりの子のう胞子数は1～240個であった。子のう胞子が検出された期間の平均気温は、5.9～19.6℃であった。

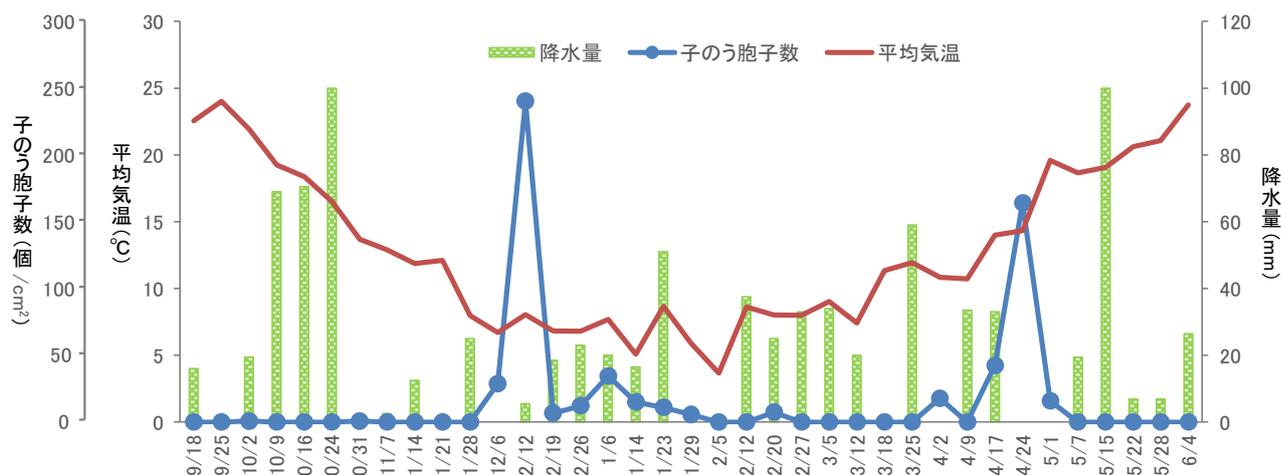


図5 菌核病菌子のう胞子の飛散量と平均気温，降水量の推移（2019～2020年）
注）日付はトラップの設置日

3. 主要薬剤の残効性

ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤およびボスカリド水和剤は、最終散布から35日後に接種した区（以下、35日後接種区）でも防除効果が認められた（表4）。

ピリベンカルブ水和剤は、最終散布から14日後に接種した区（以下、14日後接種区）で防除効果が認められたが、35日後接種区で防除価が41.6と防除効果が低下した。

イプロジオン水和剤は、14日後接種区で防除効果が認められたが、19日後接種区で防除価が21.0、35日後接種区で防除価が0と防除効果が認められなかった。

表4 数種薬剤のキャベツ菌核病に対する残効性

供試薬剤	希釈 倍数	最終散布から 接種までの日数	調査 株数	発病株 数	発病株率 (%)	防除価
ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤	1,500	14	89	2	2.2	90.9
		35	90	4	4.4	82.0
ボスカリド水和剤	1,500	14	88	5	5.7	77.0
		35	88	6	6.8	72.4
ピリベンカルブ水和剤	2,000	14	88	3	3.4	86.2
		35	90	13	14.4	41.6
イプロジオン水和剤	1,000	14	89	6	6.7	72.7
		19	87	17	19.5	21.0
		35	90	31	34.4	0
無処理			89	22	24.7	

4. 子のう胞子の飛散時期を基にした体系防除の防除効果

2018年作の防除試験では、無処理区の発病株率が7.8%と、少発生条件であった（表5）。3回散布区、2回散布区ともに発病株率が2.3%で、防除価は70.8であった。

2019年作の防除試験では、無処理区の発病株率が23.3%と、中発生条件であった（表6）。3回散布区の発病株率が2.2%で、防除価は90.5であった。2回散布区の発病株率が2.2%で、防除価は90.4であった。セルトレイ灌注+1回散布区の発病株率が5.6%で、防除価は76.2であった。

表5 キャベツ菌核病に対する体系防除の防除効果（2018年作）

区	散布日			調査 株数	発病 株数	発病株率 (%)	防除価
	12/1	12/18	2/26				
3回散布	C	F	S	88	2	2.3	70.8
2回散布	C	-	F	88	2	2.3	70.8
無処理				90	7	7.8	

C: ボスカリド水和剤 1,500倍 F: ピリベンカルブ水和剤 2,000倍

S: ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤 1,500倍

表6 キャベツ菌核病に対する体系防除の防除効果（2019年作）

区	セルトレイ灌注日	散布日			調査 株数	発病株 数	発病株率 (%)	防除価
	11/19	11/25	12/19	3/7				
3回散布	-	P	C	S	90	2	2.2	90.5
2回散布	-	P	-	S	89	2	2.2	90.4
セルトレイ灌注+1回散布	P	-	-	S	90	5	5.6	76.2
無処理					90	21	23.3	

セルトレイ灌注 P: ピラジフルミド水和剤 100倍 500ml/トレイ

散布 P: ピラジフルミド水和剤 2,000倍 C: ボスカリド水和剤 1,500倍

S: ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤 1,500倍

考 察

本研究では、子のう盤の形成消長およびリアルタイム PCR 法による空気中の子のう胞子の定量により、菌核病菌子のう胞子の飛散時期を明らかにした。また、4 月どりキャベツの作型において、子のう胞子の飛散時期に残効期間の長い薬剤を 2 回散布することで、菌核病に対して防除効果が得られることを明らかにした。

まず、菌核病菌子のう胞子の飛散時期を検討した。Foster et al. (2011) は、子のう盤の発生や子のう胞子の飛散と密接にかかわる変数として、地温と土壤水分を挙げている。加部ら (2012) は、高冷地の夏秋キャベツ栽培において、日平均気温 15℃以上、30mm 程度の降雨後に、子のう盤の開盤数が増加すると報告している。本研究における 3 か年にわたる作期前半の子のう盤の形成開始時期および子のう胞子の飛散開始時期と、日平均気温、降水量との関係を見ると、日平均気温が 15℃以下で、1 日に 25mm 以上の降雨があった後に、子のう盤の形成もしくは子のう胞子の飛散が認められている。作期後半では、日平均気温が 8℃以上で、1 日に 30mm 以上もしくは週に 40mm 以上の降雨後に、子のう盤の形成や子のう胞子の飛散が認められている。このことから、春どりキャベツ栽培においても、子のう盤の形成および子のう胞子の飛散に、気温と降水量が大きく関与していることが確認された。

子のう盤の形成が認められる温度範囲については、10～25℃ (Abawi and Grogan, 1975) や 5～25℃ (Clarkson et al., 2004) といった報告がある。また、長井・深津 (1970) は、子のう盤は 10～20℃で発生し、25℃では原基は発生するものの腐敗して子のう盤の形成に至らなかったとしている。本研究における子のう盤の形成および子のう胞子の飛散が認められた温度範囲は、おおむね 5～20℃で、既報と同様の結果であった。

平均気温の平年値を考慮すると、作期前半は 10 月中旬頃から、作期後半は 3 月上旬頃から子のう盤の形成が起り得ると考えられた。また、2016 年作 (菱池, 2018)、2017 年作の子のう盤の形成および 2018 年作、2019 年作の子のう胞子の飛散を見ると、作期前半は 12 月下旬頃に、作期後半は 5 月下旬頃に子のう胞子の飛散は収束するものと考えられた。以上のことから、子のう胞子の飛散時期は、10～12 月と 3～5 月と考えられた。ただし、子のう盤の形成には、土壤水分が飽和状態もしくはそれに近い状態であることが必要とされている (Abawi and Grogan, 1975, 1979; Clarkson et al., 2004)。すなわち、少雨による低土壤水分は子のう盤形成の抑制要因になるため、実際の子のう胞子の飛散時期は、降雨の時期や量により変動するものと考えられた。2019 年作では、作期前半の子のう胞子の飛散が 12 月上旬から始まり、1 月下旬に収束した。この冬は記録的な暖冬で、平均気温が 15℃以下になるのが遅かったことに加え、その後のまとまった降雨が 11 月下旬までなかったことから、子のう胞子の飛散開始が遅くなったと考えられた。また、長井・深津 (1970) は、子のう盤の生存期間を 10℃で 20～30 日としている。2020 年 1 月は月平均気温が平年より 2.6℃高く、平均気温が 10℃前後の日が数日あったため、1 月に入っても子のう胞子が飛散し続けたものと考えられた。

次に、主要薬剤の残効期間を調べた。菌核病の防除は、子のう胞子の飛散時期を狙って殺菌剤を散布することが重要である (Clarkson et al., 2014)。薬剤の効果が途切れないように防除を行うには、子のう胞子の飛散時期を把握することに加えて、薬剤の残効期間を考慮する必要がある。ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤およびボスカリド水和剤は、35 日後接種でも防除効果が認められ、5 週間以上の長い残効期間が期待できると考えられた。両剤に含まれるボスカリドは、菌核

病菌に対する活性が高く、植物体内に浸透するため、耐雨性および残効性に優れるとされ（伊藤, 2006）、今回はこれを支持する結果となった。ピリベンカルブ水和剤は、14日後接種では防除効果が認められたが、35日後接種では認められなかった。この間の散布間隔は21日と長かったため、防除効果が認められなくなった時期は把握できなかったが、14日以上と比較的長い残効期間が期待できると考えられた。ピリベンカルブは茎や根からの浸透移行性、葉における浸透性を有しており（高垣ら, 2014）、このことが比較的長い残効期間の要因と考えられた。イプロジオン水和剤は、14日後接種では防除効果が認められたが、19日後接種では14日後接種に比べて極端に防除価が低下しており、残効期間は14日程度と考えられた。

最後に、子のう胞子の飛散時期を考慮した体系防除の防除効果を検証した。子のう胞子の飛散時期（10～12月および3～5月）から、春どりキャベツの菌核病の防除時期は、定植直後から12月までと、3月以降であると考えられた。このことを考慮して、定植直後の11月下旬～12月上旬に1回、2月下旬～3月上旬に1回の計2回、残効期間の長い薬剤で防除することにより、4月収穫の作型のキャベツ菌核病に対して防除効果を得ることができた。2018年作試験は少発生、2019年作試験は中発生と発病程度は異なったが、2か年とも2回散布区と3回散布区で同程度の防除効果であったことから、2回散布で十分な効果が得られると判断した。

一般に、キャベツ菌核病は結球期以降に発病し始め、本県の春どりキャベツでは3月や4月に発病することが多い。作付け前半の10～12月に飛散している子のう胞子が感染源になっているとすれば、数か月間キャベツ上で生存していることになる。室内試験において、5℃もしくは10℃の低温、80%以下の低相対湿度で、子のう胞子は植物体上で最長21週間生存すると報告されており（Clarkson et al., 2003）、低温、乾燥条件の冬を子のう胞子がキャベツ上で生存し続ける可能性はあると考えられる。また、筆者は、11月または12月に防除することで、ある程度の防除効果が得られることを確認している（菱池, 2018）。これらのことから、10～12月に飛散した子のう胞子はキャベツ上で生存し、3～4月にキャベツを発病させる可能性があることが示唆された。このため、定植直後から12月に飛散している子のう胞子も防除対象とするべきであると考えられた。

2か年の体系防除試験において、発病程度に差が認められたが、これには子のう胞子の飛散量の差が関係していると考えられた。子のう胞子の飛散量が多いと発病程度が高まることが報告されており（Harikrishnan and del Rio, 2006; Gutierrez and Shew, 2000; Parker et al., 2014）、本研究でも子のう胞子の飛散量が多かった2019年作で発病が多く、既報と同様の結果であった。

2019年作の子のう胞子の飛散時期は、それまでの3か年の傾向と異なった。2019年作の体系防除試験の1回目の散布薬剤であるピラジフルミドについては、散布処理の残効期間の検討を行っていない。しかし、ピラジフルミド水和剤は優れた耐雨性および残効性を有するとされる（伯野, 2018）ため、子のう胞子の飛散時期が1月下旬まで続いても、防除効果が得られたと推察された。

近年、キャベツ菌核病に対して、ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注が適用拡大された。2019年作の体系防除試験において、定植前のセルトレイ灌注と2月下旬の1回散布で防除効果が得られた（表6）。ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注処理の効果持続期間は定植後5週間とされ（西村・山下, 2020）、本研究におけるボスカリド水和剤やピラクロストロビン・ボスカリド水和剤の散布処理と同等の残効期間が期待できる。このため、定植直後の1回目の散布をピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注に置き換えることで、ほ場における散布回数が削減でき、省力化につながると考えられた。

本研究では、子のう胞子の主な飛散時期が10～12月と3～5月であり、この時期に薬剤防除する

ことで、春どりキャベツの菌核病に対して防除効果を得ることができることを明らかにした。通常、低温期の1~2月は子のう胞子の飛散がほとんどなく、防除は不要であると考えられた。本研究における体系防除の有効性は11月定植、4月収穫の作型で検討した。本県における春どりキャベツのうち一つの主力の作型で、菌核病の発生が多い10月定植、3月収穫の作型では未検討であるため、さらなる検討が必要であるが、子のう胞子の飛散時期や収穫時期を考慮すると、定植直後の10月中下旬と12月上中旬、3月上旬の計3回の防除が必要と推察された。春どりキャベツ栽培においては、慣行の結球期防除から菌核病菌子のう胞子の飛散時期を考慮した防除に転換することで、キャベツ菌核病を効率的に防除できるものと考えられた。

摘 要

春どりキャベツの菌核病に対する効率的な防除体系を確立するため、子のう胞子の飛散時期、薬剤の残効期間および子のう胞子の飛散時期を基にした体系防除の防除効果を検証した。

1. 本県における菌核病菌子のう胞子の飛散時期は10~12月と3~5月であった。
2. 主要薬剤の残効期間は、ボスカリド水和剤およびピラクロストロビン・ボスカリド水和剤が35日以上、ピリベンカルブ水和剤が14日以上、35日未満であった。
3. 11月定植、4月収穫の作型において、11月下旬~12月上旬と2月下旬~3月上旬に1回ずつの計2回防除することで、キャベツ菌核病に対して高い防除効果を得ることができる。
4. 1回目の散布は、ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注で代替することができる。

引用文献

- Abawi, G. S. and Grogan, R. G. 1975. Source of primary inoculum and effects of temperature and moisture on infection of beans by *Whetzelinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 65:300-309.
- Abawi, G. S. and Grogan, R. G. 1979. Epidemiology of diseases caused by *Sclerotinia* species. *Phytopathology*. 69: 899-904.
- Almqvist, C., and Wallenhammar, A.-C. 2015. Monitoring of plant and airborne inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum* in spring oilseed rape using real-time PCR. *Plant Pathol.* 64: 109-118.
- Ben-Yephet, Y. and Bitton, S. 1985. Use of a selective medium to study the dispersal of ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytoparasitica*. 13: 33-40.
- Clarkson, J. P., Staveley, J., Phelps, K., Young, C.S. and Whipps, J.M. 2003. Ascospore release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Mycol. Res.* 107: 213-222.
- Clarkson, J. P., Whipps, J. M., Phelps, K. and Young, C. S. 2004. Forecasting sclerotinia disease on lettuce: towards developing a prediction model for carpogenic germination of sclerotia. *Phytopathology*. 94: 268-279.
- Clarkson, J. P., Fawcett, L., Anthony, S. G. and Young, C. 2014. A model for *Sclerotinia sclerotiorum* infection and disease development in lettuce, based on the effects of temperature, relative humidity and ascospore density. *PLoS ONE*. e94049.

- Foster, A. J., Kora, C., McDonald, M. R. and Boland, G. J. 2011. Development and validation of a disease forecast model for *Sclerotinia* rot of carrot. *Can. J. Plant Pathol.* 2011. 33:187-201.
- Freeman, J., Ward, E., Calderon, C. and McCartney. 2002. A polymerase chain reaction (PCR) assay for the detection of inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Eur. J. Plant Pathol.* 108 : 877-886.
- 古木市重郎・斎藤恒雄・小野好正. 1969. 畑作レタス菌核病の生態と防除. 関東東山病虫研報. 16 : 40.
- Gutierrez, W. A., and Shew, H. D. 1998. Identification and quantification of ascospores as the primary inoculum for collar rot of greenhouse-produced tobacco seedlings. *Plant Dis.* 82 : 485-490.
- Gutierrez, W. A., and Shew, H. D. 2000. Factors that affect development of collar rot on tobacco seedlings grown in greenhouses. *Plant dis.* 84 : 1076-1080.
- 伯野史明. 2018. 新規殺菌剤ピラジフルミドの特性. 植物防疫. 72 : 686-689.
- Harikrishnan, R. and del Rio, L. E. 2006. Influence of temperature, relative humidity, ascospore concentration, and length of drying of colonized dry bean flowers on white mold development. *Plant Dis.* 90 : 946-950.
- 菱池政志. 2018. 和歌山県における春どりキャベツの菌核病の防除適期. 植物防疫. 72 : 554-557.
- Hudyncia, J., Shew, H. D., Cody, B. R. and Cubeta, M. A. 2000. Evaluation of wounds as a factor to infection of cabbage by ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis.* 84 : 316-320.
- 伊藤学. 2006. 新規殺菌剤ボスカリド水和剤の特性. 植物防疫. 60 : 43-47.
- 加部武・日戸正敏・木村康夫. 2012. 夏秋キャベツにおける菌核病の発生生態と防除法. 群馬農技セ研報. 9 : 51-58.
- 小芦健良. 1978. 鹿児島県におけるキャベツの病害虫 第5報 菌核病. 九州病虫研報. 24 : 46-47.
- 草野尚雄・小河原孝司・小西博郷・鹿島哲郎. 2014. 茨城県におけるナシ黒星病子のう胞子の飛散消長と重要防除時期. 茨城農総セ園研研報. 21 : 15-20.
- 長井雄治・深津量栄. 1968. そさいの菌核病に関する研究 第2報 レタス菌核病の感染発病と防除. 千葉農試研報. 8 : 65-82.
- 長井雄治・深津量栄. 1970. そさいの菌核病に関する研究 第3報 キュウリ菌核病の発生と防除. 千葉農試研報. 10 : 73-90.
- 西村昭・山下真生. 2020. 新規SDHI殺菌剤ピラジフルミドの葉菜類セルトレイ灌注処理による病害防除. 植物防疫. 74 : 224-230.
- 野村康弘・足立昌俊・渡辺秀樹・杖田浩二. 2017. 薬剤散布を抑制した条件下での効果的なカキ円星落葉病防除法の検討. 岐阜農技セ研報. 17 : 13-23.
- Parker, M. L., McDonald, M. R. and Boland, G. J. 2014. Evaluation of air sampling and detection methods to quantify airborne ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis.* 98 : 32-42.
- Rogers, S. L., Atkins, S. D. and West, J. S. 2009. Detection and quantification of airborne inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum* using quantitative PCR. *Plant Pathol.* 58 : 324-

331.

- 高垣真喜一・尾崎正美・藤本修一・福本俊一郎. 2014. 新規殺菌剤「ピリベンカルブ」の開発. 日本農薬学会誌. 39 : 121-126.
- 梅本清作・竹内妙子・長井雄治. 1984. 千葉県銚子地方におけるキャベツ菌核病の発生と防除. 千葉県農試研報. 25 : 9-17.
- Yin, Y., Ding, L., Liu, X., Yang, J. and Ma, Z. 2009. Detection of *Sclerotinia sclerotiorum* in Planta by a real-time PCR assay. J. Phytopathol. 157 : 465-469.
- 米山伸吾・根本久・上田康郎・都築司幸. 2005. 図説野菜の病気と害虫 伝染環・生活環と防除法. pp. 128-129. 農文協. 東京.

施設栽培コマツナのコナガの防除対策

井口雅裕¹

和歌山県農業試験場

Control of Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) on Komatsuna in Wakayama

Masahiro Iguchi¹

Wakayama Agricultural Experiment Station

緒 言

和歌山市では主に施設栽培ショウガの後作として7~10月に、名草地区で6ha、河西地区で18ha、合計24haでコマツナが施設で栽培され、夏季の貴重な収入源となっている(井口, 2018)。しかし、現地では2014年頃からコナガ *Plutella xylostella* (Linnaeus) の発生が多くなり、コナガ幼虫の食害によるコマツナの品質低下や収量減少といった被害が問題となっていた。そこで、和歌山市特産の施設栽培コマツナの安定生産のため、2017~2019年度に和歌山県農林水産業競争力アップ技術開発事業でコナガの防除対策の確立に取り組んだ。

コナガは古くからアブラナ科野菜の重要害虫で(山田, 1977)、暖地では一般的に春から初夏にかけて発生のピークがみられ、夏季に著しく減少し、秋季は少発生で経過する、若しくは秋季にも多発して春と秋の二山型の消長を示す(山田, 1977; 田中, 1993)。一方で、コナガの発生活長は寄主作物の作付状況に影響されることも指摘されている(山田, 1977)。これまでコナガの季節消長については、コマツナにおける東京都での報告(河合, 1979; 伊賀, 1985)、和歌山市内のキャベツ・ハクサイ栽培地域における森下ら(1995)による報告や病害虫防除所による調査事例(和歌山県農作物病害虫防除所, 2016など)はあったが、和歌山市のコマツナ栽培地域における発生実態は不明であった。そこで、現地でのコナガの季節消長を明らかにするため、名草地区と河西地区において性フェロモントラップによるコナガ雄成虫の誘殺状況を調査した。また、名草地区ではコマツナ栽培ハウスの周辺で秋冬ダイコンと春ダイコンが大面積で栽培されており、このダイコン栽培ほ場がコナガの発生源になっている可能性が考えられたため(井口, 2018)、春ダイコン栽培ほ場でのコナガの発生状況を調査した。

研究開始前の2016年当時はコマツナのコナガの基幹防除薬剤としてジアミド系のクロラントラニリプロール剤とフルベンジアミド剤が使用されていたが、これらの薬剤を散布してもコナガを防除できない事例が認められていた(楫本私信)。2013年頃からジアミド剤に対する感受性が低下したコナガ個体群が日本各地で見つかったことから(清水ら, 2014; 福田・林川, 2014; 井上ら, 2015)、当該地域のコナガにおいてもジアミド剤に対する感受性低下が疑われた。コナガは薬剤抵抗性が極めて発達しやすい害虫であり(浜, 1990; 足立・山下, 1994)、これまでも様々な種類の

¹現在：和歌山県果樹試験場

殺虫剤に対して抵抗性を発達させてきた（園田，2015）．限りあるコナガ防除薬剤をできるだけ長く有効に活用していくためには，殺虫剤抵抗性管理が極めて重要である（山本，2012）．それには，作用機構が異なる数種の薬剤のローテーション使用（浜，1990；宮田・呉，2010）を基本とし，そのうえで，他の複数の防除技術や方法を組み合わせることが有効である（浜，1990；足立・藤富，1995；島，2017）．そこで，本研究では薬剤以外の防除技術として，合成性フェロモン剤を利用した交信攪乱法と防虫ネットを利用して成虫の侵入を防止する物理的防除法について検証し，施設栽培コマツナにおけるコナガの総合的な防除対策を検討した．

材料および方法

1. 和歌山市のコマツナ栽培地域におけるコナガの発生状況

1) コナガの季節消長

2017年6月～2019年12月の期間，和歌山市の名草地区2か所（いずれも和歌山市布引），河西地区2か所（和歌山市松江1か所，湊1か所）にコナガ発生予察用フェロモントラップ（性フェロモン剤はサンケイ化学株式会社製ルアーを使用）を以下のとおり設置した．厚さ19cmのコンクリートブロックを2個重ね，その上（地上高38cm）に粘着式トラップ（SEトラップ，サンケイ化学株式会社製）を固定した．性フェロモン剤と成虫捕獲用粘着板は毎月1回交換した．調査は，概ね1週間隔で誘殺された雄成虫を数えた．数え終わった雄成虫は調査のたびにピンセットを用いて粘着板から除去した．なお，名草地区のトラップは，後述する交信攪乱試験の無処理区のフェロモントラップと兼ねた．

2) 周辺のダイコン栽培ほ場におけるコナガの発生状況

2018年5月24日に，名草地区（和歌山市布引）の春ダイコン栽培ほ場において，任意に選んだ5ほ場について1ほ場あたり20株のダイコンの茎葉に生息する幼虫と蛹の個体数を調べた．春ダイコンは3月中旬頃に播種され，調査時は収穫期であった．

2. 交信攪乱法によるコナガの防除

試験は名草地区（和歌山市布引，紀三井寺）で2018年と2019年に行った．コマツナ栽培ハウスが多く集まっている区域を処理区（7.0ha）とし，処理区以外を無処理区（約130ha）とした（図1）．2018年は7月30日に，2019年は8月1日に，交信攪乱用性フェロモン剤（アルミゲルア・ダイアモルア剤，商品名「コナガコン-プラス」ロープ状製剤，信越化学工業株式会社）を10a当たり20mの割合で合計1,400m，処理区の外周部（図2）に，支柱を利用して地上高約50cmに設置した．

1) 交信攪乱効果の確認

各区2か所の露地ほ場にフェロモントラップを設置し（設置方法は「1. 1) コナガの季節消長」と同じ．無処理区のフェロモントラップはコナガの季節消長の調査と兼ねた．），2018年は5月1日（処理90日前）～12月26日（処理149日後）の期間，2019年は5月1日（処理92日前）～12月27日（処理148日後）の期間，1週間隔で雄成虫誘殺数を調査した．各トラップの性フェロモン剤と成虫捕獲用粘着板は毎月1回交換した．なお，各々のトラップは互いに300m以上離れていた．



図1 試験区の概略図(2019年)



図2 処理区の交信攪乱剤設置場所(2019年)

— 線部に設置

また、無処理区のすべてのトラップは処理区から400m以上離れていた。各区の処理前3か月間(両年とも5月1日～7月25日)の誘殺数と処理後3か月間(2018年は7月30日～10月30日, 2019年は8月1日～11月2日)の誘殺数から次式により補正誘引阻害率を求めた。

$$\text{補正誘引阻害率(\%)} = 100 - \frac{\text{処理区の処理後の誘殺数}}{\text{処理区の処理前の誘殺数}} \times \frac{\text{無処理区の処理前の誘殺数}}{\text{無処理区の処理後の誘殺数}} \times 100$$

2) 防除効果の確認

2019年のみ調査を行った。各区1か所の露地ほ場において、コマツナ(品種:いなむら)を2作連続で栽培した。栽培概要は表1のとおり。作付面積は2m²(1m×2m)で、株間10cm×10cmとして本葉4枚期の苗200株を定植した(苗は農業試験場内で128穴セルトレイに播種して育てた)。コナガ以外の害虫の発生を抑えるために、コナガに影響が小さい農薬(井口, 2018; 表9)を使用した。1作目は9月19日と10月4日に、2作目は10月17日, 31日, 11月14日に、全株(200株。欠株がある場合は残存する194~199株)を対象に害虫に葉を食害された株数を調べた。害虫が見つかった場合は害虫の種名を記録し、コナガが見つかった場合は幼虫と蛹の個体数を調査した。

表1 露地ほ場におけるコマツナの栽培概要(2019年)

	播種日	定植日	農薬使用歴
1作目	8月6日	9月5日	9月4日 クロラントラニプロールフロアブル(100倍)灌注 9月19日 シペルメトリン乳剤(2,000倍)散布
2作目	9月5日	10月4日	9月25日 クロラントラニプロールフロアブル(100倍)灌注 10月3日 クロラントラニプロールフロアブル(100倍)灌注 10月17日 シペルメトリン乳剤(2,000倍)散布

3. 防虫ネットを利用したコナガの防除

1) コナガ成虫が通過できない目合いの検討（室内実験）

供試虫は、2017年5月26日に和歌山市布引の茎ブロッコリーおよびコマツナから幼虫を採集し、室内（25℃、16L8D）で餌としてパクチョイを与えて継代飼育した第2世代のコナガ成虫（雌雄混合）を用いた。供試資材は、日本ワイドクロス株式会社製の2種類の防虫ネット「防虫サンサンネット EX2000」（目合い1mm）と「防虫サンサンネット N7000」（目合い2mm）とした。なお、「防虫サンサンネット N7000」の目合いはメーカーカタログ値では2mmであるが、実測値は約2.5mmであった。

直径90mm、高さ55mmの円筒形プラスチック製容器の天面のフタの中央に直径70mmの穴を開け、供試資材を展張した（図3）。2017年7月7日12:00に供試虫30頭を容器内に入れ、フタをした。気温25℃で照明を点灯した人工気象器内に静置し、18:00（6時間後）に容器外に脱出した成虫を数えた。

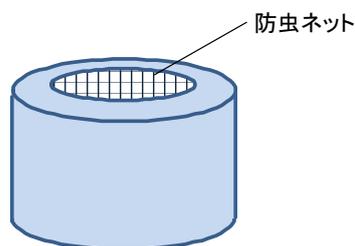


図3 実験に使用した容器

2) 施設開口部への防虫ネット展張によるコナガの防除効果

試験は2019年10～11月に和歌山市湊の現地生産者ほ場（ビニルハウス）で行った。3ハウスを用いて2mmネット区、1mmネット区、無処理区を設定した。2mmネット区と1mmネット区は隣接しており、無処理区はそれらから直線で約300m離れていた。試験区の概要を表2に示す。いずれのビニルハウスにも天窗・谷窓は設置されていなかった。現地生産者によって10月上旬にコマツナ（品種：なつき）が播種され、農薬散布が慣行に従って実施された。

コマツナの播種日より前に、2mmネット区には「防虫サンサンネット N7000」（目合い2mm）を、1mmネット区には「防虫サンサンネット EX2000」（目合い1mm）をビニルハウスの側窓に展張した。10月11日～11月11日の期間、フェロモントラップを各区1か所、地上高50cmに設置し、7～10日間隔でコナガ雄成虫誘殺数を調べた。参考として、ハウスの外（2mmネット区ハウスと1mmネット区ハウスの間の通路）に同様にフェロモントラップを設置して調査した。また、10月28日、11月11日、11月20日にコマツナ1,200株についてコナガ幼虫による食害の有無を調べ、被害株率を算出した。

表2 防虫ネットの試験を実施した試験区の概要（2019年）

	ハウスの大きさ		コマツナの栽培概要				農薬散布歴	
	高さ	面積	播種日	畝幅	条数	株間	(W:水和剤, SP:水溶剤, E:乳剤)	
2mmネット区	400cm	10a	10月1日	60cm	2条植え	5cm	10月26日 BT(W)、アセタミプリド(SP)、メタフルミジン(W)	
1mmネット区	400cm	12a	10月9日	60cm	2条植え	5cm	11月10日 BT(W)、アセタミプリド(SP)、メタフルミジン(W)	
無処理区	375cm	18a	10月1日	90cm	4条植え	5cm	10月15日と26日 エマメクチン安息香酸塩(E)	

3) 防虫ネット展張が施設内の気温に及ぼす影響

防除効果試験の1mm ネット区と無処理区において、ハウス中央の地上高 50cm に温度測定データロガー「おんどとり Jr. TR-52i」（株）ティアンドデイ）を設置し（放射除け無し、センサー部が露出）、10月11日00:00から10月31日23:30まで気温を観測して30分間隔で記録した。参考として、ハウスの外（2mm ネット区ハウスと1mm ネット区ハウスの間の通路）の気温を同様に観測して記録した。これらの観測値から、日最高気温、日最低気温、日平均気温を求めた。

結 果

1. 和歌山市のコマツナ栽培地域におけるコナガの発生状況

1) コナガの季節消長

調査期間中のコナガ雄成虫誘殺数の推移を図4に示した。誘殺数は年次変動が大きく、2017年は多く、2018年は少なく、2019年はやや多かった。また、誘殺数は地域間差も大きく、名草地区は河西地区より多かった。誘殺消長も地域間差があり、名草地区は1～5月にやや多く6月に最も多くなるのに対して、河西地区は1～3月に多く、5～6月は減少した。両地区とも7～8月は少なく経過したが、名草地区は9月以降に、河西地区は10月以降に再び増加して12月までやや多かった。

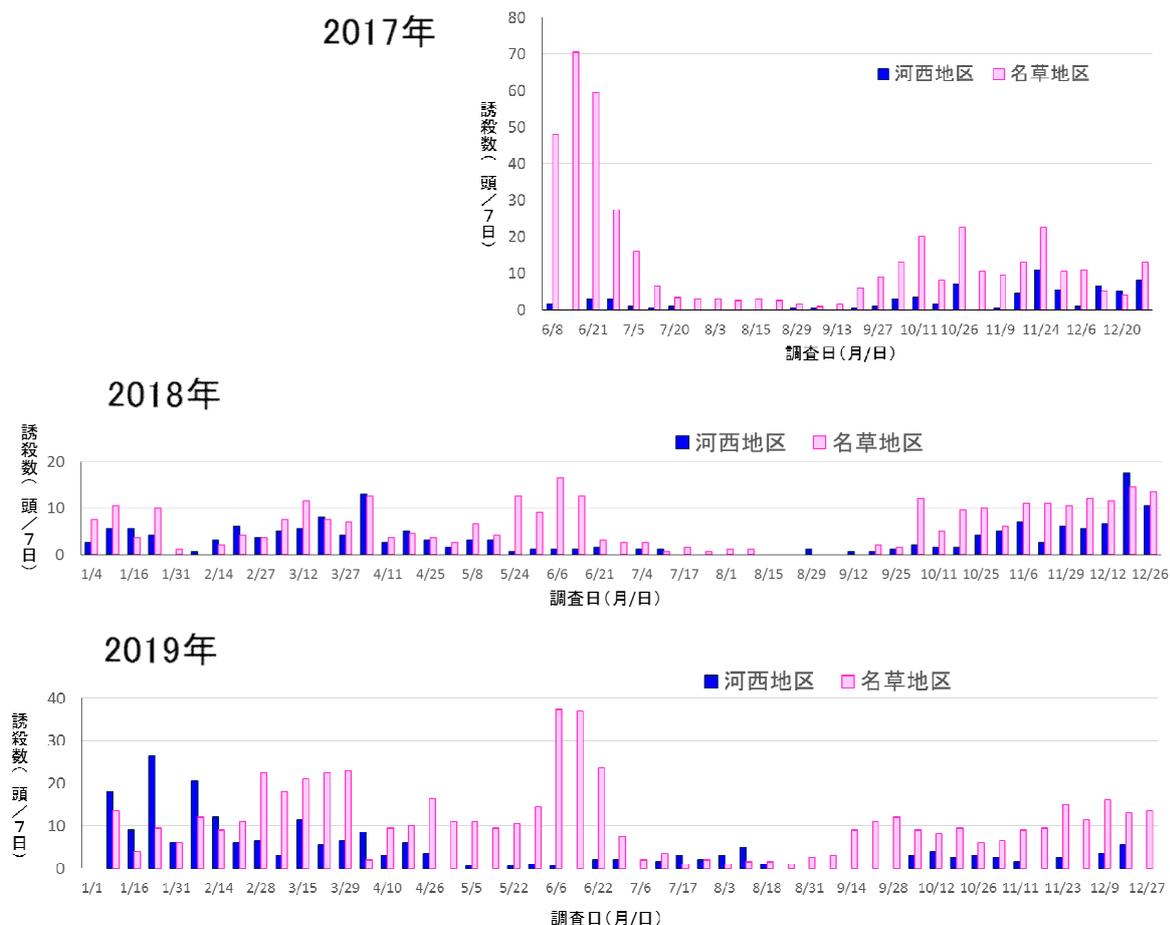


図4 フェロモントラップによるコナガ雄成虫誘殺数の推移
(各地区2か所平均)

2) 周辺のダイコン栽培ほ場におけるコナガの発生状況

春ダイコン栽培ほ場に生息していたコナガの幼虫と蛹は、5ほ場合計（100株）で計163頭（平均1.63頭/株）であった。

2. 交信攪乱法によるコナガの防除

1) 交信攪乱効果の確認

2018年は、処理前の3か月間（5月1日～7月25日）のトラップ2基合計誘殺数は、無処理区が148頭、処理区が257頭で、処理区のほうが多かった（図5）。処理から3か月間（7月30日～10月30日）のトラップ2基合計誘殺数は、無処理区が96頭であったのに対し、処理区は3頭と少なかった。処理区の補正誘引阻害率は98.2%であった。処理後4か月目からは処理区の誘殺数が増え始め、2か月間（10月31日～12月26日）のトラップ2基合計誘殺数は、無処理区が168頭、処理区が160頭であった。

2019年は、処理前の3か月間（5月1日～7月25日）のトラップ2基合計誘殺数は、無処理区が341頭、処理区が477頭で、処理区のほうが多かった（図6）。処理から3か月間（8月1日～11月2日）のトラップ2基合計誘殺数は、無処理区が163頭であったのに対し、処理区は9頭と少なかった。処理区の補正誘引阻害率は96.1%であった。処理後4か月目からは処理区の誘殺数が増え始め、2か月間（11月3日～12月27日）のトラップ2基合計誘殺数は、無処理区が175頭、処理区が91頭であった。

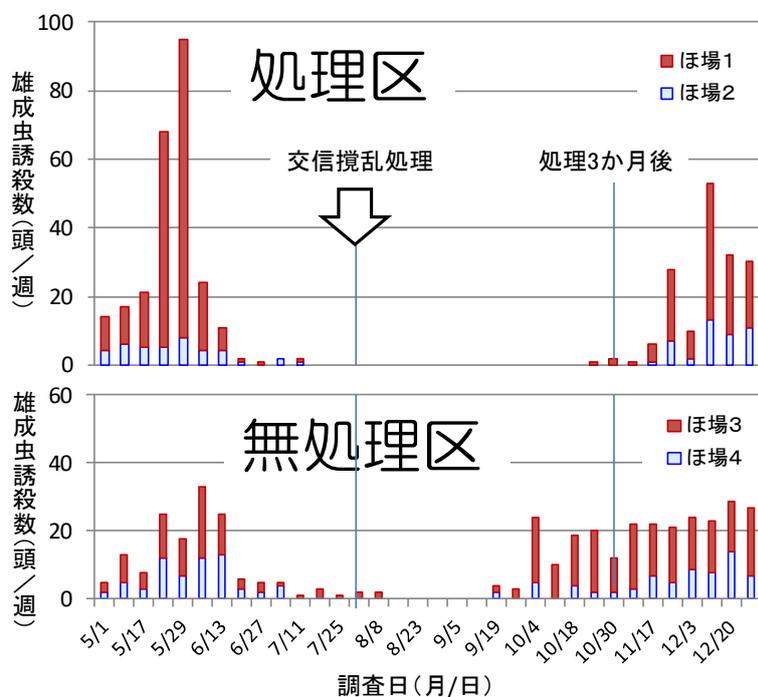


図5 性フェロモン剤処理によるコナガの交信攪乱効果(2018年)

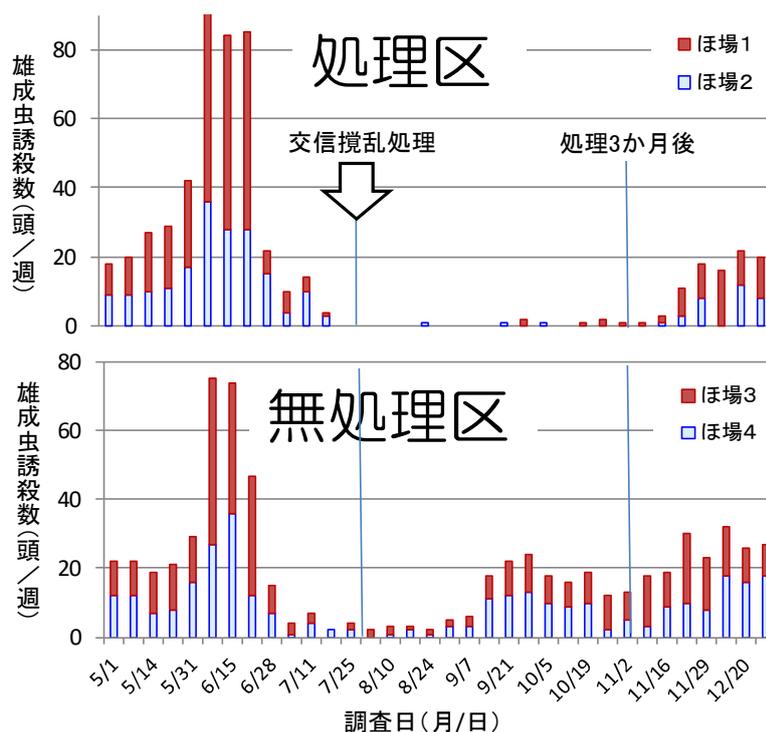


図 6 性フェロモン剤処理によるコナガの交信攪乱効果(2019年)

2) 防除効果の確認

露地栽培コマツナ 1 作目は、害虫による被害株率、コナガ幼虫・蛹数とも、処理区は無処理区より少なかった(表 3)。10 月 4 日は調査期間中コナガの発生が多くなったが、被害株率、コナガ幼虫・蛹数とも、処理区は無処理区の 30%未満であった。2 作目における害虫による被害株率は、10 月 17 日、31 日は処理区と無処理区でほとんど差がなかった。コナガの発生が認められず、他の害虫も見つからなかったが、コナガ以外の害虫種による被害と思われる(表 4)。11 月 14 日は、処理区のほうがコナガの発生が多く、被害株率も高かった。

表 3 露地栽培コマツナにおける被害株率とコナガの幼虫・蛹数(2019年)

1) 1作目 (定植:2019年9月5日)						
	害虫による被害株率(%)		100株あたりコナガ幼虫・蛹数(頭)			
	9月19日	10月4日	9月19日	10月4日		
処理区	1.0	24.0	0	1.50		
無処理区	19.6	80.9	1.51	5.15		

2) 2作目 (定植:2019年10月4日)						
	害虫による被害株率(%)			100株あたりコナガ幼虫・蛹数(頭)		
	10月17日	10月31日	11月14日	10月17日	10月31日	11月14日
処理区	4.5	16.0	43.5	0	0	2.00
無処理区	5.0	13.5	29.9	0	0	0.51

表4 露地栽培コマツナで見つかった害虫種

1) 1作目 (定植:2019年9月5日)

	9月19日	10月4日
処理区	—	コナガ, ハイマダラノメイガ, ウワバ類
無処理区	コナガ, バッタ類	コナガ, ハイマダラノメイガ

—は害虫なし.

2) 2作目 (定植:2019年10月4日)

	10月17日	10月31日	11月14日
処理区	— z	— y	コナガ
無処理区	—	— z	コナガ

—は害虫なし.

z 食害痕からハムシ類による被害と思われる

y 食害痕からハムシ類による被害およびバッタ類による被害と思われる

3. 防虫ネットを利用したコナガの防除

1) コナガ成虫が通過できない目合いの検討 (室内実験)

「防虫サンサンネット N7000」を展張した容器から脱出した成虫は5頭で、脱出率は16.7%であった(表5)。「防虫サンサンネット EX2000」を展張した容器から脱出した成虫はなかった。

表5 防虫ネットを通り抜けたコナガ成虫数

供試資材(商品名)	目合い ^z	供試虫数	脱出虫数	脱出率
防虫サンサンネット EX2000	1mm	30頭	0頭	0%
防虫サンサンネット N7000	2mm	30頭	5頭	16.7%

z メーカーカタログ値

2) 施設開口部への防虫ネット展張によるコナガの防除効果

フェロモントラップによるコナガ雄成虫誘殺数は、無処理区が著しく多かった(表6)。2mm ネット区は毎回1~32頭が誘殺され、1mm ネット区は全く誘殺されなかった。コナガ幼虫による被害株率は、10月28日は無処理区で32.1%、2mm ネット区で8.5%、1mm ネット区で0%であった(表7)。1mm ネット区では収穫直前の11月20日まで被害株率が0%のままであった。

表6 フェロモントラップによるコナガ雄成虫誘殺数(2019年)

単位:頭

	調査日			
	10月18日	10月25日	11月1日	11月11日
2mmネット区	1	10	32	6
1mmネット区	0	0	0	0
無処理区	85	70	203	145
ハウスの外(参考)	3	5	7	3

フェロモントラップ設置期間:2019年10月11日~11月11日

表 7 コナガ幼虫によるコマツナの被害(2019 年)

	被害株率(%)		
	調査日		
	10月28日	11月11日	11月20日
2mmネット区	8.5	2.9	—
1mmネット区	0	0	0
無処理区	32.1	—	—
調査株数: 1,200株	—は調査なし		

3) 防虫ネット展張が施設内の気温に及ぼす影響

1mm ネット区と無処理区の日最高気温を比較すると、1mm ネット区のほうが高い日は9日、無処理区のほうが高い日は10日であった(図7)。しかし、調査期間中の日最高気温の平均は、1mm ネット区が無処理区より0.29℃高かった(表8)。つまり、1mm ネット区が高い日のほうが無処理区が高い日より両者の差が大きい傾向があった。日最低気温は1mm ネット区と無処理区で差がなかった。日平均気温は、調査期間中の平均は1mm ネット区が無処理区より0.19℃低かったが、両者はほぼ同じように推移した。

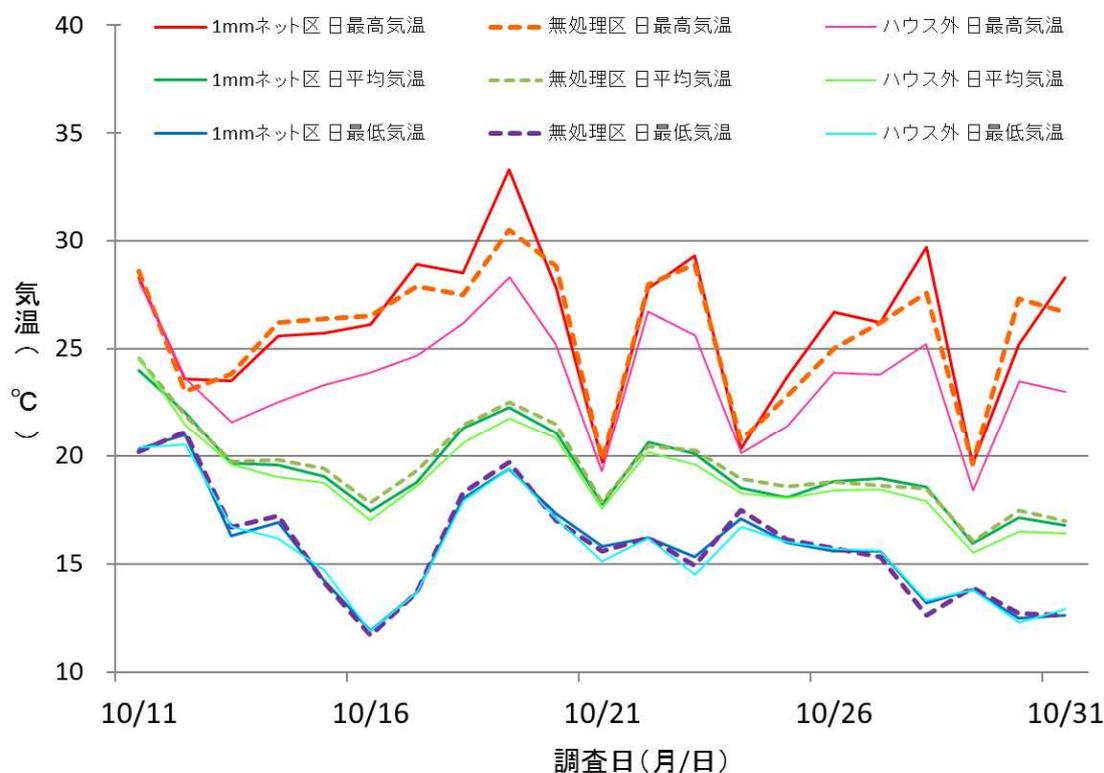


図 7 側窓への防虫ネット展張がハウス内の気温に及ぼす影響
(2019 年 10 月 11 日 00:00~10 月 31 日 23:30)

表8 防虫ネットを展張したハウス内における調査期間中の気温の平均

単位: °C

	1mmネット区	無処理区	差	ハウス外(参考)
日最高気温の平均	26.09	25.80	0.29	23.73
日最低気温の平均	15.84	15.85	0.00	15.74
日平均気温の平均	19.35	19.54	-0.19	19.00

調査期間:2019年10月11日~10月31日

考 察

コナガは薬剤抵抗性害虫のエリートである(浜, 1992)。わが国では1970年代に有機リン剤に対する抵抗性が顕在化したのに続き、次々と各種の殺虫剤に抵抗性を発達させて(浜, 1990; 森下, 1998; 諫山ら, 2004)、1990年代半ば頃には既存の殺虫剤のほぼ全てに抵抗性を発達させるに至った(園田, 2015)。その後、防除効果の高い様々な新規殺虫剤の上市により一時的に発生量が減少していたが(園田, 2015)、2013年以降に全国各地でジアミド系殺虫剤の殺虫効果が低下した個体群が確認されはじめ(清水ら, 2014; 福田・林川, 2014; 井上ら, 2015; 飯村・吉田, 2016など)、コナガは再び難防除害虫として問題となっている(園田, 2015)。名草地区と河西地区のコマツナで発生しているコナガ個体群も、筆者が実施した検定によりジアミド系のクロラントラニリプロール剤とフルベンジアミド剤の殺虫効果が低いことが明らかとなり、これらの地区における近年のコナガ被害の増加はジアミド剤に対する抵抗性発達が一因であると推察された(井口, 2018)。さらに、ジアミド剤のほかにも殺虫効果の低い剤が多く、コマツナで使用できる殺虫剤の中でコナガに対して防除効果が期待できる薬剤は作用機構で分類すると4グループしかないことも明らかになった(井口, 2018; 井口, 2019; 表9)。薬剤抵抗性の発達を抑えるためには作用機構が異なる薬剤をローテーション使用することが有効であり(浜, 1990; 宮田・呉, 2010)、IRACではさらに害虫の世代も考慮した世代間ローテーション(世代間連用を避けるブロック式ローテーシ

表9 コマツナで使用できる²主要農薬のコナガ3齢幼虫に対する殺虫効果

薬剤の作用機構 ¹	薬剤名 ^x ()は農薬の名称	w 適用	調査年		
			2017 河西 ^v	2017 名草	2018 名草
3A	シベルメリンE		×	×	
5	スピネトラムSC	有	◎	◎	
	スピノサドWDG	有	◎	◎	○
6	エマメクチン安息香酸塩E	有	◎	◎	○
	レピメクチンE	有	○	×	
	BT(エスマルクDF)	有	○	○	
11A	BT(チューンアップWDG)	有	◎	◎	◎
	BT(フローバックDF)	有			◎
13	クロルフェナビルF	有	×	×	
15	フルフェノクスロンE	有	×	×	
18	クロマフェノジドF		×	×	
22B	メタフルミゾンF	有	○	×	
28	クロラントラニリプロールF	有	×	×	×
	フルベンジアミドWDG	有	×	×	
UN	ピリダリルF	有	◎	○	

効果 (補正死亡率)

◎ 高 (90%以上)
○ 中 (70~90%)
× 低 (70%未満)

² 作物名「野菜類」、「非結球あぶらな科葉菜類」または「こまつな」に適用がある(FAMIC農薬登録情報、2020年12月現在)¹ IRACの分類コードで示す^x 希釈倍数は農薬の実用濃度。末尾のEは乳剤、F・SCはフロアブル剤、DFはドライフロアブル剤、WDGは顆粒水和剤を示す^w 有は適用病害虫の中にコナガが含まれる^v 河西、名草はその地区で採集した個体群

井口(2018)、井口(2019)より作成

ン)を提唱している(島, 2017)。しかしながらコナガは世代が明確に分かれておらず、暖地では世代が重なり合って各態の個体が混ざって生息している(山田, 1977; 山田・川崎, 1983)。このため、世代間連用を避けるためには、1世代は25℃条件下で約16日(山田・川崎, 1983)であることから考えると、同一作用機構の薬剤の散布間隔を32日(16日×2)程度以上あける以外に方法がない。4グループの薬剤を1グループ1回ずつ、8日以上の間隔で順番に繰り返し散布すれば世代間ローテーションは可能であるが、突発的にコナガ幼虫が発生しても散布間隔を短縮できないし、農薬の使用時期(収穫前使用日数)の制約もあるので現実的には難しい。さらに、4グループのうちスピノサド剤とエマメクチン安息香酸塩剤はすでに感受性低下が認められている(井口, 2019)。したがってコマツナではコナガの薬剤抵抗性対策として、物理的防除法などを組み合わせた総合的な防除体系を実践し、本種の発生量を減らして薬剤防除回数そのものを削減する必要がある(浜, 1990; 足立・藤富, 1995; 山本, 2019)。

本研究ではまず、和歌山市のコマツナ栽培地域におけるコナガの発生実態を明らかにするため、名草地区と河西地区においてフェロモントラップによりコナガ雄成虫の発生状況を調査した。名草地区は河西地区より誘殺数が多く、また、河西地区は1~3月に多く5~6月は減少するのに対し、名草地区は6月に最も多くなった。コマツナの作付期間である7~10月は、両地区とも7~8月は少ないが、名草地区は9月以降、河西地区は10月以降に増加することがわかった。コナガの発生量や季節消長は、その地域のアブラナ科作物の作付状況に影響される(山田, 1977; 森下ら, 1995)。名草地区はダイコン産地でもあり、9月中旬~翌年2月に秋冬ダイコンが約36haで、3月~6月に春ダイコンが約4haで作付けされる(わかやま農業協同組合調べ)。7~10月はコマツナが作付けされているので、名草地区ではほぼ周年アブラナ科作物が存在している。一方、河西地区はコマツナ以外のアブラナ科作物はほとんど作付けされていない。したがって、名草地区のコナガの発生量が河西地区より多いのは、名草地区がダイコン産地であるためと考えられた。そのことを確認するために春ダイコンにおける5月下旬のコナガ幼虫・蛹の生息密度を調べたところ、1株あたり1.63頭であった。春ダイコンの栽植密度(約8,000株/10a; 和歌山県農林水産部, 2018)と作付面積(約4ha)から推定すると、この時期の名草地区には約52万頭のコナガ幼虫・蛹が生息している。このことから、名草地区では春ダイコンでコナガが大量に増殖することが明らかになった。そして、名草地区のコナガ誘殺数が6月に多いのは春ダイコンで増殖したコナガが飛来するためと考えられた。

次に、化学殺虫剤以外の防除技術として2つの方法を検討した。1つ目は、合成性フェロモン剤を利用した交信攪乱法である。フェロモントラップを利用して交信攪乱効果を確認したところ、処理後3か月間の補正誘引阻害率は96.1~98.2%であった。「コナガコン-プラス」の交信攪乱効果は3~4か月持続すると言われているが(静岡県病虫害防除所, 2020; 山形県病虫害防除所, 2016)、効果の持続期間は気温などの気象条件に影響される(小川, 1990)。本試験においては3か月後まで十分な効果が認められ、4か月目の途中で効果が切れた。したがって、交信攪乱用性フェロモン剤「コナガコン-プラス ロープ状製剤」10a当たり20mを8月1日頃に処理すると、コナガに対して処理3か月後まで高い交信攪乱効果があると考えられた。

交信攪乱法による防除効果を実証するためには、ほ場における幼虫の発生や被害程度を調査するべきである(高井・若村, 1993)。しかし、現地ほ場では化学殺虫剤による慣行防除が実施されているため、防除効果を判定することは困難である(大林, 1993; 高井・若村, 1993)。そこで、2019年の試験では露地ほ場において化学殺虫剤による影響が小さい条件でコマツナを栽培し、交信攪乱

処理によるコナガの防除効果を調査した。その結果、コナガの発生が最も多かった10月4日における処理区の幼虫・蛹数は無処理区の30%未満であった。このことから、名草地区では交信攪乱法で雌雄の交尾率を低下させることによって、次世代以降のコナガの発生および被害を低く抑えることができると考えられた。なお、11月14日は処理区のほうがコナガの発生が多く被害株率も高かったが、これは処理日から105日経過しており交信攪乱効果が切れていたためと推察される。

交信攪乱法による防除が可能な最低面積は、対象害虫の種類、発生密度、気象条件、地形などによって異なる（小川，1990）。交信攪乱法は一般に、処理面積が大きいほど高く安定した効果が得られる（若村，1990；田付，1996）。処理面積が小さい場合は、処理区内での交信攪乱効果が高くても、処理区外で交尾した雌が飛来して産卵するので防除効果が低下するからである（若村，1993；田付，1995）。このため、シロイチモジヨトウでは10ha以上が望ましく（高井，2000）、対象害虫によっては50haの面積が必要な場合もある（小川，1990）。しかしコナガは幸いなことに、好適な生息環境では成虫の分散範囲が極めて限定的であり（Roux et al., 2007）、処理面積が3ha以上あれば安定した防除効果が認められている（大林ら，1989；大林，2000）。ただし、海岸付近など風が強い場所は空中のフェロモンが失われやすいので防除効果が得られにくいという指摘もある（大林ら，1989；若村，1993；田付，1996）。名草地区は海沿いに位置するので海風によるフェロモン濃度の低下が懸念されたが、本研究では2か年とも7haの処理面積で高い交信攪乱効果が認められた。したがって、当該地区では7ha程度に処理すると防除効果が得られると考えられた。

交信攪乱法は複数の生産者が地域ぐるみで取り組む必要があるが（若村，1990）、地域全体のコナガの密度を低下させることはコマツナ栽培だけでなく、その後続く秋冬ダイコン栽培、春ダイコン栽培においてもコナガによる被害を低減させるという効果が期待できる。さらに、「コナガコンプラス」はオオタバコガとヨトウガにも適用があり、これら害虫の同時防除効果も期待できる。

化学殺虫剤以外の防除技術の2つ目として、防虫ネットを利用した物理的防除法について検討した。室内実験において、コナガ成虫は目合い2mm（実測2.5mm）の防虫ネットは通過できたが、目合い1mmの防虫ネットは通過できなかった。長坂ら（2014）も室内実験を行い、コナガ成虫は目合い1mmの防虫ネットで通過を阻止できると報告している。実際に現地生産者ほ場のビニルハウスにおいて側窓開口部に防虫ネットを展張すると、目合い2mmではハウス内でコナガの発生と被害が認められたが、目合い1mmでは認められなかった。以上のことから、目合い1mmのネットはコナガ成虫の施設内への侵入防止効果が高く、コマツナでの幼虫の発生と被害を抑えることができると考えられた。目合い1mmの防虫ネットは、カブラハバチ、ダイコンハムシ、モンシロチョウ、ウワバ類、ヨトウ類、ハイマダラノメイガなどの成虫の通過も阻止するので（長坂ら，2014；長坂，2016）、コナガ以外の多くの害虫も同時に防除できる。一方、ナモグリバエ、キスジノミハムシ、アブラムシ類有翅虫は目合い1mmの防虫ネットを通過する（長坂ら，2014）。また、ハスモンヨトウは防虫ネットにも卵塊を産み付けるため、ふ化した幼虫が容易にネット目合いを通過して侵入する（福井，2001；中野ら，2006）。これらの害虫のハウス内での発生に注意する必要がある。

側窓に防虫ネットを展張すると通気性が低下し、施設内が高温になって作物の生育に影響を及ぼすことが懸念される（田中，1993；上遠野・河名，1996；田中，1999）。そこで、目合い1mmの防虫ネットの展張が施設内の気温に及ぼす影響を検討した。防虫ネットを展張しても、日最低気温と日平均気温はほとんど影響を受けなかった。しかし、日最高気温は防虫ネットを展張しない場合と比べてやや高くなる傾向があったことから、施設開口部へ防虫ネットを展張すると、日中の高温時の気温が少し高くなると考えられた。今後、防虫ネット展張がコマツナの生育に及ぼす影響を明ら

かにすることが重要である。また、今回の調査時期は10月中旬～下旬であったことから、夏季に再調査し、高温期における防虫ネット展張による影響についても明らかにする必要がある。

最後に、和歌山市の施設栽培コマツナにおけるコナガの総合的な防除体系について提案したい。名草地区の施設はパイプハウスが多い。ハウス高が低いパイプハウスに防虫ネットを展張するとハウス内が高温になりやすいので、防虫ネットの利用は困難である（上遠野・河名，1996）。一方で名草地区はコマツナ栽培施設が比較的密集しているため、交信攪乱法が有効である。交信攪乱処理の時期については、できるだけコナガの発生密度が低い時期から開始することが重要とされている（若村，1993；田付，1996）。名草地区では7月から段階的にコマツナの播種が始まるが、コナガは7月～8月は少発生で経過し9月になるまで増加しないので、交信攪乱処理は8月1日頃がよいと考える。この時期に処理すると、コマツナの作付が終了する10月末まで交信攪乱効果が持続する。また、コマツナ栽培ハウス周辺では9月中旬から10月上旬にかけて秋冬ダイコンが播種される。秋冬ダイコンの生育初期はコナガの被害が問題となるので、この時期まで交信攪乱による防除効果が持続するならばダイコン生産者からも費用面での協力が得られやすく、地域ぐるみでの取り組みにつながる。交信攪乱処理をしても、周辺でのコナガの発生密度が高くなるとフェロモン処理だけでは幼虫の発生を抑えきれない場合もあるので的確な薬剤処理との組み合わせが必要である（大林ら，1989）。名草地区では8月末まではコナガ発生密度が低いので薬剤散布回数を少なめに抑え、9月以降はコナガ発生量に応じて徐々に薬剤散布回数を増やす。

河西地区は市街地の中にコマツナ栽培施設が点在しているため、ある程度まとまった面積で地域ぐるみの処理を必要とする交信攪乱法は不適である。しかし、河西地区のコマツナ栽培施設はハウス高が高く、ハウス容積も大きい鉄骨ハウスや連棟パイプハウスが多い。このような施設では側窓に目合い1mmの防虫ネットを展張しても施設内の気温への影響は比較的小さいので、防虫ネットを利用した物理的防除法が適している。コナガを施設内に入れないために、防虫ネットはコマツナの作付前に展張しておくこと、防虫ネット展張前にはコナガ幼虫が生息しているおそれがあるコマツナ残さやアブラナ科雑草を徹底して除去しておくこと（長坂，2016）、施設の出入口等にすき間を作らないように注意すること（長坂，2016）が重要である。そして、コマツナ作付中に施設内でコナガが発生した場合は薬剤防除を実施する。河西地区は10月以降にコナガの発生が増えるので、この時期は特に発生に注意し初期防除に努める。

施設栽培コマツナのコナガの防除対策では、限りある有効薬剤をできるだけ長く活用していく必要があり、そのためには殺虫剤抵抗性管理が不可欠である。交信攪乱法または防虫ネット利用による物理的防除法によりコナガの発生量を減らして薬剤の散布間隔を長くし、薬剤の世代間ローテーション使用に努めることが重要である。

摘 要

和歌山市の施設栽培コマツナにおけるコナガの防除対策として、コナガの発生状況を調査するとともに、合成性フェロモン剤を利用した交信攪乱法と防虫ネットを利用して成虫の侵入を防止する物理的防除法について検証し、総合的な防除対策を検討した。

1. フェロモントラップによる雄成虫誘殺数は、名草地区は河西地区より多かった。名草地区は1～5月にやや多く6月に最も多くなるのに対して、河西地区は1～3月に多く、5～6月は減少した。両地区とも7～8月は少なく経過したが、名草地区は9月以降に、河西地区は10月以降に

再び増加して12月までやや多かった。

2. 名草地区のコナガの発生量が河西地区より多いのは、名草地区がダイコン産地であるためと考えられた。
3. 交信攪乱用性フェロモン剤「コナガコン-プラス ロープ状製剤」10a 当たり 20mを8月1日頃に7haに処理すると、コナガ成虫に対して処理3か月後まで高い交信攪乱効果があり、コナガの発生および被害を抑えることができると考えられた。
4. コマツナ栽培施設の側窓開口部に目合い1mmの防虫ネットを展張するとコナガ成虫の侵入防止効果が高く、コナガの発生および被害を抑えることができると考えられた。
5. 施設栽培コマツナのコナガの防除対策は、交信攪乱法または防虫ネット利用による物理的防除法によりコナガの発生量を減らし、薬剤の世代間ローテーション使用に努めることが重要である。

現地調査ではコマツナ生産者の皆様に快くご協力いただいた。また、和歌山県海草振興局農林水産振興部農業水産振興課の塩崎博史氏・村上豪完氏・衛藤夏葉氏、わかやま農業協同組合南部営農センターの楢本智司氏・手平康介氏、同西部営農センターの富上大介氏に多大なご協力をいただいた。交信攪乱試験の実施に当たっては信越化学工業株式会社の川崎裕一氏から有益なご助言を賜った。厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 足立年一・藤富正昭. 1995. コナガ防除の現状と問題点. 植物防疫. 49 : 173-177.
- 足立年一・山下賢一. 1994. コナガのキチン合成阻害剤に対する感受性低下. 応動昆. 38 : 194-196.
- 福田 健・林川修二. 2014. 鹿児島県内におけるコナガのジアミド系殺虫剤に対する感受性低下. 九病虫研会報. 60 : 75-78.
- 福井俊男. 2001. イチゴハウス栽培におけるハスモンヨトウ幼虫の行動. 関西病虫研報. 43 : 51-52.
- 浜 弘司. 1990. コナガの薬剤抵抗性の現状と対策. 関東病虫研報. 37 : 1-4.
- 浜 弘司. 1992. 害虫はなぜ農薬に強くなるか - 薬剤抵抗性のしくみと害虫管理 -. 189pp. 農山漁村文化協会. 東京.
- 伊賀幹夫. 1985. コナガの発生消長と生命表. 応動昆. 29 : 119-125.
- 井口雅裕. 2018. 和歌山市の施設栽培コマツナにおけるコナガに対する各種薬剤の殺虫効果. 関西病虫研報. 60 : 103-105.
- 井口雅裕. 2019. 和歌山市のダイコン・コマツナ栽培地域のコナガに対する各種薬剤の殺虫効果. 関西病虫研報. 61 : 157-159.
- 飯村茂之・吉田雅紀. 2016. 岩手県におけるコナガのジアミド系およびマクロライド系殺虫剤に対する感受性. 北日本病虫研報. 67 : 166-168.
- 井上麻里子・岡部 克・小河原孝司. 2015. 茨城県におけるコナガに対するジアミド系薬剤を含む主要薬剤10種の殺虫効果. 関東病虫研報. 62 : 141-143.
- 諫山真二・小川正臣・笠松紀美. 2004. 兵庫県神戸市岩岡におけるコナガ (*Plutella xylostella* L.) の各種薬剤に対する感受性の変遷. 応動昆. 48 : 337-343.
- 上遠野富士夫・河名利幸. 1996. 施設野菜害虫の物理的防除法 - 被覆資材 -. 植物防疫. 50 : 468-471.

- 河合省三. 1979. 江東地域におけるコマツナ害虫の季節的変動. 関東病虫研報. 26 : 114-115.
- 宮田 正・呉 剛. 2010. コナガの殺虫剤抵抗性研究の過去・現在・未来. 農薬誌 35 : 555-561.
- 森下正彦. 1998. 和歌山県御坊市におけるコナガの薬剤感受性の変動. 応動昆. 42 : 209-213.
- 森下正彦・東勝千代・矢野貞彦. 1995. 和歌山県におけるコナガの発生生態と多発要因. 和歌山県農試研報. 15 : 25-32.
- 長坂幸吉. 2016. アブラナ科葉菜類の害虫侵入阻止に有効な防虫ネットの目合い. 農耕と園芸 : (9)25-28.
- 長坂幸吉・光永貴之・後藤千枝. 2014. アブラナ科葉菜類の主要害虫の侵入阻止に有効な防虫ネットの目合い. 関東病虫研報. 61 : 132-136.
- 中野昭雄・田中昭人・後藤昭文. 2006. 露地栽培コマツナにおける防虫ネットのトンネル被覆による各種害虫の侵入阻止効果. 四国植防. 41 : 33-39.
- 小川欽也. 1990. 昆虫フェロモン交信攪乱剤の害虫防除への利用. 化学と生物. 28 : 295-303.
- 大林延夫. 1993. 各論 コナガ. 性フェロモン剤等使用の手引き. pp.62-65. 日植防. 東京.
- 大林延夫・清水喜一・岩田直記・永田健二. 1989. 性フェロモンによるコナガの防除. 植物防疫. 43 : 325-328.
- 大林延夫. 2000. コナガ. フェロモン剤利用ガイド. pp.84-87. 日植防. 東京.
- Roux, O., M. Gevrey, L. Arvanitakis, C. Gers, D. Bordat, L. Legal. 2007. ISSR-PCR: Tool for discrimination and genetic structure analysis of *Plutella xylostella* populations native to different geographical areas. Mol. Phylogenet. Evol. 43: 240- 250.
- 島 克弥. 2017. 世代間ローテーションを基礎とした新たな殺虫剤抵抗性管理戦略と IRAC の活動. 植物防疫. 71 : 675-681.
- 清水 健・大谷 徹・河名利幸・遠藤正樹. 2014. 千葉県産コナガ個体群のジアミド系殺虫剤に対する感受性. 関東病虫研報. 61 : 137-140.
- 静岡県病害虫防除所. 2020. 令和 2 年度静岡県農薬安全使用指針・農作物病害虫防除基準. <http://www.s-boujo.jp/kihon/file/02kouri/0203.pdf> (2020 年 12 月アクセス)
- 園田昌司. 2015. アブラナ科作物の害虫コナガの殺虫剤抵抗性 -海外の事例を中心に-. 農業および園芸. 90 : 446-455.
- 高井幹夫. 2000. シロイチモジヨトウ. フェロモン剤利用ガイド. pp.90-94. 日植防. 東京.
- 高井幹夫・若村定男. 1993. フェロモン剤防除における効果の判定. 植物防疫. 47 : 503-507.
- 田中 寛. 1993. コナガ -おもしろ生態とかしこい防ぎ方-. 118pp. 農文協. 東京.
- 田中尚智. 1999. 耕種的防除法・資材 寒冷紗など (被覆, 障壁). pp.987-992. 農業総覧病害虫防除・資材編 10. 防除資材便覧. 農文協. 東京.
- 田付貞洋. 1995. 性フェロモンの利用: 今後の展望と問題点. 北日本病虫研報. 46 : 1-5.
- 田付貞洋. 1996. フェロモンの特性と利用技術. 植物防疫. 50 : 464-467.
- 若村定男. 1990. 鱗翅目昆虫性フェロモンの実用化 その現状. 日本農芸化学会誌. 64 : 1734-1737.
- 若村定男. 1993. 性フェロモン防除法の適用条件. 植物防疫. 47 : 499-502.
- 和歌山県農林水産部. 2018. 農業経営モデル指標. 362pp. 和歌山県.
- 和歌山県農作物病害虫防除所. 2016. 病害虫発生予察事業年報. <https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070300/071400/boujyosyo-yosatsujyohou.html> (2020 年 12 月アクセス)
- 山田偉雄. 1977. コナガの発生生態. 植物防疫. 31 : 202-205.

- 山田偉雄・川崎健次. 1983. コナガの発育, 産卵および増殖に及ぼす温湿度の影響. 応動昆. 27 : 17-21.
- 山形県病害虫防除所. 2016. オオタバコガの交信かく乱剤による防除方法. 病害虫防除所技術情報. https://agrin.jp/ufile/7/42/23390/image1_file0116021809304617115.pdf (2020年12月アクセス)
- 山本敦司. 2012. 持続的な害虫制御に向けた殺虫剤抵抗性マネジメントの課題. 日本農薬学会誌. 37 : 392- 398.
- 山本敦司. 2019. 殺虫剤抵抗性管理 農業生産現場への普及の取組み. 植物防疫. 73 : 766-773.

カンキツかいよう病に対する防除開始適期の再検討

武田知明・井沼 崇¹

和歌山県果樹試験場

Reexamination of the First Timing of Fungicide Application to Control Citrus Canker

Tomoaki Takeda and Takashi Inuma¹

Wakayama Fruit Tree Experimental Station

緒 言

カンキツかいよう病は *Xanthomonas citri* subsp. *citri* を病原とし、カンキツの葉、緑枝および果実に中心部がコルク化した円形の病斑を形成する重要病害である（塩谷，2010）。春先の第一次伝染源は主に前年の夏秋葉に発病した病斑（越冬病斑）と、前年の晩秋に葉に感染し潜伏越冬後に発病した病斑（潜伏越冬病斑）である（Pertier and Neal, 1918）。これらの病斑からの病原細菌の溢出は、旬平均気温が 10℃の頃にはじまり、12℃を超えると急増する（後藤，1962；芹澤，1992）。溢出した病原細菌は春葉（新葉）に感染・発病して第二次伝染源となり、果実や夏秋葉へと伝染する（後藤，1962）。そのため、春葉への感染を防ぐことが防除上重要であり（芹澤，1992）、県内産地では一般的に葉芽発芽直前の 3 月中旬頃から無機銅剤による防除を開始する（和歌山県，2019）。

一方で、2 月中旬にウンシュウミカンとナツミカンの前年に発生した夏秋葉に対して 10^7 cfu/ml の細菌懸濁液を接種したところ、4 月中下旬に多数の病斑を形成した事例が報告されている（小泉，1977）。この病斑は強力な伝染源となるおそれがあるため、県内の一部の産地では 2 月中旬頃から防除を開始すべきという意見があり、防除体系の見直しが検討されている。しかし、1 月～4 月上旬の樹冠流下雨水（樹の枝や幹をつたって流れる雨水）中の菌量は 10cfu/ml 未満で極めて少なく推移するため（三好・清水，2016）、この時期は旧葉（前年に発生した葉）に対する雨水による感染は起きないと考えられる。雨水以外の伝染方法として芹澤（1992）は、5 月中旬に越冬病斑の周辺に新たな病斑が形成された事例（後藤，1962）から、夜間の低温により生じた結露に細菌が溢出して越冬病斑周辺に濃厚感染する可能性を指摘している。結露中の菌量は雨水中よりも多くなると考えられるが、発芽期（3 月下旬～4 月上旬）以前に越冬病斑上に生じた結露中の菌量を調査した事例はない。また、発芽期以前に既報（小泉，1977）の 10^7 cfu/ml より低い濃度の接種源を用いて旧葉に対する感染の可能性を調査した事例や 2 月の無機銅剤散布による防除効果を検討した報告もない。そこで本研究では、結露状態を再現した葉の越冬病斑からの溢出菌量の定量、既報（小泉，1977）より低い濃度の接種源を用いた旧葉への接種による感染時期の解明、2 月の無機銅剤散布による防除効果の検討を行い、本病の防除開始適期について再検討した。

¹現在：和歌山県農業試験場

材料および方法

1. 越冬病斑からの溢出菌量の定量（試験1）

1) リアルタイム PCR 法によるカンキツかいよう病菌の定量

(1) DNA 抽出

Instagene DNA 精製マトリックス (Bio-Rad) を用いて DNA を抽出した。すなわち、サンプル 1ml を 1.5ml チューブに加えて 3 分間遠心し、上清 950 μ l を除去した後、Instagene DNA 精製マトリックスを 100 μ l 加え、56 $^{\circ}$ C で 30 分間、100 $^{\circ}$ C で 8 分間インキュベートした。

(2) リアルタイム PCR

機器は LightCycler nano (Roche Applied Science) を用いた。試薬は FastStart Essential DNA Green Master (Roche Applied Science)、プライマーセットは本病原細菌の特異的プライマーである J-Rxg/J-Rxc2 (増幅産物: 179bp) (Cubero and Graham, 2002) を使用した。反応液の組成は 1 サンプルあたり Master Mix(2x) を 10 μ l, Primer forward & reverse(5 μ M) を 2 μ l, 鋳型 DNA を 5 μ l, H₂O(PCR grade) を 5 μ l の計 20 μ l とした。PCR の温度条件は、95 $^{\circ}$ C で 10 分の初期変性を 1 回、95 $^{\circ}$ C で 10 秒、60 $^{\circ}$ C で 10 秒、72 $^{\circ}$ C で 15 秒の増幅過程を 45 回繰り返した後、融解曲線分析を行った。

(3) 検量線の作成と定量可能範囲の確認

2008 年に果樹試験場露地ほ場内のネーブルオレンジ (12 年生) の葉から常法により分離した本病原細菌 X0801 株を供試した。NA 培地により 20 $^{\circ}$ C で 3 日間培養し、滅菌水で 1×10^9 cfu/ml に調整した細菌懸濁液を原液として、連続 10 倍希釈の系列を $1 \sim 10^0$ cfu/ml の範囲で調整し、検量線作成用の標準試料とした。各濃度の細菌懸濁液を用いて、(1)、(2) の手法に従って DNA 抽出とリアルタイム PCR を行った。3 反復行い、各濃度の Ct 値の平均と実際の菌量から回帰式を求めて検量線を作成するとともに、本手法の定量可能範囲を確認した。

2) 越冬病斑からの溢出菌量の推移

越冬病斑からの溢出菌量は春葉に比べて夏秋葉が多いため (芹澤, 1992), 病斑が認められた夏秋葉を供試した。2019 年は果樹試験場露地ほ場内の 'せとか' (10 年生) および '南津海' (10 年生) の各 1 樹を、2020 年はこれら 2 品種で夏秋葉の病斑が認められなかったため、'宮川早生' (11 年生) 1 樹を用いた。1 樹あたり病斑が多い 4~5 葉を選んでマークし、調査葉とした。1 葉あたりの病斑数は表 1 に示した。2019 年は 1 月 28 日から 'せとか' は 5 月 23 日まで、'南津海' は 5 月 1 日まで、2020 年は 1 月 16 日から 5 月 21 日まで 6~21 日間隔で 10~11 回調査を行った。結露した状態を再現するため、葉をチャック付きポリ袋 (規格: 100mm \times 70mm \times 0.04mm) で包み、5ml の滅菌水を加えてチャックを止め、葉全体が濡れた状態を保持した。直射日光によるポリ袋内の温度上昇を防ぐためアルミホイルを巻き付けて遮光し、24 時間後に袋を回収した。回収したポリ袋中の水から (1)、(2) の手法に従って DNA 抽出とリアルタイム PCR を行った。菌の定量は、菌数既知の 4 濃度の段階希釈液を同時に解析して作成した検量線から行い、1 葉あたりの菌量を算出した。なお、'宮川早生' では試験期間中に一部の調査葉が落葉したため、別の夏秋葉で調査を行った。各供試樹の樹冠外周部に温度測定データロガー (おんどどり Jr. TR51i, (株) ティアンドデイ) をチャック付きポリ袋で包みアルミホイルで遮光した状態で設置し、ポリ袋内の温度を 10 分間隔で測定し、ポリ袋設置中の平均温度を求めた。

表1 各供試樹の調査葉の病斑数

品種	試験年	調査葉数	各調査葉の病斑数							
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
せとか	2019年	4	70	30	26	2	-	-	-	-
南津海	2019年	5	45	27	9	5	5	-	-	-
宮川早生	2020年	5	3	14	8	20	5	13	4	20

注) ‘宮川早生’では1月16日から4月2日まではNo.1～5で調査を行った。これ以降は一部調査葉が落葉したため、4月14日から27日まではNo.3～7で、5月7日から5月21日まではNo.4～8で調査した

2. 旧葉への接種による感染時期の解明 (試験 2)

2019年は‘せとか’ (10年生), ‘林温州’ (17年生) およびレモン (14年生), 2020年は‘林温州’ (18年生) を用いた。2019年は2月15日から4月5日 (発芽期) まで, 2020年は2月17日から3月31日 (発芽期) まで概ね10日間隔で, 10~15枚の旧葉 (前年に発生した春葉) に対する付傷接種を行った。すなわち, 1×10^4 cfu/ml または 1×10^6 cfu/ml に調整した X0801 株の細菌懸濁液をハンドスプレーで葉裏に噴霧し, ただちに1葉あたり2箇所針で菌液を貫通するようにせん刺した。2019年は5月30日, 2020年は5月29日に発病箇所数を調査し, 発病箇所率を算出した。試験は1区1樹4反復 (2019年) もしくは3反復 (2020年) で行った。

3. 2月の無機銅剤散布による防除効果 (試験 3)

2020年に‘はるみ’ (18年生) を用いて試験を実施した。試験区は, IC ボルドー66D の40倍希釈液を2月26日と3月23日 (発芽期の11日前) に散布した2回散布区, 3月23日のみに散布した1回散布区, 無処理区の3区を設けた。散布は動力噴霧機を用いて8L/樹で行った。6月11日 (初発から7日後) に任意の100葉 (新葉) について発病葉数を程度別に調査し, 発病葉率および発病度を算出した。発病度は次式に基づいて計算し, 発病度から防除価を計算した。試験期間中の降雨量は果樹試験場内の気象観測装置で測定した。試験は1区1樹4反復で行った。

発病度 = Σ (程度別発病数 \times 指数) $\times 100 \div$ (調査数 $\times 7$)

指数 0 : 病斑がないもの, 1 : 病斑が3個未満のもの, 3 : 病斑が4~10個のもの,

5 : 病斑が11~20個のもの, 7 : 病斑が21個以上のもの

結 果

1. 越冬病斑からの溢出菌量の定量 (試験 1)

1) リアルタイム PCR 法によるカンキツかいよう病菌の定量

検量線の回帰直線は $1 \times 10 \sim 1 \times 10^8$ cfu/ml の範囲で強い直線性 ($R^2=0.9998$) が認められた (図1)。PCR 効率率は 88.2% (傾き: -3.64) となり, 適正とされている範囲内 (80~120%) であった (北條, 2008)。一方, 1cfu/ml からは増幅が認められず, 1×10^9 cfu/ml からは増幅は認められるものの, その Ct 値はこの回帰直線からやや外れたため, 本手法による定量可能範囲は $1 \times 10 \sim 1 \times 10^8$ cfu/ml であった。

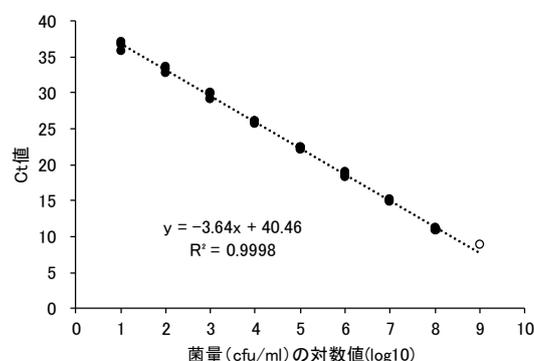


図1 リアルタイムPCR法によるかいよう病菌定量のための検量線
注) 1×10^9 cfu/ml のサンプル (白抜き○) から増幅が認められたが, その Ct 値は回帰直線からやや外れる

2) 越冬病斑からの溢出菌量の推移

1葉あたりの溢出菌量について、2019年はポリ袋内の平均温度13℃未満で推移した1月28日から4月11日までは‘せとか’，‘南津海’ともに 1×10^3 cfu/ml以下で推移したが、約20℃となった4月23日に増加し、これ以降は 1×10^4 cfu/ml以上で推移した(図2)。2020年は、平均気温が2.0~13.9℃と寒暖差が大きかった1月16日から4月2日までは、‘宮川早生’において概ね 10^3 cfu/ml以下で推移したが、約15℃となった4月27日に増加し、これ以降は概ね 10^5 cfu/mlの菌量で推移した。最も菌量が多かった調査葉は、2019年2月28日における‘せとか’のNo.1(病斑数70)で、 5.8×10^3 cfu/mlであった。なお、ポリ袋内の平均温度は野外の平均気温(果樹試験場気象観測装置による観測)とほぼ同じであった(データ省略)。

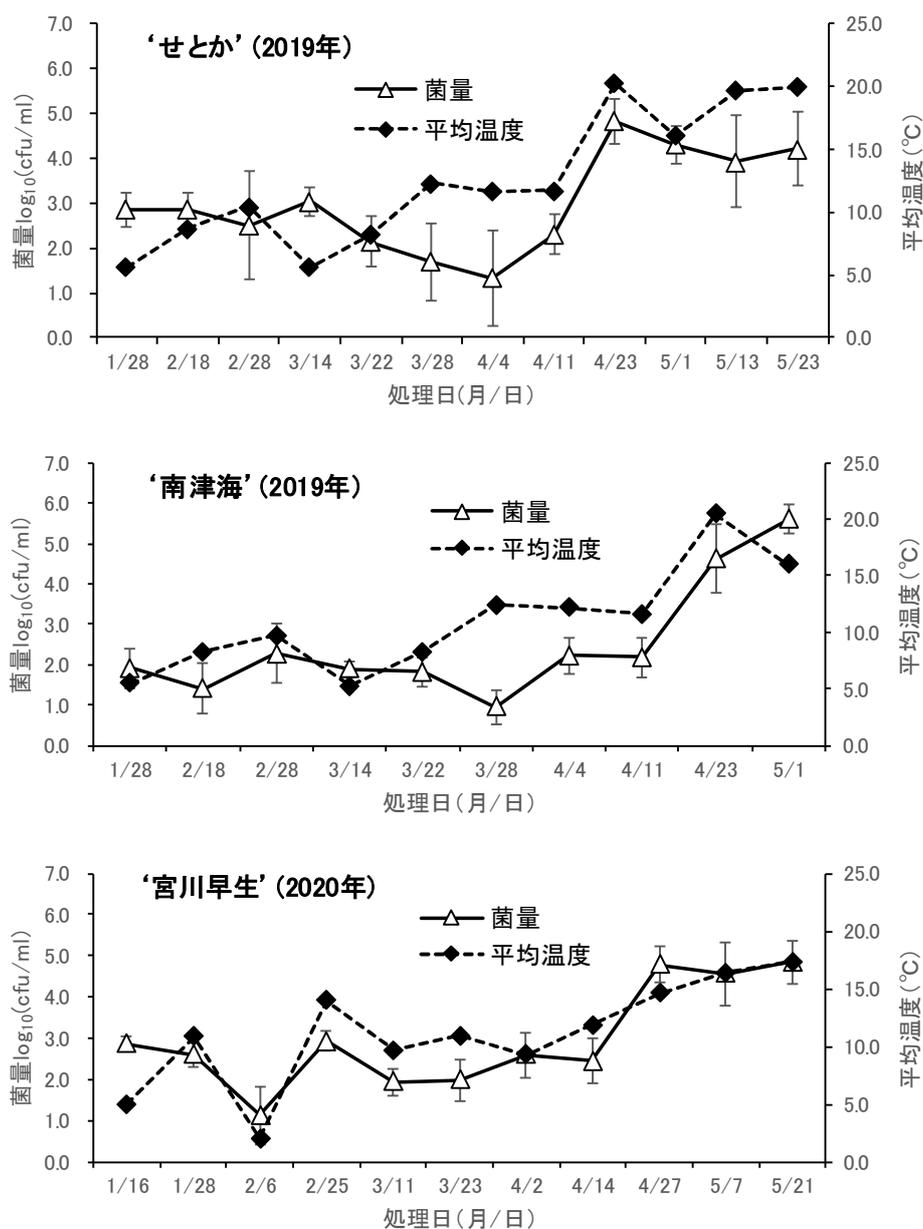


図2 越冬病斑からの溢出菌量の推移

注) 図中の縦棒は標準誤差を示す(せとか:n=4, 南津海:n=5, 宮川早生:n=5)

2. 旧葉への接種による感染時期の解明（試験 2）

1×10⁴cfu/ml の細菌懸濁液で接種した場合，2019 年は 3 品種とも 3 月 27 日接種まで発病が認められず，4 月 5 日（発芽期）接種において発病箇所率 1.6～6.7%と発病が認められた（図 3）．2020 年は，‘林温州’において 3 月 9 日接種まで発病が認められず，3 月 19 日以降の接種で発病箇所率 5.0～6.7%と発病が認められた．1×10⁶cfu/ml で接種した場合，2019 年は‘林温州’のみ 3 月 6 日接種で発病箇所率 1.3%と発病が認められ，3 月 15 日以降の接種では 3 品種とも発病し，4 月 5 日（発芽期）接種において発病箇所率 17.3～52.4%と最も高くなった．2020 年は，3 月 9 日接種で発病が認められ，3 月 30 日（発芽期）接種において 46.5%と最も高くなった．

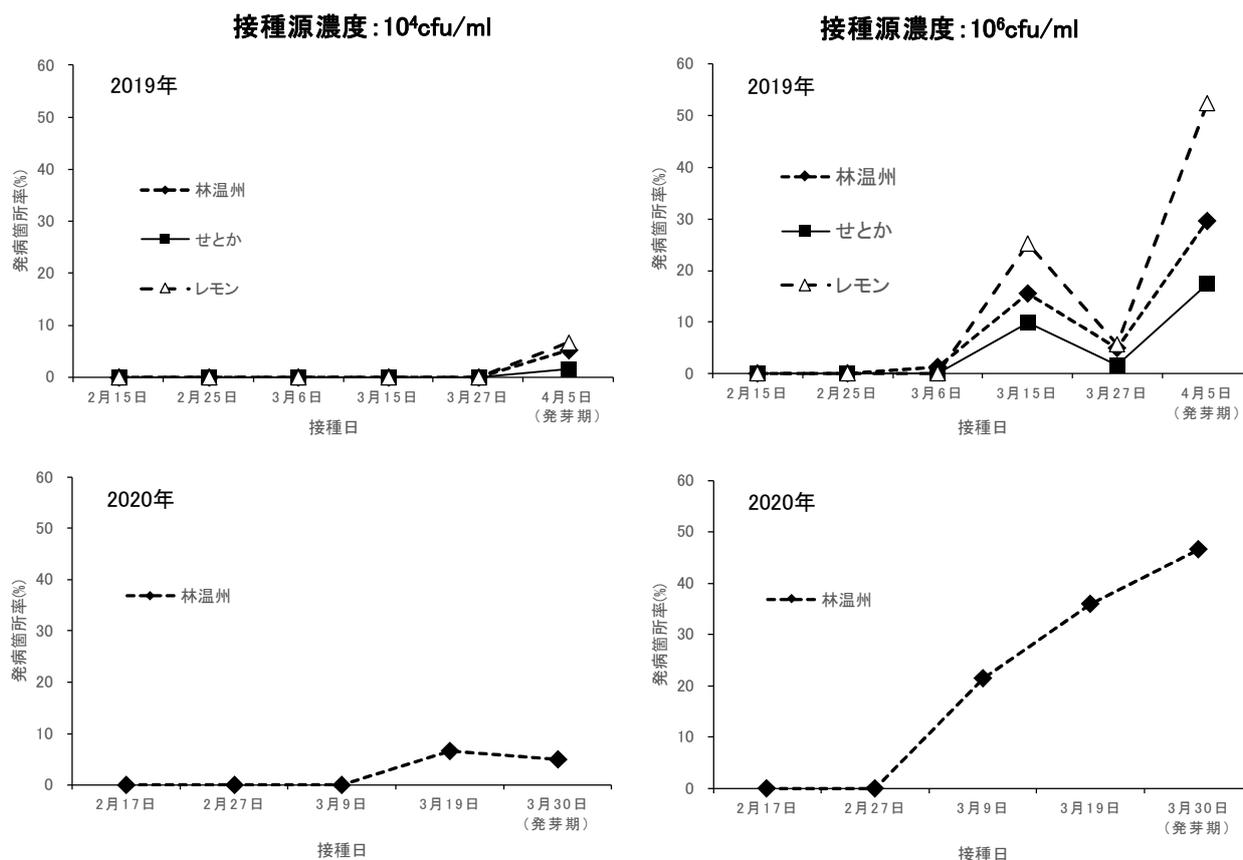


図3 時期別接種による旧葉への感染時期

3. 2月の無機銅剤散布による防除効果（試験 3）

試験期間中の降雨状況は，2月26日（1回目散布日）から3月23日（2回目散布日）までは降水量 94.5mm，降雨日数 10日，3月23日から6月11日（調査日）までは降水量 297mm，降雨日数 22日であった（表 2）．無処理区の発病葉率は 3.9%，発病度は 0.8 で少発生条件下での試験となった．2回散布区および1回散布区の発病葉率，発病度はともに 0 で，防除価は両区ともに 100であった（図 4）．

表2 試験期間中の降雨状況（2020年）

	2月26日	3月23日	6月11日
降水量(mm)	94.5	297	
降雨日数(日)	10	22	

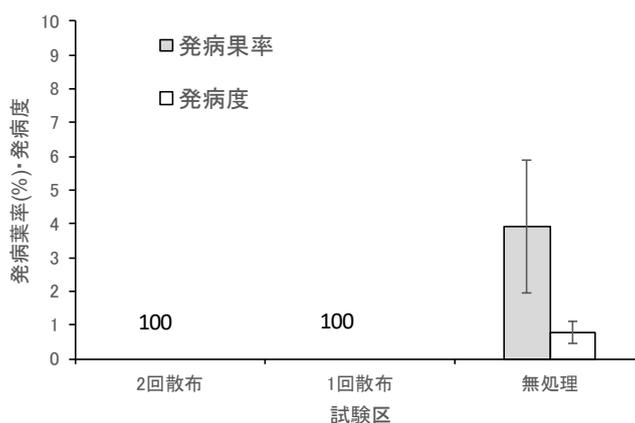


図4 銅剤の散布時期が発病に及ぼす影響

注) 図中の縦棒は標準誤差を示す(n=4)

図中の数字は防除値を示す

考 察

果樹の病害を防除するうえでは、発芽前に薬剤散布を実施し初期の発生を抑えることが重要である(田代, 2007)。カンキツかいよう病においても発芽前防除の重要性は高く(三好・清水, 2016; 芹澤, 1992)、本県では3月中旬が防除開始適期だとされている(和歌山県, 2019)。しかし、発芽前の防除適期について詳細に検討した事例はないため、2019～2020年にいくつかの試験を行い、本病の防除開始適期を再検討した。

まず、結露状態を再現した葉の越冬病斑からの溢出菌量の推移を調査した。菌量の定量に用いたリアルタイムPCR法は、 $1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^8$ cfu/mlの範囲内では高い精度で定量が可能であったため、実用性は高いと考えられた。本手法により、2019年は‘せとか’および‘南津海’、2020年は‘宮川早生’の旧葉(夏秋葉)について溢出菌量の推移を調査した。その結果、発芽期(2019年:4月5日、2020年3月25日)以前の菌量はいずれの品種においても 1×10^3 cfu/ml以下の低い値で推移した。最も溢出菌量が多かった葉(2019年2月28日処理の‘せとか’のNo. 1, 病斑数70)においても、菌量は 5.8×10^3 cfu/mlであった。しかも本試験では葉全体が濡れた状態を24時間保持したが、実際の結露は夜から翌朝までである。これらのことから、発芽期以前に生じた結露中の菌量は、多くても 1×10^4 cfu/ml未満だと考えられた。

次に、既報(小泉, 1977)の接種源濃度 10^7 cfu/mlよりも低い濃度の細菌懸濁液を用いて、2月中旬から発芽期までの期間に旧葉に対する時期別の付傷接種を行った。試験時は発芽期以前に生じた結露中の菌量が不明であったため、 1×10^4 cfu/mlまたは 1×10^6 cfu/mlで試験した。その結果、発病が認められたのは、 1×10^6 cfu/mlでは3月上旬以降、 1×10^4 cfu/mlでは3月中旬以降の接種であった。 1×10^7 cfu/mlでは2月中旬の接種で発病が認められた(小泉, 1977)事例を考慮すると、接種源濃度が低いほど旧葉に感染可能な時期は遅くなると考えられた。すなわち、 1×10^7 cfu/mlであれば2月中旬以降、 1×10^6 cfu/mlでは3月上旬以降、 1×10^4 cfu/mlでは3月中旬以降に感染・発病すると思われた。発芽期以前に生じた結露中の菌量は 1×10^4 cfu/ml未満なので、早くとも3月中旬以降でないとして芹澤(1992)が指摘した結露による越冬病斑周辺への感染は成立しないと考えられた。

最後に、発芽期以前の防除の必要性を明らかにするため、2月の無機銅剤〔ICボルドー66D(40倍

希釈液)〕散布による防除効果を検討した。供試薬剤を2月26日と3月23日(発芽期の11日前)に散布した2回散布区と3月23日のみ散布した1回散布区の間で防除効果を比較したところ、両区ともに防除価100と差は認められなかった。これらのことから、2月下旬に無機銅剤を散布する必要はないと考えられた。ただし、本試験は少発生条件下であったため、多発条件下でも検討を行う必要がある。

以上の結果から、本病の防除開始適期は従来通りの3月中旬頃でよいと考えられる。

摘 要

カンキツかいよう病の防除開始適期を再検討した。

1. 結露状態を再現した旧葉(夏秋葉)の越冬病斑からの溢出菌量は、発芽期以前は 1×10^3 cfu/ml以下の低い値で推移し、最も多かった旧葉においても 5.8×10^3 cfu/mlであった。
 2. 2濃度の接種源を用いて2月中旬から発芽期までの期間に旧葉に対する時期別の付傷接種を行ったところ、 1×10^6 cfu/mlでは3月上旬以降、 1×10^4 cfu/mlでは3月中旬以降の接種で発病が認められた。発芽期以前の結露中の溢出菌量は 10^4 cfu/ml未満であるため、早くとも3月中旬以降でないと結露による越冬病斑周辺への感染は成立しないと考えられた。
 3. 無機銅剤〔IC ボルドー66D(40倍希釈液)〕を2月26日と3月23日(発芽期の11日前)に散布した2回散布区と3月23日のみ散布した1回散布区の間で防除効果を比較した結果、両区間に差は認められなかった。そのため、2月下旬に無機銅剤を散布する必要はないと考えられた。
- 以上の結果から、本病の防除開始適期は従来通りの3月中旬頃でよいと考えられる。

本研究の実施期間中に試験の補助をして下さった小澤まり子さんにお礼申し上げます。

引用文献

- Cubero, J and Graham, J. H. 2002. Genetic relationship among worldwide strains of *Xanthomonas* causing canker in citrus species and design of new primers for their identification by PCR. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(3):1257-1264.
- 後藤正夫. 1962. カンキツかいよう病に関する研究(I). 静大農研報 12:3-72.
- 北條浩彦. 2008. 原理からよくわかるリアルタイムPCR実験ガイド. p. 41. 羊土社. 東京
- 小泉銘冊. 1977. カンキツかいよう病における spring canker の発生要因. 果樹試験場報告 B 興津 4:115-129.
- 三好孝典・清水伸一. 2016. 宮内イヨカンにおける樹冠流下雨水中のカンキツかいよう病の病原細菌量と発病との関係および銅水和剤を用いた春先の防除適期について. 植物防疫 70(6):375-381.
- Pertier, G. L. and Neal, D. C. 1918. Overwintering of the citrus-canker organism in the bark tissue of hardy citrus hybrids. *Ibid.* 14:523-524.
- 芹澤拙夫. 1992. カンキツかいよう病の生態と防除に関する研究. 静岡柑橘試特別報告 5:1-153.
- 塩谷浩. 2010. カンキツかいよう病菌 *Xanthomonas citri* subsp. *citri*. 微生物遺伝資源利用マニュアル 29:1-11.

田代暢哉. 2007. 果樹の病虫害防除. 農文協. 東京. p. 52.

和歌山県農林水産部. 2019. 平成31年度農作物病虫害及び雑草防除指針. p. 135. 和歌山県.

着色期のウンシュウミカン果実を加害する ハナアザミウマの防除対策

松山尚生・勘代博文¹

和歌山県果樹試験場

Control of *Thrips hawaiiensis* (Morgan) Harming on Ripe Fruits of Satsuma Mandarin

Naoki Matsuyama and Hirofumi Kandai¹

Wakayama Fruit Tree Experiment Station

緒 言

近年本県の露地栽培ウンシュウミカンにおいて、着色期に果皮表面が白くカスリ状になる被害が多発している。症状が激しい場合は時間をかけて褐変し腐敗することから、商品価値の低下や収量の減少につながる。また、被害果実が選果の過程で見落とされた場合は、出荷され消費者に届くまでの間に腐敗することもあり、産地の信頼低下にもつながる。

ウンシュウミカンの果皮表面が白くカスリ状となる被害はネギアザミウマやミカンキイロアザミウマ、ハナアザミウマ、ビワハナアザミウマ、ヒラズハナアザミウマ等によるものが報告されているが（森ら, 1984; 土屋ら, 1995; 寺本ら, 2001; 土屋, 2002; 衛藤ら, 2010; 東浦・村本, 2018）、ネギアザミウマは露地栽培では収穫果に実害がなく（土屋, 2002）、ミカンキイロアザミウマも露地栽培では果実の着色期が本種の終息期に当たるため被害が発生しないとされている（土屋ら, 1995）。一方、ハナアザミウマやビワハナアザミウマ、ヒラズハナアザミウマは他県において露地栽培の着色期のウンシュウミカンを加害することが報告されていることから（森ら, 1984; 寺本ら, 2001; 衛藤ら, 2010; 東浦・村本, 2018）、本県における加害種もこれらと推察された。主な加害種は愛媛県ではハナアザミウマとビワハナアザミウマ（森ら, 1984）、長崎県や山口県ではハナアザミウマ（寺本ら, 2001; 東浦・村本, 2018）、佐賀県ではヒラズハナアザミウマとビワハナアザミウマ（衛藤ら, 2010）と報告されており、地域によって異なる。このことから、本県における加害種を特定するため、有田地域の極早生ウンシュウミカン栽培ほ場でアザミウマ類の黄色粘着トラップによる誘殺調査と、着色期の果実における生息状況の調査を行った。その結果、極早生ウンシュウミカンの着色始期である9月下旬以降にハナアザミウマの誘殺数が増加し、果実でもハナアザミウマの生息が確認された。さらに、果皮表面にカスリ状の被害が認められたことから、本県における主な加害種はハナアザミウマであることが確認された（勘代ら, 未発表）。

ハナアザミウマのウンシュウミカンほ場における発消長や周辺雑草における生息状況は長崎県（寺本ら, 2001）、本種に対する殺虫効果が高い薬剤は栃木県（春山・松本, 2013）、鹿児島県（西本ら, 2006）、山口県（東浦・村本, 2018）で明らかにされているが、他県と本県では気候やほ場環境、植生、本種の薬剤への感受性が異なる可能性がある。そこで、本研究では本県のウンシュウミカンにおける本種に対する効果的な防除対策を確立することを目的として、本種の黄色粘着トラッ

¹ 現在：和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課農業環境・鳥獣害対策室

プによる誘殺消長や果実での生息状況、本種の生息が多いと報告されているほ場周辺のセイタカアワダチソウ（寺本ら，2001）やほ場内の雑草における生息状況を調査することにより発生時期や発生源を明らかにした。また，カンキツにおいて本種に使用できる各種薬剤の殺虫効果とは場における防除効果を検討した。

材料および方法

1. ハナアザミウマの発生状況

調査は有田市千田（面積：約10a，品種：上野早生，平坦地，周辺は住宅地）および有田郡有田川町下津野（面積：約40a，品種：上野早生，ゆら早生，向山温州，平坦地，周辺はカンキツほ場と住宅地が混在しており雑草地と隣接）の2か所のウンシュウミカン栽培ほ場で行った。

1) 黄色粘着トラップによる誘殺消長

2018年9月1日～11月25日にほ場内の2か所に黄色粘着トラップ（商品名：ITシート，サンケイ化学株式会社製，幅10cm×長さ26cm，両面）を地上高150cmに垂直に設置した。有田市千田はほ場の東西に約20m間隔で設置し，西側をNo. 1，東側をNo. 2とした。有田川町下津野は中生ウンシュウミカンが植栽されている割合が多い地点をNo. 1，極早生ウンシュウミカンが植栽されている割合が多い地点をNo. 2として約30m間隔で設置した。5～6日間隔でトラップを交換し，トラップに誘殺されたアザミウマ類を実体顕微鏡下で千脇ら（1994）と梅谷ら（1988）に従って同定し，ハナアザミウマ成虫数（雌雄合計）を計数した。

2) 果実における生息状況

調査は有田市千田では2019年9月5日～10月25日に極早生ウンシュウミカン（‘上野早生’）で行った。有田川町下津野では2019年9月5日～10月20日に極早生ウンシュウミカン（‘ゆら早生’），10月25日～12月4日に中生ウンシュウミカン（‘向山温州’）で行った。4～6日毎にほ場内で任意に選んだウンシュウミカン果実20果を70%エタノール溶液に浸漬してアザミウマ類成虫を捕獲した。なお，調査日ごとに樹内の調査位置を変え，毎回異なる果実を選んだ。捕獲したアザミウマ類成虫は持ち帰り，前述の方法で同定しハナアザミウマ成虫数（雌雄合計）を計数した。

3) ほ場周辺のセイタカアワダチソウおよびほ場内の雑草におけるハナアザミウマの生息状況

調査は2018年9月30日～11月30日に有田川町下津野のほ場に隣接した雑草地に自生するセイタカアワダチソウ，2019年4月1日～11月30日に有田市千田と有田川町下津野のほ場内に自生する各種雑草において行った。セイタカアワダチソウは5～6日毎に花序，各種雑草は4～6日毎に開花期前後の花器からアザミウマ類成虫を白色のバット（横43cm×縦32cm）に叩き落とし，面相筆ですくって70%エタノール溶液を入れた管瓶内に捕獲した。捕獲されたアザミウマ類成虫は持ち帰り，前述の方法で同定し種別に個体数を計数した。

2. ハナアザミウマに対する各種薬剤の効果

1) 各種薬剤の殺虫効果（室内検定）

供試薬剤は表2の14剤とした。供試虫は2020年に有田川町に自生するセイタカアワダチソウの花序より採集したハナアザミウマ雌成虫とした。採集当日に片山（1997）の葉片浸漬法を一部改変して薬剤検定を行った。すなわち，果樹試験場内で採取したウンシュウミカン‘興津早生’の果皮に，水道水で実用濃度に希釈した供試薬剤をフィンガースプレー（商品名：マークIIスプレー，ニッコー・ハンセン株式会社製）により約15mg/cm²散布した。風乾後に果皮を中央に穴の開いたフェル

ト（厚さ 9mm，横 5cm×縦 5cm）とともに透明アクリル板（厚さ 2mm，横 5cm×縦 5cm）ではさみ，穴に 1 区当たり約 10 頭を放飼した．それをタッパーウェア（幅 13.5cm×長さ 9.5cm×高さ 15.5cm）に入れ，25℃16L8D 条件の人工気象器内に静置した．処理 48 時間後に生存，苦悶，死亡別に個体数を調査した．針でつついて正常に歩行しない個体を苦悶虫，動かない個体を死亡虫とし，苦悶虫は死亡虫に含めた．処理は 1 薬剤につき 3 反復行った．無処理は水道水を用いて前述の方法で処理し，同様に生死を調査して Abbott の式（Abbott, 1925）により補正死亡率を算出した．殺虫効果は補正死亡率により判断し，90%以上で「高い」，70%以上で「認められる」，50%以上 70%未満で「やや低い」，50%未満で「低い」とした．

2) 薬剤の防除効果（ほ場試験）

2019 年に有田川町下津野の現地ほ場内の‘ゆら早生’において，自然発生のハナアザミウマに対する薬剤散布試験を行った．水道水で希釈したスピネトラム水和剤（希釈倍数 10,000 倍），スピノサド水和剤（希釈倍数 6,000 倍）を 10 月 5 日に動力噴霧機を用いて 5L/樹の割合で散布した．1 樹あたり無作為に選んだ 50 果について，散布直前，散布 2 日後，5 日後，7 日後，11 日後，15 日後にアザミウマ類の生息成虫数を目視により調査し，補正密度指数を算出した．種の同定は行わなかった．防除効果は補正密度指数が 10 以下で「効果が高い」，11 以上 30 以下で「効果が認められる」，31 以上 50 以下で「効果はやや低い」，51 以上で「効果は低い」とした．1 薬剤 1 樹 3 反復とした．

結 果

1. ハナアザミウマの発生状況

1) 黄色粘着トラップによる誘殺消長

有田市千田では 9 月 5 日～9 月 10 日の設置期間からハナアザミウマの誘殺が認められた（図 1）．9 月 20 日～10 月 30 日は全ての設置期間で誘殺され，10 月 15 日～10 月 20 日の誘殺数（ほ場内の 2 か所合計）は 11 頭と最も多かった．10 月 20 日以降は減少傾向を示し，11 月 10 日以降は 0～1 頭と誘殺数が少なくなった．有田川町下津野では 9 月 10～15 日の設置期間からハナアザミウマの誘殺が認められた（図 2）．9 月 20 日～11 月 15 日までは全ての設置期間で誘殺された．9 月 25 日以降は増加傾向を示し 10 月 15～10 月 20 日に 15 頭，10 月 20～10 月 25 日に 14 頭と多く誘殺された．10 月 25 日以降は減少傾向を示し，11 月中の誘殺数は少なかった．

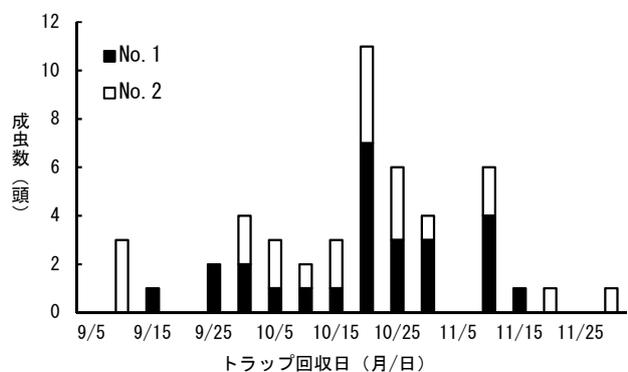


図1 ウンシュウミカンほ場内における黄色粘着トラップによるハナアザミウマの誘殺消長（2018年，有田市千田）

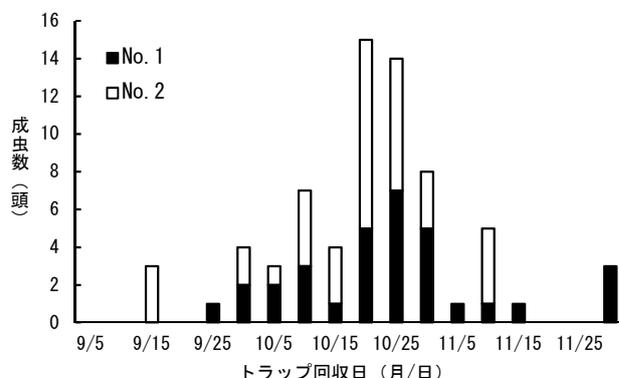


図2 ウンシュウミカンほ場内における黄色粘着トラップによるハナアザミウマの誘殺消長（2018年，有田川町下津野）

2) 果実における生息状況

捕獲されたアザミウマは全てハナアザミウマであった。極早生ウンシュウミカンでは有田市千田は10月10日から生息が認められた(図3)。10月10日は20果あたりの生息数が2頭であったが10月16日は23頭に増加した。以降は調査終了の10月25日まで減少した。有田川町下津野は9月26日から生息が認められ、20果あたりの生息数は9月26日、9月30日は1頭であったが10月5日は15頭に増加した(図4)。10月10日に生息数が減少したが、10月16日以降は調査終了の10月20日まで再び増加した。中生ウンシュウミカンでは11月10日に生息が認められ、11月15日まで増加し20果実あたりの生息数は40頭に達したがそれ以降は減少した(図4)。なお、ハナアザミウマが生息していた部位は樹冠の赤道部より上部の、果実同士の接触部分の隙間が多かった。

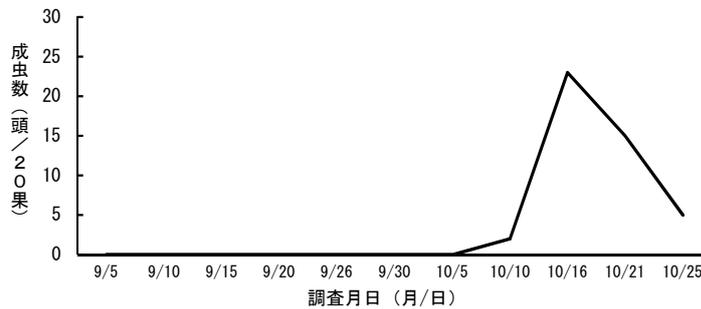
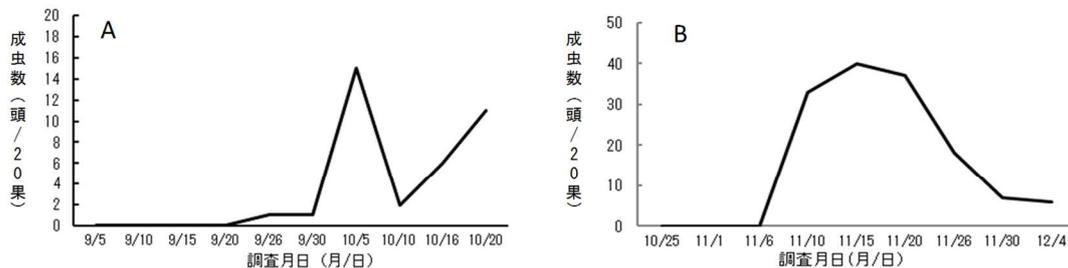


図3 果実におけるハナアザミウマの生息数(2019年)
(有田市千田の極早生ウンシュウミカン‘上野早生’)



第4図 果実におけるハナアザミウマの生息数(2019年)
(有田川町下津野のウンシュウミカン A: ‘ゆら早生’ B: ‘向山温州’)

3) ほ場周辺のセイタカアワダチソウおよびほ場内の雑草におけるハナアザミウマの生息状況

セイタカアワダチソウは10月上旬に開花し、10月中旬に満開期を迎えた。ハナアザミウマ成虫の捕獲数は開花初期から満開期にかけて増加し、満開期より少し遅れてピークを迎え、1花序あたり83頭になり以降は減少した(図5)。ハナアザミウマの他にミカンキイロアザミウマやクダアザミウマ類が認められたが、捕獲数は少なかった。

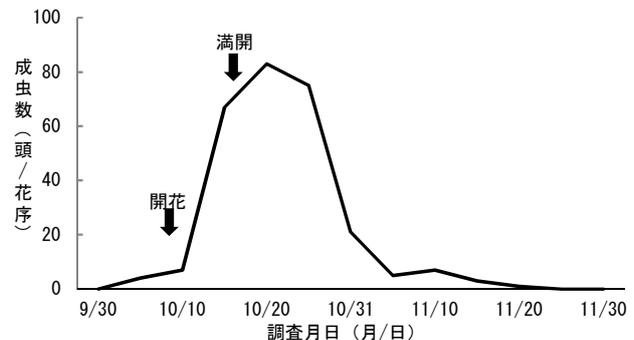


図5 セイタカアワダチソウの花序より捕獲されたハナアザミウマ成虫数の推移
(2018年, 有田川町下津野)

ほ場内には4~6月にかけて有田市千田ではカラスノエンドウやアメリカフウロ、ヤワゲフウロ、ノボロギク、ホトケノザ、メヒシバが自生しており、有田川町下津野ではノボロギクは自生していなかったが同様の植生がみられた(表1)。これらの雑草にはミカンキイロアザミウマやネギアザミウマが生息していた。ミカンキイロアザミウマやネギアザミウマに比べて生息していた雑草種、生息数は少なかったものの、イネクダアザミウマ、ヒラズハナアザミウマもみられた。7月以降は有田市千田ではメヒシバやオヒシバ、エノコログサ、エノキグサ、イヌビエ、有田川町下津野ではメヒシバ、ヤワゲフウロ、エノコログサが自生していた。7月以降の雑草にはミカンキイロアザミウマやネギアザミウマ、イネクダアザミウマが生息していたが、アザミウマ類の生息数は少なかった。調査期間中にハナアザミウマが生息している雑草は認められなかった。

表1 ほ場内に自生する雑草へのアザミウマ類の生息状況(2019年)

ほ場	雑草名	4月					5月					6月					7月					
		ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	
有田市千田	カラスノエンドウ	64	17	3	0	0																
	アメリカフウロ						101	23	0	4	0	8	0	1	0	0						
	ヤワゲフウロ	29	17	0	0	0	31	47	0	0	0	4	0	0	0	0						
	ノボロギク	25	14	0	0	0	142	53	0	1	0	62	2	0	0	0						
	ホトケノザ	42	23	1	0	0	70	7	0	2	0	16	0	1	0	0						
	メヒシバ											6	0	4	0	0	5	1	0	0	0	0
エノコログサ																6	5	0	0	0	0	
有田川町下津野	カラスノエンドウ	31	9	4	0	0	6	3	0	0	0											
	アメリカフウロ	20	0	0	0	0	220	8	0	11	0	299	0	0	2	0						
	ヤワゲフウロ	21	1	0	0	0	61	8	0	2	0	62	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0
	ホトケノザ	56	2	0	0	0	27	8	0	0	0											
	メヒシバ											3	0	1	0	0	6	0	1	0	0	0
	エノコログサ																11	0	1	0	0	0
ほ場	雑草名	8月					9月					10月					11月					
		ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	ミカン	ネギ	イネクダ	ヒラズ	ハナ	
有田市千田	メヒシバ	2	0	5	0	0	5	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	オヒシバ	8	0	10	0	0	9	0	6	0	0	1	0	0	0	0						
	エノコログサ	3	0	1	0	0																
	エノキグサ						1	1	0	0	0	4	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	イヌビエ	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0											
有田川町下津野	メヒシバ	1	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	

※ミカン:ミカンキイロアザミウマ, ネギ:ネギアザミウマ, イネクダ:イネクダアザミウマ, ヒラズ:ヒラズハナアザミウマ, ハナ:ハナアザミウマ
※空欄は自生が認められなかったことを示す

2. ハナアザミウマに対する各種薬剤の効果

1) 各種薬剤の殺虫効果(室内検定)

補正死亡率は、スピネトラム水和剤、スピノサド水和剤、ビフェントリン水和剤は100.0%、フロメトキン水和剤は93.0%で高い効果が認められた(表2)。シクラニリプロール液剤は79.4%、イミダクロプリド水和剤は70.4%で効果が認められた。アバメクチン乳剤は69.2%、シアントラニリプロール水和剤は63.0%で効果はやや低かった。アセタミプリド水溶剤、クロチアニジン水溶剤、スルホキサフロル水和剤、クロルフェナピル水和剤、トルフェンピラド水和剤、スピロテトラマト水和剤は50%以下で効果は低かった。

表2 ハナアザミウマに対する薬剤の殺虫効果(2020年)

薬剤名	剤型 ^{z)}	有効成分含量 (%)	希釈倍数 (倍)	供試虫の採集場所	採集日 処理日 (月/日)	補正死亡率 (%) ^{y)x)}
ビフェントリン	FL	7.2	3,000	有田川町田口	11/11	100.0
アセタミプリド	WSG	20.0	2,000	有田川町田口	11/19	22.6
クロチアニジン	WC	16.0	2,000	有田川町田口	11/11	41.7
イミダクロプリド	FL	20.0	2,000	有田川町田口	11/11	70.4
スルホキサフロル	FL	9.5	2,000	有田川町下津野	10/22	39.3
スピネトラム	WDG	25.0	10,000	有田川町田口	11/11	100.0
スピノサド	FL	20.0	6,000	有田川町田口	11/19	100.0
アバメクチン	EC	1.8	2,000	有田川町徳田	10/30	69.2
クロルフェナピル	FL	10.0	4,000	有田川町田口	11/11	26.4
トルフェンピラド	FL	15.0	2,000	有田川町田口	11/19	37.5
スピロテトラマト	FL	22.4	2,000	有田川町下津野	10/22	4.4
シアントラニリプロール	SE	10.2	5,000	有田川町徳田	10/30	63.0
シクラニリプロール	L	4.5	2,000	有田川町下津野	10/22	79.4
フロメトキン	FL	10.0	4,000	有田川町田口	11/2	93.0

z) ECは乳剤, FLはフロアブル剤, WDGは顆粒水和剤, WCは水溶剤, WSGは顆粒水溶剤, SE剤はSE, 液剤はLとした

y) 補正死亡率 = { (無処理の生存率 - 処理区の生存率) / 無処理の生存率 } × 100

x) 無処理の死亡率は10/22処理が5.9%, 10/30処理が7.1%, 11/2処理が7.7%, 11/11処理が3.6%, 11/19処理が0.0%であった

2) 薬剤の防除効果 (ほ場試験)

ハナアザミウマ成虫の50果あたりの3反復平均の生息数は、薬剤散布直前は無処理区では14.0頭、スピネトラム水和剤区では31.7頭、スピノサド水和剤区では23.3頭であった(図6)。散布2日後には無処理区では16.3頭と生息数がやや増加したのに対し、スピネトラム水和剤区では0.3頭、スピノサド水和剤区では0.7頭といずれの薬剤散布区においても大幅に減少した。その後の生息数は無処理区では散布5日後に41.3頭、7日後に40.7頭、11日後に32.0頭で、スピネトラム水和剤区は散布5日後に0.7頭、7日後に2.0頭、11日後に1.7頭、スピノサド水和剤区は散布5日後に4.0頭、7日後に4.3頭、11日後に6.3頭であった。散布11日後まではいずれの薬剤散布区も無処理区と比較して生息数が少なかった。散布15日後の生息数は無処理区では17.7頭と減少したが、スピネトラム水和剤区は16.0頭、スピノサド水和剤区は13.7頭と薬剤散布区では増加した。補正密度指数は、散布2日後ではスピネトラム水和剤区は0.9、スピノサド水和剤区は2.4と両薬剤とも高い効果を示した。散布5日後ではスピネトラム水和剤区は0.7、スピノサド水和剤区は5.8、散布7日後ではスピネトラム水和剤区は2.2、スピノサド水和剤区は6.4と日数が経過するにつれ増加したが、散布7日後まではいずれも10以下で効果が高かった。散布11日後にはスピネトラム水和剤区は2.3と効果が高かったが、スピノサド水和剤区は11.9と効果が認められた。散布15日後ではスピネトラム水和剤区は40.0、スピノサド水和剤区は46.4といずれの薬剤散布区でも効果はやや低かった。

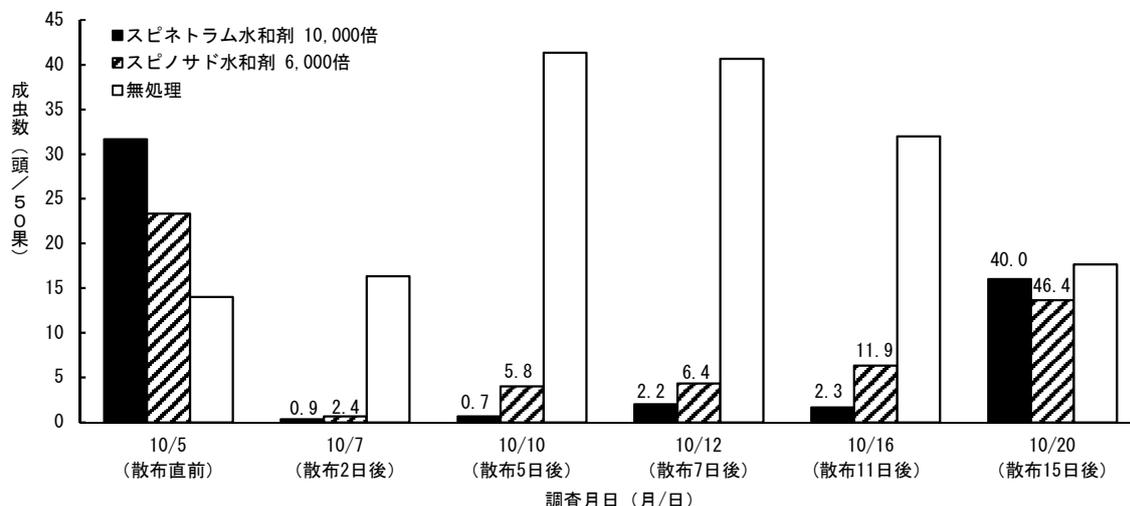


図6 ハナアザミウマに対する各種薬剤の防除効果 (2019年)
成虫数は3反復平均
図中の数字は補正密度指数を示す

考 察

寺本ら (2001) は長崎県における黄色粘着トラップへのアザミウマ類の誘殺消長を調査し、9月以降の誘殺はハナアザミウマが主体であったと報告している。また、9月～10月にかけて本種の誘殺が多く認められていることから本試験の結果と同様であった (寺本ら, 2001)。本試験では極早生ウンシュウミカンは9月下旬頃から果実が着色し始めたが、この時期から本種が続けて誘殺されるとともに果実において生息が認められ、10月にピークとなっている。したがって、本種は果実の着色始期頃から果実に飛来し、着色が進むにつれて飛来数が増加することにより生息数が多くなると考えられる。本種の誘殺消長が両ほ場でほぼ一致しているのに対し、果実において初めて本種の生息が認められたのは有田川町下津野では9月26日で、有田市千田の10月10日と比べて早かった。これについて、ほ場周辺の状況を比較すると有田市千田では建造物に囲まれていることに対し、有田川町下津野では周辺にウンシュウミカン栽培ほ場が存在しており雑草地が隣接している。つまり周辺に本種が生息できる場所が多いことや、そこからほ場までの距離が近いことから飛来時期が早くなったと推察される。果実における生息数は有田市千田では10月10日～10月16日、有田川町下津野では9月30日～10月5日の5～6日間で急激に増加している。したがって、着色始期以降は定期的に果実を観察することでハナアザミウマの早期発見に努め、発見次第薬剤散布を行うことが被害を防止するうえで重要であると考えられる。観察を行う部位については、アザミウマ類は樹冠の赤道部より上部の果間に生息が多い (東浦・村本, 2018) との報告があり、本試験におけるハナアザミウマの生息場所も同じであったことから、樹冠上部の果実の接触部分が適当であると考えられる。トラップ調査では11月に誘殺数が減少したが、中生ウンシュウミカンでは11月以降に果実でハナアザミウマの生息が認められたことから、11月中も着色した果実が樹上に存在する場合は発生に応じて薬剤防除を行う必要があると考えられる。生息数は11月上旬から中旬にかけて増加し、

それ以降は減少した。これはハナアザミウマが気温の低下に伴い果実から離脱したためであると推察される。

秋季にはほ場周辺に自生していたセイタカアワダチソウには多数のハナアザミウマの生息が認められ、寺本ら（2001）の報告と一致した。セイタカアワダチソウは10月上旬に開花し中旬に満開を迎えたが、この時期は極早生ウンシュウミカンの着色期と同時期であった。また、2018年の有田川町下津野のほ場周辺に自生するセイタカアワダチソウの花序に

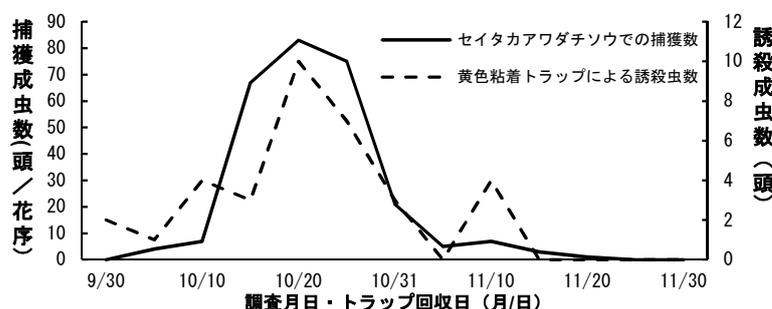


図7 有田川町下津野のほ場周辺のセイタカアワダチソウでのハナアザミウマの生息数とほ場周辺の黄色粘着トラップによるハナアザミウマの誘殺数

におけるハナアザミウマの捕獲数と、ほ場内のNo.2の黄色粘着トラップ（極早生ウンシュウミカンの植栽割合が高い地点に設置）へのハナアザミウマの誘殺数を比較すると、セイタカアワダチソウでの捕獲数が増加した時期よりやや遅れてほ場内での誘殺数が増加した（図7）。寺本ら（2001）はセイタカアワダチソウがハナアザミウマの主な増殖源であると推察している。本研究ではセイタカアワダチソウにおける本種の幼虫の生息状況については調査していないため、セイタカアワダチソウがハナアザミウマの増殖源であるかは不明であるが、ほ場内への飛来源であることは十分に考えられる。ほ場内や周辺のセイタカアワダチソウを除草すればハナアザミウマのほ場内への飛来の抑制に一定の効果があると考えられる。ただし、開花が進みハナアザミウマの生息数が増加してから除草を行うと生息場所を失った個体がほ場内に一斉に飛来するおそれがあるため、開花前に除草を行う必要がある。

室内検定においてスピネトラム水和剤、スピノサド水和剤、ビフェントリン水和剤、フロメトキン水和剤はハナアザミウマ雌成虫に対し、90%以上の高い補正死亡率を示した。ビフェントリン水和剤はカメムシ類、フロメトキン水和剤はミカンサビダニにも適用があることから、ハナアザミウマと同時期に発生する害虫との同時防除にも効果が期待できる。他県における食餌浸漬法による検定結果と本試験の結果を比較すると、本試験で効果が認められたイミダクロプリド水和剤は鹿児島県、栃木県において死亡率が100%であったと報告されている（西本ら、2006；春山・松本、2013）。また、本試験で効果が低かったクロチアニジン水溶剤、クロルフェナピル水和剤は栃木県で90%以上の死亡率が認められており（春山・松本、2013）、本試験の方が低い殺虫効果であった。この理由として他県では葉片を薬液に浸漬しているのに対し、本試験では果皮に薬液を散布したことなどによる検定方法の違いや、本試験で供試した個体群が薬剤に対し感受性を低下させていることが考えられる。今後、試験方法による殺虫効果の違いや、各地域の個体群に対する薬剤の感受性について検証していく必要がある。スピネトラム水和剤は栃木県（春山・松本、2013）、スピノサド水和剤は鹿児島県（西本ら、2006）や栃木県（春山・松本、2013）において食餌浸漬法で供試されている。また山口県（東浦・村本、2018）では両薬剤を虫体浸漬法で供試しており、いずれの試験においてもハナアザミウマに対する殺虫効果が高いと報告されている。これらの薬剤は本研究のほ場試験においても高い効果を示した。ほ場試験では種の同定は行っていないが、同年の同ほ場で実施した果実における生息状況調査では捕獲されたアザミウマは全てハナアザミウマであったことから本試験の対象もハナアザミウマであったと考えられる。したがって、これらの薬剤はハナアザミウマに対する防除薬剤として有効であると考えられる。本試験ではいずれの薬剤散布区も散布11日後までは

果実での生息数が抑えられた。散布 15 日後には再び生息数が増加したことから薬剤の効果が切れるとハナアザミウマが再び果実に飛来することが示唆された。着色始期から収穫時期まで長期間となる場合は薬剤散布後も定期的に果実を観察し、発生に応じて薬剤を追加散布する必要があると考えられる。また、ハナアザミウマの加害時期は収穫直前であるため、収穫前日数に注意して散布する必要がある。

本研究では、同じスピノシン系統であるスピネトラム水和剤、スピノサド水和剤を用いて薬剤散布試験を行ったが、今後薬剤防除が行われる中で抵抗性の発達により防除効果の低下が起こりうる。したがって、他系統の薬剤についてもほ場試験により効果を実証し選抜することで、他系統の薬剤とのローテーション散布での防除体系をする必要がある。

摘 要

ウンシュウミカンの着色期に被害をもたらすハナアザミウマについて、発生状況の調査と防除薬剤の検討を行った。

1. ハナアザミウマは極早生ウンシュウミカン栽培ほ場では、果実が着色し始めた 9 月下旬から連続して誘殺されるとともに、果実においても生息が認められ 10 月にピークとなった。このことから本種は着色始期頃から果実に飛来し、着色の進行につれて飛来数が増加することにより生息数が増加すると考えられた。
2. ほ場周辺のセイタカアワダチソウでハナアザミウマの生息が認められた。開花初期から満開期にかけて本種の捕獲数が増加し、以降は減少した。セイタカアワダチソウで本種の捕獲数が増加した時期からやや遅れて、自生地と隣接するほ場内における誘殺数が増加した。このことからセイタカアワダチソウが本種の飛来源であると考えられた。
3. スピネトラム水和剤、スピノサド水和剤はほ場における薬剤散布試験において高い効果を示し、防除薬剤として有効であると考えられた。本種の加害時期は収穫直前のため、収穫前日数に注意して薬剤散布を行う必要がある。

本試験を実施するにあたりご協力いただいた生産者、ありだ農業協同組合の営農指導員、並びに供試薬剤を送付いただいた石原バイオサイエンス株式会社の担当者の皆様に深謝いたします。また、試験に多大なご協力をいただいた果樹試験場の職員やアルバイトの皆様には厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. Entomol.* 18 : 265-267.
- 千脇健司・佐野敏広・近藤章・田中福三郎. 1994. 粘着トラップに誘殺されたアザミウマ類の簡易同定法. *植物防疫.* 48 : 521-523.
- 衛藤友紀・口木文孝・諸隈舞・田中義樹・緒方和裕. 2010. 秋季の露地栽培の極早生温州ミカン園等におけるアザミウマ類の発生と被害. *九病虫研会報.* 56 : 122.
- 春山直人・松本華苗. 2013. 栃木県の園芸作物に発生したアザミウマ類 6 種に対する各種薬剤の殺虫効果. *関東東山病害虫研究会報.* 60 : 121-124.
- 東浦祥光・村本和之. 2018. 着色期のカンキツ果実を加害するアザミウマ類の発生生態の解明と防

- 除対策の確立. 山口農林総技セ研報. 9 : 78-87.
- 片山晴喜. 1997. 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル (9) 野菜・花き害虫 : ミカンキイロアザミウマ. 植物防疫. 51 : 235-238.
- 森介計・荻原洋晶・大政義久. 1984. ハナアザミウマ類によるかんきつ成熟果の被害. 昭和 59 年度 愛媛県立果樹試験場業務報告 : 81-82.
- 西本周代・柿元一樹・井上栄明・柏尾具俊. 2006. 鹿児島県内の花きほ場で発生する主要アザミウマ類 3 種に対する各種薬剤の殺虫効果. 九病虫研会報. 52 : 49-53.
- 寺本健・松本紀子・中村吉秀. 2001. ハナアザミウマ類による露地栽培温州ミカン成熟果の被害発生について. 九病虫研会報. 47 : 123-127.
- 土屋雅利・外側正之・古橋嘉一・増井伸一. 1995. ウンシュウミカンにおけるミカンキイロアザミウマの寄生特性と被害の特徴. 応動昆. 39 : 253-259.
- 土屋雅利. 2002. ウンシュウミカンにおけるネギアザミウマの寄生および産卵特性. 応動昆. 46 : 217-224.
- 梅谷献二・工藤巖・宮崎昌久. 1988. 農作物のアザミウマ. pp. 97-159. 全国農村教育協会. 東京

ドローンを用いたマンゼブ水和剤散布による ウンシュウミカンにおけるカンキツ黒点病に対する防除効果

熊本昌平・衛藤夏葉¹・武田知明

和歌山県果樹試験場

Control of Citrus Melanose by the Method for Spraying with the Drone Using the Fungicide Mancozeb on Satsuma Mandarin

Shohei Kumamoto, Kayo Etoh¹ and Tomoaki Takeda

Wakayama Fruit Tree Experiment Station

緒 言

和歌山県は果樹生産が非常に盛んな地域であるが、農家の高齢化や減少が急速に進んでおり、担い手農家へ農地を集積し経営規模拡大による経営安定を図ることが産地維持にとって大きな課題となっている（和歌山県，2017）。そのため、和歌山県長期総合計画（和歌山県，2017）では省力化や軽労化を目的に、ICT やロボット等の革新的技術を積極的に導入することとしている。しかし、ウンシュウミカンの主産地では急峻な傾斜地が多い等の理由により機械化が難しいのが現状である。そのような状況の中で、平坦地から傾斜地まで園地の地形に幅広く適応することが期待できる技術の1つとしてドローンによる薬剤散布（以下、ドローン散布）がある（孫ら，2020）。ただし、これまでに果樹におけるドローン散布の知見がなかったため、2017年からウンシュウミカンでドローン散布による防除効果、省力化効果について検討している。

ここでは、これまでに行ったドローン散布による防除効果試験のうち、マンゼブ水和剤（商品名：ジマンダイセン水和剤）散布によるカンキツ黒点病（以下、黒点病）に対する防除効果について検討した結果について報告する。

材料および方法

1. ドローン散布による散布液の付着特性（試験1）

果樹試験場内の平坦地園の‘ゆら早生’（21年生）、1列7樹（樹間3.0m）を供試し、ドローン（P20（2017）、XAG JAPAN社）を用いて樹上2mから水を4L/10a散布した。飛行は①樹列の中央を1回通過（以下、中央1回）、②樹列の中央を往復（以下、中央2回）、③飛行方向に対して樹列の中央から0.75m左の位置を1回ずつ通過するように往復（以下、左右1回）、の3パターンで行った（図1）。それぞれのパターンを2020年11月26日に2回、11月27日に1回の合計3回行った。

散布前に7樹のうち中央の樹（樹高2.2m、樹冠幅3.0m）に感水紙（Syngenta社製、52×76mmを半分に切断した52×38mm）を以下のように設置した。樹冠外周部4方位の10~20cm内側および樹の中心に垂直に支柱を立て、高さ1.5mおよび0.5mの位置に感水紙を水平に上向きと下向きに固定

¹現在：和歌山県海草振興局農林水産振興部農業水産振興課

した (図 2).

散布後, 感水紙を回収し, スキャナー (MP4055, RICOH 社) を用いて jpeg 形式の画像データ (600dpi) を取得した. 得られた画像データから感水紙被覆面積率測定ソフトウェア (窪田ら, 2010) を用いて, 散布液が付着して変色した部分の被覆面積率を測定した.

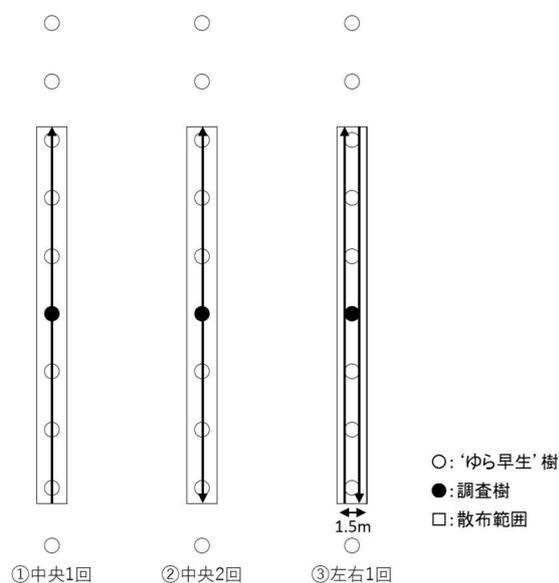


図 1 試験 1 の飛行方法

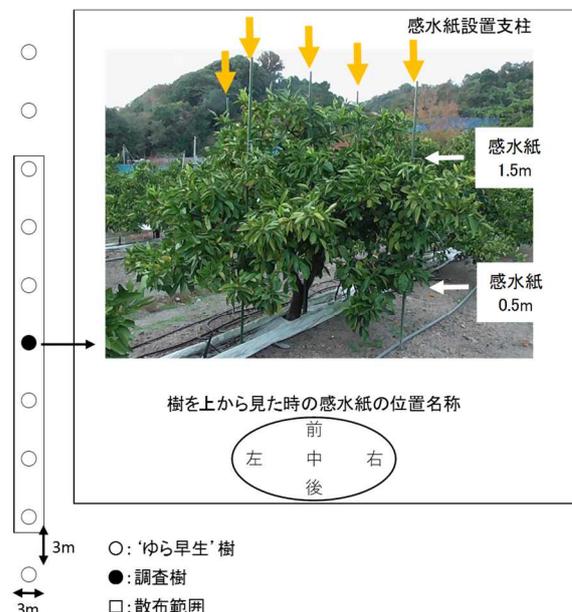


図 2 試験 1 の感水紙設置方法

2. マンゼブ水和剤 1 回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果 (2017) (試験 2)

1) 試験区および散布方法

2017年6月9日に果樹試験場内の緩傾斜地園の‘日南1号’ (23年生, 樹間4m, 列間4m, 1列あたり4樹) を供試し, 1区1列4樹に対して, ドローン (Mulsan DAX04, TEAD 社) を用いて樹列の中央を樹上2mで2往復飛行する方法で, マンゼブ水和剤5倍希釈液を約6L/10a散布した (図3). 対照として, 同剤600倍希釈液を480L/10a, 動力噴霧機により手散布した.

2) 散布後の果実のマンゼブの付着量

散布日翌日の6月10日に各区3樹の赤道部より上部と下部からそれぞれ4~5果採取した. 果実のマンゼブの付着量の測定は, 正司ら (2013) の方法により行った. すなわち, 採取した果実に0.98N塩酸15~20mlを加え, 140rpm/minで10分間振盪し, 抽出液をろ紙 (No.2) でろ過した. ろ過液のマンガン濃度をICP発光分析装置で測定し, この値から果実表面積1cm²あたりのマンゼブ量を算出した (マンゼブ分子量: 265.3, Mn原子量: 54.9).

3) 黒点病に対する防除効果の検討

7月3日, 14日, 28日, 8月21日に1樹あたり任意の100果について, 黒点病の発病を程度別に調査して, 発病果率, 発病度を算出した. 発病の程度別の指数は, 0: 病斑がないもの, 1: 病斑が

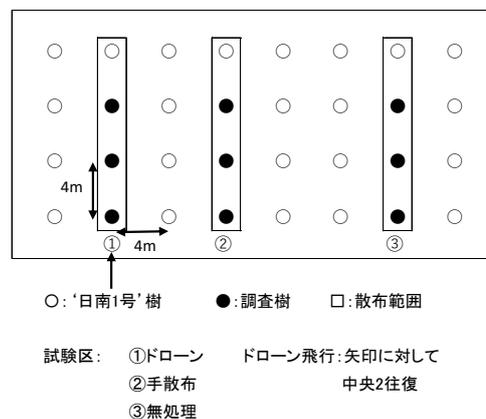


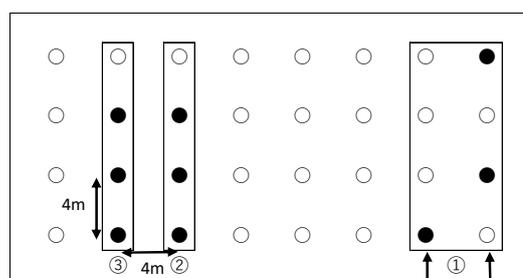
図 3 試験 2 の試験区

散見されるもの、3：病斑が果面の 1/4 以下に分布するもの、5：病斑が果面の 1/4～1/2 に分布するもの（涙斑の軽いものを含む）、7：病斑が果面の 1/2 以上に分布するもの（涙斑、泥塊を含む）とした。発病度は、式： Σ （程度別発病数×指数）×100 ÷（調査数×7）を用いて算出した。また、試験期間中の降水量は場内に設置した気象観測装置によって 0.5mm 単位で調査した。

3. マンゼブ水和剤 4 回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果（2018）（試験 3）

1) 試験区および散布方法

2018 年 6 月 5 日、7 月 3 日、31 日、9 月 3 日の 4 回、果樹試験場内の緩傾斜地園の‘日南 1 号’（24 年生、樹間 4m、列間 4m、1 列あたり 4 樹）を供試し、2 列 8 樹に対してドローン（Mulisan DAX04, TEAD 社）を用いて、樹上 1～2m からマンゼブ水和剤 5 倍希釈液を 4L/10a 散布した（図 4）。6 月 5 日と 7 月 3 日は各樹列の中央を 1 回ずつ飛行し（中央 1 回）、7 月 31 日と 9 月 3 日は樹列を飛行方向に対して左右に分け、分けた部分の中心を 1 回ずつ通過するように各樹列を往復して飛行した（左右 1 回）。対照として、同剤 600 倍希釈液を 480L/10a、ドローン区と同日に動力噴霧機により手散布した。なお、対照区と無処理区は 1 列 4 樹とした。



○：‘日南1号’樹 ●：調査樹 □：散布範囲
試験区： ①ドローン ドローン飛行：矢印に対して
②手散布 6月5日、7月3日は中央1回
③無処理 7月31日、9月3日は左右1回

図 4 試験 3 の試験区

2) 散布後のマンゼブの付着量

果実と葉を散布日の翌日（翌日降雨が予想されたときは当日）に各区 3 樹の赤道部より上部と下部から果実（1～4 果）および葉（樹の外周部 4 方位から合計 40cm² 程度の旧葉をハサミで切除）をそれぞれ採取した。果実と葉のマンゼブの付着量の測定は試験 2 と同様に行った。

3) 黒点病に対する防除効果の検討

10 月 3 日に各区 3 樹について、樹の赤道部より上部と下部でそれぞれ 25 果、1 樹あたり合計 50 果について試験 2 と同様に発病を調査し、発病果率、発病度を算出し、防除価は発病度から算出した。また、降水量は試験 2 と同様に調査した。

結 果

1. ドローン散布による散布液の付着特性（試験 1）

試験中における風速は 0～0.5m で無風から微風条件下であった（データ省略）。

感水紙の向きが下向きの被覆面積率は、すべての飛行方法で 0% に近い数値であった（表 1）。また、上向きの感水紙の被覆面積率について高さで比較したところ、すべての飛行方法で高さ 0.5m に比べて高さ 1.5m で被覆面積率が高かった。また、上向きの感水紙の被覆面積率を飛行方法で比較したところ、高さ 1.5m、0.5m とともに中央 1 回、中央 2 回、左右 1 回の順に被覆面積率が高い傾向が認められた。

樹冠の外周部 4 方位と中心の感水紙の被覆面積率は、高さ 1.5m ですべての飛行方法において「前」と「後」で高く、次に「右」がやや高く、「中」と「左」は低かった（表 2）。また、「前」と「後」は中央 1 回、中央 2 回、左右 1 回の順で高かった。高さ 0.5m における感水紙の被覆面積率は、「後」

で中央1回，中央2回，左右1回の順で高かったが，その他の位置は低かった。

各飛行方法の被覆面積率の標準偏差は，中央1回，中央2回，左右1回の順で高く，散布液の付着のばらつきは左右1回が最も小さかった。

表1 感水紙の位置，向きによる感水紙の被覆面積率の比較

感水紙 の高さ	感水紙 の向き	中央1回				中央2回				左右1回			
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
1.5m	上	13.0	14.9	11.8	13.2	9.8	10.2	11.5	10.5	9.5	8.3	9.6	9.1
	下	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
0.5m	上	2.2	3.3	1.7	2.4	1.3	1.5	2.0	1.6	1.3	1.2	0.9	1.1
	下	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3

注) 数値は外周部4カ所と樹の中心の合計5カ所における感水紙の被覆面積率の平均値(%)

表2 樹冠の外周部と中心における感水紙(上向き)の被覆面積率の比較

感水紙 の高さ	中央1回	中央2回	左右1回	位置名称																																				
1.5m	<table border="1"> <tr><td></td><td>24.4</td><td></td></tr> <tr><td>0.8</td><td>2.5</td><td>10.4</td></tr> <tr><td></td><td>28.0</td><td></td></tr> </table>		24.4		0.8	2.5	10.4		28.0		<table border="1"> <tr><td></td><td>21.7</td><td></td></tr> <tr><td>1.3</td><td>2.1</td><td>11.1</td></tr> <tr><td></td><td>16.3</td><td></td></tr> </table>		21.7		1.3	2.1	11.1		16.3		<table border="1"> <tr><td></td><td>14.3</td><td></td></tr> <tr><td>3.4</td><td>3.6</td><td>9.3</td></tr> <tr><td></td><td>15.0</td><td></td></tr> </table>		14.3		3.4	3.6	9.3		15.0		<table border="1"> <tr><td></td><td>前</td><td></td></tr> <tr><td>左</td><td>中</td><td>右</td></tr> <tr><td></td><td>後</td><td></td></tr> </table>		前		左	中	右		後	
		24.4																																						
0.8	2.5	10.4																																						
	28.0																																							
	21.7																																							
1.3	2.1	11.1																																						
	16.3																																							
	14.3																																							
3.4	3.6	9.3																																						
	15.0																																							
	前																																							
左	中	右																																						
	後																																							
標準偏差	12.5	8.9	5.6																																					
0.5m	<table border="1"> <tr><td></td><td>0.8</td><td></td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1.1</td><td>0.2</td></tr> <tr><td></td><td>9.4</td><td></td></tr> </table>		0.8		0.4	1.1	0.2		9.4		<table border="1"> <tr><td></td><td>1.6</td><td></td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.0</td><td>0.2</td></tr> <tr><td></td><td>5.1</td><td></td></tr> </table>		1.6		0.2	1.0	0.2		5.1		<table border="1"> <tr><td></td><td>2.3</td><td></td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.3</td><td>0.2</td></tr> <tr><td></td><td>1.6</td><td></td></tr> </table>		2.3		0.2	1.3	0.2		1.6											
		0.8																																						
0.4	1.1	0.2																																						
	9.4																																							
	1.6																																							
0.2	1.0	0.2																																						
	5.1																																							
	2.3																																							
0.2	1.3	0.2																																						
	1.6																																							
標準偏差	3.9	2.0	0.9																																					

注) 数値は飛行3回の感水紙の被覆面積率の平均値(%)

2. マンゼブ水和剤1回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果(2017)(試験2)

1) 散布後の果実のマンゼブ付着量

ドローン散布1日後(6月10日)の果実のマンゼブ付着量は，樹の上部に比べて下部で大幅に少なかった(図5)。また，手散布に比べて樹の上部でやや少なく，下部で大幅に少なかった。

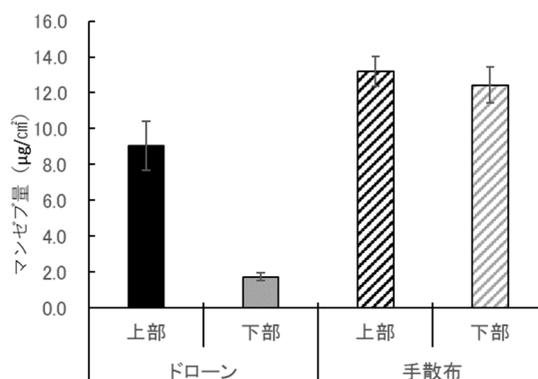


図5 マンゼブ水和剤散布直後の果実のマンゼブ付着量

注) 平均値±標準誤差

2) 黒点病に対する防除効果

発病果率は7月3日（散布24日後，累積降水量166.5mm）に無処理で19.5%であるのに対して，ドローン散布，手散布ともほとんど発病は認められなかった（図6）．ドローン散布はそれ以降急激に増加したのに対して，手散布は7月28日（散布49日後，累積降水量219.5mm）まで低く推移し，8月21日（散布73日後，累積降水量234.5mm）に急激に増加した．発病度は発病果率と同様の傾向であった．

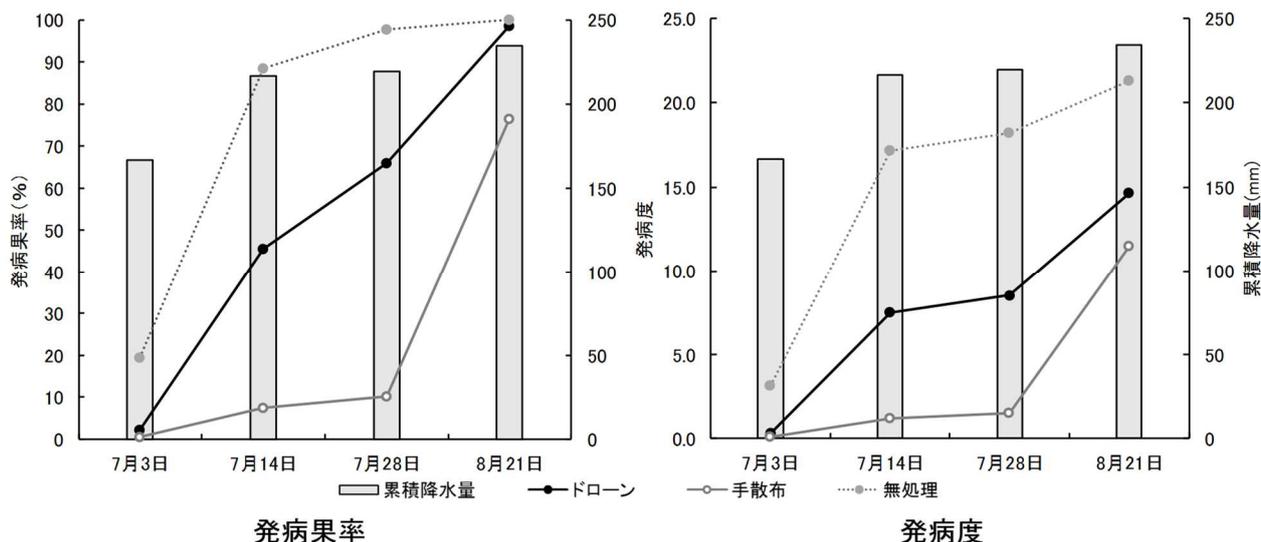


図6 マンゼブ水和剤散布後の黒点病の発病の推移

注) 日付は調査日

累積降水量は6月9日からの積算値

3. マンゼブ水和剤4回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果（2018）（試験3）

1) 散布後のマンゼブの付着量

散布直後の果実のマンゼブ付着量はドローン散布では樹の上部に比べて下部で少なく，上部は散布日によりばらつきがあった（図7）．ドローン散布は手散布に比べて上部で6月5日散布は同等，7月3日散布と7月31日散布は少なく，下部はいずれの散布日も大幅に少なかった．

散布直後の葉のマンゼブ付着量はドローン散布では上部に比べて下部で同等もしくは少なかった．また，ドローン散布は手散布に比べて樹の上部，下部とも同等もしくは少なかった．飛行方法が6月5日，7月3日と7月31日，9月3日で異なったが，マンゼブの付着量に明確な差は認められなかった．

2) 黒点病に対する防除効果

試験期間中（6月5日～10月3日）の累積降水量は1,410mmであった．この間の無処理の発病果

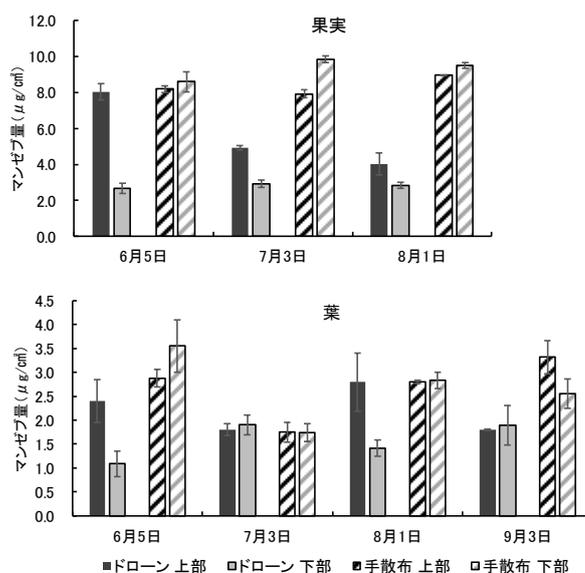


図7 マンゼブ水和剤散布直後のマンゼブ付着量

注) 日付は調査日

9月3日の果実は未計測

平均値±標準誤差

率は100%、発病度は81.5であり、甚発生条件下での試験となった（農林水産省消費・安全局植物防疫課，2016）（表3）。

発病果率はドローン散布で98.7%、手散布で94.0%であった。

程度別指数3以上の発病果率はドローン散布が32.0%で手散布17.3%に比べて高かった。また、樹の上部と下部で比べると、ドローン散布は上部に比べて下部で高かったが、手散布は上部と下部が同等であった。

発病度はドローン散布が25.3で手散布18.8に比べて高かった。また、樹の上部と下部で比べると、ドローン散布は上部に比べて下部で高かったが、手散布は上部と下部が同等であった。

ドローン散布の防除価は68.9で手散布77.0に比べてやや劣った。

表3 ドローン散布によるマンゼブ水和剤の黒点病に対する防除効果

試験区	樹の調査部位	程度別発病果数(果)					発病果率(%)	程度別指数3以上の発病果率(%)	発病度	防除価	
		0	1	3	5	7					合計
ドローン散布	上部	0.7	18.0	5.7	0.7	0.0	25.0	97.3	25.3	21.9	68.9
	下部	0.0	15.3	7.0	2.3	0.3	25.0	100.0	38.7	28.8	
	合計	0.7	33.3	12.7	3.0	0.3	50.0	98.7	32.0	25.3	
手散布	上部	1.3	19.3	4.3	0.0	0.0	25.0	94.7	17.3	18.5	77.0
	下部	1.7	19.0	3.7	0.7	0.0	25.0	93.3	17.3	19.0	
	合計	3.0	38.3	8.0	0.7	0.0	50.0	94.0	17.3	18.8	
無処理	上部	0.0	0.3	3.7	7.7	13.3	25.0	100.0	98.7	81.7	
	下部	0.0	0.3	3.7	8.0	13.0	25.0	100.0	98.7	81.3	
	合計	0.0	0.7	7.3	15.7	26.3	50.0	100.0	98.7	81.5	

注) 調査日：10月3日

散布日：6月5日，7月3日，7月31日，9月3日

数値は3樹の平均値

試験期間中の降水量：358.0mm（6月5日～7月2日），216.0mm（7月3日～7月30日），
297.0mm（7月31日～9月2日），539.0mm（9月3日～10月3日）

考 察

本研究では、ドローンを用いたマンゼブ水和剤散布による黒点病に対する防除効果について検討した。

積載量が少ないドローンでは高濃度の薬液を少量散布するのが一般的である(柳, 2017)。しかし、立体物である果樹に対してドローンにより少量散布した時の散布液の付着状況は報告がない。そこで試験1では、樹内における散布液の付着状況を明らかにすることを目的に感水紙を用いて検討し、異なる飛行方法による付着状況の差異についても検討を加えた。試験1で使用したドローンは人工衛星の位置情報による自動航行が可能で散布の再現性は高い。また、散布時は無風から微風条件下であったことから、それぞれの飛行方法における3回の飛行で、樹内の被覆面積率の偏りには同様の傾向が認められた(データ省略)。感水紙の向きと高さで散布液の付着を比較すると、すべての飛

行方法において、上向きは高さ 1.5m の付着量に対して 0.5m で大幅に少なく、下向きは 0.5m ではダウンウォッシュの地表面からの吹き戻しによりわずかに付着が認められるものの、1.5m ではほとんど認められなかった。今回試験した飛行方法ではドローン散布により葉裏や果実の下側に対して散布液を付着させることは困難であると考えられた。

次に水平方向の付着についてみると、地表 1.5m では大きくばらついたが、「中」と「左」は感水紙の上に枝があったため、被覆面積率が著しく低くなったと考えられる。ドローン散布では機体の直下が最も被覆面積率が高く、直下から離れるにつれて被覆面積率が下がる（新藤, 2020）。このため、飛行方法が中央 1 回と 2 回では飛行経路直下の「前」と「後」の被覆面積率が高かった。こうした被覆面積率の偏りを改善するため飛行経路直下を 2 つにした左右 1 回を検討したが、樹冠表面の偏りはやや改善されたものの、樹冠下部（内部）に対しては付着量の増加は認められなかった。

試験 1 の結果から、ドローン散布による散布液の付着特性として、その多くが樹冠表層に留まるが付着に偏りがあり、飛行方法によってその偏りが異なることが明らかとなった。

ところで、マンゼブ水和剤のような保護殺菌剤は、降雨により溶出する有効成分が雨水中に入り、効果を発揮することが明らかとなっており、農薬を樹冠の表面に付着させ、降雨による再分散を待てば十分な効果が期待できることが証明されている（山田ら, 1966）。ただし、山田ら（1966）は殺菌剤の施用方法について検討したところ、雨水によって溶出する有効成分の分布が不均一となる方法は適当でなく、有効成分が樹冠内に均一に分散することが重要であるとしている。ドローン散布による散布液の付着は樹冠表層に多いが、場所により散布液の付着に偏りが認められていることから、保護殺菌剤の有効成分が均一に分散できず、防除効果が十分に発揮できないことが考えられる。試験 2, 3 のマンゼブ水和剤のドローン散布において樹冠表層の薬剤の付着の偏りに関するデータが十分に取得できていないが、肉眼では薬剤の付着に偏りがあることは確認しているため、防除効果が低くなった一因の可能性は十分考えられる。

さらに、マンゼブ水和剤の葉面付着量と防除効果には明確な正の相関があることが明らかにされている（山本, 1991）。このことから、散布直後の果実や葉のマンゼブ付着量を測定し、手散布と比較した。試験 2 ではドローン散布の果実のマンゼブ付着量は手散布と比べて樹の下部で大幅に少なかったが、上部においても少なかった。また、試験 3 ではドローン散布の果実と葉の付着量を手散布と比べたところ、いずれも同等か少ないという結果であった。このような状況から、両試験ともドローン散布で手散布と同等の防除効果は得られなかった一因と考えられた。

以上の検討から、ドローン散布によりマンゼブ水和剤の効果を十分に発揮させるためには樹冠表層に均一に散布する方法やマンゼブの付着量を増加、安定させることが課題として挙げられた。散布液を均一に付着させるために、今後は飛行方法に飛行速度、高度、散布量なども加えて検討していく。また、圃場内の風向風速は測定していないが、試験中に散布液が風で流されていたのが目視で確認できた。ドローンではダウンウォッシュが弱いため風の影響を受けやすいとされており（馬門, 2019）、散布に適した環境条件についても明らかにする必要がある。さらに、慣行防除においてパラフィン系展着剤の加用により殺菌剤の付着量が増加し、防除効果を高めることが報告されている（田代, 2009）。展着剤はドローン散布においてマンゼブの付着量を増加し防除効果を高める方法として有望であると考えている。

摘 要

ドローン散布による散布液の付着特性とマンゼブ水和剤の防除効果について検討したところ、次

の結果を得た。

1. ドローン散布による散布液の付着の特徴として、散布液の多くは樹冠表面に留まり、樹冠下部や葉裏、果実の下側への付着は少ない。
2. ドローン散布は樹冠表面の散布液の付着にばらつきがあることが、マンゼブ水和剤の防除効果が十分に発揮できない一因と考えられた。
3. ドローン散布は散布の状況によって、マンゼブの付着量が不安定になることが、マンゼブ水和剤の防除効果が十分に発揮できない一因と考えられた。

本試験を実施するにあたり、ドローンによる農薬散布を行っていただきました株式会社 TEAD、山忠建設、JA 和歌山県農の皆様に厚くお礼を申し上げます。

引用文献

- 馬門克明. 2019. 水稻における農業用ドローンによる薬剤散布技術確立に向けた取り組み. 技術と普及. 56(11) : 54-56.
- 窪田陽介・臼井善彦・林和信・水上智道・宮原佳彦・大里大・中野和弘. 2010. 感水紙の薬液付着液斑被覆面積率を簡易かつ高精度に測定する画像処理ソフトウェアの開発. 農業情報研究. 19(2) : 16-22
- 農林水産省消費・安全局植物防疫課. 2016. 発生予察事業の調査実施基準.
- 新藤純一. 2020. ニンニクにおける農業用ドローン防除の実用化に向けた取り組み. 技術と普及. 57 : 52-54.
- 正司和之・山口正洋・田代暢也. 2013. ICP によるマンガンを指標としたマンゼブの簡易分析. 農薬学要旨. 38 : 82.
- 孫雯莉・奥野林太郎・高橋英博. 2020. 中山間地域におけるマルチコプタによる防除作業の作業能率分析. 農作業研究. 55(2) : 71-77.
- 田代暢也. 2009. 果樹における展着剤の活用. 植物防疫. 63(4) : 212-217.
- 柳真一. 2017. 航空防除（有人・無人航空機）～その特徴と展望～. 植物防疫. 71(11) : 49-52.
- 山田峻一・田中寛康・小泉銘冊・山本省二. 1966. カンキツ病害に対する殺菌剤散布方法の合理化ならびに省力化に関する研究 I 殺菌剤有効成分の redistribution とその病害防除効果. 園試報. B5: 75-86.
- 山本省二. 1991. カンキツ黒点病およびそばかす病の生態と防除に関する研究. 和歌山果園試特研報. 1 : 1-95.
- 和歌山県. 2017. 第2章和歌山県長期総合計画. pp. 63-65

和歌山県におけるモモ ‘さくひめ’ の収穫適期判断に関する研究

堀田宗幹・柏木雄人・和中 学

和歌山県果樹試験場かき・もも研究所

Study of the harvest maturity of peach cultivar ‘Sakuhime’ in Wakayama Prefecture

Muneki Hotta, Yuto Kashiwagi and Manabu Wanaka

Laboratory of Persimmon and Peach, Wakayama Prefecture Fruit Tree Experiment Station

緒 言

モモ ‘さくひめ’ は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構により育成され、2018 年に品種登録された早生品種である。‘さくひめ’ は、肉質が溶質で早生品種としては糖度が高く核割れが少なく(八重垣ら, 2019), 他産地に比べ収穫期の早い和歌山県では有望品種として期待できる。

‘さくひめ’ の育種親として低温要求量の少ないブラジルからの導入品種 ‘Coral’ が用いられているが、‘Coral’ は成熟しても果皮の地色に緑色が残り、‘Coral’ に日本の主要品種を交雑した第 1 世代および第 2 世代の果実特性においても果肉の粗さや青臭み等が残っており、世代を進めて育成されたことが報告されている(八重垣ら, 2019)。通常、モモでは成熟が進むにつれ青臭みが抜け収穫期には感じなくなるが、果実の軟化および成熟特性に大きな品種間差異があるとされる(Hajira, 2004)。当研究所では、2010 年からモモ第 9 回系統適応性検定試験に参画し、‘さくひめ’(系統名「モモ筑波 127 号」)の栽培特性等について検討してきたが、調査年次によっては酸味が強く感じられ、また和歌山県内の主要品種と比べ果皮地色に緑色が残ることがあり、収穫適期は判然としなかった。

そこで、‘さくひめ’ の収穫適期判断に資するため調査を行ったので報告する。

材料および方法

1. 熟度別の果実品質調査(試験 1)

‘おはつもも’ 台 ‘白鳳’ に 2010 年または 2017 年に高接ぎした ‘さくひめ’ 3 樹を供試した。2019 年に除袋後に熟度の揃った果実を各樹 30 果選び、熟度を 3 段階に分け、熟度 1 を果皮表面に果点(図 1)が現れる時期、熟度 2 を果実が弾力を帯びる時期、熟度 3 を指で押して戻らない程度に果肉が軟らかくなる時期として、熟度毎に 1 樹あたり 10 果サンプリングした。果実品質として、果実径、果実重、果実糖度(アタゴ社製 PR-101 α)、果汁 pH(堀場製作所製 AS-pH-11)を測定

し、果肉硬度については果実の両側のチーク部を果皮上から果実硬度計（精光舎製 SF-5050 円錐型）により測定した。みつ症程度については育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法（（独）農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所，2007）のモモ調査方法により調査した。また、食味評価として、甘み、酸味や渋み以外の食味を損じるものを雑味として0（無）～3（甚）の4段階で官能により評価した。果実外観については、果点発生程度と着色歩合をいずれも0（無）、1（果実表面積の1/4未満）、2（同1/4～1/2）、3（同1/2以上）で評価した。栽培管理については地域慣行に準じ、3月25日に上



図1 果皮に現れた果点

向きの花のみ摘花，4月24日に予備摘果，5月15日に仕上げ摘果を行った。果実袋として二重袋（小林製袋株式会社製 Yピーチ22撥水ミニ止無）を使用し，5月16日に被袋，6月12日と14日に外袋を除袋した。また，除袋後から収穫まで樹冠下にアルミ蒸着マルチシートを敷設した。

2. 樹上での果実肥大および果実糖度の推移（試験2）

‘おはつもも’台‘白鳳’に2010年に高接ぎした‘さくひめ’2樹を供試した。2019年5月23日に1樹あたり20果にラベルし果実側径を計測した後，収穫約1週前の6月13日から収穫まで2日または4日毎に果実側径を計測し，果実糖度（株式会社クボタ製 K-BA100R）を果実を非破壊により測定した。収穫期の判断については，試験1の熟度2を目安とした。また，地際部から着果した結果枝までの距離を計測した。栽培管理については試験1と同様に行った。

3. 収穫後の果実品質等の推移（試験3）

‘おはつもも’台‘白鳳’に2010年に高接ぎした‘さくひめ’1樹を供試した。2020年6月19日に試験1の熟度2を目安に収穫した果実を，通常出荷される形態（1果ずつ緩衝材として発泡ポリエチレン資材（DMノバフォーム株式会社製 DP-9S）を被せ，4kg段ボール箱に詰めた状態）により，常温下で保存した。10果について，収穫日から0，1，2，4，6，8日後に果実重を測定し，収穫時の果実重から調査時の果実重を引いたものを水分損失とし，それを収穫時の果実重で割ったものを水分損失率とした。同一果実を1リットルの密封容器（材質 ふた部：ポリエチレン，本体部：ポリプロピレン）に入れ，一定時間後にシリンジでガスを抜き取り，ガスクロマトグラフ（島津製作所製 GC-14B）によりエチレン発生量を測定した。対照として，2020年6月21日に地域慣行の熟度（‘さくひめ’での熟度1相当）で収穫した‘日川白鳳’5果を供試した。

また，上記と同日に収穫した‘さくひめ’および‘日川白鳳’果実を供試し，上記と同様の形態により常温下で静置した。収穫から0，1，2，4，6，8日後に‘さくひめ’では10果，‘日川白鳳’では5果ずつ抽出し，果実糖度，果汁pH，果肉硬度および剥皮性を調査した。

結 果

1. 熟度別の果実品質調査（試験 1）

調査樹間でばらつきが大きく有意差はみられなかったものの、果実径、果実重については熟度が進むにつれ増加する傾向がみられた（表 1）。果肉硬度については熟度 1 および 2 では出荷に問題のない硬度であったが、熟度 3 では他の熟度に比べ有意に低く、果梗周辺には水浸状の枝による押し傷がみられた。果実糖度および果汁 pH については、いずれも熟度が進むにつれ増加する傾向であり、熟度 1 と熟度 3 の間には有意差がみられた。みつ症程度については、熟度が進むほど大きかった。雑味については一定の傾向は認められず、全体的に数値が低かった。なお、渋みについては各熟度の果実で感じられなかった。果点程度については熟度 1 が最も低く、熟度 2, 3 で同程度であった。着色歩合については熟度が進むほど増加し、熟度 3 では 2.9 とほぼ果梗周辺まで着色した状態であった。総合的な食味について、数値化していないが熟度が進むほど良好であった。

表 1 モモ‘さくひめ’における熟度別の果実品質

熟度 ^y	収穫日	果実径(mm)		果実重 (g)	果肉硬 度(kg)	糖度 (Brix%)	酸度 (pH)	みつ症 程度 ^x	雑味 ^w	果実外観 ^v	
		縦	側							果点程度	着色歩合
1	6月17日	77.9 a ^z	79.6 a	253 a	2.7 a	12.5 a	4.3 a	0.1	0.1	1.4	1.5
2	6月21日	79.8 a	83.3 a	284 a	2.5 a	14.4 ab	4.4 ab	0.6	0.3	1.9	2.5
3	6月25日	82.4 a	85.9 a	313 a	1.8 b	15.5 b	4.5 b	1.3	0.2	1.8	2.9

z: Tukey-Kramerの多重比較検定により、異符号間には5%レベルで有意差あり

y: 熟度 1 (果点が見える時期), 熟度 2 (果実を指で押して弾力を帯びる時期), 熟度 3 (果実を指で押して戻らない程度に軟らかくなる時期)

x: 発生程度を 0 (無) ~ 5 (甚) で評価

w: 甘み, 酸味, 渋み以外の食味を損じるものを 0 (無) ~ 3 (甚) で官能評価

v: いずれも無: 0, 果実表面積の 1/4 未満: 1, 同 1/4 ~ 1/2: 2, 同 1/2 以上: 3 で評価

2. 樹上での果実肥大および果実糖度の推移（試験 2）

調査果実を調査樹毎および収穫日毎に分類し、果実側径の平均値の推移を図 2 に、果実糖度の平均値の推移を図 3 に示す。果実側径については、いずれの収穫日のものも収穫まで直線的に増加した。除袋前後にあたる 6 月 13 日時点での果実側径が大きいほど、収穫時期が早かった。果実糖度をみると、樹によって程度に差はあるものの、6 月 20 日および 6 月 23 日収穫のものでは収穫日まで

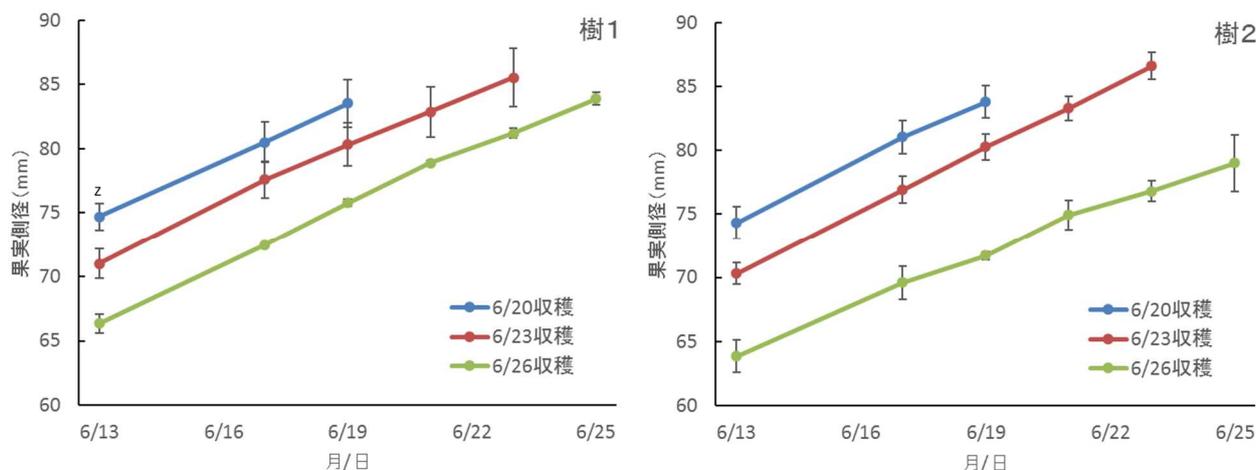


図 2 モモ‘さくひめ’における樹上での果実側径の推移

z: 標準誤差

増加した。6月26日収穫では、他の収穫日より低く推移し、収穫直前での増加量も少なくほぼ横ばいであった。

収穫日別に5月23日時点での果実側径を比較すると、収穫日順に樹1では41.8mm, 41.3mm, 38.9mmで、樹2では40.9mm, 39.7mm, 37.1mmであり、いずれも収穫日が高いほど大きかった。また、収穫日別に地際部から結果枝までの長さをみると、2樹平均で収穫日が高いほど長かった(データ略)。

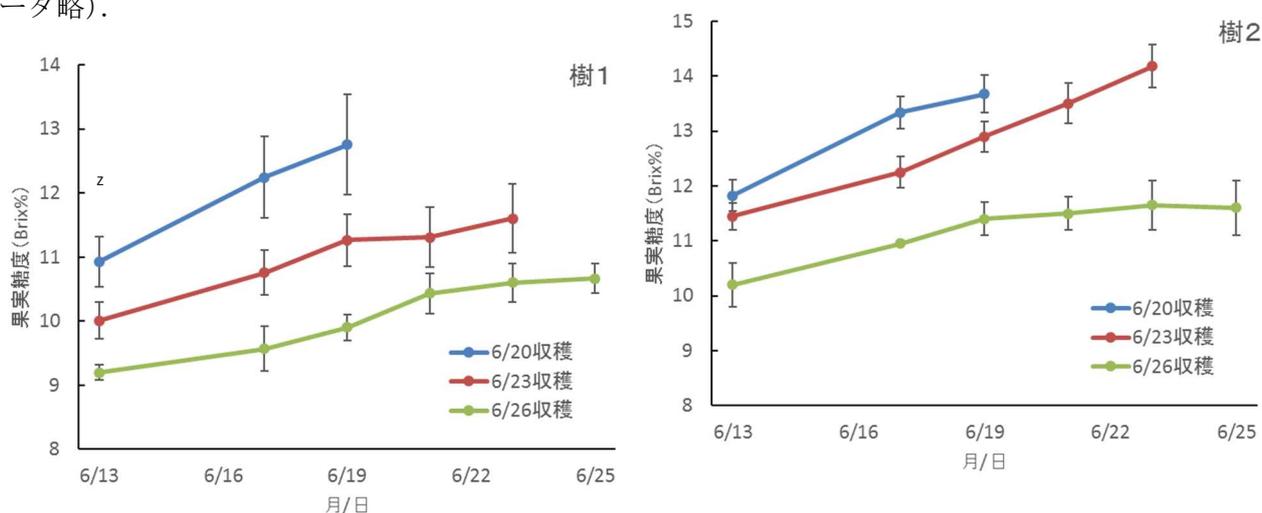


図3 モモ‘さくひめ’における樹上での果実糖度の推移

z: 標準誤差

3. 収穫後の果実品質等の推移 (試験3)

同一果実での継続調査において、供試果実の収穫時の平均果実重は‘さくひめ’で322g, ‘日川白鳳’で244gであった。水分損失率について、収穫4日後までは‘さくひめ’のほうが‘日川白鳳’より低く、収穫6日後以降はほぼ同等であった(図4)。エチレン発生量について、‘さくひめ’では収穫1日後まで低く推移した後、収穫2日後に急増し、収穫4日後にピークとなって以降漸減した。一方で‘日川白鳳’では、収穫1日後には急増し、収穫2日後にピークに達した後漸減した。

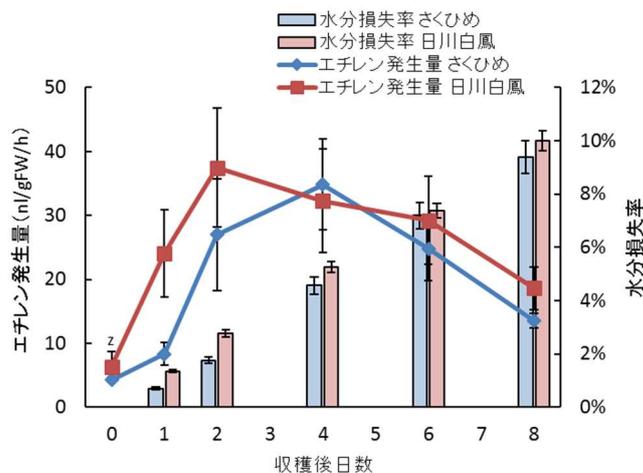


図4 収穫後のエチレン発生量および水分損失率の推移

z: 標準誤差

異なる果実での調査において、果肉硬度については、‘さくひめ’では収穫1日後に果肉硬度2.2kgと硬さを保ち、収穫2日後に1.4kgとなり収穫4日後以降には0.8kg以下となった(第2表)。剥皮性については収穫1日後にはほとんど剥がれず、収穫2日後には少しだけ剥がれ、収穫4日後以降には全体が剥けた。‘日川白鳳’では果肉硬度は収穫1日後に1.5kgに急激に低下し、剥皮性についても収穫1日後には半分程度剥けるようになり、収穫4日後以降には全体が剥けた。なお両品種とも、果実の糖度や酸度については一定の傾向はみられなかった。

第2表 収穫後の果肉硬度および剥皮性の推移

品種	収穫後 日数	果肉硬度 (kg)	糖度 (Brix%)	酸度 (pH)	剥皮性 ^y
さくひめ	0日後	2.3 a ^z	12.6 a	4.4 a	0.0
	1日後	2.2 a	12.2 a	4.2 b	0.0
	2日後	1.4 b	12.6 a	4.1 b	0.9
	4日後	0.7 c	13.5 a	4.2 b	4.8
	6日後	0.8 c	13.0 a	4.2 b	5.0
	8日後	0.5 d	13.1 a	4.4 a	5.0
日川白鳳	0日後	2.4 a	12.8 ab	4.5 a	0.6
	1日後	1.5 b	12.8 ab	4.3 ab	3.2
	2日後	1.3 b	14.3 a	4.3 ab	3.8
	4日後	0.7 c	12.8 ab	4.2 b	5.0
	6日後	0.7 c	12.3 b	4.3 ab	5.0
	8日後	0.6 c	12.5 ab	4.3 ab	5.0

z:各品種において、Tukey-Kramerの多重比較検定により、異なるアルファベット間で5%レベルで有意差あり

y:果頂部の果皮を指でつまんで剥いたときの指数

はがれない(0)、少し剥ける(1)、1/4程度剥ける(2)、半分程度剥ける(3)、3/4程度剥ける(4)、全体が剥ける(5)

考 察

ブラジルからの導入品種‘Coral’を育種親に含む新品種モモ‘さくひめ’の収穫適期判断に資するため、いくつかの調査を行った。モモでは完熟期に採取したほうが果実品質の面から好ましく、食味良好であることが知られている(垣内ら, 1981)。和歌山県での主力早生品種である‘日川白鳳’は、核割れの発生が多く収穫後の日持ち性が短いため完熟まで樹上に置くことができず、果実外観から判断して完熟前に収穫されている。試験1の結果では、‘さくひめ’を‘日川白鳳’の収穫適期と同等の外観(熟度1)で収穫すると、果実糖度および果汁pHがやや低く、酸味が感じられた。熟度2では果実に張りが出て、果梗部まで指で押して弾力を帯びる状態であり、糖度、果汁pHとも熟度1に比べ高い傾向で、食味についても熟度1よりも良好であった。さらに樹上に置いて熟度3まで進めると、糖度、果汁pHともにより高くなり、食味についても熟度別のうちで最も良好であった。‘白鳳’や‘清水白桃’では、果実肥大がピークに達した時点が完熟と考えられ、その時期は現行の機械選果用の収穫熟度の4~6日後、手選果用の収穫熟度の2~3日後との報告がある(高野ら, 2006)。本試験での熟度別の果実径をみると、熟度3まで肥大し続けていることから、熟度3が最も完熟状態に近いものと推測される。しかし、熟度3では果梗周辺の枝に当たる部分が褐変したり、果実に収穫時の指痕が残る等、出荷できない果実が多くなった。これらのことから総合的に判

断すると、熟度2の頃が収穫適期であると考えられた。なお、果皮色はモモの成熟の指針となることが知られている（鈴木ら，1981）が、本試験では和歌山県における慣行栽培である二重袋および反射マルチを併用した栽培管理を行ったところ、‘さくひめ’は果皮着色が比較的良好であり（八重垣ら，2019）、果皮色のみで判断するとやや適期より早い収穫となる可能性がある。

試験2では、熟度2の目安までの樹上での果実側径および果実糖度の推移を調査した。果実側径は収穫まで直線的に増加したことから、試験1での結果同様に完熟前での収穫と考えられる。また、一部を除いて各調査樹とも収穫日毎の収穫時の果実はほぼ同等の大きさであり、果実がある程度の大きさに達し張りが出る頃が収穫の目安の一つとなると推察される。果実糖度については、収穫が遅い果実ほど低く、地際部から結果枝までの距離が短い傾向であった。モモでは、同一樹でも着果部位の違い等で熟期に10日程度の幅があり、南側上部の主枝等日当たりの良い場所では熟期が早く、樹冠内部の下枝のものほど遅いことが知られている（井上，2014）。「さくひめ」においても、高品質果実生産のためには、樹冠上部および外周部の着果比率を高め、それらの果実の熟度を目安に収穫を進めることが重要と考えられる。

試験3では、試験1および試験2で適熟と判断した熟度2における収穫後の果実品質等の推移を調査した。エチレン発生量について、「さくひめ」では「日川白鳳」と比較して収穫1日後には低く、収穫2日後に急増し収穫4日後にピークに達した後漸減した。果肉硬度についても、「日川白鳳」では収穫1日後には低下し始めたのに対し、「さくひめ」では収穫1日後には収穫時と変わらず、収穫2日後以降低下した。果肉が溶質のモモにおいて、「楡形白桃」や「あかつき」、「長沢白鳳」で樹上での果肉硬度の低下程度と収穫後のエチレン生成のタイミングとに差が観察されている（Hajiら，2004）。「さくひめ」は「日川白鳳」に比べて、同程度の果肉硬度で収穫したときにエチレン生成がやや遅く、果肉硬度の低下も遅れるのかもしれない。剥皮性についても同様の傾向で、「日川白鳳」では収穫1日後には3を超え、収穫4日後には5に達したのに対し、「さくひめ」では収穫2日後まで1以下を保ち、収穫4日後に5に近づいた。これらのことから、熟度2で収穫した「さくひめ」果実は、現在流通している従来品種の「日川白鳳」と同等以上の日持ち性があると推察される。

以上のことから、和歌山県における「さくひめ」の収穫適期の判断基準として、従来の早生品種のように外観のみで判断するのではなく、果実が張った上で指で軽く押し弾力を帯びる時期が適当と考えられた。また、樹冠上部や外周部の果実から収穫を開始することで効率的に判断できると考えられた。

摘 要

モモ‘さくひめ’の収穫適期を判断するため、熟度別の果実品質や樹上での果実品質推移および収穫後の日持ち性に関する調査を行った。

1. 熟度が進むにつれ、果実径、果実重、果実糖度および果汁pHが増加し食味が向上したが、指で押して戻らない程度に果実が軟らかくなる時期まで樹上に置くと、みつ症が増加し果梗周辺に枝による押し傷がみられた。
2. 樹上での果実肥大について、収穫まで直線的に増加し、収穫日毎で収穫時の果実はほぼ同等の大きさであった。果実糖度については、収穫日まで増加し続けたが、収穫日の遅い果実では低く推移し、収穫直前での増加量も少なくほぼ横ばいであった。また、株元から離れた着果部位程収穫時期が早かった。

3. 果実が張り弾力を帯びる時期を収穫適期とみなし、収穫後の果肉硬度や剥皮性を調査したところ、従来品種の‘日川白鳳’と同等以上の日持ち性があると推察された。
4. これらのことから、‘さくひめ’の収穫適期の判断基準として、果実が張り弾力を帯びる時期が適当と考えられた。

引用文献

- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi. 2004. Varietal differences in the relationship between maturation characteristics, storage life and ethylene production in peach fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73(2):97-104.
- 井上重雄. 2014. モモの作業便利帳 (第12刷). 収穫時期の判定方法. 69-74. 一般社団法人農山漁村文化協会. 東京.
- 垣内典夫・時田鉄二・田中敬一・松田好祐. 1981. モモ果実の熟度と呼吸, エチレン生成及び諸成分との関係. *果樹試報 A.* 8:57-77.
- 鈴木勝征・山崎利彦・村瀬昭治・宮川久義・野方俊秀・水戸部満・森田彰. 1981. 果実の成熟度判定のためのカラーチャートの作成とその利用に関する研究 (第3報) 成熟と果皮色の関係. *果樹試報 A.* 8:85-100.
- 高野和夫・繁田充保・久保田尚浩・多田幹郎. 2006. 完熟モモ流通のための収穫適期, 鮮度保持および輸送方法の検討. *園学研.* 5(2):179-184.
- 八重垣英明・末貞佑子・山口正己・澤村豊・土師岳・安達栄介・山根崇嘉・鈴木勝征・内田誠. 2019. 低温要求量の少ないモモ新品種‘さくひめ’. *農研機構報告果樹茶部門.* 3:11-21.

モモ寄生クワシロカイガラムシの薬剤感受性と有効積算温度を用いたふ化盛期予測法の現地適合性

弘岡拓人・間佐古将則¹・南方高志・増田吉彦

和歌山県果樹試験場かき・もも研究所

Susceptibility of *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni) in Peach fields to Several Insecticides And Optimizing Chemical Application Timing to Effectively Control Based on Total Effective Temperature

Takuto Hirooka, Masanori Kannsako, Takashi Minakata and Yoshihiko Masuda

Laboratory of Persimmon and Peach, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture

緒言

和歌山県のモモは西日本1位の栽培面積を誇り、本県の果樹産業において重要な品目のひとつである。クワシロカイガラムシ *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni) は、本県のモモ産地でしばしば多発し、枝の枯死、樹勢低下や果実の商品価値低下を招くため重要害虫となっている (図1, 図2)。本種に対しては、従前から薬剤や耕種的防除による対策が徹底されてきたが、広範囲に発生が認められ、産地では有効な防除対策の確立が望まれてきた。本種の防除が困難な要因としては、本県のモモ寄生個体群に対する防除薬剤の効果や感受性の実態が不明で、効果的な薬剤防除体系が確立されていないこと、防除適期がふ化幼虫発生時期のわずか数日間に限られるうえ、ふ化幼虫は体長0.2mmと非常に小さく防除適期の把握が困難であること (多々良, 1999) が要因として考えられる。

本研究では、発育時期別の薬剤感受性をジャガイモ塊茎浸漬法 (徳丸・山下, 2015) により調査し、効果的な薬剤を明らかにした。また近年、チャでは有効積算温度を用いたクワシロカイガラムシ1齢幼虫ふ化盛期の予測法が開発されており (武田, 2002 ; 久保田, 2001), JPP-NETの病害虫発生予測システムに導入されている。そこで本県のモモに寄生する個体群について、JPP-NETの有効積算温度計算シミュレーションを利用した1齢幼虫のふ化盛期予測技術の適合性を検証した。さらに、ふ化盛期予測技術と効果的な薬剤を組み合わせた防除の、圃場における実用性を検討した。



図1 加害により枯死したモモ枝



図2 寄生された果実

¹現在：和歌山県農林水産部果樹園芸課農業環境・鳥獣害対策室

材料および方法

1. モモ寄生個体群の薬剤感受性

ジャガイモ塊茎浸漬法（徳丸・山下，2015）により，本種のモモ寄生個体群の薬剤感受性について，ふ化直後幼虫および雄繭形成期幼虫の各発育段階別に調査した．ふ化直後処理の幼虫は2019年7月中旬，雄繭形成期処理の幼虫は2018年5月中旬に，紀の川市粉河（かき・もも研究所内）の‘白鳳’無防除園8樹から雌成虫を枝ごと採取し，約100頭から得た卵をジャガイモに接種した．接種したジャガイモは，恒温室内（25℃）に静置した．供試虫は，累代飼育した系統の2世代目を用いた．供試薬剤は，有機リン剤，ピレスロイド剤，昆虫成長制御剤，ネオニコチノイド剤，ピリジン・アゾメチン誘導體，テトロン酸・テトラミン誘導體の中から，和歌山県のモモ栽培園で主に利用されている8剤を選定した（表1）．試験方法は徳丸・山下（2015）を踏襲し，反復は各薬剤で3とした．

1) ふ化直後の1齢幼虫に対する効果

クワシロカイガラムシ雌成虫から採集した卵をジャガイモに接種した．接種10日後に，黒色油性サインペンでジャガイモ一個あたり一つの円（直径2cm）を描き，実体顕微鏡下で円内のジャガイモ表面に定着した1齢幼虫を数えた．その後，ジャガイモを供試薬剤に10秒間浸漬処理し，処理7日後，同14日後および同21日後に死亡虫数を実体顕微鏡下で数えた．

2) 雄繭形成期の幼虫に対する効果

クワシロカイガラムシ雌成虫から採集した卵をジャガイモに接種した．接種21日後（雄繭形成初期）に，黒色油性サインペンでジャガイモに直径2cmの円を描き，実体顕微鏡下で円内の2齢幼虫を数えた．その後，供試薬剤に10秒間浸漬処理し，以後1)と同様に死亡虫数を実体顕微鏡下で数えた．

2. ふ化盛期予測技術の適合性

1) 粘着トラップによる幼虫の捕獲消長

粘着トラップは，紀の川市粉河（かき・もも研究所内）の‘白鳳’無防除園において3樹を選定し，各樹のクワシロカイガラムシが発生している直径2～4cmの枝にビニールテープを約4cm幅になるように巻き付け，さらにその上に両面テープ（セメダイン両面テープ強面弱面，幅15mm）を巻き付けた．およそ7日間隔でトラップを交換し，捕獲された1齢幼虫数を実体顕微鏡下で数えた．トラップ調査から各世代の捕獲ピーク日を読み取るため，各調査データの近傍7日間の移動平均から捕獲ピーク日を検出した．

2) 産卵およびふ化状況の推移

紀の川市粉河（かき・もも研究所内）の‘白鳳’無防除園からクワシロカイガラムシの産卵およびふ化期に雌成虫の寄生枝を3～5本程度採取し，実体顕微鏡下で雌成虫の介殻を剥がして産卵の有無およびふ化状況を調査した．各世代のふ化最盛日は，各調査卵塊の中で50%以上の卵がふ化した卵塊の割合が50%に達した日とした．

3) 粘着テープトラップの捕獲ピーク日とふ化卵塊率調査に基づいたふ化最盛日との関係

粘着トラップ調査による捕獲ピーク日とふ化卵塊率調査によるふ化最盛日とを比較した．

4) 有効積算温度を用いたふ化盛期予測技法の適合性

ふ化盛期の予測には，JPP-NETが提供する有効積算温度計算シミュレーション（version2）を利用した．算出されたふ化盛期予測日と，ふ化卵塊率調査によるふ化最盛日とを比較した．

シミュレーションは、各項目を以下のとおり設定し実施した。

- (1) 試算期間：計算対象年の1月1日から12月31日とした。
- (2) アメダス地点：地区は「和歌山県」、地点は、調査地から最も近い「かつらぎ町」とした。
- (3) 気象データ：使用データは「毎正時データ」とした。
- (4) 気温補正： $+1.2^{\circ}\text{C}$ を「全データに適用する」とした。なお、補正温度は2007～2017年に研究所内（紀の川市、2012年欠測）で観測された年平均気温の平均値（ 15.9°C ）とアメダス地点「和歌山県かつらぎ町」で観測された年平均気温の平均値（ 14.7°C ）との差に基づき決定した。
- (5) 発育パラメータ：第1世代のふ化盛期予測日は武田（2002）の報告から、1月1日を起算日とし、発育零点 10.5°C 、発育上限温度 30°C で有効積算温度 287 日度に達した日とした。第2、第3世代のふ化盛期予測日は、久保田（2001）の報告から、発育零点 10.8°C 、発育上限温度 30°C 、前世代ふ化最盛日を起点として有効積算温度が 688 日度に達した日とした。

3. ふ化盛期予測法に基づく薬剤防除の現地検証と効果的な散布時期の検討

ふ化盛期予測法に基づいた薬剤の散布による防除効果を検討するため、紀の川市粉河（かき・もも研究所）現地圃場において実証試験を行った。予測は、2018年1月1日を起算日として有効積算温度が200日度（ふ化盛期実測日の12日前）に達した日である4月22日に行い、各項目を以下のとおり設定した。

- (1) 試算期間：2018年1月1日から5月31日とした。
- (2) アメダス地点：地区は「和歌山県」、地点は「かつらぎ町」とした。
- (3) 気象データ：使用データは「毎正時データ」とした。
- (4) 未来のデータ：使用データは「過去の実測値」および計算対象年、適用開始日は4月22日とした。
- (5) 気温補正： $+1.2^{\circ}\text{C}$ を「全データに適用する」とした。
- (6) 発育パラメータ：第1世代のふ化盛期予測日は武田（2002）の報告から、1月1日を起算日とし、発育零点 10.5°C 、発育上限温度 30°C で有効積算温度 287 日度に達した日とした。

シミュレーションにより得られた予測日の3日前、4日後、11日後にクロルピリホス水和剤3,000倍およびブプロフェジン水和剤1,000倍を、動力噴霧器を用いて散布した。薬剤処理前の4月26日に2年生枝に寄生する雌成虫数を数えて虫体に油性マジックでマークし、最終散布日から41日後の6月26日に枝上に発生した未マークの雌成虫数を数えた。

結 果

1. モモ寄生個体群の薬剤感受性

薬剤処理時期別の各種殺虫剤の殺虫効果を表1に示した。ふ化直後処理の処理21日後に補正死虫率が90%以上であった薬剤は、クロルピリホス水和剤、DMTP水和剤、ブプロフェジン水和剤、ピリフルキナゾン水和剤であった。なお、水道水処理における死虫率は6.9～10.9%であった。雄繭形成期処理の処理21日後に補正死虫率が90%以上であった薬剤は、クロルピリホス水和剤、DMTP水和剤、ブプロフェジン水和剤であった。なお水道水処理における死虫率は3.3～13.1%であった。

表1 クワシロカイガラムシに対する薬剤処理時期別の各種殺虫剤の殺虫効果

薬剤名	希釈倍数	薬剤処理時期					
		1齢幼虫期			雄繭形成期		
		処理7日後	14日後	21日後	処理7日後	14日後	21日後
有機リン剤							
クロルピリホス水和剤	3,000	83.5 ^{x)} (134) ^{y)}	100.0 (134)	100.0 (134)	66.6 (71)	85.9 (71)	100.0 (71)
DMTP水和剤	1,500	91.2 (107)	100.0 (107)	100.0 (107)	75.1 (81)	89.0 (81)	97.2 (81)
ピレスロイド剤							
フェンプロパトリン乳剤	1,000	66.3 (155)	80.4 (155)	79.7 (155)	41.2 (57)	55.2 (57)	59.6 (57)
昆虫成長制御剤							
ブプロフェジン水和剤	1,000	58.4 (109)	98.0 (109)	99.0 (109)	9.5 (33)	69.8 (33)	93.0 (33)
ネオニコチノイド剤							
ジノテフラン顆粒水溶剤	2,000	14.8 (110)	36.8 (110)	34.7 (110)	12.8 (43)	14.9 (43)	11.7 (43)
アセタミプリド水溶剤	2,000	-6.4 (121)	11.1 (112)	11.0 (112)	10.3 (55)	37.5 (55)	43.5 (55)
ピリジン・アゾメチン誘導体							
ピリフルキナゾン水和剤	3,000	36.4 (134)	100.0 (134)	100.0 (134)	37.4 (47)	50.4 (47)	58.4 (47)
テトロン酸・テトラミン酸誘導体							
スピロテトラマトフロアブル	2,000	-0.7 (125)	29.6 (125)	30.9 (125)	— ^{z)}	—	—

^{x)}補正死虫率(%), ^{y)}供試虫数, ^{z)}試験なし

2. ふ化盛期予測技術の適合性

1) 粘着トラップによる1齢幼虫の捕獲消長

2017～2019年の3か年におけるクワシロカイガラムシ1齢幼虫の捕獲消長を図3に示した。2017年の調査では、捕獲ピークは第1世代が5月12日、第2世代が7月6日、第3世代が9月4日であった。2018年の調査では、捕獲ピークは第1世代が4月29日、第2世代が7月6日、第3世代が9月4日であった。2019年の調査では、捕獲ピークは第1世代が5月2日、第2世代が7月13日、第3世代が9月6日であった。調査年による捕獲ピークの差は第1世代で最大13日、第2世代で最大9日、第3世代で最大4日であった。

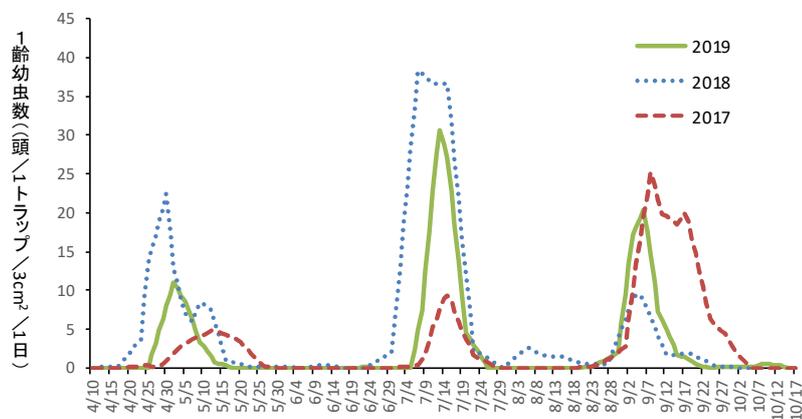


図3 紀の川市粉河におけるクワシロカイガラムシ1齢幼虫の捕獲消長

2) 産卵およびふ化状況の推移

2017～2019年の3か年におけるクワシロカイガラムシの産卵およびふ化状況、ふ化最盛日（実測日）を表2～4に示した。ふ化最盛日は、第1世代が5月2日から5月13日、第2世代が7月11日から7月16日、第3世代が9月6日から9月13日の範囲にあった。調査年によるふ化最盛日の差は、第1世代で最大11日、第2世代で最大5日、第3世代で最大7日であった。

表2 2017年 紀の川市粉河におけるクワシロカイガラムシの産卵・ふ化状況(%)

調査日	生存雌 虫数(頭)	産卵なし	未ふ化 卵塊保有率	ふ化卵塊率		ふ化最盛日 (実測日)
				50%未満	50%以上	
5月1日	85	8.2	91.8	0.0	0.0	
5月7日	52	1.9	78.8	17.3	1.9	
5月11日	32	3.1	0.0	65.6	31.3	
5月16日	20	5.0	0.0	0.0	95.0	5月13日
5月19日	19	0.0	0.0	0.0	100.0	
7月7日	33	66.7	15.2	0.0	0.0	
7月10日	6	16.7	83.3	0.0	0.0	
7月12日	12	25.0	75.0	0.0	0.0	
7月14日	16	6.3	18.8	62.5	12.5	
7月19日	4	0.0	0.0	0.0	100.0	7月16日
9月4日	63	39.7	58.7	1.6	0.0	
9月8日	76	9.2	67.1	23.7	0.0	
9月11日	49	12.2	4.1	36.7	46.9	9月12日
9月20日	50	2.0	0.0	18.0	80.0	

表3 2018年 紀の川市粉河におけるクワシロカイガラムシの産卵・ふ化状況(%)

調査日	生存雌 虫数(頭)	産卵なし	未ふ化 卵塊保有率	ふ化卵塊率		ふ化最盛日 (実測日)
				50%未満	50%以上	
4月13日	150	42.0	58.0	0.0	0.0	
4月16日	136	33.8	66.2	0.0	0.0	
4月19日	137	22.6	77.4	0.0	0.0	
4月25日	115	3.5	86.1	9.6	0.9	
4月27日	99	2.0	98.0	0.0	0.0	
5月2日	77	2.3	13.0	44.2	53.5	5月2日
5月7日	60	0.0	1.7	21.7	76.7	
6月25日	119	100.0	0.0	0.0	0.0	
6月28日	127	73.6	36.4	0.0	0.0	
7月2日	150	32.0	68.0	0.0	0.0	
7月6日	110	10.0	60.0	26.4	3.6	
7月10日	128	0.0	0.0	56.3	43.8	
7月17日	64	0.0	0.0	15.1	84.9	7月11日
8月20日	104	100.0	0.0	0.0	0.0	
8月24日	57	68.4	31.6	0.0	0.0	
8月29日	95	25.3	74.7	0.0	0.0	
9月3日	100	3.0	33.0	51.0	13.0	
9月7日	62	0.0	4.8	38.7	56.5	9月6日
9月10日	88	1.1	2.3	37.5	59.1	
9月11日	85	0.0	2.4	10.6	87.1	

表4 2019年 紀の川市粉河におけるクワシロカイガラムシの産卵・ふ化状況(%)

調査日	生存雌 虫数(頭)	産卵なし	未ふ化 卵塊保有率	ふ化卵塊率		ふ化最盛日 (実測日)
				50%未満	50%以上	
4月28日	51	9.8	90.2	0.0	0.0	
5月5日	69	0.0	73.9	24.6	1.4	
5月7日	72	0.0	55.6	41.7	2.8	
5月10日	80	0.0	22.5	48.8	28.8	
5月13日	29	0.0	0.0	27.6	72.4	5月12日
5月14日	43	0.0	0.0	4.7	95.3	
7月4日	36	83.3	16.7	0.0	0.0	
7月9日	41	7.3	90.2	2.4	0.0	
7月12日	25	36.0	56.0	8.0	0.0	
7月16日	81	6.2	0.0	43.2	50.6	7月16日
7月18日	35	17.1	0.0	31.4	51.4	
7月24日	30	3.3	0.0	0.0	96.7	
8月29日	150	76.7	23.3	0.0	0.0	
9月2日	126	25.4	74.6	0.0	0.0	
9月4日	118	8.5	88.1	3.4	0.0	
9月11日	107	7.1	21.4	38.8	32.7	
9月13日	120	2.5	3.3	44.2	50.0	9月13日
9月19日	108	0.0	0.0	5.6	94.4	

3) 粘着トラップの捕獲ピーク日とふ化卵塊率調査に基づいたふ化最盛日との比較

粘着トラップによる捕獲数のピーク日とふ化卵塊率調査によるふ化最盛日を比較した。2017年、2018年の調査では、捕獲ピーク日とふ化最盛日は最大で5日の差であり、おおよそ一致した。2019年の調査では、第1世代で10日、第3世代で7日の差があった。捕獲ピーク日はふ化最盛日より早い傾向があった(表5)。

表5 粘着トラップによる捕獲ピークとふ化卵塊率調査によるふ化最盛日との比較

世代	2017年			2018年			2019年		
	捕獲ピーク日	ふ化最盛日	差	捕獲ピーク日	ふ化最盛日	差	捕獲ピーク日	ふ化最盛日	差
第1世代	5/12	5/13	-1	4/29	5/2	-3	5/2	5/12	-10
第2世代	7/15	7/16	-1	7/6	7/11	-5	7/13	7/16	-3
第3世代	9/8	9/12	-4	9/4	9/6	-2	9/6	9/13	-7

4) 有効積算温度によるふ化盛期予測の適合性

ふ化盛期の予測日と実測日との差(絶対値)は、第1世代で0日から3日、第2世代で0日から2日、第3世代で0日から7日の範囲であった。3か年の平均値は、第1世代で1.7日、第2世代1.3日、第3世代で4.0日であった(表6)。

表6 ふ化盛期の予測日と実測日の差(実測日計算)

世代	2017			2018			2019			差(絶対値)の 世代平均
	予測日	実測日	差	予測日	実測日	差	予測日	実測日	差	
第1世代	5/13	5/13	0	5/5	5/2	+3	5/14	5/12	+2	1.7
第2世代	7/18	7/16	+2	7/11	7/11	0	7/14	7/16	-2	1.3
第3世代	9/17	9/12	+5	9/13	9/6	+7	9/13	9/13	0	4.0

3. ふ化盛期予測法に基づく薬剤防除の現地検証と効果的な散布時期の検討

ふ化盛期予測法に基づいた薬剤散布の防除効果を表7に示した。有効積算温度が200日度（ふ化盛期実測日の12日前）に達した日にシミュレーションを行った結果、ふ化盛期の予測日と実測日の差は3日であった。クロルピリホス水和剤散布区における補正密度指数は、予測日3日前（結果として実測日当日）で157.3、予測日4日後（結果として実測日7日後）で2.0、予測日11日後（結果として実測日14日後）で12.1であった。ブプロフェジン水和剤散布区における補正密度指数は、予測日3日前（結果として実測日当日）で68.4、予測日4日後（結果として実測日7日後）で26.3、予測日11日後（結果として実測日14日後）で32.4であった。クロルピリホス水和剤散布区とブプロフェジン水和剤散布区の両区の補正密度指数は、予測日4日後（結果として実測日7日後）の散布で最も低くなった。

表7 第1世代におけるふ化盛期予測法に基づいた薬剤散布の防除効果(2018年)

薬剤	反復	予測日3日前(実測日当日) 5/2散布			予測日4日後(実測日7日後) 5/9散布			予測日11日後(実測日14日後) 5/16散布		
		処理前	処理後	補正密度指数	処理前	処理後	補正密度指数	処理前	処理後	補正密度指数
クロルピリホス水和剤 3,000倍	①	25	126		43	2		31	12	
	②	17	4		21	1		34	2	
	③	26	53		23	0		22	4	
	平均	22.7	61.0	157.3	29.0	1.0	2.0	29.0	6.0	12.1
ブプロフェジン水和剤 1,000倍	①	40	31		28	30		43	4	
	②	18	46		45	12		32	31	
	③	19	13		45	11		26	21	
	平均	25.7	30.0	68.3	39.3	17.7	26.3	33.7	18.7	32.4
無処理	①	26	24		—	—		—	—	
	②	29	42		—	—		—	—	
	③	28	76		—	—		—	—	
	平均	27.7	47.3	—	—	—	—	—	—	—

考 察

クワシロカイガラムシの薬剤感受性は、これまでチャ寄生個体群で盛んに調査されてきたが（小澤，2010，2013；徳丸・山下，2015），モモ寄生個体群の薬剤感受性は不明な部分が多かった。本研究では、和歌山県紀の川市における無防除園のモモ寄生個体群に対する主要薬剤の効果を明らかにした（表1）。本供試虫では、クロルピリホス水和剤，DMTP水和剤，ブプロフェジン水和剤で雄繭形成期処理の処理21日後まで補正死虫率が90%以上となった。徳丸・山下（2015）は、京都府におけるチャ寄生個体群の薬剤感受性を調査し、これら3剤（DMTPは乳剤）の雄繭形成期処理21日後の補正死虫率が50%以下であったことを報告している。また静岡県チャ寄生個体群においても、DMTP乳剤，ブプロフェジン水和剤に対する薬剤の感受性の低下が報告されている（小澤，2010）。このことは、モモ寄生個体群に対するこれらの薬剤の感受性も、使用状況により低下する恐れがあることを示唆している。今後、より詳細な地域個体群の感受性について経時的に調査する必要がある。

粘着トラップの捕獲ピーク日とふ化卵塊率調査によるふ化最盛日との差を調査した結果、2017年、

2018年の調査では、捕獲ピーク日とふ化最盛日がおおよそ一致していた。一方で、2019年の調査では捕獲ピーク日とふ化最盛日に最大10日の差があった(表5)。小澤・久保田(2006)は、粘着トラップの捕獲数が極端に少ない場合は単純に捕獲ピーク日をふ化最盛日とすると誤差が大きくなることを指摘している。本調査では、粘着トラップを設置した3樹のうち2樹でクワシロカイガラムシの捕獲数が極めて少なく、1樹での捕獲数にデータが偏ったことが影響した可能性がある。クワシロカイガラムシのふ化最盛期を把握する方法として、モモ栽培圃場ではこれまで粘着トラップ法が主に利用されてきた。粘着トラップ法はふ化卵塊率調査に比べて遥かに簡便であるが、上述のとおり、捕獲数が安定しない場合に誤差が大きい。また実体顕微鏡下での調査が必要であるうえ、トラップの交換に多くの労力を必要とする(小澤・久保田, 2006)。一方で、有効積算温度を利用した予測法は、日本植物防疫協会 JPP-NET がインターネット上で有効積算温度計算シミュレーション(version2)として提供しており、会員であれば簡単にシミュレーションが可能である。本研究では、モモ寄生個体群について有効積算温度によるふ化盛期予測法の適合性を検証し、ふ化盛期予測日とふ化卵塊率調査による実測日は高い精度で一致することを示した(表6)。このことから、有効積算温度を用いた予測法は、モモ寄生個体群についても簡便かつ正確なふ化盛期予測法として利用が可能であると考えられる。また、有効積算温度が2018年1月1日を起点として200日度(ふ化盛期実測日の12日前)に達した日にシミュレーションを行った結果、ふ化盛期の予測日と実測日の差は3日と高い精度で予測できた。さらに、感受性調査で高い効果を示したクロルピリホス水和剤およびブプロフェジン水和剤を時期別に散布した結果、補正密度指数は予測日4日後(結果として実測日7日後)の散布で最も低かった(表7)。多々良(1999)は、薬剤散布日の違いによる防除効果と卵のふ化状況との関係を調査し、防除適期は50%ふ化卵塊率が60~90%の時期であったことを報告しており、本調査結果を支持している。したがって、モモ生産現場には1週間~10日程度の時間的余裕をもって情報提供可能であると考えられる。その際、シミュレーションで得られた予測日の約4日後を防除適期とすることで、効果的な防除が可能になると考えられる。

摘 要

本研究では、モモ寄生クワシロカイガラムシに対する主要薬剤の感受性を発育段階別に明らかにした。また、JPP-NET が提供する有効積算温度を利用したふ化盛期予測法の、モモ寄生個体群に対する適合性を検証した。さらに、ふ化盛期予測技術と効果的な薬剤を組み合わせた防除の、圃場における実用性を明らかにした。

1. ジャガイモ塊茎浸漬法により薬剤処理時期別の各種殺虫剤の感受性を調査した結果、クロルピリホス水和剤、DMTP水和剤、ブプロフェジン水和剤で雄繭形成期処理の処理21日後まで補正死虫率が90%以上となり高い効果を示すことを明らかにした。
2. モモ寄生個体群について有効積算温度によるふ化盛期予測法の適合性を検証した結果、ふ化盛期予測日とふ化卵塊率調査による実測日は高い精度で一致することを示した。
3. シミュレーションにより得られた予測日の3日前、4日後、11日後に感受性調査で高い効果を示した薬剤を散布した結果、補正密度指数は予測日4日後(結果として実測日7日後)の散布で最も低くなった。
4. 有効積算温度が200日度(ふ化盛期実測日の12日前)に達した日にシミュレーションを行うことで高い精度で予測できることから、モモ生産現場には1週間~10日程度の時間的余裕をもつ

て情報提供可能であると考えられる。その際、シミュレーションで得られた予測日の約4日後を防除適期とすることで、効果的な防除が可能になると考えられる。

引用文献

- 小澤朗人. 2010. チャ寄生クワシロカイガラムシの薬剤感受性. 応動昆. 54 : 205-207.
- 小澤朗人. 2013. 植物防疫基礎講座 : 殺虫剤感受性検定マニュアル(1)クワシロカイガラムシ. 植物防疫. 67 : 183-186.
- 小澤朗人・久保田栄. 2006. 有効積算温度によるクワシロカイガラムシのふ化最盛日予測法の検証. 静岡茶試研報. 25 : 23-31.
- 久保田栄. 2001. 有効積算温度を用いたクワシロカイガラムシ第一世代の防除適期予測. 第45回応動昆大会講要 : 113.
- 武田光能. 2002 : チャ寄生クワシロカイガラムシ第1世代幼虫のふ化盛期の予測. 平成13年度野菜茶業研究成果情報 : 65-66.
- 多々良明夫. 1999. 粘着トラップによるチャのクワシロカイガラムシの防除適期把握. 植物防疫. 53 : 229-232.
- 徳丸 晋・山下幸司. 2015 ジャガイモ塊茎浸漬法によるチャ寄生クワシロカイガラムシの薬剤感受性. 関西病虫研報. 57 : 125-127

ウメ ‘星秀’ の育成

沼口孝司¹・北村祐人^{1,3}・武田知明^{1,4}・下村友季子¹・綱木海成¹・柏本知晟¹・
島津 康^{1,5}・菱池政志^{1,6}・岩本和也^{2,7}・根来圭一^{1,5}・中 一晃¹・林 恭平^{1,8}・
土田靖久^{1,9}・大江孝明¹

¹和歌山県果樹試験場うめ研究所

²和歌山県農業試験場暖地園芸センター

Breeding of Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) ‘Seishu’

Koji Numaguchi¹, Yuto Kitamura^{1,3}, Tomoaki Takeda^{1,4}, Yukiko Shimomura¹, Kaisei Tsunaki¹, Tomoaki Kashiwamoto¹, Ko Shimazu^{1,5}, Masashi Hishiike^{1,6}, Kazuya Iwamoto^{2,7}, Keiichi Negoro^{1,5}, Kazuaki Naka¹, Kyohei Hayashi^{1,8}, Yasuhisa Tsuchida^{1,9} and Takaaki Oe¹

¹Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture

²Horticultural Research Center, Agriculture Experiment Station, Wakayama Prefecture

緒 言

わが国のウメの結果樹面積は 14,100 ha、収穫量は 71,100 t であり、うち和歌山県における結果樹面積は 4,910 ha (34.8%)、収穫量は 41,300 t (58.1%) と大部分を占める(農林水産省, 2020)。本県の主要品種は‘南高’であるが、その栽培面積は、和歌山県の品種別栽培面積の 83.4% を占め、収穫された果実のほとんど(72.2%) が梅干しに加工される(農林水産省, 2017)。そのため、現在のわが国におけるウメの生産および加工利用の動向は、和歌山県の‘南高’およびその梅干しの生産動向に大きく左右されると言える。‘南高’は 1965 年に名称登録されて以来、果実品質に優れる品種として今日まで広く栽培されてきた(八重垣, 2013)。しかし、‘南高’は自家不和合性であるため、開花期の気象条件によって受粉樹との間で開花時期のずれが生じたり、花粉媒介昆虫の活動が鈍化したりすると、収穫量が変動しやすい欠点を有する。また、黒星病やかいよう病を始めとする様々な病害虫に弱く、高品質な果実を安定的に生産するためには労力・コストを投じた薬剤防除が欠かせない。そのような中、和歌山県では自家和合性品種や病害抵抗性品種の育成に取り組んでおり、これまでに‘NK14’、‘橙高’および‘星高’が育成されている(北村ら, 2017; 根来ら, 2007, 2009)。「NK14」は果実の形状や品質が‘南高’に酷似する早生の豊産性品種、「橙高」はβ-カロテン含量が他のウメと比較して多く、その機能性や橙色を活かした加工品の普及が期待される品種、

³現在：摂南大学農学部

⁴現在：和歌山県果樹試験場

⁵現在：退職

⁶現在：和歌山県農業試験場

⁷現在：和歌山県農林水産部農業生産局

⁸現在：和歌山県有田振興局農林水産振興部農業水産振興課

⁹現在：和歌山県農林水産部農業生産局経営支援課

そして‘星高’は自家和合性に加え、黒星病抵抗性を有しており、減農薬栽培における利用が期待される晩生品種である。しかし、これらの品種は共通して着果過多となりやすく、果実サイズが親品種である‘南高’よりも小さくなる傾向が強いため、生産者からは更なる改良を求められている。そこで我々は、自家和合性を有する優良品種の充実を目指して、‘南高’に、自家和合性品種である‘剣先’を交雑し得られた後代から、結実が安定し、果実サイズが県産の自家和合性品種の中では比較的大きく、黒星病抵抗性を有し、特に梅干し品質が良好な‘星秀’を育成したので、その経過ならびに品種特性について報告する。

材料および方法

1. ‘星秀’の育成経過

1999年2月に、‘南高’を種子親、‘剣先’を花粉親として交配を行った。この交配に由来する種子から、57個体の交雑実生を獲得した。各交雑実生の葉からDNeasy Plant Mini Kit (Qiagen)を用いてゲノムDNAを抽出し、Tao et al. (2000)の方法に従ってS遺伝子座の遺伝子型判別を行い、すべて自家和合性マーカーであるS^f対立遺伝子を有することを確認した。2003年に和歌山県果樹試験場うめ研究所（和歌山県日高郡みなべ町）の育種ほ場に定植・育成し、農林水産省の指定試験事業（2006～10年）において、果実品質に優れ、豊産性の系統を「ウメ和歌山3号」として選抜した。2010年より第3回ウメ系統適応性検定試験に供試して全国9場所において試験栽培を実施した。その結果、2018年2月の系統適応性検定試験成績検討会において、黒星病抵抗性および結実性に優れ、かつ梅干し品質の良好な系統として最終選抜された。その後、2019年2月27日に品種名‘星秀’として種苗法に基づいて品種登録出願を行い、同年6月11日に品種登録出願公表された。‘星秀’の着果状況、果実外観および果実断面を図1に示す。



図1 ‘星秀’の着果状況（左）および果実外観と断面（右）

注）右図中の白線は2cmを示す

2. 系統適応性検定試験における特性評価

2012～17年にかけて、茨城県農業総合センター（茨城県笠間市）、農研機構果樹茶業研究部門（茨城県つくば市）、群馬県農業技術センター（群馬県伊勢崎市）、神奈川県農業技術センター（神奈川県平塚市）、福井県園芸研究センター（福井県三方郡美浜町）、和歌山県果樹試験場うめ研究所（和歌山県日高郡みなべ町）、愛媛県農林水産研究所果樹研究センター（愛媛県松山市）、宮崎県総合農

業試験場（宮崎県宮崎市）および鹿児島県農業開発総合センター北薩分場（鹿児島県薩摩川内市）において樹体特性および果実特性を調査した。和歌山県うめ研究所においては2012年時点で13年生の原木を、その他8機関においては2012年時点で2年生接ぎ木苗もしくは高接ぎ3年生の個体を供試した。対照品種には2012年時点で4～16年生の‘南高’を用いた。肥培管理は各県が定める基準に従って行い、系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所，2007）に従って樹体および果実特性を調査した。なお開花盛期は樹全体の約80%の花芽が開花した日、収穫盛期は樹上の青果収穫において収穫量が期間全体の半分を上回った日とした。果実特性は青果収穫盛期に無作為に収穫した10果を用いて調査し、ヤニ果（樹脂障害果）率は、青果収穫盛期に無作為に収穫した50果以上の果実のうち、果皮の水浸状変色（内ヤニ）または果皮の外側に樹脂状の漏出物（外ヤニ）が認められる果実の合計の割合として算出した。酸度は果実10果から採取した果汁1mlを0.1Nの水酸化カリウム水溶液で中和滴定し、クエン酸当量として算出した。

3. 育成地（和歌山県果樹試験場うめ研究所）における特性評価

1) 着果特性の評価

2013年時点で14年生の‘星秀’ならびに15年生の‘南高’を用いた。開花前に100程度の花芽が着生した枝を選定し、花芽の数を計数した。自家結実率の調査には、花芽の数を計数した後に枝をネット（網目サイズ4mm）で覆い、ミツバチを中心とした訪花昆虫による他家受粉を防止した。その後、受精に至らなかった花芽が脱離（第一次生理落果）した後に着果数を調査した。

2) 開花期、収穫期および果実形質の評価

2014～20年にかけて、‘星秀’（2014年時点で4、14年生）、‘NK14’（同8～10年生）、‘星高’（同4、14年生）および‘南高’（同16年生）の形質を評価した。なお、‘NK14’のみ2017～20年の4年間の調査となった。開花盛期は樹全体の約80%の花芽が開花した日、青果収穫盛期は樹上の青果収穫において収穫量が全体の半分を上回った日、完熟落下盛期は1日あたりの完熟落下果実の収穫量が最も多くなった日とした。果実形質は、無作為に収穫した10個の果実について果実重（g）および核重（g）を測定し、平均値を求めた。核重率は核重の平均値を果実重の平均値で除し、100を乗じて算出した。ヤニ果率は、青果収穫盛期に無作為に収穫した50果以上の果実のうち、果皮の水浸状変色（内ヤニ）または果皮の外側に樹脂状の漏出物（外ヤニ）が認められる果実の合計の割合とした。

3) 収穫果の階級構成の評価

2020年に20年生の‘星秀’および14年生の‘NK14’を用いて評価した。全果実を青果収穫期（毛じが目立たなくなり、果実が容易に手で外れる）に達したものから順次収穫し、選果機（今村選果機）を用いてS（果実の直径が30mm未満）、M（30～33mm）、L（33～37mm）、2L（37～41mm）、3L（41～45mm）および4L（45mm以上）の階級に分け、階級別の収穫果実数を計数した。

4) 耐病性の評価

2012年時点で13年生の‘星秀’を用いた。対照には花粉親の‘剣先’ならびに種子親の‘南高’（ともに樹齢不明）を用い、黒星病およびかいよう病の発病程度を比較した。黒星病抵抗性の評価

は2012, 13, 16および17年に行った。試験樹を無防除で管理し、対照の‘南高’においてある程度の果実発病が認められた時点で、無作為に選んだ100個の果実について、指数を病斑が0:なし, 1:1~3個, 2:4~8個, 4:9~20個, 6:21個以上として分類し、計数した。かいよう病抵抗性の評価は2016および17年に行った。富永ら(1983)に基づき、家庭用洗濯ばさみの片側先端部に輪切りにしたゴム管の小片を1個装着したものを、細菌懸濁液に浸漬して果皮に親指で軽く押し付ける方法で、縦径15mm程度の幼果に 10^6 cfu/mlに調製したかいよう病菌懸濁液を接種した。調査は‘南高’の接種部位においてある程度の発病が認められた時点で行い、指数を接種部位において病斑が0:なし, 1:わずかに認められる, 2:明瞭に認められるが全体の1/2未満, 4:全体の1/2以上に明瞭に認められる, 6:接種部位全体に明瞭に認められるとして分類し、果実数を計数した。両病害ともに発病果数を調査果数で除し、100を乗じて算出した値を発病果率(%)とし、それを下式に従って指数別の発病果数で重みづけした値を発病度とした。

$$\text{発病度} = \frac{\sum (\text{指数} \times \text{指数別発病果数})}{6 \times \text{調査果数}} \times 100$$

5) 加工特性の評価

‘星秀’, ‘NK14’, ‘星高’ならびに‘南高’から収穫した果実を材料に、梅干し、梅酒および梅シロップを作成し、品質を評価した。梅干しは完熟落下収穫果実に、その重量の20%にあたる量の食塩を加えて約1か月間漬け込んだ後、5日間天日干しして作成した。梅酒は青果収穫果実1kgに対して800gの氷砂糖と1.8 literの35%焼酎(ホワイトリカー)を加え、常温で約6か月間漬け込んだ後、果実を取り除いて作成した。また、梅シロップは、青果収穫果実1kgに対して800gの氷砂糖を加え、冷蔵庫(5℃)内で約1週間漬け込み、果実を取り除いて作成した。各加工品の評価はウメ系統適応性検定試験調査方法Ⅲに準じた。梅干しは県産の梅干しの出荷基準に準拠した等級別(A:外観上傷がなく、果皮が柔らかいもの。B:外観上2mm以下の傷が3個以下であり、果皮が柔らかいもの。C:外観上5mm以下の傷が認められるが、果皮の表面積の10%以内であるもの。なお、傷がA, B並に少なくとも果皮が硬いものはCに分類される。外:6mm以上の傷が認められるもの、果肉が硬いもの、日焼け、すす斑病、ヤニ果など外観品質の好ましくないもの。キレ:果皮が切れているもの。ガリ:果肉がなく、硬いもの)に分類し、重量を計測した。

結果および考察

1. 系統適応性検定試験における特性

1) 樹体特性

系統適応性検定試験における9機関の樹体特性の評価成績を表1に示した。‘星秀’の樹姿は「開帳性」と評価した機関が最も多く、開帳と直立の「中間」と判定する機関が続いたが、総じて‘南高’と同様の判定であった。樹勢は、8機関が「中」と判定したが、そのうち3機関は‘南高’と比較してやや弱いと判断している。短果枝の着生は「中」~「多」と判定した機関が7機関あったが、うち3機関は‘南高’と比較してやや少ないと判断した。葉芽および花芽の着生程度は総じて「中」~「多」と判定され、‘南高’とほぼ同様であった。生理的落果は、調査した7機関のうち2機関が「中」、1機関が「多」と判定したものの、過半数が「少」と判定した。以上を総合的に考察

すると、‘星秀’の基本的な樹体特性は、ほぼ‘南高’と同等であるものと推察される。

表1 系統適応性検定試験における‘星秀’の樹体特性（2017年，鹿児島のみ2016年）

試験地	品種	樹齢	樹姿	樹勢	短果枝		花芽の 着生	生理的 落果
					着生	葉芽		
茨城 (笠間)	星秀	7	開帳	やや強勢	やや少	中	中	-
	南高	10	開帳	中	やや少	中	中	-
茨城 (つくば)	星秀	7	中	中	中	多	多	-
	南高	25	中	中	やや多	多	多	-
群馬	星秀	3	中	中	中	多	多	少
	南高	21	中	中	やや多	中	やや多	少
神奈川	星秀	7	開帳	中	中	中	多	中
	南高	26	開帳	中	中	中	多	少
福井	星秀	7	中	中	-	-	-	多
	南高	10	中	やや強勢	多	中	多	少
和歌山	星秀	18	開帳	中	多	中	多	少
	南高	19	開帳	やや強勢	多	中	多	中
愛媛	星秀	7	開帳	中	中	中	やや多	少
	南高	9	開帳	やや強勢	やや多	やや多	やや多	少
宮崎	星秀	7	開帳	中	やや多	多	中	中
	南高	14	開帳	中	中	少	中	少
鹿児島	星秀	高接7	開帳	中	多	中	中	少
	南高	20	開帳	中	多	多	中	少

2) 果実の質的特性

系統適応性検定試験を実施した9機関における果実の質的な特性の評価成績を表2にまとめた。果実の形状は「楕円」～「短楕円」と判定した機関が最も多く、ほぼ‘南高’と同様の判定であった。果皮の地色は5機関が「淡緑黄」と判定し、4機関が「淡緑」または「緑」と判定した。果皮陽光面の紅色着色の程度は、6機関が「微」～「少」と判断し、3機関が「中」と判定した。なお、‘南高’よりも着色が少ないと判定した機関が多かったが、果皮の紅色着色は光環境の影響を大きく受ける(Oe et al., 2012) ため、必ずしも品種特性の差を反映しているとは言えない。果肉の色は6機関が「淡黄緑」と判定し、うち5機関は‘南高’と比較して黄色を帯びるとの判定であった。果肉の肉質はほとんどの機関が‘南高’と同様の「中」と判定した。核の形状は「楕円」～「短楕円」、先端は「やや尖」～「尖」と判定した機関が多かった。以上のことから、‘星秀’果実における質的な特性は青果収穫果実がやや黄色を帯びることを除いては、‘南高’とほぼ同等と推察された。

3) 開花期，収穫期および果実の量的形質

開花期，収穫期，果実重，核重率，酸度およびヤニ果率に関する9機関の試験成績について、2012～17年における実施年の平均値を表3に示した。‘星秀’の開花盛期（約80%の花芽が開花した日）は、宮崎県で最も早い2月13日、茨城県つくば市で最も遅い3月12日であった。9機関の平均値

表2 系統適応性検定試験における‘星秀’果実の質的特性（2017年，鹿児島のみ2016年）

試験地	品種	樹齢	果形	果皮		果肉		核	
				地色	着色	色	粗密	形状	先端
茨城 (笠間)	星秀	7	橢円	緑	少	淡緑	中	橢円	鈍
	南高	10	橢円	緑	中	淡緑	中	橢円	尖
茨城 (つくば)	星秀	7	短橢円	淡緑	微	淡緑～ 淡黄緑	中	短橢円	やや尖
	南高	25	短橢円	淡緑	多	淡黄緑	中	橢円	尖
群馬	星秀	3	円	淡緑黄	中	淡黄緑	中	橢円	尖
	南高	21	短橢円	淡緑黄	中	淡緑	中	短橢円	尖
神奈川	星秀	7	短橢円	淡緑	少	淡緑	密	橢円	尖
	南高	26	卵	淡緑	中	淡緑	密	短橢円	鈍
福井	星秀	7	円	淡緑黄	少	淡黄緑	密	短橢円	平
	南高	10	短橢円	淡緑	中	淡緑	中	橢円	やや尖
和歌山	星秀	18	短橢円	淡緑黄	中	淡黄緑	中	短橢円	尖
	南高	19	短橢円	淡緑	中	緑	中	短橢円	尖
愛媛	星秀	7	短橢円	淡緑黄	中	淡黄緑	中	橢円	尖
	南高	9	短橢円	淡緑	中	淡緑	中	短橢円	尖
宮崎	星秀	7	短橢円	淡緑黄	少	淡黄緑	中	短橢円	尖
	南高	14	短橢円	淡緑	中	淡緑	中	橢円	尖
鹿児島	星秀	高接7	短橢円	淡緑	少	淡緑	中	橢円	尖
	南高	20	短橢円	淡緑	中	淡緑	中	橢円	尖

は2月28日となり，‘南高’よりも3日早かった。青果収穫盛期は宮崎県で最も早い5月26日，福井県で最も遅い6月23日となった。9機関の平均値は6月12日となり，‘南高’よりも4日早かった。果実重は20.1～29.3gで，調査したすべての機関において‘南高’（28.3～49.5g）よりも小さかった。核重率は5.1～11.9%で，7機関で‘南高’（6.9～13.3%）よりも小さかった。果汁の酸度は7機関での調査であったが，4.3～5.8%で，平均すると‘南高’と同程度であった。ヤニ果率は，0.0～1.7%と‘南高’（0～6.5%）よりも低い傾向であった。これらのことから，‘星秀’は，開花期，収穫期は‘南高’よりもやや早く，果実重は‘南高’よりも小さいものの，核重率は‘南高’よりもやや小さく，ヤニ果は発生しにくいと考えられた。

2. 育成地（和歌山県果樹試験場うめ研究所）における特性評価

ここからは，育成地である和歌山県果樹試験場うめ研究所（和歌山県日高郡みなべ町）において2014～20年の7年に渡って行った‘星秀’の特性評価の結果について述べる。なお，成績は適宜，県主要品種である‘南高’や県育成品種で，梅干しへの加工に適した自家和合性品種である‘NK14’や‘星高’の成績と比較検討した。

表3 系統適応性検定試験における‘星秀’果実の量的形質（2012～17年の平均値）

試験場所	品種	開花盛期 ^z	収穫盛期 ^y	果実重 (g) ^x	核重率 (%) ^x	酸度 (%) ^w	ヤニ果率 (%) ^v
茨城 (笠間)	星秀	2/23	6/7	26.6	9.7	5.8	0.3
	南高	3/6	6/19	31.5	10.1	6.3	0.8
茨城 (つくば)	星秀	3/12	6/15	25.0	7.6	5.6	0.1
	南高	3/13	6/25	49.4	7.0	5.8	0.5
群馬	星秀	3/7	6/20	25.0	6.9	-	0.0
	南高	3/6	6/30	42.9	6.9	5.4	0.0
神奈川	星秀	2/28	6/20	29.3	6.1	-	0.3
	南高	2/27	6/20	49.5	7.4	-	2.2
福井	星秀	3/10	6/23	27.8	9.3	5.6	0.0
	南高	3/14	6/26	32.1	8.9	6.2	0.0
和歌山	星秀	2/20	6/12	28.7	7.3	5.3	0.0
	南高	2/23	6/12	38.4	8.9	5.5	6.5
愛媛	星秀	3/9	6/15	25.0	8.9	5.4	1.7
	南高	3/9	6/17	28.3	13.3	5.6	3.3
宮崎	星秀	2/13	5/26	20.1	11.9	4.3	0.0
	南高	2/12	5/23	30.6	12.4	6.5	5.3
鹿児島	星秀	2/21	5/30	34.3	5.1	4.7	0.0
	南高	2/20	5/31	36.0	9.5	5.5	0.0
平均	星秀	2/28	6/12	26.9	8.1	5.3	0.3
	南高	3/2	6/16	37.6	9.4	5.9	2.1

^z 樹体全体の約80%の花芽が開花した日

^y 青果収穫量が全体の半量を超えた日

^x 10果の平均値

^w クエン酸当量

^v 水浸状ヤニおよび外ヤニの合計の調査果数に対する割合

1) 着果特性

自然交配条件における2013および17年の‘星秀’の着果率は69.2および77.8%であり、‘南高’の25.2および28.3%よりも高い値を示した（表4）。また袋掛けをして他家受粉を防止した条件では、‘南高’の着果率はいずれの調査年も0.0%であったことに対し、‘星秀’では2013年は34.0%、2014年は66.7%と高い値を示した。これらの結果は、S遺伝子型から推定される表現型と合致した。

2) 開花期、収穫期および果実形質

‘星秀’の開花盛期は、2月4日～3月2日の間で推移し、‘NK14’（1月31日～2月19日）および‘南高’（2月4～26日）と同様で、‘星高’（2月13日～3月3日）よりもやや早い傾向にあった。

‘星秀’の青果収穫盛期は、6月4～14日の間で推移し、‘南高’（6月4～15日）とほぼ同時期であった（図2B）。一方、‘NK14’（6月1～8日）と比較するとやや遅く、‘星高’（6月12～21日）と比較するとやや早い傾向にあった（図2B）。‘星秀’の完熟落下盛期は、6月8～19日の間で推移し、‘NK14’（6月11～19日）、‘星高’（6月13～23日）および‘南高’（6月12～22日）と比較してやや早い傾向にあった（図2C）。‘星秀’の果実重は24.1～34.4 g（平均29.0 g）で推移し、‘南高’（31.5～43.1 g，平均37.5 g）よりも小さかった（図3A）。一方で‘NK14’（16.2～31.9 g，平均24.6 g）および‘星高’（23.2～34.6 g，平均27.7 g）と比較してやや大きい傾向が認められた（図3A）。‘星秀’の核重率は、6.1～8.9%（平均7.4%）の間で推移し、‘南高’（7.4～10.8%，平均9.2%）よりも小さい傾向であった（図3B）。‘NK14’（7.3～10.0%，平均8.4%）および‘星高’（7.2～10.8%，平均8.8%）はその中間程度で推移した（図3B）。‘星秀’のヤニ果率は、0.0～3.6%（平均1.1%）で推移し、‘南高’（1.0～8.1%，平均3.4%）よりも小さく、‘NK14’（0.0～4.0%，平均1.0%）および‘星高’（0.0～4.0%，平均1.3%）と同程度であった（図3C）。以上のことから、育成地において‘星秀’は開花期が‘南高’と一致しやすく、青果収穫期は‘南高’と同時期であるが、完熟落下収穫期は‘南高’よりもやや早く、果実重は‘南高’よりも小さいものの、‘NK14’や‘星高’よりもやや大きく、核重率が小さく、ヤニ果が発生しにくい傾向が確認された。

表4 ‘星秀’の結実特性

品種	着果率 (%) ^z			
	自然交配 ^y		自家結実 ^x	
	2013年	2017年	2013年	2014年
星秀	69.2	77.8	34.0	66.7
南高	25.2	28.3	0.0	0.0

^x 第一次生理落果後の着果数/花芽数×100

^y 枝に袋掛けを行わず、放任受粉させた

^z 枝に袋掛けをして他家受粉を防止した

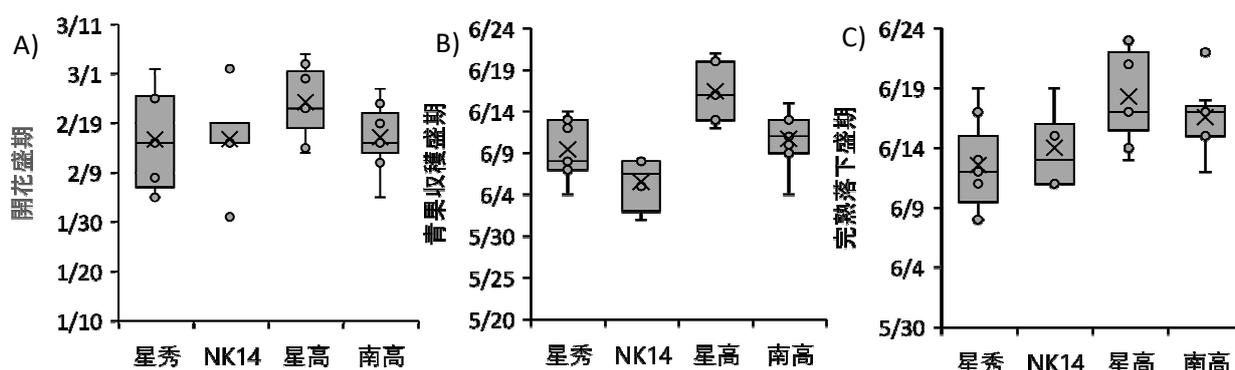


図2 ‘星秀’，‘NK14’，‘星高’および‘南高’における開花期および収穫期

A) 開花盛期, B) 青果収穫盛期, C) 完熟落下盛期

注) 箱ひげ図中の横線は、下から外れ値を除いた最小値，25%点，中央値，75%点，最大値を示す
○印はそれら以外の個別のデータを，×印は平均値（外れ値を含む）を示す
データは2014～20年（‘NK14’のみ2017～20年）に取得

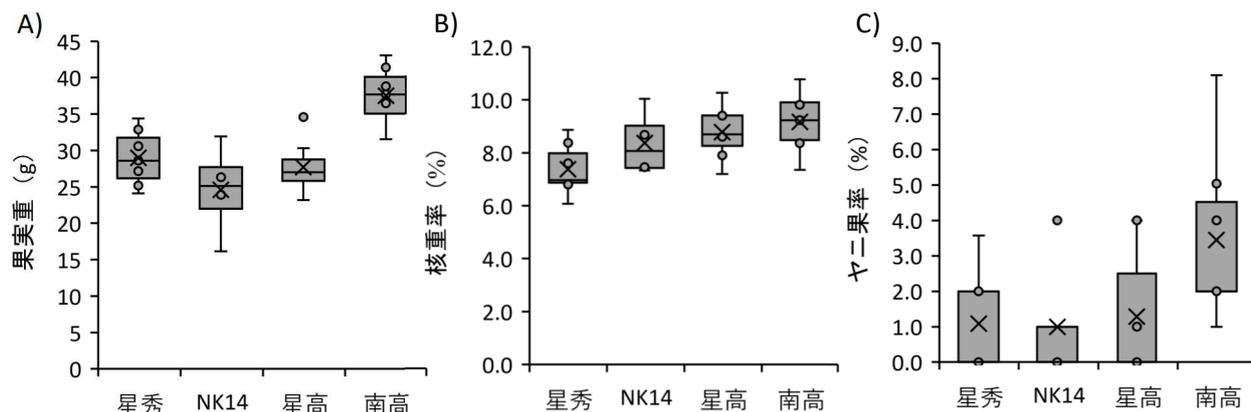


図3 ‘星秀’、‘NK14’、‘星高’および‘南高’における果実形質（青果収穫期）

A) 果実重, B) 核重率, C) ヤニ果率

注) 箱ひげ図中の横線は、下から外れ値を除いた最小値, 25%点, 中央値, 75%点, 最大値を示す
○印はそれら以外の個別のデータを, ×印は平均値(外れ値を含む)を示す
データは2014~20年(‘NK14’のみ2017~20年)に取得

3) 収穫果の階級構成

果実サイズの傾向をより詳細に調べるため、同じ‘南高’×‘剣先’に由来する自家和合性品種である‘星秀’と‘NK14’の青果収穫果における階級構成を比較した。20年生‘星秀’における青果収穫果実の階級構成は、14年生の‘NK14’と同様に、2L級をピークとして連続的に分布した(図4)。ただし、‘星秀’においては、L級の果実の割合が15.0%と‘NK14’の28.2%よりも小さく、3L級の果実の割合が35.8%と‘NK14’の10.5%よりも大きい(図4)。このことから、同じ2L級の果実でも、‘星秀’の果実サイズのピークは‘NK14’よりもやや3L寄りにあったものと推察される。本傾向は、これら2品種間における果実重の比較結果(図3A)とも合致する。

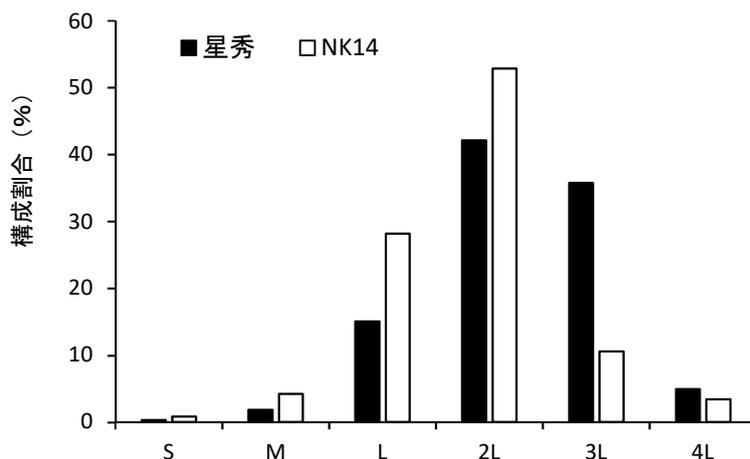


図4 ‘星秀’および‘NK14’における青果収穫果実の階級構成

注) S(果実の直径が30mm未満), M(30~33mm), L(33~37mm), 2L(37~41mm), 3L(41~45mm)および4L(45mm以上)

4) 耐病性

‘星秀’と、その花粉親の‘剣先’および種子親の‘南高’において、黒星病（自然発病）およびかいよう病（接種）の発病程度を比較した。‘星秀’における黒星病の自然発病は、発病果率 5.0～34.0%、発病度 1.0～7.3 と、すべての調査年において発病が認められなかった‘剣先’と比較するとやや多いものの、発病果率が 62.0～89.0%、発病度が 16.2～52.0 で推移した‘南高’よりも大幅に少なかった（表 5）。なお、‘剣先’は土師ら（2001）によっても黒星病の自然発病が少ない品種であることが報告されており、効果の大きい抵抗性遺伝因子を有することが示唆される。‘星秀’には、この‘剣先’由来の黒星病抵抗性因子のうちのいくつかが遺伝したものと推察され、減農薬栽培において有望な品種であると期待される。

表 5 自然条件における黒星病の果実発病

品種	発病果率(%)				発病度 ²			
	2012年	2013年	2016年	2017年	2012年	2013年	2016年	2017年
星秀	7.4	5.0	13.0	34.0	2.2	1.0	2.3	7.3
剣先	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0
南高	89.0	79.0	70.0	62.0	52.0	46.5	18.8	16.2

² 指数を病斑が 0: なし, 1: 1～3 個, 2: 4～8 個, 4: 9～20 個, 6: 21 個以上として分類し,

発病度 = $\Sigma(\text{指数} \times \text{指数別発病果数}) / (6 \times \text{調査果数}) \times 100$ として算出した

一方、接種試験におけるかいよう病の発病は、‘星秀’は発病果率が 71.4～100%、発病度が 32.5～44.8% と、‘南高’（同 52.9～94.1%、20.6～39.2）同様に多く、‘剣先’（同 36.4～52.9%、7.6～16.7）と比較すると大幅に多い傾向であった（表 6）。このことから‘星秀’はかいよう病には罹病性であり、栽培の際は‘南高’と同様の防除が必要であると判断される。

表 6 接種試験におけるかいよう病の果実発病

品種	発病果率(%)		発病度 ²	
	2016年	2017年	2016年	2017年
星秀	71.4	100.0	32.5	44.8
剣先	36.4	52.9	7.6	16.7
南高	52.9	94.1	20.6	39.2

² 指数を、病斑が 0: なし, 1: わずかに認められる, 2: 明瞭に認められるが全体の 1/2 未満,

4: 全体の 1/2 以上に明瞭に認められる, 6: 接種部位全体に明瞭に認められるとして分類し,

発病度 = $\Sigma(\text{指数} \times \text{指数別発病果数}) / (6 \times \text{調査果数}) \times 100$ として算出した

5) 加工特性

本県における‘星秀’の普及性について検討するため、一般的な加工品である梅干し、梅酒ならびに梅シロップを作成し、それらの特性を‘NK14’、‘星高’および‘南高’と比較検討した。調査した加工品の特性の概要を表 7 に示した。‘星秀’においては、梅干しの果皮が‘南高’と比較してやや柔らかく、シロップの香りがやや強い傾向が認められた。その他の特徴は‘NK14’や‘星高’

と比較して大差なかった。梅干しの等級割合は、‘星秀’，‘NK14’，‘星高’および‘南高’でそれぞれ年次変動が認められたものの、全体的な傾向としては大差ないものと考えられた（図5）。

表7 梅干し、梅酒および梅シロップの品質評価

品種	梅干し ^z			梅酒 ^y			シロップ ^x		
	果皮の色	果皮の硬さ	果肉の滑らかさ	色	香り	酸度(%) ^w	色	香り	酸度(%) ^w
星秀	南高並	やや柔～中	中～滑	南高並	中	1.6	褐色濃い	やや強	2.3
NK14	南高並	中	中～滑	南高並	中	1.8	南高並	中	2.9
星高	褐色濃い	中	中～滑	南高並	中	1.4	南高並	やや弱～中	2.1
南高	-	中	中	-	中	1.3	-	中	1.9

^z 果実重量の20%の食塩を加え、約5日間天日干した後調査。果皮色・果皮・果肉の質は‘南高’を基準に評価した

^y 果実1kgに対して氷砂糖800g、35%焼酎1.8literを加え、約6か月漬けた。色・香りは‘南高’を基準に評価した

^x 果実1kgに対して800gの氷砂糖を加え、約1週間漬けた。色・香りは‘南高’を基準に評価した

^w 0.1N KOHで滴定し、クエン酸当量として算出した

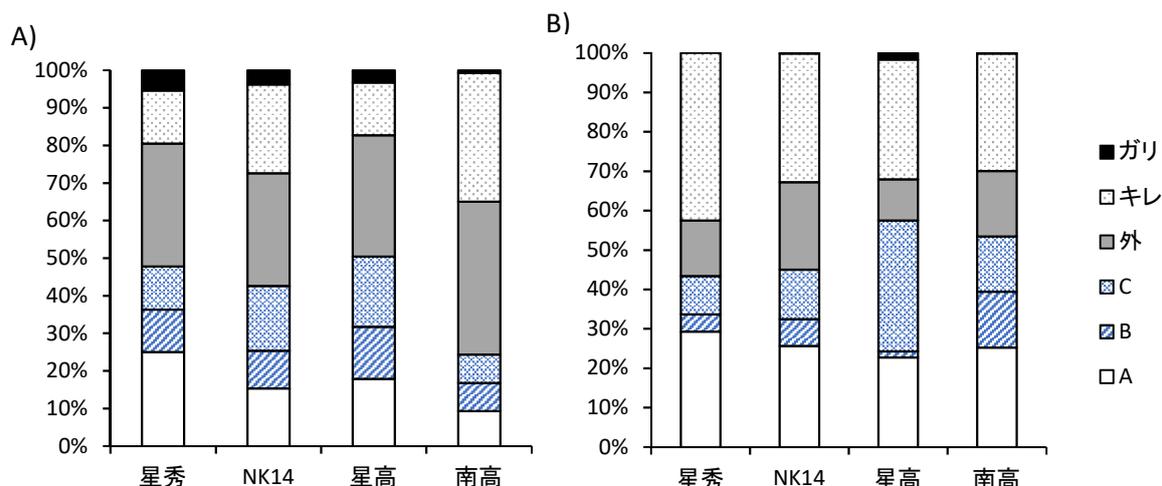


図5 ‘星秀’，‘NK14’，‘星高’および‘南高’における梅干しの等級割合

A) 2018年，B) 2020年

注) 各等級は県産の梅干しの出荷基準に準拠して分類した

3. 特性の総括と栽培上の留意点

‘星秀’の基本的な樹体特性は‘南高’に類似しており、栽培管理は‘南高’に準じたもので問題ないと思われる（表1）。黒星病には比較的強い抵抗性を有するが、かいよう病には罹病性であるため、‘南高’と同様の防除を必要とする（表5，6）。‘星秀’の果実はやや楕円形で、果頂部が尖りやすく（図1，表2），果皮や果肉の色が‘南高’と比較してやや黄色を帯びる傾向にあり（表2），これらの点と同じ‘南高’×‘剣先’に由来する県育成品種である‘NK14’とは異なる。‘星秀’の果実は‘NK14’や‘星高’と比較してやや大きい傾向がある（図3A，4）。これには着果特性の違いや生理落果の多少などが影響していることが推察されるが、現時点で要因は明らかでない。開花期

は全国的には‘南高’よりもやや早い地域もあるが(表3),和歌山県では‘南高’とよく一致し(図2A),受粉樹としても適する.和歌山県における‘星秀’の青果収穫期は‘南高’とほぼ同じであるが,完熟落下期は‘南高’よりもやや早い傾向があるため(図2B,C),青果収穫を行う場合は熟度管理に注意を要する.梅干し,梅酒および梅シロップの品質は‘南高’とほぼ同等である(表7,図5).

摘 要

本研究では,ウメ‘星秀’を育成し,その特性評価を行った.

1. 樹姿,樹勢等の樹体特性は‘南高’と同程度である.
2. 果実はやや楕円形で,果頂部がやや尖る.果皮,果肉は‘南高’と比較してやや黄色を帯びる傾向にある.
3. 自家和合性を有しており,結実が安定する.
4. 開花期は全国的には‘南高’よりもやや早くなる地域もあるが,育成地である和歌山県においては‘南高’とよく一致する.
5. 青果収穫期は全国的には‘南高’よりもやや早くなる地域もあるが,育成地である和歌山県においては‘南高’とほぼ同時期である.和歌山県における‘星秀’の完熟落下収穫期は‘南高’よりもやや早い傾向にある.
6. 果実は‘南高’よりも小さいが,県育成の自家和合性品種である‘NK14’などと比較するとやや大きい傾向にある.また核重率が小さく,ヤニ果が少ない傾向である.
7. 黒星病には比較的強い抵抗性を示すが,かいよう病には罹病性である.
8. 梅干し,梅酒および梅シロップの品質は‘南高’と同等である.

‘星秀’の特性調査にあたり,系統適応性検定試験に協力いただいた全国の公設試験場関係諸氏に深く感謝の意を表す.また,長年にわたり樹体やほ場の維持管理に尽力していただいた,和歌山県農業試験場暖地園芸センターおよび和歌山県果樹試験場うめ研究所の歴代職員諸氏に心から感謝の意を表す.

引用文献

- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所. 2007. 育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法. pp. 114-124.
- 土師 岳・足立嘉彦・八重垣英明・山口正己. 2001. ウメ黒星病の自然発病における品種間差異について. 園学雑. 70(別2):240.
- 北村祐人・武田知明・沼口孝司・土田靖久・根来圭一・林 恭平・岩本和也・菱池政志・中 一晃・島津 康. 2017. 黒星病抵抗性ウメ‘星高’の育成と減農薬栽培への可能性の評価. 和歌山県農水研報. 6:27-33.
- 根来圭一・林 恭平・岩本和也・大江孝明. 2007. ‘南高’と‘地蔵’の交雑による β -カロテン含量の高い自家和合性ウメ品種の育成. 園学研. 6(別2):469.
- 根来圭一・林 恭平・岩本和也. 2009. 自家和合性ウメ新品種‘NK14’の育成. 園学研. 8(別1):

311.

農林水産省. 2017. 平成 29 年度特産果樹生産動態等調査. (オンライン), 入手先<<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031912729&fileKind=0>>, (公表 2020-2-20).

農林水産省. 2020. 令和 2 年産びわ、おうとう、うめの結果樹面積、収穫量及び出荷量. (オンライン), 入手先<<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files/data?sinfid=000032029470&ext=xls>>, (公表 2020-11-27).

Oe, T., N. Sakurai, K. Negoro, A. Kuwabara, M. Okamuro, T. Mitani and M. Hosohira. 2012. Relationship between surface blushing and qualitative components of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) ‘Nanko’ fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81: 11–18.

Tao, R., T. Habu, H. Yamane, A. Sugiura and K. Iwamoto. 2000. Molecular markers for self-compatibility in Japanese apricot (*Prunus mume*). HortScience 35: 1121–1123.

富永時任・高梨和雄・西山幸司・岸 国平. 1983. ウメかいよう病菌の同定. 日植病報. 49 : 627–632.

八重垣英明. 2013. ウメの生産, 流通, 加工の現状と育種目標. 果樹研報. 16 : 1–12.

アントシアニン含量の多いウメ‘露茜’果実を供給する 効率的な追熟体制の確立

大江孝明¹・北村祐人^{1,5}・城村徳明¹・仲 慶晃^{1,6}・岡田 壮²・丸野精二³・
丸野普治³・佐原重広^{4,6}・植田栄仁^{4,7}

¹和歌山県果樹試験場うめ研究所

²紀州農業協同組合

³株式会社丸野

⁴和歌山県日高振興局農林水産振興部農業水産振興課

Establishment of Efficient Ripening System for Supplying Japanese Apricot ‘Tsuyuakane’ Fruit Containing Rich Anthocyanin

Takaaki Oe¹, Yuto Kitamura^{1,5}, Noriaki Jomura¹, Yoshiaki Naka^{1,6}, Tsuyoshi Okada², Seiji Maruno³,
Shinji Maruno³, Shigehiro Sahara^{4,6} and Yoshihito Ueda^{4,7}

¹*Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture*

²*Kisyu Japan Agricultural Cooperatives*

³*Maruno Co., Ltd.*

⁴*Hidaka Promotions Bureau, Wakayama Prefecture*

緒 言

ウメ‘露茜’は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所で育成され、2009年に品種登録されたスモモとウメとの種間雑種で（山口ら、2008）、果皮だけでなく果肉まで赤く色づく特徴があり、梅酒や梅シロップなどに加工すると鮮やかな赤色の製品ができることから、その商品性が注目されている（八重垣ら、2012）。和歌山県においても産地化の取り組みが行われているが、地域によっては外観上の果実の赤色着色に年次変動がみられ（大江ら、2013）、着色程度の低い果実を加工した製品は十分に赤い色調が得られず、商品価値が低くなる。また、従来のウメ品種と比べて、果実が色づく収穫期直前に野生動物による被害を受けやすい。その対策のために防柵や防鳥網などの設置を行う場合は、多大なコストと労力がかかる。

これらを解決するため既報（大江ら、2016）では、赤く色づき始めた頃に果実を収穫してエチレン発生剤に由来するエチレン存在下で4日以上追熟させる方法により、樹上完熟果実よりも果実のアントシアニン含量を大幅に高められることを明らかにした。しかし、本方法は少量のガス交換が可能な機能性段ボール箱を用いて一度に数kgの果実を追熟するものであったことから、生産拡大が進む中、北村ら（2018）は、果実をエチレン発生剤とともにコンテナに入れてビニル被覆することで、一度に100kg程度の果実を着色させる効率的な処理方法を開発した。しかし、その後も産地化

⁵現在：摂南大学農学部

⁶現在：和歌山県農林水産部果樹園芸課

⁷現在：和歌山県農林水産部経営支援課

が進み生産量が増加する中で、さらに効率的な方法が求められるようになってきたことから、ここでは一度に大量の果実を追熟するための処理方法を検討した。

材料および方法

1. 追熟における被覆資材の影響（試験1）

2017年に和歌山県日高郡みなべ町気佐藤植栽の‘露茜’（2017年時点で10年生）を供試し、北村ら（2018）が開発したカラーチャートを用い、6月19日に追熟用としての収穫適期であるカラーチャート値（以下、CC値）1~3の果実を採取した。収穫用コンテナ（容量約58liter）に果実を15kgずつ入れ、6コンテナ（3段×2列）を1区として2種類の資材で被覆してゴムバンド等で固定し密封した。被覆資材はカキ脱渋用シート（ボンガード35、日本ウェーブロック（株））および農業用ポリ塩化ビニルシートの2種類で、それぞれ脱渋シート区およびビニル区とした。初期濃度約1,800ppmとなるようエチレンガスを注射器で注入し、うめ研究所屋内の室温で2日間追熟後に開封し、さらに2日間室温で追熟させた。追熟後、不完全着色果（追熟後に緑色部分が残る果実）の重量割合を調査するとともに、各コンテナよりランダムに5果取り出し、同じ被覆資材および段の果実を同じ区とし（各区10果）、果実（果皮を含む果肉）のアントシアニン含量および果実硬度を既報（Oe et al., 2012；大江ら, 2007a）と同様に調査した。すなわち、アントシアニン含量は5%ギ酸中で果肉をマルチディスペーサー（PB95、（株）エスエムテー）を用いて15,000rpmで1分間ホモジナイズした後、4℃で約24時間抽出し、卓上型遠心分離器（4000、久保田商事（株））を用いて3,500rpmで10分間遠心分離した。上澄みをODSカラム（Shim-pack VP-ODS、（株）島津製作所）を用いてHPLC（LC-20A、（株）島津製作所）で測定した。果実硬度はレオメータ（COMPAC-100II、（株）サン科学）を用いて、60 mm/minの定深度測定、直径5mm円柱プランジャー、侵入1mmの条件で測定した。なお、‘露茜’果実のアントシアニンは‘南高’と同様に、主にシアニジン-3-グルコシド（以下C3G）とシアニジン-3-ルチノシド（以下C3R）であると報告されていることから（赤木ら, 2011）、これらの含量を測定し、合計値をアントシアニン含量とした。

2. 追熟における二酸化炭素濃度の影響（試験2）

2017年にみなべ町気佐藤植栽の‘露茜’から6月12日および19日にCC値1~3の果実を採取した。6月12日採取果実は、最大15kg程度果実が入る22.8Lポリエチレン製容器（以下、ポリ容器）に2.5kgずつCO₂レコーダ（TR-76Ui、（株）ティアンドデイ）とともに入れ密閉し、ボンベ式のエチレン（ジューエルサイエンス（株））を用いて初期濃度が1,000ppmとなるよう注射器で注入し、さらにボンベ式のCO₂（ジューエルサイエンス（株））を用いて初期濃度が380, 2,000, 4,000, 6,000および10,000ppmとなるよう注射器で注入した（各区3反復、380ppmは未注入）。2日間追熟後に開封し、さらに2日間ポリ容器内で追熟し、その後、100果当たりの不完全着色果数を調査した。6月19日採取果実はポリ容器に果実を2, 4, 6, 8および10kgずつ入れて密閉し、エチレンを初期濃度1,000ppmとなるよう注入した（各区3反復）。2日間追熟後にトレイに空け、乾燥しないようビニルで覆いさらに2日間追熟した。追熟後、100g当たりの不完全着色果重を調査するとともに、各区1つのトレイから不完全着色果を除いて平均的な10果を取り出し、アントシアニン含量および果実硬度を調査した。続いて、7月3日および10日にみなべ町清川植栽の‘露茜’高接ぎ樹（‘南高’へ高接ぎ後10年）からCC値1~3で果実を採取した。7月3日採取果実はポリ容器に果実を2または

8kg 入れ密閉し、エチレンを初期濃度 1,000ppm となるよう注入した（各区 3 反復）。20 または 30℃で 2 日間追熟後、開封しトレイに空けてビニルで覆いさらに 3 日間追熟した。追熟後、100g 当たりの不完全着色果重を調査するとともに、各トレイから平均的な 3 果を取り出し、各区 9 果のアントシアニン含量および果実硬度を調査した。7 月 10 日採取果実は同様の処理を 2kg で 20℃、8kg で 20℃および 8kg で 30℃についてのみ行った。追熟後、100g 当たりの不完全着色果重を調査するとともに、陥没や褐変等の障害果重を調査した。また、追熟 2 日後の開封時に容器内の CO₂ 濃度をガス検知器（XP-314、コスモス電機（株））で測定した。

3. 追熟におけるコンテナ当たりの処理量の検討（試験 3）

2018 年にみなべ町気佐藤植栽の‘露茜’から 6 月 11 日に CC 値 1~3 の果実を採取した。選果機により 4L, 3L, 2L と L の混合の 3 階級に分け、それぞれ収穫用コンテナあたりの果実量を 15kg, 18kg および 20kg と変えて、JA 紀州が新たに集荷場 2 階に設置したプレハブ式処理庫（株）丸野製、図 1）で追熟した。なお、本処理庫はエチレン濃度および温湿度を制御可能で、最大 140 コンテナ処理可能である。追熟条件は、既報（北村ら、2018; 大江ら、2016）を基にエチレン濃度を 1,000ppm, 温度を 20℃（実測 20~26℃程度）、湿度を 85%（実測 78~90%程度）に設定し 2 日間保持後、エチレンを注入しないで温湿度のみ制御してさらに 2 日間追熟した。追熟後、不完全着色果および腐敗果の重量割合を調査した。また、6 月 18 日に追熟用としては過熟である CC 値 4 以上の果実を採取して選果機により 3L 果実を選別し、収穫用コンテナあたりの果実量を 15, 18 および 20kg と変えてプレハブ式処理庫で追熟した。追熟後、不完全着色果および腐敗果の重量割合を調査した。



図 1 新規に設置したプレハブ式処理庫
2017 年に JA 紀州が集荷場内に設置

4. 大量追熟法の現地実証（試験 4）

2017 年 6 月 19 日から 1 週間ごとに 4 回、JA 紀州に出荷された果実を供試した。果実を収穫用コンテナに 15kg 以下で入れ、プレハブ式処理庫で試験 3 と同様に追熟した。1 回目の 6 月 19 日出荷は約 0.2 トン（17 コンテナ）、2 回目の 6 月 26 日出荷は約 1.5 トン（130 コンテナ）、3 回目の 7 月 3 日出荷は約 2.0 トン（133 コンテナ）、4 回目の 7 月 10 日出荷は約 0.6 トン（49 コンテナ）であった。なお、処理量の多い 2 および 3 回目の試験では、果実から発生する CO₂ の影響を小さくするため、1 日 1 回換気した。追熟後、着色程度を目視で確認するとともに、2 および 3 回目の試験は不完全着色果および腐敗果の重量割合を調査した。なお、これらの割合は秀品として出荷できるかにより判断した。また、集荷場内の出荷物への影響を評価するため、3 回目に処理庫を開放した直後に処理庫前（処理庫扉より約 2m）、処理庫と 1 階への階段との中間付近（同約 15m）、1 階への階段付近（同約 30m）および 1 階の処理庫直下付近（同約 70m）の空気を 500ml ポリプロピレン製容器に捕集し、ガスクロマトグラフ（GC-14B、（株）島津製作所）でエチレン濃度を測定した。

5. 追熟前の低温保存が追熟後の果実品質に及ぼす影響（試験 5）

2018 年にみなべ町気佐藤植栽の 11 年生‘露茜’を供試した。6 月 13 日に CC 値 1~3 で果実を採取し、所内 6℃冷蔵庫で 0, 3, 4, 5 および 6 日保存した。保存後の果実を羽山ら（2009）が供試し

た、少量のガス交換が可能な機能性段ボール箱（容量約21liter）に4kg程度入れ、1袋当たり20mlのエチレンを発生させるエチレン発生剤（熟れごろ、日園連）2袋とともに、20℃の恒温で4日追熟した。追熟後、不完全着色果、乾燥果、腐敗果および障害果（部分的に褐変した果実）の割合を調査した。また、6月18日にCC値4以上の果実を採取しコンテナ当たり15kg入れ、JA紀州内の予冷库（5～6℃）で0、3および7日保存した後、プレハブ式処理庫で試験3と同様に4日追熟した。追熟後、不完全着色果、乾燥果、腐敗果および障害果の重量割合を調査した。さらに、2018年にJA紀州に出荷された‘露茜’果実（8回出荷、合計10.5トン）を供試し、追熟庫に入りきらない果実はJA紀州内の予冷库（5～6℃）で3～4日保存して繰り越しながら、プレハブ式処理庫で追熟した（表1）。追熟後、不完全着色果、乾燥果、腐敗果および障害果の発生程度を目視で確認した。

表1 JA紀州における出荷日ごとの‘露茜’果実の出荷量(2018年)

	出荷日	出荷量 (トン)
1回目	6月11日	0.2
2回目	6月14日	0.1
3回目	6月18日	1.6
4回目	6月21日	0.2
5回目	6月25日	3.5
6回目	6月28日	1.4
7回目	7月2日	2.5
8回目	7月5日	0.9

6. エチレン処理濃度および処理後環境が追熟後果実の品質に及ぼす影響（試験6）

2017年6月26日にみなべ町清川植栽の‘露茜’高接ぎ樹からCC値1～3の果実を採取した。ポリ容器に果実を2.3kg入れ、エチレンを初期濃度1,000, 2,000および3,000ppmで注入した。20℃で1日追熟後に開封しトレイに空け、ビニルで覆う被覆区、覆わない無被覆区の2つの条件でさらに2日間追熟した。なお、トレイ内の湿度は被覆区が99%、無被覆区が70～88%（平均82%）であった。エチレン処理終了直後および追熟後の果実重、追熟後の100果当たりの不完全着色果数およびアントシアニン含量を調査した。

結 果

1. 大量追熟における被覆資材の影響（試験1）

不完全着色果率はコンテナの高さによらず脱渋シート区がビニル区に比べて高く、脱渋シート区内では下段ほど高い傾向であった（図2）。アントシアニン含量はコンテナの高さによらず脱渋シ

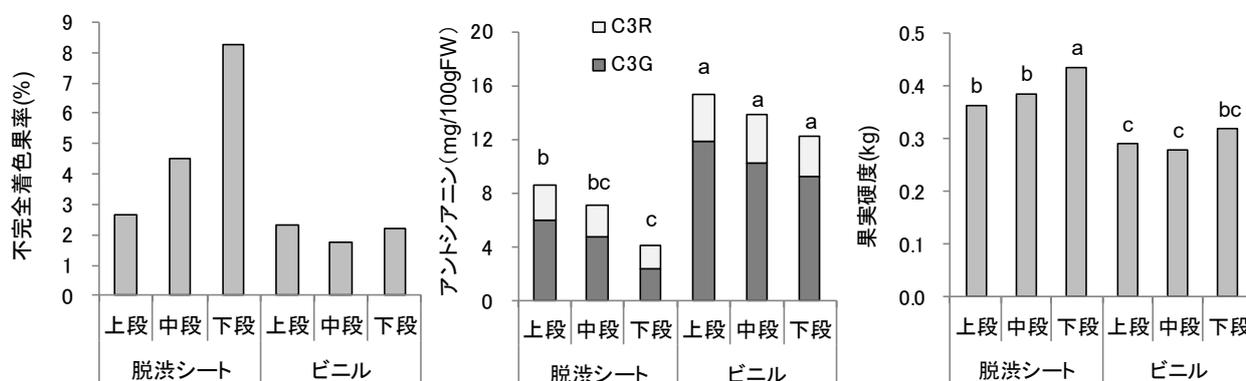


図2 エチレン処理時の被覆資材の違いが追熟後果実の不完全着色果発生、アントシアニン含量および硬度に及ぼす影響

不完全着色果率は重量による値

C3Gはシアニジン-3-グルコシド、C3Rはシアニジン-3-ルチノシドを示す

Tukeyの多重検定により、異符号間に5%水準で有意差あり(n=10)

ート区がビニル区に比べて少なく、脱渋シート区内では下段ほど少ない傾向であった。果実硬度はコンテナの高さによらず脱渋シート区がビニル区に比べて大きい傾向であり、脱渋シート区内では下段ほど大きい傾向であった。

2. 追熟における二酸化炭素濃度の影響（試験 2）

処理開始時の CO₂ 濃度を変えて追熟したところ、容器内の CO₂ 濃度は処理開始から 3 時間以内にすべての区で計器の測定上限（10,000ppm）を超え、その後の差は不明であり（データ略）、100 果当たりの不完全着色果数は 380ppm 区で 2,000, 4,000 および 10,000ppm 区に比べて少ない傾向であり、他の区では大差がなかった（図 3）。ポリ容器に入れる果実の量を変えて追熟したところ、8kg 以上入れて追熟すると 100g 当たりの不完全着色果重が他区よりも重く、6kg 以上入れて追熟すると他区よりも果実のアントシアニン含量が少なく、果実硬度が大きかった（図 4）。ポリ容器に入れる果実の量と温度を変えて追熟したところ、8kg 入れて 20℃で追熟すると 100g 当たりの不完全着色果重が他区よりも重く、果実硬度が大きかった（図 5）。また、容器内に果実を 8kg 入れた場合と温度が 30℃の場合、追熟後の果実のアントシアニン含量が 2kg で 20℃のものに比べて少なかった。果実採取日を遅らせた同様の試験において、容器内に 8kg 入れた場合、ほぼすべてが不完全着色果または障害果となり、追熟 2 日後の容器内の CO₂ 濃度は追熟温度 20℃で 38%，30℃で 69%と 2kg で 20℃の 11%に比べて高かった（表 2）。

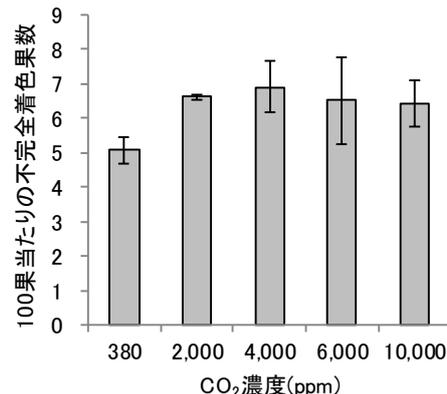


図 3 エチレン処理時の CO₂ 濃度の違いが追熟後果実の不完全着色果発生に及ぼす影響
CO₂ 濃度は容器内の初期濃度
バーは標準誤差を示す(n=3)
Tukey の多重検定により 5%水準で有意差なし

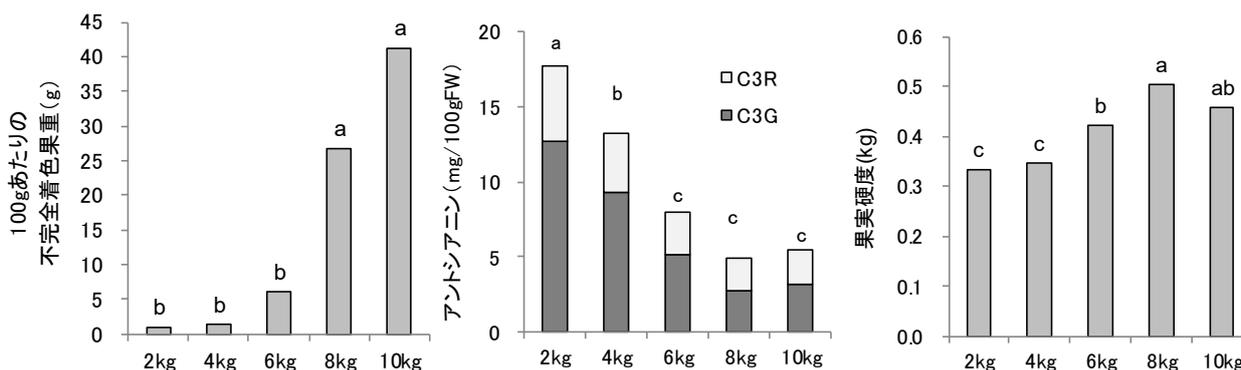


図 4 エチレン処理時の果実量の違いが追熟後果実の不完全着色果発生、アントシアニン含量および硬度に及ぼす影響

横軸の数量は 22.8liter 容器に入れた果実量

Tukey の多重検定により、異符号間に 5%水準で有意差あり(不完全着色果重は n=3, 他は n=10)

C3G はシアニジン-3-グルコシド, C3R はシアニジン-3-ルチノシドを示す

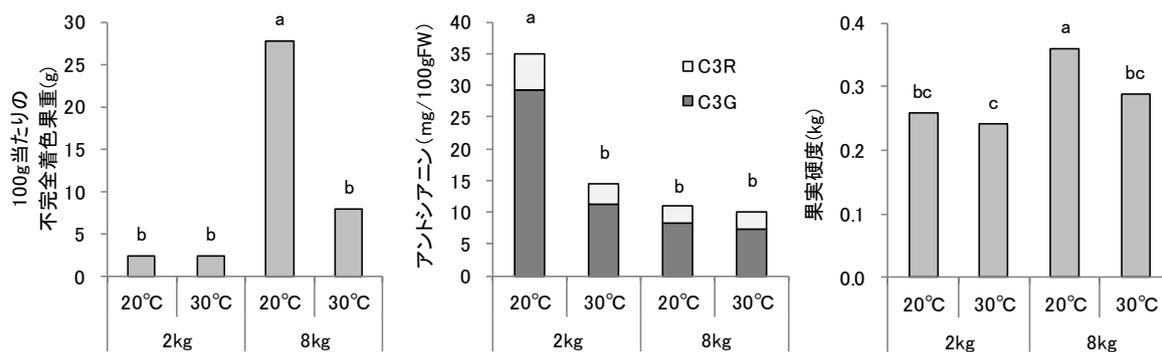


図 5 エチレン処理時の果実量および追熟温度の違いが追熟後果実の不完全着色果発生、アントシアニン含量および硬度に及ぼす影響

横軸の数量は 22.8liter 容器に入れた果実量および追熟温度

Tukey の多重検定により、異符号間に 5%水準で有意差あり(不完全着色果重は n=3, 他は n=9)

C3G はシアニジン-3-グルコシド, C3R はシアニジン-3-ルチノシドを示す

表 2 エチレン処理時の果実量および温度の違いが追熟後果実の不完全着色果および障害果の発生並びに容器内の CO₂ 濃度に及ぼす影響

	100g当りの不完全着色果重(g)	100g当りの障害果重(g) ²	容器内CO ₂ 濃度(%) ³
2kg20°C ^x	4	0	11
8kg20°C	84	16	38
8kg30°C	99	1	69

²障害果は陥没、褐変した果実

³CO₂は追熟2日後にガス検知器で測定

^x果実量は容器(約22.8liter)に入れた重量

3. 追熟におけるコンテナ当たりの処理量の検討 (試験 3)

CC 値 1~3 の果実での試験について、腐敗果は 2L と L の混合の 20kg 区でのみわずかに発生した(図 6)。不完全着色果割合は 15kg 区および 18kg 区では階級が小さいほど高い傾向がみられたが、

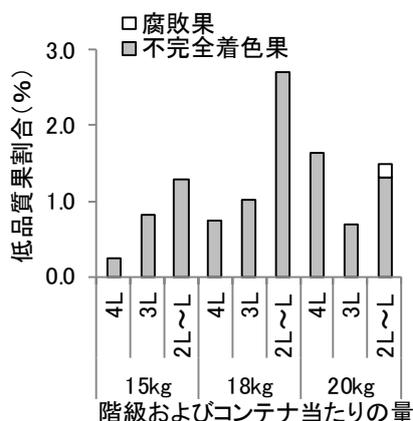


図 6 階級およびコンテナ当たりの処理量の違いが追熟後の低品質果発生に及ぼす影響(CC 値 1~3)

割合は重量による値

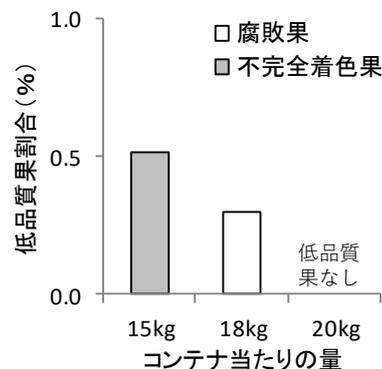


図 7 コンテナ当たりの処理量の違いが追熟後の低品質果発生に及ぼす影響(CC 値 4 以上)

割合は重量による値

各区ともに3%未満であり、コンテナ当たりの果実量と一定の関係はみられなかった。CC値4の果実での試験について、不完全着色果は15kg区で0.5%、腐敗果は18kg区で0.3%発生とごくわずかであり、20kg区では低品質果の発生がみられなかった（図7）。

4. 大量追熟法の現地実証（試験4）

目視で判断したところ、プレハブ式処理庫に一度に入れる量に関わらず、4回とも大半の果実を赤く色づけることが可能であった（データ略）。6月26日採取果実では不完全着色果率が4.6%、腐敗果が0.2%発生し、7月3日採取果実では不完全着色果が2.5%、腐敗果が1.6%発生した（図8）。処理庫開放直後の周辺のエチレン濃度について、処理庫前で742ppm、処理庫と1階への階段との中間付近で6ppmであり、1階への階段との中間付近や集荷場1階の処理庫直下では検出限界以下であった（表3）。

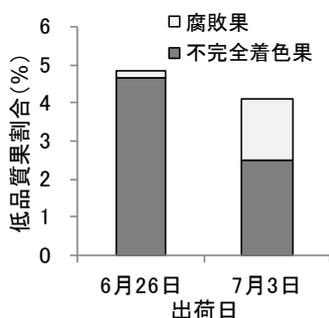


図8 プレハブ式処理庫での追熟が低品質果発生に及ぼす影響

表3 処理庫開放直後の周辺のエチレン濃度

		処理庫扉からの距離	エチレン (ppm)
2階	処理庫前	約2m	742
	処理庫と1階への階段との中間付近	約15m	6
	1階への階段付近	約30m	n.d. ²
1階	処理庫直下付近	約70m	n.d.

²n.d.は検出限界以下を示す

5. 追熟前の低温保存が追熟後の果実品質に及ぼす影響（試験5）

CC値1~3の果実での試験では、冷蔵後追熟することにより腐敗果、障害果および不完全着色果が発生する区としない区がみられたが、冷蔵期間が長いほど多いということとはなかった（図9）。CC値4以上の果実での試験では、冷蔵後に追熟した区で乾燥果、腐敗果および障害果が発生したが、合わせて1%未満とごくわずかであった（図10）。JA紀州に出荷された果実について、追熟庫に入りきらない果実を冷蔵保存して繰越しながら追熟したところ、目視では冷蔵しないものと大差なく追熟後の果実は着色し、品質低下はみられなかった（データ略）。

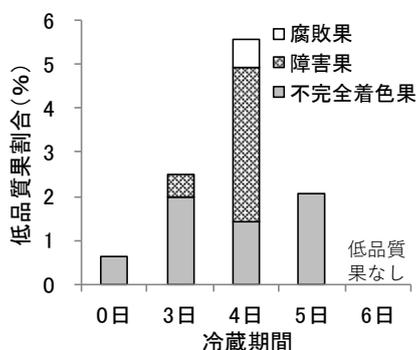


図9 追熟前の冷蔵保存期間が追熟後の低品質果発生に及ぼす影響 (CC値1~3)

障害果は部分的に褐変した果実割合は重量による値

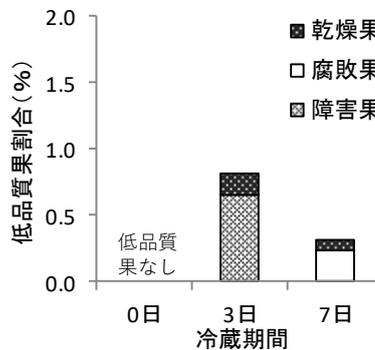


図10 追熟前の冷蔵保存期間が追熟後の低品質果発生に及ぼす影響 (CC値4以上)

障害果は部分的に褐変した果実割合は重量による値

6. エチレン処理濃度および処理後環境が追熟後果実の品質に及ぼす影響（試験6）

エチレン処理終了直後を100とした追熟後の果実重は、同じエチレン濃度では被覆区が無被覆区に比べて大きかった（図11）。100果当たりの不完全着色果数はエチレン濃度2,000ppmが他区よりも多かったが、ビニル被覆の有無による差はみられなかった。果実のアントシアニン含量は同じエチレン濃度では被覆区が無被覆区に比べて多い傾向であった。

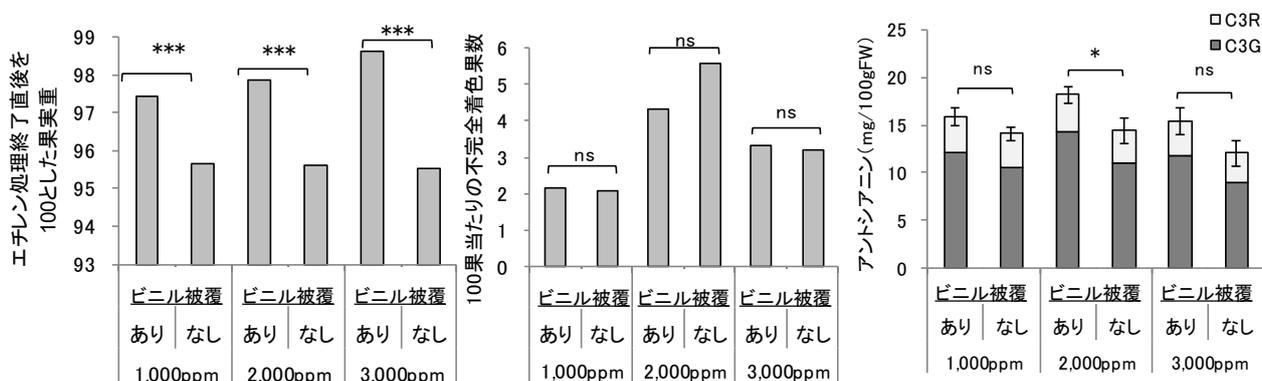


図11 異なるエチレン濃度で1日処理した後の追熟条件が追熟後果実の重量，不完全着色果発生およびアントシアニン含量に及ぼす影響

C3Gはシアニジン3グルコシド，C3Rはシアニジン3ルチノシドを示す

各エチレン濃度において，被覆資材の有無でt検定により***は0.1%水準，*は5%水準で有意差があること，nsは有意差がないことを示す（不完全着色果数はn=3，他はn=9）

バーは標準誤差を示す

考 察

‘露茜’は赤色色素が豊富なウメ品種として注目されているが，年によりアントシアニンの蓄積に差がみられる（大江ら，2013）。そのため，既報（大江ら，2016）では安定してアントシアニンを蓄積させる技術として，果実全体が色づく適熟期よりも早く収穫し，エチレンを添加し4日以上追熟させる方法を確立した。また，本方法を応用し北村ら（2018）は，果実をエチレン発生剤とともにコンテナに入れてビニル被覆することで，一度に100kg程度の果実を着色させる効率的な処理方法を開発した。しかし，その後も生産拡大が進み，追熟処理のさらなる効率化が必要となってきたことから，ここでは一度により大量の果実にエチレン処理する方法を検討した。

本試験の前に，上記の北村ら（2018）が開発したコンテナとビニルによる追熟方法をスケールアップしようとした。追熟処理はJA紀州集荷場内で行うため，他の集荷物に対するエチレンの影響がでないよう，ビニルよりも通気性の低いカキの脱渋に用いられる素材のシートで被覆し，700kg程度の‘露茜’果実を追熟したところ，着色がほとんど進まなかった（未発表データ）。そこで本試験ではまずその要因を明らかにするため，採取日，採取園地が同じ果実を用いて脱渋シートで被覆した場合とビニルで被覆した場合の追熟後の果実品質を比較した。その結果，脱渋シートで被覆し追熟した場合，ビニルで被覆した場合と比べて不完全着色果が多く発生し，アントシアニン含量が少なかった（図2）。また，脱渋シートで被覆した場合，下段のコンテナで不完全着色果が多い傾向であった。エチレンの作用やエチレン生成はCO₂によって抑制されることから（稲葉ら，1989；Ryugo，1993），本試験においても呼吸によってCO₂が生じ，空気よりも重いため脱渋シート内の下部に蓄積したことにより，

このような追熟阻害が引き起こされたと考えられた。果実硬度が大きい点についても、追熟の進行に伴う軟化が抑制されたことによると推察された。

そこで、‘露茜’果実の追熟に対する CO₂ の影響を直接的に明らかにしようとしたが、初期濃度 10,000ppm (1%) 以下の CO₂ 濃度では影響が判然としなかった (図 3)。供試容器内に高濃度の CO₂ を注入することが難しいことや、果実から発生する CO₂ により容器内の CO₂ 濃度が速やかに 1% 以上にまで高まったことから、次にポリ容器内の果実量を変えることで CO₂ の影響を確認しようとした。その結果、容器内の果実が多いと不完全着色果が多く発生し、アントシアニン含量が少ない傾向であった (図 4)。また、同じ 2kg でも追熟温度を 30℃ に高めた場合もアントシアニン含量が少ない傾向であった (図 5)。さらに、採取日を遅らせた果実を 22.8liter ポリ容器内に 8kg 入れた場合、追熟温度が 20℃、30℃ に関わらず、ほぼすべてが不完全着色果または障害果となり、追熟 2 日後の容器内部の CO₂ 濃度は 20℃ で 38%、30℃ で 6% に達していた (表 2)。追熟による着色が可能であった 20℃ で 2kg 入れた場合の CO₂ 濃度 11% に比べて高濃度であったことから、CO₂ 濃度が不完全な着色の一因と推察された。前述の同じ果実重で追熟温度が高い場合にアントシアニン含量が少ない傾向であったことについても、温度を高めたことで呼吸が活発となり容器内の CO₂ 濃度が高まったことによると推察された。よって、追熟時には CO₂ 濃度があまり高まらないように処理量や温度に注意する必要があると判断された。なお、本試験で同じ 20℃ で 8kg 入れた条件でも、果実採取日により追熟の成否に差がみられた。ウメ‘南高’果実において、熟度が進んだ果実の方が収穫後の CO₂ の発生が早く多いことが報告されており (稲葉・中村, 1981)、追熟が抑制される CO₂ 濃度に達するまでの時間の差が要因と推察された。

このようにシート状の資材で被覆し追熟する方法では、CO₂ 濃度を高めずにエチレンの漏れを小さくして追熟することが難しいと判断された。また、1 日の出荷量が数トン以上となると追熟処理に多大な労力を要することが予想されたことから、エチレン濃度や温湿度をある程度制御可能であり、フォークリフトにより出し入れできる最大 140 コンテナを処理可能なプレハブ式のエチレン処理庫を JA 紀州が新たに設置した。ただし、本処理庫を用いた最適な追熟方法は明らかでないことから、追熟条件を検討した。エチレンガス処理濃度について北村ら (2018) は 480ppm および 720ppm では 960ppm に比べて不完全着色果の発生が多くなる傾向であること、温湿度について筆者ら (2015, 2016) は温度 20~25℃ で追熟後のアントシアニン含量が多いこと、エチエン発生剤を用いた試験ではあるが、湿度 50% に比べて 90% で追熟後のアントシアニン含量が多いことを報告していることから、今回はエチレン濃度 1,000ppm、温度 20℃、湿度 85% に設定し 2 日間処理し、さらに 2 日間、温湿度のみ設定して追熟することとした。また、CO₂ 濃度の影響を考え、処理量が多い場合は 1 日 1 回換気しつつ処理することとした。

まず、1 回で処理できる最大量を把握するため、コンテナ当たりの果実量を従来の 15kg から 18kg および 20kg に増やすことが可能かを検討した。その結果、果実量を増やしても熟度に関係なく不完全着色果や腐敗果の発生に影響しないことが確認された (図 6, 7)。ただし、コンテナ重量が重いと選果台への運搬が重労働となるため、通常は 15kg で処理することとした。実際、2018 年に JA 紀州へ出荷された果実をコンテナ当たり 15kg としてプレハブ式処理庫で追熟したところ、処理庫内の量に関わらず 4 回の処理とも大半の果実を赤く色づけることが可能であり、不完全着色果および腐敗果の発生は 5% 未満と実用上問題ない程度であった (図 8)。また、見た目での判断にはなるが、収穫コンテナをビニル被覆する従来法と比べて腐敗やつぶれた果実の発生が抑えられていた。次に、他の出荷物への影響を把握するため処理庫開放直後の周辺のエチレン濃度を調査したところ、処理庫前では

742ppm と一時的に高まったが、約 15m 離れると 6ppm であり、約 30m 離れた場所や出荷物のある集荷場 1 階では検出限界以下であった（表 3）。よって、他の出荷物への影響は小さいと判断され、プレハブ式処理庫を用いた約 2 トンの‘露茜’果実を一度に追熟する技術が確立された。

さらに増産が進み出荷が集中した場合、処理庫に入りきらない可能性があるため、次に果実を冷蔵保存した後追熟できないか検討した。なお、冷蔵温度は後述する JA 紀州所有の予冷库の設定温度に合わせて 6°C として試験を行った。その結果、6°C 程度の冷蔵温度で 7 日以内の保存期間であれば、追熟後果実への影響は小さかった（図 9, 10）。なお、4 日冷蔵保存後に追熟した場合、褐変などの障害果の発生が多かったが、この要因は北村ら（2018）の報告と同様、追熟時に発生した結露によると判断された。一方、ウメ果実は 0~2°C よりも 6~8°C で著しい低温障害が発生し（岩田・緒方, 1976；緒方・阪本, 1979），その要因は 1°C よりも 6°C の方が強く酸化ストレスを受けることと報告されている（Imahori et al., 2008）。これらの報告と同様、‘南高’でも 6°C に保存した場合に陥没等の低温障害が多く発生することを確認している（大江ら, 2007b）。しかし、本試験の‘露茜’では低温障害は追熟後も確認されなかった。冷蔵保存期間が 7 日以内と短期間であったことによると考えられるが、スモモ‘ソルダム’の貯蔵適温が 1~5°C であることから（山口, 1993），スモモの形質を受け継ぎ低温障害が起りにくいことも考えられるため、今後検討を要する。

低温保存後の追熟処理法を大規模で実証するため、JA 紀州へ出荷された果実を用いて、追熟庫に入りきらない果実を JA 紀州所有の予冷库（5~6°C）で冷蔵保存し次の処理機会まで繰越しながら追熟した。すると、見た目での判断になるが、冷蔵しないものと大差なく追熟後の果実は着色し、品質低下果実の量も大差がなかった。このことから、予冷库を活用することで、‘露茜’果実のさらなる増産にも対応できる追熟、供給体制が確立された。

最後に、エチレン処理方法の効率化を検討した。北村ら（2018）はコンテナとビニルを用いた方法において、被覆してエチレンを処理する期間を 1 日としても不完全着色果実の発生は少なく、追熟は可能であったと報告している。ただし、被覆期間 1 日では乾燥した果実の発生がみられ、それより長い被覆期間のものとは比べて果実重の減少率がやや多い傾向であることから、ビニル被覆しエチレンを処理する期間を 2 日間とし、その後開放してさらに 2 日間追熟させる方法が最適であるとしている。しかし、プレハブ式処理庫であれば 1 日エチレンを処理した後、温湿度のみを制御して残りの期間に乾燥しないよう制御可能と考えられる。そこで、エチレン処理を 1 日とした場合の果実品質への影響を検討した。その結果、エチレン処理終了後、果実周辺の湿度を高めた状態にしておけば不完全着色果の発生に影響せず、果実重の減少を小さくできることが明らかとなった（図 11）。よって、大規模での実証は今後必要であるものの、エチレン処理期間を 1 日として効率化を図ることが可能と判断された。なお、追熟中に湿度を高めた方が果実のアントシアニン含量が多い傾向であったが、この要因については不明であり、今後検討を要する。

以上のことから、‘露茜’果実の増産に対応した追熟体制が確立され、着色の濃い果実を食品メーカー等へ一度に多くの量を供給することが可能となった。しかし、JA 紀州に出荷された果実を追熟した場合、筆者らが行った試験よりも不完全着色果や腐敗果が多く見られた（図 6, 7, 8）。北村ら（2018）は、開発した CC 値に基づけば、CC 値 0 の果実では追熟しても不完全着色果の発生が多く、CC 値 1~3 の果実が追熟後に比較的多くのアントシアニン量となり、CC 値 1~3 で収穫することが適当としている。筆者ら（大江ら, 2016, 2017）も、CC 値 1 に該当する着色指数 10 以上となる時期に、不完全着色果の割合が大きく減少すること、逆に CC 値 4 以上に該当する着色指数 40 以上となると追熟後果実のアントシアニン量が少ない傾向であることを報告している。本研究におい

て、JA 紀州に出荷された追熟前の果実を観察すると、全く着色していない果実や全体的に赤く色づいた CC 値 4 を大幅に上回る果実の出荷が多く見られた。したがって着色の濃い果実を安定供給するためには、CC 値 1~3 を基準に果実を収穫することの重要性が改めて確認された。

追熟によりアントシアニン含量を高めた‘露茜’果実は現在多くの商品に用いられているだけでなく、2019 年からは生果としても量販店に流通されており、需要量に供給量が追いついていない状況となっている。供給量が伸びていない一因として、‘露茜’は樹勢が弱く、単位面積あたりの収量が‘南高’と比べて低いため、‘露茜’への転換や新植が思うように進んでいないことが挙げられる。これまでせん定法の開発や授粉品種の選定等が検討されてきたが（下ら，2017；竹中，2016，2018；竹中ら，2013），いっそうの産地拡大のためには今後，樹勢を維持しながらさらに多収生産が可能な整枝せん定等の栽培技術開発が必要である。

摘 要

‘露茜’の生産拡大が進み、着色促進のための追熟処理のさらなる効率化が必要となってきたことから、本試験では、一度により大量の果実を追熟するための処理方法を検討した。

1. 追熟時の CO₂ 濃度が高いと不完全着色果の発生やアントシアニン含量の減少を引き起こすことから、追熟時には CO₂ 濃度が高まらないよう処理量や温度に注意する必要がある。
2. 処理量が多い場合は 1 日 1 回換気しつつ処理することで、プレハブ式処理庫を用いた約 2 トンの‘露茜’果実を一度に追熟する技術が確立された。
3. 6°C 程度の温度で 7 日以内の保存期間であれば追熟後果実の品質への影響は小さいことから、予冷庫を活用することで‘露茜’果実のさらなる増産にも対応できる追熟、供給体制が確立された。
4. エチレン処理終了後、果実周辺の湿度を高めておけば不完全着色果の発生に影響せず、果実重の減少を小さくできることから、プレハブ式処理庫を用いる場合、エチレン処理期間を 1 日として効率化を図ることが可能と判断された。

なお本研究は、生研支援センター革新的技術開発・緊急展開事業「特長ある品種のラインアップによるウメ需要拡大と生産者の所得向上」の支援を受けて行った。

引用文献

- 赤木知裕・大崎秀介・有田 慎・三宅英伸・根来圭一・末原慎也・佐藤尚也・仲 幸彦・松川哲也・三谷隆彦. 2011. 梅果実の紅色色素に関する研究. 農化講演集: 237.
- 羽山裕子・阪本大輔・中村ゆり・榎村芳記. 2009. 硬肉タイプのモモを軟化させるための簡便なエチレン処理方法. 日食保蔵誌. 35: 235-240.
- Imahori, Y., M. Takemura and J. Bai. 2008. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume (*Prunus mume*) fruit during low temperature storage. *Postharvest Biol. Technol.* 49: 54-60.
- 稲葉昭次・久保康隆・中村怜之輔. 1989. 青果物の呼吸活性に及ぼすエチレンの作用力とその温度特性. 園学雑. 58: 713-718.
- 稲葉昭次・中村怜之輔. 1981. ウメ果実の樹上及び収穫後の成熟. 園学雑. 49: 601-607.
- 岩田 隆・緒方邦安. 1976. ウメ果実の貯蔵と低温障害に関する研究. (第 1 報) 貯蔵中の外観な

- らびに内的変化の一般的様相. 園学雑. 44: 422-428.
- 北村祐人・大江孝明・下 博圭・竹中正好・城村徳明・佐原重広・植田栄仁・川村 実. 2018. ウメ‘露茜’果実の大量追熟法およびそれに適した収穫時期簡易判定法の開発. 和歌山農林水研報. 6: 37-50.
- Oe, T., N. Sakurai, K. Negoro, A. Kuwabara, M. Okamuro T. Mitani and M. Hosohira. 2012. Relationships between surface blushing and qualitative components of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) 'Nanko' fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81: 11-18.
- 大江孝明・桑原あき・根来圭一・山田知史・菅井晴雄. 2007a. ウメ‘南高’における梅酒用果実の熟度指標に関する研究. 園学研. 6: 77-83.
- 大江孝明・岡室美絵子・根来圭一・土田靖久. 2007b. ウメ‘南高’の貯蔵温度が果実品質に及ぼす影響. 園学研. 6 (別2) : 281.
- 大江孝明・竹中正好・北村祐人・根来圭一・岡室美絵子・土田靖久. 2017. アントシアニン増量のための追熟に適したウメ‘露茜’果実の収穫指標. 和歌山農林水研報. 5: 91-98.
- 大江孝明・竹中正好・根来圭一・古屋挙幸・三谷隆彦. 2015. 梅類果実の赤化方法. 特許第 5796825 号.
- 大江孝明・竹中正好・根来圭一・北村祐人・松川哲也・三谷隆彦・赤木知裕・古屋挙幸・岡室美絵子・土田靖久. 2016. ウメ‘露茜’果実の追熟条件がアントシアニンの蓄積とその他機能性成分含量に及ぼす影響. 園学研. 15: 439-444.
- 大江孝明・竹中正好・櫻井直樹・根来圭一・古屋挙幸・岡室美絵子・土田靖久. 2013. ウメ‘露茜’果実の熟度と着果条件がアントシアニンの蓄積およびその他の機能性成分含量に及ぼす影響. 園学研. 12: 411-418.
- 緒方邦安・阪本隆志. 1979. 青ウメ, トマト果実の品質保持に対する予冷時の低温ショック的效果について. 園芸学収録9集. 146-150.
- Ryugo, K. 1993. 栽培果樹の形態と機能. 果実の成長と発育. 呼吸とエチレン生成. pp. 127-130. 果樹の栽培と生理 (山木昭平ら訳). 文永堂出版. 東京.
- 下 博圭・竹中正好・北村祐人・佐原重広・川村 実. 2017. ウメ‘露茜’の安定生産のためのせん定法の確立. 和歌山農林水研報. 5: 99-105.
- 竹中正好. 2016. ウメ‘露茜’の早期多収生産および高品質果実の供給技術. pp. 61-65. 果実日本. 71. 日園連. 東京.
- 竹中正好. 2018. ウメ‘露茜’栽培と加工のポイント. 露茜. pp. 141-146. 最新農業技術果樹 vol.11. 農文協. 東京.
- 竹中正好・佐原重広・大江孝明・北村祐人. 2013. ウメ‘露茜’に適した授粉品種の選定. 園学研. 12 (別2) : 108.
- 八重垣英明・山口正己・土師 岳・末貞佑子・三宅正則・木原武士・鈴木勝征・内田 誠. 2012. ウメ新品種‘露茜’. 果樹研報. 13: 1-6.
- 山口正己. 1993. 果実の貯蔵. スモモ. pp. 329-332. 伊庭慶昭ら編著. 果樹の成熟と貯蔵. 養賢堂. 東京.
- 山口正己・八重垣英明・末貞佑子・土師 岳・三宅正則・内田 誠. 2008. ウメ新品種‘露茜’. 園学研. 7 (別1) : 299.

ウメ ‘古城’ の結実安定および早期摘果による 樹脂障害果の軽減対策

城村徳明¹・仲 慶晃^{1,4}・下村友季子¹・大江孝明¹・稲葉有里¹・竹中正好¹
・赤木芳尊^{2,5}・前田起男²・佐原重広^{3,6}・橘 実³

¹和歌山県果樹試験場うめ研究所

²和歌山県西牟婁振興局農林水産振興部農業水産振興課

³和歌山県日高振興局農林水産振興部農業水産振興課

Effects of artificial pollination, pinching, and early fruit thinning on the cultivation of Japanese apricot 'Gojiro'

Noriaki Jomura¹, Yoshiaki Naka^{1,4}, Yukiko Shimomura¹, Takaaki Oe¹, Yuri Inaba¹, Masayoshi Takenaka¹, Yoshitaka Akagi^{2,5}, Tatsuo Maeda², Shigehiro Sahara^{3,6} and Minoru Tachibana³

¹*Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture*

²*Nishimuro Promotions Bureau, Wakayama Prefecture*

³*Hidaka Promotions Bureau, Wakayama Prefecture*

緒 言

和歌山県のウメ‘古城’は‘南高’に次ぐ主力品種であり、「青いダイヤ」と称され西牟婁地域を中心に栽培されている。‘古城’は早生の大梅品種として市場から高いニーズがあり、消費者からも根強い人気がある。また、5月中旬の小梅から‘古城’、‘南高’と続くリレー販売において‘古城’は不可欠であり、‘南高’の売場確保に繋がる。しかし、‘古城’は樹勢が強く結果枝が少ないため着果が安定せず（谷口，2008）、果肉細胞数が少ない細胞肥大型で樹脂障害果の発生が多い品種である（Yamaguchi et al., 2004）。このことから、本県主産地の栽培面積や生産量は年々減少傾向にある。

過去に‘古城’の安定生産のため授粉品種の検討が行われたが、その後近年の気象変動等により開花期のずれが生じている（私信）。人工授粉はさまざまなウメ品種で着果率向上効果が認められているが（渡辺ら，1978）、本県の‘古城’において人工授粉を導入している生産者はほとんどいないのが現状である。また、‘古城’では本県主産地において高単価の大玉果生産のために摘果処理が行われているが、摘果処理時期が遅れると果実の肥大効果が低く、一方で、果実の二次肥大の促進により樹脂障害果の発生（猿橋ら，1999）が問題となる。

そこで本試験では、‘古城’の結実安定のために近年の気候条件に合った授粉品種の選定、人工授粉方法および効果、‘南高’で効果が認められている春季の摘心処理（竹中ら，2011）による収量向上と省力効果および早期の摘果処理が樹脂障害果の発生軽減に及ぼす影響について検討した。

⁴現在：JA グループ和歌山農業振興センター

⁵現在：退職

⁶現在：和歌山県農林水産部果樹園芸課

材料および方法

1. ‘古城’に適した受粉品種の選抜および人工授粉効果

1) ‘古城’の授粉樹候補品種における開花期間調査

うめ研究所で，‘古城’と開花期に近いとされる品種である‘八郎’，‘橙高’および‘養青’ならびに本県の主要品種である‘南高’をそれぞれ2樹供試し，2017年（14年生）から2019年（16年生）にかけて‘古城’と開花期を調査した。

2) ‘古城’に対する交配親和性試験

うめ研究所植栽の棚仕立て‘古城’を供試し，2018年（15年生）から2019年（16年生）に授粉樹候補品種の花粉を授粉し交配親和性の調査を行った。処理の方法は，訪花昆虫による授粉を防ぐためネットで樹を囲み閉鎖された環境で，上記1)と同じ‘八郎’，‘橙高’および‘養青’と‘南高’の花粉を‘古城’の短果枝または中果枝に着生した花の雌ずいに人工授粉を行った。なお，授粉は筆を用い，1供試品種につき300以上の‘古城’の雌ずいに授粉を行った。人工授粉は‘古城’の花が3～5分咲いた頃に行い，2018年は3月1日，2019年は2月26日に行った。着果率は，不受精果落果後の4月上旬，第二次生理落果後の5月上中旬にそれぞれ調査した。

3) 人工授粉の効果試験

2018年に和歌山県田辺市新庄町現地園植栽の棚仕立て‘古城’13年生3樹を供試し，人工授粉の効果の検討を行った。花粉はうめ研究所内ほ場で同年に採取した小梅，‘NK14’および‘南高’の混合粗花粉とし，開葯精製し着色石松子で体積比の約4倍に希釈したものをを用いた。授粉方法は人工交配器（株式会社ミツワ，ラブタッチSK-5），毛ハタキ（株式会社ミツワ，SK-50）を用いた。1樹の棚の平面を3分割し，人工交配器区，毛ハタキ区および無処理区をそれぞれ設定し，2月26日（3分咲き時）および3月2日（8分咲き時）に人工授粉を行った。なお，無処理区はネット等で樹を囲まず，訪花昆虫による授粉が行われる環境とした。調査項目は，3月2日の8分咲き時の処理時間および花粉使用量，3月29日の不受精果落果後および4月19日の第二次生理落果後の着果率とした。

2. 春季の摘心処理が枝梢伸長および収量に及ぼす影響

和歌山県御坊市藤田町現地園植栽の2本主枝仕立て‘古城’3樹を供試し，2017年（20年生）から2019年（22年生）にかけて春季の摘心による収量向上と省力効果の検討を行った。1樹1主枝ごとに摘心区と慣行区を設定し，摘心処理は2017年は5月8日，5月19日および6月20日，2018年は5月1日および5月10日，2019年は5月10日および5月28日に行った。摘心処理方法は，竹中ら（2011）の報告を参考に，5月上旬頃から主枝や垂主枝など背部から直上発生した20～30cm程度の新梢を，基部から10～20cm程度残して先端を切り返し，翌年の結果枝とした。両区の発育枝発生本数（基部が木質化した50cm以上の1年枝），せん定枝重および収量は2017年から3年間，結果枝数は2018年から2年間調査した。なお，2018年は摘心区，慣行区ともに開花時（3，5，8分咲き時の3回）に人工授粉を行った。方法は上記1-3に準じた。

3. 果肉細胞分裂期間中の早期摘果が果実肥大および樹脂障害果の発生軽減に及ぼす影響

田辺市新庄町現地園植栽の棚仕立て‘古城’を供試し、2017年（12年生）から2019年（14年生）にかけて早期摘果による樹脂障害果軽減効果の検討を行った。早期摘果処理樹は、2017年と2018年は各6樹、2019年は3樹とし、慣行摘果処理樹はいずれの年も3樹とした。

2017年の早期摘果処理は果肉細胞分裂期間中の果実タテ径が10mm（満開後30～40日）の時期に行い、着果数を70～170果/m²に調整した。慣行の摘果処理は果肉細胞分裂停止後の果実タテ径が20mm（満開後52日）の時期に行い、着果数は55～70果/m²であった。

2018年の早期摘果処理は粗摘果と仕上げ摘果の2回処理とし、粗摘果は果肉細胞分裂期間中の果実タテ径が10mm（満開後24～26日）の時期に行い、着果数を160果/m²に調整した。仕上げ摘果は果肉細胞分裂停止後の果実タテ径が25mm（満開後41日）の時期に行い、着果数を100果/m²に調整した。慣行の摘果処理は果肉細胞分裂停止後の果実タテ径が25mm（満開後41日）の時期に行い、着果数は77～114果/m²であった。

2019年の早期摘果処理は果肉細胞分裂期間中の果実タテ径が10mm（満開後34日）の時期に行った。着果程度は、短果枝は1果、中果枝は2～3果とし、摘果後の着果数は51～64果/m²であった。慣行の摘果処理は果肉細胞分裂停止後の果実タテ径が25mm（満開後53日）の時期に行った。摘果程度は早期摘果処理と同様とし、摘果後の着果数は26～70果/m²であった。

摘果処理による果実肥大への影響を計測するため、果実側径を早期摘果処理時から収穫期まで、2017年は6～9日間隔、2018年は5～8日間隔、2019年は3～14日間隔で調査した。果肉細胞数は、早期摘果処理日から細胞分裂が停止するとされる4月中下旬頃まで5～9日間隔で、それぞれの処理区より採取した平均的な果実3果の果実横径、核横径、果肉細胞径を測定し算出した。果肉細胞径は、採取した果実の果実赤道部の果肉切片を顕微鏡撮影した果肉細胞画像から、画像計測ソフト（ケニス株式会社、フォトメジャー）を用いて1果あたり10個の果肉細胞を測定し、平均値を算出した。果肉細胞数はYamaguchi et al. (2004)の方法を参考に下式により算出した。

$$\text{果肉細胞数} = (\text{果実横径} - \text{核横径}) / \text{果肉細胞径}$$

なお、2019年は収穫期まで果肉細胞径を計測し、果肉細胞肥大の推移を調査した。

また、5月下旬の収穫時にS～4L級果実の100果あたりの樹脂障害果数を調査し、全収穫果実数に換算して100果あたりの樹脂障害果数を算出した。

結 果

1. ‘古城’に適した授粉品種の選抜および人工授粉効果

1) ‘古城’の授粉樹候補品種における開花期間調査

授粉樹候補品種である‘八郎’、‘橙高’および‘養青’は、‘南高’より遅く開花した（表1）。

‘古城’と開花期間が合致する日数は、‘八郎’では12～15日、‘橙高’では10～21日、‘養青’では9～15日であり、‘南高’の1～5日より長かった。

表1 ‘古城’ および授粉樹候補品種の開花期

年	品種名	開花期 ²			開花期間 (日)	古城との開花 合致日数 (日)
		始期	盛期	終期		
2017	古城	3月1日	3月8日	3月21日	21	-
	南高	2月15日	2月22日	3月1日	15	1
	八郎	2月22日	3月1日	3月15日	22	15
	橙高	2月22日	3月1日	3月21日	29	21
	養青	2月22日	3月1日	3月15日	22	15
2018	古城	3月1日	3月5日	3月16日	16	-
	南高	2月21日	2月26日	3月5日	13	5
	八郎	2月27日	3月2日	3月15日	17	15
	橙高	2月25日	2月27日	3月12日	16	12
	養青	3月1日	3月4日	3月14日	14	14
2019	古城	2月25日	3月3日	3月12日	16	-
	南高	2月7日	2月18日	3月1日	23	5
	八郎	2月22日	2月25日	3月8日	15	12
	橙高	2月14日	2月20日	3月6日	21	10
	養青	2月22日	2月25日	3月5日	12	9

²開花期始期は2割開花時、盛期は8割開花時、終期は8割落弁時

2) ‘古城’ に対する交配親和性試験

2018年の花粉品種別の着果率は、不受精果落果後の4月2日では‘八郎’の35.9%が最も高く、次いで‘橙高’，‘南高’の順で‘養青’の9.4%が最も低かった(表2)。第二次生理落果後の5月11日においても着果率は不受精果落果後の4月2日と同順で‘八郎’が32.1%と最も高く，‘養青’が8.3%と最も低かった。

2019年の花粉品種別の着果率は、不受精果落果後の4月9日および第二次生理落果後の5月8日ともに品種別に大きな差は認められなかったが，‘橙高’でそれぞれ40.3%，7.7%と最も高い着果率であった。

表2 ‘古城’ と授粉樹候補品種との交配親和性

年	品種名	人工授粉数 (花)	不受精果落果後 ^z		第二次生理落果後 ^y	
			着果数 (果)	着果率 (%)	着果数 (果)	着果率 (%)
2018	南高	354	86	24.3	70	19.8
	八郎	312	112	35.9	100	32.1
	橙高	318	100	31.4	92	28.9
	養青	373	35	9.4	31	8.3
2019	南高	313	89	28.4	20	6.4
	八郎	304	75	24.7	15	4.9
	橙高	310	125	40.3	24	7.7
	養青	305	96	31.5	17	5.6

^z不受精果落果後の調査は、2018年は4月2日、2019年は4月9日

^y第二次生理落果後の調査は、2018年は5月11日、2019年は5月8日

3) 人工授粉の効果確認試験

‘古城’ 8分咲き時の人工授粉処理時間は、人工交配器区で16秒/m²と毛ハタキ区の12秒/m²と比べて長い傾向であった(図1)。花粉使用量は、毛ハタキ区で0.73g/m²と人工交配器区0.27g/m²の2.7倍量必要であった(図2)。

人工授粉による‘古城’の着果率は、いずれの区において傾向は見られなかったが、不受精果落果後の3月29日では人工交配器区で27.6%，毛ハタキ区で30.0%と無処理の18.9%より高い値となった(図3)。同様に第二次生理落果後の4月19日でも人工授粉両区で25.0%以上と無処理区の17.9%より高い値となった。

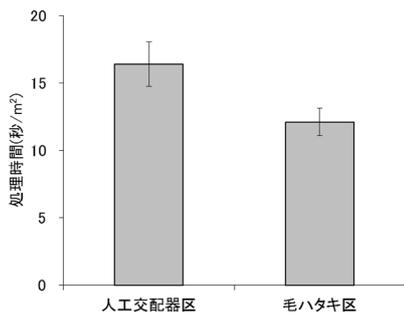


図1 人工授粉方法別の1m²あたりの処理時間

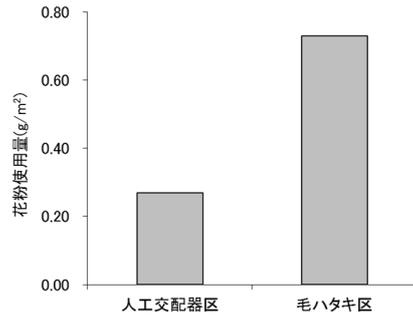


図2 人工授粉方法別の1m²あたりの花粉使用量

縦棒は標準誤差を示す (n=3)

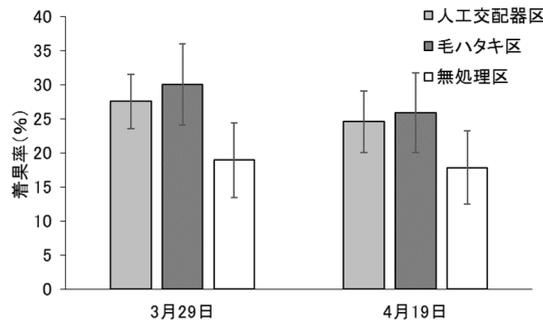


図3 人工授粉方法別の着果率

縦棒は標準誤差を示す (n=3)

2. 春季の摘心処理が枝梢伸長および収量に及ぼす影響

発育枝発生本数は、3年間とも摘心区が1本/m²以下で慣行区の5~8本/m²に比べて有意に少なくなった(図4)。せん定枝重は、3年間とも摘心区が0.2kg/m²以下で慣行区の0.43~0.67kg/m²に比べて有意に軽くなった(図5)。

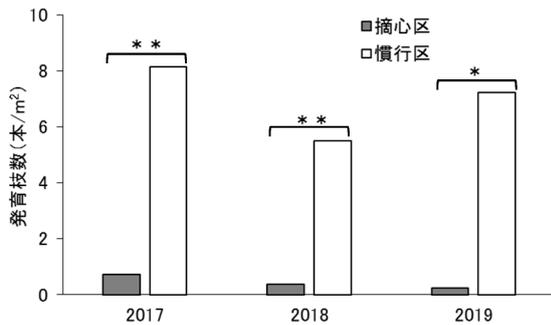


図4 摘心区および慣行区の1m²あたりの収量

t検定により、**は1%水準、*は5%水準で有意差があることを示す (n=3)

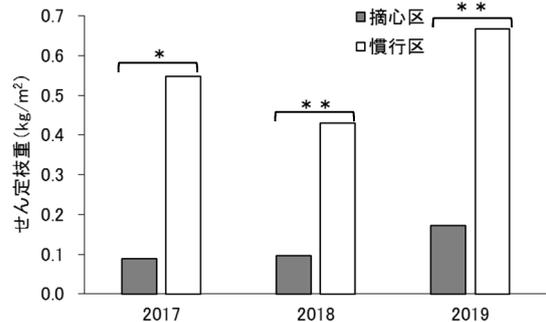


図5 摘心区および慣行区の1m²あたりのせん定枝重

t検定により、**は1%水準、*は5%水準で有意差があることを示す (n=3)

結果枝数について、2018年は摘心区で197本/m²と慣行区の81本/m²に比べて多い傾向となり、2019年も摘心区で145本/m²と慣行区の64本/m²より多くなった(図6)。

収量について、2017年は処理1年目のため摘心処理による差は見られなかった(図7)。2018年は、処理による差は見られなかった。処理3年目の2019年は、摘心区が0.6kg/m²と慣行区の0.3kg/m²に比べて多い傾向となった。

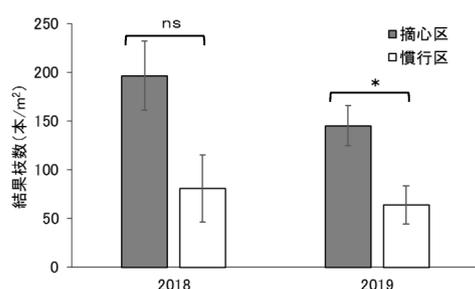


図6 摘心区および慣行区の1m²あたりの結果枝数
t検定により,*は5%水準で有意差があり, nsは有意差がないことを示す (n=3)
縦棒は標準誤差を示す

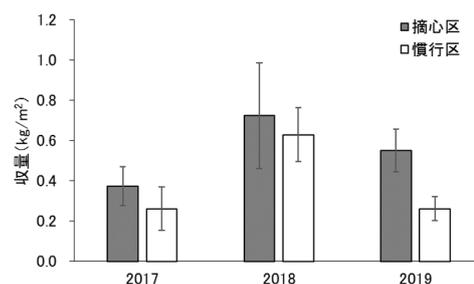


図7 摘心区および慣行区の1m²あたりの収量
2018年は両区とも人工授粉を行った
縦棒は標準誤差を示す (n=3)

3. 果肉細胞分裂期間中の早期摘果が果実肥大および樹脂障害果の発生軽減に及ぼす影響

早期摘果区の果実は3年間とも慣行区と比較して摘果直後から肥大が促進される傾向が見られた(図8)。

果肉細胞分裂停止後の果肉細胞数は, 3年間とも早期摘果処理により96~98個となり, 慣行摘果区の85個より多くなった(図9)。細胞分裂停止日は, 2017年では慣行区で4月10日であったが早期摘果区では4月19日となり9日延長された。2018年は慣行摘果区の果肉細胞数が3月27日から横ばいで推移したため早期摘果処理日には細胞分裂が停止していたと推測される。一方で, 早期摘果区では4月4日にかけて果肉細胞数の増加が確認された。しかし, 2019年は早期摘果区と慣行摘果区ともに果肉細胞数の増加は4月12日まで確認された。

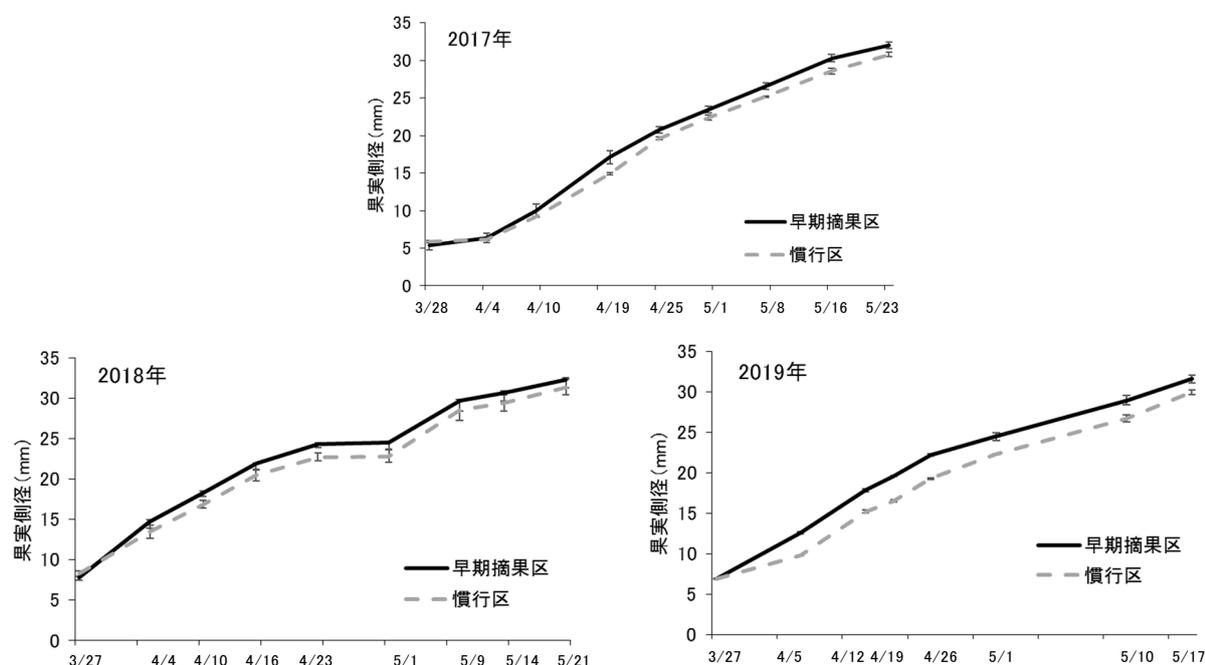


図8 早期摘果区および慣行区の果実肥大の推移

縦棒は標準誤差を示す (2017年と2018年は早期摘果区 n=6, 慣行区 n=3; 2019年はともに n=3)

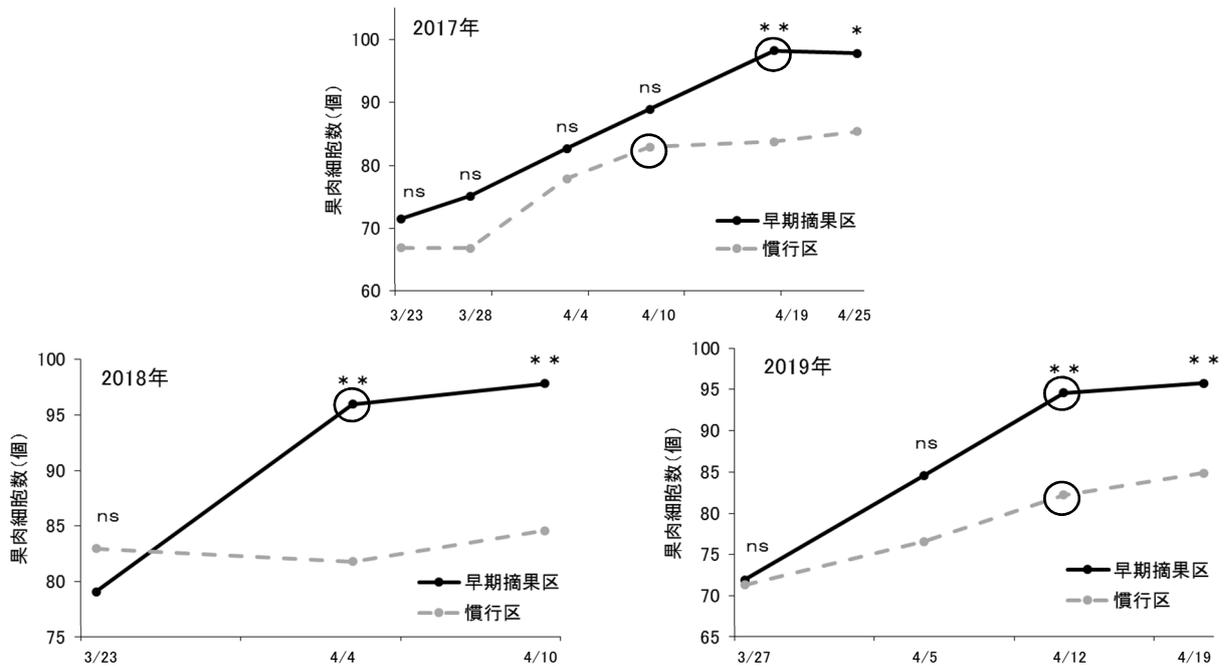


図9 早期摘果区および慣行区の果肉細胞数の推移

t検定により，**は1%水準，*は5%水準で有意差があり，nsは有意差がないことを示す

2017年と2018年は早期摘果区 n=6, 慣行区 n=3; 2019年はともに n=3

図中の○は果肉細胞分裂停止日を示す

2019年の早期摘果処理日から収穫期までの果肉細胞径は、4月19日までは両区において差は見られないまま推移したが、収穫期には早期摘果区で143 μ mと慣行摘果区の161 μ mより小さくなった(図10)。

100果あたりの樹脂障害果発生数は、慣行摘果区と比較して2017年は早期摘果区で8.7果と少なく、2018年は早期摘果区で17.3果と少ない傾向であったが、2019年は早期摘果による差は見られなかった(図11)。

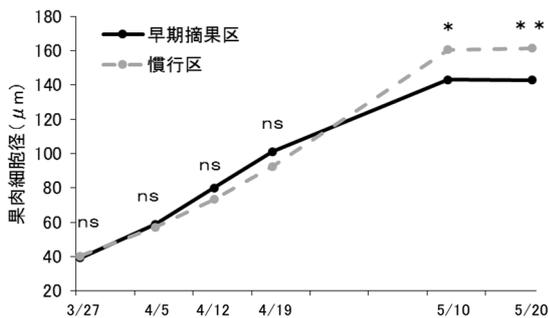


図10 早期摘果区および慣行区の果肉細胞径の推移

t検定により，**は1%水準，*は5%水準で有意差があり，

nsは有意差がないことを示す (n=3)

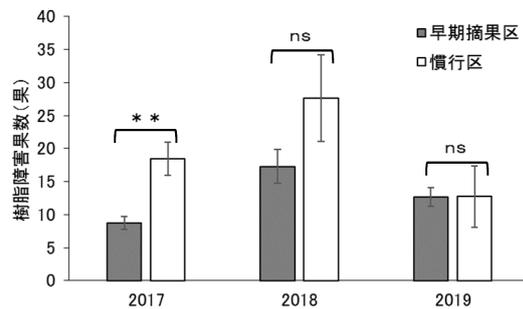


図11 早期摘果区および慣行区の100果あたりの

樹脂障害果数

t検定により，**は1%水準有意差があり，nsは有意差がない

ことを示す (2017年と2018年は早期摘果区 n=6, 慣行区

n=3; 2019年はともに n=3)

縦棒は標準誤差を示す

3年間の慣行摘果区における、雨量、果実縦径肥大率と100果あたりの樹脂障害果数の関係について、図8の2018年の果実肥大曲線から第一次果実肥大期を4月1日～30日、第二次果実肥大期を5月1日～収穫日までと設定したところ、100果あたりの樹脂障害果数が27.6果と最も多かった2018年において、第一次果実肥大期の雨量が75.0mm、果実肥大率が199%と最も低かったが、第二次果実肥大期の雨量が235.0mm、果実肥大率が138%と高かった(表3)。一方で、100果あたりの樹脂障害果数が12.7果と最も少なかった2019年において、第一次果実肥大期の雨量が115.5mmで果実肥大率が280%と樹脂障害果数の多かった2018年より高かったが、第二次果実肥大期の雨量が29.5mm、果実肥大率が125%と最も低かった。

表3 慣行樹の果実側径肥大率と100果あたりの樹脂障害果数

	2017年		2018年		2019年	
	雨量 ² (mm)	果実肥大率 ¹ (%)	雨量 (mm)	果実肥大率 (%)	雨量 (mm)	果実肥大率 (%)
第一次果実肥大期	178.5	368	75.0	199	115.5	280
第二次果実肥大期	69.0	138	235.0	138	29.5	125
樹脂障害果数 (果)	18.4		27.6		12.7	

²南紀白浜観測地点(気象庁)における雨量データ

¹第一次果実肥大率は4月1日の果実を100とした4月30日の肥大率、第二次果実肥大率は5月1日を100とした収穫日の肥大率
収穫日(2017年:5月24日、2018年:5月25日、2019年:5月20日)

考 察

ウメの結実確保と安定生産のためには、充実した花づくり、授粉樹の混植、訪花昆虫の導入、花や幼果の霜害対策などに取り組むことが一般的である。しかし、気象条件によって開花期のずれが生じると、受粉の効率が悪くなり結実不良になることが多い。

‘古城’は自家不和合性であるため、授粉樹を必要とする。‘南高’とは高い交雑親和性を示したものの、開花期間が重複する日数が1～5日と短い。一方で、‘八郎’、‘橙高’および‘養青’の開花期は‘南高’より遅いため、‘古城’との開花期が重複する日数が9～21日と‘南高’より長くなった(表1)。交配親和性については‘八郎’と‘橙高’が安定しており、‘養青’は年次変動が大きかった(表2)。中川(1965)は、ウメ授粉品種の条件として開花期が合致し、かつ結実率が高いことが必要とされている。このことから、本研究においては‘古城’に適した授粉品種は‘八郎’と‘橙高’が最も有望と考えられた。‘白加賀’と授粉品種の開花期のずれを緩和するため、授粉品種については開花の遅い長中果枝を多く残すとともに、開花期の異なる2品種以上の導入を推奨している。また、ウメの長果枝は結実が劣る傾向であるが、主要品種との開花期のずれを少なくし受粉効率を高めるためには、授粉品種の長中果枝を残す配慮が必要と報告している。さらに、‘白加賀’は授粉品種よりも開花期間がやや遅い傾向にあり授粉品種の開花後せん定により、10日程度開花期間が延長され‘白加賀’の結実が安定すると報告している(渡辺ら、1978;大坪ら、1977;松波・吉岡、1998)。このことから、‘古城’の授粉品種として開花期の早い‘南高’を導入する場合は、長中果枝を残す弱せん定や開花後せん定を行い、開花期間を延長させることが重要と考えられる。中西・一井(1978a)は、授粉品種との開花期間の不一致が大きかった年でも、授粉品種の混植率が高い園では安定した結実状態であったと報告している。これらの結果や報告から、‘古城’の授粉品種として有望な品種は、開花期間が合致し交配親和性の高い‘八郎’と‘橙高’であり、これらを導入することに加えて‘南高’の長中果枝を利用することにより3品種となり、

‘古城’の更なる結実安定に寄与すると考えられる。

開花時の気象条件が不良の場合には、訪花昆虫による自然交配が不確実となるため、人工授粉を検討する必要がある。渡辺ら（1978）は、‘白加賀’の結実不良園に人工授粉を行うと効果が高いと報告している。中西・一井（1978b）は、無花粉品種である‘古城’は、受粉率の多少が結実と密接な関係があり、訪花数は無花粉品種より有花粉品種で増加すると報告している。このことから、本県の‘古城’に対しても人工授粉を行った結果、傾向は見られないものの着果率は無処理と比べて高い値となった（図 3）。また、人工授粉の方法においては、人工交配器と毛ハタキの間の着果率に差は見られなかった。しかし、人工授粉処理時間と花粉使用量に差があったため（図 1, 2）、他の栽培管理作業との時間配分や人工授粉に使用できる花粉量を考慮する必要がある。松波・吉岡（1998）は、花粉採取には授粉品種の開花後せん定法の応用として、授粉品種が 3～5 分咲きの頃にせん定して花蕾を採取すると、簡易でかつ多量の花粉を採取できると報告しており、‘古城’の授粉品種に‘南高’を導入した場合は開花後せん定による花粉採取が効率的と考えられる。

‘古城’は、長大な発育枝が発生し、結実しやすい細い緑枝が少ないため収量は少なくなりやすい（谷口，2008）。そこで、‘古城’の春季の摘心処理が枝梢および収量に及ぼす影響を検討した。竹中ら（2011）は、‘南高’の春季の摘心処理により、発育枝の発生抑制、樹冠内部の受光態勢の改善による花芽の増加、結果枝増加による収量増、冬季のせん定作業の省力化につながると報告している。本試験でも同様に‘古城’に春季の摘心処理を行った結果、発育枝の発生が抑制され、結果枝の増加により収量が増加する傾向が認められた（図 4, 6, 7）。更に、冬季のせん定時に発生するせん定枝量が少なく、せん定作業の省力化が確認された（図 5）。これらのことから、‘古城’においても‘南高’と同様に春季の摘心処理は有効であると考えられる。

ウメの樹脂障害果の発生は核付近にできた空洞に樹脂状物質が充満しそれが果皮まで達し、噴出する（村上ら，1976；上中，2006）。ウメの樹脂障害果は品種により発生程度が大きく異なり、細胞肥大型に位置づけられる‘古城’では果肉細胞数が少なく生育後半の細胞肥大が大ききことが原因で樹脂障害の発生が多くなる（Yamaguchi et al., 2004）。また、猿橋ら（1999）は、‘紅サン’の樹脂障害果の発生は果実の二次肥大速度と関係があると報告している。本試験でも同様に、樹脂障害果の発生は硬核期以降の第二次果実肥大期の果実肥大が旺盛な年に多くなる傾向が認められた（表 3）。大友（2019）は、ナシの果実の初期肥大は前年に蓄えられた貯蔵養分によってまかなわれるため、着果量が多くなると個々の果実に対する分配量の低下を招くが、早期摘果の実施により果実の肥大が促進されると報告している。城村ら（2009）は、‘南高’梅干しの果肉硬化障害は核付近の果肉に空洞が発生し、空洞に隣接した組織の細胞壁に傷害カロールが蓄積したものであること、東ら（2009）は、‘南高’に発生する果肉硬化障害は、細胞分裂停止後の硬核期以降に摘果処理を行うと果実肥大が旺盛となり、果肉内に空洞が多発すると報告している。これらの知見をもとに、‘古城’において果肉細胞分裂期間中の早期摘果を行い、果肉細胞数と樹脂障害果の発生に及ぼす影響について検討した。早期摘果を行うと処理直後から果実肥大が促進される傾向が見られた（図 8）。早期摘果により、果肉細胞分裂期間中の果実肥大は果実間で養分競合が少なくなり、果肉細胞分裂が活発になることで果肉細胞数が増加したためと考えられ、果肉細胞分裂停止後の果実肥大は増加した個々の果肉細胞が増大したためと考えられる。また、果肉細胞分裂期間については早期摘果により延長される可能性が示された（図 9）。樹脂障害果の発生については早期摘果により少なくなる傾向が見られた（図 11）。Yamaguchi et al.（2004）は、果肉細胞数が多く細胞肥大が少ない細胞数型のウメ品種では樹脂障害果の発生が少ないと報告しており、供試した‘古城’は

果肉細胞数が少ない細胞肥大型の品種であるが、早期摘果により果肉細胞数が増加し樹脂障害果の発生が抑制されたと考えられる。2019年は第二次果実肥大期の少雨で果実肥大率が低く樹脂障害果の発生が少ない年であったため、早期摘果区の樹脂障害果の発生は慣行区との差が見られなかったが、果肉細胞数は増加し、収穫前の細胞径では慣行摘果区より小さくなった（図11、表3）。このことから、仮に第二次果実肥大期に降雨量が増加し、果実の急激な肥大が起きやすい気象条件になったとしても、樹脂障害果の発生は慣行区より少なくなったものと推察された。

摘 要

本試験では、‘古城’の安定生産のために近年の気候条件に合った授粉品種、人工授粉、春季の摘心処理による増収効果および早期の摘果処理が樹脂障害果発生抑制に及ぼす影響について検討した結果、以下の4点が明らかになった。

1. ‘古城’に適した授粉品種は、開花期が重複する日数と交配親和性から判断して‘八郎’と‘橙高’が最も有望と考えられる。また、‘南高’の開花日は‘古城’より早いですが交配親和性が高いため、長中果枝を残す弱せん定や開花後せん定を行い開花期間を延長させると授粉品種として有効と考えられる。
2. ‘古城’に対して人工授粉は有効である。人工交配器と毛ハタキの人工授粉方法の違いによる着果率に差はなかったが、人工授粉処理時間と花粉使用量に差があったため、他の栽培管理作業との時間配分や人工授粉に使用できる花粉量を考慮する必要がある。‘南高’を授粉樹とする場合は、開花後せん定を行い3～5分咲きの頃にせん定して花蕾を採取すると、簡易かつ大量に花粉を採取できる。
3. ‘古城’において‘南高’と同様に春季の摘心処理を行うと、発育枝の発生抑制、結果枝の増加による収量の増加および冬季のせん定作業の省力化が期待できる。
4. ‘古城’に果肉細胞分裂期間中の早期の摘果処理を行うと、果実肥大が促進されるとともに、果肉細胞分裂期間が延長し、果肉細胞数が増加することによる樹脂障害果発生抑制効果が期待できる。

本研究の実施にあたり、園地を使用させていただいた濱本寿和氏および阪東祐司氏、収穫作業および着果調査等にご協力いただいた紀南農業協同組合の職員の皆様に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 東 卓弥・城村徳明・土田靖久・竹中正好・三宅英伸. 2009. ウメ‘南高’塩漬け果実に発生する果肉硬化障害（シコリ果）に対する摘果処理並びに果肉への物理的障害の影響. 和歌山県農総技セ研報. 10. 7-12.
- 城村徳明・櫻井直樹・土田靖久・三宅英伸・東 卓弥・竹中正好. 2009. ウメ‘南高’塩漬け果実に発生する果肉硬化障害の発生原因. 園学研. 8. 181-186.
- 松波達也・吉岡正明. 1998. ウメの結実安定をねらいとした授粉樹の開花後せん定法. 群馬園試研報. 3. 1-8.
- 村上 來・前田 知・黒上九三郎. 1976. ウメの樹脂障害果の発生要因と防止に関する研究. 徳島

- 果試研報. 5. 75-96.
- 中川行夫. 1965. 気象から見たウメ栽培上の問題点. 農業および園芸 40. 1733-1736.
- 中西テツ・一井隆夫. 1978a. ウメ無花粉品種の結実要因に関する研究Ⅰ. 開花期の2, 3の要因と結実傾向について. 神大農研報. 13. 61-67.
- 中西テツ・一井隆夫. 1978b. ウメ無花粉品種の結実要因に関する研究Ⅲ. 訪花昆虫の飛来と結実について. 神大農研報. 13. 75-80.
- 大友忠三. 2019. ナシ西洋ナシ. 基本技術編. 生育過程と技術. 適正着果. 摘果. p. 34-41. 農業技術大系果樹編 3. 農文協. 東京.
- 大坪孝之・加藤弘昭・川上忠夫・永沢勝雄. 1977. ウメの結果生理に関する研究(第1報) 結果枝の長さとおよび結果との関係. 春季園芸学会発表要旨. 84-85.
- 猿橋由恵・山本 仁・中川文雄. 1999. ウメの樹脂障害果の発生実態. 園芸雑. 68(別1). 375.
- 竹中正好・三宅英伸・根来圭一. 2011. 春季の摘心処理がウメ‘南高’の収量および作業性に及ぼす影響. 和歌山県農総技セ研報. 12. 63-67.
- 谷口 充. 2008. 整枝・せん定. p. 88-91. 改訂ウメの作業便利帳. 農文協. 東京.
- 上中昭博. 2006. ウメの果肉障害の症状の分類. 園学雑. 75(別1). 74.
- 渡辺 進・川口松男・村岡邦三. 1978. ウメの生産安定技術の確立Ⅲ受粉樹と受粉法について. 群馬園芸報告. 6. 30-42.
- Yamaguchi, M., T. Haji and H. Yaegaki. 2004. Differences in mesocarp cell number, cell length and occurrence of gumming in fruit of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) cultivars during their development. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 73: 200-207.

龍神地鶏の産卵特性調査 (第2報) 産卵後期の産卵・卵質・卵殻表面の調査

橋本典和・松井 望・豊吉正成

和歌山県畜産試験場養鶏研究所

Egg Laying Characteristic Investigation of The Ryujin-Jidori Part2 Investigation of Egg Laying, Egg Quality, and Eggshell Surface in The Late Stage of Spawning

Norikazu Hashimoto, Nozomu Matsui and Masanari Toyoshi

Laboratory of Poultry, Livestock Experiment Station, Wakayama Prefecture

緒 言

龍神地鶏は和歌山県田辺市龍神村で古くから維持されてきた日本鶏で、成鶏雄は「赤笹」の羽装を示し、成鶏雌は一般の赤笹羽装の雌と同様の梨地であるが、背部から胸部の羽毛に黒色覆輪がある特徴的な羽装を示す(写真1, 2)。当該品種は長年小規模集団で交配を繰り返してきた結果、近親交配が進み、遺伝的多様性が低下しているため、早急な増殖、保護が必要と示唆されている(岡ら, 2009)。

このことから当所は2012年度より「龍神地鶏保存事業」を開始、県内外の龍神地鶏愛好家および広島大学と協力し、増殖・保護および特性調査の取り組みを続けている。前報では、当所でふ化育成した龍神地鶏集団の産卵率や卵質の推移等に関する特性調査を実施した。今回は龍神地鶏集団の産卵後期の産卵率や卵質の推移に加え、卵殻表面の調査も併せて実施したのでその概要を報告する。



写真1 龍神地鶏雄



写真2 龍神地鶏雌

材料および方法

当所で飼育している龍神地鶏から採取した種卵 326 個（3つの交配家系 [I, II, III] でいずれも自然交配）を 2018 年 11 月に孵卵器（株式会社昭和フランキ ELECTRIC INCUBATOR P05）にてふ化、6 週齢までバタリーケージ、6 週齢～17 週齢まで育成ケージ（開放鶏舎）、以降平飼い（開放鶏舎）にて雌雄別飼育した。雌雄判別は 12 週齢の時点で目視にて判別した。飼料は 6 週齢まで採卵鶏幼雛用（CP21%以上、ME2900kcal 以上）、6 週齢～10 週齢まで採卵鶏中雛用（CP18%以上、ME2800kcal 以上）、10 週齢～15 週齢まで採卵鶏大雛用（CP15%以上、ME2800kcal 以上）、以降採卵鶏成鶏用飼料（CP17%以上、ME2850kcal 以上）を給与した。鶏病対策はふ化時にマレック病生ワクチン（ワクチノーバ株式会社 2 価 MD 生ワクチン（H+S）2000）を皮下投与、鶏痘生ワクチン（一般財団法人日本生物科学研究所 穿刺用鶏痘ワクチン）を翼膜接種、1 週齢に NB ワクチン（一般財団法人 化学及血清療法研究所 ニューカッスル・IB 混合生ワクチン）、2 週齢に IBD ワクチンを飲水投与、10 週齢に混合不活化ワクチン（一般財団法人化学及血清療法研究所 ニューカッスル病・鶏伝染性気管支炎 2 価・鶏伝染性コリーザ（A・C 型）混合（油性アジュバント加）不活化ワクチン）を皮下接種した。光線管理は日照時間を含め 14 時間とした。調査項目は平均種卵卵重、受精率、ふ化率（対受精）、雌雄比（雌雄判別時点の比率）、育成率（初生時～20 週齢時まで）、産卵個数（52～72 週齢まで毎日、個体ごと）、ヘンデイ産卵率（家系ごと、全体）、卵殻状態評価（卵殻表面の状態を、全体的に粗雑～全体的に平滑の間で 1～5 の 5 段階評価、1～3 を不良、4～5 を良、個体ごと）、卵質検査（52～72 週齢まで週 1～5 日の頻度で実施し、実施日の前日に産卵したものを全て採取し検査材料とした）とした。卵質検査は、卵殻厚（ミットヨ社製 デジマチック標準外側マイクロメータ）、卵重、卵殻破壊強度、ハウユニットおよび卵黄係数（株式会社ナベル DIGITAL EGG TESTER DET6500）を測定した。産卵に関する調査には、52 週齢の調査開始時点で生存していた雌個体（家系 I : 41 羽、II : 14 羽、III : 11 羽）を用いて実施した。なお、各項目の平均値は平均値±標準偏差で表記する。

結 果

試験鶏のふ化および育成に関する項目の結果は次のとおりであった（表 1）。受精率は全体で 326 個中 183 個受精し 56.1%，家系 I，II，III でそれぞれ 60.7%，44.4%，63.3%であった。受精卵のふ化率は全体で 183 個から 145 羽ふ化し 79.2%，家系 I，II，III でそれぞれ 88.0%，75.0%，54.8%であった。雌雄割合は全体で雄 48.1%（64 羽）雌 51.9%（69 羽）、家系 I，II，III でそれぞれ雄 52.2%（48 羽）雌 47.8%（44 羽）、雄 46.2%（12 羽）雌 53.8%（14 羽）、雄 26.7%（4 羽）雌 73.3%（11 羽）で家系 III において雌割合が大きかった。育成率は全体で 91.7%，家系 I，II，III でそれぞれ 96.8%，78.8%，88.2%で、いずれの家系においても斃死した個体は雌雄判別前（12 週齢）であった。

表1 龍神地鶏のふ化育成関係成績

家系	受精率(%)	ふ化率(%)	雄割合(%)	雌割合(%)	育成率(%)
I	60.7	88.0	52.2	47.8	96.8
II	44.4	75.0	46.2	53.8	78.8
III	63.3	54.8	26.7	73.3	88.2
全体	56.1	79.2	48.1	51.9	91.7

産卵調査を行った129日間の産卵個数は、最も多い個体で99個、最も少ない個体で0個となり個体差が大きかった。全体の平均産卵個数は 42.5 ± 32.9 個で、家系別平均では、Iが 52.9 ± 33.1 個、IIが 17.5 ± 19.9 個、IIIが 32.2 ± 26.0 個となった。産卵率は全体で $29.6 \pm 6.41\%$ 、家系I、II、IIIでそれぞれ $37.5 \pm 8.08\%$ 、 $11.5 \pm 8.86\%$ 、 $22.6 \pm 13.4\%$ となった。家系別の産卵率（週間平均）の推移ではI、III、IIの順で高く推移し、いずれも63～65週齢で最低値となり再び上昇した（図1）。

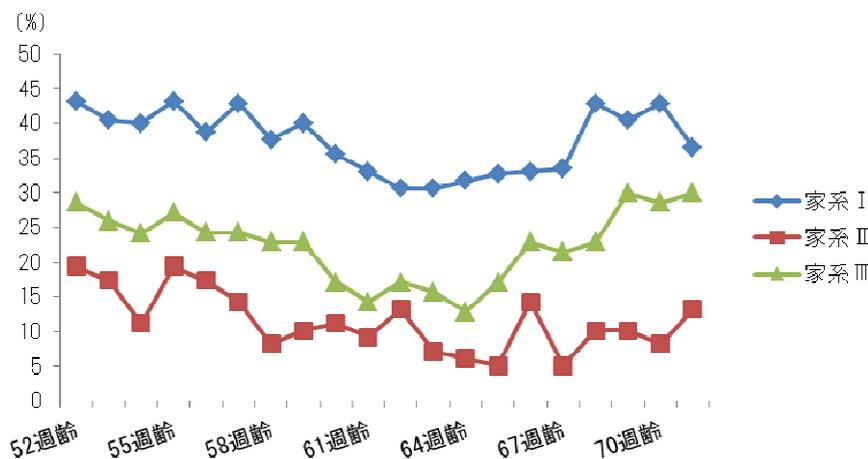


図1 龍神地鶏における産卵率推移（52週齢～72週齢）

卵殻状態評価において（産卵個数が10個未満の個体を除く49羽のデータ中）、良評価割合が90%以上となった個体は9羽（18.4%）、不良評価割合が90%以上となった個体は5羽（10.2%）であった。全体の平均では、良評価55.8%と不良評価よりもやや高く、家系別平均ではIが良評価64.1±30.7%、IIが54.6±32.1%、IIIが48.1±34.7%と、家系IIIのみ良評価が過半数を下回った。

産卵個数と卵殻状態評価において、産卵個数と良評価卵個数がいずれも平均値以上であった個体は全体で9羽となり、うち8羽は家系I、残り1羽は家系IIに存在した。一方、いずれも平均値以下であった個体は全体で13羽となり、各家系に4～5羽存在した（図2）。

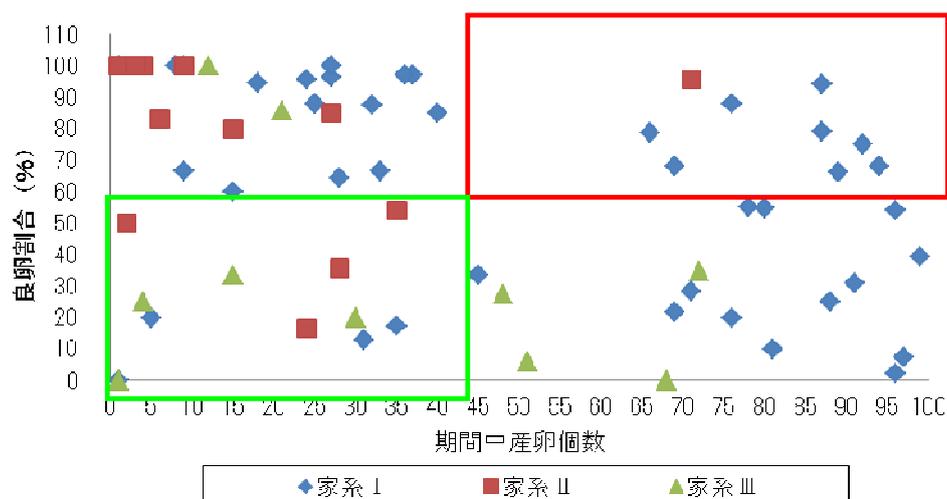


図2 龍神地鶏における卵殻状態評価と産卵個数

赤枠：良卵割合，産卵個数共に平均値以上

緑枠：良卵割合，産卵個数共に平均値以下

卵質検査各項目の結果は次のとおりとなった（表2）．卵重では，全体の平均が $36.5 \pm 2.42\text{g}$ で，家系 I，II，IIIの平均がそれぞれ $36.5 \pm 2.38\text{g}$ ， $38.0 \pm 2.14\text{g}$ ， $35.2 \pm 2.28\text{g}$ となった．卵殻破壊強度では，全体の平均が $2.91 \pm 0.63\text{kg/cm}^2$ で，家系 I，II，IIIの平均がそれぞれ $2.86 \pm 0.63\text{kg/cm}^2$ ， $3.19 \pm 0.60\text{kg/cm}^2$ ， $3.05 \pm 0.53\text{kg/cm}^2$ となった．卵殻厚では，全体の平均が $260.7 \pm 36.5\mu\text{m}$ で，家系 I，II，IIIの平均がそれぞれ $254.3 \pm 34.6\mu\text{m}$ ， $266.8 \pm 35.2\mu\text{m}$ ， $299.0 \pm 23.2\mu\text{m}$ となった．ハウユニットでは，全体の平均が 77.0 ± 3.87 で，家系 I，II，IIIの平均がそれぞれ 76.5 ± 3.86 ， 78.5 ± 4.37 ， 79.2 ± 2.34 となった．卵黄係数では，全体の平均が 0.455 ± 0.031 で，家系 I，II，IIIの平均がそれぞれ 0.454 ± 0.031 ， 0.455 ± 0.034 ， 0.463 ± 0.027 となった．

表2 龍神地鶏の卵質検査成績

家系	卵重 (g)	卵殻破壊強度 (kg/cm^2)	卵殻厚 (μm)	HU	卵黄係数
I	36.5 ± 2.38	2.86 ± 0.63	254.3 ± 34.6	76.5 ± 3.86	0.454 ± 0.031
II	38.0 ± 2.14	3.19 ± 0.60	266.8 ± 35.2	78.5 ± 4.37	0.455 ± 0.034
III	35.2 ± 2.28	3.05 ± 0.53	299.0 ± 23.2	79.2 ± 2.34	0.463 ± 0.027
全体	36.5 ± 2.42	2.91 ± 0.63	260.7 ± 36.5	77.0 ± 3.87	0.455 ± 0.031

数値は平均値±標準偏差

推移において，卵殻破壊強度および卵殻厚は66週齢（468日齢）まで日齢の経過とともに減少した後上昇し，卵重，ハウユニットおよび卵黄係数は日齢の経過とともに減少した（図3～7）．

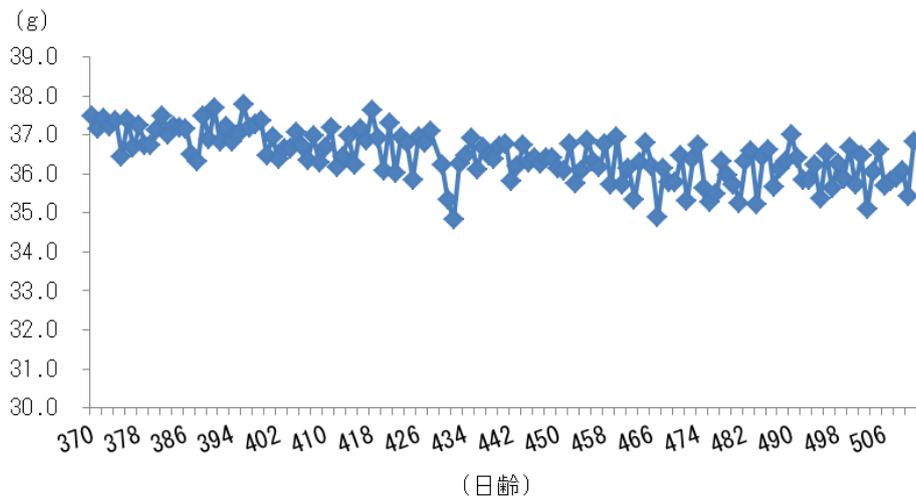


図3 龍神地鶏における卵重の推移（370 齢～511 日齢）

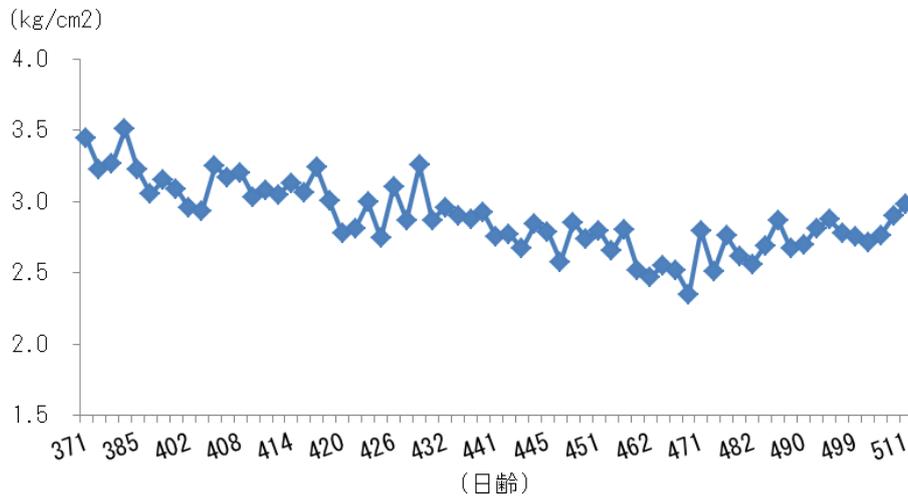


図4 龍神地鶏における卵殻破壊強度の推移（370 日齢～511 日週齢）

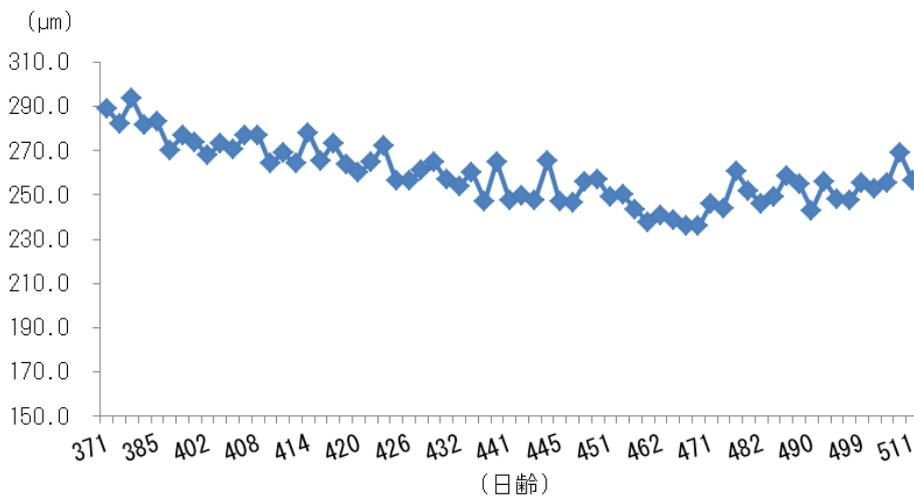


図5 龍神地鶏における卵殻厚の推移（370 日齢～511 日齢）

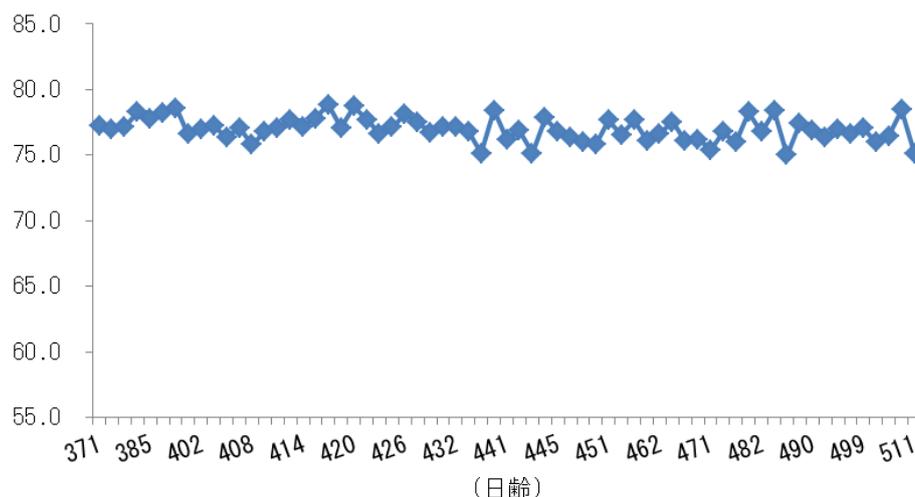


図6 龍神地鶏におけるハウユニットの推移 (370日齢～511日齢)

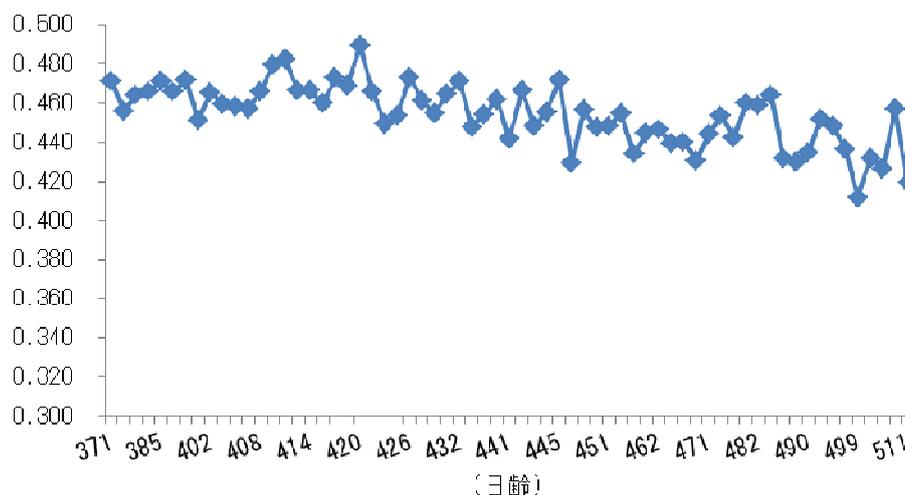


図7 龍神地鶏における卵黄係数の推移 (370日齢～511日齢)

考 察

今回の調査では、龍神地鶏雌の産卵後期における特性を重点的に調査した。

産卵率について、52週齢から72週齢の成績を前報と比較してみると、前報では52週齢で約20%、以降徐々に低下し64週齢以降は数%で推移した。一方今回の結果では、52週齢で約35%、64週齢で23%台まで減少したが、その後30%台まで増加しており前報よりも高い成績であった。このことについては、調査実施時期(52～72週齢)が前報で5～10月、今回が12～5月と気温が真逆の時期であったことが大きく関係していると考えられる。

また、産卵のピークについて、金子ら(1997)は、これまで生産性向上に関する改良がほとんどなされていない岐阜地鶏を調査し、その産卵率は晩冬から初夏にかけて上昇し、晩夏から初冬にかけて下降しており、9～2月にふ化した群では初産後の産卵最盛期と70週齢頃の春期最盛期の2回のピークを示し、3～8月にふ化した群では初産後の最盛期と春期の最盛期が重なるかまたは続いた

めピークは1回であったと報告している。龍神地鶏においても5月にふ化した群を使った前報では、23週齢をピークとした一峰性の推移を示し、11月にふ化した群を使った今回の調査では、初回のピークは不明なものの、64週齢以降の産卵率上昇が見られたことは、金子らの報告と一致すると考えられる。

今回新たな取り組みとして、個体ごとの産卵調査と卵殻状態評価を行い、産卵個数や卵殻状態は個体によって大きく異なることが明らかになった。

龍神地鶏は、長期間における近親交配により遺伝的多様性が低下していることが明らかになっていくが（岡ら，2009），産卵性能における多様性は現在も確保されているものと推察された。

しかしながら、極端に産卵性能が低い個体（129日間で10個未満の個体：17羽）の存在は、今後の龍神地鶏保存において、個体数確保の妨げとなる可能性が高く、可能な限り繁殖には供しないよう注意が必要である。

卵殻状態評価において、藤井ら（1980）は、異常卵殻卵のうち疣状卵殻は、卵殻形成時に有機質性凝塊が沈着することにより起こり、機質性凝塊は卵管内由来のものであるとしている。龍神地鶏の不良評価卵にも卵管内有機質性凝塊の発生が関与していると考えられるが、卵管内の有機質性凝塊発生が龍神地鶏の遺伝的特徴によるものか、環境や飼料等外的要因によるものかは不明であるため、今後明らかにしていく必要がある。

卵質検査結果について、卵重が日齢とともに減少したことについて、一般的には日齢の経過に伴い卵重が増加するが、前報においても卵重が増加したのは46週齢頃までで、以降の卵重は46週齢時の卵重を超えなかった。このことから、龍神地鶏の卵重は30g台後半をピークとして増加しないと考えられる。卵殻破壊強度および卵殻厚では、66週齢（468日齢）まで日齢とともに値が低下しその後上昇した。このことは、産卵率の推移と酷似しており気温の上昇に伴い、飼育環境が良くなったことで産卵率や卵殻の状態が改善されたものと考えられる。

今回の調査では龍神地鶏の産卵後期における特性を明らかにした。前報も含め龍神地鶏の産卵特性が少しずつ明らかになりつつあるが、まだまだ不明な点が多く、今後も調査を継続するとともに、これまで得た知見に基づく適正な繁殖を実施し、絶滅が危惧されている龍神地鶏の継続的な保存に繋げていきたい。

摘 要

本県田辺市龍神村で古くから維持され、近親交配の影響で遺伝的多様性が低下し、絶滅の危険性が示唆される日本鶏「龍神地鶏」の産卵後期における特性を調査した。

1. 受精率およびふ化率は、56.1%および79.2%であった。
2. 52～72週齢（129日間）の平均産卵個数は42.5個で、最も多い個体は99個であった。
3. 52～72週齢の産卵率の推移は、63～65週齢で最低となりその後増加した。
4. 卵殻状態評価では、良評価卵の割合が平均で55.8%であった。
5. 龍神地鶏の卵重は日齢とともに増加するが、30g台後半をピークに増加しない可能性がある。

本研究において、龍神地鶏の産卵データ収集に尽力頂いた和歌山県畜産試験場養鶏研究所所員に深謝する。

引用文献

- 藤井俊策・涉辰雄・田村達堂. 1980. 異常卵殻の走査電子顕微鏡下の構造. 広島大学生物生産学部紀要. 19 : 101-111.
- 金子国雄・岡野香・藤原昇. 1997. 岐阜地鶏の産卵能力について. 日本家禽会誌. 34 : 200-204.
- 岡孝夫・井野靖子・高橋幸水. 2009. マイクロサテライト DNA 多型情報にもとづく龍神地鶏の遺伝的多様性. 東京農大農学集報. 53(4) : 363-367.

イタドリの特性調査と優良系統選抜および組織培養による増殖

杉本小夜・坂口和昭・坂本淳¹

和歌山県林業試験場

Increase by the characteristic investigation into *Fallopia japonica* (Houtt.) Rouse and the excellent system selection and the tissue culture

Sayo Sugimoto, Kazuaki Sakaguchi and Jun Sakamoto

Wakayama Prefectural Forestry Experiment Station

緒言

イタドリ (*Fallopia japonica*) は全国に自生しているが (林, 2004), 東日本では食用とする地域は少なく, 西日本の紀伊半島や四国を中心に食用とされている山菜である (本間, 2012). 和歌山県内では主に「ごんぱち」と呼ばれ, 春の若芽は山間地域の主要山菜の一つとなっている. 現在消費されているイタドリは山採りが主流であるが, 近年山村地域の高齢化やシカの食害等により, 太く商品価値の高い若芽の確保が困難になってきており, 山間部の耕作放棄地等を活用した栽培に取り組む地域が増加している.

タラノキ等全国各地に自生している山菜には, 新芽や葉の形質等に様々な変異があることが知られており, 栽培を行う過程で品種, 系統が重視され (阿部, 2001), 現場において優良系統や品種の選抜が行われている. イタドリにおいても同様に, より効率的な栽培を行うには, 収量が多く, 若芽が太くて皮が剥きやすい等栽培・加工に適した系統株を用いることが重要である. そこで, 県内で収集したイタドリの系統別特性について調査し, 優良系統株の選抜を行った. また, 優良系統苗の大量生産技術確立のため, 組織培養を用いた増殖について培地組成や添加する植物ホルモンの検討を行った.

材料および方法

1. イタドリの特性調査と優良系統の選抜

1) 優良系統候補株の収集および生育地調査

2014年4月に高野町, 有田川町, 日高川町, 田辺市, 上富田町, 新宮市, 北山村の7市町9地域の自生地および栽培地に生育しているイタドリから優良系統候補株 (以下, 候補株とする) を収集した (図1). イタドリ1株当たり根元直径が15 mm以上の若芽が2本以上発生している株を候補株として1地域当たり1~7株を選んだ. 候補株にテープでマーキングを行い, 若芽の茎色, 発生本数, 根元直径について測定を行った (図2).

また, 生育地調査は候補株の生育場所20カ所について, 相対照度, 植生, 管理状況, 獣害の発生

¹現在: 日高振興局農林水産振興部林務

状況および土壌について調査を行った。相対照度はMINOLTA T-10を用いて1分間の積算照度を3回測定し、その平均値から算出した。植生については、候補株の周囲半径約2mに優占的に生育する植物の種名を記録した。管理状況および獣害の発生状況については、採取者およびその土地の所有者からの聞き取りを行うとともに、現地でイタドリの新芽や葉の食害跡の有無を確認した。土壌については各候補株の根元から土壌を採取し、pHおよびEC（電気伝導度）を測定した。測定は、採取した土壌を風乾させ2mmのふるいを通した後、土壌：蒸留水を重量比1：5で混ぜ、マグネチックスターラーで約1時間攪拌後、上澄み液を用いて行った。pHはHORIBA LAQUAtwin pH-11Bを、ECはHORIBA LAQUAtwin B-771を用いて測定した。

2) 候補株の特性調査と選抜

候補株から挿し木苗を作成するため、2014年6月に候補株から茎を節2つ含むように切断した後、上部の節の1葉を残して摘葉し、挿し穂を作成した。挿し穂の基部は斜めに切断して、1系統につき30～39本を挿し床に挿し付けた。挿し床は育苗箱（縦50cm×横35cm×高さ10cm）の下層2cmに中粒鹿沼土を、上層8cmに小粒鹿沼土を敷き詰めたものを用いた。挿し付け後は、林業試験場内（以下、場内とする）の遮光率70%の寒冷紗で遮光したハウス内に置き、毎日1回10分間の上面灌水を行い、10月に発根状態を調査した。

発根が確認できた挿し木苗（以下、苗とする）については、2015年6月に場内に栽培床（縦1.1m×横3.1m×高さ32cm）を6つ設置して定植した（図3）。栽培床には川砂が主体である場内苗畑の土を用い、栽培床1つ当たり発酵鶏糞750g、バーク堆肥10L、赤玉土（中粒）28L、赤玉土（小粒）14Lを加えて攪拌し、黒マルチで被覆した後、栽培床1つ当たり苗を8～9株植え付けた。定植後は毎年2月と6月に栽培床1つ当たりIB化成341gを施肥し、2016年3月に黒マルチをはがした。

2016～2019年の3～4月に同系統の株で最も早く若芽が10cmになった日（以下、若芽発生日とする）を調査した。また、2016年および2017年の10月に草丈、基本数、茎根元直径を測定し、2018年および2019年の3～4月に若芽の収穫を行った。収穫は根元直径10mm以上、長さ30cm以上の若芽を対象として、2～3日毎に行い、収穫日、収穫した若芽の本数、重量、根元直径および皮の剥きやすさを調査した。

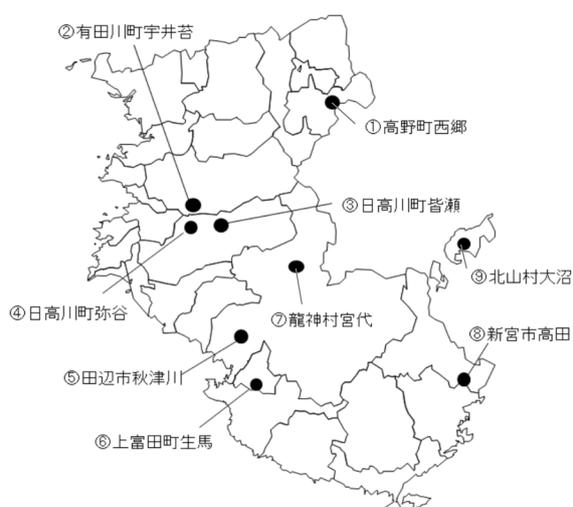


図1 イタドリ優良系統候補株の収集場所



図2 イタドリ優良系統候補株の若芽

皮の剥きやすさは、収穫した若芽を 50℃のお湯で 30 秒湯通しし、若芽の根元約 1 cm に包丁で縦に切り込みを入れた後、穂先に向かって皮を剥き、皮の剥けた部分の長さにより 4 段階で評価した（表 1）。優良系統株の選抜は若芽の収穫開始時期、株当たりの収穫量、根元直径、皮の剥きやすさから総合的に判断した。



図 3 イタドリ挿し木苗の栽培床への定植状況

表 1 イタドリ若芽の皮の剥きやすさの評価基準

剥きやすさ指数	内容
1	茎全体に対して剥けた皮の長さが1/4以下
2	茎全体に対して剥けた皮の長さが1/2以下
3	茎全体に対して剥けた皮の長さが3/4以上
4	ほぼ全て剥ける

2. 組織培養による増殖

1) 材料採取時期および初代培養培地の検討

培養は無病の植物体を再生しやすく、変異の発生も少ない茎頂培養（大澤・久保田，2016）により行った。試験には場内で栽培している候補株「西牟婁 3」を用いた。材料採取に適する時期を明らかにするため、新芽を 5～10 月に採取し、殺菌処理後、培養して雑菌汚染率を調査した。殺菌処理は 70% エタノールに 1 分、有効塩素 1% アンチホルミンに 20 分浸漬して行い、その後、滅菌水で 3 回洗浄した。洗浄した新芽はクリーンベンチ内の顕微鏡下で外側の組織を除去した後、葉原基 2～3 枚を付けた茎頂を摘出し、植物ホルモン無添加の MS 培地で 1 週間培養後、雑菌汚染の有無を確認し雑菌汚染率を算出した。

また、初代培養に適する培地組成を明らかにするため、5 月に上記と同様の方法で摘出した茎頂を用いて、基本培地に MS 培地および微粉ハイポネックス（N6.5-P6-K19）0.3% 培地（以下、H 培地とする）と植物ホルモンとしてナフタレン酢酸（以下、NAA とする）（0mg/l, 0.1mg/l）およびベンジルアデニン（以下、BA とする）（0mg/l, 0.1mg/l）を組み合わせ、8 試験区を設定して培養を行い、60 日後のシュートの発生率、発生シュート長を調査した（表 2）。

なお、各培地のショ糖濃度は 30g/l とし、pH は MS 培地 5.8, H 培地 7.0 に調整した。培地は直径 25 mm の試験管に 20ml ずつ分注し、121℃のオートクレーブで 15 分間滅菌したものをを用いた。培養はいずれも温度 25℃、湿度 60%、14 時間日長の人工気象器で行った。

2) 継代培養培地の検討と培地の違いが順化時の発根に与える影響調査

培養には、MS 培地（NAA 0.1 mg/l, BA 0.1 mg/l 添加）で初代培養を行った後、植物ホルモン無添加の 1/2MS 培地で継代培養を行って得られたシュートを、腋芽を含む約 10 mm に切り分けて用いた。継代培養に適した MS 培地の濃度を明らかにするため、植物ホルモン無添加で濃度を 1, 1/2, 1/4 とした MS 培地を用い、3 試験区を設定した。供試数は各試験区 10 本とし、培養 40 日後の発生シュート

表 2 初代培養検討培地

培地	植物ホルモン (mg/l)		供試数
	NAA	BA	
MS 培地	0	0	11
	0.1	0	10
	0	0.1	9
	0.1	0.1	17
ハイポネックス培地	0	0	10
	0.1	0	9
	0	0.1	7
	0.1	0.1	15

注) ハイポネックス培地：微粉ハイポネックス（N6.5-P6-K19）0.3%

長と増殖率を調査した。また、継代培養に適した植物ホルモンの濃度と組み合わせを明らかにするため、1/2MS 培地を用い、植物ホルモンは NAA (0mg/l, 0.01mg/l, 0.05mg/l) および BA (0mg/l, 0.05mg/l, 0.1mg/l) を組み合わせ、9 試験区を設定して培養を行い、培養 40 日後の発生シュート長と増殖率を調査した (表 3)。さらに、継代培養に適した培地のショ糖濃度を明らかにするため、1/2MS 培地を用い、ショ糖濃度 4 段階 (15g/l, 30g/l, 45g/l, 60g/l) と植物ホルモン NAA (0mg/l, 0.05mg/l) を組み合わせて 8 試験区を設定して培養を行い、40 日後の発生シュート長と増殖率を調査した (表 4)。この時発生したシュートを用いて、培地の違いが順化時の発根に与える影響を調査するため、節ごとに切り分けバーミキュライトを充填した 128 穴プラグトレイに挿し付け、人工気象器内で順化を行った。供試数は各試験区 20 本とし、乾燥を防ぐためプラグトレイは 10 か所ほど穴をあけた透明ビニール袋で覆った状態で人工気象器に入れた。人工気象器は 25℃、湿度 60%、14 時間日長に設定し、30 日後の発根率を調査した。なお、いずれの調査においても、増殖率 (倍) は伸長シュート (腋芽を含む) を切り分け、植え替え可能な数を倍率とした。培地の作成方法、培養条件は 1) の初代培養と同様とした。

表 3 植物ホルモン検討培地

基本培地	植物ホルモン		供試数
	NAA(mg/l)	BA(mg/l)	
1/2MS	0	0	9
	0	0.05	9
	0	0.1	8
1/2MS	0.01	0	11
	0.01	0.05	10
	0.01	0.1	7
1/2MS	0.05	0	9
	0.05	0.05	11
	0.05	0.1	10

表 4 ショ糖濃度検討培地

基本培地	植物ホルモン NAA(mg/l)	ショ糖濃度 (mg/l)	供試数
1/2MS	0	30	11
	0	45	11
	0	60	8
1/2MS	0.05	15	8
	0.05	30	12
	0.05	45	10
	0.05	60	8

結果および考察

1. イタドリ優良系統の選抜

1) 優良系統候補株の収集および生育地調査

収集した候補株は 7 市町 9 地域 34 株に及んだ (表 5)。1 株当たりに発生している直径 15 mm 以上の若芽の発生本数の平均は 3 本であり、5 本以上発生しているものは全体の 10% 以下であった (図 4)。また、発生していた若芽の平均根元直径は、21 mm であり、15 mm~20 mm 未満のものが最も多く、次いで 20 mm~25 mm 未満のものであり、これらを合わせると全体の 88% を占めた (図 5)。これらのことから、山採りの対象となる自生株では、通常、根元直径 25 mm を越える若芽が 5 本以上発生しているような株は稀であると考えられた。茎の色については、青系が 65% で最も多く、次いで赤系 20%、中間 15% であり (表 5)、土壌 pH と候補株の茎の色の間に関連は認められなかった。

候補株を収集した自生地のお多くは開けた日当たりの良い場所であり、20 箇所のうち 70% の箇所で相対照度が 80% 以上であった。管理については定期的な草刈り等が行われず、放置されている場所は 45% であり、これらの場所ではススキ、タケニグサ、セイヨウヤマゴボウ、ヤブガラシ等の侵入が見られた。採取者からの聞き取りでは、このような他の植物の侵入が顕著な場所では、5 年程度でイタドリが被圧され、採取が困難となる事例が聞かれた。獣害については、現地でのイタドリの葉や新芽の食害跡や聞き取り調査から、調査箇所の 80% でシカと推察される被害が確認され、栽

培の際には防護柵の設置等獣害対策が必須であると考えられた。また、土壌 pH は 5.5~7.6 で弱酸性土壌が多く、EC は 30~380 μ s/cm で 100 μ s/cm 以下の場所が 53% を占めた (図 6)。生育箇所の多くは、比較的やせ地の酸性土壌の傾向にあった。今回の調査では、土壌 EC と候補株の若芽発生本数および根元直径の間には有意な相関は認められなかった。

2) 候補株の特性調査と選抜

挿し木については、挿し付け約 2 ヶ月後から発根が見られた。発根率は 0~66% と候補株によりばらつきが大きかった (図 7)。発根は見られたものの発根量が十分でなく、その後枯死する挿し木も多く、得苗率は 3~30% と低かった。このため、優良系統株の選抜は挿し木で得られた苗が 1 株であった候補株は除外し、2 株以上確保できた候補株を対象とした。

2015 年 5 月の調査では、最終的に候補株 34 株のうち 17 株について苗が得られた。栽培床へ定植した 2016 年から 2019 年までの調査から、若芽発生日の系統差は年により 12~27 日とばらつきはあるものの、発生の順序は毎年概ね同じ傾向が見られた (表 6)。このため、早生および晩生の系統があると考えられた。定植後の茎本数と根元直径についても、系統間で差が見られた。図 8 のように、全体的に茎本数が多い株は茎根元直径が小さく、茎本数が少ない株は茎根元直径が大きい傾向あり、茎本数と茎直径の間には負の相関が認められた ($r=-0.42$, $p<0.05$)。

収穫調査の結果を表 7 に示す。収穫量は全体的に 2018 年よりも 2019 年が多い傾向が見られ、これは、株の生長により増加したものと考えられた。収穫した若芽の根元直径および皮の剥きやすさは、いずれの系統についても 2018 年、2019 年の 2 年間ほぼ同じ傾向が見られた。また、若芽の色と皮の剥きやすさの間には相関は認められないことが報告されているが (杉本・坂本, 2015)、今回についても同様の結果であり、若芽の色は皮の剥きやすさの判断材料にはならないと考えられた。選抜の対象とした苗が 2 株以上得られた候補株について 2018 年、2019 年の若芽の収穫量、収穫本数、根元直径、皮の剥きやすさの平均および収穫開始日を表 8 に示す。株当たりの収穫量が 400g を超えたのは「東牟婁 3」と「伊都 5」であった。株当たりの収穫本数は「伊都 5」が 8.3 本と最も多かったが、若芽の根元直径は 16.5 mm であり、「東牟婁 3」の 21.0 mm よりも小さかった。若芽の皮の剥きやすさは、「東牟婁 3」は 3.9 であり、非常に皮が剥きやすい特徴が見られ、次いで「西牟婁 8」、「東牟婁 5」、「西牟婁 3」、「伊都 5」が 3 以上で比較的剥きやすい傾向が見られた。収穫開始日は、2018 年は「東牟婁 4」が 3 月 24 日で最も早く、次いで「東牟婁 3」、「伊都 5」、「西牟婁 11」が 3 月 29 日であった。2019 年は「東牟婁 3」が 3 月 23 日で最も早く、次いで「東牟婁 4」が 3 月 30 日、「伊都 5」、「西牟婁 8」、「西牟婁 11」が 4 月 8 日であった。山野から収集したタラノキやウドの収穫時期について、系統により早生や晩生の傾向があることが報告されているが (松本, 1997; 松本, 1998)、イタドリについても、2 年間各系統の収穫開始日の順序はほぼ同じであり、同様の傾向が見られた。若芽の皮を剥いて加工する際、食用となる茎の重量の歩留まりは、太い若芽ほど良くなるため (和歌山県, 2019)、同じ収穫量である場合、根元直径の大きい方が有利であり、また、価格の点からは山菜は早生系の方が有利である。これらを考慮すると、若芽の収穫量、根元直径、皮の剥きやすさおよび収穫開始時期から総合的に評価した結果、「東牟婁 3」が優れていると判断し、優良系統株として選抜した (図 9)。但し、今回は限られた株数での比較調査であることや、早生系統は栽培場所によっては霜の被害を受ける可能性もあるため、今後優良系統株を用いた現地実証試験の実施や、収穫時期を分散させるための早晩系統の選抜の検討が必要と考えられた。

表5 イタドリ優良系統候補株の若芽発生本数、平均根元直径および若芽の茎色 (2014年生育地調査)

候補株名	市町村 地区名	若芽 発生本数	若芽平均 根元直径 (mm)	若芽茎色
伊都1	高野町	4	24.3	青系
伊都2	高野町	2	23.6	中間
伊都3	高野町	3	23.9	青系
伊都4	高野町	2	19.3	青系
伊都5	高野町	5	18.7	赤系
有田1	有田川町	2	19.8	中間
有田2	有田川町	2	23.4	赤系
有田3	有田川町	2	22.2	赤系
有田4	有田川町	2	21.6	赤系
有田5	有田川町	3	18.2	青系
日高1	日高川町	2	18.0	赤系
日高2	日高川町	2	20.1	青系
日高3	日高川町	2	22.0	青系
日高4	日高川町	4	27.0	中間
西牟婁1	田辺市	1	27.5	青系
西牟婁2	田辺市	3	23.1	青系
西牟婁3	上富田町	2	27.9	中間
西牟婁4	田辺市	2	19.5	青系
西牟婁5	田辺市	4	20.3	青系
西牟婁6	田辺市	8	19.9	赤系
西牟婁7	田辺市	4	21.9	中間
西牟婁8	田辺市	6	18.4	赤系
西牟婁9	田辺市	3	20.1	青系
西牟婁10	田辺市	4	19.4	青系
西牟婁11	田辺市	3	18.9	青系
東牟婁1	新宮市	4	17.4	青系
東牟婁2	新宮市	2	24.1	青系
東牟婁3	新宮市	2	16.8	青系
東牟婁4	新宮市	4	16.9	青系
東牟婁5	新宮市	2	17.9	青系
東牟婁6	新宮市	4	17.7	青系
東牟婁7	新宮市	2	18.5	青系
東牟婁8	北山村	3	19.8	青系
東牟婁9	北山村	3	30.1	青系
平均		3.0	21.1	

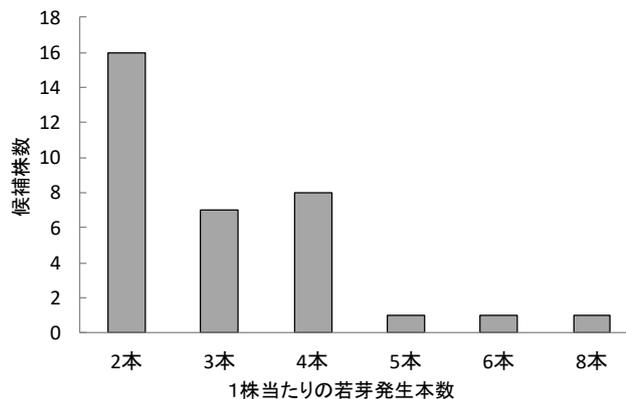


図4 1株当たりの若芽発生本数別イタドリ優良系統候補株数 (注) 根元直径 15 mm以上の茎

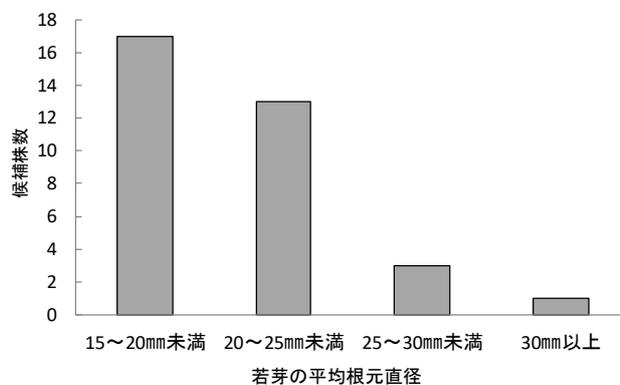


図5 若芽の平均根元直径別イタドリ優良系統候補株数 (注) 根元直径 15 mm以上の茎

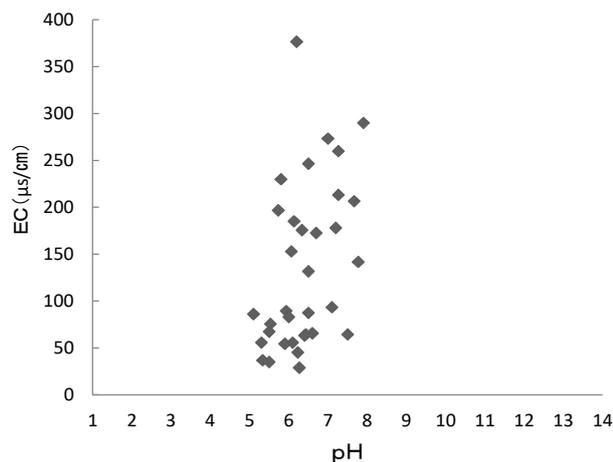


図6 イタドリ優良系統候補株生育地の土壌 pH および EC

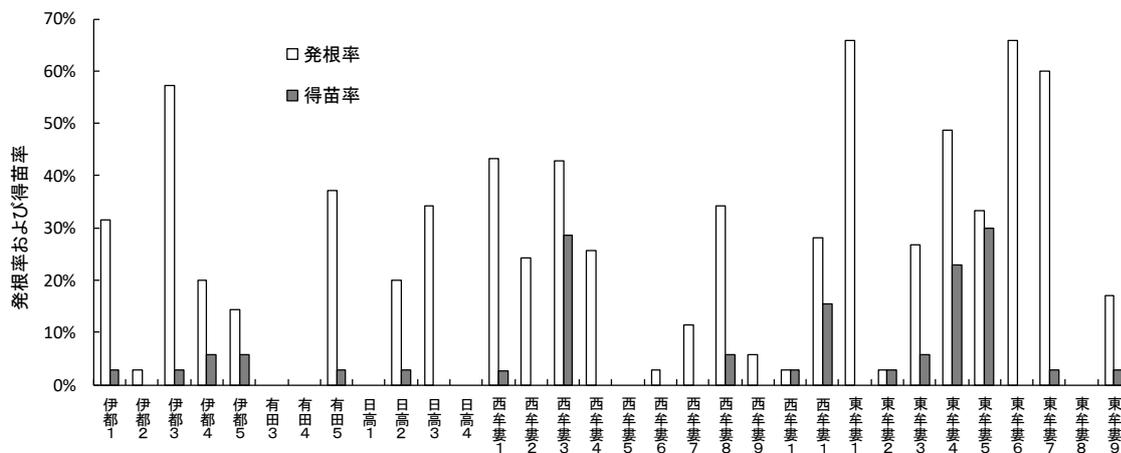


図7 イタドリ優良系統候補株挿し木の発根率および得苗率

表6 イタドリ優良系統候補株の若芽発生日 (2016年-2019年)

候補株名	若芽発生日																																							
	3月														4月																									
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
東牟婁3	▲			□													■																							
東牟婁4		◎	▲	□						■																														
東牟婁7				□				▲									■																							
伊都5				◎				□	▲				▲				■																							
西牟婁1								□	▲	◎							■																							
西牟婁11								□	▲	◎							■																							
東牟婁2			◎					□									■																							
日高2							▲	□									■																							
西牟婁8								▲	□								■																							
西牟婁3								□							◎		▲																							
東牟婁5									◎			□	▲				■																							
有田5												□					▲																							
伊都1										◎		□					▲																							
伊都3									◎			□																												
西牟婁10												□					▲																							
東牟婁9									▲					◎		□																								
伊都4																																								

注) ■:2016年 □:2017年 ◎:2018年 ▲:2019年

若芽発生日:林業試験場苗畑においてその系統の株で最も早く若芽が10cmになった日

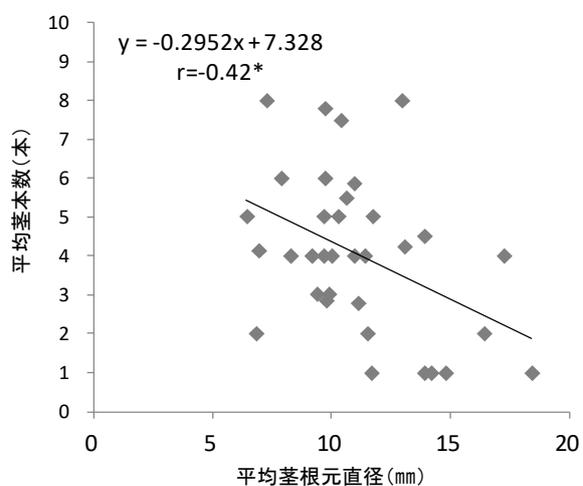


図8 イタドリ優良系統候補株の平均茎根元直径と平均基本数の関係（2016-2017年）

注) 関数は回帰直線

r は相関係数を示す

*は5%水準で有意であることを示す



図9 選抜した優良系統株「東牟婁3」

表7 イタドリ優良系統候補株の若芽の収穫量、収穫本数、根元直径および皮の剥きやすさ

候補株名	株数	2018年				2019年			
		収穫量 (g/株)	収穫本数 (本/株)	若芽の 根元直径 (mm)	若芽の皮の 剥きやすさ (難1← →4易)	収穫量 (g/株)	収穫本数 (本/株)	若芽の 根元直径 (mm)	若芽の皮の 剥きやすさ (難1← →4易)
伊都1	1	588.0	7.0	19.6	3.3	343.0	8.0	14.9	2.9
伊都3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
伊都4	2	-	-	-	-	-	-	-	-
伊都5	2	436.7	9.0	16.4	3.1	400.5	7.5	16.6	3.3
有田5	1	292.0	5.0	15.2	2.2	189.0	5.0	13.6	2.6
日高2	1	27.0	1.0	10.0	3.0	105.0	3.0	12.5	3.0
西牟婁1	1	231.0	5.0	13.5	2.6	288.0	5.0	15.7	3.2
西牟婁3	9	248.3	4.8	15.1	3.5	313.7	6.6	16.9	3.1
西牟婁8	2	85.5	2.0	14.8	3.5	265.5	5.0	16.4	3.9
西牟婁10	1	171.0	3.0	15.4	2.3	105.0	3.0	14.7	2.0
西牟婁11	6	63.3	2.0	13.0	2.9	90.7	1.8	13.7	2.4
東牟婁2	1	133.0	3.0	16.8	2.3	161.0	2.0	20.2	3.0
東牟婁3	2	441.5	5.5	21.1	4.0	554.0	6.5	20.9	3.8
東牟婁4	8	37.3	1.3	11.1	2.7	109.9	1.8	11.9	2.7
東牟婁5	9	193.4	3.7	15.3	3.7	305.6	5.8	15.9	3.6
東牟婁7	1	330.0	7.0	13.5	3.1	229.0	5.0	13.7	3.2
東牟婁9	1	219.0	3.0	21.1	3.7	514.0	5.0	22.4	3.4

注) 伊都3, 伊都4は根元直径10mm以上の若芽の収穫なし

表 8 選抜対象としたイタドリ優良系統候補株の若芽収穫量、収穫本数、根元直径、皮の剥きやすさの平均および収穫開始日（2018年-2019年）

候補株名	2018-2019年の平均				収穫開始日	
	収穫量 (g/株)	収穫本数 (本/株)	若芽の根元直径 (mm)	若芽の皮の剥きやすさ (難1←→4易)	2018年	2019年
東牟婁3	497.8	6.0	21.0	3.9	3/29	3/23
伊都5	418.6	8.3	16.5	3.2 **	3/29	4/8
西牟婁3	281.0 *	5.7	16.0	3.3 **	4/5	4/13
東牟婁5	249.5 *	4.7	15.6	3.6	4/5	4/10
西牟婁8	175.5 *	3.5	15.6	3.7	4/5	4/8
西牟婁11	77.0 **	1.9 *	13.4	2.7 **	3/29	4/8
東牟婁4	73.6 **	1.5	11.5 *	2.7 **	3/24	3/30

注) Dunnett's testにより「東牟婁3」と比較して*は5%水準で**は1%水準で有意差あり
 収穫開始日：根元直径 10 mm以上、長さ 30 cm以上の若芽を初収穫した日

2. 組織培養による増殖

1) 材料採取時期および初代培養培地の検討

材料採取時期別の雑菌汚染率を表 9 に示す。汚染率は5月が31.6%と最も低く、気温の上昇とともに高くなる傾向が見られ、9月が81.8%と最も高くなり、10月には64.9%とやや減少した。6月以降の雑菌汚染率はいずれも60%を超えており、特に9月は培養に使用できる材料の採取が困難であった。これは、気温の上昇とともに新芽内の雑菌が増加し、殺菌処理では十分に取り除くことが困難になるためと推察された。以上から、培養材料とする新芽の採取は5月が最も適していると考えられた。

初代培養培地については、MS培地がH培地と比較してシュートの発生率、伸長量ともに高い傾向が見られた(図10)。植物ホルモン無添加の場合、MS培地、H培地ともにシュートの発生は見られなかった。NAA0.1mg/l+BA0.1mg/l区は、BA0.1mg/l区に比べシュートの伸長量は小さいが、シュート発生率は高くなる傾向がMS培地、H培地いずれにおいても見られた。シュート発生率は、MS培地NAA0.1mg/l+BA0.1mg/l区が77%と最も高くなった。また、NAA0.1mg/l+BA0.1mg/l区のシュートの伸長量は、MS培地とH培地との間に有意差が認められた(t検定, p<0.05)。初代培養ではまず茎頂から植物体を再生させる必要があるため、シュ

表 9 採取時期別茎頂の雑菌汚染率

	供試数	雑菌汚染数	雑菌汚染率
5月	38	12	31.6%
6月	65	40	61.5%
7月	47	32	68.1%
9月	88	72	81.8%
10月	37	24	64.9%

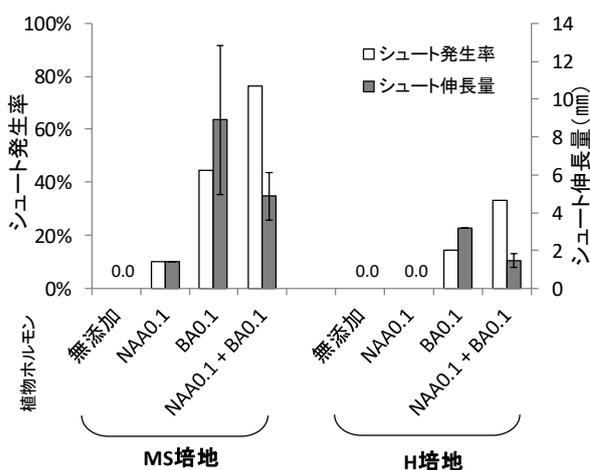


図 10 初代培養におけるシュート発生率およびシュート伸長量

注) 植物ホルモン添加濃度は mg/l
 エラーバーは標準誤差を示す

一トの発生率が高いことが重要である。以上のことから、初代培養には植物ホルモンの添加が必要であり、BAを単独で添加するよりもNAAを合わせて添加することでシュート発生率が高くなることが分かった。またその傾向は、H培地よりもMS培地の方が高く、このため、今回検討した培地の中では、MS培地 NAA0.1mg/l+BA0.1mg/l区が初代培養に適していると考えられた。

2) 継代培養培地の検討と培地の違いが順化時の発根に与える影響

基本培地であるMS培地濃度の検討について、結果を図11に示す。増殖率はMS区が2.3倍で最も低く、他の試験区との間に有意差が認められ (Dunnett's test, $p < 0.05$), 1/2MS区と1/4MS区は4.5倍と4.6倍で同程度であった。シュート伸長量は、MS区、1/2MS区、1/4MS区それぞれ12mm, 46mm, 35mmであり、1/2MS区が最も大きい傾向が見られた (図12)。継代培養で植え替え作業を行う際は、シュート伸長量が多い方が腋芽の間隔が広がるため、節ごとに切り分ける作業が行いやすくなる。このため、継代培養の基本培地には1/2MS培地が適していると考えられた。

植物ホルモンの組み合わせと濃度の検討について、結果を図13に示す。増殖率は、植物ホルモン無添加区、NAA単独添加区とNAAとBA0.05mg/lを合わせた添加区で高くなり、4.7~5.7倍となった。BA単独添加区およびNAAとBA0.1mg/lを合わせた添加区では、カルスの塊が多く発生したがシュートの伸長は少なく、増殖率は3倍以下となった。シュート伸長量は、植物ホルモン無添加区、NAA0.01mg/l区、NAA0.05mg/l区が、それぞれ51mm, 55mm, 56mmと高かった。無添加区はBA0.05mg/l区およびBA0.1mg/l区との間に、NAA0.01mg/l区はNAA0.01mg/l+BA0.1mg/l区との間に、NAA0.05mg/l区はNAA0.01mg/l+BA0.1mg/l区との間にそれぞれ有意差が認められ (Dunnett's test, $p < 0.05$), BAは無添加が適していると考えられた。以上から、今回検討した培地の中では、植物ホルモンは無添加か、添加する場合はNAA0.01mg/lまたはNAA0.05mg/lが適していると考えられた。

培地のシヨ糖濃度の検討について、結果を図14に示す。増殖率は、シヨ糖30g/l区が植物ホルモン無添加区、NAA0.5mg/l区ともに最も高くなり、それぞれ5.5倍と5.7倍であった。シヨ糖濃度45g/l以上では濃度が高くなるにつれて増殖率はやや低くなる傾向が見られ、シュート伸長量は、いずれの試験区においてもシヨ糖濃度が高くなるにつれて小さくなる傾向が見られた。これらのことから、シヨ糖濃度は30g/lが適していると考えられた。

培地の違いが順化時の発根に与える影響について、結果を図15に示す。順化開始2週間で発根が見られ、1ヵ月後の発根率は継代培地のNAAの有無およびシヨ糖濃度の違いに関わらず、いずれの区も90~100%と良好であり、今回検討した培地では、継代培

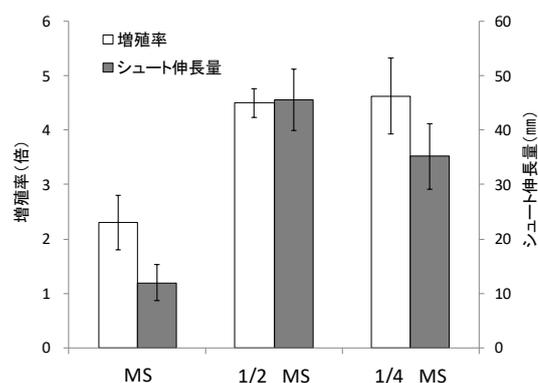


図11 MS培地濃度別増殖率とシュート伸長量
注) 植物ホルモン無添加
エラーバーは標準誤差を示す



図12 継代培養中のイタドリ
(1/2MS培地 ホルモン無添加)

地の違いが順化時の発根に与える影響は少ないと考えられた。また、通常の挿し木では、候補株間で発根率に差が見られたが、選抜した「東牟婁 3」の培養体について同様に順化時の発根率を調査したところ、発根率は100%であった。発根まで要する期間は、挿し木の場合2ヵ月であったが、培養体順化時の場合2週間であり、培養体は挿し木よりも容易に発根する性質があると考えられた。

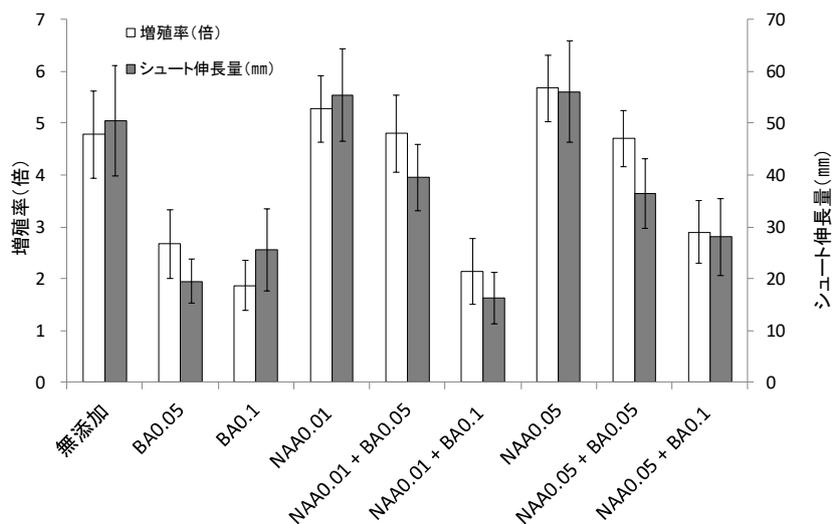


図 13 植物ホルモン別増殖率とシュート伸長量

注) 基本培地 1/2MS 培地
 ショ糖濃度 30g/l
 植物ホルモン添加濃度は mg/l
 エラーバーは標準誤差を示す

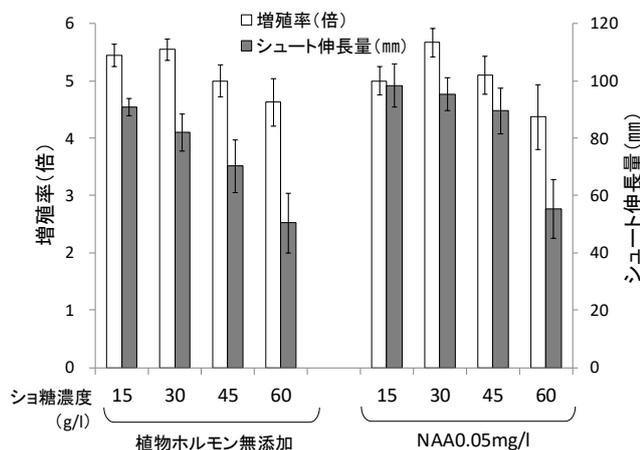


図 14 培地ショ糖濃度別増殖率とシュート伸長量

注) 基本培地 1/2MS 培地
 エラーバーは標準誤差を示す

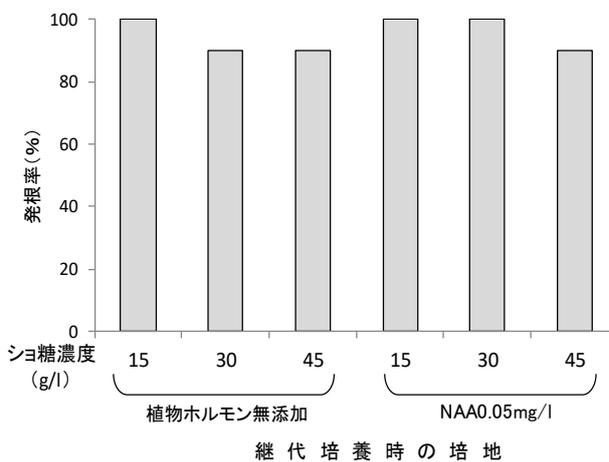


図 15 継代培養培地別順化 30 日後の発根率

注) 継代培養時の基本培地 1/2MS 培地

摘 要

イタドリの特性調査と優良系統選抜および組織培養による増殖について検討を行った。

1. 県内9地域から候補株を34株収集した。候補株の若芽の発生本数の平均は3本であり、根元直径は15mm～25mm未満のものが8割以上を占めた。自生地多くは開けた日当たりの良い場所であり、比較的やせ地の酸性土壌の傾向があった。シカの食害が多く箇所でみられることから、栽培には獣害対策が必須であると考えられた。
2. 候補株の挿し木苗を場内で育成した結果、若芽の発生時期には早生や晩生の系統があった。また、茎本数と根元直径の間には負の相関が認められた。収穫調査から、若芽の発生時期が早く、若芽の根元直径が太く収穫量が多いことに加え、皮の剥きやすい「東牟婁3」を優良系統株として選抜した。
3. イタドリの新芽の茎頂を用いた組織培養では、材料の採取時期は5月が適しており、初代培養培地には、MS培地にNAA0.1mg/lとBA0.1mg/lを添加したものが適していると考えられた。
4. 継代培養は、基本培地1/2MS培地、植物ホルモン無添加とするか、植物ホルモンを用いる場合はNAA0.01mg/lまたは0.05mg/l添加し、ショ糖濃度は30g/lが適していると考えられた。これらの培地を用いた場合、培養40日の増殖率は4.7～5.7倍であった。また、継代培地の違いが順化時の発根に与える影響は少ないと考えられた。

この研究を実施するにあたり、候補株の収集にご協力いただいた皆様、利用および加工についてご指導頂いた日高川町生活研究グループ美山支部イタドリ部会の皆様、組織培養についてご指導および「東牟婁3」の増殖と苗の供給体制を築いて頂いた一般財団法人日高川町ふるさと振興公社バイオセンター中津の小早川勇センター長に深くお礼申し上げます。

引用文献

- 阿部清. 2001. 中山間地域における山菜の野菜化技術の開発と将来展望. 山形県農業研究研修センター中山間地農業研究部. 14: 37-50.
- 林弥栄. 2004. 日本の野草. pp. 544-545. 山と溪谷社. 東京.
- 本間伸夫. 2012. セリ科、アブラナ科、イラクサ科、タデ科植物などの山菜としての地域性. 新潟県生活文化研究会誌. 18. 9-13.
- 松本則行. 1997. 収集タラノキの特性. 新潟県林業研究所研究報告. 39: 21-28.
- 松本則行. 1998. 収集ウドの特性. 新潟県森林研究所研究報告. 40: 59-63.
- 大澤勝次・久保田旺. 2016. 植物バイオテックの実際. pp. 90-94. 農山漁村文化協会. 東京.
- 杉本小夜・坂本淳. 2015. イタドリの優良系統選抜と増殖(第2報). 和歌山県林業試験場業務報告. 73: 45-47.
- 和歌山県. 2019. イタドリ栽培技術マニュアル わかりやすいイタドリ栽培と利活用: 20.

和歌山県沿岸海域における透明度の月変化および年変化

陶山公彦・安江尚孝

和歌山県水産試験場

Monthly and yearly changes of transparency in the coastal waters of Wakayama prefecture

Kimihiko Suyama and Naotaka Yasue

Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station

緒言

和歌山県の漁業生産量は海面漁業生産統計調査によると、1970年代は約6~7万tであり、1986年に約8万tの最高値を示した。しかしながら、1990年代は約5~7万t、2010年代は約2~3万tとなっており、漁獲量は長期的に見て減少傾向である（独立行政法人統計センター）。

和歌山県沿岸において、透明度は和歌山県水産試験場の定線観測の中で長期間にわたって測定されてきた。長田（1996）は日本周辺海域において、透明度とクロロフィルa量との間には負の関係があり、透明度からクロロフィルa量を推定できることを報告した。また、長田・小川（1997）は、透明度と漁獲量との間には負の関係があり、透明度は海域の漁業生産を表すよい指標であることを報告した。このように、透明度の長期変化を明らかにすることは、漁業資源の変動要因を明らかにする上で必要な情報の一つである。清本ら（2008）は有明海において、透明度が影響を受ける要因は季節によって異なり、透明度は海域の浮遊物質量や河川水の影響を受けると推察している。透明度が影響を受ける要因は海域や季節によって異なるが、透明度の変化は水質の変化を総合的に反映していると考えられる。

これまで、徳島県沿岸（石田・上田，2008）、紀伊水道から海部沿岸（鎌田ら，2009）で透明度の年変化が報告されている。これらの研究では、透明度は総じて上昇傾向であることが示されている。しかしながら、和歌山県沿岸における透明度の長期変化に関してはほとんど研究されておらず、その変化要因もよくわかっていない。

本研究では、和歌山県沿岸における透明度の月変化と長期的な年変化を明らかにした。また、和歌山県沿岸の海洋環境は黒潮の流路変動と関係が強いと考えられることから（竹内，2005）、黒潮の流路変動と透明度との関係を調べた。

材料および方法

1. 透明度の測定

透明度のデータは、和歌山県水産試験場が1962年1月から2018年12月までに、和歌山県沿岸で行った海洋観測調査から得た（図1）。ただし1962年1月から1971年12月までの間は熊野灘の9定点のみ海洋観測調査

を行った。この調査では、月1回、日中に漁業調査船を用いて透明度を測定した。透明度は、直径30 cmの白色円板をロープで海中に降下させ、これが見えなくなる限界の海面からのロープ長 (m) で表した。

2. 使用したデータとデータの解析方法

竹内 (2005) は地形や大陸棚の発達状況、黒潮の流路や黒潮内側域の海況の違いによって、紀伊半島周辺の漁場を3つの海域に区分した。本研究では竹内 (2005) に準じて、観測定点を日ノ御崎と蒲生田岬を結ぶ線を含む北側 (15 定点)、同線から潮岬より西側 (18 定点)、潮岬より東側 (9 定点) の3海域に区分し、それぞれ内域、外域、熊野灘と定義した (図1)。

各月の透明度は、各海域内で、各月において全定点のうちの半数以上の定点で観測が行われた場合を採用し、そのデータの平均値とした。採用したデータ月数は、内域が542 (1972年1月～2018年12月)、外域が547 (1972年1月～2018年12月)、熊野灘が649 (1962年1月～2018年12月) であった。

透明度の年変化を調べる場合においては、季節の違いが透明度に及ぼす影響を軽減するため、13カ月移動平均値 (データの欠測した月を含めた、当該月と前後6カ月のデータの平均値) を用いた。13カ月移動平均後のデータ数は、内域と外域が552、熊野灘672であった。

黒潮流路の変動が透明度に及ぼす影響を調べるため、串本と浦神の潮位差 (串本の潮位から浦神の潮位を引いた値。以下、潮位差) (藤田, 2001) と透明度との関係を調べた。潮位差は黒潮の流路をモニターするうえで有効であり、潮位差が大きいときは、潮岬から黒潮北縁までの距離が近い傾向がある (竹内, 2005)。潮位差データは、気象庁 (2020) が公表しているものを用いた。欠測月を除いたデータ月数は644 (1962年1月～2018年12月) であった。潮位差についても、季節の違いが潮位差に及ぼす影響を軽減するため、13カ月移動平均値を用いた。13カ月移動平均後のデータ数は672であった。

透明度の月変化においては、3海域間で透明度に差があるかどうかを検査するため、クラスカル・ウォリス検定を行った。また、2海域間での透明度の関係を検討するため、ピアソンの相関分析を行った。一方、透明度の年変化においては、各海域の増減を検査するため、回帰分析を行った。また、潮位差と各海域の透明度との関係を検討するため、ピアソンの相関分析を行った。

結 果

1. 透明度の月変化

図2に内域、外域および熊野灘の透明度の月変化を示す。内域の透明度 (平均 ± 標準偏差) は 8.8 ± 2.8 m (7月) ～ 10.4 ± 2.8 m (6月)、外域は 14.9 ± 1.8 m (4月) ～ 20.6 ± 1.8 m (1月)、熊野灘は 14.2 ± 3.6 m (4月) ～ 21.8 ± 2.8 m (1月) の範囲で変化した。透明度は3海域間で異なっており (クラスカル・ウォリス検定, $\chi^2 = 23.4$, $df = 2$, $p < 0.001$)、内域の透明度は外域および熊野灘と比較して低かった。

透明度の月変化 (平均値) は、内域と外域 (相関分析, $r = -0.272$, $n = 12$, $p = 0.393$) および内域と熊野灘 (相関分析, $r = -0.197$, $n = 12$, $p = 0.539$) では異なっていたが、外域と熊野灘 (相関分析, $r = 0.978$, $n = 12$, $p < 0.001$) の月変化は類似していた。内域の透明度は7月と9月に低くなる傾向があったが、明確なピークは見られなかった。一方、外域と熊野灘では、年変化はあるものの、1～2月に高くなり、4～5月に低

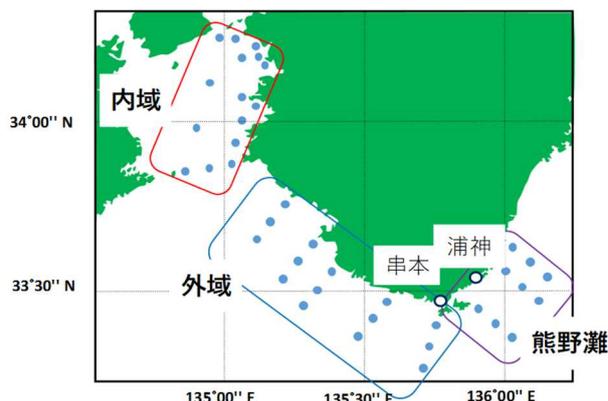


図1 和歌山県沿岸における海洋観測調査の定点図

くなるという月変化を示した。

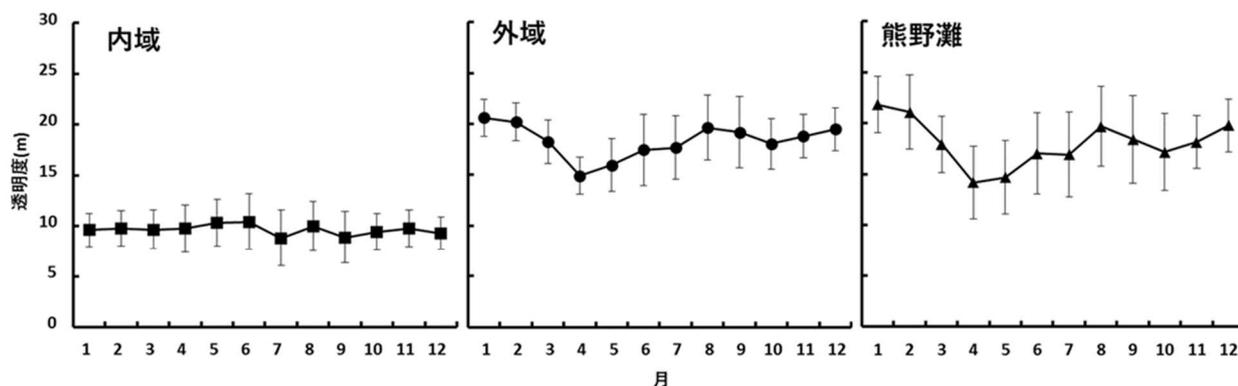


図2 内域、外域および熊野灘における透明度の月変化
※点は平均値、バーは標準偏差を示す

3. 透明度の年変化

図3に内域、外域および熊野灘の透明度の年変化を示す。内域の透明度は長期的には上昇しており（回帰分析、 $y = 0.00159x + 9.05$, $r = 0.235$, $n = 552$, $p < 0.001$ ）、回帰式から計算すると、透明度は1972年7月～2018年6月で約0.9 m上昇した。

一方、外域の透明度は長期的には下降しており（回帰分析、 $y = -0.00084x + 18.72$, $r = 0.107$, $n = 552$, $p < 0.001$ ）、透明度は1972年7月～2018年6月で約0.5 m下降した。また、熊野灘の透明度も長期的には下降しており（回帰分析、 $y = -0.00156x + 18.48$, $r = 0.149$, $n = 672$, $p < 0.001$ ）、透明度は1962年7月～2018年6月で約1.0 m下降した。

4. 潮位差と各海域の透明度との関係

図4に潮位差の年変化を示す。潮位差（月平均値）は-0.3cm（1972年10月）～36.1cm（1989年9月）の範囲で変化した。

潮位差と透明度との関係を図5に示す。内域においては、潮位差と透明度との間には有意な関係は認められなかった（相関分析、 $r = -0.024$, $n = 552$, $p = 0.562$ ）。外域においては、潮位差が大きいほど透明度は高くなった（相関分析、 $r = 0.285$, $n = 552$, $p < 0.001$ ）。

一方、熊野灘においては、潮位差が大きいほど透明度は低くなった（相関分析、 $r = -0.555$, $n = 672$, $p < 0.001$ ）。

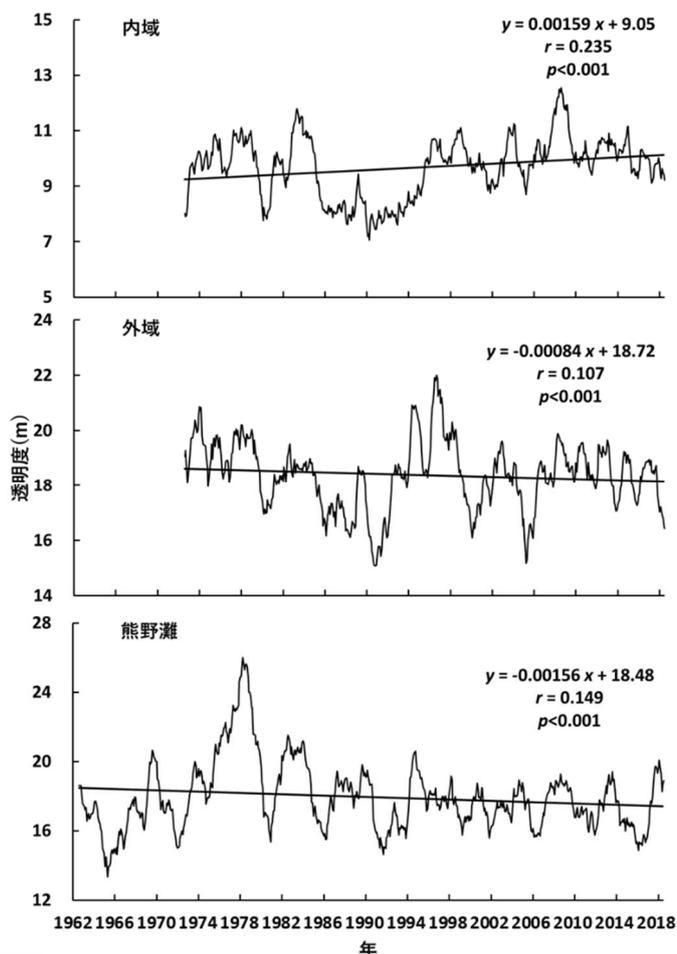


図3 内域、外域および熊野灘における透明度の年変化

考 察

本研究では、42の観測定点を地理的条件に基づいて3海域に区分してデータ解析を行った。しかしながら、例えば、紀の川河口付近と紀伊水道中央部では河川水の流入による影響は異なる(鎌田ら, 2009)。すなわち、本研究の結果は、海域ごとに透明度の平均的な特徴を明らかにしたものである。

外域および熊野灘の透明度の月変化は類似しており、透明度は冬季に高くなり、春季に低下するという季節変化があった。冬季は水温の低下によって植物プランクトンの増殖が抑えられ透明度が上昇するが、春季は春季ブルームによる植物プランクトンの増加によって透明度が下降すると考えられる。一方、内域の透明度は外域および熊野灘と比較するとすべての月で低く、季節変化は小さかった。内域で漁獲されたイワシ類の窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)は外域と比較して高く、内域は河川由来の栄養塩により強く依存する生態系であると考えられている(Yasue *et al.*, 2014)。透明度が低下する時期(7, 9月)は、梅雨や台風による降雨量の増加の時期と概ね一致した。内域では、河川に由来する栄養塩・懸濁物等の恒常的な流入の影響が透明度の月変化に強く影響したと考えられる。

瀬戸内海全域においては、1973年に瀬戸内海環境保全臨時措置法が制定されて以後、海水中の栄養塩濃度の低下が進み、養殖ノリの色落ちや漁獲量の減少が続いていることから、海域の生産力の低下が懸念されてきた(反田ら, 2014)。栄養塩濃度の低下については、陸域負荷削減が大きく影響しているが、底泥や外海からの供給量低下や近年の全天日射量の増加も栄養塩濃度の低下に影響を及ぼしていると考えられている(阿保ら, 2018)。

本研究において、長期的な観点では、内域の透明度は約0.9 m (9.1%) 上昇していた。このことは海水がより透明化していることを示しており、海域の生産力の低下と関係がある可能性がある。なお、潮位差の大小(黒潮の流路変動)が内域の透明度に及ぼす影響は検出できなかった。

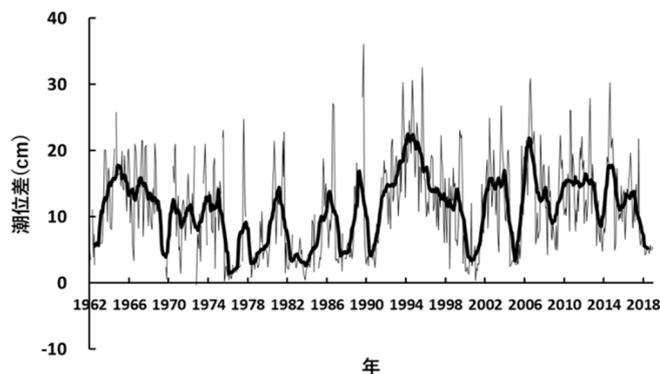


図4 串本と浦神の潮位差(串本の潮位から浦神の潮位を引いた値)の年変化
細線は月平均値、太線は13カ月移動平均値を示す

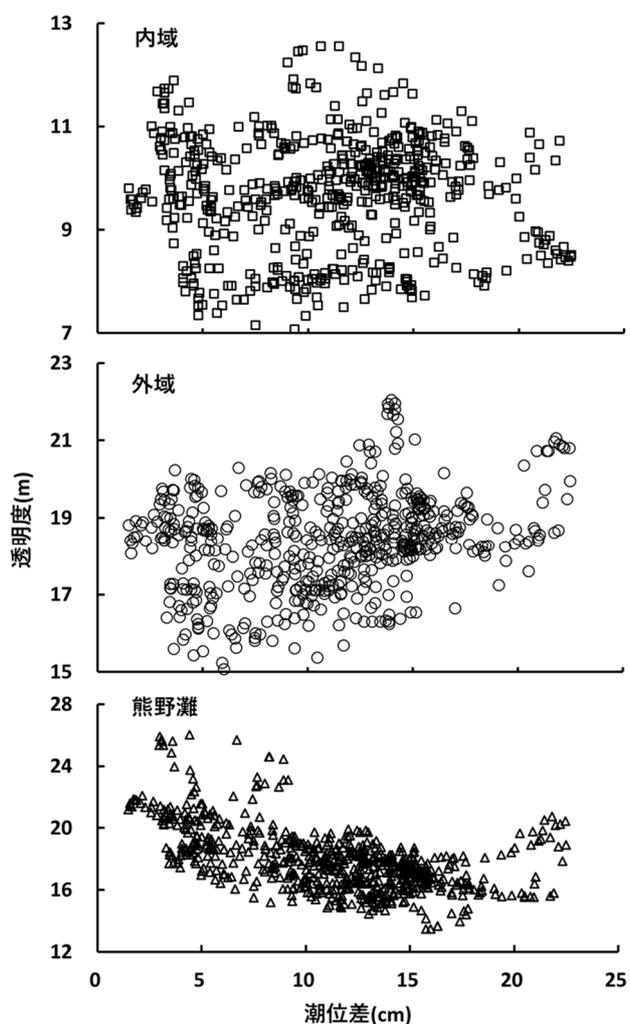


図5 串本と浦神の潮位差と透明度との関係

外域の透明度は長期的には約 0.5 m (2.5%), 熊野灘の透明度は約 1.0 m (5.8%) 下降していた。外域では、潮位差と透明度との間には有意な正の相関があり、潮位差が大きいときに透明度が高くなったが、熊野灘では外域と逆の関係があった。外域では、黒潮直進時に透明度が相対的に高いと考えられる黒潮系暖水が侵入する傾向があり、一方で、熊野灘では黒潮蛇行時に黒潮系暖水が侵入する傾向がある(竹内, 2005)。近年、黒潮は直進流路をとることが多かったことが、熊野灘での透明度の長期的な下降を引き起こしたと考えられる。外域においては、透明度が下降していたにもかかわらず、潮位差と透明度との間に有意な正の相関があったが、その関係は熊野灘と比較すると小さかった。外域における透明度の長期的な変化には、黒潮の流路変動以外の要因も関係した可能性がある。

本研究では、透明度の変化は水質の変化を総合的に表したものと考えた。今後の課題として、栄養塩濃度やクロロフィル *a* 量などのデータ解析を行い、3 海域の海洋環境の年変化を詳細に明らかにすることがあげられる。

摘 要

本研究では、和歌山県沿岸(内域、外域、熊野灘)における透明度の月変化と長期的な年変化を明らかにするとともに、潮位差(黒潮の流路変動)と透明度との関係を調べた。

1. 内域の透明度は外域および熊野灘と比較して、すべての月で低かった。
2. 内域の透明度は1972年7月～2018年6月で約0.9 m上昇した。一方、外域の透明度は同期間で約0.5 m下降し、熊野灘の透明度は1962年7月～2018年6月で約1.1 m下降した。
3. 内域では潮位差の大小(黒潮の流路変動)と透明度との間には有意な関係は認められなかったが、外域では潮位差が大きい時に透明度は高く、熊野灘では潮位差が小さい時に透明度は高かった。

引用文献

- 阿保勝之・秋山 諭・原田和弘・中地良樹・林 浩志・村田憲一・和西昭仁・石川陽子・益井敏光・西川 智・山田京平・野田 誠・徳光俊二. 2018. 瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因. 沿岸海洋研究. 55 : 101-111.
- 独立行政法人統計センター. 政府統計の総合窓口 e-start 海面漁業生産統計調査 長期累計. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalistsearch/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500216&tstat=000001015174&cycle=0&tclass=000001034726> (2020年12月17日閲覧)
- 藤田弘一. 2001. 日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差との関連に関する研究. 三重県科学技術振興センター水産研究部研究報告. 10 : 1-50.
- 石田鉄兵・上田幸男. 2008. 徳島県海域の透明度の長期変動について～透明度から海の変化をみる～. 黒潮の資源海洋研究. 9 : 45-52.
- 鎌田信一郎・吉村晃一・上田幸男. 2009. 紀伊水道における透明度の長期変動Ⅱ徳島・和歌山両県観測データを用いた統合解析. 黒潮の資源海洋研究. 10 : 15-26.
- 気象庁. 2020. 海洋の健康診断表 黒潮の数か月から十年規模の変動(流路). http://www.data.jma.go.jp/gm/d/kaiyou/data/shindan/b_2/kuroshio_stream/kuroshio_stream.html (2020年12月17日閲覧)
- 清本容子・山田一来・中田英昭・石坂丞二・田中勝久・岡村和磨・熊谷 香・梅田智樹・木野世紀. 2008. 有明海における透明度の長期的上昇傾向及び赤潮発生との関連. 海の研究. 17 : 337-356.

- 長田 宏. 1996. 日本周辺海域におけるクロロフィル *a* 量と透明度との関係. 日本海区水産研究所研究報告. 46 : 25-43.
- 長田 宏・小川嘉彦. 1997. 日本周辺海域における漁業生産量と海域の基礎生産量の指標としての透明度との関係. 日本海区水産研究所研究報告. 47 : 23-32.
- 竹内淳一. 2005. 紀伊半島周辺の海洋構造と変動および漁業への影響. 和歌山県農林水産総合技術センター特別研究報告. 8 : 1-123.
- 反田 實・赤繁 悟・有山啓之・山野井英夫・木村 博・團 昭紀・坂本 久・佐伯康明・石田祐幸・壽 久文・山田卓郎. 2014. 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業. 水産技術. 7 : 37-46.
- Yasue, N. Doiuchi, R. Takasuka, A. 2014. Trophodynamic similarities of three sympatric clupeoid species throughout their life histories in the Kii Channel as revealed by stable isotope approach. ICES Journal of Marine Science. 71: 44-55.

イセエビ微胞子虫の検出に用いる LAMP 法の開発

堅田昌英

和歌山県水産試験場

**Development of Loop-Mediated Isothermal Amplification Methods for Detection of
Ameson iseebi Itoh, Kuboyama, Freeman, Katata, Yamakawa and Yoshinaga
Causing the Microsporidian Disease in Japanese Spiny Lobster *Panulirus japonicus* (Von Siebold)**

Masahide Katata

Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station

緒 言

近年，漁獲されたイセエビ *Panulirus japonicus* (Von Siebold) において，可食部の筋肉が加熱した後のように白濁した個体（図 1）が見られるようになってきた（伊藤ら，2017；Itoh *et al.*，2020）。白濁の原因は，*Ameson* 属に分類される微胞子虫 *Ameson iseebi* Itoh, Kuboyama, Freeman, Katata, Yamakawa and Yoshinaga の寄生によるものであることが明らかになっており（Itoh *et al.*，2020），本疾病は一般的にイセエビ微胞子虫症と呼ばれている。



図 1 イセエビ微胞子虫症（筋肉白濁）

本疾病に感染すると，生存時から筋肉の白濁を肉眼でも確認することができるため，商品価値が喪失する（伊藤ら，2017；Itoh *et al.*，2020）。また，販売できなくなった白濁個体を水揚げ現場等で選別する必要があり，漁業者の作業負担が増大している。

本疾病の推定診断は，上記のとおり，筋肉の白濁を肉眼で確認することで行えるが，軽微な感染は見逃してしまう恐れがある。本疾病に感染したイセエビは，輸送等のストレスに弱く，死亡しや

すいことから、感染の見逃しは輸送途中や陸上水槽での畜養中の死亡に繋がる。そのため、出荷にあたり採捕地や採捕時期等における本疾病の感染の有無を確認する必要がある、迅速・簡便・高感度なモニタリングおよび診断手法が求められる。

LAMP (Loop-mediated Isothermal Amplification) 法は、PCR 法と同じく、特異的な DNA 領域を増幅する高感度な手法であるが、PCR 法よりも増幅効率が高く、短時間で増幅可能であることから (Notomi *et al.*, 2000)、早く診断結果が出るため、魚病のモニタリングおよび迅速診断に応用可能である。

そこで、本研究では、迅速で簡便かつ高感度なイセエビ微孢子虫 *A. iseebi* の検出系を確立することを目的に、LAMP 法による検出系の反応条件等について検討を行った。

材料および方法

1. 供試サンプル

筋肉が白濁し、当該筋肉組織に寄生している *A. iseebi* の胞子を顕微鏡観察で確認した天然イセエビ 1 尾 (和歌山県内の漁場から採捕) の筋肉組織から、QIAamp Fast DNA Stool Mini Kit (株式会社キアゲン製) を用いて、添付されている説明書に従って DNA 抽出を行い、PCR 法および LAMP 法に供した。また、筋肉が白濁しておらず、当該筋肉組織中に *A. iseebi* の胞子が顕微鏡観察で確認されなかった健康な天然イセエビ 1 尾 (和歌山県内の漁場から採捕) の筋肉組織からも同様に DNA 抽出を行い、陰性コントロールとした。また、LAMP 法の反応特異性の検討には、表 5 に示す各種病原体等の抽出 DNA を用いた。なお、これらも上述した同様の方法で DNA 抽出を行った。

2. PCR 法プライマーの設計

PCR 法のプライマーは、ITS 領域および LSU rRNA 遺伝子領域の一部 (合計 436bp) を標的配列として設計した。PCR 法による増幅反応を円滑に行うために、PCR 法プライマー設計支援ソフトウェア Primer3web version 4.1.0™ (<http://bioinfo.ut.ee/primer3>) を用いて、フォワードプライマーおよびリバースプライマーの 2 種類を設計した (表 1)。

表 1 *A. iseebi* 検出のための PCR 法プライマー塩基配列

原因虫	プライマー名	塩基配列
<i>A. iseebi</i>	IE-F	AGTGGCGAACGAACTGGATA
	IE-R	GCCTTCACCATCCACTACCA

3. PCR 法の実施

TaKaRa Ex Taq® Hot Start Version (タカラバイオ株式会社製) に添付されている説明書に従って、表 1 の各プライマー、TaKaRa Ex Taq HS, 10×Ex Taq Buffer (Mg²⁺ plus), dNTP Mixture および滅菌精製水を混合し、マスターミックスを作製した。0.2 ml のアイビス (R) PCR チューブ (アズワン株式会社製) を使い、23 μl のマスターミックスと抽出 DNA 溶液 2 μl を入れ、1 サンプルあたりの最終液量を 25 μl とした。PCR 反応は、サーマルサイクラー Gene Amp® PCR System 9700 (アプ

ライドバイオシステムズ製)を用いて、94℃で2分間の初期変性の後、94℃で20秒間、55℃で30秒間および72℃で30秒間を35サイクル行い、最後に72℃で5分間の付加伸張反応を行った。得られたPCR産物を1.5%アガロースゲル電気泳動に供し、トランスイルミネーターMupid-Scope(株式会社アドバンスバイオ製)を用いて増幅産物の確認を行った。

4. LAMP 法プライマーの設計

LAMP 法のプライマーは、上記の PCR 法プライマーの設計と同様に、ITS 領域および LSU rRNA 遺伝子領域の一部(合計436bp)を標的配列として設計した。また、同領域の塩基配列について、ClustalW Version 2.1TM (<http://clustalw.ddbj.nig.ac.jp>)を用いてアライメント解析を行い、標的とした配列が種特異的であることを確認した上で設計した。LAMP 法による増幅反応を円滑に行うために、LAMP 法プライマー設計支援ソフトウェア PrimerExplorer V5™ (<https://primerexplorer.jp/lampv5/index.html>)を用いて、4種類のプライマーを設計した(表2)。

表2 A. *iseebi* 検出のための LAMP 法プライマー塩基配列

原因虫	プライマー名	塩基配列
A. <i>iseebi</i>	IE-F3	AATCCGCAAGGAGATGTT
	IE-B3	GTCTACAATTTCACACTTTTGA
	IE-FIP	TCGCCTTGTAAGGGATATCACCAGGCTGCATAGGAAGTCA
	IE-BIP	GGAAAGTAGCCATACTTGGTAGTGGCTATCGGTCTCTTCTTGT

5. LAMP 法の実施

Loopamp® DNA 増幅試薬キット(栄研化学株式会社製)に添付されている説明書に従って、2×Reaction Mix (RM), 表2の各プライマー、鎖置換型 DNA 合成酵素(*Bst* DNA ポリメラーゼ), Loopamp® 蛍光・目視検出試薬(栄研化学株式会社製)およびキット添付の蒸留水を混合し、マスターミックスを作製した。0.2 ml の Loopamp® 反応チューブ(栄研化学株式会社製)を用い、23 μl のマスターミックスと抽出 DNA 溶液 2 μl を入れ、1 サンプルあたりの最終液量を 25 μl とした。LAMP 反応は、ブロックインキュベーター BI-516H(株式会社アステック製)で行い、所定時間経過後、ウォーターバス BM400(ヤマト科学株式会社製)で95℃・2分間のインキュベーションをすることで酵素を失活させ、反応を停止させた。反応終了後、ハンディー紫外線ランプ LUV-6(アズワン株式会社製)を用いて、反応チューブ底面より紫外線(波長365 nm)を照射し、反応チューブ側面より目視で観察して、蛍光の有無を確認した。緑色の蛍光を発すれば陽性、陰性コントロールと同様に蛍光を発しなければ陰性と判定した。

6. 反応条件等の検討

LAMP 法の最適な反応条件を把握するため、反応温度は54℃から66℃まで2℃ずつ変えて検証した。また、反応時間は10分から60分まで10分間ずつ変えて検討した。

LAMP 法の最適な反応温度および反応時間を把握した後、反応特異性を検証するため、表5に示す各種病原体等の抽出 DNA を LAMP 法に供して、増幅の有無を調べた。また、A. *iseebi* について、

同一の抽出 DNA 溶液を 10^{-6} まで 10 倍段階希釈して LAMP 法と PCR 法に供し、検出感度を比較した。

結果および考察

1. LAMP 法の反応温度および反応時間

LAMP 法の反応温度の検討結果を表 3 に、反応時間の検討結果を表 4 に示す。最適な反応温度を検討するために、反応時間を 60 分間に固定して検証した結果、56～64℃において陽性反応が認められた。反応温度が高過ぎても、低過ぎても陰性であったことから、陽性反応が認められた温度帯の中間域に相当する 60℃が反応温度として最適であると考えられた。

次に、最適な反応時間を検討するために、反応温度を 60℃に固定して実験した結果、50～60 分間の反応で陽性を示した。50 分間の反応でも陽性であったが、反応時間が短くなると陰性になり、50 分間は陽性の下限時間であることから、より正確を期すために、60 分間の反応時間が最適であると考えられた。

以上の結果から、60℃で 60 分間の反応を行えば LAMP 法で確実に検出できることが示された。

表 3 LAMP 法の反応温度の検討
(反応時間：60 分間)

反応温度	<i>A. iseebi</i>
54℃	—
56℃	+
58℃	+
60℃	+
62℃	+
64℃	+
66℃	—

表 4 LAMP 法の反応時間の検討
(反応温度：60℃)

反応時間	<i>A. iseebi</i>
10 分	—
20 分	—
30 分	—
40 分	—
50 分	+
60 分	+

2. LAMP 法の反応特異性

LAMP 法の反応特異性の検討結果を表 5 に示す。上述した結果を受けて、検討は 60℃・60 分間の反応条件で行ったところ、*A. iseebi* の検出系は、他の病原体等の DNA に対して交差反応を示さなかった。つまり、本研究で構築した LAMP 法は、対象とする *A. iseebi* 以外の DNA では陽性反応は見られず、反応特異性が高いことが示された。

表 5 LAMP 法の反応特異性の検討 (60°C・60 分間)

病原体	<i>A. iseebi</i>	病原体等	<i>A. iseebi</i>
<i>Ameson iseebi</i>	+	<i>Cardicola opisthorchis</i>	—
<i>Cryptocaryon irritans</i>	—	<i>Cardicola orientalis</i>	—
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	—	<i>Cardicola forsteri</i>	—
<i>Miamiensis avidus</i>	—	<i>Enteromyxum leei</i>	—
<i>Trichodina</i> sp. (ヒラメ寄生)	—	<i>Enteromyxum fugu</i>	—
<i>Trichodina</i> sp. (マダイ寄生)	—	<i>Sphaerospora fugu</i>	—
<i>Amyloodinium ocellatum</i>	—	<i>Tenacibaculum maritimum</i>	—
<i>Neoheterobothrium hirame</i>	—	<i>Edwardsiella tarda</i>	—
<i>Bivagina tai</i>	—	<i>Vibrio anguillarum</i>	—
<i>Kudoa septempunctata</i>	—	<i>Streptococcus iniae</i>	—
<i>Kudoa thyrsites</i>	—	RSIV	—
<i>Kudoa lateolabracis</i>	—	KHV	—

3. LAMP 法と PCR 法の検出感度比較

LAMP 法と PCR 法の検出感度比較の結果を表 6 に示す。反応特異性の検討と同様に、LAMP 法の反応条件は 60°C・60 分間とした。*A. iseebi* の検出系は、LAMP 法の方が PCR 法よりも検出感度が高く、PCR 法の 100 倍の検出感度を示した。粘液胞子虫性やせ病原因虫、クロマグロ住血吸虫、滑走細菌および海産白点虫を検出するための LAMP 法では、検出感度が PCR 法の 100~1,000 倍であったことが報告されているが (堅田・奥山, 2017; 堅田, 2018; 堅田, 2019; 堅田, 2020), 本研究においても、LAMP 法が PCR 法よりも高感度な検出系であることが示された。

表6 LAMP法(60℃・60分間)とPCR法の感度比較: *A. iseebi* 検出

希釈倍率	LAMP法	PCR法
10 ⁰	+	+
10 ⁻¹	+	+
10 ⁻²	+	+
10 ⁻³	+	+
10 ⁻⁴	+	-
10 ⁻⁵	+	-
10 ⁻⁶	-	-

以上の結果から、本研究で確立した *A. iseebi* の LAMP 法による検出系は、反応特異性および検出感度ともに問題なく、本疾病の迅速な検出・診断法として実用可能であると考えられた。

LAMP 法は、PCR 法よりも増幅反応を阻害する夾雑物の影響を受けにくいことが分かっており、コイヘルペスウイルスを検出するための LAMP 法では、簡易抽出法で得られた粗精製 DNA 溶液や、コイ *Cyprinus carpio* Linnaeus 組織から抽出した夾雑物を多く含む粗精製 DNA 溶液を鋳型としても問題なく増幅反応が確認されたことが報告されている(吉野ら, 2006)。本研究では、DNA 抽出キットを用いて精製された DNA 溶液を反応に供したが、DNA の簡易抽出法を取り入れることで、サンプルの DNA 抽出から結果判定に至るまでの時間をより短縮することができると考えられる。

現在のところ、本疾病に対する治療法は存在しないため、発生が確認されると、感染したイセエビを取り除いて処分するしかない。しかし、肉眼により筋肉の白濁を確認するだけでは軽微な感染を見逃してしまう恐れがある。本疾病に感染したイセエビは、輸送等のストレスに弱く、死亡しやすいため、感染の見逃しは輸送途中や陸上水槽での畜養中の死亡に繋がる。そこで、本疾病の迅速・簡便・高感度なモニタリングおよび診断を行うためには、高感度な分子生物学的検査手法が重要性を帯びてくる。本研究で確立した LAMP 法は、PCR 法よりも迅速かつ簡便で、高感度な検出を可能とすることから、本疾病に罹患したイセエビを効率的かつ速やかに確認するという現場での対応において、有力な検査ツールになり得ると考えられる。

本研究で構築した LAMP 法をはじめ、高感度な検出系は、微量な病原体を検出することができるため、養殖漁場への種苗導入前の健康診断には適切な手法である。しかし、魚病検査(魚病診断)の場合、検出された病原体が、検査対象としている魚介類の主たる死因となっているかどうかを検証しなければならない。そのためには定量解析が必要になってくるが、伝染性皮下造血管壊死症ウイルス(IHHNV)の LAMP 法による検出系において、リアルタイム濁度測定装置を用いて LAMP 反応をモニタリングすることによって、定量解析が可能であることが報告されている(Sudhakaran *et al.*, 2008)。本研究で確立した LAMP 法は定性的なものであるが、今後は魚病診断への応用を視野に入れて、本疾病の原因虫が定量的に検出できる LAMP 法の検出系を確立していくことが課題である。

摘 要

本研究では、イセエビ微胞子虫 *A. iseebi* を検出するための LAMP 法を開発した。LAMP 法のプライマーは、ITS 領域および LSU rRNA 遺伝子領域の一部（合計 436bp）を標的として設計した。LAMP 法の最適な反応時間および反応温度を検討した結果、60°C で 60 分間の反応を行うことで、確実に検出できることが示された。また、他の病原体等から抽出した DNA との交差反応は見られず、反応特異性が認められた。更に、当該 LAMP 法は、PCR 法の 100 倍の検出感度を示した。本研究で確立した *A. iseebi* の LAMP 法による検出系は、反応特異性および検出感度ともに問題なく、本疾病のモニタリングおよび迅速診断法として実用可能であると考えられた。

本研究を進めるにあたり、サンプリングにご協力いただきました、いせえび刺網漁業者および関係漁業協同組合の方々に感謝申し上げます。

引用文献

- Itoh, N., A. Kuboyama, M. A. Freeman, M. Katata, T. Yamakawa and T. Yoshinaga. 2020. A novel dimorphic microsporidian *Ameson iseebi* sp. nov. infecting muscle of the Japanese spiny lobster, *Panulirus japonicus*, in western Japan. *J. Invertebr. Pathol.* 176:107472.
- 伊藤直樹・窪山あずさ・山川卓・良永知義. 2017. 白濁したイセエビ筋肉に寄生する微胞子虫について. 平成 29 年度日本魚病学会秋季大会口頭発表.
- 堅田昌英. 2018. クロマグロ住血吸虫の検出に用いる LAMP 法の開発. 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告. 6:131-137.
- 堅田昌英. 2019. 滑走細菌の検出に用いる LAMP 法の開発. 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告. 7:193-199.
- 堅田昌英. 2020. 海産白点虫の検出に用いる LAMP 法の開発. 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告. 8:105-111.
- 堅田昌英・奥山芳生. 2017. 粘液胞子虫性やせ病原因虫の検出に用いる LAMP 法の開発. 魚病研究. 52:104-107.
- Notomi, T., H. Okayama, H. Masubuchi, T. Yonekawa, K. Watanabe, N. Amino and T. Hase. 2000. Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic Acids Res.* 28:e63.
- Sudhakaran, R., T. Mekata, T. Kono, K. Supamattaya, N. T. H. Linh, M. Sakai and T. Itami. 2008. Rapid detection and quantification of infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus in whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* using real-time loop-mediated isothermal amplification. *Fish Pathol.* 43:170-173.
- 吉野 学・渡 一・小島 禎・池戸正成. 2006. LAMP (Loop-Mediated Isothermal Amplification) 法によるコイヘルペスウイルスの高感度迅速検出. 魚病研究. 41:19-27.

Alexandrium pacificum の検出に用いる LAMP 法の開発

堅田昌英

和歌山県水産試験場

Development of Loop-Mediated Isothermal Amplification Methods for Detection of *Alexandrium pacificum* John, Litaker, Montresor, Murray, Brosnahan and Anderson

Masahide Katata

Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station

緒 言

渦鞭毛藻類である *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoid) および *A. tamarense* (Lebour) は、麻痺性貝毒を産生し、二枚貝の他、二枚貝を捕食するカニ類を毒化させる (三重県水産研究所, 2012) .

A. catenella および *A. tamarense* グループの分類については、従来から形態形質に基づく種と分子系統解析に基づく種との間に不一致があり、我が国でも調査現場での対応に混乱・苦慮してきた経緯がある (松岡・高山, 2016) . 最近の研究で、*A. catenella* および *A. tamarense* グループの種について、遺伝子情報が再整理された結果、*A. australiense* John, Litaker, Montresor, Murray, Brosnahan and Anderson (新種記載), *A. fundyense* Anderson, White and Baden (再定義), *A. mediterraneum* John, Litaker, Montresor, Murray, Brosnahan and Anderson (新種記載), *A. pacificum* John, Litaker, Montresor, Murray, Brosnahan and Anderson (新種記載) および *A. tamarense* (再定義) の 5 つの分岐群にまとめられた (John *et al.*, 2014a) . John *et al.* (2014b) は、*A. catenella* の種名を廃棄して *A. fundyense* とすることを提案したが、*A. catenella* の名前に先取権があることから、Wilson (2017) によりこの提案は退けられ、*A. fundyense* は *A. catenella* とされた. 以上の経緯により、*A. catenella* および *A. tamarense* グループの種は、*A. catenella* (Group I), *A. mediterraneum* (Group II), *A. tamarense* (Group III), *A. pacificum* (Group IV) および *A. australiense* (Group V) の 5 つの分岐群にまとめられることになった (Prud' homme van Reine, 2017; Wilson, 2017).

しかし、顕微鏡下で上記のアレキサンドリウム属プランクトンを形態に基づいて識別することは困難であるとされており (John *et al.*, 2014b), 現場ではその対応に苦慮することが予想される (松岡・高山, 2016) .

これまでも形態学的に極めて類似する *A. catenella* と *A. tamarense* のシストの識別には、分子系統解析学的手法が用いられてきたことから (Nagai *et al.*, 2004; Nagai *et al.*, 2006; Nagai *et al.*, 2007), 今後のアレキサンドリウム属プランクトンの同定には遺伝子情報が必須になる (松岡・高山, 2016) .

LAMP (Loop-mediated Isothermal Amplification) 法は、PCR 法と同じく、特異的な DNA 領域を増幅する高感度な手法であるが、PCR 法よりも増幅効率が高く、短時間で増幅可能であることから (Notomi *et al.*, 2000), 貝毒原因プランクトンのモニタリングに応用可能である。これまでも、LAMP 法による従来の *A. catenella* や *A. tamarense* の特異的な検出系が開発されてきた (Nagai and Itakura, 2012)。

そこで、本研究では、Prud'homme van Reine (2017) および Wilson (2017) によって5つの岐群にまとめられたアレキサンドリウム属プランクトンについて、迅速で簡便かつ高感度な検出系を確立することを目的に、LAMP 法による検出系の反応条件等について検討を行った。

材料および方法

1. 供試サンプル

和歌山県内の沿岸海域から採水された海水サンプル 1liter を 100 倍濃縮し、1ml ずつ 1.5ml マイクロテストチューブ (エッペンドルフ株式会社製) へ分注した。15,000rpm で5分間の遠心分離を行った後、各マイクロテストチューブの海水サンプルが $50\mu\text{l}$ 程度になるまで上清を除去した。それらを1本のマイクロテストチューブへ集約し、更に 15,000rpm で5分間の遠心分離を行い、海水サンプルが $50\mu\text{l}$ 程度になるまで上清を除去した。DNA 抽出を容易にするために、一度、凍結・解凍の処理をした後、Nagai *et al.* (2012) の方法に従って DNA 抽出を行い、LAMP 法に供した。なお、陰性コントロールとしては、砂濾過海水を孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルター (メルク株式会社製) で濾過したサンプルを用いた。陰性コントロールのサンプルについても、上記と同様に凍結・解凍の処理を施した後、同じく Nagai *et al.* (2012) の方法に従って DNA 抽出を行い、LAMP 法に供した。

2. LAMP 法プライマーの設計

LAMP 法のプライマーは、リボゾーマル DNA (rDNA) の internal transcribed spacer 1 (ITS1)-5.8S-ITS2 領域 (*A. australiense*: GenBank アクセッションナンバーKF908817, *A. catenella*: GenBank アクセッションナンバーKF908818, *A. mediterraneum*: GenBank アクセッションナンバーKF908816, *A. pacificum*: GenBank アクセッションナンバーKF908812, *A. tamarense*: GenBank アクセッションナンバーKF908813) を標的配列として設計した。なお、同領域の塩基配列について、ClustalW Version 2.1™ (<http://clustalw.ddbj.nig.ac.jp>) を用いてアライメント解析を行い、各プランクトンについて特異的な変異箇所を特定した。LAMP 法による増幅反応を円滑に行うために、LAMP 法プライマー設計支援ソフトウェア PrimerExplorer V5™ (<https://primerexplorer.jp/lampv5/index.html>) を用いて、アライメント解析によって特定した変異箇所を指定した上で、特異的プライマー設計モードにより、各プランクトンにつき4種類ずつのプライマーを設計した (表1)。

表1 アレキサンドリウム属プランクトン検出のための LAMP 法プライマー塩基配列

プランクトン	プライマー名	塩基配列
<i>A. australiense</i>	AA-F3	GCAAAATGCATTATGCATTGT
	AA-B3	AGTTTGCCCAAATAAACCAT
	AA-FIP	ATATGCATTGAATCAAGCACACCTTCCGTGAGCTAACAGATGT
	AA-BIP	ATGCTGATTAGCATTGCTGTGAAGAAAGTGTATGACACCCAG
<i>A. catenella</i>	AC-F3	AATTGCAGAATTCGGTGAG
	AC-B3	ACCAGCACATGACGAAAC
	AC-FIP	CAGCAGTATTGCATATGGAAGGTAACTTGTGCCTTTGGGATA
	AC-BIP	ACAAAGAGAGTCAATGTGTATTGCACCAATCAACCATGTTTAGGT
<i>A. mediterraneum</i>	AM-F3	CTTGTTTTACAAGCATGTGTG
	AM-B3	TTCAAGAATATCCCAAAGGTAC
	AM-FIP	TGAGCTAAGACATTCTTTGCAAACCTGGTTGGTAACTGTGTGA
	AM-BIP	TGAAGAATGCAGCAAATGCATTAACATCTGTTGGCTCAG
<i>A. pacificum</i>	AP-F3	CAAGCATGTGTGCTGTAG
	AP-B3	TCAAGAATGTCCCAAAGGT
	AP-FIP	CCTTGCAAACATAAGTGTTCATGTGATGTGTTGTGTAACCTG
	AP-BIP	TGATGAAGAATGCAGCCACATCATCTGTTAGCTCACGGAAT
<i>A. tamarense</i>	AT-F3	AATTGCAGAATTCGGTGAG
	AT-B3	TCAACCAGCAAATGACGAA
	AT-FIP	CAGCATTATTGCATATGGAAGACAGTGTGTTGAATGTTACTTGTACCTT
	AT-BIP	GTAGGGGTCAATGTGTGTGCCCAAGAAAACATGTTTAGGT

3. LAMP 法の実施

Loopamp® DNA 増幅試薬キット（栄研化学株式会社製）に添付されている説明書に従って、2× Reaction Mix (RM), 今回設計したプライマー, 鎖置換型 DNA 合成酵素 (*Bst* DNA ポリメラーゼ), Loopamp® 蛍光・目視検出試薬（栄研化学株式会社製）およびキット添付の蒸留水を混合し、マスターミックスを作製した。0.2 ml の Loopamp® 反応チューブ（栄研化学株式会社製）を用いて、23 μ l のマスターミックスと抽出 DNA 溶液 2 μ l を入れ、1 サンプルあたりの最終液量を 25 μ l とした。LAMP 反応は、ブロックインキュベーター BI-516H（株式会社アステック製）で行い、所定時

間経過後、ウォーターバス BM400（ヤマト科学株式会社製）で 95℃・2 分間のインキュベートをすることで酵素を失活させ、反応を停止させた。反応終了後、ハンディー紫外線ランプ LUV-6（アズワン株式会社製）を用いて、反応チューブ底面より紫外線（波長 365 nm）を照射し、反応チューブ側面より目視で観察して、蛍光の有無を確認した。緑色の蛍光を発すれば陽性、陰性コントロールと同様に蛍光を発しなければ陰性と判定した。

4. 反応条件等の検討

LAMP 法の最適な反応条件を把握するため、反応温度は 56℃から 68℃まで 2℃ずつ変えて検証した。また、反応時間は 10 分間から 60 分間まで 10 分間ずつ変えて検討した。

LAMP 法の最適な反応温度および反応時間を把握した後、同一の抽出 DNA 溶液を 10^{-4} まで 10 倍段階希釈して LAMP 法に供し、検出感度の検証を行った。

結果および考察

1. LAMP 法の反応温度および反応時間

LAMP 法の反応温度の検討結果を表 2 に示す。供試サンプルには、採水時の水温が 14.4℃、15.0℃および 21.5℃のサンプルを用いた。最適な反応温度を検討するために、反応時間を 60 分間に固定して検証した結果、採水時の水温が 14.4℃および 15.0℃のサンプルでは、*A. pacificum*を検出対象とする反応系でのみ 56～64℃の反応温度において陽性反応が認められた。また、採水時の水温が 21.5℃のサンプルでは、同じく *A. pacificum*を検出対象とする反応系でのみ 60～64℃の反応温度において陽性反応が見られた。供試した 3 種類の採水時水温のサンプルのいずれにおいても、60～64℃の反応温度で陽性であったことから、中間域に相当する 62℃が反応温度として最適であると考えられた。

LAMP 法の反応時間の検討結果を表 3 に示す。上述のとおり、供試した採水サンプルでは *A. pacificum*を検出対象とする反応系でしか陽性反応が認められなかったことから、反応時間の検討は *A. pacificum*検出系で行った。最適な反応時間を検討するために、上述の結果を受けて反応温度を 62℃に固定して実験したところ、50～60 分間の反応で陽性を示した。50 分間の反応でも陽性であったが、反応時間が短くなると陰性になり、50 分間は陽性の下限時間であることから、より正確を期すために、60 分間の反応時間が最適であると考えられた。

以上の結果から、*A. pacificum*は 62℃で 60 分間の反応を行えば LAMP 法で確実に検出できることが示された。

表 2 LAMP 法の反応温度の検討（反応時間：60 分間）

・ 供試サンプル採水時水温：14.4℃

プライマー検出対象 プランクトン	反応温度						
	56℃	58℃	60℃	62℃	64℃	66℃	68℃
<i>A. australiense</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. catenella</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. mediterraneum</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. pacificum</i>	+	+	+	+	+	—	—
<i>A. tamarense</i>	—	—	—	—	—	—	—

・ 供試サンプル採水時水温：15.0℃

プライマー検出対象 プランクトン	反応温度						
	56℃	58℃	60℃	62℃	64℃	66℃	68℃
<i>A. australiense</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. catenella</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. mediterraneum</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. pacificum</i>	+	+	+	+	+	—	—
<i>A. tamarense</i>	—	—	—	—	—	—	—

・ 供試サンプル採水時水温：21.5℃

プライマー検出対象 プランクトン	反応温度						
	56℃	58℃	60℃	62℃	64℃	66℃	68℃
<i>A. australiense</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. catenella</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. mediterraneum</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. pacificum</i>	—	—	+	+	+	—	—
<i>A. tamarense</i>	—	—	—	—	—	—	—

表3 LAMP法の反応時間の検討（反応温度：62℃）

反応時間	<i>A. pacificum</i> 検出系
10分	—
20分	—
30分	—
40分	—
50分	+
60分	+

2. LAMP法の検出感度検証

LAMP法の検出感度の検証結果を表4に示す。上述した結果を受けて、LAMP法の反応条件は、*A. pacificum* 検出系で62℃・60分間とした。LAMP法に供試したサンプルの細胞数は827cells/literであり、 10^{-3} の希釈倍率まで陽性反応が見られたことから、*A. pacificum* 検出系のLAMP法は、理論上0.827cells/literまで検出できると考えられた。

表4 LAMP法（62℃・60分間）の検出感度

希釈倍率	<i>A. pacificum</i> 検出系 (供試サンプル細胞数 ² : 827cells/liter)
10^0	+
10^{-1}	+
10^{-2}	+
10^{-3}	+
10^{-4}	—

²100倍濃縮した海水サンプル1mlを検鏡し、1liter当たりの細胞数に換算した。

本研究では、採水時の水温が14.4℃、15.0℃および21.5℃のサンプルを用いた。その結果、*A. pacificum*の検出系のみで、前2者のサンプルでは反応温度が56～64℃において、後1者のサンプルでは反応温度が60～64℃において、それぞれ陽性反応を示した。前2者と後1者のサンプルにおいて、陽性反応が見られた温度帯に違いが認められたのは、DNA抽出効率の差、あるいは遺伝子増幅効率の差に由来している可能性がある。日本沿岸域において、従来の*A. tamarense*は2～20℃の低水温期(Nagai *et al.*, 2007; 長井, 2016)、従来の*A. catenella*は15℃を上回る高水温期(Yoshimatsu and Ono, 1986; 長井, 2016)に出現が認められるとされてきた。これらの水温帯による区分では、本研究で供試したサンプルは、3者ともに従来の*A. tamarense*か従来の*A. catenella*のいずれに相当するのかを決めかねる。しかし、rDNAのITS1-5.8S-ITS2領域の塩基配列に着目した本研究によって、Prud'homme van Reine (2017) およびWilson (2017) が示した5つの分岐群の中では、本研究で供試したサンプルは3者ともに*A. pacificum* (従来の*A. catenella*

に相当) に分類されることが示された。

有害プランクトンのモニタリングには定量解析が必要不可欠である。魚病分野では、伝染性皮下造血器壊死症ウイルス (IHNV) の LAMP 法による検出系において、リアルタイム濁度測定装置を用いて LAMP 反応をモニタリングすることによって、定量解析が可能であることが報告されている (Sudhakaran *et al.*, 2008)。本研究で確立した LAMP 法は定性的なものであるが、今後は定量的に有害プランクトンを検出できる LAMP 法の検出系を確立していくことが課題である。

摘 要

本研究では、Prud'homme van Reine (2017) および Wilson (2017) によって 5 つの分岐群に分けられたアレキサンドリウム属プランクトンを検出するための LAMP 法について、反応条件等の検討を行った。LAMP 法のプライマーは、リボゾーマル DNA (rDNA) の internal transcribed spacer 1 (ITS1)-5.8S-ITS2 領域を標的として設計した。LAMP 法の最適な反応時間および反応温度を検討した結果、採水時水温が 14.4°C, 15.0°C および 21.5°C のサンプルともに *A. pacificum* の検出系でのみ陽性反応が認められ、62°C で 60 分間の反応を行うことで、確実に検出できることが示された。また、この *A. pacificum* 検出系の LAMP 法は、10 倍段階希釈で DNA 抽出溶液を 10^{-3} に希釈したサンプルまで陽性反応を示し、供試サンプル細胞数から計算して、理論上 0.827 cells/liter まで検出することができると考えられた。

本研究を進めるにあたり、サンプリングにご協力いただきました貝類養殖業者および和歌山県沿海各振興局の水産業普及指導員の方々に感謝申し上げます。

引用文献

- John, U., W. Litaker, M. Montresor, S. Murray, M. L. Brosnahan and D. M. Anderson. 2014a. Formal revision of the *Alexandrium tamarense* species complex (Dinophyceae) taxonomy: the introduction of five species with emphasis on molecular-based (rDNA) classification. *Protist*. 165:779-804.
- John, U., W. Litaker, M. Montresor, S. Murray, M. L. Brosnahan and D. M. Anderson. 2014b. Proposal to reject the name *Gonyaulax catenella* (*Alexandrium catenella*) (Dinophyceae). *Taxon*. 63:932-933.
- 松岡数充・高山晴義. 2016. 渦鞭毛藻の分類. pp. 2-16. 今井一郎・山口峰生・松岡数充 編著. 有害有毒プランクトンの科学. 恒星社厚生閣. 東京.
- 三重県水産研究所. 2012. 三重県沿岸海域 プランクトン図鑑. pp. 36-37.
- 長井 敏. 2016. 分子生物学的研究手法の発展. pp. 48-57. 今井一郎・山口峰生・松岡数充 編著. 有害有毒プランクトンの科学. 恒星社厚生閣. 東京.
- Nagai and Itakura. 2012. Sensitive and specific detection of the toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* and *Alexandrium catenella* from single vegetative cells by a loop-mediated isothermal amplification method. *Mar. Genomics*. 7:43-49.
- Nagai, S., C. L. Lian, M. Hamaguchi, Y. Matsuyama, S. Itakura and T. Hogetsu. 2004.

- Development of microsatellite markers in the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae). *Mol. Ecol. Notes*. 4:83-85.
- Nagai, S., C. L. Lian, S. Yamaguchi, M. Hamaguchi, Y. Matsuyama, S. Itakura, H. Shimada, S. Kaga, H. Yamauchi, Y. Sonda, T. Nishikawa, C. H. Kim and T. Hogetsu. 2007. Microsatellite markers reveal population genetic structure of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae) in Japanese coastal waters. *J. Phycol.* 43:43-54.
- Nagai, S., M. Sekino, M. Matsuyama and S. Itakura. 2006. Development of microsatellite markers in the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Dinophyceae). *Mol. Ecol. Notes*. 6:120-122.
- Nagai, S., K. Yamamoto, N. Hata and S. Itakura. 2012. Study of DNA extraction methods for use in loop-mediated isothermal amplification detection of single resting cysts in the toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* and *A. catenella*. *Mar. Genomics*. 7:51-56.
- Notomi, T., H. Okayama, H. Masubuchi, T. Yonekawa, K. Watanabe, N. Amino and T. Hase. 2000. Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic Acids Res.* 28:e63.
- Prud'homme van Reine, W.F. 2017. Report of the Nomenclature Committee for Algae:15. *TAXON* 66:191-192.
- Sudhakaran, R., T. Mekata, T. Kono, K. Supamattaya, N. T. H. Linh, M. Sakai and T. Itami. 2008. Rapid detection and quantification of infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus in whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* using real-time loop-mediated isothermal amplification. *Fish Pathol.* 43:170-173.
- Wilson, K.L. (Secretary). 2017. Report of the General Committee:18. *TAXON* 66:742-744.
- Yoshimatsu, Y. and C. Ono. 1986. The seasonal appearance of red tide organisms and flagellates in the southern Harima-Nada, Inland Sea of Seto. *Bull. Akashiwo Res. Inst. Kagawa Pref.* 2:1-42.

学会誌掲載論文抄録

薬剤散布および薬剤への展着剤の加用がシンガポールへの低温海上輸送後に発生するウンシュウミカン果実の腐敗に及ぼす影響

武田知明・衛藤夏葉¹・岡室美絵子²・井沼 崇³・中野龍平⁴・
福田文夫⁵・河井 崇⁵・深松陽介⁶・西銘玲子⁷

和歌山県果樹試験場,¹和歌山県海草振興局,²前和歌山県果樹試験場,³和歌山県農林水産部,⁴京都大学大学院農学研究科,⁵岡山大学大学院環境生命科学研究科,⁶岡山県農林水産総合センター生物科学研究所,⁷三井化学シンガポール R&D センター

Effects of fungicide application and addition of a sticker adjuvant to the fungicide on the occurrence of fruit rot in Satsuma mandarin after refrigerated maritime transportation from Japan to Singapore

Tomoaki Takeda, Kayou Eto¹, Mieko Okamuro², Takashi Inuma³, Ryuhei Nakano⁴,
Fumio Fukuda⁵, Takashi Kawai⁵, Yousuke Fukamatsu⁶, Reiko Nishime⁷

Wakayama Prefectural Fruit Tree Experiment Station,

¹*Kaisou Bureau, Wakayama Prefectural Office,*

²*Former Wakayama Prefectural Fruit Tree Experiment Station,*

³*Agriculture, Forestry and Fishery Department, Wakayama Prefectural Office,*

⁴*Graduate School of Agriculture, Kyoto University,*

⁵*Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University,*

⁶*Research Institute for Biological Sciences, Okayama Prefecture,*

⁷*Mitsui Chemicals Singapore R&D Centre Pte Ltd.*

摘 要

ウンシュウミカンのシンガポール輸出後の果実腐敗軽減技術確立のため、いくつかの試験を実施した。県内の 44 圃場で採集したカンキツ緑かび病菌 110 菌株のチオファネートメチル剤およびベノミル剤耐性菌率は 8.2%と低く、イミノクタジン酢酸塩剤の耐性菌は確認されなかったことから、3 剤の耐性菌による防除効果の低下はないものと思われた。リーファーコンテナを用いた海上輸送試験において、収穫前のチオファネートメチル水和剤散布はコンテナから搬出 19 日後の腐敗果率を無散布の約 41%に抑制したことから、本剤の散布は輸出後の果実腐敗軽減に実用性がある。パラフィン系展着剤をチオファネートメチル水和剤またはイミノクタジン酢酸塩液剤に加用することで、人工降雨条件下での緑かび病菌接種試験では発病箇所率の低下が認められ、上記と同様の海上輸送試験においては、搬出 14 日後の腐敗果率が低下する傾向がみられた。これらのことから、収穫前の殺菌剤へのパラフィン系展着剤の加用は輸出後の果実腐敗に対する防除効果を向上させると考えられた。

海上輸送によるカキ‘中谷早生’の東南アジア輸出時の軟化抑制技術の確立

古田貴裕^{1,2}・和中 学¹・熊本昌平^{1a}・池永裕一³・西銘玲子⁴・河井 崇²・
深松陽介^{2b}・福田文夫²・久保康隆²・中野龍平^{5*}

¹ 和歌山県果樹試験場かき・もも研究所 649-6531 和歌山県紀の川市粉河

² 岡山大学大学院環境生命科学研究科 700-8530 岡山市北区津島中

³ 三井化学株式会社フード&パッケージング事業本部 105-7122 東京都港区東新橋

⁴ 三井化学シンガポール R&D センター 117406 シンガポール Science Park II

⁵ 京都大学大学院農学研究科附属農場 619-0218 京都府木津川市城山台

Control of Fruit Softening during Marine Transport Bound for Southeast Asia in ‘Nakatani-Wase’ Persimmon

Takahiro Furuta^{1,2}, Manabu Wanaka¹, Shohei Kumamoto^{1a}, Hirokazu Ikenaga³, Reiko Nishime⁴, Takashi Kawai²,
Yosuke Fukamatsu^{2b}, Fumio Fukuda², Yasutaka Kubo² and Ryohei Nakano^{5*}

¹ *Laboratory of Persimmon and Peach, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Pref., Kokawa, Kinokawa, Wakayama 649-6531*

² *Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, Okayama 700-8530*

³ *Mitsui Chemicals, Inc., Food&Packaging Business Sector, Higashi-shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-7122*

⁴ *Mitsui Chemicals Singapore R&D Centre, Pte. Ltd., The Kendall Singapore Science Park II, Singapore 117406*

⁵ *Experimental Farm of Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kizugawa, Kyoto 619-0218*

摘 要

極早生の渋ガキ‘中谷早生’の東南アジア海上輸出に向けた軟化抑制技術として脱渋と 1-MCP (1-methylcyclopropene) の同時処理と輸送中の包装方法の組み合わせを検討した。海上輸送シミュレーションでは、防湿段ボール箱単独区では果実軟化が進行したが、いずれの包装条件でも 1-MCP 処理果実は軟化しなかった。現地到着後の流通想定期間には、1-MCP 処理と組み合わせた MA (Modified Atmosphere) 個包装や箱単位の MA 大袋包装により、低温下では 10 日間以上、室温下でも 7 日間ほとんど軟化果実は発生しなかった。一方、一般および防湿段ボール箱では、低温下では 5 日目以降に、常温下では急速に果実軟化が進行した。シンガポールへの海上輸送による実証試験では、1-MCP 処理と輸送期間中の箱単位での MA 大袋包装の併用により、港到着時に軟化果実の発生はなく、その後、室温下に保持しても到着 6 日後の軟化率は 13.3%に抑制された。以上のことから、‘中谷早生’のリーファーコンテナを用いた海上輸送による東南アジア輸出には 1-MCP 処理と箱単位での MA 包装の併用が実用的な品質保持技術となることが示された。

^a 現在：和歌山県果樹試験場

^b 現在：岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

Estimation of demographic history of Japanese and Taiwanese populations in *Prunus mume* using SSR marker genotypes

Koji Numaguchi^{1,2}, Yuto Kitamura², Ryo Ishikawa¹ and Takashige Ishii¹

¹Graduate School of Agricultural Science, Kobe University (1-1 Rokkodai, Nada-ku, Kobe 657-8501, Japan)

²Japanese Apricot Laboratory, Wakayama Fruit Tree Experiment Station (1416-7 Higashi-Honjo, Minabe, Wakayama 645-0021, Japan)

Abstract

Prunus mume Sieb. et Zucc. (conventionally called Japanese apricot, Chinese mei and mume) is a deciduous fruit tree species in the genus *Prunus*. More than 300 *P. mume* cultivars are distributed mainly in East Asia, including Japanese fruit, small-fruit and ornamental cultivars and Taiwanese cultivars. In order to estimate demographic history of three Japanese and one Taiwanese subpopulations, approximate Bayesian computation analysis was carried out using 20 SSR genotype datasets of 53 cultivars (20 fruit, 8 small-fruit, 20 ornamental and 5 Taiwanese cultivars). At first, the best fitting model (posterior probability: 0.501) was estimated among six probable scenarios, and median values of demographic parameters were computed. The generation time for *P. mume* cultivars was assumed to be seven years (full reproductive age) for time conversion. In the best scenario, Japanese and Taiwanese populations had first diverged at 10360 (95% confidence interval (CI): 2079-56910) years ago, followed by the separation of ornamental cultivars among Japanese populations at 3633 (95% CI: 1218-12740) years ago, and final differentiation between fruit and small-fruit cultivars at 2387 (95% CI: 623-6258) years ago. Although the divergence times were roughly estimated, the results suggest that Japanese and Taiwanese populations were separated through the geographic isolation with different climate conditions, and ornamental, fruit and small-fruit cultivars were recently differentiated based on human preference in Japan.

SSR マーカー遺伝子型に基づく日本と台湾のウメの過去の集団動態の推定

ウメ (*Prunus mume*) は *Prunus* 属の果樹であり、300 以上の品種が東アジアを中心に分布しているが、日本の実ウメ、小ウメ、花ウメおよび台湾由来のウメもこれらに含まれる。そこで、日本と台湾のウメの過去の集団動態を推定するために、53 品種 (実ウメ 20 品種、小ウメ 8 品種、花ウメ 20 品種、台湾 5 品種) の SSR マーカー 20 座における遺伝子型のデータセットに基づき、近似ベイズ計算 (approximate Bayesian computation) を用いた解析を行った。まず、6 つの起こりうる分岐シナリオから最適モデル (事後確率 0.501) を推定し、そのモデルの集団動態に関するパラメーターの中央値を算出した。また、ウメの世代時間を 7 年 (生殖可能年齢) と仮定し、世代数を年代に換算した。最適モデルでは、日本と台湾の集団が 10360 年 (95%信頼区間: 2079-56910 年) 前に初めに分岐し、その後 3633 年 (95%信頼区間: 1218-12740 年) 前に日本の集団から花ウメが分かかれ、最終的に 2387 年 (95%信頼区間: 623-6258 年) 前に実ウメと小ウメが分化したと推定された。これらの分岐年代は粗く推定されたものであるが、異なった気候条件を伴う地理的隔離により日本と台湾のウメが分化し、その後日本で人の用途に応じて花ウメ、実ウメ、小ウメが最近分化したことを示唆する結果となった。

Interspecific introgression and natural selection in the evolution of Japanese apricot (*Prunus mume*)

Koji Numaguchi^{1,2,*}, Takashi Akagi^{3,*}, Yuto Kitamura², Ryo Ishikawa¹ and Takashige Ishii¹

¹Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Nada-ku, Rokkodai 1-1, Kobe 657-8501, Japan,

²Japanese Apricot Laboratory, Wakayama Fruit Tree Experiment Station, Minabe, Higashi-honjo 1416-7, Wakayama 645-0021, Japan, and

³Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, Kita-ku, Tsushima-naka 1-1-1, Okayama 700-8530, Japan

*For correspondence (e-mail numaguchi_k0001@pref.wakayama.lg.jp; takashia@okayama-u.ac.jp).

Abstract

Domestication and population differentiation in crops involve considerable phenotypic changes. The logs of these evolutionary paths, including natural/artificial selection, can be found in the genomes of the current populations. However, these profiles have been little studied in tree crops, which have specific characters, such as long generation time and clonal propagation, maintaining high levels of heterozygosity. We conducted exon-targeted resequencing of 129 genomes in the genus *Prunus*, mainly Japanese apricot (*Prunus mume*), and apricot (*Prunus armeniaca*), plum (*Prunus salicina*), and peach (*Prunus persica*). Based on their genome-wide single-nucleotide polymorphisms merged with published resequencing data of 79 Chinese *P. mume* cultivars, we inferred complete and ongoing population differentiation in *P. mume*. Sliding window characterization of the indexes for genetic differentiation identified interspecific fragment introgressions between *P. mume* and related species (plum and apricot). These regions often exhibited strong selective sweeps formed in the paths of establishment or formation of substructures of *P. mume*, suggesting that *P. mume* has frequently imported advantageous genes from other species in the subgenus *Prunus* as adaptive evolution. These findings shed light on the complicated nature of adaptive evolution in a tree crop that has undergone interspecific exchange of genome fragments with natural/artificial selections.

ウメの進化における種間遺伝子流動と選抜

作物における栽培化や品種分化は、劇的な形質変化を伴う過程である。これらの進化の痕跡（自然／人為選抜など）は、現存する集団のゲノム中にみいだすことができるが、長い世代期間、栄養繁殖などによって高いヘテロ性を維持する木本作物（果樹）においては、ほとんど研究されていない。そこで本研究では、ウメを中心としてアンズ、スモモ、モモの計 129 品種のバラ科サクラ属果樹についてエクソンを標的としたゲノム解読を行った。本データと、既報の中国のウメ 79 品種分のゲノムデータとを合わせてゲノム全体に渡って取得した一塩基多型情報に基づき、我々はウメの地理的分化（中国、日本、台湾）や人々の好み（花ウメ、実ウメ、小ウメなど）に応じた遺伝的分化を示唆した。さらに、ゲノム断片毎に連続的な集団構造解析を行ったところ、ウメとアンズ、スモモとの間に種間遺伝子流動が示唆されるゲノム領域が検出された。これらの領域は、ウメの成立や品種分化の過程においてしばしば強い選抜にさらされたことが示され、ウメが進化の過程においてスモモ亜属の他種から適応にとって有利な遺伝子を導入してきたものと考えられた。これらの発見は、種間における遺伝因子の交換ならびに自然／人為選抜を伴う、木本作物の複雑な進化を紐解く糸口となることが期待される。

アカマダラケシキスイ（コウチュウ目：ケシキスイ科）の 季節消長と生活史

貴志 学^{1a}

¹和歌山県果樹試験場うめ研究所 645-0021 和歌山県日高郡みなべ町東本庄

Seasonal prevalence and life history of the sap beetle *Phenolia (Lasiodites) picta* (Coleoptera: Nitidulidae)

Manabu Kishi^{1a*}

¹Japanese Apricot Laboratory, Wakayama Fruit Tree Experiment Station, Higashihonjo, Minabe, Hidaka, Wakayama
645-0021

Abstract

The sap beetle *Phenolia (Lasiodites) picta* (MacLeay) (Coleoptera: Nitidulidae) is widely distributed in Asia, Australia, and Africa, but its basic biology has not been studied. In the present study, the seasonal prevalence of *P. (L.) picta* was investigated using banana bait traps in two regions, Minabe and Arida, Wakayama Prefecture, Japan, from April to October 2015 and 2016. Adults of *P. (L.) picta* occurred from late April–late October in Minabe, and late April–early September in Arida, respectively. The presence of larvae was observed twice in May–July and August–October in Minabe, but only once in May–July in Arida. These results imply that *P. (L.) picta* is a bivoltine in Minabe. The beetles oviposit in leaf mold, and a successful artificial rearing method was established using banana fruit and leaf mold. The effects of long and short photoperiods (long photoperiod, 14.5L : 9.5D; short photoperiod, 10L : 14D) on the ovarian development of females during ‘larval and pupal’ and ‘adult’ stages, respectively, were also studied in the laboratory. Females reared with a long photoperiod across all stages had significantly higher percentages of ovarian development (77.3%) than those reared with a short photoperiod during either ‘larval and pupal’ stages (20.0%) or ‘adult’ stages (35.0%).

アカマダラケシキスイ *Phenolia (Lasiodites) picta* (MacLeay) はコスモポリタンな分布を示す種であるが、その生態の多くは不明である。本研究では、まず2015年と2016年に和歌山県みなべ町及び有田市でベイトトラップを用いて成虫と幼虫の季節消長を調査した。みなべ町での成虫の発生は4月下旬から10月下旬まで、また有田市では4月下旬から9月上旬に見られた。しかし幼虫の発生は、みなべ町が5月から7月と、8月から10月と2度見られたのに対し、有田市では5月から7月の1度のみであった。したがって、少なくともみなべ町では年2化性を採ることが示唆された。本種はバナナと腐葉土のみで人工的に累代飼育することが可能であり、腐葉土中に産卵した。さらに本種の幼虫を、幼虫一蛹期と成虫期で日長条件（長日：14.5L：9.5D；短日：10L：14D）を切り換え飼育した。幼虫一蛹期と成虫期を常に長日条件で飼育した雌が卵巣を発達させた割合（77.3%）は、幼虫一蛹期のみを短日で飼育した雌（20%）、また成虫期のみを短日で飼育した雌（35.0%）に比べ有意に高かった。

* 現在：和歌山県工業技術センター

紀伊水道で漁獲された浮魚類における生体電気インピーダンスと脂質含量との関係

武田崇史¹・岡部修一²・安江尚孝¹

¹和歌山県水産試験場, 和歌山県東牟婁郡串本町, 649-3503

²大和製衡株式会社, 兵庫県明石市, 673-8688

Relationship between bioelectrical impedance and lipid content of pelagic fish species caught in the Kii Channel

Takashi Takeda¹, Syuuichi Okabe², Naotaka Yasue¹

¹Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station, Kushimoto, Higashimuro, Wakayama 649-3503, Japan

²Yamato Scale CO., LTD., Akashi, Hyogo 673-8688, Japan

Abstract

The purpose of this study is to examine the relationships between lipid content and the bioelectrical impedance (2, 5, 20, 50 and 100 kHz) measured using a Fish Analyzer (Yamato Scale Co., Ltd.) for horse mackerel *Trachurus japonicus*, Japanese scad *Decapterus maruadsi*, chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* caught in the Kii Channel. For the four species collected during June 2017 to December 2019, the relationships between the impedance measured at the dorsal muscle and the lipid content of the whole body were examined using multiple regression analysis. The impedance at 20 and 100 kHz was selected as an explanatory variable in horse mackerel ($r = 0.766$), at 5 and 100 kHz in chub mackerel ($r = 0.923$), and 20 and 100 kHz in spotted mackerel ($r = 0.765$). However, the lipid content was not explained by bioelectrical impedance in Japanese scad. These results indicate that the accuracy of estimating the lipid content of the whole body, using bioelectrical impedance measured at one place of the body, depends on the fish morphology and/or species.

本研究では、紀伊水道で漁獲されたマアジ、マルアジ、マサバ、ゴマサバについて、Fish Analyzer (大和製衡株式会社) によるインピーダンス (2, 5, 20, 50, 100kHz) と脂質含量との関係を重回帰分析で調べた。マアジでは説明変数が 20kHz と 100kHz のインピーダンスの式 ($r = 0.766$) が、マサバでは 5kHz と 100kHz のインピーダンスの式 (0.923) が、ゴマサバでは 20kHz と 100kHz のインピーダンスの式 (0.765) が得られた。一方、マルアジでは有意な式は得られなかった。インピーダンスから魚体の脂質含量を推定できるかは魚の形態や魚種に依存すると考えられる。

和歌山県農林水産試験研究機関研究報告
第9号

発行 令和3年3月
発行所 和歌山県農林水産部
〒640-8585
和歌山県和歌山市小松原通1-1
TEL 073-441-2997
FAX 073-433-3024
