

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

NO. 8 March 2020

---

---

和歌山県農林水産試験研究機関  
研究報告

第8号

令和2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】

- 電照処理とトンネル高温処理によるストックの開花調節・品質向上技術の開発 1 ~ 19  
松本比呂起・宮本芳城・濱中大輝・島 浩二
- 水田転換畑での種ショウガ栽培における抑草技術 20 ~ 30  
田中 郁・矢部泰弘
- エンドウ栽培における太陽熱土壌消毒前全量基肥施用技術の確立  
(第2報)新肥料の開発と有用性の実証 31 ~ 42  
橋本真穂・三宅英伸・林 恭弘

### 【農業試験場暖地園芸センター】

- 実エンドウ新品種‘みなべ短節間1号’の特性 43 ~ 56  
田中寿弥・川西孝秀・小林泰之・東 卓弥

### 【果樹試験場】

- 不整地での囲いワナによるニホンジカの捕獲法の開発 57 ~ 65  
西村光由・衛藤夏葉・植田栄仁

### 【果樹試験場うめ研究所】

- ウメの連作障害に関する研究  
(第4報)未利用資源を原料としたウメ連作障害対策用木炭の開発 67 ~ 78  
大江孝明・橋本千賀子・西原英治・水口裕介・城村徳明・岡室美絵子
- 花芽の温度要求性モデルを利用したウメ‘南高’における開花期予測簡易  
プログラムの実装 79 ~ 84  
北村祐人・沼口孝司・仲 慶晃

### 【林業試験場】

- シカ採食防止資材によるウバメガシ萌芽の保護効果 85 ~ 91  
山下由美子・法眼利幸・濱田さつき・坂口和昭・坂本 淳
- スギ幅はぎパネルを用いた床水平構面の性能評価  
-面内せん断耐力と釘接合部の一面せん断耐力について- 93 ~ 103  
濱口隆章・岡本憲治

### 【水産試験場】

- 海産白点病の検出に用いる LAMP 法の開発 105 ~ 111  
堅田昌英

### 【学会誌掲載論文抄録】

- Large-scale field survey reveals overall yield loss in Japanese apricot  
possibly caused by two ampeloviruses 113  
Koji Numaguchi・Tomoaki Takeda・Yasuhisa Tsuchida・Ryoji Nakaue

Microsatellite Marker Development and Population Structure Analysis in Japanese Apricot ( <i>Prunus mume</i> Sieb. et Zucc.)	114
Koji Numaguchi · Shogo Ishio · Yuto Kitamura · Kentaro Nakamura · Ryo Ishikawa · Takashige Ishii	
アカマダラケシキスイ成虫（コウチュウ目：ケシキスイ科）の雌雄にみられる分布様式と嗅覚反応の差異	115 ~ 116
貴志 学 · 岸 茂樹	
振動が誘発するアカマダラケシキスイ（コウチュウ目：ケシキスイ科）幼虫の逃避行動	117
貴志 学 · 高梨琢磨	
山地性バラ科樹種の細枝に接種したクビアカツヤカミキリ孵化幼虫の発育	118
法眼利幸 · 北島 博 · 勝木俊雄	
ウバメガシの萌芽更新に及ぼす伐根直径と伐採高の影響	119 ~ 120
山下（中森）由美子	
カシノナガキクイムシ穿孔後に伐採されたウバメガシの萌芽再生の可能性	121 ~ 122
山下（中森）由美子 · 栗生 剛	

# 電照処理とトンネル高温処理による ストックの開花調節・品質向上技術の開発

松本比呂起・宮本芳城・濱中大輝<sup>1</sup>・島浩二

和歌山県農業試験場

**Regulation of Flowering Time and Improvement in Cut Flower Quality of Stock  
(*Matthiola incana* (L.) R. Br.) Combining Night-break Treatment and Tunnel-covering Treatment**

Hiroki Matsumoto, Yoshiki Miyamoto, Daiki Hamanaka<sup>1</sup> and Koji Shima

*Wakayama Agricultural Experiment Station*

## 緒 言

ストック (*Matthiola incana* (L.) R. Br.) は南ヨーロッパを原産とするアブラナ科の花きで、低温開花性に優れ、暖地ではほとんど無加温で、寒冷地でも 5 程度の加温で栽培可能であることから (鷹見, 2009), 秋冬季の施設・露地品目として全国的に栽培が行われている。和歌山県では、生産者の高齢化のため生産量、生産面積ともに減少していたが (和歌山県, 2006), 燃油価格の高騰を契機に、加温設備を持たない軽装備の施設でも栽培可能な品目として再び注目されている。しかし、ストックは開花時期の年次変動が大きく、県内の主力品種であるアイアン系品種は、切り花品質が高いものの中生品種であることから、秋季が高温や寡日照開の年には夏播き作型の開花が大きく遅れ、需要期である年内にはほとんど出荷ができず、経営の不安定化や圃場利用率の低下につながっている。

ストックは花芽分化に低温が必要であり、一定以下の低温に遭遇することで低温要求量が満たされ、花芽分化が開始される。低温要求性の程度は品種の早晩性を支配する一因となっており (坂西・福住, 1968), 藤田ら (1978a) は無分枝系ストック品種の早晩性と花芽分化に必要な低温の関係性を精査し、早生品種で 18~20 以下、中生品種で 15~18 以下、晩生品種で 13~15 以下の低温を要求することを明らかにした。つまり、夏播き年内出荷作型における開花遅延は、秋季の低温不足による花芽分化の遅延が主たる原因であると考えられる。しかし、県内のストック栽培施設の多くは、冷房設備を持たないパイプハウスであるため、積極的な低温管理は困難であり、低コストで導入可能な開花調節技術の開発が求められている。

低温処理以外のストックの開花促進技術として、これまで植物成長調整剤と電照による開花促進が検討されてきた。ストックはジベレリン処理により開花促進されることが知られており (Lindstorm et al., 1957), 効果的なジベレリンの種類や処理濃度、処理回数等が検討されたが (藤田ら, 1978b), 普及には至らなかった。久松ら (2001) は、ストックの花芽分化には活性型ジベレリン ( $GA_4$ ) が促進的に作用し、ジベレリン生合成阻害剤であるプロヘキサジオンカルシウム塩 (PCa) 処理により、植物体内の活性型ジベレリン含量が上昇し、花芽分化が促進されることが明らかにした。この成果を基に、植物成長調整剤

<sup>1</sup> 現在：日本貿易振興機構農林水産・食品部農林水産・食品事業推進課へ派遣

としてPCa水和剤(ビビフルフロアブル®)が登録された。アイアン系品種でも、8月上旬に播種し2回のPCa処理を行うことでほぼ全ての株が年内に採花することが可能となった(神田ら,2011)。しかしながら、PCa処理は、処理時期により開花促進効果に差があり、品種により処理適期の幅が異なることから(鷹見ら,2004)、適期の判断が難しく、年により効果があまりみられないという問題がある(種谷ら,2016)。

ストックは長日条件で開花が促進される量的長日植物であり、夜間電照による開花促進が可能である。開花に有効な光質については、赤色光の終夜照射は開花までの日数を長くし、逆に遠赤色光の終夜照射は開花までの日数を短くすることから(吉村ら,2002)、電照用光源として白熱電球や遠赤色蛍光ランプの開花促進効果が高いとされている(吉村ら,2006)。また、遠赤色の単色光よりも赤色との混合光(赤色/遠赤色比0.15~0.7)の方が開花促進効果が高いという報告もある(宮前ら,2015)。電照による開花促進は、植物成長調整剤と異なり、栽培途中に照射時間等を変えることで開花促進効果の調整が可能であると推測されることから、開花促進に有効な照射条件を解明することで、より精度の高い開花促進技術として年内出荷の安定化を図ることができると考えられる。

一方、ストックは冬播き作型においては、夏播き作型と比べて切り花長が短くなり、切り花品質が低下するという問題がある。ストックの低温への感応は生育初期から始まっており、展開葉数2枚時には低温に感応することが報告されている(藤田,1979)。そのため、冬播き作型では、株が充実する前に低温要求量が満たされ、早期に花芽分化が開始されることで、切り花のボリューム低下が起こっていると考えられる。冬播き作型における品質低下を防ぐ試みとして、兵庫県や長野県ではトンネル被覆による高温処理(以下、トンネル高温処理)が検討されており、トンネル高温処理中は花芽分化が抑制され、処理日数が長いほど切り花長の伸長や節数の増加が起こること、4週以上の処理で品質向上効果が認められることが報告されている(宮本ら,2010;石上,2015)。一部地域では生産現場でのトンネル高温処理が行われており(石上,2015)、品質向上効果の高い処理条件を解明することで、低コストで導入可能な品質向上技術として県内産地への普及が見込まれると考えられる。

そこで、夏播き年内出荷作型においては、開花促進による年内出荷の安定化を図るべく、夜間電照処理方法が開花時期に及ぼす効果の検討を行うとともに、冬播き4~5月出荷作型においては、開花抑制による春先の切り花品質向上を図るべく、トンネル高温処理方法が切り花品質に及ぼす効果を検討した。そして、ストック栽培における圃場の利用効率を高めるため、これらふたつの技術を組み合わせて同一圃場における年二回作付体系(年内出荷作型+4~5月出荷作型)の実証を行った。

## 材料および方法

### 1. 夜間電照処理による年内出荷作型での開花促進効果

#### 1) 播種時期および電照処理時間が生育・開花に及ぼす影響(実験1)

材料には'アイアンホワイト'を供試した。処理区は、播種時期3水準(2016年8月2日,8月12日,8月22日播種)と電照処理時間4水準(0~2時の2時間,0~3時の3時間,0~4時の4時間処理,電照無処理)を設定し、合わせて12処理区とした。1区あたり54株を供試し、無反復とした。

ミックスピートモス(Fafard Germination Mix, Sun Gro Horticulture)を充填した200穴セル成型トレイに1穴あたり2粒播種し、無加温のガラスハウスで管理した。発芽揃い後から八重鑑別を行い、定植までに一重咲と思われる株を取り除いた。実験は日最低温度が1℃以上となるよう加温したガラスハウスで行い、幅90cmのベッドに12cm・7目のフラワーネットを張り、1目あたり1株の6条植えとし

た．定植は播種 25 日後を目安とし，播種時期の順にそれぞれ 8 月 30 日，9 月 7 日，9 月 18 日に苗を移植した．基肥として固形肥料（JA 紀の里 4 号ペレット， $N_2-P_2O_5-K_2O=6-6-6$ ，片倉コープアグリ（株））を窒素量として 14.8kg/10a 施用し，追肥として定植 2 ヶ月後に固形肥料（JA 紀の里 4 号ペレット）を窒素量として 7.2kg/10a 施用した．

電照用の光源としては，導入コストが安く，赤色光と遠赤色光をおおよそ 4:6 の比率（赤色/遠赤色比 0.67）で含むことから（島，2014），白熱電球を利用した．白熱電球（38W，メトロ電気工業（株））を各処理区の中央に 1 球設置し，放射照度計（HD2102.2，プローブ LP471RRD，Delta OHM）により電球直下の地表面における放射照度が  $0.37W/m^2$  となるように設置高を調節した．電照処理は本葉 15 枚展開時から開始し，各処理区の 75%以上の株が発蕾した時点で電照を終了した（表 1）．

表1 各処理区の電照開始日および終了日(実験1)

播種日 (定植日)	電照処理 時間	電照処理 開始日	電照処理 終了日
8月2日 (8月30日)	2時間	9月26日	11月18日
	3時間	9月26日	11月12日
	4時間	9月26日	11月10日
8月12日 (9月7日)	2時間	10月3日	11月24日
	3時間	10月3日	11月19日
	4時間	10月3日	11月13日
8月22日 (9月18日)	2時間	10月16日	12月21日
	3時間	10月16日	12月15日
	4時間	10月16日	12月11日

株ごとに発蕾日，開花日および切り花品質を調査した．発蕾日は肉眼により蕾が確認できた日とし，開花日は 4 輪開花を目安とした．

## 2) 電照処理時間および光強度が生育・開花に及ぼす影響（実験 2）

材料には‘アイアンホワイト’および‘アイアンチェリー’を供試した．処理区は，播種時期 2 水準（2018 年 8 月 2 日，8 月 12 日播種）と電照処理時間 2 水準（0~2 時の 2 時間，0~4 時の 4 時間処理）を設定し，対照区の PCa 処理区を合わせて 6 処理区とした．電照処理区は 1 区あたり  $2.3m^2$ （54~57 株），対照区は 18 株を供試し，それぞれ無反復とした．

育苗および定植方法は実験 1 と同様とし，播種時期の順にそれぞれ 8 月 28 日，9 月 7 日にベッドに苗を定植した．基肥として固形肥料（JA 紀の里 4 号ペレット， $N_2-P_2O_5-K_2O=6-6-6$ ，片倉コープアグリ（株））を 6-6-6kg/10a 緩効性肥料（IB 化成 S1 号  $N_2-P_2O_5-K_2O=10-10-10$ ，日本化成（株））を窒素量として 12kg/10a 施用し，追肥として定植 2~3 日後と 9~11 日後の 2 回液肥（OK-F-1， $N_2-P_2O_5-K_2O=15-8-17$ ，OAT アグリオ（株））を希釈して窒素量として 1.1kg/10a 施用した．

電照には，各電照処理区的一端に白熱電球（57W，メトロ電気工業（株））を設置し，放射照度計により試験区両端の地表面における放射照度が  $0.15\sim0.75W/m^2$  となるように設置高を調節した．電照処理は‘アイアンホワイト’を基準として，本葉 15 枚展開時（それぞれ 9 月 23 日，10 月 1 日）から開始し，切り花調査終了まで継続した．

対照区の PCa 処理は，ピピフルフロアブルを 1,000 倍に希釈し，霧吹きで 1 区あたり 500ml を茎葉散布した．散布時期は，‘アイアンホワイト’を基準として，本葉 15 枚展開時（電照処理開始日と同日）とその 7~9 日後（それぞれ 10 月 1 日，10 月 10 日）の 2 回とした．

調査項目および調査方法は実験 1 と同様とした．

## 2. トンネル高温処理による 4~5 月出荷作型での品質向上効果

### 1) 昼夜温が生育・開花に及ぼす影響（実験 3）

材料には‘アイアンホワイト’を供試した。日長操作と遮光資材の展張により12時間日長条件とし、昼間の時間帯を5～17時、夜間の時間帯を17～5時として昼夜温を管理した。処理区は、昼夜温6処理区を設定した(表2)。1区あたり20株を供試し、無反復とした。

育苗方法は実験1と同様とし、2016年12月1日に播種し、育苗中はガラスハウスを日最低温度が15以上になるよう加温した。実験は硬質フィルムを展張したハウスで行い、ハウス内に長さ6m×幅90cm×高さ1.8mのミニ

表2 各処理区の昼間および夜間の温度管理方法(実験3)

処理区	昼間の温度管理(5～17時)		夜間の温度管理(17～5時)	
	ハウスサイド	温風暖房機	温風暖房機	電気温風機
高高温区	閉切り	25 加温	15 加温	25 加温
高中温区	閉切り	25 加温	15 加温	15 加温
高低温区	閉切り	25 加温	5 加温	5 加温
中高温区	開放	加温なし	15 加温	25 加温
中中温区	開放	加温なし	15 加温	15 加温
中低温区	開放	加温なし	5 加温	5 加温

ニハウスを設置した。ミニハウス内に、システムソイル102号(イワタニアグリグリーン(株))とパーライトL(三井金属鉱業(株))を混合した培土を詰めた長さ65cm×幅25cm×高さ18cmのプランターを4個並べ、2017年1月5日にプランターあたり5株ずつ苗を定植した。基肥として被覆複合肥料(エコロング413-100, N<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=14-11-13, ジェイカムアグリ(株))をプランターあたり15g施用し、追肥として液肥(OK-F-1)を300ppmに希釈して適宜施用した。

定植直後からミニハウスを厚さ0.05mmの透明ビニールフィルムでトンネル被覆し、温度処理を行った。温度処理は、ハウスサイドの開閉と温風暖房機(KA-205, ネボン(株))によるハウス全体の加温に加えて、ミニハウス内部に電気温風機(SF-1008A, 総和工業(株))を設置して加温を行うことで温度調節を行った。

株ごとに初期生育(処理開始4週間後の草丈、節数)、発蕾日、開花日および切り花品質を調査した。発蕾・開花の目安は実験1と同様とした。

## 2) 昼間のトンネル高温処理および夜温が生育・開花に及ぼす影響(実験4)

材料には‘アイアンホワイト’を供試した。処理区は、トンネル高温処理の有無2水準と夜間の加温の有無2水準を設定し、合わせて4処理区とした。1区あたり20株を供試し、無反復とした。

育苗・定植方法および肥培管理は実験3と同様とした。

トンネル高温処理区には、幅80cm×高さ1mのトンネルを設置して厚さ0.05mmの透明ビニールフィルムで被覆し、定植直後から昼間にトンネルを閉め切ることで高温処理を行った(処理時間帯は1月5日～2月28日まで7時～17時, 3月1日以降は6時30分～18時)。夜間の加温は温風暖房機で行い、設定温度を1月5日～2月28日までは5℃, 3月1日以降は8℃とした。

調査項目および調査方法は実験3と同様とした。

## 3) 播種時期とトンネル高温処理期間が生育・開花に及ぼす影響(実験5)

材料には‘アイアンホワイト’および‘アイアンマリン’を供試した。処理区は、播種時期3水準(2017年12月11日, 2018年1月10日, 2月13日播種)とトンネル高温処理期間4水準(本圃定植後2週間, 4週間, 6週間処理, トンネル高温処理なし)を設定し、合わせて12処理区とした。1区あたり24株を供試し、無反復とした。

育苗および定植方法は実験1と同様とし、育苗中はガラスハウスを日最低温度が15以上になるよう加温した。播種時期の順にそれぞれ1月10日, 2月13日, 3月14日にベッドに苗を定植した。基肥と

して固形肥料（JA 紀の里 4 号ペレット）を窒素量として 6kg/10a，緩効性肥料（IB 化成 S1 号）を窒素量として 12kg/10a 施用し，追肥は行わなかった．トンネル高温処理区には，幅 90cm，高さ 40cm のトンネルを設置し，厚さ 0.1mm の透明ビニールフィルムで被覆した．

調査項目および調査方法は実験 1 と同様とした．

### 3. 電照処理とトンネル高温処理を組み合わせた同一圃場年二回作付け体系の実証（実験 6）

材料には，年内出荷作型では‘アイアンホワイト’および‘アイアンチェリー’を，4～5 月出荷作型では‘アイアンホワイト’および‘アイアンマリン’を供試した．2 種類の定植方法（セル成型トレイからの移植栽培区，シーダーテープによる直播栽培区）を設定し，それぞれについて電照処理による年内開花作型とトンネル高温処理による 4～5 月出荷作型を連続して栽培し，同一圃場年二回作付け体系の実証を行った．実証はガラスハウス 1 棟で行い，各品種・定植方法につき 1 ベッドを供試した．各作型について，電照処理およびトンネル高温処理を行わない無処理区を設定した．1 区あたり 40 株を供試し，無反復とした．調査項目および調査方法は，実験 1 と同様の項目に加えて，4～5 月出荷作型では切り花を長さ 60～75cm の範囲で 5cm ごとに調整して調整長とし，それぞれの割合を算出した．

#### 1) 年内出荷作型における電照処理効果の実証

移植栽培区では，育苗・定植方法は実験 1 と同様とし，2018 年 8 月 6 日に播種した．栽培は無加温のガラスハウスで行い，9 月 3 日に幅 90cm のベッドに定植した．基肥として固形肥料（JA 紀の里 4 号ペレット）を窒素量として 6kg/10a，緩効性肥料（IB 化成 S1 号）を窒素量として 12kg/10a 施用し，追肥は行わなかった．

直播栽培区では，移植栽培区と同一のガラスハウス内において，8 月 6 日に幅 90cm のベッドへ 6 条の溝を付け，その上にシーダーテープ（12cm 間隔で種子を 5 粒封入）を静置し，バーク堆肥で軽く覆土した．播種後には，実験 1 と同様に 12cm・7 目のフラワーネットを張った．発芽揃い後から八重鑑別を行い，本葉 4 枚展開時までフラワーネット 1 目あたり 1 株に間引いた．基肥および追肥は移植栽培区と同様とした．

電照には白熱電球（38W，メトロ電気工業（株））を 3m 間隔で設置し，放射照度計により電球直下の地表面における放射照度が  $0.4\text{W}/\text{m}^2$  となるように設置高を調節した．電照処理は‘アイアンホワイト’を基準として，本葉 15 枚展開時から開始し，75%以上の株が発蕾した時点で電照を終了した．移植栽培区の電照処理期間は 10 月 1 日～10 月 31 日，直播栽培区の処理期間は 9 月 20 日～10 月 20 日であった．

#### 2) 4～5 月出荷作型におけるトンネル高温処理効果の実証

移植栽培区では，育苗方法は実験 5 と同様とし，2018 年 12 月 17 日に播種した後，日最低温度が 15 以上になるよう加温したガラスハウスで管理した．2019 年 1 月 21 日に，幅 90cm のベッドへ移植するとともに幅 90cm，高さ 30cm のトンネルを設置し，トンネル高温処理を開始した．定植および施肥方法は年内出荷作型と同様とした．栽培中は日最低温度が 1.5 以上となるようガラスハウスを加温した．

直播栽培区では，移植栽培区と同一のガラスハウス内において，2019 年 1 月 10 日に幅 90cm のベッドへ 6 条の溝を付け，その上に上述のシーダーテープを静置し，バーク堆肥で軽く覆土した後，厚さ 0.1mm の透明ビニールフィルムをべた掛けした．発芽の揃った 1 月 28 日にべた掛けを除去して八重鑑別を行い 1 株に間引いた．その後すぐに，ベッドにフラワーネットとトンネルを設置し，トンネル高温処理を開始した．基肥および追肥は年内出荷作型と同様とした．

トンネルは厚さ0.1mmの透明ビニールフィルムで被覆しており、トンネル高温処理期間は移植または発芽揃い（べた掛け除去）後6週間とし、灌水時以外はトンネルを閉め切った。灌水は、温度低下を抑えるため晴天時の昼間に行った。トンネル高温処理期間は、移植栽培区では1月21日～3月4日、直播栽培区では1月28日～3月11日であった。

## 結 果

### 1. 夜間電照処理による年内出荷作型での開花促進効果

#### 1) 播種時期および電照処理時間が生育・開花に及ぼす影響（実験1）

いずれの播種日および電照処理時間においても、無処理区と比べて発蕾、開花は早まり、着花節位も低くなった（表3）。電照処理時間が長いほど発蕾、開花は早まったが、8月22日播種では他の播種時期と比べて電照による開花促進効果が低く、年内に開花に至った処理区は8月2日播種の3時間および4時間区、8月12日播種の4時間区の3処理区のみであった。

表3 播種時期および電照時間が‘アイアンホワイト’の開花に及ぼす影響

播種日 (定植日)	電照時間	発蕾日 (月/日)	開花日 (月/日)	開花始め (月/日)	開花終り (月/日)	発蕾日数 <sup>y</sup> (日)	到花日数 <sup>y</sup> (日)	着花節位 (節)
8月2日 (8月30日)	無処理	12/18	2/20	2/5	3/5	110.5 a <sup>z</sup>	174.8 a	86.8 a
	2時間	11/15	1/7	12/23	1/28	77.7 b	130.8 b	72.0 b
	3時間	11/10	12/24	12/11	1/4	72.6 bc	116.0 c	69.5 bc
	4時間	11/9	12/18	12/9	12/30	71.1 c	110.5 c	66.7 c
8月12日 (9月7日)	無処理	12/24	2/23	2/16	3/9	108.8 a	169.6 a	88.3 a
	2時間	11/20	1/9	12/25	2/10	74.3 b	125.0 b	71.3 b
	3時間	11/16	1/3	12/15	1/18	70.7 c	118.3 c	68.5 c
	4時間	11/12	12/20	12/11	1/3	66.0 d	104.6 d	64.9 d
8月22日 (9月18日)	無処理	12/31	2/28	2/22	3/7	104.1 a	163.2 a	77.3 a
	2時間	12/13	2/11	1/28	2/20	86.6 b	146.5 b	71.0 b
	3時間	12/9	2/4	1/25	2/20	82.5 bc	139.9 c	69.1 b
	4時間	12/8	1/29	1/14	2/10	81.1 c	133.0 d	69.8 b

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 発蕾日数、到花日数は、それぞれ定植から発蕾、開花までの日数を表す

切り花長および茎長は、いずれの播種日および電照処理時間においても、無処理区と比べて短くなった（表4）。花穂長は、8月2日と22日播種の4時間区において、無処理区と比べて有意に短くなった。切り花重は、8月22日播種の2時間区を除いて、電照処理を行うことで、無処理区よりも有意に軽くなった。調整重は、いずれの播種日においても、

表4 播種時期および電照時間が‘アイアンホワイト’の生育に及ぼす影響

播種日 (定植日)	電照時間	切り花長 (cm)	茎長 <sup>y</sup> (cm)	切り花重 (g)	調整重 <sup>x</sup> (g)	茎径 (mm)	小花数 <sup>w</sup> (個)	花穂長 (cm)
8月2日 (8月30日)	無処理	101.7 a <sup>z</sup>	86.1 a	114.7 a	66.5 a	7.4 a	34.3 a	8.8 a
	2時間	88.5 b	74.1 b	88.9 b	63.7 ab	7.0 ab	33.3 ab	9.0 a
	3時間	86.0 b	73.1 b	89.4 b	62.5 ab	7.0 ab	30.2 bc	8.2 ab
	4時間	81.1 c	69.0 c	80.5 b	58.7 b	6.7 b	27.9 c	7.6 b
8月12日 (9月7日)	無処理	102.6 a	87.3 a	113.1 a	68.7 a	7.6 a	35.1 a	8.4 a
	2時間	91.4 b	77.7 b	95.7 b	66.6 ab	7.1 b	35.5 a	8.6 a
	3時間	86.0 c	72.9 c	86.8 bc	64.4 ab	6.8 b	33.5 ab	8.2 a
	4時間	80.9 d	68.9 d	80.2 c	61.0 b	6.8 b	31.3 b	7.9 a
8月22日 (9月18日)	無処理	98.4 a	83.5 a	110.0 a	68.3 a	7.6 a	36.4 a	8.7 a
	2時間	93.4 b	77.8 bc	103.1 ab	67.7 a	7.3 ab	34.2 a	9.0 a
	3時間	92.6 b	78.1 b	96.2 bc	64.2 ab	7.0 b	34.4 a	8.7 a
	4時間	89.5 c	75.4 c	91.0 c	61.0 b	7.0 b	33.6 a	7.7 b

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 株元から最上位葉の着生位置までの長さ

x: 切り花を75cmに調整し、下から20cmの葉を取り除いた時の重さ

w: 肉眼で確認できる蕾を含めた数

2 時間区および 3 時間区が無処理区と同等であったのに対し、4 時間区では無処理区よりも軽くなった。茎径は、電照を行うことで細くなり、8 月 2 日播種の 2 時間および 3 時間区と 8 月 22 日播種の 2 時間区でのみ、無処理区と同等であった。小花数は、電照処理時間が長くなるほど減少する傾向にあり、8 月 2 日播種の 3 時間および 4 時間区と 8 月 12 日播種の 4 時間区では無処理区と比べて有意に少なくなったが、播種時期が遅いほど電照による影響は小さくなり、8 月 22 日播種ではいずれの電照処理時間においても、無処理区と同等となった。

## 2) 電照処理時間および光強度が生育・開花に及ぼす影響 (実験 2)

発蕾は、いずれの品種および播種時期においても、4 時間区で電照の光強度 (放射照度) が強くなるほど早くなった (図 1, 2)。4 時間区では、放射照度  $0.3 \sim 0.4 \text{ W/m}^2$  を境に発蕾日数の変化が緩やかになるという漸近指数的な変化を示したのに対し、2 時間区では放射照度が高くなっても発蕾日数は大きく変化しなかった。8 月 2 日播種では、いずれの品種とも、4 時間区が  $0.2 \sim 0.25 \text{ W/m}^2$  の放射照度で対照区と同等の発蕾促進効果を示したのに対し、2 時間区では対照区よりも発蕾促進効果が低くなった (図 1)。8 月 12 日播種では、いずれの品種とも、4 時間区が  $0.15 \sim 0.2 \text{ W/m}^2$  の放射照度で対照区と同等の発蕾促進効果を示したのに対し、2 時間区では約  $0.7 \sim 0.75 \text{ W/m}^2$  の放射照度で対照区と同等となった (図 2)。

また、8 月 2 日播種では、4 時間区が  $0.25 \text{ W/m}^2$  以上の放射照度でいずれの品種とも 12 月中旬までに出荷可能であったのに対し、2 時間区では  $0.6 \text{ W/m}^2$  以上の放射照度が必要であった。8 月 12 日播種では、4 時間区が  $0.3 \text{ W/m}^2$  以上の放射照度でいずれの品種とも 12 月中旬までに出荷可能であったのに対し、2 時間区ではいずれの品種とも 12 月下旬～1 月中旬の開花となり、12 月中旬までにはほとんど出荷できなかった。

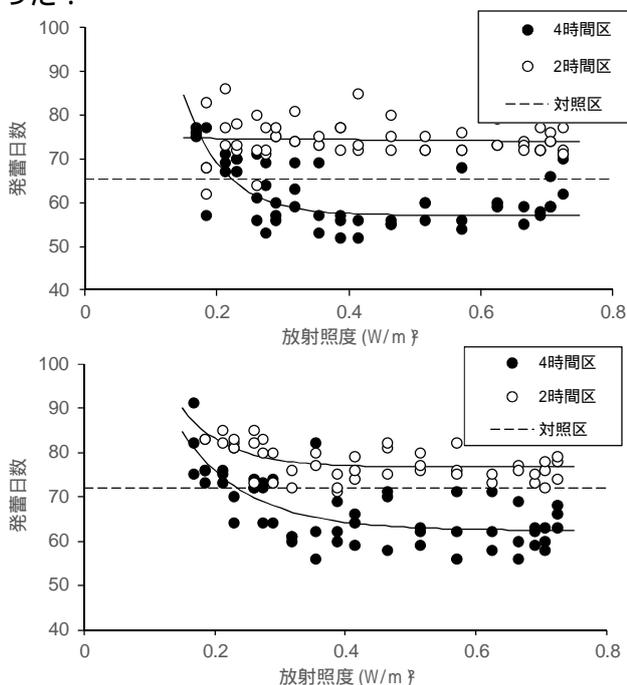


図 1 電照処理時間と光強度がストックの発蕾日数に及ぼす影響 (8 月 2 月播種)  
 上図: 'アイアンホワイト'  
 下図: 'アイアンチェリー'

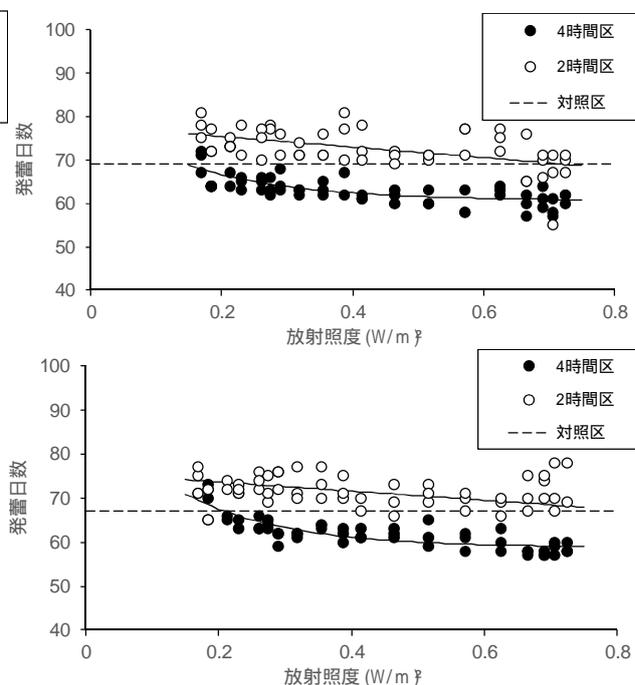


図 2 電照処理時間と光強度がストックの発蕾日数に及ぼす影響 (8 月 12 日播種)  
 上図: 'アイアンホワイト'  
 下図: 'アイアンチェリー'

着花節位は、いずれの品種、播種時期においても、電照の光強度が強くなるほど低くなり、2時間区、4時間区ともに漸近指数的または直線的な変化を示した(図3,4)。8月2日播種では、4時間区がいずれの品種とも0.3~0.4W/m<sup>2</sup>の放射照度で対照区と同等の着花節位となったのに対し、2時間区では常に対照区よりも着花節位が高くなった(図3)。8月12日播種でも同様の傾向で、4時間区が約0.5~0.6W/m<sup>2</sup>の放射照度で対照区と同等に、2時間区は常に対照区よりも高くなった(図4)。

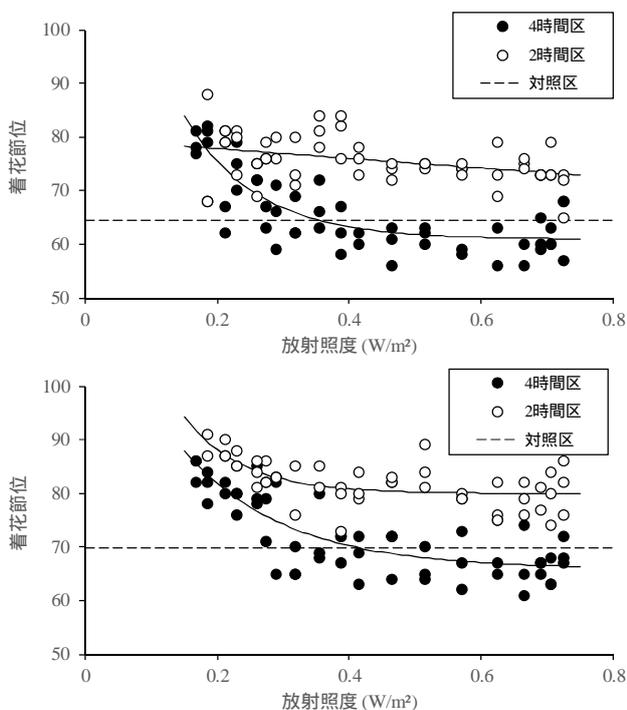


図3 電照処理時間と光強度がストックの着花節位に及ぼす影響(8月2日播種)  
上図: 'アイアンホワイト'  
下図: 'アイアンチェリー'

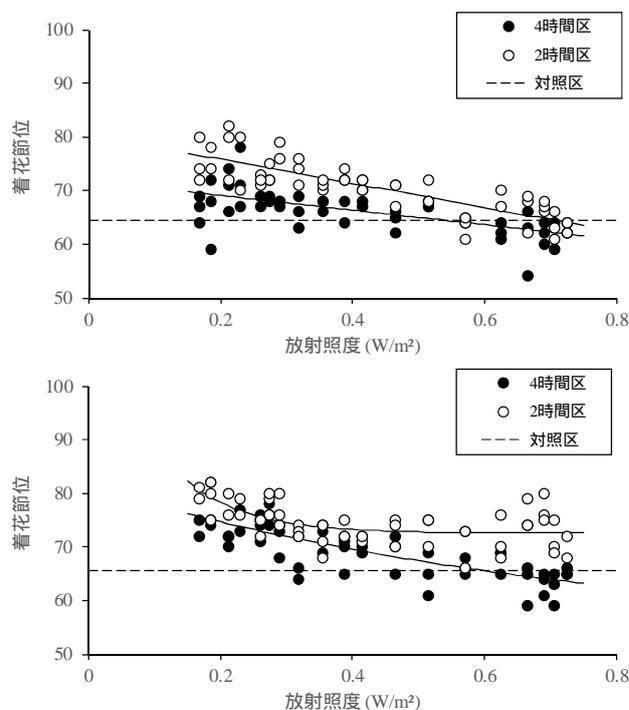


図4 電照処理時間と光強度がストックの着花節位に及ぼす影響(8月12日播種)  
上図: 'アイアンホワイト'  
下図: 'アイアンチェリー'

## 2. トンネル高温処理による4~5月出荷作型での品質向上効果

### 1) 昼夜温が生育・開花に及ぼす影響(実験3)

処理期間中の昼夜温は図5のように推移した。高低温区および中低温区では、隣接する処理区からの熱伝導により夜温が設定温度よりやや高くなったが、その他の処理区では、ほとんど設定温度の通りとなった。

生育初期の節数は、高高温区、高中温区および中高温区で最も多く、中低温区で最も少なくなり、昼夜を問わず栽培中の高温により節数増加が促進される傾向にあった(表5)。生育初期の草丈は、高高温区、高中温区および高低温区で最も高く、中中温区および中低温区で最も低くなり、昼間の高温により草丈伸長が促進される傾向にあった。

着花節位は、高高温区で最も高く、次いで高中温区、高低温区、中高温区および中中温区、中低温区の順となった(表6)。高高温区、高中温区はそれぞれ、低温により生育速度の低下した中低温区、中中温区と同時期まで開花が遅れ、中高温区で最も到花日数が短くなった。

切り花長および茎長は、高高温区において最も長く、次いで高中温区および高低温区、中中温区およ

び中低温区，中高温区の順となった（表7）．節間長は，中低温区で最も長く，次いで高低温区，中中温区，高中温区，高高温区，中高温区の順に短くなった．また，切り花重は，高高温区，高中温区，中中温区，中低温区で重く，中高温区で著しく軽くなった．

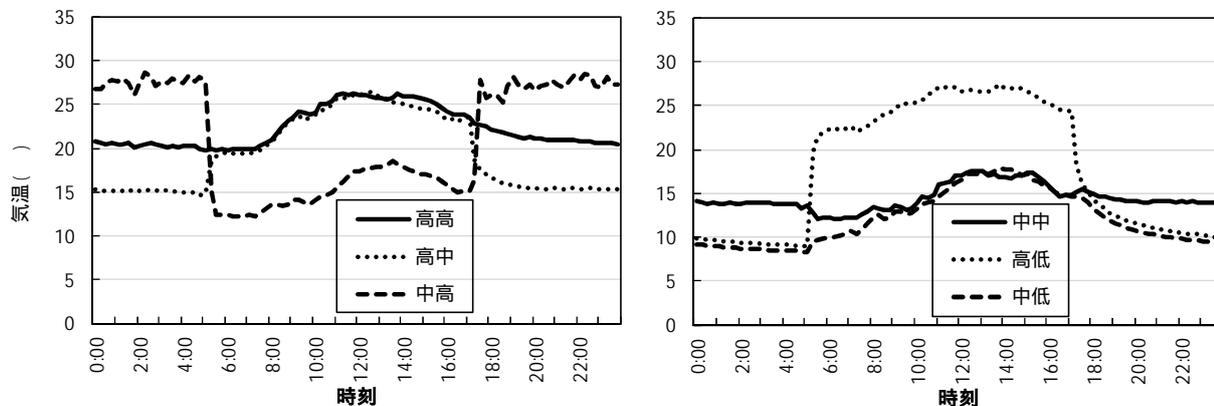


図5 各処理区における気温の推移（実験3）

30分ごとに測定した気温の処理期間中の全平均値

表5 昼夜温の組合せが‘アイアンホワイト’の初期生育に及ぼす影響

処理区	草丈 <sup>y</sup> (cm)	節数 <sup>y</sup>
高高温区	15.7 a <sup>z</sup>	27.4 a
高中温区	15.1 a	26.5 a
高低温区	14.9 a	22.4 b
中高温区	11.2 b	26.7 a
中中温区	8.6 c	20.8 b
中低温区	8.3 c	16.0 c

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 草丈および節数は処理開始4週間後に測定

表6 昼夜温の組合せが‘アイアンホワイト’の開花に及ぼす影響

処理区	発蕾日 (月/日)	開花日 (月/日)	発蕾日数 <sup>y</sup> (日)	到花日数 <sup>y</sup> (日)	着花節位
高高温区	3/16	4/1	65.9 a <sup>z</sup>	81.4 a	87.4 a
高中温区	3/10	3/26	59.0 b	75.4 b	70.9 b
高低温区	3/2	3/20	51.6 c	69.7 c	53.5 c
中高温区	2/19	3/10	40.8 d	59.3 d	46.3 d
中中温区	3/2	3/24	51.6 c	73.6 b	44.7 d
中低温区	3/9	4/2	58.4 b	82.7 a	39.5 e

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 発蕾日数，到花日数は，それぞれ定植から発蕾，開花までの日数を表す

表7 昼夜温の組合せが‘アイアンホワイト’の生育に及ぼす影響

処理区	切り花長 (cm)	茎長 <sup>y</sup> (cm)	切り花重 (g)	茎径 (mm)	節間長 <sup>x</sup> (mm)
高高温区	81.1 a <sup>z</sup>	67.9 a	116.7 a	7.7 b	7.8 e
高中温区	75.1 b	62.4 b	105.8 ab	7.9 ab	8.8 d
高低温区	73.0 b	58.5 c	95.0 b	7.8 b	11.0 b
中高温区	44.7 e	34.2 e	64.4 c	6.8 c	7.4 e
中中温区	54.6 d	43.4 d	102.8 ab	8.6 ab	9.7 c
中低温区	59.3 c	46.2 d	111.1 ab	8.2 ab	11.7 a

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 茎長は，株元から最上位葉の着生位置までの長さを表す

x: 節間長は，茎長を着花節位で割って算出した値

## 2) 昼間のトンネル高温処理および夜温が生育・開花に及ぼす影響(実験4)

処理期間中の昼夜温は図6のように推移した。トンネル高温処理を行うことで、昼間の温度は4~7程度、夜間の温度は1~2程度高くなった。

生育初期の草丈および節数は、トンネル高温処理を行った両区で処理を行わなかった両区よりも多くなっており、昼間のトンネル高温生育により生育が促進された(表8)。

着花節位は、トンネル有+夜間加温区で最も高くなり、次いでトンネル有+夜間無加温区、トンネル無+夜間加温区、トンネル無+夜間無加温区の順となった(表9)。また、発蕾および開花は、トンネル有+夜間加温区が最も早く、次いでトンネル有+夜間無加温区、トンネル無+夜間加温区、トンネル無+夜間無加温区の順となった。

切り花長および茎長は、トンネル高温処理を行った両区で行わなかった両区よりも長くなり、夜間の加温処理の有無による差は認められなかった(表10)。節間長は、トンネル有+夜間無加温区で最も長く、次いでトンネル有+夜間加温区、トンネル高温処理を行わなかった両区の順となった。

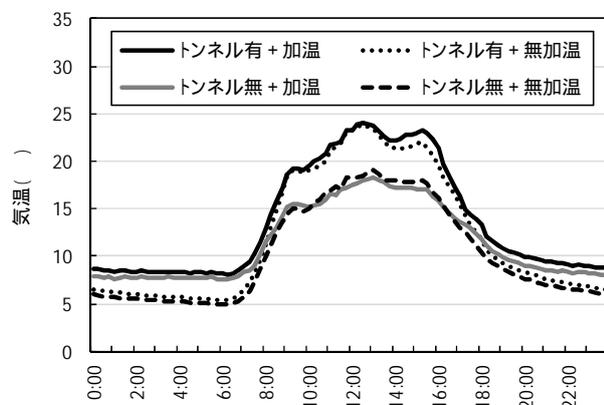


表8 昼間のトンネル高温処理と夜間加温処理の組合せが‘アイアンホワイト’の初期生育に及ぼす影響

処理区	草丈 <sup>y</sup> (cm)	節数 <sup>y</sup>
トンネル有+加温区	9.0 a <sup>z</sup>	15.8 a
トンネル有+無加温区	8.5 a	15.1 b
トンネル無+加温区	5.6 b	13.4 c
トンネル無+無加温区	5.7 b	12.2 d

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 草丈および節数は処理開始4週間後に測定

図6 各処理区における気温の推移(実験4)

30分ごとに測定した気温の処理期間中の全平均値

表9 昼間のトンネル高温処理と夜間加温処理の組合せが‘アイアンホワイト’の開花に及ぼす影響

処理区	発蕾日 (月/日)	開花日 (月/日)	発蕾日数 <sup>y</sup> (日)	到花日数 <sup>y</sup> (日)	着花節位
トンネル有+加温区	3/5	3/29	54.1 a <sup>z</sup>	78.5 a	41.6 a
トンネル有+無加温区	3/8	4/1	57.4 b	81.8 b	39.4 b
トンネル無+加温区	3/12	4/4	61.5 c	84.4 c	38.6 bc
トンネル無+無加温区	3/16	4/8	65.2 d	88.1 d	37.9 c

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 発蕾日数, 到花日数は, それぞれ定植から発蕾, 開花までの日数を表す

表10 昼間のトンネル高温処理と夜間加温処理の組合せが‘アイアンホワイト’の生育に及ぼす影響

処理区	切り花長 (cm)	茎長 <sup>y</sup> (cm)	切り花重 (g)	茎径 (mm)	節間長 <sup>x</sup> (mm)
トンネル有+加温区	69.3 a <sup>z</sup>	51.3 a	101.3 a	8.2 ab	12.3 b
トンネル有+無加温区	70.9 a	51.5 a	102.2 a	7.8 b	13.1 a
トンネル無+加温区	54.8 b	43.1 b	119.5 b	8.6 a	11.2 c
トンネル無+無加温区	57.4 b	44.6 b	124.6 b	8.4 a	11.8 bc

z: 異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%水準で有意差あり

y: 茎長は, 株元から最上位葉の着生位置までの長さを表す

x: 節間長は, 茎長を着花節位で割って算出した値

### 3) 播種時期とトンネル高温処理期間が生育・開花に及ぼす影響（実験5）

12月播種では、いずれの品種ともトンネル高温処理期間による開花日の変動は少なく、6週間処理でも無処理区と比べて最大4日の遅れであった（表11）。一方、1月播種および2月播種では、いずれの品種ともトンネル高温処理期間が長くなるほど開花が遅れており、6週間処理では無処理区と比べて7～21日程度開花が遅れた。開花時期は、12月播種ではいずれの品種、処理区とも4月中旬に開花したのに対し、1月播種では4月末～5月上旬にかけて開花した。2月播種では、無処理区および2～4週間処理区が5月中旬～下旬にかけて開花したが、6週間処理区では開花が6月となり、4～5月中に出荷できなかった。

切り花長は、いずれの播種月においても、トンネル高温処理を行うことで、無処理区と比べて長くなっており、播種時期が遅くなるほど伸長効果が高い傾向にあった（表11）。特に、‘アイアンホワイト’では、1月播種の6週間処理区と2月播種の4週間および6週間処理区において、無処理区と比べて15cm以上切り花長が長くなり、上位等級にあたる70cm規格を上回った。花穂長は、‘アイアンマリン’の2週間処理区を除いて、1月播種において、トンネル高温処理を行うことで、無処理区と比べて長くなったが、2月播種では逆に無処理区と同等あるいは無処理区よりも短くなった。切り花重は、いずれの品種とも2月播種の6週間処理区を除いて、トンネル高温処理を行うことで、無処理区よりも重くなった。

表11 トンネル高温処理期間がストックの開花、生育に及ぼす影響

播種時期	品種	トンネル高温 処理期間	発蕾日 (月/日)	発蕾日数 <sup>z</sup> (日)	開花日 (月/日)	到花日数 <sup>z</sup> (日)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	茎径 (mm)	花穂長 (cm)	
12月	アイアンホワイト	無処理	4月1日	111	4月17日	127	49.1	72.6	9.0	7.6	
		2週間	3月31日	110	4月17日	127	55.7	91.2	10.5	8.6	
		4週間	3月31日	110	4月17日	127	55.0	83.8	9.2	7.9	
		6週間	3月31日	110	4月14日	124	58.7	81.4	9.7	8.2	
	アイアンマリン	無処理	3月29日	108	4月18日	128	55.6	88.6	9.4	8.2	
		2週間	3月29日	108	4月19日	129	58.6	93.1	9.7	8.3	
		4週間	3月29日	108	4月18日	128	60.0	103.3	10.3	8.5	
		6週間	3月24日	103	4月18日	128	64.8	96.2	10.0	7.7	
	1月	アイアンホワイト	無処理	4月13日	93	5月1日	112	57.1	94.1	11.0	7.5
			2週間	4月14日	94	4月30日	110	62.7	104.0	12.0	7.9
			4週間	4月14日	94	5月2日	113	63.9	107.2	10.5	7.9
			6週間	4月21日	101	5月8日	119	77.0	134.1	11.0	8.4
アイアンマリン		無処理	4月13日	93	4月30日	110	59.3	93.7	11.1	7.4	
		2週間	4月12日	92	5月9日	112	62.4	94.2	10.8	7.3	
		4週間	4月15日	95	5月2日	113	67.9	114.8	11.9	7.7	
		6週間	4月20日	100	5月9日	120	64.8	96.2	10.0	7.7	
2月		アイアンホワイト	無処理	4月24日	70	5月11日	87	57.2	84.2	10.8	7.2
			2週間	4月28日	74	5月14日	90	65.5	99.4	11.2	7.2
			4週間	5月7日	83	5月24日	100	73.1	91.2	10.4	7.0
			6週間	5月17日	93	6月1日	108	77.1	85.4	9.5	7.0
	アイアンマリン	無処理	4月24日	70	5月12日	88	62.1	94.0	11.3	7.5	
		2週間	4月26日	72	5月15日	91	65.2	98.3	11.2	7.2	
		4週間	5月5日	81	5月24日	100	74.1	107.6	11.0	7.5	
		6週間	5月17日	93	6月2日	109	75.9	94.2	9.8	7.1	

z: 発蕾日数、到花日数は、それぞれ定植から発蕾、開花までの日数を表す

3. 電照処理とトンネル高温処理を組み合わせた同一圃場年二回作付け体系の実証（実験6）

1) 年内出荷作型における電照処理効果の実証

いずれの品種および定植方法においても、無処理区は1月中旬～2月上旬にかけて開花し、年内にはほとんど開花しなかった（図8）。いずれの品種とも電照処理を行うことで、直播栽培区では11月中旬に、移植栽培区では12月中旬に開花し、年内開花率は90～100%であった（図7, 8）。

切り花長は、いずれの品種および定植方法においても、電照処理を行うことで、無処理区と比べて短くなったが、最上位階級にあたる75cm規格を上回った（表12）。調整重は、いずれの品種および定植方法においても、電照処理区は無処理区と同等であった。花穂長および茎径は、いずれの品種および定植方法においても、電照処理を行うことで無処理区よりも小さい値となった。

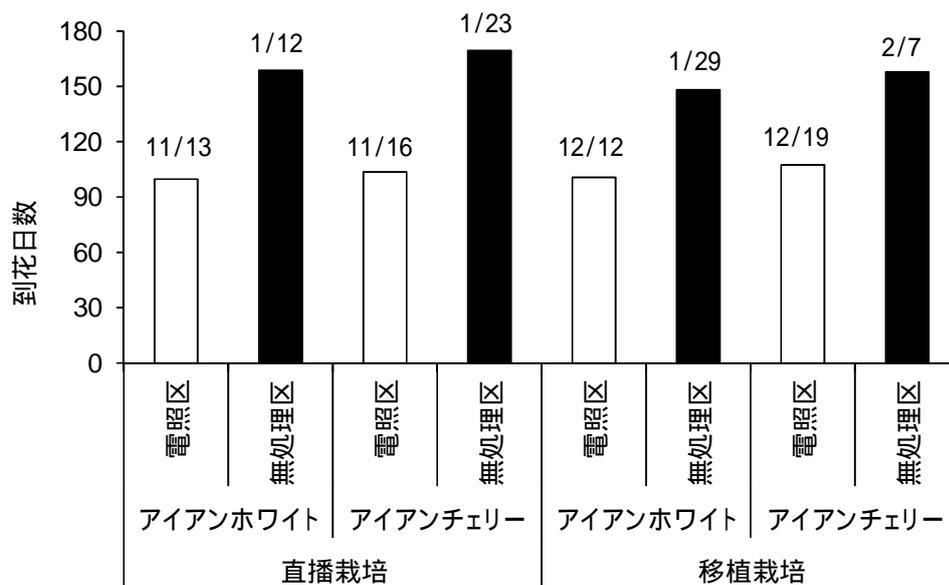


図7 年内出荷作型における定植方法と電照処理がストックの開花に及ぼす影響

図中の日付は平均開花日を表す

到花日数は本圃定植から開花までの日数を表す

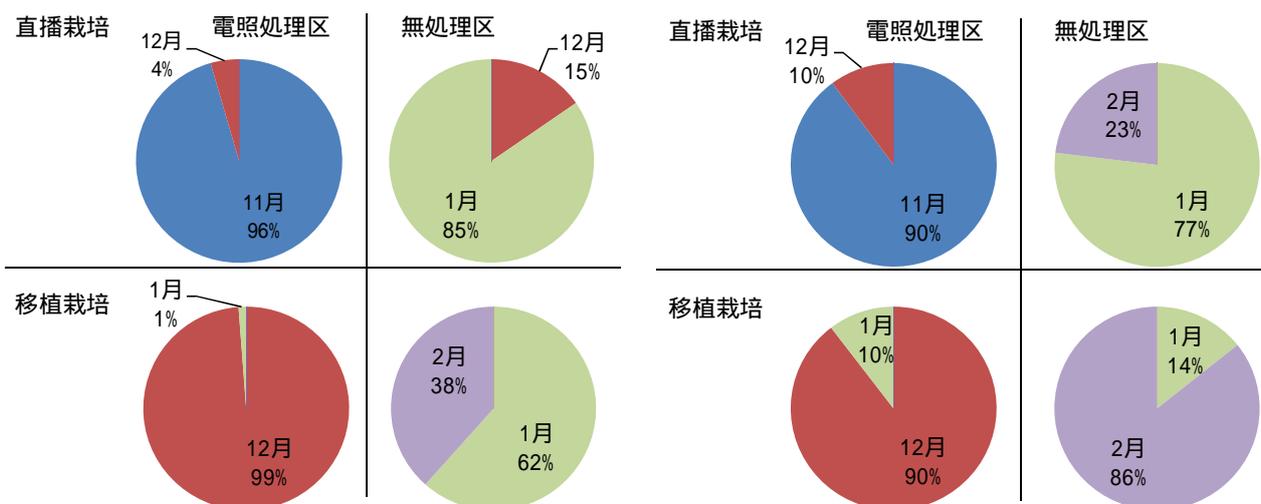


図8 年内出荷作型における定植方法と電照処理がストックの月別開花率に及ぼす影響

左図：‘アイアンホワイト’，右図：‘アイアンチェリー’

表12 年内出荷作型における定植方法与電照処理がストックの生育に及ぼす影響

定植方法	品種	処理区	切花長 (cm)	切花重 (g)	着花 節位	調整重 <sup>z</sup> (g)	茎径 (mm)	花穂長 (cm)
直播栽培	アイアンホワイト	電照区	78.3	110.6	61.2	88.8	7.4	8.4
		無処理区	106.4	152.0	85.8	82.2	9.0	11.2
	アイアンチェリー	電照区	81.1	110.9	62.8	82.3	7.4	8.3
		無処理区	115.8	159.9	88.4	77.2	9.3	9.8
移植栽培	アイアンホワイト	電照区	85.7	113.1	61.3	79.3	8.0	8.3
		無処理区	104.1	138.3	76.8	78.8	9.2	11.4
	アイアンチェリー	電照区	89.4	124.4	63.2	78.6	8.7	8.2
		無処理区	110.5	154.6	79.9	74.0	9.6	10.0

z: 調整重は切り花を75cmに調整し, 下から20cmの葉を取り除いたときの重さを表す

## 2) 4~5月出荷作型におけるトンネル高温処理効果の実証

いずれの定植方法においても, トンネル高温処理を行うことで, 'アイアンホワイト'で5~10日, 'アイアンマリン'で3~4日程度, 対照区と比べて開花が遅くなった(図9)。開花時期は, 対照区が4月中旬~下旬開花であったのに対し, トンネル高温処理区では4月下旬~5月上旬開花であった。

切り花長は, いずれの品種および定植方法においても, トンネル高温処理を行うことで, 対照区と比べて長くなった(表13)。調整重も, 切り花重と同様に, トンネル高温処理を行うことで, 対照区と比べて重くなった。茎径は, いずれの品種および定植方法においても, トンネル高温処理を行うことで無処理区よりも小さい値となった。

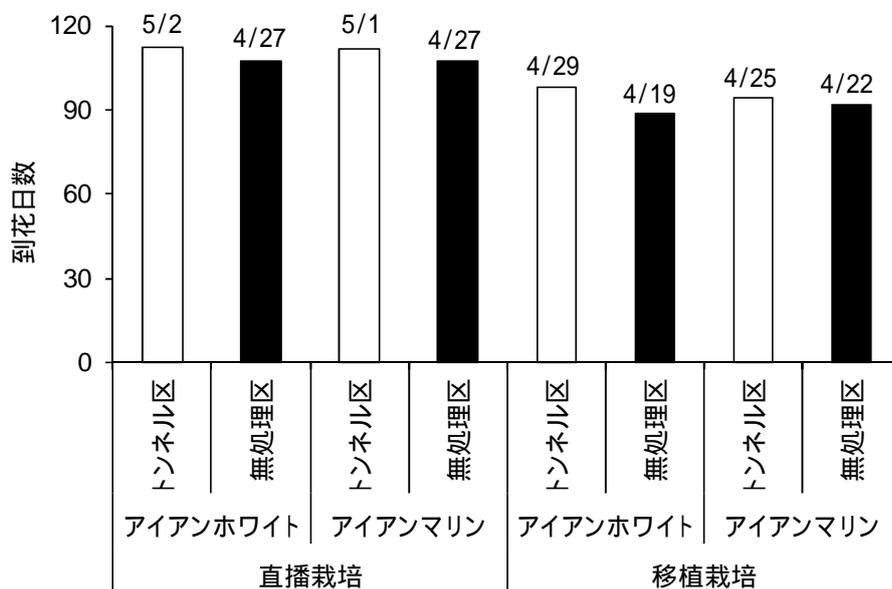


図9 4~5月出荷作型における定植方法与トンネル高温処理がストックの開花に及ぼす影響

図中の日付は平均開花日を表す

到花日数は本圃定植から開花までの日数を表す

表13 4～5月出荷作型における定植方法とトンネル高温処理がストックの生育に及ぼす影響

定植方法	品種	処理区	切花長 (cm)	切花重 (g)	着花 節位	茎径 (mm)	花穂長 (cm)	調整長の内訳(%)			
								75cm	70cm	65cm	60cm
直播栽培	アイアンホワイト	トンネル区	68.3	103.4	45.7	7.7	7.1	0	5	95	0
		無処理区	63.1	98.5	40.4	8.2	7.2	0	0	0	100
	アイアンマリン	トンネル区	73.2	116.8	46.5	7.8	7.3	2	98	0	0
		無処理区	66.1	104.7	41.0	8.2	7.0	0	0	39	61
移植栽培	アイアンホワイト	トンネル区	70.1	107.8	47.8	7.7	7.2	1	37	62	0
		無処理区	65.0	97.0	41.7	8.4	7.9	0	0	20	80
	アイアンマリン	トンネル区	74.2	121.8	51.1	8.4	7.1	22	78	0	0
		無処理区	67.5	106.0	43.3	8.5	7.7	0	11	67	22

## 考 察

### 1. 夜間電照処理による年内出荷作型での開花促進効果

県内の主要品種である中生のアイアン系品種を材料に、年内出荷の安定化を図るべく、夏播き年内出荷作型において、白熱電球を利用した開花促進効果の高い夜間電照処理法を検討した。まず、実験1では、一定の光強度（放射照度  $0.37\text{W}/\text{m}^2$ ）の条件下において、品質低下を起さずに年内出荷を安定させられる作型と照射時間を解明する目的で、播種時期と電照処理時間が生育・開花に及ぼす影響を検討した。その結果、電照処理時間が長くなるほど、発蕾・到花日数は段階的に短縮され、逆に切り花長や花穂長といった切り花品質は段階的に低下した。そのため、切り花品質の低下を抑えながら年内出荷を行うには、8月上旬に播種し、本葉15葉展開時から発蕾まで、深夜3時間の電照処理を施すのが適当であることが明らかとなった。続いて、実験2では、作型と照射時間に加えて、光強度（放射照度）が生育・開花に及ぼす影響を検討した。その結果、8月上旬播種では、照射時間を長くした場合でも、放射照度  $0.4\text{W}/\text{m}^2$  以上の放射照度では開花促進効果の向上はあまり認められず、深夜4時間電照の条件では放射照度  $0.2\text{W}/\text{m}^2$  程度の放射照度でPCa処理と同等の発蕾促進効果が得られることが明らかとなった。実験1の結果より、深夜2～4時間照射の範囲では、電照の照射時間の増加に伴い、段階的に発蕾促進効果が高くなっていったことから、深夜3時間照射の発蕾促進効果を2時間照射と4時間照射の中間程度と仮定すると、いずれの品種および播種時期とも、深夜3時間照射の場合、放射照度  $0.3\sim 0.4\text{W}/\text{m}^2$  でPCa処理と同等の発蕾促進効果が得られると推定された。また、実験2において、発蕾日数および着花節位について、電照4時間処理がPCa処理と同等となる放射照度を比べると、いずれの品種および播種時期とも発蕾日の方がより低い放射照度で同等となった。着花節位は生育段階における花芽分化の時期を表しており、発蕾日は分化した花芽が発達し肉眼的に確認できた時期を表す。発蕾日の方がより低い放射照度しか必要としなかったことから、PCa処理が花芽分化のみを促進し以後の花芽発達にあまり影響しなかったのに対し、電照処理は花芽分化だけではなく以降の花芽発達にも促進的な効果を及ぼしていることが示唆された。そのため、電照処理による開花促進効果は、発蕾までの処理で効果が十分でない場合には、発蕾後も電照処理を継続するなどして、開花促進効果の調節が可能であると考えられた。ただし、電照処理期間を長くした場合、開花促進効果が高まると同時に、切り花品質の低下が起る可能性があるため、花芽発達の進行度を確認しながら適切な時期に電照処理を終了できるよう注意する必要がある。

ストックはモデル植物であるシロイヌナズナと同じアブラナ科の量的長日植物に分類され、その花成誘導メカニズムも類似したものであることが推測される。シロイヌナズナでは、変異体の解析により複数種のフィトクロムが花成誘導に関与することが明らかになっており、フィトクロムAは日長に感応し

て開花促進的に、フィトクロム B, D, E は開花抑制的に働いていることが知られている (Reed et al., 1994; Franklin et al., 2003). フィトクロムは赤色・遠赤色光をシグナルとして活性型・不活性型が可逆的に変換される性質があり (Sager et al., 1988), この可逆反応は低光量反応に分類され、飽和光量でのフィトクロムの平衡状態は光の波長に依存する (樋口, 2014). そのため、実験 2 で示されたように、ストックの発蕾・到花日数の変化は、弱光条件下では単調減少し、一定以上の光量で飽和する漸近指数的な変化を示したものと考えられた。

本実験では、導入コストや光質の点から白熱電球を用いて、電照による開花促進技術の開発を行った。ただ、これまで市販光源としての開発があまり進んでいなかった遠赤色 LED でも、白熱電球の 2 倍の照射範囲を有する製品がストックの開花促進用光源として開発されており (岸本ら, 2013), 他産地では収穫期前進や労力分散を狙って遠赤色 LED を導入する動きがみられることから (満田, 2017), 今後は遠赤色 LED の利用についても、検討を進める必要があるものと考えられる。

本実験の目的とした、年内出荷の安定化を図るような開花促進技術を構築するためには、花芽分化に不適当な気象条件下においても十分な開花促進効果が得られることを示す必要がある。実験 1 を行った 2016 年の気象条件をみると、10 月下旬まで高温寡日照条件が続いており、ストックの開花遅延が非常に起こりやすい条件の年であったといえる。実際に、大阪鶴見花き地方卸売市場 (2015~2019) におけるストックの取扱数量を比較すると、2016 年の 11~12 月の数量は過去 5 年間の中で最低値を記録しており、5 ヶ年平均の 64% 程度に低迷していた。このことから、今回開発した電照処理法は、花芽分化に不適当な気象条件下においても、安定した開花促進効果が得られるものであると考えられる。

## 2. トンネル高温処理による 4~5 月出荷作型での品質向上効果

春先の切り花品質の向上を図るべく、冬播き 4~5 月出荷作型において、開花抑制および品質向上効果の高いトンネル高温処理法を検討した。まず、実験 3 では、ストックの花芽分化抑制および品質向上に昼夜どちらの温度がより影響するのかを解明するため、トンネル被覆中の昼夜温が生育・開花に及ぼす影響を検討した。その結果、高温条件で花芽分化が抑制され着花節位が高くなるとともに、初期の草丈身長が促進されることが明らかとなった。また、節間長は、生育期間を通じて、昼間と夜間の温度差が大きくなることで促進されており、昼夜温度差 (DIF) が節間伸長を促進していると考えられた。続いて、実験 4 では、トンネル高温処理と加温処理の品質向上効果を比較するため、昼間のトンネル高温処理と夜間の加温が生育・開花に及ぼす影響を検討した。その結果、昼間のトンネル高温処理により初期生育の促進や花芽分化の抑制が起こるほか、昼間のトンネル高温処理と夜間の低温との温度差により最も節間伸長が促進されることで切り花長が増加するものと考えられた。これらの結果から、冬播き作型において切り花品質の向上を図るには、トンネル被覆による昼間の高温処理が効果的であり、夜間の積極的な加温は必要ないと考えられた。DIF は「昼温 (明期の温度) - 夜温 (暗期の温度)」で定義され、様々な植物種で昼温が夜温よりも高い +DIF 処理による茎伸長効果が報告されている (腰岡・Moe, 1999)。ストックでも、極早生品種「早麗」において、+DIF 処理により生育初期から草丈や節間の伸長が促進されるほか、生育途中で -DIF から +DIF に変更することで伸長速度が急速に回復し、初期生育の遅れが取り戻されることが報告されており (Ito et al., 1997a, 1997b), 今回の実験に使用した中生のアイアン系品種でも同様に、トンネル高温処理により +DIF の条件が作り出され、温度差で伸長が促進されたものと考えられた。そして、実験 5 では、切り花品質向上効果の高いトンネル高温処理方法と作型を解明するため、播種時期とトンネル高温処理期間が生育・開花に及ぼす影響について検討を行った。その結果、最も切り花品質を高めて 4~5 月に出荷するには、1 月に播種し、定植直後から 6 週間トンネル高

温処理を施すことで、最も切り花品質向上を図ることができた。

### 3. 電照処理とトンネル高温処理を組み合わせた同一圃場年二回作付け体系の実証

実験6では、電照処理による開花促進効果とトンネル高温処理による切り花品質向上効果を活用し、ストックの圃場利用効率を高める目的で、電照処理による夏播き年内出荷作型とトンネル高温処理による冬播き4~5月出荷作型を組み合わせた、ストックの同一圃場年二回作付け体系の実証を行った。その結果、年内出荷作型では、電照処理により移植栽培、直播栽培ともに、切り花品質の低下を抑えながらほぼ全ての株を年内に採花することができ、収穫終了から次の作付けまでに十分な作業日数が確保できた。4~5月出荷作型では、トンネル高温処理により移植栽培、直播栽培ともに、切り花品質を向上させながら4月下旬~5月上旬に出荷することができ、同一圃場年二回作付け体系を実証できた。

年内出荷作型では、実験の条件を揃えるため、移植栽培区、直播栽培区ともに8月上旬播種としたが、移植栽培区と比べて、直播栽培区では1ヶ月程度開花が早く、切り花長と茎径がやや小さくなった。移植栽培においては、切り花品質の低下を抑えながら安定的に年内出荷するために、8月上旬に播種し電照による開花促進を行うことが最も適当であったが、直播栽培においては、播種時期を少し遅らせて8月中旬とするのが適当であると推測された。

4~5月出荷作型では、前作の終了後連続的に作付けを行うことを想定し、移植栽培区では12月中旬に播種を行ったが、播種時期と年内出荷作型の採花時期が重複してしまい、作業が繁忙となることが懸念される。また、移植栽培区、直播栽培区ともに、トンネル高温処理により切り花長や切り花重が向上したものの、最上位規格である75cm規格まで伸長する株の割合が低かった。トンネル高温処理による品質向上効果が最も高いのは1月播種、2月定植の作型であり、今回の実証では両区とも1月に定植を行ったため、品質向上効果がやや低下したものと推測された。また、2月定植とすることにより、さらなる品質向上が期待されることに加えて、移植栽培では、年内出荷が終わってからの播種となるため、栽培期間の重複がなく、作業の繁忙を抑えられるという利点もあると考えられた。

### 4. 電照処理およびトンネル高温処理の導入にかかる経営試算

電照処理とトンネル高温処理を組み合わせた同一圃場二回作付け体系には、生産安定化や品質向上といった利点がある一方で、電照設備やトンネル資材等への投資が必要となる。そこで、最後に、同一圃場二回作付け体系の普及に資する目的で、電照処理およびトンネル高温処理を利用した二回作付け体系の経営試算を行いたい。経営試算の作成にあたり、作付けを行う施設は既に電気契約を行っているものとし、収穫本数は3万本/10aとした。ストックの切り花単価については平成26~30年度の大府鶴見花き市場年報を、販売手数料等については和歌山県の発行する農業経営モデル指標を参照した。まずは、電照処理とトンネル高温処理の経費を計算すると、表14のようになった。イニシャルコストは資材等を合わせて約37万円/10a、ランニングコストは電気使用量が年間約7,700円/10aとなった。続いて、電照処理による増収効果を計算すると、過去5ヶ年における12月と1月の切り花単価の差が13円/本、販売手数料が13%なので、電照処理により年内出荷の割合が50%から100%に向上した場合、約17万円/10aの増収になると考えられた。トンネル高温処理による増収効果は、70cm規格と60cm規格の単価差が12円/本、販売手数料が13%なので、トンネル高温処理により70cm規格の割合が0%から70%に向上した場合、約22万円/10aの増収になると考えられた。これらの数値を比較すると、電照処理およびトンネル高温処理を利用した二回作付け体系の増収効果は導入コストを上回っており、1年でコストの回収が可能であると考えられた。

表14 ストックの同一圃場年二回作付体系の導入にかかる10aあたりコスト試算

項目	数量	単価	総額
夏播き年内出荷作型(電照処理)			
白熱電球(40W)	200球	150円/球	30,000円
被覆ケーブル	700m	7,500円/100m	52,500円
電球ソケット	200個	350円/個	70,000円
コードコネクタ	30個	250円/個	7,500円
電気代(8kWh×3時間×30日間) <sup>z</sup>	720kWh	10.7円/kWh	7,704円
冬播き4~5月出荷作型(トンネル高温処理)			
ビニール	600m	21,000円/100m	126,000円
支柱	625本	180円/本	112,500円

z: 関西電力で時間帯別電灯を契約し、夜間時間で電力を使用した場合

## 摘要

本県におけるストックの生産安定化および品質向上を図るため、夏播き年内出荷作型において夜間電照処理が開花時期に及ぼす効果を検討するとともに、冬播き4~5月出荷作型においてトンネル高温処理が切り花品質に及ぼす効果を検討した。また、これらの二つの技術を組み合わせた同一圃場におけるストックの年二回作付体系による圃場利用効率向上の実証を行った。

1. 夏播き年内出荷作型において、8月上旬に播種し、本葉15枚展開時~発蕾まで白熱電球により、放射照度0.4 W/m<sup>2</sup>で深夜3時間の電照処理を行うことで、開花が促進され、切り花品質の低下を抑えながら安定的に年内に開花させることができた。
2. 冬播き4~5月出荷作型において、1月上旬に播種し、定植直後から6週間のトンネル高温処理を行うことで、生育が促進され、最も切り花品質を向上させることができた。
3. 電照処理技術とトンネル高温処理技術を組み合わせることで、同一圃場において年内出荷作型と4~5月出荷作型を連続して行う二回作付体系を構築できることを実証した。
4. 電照とトンネルの導入にかかる費用は約38万円/10a、電照処理による生産安定化およびトンネル高温処理による品質向上に伴う増収効果は約39万円/10aであり、これらの技術を利用した同一圃場二回作付体系のコストは1年で回収可能であると考えられた。

## 引用文献

- Franklin, K.A., U. Praekelt, W. M. Stoddart, E. Billingham, K. J. Halliday and G. C. Whitlam. 2003. Phytochrome B, D, and E act redundantly to control multiple physiological responses in Arabidopsis. Plant. Physiol. 131: 1340-1346.
- 藤田政良・西谷年生. 1978a. ストックの作付体系に関する研究(第3報)無分枝系品種における開花の早晚と低温および中温に対する開花反応. 園学雑. 47: 217-226.
- 藤田政良・西谷年生. 1978b. ストックの作付体系に関する研究(第4報)ジベレリン処理が無分枝系品種の生育, 開花に及ぼす影響. 和歌山県農試研報. 6: 19-26.
- 藤田政良. 1979. ストックの作付体系に関する研究(第6報)若齢期の低温処理が花芽分化, 開花に及ぼす影響. 園学雑. 48: 327-335.

- 樋口洋平．2014．1章 植物の成長・開花と光応答．2 光受容体．pp.30-36．電照栽培の基礎と実践．誠文堂新光社．東京．
- 久松完・腰岡政二．2001．ストックの生育・開花とジベレリン．植物の生長調節．36：85-90．
- 石上佳次．2015．春季出荷ストックの温室内トンネル処理による切り花伸長と開花期延長．ひょうごの農林水産技術 農業編．191：7．
- Ito, A., T. Hisamatsu, N. Soichi, M. Nonaka, M. Amano and M. Koshioka．1997a．Effect of diurnal temperatures alternations on the growth of annual flowers at the nursery stage．J. Japan. Soc. Hort. Sci．65：809-816．
- Ito, A., T. Hisamatsu, N. Soichi, M. Nonaka, M. Amano and M. Koshioka．1997b．Effect of diurnal fluctuations of day and night temperatures at the seedling stage on the subsequent growth of flowering annual．J. Japan. Soc. Hort. Sci．65：817-823．
- 神田美知枝・種谷光泰・青木孝一．2011．プロヘキサジオンカルシウム処理によるストック・アイアン系品種における開花促進技術．千葉県農林総研研報．3：67-71．
- 加藤正浩・岸本真幸・前田香那子・山田真・石渡正紀・住友克彦・久松完．2009．明期終了時の短時間赤色光照射が各種花壇苗および切り花ストックの生育に及ぼす影響．園学研．8（別2）：324．
- 岸本真幸・米澤朗・山本圭介・保本正美・田中章人・谷口浩章．2013．新たに開発した広照射 LED-FR 照明がストック・トルコギキョウの生育に及ぼす影響．園学研．11（別2）：220．
- 腰岡政二・R. Moe．1999．施設園芸作物の形態に及ぼす温度周期の影響．植物の化学調節．34：66-74．
- Lindstorm, R. S., S. H. Wittwer and M. J. Bukovac．1957．Gibberellin and higher plants: IV. Flowering responses of some flower crops. Mich. Agr. Exp. Sta. Quart. Bull. 39: 673-681.
- 満田祥平．2017．遠赤色 LED を利用したストックの開花促進．ひょうごの農林水産技術 農業編．197：12．
- 宮前治加・島浩二・西谷年生・山田真・石橋正紀・住友克彦・久松完．2015．終夜照射における赤から遠赤色光領域の波長分布がストックの伸長成長および開花に及ぼす影響．園学研．14：371-379．
- 宮本賢二・田中典子・由井秀紀・中島由郎・山本宗輝．2010．ストック・アイアン系品種の生育開花に及ぼす高温処理の影響．園学研．9（別1）：227．
- 大阪鶴見花き地方卸売市場．2015．平成 26 年市場年報．p.16
- 大阪鶴見花き地方卸売市場．2016．平成 27 年市場年報．p.16
- 大阪鶴見花き地方卸売市場．2017．平成 28 年市場年報．p.16
- 大阪鶴見花き地方卸売市場．2018．平成 29 年市場年報．p.16
- 大阪鶴見花き地方卸売市場．2019．平成 30 年市場年報．p.16
- Reed, J. W., A. Nagatani, T. D. Elich, M. Fagan, and J. Chory．1994．Phytochrome A and phytochrome B have overlapping but distinct function in Arabidopsis development．Plant. Physiol．104：1139-1149．
- Sager, J. C., W. O. Smith, J. L. Edwards and K. L. Cyr．1988．Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data．Transactions of the ASAE. 31：1882-1889．
- 坂西義洋・福住久代．1968．ストックの花芽分化に対する低温要求性の品種間差異．園学雑．37:357-367．
- 島浩二．2014．2章 施設園芸作物の生産における光利用 5 シュッコンカスミソウの光応答．pp.128-136．電照栽培の基礎と実践．誠文堂新光社．東京．

- 鷹見敏彦．2009．ストック．栽培の基礎．栽培特性と経営上の課題．p.203．農業技術体系 花卉編 8 1・2 年草．社団法人農村漁村分化協会．東京．
- 鷹見敏彦・久松完・腰岡政二．2004．矮化剤プロヘキサジオンカルシウムの開花促進剤としての利用．植物の生長調節．39：257-259．
- 種谷光泰・加藤美紀・椎木千晴・香川晴彦．2016．遠赤色光照射によるアイアン系ストックの開花促進技術．千葉県農林総研研報．8：41-50．
- 吉村正久・西山学・金浜耕基．2002．ストックの主枝の生長と開花に及ぼす赤色光または遠赤色光と赤色光／遠赤色光比の影響．園学雑．71：575-582．
- 吉村正久・佐々木厚・森山巖興・柴原雄右・勝田敬子・金浜耕基．2006．ストックの開花に及ぼす夜間照射用各種光源の種類と光量の影響．園学研．5：297-301．
- 和歌山県．2006．和歌山県統計年鑑 平成 18 年刊行．p.132



## 水田転換畑での種ショウガ栽培における抑草技術

田中 郁・矢部泰弘<sup>1</sup>

和歌山県農業試験場

### The control of weed growth in the ginger field

Fumi Tanaka and Yasuhiro Yabe

Wakayama Agricultural Experiment Station

### 緒 言

和歌山県のショウガ栽培面積は41ha（全国11位）、出荷量は2,750t（全国3位）である（農林水産省, 2017）。県内産ショウガの多くが、和歌山市内の砂地地帯で栽培されている新ショウガ（収穫後約2か月以内に出荷するもの）であり、新ショウガに限れば全国2位の大産地となっている。

県内の新ショウガ産地では、生産に用いる種苗（病虫害のない健全な塊茎、通称種ショウガと呼ばれる。以下種ショウガとする）のほとんどを高知県、熊本県、長崎県などの他産地から購入している。高品質な新ショウガの生産には、優良な種ショウガの確保が重要であるが、近年は台風や大雨などの被害により主要な種ショウガの産地で根茎腐敗病等の病害が発生するなど、安定的な確保が困難な状況となっている。そのため、種ショウガ価格が高騰（2012年産：410円/kg 2015年産：700円/kg（JAわかやま聞き取り））し、新ショウガ生産コストが大幅に増加している。この状況を打開するため、優良な種ショウガの安定確保に向け、県内において種ショウガ生産に取り組む機運が高まり、JAわかやま、和歌山県農業協同組合連合会、和歌山市、和歌山県が構成メンバーとなって和歌山市種生姜生産促進協議会が設立（2015年3月10日）された。

種ショウガには囲いショウガ（収穫後、暗いところで日に当たらないように囲って貯蔵することから、囲いショウガと呼ばれる）のうち、無病で生育の良い塊茎を選抜して用いる。しかし、県内では囲いショウガの生産はほとんど行われておらず、優良な種ショウガとするために必要な技術の蓄積がない。また、現在の主産地である和歌山市の砂地地帯で囲いショウガ生産を行うと、新ショウガの栽培面積が減少する恐れがある。そこで、上記協議会では2015年より和歌山市の水田転換畑において優良な種ショウガを生産する試みがなされている。

水田転換畑での種ショウガ生産において問題となる要素の一つに雑草防除が挙げられる。一般的に雑草の発生により問題となるのは、栽培作物との光競合、養分競合、水分競合であり、播種後から除草しないで放任するとトウモロコシでは10%、陸稲では70%の減収となる（西尾ら, 2000）。ショウガ栽培の場合、初期の地上部の生育が、その後に分けつする塊茎の肥大に大きく影響する。この時期に1, 2次茎が雑草との養分競合などにより生育を阻害されると、その後の塊茎の肥大が劣る。これらのことから、生育初期からの雑草防除が重要となる。

雑草防除には耕種的防除、物理的防除、化学的防除（除草剤の使用）、生物的防除がある（西尾ら、

<sup>1</sup>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

2000)。一般的に露地品目では耕種の防除のうちの、耕うん、マルチングや敷わらの利用などがあり、タマネギや果菜類では広く活用されている。ショウガ栽培においても同様の対策が可能と考えられる。また、野菜のマルチ栽培に関する知見は多く、黒マルチは日射を遮ることにより、被覆下の雑草の成長を抑える。また、有機物マルチには被覆による保湿と抑草効果および土壌にすき込んでからの土壌改良や肥料としての効果があり、古くから稲や麦などのわらが利用されている。一方、ショウガ栽培では栽培途中に使用できる除草剤がなく、植え付けから収穫までに約6か月の期間を要する種ショウガ栽培では、除草剤の使用は実用的ではない。

これらのことから、本研究では種ショウガ栽培における抑草技術としてマルチ利用について着目し、マルチ資材の選定およびその選定した資材の効率的な利用法の検討を行った。

## 材料および方法

### 1. マルチ資材の検討（試験1）

農業試験場内（和歌山県紀の川市貴志川町高尾）の圃場において試験を行った。定植約2か月前の2016年3月1日にバスアミド微粒剤60kg/10aを散布および耕うん後、圃場全面をビニールで1か月間被覆し、土壌消毒を行った。種ショウガには県内産「土佐一」を使用し、4月27日に200～250g程度の大きさに分割した。5月2日に幅1.2mの畝へ株間0.5m、条間0.5mの2条千鳥（栽植密度：3,333株/10a）で定植し、基肥として有機化成肥料（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=10-13-8）160kg/10a、ケイ酸カリ60kg/10a、苦土セルカ60kg/10aを施用した。追肥は7月28日に有機化成肥料（10-13-8）120kg/10aと8月31日に有機化成肥料（13-3-13）140kg/10aを施用した。

1区あたりの面積を2.4m<sup>2</sup>（1.2m×2m）とし、8株を供試した。植付け後から被覆資材を用いる区として、黒マルチ区（厚さ0.03mm、住化積水フィルム（株））、生分解性マルチ区（カエルーチ、MKV ドリーム（株））の2処理区、出芽揃い後から有機物マルチを用いる区として、稲わら区、ケイントップ（さとうきびの葉や茎の搾りかすに石灰窒素を1%以上加えたもの）区、おがくず区、バーク堆肥区、HDM堆肥（微生物を利用して生ごみを堆肥化したもの）区の7処理区と、処理を行わない無処理区の併せて8区を設け、それぞれ2反復とした。有機物マルチの被覆量はすべて1kg/m<sup>2</sup>とした。7月28日の追肥および土寄せの前に、黒マルチ区のマルチは除去し、それ以外の処理区は、敷設した資材の上に追肥および土寄せを行った。

調査方法は7月28日に1区あたり畝天面0.25m<sup>2</sup>の雑草を全草採取し、雑草の種類ごとの重量（生重）を測定した。12月12日に収穫したショウガの主茎長、茎葉および塊茎の重量を測定した。

### 2. ケイントップの被覆時期の検討（試験2）

農業試験場内の試験圃場において、2017年3月8日にバスアミド微粒剤60kg/10a散布および耕うん後、圃場全面を土壌消毒剤専用フィルムで1か月被覆し、土壌消毒を行った。種ショウガには熊本産「土佐一」を使用し、4月13日に200～250g程度の大きさに分割した。

4月17日に基肥として有機化成肥料（10-13-8）160kg/10a、ケイ酸カリ60kg/10a、苦土セルカ60kg/10a散布した。4月28日に幅1.2mの畝へ株間0.5m、条間0.5mの2条千鳥（栽植密度：3,333株/10a）で定植し、追肥は7月11日に有機化成肥料（10-13-8）120kg/10aと8月25日に有機化成肥料（13-3-13）140kg/10aを施用した。

1区あたりの面積を3m<sup>2</sup>（1.2m×2.5m）とし、10株を供試した。ケイントップの1回あたりの被覆量は0.5kg/m<sup>2</sup>とした。植え付け直後からの被覆と土寄せ後に被覆を行う。植付直後被覆区、出芽後と

土寄せ後に被覆を行う 出芽後被覆区，土寄せ後から被覆を行う 土寄せ後被覆区，栽培期間を通じて被覆を行わない 慣行区と 無処理区の5つの区を設け，それぞれ2反復とした．出芽後被覆区および土寄せ後被覆区，慣行区の3つの区は，植え付け直後にトレファノサイド乳剤（10aあたり300ml/水100l）の全面土壌散布を行った（表1）．

表1 処理方法（試験2）

処理	植付け直後 4月28日	出芽後 6月16日	土寄せ後 7月12日	備考
植付直後被覆区	被覆	-	被覆	植付け直後と土寄せ後の2回被覆
出芽後被覆区	トレファノサイド乳	被覆	被覆	出芽揃い後と土寄せ後の2回被覆
土寄せ後被覆区	トレファノサイド乳	-	被覆	土寄せ後のみ1回被覆
慣行区	トレファノサイド乳	-	-	
無処理区	-	-	-	

注) 表中の被覆はケイントップ被覆

トレファノサイド乳は10aあたり300ml/水100lの全面土壌散布

調査方法については，植え付け後から出芽揃い期まで各区の出芽率を調査した．植付直後被覆区と，無処理区における地下5cmの地温を自記温度計（おんどとりJr. RTR-502 T&D社）を用いて4月28日から6月2日まで測定した．雑草の発生量は，6月11日，6月16日，7月11日，8月2日および8月21日に各区で発生した全ての雑草を採取し，株数と生重を調査した（調査面積は試験1と同様とした）．また，6月から11月まで1か月ごとに主茎長，茎数，葉数を調査し，収穫調査は11月28日に行い，塊茎重量を測定した．

### 3. ケイントップの被覆量の影響（試験3）

耕種概要については試験2と同様で，1区あたりの面積を3m<sup>2</sup>（1.2m×2.5m）とし，10株を供試した．ケイントップの1回の被覆量を，0.25kg/m<sup>2</sup>，0.5kg/m<sup>2</sup>，1kg/m<sup>2</sup>の3区とし，被覆を行わない慣行区と 無処理区を設けそれぞれ2反復とした．ケイントップの被覆は，出芽後と土寄せ後の2回行った．各ケイントップ被覆区および慣行区は，植え付け直後にトレファノサイド乳剤（10aあたり300ml/水100l）の全面土壌散布を行った（表2）．

表2 処理方法（試験3）

処理	植付け直後 4月28日	出芽後 6月16日	土寄せ後 7月12日
0.25kg/m <sup>2</sup>	トレファノサイド乳	0.25kg/m <sup>2</sup> 被覆	0.25kg/m <sup>2</sup> 被覆
0.5kg/m <sup>2</sup>	トレファノサイド乳	0.5kg/m <sup>2</sup> 被覆	0.5kg/m <sup>2</sup> 被覆
1kg/m <sup>2</sup>	トレファノサイド乳	1kg/m <sup>2</sup> 被覆	1kg/m <sup>2</sup> 被覆
慣行区	トレファノサイド乳	-	-
無処理区	-	-	-

注) 表中の被覆はケイントップ被覆

トレファノサイド乳は10aあたり300ml/水100lの全面土壌散布

調査方法については，雑草の発生量は，6月11日，6月16日，7月11日，8月2日および8月21日に各区で発生した全ての雑草を採取し，生重で調査した（調査面積は試験1と同様とした）．また，6月から11月まで1か月ごとに主茎長，茎数，葉数を調査し収穫調査を11月28日に行い，塊茎重量を測定した．

### 4. 現地実証（試験4）

2018年4月～11月に和歌山市和佐の生産者圃場で試験を行った．基肥として有機化成肥料（10-13-8）160kg/10a，ケイ酸カリ60kg/10a，苦土セルカフミン160kg/10aを4月に施用し，追肥は土寄せ後

に有機化成肥料（10-13-8）120kg/10aを生産者が施用した。種ショウガには、県内産‘土佐一’を供試して、4月30日に幅1.2mの畝へ株間0.5m、条間0.5mの2条千鳥（栽植密度：3,333株/10a）で定植した。追肥および土寄せは8月8日に行った。

試験区は ケイントップ区（有機物マルチ資材としてケイントップを、出芽後6月14日と土寄せ後8月10日に処理量0.5kg/m<sup>2</sup>/回を投入した区）と 慣行区（植え付け直後にトレファノサイド乳剤を200ml/10a散布）を設けた。それぞれの区は約2aで、調査株数は1区10株、反復なしとした。調査方法については6月19日、7月17日、8月21日、10月5日に主茎長、葉数および茎数を調査した。また、10月15日に雑草調査を行い、ケイントップ区と慣行区でそれぞれ発生雑草を採取し、生重で調査した（調査面積は試験1と同様とした）。収穫は11月12日に行い、茎数、塊茎重を測定した。

## 結 果

### 1. マルチ資材の検討（試験1）

黒マルチ区、生分解性マルチ区、稲わら区およびケイントップ区において明らかに雑草の発生量が少なくなった（図1）。

収穫時の主茎長は、おがくず区においてやや低くなる傾向が見られ、いずれの処理区においても、収穫時の茎葉の重さに明らかな差は認められなかった（データ省略）。またいずれの処理区においても、収穫時の塊茎重に有意な差は認められなかった（図2）。

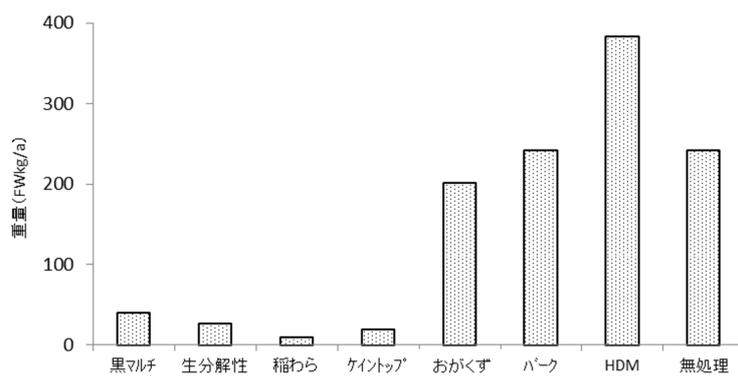


図1. マルチの種類と雑草の発生量の比較(生体重)  
注) 調査日: 2016年7月28日

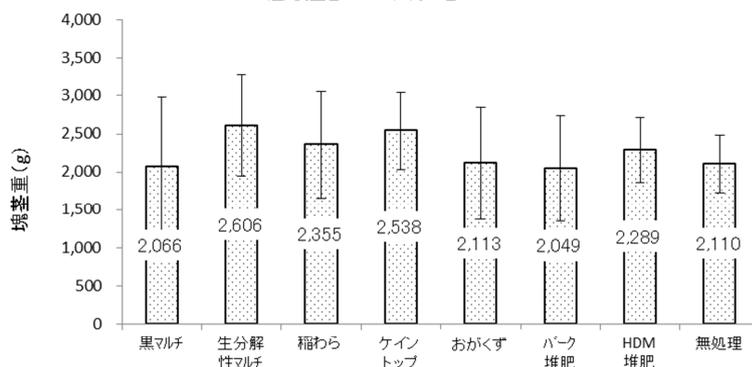


図2. マルチの種類と塊茎重の比較  
注) 数値は平均値, バーは標準偏差 (n=8)  
Tukey検定により各処理区間に5%水準で有意差なし

## 2. ケイントップの被覆時期の検討（試験2）

ケイントップで地表を被覆すると、裸地と比べて昼間の地温は低く、夜間の地温はやや高く推移し、調査期間中の全測定地温を平均した値は、裸地20.4℃、ケイントップ被覆19.7℃であった（図3）。

出芽は、植付直後被覆区で慣行区と比べてやや遅くなり、他の区の出芽率では、6月30日時点で90%以上であったのに対し、植付直後被覆区は85%であった（図4）。

雑草発生量は、出芽後被覆区で最も少なかった。時期別にみると、7月12日から8月2日の間は、いずれの区においても最も多く雑草が発生した。8月22日の調査では、ショウガ茎葉の繁茂によりいずれの区においても雑草の発生は少なくなった（図5）。

植付直後被覆区では、慣行区と比べて主茎長がやや短くなる傾向がみられたが、葉数および茎数に処理区間の明らかな差はみられなかった（データ省略）。

植付直後被覆区では、慣行区と比べて、塊茎重がやや小さくなる傾向がみられた。出芽後被覆区および土寄せ後被覆区の塊茎重は、慣行区と同等程度であった（図6）。

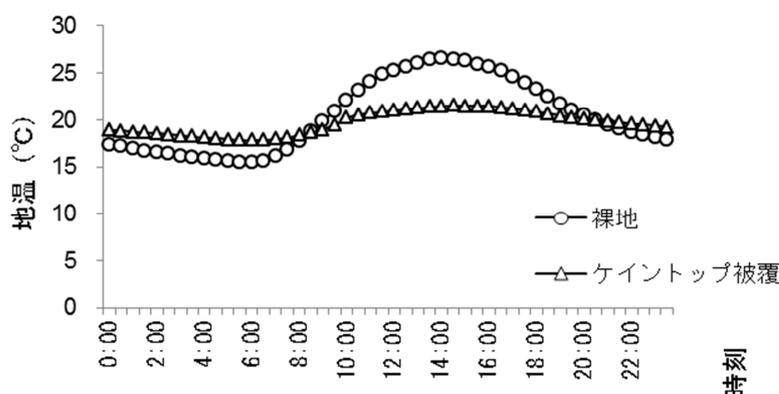


図3. 地温の推移（平均値）

注) 5月1日～31日の間に測定した地温の平均値、畝中央、地下5cm  
自記温度計（おんどとりJr. RTR-502 T&D社）で計測

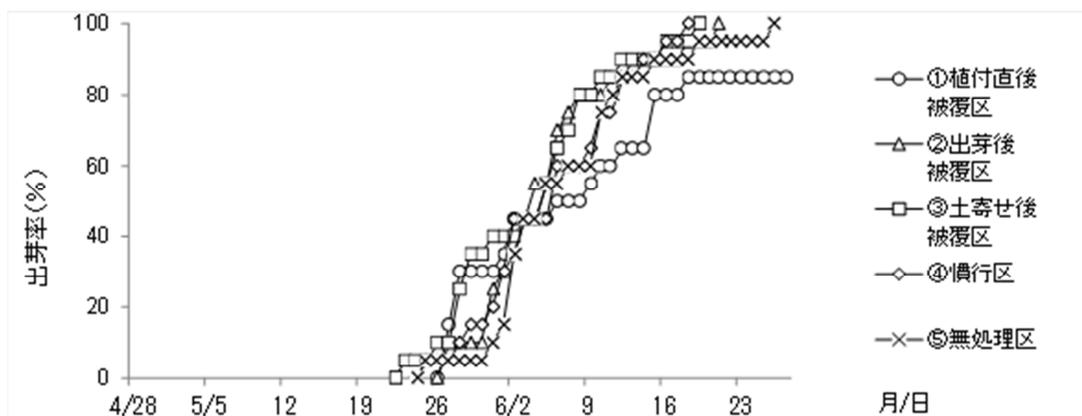


図4. ケイントップ被覆の時期と出芽率の推移

注) 調査期間：2017年4月28日～6月30日

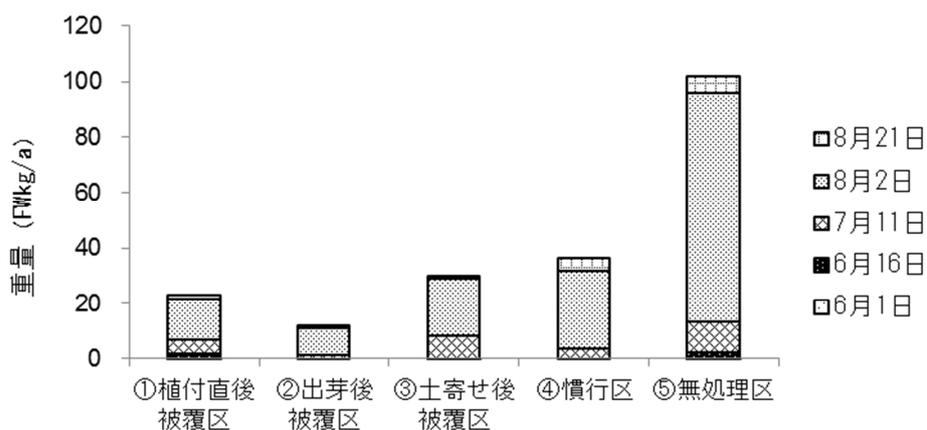


図5. ケイントップの被覆時期と雑草の発生重量 (生体重)

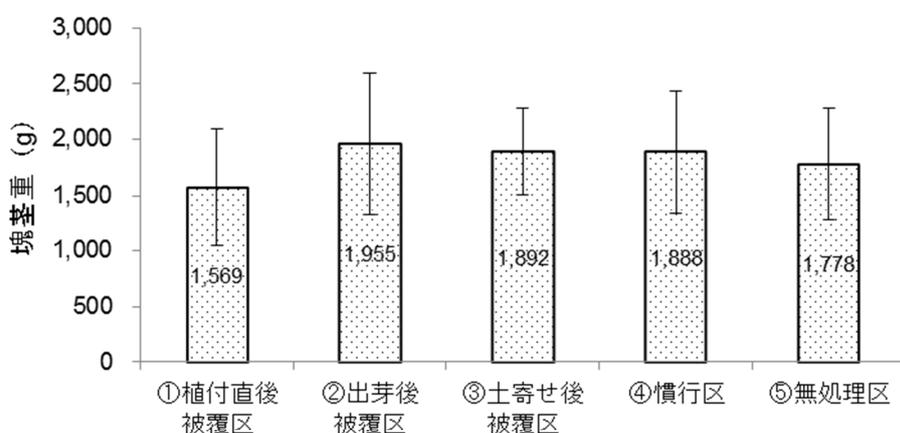


図6. ケイントップ被覆時期と収穫時の塊茎重の比較  
注) 数値は平均値, バーは標準偏差 (n=5)

### 3. ケイントップの被覆量の影響 (試験3)

雑草の発生は, ケイントップの被覆量を $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ および $1\text{kg}/\text{m}^2$ とした処理で最も少なく, 次いで $0.25\text{kg}/\text{m}^2$ の順であった (図7). 慣行区と無処理区では多くの雑草が発生した. いずれの区においても, 各時期の生育 (データ省略) や収穫時の塊茎重に有意な差はみられなかった (図8).

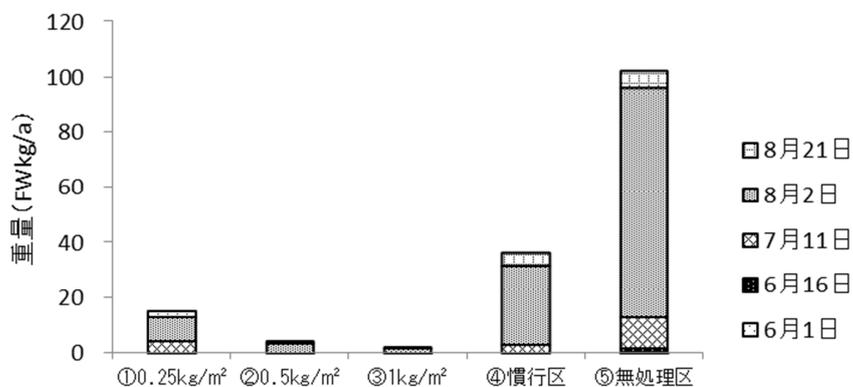


図7. ケイントップ被覆量と雑草の発生重量 (生体重)

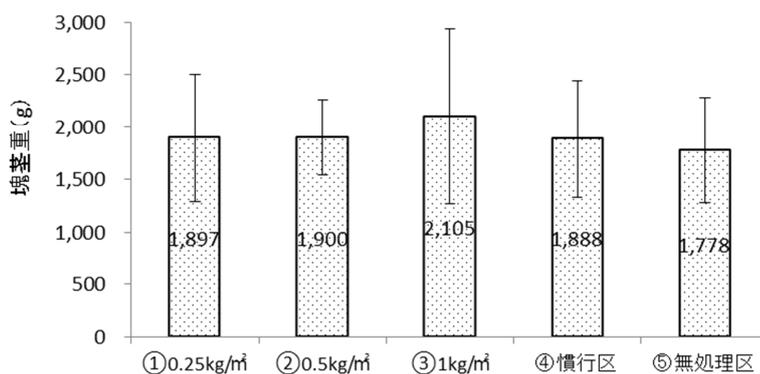


図8. ケイントップ被覆量と収穫時の塊茎重の比較  
 注) 数値は平均値, バーは標準偏差(n=5)  
 Tukey検定により各処理区間に5%水準で有意差なし

#### 4. 現地実証 (試験4)

雑草発生量は、ケイントップ区では慣行区の約1/2であった(図9)。茎数については、ケイントップ区で生育初期から多い傾向があり(データ省略)、収穫時の茎数および塊茎重ともにケイントップ区で慣行区と比べて大きく、有意差が認められた(表3, 図10)。

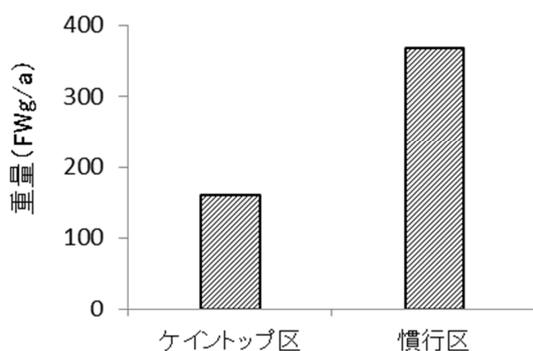


図9. ケイントップ被覆による雑草発生重量(生体重)  
 注) 調査日: 10月15日

表3. 収穫時の生育の比較

	塊茎重(g)	茎数
ケイントップ区	2213*	37.8*
慣行区	2042	34.8

\* t検定により5%水準で有意差あり



ケイントップ区      慣行区

図10. 収穫時の生育の状態比較

## 考 察

和歌山市の砂地地域で生産されている新ショウガ栽培に必要な不可欠である種ショウガを県内の水田転換畑で栽培するために抑草技術を検討した。

試験1では、マルチや有機物資材の抑草効果について検討した。黒マルチや生分解性マルチのようなフィルムマルチ資材と同様に、有機物資材である稲わらやケイントップを $1\text{kg}/\text{m}^2$ 被覆することによって抑草された(図1)。これは、畝面が遮光され、雑草の発生が抑えられたことによるものと考えられる。

黒マルチは設置に労力を要し、更に廃棄が環境問題となっている(山下, 2011)。また、生分解性マルチは、栽培後に土壌へのすき込みが可能で廃棄の問題はないものの、価格はポリマルチより10aあたり15,000円~20,000円高単価である(大塩, 2002)。一方、稲わらは水田にすき込む生産者が多く、安定的に手に入りにくい。これらの理由から抑草に有効なマルチとしてケイントップを選定した。ケイントップは比較的安価で手に入りやすく、土壌改良材や有機物マルチとして他の品目でも多く使われている。

試験2では、選定したケイントップを被覆する時期を検討した。植え付け直後にケイントップを被覆すると出芽が遅延した(図4)。ショウガの出芽には植え付け後少なくとも30日間を要することが報告されており(青木, 1988)、植え付け直後被覆で昼間の地温の上昇が抑制されたことが出芽遅延の要因として考えられる(図3)。また、被覆により土壌の過湿状態が続いたことによって種ショウガが腐敗し、出芽率が低下したと考えられる。さらに、一次茎の成長が遅延したことにより、収穫時の塊茎重量がやや減少する傾向がみられた(図6)。出芽期以降の被覆では、塊茎重量に明らかな差は認められず、出芽後に被覆を行った区では雑草の発生を最も抑制した。土壌処理除草剤を散布して初期雑草の発生を抑制し、除草剤の効力が減退する散布後30~35日以降に、雑草の発生状態により中耕・除草を行うとよいとする大豆での報告(月舘・深澤, 1984)と同様に、ショウガ栽培においても植え付け後しばらくはトレファノサイド乳剤により雑草が抑えられ、約30日後の出芽時にケイントップを被覆することが抑草に最も効果的であったと考えられる。

また、県内の露地ショウガ栽培では8月中旬に土寄せを行うが、夏秋雑草対策として土寄せ後にもケイントップを被覆しておくことが望ましい。これらのことから、ケイントップによる被覆は出芽後と土寄せ後に行うことが適当と考えられる。

試験1ではケイントップの被覆量を $1\text{kg}/\text{m}^2$ で試験を行ったが、試験3では適正な被覆量を検討した。0.5 $\text{kg}/\text{m}^2$ 以上で雑草の発生量は少なくなることが確認できた(図7)。ケイントップは1袋20 $\text{kg}$ で1400円程度(2018年, JA取扱)であり、出芽後と土寄せ後に0.5 $\text{kg}/\text{m}^2$ 被覆することで7000円/aの費用がかかる。ケイントップは土壌改良材としても利用可能であり、塊茎収穫後は土壌にすき込むことにより堆肥投入量の削減につながると考えられる。なお、ケイントップ被覆に要する時間は一人では約7分/aであった(データ省略)。

試験1~3において、無処理区と各マルチ被覆区で収穫できた塊茎重量に顕著な差が認められなかった。一般的に多くの作物では雑草の発生により減収する(西尾ら, 2000)。今回、雑草の発生量が多かった無処理区と比べて各マルチ被覆区で収量が変わらなかったことの要因として、施肥量が必要量より多く、養分競合があっても十分に養分を吸収できた可能性が考えられる。そのため、施肥量が少ない場合はマルチ被覆により無処理区と比べて増収するものと推察される。

場内試験の結果をもとに行った現地実証試験の圃場は、試験の前年まで耕作放棄地であり、園主が前年に開墾した場所である。そのため前作の施肥などによる偏りはないものと考えられる。ケイントップ被覆区では慣行区と比べて雑草の発生量を1/2に抑えることができた(図8)。また、三宅ら(2001)は、ウメ‘南高’栽培において、土壌が乾燥する夏季に樹冠下の地表面を有機物でマル

チする栽培法は土壌乾燥を抑制し、樹勢を良好に維持でき、収量も多くなると報告している。本試験においても、ケイントップを被覆することによって土壌の乾燥を抑制したこと、または雑草との養分競合が緩和したことにより、生育が促進され収量が増加したことが考えられた（図9、表3）。ケイントップ区と慣行区では明らかに生育の差があり、種ショウガの栽培において、ケイントップの被覆は有効であると考えられた。

これらのことから、種ショウガの栽培では、ショウガ植え付け直後にトレファノサイド乳剤を散布することで初期雑草を抑制し、出芽後と土寄せ後にケイントップ0.5kg/m<sup>2</sup>を被覆することで定植から収穫までの雑草を抑制することができることが示唆された。現地実証試験では収量も約1.3倍になり増収にもつながったため、水田転換畑での抑草対策には、ケイントップの利用が有効であると考えられた。

## 摘 要

和歌山県内の水田転換畑において、優良な種ショウガを安定生産するための抑草技術を検討した。

1. 黒マルチおよび生分解性マルチの被覆、稲わら、ケイントップを1kg/m<sup>2</sup>被覆した処理区では、抑草効果が高かった。
2. 植え付け直後にケイントップを被覆した場合、昼間の地温の上昇が抑制され、出芽および初期生育が遅延し、収穫時の塊茎重量がやや減少する傾向がみられた。出芽期以降の被覆では、塊茎重量に明らかな差は認められず、出芽後に被覆を行った区では、雑草の発生を最も抑制した。
3. 雑草の発生は、ケイントップの被覆量を0.5kg/m<sup>2</sup>および1kg/m<sup>2</sup>とした場合で少なかった（出芽後と土寄せ後の2回被覆）。
4. 現地実証試験では、ケイントップを0.5kg/m<sup>2</sup>被覆することで、雑草発生量を慣行の1/2に抑えることができた。また、ケイントップ区では収穫時の茎数が多く、塊茎重が大きかった。

本研究の現地実証試験を実施するにあたりご協力いただいた、JAわかやま営農生活部営農指導課梶本智司氏（現在、JAわかやま南部営農センター）、JAグループ和歌山農業振興センター生産振興課室美友氏、海草振興局農林水産振興部農業水産振興課村上豪完氏（現在、西牟婁振興局農林水産振興部農業水産振興課）に深謝いたします。また、試験に多大なご協力を頂きました農業試験場の職員やアルバイトの皆様に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 青木宏史．1998．ショウガ．露地栽培．pp236-237．農業技術体系 野菜編11 特産野菜・地方品種．社団法人農村漁村分化協会．東京．
- 三宅英伸・岩尾和哉・北原伸浩．2001．ウメの持続的安定生産技術 有機物マルチと樹体の成長および貯蔵養分．和歌山県試験研究成績年報：22-23．
- 西尾道徳・古在豊樹・奥八郎・中筋房夫・沖陽子．2000．雑草とその防除．pp178-185．作物の生育と環境 第5章 生物的要素．社団法人農村漁村分化協会．東京．
- 農林水産省．2017．平成28年度産作物統計調査
- 大塩哲視．2002．新たなマルチ資材．生分解性マルチの使用法と注意点．pp48の9-10．農業技術体系 野菜編12 施設・資材．社団法人農村漁村分化協会．東京．
- 月舘鉄夫・深澤秀夫．1984．稲わらマルチによる大豆畑の雑草防除．東北農業研究．35:117-118



# 実エンドウ栽培における太陽熱土壌消毒前全量基肥施用技術の確立 (第2報) 新肥料の開発と有用性の実証

橋本真穂・三宅英伸<sup>1</sup>・林恭弘<sup>2</sup>

和歌山県農業試験場

**Establishment of Single Basal Application Method before Soil Solarization for Pea (*Pisum Sativum* L.) (2)  
Development of New Fertilizer and Demonstrated Its Usefulness**

Maho Hashimoto, Hidenobu Miyake<sup>1</sup>, and Yasuhiro Hayashi<sup>2</sup>

*Wakayama Agricultural Experiment Station*

## 緒言

和歌山県の特産野菜である実エンドウ栽培では、連作障害と土壌病害の発生を回避するため夏期に太陽熱土壌消毒が行われている。前報において、本県の主要作型である秋まきハウス冬春どりの作型で、土壌消毒効果の安定化、無追肥による施肥労力の軽減をはかるため、微生物分解性の肥効調節型肥料を用いた太陽熱土壌消毒前全量基肥施用について検討したところ、良好な結果が得られた(橋本ら 2019)。また、懸念された不耕起による土壌硬化とそれにともなう作業性の低下も問題とはならず、本法が現場で活用可能な技術であることが示された。しかし一方で、用いる微生物分解性肥効調節型肥料のさらなる利便性の向上や、実エンドウ栽培施設圃場でしばしばみられる、可給態リン酸や交換性カリウムなどの塩基類の集積に配慮するため、新たな肥料開発の必要性も示された。

そこで本研究では、実エンドウ栽培において太陽熱土壌消毒前全量基肥施用栽培に適した新肥料の開発とその実用性について検討した。

なお本研究の一部は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「太陽熱土壌消毒効果を活用した省エネ・省肥料・親環境栽培体系「陽熱プラス」の確立」(研究期間：2013～2015年)の一環として実施した。

## 材料および方法

### 1. 試作肥料の作製

和歌山県の実エンドウ主産地では、前報(橋本ら, 2019)の現地実証試験実施圃場と同様に可給態リン酸や交換性カリウム等塩基類の集積が顕著である。そこで、新肥料開発のコンセプトとして、リン酸およびカリウムについては土壌養分の集積緩和を図るため、必要量、すなわち実エンドウの養分吸収量に相当する量を施肥することとした。前報の圃場試験の実エンドウ吸収量をもとに、窒素については窒素固定による供給も考慮して肥料成分を  $N : P_2O_5 : K_2O = 8 : 3 : 7$  とした。また、生産現場では有機配合肥料

<sup>1</sup>現在：和歌山県農林水産部農林水産政策局農林水産総務課研究推進室

<sup>2</sup>現在：和歌山県農業試験場暖地園芸センター

を希望する声が大きかったことから、窒素成分の51.5%相当分をハイパーCDU<sup>®</sup>(長期), 48.5%相当分を菜種粕や魚粕を主原料とした有機原料を用いて配合した(以下, 試作肥料)。

### 1) 圃場試験

和歌山県農業試験場(紀の川市貴志川町高尾160番地)内の実エンドウを5年以上連作したビニルハウスにおいて、実エンドウ‘きしゅうすい’を供試し、栽培試験を実施した。試験区は、窒素施用量を慣行比2割減とし、太陽熱土壌消毒前全量基肥施用とする3試験区と、化成肥料を用いて太陽熱土壌消毒後に基肥を施用し、栽培期間中に3回の追肥を行う慣行区の4区とした(表1)。太陽熱土壌消毒前全量基肥施用を行う3区は、牛ふんオガクズ堆肥1t/10aと試作肥料を用いた牛オガ+試作肥料区、試作肥料のみ用いた試作肥料区、牛ふんオガクズ堆肥1t/10aとハイパーCDU<sup>®</sup>(長期)を用いた牛オガ+H-CDU区とした。試験は1区あたり畝幅1m×長さ1mの木枠栽培で、各区6反復とした。2014年8月7日に太陽熱土壌消毒前全量基肥施用の3区において施肥・耕起・作畝を行い、8月8日から9月3日まで全試験区において太陽熱土壌消毒を行った。太陽熱土壌消毒期間中は牛オガ+試作肥料区と慣行区の地表下5, 15, 30cmに自記温度計(おんどとり Jr. RTR-502 T&D社)を設置し地温を測定した。9月5日に慣行区に基肥施用・耕起・作畝を行った。9月26日に株間20cmで1株あたり5粒となるように低温処理した種子を播種した。12月9日, 2015年2月26日および3月27日に、慣行区のみ追肥を施用した。栽培期間中はハウス内最低温度が5℃となるように加温し、また、病害虫防除は適宜行った。

収穫は2015年2月5日から4月20日の間、週に1~2回行い、全重量および上物重量を測定した。

実エンドウの養分含有率については、さやは2015年3月9日、茎葉は2015年4月27日に一部を採取し、60℃で48時間以上乾燥後、微粉碎した試料を供試し、全窒素をCNコーダー法で、全リンを硫酸・硝酸分解-バナドモリブデン酸法で、全カリウムを硫酸・硝酸分解-炎光光度法で測定した。

土壌は、2014年8月6日, 9月4日, 12月9日(追肥施用前), 2015年3月27日, 5月22日に各区の作土層から採取し、風乾後、無機態窒素(アンモニア態窒素+硝酸態窒素)量を10%-KCl抽出-蒸留法で、可給態リン酸量をトルオーグ抽出-モリブデンブルー法で、交換性カリウム量を1N酢安抽出-炎光光度法で測定した。

表1 各試験区における施用資材と施用量および施用時期

試験区	牛オガ堆肥 (現物t/10a)	N(kg/10a)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/10a)	K <sub>2</sub> O (kg/10a)	施用資材	施用時期
		基肥	追肥				
牛オガ+H-CDU	1	24	0	9	21	ハイパーCDU <sup>®</sup> (長期), PK40号, 塩化カリ, 苦土石灰	消毒前
牛オガ+試作肥料	1	24	0	9	21	試作肥料, 苦土石灰	消毒前
試作肥料	0	24	0	9	21	試作肥料, 苦土石灰	消毒前
慣行	0	12	18	20	20	硫安, PK40号	消毒後

ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期): 30-0-0, PK40号: 0-20-20, 試作肥料: 8-3-7

牛ふんオガクズ堆肥 N:0.98%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:0.56%, K<sub>2</sub>O:1.53%, C/N=28.7, 全て現物あたり

慣行区の追肥は6kgN/10aずつ3回施用

### 2) 土壌培養試験

1)の圃場試験を実施したビニルハウスから採取し、風乾した土壌を用いて、表2のとおり各資材を混合後培養ビンに充填し、土壌水分を30%(体積含水率)に調整したのち、恒温試験では30℃で12週間、変温試験

表2 処理区の構成と使用資材および混合量

処理区	土壌 (g)	牛ふん オガクズ堆肥 (g)	ハイパーCDU <sup>®</sup> (長期) (mg)	試作肥料 (mg)
試作肥料	50	0	0	150
H-CDU	50	0	40	0
牛オガ堆肥	50	0.5	0	0
無処理(土壌のみ)	50	0	0	0

牛ふんオガクズ堆肥, ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期)および試作肥料の成分は表1のとおり

では45 4週間 - 30 4週間 - 20 4週間、それぞれ暗所で培養した。変温試験の温度条件は、圃場試験での太陽熱土壌消毒期間中から栽培前期の地温を想定している。培養4週後、8週後、12週後に土壌中の無機態窒素量、可給態リン酸量および交換性カリウム量を1)と同様の方法で測定した。

## 2. 実エンドウ栽培における太陽熱土壌消毒前全量基肥施用技術に適した新肥料の開発

1の試験結果をもとに、有機原料の価格等も考慮し、最終的に窒素成分の76.8%相当量をハイパーCDU®(長期)、23.2%相当量を有機原料を用いて配合した新肥料を作製した。新肥料の肥料成分は、 $N : P_2O_5 : K_2O = 10 : 4 : 8$ である。

### 1) 圃場試験

1-1)と同じビニルハウスにおいて、実エンドウ‘きしゅうすい’を供試し、栽培試験を実施した。試験区は、太陽熱土壌消毒前全量基肥施用区として、牛ふんオガクズ堆肥と新肥料を施用した牛オガ堆肥+新肥料区、新肥料のみ施用の新肥料区の2区と、化成肥料を用いて太陽熱土壌消毒後に基肥を施用し、栽培期間中に3回の追肥を行う慣行区の合計3区とした(表3)。太陽熱土壌消毒前全量基肥施用区の窒素施用量は慣行区の2割減肥とした。試験は1区あたり畝幅1m×長さ1mの木枠栽培で、各区6反復とした。2016年5月26日に太陽熱土壌消毒前全量基肥施用の2区において施肥・耕起・作畝を行い、5月27日から9月5日まで全試験区において太陽熱土壌消毒を行った。太陽熱土壌消毒期間中は新肥料区の地表下5, 15, 30cmに自記温度計(おんどとり Jr. RTR-502 T&D社)を設置し地温を測定した。9月5日に慣行区に基肥施用・耕起・作畝を行った。10月3日に株間20cmで1株あたり5粒となるように低温処理した種子を播種した。12月5日、2017年3月3日および4月4日に、慣行区のみ追肥を施用した。栽培期間中はハウス内最低温度が5℃となるように加温し、また、病害虫防除は適宜行った。

収穫は2017年2月16日から4月26日の間、週に1~2回行い、全重量および上物重量を測定した。

実エンドウの養分含有率については、さやは2017年4月20日、茎葉は2017年4月26日に一部を採取し、60℃で48時間以上乾燥後、1と同じ方法で窒素、リン、カリウム含有率を測定した。

土壌は、2016年5月9日、9月5日、12月5日(追肥施用前)および2017年5月2日に各区の作土層から採取し、風乾後、1と同様の方法で無機態窒素量、可給態リン酸量および交換性カリウム量を測定した。

表3 各試験区における施用資材と施用量および施用時期

試験区	牛オガ堆肥 (現物t/10a)	N(kg/10a)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/10a)	K <sub>2</sub> O (kg/10a)	施用資材	施用時期
		基肥	追肥				
牛オガ+新肥料	1	24	0	9.6	19.2	新肥料, 苦土石灰	消毒前
新肥料	0	24	0	9.6	19.2	新肥料, 苦土石灰	消毒前
慣行	0	12	18	20	20	硫安, PK40号	消毒後

新肥料:10-4-8 他は表1と同じ

慣行区の追肥は6kgN/10aずつ3回施用

### 2) 現地実証試験

印南町山口(以下印南圃場)、みなべ町西岩代(以下みなべ圃場1)およびみなべ町山内(以下みなべ圃場2)の実エンドウ栽培圃場において、新肥料を用いて太陽熱土壌消毒前に全量基肥施用とした新肥料区と、慣行区の2区(表4)において実エンドウ‘きしゅうすい’の栽培試験を行った。試験規模は、印南圃場とみなべ圃場1は各区1.8a、みなべ圃場2は新肥料区6.5a、慣行区6aであった。

印南圃場では、2016年6月10日に新肥料区のみ施肥・耕起・作畝を行い、7月5日から8月20日まで太陽熱土壌消毒を行った。8月20日に慣行区に基肥施用・耕起・作畝を行い、9月12日に株間25cmで一株あたり5粒となるように播種した。みなべ圃場1では、2016年5月4日に両区に施肥・耕起・作

畝を行い、5月4日から9月20日まで太陽熱土壌消毒を行った後、10月2日に株間5cmで一株あたり1粒となるように播種した。みなべ圃場2では、2016年5月15日に両区に施肥・耕起・作畝を行い、5月20日から9月23日まで太陽熱土壌消毒を行った。9月26日に株間5cmで一株あたり1粒となるように播種した。いずれの圃場も畝幅は150cmで、印南圃場では1区4畝、みなべ圃場では1区3畝であった。全ての圃場で太陽熱土壌消毒開始時に地表下5, 15, 30cmに自記温度計（おんどとり Jr. RTR-502 T&D社）を設置し、播種前まで地温を測定した。栽培期間中の温度管理や病害虫防除は現地慣行に従った。

収穫は、印南圃場では2016年12月25日から2017年3月25日、みなべ圃場1では2017年1月28日から4月17日、みなべ圃場2では2016年12月下旬から2017年5月初旬まで週に1-2回行い、全重量を測定した。

実エンドウの養分含有率は、2017年2月23日に収穫したさやの一部を60℃で48時間以上乾燥した後1)と同様の方法で測定した。

土壌は、2016年5月6日（みなべ圃場1のみ）、5月11日（みなべ圃場2のみ）、6月26日（印南圃場のみ）、8月25日（印南圃場のみ）、9月25日（みなべ圃場1,2）、12月19日、2017年2月23日、4月27日に各区の作土層から採取し、風乾後、1)と同様の方法で無機態窒素量、可給態リン酸量、交換性カリウム量を測定した。

表4 各圃場における施肥量、施肥資材および時期

圃場	試験区	基肥					追肥				
		施用時期	資材	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/10a)	K <sub>2</sub> O	資材	回数	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/10a)	K <sub>2</sub> O
印南	新肥料区	消毒前	新肥料(10-4-8), 牛ふん堆肥	33.3	13.3	26.7	サンボ2号(8-5-6)	1	0.9	0.6	0.7
	慣行区	消毒後	いなみベレット(6-8-7), 牛ふん堆肥	13.3	17.8	15.6	豆肥料(10-5-15), サンボ2号(8-5-6)	4	13.8	7.2	18.7
みなべ1	新肥料区	消毒前	新肥料(10-4-8), 牛ふん堆肥	27.8	11.1	22.2	-	-	-	-	-
	慣行区	消毒前	CDU(16-8-12), 牛ふん堆肥	17.8	8.9	13.3	-	-	-	-	-
みなべ2	新肥料区	消毒前	新肥料(10-4-8), 汚泥堆肥	27.7 石灰窒素 含まない	11.1	22.2	くみあい液肥 (10-4-8)	1	2.2	0.9	1.7
	慣行区	消毒前	固形30号(10-10-10), 汚泥堆肥	12.3 石灰窒素 含まない	12.3	12.3	固形30号(10-10-10), くみあい液肥(10-4-8)	6	13.8	7.4	11.7

印南圃場では消毒前にネオベスト(石灰等入り資材)を、みなべ圃場1では消毒前にサンメイト(苦土等入り資材)を、みなべ圃場2では消毒前に石灰窒素100kg/10aと苦土セルカを施用した。

## 結果

### 1. 試作肥料の作製

#### 1) 圃場試験

牛オガ + 試作肥料区における太陽熱土壌消毒期間中の平均日平均地温は、地表下5cm, 15cm, 30cmでそれぞれ41.0, 39.3, 37.5, 積算地温はそれぞれ1025, 982, 938となった(図1)。慣行区もほぼ同様であった(図省略)。

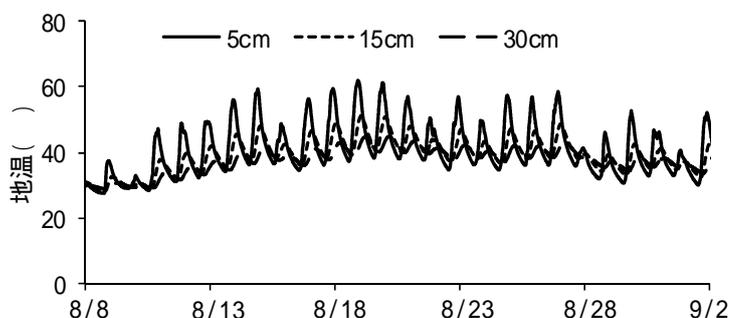


図1 太陽熱土壌消毒期間中の地温の推移

実エンドウの収量，上物率および地上部乾物量は全ての試験区で差は無かった（表5）．実エンドウの養分含有率は窒素，リン，カリウムのいずれも全ての試験区で差は無かった（表6）．

土壌中の無機態窒素量は，慣行区を除く3試験区で太陽熱土壌消毒後に 3mg/100g 程度増加したが，開花始期には試験開始前と同程度に減少し，その後は大きな変化はなかった（図 2A）．慣行区では太陽熱土壌消毒前後では差が無かったが，収穫最盛期に大きく増加した．土壌中の可給態リン酸量は，いずれの試験区でも大きな変動は無かった（図 2B）．土壌中の交換性カリウム量は，慣行区を除いた3試験区では太陽熱土壌消毒後に有意に増加したが，その後減少し，栽培終了時には試験開始前と同程度となった（図 2C）．慣行区では太陽熱土壌消毒前から栽培期間を通じて大きな増減はみられず，栽培終了時には試験開始前より低い値を示した．

表5 太陽熱土壌消毒前後の異なる施肥法が実エンドウの収量と上物率，地上部重量に及ぼす影響

試験区	収量 (g/区)		上物率 (%)	地上部重量 (乾物g/区)
	全収量	上物収量		
牛オガ + 試作肥料	3331	2707	81.3	1869
試作肥料	3297	2713	82.3	1736
牛オガ + H-CDU	3324	2747	82.4	1787
慣行	3339	2650	80.0	1743

試験区間に有意差なし(Tukey法)

収穫期間：2015年2月5日～4月20日，地上部採取日：4月27日

表6 施肥の違いが実エンドウの養分含有率に及ぼす影響

処理区	N (%)		P (%)		K (%)	
	さや	茎葉	さや	茎葉	さや	茎葉
牛オガ + 試作肥料	3.75	1.91	0.44	0.49	1.38	1.00
試作肥料	3.77	1.95	0.39	0.56	1.31	0.98
牛オガ + H-CDU	3.67	1.92	0.42	0.48	1.34	1.09
慣行	3.63	1.93	0.42	0.55	1.33	0.99

同部位において試験区間に有意差無し(Tukey法)

試料採取日 さや：2015年3月9日，茎葉：4月27日

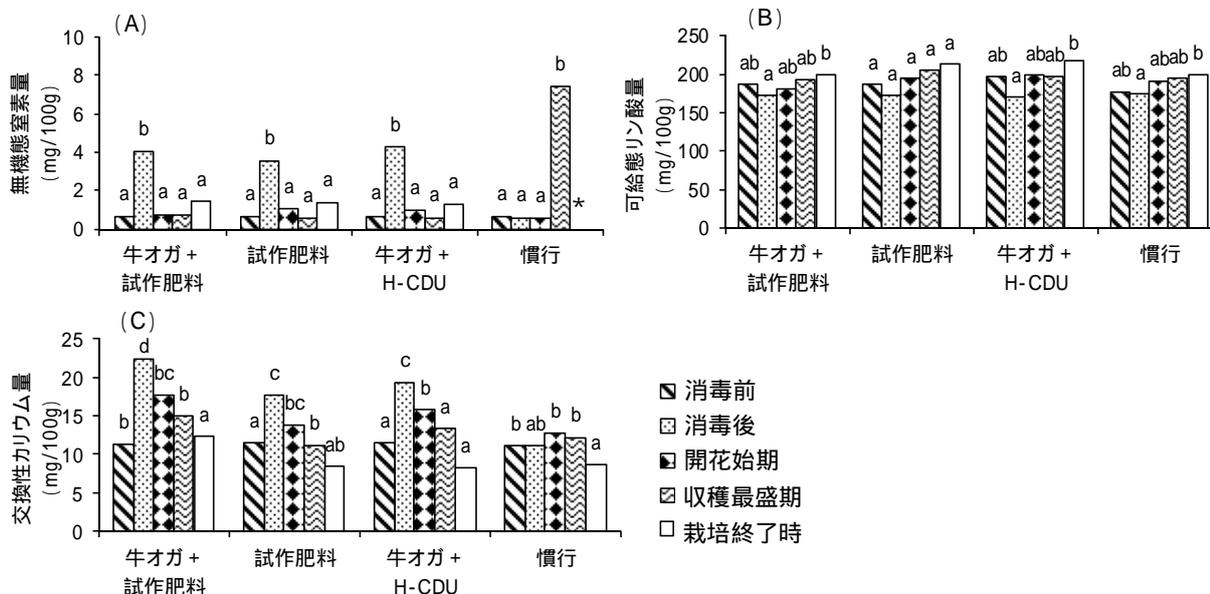


図2 施肥の違いが土壌中の無機態窒素量(A)，可給態リン酸量(B)，交換性カリウム量(C)に及ぼす影響

土壌採取日 消毒前：2014年8月6日，消毒後：9月4日，開花始期：12月9日，収穫最盛期：2015年3月27日，栽培終了時：5月22日  
同一試験区において異文字間に5%水準で有意差有り(Tukey法) \*：データ欠損

2) 土壌培養試験

土壌の無機態窒素量は、牛オガ堆肥区を除く3区で、恒温と変温で同様の挙動を示した(表7)。試作肥料区では培養8週後にかけて直線的に増加したのち一定となった。H-CDU区では培養12週後までほぼ直線的に増加した。無処理区では8週後にかけて増加したのち一定となった。牛オガ堆肥区では、変温条件では培養4週後から8週目にかけて増加したが、恒温条件では培養8週後にかけて増加したのち一定となった。培養12週後の無機態窒素溶出量(各試験区-無処理区)は、変温条件では試作肥料区、H-CDU区、牛オガ堆肥区でそれぞれ7.5, 2.4, -0.5mg、恒温条件ではそれぞれ10.7, 4.5, -0.4mgとなった(図3)。窒素無機化率(無機態窒素溶出量/窒素施用量×100, 窒素施用量はいずれも12mg)は試作肥料では変温、恒温でそれぞれ63%, 89%, ハイパーCDU®(長期)ではそれぞれ20%, 38%であった。

表7 培養温度と施用資材が土壌の無機態窒素量に及ぼす影響

温度条件	処理区	無機態窒素量 (mg/100g)			
		開始時	4週後	8週後	12週後
変温	試作肥料	1.9 a A	8.7 b C	15.2 c B	15.8 c B
	H-CDU	1.9 a A	4.7 b B	9.1 c A	10.6 d AB
	牛オガ堆肥	1.9 a A	3.3 a A	7.8 b A	7.8 b A
	無処理	1.9 a A	3.5 b A	7.6 c A	8.3 c A
恒温	試作肥料	1.9 a A	8.9 b B	14.8 c B	17.4 c C
	H-CDU	1.9 a A	6.3 b AB	9.5 bc A	11.2 c B
	牛オガ堆肥	1.9 a A	4.9 b A	6.8 c A	6.2 bc A
	無処理	1.9 a A	3.7 a A	6.6 b A	6.8 b A

各項目において異文字間に5%水準で有意差あり小文字:同一処理区内,大文字:同一培養時間内,いずれもTukey法)

変温:45 4週間-30 4週間-20 -4週間,恒温:30 12週間  
各区の開始時の値は培養前の土壌(資材混合無し)の値

-△- 試作肥料・変温      ▲ 試作肥料・恒温  
-○- H-CDU・変温      ● H-CDU・恒温  
-◇- 牛オガ・変温      ◆ 牛オガ・恒温

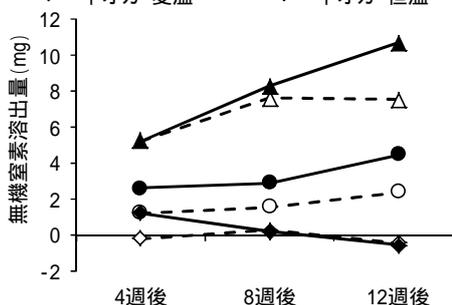


図3 資材からの無機態窒素溶出量に及ぼす培養温度の影響

土壌の可給態リン酸量は、全ての処理区でほぼ同等であり、培養期間中大きな増減はなかった(表8)。

表8 培養温度と施用資材が土壌の可給態リン酸量に及ぼす影響

温度条件	処理区	可給態リン酸量 (mg/100g)			
		開始時	4週後	8週後	12週後
変温	試作肥料	221	178	207	171
	H-CDU	221	231	201	227
	牛オガ堆肥	221	228	225	229
	無処理	221	224	229	239
恒温	試作肥料	221	232	200	203
	H-CDU	221	251	221	236
	牛オガ堆肥	221	190	192	227
	無処理	221	241	236	214

5%水準で有意差無し(検定法は表7と同じ)  
温度条件は表7と同じ

土壌の交換性カリウム量は、牛オガ堆肥区を除く3区で恒温と変温で同様の挙動を示した(表9)。試作肥料区では培養4週後に増加した後8週後までは大きな変化は無かったが、12週後には減少した。H-CDU区と無処理区では培養期間を通じて大きな増減はなかった。牛オガ堆肥区では、変温条件では培養4週後に増加した後8週後までは大きな変化は無かったが、12週後に減少した。恒温条件では、培養8週後にかけて大きく増加した後、12週後に減少した。培養12週後の交換性カリウム溶出量(各試験区-無処理区)は、変温条件では試作肥料区、牛オガ堆肥区でそれぞれ4.0, -0.6mg、恒温条件ではそれぞれ6.3, 5.4mgとなった(図4)。

表9 培養温度と施用資材が土壌の交換性カリウム量に及ぼす影響

温度条件	処理区	交換性カリウム量 (mg/100g)			
		開始時	4週後	8週後	12週後
変温	試作肥料	11.8 a A	22.5 b BC	22.4 b B	18.4 b B
	H-CDU	11.8 a A	14.0 a A	12.4 a A	12.5 a A
	牛オガ堆肥	11.8 a A	17.7 b C	19.3 b B	13.8 a AB
	無処理	11.8 a A	11.0 a A	12.4 a A	14.4 a AB
恒温	試作肥料	11.8 a A	17.9 c BC	20.2 c AB	14.7 b B
	H-CDU	11.8 a A	9.3 a A	10.2 a A	9.3 a A
	牛オガ堆肥	11.8 a A	21.0 c C	34.5 d B	13.9 b B
	無処理	11.8 a A	10.8 a A	10.3 a A	8.5 a A

脚注および温度条件は表7と同じ

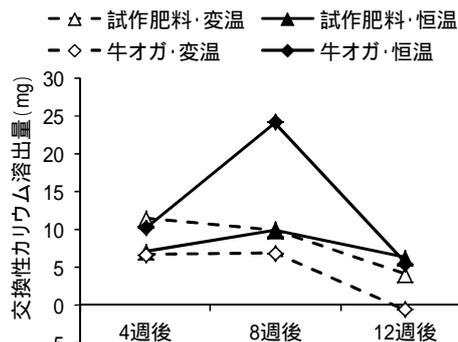


図4 資材からの交換性カリウム溶出量に及ぼす培養温度の影響

## 2. 実エンドウ栽培における太陽熱土壌消毒前全量基肥施用技術に適した新肥料の開発

### 1) 圃場試験

太陽熱土壌消毒期間中の平均日平均地温は、地表下 5cm, 15cm, 30cm でそれぞれ 42.2, 40.8, 38.4, 積算地温はそれぞれ 4223, 4083, 3845 となった（データ省略）。

実エンドウの収量、上物率および地上部乾物量は試験区で差は無かった（表 10）。

実エンドウの養分含有率は窒素、リン、カリウムのいずれも試験区で差は無かった（表 11）。

表10 太陽熱土壌消毒前後の異なる施肥法が実エンドウの収量と上物率、地上部重量に及ぼす影響

試験区	収量 (g/区)		上物率 (%)	地上部重量 (乾物g/区)
	全収量	上物収量		
牛オガ + 新肥料	2595	1751	67.1	1023
新肥料	2479	1661	67.1	959
慣行	2670	1821	68.1	911

試験区間に有意差なし(Tukey法)

収穫期間: 2017年2月16日 ~ 4月26日, 地上部採取日: 4月26日

表11 施肥の違いが実エンドウの養分含有率に及ぼす影響

処理区	N (%)		P (%)		K (%)	
	さや	茎葉	さや	茎葉	さや	茎葉
牛オガ + 新肥料	2.99	1.42	0.44	0.12	1.31	1.03
新肥料	3.15	1.62	0.41	0.12	1.27	0.99
慣行	3.10	1.51	0.47	0.16	1.32	1.04

同部位において試験区間に有意差無し(Tukey法)

試料採取日 さや: 2017年4月20日, 茎葉: 4月26日

土壌中の無機態窒素量は、いずれの試験区でも太陽熱土壌消毒後に有意に増加したが、新肥料を施用した区で特に増加した。開花始期には消毒前より減少し、その後は大きな変化はなかった（図 5A）。土壌中の可給態リン酸量は、いずれの試験区においても大きな増減は無かった（データ省略）。土壌中の交換性カリウム量は、新肥料を施用した 2 区では開花始期まで大きな増減は無かったが、栽培終了時には太陽熱土壌消毒前より低い値を示した（図 5B）。慣行区では太陽熱土壌消毒後に減少した後、収穫期に消毒前と同程度まで増加したが、栽培終了時には太陽熱土壌消毒後と同程度まで減少した。

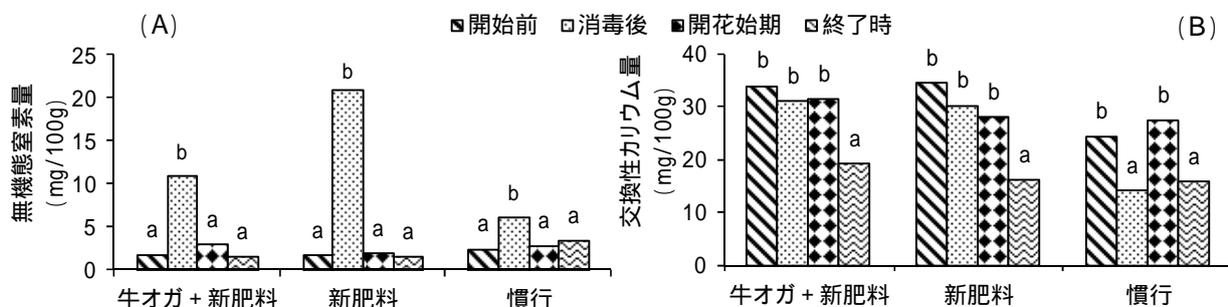


図5 施肥の違いが土壌中の無機態窒素量(A), 交換性カリウム量(B)に及ぼす影響

土壌採取日 消毒前: 2016年5月9日, 消毒後: 9月5日, 開花始期: 12月5日, 栽培終了時: 5月2日

同一試験区において異文字間に5%水準で有意差有り(Tukey法)

2) 現地実証試験

太陽熱土壌消毒期間中の平均日平均地温は,印南圃場では地表下5cm,15cm,30cmでそれぞれ46.7, 46.2, 43.2, みなべ圃場1では地表下5cm,15cm,30cmでそれぞれ41.9, 40.9, 38.4, みなべ圃場2では地表下5cm,15cm,30cmでそれぞれ43.4, 42.3, 41.0であった(図省略).

実エンドウの収量は,いずれの圃場においても新肥料区と慣行区ではほぼ同等であった(図6).

実エンドウの養分含有率は,いずれの圃場でも新肥料区と慣行区で差は無かった(データ省略).

土壌の無機態窒素量は,印南圃場では新肥料区で太陽熱土壌消毒後に増加し,その後減少した(図7A). 慣行区では太陽熱消毒前から栽培終了時にかけて減少した. みなべ圃場では両圃場ともに新肥料区,慣行区のいずれでも太陽熱土壌消毒後に大きく増加し,その後は減少した. 土壌の可給態リン酸量は,いずれの圃場でも新肥料区,慣行区ともに大きな増減は無かった(図7B). 土壌の交換性カリウム量は印南圃場では試験終了時には太陽熱消毒前と同等となったが,みなべ圃場ではいずれも試験終了時には太陽熱消毒前より減少した(図7C).

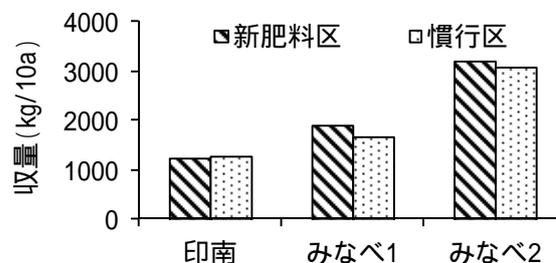


図6 施肥の違いが実エンドウ収量に及ぼす影響

収穫期 印南圃場:2016年12月25日~2017年3月25日  
 みなべ圃場1:2017年1月28日~4月17日  
 みなべ圃場2:2016年12月下旬~2017年5月上旬

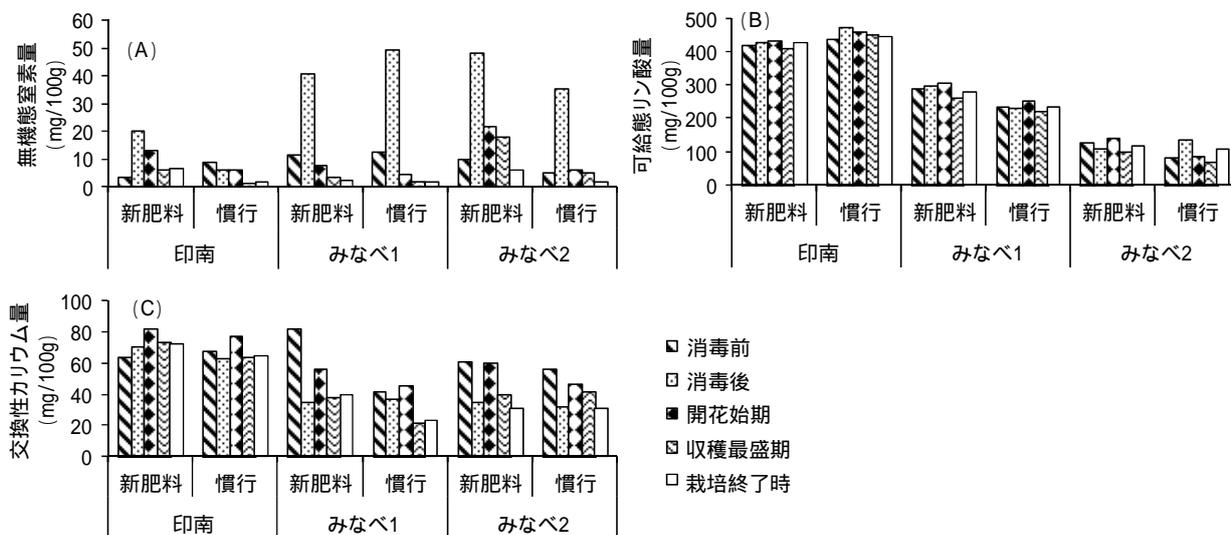


図7 施肥の違いが土壌中の無機態窒素量(A),可給態リン酸量(B),交換性カリウム量(C)に及ぼす影響

土壌採取日 消毒前:印南;2016年6月26日,みなべ1;5月6日,みなべ2;5月11日  
 消毒後:印南;8月25日,みなべ1;9月25日,みなべ2;9月25日  
 開花期:12月19日,収穫期:2017年2月23日,終了時:4月27日

## 考 察

土壤培養試験において、試作肥料区の無機態窒素溶出量は、変温、恒温のいずれの条件でも H-CDU 区より多くなった。これは、試作肥料に配合された有機原料からの無機態窒素溶出量が多いためと考えられた。また、試作肥料区において、変温試験の培養 8 週目～12 週目にかけて無機態窒素溶出量の増加が認められなかったことから、試作肥料は培養温度 20℃ では窒素の無機化が抑制されるものと推察された。一方で、H-CDU 区では、培養 4 週後の無機態窒素溶出量が変温に比べて恒温で多かったことから、ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期)は培養温度 45℃ ではやや無機化が抑制されることが示唆された。また、牛オガ堆肥区では、変温、恒温のいずれにおいても無機態窒素の溶出が認められなかったこと、前報でも 4 週間培養後の牛オガ堆肥からの無機態窒素溶出量は非常に少なかった(橋本ら, 2019) ことから、完熟牛ふん堆肥を施用した場合は 12 週程度の短期間では無機態窒素の供給はほとんど期待できないと考えられた。

最終的に完成した新肥料を施用した 2016 年度圃場試験や現地実証試験では、過去の試験に比べて太陽熱土壤消毒期間中に無機態窒素量が大きく増加した。この要因として、一つは新肥料に配合された有機資材からの窒素溶出量が多いためと考えられた。もう一つの要因として、太陽熱土壤消毒処理の期間が過去の試験に比べて長かったことが挙げられる。土壤培養試験において、45℃ 条件下では、ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期)はやや無機化が抑制されるが、ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期)に有機原料を配合した試作肥料では無機化の抑制がみられなかった。太陽熱土壤消毒期間中の地温は、圃場試験、現地実証試験のいずれでも概ね 30～60℃ 程度で推移し、平均地温は 40～46℃ 程度であった。このことから、試作肥料よりも有機原料の配合割合を低くした新肥料であっても、太陽熱土壤消毒期間が長くなるほど窒素無機化量が増加するものと推察された。このため、土壤消毒期間が長期にわたると栽培後期に窒素肥効が切れることが懸念されたが、場内圃場試験において、実エンドウの収量や品質は慣行区とほぼ同等であった。また、現地実証試験においても、結果として慣行区に比べて新肥料施用区で窒素施用量が多くなったこと、また、栽培後期に追肥も少量ながら施用されていたことから、新肥料のみの施用で栽培後期まで窒素肥効が継続するかは判然としないが、場内圃場試験と同様に収量や品質に差は無かった。

太陽熱土壤消毒を実施する栽培体系の場合、窒素の挙動についてのみ論じがちであるが、近年、施設栽培土壌では塩類集積が問題となっていることから、可給態リン酸や交換性カリウムの動態にも注目する必要がある。

土壤培養試験において、土壌の可給態リン酸量は、前報と同様に培養による変化はみられなかった。杉戸ら(2017)は、45℃ 3 週間の温熱処理により、土壌や有機質肥料からの可給態リン酸の溶出量は増加すると報告しているが、その量は 5mg/100g 程度と少なかった。前報や本研究において栽培試験を実施した現地圃場の土壌の可給態リン酸量は 100～400mg/100g 程度と非常に多いが、本県の施設実エンドウ栽培圃場では程度の差こそあれ同じような状況である。このように可給態リン酸レベルの高い土壌では、太陽熱土壤消毒処理が土壌の可給態リン酸量の増減に及ぼす影響は小さいと考えられた。一方、可給態リン酸量が 100mg/100g を超える硬質土壌において、トマトの無リン酸栽培を行うと、作物による吸収量と同程度の可給態リン酸量が減少するという報告がある(塚本ら, 2017) ことから、本県の施設実エンドウ栽培土壌でも、施肥と作物吸収による収支により概ね土壌中の可給態リン酸量の増減が推定できると考えられる。本研究で開発した新肥料は、 $N:P_2O_5:K_2O=10:4:8$  とリン酸含量を低くする設計とした。仮に窒素施用量を 24kg/10a とすると、リン酸施用量は 9.6kg/10a となり、従来に比べると少ない。しかしながら、場内圃場試験においても現地実証試験においても栽培前後で土壌中の可給態リン酸量に大きな変化はみられなかった。前報では実エンドウ一畝あたりのリン酸吸収量は 5kg/10a 程度であったこと

から、新肥料を用いてもなお、リン酸施肥量としては過剰であったと考えられた。

太陽熱土壤消毒処理が土壤の交換性カリウム量に及ぼす影響についての知見はほとんどないが、Lorenzら(2008)によると、土壤微生物バイオマスカリウム量は土壤の交換性カリウム量の37%に相当すると報告されていることから、太陽熱土壤消毒処理による土壤微生物の量や活性の変化は交換性カリウム量の増減に大きく影響すると推察される。土壤培養試験において、無処理区に比べ試作肥料区や牛オガ堆肥区で交換性カリウム量が多かったことから、これらの資材施用により交換性カリウム量が増加することは明らかになった。一方、培養期間中の交換性カリウム溶出量の増減に一定の傾向はみられなかった。同様に、前報や本研究での場内圃場試験、現地圃場試験においても太陽熱土壤消毒後の交換性カリウム量の変化には一定の傾向がなく、太陽熱土壤消毒処理が交換性カリウム量の変化に及ぼす影響は判然としなかった。しかしながら、栽培終了時の土壤の交換性カリウム量は、太陽熱土壤消毒前に比べると、印南圃場で同等、それ以外では減少となったことから、現行の施肥体系においては土壤への交換性カリウムの集積は緩和傾向になるものと推察された。

窒素施用量を30kg/10aとした慣行栽培と、新肥料を用いて窒素施用量を慣行比2割減として太陽熱土壤消毒前全量基肥施用した場合の施肥時間および肥料費について試算したところ、新肥料では慣行栽培に比べて肥料費は11%、施肥時間は56%の削減となった(表12)。現地の実エンドウ栽培農家に対してアンケートを実施したところ、施肥量は8~48kgN/10aと圃場ごとに差が大きく、施用資材も多岐にわたっていた(2017年実施, 22圃場調査, データ未発表)ことから、新肥料の施用により必ずしも肥料費が削減されるわけではない。一方、現地実証試験では、新肥料施用区では生育後期に追肥を施用したものの、回数は慣行に比べて少なく、使用者から追肥が削減でき省力的との意見が得られたことから、省力化においては一定の効果が得られるものと考えられた。

表12 栽培体系の違いが施肥時間および肥料費に及ぼす影響

	施肥時間(時間/10a)			肥料費(円/10a)			備考
	基肥	追肥	合計	基肥	追肥	合計	
新肥料	4	-	4	37,200	-	37,200	窒素施用量24kg/10aとして算出
慣行	4	5	9	32,100	9,900	42,000	基肥窒素施用量12kg/10a, 追肥窒素施用量6kg/10a×3回として算出

施肥時間は農業経営モデル指標(H25和歌山農林水産部)より抜粋

慣行は産地で主に使用されている肥料の価格、新肥料は3,100円/袋(20kg入り)として算出

以上のことから、実エンドウの秋まきハウス冬春どりの作型において、長期の太陽熱土壤消毒処理を実施する体系での生育後期の窒素肥効や、土壤への可給態リン酸集積に対しての懸念は残るものの、新肥料を用いた太陽熱土壤消毒前全量基肥施用技術の実用性は高いことが示された。本県の実エンドウ主産地のうち、みなべ地域では従来より太陽熱土壤消毒前基肥施用が行われているが、印南地域では未だ太陽熱土壤消毒後のクロルピクリン処理や基肥施用が行われている。開発した新肥料は、ハイパーCDU®入り豆用配合肥料として、2018年から県内で販売が開始された。この新肥料を用いた太陽熱土壤消毒前全量基肥施用を行うことで、消毒効果の向上、労力・薬剤費の削減に加え、土壤環境改善の効果も期待されることから、印南地域を含めた実エンドウ主産地において早急に本技術が普及されることが望まれる。

## 摘 要

本県の実エンドウ栽培における主要作型である秋まきハウス冬春どりにおいて、太陽熱土壤消毒前全量基肥施用に適した新肥料の開発と実用性について検討した。

1. ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期) 51.5%と有機原料 48.5%を配合した試作肥料 (N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 8 : 3 : 7) は、ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期) 単体に比べて窒素の無機化速度が速かった。また、試作肥料は培養温度 20 で窒素の無機化が抑制された。
2. ハイパーCDU<sup>®</sup>(長期) 76.8%と有機原料 23.2%を配合した新肥料 (N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 10 : 4 : 8, 販売名: ハイパーCDU<sup>®</sup>入り豆用配合肥料) を太陽熱土壤消毒前全量基肥施用し、長期の太陽熱土壤消毒を行うと、消毒後の土壤無機窒素量は大きく増加した。
3. 牛ふんオガクズ堆肥と新肥料を太陽熱土壤消毒前に全量基肥施用すると、実エンドウの収量や品質は慣行とほぼ同等となった。
4. 牛ふんオガクズ堆肥と新肥料を用いて太陽熱土壤消毒前全量基肥施用すると、土壤の可給態リン酸の減少はみられなかったが、交換性カリウム量は栽培前より減少する傾向がみられた。
5. 新肥料を用いて太陽熱土壤消毒前全量基肥施用を行うと、慣行栽培に比べて肥料費は 11%、施肥時間は 56%削減できた。

本研究を実施するにあたり、ご協力いただきました「農食事業 25060 コンソーシアム」に参画の皆様へ深謝いたします。また、試験に多大なご協力を頂きました農業試験場の職員やアルバイトの皆様へ厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 橋本真穂・三宅英伸・林恭弘．2019．実エンドウ栽培における太陽熱土壤消毒前全量基肥施用技術の確立（第1報）微生物分解性肥料を用いた肥効調節．和歌山県農林水研報．7：1-9．
- 井原啓貴・尾崎哲郎・橋本真穂・有簾隆男・篠原陽子・三宅英伸・茶谷正孝・橋本知義・高橋茂・加藤直人．2018．太陽熱土壤消毒の高地温条件下における土壤中の有機態窒素無機化およびその予測．土肥誌．89：136-145．
- N. Lorenz・K. Verdell・C. Ramsier and R. P. Dick. 2010. A Rapid Assay to Estimate Soil Microbial Biomass Potassium in Agricultural Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 74:512-516. 2008.
- 杉戸智子・君和田健二・岡紀邦・橋本知義．2017．太陽熱土壤消毒を模した実験系による温熱処理が可給態リン酸の動態に及ぼす影響．農研機構研報 北海道農研．205：1-13．
- 塚本崇志・岩佐博邦・八槇敦．2017．リン酸が蓄積した褐色低地土におけるトマト連作時のリン酸減肥による生育収量及び土壤の可給態リン酸含量の変化．千葉農林総研研報．9：1-9．
- 横江和典・前坂昌宏・浅川 晋．2014．太陽熱土壤消毒が土壤微生物群集に及ぼす影響の解析．土と微生物．68：99-100．



# 実エンドウ新品種 ‘みなべ短節間 1号’ の特性

田中寿弥・川西孝秀<sup>1</sup>・小谷泰之<sup>2</sup>・東卓弥

和歌山県農業試験場暖地園芸センター

## Characteristics of New Pea Cultivar ‘Minabe Tansekkan 1 gou’

Toshihiro Tanaka, Takahide Kawanishi<sup>1</sup>, Yasuyuki Kotani<sup>2</sup> and Takaya Azuma

*Horticultural Experiment Center, Wakayama Agricultural Experiment Station*

### 緒 言

和歌山県の実エンドウは、生産量、出荷量が全国第1位であり、本県野菜の主要品目である（農林水産省，2018）。特に本県では、莢と子実の色が淡く、ほくほくした食感が特徴の「うすいえんどう」と呼ばれる実エンドウの栽培が盛んである。「うすいえんどう」は、日高地域を中心に産地が形成され、夏まき年内どり、秋まきハウス冬春どり、秋まき春どり、早春まき初夏どりの4作型により（藤岡，2000a），10月から6月にかけて収穫・出荷がなされている。その中でも、秋まきハウス冬春どり作型は収益性が高く、主要作型の一つとされている。

秋まきハウス冬春どり作型における主要品種は‘きしゅううすい’であり、収量性が高く、莢や子実の品質が良いことから、長年産地で栽培されている。しかし、‘きしゅううすい’は、ハウス栽培では、草丈が高くなるため、収穫、誘引、収穫期後半の主枝の折り返し等の作業を踏み台に乗って行う必要があり、作業性の悪いことが課題である。秋まきハウス冬春どり実エンドウの労働時間は10aあたり528時間とされるが、このうち収穫作業が約190時間、誘引等の栽培管理作業が約56時間とされ、これらの作業が全体の約47%を占めている（和歌山県農林水産部，2018）。そのため、ハウス栽培では、作業性の改善につながる草丈の低い品種が求められていたが、「うすいえんどう」タイプの実エンドウには、草丈の低い優良品種がなく、その育成が望まれている（藤岡，2000a）。

そこで、農業試験場暖地園芸センター（以下、センター）では、産地と連携して、‘きしゅううすい’よりも節間が短く、かつ莢品質の優れる実エンドウ品種の育成に取り組んできた。そして今回、現地ほ場において発見された短節間系統を有望品種として選定し、‘みなべ短節間1号’と命名し、品種登録出願が行われた。本報では、‘みなべ短節間1号’の育成経過と品種特性について報告する。

### 材料および方法

#### 1. 育成経過

和歌山県日高郡みなべ町の大野光男氏のほ場において、2015年作の秋まきハウス冬春どり作型の‘きしゅううすい’の中から節間が短い矮性個体が発見された。2016年3月に、紀州農業協同組合営農指導員、日高振興局農業振興課普及員、センター研究員により現地調査を行い、同年6月に当

<sup>1</sup>現在：和歌山県農業試験場

<sup>2</sup>現在：和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課

該個体から自然交雑による後代種子を採種した。なお、当作で使用した‘きしゅうすい’種子は、大野光男氏ほ場において2014年作の‘きしゅうすい’から自然交雑により自家採種したものであった。

その後、2016年作において、2015年作採種種子(変異後代第1世代)を用い、センターでの特性調査および日高郡内現地ほ場2カ所での適応性調査を実施した。また、2017年6月に、センター栽培個体から自然交雑による後代種子を採種した。さらに、2017年作において、2016年作採種種子(変異後代第2世代)を用い、センターでの特性調査および日高郡内現地ほ場2カ所での適応性調査を実施した。2カ年の特性調査の結果、いずれの年も‘きしゅうすい’に比べて節間が短く、個体間のバラツキがなく形質が安定していること、莢の外観が‘きしゅうすい’に近く莢の形質が優れていることが確認できた。

2018年4月に産地の関係者と協議し、本系統を短節間実エンドウ有望系統として決定し、選抜を完了した。そして、2018年12月に、発見ほ場園主の大野光男氏が本系統を‘みなべ短節間1号’と命名し、同年12月19日、農林水産省に品種登録出願を行い、2019年3月14日に出願公表された(出願番号33561)。

## 2. 品種特性調査(試験1)

2016年作と2017年作に、センター(御坊市塩屋町)内の硬質フィルム(商品名、エフクリーン)温室で試験を実施した。供試品種として‘みなべ短節間1号’を、対照品種として‘きしゅうすい’、‘矢田早生うすい’を用いた。試験区は、1区16~20株の2区制とした。作型は秋まきハウス冬春どり栽培とし、2016年9月20日および2017年9月20日に播種を行った。開花促進処理はなしとした。栽植密度は、ベッド幅90cm(うね幅160cm)、主枝本数10本/m(植穴間隔10cm、主枝本数1本/穴)とした。使用した種子は表1のとおりとした。整枝方法は主枝一本仕立てとし、側枝は全て除去した。誘引は高さ180cmのエンドウネットに行い、ネットの高さを越えた主枝は折り返し地面向きに誘引し、さらに地表面に到達した場合は再び折り返し天井向きに誘引した。施肥は表2のとおりとした。ハウス内最低気温5℃の条件で栽培を行った。

表1 使用種子の由来

年作	品種	採種種子の 開花時期	採種時期	採種場所
2016	みなべ短節間1号	4月以降	2016年6月	みなべ町現地ビニルハウス
	きしゅうすい	不明	2014年6月	センターガラス温室
	矢田早生うすい	不明	2015年6月	センターガラス温室
2017	みなべ短節間1号			
	きしゅうすい	3月末まで	2017年6月	センター硬質フィルム温室
	矢田早生うすい			

表2 各作の施肥概要

年作	施肥	窒素 (kg/10a)	リン酸 (kg/10a)	カリウム (kg/10a)	施用時期	施用資材
2016	基肥	6.3	8.3	7.3	7/14	いなみペレット(6-8-6)
	追肥 <sup>z</sup>	6.6	6.1	3.9	12/13, 2/7, 3/22	千代田化成549(15-14-9)
	追肥 <sup>y</sup>	5.1	2.9	5.8	11/7~4/5	OK-F-2(14-8-16)
2017	基肥	12.5	16.7	12.5	9/12	FTE入り有機配合豆元肥(6-8-6)
	追肥 <sup>x</sup>	10.9	7.8	9.4	11/25, 1/18	バイドゲン複合肥料1号(7-5-6)

<sup>z</sup> 12/13, 2/7, 3/22に窒素成分でそれぞれ2.8, 1.9, 1.9kg/10aずつ施用

<sup>y</sup> 1000倍液肥を窒素成分で0.73kg/10aずつ11/7~4/5日の間で計7回施用

<sup>x</sup> 11/25, 1/18に同量を施用

調査は、生育特性、早晚性、収量性、莢、子実、種子の特性について農林水産植物種類別審査基準 (*Pisum sativum* L.) に基づき実施した。生育特性では、生育期間中の主枝長、節数および分枝数、初花房付近の節間長、小葉、托葉、茎径について調査した。早晚性では、初花房の開花節位、開花開始日、莢の収穫開始日について調査した。収量特性では、収穫開始から4月末までの可販莢収量について、また2017年作の5月に花房毎の結莢数について調査した。莢の特性では、十分に肥大し欠粒の少ない莢について、子実の特性では、十分に肥大し欠粒の少ない莢から十分に肥大した子実について、2016年作の2017年3月、4月に大きさ、重さ、外観形質を調査した。種子の特性では、2016年作の栽培株から2017年6月に乾燥した莢を採取し、室内で自然乾燥後、7月に脱粒し室内で常温保存した種子について、9月に大きさ、重さ、外観形質を調査した。

### 3. 開花促進処理栽培における生育、収量、品質 (試験2)

2016年作、2017年作、2018年作に、センター内のビニルハウスで試験を実施した。供試品種として‘みなべ短節間1号’を、対照品種として‘きしゅうすい’を用いた。作型は秋まきハウス冬春どり栽培とし、2016年9月28日、2017年9月27日、2018年9月28日に播種を行った。開花促進処理として2016年作が2016年10月11日~28日、2017年作が2017年10月6日~20日、2018年作が2018年10月9日~27日(おおむね3~8葉期)に白熱電球による18時~6時の間終夜電照を行った。試験区は、1区30株(2016年作の‘みなべ短節間1号’は1区15株)の2区制(2017年作は4区制)とした。栽植密度は、畝幅160cm、主枝本数15本/m(植穴間隔20cm、主枝本数3本/穴)とした。種子は、2016年作についてはみなべ町現地ビニルハウスで4月以降に開花した莢から2016年6月に、2017年作、2018年作についてはセンター内硬質フィルム温室で3月末までに開花した莢からそれぞれ2017年6月、2018年5月に採種したものを使用した。主枝の誘引は、出芽後マルチ表面に40~70cm程度這わせ、折り返してさらに20~50cm程度這わせた後、天井向きに立ち上げ高さ180cmのエンドウネットへ誘引し、ネットの高さを越えた主枝は折り返し地面向きに誘引した。側枝は2016年作、2017年作は11月末までは全て除去し、それ以降に発生したものを誘引、2018年作は全て除去した。施肥は表3のとおりとした。播種から露地条件で栽培し、ハウスビニルを2016年作は11月18日、2017年作は11月13日、2018年作は11月21日に被覆し、ハウス内最低気温3℃の条件で栽培した。

調査は、初花房節位、収穫段数、草丈、収量、莢品質とした。収穫段数、草丈は5月に調査した。収量は、収穫開始から4月末までの間、莢重、莢数を調査した。莢品質は、実入り4粒以上で極端な欠粒のないものをL莢として、大きさ、重さ、むき実歩合を2017年作に、期間中3回調査した。

表3 各作の施肥概要

年作	施肥	窒素 (kg/10a)	リン酸 (kg/10a)	カリウム (kg/10a)	施用時期	施用資材
2016	基肥	12.0	16.0	12.0	9月上旬	FTE入り有機配合豆元肥(6-8-6)
	追肥 <sup>2</sup>	12.0	11.2	7.2	11/30, 1/16	千代田化成549(15-14-9)
2017	基肥	12.0	16.0	12.0	9月上旬	FTE入り有機配合豆元肥(6-8-6)
	追肥 <sup>2</sup>	12.0	8.6	10.3	11/20, 1/18	バイドゲン複合肥料1号(7-5-6)
2018	基肥	12.0	16.0	12.0	9月上旬	FTE入り有機配合豆元肥(6-8-6)
	追肥 <sup>2</sup>	12.0	8.6	10.3	11/15, 12/24	バイドゲン複合肥料1号(7-5-6)

<sup>2</sup> 各時期に同量を施用

## 結 果

## 1. 品種特性調査（試験1）

## 1) 生育特性

‘みなべ短節間1号’の節間長は2016年作が7.9cm,2017年作が8.3cmであり,いずれの年も‘きしゅうすい’,‘矢田早生うすい’よりも短く,‘きしゅうすい’の75%程度であった(表4,図1).主枝長は,‘きしゅうすい’,‘矢田早生うすい’よりも短く,3月26日時点では368cmであり,‘きしゅうすい’の72%であった.また,節数は,11月10日時点では25.1節であり,‘矢田早生うすい’よりも多く,‘きしゅうすい’と同等,3月26日時点では57.2節であり,‘きしゅうすい’の54.9節,‘矢田早生うすい’の50.2節よりも多かった(表5).

‘みなべ短節間1号’の分枝数は27.6本であり,‘きしゅうすい’と同等,‘矢田早生うすい’よりも多かった.小葉について,葉身長は91mmであり,‘きしゅうすい’よりもやや小さく,‘矢田早生うすい’よりも大きく,葉数は3.0対,5.3枚であり,‘きしゅうすい’と同等かやや多く,‘矢田早生うすい’よりも多かった.托葉の葉身長は90mmであり,‘きしゅうすい’よりもやや小さく,‘矢田早生うすい’よりも大きかった.茎径は9.7mmであり,‘きしゅうすい’と同等,‘矢田早生うすい’よりも大きかった(表6).

表4 供試品種の節間長

品種	節間長 (cm) <sup>z</sup>	
	2016年作	2017年作
みなべ短節間1号	7.9 (78) <sup>y</sup>	8.3 (73)
きしゅうすい	10.1 (100) ** <sup>x</sup>	11.4 (100) **
矢田早生うすい	8.5 (84) ns	10.7 (94) **

<sup>z</sup> 初花房節位上下各5節の平均値

<sup>y</sup> ( )の値は‘きしゅうすい’対比(%)

<sup>x</sup> Dunnettの多重比較法により,‘みなべ短節間1号’に対し,\*\*は1%水準で有意差あり,nsは有意差なしを示す(n=14~19)



図1 ‘みなべ短節間1号’の草姿

注) 撮影日:2018年11月2日,播種日:2018年9月20日  
左‘矢田早生うすい’,中央‘みなべ短節間1号’,  
右‘きしゅうすい’

表5 供試品種の主枝長および節数(2017年作)

品種	主枝長 (cm)			節数 (節)		
	11月10日	2月6日	3月26日	11月10日	2月6日	3月26日
みなべ短節間1号	117 (66) <sup>z</sup>	296 (69)	368 (72)	25.1	47.7	57.2
きしゅうすい	179 (100) ** <sup>y</sup>	427 (100) **	514 (100) **	25.4 ns	45.6 **	54.9 *
矢田早生うすい	188 (105) **	423 (99) **	505 (98) **	21.9 **	40.3 **	50.2 **

<sup>z</sup> ( )の値は‘きしゅうすい’対比(%)

<sup>y</sup> Dunnettの多重比較法により,‘みなべ短節間1号’に対し,\*\*,\*はそれぞれ1%,5%水準で有意差あり,nsは有意差なしを示す(n=16~20)

表6 供試品種の植物体の特性（2017年作）

品種	分枝数 <sup>z</sup> (本)	小葉 <sup>y</sup>			托葉	茎径 <sup>v</sup> (mm)
		葉身長 <sup>x</sup> (mm)	葉数		葉身長 <sup>w</sup> (mm)	
			(対)	(枚)		
みなべ短節間1号	27.6	91	3.0	5.3	90	9.7
きしゅうすい	28.6 ns <sup>u</sup>	105 **	2.7 *	4.8 ns	96 **	10.0 ns
矢田早生うすい	10.0 **	63 **	1.6 **	3.2 **	58 **	5.2 **

注) 農林水産植物種類別審査基準 (*Pisum sativum* L.) に基づき測定

<sup>z</sup> 2018年1月19日時点での主枝から発生した側枝の数

<sup>y</sup> 2018年1月29日に、初花房の直上・直下の計2複葉の小葉を測定

<sup>x</sup> 主枝に近い基部の小葉1枚を測定

<sup>w</sup> 2018年1月19日に、初花房節位の直上、直下の計2托葉を測定

<sup>v</sup> 2018年1月19日に、初花房節位の直上、直下の節間中心部分の太さを測定

<sup>u</sup> Dunnettの多重比較法により、‘みなべ短節間1号’に対し、\*\*、\*はそれぞれ1%、5%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す (n=16~20)

## 2) 早晩性

‘みなべ短節間1号’の初花房節位は、2016年作が41.5節、2017年作が28.3節であり、‘きしゅうすい’の2016年作の37.2節に比べて高く、2017年作の27.9節と同等、‘矢田早生うすい’の2016年作の9.5節、2017年作の9.7節に比べて非常に高かった。開花開始日は、2016年作が12月25日、2017年作が11月28日であり、‘きしゅうすい’に比べて2016年作が15日、2017年作が5日遅く、‘矢田早生うすい’に比べて2016年作が66日、2017年作が37日遅かった。また、収穫開始日は、2016年作が3月9日、2017年作が2月15日であり、‘きしゅうすい’に比べて2016年作が19日、2017年作が12日遅く、‘矢田早生うすい’に比べて2016年作が105日、2017年作が60日遅かった(表7)。

表7 供試品種の初花房節位、開花開始日および収穫開始日

品種	2016年作			2017年作		
	初花房節位 <sup>z</sup> (節)	開花開始日 <sup>y</sup> (月/日)	収穫開始日 <sup>x</sup> (月/日)	初花房節位 (節)	開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)
みなべ短節間1号	41.5	12/25	3/9	28.3	11/28	2/15
きしゅうすい	37.2 ** <sup>w</sup>	12/10 **	2/18 **	27.9 ns	11/23 **	2/3 **
矢田早生うすい	9.5 **	10/20 **	11/24 **	9.7 **	10/22 **	12/17 **

<sup>z</sup> 最初の花房が発生した節位、地中の不完全葉を含めた節数

<sup>y</sup> 初めて開花が認められた日の平均値

<sup>x</sup> 初めて莢を収穫した日の平均値

<sup>w</sup> Dunnettの多重比較法により、‘みなべ短節間1号’に対し、\*\*は1%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す (n=15~20)

## 3) 収量特性

‘みなべ短節間1号’の時期別収量は、‘きしゅうすい’、‘矢田早生うすい’に比べて、2016年作では3月まで、2017年作では1月までの初期収量が少なく、一方、2016年作では4月、2017年作では2月、3月、4月の後期収量が多かった。4月末までの総収量は、2016年作では2,064kg/10aであり、‘矢田早生うすい’の2,928kg/10a、‘きしゅうすい’の2,439kg/10aよりも少なく、2017年作では2,614kg/10aであり、‘矢田早生うすい’の2,787kg/10aよりも少なく、‘きしゅうすい’

の2,038kg/10aよりも多かった(表8)。

‘みなべ短節間1号’の収穫終了時までの花房数は30.1花房であり,‘矢田早生うすい’の42.8花房よりも少なく,‘きしゅうすい’の26.8花房よりも多かった。また,総結莢数は42.4莢/株であり,‘矢田早生うすい’よりも少なく,‘きしゅうすい’と同等であった。花房あたりの平均結莢数は1.4莢であり;‘きしゅうすい’と同等;‘矢田早生うすい’よりも多かった。2莢率は43%であり,‘矢田早生うすい’よりも多く;‘きしゅうすい’と同等であった(表9)。

表8 供試品種の時期別収量

年作	品種	時期別収量 (kg/10a) <sup>z</sup>						総収量 (kg/10a)
		11月	12月	1月	2月	3月	4月	
2016	みなべ短節間1号	0	0	0	7	405	1,651	2,064
	きしゅうすい	0	0	0	347	897	1,195	2,439
	矢田早生うすい	46	477	489	441	803	672	2,928
2017	みなべ短節間1号	0	0	8	632	1,109	864	2,614
	きしゅうすい	0	0	79	464	919	576	2,038
	矢田早生うすい	0	226	510	443	948	660	2,787

注) 試験規模: 1区8~10株の2区制, 調査期間: 収穫開始から4月末まで

<sup>z</sup> 実入りが1粒以上の可販莢の合計

表9 供試品種の結莢特性 (2017年作)

品種	結莢数毎の花房数 (花房/株) <sup>z</sup>				総結莢数 <sup>y</sup> (莢/株)	平均結莢数 <sup>x</sup> (莢/花房)	2莢率 <sup>w</sup> (%)
	0莢	1莢	2莢	合計			
みなべ短節間1号	0.7	16.7	12.8	30.1	42.4	1.4	43
きしゅうすい	1.0	12.7	13.1	26.8 ** <sup>v</sup>	38.8 ns	1.4 ns	49 ns
矢田早生うすい	4.0	25.9	12.8	42.8 **	51.6 **	1.2 **	30 *

注) 調査日: 2018年5月2日, 調査時点までに収穫した花房を対象に調査

<sup>z</sup> 花房あたりの結莢数がそれぞれ0莢, 1莢, 2莢の花房数

<sup>y</sup> 0莢の花房数×0+1莢の花房数×1+2莢の花房数×2

<sup>x</sup> 総結莢数/合計花房数

<sup>w</sup> 2莢の花房数/合計の花房数×100

<sup>v</sup> Dunnettの多重比較法により, ‘みなべ短節間1号’に対し, \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す (n=16~19)

#### 4) 莢, 子実の特性

‘みなべ短節間1号’の莢の特性について, 莢長は98.3mmであり, ‘きしゅうすい’の99.9mmと同等, ‘矢田早生うすい’の92.8mmよりも大きかった。莢重は12.5gであり, ‘きしゅうすい’の13.4gと同等, ‘矢田早生うすい’の11.1gよりも重かった。子実重は4.8gであり, ‘きしゅうすい’の5.2gよりも軽く, ‘矢田早生うすい’の4.7gと同等であった。莢重に占める子実重の歩留りが38.5%であり, ‘きしゅうすい’の39.3%と同等; ‘矢田早生うすい’の42.4%よりも低かった。一方, 子座数は7.9個, 子実粒数は7.3個, 莢色は緑であり, ‘きしゅうすい’, ‘矢田早生うすい’と同等であった(表10, 図2)。

子実の特性について, 粒径は11.4mmであり ‘きしゅうすい’の11.9mmよりも小さく, ‘矢田早生うすい’の11.3mmと同等であった。100粒重は68.9gであり, ‘きしゅうすい’の70.3g, ‘矢田早生うすい’の65.7gと同等であった。比重は1.03g/mlであり, ‘きしゅうすい’, ‘矢田早生うすい’よりも小さかった。一方, 着粒密度は中, 形状は球形, 色は緑であり, ‘きしゅうすい’,

‘矢田早生うすい’と同等であった(表11)。

種子の特性について、100粒重は39.6gであり、‘きしゅううすい’の41.4g、‘矢田早生うすい’の43.3gよりも軽かった。一方、粒径は8.2mm、形状は球形、しわは無し、丸だね、地色は黄白色、目色は黒であり、‘きしゅううすい’、‘矢田早生うすい’と同等であった(表12)。



図2 ‘みなべ短節間1号’の莢

注) 撮影日: 2018年3月30日

左‘きしゅううすい’, 中央‘みなべ短節間1号’, 右‘矢田早生うすい’

表10 供試品種の莢の特性(2016年作)

品種	莢長 (mm)	莢幅 (mm)	莢厚 (mm)	莢重 (g)	子実重 (g)	歩留り <sup>z</sup> (%)	子座数 (個)	子実粒数 (粒)	莢色 <sup>y</sup>
みなべ短節間1号	98.3	16.5	16.5	12.5	4.8	38.5	7.9	7.3	緑
きしゅううすい	99.9 ns <sup>x</sup>	16.2 ns	18.1 **	13.4 ns	5.2 **	39.3 ns	7.8 ns	7.2 ns	緑
矢田早生うすい	92.8 **	15.1 **	16.6 ns	11.1 **	4.7 ns	42.4 **	7.8 ns	7.3 ns	緑

注) 2017年3月2日~4月21日の形状・色沢が良好で、実入り4粒以上かつ2粒以上の欠粒のない莢を調査対象とした

<sup>z</sup> 子実重/莢重×100

<sup>y</sup> 農林水産植物種類別審査基準(*Pisum sativum* L.)に基づき判定

<sup>x</sup> Dunnettの多重比較法により、‘みなべ短節間1号’に対し、\*\*は1%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す(n=40)

表11 供試品種の子実特性(2016年作)

品種	粒径 <sup>z</sup> (mm)	100粒重 <sup>y</sup> (g)	比重 <sup>x</sup> (g/ml)	着粒密度 <sup>w</sup>	形状 <sup>w</sup>	色 <sup>w</sup>
みなべ短節間1号	11.4	68.9	1.03	中	球形	緑
きしゅううすい	11.9 ** <sup>v</sup>	70.3 ns	1.05 **	中	球形	緑
矢田早生うすい	11.3 ns	65.7 ns	1.05 **	中	球形	緑

注) 2017年3月2日~4月28日の実入り4粒以上かつ2粒以上の欠粒のない莢のうち正常に肥大した子実を調査

<sup>z</sup> 長径を計測(n=40)

<sup>y</sup> 調査日毎に対象となる子実の重量を計測し100粒重として換算(n=15~25)

<sup>x</sup> 2017年4月28日に収穫した子実を調査、10粒ごとの子実重(g)/体積(ml)により算出(n=5)

<sup>w</sup> 農林水産植物種類別審査基準(*Pisum sativum* L.)に基づき判定

<sup>v</sup> Dunnettの多重比較法により、‘みなべ短節間1号’に対し、\*\*は1%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す

表12 供試品種の種子の特性 (2016年作)

品種	粒径 <sup>z</sup> (mm)	100粒重 <sup>y</sup> (g)	形状 <sup>x</sup>	しわ <sup>x</sup>	地色 <sup>x</sup>	目色 <sup>x</sup>
みなべ短節間1号	8.2	39.6	球形	丸だね	黄白色	黒
きしゅううすい	8.2 ns <sup>w</sup>	41.4 *	球形	丸だね	黄白色	黒
矢田早生うすい	8.2 ns	43.3 **	球形	丸だね	黄白色	黒

注) 2017年6月9日に採種, 室内で自然乾燥後, 7月20日に脱粒, 室温で保存した種子を9月4日に調査

<sup>z</sup> 長径を計測 (n=60)

<sup>y</sup> 100粒ごとの重量を計測 (n=10)

<sup>x</sup> 農林水産植物種類別審査基準 (*Pisum sativum* L.) に基づき判定

<sup>w</sup> Dunnettの多重比較法により, 'みなべ短節間1号' に対し, \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す

## 2. 開花促進処理栽培における生育, 収量, 品質 (試験2)

'みなべ短節間1号'の5月中旬の草丈は, 2017年作が280cm, 2018年作が297cmであり, 'きしゅううすい'の2017年作の393cm, 2018年作の417cmに比べて, いずれの年も約71%と短かった。初花房節位は, 2016年作が22.8節であり, 'きしゅううすい'の20.2節よりも高く, 2017年作が17.3節であり, 'きしゅううすい'の17.3節と同等, 2018年作が18.8節であり, 'きしゅううすい'の18.0節と同等であった。主枝の収穫段数は, 2016年作が28.6節, 2017年作が28.3節, 2018年作が28.7節であり, 'きしゅううすい'のそれぞれ26.0節, 26.6節, 29.2節と同等であった (表13)。

表13 開花促進 (長日) 処理条件下での 'みなべ短節間1号' の草丈, 初花房節位および収穫段数

品種	草丈 (cm) <sup>z</sup>		初花房節位 (節) <sup>y</sup>			主枝の収穫段数 (段) <sup>x</sup>		
	2017年作	2018年作	2016年作	2017年作	2018年作	2016年作	2017年作	2018年作
みなべ短節間1号	280	297	22.8	17.3	18.8	28.6	28.3	28.7
きしゅううすい	393	417	20.2	17.3	18.0	26.0	26.6	29.2
有意性 <sup>w</sup>	**	**	*	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup> 調査日: 2017年作; 2018年5月15日, 2018年作; 2019年5月16日, 植穴表面から主枝先端までの長さを測定 (n= 2017年作; 24-30, 2018年作; 18)

<sup>y</sup> 地中の不完全葉を含めた数値 (n= 2016年作; 5~6, 2017年作; 12, 2018年作; 18)

<sup>x</sup> 不着花や落花を含め, 初花房節位を1段として4月末までに収穫した段数 (n= 2016年作; 5~6, 2017年作; 12, 2018年作; 18)

<sup>w</sup> t検定により, \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す

'みなべ短節間1号'の時期別収量は, 'きしゅううすい'に比べて, 1月, 2月が3カ年全てで少なく, 3月が2016年作と2018年作では多く, 2017年作では同等, 4月が3カ年全てで多かった。4月末までの総収量は, 2016年作が3,047kg/10aであり, 'きしゅううすい'の2,662kg/10aよりも多く, 2017年作が2,366kg/10aであり, 'きしゅううすい'の2,692kg/10aよりも少なく, 2018年作が2,565kg/10aであり, 'きしゅううすい'の2,596kg/10aと同等であった。一方, 総収穫莢数は, 3カ年全てで'きしゅううすい'よりも多かった。平均1莢重は, 2016年作が8.5g, 2017年作が8.6g, 2018年作が9.7gであり, 'きしゅううすい'のそれぞれ9.1g, 10.0g, 10.5gに比べて, 3

カ年全てで小さかった（表14）。

時期別のL莢率は、‘きしゅうすい’に比べて、1月、2月が3カ年全てで低く、3月が2016年作では高く、2017年作、2018年作では低く、4月が3カ年全てで高かった。収穫期間全体のL莢率は、2016年作が77.8%であり、‘きしゅうすい’の72.4%よりもやや高く、2017年作が65.8%であり、‘きしゅうすい’の76.4%よりも低く、2018年作が88.5%であり、‘きしゅうすい’の93.5%よりもやや低かった（表15）。

表14 開花促進（長日）処理条件下での‘みなべ短節間1号’の収量

年作	品種	時期別収量（kg/10a）				総収量 （kg/10a）	総収穫莢数 （莢/10a）	平均1莢重 <sup>z</sup> （g/莢）
		1月	2月	3月	4月			
2016	みなべ短節間1号	37	660	1,346	1,004	3,047	359,714	8.5
	きしゅうすい	582	797	697	585	2,662	293,857	9.1
2017	みなべ短節間1号	18	93	1,353	903	2,366	275,977	8.6
	きしゅうすい	266	459	1,356	611	2,692	269,922	10.0
2018	みなべ短節間1号	213	421	1,156	774	2,565	264,258	9.7
	きしゅうすい	523	697	760	617	2,596	248,242	10.5

注) 試験規模：1区2m，30株（2016年作の‘みなべ短節間1号’は1m，15株）の2区制（2017年作は4区制）

収穫開始から4月末までの実入りが1粒以上の可販莢を対象

<sup>z</sup> 総収量/総収穫莢数

表15 開花促進（長日）処理条件下での‘みなべ短節間1号’のL莢率の推移

年作	品種	L莢率（%） <sup>z</sup>				
		1月	2月	3月	4月	平均
2016	みなべ短節間1号	70.3	77.6	77.1	79.1	77.8
	きしゅうすい	80.4	83.6	67.8	54.5	72.4
2017	みなべ短節間1号	40.6	51.2	66.2	67.1	65.8
	きしゅうすい	63.0	82.7	84.5	59.4	76.4
2018	みなべ短節間1号	70.5	73.9	91.6	96.8	88.5
	きしゅうすい	81.9	96.0	98.6	94.1	93.5

注) 試験規模：1区2m，30株（2016年作の‘みなべ短節間1号’は1m，15株）の2区制（2017年作は4区制）

収穫開始から4月末までの実入りが1粒以上の可販莢を対象

<sup>z</sup> 実入りが1粒以上の可販莢のうち、極端な欠粒がなく実入り4粒以上の莢の重量割合

‘みなべ短節間1号’の莢長は8.9cmであり、‘きしゅうすい’の10.0cmよりも小さく、いずれの調査日においても有意差が認められた。莢重は10.4gであり、‘きしゅうすい’の12.9gよりも軽く、1月26日と2月23日調査では有意差が認められ、3月8日調査でも軽い傾向であった。莢重に占める子実重の歩留りは44.3%であり、‘きしゅうすい’の39.7%よりも高く、1月26日調査では有意差が認められ、2月23日と3月8日調査でも高い傾向であった。子座数は8.2粒であり、いずれの調査日も、‘きしゅうすい’と同等であった。正常子実率は85.6%であり、‘きしゅうすい’の91.0%に比べて低く、3月8日調査では同等であるものの、2月23日調査では有意差が認められ、1月26日調査でも低い傾向であった（表16）。

表16 開花促進（長日）処理条件下での‘みなべ短節間1号’の莢品質（2017年作）

調査日	品種	莢長 (cm)	莢重 (g)	歩留り <sup>z</sup> (%)	子座数 (粒)	正常子実率 <sup>y</sup> (%)
1月26日	みなべ短節間1号	8.2	7.7	51.4	7.9	79.8
	きしゅうすい	9.5	10.2	45.6	7.9	84.4
	有意性 <sup>w</sup>	**	**	**	ns	ns
2月23日	みなべ短節間1号	8.6	9.7	43.4	8.0	82.0
	きしゅうすい	10.0	13.9	38.0	8.3	94.0
	有意性	**	**	ns	ns	*
3月8日	みなべ短節間1号	9.8	13.5	38.0	8.6	94.3
	きしゅうすい	10.5	14.8	35.0	8.4	96.0
	有意性	*	ns	ns	ns	ns
全体	みなべ短節間1号	8.9	10.4	44.3	8.2	85.6
	きしゅうすい	10.0	12.9	39.7	8.2	91.0
	有意性	**	**	*	ns	*

注) 実入り4粒以上で極端な欠粒のない莢を調査

<sup>z</sup> 正常子実の重量/莢重 × 100

<sup>y</sup> 1莢における正常に肥大した子実数/子座数 × 100

<sup>x</sup> t検定により, \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す  
(各調査日:n=8-12, 全体:n=28-32)

## 考 察

本県のエンドウでは、これまでもいくつかの優良品種が産地の中から発見されている。現在の主力品種である‘きしゅうすい’は、県内各地域から種子を収集し、早生、多収、莢品質が優れることを目標として系統選抜された品種である（楠山，1979）。また、‘矢田早生うすい’は、日高郡日高川町の‘きしゅうすい’ほ場の中から発見された早生品種である（藤岡，1993）。エンドウの花は、完全に開花した状態であっても、内側の1対2枚の竜骨弁が最後まで閉じたまま雌蕊と雄蕊を包んでいるため、他の花の花粉との交配の可能性が低く、同じ花の中で自家受粉が行われる（興津，1974）。そのため、エンドウ栽培品種のほとんどが遺伝的に固定種であり、産地において長年生産者による自家採種が行われてきたことで、産地の中から有望品種が見つかる一因となっている。

‘みなべ短節間1号’は、日高郡みなべ町の‘きしゅうすい’ほ場の中から発見された短節間品種である。後代3世代に渡る特性調査において、いずれの世代においても節間長の短いことが確認できたため、短節間の形質は遺伝的に固定されていると考えられる。また、莢、子実、種子の外観も‘きしゅうすい’と同等であることから、‘みなべ短節間1号’は、‘きしゅうすい’の突然変異品種の可能性が高いと考えられる。交雑育種法によるエンドウの品種育成は、10年以上の長年月と多くの労力、ほ場面積を必要とすることが課題である。藤岡（2000b）は、試験管内世代促進により‘紀州さや2号’を9年で育成しており、育種年限の短縮を行っている。しかし、今回の‘み

なべ短節間1号’は、2016年3月の現地確認から、2019年3月の出願公表までわずか3年であり、さらに短期間での品種育成が可能であった。そのため、栽培ほ場における突然変異の育種利用は、育種目標とする変異が起こる確立が非常に低いこと、育種目標とできる特性が莢や草姿の大きさ、色、形や早晩性など元品種と外観上区別しやすいものに限定されること、変異した形質が遺伝的に固定されている必要があることなどの課題があるものの、非常に短期間での品種育成が可能であることから、有望な育種手法と考えられる。

生育特性では、‘みなべ短節間1号’は、節間長が‘きしゅうすい’の73~78%程度と短い特性である(表4)。産地で栽培されている実エンドウの品種は、‘きしゅうすい’、‘矢田早生うすい’、‘紀の輝’の3品種であるが、これらの品種はいずれも草丈が高いため、ハウス栽培では3月、4月には踏み台を使って収穫などを行う必要があり、作業性の悪いことが課題である。特に、ハウス実エンドウにおける収穫作業は、全作業時間の36%を占め、最も多くの時間を費やす作業である(和歌山県農林水産部、2018)。「みなべ短節間1号」は、節間長が短いことで、従来品種よりも、結莢位置が低く、密に着莢するため、収穫時の踏み台の使用回数が減少し、収穫時間の短縮と作業負荷の軽減が大いに期待できる。

早晩性では、‘みなべ短節間1号’は初花房節位が‘きしゅうすい’よりも同等かやや遅く、開花開始日、収穫開始日が遅い特性を持つ(表7,8)。「きしゅうすい」は晩生品種とされ、秋まきハウス冬春どり栽培では、収穫時期を早めて収益を向上させるために、種子冷蔵処理や幼植物の長日処理による開花促進が行われている(藤岡,2000c)。「きしゅうすい」における開花促進処理については、佐田ら(1987a,1987b,1989)により研究がなされており、催芽種子への種子冷蔵として2で20日間程度が、また、幼植物への長日処理に3~8葉期の24時間日長が効果的として技術が確立され、産地へ導入されている。そこで、試験2では、3~8葉期の長日処理による開花促進条件下での特性調査を実施した。その結果、開花促進処理をしない場合に比べて、初花房節位が下がり、収穫時期が前進し、「みなべ短節間1号」においても開花促進効果が認められた。しかし、開花促進処理を行っても、「きしゅうすい」と比べて、1月、2月の初期収量が少なかった(表13,14)。そのため、初期収量を「きしゅうすい」と同程度確保するには、現在の開花促進処理よりも効果的な処理方法の検討が必要である。また、早晩性に影響を及ぼす要因として、種子の登熟温度がある。藤岡ら(2001)は、「きしゅうすい」において15以下の温度で登熟した種子は、20以上の温度で登熟した種子よりも初花房節位が低下し、開花時期が早くなること、また、作型では秋まきハウス栽培採種種子(3月採種)、夏まき露地栽培採種種子(1月採種)、秋まき露地栽培採種種子(5月採種)の順に初花房節位が低く、開花時期が早いことを報告している。本試験の使用種子は、秋まきハウス栽培で採種したものを使用したが、2017年作、2018年作が3月末以前の低温期に開花した莢から採種した種子だったのに対し、2016年作が4月以降の高温期に開花した莢から採種した種子であったため、2016年作では2017年作、2018年作よりも初花房節位が高くなり、藤岡らの報告と同様の結果が得られたと考えられる。そのため、収穫時期前進のためには、種子の登熟温度が低温となる時期の採種の検討も重要である。

収量性では、'みなべ短節間1号'は、'きしゅううすい'よりも、1月2月の初期収量が少なく、4月の後期収量が多い晩生品種の特性が認められた(表8, 14)。一方、総収量は、3カ年の調査において、'きしゅううすい'では2,596~2,692kg/10aと年次間差が小さかったのに対し、'みなべ短節間1号'では、2,366~3,047kg/10aと年次間差が大きく、一定の傾向は認められなかった(表14)。この要因として、'みなべ短節間1号'は、厳寒期の気温の影響を大きく受けたことが考えられる。12月~2月の平均気温は、2016年作、2018年作では平年並みかやや高く推移したのに対して、2017年作では1月上中旬を除いて平年値を下回り低温で推移した(図3)。そのため、2017年作は2016年作、2018年作に比べて、'きしゅううすい'では1月、2月の収量が53~59%と少ないものの、3月の収量が178~195%と多く、総収量が同等だったのに対して、'みなべ短節間1号'では1月、2月の収量が16~18%と非常に少なく、また3月の収量も101~117%と同程度であったため、総収量が少なくなった。

エンドウの収量に影響する要因として、収穫莢数、1莢重およびL莢率の3つが考えられる。1つ目の収穫莢数については、'みなべ短節間1号'は、'きしゅううすい'と比べて、いずれの年も多かった(表14)。一方、2つ目の1莢重については、いずれの年も'きしゅううすい'よりも軽かった(表14)。L莢を対象とした調査においても、'きしゅううすい'と比べて、子座数は同等であるものの、正常に肥大した子実の割合が低く、莢長が短く、莢重が軽く、特に1月、2月にこの傾向が顕著であった(表16)。3つ目のL莢率については、'きしゅううすい'と比べて、時期別では1月、2月の初期に低く、4月の後期に高く、また、年次別では2016年作が高く、2017年作が低く、2018年作がやや低い傾向であった(表15)。これらのL莢率の低い時期、年は、収量が低い時期、年と重なっていた。これらのことから、'みなべ短節間1号'の収量を高めるためには、1月、2月の厳寒期に、莢を大きくすることと秀品率を高めることが課題と考えられる。市(2000)は、エンドウの開花結実、茎葉や莢の生育には光が重要であり、下部の節まで光が当たるように畝幅や株間を決めることが重要としている。また、川西ら(2010)は、低日射条件下での昼間の低温が子実肥大不良莢発生の主要因であると報告している。'みなべ短節間1号'は、節間長が短いことで葉が密生しており、また、1月、2月の栽培初期の着莢位置が低く受光条件が悪いため、莢が小さく、L莢率が低くなると考えられる。そのため、'みなべ短節間1号'では、整枝、誘引方法や栽植密度などを検討し、栽培初期の受光条件を良くする対策が必要である。

莢の形質では、'みなべ短節間1号'は、'きしゅううすい'と比べてやや小さいものの、色、形などの外観品質が同等である(表10, 11, 12, 図2)。また、子実の形質についても色、形などの外観品質が同等である。そのため、販売面では現在の「うすいえんどう」としての出荷が可能と考えられ、生産者が新品種を導入しやすいことも魅力である。

以上のことから、'みなべ短節間1号'は、'きしゅううすい'と同等の莢形質であり、かつ節間の短い特性を有することから、収穫等の作業の省力化につながる非常に有望な品種である。一方で、晩生である、莢がやや小さい、厳寒期の秀品率が低いなどの課題も確認されている。今後、'みなべ

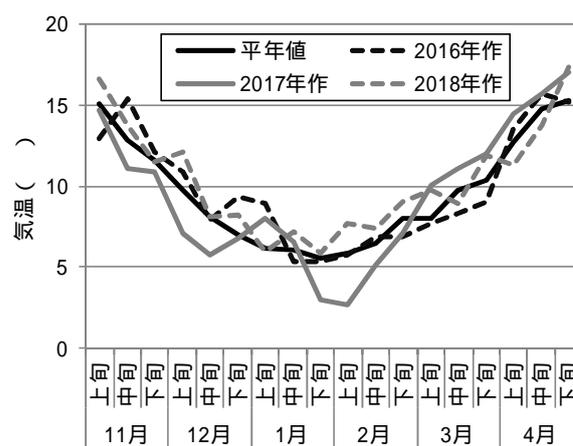


図3 旬毎の日平均気温の推移  
注) データは、気象庁の川辺における観測値

短節間1号」に適した栽培技術を確立し、収量性の向上が図られることで、省力性品種として実エンドウ産地への導入が進むものと期待される。

## 摘 要

和歌山県日高郡みなべ町の「きしゅうすい」栽培ほ場の中から発見された短節間の実エンドウ新品種「みなべ短節間1号」を省力化が図れる有望品種として選定した。秋まきハウス冬春どり作型における「みなべ短節間1号」の特性は次のとおりである。

1. 節間長は、「きしゅうすい」の75%程度と短い。
2. 初花房節位は、「きしゅうすい」と同等かやや高く、開花開始日、収穫開始日は「きしゅうすい」よりも遅い。
3. 時期別収量は「きしゅうすい」、「矢田早生うすい」と比べて2月までの初期が少なく、4月の後期が多い。
4. L莢率は、「きしゅうすい」よりも2月までの初期が低く、4月の後半が高い。
5. 莢長は、「きしゅうすい」よりもやや小さい。
6. 莢、子実の色、形などの外観品質は、「きしゅうすい」と同等である。

本品種の育成にあたり、本品種の情報提供や種子提供、特性調査および品種登録出願にご協力頂きました大野光男様に厚く御礼申し上げます。また、現地調査や品種選定にご協力頂きました紀州農業協同組合営農指導員の皆様、日高振興局農林水産振興部農業水産振興課の皆様には深謝いたします。

## 引用文献

- 藤岡唯志．1993．実エンドウ新品種「矢田早生うすい」について．和歌山県暖地園芸センターニュース．1：7．
- 藤岡唯志．2000a．作型と品種の取り入れ方．pp．71-76．農業技術体系．野菜編10（マメ類・イモ類・レンコン）．農文協．東京．
- 藤岡唯志．2000b．試験管内世代促進および選抜を利用したエンドウの新育種法の開発．和歌山県農総技セ特別研報．1：1-61．
- 藤岡唯志．2000c．開花促進．pp．99-103．農業技術体系．野菜編10（マメ類・イモ類・レンコン）．農文協．東京．
- 藤岡唯志・花田裕美・加藤一人．2001．登熟温度と莢の低温処理がエンドウの開花に及ぼす影響．和歌山県農総技セ研報．2：93-98．
- 市和人．2000．うね幅・株間の決め方（実エンドウ）．pp．91-92．農業技術体系．野菜編10（マメ類・イモ類・レンコン）．農文協．東京．
- 川西孝秀・神藤宏・福嶋総子・佐藤卓・三原弘光・西森裕夫・東卓弥．2010．実エンドウ栽培における子実肥大不良莢の発生要因の解明（第1報）遮光，昼夜温が莢および胚珠の発達に及ぼす影響．園学研9（2）：183-189．
- 楠山知宏．1979．「きしゅうすい」の育成経過と品種特性．和歌山県農業試験場ニュース．23：2．

- 農林水産省．2018．平成 29 年産野菜生産出荷統計（グリーンピース）．
- 興津伸二．1974．エンドウ = 植物としての特性．pp．3-12．農業技術体系．野菜編 10（マメ類・イモ類・レンコン）．農文協．東京．
- 佐田明和・藤岡唯志・西森裕夫．1987a．ハウスエンドウの開花促進に関する研究（第 1 報）長日，低温処理の効果とその品種間差異について．和歌山県農試研報．12：33-38．
- 佐田明和・藤岡唯志・西森裕夫．1987b．ハウスエンドウの開花促進に関する研究（第 2 報）日長および種子低温処理が開花および生育・収量に及ぼす影響．和歌山県農試研報．12：39-46．
- 佐田明和・藤岡唯志・西森裕夫．1989．ハウスエンドウの開花促進に関する研究（第 3 報）電照処理の時間及び照度が生育・開花に及ぼす影響．和歌山県農試研報．13：1-6．
- 和歌山県農林水産部．2018．実エンドウ．秋まき・ハウス冬春どり．農業経営モデル指標（平成 30 年）．pp．123-124．

# 不整地での囲いワナによるニホンジカの捕獲法の開発

西村光由・衛藤夏葉<sup>1</sup>・植田栄仁<sup>2</sup>

和歌山県果樹試験場

## Development of Capturing Sika Deer with Modified Corral Trap for Uneven Ground

Mitsuyoshi Nishimura , Kayo Etoh<sup>1</sup> and Yoshihito Ueda<sup>2</sup>

Wakayama Prefecture Fruit Tree Experiment Station

### 緒 言

和歌山県では、ニホンジカ (*Cervus nippon* 以下シカ) による2018年の農林業被害金額は、約4,800万円でイノシシに次いで大きく、早急な対応が求められている。県では、増えすぎたシカを適正な個体数に近づけるためにニホンジカ第二種特定鳥獣管理計画(和歌山県, 2017)を策定して個体数削減を進めるとともに、被害発生地域では防護柵の設置などの被害対策を実施している。これらの対策のうち、適正な個体数管理のためには、効率的に継続して捕獲できる技術が求められる。

個体数管理を目的としたワナによる効率的な捕獲技術として、給餌による誘引を利用することが有効である(池田ら, 2017)。給餌誘引が有効な地域であれば、捕獲しやすい地点に給餌場を設置し、そこにシカを自発的に誘引することができるため、特に森林内での捕獲において労力やコスト面で効率的な技術として期待されている(八代田, 2017)。このような給餌によって誘引した複数のシカをまとめて捕獲することができる囲いワナには、大きな期待が集まっている(阿部, 2011)。しかし、従来の囲いワナは、全面が金属で構成されており、設置には十分な広さの平地が必要とされるため、本県のように不整地や傾斜地が多い場所では、設置場所が限られる。このような不整地にワナを設置することができれば捕獲域を拡大することに大きく貢献するが、現状ではそのようなワナに関する報告は見当たらない。

そこで、不整地でも設置可能な囲いワナを考案して捕獲効果を検証するとともに、不整地における効率的な捕獲法についても若干の検討を行った。

### 材料および方法

#### 1. ワナの構造と使用資材

考案した囲いワナは、設置時の安定性を保つため前面を金属製とし、側面と後面には不整地での設置が容易となるよう可塑性の高い素材を使用した。

ワナの前面には、既存の移動式囲いワナ(サークルD 竹森鐵工株式会社)のゲート1枚を含むメッシュ(1m幅)を使用した(図1, 表1)。側面と後面の傾斜面には、護岸工事用のポリエステル素

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

材ラッセル網(3.8×4m ERS-6t 用編地(50mm 目合 13.35T)網地引張強さ 3400N 以上)を用いた。ワナの骨組みは径 4.86mm のピン付き単管パイプを使用した。



図1 ワナの設置状況

表1 ワナの資材一覧

名称	規格	ワナA	ワナB
		個数	
単管パイプ	L = 2m = 48.6mm 厚さ = 2.4mm	8本	6本
単管パイプ	L = 2.5m = 48.6mm 厚さ = 2.5mm	-	1本
単管パイプ	L = 3.5m = 48.6mm 厚さ = 2.4mm	4本	-
単管パイプ	L = 1.0m = 48.6mm 厚さ = 2.4mm	-	2本
ピン付き単管パイプ	L = 2m = 48.6mm 厚さ = 2.4mm	4本	4本
ピン付き単管パイプ	L = 2.5m = 48.6mm 厚さ = 2.4mm	4本	4本
直線ジョイント	= 48.6mm用	4個	4個
直角クランプ	= 48.6mm用	6個	4個
自在クランプ	= 48.6mm用	16個	12個
固定ベース金具	= 48.6mm用	4個	4個
ユニクロロープ止め	径10mm 全長30mm 折り返し長50-60mm	8本	6本
高強度ネット右側面	縦3.8m × 横4.3m	1枚	1枚
高強度ネット左側面	縦3.8m × 横4.3m	1枚	1枚
高強度ネット後面	縦3.8m × 横3.4m	1枚	-
高強度ネット後面	縦3.8m × 横2.4m	-	1枚
結束バンド	耐候 黒 全長 = 380mm 幅=7.6mm	26本	16本
リングキャッチ	L=58mm D=8.0mm 使用荷重(kN):1.50	29個	20個
異形丸棒	直径1.6mm 長さ2m	4本	4本
囲いワナゲート部		1枚	1枚
囲いワナ扉		1枚	1枚
囲いワナ標準メッシュ	(ワナ扉の両側に使用)	2枚	1枚

## 2. ワナによる捕獲

試験は、2016年12月上旬から2017年2月下旬(第1期)と2017年11月下旬から2018年2月上旬(第2期)の2回実施した。各時期のワナの設置から捕獲までの期間は表2に示した。第2期には、第1期のワナ(ワナA)に加えて、より広範囲の場所に設置できるか検討するため、サイズが小さくゲートの設置方向の異なるワナ(ワナB)での捕獲も実施した。ワナA, Bの概要は表3の通りである。

表2 ワナの設置から捕獲までの各作業の実施期間

試験期間	種類	設置期間	組立中の馴化期間	ワナ内誘引確認期間	捕獲期間	電子トリガー作動日数
第1期	A	2017.1.10~2017.3.5	2016.12.6~2017.1.9	2017.1.10~2017.3.5	2017.1.30~2017.2.27	3
第2期	A	2017.12.2~2018.1.14	2017.11.20~2017.12.1	2017.12.2~2018.1.14	2017.12.25	1
	B	2018.1.26~2018.2.5	2018.1.23~2018.1.25	2018.1.26~2018.2.5	2018.2.1~2018.2.5	2

表3 試験に供試した不整地対応囲いワナの概要

種類	幅×奥行×高さ(m)	容積(m <sup>3</sup> )	ゲート位置	設置場所の傾斜
A	3×4×2	24	斜面上部	15°
B	2×4×2	16	斜面下部	17°

### 1) 試験地

有田郡湯浅町の山林内を試験地とした(図2)。周辺はスギを中心とした人工林とコナラ、シイ、植林されたクヌギが混在した樹木で構成されている。試験地周辺には、シカが好むとされる造成地やカンキツ廃園が存在し、餌となる庭木等の剪定枝を廃棄している場所もある。



図2 試験地の位置

### 2) 組立時の馴化とワナ内部への誘引状況

2017年1月10日、2017年12月2日にワナAを傾斜角度15°の地に設置した。また、ワナを小型にした場合とゲートを斜面の下に設置した場合の捕獲効果を調べるために、2018年1月26日にワナAから約25m離れた同じ敷地内の傾斜角度17°の地にワナBを設置した。ワナBはゲート部分のみ単管パイプを打ち込んで固定した。また、ワナAは、ゲートを斜面の上に設置し、ワナBは斜面の下に設置した(図1、表3)。捕獲時にワナの扉を落とす仕掛けは、電子トリガー(商品名:かえさんもん, 株式会社タカショーデジテック)を使用した。電子トリガーのセンサー部は、ワナの奥から80cmのネット側面に地際から70cmの高さで設置した。

第1期のワナAは、2016年12月6日から2016年12月26日までの期間、ワナの組立前からシカがワナに警戒しないように資材を誘引餌付近に置き、徐々に馴化を行った。2016年12月26日からワナの組立を開始し、2017年1月10日に完成させた。第2期のワナAは、2017年11月20日から2017年12月1日まで資材に対しての馴化を行い、2017年12月2日にワナを完成させた。また、第

2期のワナBは、2018年1月23日から2018年1月25日まで資材への馴化を行い、2018年1月26日にワナを完成させた。誘引餌には、ヘイキューブとカンキツ枝葉を用い、ヘイキューブは、1回あたり5~10kg程度、カンキツ枝葉は1回あたり3kg~6kg程度をワナ最奥分と入口付近に給餌した。

給餌による誘引状況は、次の給餌までの餌の採食状況やカメラ画像、あるいは糞、足跡などの痕跡から判断した。カメラは、ワナの入口付近と側面が撮影できるように前面部のカメラを主、側面部のカメラを補助とし、合計3台を設置した。カメラでの記録はインターバル10秒、1回のセンサー感知につき静止画1枚と動画20秒を撮影する設定とし、常時稼働させた。解析には動画を使用し、ワナ内部に侵入したシカ個体数を角の有無によりオス、メス、幼獣にわけ記録した。なお、オスジカは角の形状（1尖、2尖以上の骨化した角）を区別することなく、角を有する個体を全てオスジカに含めた。一般にカメラによる調査では、1つのカメラに同じ個体が繰り返し撮影されることにより個体数を過剰に計測する問題が生じるため、矢部の手法を参考に個体識別が困難な同一種が30分以内に連続して撮影されていた場合には、枝角の形状など明瞭な身体的特徴で異個体と識別ができる場合を除き、1回の出現と数えた（矢部、2005）。本試験では、ワナの周囲の狭い範囲にカメラを配置したため、異なるカメラ間でも同じ個体が撮影されることが考えられ、同一個体が撮影されたと判断された個体については重複を除去した。

### 3) ワナAでの捕獲試験

捕獲に際しては、シカが警戒することなくワナの最奥部の誘引餌を完食するようになるまで十分に餌付けを行った後、電子トリガーを作動させた。また、試験期間中は捕獲が成功した当日に再度給餌を行い次の捕獲に備えた。電子トリガーは、第1期は2017年1月30日、2月6日、2月27日の3夜、第2期は2017年12月25日の1夜作動させて捕獲を行った。

### 4) ワナBでの捕獲試験

ワナのサイズおよびゲートの設置方向が捕獲におよぼす影響を確認するために2018年1月26日から2月5日にかけてワナAとサイズおよびゲート設置向きが異なるワナBによる捕獲試験を行った。

捕獲手順はワナAと同様とした。ワナBは、ワナAと同一の敷地内に設置し、ワナAの捕獲試験から継続して誘引を行っていたため、シカがワナに対して警戒していなかったことから、組立中の資材への馴化期間は、2018年1月23日から2018年1月25日までの2日間とした。電子トリガーは、2018年2月4日、2月5日の2夜作動させて捕獲を行った。

## 結 果

### 1. ワナの組立

ワナの組立に使用した資材は、移動性を重視して、一式を軽トラックで運搬できるように考慮するとともに、単管パイプは移動性を考慮して直線ジョイントでパイプ同士を繋げて使用できる「ピン付き」のものを使用した（表1）。ワナAの組立は、図3に示した手順で行った。まず、ゲートを設置する位置を決め、既存の囲いワナのメッシュ部分の底面折り返し部分の幅50cm分を埋没させるため、深さ5cmで幅3mにわたって掘削した。次に両サイドと後面にネットを設置した。

その後単管パイプでワナの骨格を作り、骨格が出来た後、前面部にメッシュパーツを結束バン

ドで取り付けた。最後にネットを張り、リングキャッチでネットを固定し、底面はペグで止めた。

クランプの緩みがないことを再度確認し、完成させた。ワナ B の組立はワナ A と同様に行った。ただし、ワナ B を設置した地面は単管パイプを打ち込むことが可能であったため、前面部の両サイドに 1m の単管パイプを 30cm 打ち込み、自在クランプで柱となる単管パイプと繋ぎ合わせた。ワナの設置時間は、ワナ A が 1 名で 2 時間 40 分、ワナ B が 1 名で 1 時間 50 分であった。

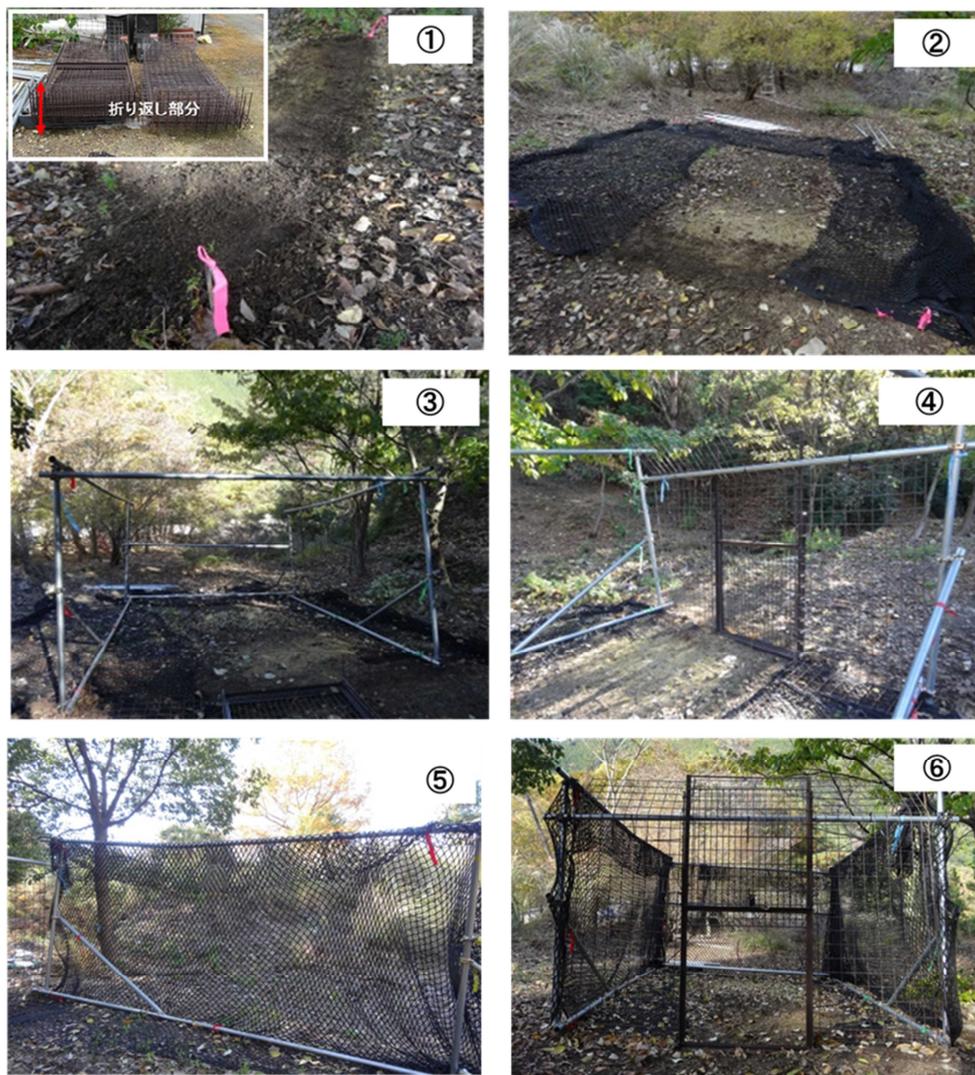


図 3 ワナの組立方法

## 2. ワナ内部への誘引状況の確認

ワナ A の第 1 期では、カメラ稼働日数が 63 日、のべ 9,762 頭のシカが撮影され、1 日あたりの撮影回数は、1.0 であり、1 日あたりのワナ侵入個体撮影数は 155 頭であった（表 4）。第 2 期では、カメラ稼働日数が 55 日、のべ 5,349 頭撮影され、1 日あたりの撮影回数は 1.0 であり、1 日あたりのワナ侵入個体撮影数は 97 頭であった。一方、ワナ B ではカメラ稼働日数が 12 日、のべ 643 頭撮影され、1 日あたりの撮影回数は 1.0、1 日あたりのワナ侵入個体撮影頭数は 54 頭であった。

ワナ A の第 1 期における雌雄・幼獣別頭数割合は、オス 10%、メス 44%、幼獣 46%とメスと幼獣が全体の 90%を占めた（図 4）。第 2 期は、オス 40%、メス 31%、幼獣 29%であり、第 1 期と比

較してオスの割合が30%増加した。ワナBでは、オス55%、メス28%、幼獣17%であり、オスが全体の約半数を占めた。また、1回撮影あたりのワナ内へ侵入した最多頭数の撮影イベント数は、第1期、第2期を通してワナAおよびワナBともに1頭が最も多く、最多は第1期の5頭であった(図5)。

表4 試験期間中のワナ侵入個体撮影数

種類	期間	カメラ稼働日数	ワナ侵入個体撮影数	1日あたりのワナ侵入個体撮影数
A	第1期	63	9762	155
A	第1期	55	5349	97
B	第2期	12	643	54

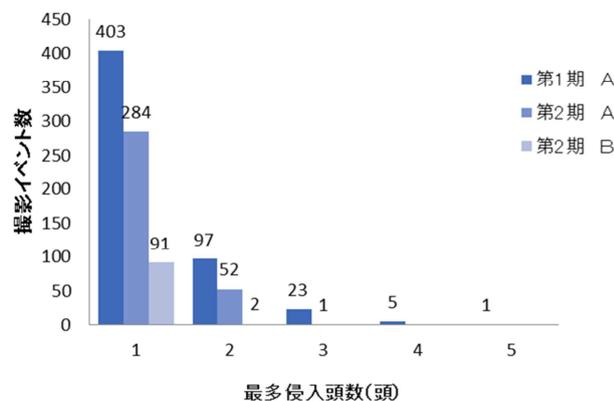
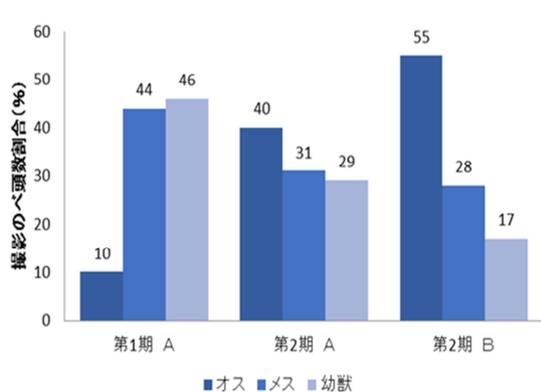


図4 カメラトラップにおける雌雄・幼獣の撮影のべ頭数割合

図5 カメラトラップ調査における最多侵入頭数の撮影イベント数

### 3. 捕獲試験

#### 1) ワナAでの捕獲試験

第1期は、2017年1月30日、2017年2月6日、2017年2月27日に3夜、電子トリガーを作動させ捕獲を行い、15kg~28kgの幼獣を6頭捕獲した(表5)。1回の捕獲動作で2頭ずつ捕獲された。第2期は、2017年12月25日に親子と推定される42kgのメスと21kgの幼獣を捕獲した。

#### 2) ワナBでの捕獲試験

2018年2月4日に34kgのメス、翌2月5日に52kgのオスを捕獲した。ワナBは、ワナAのサイズより幅が1m小さく、ゲートは斜面の下に設置したがシカは警戒することなくワナに侵入した。

表 5 試作した囲いワナによる捕獲試験の結果

種類	捕獲日	時刻	個体	頭数	体重(kg)
ワナA 第1期	2017.1.30	19:31	幼獣	2	26・28
	2017.2.6	20:57	幼獣	2	27・20
	2017.2.27	20:46	幼獣	2	18・15
ワナA 第2期	2017.12.25	18:42	メス・幼獣	2	42・21
ワナB 第2期	2018.2.4	23:31	メス	1	34
	2018.2.5	21:02	オス	1	52

## 3) 捕獲後の誘引

捕獲成功後，新たな個体がワナに侵入するまでの期間を表 6 に示す．期間の短いものでは，捕獲の翌日にワナ内部に侵入する様子が確認され，平均 3.4 日であった．

表 6 捕獲成功後のワナへの誘引

	捕獲日	新たな個体のワナへの侵入日時		侵入までの日数	個体	頭数
		日付	撮影時間			
ワナA	2017.1.30	2017.1.31	20:12	1	幼獣	1
	2017.2.6	2017.2.14	21:20	8	メス	1
	2017.2.27	2017.3.4	6:23	5	メス・幼獣	2
	2017.12.25	2017.12.27	19:38	2	メス	1
ワナB	2018.2.4	2018.2.5	19:45	1	オス	1

## 考 察

本県では捕獲適地に不整地や傾斜地が多いと思われるが，このような場所では現在使用されている囲いワナは設置できない．そこで本研究では不整地でも設置可能な囲いワナを考案し，実用性を検証した．その際，樹間の狭隘な場所で，ゲートの方向が限定される場合でも設置が可能となるよう，ワナのサイズ，ゲート設置位置についても若干の検討を加えた．

まず，ワナの構造では，安定性を持たせるため全面に金属製の市販の囲いワナのゲートを使用するとともに，不整地での設置を可能とするため側面および後面を高強度ネットで構成し，単管パイプを骨格として用いた．これらを用いることで，資材一式を軽トラックで運搬できることを確認した．

次に，サイズの異なるワナA，Bの設置時間を計測したところ，従事者1名で前者では2時間40分，後者では1時間50分であった．囲いワナの設置時間では，幅8m × 奥行8m × 高さ2mの大型囲いワナで6名の従事者が半日を要し，幅2m × 奥行4m × 高さ2mの小型のものでも4名で3時間を要したとの事例が報告されている（遠藤ら，2000）．この事例では，ワナの骨格にL字型鉄製アングルを用いており，ボルトでアングルを締める作業に加え，複雑な構造のトリガー部の組立を必要としているため同列に比較できないが，本研究で考案したワナは従事者1名が短時間で設置できることから設置労力をあまり必要とせず，省力的であると思われる．

ワナ設置後の給餌による内部への誘引状況を調査した結果，ワナA(第1期，第2期)，ワナBともに1

日あたりの撮影回数は同数であった。このことから、ワナ内への侵入頻度に関する年次変動、ワナのサイズによる侵入程度の差は少ないことが示唆された。しかし、成獣、幼獣、性比は試験により大きく異なった。第1期におけるワナAでは、試験期間が63日であり、試験開始直後にメスと幼獣が誘引され、その後もオスが餌付く前に誘引餌を十分に摂食する機会が十分にあった。ワナBでは試験期間が短く、試験開始直後から優位なオスが誘引餌を独占し、メスや幼獣を排除してしまったことからオスの性比が約半数を超えたと考えられる。このようにオスが餌付いてしまった場所については、餌を独占する傾向が強いことから、足くりワナによりオスジカを取り除く等、誘引状況に応じた対応が必要となる（静岡県，2016）。

給餌による囲いワナ内への誘引に関しては、給餌開始からワナ内へのシカの侵入が確認されるまで18日程度を要したとの報告がある（谷脇ら，2015）。本研究では、3試験とも給餌開始当日からワナ内への侵入を確認した。上記の事例とシカの生息密度や環境は異なるが、今回、当日夜に侵入した要因として、ワナ資材の設置中から誘引したことがあげられる。これにより、ワナを組立てた際にシカが警戒せず短期間でワナの中へ誘引できたと考えられる。

今回供試した不整地対応囲いワナのうち、ワナAを用いた捕獲試験では、第1期、第2期を通して8頭捕獲され、実用性を検証することができた。また、今回のワナでは、従来の囲いワナに使用されている捕獲個体の飛び出し防止用の返しを設置しなかったが、脱出した個体は認められず、この構造で捕獲が十分可能と考えられる。

実際にワナを設置する場面では、捕獲適地が狭隘でワナAを設置できる場所を確保できず、ゲートの向きも限定されることが考えられる。このため、ワナAよりサイズが小さく、ゲートの向きも異なるワナBを用いて試験を行ったところ、設置後短期間で捕獲することができた。このことから、ワナAよりサイズが小さく、ゲートの向きが異なる場合でも捕獲可能であることが示唆された。しかし、ワナBの捕獲試験は期間が短く単年度の試験であったことから、今後さらに事例を重ねる必要がある。

今回、ワナAで捕獲したシカは幼獣の割合が高かった。捕獲個体の性・年齢構成は、生息地のシカの性・年齢構成や警戒心の程度に左右されることが指摘されており（遠藤ら，2000）、成獣と比較すると警戒心の低い幼獣が多く捕獲されたと考えられる。シカの生息数を減らすには、メスの捕獲が効果的であり（岐阜県，2017）、確実にメスを捕獲するため、特に親子でワナに誘引されている場合、最終的に親がワナに侵入するまでは捕獲を見送ることが重要である。

誘引餌を用いて継続的に捕獲を行っていくためには、その地域において誘引効果の高い餌と時期を事前に検討することが必要である。試験地では、ヘイクューブの他にカンキツ枝葉の嗜好性が高いことから誘引餌に利用した。しかし、同じ地域でも環境が異なる場所では嗜好性が異なることが考えられるため、本囲いワナを他の異なる地域環境で使用する場合、ワナ内部へのシカの誘引が可能か、誘引餌には何が適しているかについて確認することが重要である。

以上、本研究で開発した囲いワナは、傾斜地でも設置可能であり、誘引餌によるシカの誘引効果が高い地域において、既存の囲いワナの設置が困難な場所に設置することで効率的な捕獲と捕獲域の拡大が期待できると考えられた。

## 摘 要

傾斜地等の不整地でも組み立てることができる囲いワナを考案した。ワナは、既存の囲いワナのゲートと高強度ネットを組み合わせた。シカの捕獲実証試験を行った結果、雄の大型成獣の捕獲に耐えることが分かった。

1. 幅 3m×奥行 4m×高さ 2m のワナ A と幅 2m×奥行 4m×高さ 2m のワナ B を作製して捕獲試験を行った。
2. 傾斜角度が 15° および 17° の斜面に設置したが使用上の問題はなかった。
3. ワナの組み立て時間は、従事者 1 名でワナ A が 2 時間 40 分、ワナ B が 1 時間 50 分であった。
4. 1 回の撮影あたりのワナ内へ侵入したシカの最大頭数は、期間中ワナ A, B とともに 1 頭が最も多く、最大は 5 頭であった。
5. ワナ組み立て前からワナの資材を置きながら誘引したことで、ワナを組立てた際にシカに警戒されずに短時間で誘引することが可能であった。
6. ワナ A では、第 1 期の捕獲期間 63 日中に 6 頭、第 2 期は 55 日中に 2 頭、ワナ B では第 2 期の捕獲期間 12 日中に 2 頭捕獲することができた。
7. ワナ上部の跳び越え防止の折り返しがなくとも、捕獲した 15kg～52kg のシカの場合、跳び越えて逃げることはなかった。
8. ワナのサイズおよびゲートの向きによる捕獲効果に差はないと考えられた。

## 引用文献

- 阿部豪．2011．囲いわなを用いた森林内での効率的捕獲手法の検討．第 123 回日本森林学会大会要旨
- 阿部豪・坂田宏志．2012．囲いわなによるニホンジカ捕獲の効率化に向けた検討．兵庫ワイルドライフモノグラフ 4:113-114．
- 遠藤晃・土肥昭夫・伊澤雅子・矢部恒晶・辻高史．2000．シカ用生け捕りワナ EN-TRAP の試作・適用．哺乳類科学 40:145-153．
- 岐阜県．2017．シカを捕獲しませんか-シカ捕獲実践マニュアル-．2．
- 池田敬・松浦友紀子・伊吾田宏正・東谷宗光・高橋裕史．2017．ニホンジカの捕獲誘引地点への出没状況．哺乳類科学 57(1):45-52．
- 静岡県．2016．シカ捕獲ハンドブック くくりわな編．24．
- 谷脇徹・永田幸志・鈴木透・姜兆文・山田雄作・山根正伸．2015．植生保護柵を活用した囲いわなによるニホンジカの捕獲．神奈川県自然環境保全センター報告 13:18-21．
- 和歌山県．2017．和歌山県ニホンジカ第二種特定鳥獣管理計画．
- 矢部恒晶．2005．3．獣道における野生動物の自動撮影の検討．九州森研究 No．58:191-192
- 八代田千鶴．2017．2．シカの捕獲体制の構築と課題．森林科学 79:6-9．



# ウメの連作障害に関する研究 (第4報) 未利用資源を原料としたウメ連作障害対策用 木炭の開発

大江孝明<sup>1</sup>・橋本千賀子<sup>2,4</sup>・西原英治<sup>3</sup>・水口裕介<sup>3,4</sup>・城村徳明<sup>1</sup>・岡室美絵子<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>和歌山県果樹試験場うめ研究所

<sup>2</sup>和歌山県林業試験場

<sup>3</sup>鳥取大学農学部

**Studies on Replant Failure of Japanese Apricot Tree**

**. Development of Wood Charcoal Made from Unused Resources for Continuous Cropping in  
Japanese Apricot Tree**

Takaaki Oe<sup>1</sup>, Chikako Hashimoto<sup>2,4</sup>, Eiji Nishihara<sup>3</sup>, Yusuke Mizuguchi<sup>3,4</sup>, Noriaki Jomura<sup>1</sup> and Mieko Okamuro<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Japanese Apricot, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture

<sup>2</sup>Forestry Experiment Station, Wakayama Prefecture

<sup>3</sup>Faculty of Agriculture, Tottori University

## 緒言

ウメの経済樹齢は25年程度とされており、和歌山県の産地では改植が進められているが、その際に連作障害が問題となる。その要因として連作障害の発生しやすいモモでは、根に含まれる生育阻害物質の関与が明らかにされている(Gur and Cohen, 1988; 平野, 1977; 水谷, 1979; Mizutani et al., 1988; Ohigashi, 1982)。ウメでは、1)‘南高’の根域に他のウメ樹の根やその水抽出液が存在すると夏季の葉中窒素含有率が低くなり樹体生育が抑制されること、2)青酸配糖体の1種のアミグダリンやその分解物の安息香酸を根域に与えると樹体成長が抑制されることを明らかにした(大江ら, 2003)。また、実際のウメ連作土壌が生育阻害性を有することを明らかにするとともに、生育阻害要因としてフェノール性物質が関与することを示した(大江ら, 2018)。さらに、ウメ根および連作土壌の生育阻害性低減に効果が高い活性炭を選抜し、選抜した活性炭のウメ連作ほ場での効果を確認した(大江ら, 2019a)。

一方、和歌山県において大量に発生する果樹剪定枝や林業における間伐材等のバイオマスの活用が求められている(玄地ら, 2009; 橋本ら, 2013)。それらを炭化して活用することは、炭素隔離効果の点からも有効な活用方法である。炭化物の特性は、炭化材料や炭化温度によって大きく異なることがわかってきており(瀧口ら, 2006; 橋本ら, 2013)、用途に合わせた炭化物の選択が必要である。ウメの未利用資源の炭化事例について、種子(核)の炭化物は活性炭と同様に水質浄化に

<sup>4</sup>現在：退職

利用できることが示されている（本間・馬場，2014）。また，橋本ら（2013）は，ウメせん定枝や間伐材等を原料とした炭化物を作出し，ウメ根に含まれるフェノール性物質の吸着能やレタスの根伸長阻害軽減能を調査してウメ連作障害対策に有効と考えられる炭化条件を見いだしている。しかし，炭化物のウメの樹体生育に及ぼす影響については明らかでない。

そこで本研究では，これまでにウメ連作障害軽減効果が確認された活性炭よりも安価な炭資材を作出することを目的とし，実際のウメでの生育改善効果等をもとに，未利用資源を原料とした連作障害対策に有効な木炭の作出方法を調査した。

## 材料および方法

### 1. 木炭の検定植物の生育阻害活性低減能とウメ根含有物質吸着能との関係（試験1）

既報（大江ら，2018）および橋本ら（2013）と同様，元木ら（2006）の方法により，2009年に生育阻害活性を測定した。すなわち，6穴マルチディッシュ（ヌンク製）に和歌山県日高郡みなべ町内の樹勢が低下した樹の根域より採取した土壌（以下，連作土）3gと木炭0.3gを混和して入れ，オートクレーブをかけた0.75%（W/V）低温ゲル化寒天（ナカライ製）5mlで固定化した後，5mlの0.75%低温ゲル化寒天を重層し固化させた。その上に検定植物としてレタス‘グレートレックス366’を1穴当たり5粒播種した。土壌無添加（寒天のみ）および土壌を添加し木炭無添加の区（以下，無添加区）も設置し，3日間20℃のインキュベーター内で生育させた後，根長を調査して土壌無添加に対する伸長阻害率を $(1 - \text{各試験区の根長} \div \text{寒天のみの土壌無添加区の根長}) \times 100$ として算出した。木炭は橋本ら（2013）が用いたものも含め，ヒノキ，スギ，カシ，タケ，ウメ，ヒノキ樹皮およびスギ樹皮を材料とし，ウメについては太さを小（徒長枝），中（直径10cm以下の徒長枝を除く枝）および大（直径10cm以上の枝）の3段階に分けて用いた。炭化温度は300～1000℃として炭化装置（CE-80，Thermal）や黒炭窯を用いて作出し，木炭は1mmの篩を通して用いた。また，市販の白炭（ウバメガシ）および黒炭（コナラ）並びに既報（大江ら，2019b）で連作障害軽減作用が確認された活性炭S（大阪ガスケミカル製）を用いて同様に根の伸長阻害率を調査した。

次に，2009年11月に和歌山県うめ研究所内植栽の複数のウメ樹より，おおよそ直径が1.5cm以下の根を採取して1～3cm程度の長さに切断し，20倍重量の水道水に3日間浸漬した。このウメ根の水抽出液（以下，根水抽出液と省略）20mlに先述の木炭および活性炭を0.5g添加後，約3時間放置した。その後，ろ紙（アドバンテック No.2）および0.45μmのメンブレンフィルターでろ過した後，フェノール性物質量を既報（大江ら，2018）と同様にFolin-Ciocalteu法で測定し，クロロゲン酸相当量で求めた。また，青酸配糖体の一種のプルナシン並びにその分解物であるベンズアルデヒドおよび安息香酸を測定した。定量方法については既報（大江ら，2003）と同様，精製は寺田・山本（1990）のSep-pak C<sub>18</sub>（Waters製）を用いた方法で行い，定量は大坪・池田（1994）のODSカラムを用いた方法でHPLCにより測定した。対照として，木炭および活性炭を添加せずろ過のみした根抽出液を測定した。

### 2. 木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響（試験2）

2009年にうめ研究所内より採取した連作土（褐色森林土）およびウメ未栽培土壌（以下，新土）を供試した。30Lポットに入れて1年生‘南高’（実生台）を12月15日に定植する際，それぞれの土壌について，ヒノキを700または900℃で炭化した木炭（以下，ヒノキ700炭，ヒノキ900炭）

を5%または10% (DW/V) 混和して定植した。なお、木炭は5mmの篩を通して用いた。対照として連作土に木炭を無混和の区、新土に木炭を無混和の区も設置した。各区4~5反復で、定植時の平均幹径が各区とも同じになるように仕分けをしたうえで所内ポット園で育成した。施肥は肥効調節型肥料(180日タイプと40日タイプを等量混合, N: P: K=14: 11: 13)を2010年1月26日に400gずつ表層施用した。5~6月に新梢伸長停止率(10cm以上の新梢を対象)を、2009年12月および2010年10月に幹径を調査するとともに、10月1~7日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根(直径2mm以下)および太根(直径2mm以上)の各器官に分け、総新梢長を測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。

### 3. ウメを原料とした木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響(試験3)

2008年にうめ研究所より採取した連作土および新土を供試した。12月16日に1年生‘南高’苗を25Lポットに定植する際、連作土、新土それぞれについて、炭化装置でウメ徒長枝を900℃で炭化した木炭(以下、ウメ徒長枝900℃炭)を1.5%(DW/V)混和する区としない区を設置した。各区5反復で定植時の平均幹径が各区とも同じになるように仕分けをしたうえで野外で育成し、施肥は肥効調節型肥料180日タイプを2009年1月26日に200gずつ表層施用した。5~6月に新梢伸長停止率(10cm以上の新梢を対象)を、2008年12月、2009年5月および9月に幹径を調査するとともに、9月24日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根(直径2mm以下)および太根(直径2mm以上)の各器官に分け、総新梢長を1次伸長および2次伸長に分けて測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。

### 4. 連作ほ場における木炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響(試験4)

2010年10~12月にうめ研究所内植栽の樹勢が低下した34年生‘南高’4樹を掘りあげ、各根域の土壌を重機で均質化した。約200L(80×80×30cm程度)の植穴容量で一部は薬剤(クロルピクリン、南海化学)により植穴周辺を土壌消毒したうえで、それぞれ2種類の木炭を2%(DW/V)混和する区と無混和の区を設置した。木炭は炭化装置によりヒノキを700℃で炭化したヒノキ700℃炭、黒炭窯により最大700℃程度でウメ徒長枝を炭化したウメ徒長枝700℃炭を用いた。定植時の平均幹径が各区とも同じになるように区分けし、2011年1月に1年生‘南高’苗を定植した。施肥は肥効調節型肥料(180日タイプと40日タイプを等量混合)を2011年1月26日に360gずつ表層施用した。2010年12月および2011年11月に幹径を調査するとともに、2011年11月14日~15日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根(直径2mm以下)および太根(直径2mm以上)の各器官に分け、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。

### 5. ウメ伐採樹の炭化方法の違いが連作ほ場植栽のウメ幼木の生育に及ぼす影響(試験5)

2011年10月にうめ研究所内植栽の樹勢が低下した35年生‘南高’4樹を掘りあげ、各根域の土壌を重機で均質化した。約150L(70×70×30cm程度)の植穴容量で試験4と同様に、薬剤により土壌消毒する区としない区を設置し、それぞれ4種類の木炭を2%(DW/V)混和する区と無混和の区を設置した。木炭は炭化装置によりヒノキを650℃で炭化したヒノキ650℃炭、炭化装置によりウメの2年枝以上の枝を650℃で炭化したウメ2年枝650℃炭、白炭窯により最大850℃程度でウメ2年枝以上の枝を炭化したウメ2年枝850℃炭、炭化装置により最大650℃程度でウメ徒長枝を炭化したウメ徒長枝650℃炭を用いた。なお、比表面積を窒素ガス吸着法で測定したところ、ヒノキ炭は

323m<sup>2</sup>/g, ウメ 2 年枝 650 炭は 237m<sup>2</sup>/g, ウメ 2 年枝 850 炭は 275m<sup>2</sup>/g, ウメ徒長枝 650 炭は 30m<sup>2</sup>/g であった. 2012 年 2 月 20 日に 1 年生‘南高’苗を 3~4 反復で定植し, 施肥は肥効調節型肥料 (180 日タイプと 40 日タイプを等量混合) を定植時に 720g ずつ表層施用した. 2010 年 11 月 19 日に幹径を調査するとともに, 樹体を掘り上げて, 葉を除いた新梢, 主幹, 根幹, 細根 (直径 2mm 以下) および太根 (直径 2mm 以上) の各器官に分け, 80 °C で 3 日以上乾燥させて乾物重を測定した.

## 6. 簡易炭化炉で炭化したウメ炭の理化学特性および生育阻害軽減効果 (試験 6)

2008 年秋にうめ研究所内で伐採したウメ樹の枝を直径 10~15cm, 直径 10cm 以下 (徒長枝を除く) および徒長枝に分け降雨遮断条件で約 1 年間保管し, 2009 年 11 月に 200L および 700L 容量の市販簡易炭化炉 (簡単スミヤケール, ファインテクノタケダ製) で炭化し, 太枝炭, 細枝炭および徒長枝炭とした. 炉内中央部の高さ 10cm で炭化温度を測定するとともに, 木炭の理化学特性として, pH, メチレンブルー吸着能および比表面積を測定した. 橋本ら (2013) と同様, メチレンブルー吸着能はメチレンブルー水溶液 600mg/kg を用い,  $(1 - \text{炭} 0.15 \text{ mg 添加時の濃度} \div \text{初期濃度}) \times 100$  として求め, 比表面積は窒素ガス吸着法で測定した. また, 試験 1 と同様に幼植物による生育阻害軽減能並びにフェノール性物質, プルナシン, ベンズアルデヒドおよび安息香酸を測定した.

## 結 果

### 1. 木炭の検定植物の生育阻害活性低減能とウメ根含有物質吸着能との関係 (試験 1)

生育阻害活性低減能について, 検定植物 (レタス) の根の伸長阻害率は木炭 No1 および No2 が 10% 未満と低く, 活性炭と同程度であった (表 1). 根抽出液中のフェノール性物質, プルナシン, ベンズアルデヒドおよび安息香酸は, 活性炭を添加した区と木炭 No1, 3 および 6 を添加した区において検出されなかった (表 2). 測定した成分のうち, 根水抽出液への木炭添加後の安息香酸量と検定植物の根の伸長阻害率との間には強い正の相関関係がみられた (図 1).

表1 各種木炭、活性炭の連作土への添加と  
検定植物の根の伸長阻害率<sup>2</sup>

根伸長 阻害率(%)		根伸長 阻害率(%)		根伸長 阻害率(%)	
活性炭	5	No12	27	No25	53
<木炭>		No13	34	No26	58
No1	-4	No14	36	No27	63
No2	9	No15	36	No28	65
No3	11	No16	38	No29	67
No4	17	No17	39	No30	69
No5	19	No18	40	No31	74
No6	21	No19	41	No32	81
No7	23	No20	47	No33	84
No8	24	No21	49	No34	86
No9	25	No22	50		
No10	25	No23	51	無添加 <sup>3</sup>	79
No11	26	No24	51		

<sup>2</sup>寒天のみ(土壌無添加)に対する阻害率

<sup>3</sup>土壌を添加し木炭無添加

### 2. 木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 2)

新梢伸長停止率は, 連作土の炭無混和区に比べて木炭を 10% 混和した区および新土の炭無混和で低く推移した (表 3). 総新梢長は, 連作土および新土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で長く, 特に 10% 混和した区で長い傾向であった. 試験終了時点の幹径は, 連作土および新土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で大きく, 特に 10% 混和した区で大きい傾向であった (表 4). 解体時の乾物重は, 新梢, 主幹, 地上部および全体では連作土および新土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で重く, 根幹および地下部では連作土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で重く, 細根では連作土の炭無混和区に比べてヒノキ 900 炭区が重く, 太根では連作土の炭無混和区に比べて 10% 混和した区で重かった (表 5).

表2 根水抽出液への木炭、活性炭の添加後の各成分含量

	フェノール性物質 (mgCE/L) <sup>z</sup>	プルナシン (mg/L)	ベンズアルデヒド (mg/L)	安息香酸 (mg/L)
無処理	140	3.9	0.8	15.6
活性炭	-11	0	0	0.0
<木炭>				
No1	-12	0	0	0.0
No2	78	0	0	1.0
No3	-11	0	0	0.0
No4	110	0	0	13.5
No5	12	0	0	2.7
No6	-10	0	0	0.0
No7	-10	0	0	0.4
No8	-9	0	0	0.1
No9	74	2.4	0.5	3.4
No10	131	5.6	0.9	3.4
No11	47	0	0	12.0
No12	26	0	0	8.7
No13	128	4.3	0.7	8.9
No14	-9	0	0	0.1
No15	67	0	0	12.6
No16	106	4.0	0.6	5.5
No17	137	4.9	0.8	8.1
No18	33	0	0	10.9
No19	61	0	0	6.9
No20	126	3.9	0.7	12.1
No21	-11	0	0	0.1
No22	39	0	0	21.5
No23	30	0	0	0.6
No24	-8	0	0	2.7
No25	123	1.7	0.5	13.8
No26	152	6.0	0.9	13.8
No27	-8	0	0	0.3
No28	61	0	0	12.1
No29	86	0.7	0	13.5
No30	43	0	0	10.9
No31	57	0	0.3	12.6
No32	101	1.5	0.6	14.0
No33	117	2.9	0.5	14.2
No34	61	0.7	0.2	6.2

<sup>z</sup>CEはクロロゲン酸相当量を示す

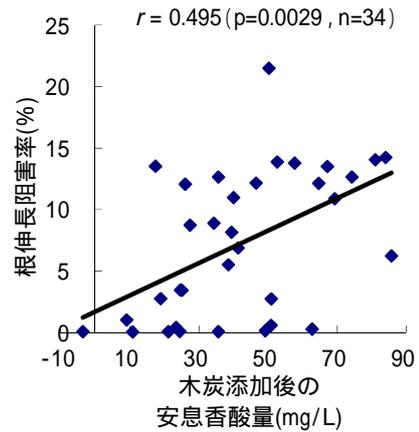


図1 根水抽出液へ木炭添加後の安息香酸量と検定植物の根伸長阻害率との関係

表3 木炭の種類および混和割合とポット植栽樹の新梢伸長

	混和割合 (DW/V)	新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>						総新梢長 (cm)
		5/12	5/19	5/26	6/2	6/9	6/16	
連作土	無混和	93	99	100	100	100	100	615 ± 95 <sup>y</sup> b <sup>x</sup>
	ヒノキ700 炭 <sup>w</sup>	5%	91	96	97	97	98	1399 ± 110 a
	ヒノキ700 炭	10%	34	49	65	65	70	1808 ± 78 a
	ヒノキ900 炭	10%	19	29	36	41	43	1743 ± 65 a
新土	無混和	28	60	64	68	68	79	872 ± 99 b

<sup>z</sup>10cm以上の新梢を対象

<sup>y</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=4-5)

<sup>x</sup>Tukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

<sup>w</sup>温度は炭化温度

表4 木炭の種類および混和割合とポット植栽樹の幹径 (mm)

	混和割合 (DW/V)	2009年		2010年	
		12/15	10/17	10/17	10/17
連作土 無混和		10.8	13.1 ± 0.4 <sup>z</sup>	c <sup>y</sup>	
	ヒノキ700 炭 <sup>x</sup>	5%	10.8	20.4 ± 0.6	b
	ヒノキ700 炭	10%	10.8	22.3 ± 0.4	ab
	ヒノキ900 炭	10%	10.8	23.9 ± 1.1	a
新土 無混和		10.8	15.5 ± 0.5	c	

<sup>z</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=5)

<sup>y</sup>Tukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

<sup>x</sup>温度は炭化温度

表5 木炭の種類および混和割合とポット植栽樹の器官別乾物重(g)

	混和割合 (DW/V)	新梢	主幹	根幹	細根 <sup>z</sup>	太根 <sup>z</sup>	地上部	地下部	全体		
									12/15	10/17	
連作土 無混和		35 d <sup>y</sup>	37 d	34 b	19 b	24 c	72 d	77 c	149 ± 15 <sup>x</sup>	c	
	ヒノキ700 炭 <sup>w</sup>	5%	185 c	89 c	90 a	52 ab	67 abc	274 c	208 ab	482 ± 49	b
	ヒノキ700 炭	10%	259 ab	115 ab	94 a	69 ab	101 a	374 ab	264 ab	638 ± 39	ab
	ヒノキ900 炭	10%	295 a	118 a	95 a	118 a	92 ab	413 a	304 a	718 ± 65	a
新土 無混和		68 d	54 d	56 ab	44 ab	51 bc	122 d	152 bc	273 ± 12	c	

<sup>z</sup>細根は直径0.2cm以下、太根0.2cm以上

<sup>y</sup>Tukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

<sup>x</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=4-5)

<sup>w</sup>温度は炭化温度

### 3. ウメを原料とした木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験3)

新梢伸長停止率は各区間に大差がなく、新梢の1次伸長は新土のウメ徒長枝900炭混和区が連作土のウメ徒長枝900炭区および無混和区に比べて長く、総新梢長は新土のウメ徒長枝900炭区が他の区に比べて長い傾向であった(表6)。解体時点の幹径(乾燥後測定)は、新土および連作土のウメ徒長枝900炭区が連作土の無混和区に比べて大きく、新土の無処理区に比べて大きい傾向であった(表7)。解体時の乾物重は、新梢および地上部では新土のウメ徒長枝900炭が新土および連作土の無混和区に比べて重く、主幹では新土のウメ徒長枝900炭区が連作

表6 新土、連作土へのウメを原料とした木炭の混和とポット植栽樹の新梢伸長

	新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>	新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>						新梢長 (cm)			
		新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>						新梢長 (cm)			
		5/15	5/21	5/27	6/2	6/8	6/14	1次伸長	2次伸長	総新梢長	
新土	ウメ徒長枝900 炭 <sup>y</sup>	68	73	98	99	100	100	773 a <sup>x</sup>	29 a	802 ± 42 <sup>w</sup>	a
	無混和	74	77	98	98	98	99	658 ab	6 a	664 ± 46	a
連作土	ウメ徒長枝900 炭	66	68	92	93	94	97	580 b	89 a	669 ± 33	a
	無混和	65	67	92	95	97	97	588 b	94 a	682 ± 37	a

<sup>z</sup>調査対象は10cm以上の新梢

<sup>y</sup>木炭の混和割合は1.5% (DW/V)

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差あり (n=5)

<sup>w</sup>平均値 ± 標準誤差

土のウメ徒長枝900炭区および無混和区に比べて重く、地下部では新土のウメ徒長枝900炭区が連作土の無混和区に比べて重かった(表8)。全体では、新土のウメ徒長枝900炭区が連作土のウメ徒長枝900炭区および無混和区に比べて重く、連作土の無混和区が他の区に比べて軽い傾向であった。

表7 新土、連作土へのウメを原料とした木炭の混和とポット植栽樹の幹径 (mm)

	2008年	2009年			
		12/17	9/24 <sup>z</sup>		
新土	ウメ徒長枝900 炭 <sup>y</sup>	13.6	13.9	17.4 ± 0.2 <sup>x</sup>	a <sup>w</sup>
	無混和	13.6	13.7	16.4 ± 0.2	bc
連作土	ウメ徒長枝900 炭	13.6	13.8	17.2 ± 0.2	ab
	無混和	13.6	13.5	16.1 ± 0.1	c

<sup>z</sup>9/24は乾燥後に測定

<sup>y</sup>木炭の混和割合は1.5% (DW/V)

<sup>x</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=5)

<sup>w</sup>Tukeyの多重検定により異符号間に1%水準で有意差があることを示す

表8 新土，連作土へのウメを原料とした木炭の混和とポット植栽樹の器官別乾物重(g)

		新梢	主幹	根幹	細根 <sup>z</sup>	太根 <sup>z</sup>	地上部	地下部	全体
新土	ウメ徒長枝900 炭 <sup>y</sup>	72 a <sup>x</sup>	81 a	96 a	34 a	40 a	153 a	170 a	323 ± 8 <sup>w</sup> a
	無混和	53 b	74 ab	96 a	22 a	36 a	126 b	154 ab	280 ± 11 ab
連作土	ウメ徒長枝900 炭	64 ab	71 b	71 a	31 a	33 a	135 ab	135 ab	270 ± 14 b
	無混和	56 b	67 b	62 a	23 a	30 a	123 b	115 b	238 ± 11 b

<sup>z</sup>細根は直径0.2cm以下，太根0.2cm以上

<sup>y</sup>木炭の混和割合は1.5% (DW/V)

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す (n=5)

<sup>w</sup>平均値 ± 標準誤差

#### 4. 連作ほ場における木炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 4)

試験終了時点の幹径は，土壤消毒したヒノキ 700 炭区およびウメ 700 炭区が消毒なしの無混和区に比べて大きかった (表 9)．解体時の乾物重は，新梢および地上部では土壤消毒したヒノキ 700 炭区が土壤消毒なしのすべての区に比べて重かった (表 10)．主幹では土壤消毒したヒノキ 700 炭区が土壤消毒なしの無混和区およびウメ徒長枝 700 炭区に比べて重かった．全体では土壤消毒したヒノキ 700 炭区が土壤消毒なしのすべての区および土壤消毒した無混和区に比べて重い傾向であり，土壤消毒したウメ徒長枝 700 炭区が土壤消毒なしのウメ徒長枝 700 炭区および無混和区に比べて重い傾向であった．

表9 連作土に対する薬剤消毒および木炭の混和と幹径(mm)<sup>z</sup>

		2010年		2011年	
		12/16		11/14	
消毒なし	無混和	11.2		17.0 ± 1.9 <sup>y</sup>	
	ヒノキ700 炭	11.2		18.8 ± 2.3	
	ウメ徒長枝700 炭	11.2		17.6 ± 1.9	
土壤消毒	無混和	11.2		19.9 ± 2.4	
	ヒノキ700 炭	11.2		22.1 ± 2.3	
	ウメ徒長枝700 炭	11.2		21.6 ± 2.6	
有意性 <sup>x</sup>		ns		ns	

<sup>z</sup>木炭の混和割合は2% (DW/V)

<sup>y</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=4)

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定によりnsは有意差がないことを示す

表10 連作土に対する薬剤消毒および木炭の混和と器官別乾物重(g)<sup>z</sup>

		新梢	主幹	根幹	細根 <sup>y</sup>	太根 <sup>y</sup>	地上部	地下部	全体
消毒なし	無混和	79 b <sup>x</sup>	66 b	70 a	20 a	59 a	145 b	149 a	294 ± 81 <sup>w</sup> a
	ヒノキ700 炭	137 b	81 ab	96 a	22 a	83 a	217 b	201 a	419 ± 105 a
	ウメ徒長枝700 炭	109 b	76 b	66 a	24 a	82 a	185 b	171 a	356 ± 83 a
土壤消毒	無混和	181 ab	95 ab	85 a	22 a	94 a	276 ab	202 a	477 ± 123 a
	ヒノキ700 炭	362 a	153 a	89 a	31 a	129 a	515 a	249 a	764 ± 42 a
	ウメ徒長枝700 炭	231 ab	116 ab	116 a	26 a	160 a	346 ab	301 a	648 ± 179 a

<sup>z</sup>木炭の混和割合は2% (DW/V)

<sup>y</sup>細根は直径0.2cm以下，太根0.2cm以上

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す (n=4)

<sup>w</sup>平均値 ± 標準誤差

#### 5. ウメ伐採樹の炭化方法の違いが連作ほ場植栽のウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 5)

試験終了時点の幹径は，土壤消毒なしで炭無混和の区が土壤消毒の有無に関わらずウメ徒長枝 650 炭区に比べて大きい傾向であった (表 11)．解体時の乾物重は，新梢，主幹，地上部および全体では土壤消毒なしのウメ徒長枝 650 炭区が土壤消毒ありの無混和区に比べて軽かった (表 12)．全体重は土壤消毒なしのウメ徒長枝 650 炭区が他の区に比べて軽い傾向であった．土壤消毒ありのウメ徒長枝 650 炭区は土壤消

表11 連作土に対する薬剤消毒，木炭の混和と幹径(mm)<sup>z</sup>

		2012年	
		2/20	11/19
消毒なし	無混和	8.4	21.9 ± 2.5 <sup>y</sup>
	ヒノキ650 炭	8.4	22.0 ± 1.5
	ウメ2年枝650 炭	8.4	20.3 ± 2.6
	ウメ2年枝850 炭	8.4	19.8 ± 1.8
	ウメ徒長枝650 炭	8.4	16.6 ± 1.0
土壤消毒	無混和	8.4	24.7 ± 1.5
	ヒノキ650 炭	8.4	22.7 ± 0.6
	ウメ2年枝650 炭	8.4	23.3 ± 0.4
	ウメ2年枝850 炭	8.4	21.4 ± 0.8
	ウメ徒長枝650 炭	8.4	18.7 ± 0.2
有意性 <sup>x</sup>		ns	

<sup>z</sup>木炭の混和割合は2% (DW/V)

<sup>y</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=3-4)

<sup>x</sup>Tukey-Kramerの多重検定によりnsは有意差がないことを示す

毒なしのウメ 2 年枝 850 炭区およびウメ徒長枝 650 炭区を除くすべての区に比べて軽い傾向であった。

表12 連作土に対する薬剤消毒および木炭の混和と器官別乾物重(g)<sup>2</sup>

		新梢	主幹	根幹	細根 <sup>y</sup>	太根 <sup>y</sup>	地上部	地下部	全体
消毒なし	無混和	253 ab <sup>x</sup>	102 ab	67 a	21 a	136 a	356 ab	223 a	579 ± 156 <sup>w</sup> ab
	ヒノキ650 炭	260 ab	115 ab	85 a	42 a	165 a	375 ab	292 a	667 ± 130 ab
	ウメ2年枝650 炭	238 ab	97 ab	73 a	23 a	194 a	334 ab	290 a	624 ± 178 ab
	ウメ2年枝850 炭	193 ab	93 ab	63 a	17 a	110 a	286 ab	189 a	475 ± 110 ab
	ウメ徒長枝650 炭	92 b	59 b	51 a	14 a	67 a	151 b	131 a	282 ± 53 b
土壌消毒	無混和	363 a	138 a	116 a	24 a	216 a	501 a	356 a	856 ± 134 a
	ヒノキ650 炭	288 ab	113 ab	97 a	31 a	139 a	402 ab	267 a	669 ± 66 ab
	ウメ2年枝650 炭	321 ab	114 ab	95 a	24 a	152 a	435 ab	271 a	706 ± 68 ab
	ウメ2年枝850 炭	285 ab	106 ab	70 a	19 a	145 a	391 ab	234 a	625 ± 71 ab
	ウメ徒長枝650 炭	143 ab	75 ab	56 a	16 a	87 a	219 ab	159 a	378 ± 12 ab

<sup>2</sup>木炭の混和割合は2%(DW/V)

<sup>y</sup>細根は直径0.2cm以下,太根0.2cm以上

<sup>x</sup>Tukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

<sup>w</sup>平均値 ± 標準誤差 (n=3-4)

### 6. 簡易炭化炉で炭化したウメ炭の理化学特性および生育障害軽減効果 (試験6)

炭化温度の最高値は細枝炭でやや低かったものの,各区とも 500 程度にまで達していた(図2)。作出した木炭の理化学特性について,pHは材料の枝が細いほど高く,メチレンブルー吸着能と比表面積は細枝炭,徒長枝炭,太枝炭の順に大きかった(表13)。根抽出液中のフェノール性物質および安息香酸含量は,細枝炭,徒長枝炭,太枝炭を添加した区の順に少なく,プルナシン含量はどの炭を添加した区も検出限界以下であった(表14)。ベンズアルデヒド含量は細枝炭,徒長枝炭を添加した区で検出限界以下であった。検定植物の根伸長障害率は,材料の枝が細いほど低かった(表15)。

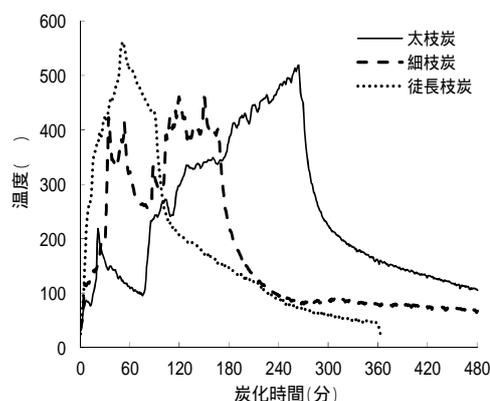


図2 ウメ枝の形状と簡易炭化炉内の温度  
2009年11月に炭化  
炭化炉中央部の高さ10cmで測定

表13 簡易炭化炉で作出したウメの木炭の理化学特性

	pH	メチレンブルー 吸着能	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)
太枝炭 <sup>2</sup>	7.7	10.2	16.8
細枝炭	8.1	21.9	234.9
徒長枝炭	8.6	16.8	105.3

<sup>2</sup>太枝は10~15cm,細枝は10cm以下の1年生徒長枝を除く枝

表14 簡易炭化炉で作出したウメの木炭の根水抽出液への添加後の各成分含量

	ポリフェノール (mg/L)	プルナシン (mg/L)	ベンズアルデヒド (mg/L)	安息香酸 (mg/L)
太枝炭 <sup>2</sup>	73	0	0.24	13.9
細枝炭	14	0	0	3.0
徒長枝炭	28	0	0	8.9
対照(炭無添加)	140	3.94	0.77	15.6

<sup>2</sup>CEはクロロゲン酸相当量を示す

<sup>y</sup>太枝は10~15cm,細枝は10cm以下の1年生徒長枝を除く枝

表15 簡易炭化炉で作出したウメの木炭の連作土への添加と検定植物の根の伸長障害率<sup>2</sup>

	根伸長 障害率(%)
無添加	41
太枝炭	35
細枝炭	10
徒長枝炭	7

<sup>2</sup>寒天のみ(土壌無添加)に対する障害率

## 考 察

筆者らはこれまでに、いくつかの木質系活性炭の土壌への 1%混和がウメの連作障害対策に有効であることを明らかにした(大江ら, 2019a)。活性炭は主に工業に用いられるため高い均質性を備えており高価となるが、連作障害低減用資材としては活性炭ほどの均質性は不要と考えられる。また、和歌山県のウメ産地周辺にはウメをはじめとする果樹の伐採樹やせん定枝、林産廃棄物など未利用の木質資源が豊富にある(玄地ら, 2009)。木炭は消臭、水質浄化、調湿、鮮度保持等の多岐に利用され、農業では通気性や透水性の改善のための土壌改良資材としても有効である(金子, 2009; 西原・元木, 2009; 坂本・谷川, 2008)。そこで、連作障害対策の処理コスト低減や未利用資源活用等を目的に、ウメの生育障害軽減に有効な木炭の作出方法を検討した。

筆者らは、ウメの連作障害には熱に安定的なフェノール性物質が関与していると推察しており(大江ら, 2018, 2019a)、ウメ連作障害対策用の炭資材はフェノール性物質の吸着性が高いものが有効であると判断される。また、レタスを用いた幼植物検定で根の伸長障害軽減能が高い数種の活性炭が、連作土におけるウメ幼木の生育改善にも有効であることを確認している(大江ら, 2019a)。これらのことから、橋本ら(2013)は幼植物検定がウメのアレロパシー活性を評価する指標となり得ると考え、ウメせん定枝や林産間伐材等を原料として炭化温度を変えて木炭を作出し、ウメ根に含まれるフェノール性物質の吸着能やレタスの根長障害軽減能を調査している。その結果、同じ原料でも炭化温度が高い方がフェノール性物質の吸着能およびレタスの根伸長障害軽減能が高い傾向であること、比表面積とフェノール性物質の吸着能、レタスの根伸長障害軽減能と間には正の相関関係があることを明らかにしている。その要因について、同じ原料でも炭化温度が高い方が比表面積が大きく、孔径が小さくなり吸着力が高くなることが知られている(西原・元木, 2009)。今西ら(2006)はスギチップで作成した木炭では、炭化温度が大きいほど比表面積が大きく累積細孔容積が大きい傾向であることを報告している。よって、比表面積や孔径の大きさの違いがフェノール性物質の吸着能に影響したものと判断される。

本試験では他の生育障害物質として、青酸配糖体およびその分解物に対する木炭の吸着性も調査し、数種の木炭は活性炭と同等にそれら物質やフェノール性物質を吸着することが明らかとなった。また、各種木炭の安息香酸吸着能とレタスの根長障害軽減能との間には関係性がみられたことから、安息香酸がレタスの生育障害物質の 1 つとして関与している可能性が示唆された。ただし、本試験の簡易炭化装置で作出したウメ炭の場合において、それらの関係性が強くは認められなかったことから、他の成分の吸着性もウメの生育障害軽減に大きく関与すると考えられ、今後検討する必要がある。

浦田ら(2006)は黒炭窯を用いて雑広葉樹で作成した木炭をメロン栽培土壌に 0.1~0.2%混和した場合に苗木の茎が太くなり根の張りが良くなったと報告している。同様に本試験でも 900 で炭化したウメ徒長枝炭の新土への 1.5%の混和でウメの地上部の生育が良くなった。一方、ヒノキについて石井・門屋(1993a, 1993b)は、オガクズおよび樹皮の水抽出液がイネに対して著しい生育障害作用を示し、それらに含まれるフェノール性物質が関与すること、堆肥化させても生育障害物質のない堆肥を簡便に作ることは難しいことを報告している。南雲ら(2014)は、炭化物によってはフェノール性物質や多環芳香族炭化水素を含み、発芽障害や生育障害を引き起こすものがあるため、竹炭のコマツナの発芽に対する影響を調査し、竹炭には発芽障害を引き起こすほどのフェノール性物質や多環芳香族炭化水素は含まれないと結論づけている。本試験で 700 以上の温度で炭化

したヒノキ炭は土壤に10%混和してもウメに対する生育阻害作用を示さなかったことから、竹炭と同様、このようなヒノキ炭にはウメの生育に影響するほどのフェノール性物質等の生育阻害物質は含まれないと推察される。一方、650 で炭化したウメ徒長枝炭の混和により生育が抑制された。この要因がフェノール性物質等の残存によるかどうかは不明で、生育阻害を引き起こさなかったウメ炭に比べて小さい比表面積が影響している可能性も考えられるが、ウメに木炭を用いる場合には作出条件にも注意する必要があると判断される。

木炭は肥料成分の吸着や供給にも関与しており、菊池ら(2010)は水への木炭の添加量を変えて水抽出液を作成してコマツナに与えたところ、木炭の添加量が多いと生育が阻害され、炭化物から抽出された高濃度の陽イオンが要因であると報告している。今野・西川(1993)はコマツナおよびダイコンに木炭を施用した場合、炭化温度が高いものほど植物体への窒素吸収が抑制され、その要因が木炭への窒素の吸着固定によると報告している。一方、カリウムについては木炭中の可給体カリウム含量が反映され、木炭施用により吸収量が増加すると報告している。また、ハウレンソウにおいて、木炭の無機態窒素保持能により窒素利用率が向上することが知られている(平田,1996)。しかし、塚越ら(2005)は、ナシせん定枝の炭化物は硝酸態窒素の流亡を抑える作用を示したものの、コマツナの生育にほとんど影響しなかったと報告している。このように肥料成分の吸着性や植物生育への影響は多様であり、要因として木炭の作出条件が関与するのではないかと考えられる。そこで、城村ら(2014)は原料および炭化温度を変えた木炭の肥料成分の吸着特性を調査し、原料によってやや異なるものの、800~900 程度の高温で炭化した場合に窒素成分等の吸着率が高くなる傾向であることを報告している。このことから、高温で炭化した木炭の肥料成分の吸着性はウメの生育に影響すると考えられたが、本試験において900 で炭化したヒノキ炭を土壤に10%混和してもウメに対する生育阻害作用を示さなかったことから、適量の施肥を行えば肥料成分吸着による生育への影響はないと判断される。

筆者らは、土壤消毒と木質系活性炭の1%混和の併用処理がそれらの単独処理に比べて連作障害低減により有効であることを明らかにしている(大江ら,2019b)。本試験で、連作土を土壤消毒して700 で炭化したヒノキ炭を2%混和することで生育改善される傾向が認められ、活性炭と同様にウメの連作障害対策に利用できることが明らかとなった。

次に、連作障害軽減に有効な木炭を簡易に作出する方法を検討した。石井(2008)はステンレス製の薄板で組み立てた簡易炭化炉でモウソウチクを材料として炭化を行い、固定炭素率の高い炭を製造できるとしている。そこで、この簡易炭化炉の約200L容量および約700L容量のものを用いてウメの枝を炭化したところ、ウメの生育に対する効果は確認していないが、直径10cm以下の枝を原料とすれば比表面積が大きく、ポリフェノールや安息香酸といった生育阻害物質の吸着能が高く、レタスの根伸長阻害軽減能を有する木炭が作出できることが明らかとなった。

以上のことから、土壤消毒とウメまたはヒノキ木炭の2%混和との併用により、連作土に定植したウメ幼木の生育改善効果が確認された。一方で、炭化条件によっては養分吸着および生育抑制の悪影響がみられ、ウメに木炭を用いる場合には作出条件に注意する必要があると判断された。

## 摘 要

本試験では未利用資源を原料とした連作障害対策に有効な木炭の作出方法を検討した。

1. 数種の木炭は活性炭と同等に青酸配糖体およびその分解物並びにフェノール性物質を吸着した。

2. 土壌消毒とウメまたはヒノキ木炭の2%混和との併用により、連作土に定植したウメ幼木の生育改善効果が確認された。
3. 炭化条件によっては養分吸着および生育抑制の悪影響がみられ、ウメに木炭を用いる場合には作出条件に注意する必要があると判断された。

## 引用文献

- 玄地 裕・鳥飼 仁・梶本武志・請川孝治. 2009. 和歌山県における果樹剪定枝を利用したバイオマス燃料システム. 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集: 238-239.
- Gur, A. and Y. Cohen. 1988. Causes of soil sickness in replanted peaches: 1. The role of cyanogenesis in peach soil sickness. *Acta Hort.* 233: 25-31.
- 濱口隆章・阪本勝則・梶本武志・大谷慶人. 2006. 各種木質炭化物のメチレンブルー吸着特性. 日本木材学会中国・四国支部第18回研究発表会要旨集: 24-25.
- 橋本千賀子・大江孝明・水口裕介・西原英治. 2013. 連作障害対策のためのウメ園地改植方法の検討 - 各種木質系炭化物(バイオ炭)の評価 -. *木質炭化誌*. 9: 75-81.
- 平野 暁. 1977. 作物の連作障害. *農文協*. 101-108.
- 平田 滋. 1996. 木炭の硝酸態窒素保持機能. *農業技術体系. 土壌肥料編*. 第7巻 pp. 156の1-8. *農文協*. 東京.
- 本間知夫・馬場純子. 2014. 梅の種の炭化による有効活用法の検討. *前橋工科大研究紀要*. 17: 27-29.
- 今西隆男・松岡良昭・幾井垂弓・吉岡祐一・甲斐登紀雄. 2006. 大型電気加熱炭化炉による杉チップの炭化. *木質炭化学誌*. 3: 45-52.
- 石井 哲. 2008. 簡易軽量炭化炉及び炭化技術の開発. *岡林試研報*. 24: 45-55.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1993a. カラタチおよびイネの生長に及ぼすスギならびにヒノキ材中の生育障害物質について. *園学雑* 62: 285-294.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1993b. カンキツ園の土壌改良資材としてのスギ樹皮およびヒノキ樹皮の利用に関する研究. *園学雑* 62: 295-303.
- 城村徳明・大江孝明・橋本千賀子・西原英治・水口裕介・武田知明. 2014. 未利用資源を原料としたウメの連作障害炭の開発. *園学研*. 13(別1): 286.
- 亀山幸司・塩野隆弘・宮本輝仁・凌 祥之・上野正実・川満芳信・小宮康明. 2015. 地域バイオマス利活用システム[5] - 地域実証事例2 宮古島バイオマスプラント -. *農及園*. 90: 481-488.
- 金子文宜. 2010. 炭化技術による物資循環の適正化 - 炭化物の特性を活かした農業利用の事例紹介 -. *農及園*. 84: 144-153.
- 菊池弘貴・田中理子・吉澤秀治. 2010. コマツナ発芽・生育に対する炭化物の促進・阻害要因. *木質炭化学講演集*. 8: 24-25.
- 今野一男・西川介二. 1993. 炭化条件の異なる各種木炭粉の施用が畑作物の生育・養分吸収に及ぼす影響. *土肥誌* 64: 190-193.
- 水谷房雄. 1979. モモのいや地に関する研究(第2報)根に含まれる生育抑制物質としての縮合性タンニンについて. *園学雑*. 48: 279-287.
- Mizutani, F., R. Hirota and K. Kadoya. 1988. Growth inhibiting substances from peach roots and their possible involvement in peach replant problems. *Acta Hort.* 233: 37-43.

- 元木 悟・西原英治・平舘俊太郎・藤井義晴・篠原 温. 2006. 新規に開発した手法を利用したアスパラガス根圏土壌のアレロパシー活性測定. 園学研. 5: 443-446.
- 南雲俊之・安藤真奈美・森 智郁. 2014. 竹炭の成分組成から見た土壌改良資材としての特徴. 土肥誌 85: 37-42.
- 西原英治・元木 悟. 2009. 活性炭の農業利用 - 土地浄化の新技术 - . pp. 21-28, 61-63. 農文協. 東京.
- 大江孝明・岩尾和哉・細平正人・菅井晴雄. 2003. ウメ・南高'幼木の成長に及ぼす根含有成分の影響. 和歌山県農林水技セ研報. 4: 23-32.
- 大江孝明・城村徳明・西原英治・水口裕介・岡室美絵子. 2019a. ウメの連作障害に関する研究(第2報)ウメ連作土への活性炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響. 和歌山県農林水研報. 7: 107-118.
- 大江孝明・城村徳明・岡室美絵子・西原英治. 2018. ウメの連作障害に関する研究(第1報)ウメ連作土壌および根含有成分の生育阻害作用の評価. 和歌山県農林水研報. 6: 51-59.
- 大江孝明・下 博圭・武田知明・城村徳明・和中学. 2019b. ウメの連作障害に関する研究(第3報)ウメ連作土に対する土壌消毒, 活性炭混和並びにそれらの併用処理がウメ幼木の生育に及ぼす効果. 和歌山県農林水研報. 7: 119-127.
- Ohigashi, H., S. Minami, H. Fukui, K. Koshimizu, F. Mizutani, A. Sugiura and T. Tomana. 1982. Flavanols, as plant growth inhibitors from roots of peach, *Prunus persica* Batsh. cv. 'Hakuto'. Agric. Biol. Chem. 46: 2555-2561.
- 大坪孝之・池田富喜夫. 1994. ウメ種子に含まれる青酸配糖体の消長. 園学雑. 62: 695-700.
- 坂本 清・谷川法聖. 2008. リンゴせん定枝炭化資材の施用がリンゴ苗木の生育及び土壌に及ぼす影響. 園学研. 7(別2): 133.
- 寺田久屋・山本勝彦. 1992. 高速液体クロマトグラフィーによる梅加工食品中のシアン配糖体, ベンズアルデヒド及び安息香酸の同時定量法の検討. 食衛誌. 33: 183-188.
- 塚越 覚・吉本葉子・佐藤玲子・篠山浩文・野田勝二・野間 豊. 2005. 炭化したナシ剪定炭の野菜栽培用土としての有効利用. 園学研. 4: 287-290.
- 浦田光雅・及川洋征・神田修平・石川駿二・伊藤発郎・藤田 勝・福田清春. 2006. メロン栽培に及ぼす土壌への木炭混入効果. 木質炭化学誌. 3: 23-28.

# 花芽の温度要求性モデルを利用したウメ ‘南高’ における開花期 予測簡易プログラムの実装

北村祐人<sup>1</sup>・沼口孝司・仲 慶晃<sup>2</sup>

和歌山県果樹試験場うめ研究所

## Application of a Simple Blooming Time Prediction Program Using Development Rate Models for Temperature Requirements of Japanese Apricot ‘Nanko’ Flower Buds

Yuto Kitamura, Koji Numaguchi and Yoshiaki Naka

*Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experimental Station, Wakayama Prefecture*

### 緒 言

ウメ (*Prunus mume* Sieb. & Zucc.) は落葉果樹の中で最も早い, 2 ~ 3月のまだ寒さの厳しい時期に開花期を迎える。国内最大のウメ生産地である和歌山県における主要品種 ‘南高’ は自家不和合性を有し, 結実には開花期における訪花昆虫の活動が不可欠である (三宅ら, 1995)。しかし, 開花期の気象条件によっては昆虫の活動が不十分となり, 結実率が低下する原因となる。また和歌山県のウメ生産園地は梅林としての観光資源でもあり, 開花期の情報は地域経済的にも大きな価値のあるものである。

さらに将来的な気候変動によって, 開花・萌芽期や果実成熟期, 果実品質など, 果樹生産の性質が徐々に変化することが予測されている (Sugiura ら, 2012)。このような変化は果樹の栽培適地にも影響し, 従来の産地における大きな経済的損失が懸念される。そこで, 果樹生産にどのような変化がどの程度のレベルで生じうるかを定量的に予測することは, 気候変動対策の一環としても極めて重要な課題であると考えられる。

ウメの開花に関しては, これまでもあらかじめ開花期を予測する試みが行われており, 温度変換日数法による開花期の推定などが評価されてきた (青野・佐藤, 1996)。また筆者らは, 人工的な温度処理実験によって, 温度ごとに単位時間あたりの休眠覚醒量を数値化する, いわゆる発育速度 (DVR) モデル (堀江・中川, 1990) を用いた開花期予測を実施した (Kitamura ら, 2017)。その結果, 和歌山県みなべ町内数地点における ‘南高’ の開花期を実用的なレベルの誤差で予測できるモデルを構築することができた。本研究では, その予測モデルを実際の生産現場で運用するために, 気温データ収集の簡便化と予測プログラムの作成を試みたので報告する。

### 材料および方法

#### 1. 気象データの取得

本研究は 2015 年度から 2017 年度までのデータを用いて行った。果樹試験場うめ研究所内の代表

<sup>1</sup>現在：和歌山県農林水産部農林水産政策局食品流通課

<sup>2</sup>現在：和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課

的なウメ‘南高’1樹に記録温度計(おんどとり Jr. TR-51A, T&D 製)を設置し、毎時の気温を記録した。また、うめ研究所に設置された気象観測装置により毎日の最高気温および最低気温を記録し、それらの両気温を用いて、以下の計算式により毎時の気温を推定した(藤巻ら, 1999 を一部改変)。

4:00 から 13:00 までの場合

$$T(t) = (T_{max} - T_{min}) \cdot \sin \frac{\pi t}{2(t_{max} - t_{min})} + T_{min}$$

14:00 から 3:00 までの場合

$$T(t) = -(T_{max} - T_{min}) \cdot \sin \frac{\pi t}{2(t_{min} - t_{max})} + T_{max}$$

$T(t)$ : 毎時の推定気温,  $T_{max}$ : 該当日の最高気温,  $T_{min}$ : 該当日の最低気温,  $t$ : 時間コード(4:00 を 0 として 13:00 まで 0~9, 14:00 を 0 として 3:00 まで 0~13),  $t_{max}$ : 最高気温を観測した時間,  $t_{min}$ : 最低気温を観測した時間

なお、簡便のため本式では、最高気温は毎日 14:00、最低気温は毎日 4:00 に観測したものと仮定した。また、気象観測装置の故障に伴い、2016 年 11 月および 12 月における毎日の最高最低気温は記録温度計のデータから抽出して使用した。

## 2. 実測気温および推定気温を用いた予測開花期

上記の記録温度計による毎時気温および、推定式により算出した毎時推定気温を Kitamura ら(2017)の開花モデルに当てはめ、各年度における‘南高’の開花期予測を行った。すなわち、毎年 11 月 1 日 0:00 を起算日として低温要求量の発育速度( $DVR_{endo}$ )の計算を開始し、自発休眠覚醒の発育指数( $DVI_{endo}$ )として積算した。次に  $DVI_{endo}$  値が 0.5 となった時点高温要求量の発育速度( $DVR_{eco}$ )の起算日とし、他発休眠覚醒すなわち開花に向けた発育指数( $DVI_{eco}$ )積算を行った。この  $DVI_{eco}$  値が初めて 1 を超えた時点予測開花日とみなすが、既報ではこの予測モデルは成木における開花始期とよく合致するように最適化されている。

加えて、記録温度計を設置した‘南高’1樹の開花始期(開花率が全体の約 20%を超えた日)を記録し、予測開花期と比較した。

## 3. 簡易開花期予測プログラムの作成

Microsoft Excel を用い、10 月 31 日以降毎日の最高最低気温を逐次入力することで、11 月 1 日午前 0 時以降毎時の推定気温を自動的に算出して、それぞれの気温を‘南高’花芽の  $DVR$  値( $DVR_{endo}$  および  $DVR_{eco}$ )に変換して積算し( $DVI_{endo}$  および  $DVI_{eco}$ )、さらに  $DVI_{eco}$  値が 1 となった日付を自動で表示する関数を設定した。

## 結果および考察

### 1. 実測気温と推定気温との誤差

記録温度計により測定した気温と、最高最低気温のみから推定した気温は、概ね同じような推移を示した(図1)。ただし、推定気温の方が実測気温よりも低く算出される時間帯が時折みられ、これは記録温度計と気象観測装置との間で低温域の検出能力に差がある可能性を示唆している。また、推定気温は最低気温と最高気温との間の温度を正弦関数近似によりまんべんなく収集するが、実際は日によって最高気温付近の温度が長く続くことや、雨天時には午前中よりも午後の方が気温が低くなるといったことも起こりうるため、そのような場合にも両気温間に若干の誤差が生じることになる。

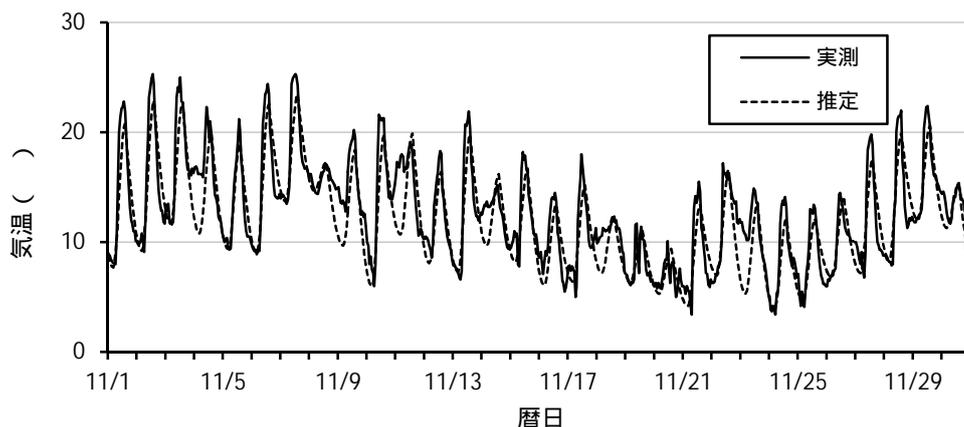


図1 記録温度計による実測気温と近似式による推定気温の推移(2017年11月の例)

## 2. 推定気温による開花期予測精度の検証

2015, 2016年度においては、推定気温に基づいた予測開花期は実測気温に基づくものと大きな差はなく、実際の開花期とも近い日付を示した(表1)。2017年度は、推定気温による予測において実測気温との間でやや大きな差(8日)が生じたが、実際の開花期とは比較的近い日付を示した。

各年度における  $DVI_{endo}$  および  $DVI_{eco}$  の積算値の推移を図2に示す。2015年度は  $DVI_{endo}$  および  $DVI_{eco}$  とともに実測気温と推定気温間で大きな乖離なく蓄積していることが見て取れる。2016年度は11月上中旬の両気温間でやや差が生じたために  $DVI_{endo}$  の蓄積速度には影響が出たが、その後の推移で  $DVI_{eco}$  の起算日はほぼ同じとなり、両気温も大きな差がなかったため、結果として予測開花期にも大きな差が生じなかったと考えられた。これらに対して2017年度は、 $DVI_{endo}$  の蓄積および12月下旬までの  $DVI_{eco}$  の蓄積には両気温間で差がほとんどなかったものの、それ以降の気温の推定においてやや大きな差が生じたことが、予測開花期のズレにつながる原因であった。

これらの結果からは、実際の開花期との比較で評価すれば推定気温による開花期予測は実用的な利用に耐えうるものと期待できる。将来的な予測地域の広範囲化も想定すると、毎時の気温を近似式により推定する手法は必須のものである。ただし、今回は直近3か年のみの検証に留まっており、

表1 実際の開花日と予測開花日との比較

年度	開花日	
	実測 <sup>z</sup>	予測 実測気温 推定気温 <sup>y</sup>
2015	2/4	2/5 2/8
2016	2/16	2/10 2/14
2017	2/21	2/16 2/24

<sup>z</sup> 樹全体の約20%が開花した日

<sup>y</sup> 2016年11~12月の推定気温は、記録温度計の最高最低気温を抽出して算出(気象観測装置故障のため)

今後さらに検証を重ねて実用性を判断していく必要がある。

ウメは例年2月中には開花を迎え、秋季の自発休眠導入期から起算すると開花までの期間が最も短い果樹の一つであるとともに、自発休眠深度すなわち自発休眠覚醒に必要な低温要求量も小さい。同様の発育速度モデルによる開花期予測はニホンナシなどでも試みられているが(杉浦ら, 1991; 杉浦・本條, 1997), ニホンナシと比較すると、ウメにおける単位時間当たりのDVR値は相対的に大きくなる。総発育期間が短いことは誤差の蓄積頻度が小さくなることでもあるが、一つ一つの気温が反映するDVR値の誤差の大きさが、推定気温を用いたときの予測開花日のズレを生み出す一因であると推測される。

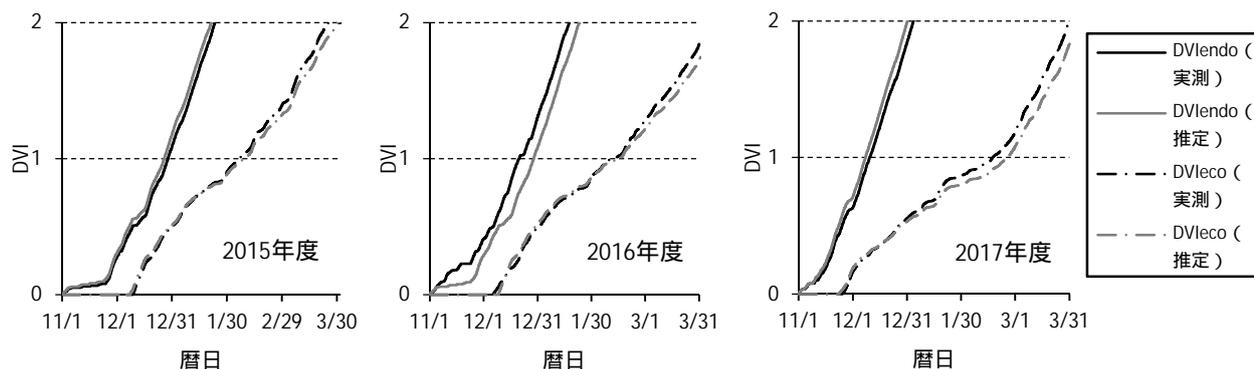


図2 実測気温および推定気温をもとにしたDVI値の積算推移

### 3. 開花期予測簡易プログラムの利用

本研究で構築した開花期モデルをできるだけ簡便に実際の予測に用いるため、Microsoft Excelによる実行ファイルを作成した(図3)。DVR<sub>endo</sub>値の起算日となる11月から、遅くとも開花が終了する3月までの毎日の最高最低気温セルを設け、ここは手動で数値を入力することとしている(実際には10月31日から4月1日までの気温が必要)。これらを入力してしまえば、あとは上記の近似式に基づいて自動的に毎時の推定気温を返し、DVR算出式に従って毎時のDVI積算まで行うことができ、DVI<sub>eco</sub>値が1を初めて超えた日付が予測開花日のセルに表示される。

ただし実際に予測に用いる際には、当然予測を行う日までの気温しか明らかになっていないため、それより先の未来の気温は平年値などの気温を用いることになる。それらの気温は、気象庁の長期予報などを参考にして、「平年値+1」や「平年値-2」といった修正を施して入力することも可能である。したがって、当年度の予測値を計算するのは、ある程度入力すべき実際の気温データがそろった時点、具体的には平年の自発休眠覚醒時期にあたる12月下旬頃から予測を始めることが現実的である。その際には、「今後の気温が平年並みに推移すれば」などの条件下で予測開花日が計算されることになる。

同様の開花予測プログラムは栃木県および千葉県の子ナシや福島県の子モモ・リンゴなどでも利用されている(大谷, 2006; 戸谷・川瀬, 2013; 安達ら, 2018)。これらに比べると、今回作成したウメ「南高」の予測モデルはやや大きな誤差の可能性を内包しているが、事前の開花期情報の提供は、作柄の予測や授粉対策の必要性など、果実生産上も有益なものとなりうる。さらには、「南高」の授粉用品種にも本モデルを拡張することができれば、より開花期予測を有効活用することが可能となる。そのため、今後の研究においては各授粉用品種に関しても休眠期の温度反応性の定量およびモデル化が求められる。

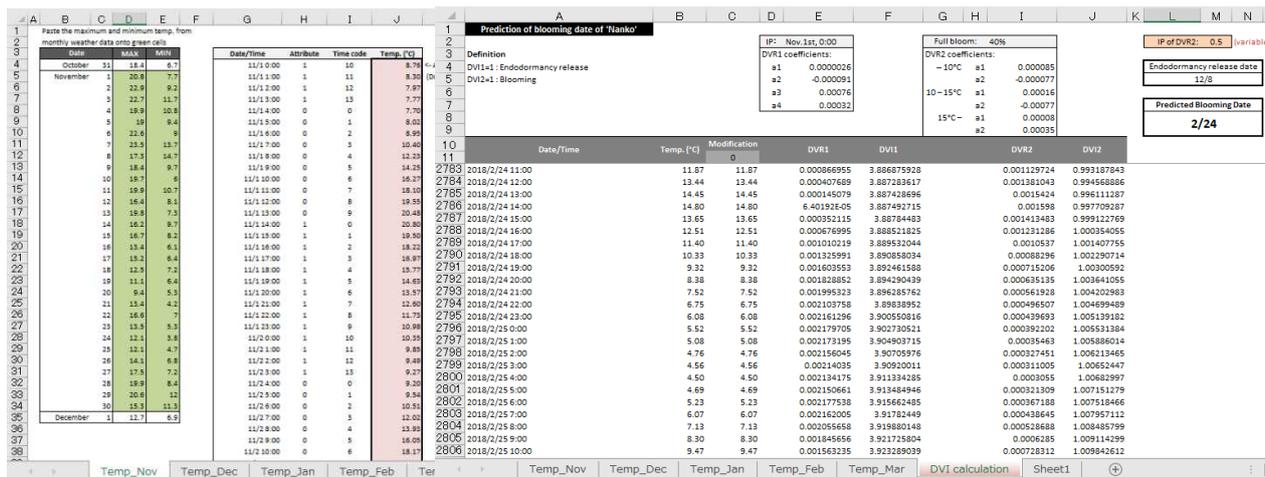


図3 ウメ‘南高’の簡易開花期予測ファイルの実行画面

注) 各日の最高最低気温を入力すると(左画面緑色セル), 毎時の推定気温が表示される(左画面桃色セル). それらの気温は DVI 積算シート(右画面)に入力され,  $DVI_{eco}$  が 1 を超えた時点の日時の日付部分が予測開花日として表示される(本図では 2/24 と表示)

## 摘要

本研究では, ウメ‘南高’の開花期予測モデルの簡易化を検証するとともに, 予測プログラムの作成を行った.

1. 近似式によって毎時気温を推定することで, 気温データ収集の簡便化を図った.
2. 推定気温を用いることで, ウメ‘南高’の開花期を実際の開花期と大きな誤差なく予測することができた.
3. Microsoft Excel による簡易な開花期予測プログラムを作成した.

本研究の遂行にあたり, 観測樹およびほ場の維持管理に尽力していただいた和歌山県果樹試験場うめ研究所の歴代職員諸氏に深く感謝の意を表す.

## 引用文献

- 安達義輝・志村浩雄・額田光彦・斎藤祐一・桑名 篤・安部 充. 2018. 温暖化傾向における果樹の発育速度 (DVR) モデルの検証. 福島農総セ研報. 9: 11-22.
- 青野靖之・佐藤和美. 1996. 休眠解除過程を考慮した西日本におけるウメの開花日の推定. 農業気象. 52: 125-134.
- 藤巻伸一・本永尚彦・松本辰也. 1999. ナシ「幸水」の開花期予測法. 新潟農総研研報. 1: 49-50.
- 堀江 武・中川博視. 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 日作紀. 59: 687-695.
- Kitamura, Y., H. Yamane, A. Yukimori, H. Shimo, K. Numaguchi and R. Tao. 2017. Blooming date predictions based on Japanese apricot 'Nanko' flower bud responses to temperatures during dormancy. HortScience 52: 1-5.
- 三宅正則・山口正己・土師 岳. 1995. ウメの自家和合性に関する研究. 園学雑. 64 (別 2): 116-

117 .

大谷義夫 . 2006 . 気象生態反応に基づくニホンナシの開花予測 . 栃木農試研報 . 58 : 7-16 .

杉浦俊彦・本條 均 . 1997 . ニホンナシの自発休眠覚醒と温度の関係解明およびそのモデル化 . 農業気象 . 53 : 285-290 .

杉浦俊彦・小野祐幸・鴨田福也・朝倉利員・奥野 隆・浅野聖子 . 1991 . ニホンナシの自発休眠覚醒期から開花期までの発育速度モデルについて . 農業気象 . 46 : 197-203 .

Sugiura, T., H. Sumida, S. Yokoyama, and H. Ono. 2012. Overview of recent effects of global warming on agricultural production in Japan. JARQ. 46: 7-13.

戸谷智明・川瀬信三 . 2013 . 生育予測生育予測モデルに基づくニホンナシ開花予測システムの開発 . 千葉農林総研研報 . 5 : 11-17 .

# シカ採食防止資材によるウバメガシ萌芽の保護効果

山下由美子・法眼利幸・濱田さつき<sup>1</sup>・坂口和昭・坂本淳

和歌山県林業試験場

**Protective effect of *Quercus phillyraeoides* sprouting by deer forage prevention material**

Yumiko Yamashita, Toshiyuki Hougen, Satsuki Hamada, Kazuaki Sakaguchi and Jun Sakamoto

*Wakayama Prefecture Forestry Experiment Station*

## 緒 言

和歌山県の白炭生産量は 1146t と全国生産量の 35% を占めており、生産額は 6.4 億円にのぼっている（和歌山県，2019）。紀州備長炭の原木にはウバメガシが主に利用されているが、近年、ウバメガシ伐採株から生じた萌芽へのニホンジカ（以下、シカとする）の食害がみられるようになってきた。紀南地域では、シカによる採食によって伐採後に株が枯死し、ウバメガシの萌芽更新による循環利用が阻害される事例が散見される。そこで、物理的に萌芽の採食を防ぐ方法を検討するため、伐採した株（以下、株とする）の萌芽保護資材に必要な柵の高さと設置期間、採食防止資材による萌芽の保護効果について検討した。

## 材料および方法

### 1. 柵の高さと設置期間に関する試験

調査は東牟婁郡串本町のウバメガシ林伐採地で行った。この林地は 2009 年 10 月から 12 月にかけて約 0.18ha が伐採されている。萌芽を保護する資材に必要な柵の高さを明らかにするため、伐採後の 2010 年 3 月に、高さ 1.8m の防護柵（高さ 2.1m の農業用鋼管 [ 径 22mm ]）に目合 10cm 編み目のネットを針金で連結させ小面積（0.026ha）を囲んだ区（1.8m 柵高区）、長さ 1.3m の竹杭や小径木の杭に 1m 幅の防虫ネットを針金で連結させ株を囲んだ区（1m 柵高区）、無処理区を設けた。各区の株数は 1.8m 柵高区で 17 株、1m 柵高区で 7 株、無処理区で 3 株である。株の調査は、株の生死、最大萌芽長を記録した（2010 年 3 月）。その後、伐採 1, 3, 5, 6 年後の 6 年間にわたって追跡調査を行い、株の生死、最大萌芽長を記録した。また、柵の設置期間を検討するため、伐採後 5 年間設置した柵を撤去し（2015 年 11 月、平均最大萌芽長 1.5m）、撤去から 1 年後（2017 年 1 月）の食害状況や株の生死と最大萌芽長を調査した。

### 2. 採食防止資材による萌芽の保護効果試験

調査は伐採直後の 2 林分（田辺市秋津川、すさみ町江住）と伐採から 2 年経過した 1 林分（田辺市秋津川）の合計 3 林分で実施した。以後、3 調査地を田辺 X、すさみ、田辺 Y とする。各調査地に

<sup>1</sup>現在：退職

において保護資材の異なる3処理区を設け伐採した株に施工した(図1)。表1に各調査地の株数を示す。メタルラス区は建築資材のメタルラス(鉄製,幅0.6m×長さ1.8m,重さ350g)で株の周りを囲い,地面に小枝でラスを固定した。枝積み区は直径3cmほどの雑木の枝を3本やぐら状に組み,紐で固定したところに葉のついた枝を下向きに立てかけた。簡易枝積み区は枝1本を支柱として地面に打ち込み,葉のついた枝を支柱に差し込むように積んだ。各処理区において,資材設置にかかった時間を計測した。2016年10月に,処理前の株の生育状況調査を行った。株を構成する伐根の調査は,伐根径と伐採高を記録した。萌芽の調査は萌芽長(株内の上位3本),萌芽数ランク(1株あたり萌芽21本以上,6~20本,1~5本,0本)を記録した。さらにシカの食害度(食害度0~5の6段階,図2)を記録した。処理1年後(2017年10月),2年後(2018年11月)に追跡調査を行い,処理区の破損状況,株の生死と萌芽長(上位3本),萌芽数ランクを測定した。処理区の破損状況については,破損なし,少し破損(元の形が少し崩れている),半壊(資材は残っているが大きく崩れている),全壊(元の形がほとんどない)の4段階で評価した。

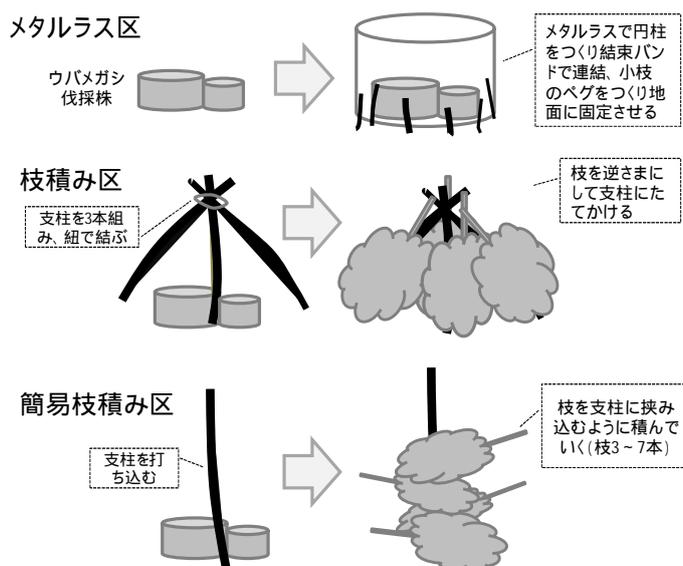


図1 シカ採食防止資材試験における各処理区の概要

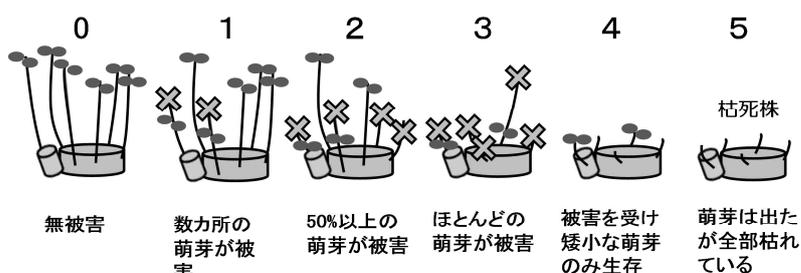


図2 ウバメガシ萌芽のシカ食害度(0~5)

表1 シカ採食防止資材試験における処理前のウバメガシ伐採株の状況

調査地名	田辺X					すさみ					田辺Y				
	調査株数	平均伐根数	平均伐根径	平均伐採高	萌芽数/株が21本以上の株	調査株数	平均伐根数	平均伐根径	平均伐採高	萌芽数/株が21本以上の株	調査株数	平均伐根数	平均伐根径	平均伐採高	萌芽数/株が21本以上の株
メタルラス区	8	3.3	17.9	10.8	3	8	3.8	13.4	6.6	6	12	1.8	21.8	15.8	9
枝積み区	8	3.5	22.4	10.6	3	8	4.0	16.6	9.3	8	10	1.6	21.9	16.6	7
簡易枝積み区	8	2.9	18.0	9.1	1	8	3.4	14.6	6.3	8	-	-	-	-	-
無処理区	8	3.1	17.3	10.7	4	8	3.0	13.3	7.8	7	12	1.8	21.8	18.3	6

### 3. 萌芽状態の違いによる萌芽の保護効果試験

試験2で調査した林分において,シカ採食後に萌芽がどの程度残存している株を保護すれば,萌芽が再生する可能性があるか検討するため調査を行った。処理前と処理1,2年後に株活性度(株全体的に萌芽が多い,株の1/3~1/2の部分で萌芽が多い,萌芽がまばらにしかみられない,生存萌芽が少なく枯死しかけている)を記録し,処理方法や伐採後の経過年数の違いが萌芽の活性に及ぼす

影響を評価した。

## 結果及び考察

### 1. 柵の高さと設置期間に関する試験

伐採後の株の生存率は、いずれの処理区も伐採直後に比べて減少していた(図3(a))。1.8m柵高区、1m柵高区の生存率は、伐採6年後に30%~40%であったのに対し、無処理区は伐採3年後にすべての株が食害により枯死した。生存株の最大萌芽長の経年変化を図3(b)に示す。1.8m柵高区の最大萌芽長の平均は、伐採1年後に43cm、5年後に175cm、1m柵高区は伐採1年後に54cm、5年後に146cmと増加したが、処理区間で違いはみられなかった(マン・ホイットニーのU検定、 $P>0.05$ )。現地での観察ではウバメガシ萌芽の採食は当年葉に多く、前年葉ではあまりみられなかった。また、ウバメガシの萌芽成長はクヌギなどの萌芽成長に比べて極めて遅いことから(松村・中屋, 2016)、萌芽発生時と翌年の当年葉を防除することのできた1.8m柵高区と1m柵高区において、以降の成長に必要な葉量の確保につながったのではないかと考えられた。以上から、ウバメガシの萌芽を保護する場合、スギ・ヒノキ植栽時に用いられる高さ1.8mの獣害防護柵を小面積で設置するという方法でも、高さ1m程度の資材で株を囲う方法でも株を保護できる可能性があることが分かった。よって、施工する現場に応じて面的防除、単株防除のいずれかを選択するとよいと考えられた。

伐採5年後にすべての柵を撤去したところ、1m柵高区でコシダの被圧により枯死した2株を除いて、株の生存率と最大萌芽長にシカの採食の影響はみられなかった(図3)。このことから、柵の設置期間は伐採後5年程度で株内最大萌芽長が1.5mに到達したか否かを目安にできると考えられた。

### 2. 採食防止資材による萌芽の保護効果試験

採食防止資材の設置に要した時間は、枝積み区>メタルラス区>簡易枝積み区の順に長かった(表2)。処理前の食害度はすさみ>田辺Y>田辺Xで、処理1年後もこの傾向が続いていた(表3)。特に、すさみでは処理後も激しい食害が続いていることが分かった。田辺Xとすさみのシカの行動を調べた報告では、トレイルカメラのべ撮影頭数はすさみで770頭(撮影期間2016年8月~2017年9月)、田辺Xで177頭(撮影期間2016年9月~2017年7月)とすさみで多かった(法眼・山下, 2018)。また、ウバメガシ萌芽の

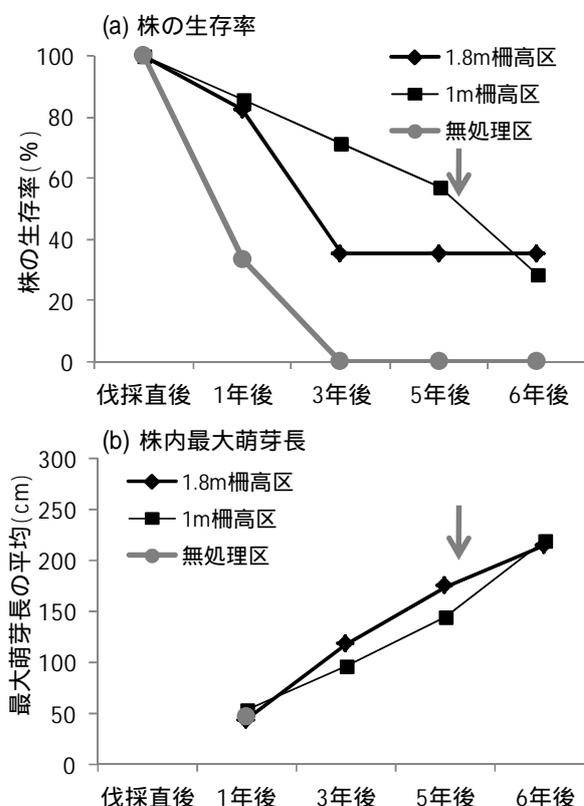


図3 ウバメガシ伐採株の生存率(a)、株内最大萌芽長の平均(b)の経年変化  
注) 矢印はシカ採食防止資材を撤去した時期を示す。

表2 採食防止資材の1株あたりの設置に要した時間

処理区	調査地(平均設置時間/株)		
	田辺X	すさみ	田辺Y
メタルラス区	3分8秒	2分58秒	2分24秒
枝積み区 <sup>2</sup>	4分10秒	5分27秒	7分21秒
簡易枝積み区 <sup>2</sup>	1分12秒	1分6秒	-

<sup>2</sup> 枝積みは、枝を準備してからの時間

食害発生状況には地域差があり，田辺市に比べてすさみ町でシカ食害度が高いことが報告されている（山下ら，2020）．本調査もこれらと同じ結果であった．

表3 シカ採食防止資材試験における処理前と処理1年後のウバメガシ萌芽の平均シカ食害度<sup>2</sup>

処理区	田辺X		すさみ		田辺Y	
	処理前	処理1年後	処理前	処理1年後	処理前	処理1年後
メタルラス区	0.6	0	3.0	1.4	2.8	0.3
枝積み区	0.3	0	3.4	4.0	2.6	0.3
簡易枝積み区	0.3	0	2.6	3.3	-	-
無処理区	0.6	0	2.3	3.5	2.6	0.5

<sup>2</sup>シカ食害度は0～5の範囲で示す。食害度0は無被害、1は数カ所の萌芽が被害、2は50%以上の萌芽が被害、3はほとんどの萌芽が被害、4は被害を受け矮小な萌芽のみ生存、5は萌芽は出たが全部枯れていることを示す。

処理2年後の破損状況を図4に示す。田辺Xとすさみでは，枝積み区，簡易枝積み区の75～100%が全壊または半壊と破損率が高かったのに対して，メタルラス区の全壊または半壊は38～63%であった。田辺Yでは枝積み区，メタルラス区の破損率（半壊，全壊）は10～25%にとどまっていた。田辺Xとすさみの両調査地は，比較的風当たりの強い場所であったため，積んだ枝が風で吹き飛ばされたことが枝積み区，簡易枝積み区の破損率の高さにつながったと考えられた。メタルラス区は枝積み，簡易枝積み比べて破損率が低かったことから，風のある場所で萌芽の保護に効果的な資材であると考えられた。また，田辺Yのような風の影響が少ない地域では，今回行った枝積みの方で食害を防げる可能性がある。

処理1，2年後の株の枯死率は，田辺Xでは1年後にメタルラス区で13%であったが，2年目にどの処理区も25～50%に増加した（図5）。すさみでは，メタルラス区を除いた3処理区の枯死率は年数が経つにつれて増加し，2年後にはほとんどの株が枯死していたのに対して，メタルラス区の2年後の枯死率は38%と他の処理区よりも低かった。

株あたりの萌芽数を示す萌芽数ランクは，田辺Xのメタルラス区では21本以上の株が2018年まで60%以上みられたのに対して，枝積み区，無処理区では21本以上の株が2017年に減少し2018年に38～50%であった（図6）。すさみはいずれの処理区も萌芽数が年々減少し，メタルラス区を除く

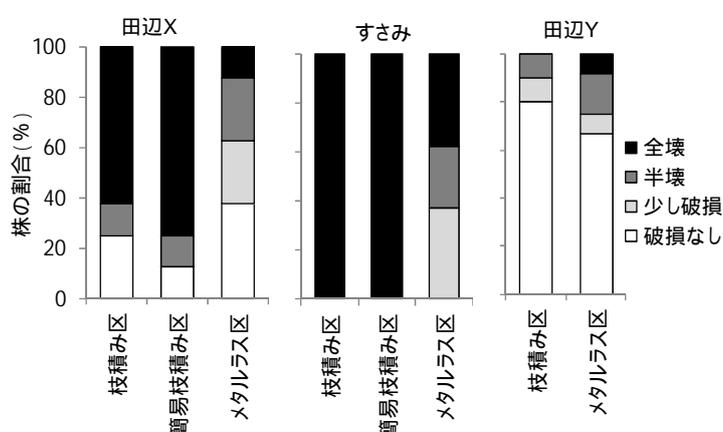


図4 シカ採食防止資材の処理2年後の破損状況

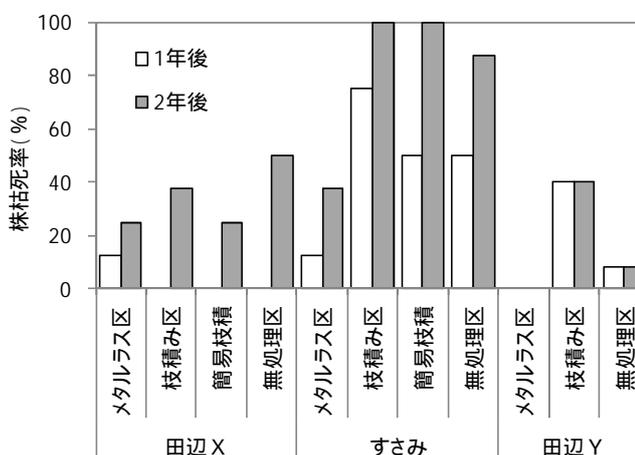


図5 シカ採食防止資材の処理1，2年後のウバメガシ伐採株の枯死率

3 処理区では 2018 年にほとんどが枯死していたため萌芽数は 0 であった。メタルラス区では 21 本以上の株が 25%，6 本以上の株は 38%と他の処理区よりも萌芽が多く残っていた。すさみでは，枝積み区と簡易枝積み区の資材がすべて全壊であり，シカの食害度も高い地域であったことから，枝積み区，簡易枝積み区では萌芽がシカの食害を受け，枯死率が高くなったと考えられた。メタルラス区はメタルラスが比較的壊れにくく，シカ採食を免れたことが枯死率の低さと萌芽の生存につながったと考えられた。

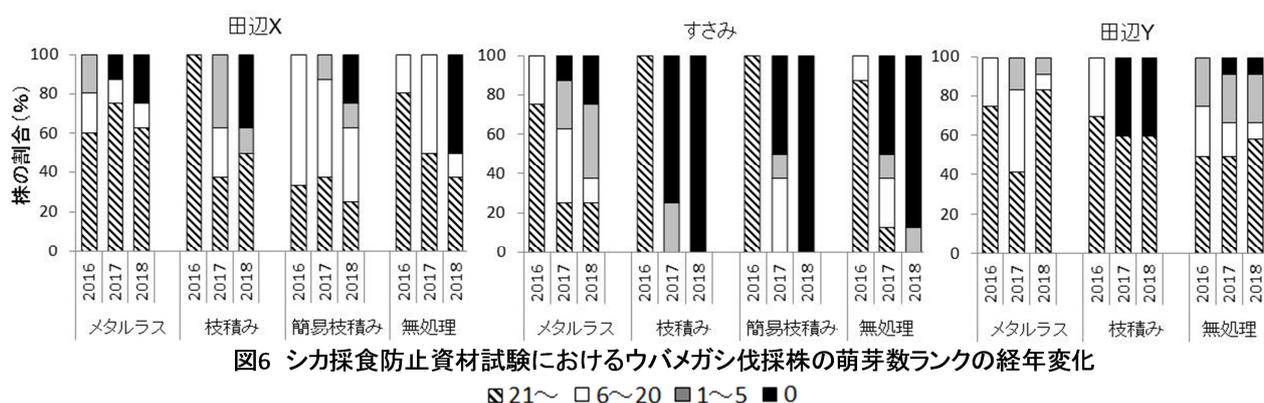


図6 シカ採食防止資材試験におけるウバメガシ伐採株の萌芽数ランクの経年変化  
 ■ 21~ □ 6~20 ■ 1~5 ■ 0

処理 2 年後の平均萌芽長は，田辺 X，田辺 Y の全処理区において，処理前よりも大きかった(表 4)。すさみでは，処理後の平均萌芽長は他の 2 調査地に比べて小さく，メタルラス区で 16.9cm であった。無処理区は 4.0cm と処理後に減少していた。すさみでは，前述したように 1 年後から 2 年後にかけて資材のほとんどが破損し，萌芽がシカの食害に遭ったことが無処理区の萌芽成長が減退した要因のひとつであると考えられる。しかし，すさみのメタルラス区では，資材に破損のない株の萌芽成長もほとんどみられなかった。すさみの伐根径は，田辺 X，田辺 Y に比べて小さいため(表 1)，大径化によって萌芽力が低下した可能性も考えにくい。2017 年 10 月の調査では頂端枯れして落葉している株もいくつかみられたことから，すさみは海に面した調査地であるため，海からの風による乾燥害や潮風害などが成長に影響した可能性も考えられた。以上から，本調査地においてはメタルラスが保護資材として比較的強度が高く，シカ食害からの保護効果が高いという結果が得られた。ただし，メタルラスは 1 枚 200 円の資材費がかかることから，コストを考慮に入れた萌芽保護対策が必要となる。また，枝積み，簡易枝積みの保護方法については，風当たりが少ない地域で用いるなど施工する場所が限定される可能性がある。

表4 シカ採食防止資材の処理2年後のウバメガシ伐採株の枯死株数と枯死割合，処理前と処理2年後の平均萌芽長

処理区	田辺X				すさみ				田辺Y			
	処理後 枯死株 数	割合 %	処理前の 平均萌芽 長 cm	処理後の 平均萌芽 長 cm	処理後 枯死株 数	割合 %	処理前の 平均萌芽 長 cm	処理後の 平均萌芽 長 cm	処理後 枯死株 数	割合 %	処理前の 平均萌芽 長 cm	処理後の 平均萌芽 長 cm
メタルラス区	2 ( 25 )		12.6	47.8	3 ( 38 )		7.2	16.9	0 ( 0 )		30.3	57.4
枝積み区	3 ( 38 )		12.9	47.5	8 ( 100 )		8.0	-	4 ( 40 )		28.6	70.9
簡易枝積み区	2 ( 25 )		15.0	32.6	8 ( 100 )		9.4	-	- ( - )		-	-
無処理区	4 ( 50 )		17.1	45.2	7 ( 88 )		13.8	4.0	1 ( 8 )		28.5	56.9

### 3. 萌芽状態の違いによる萌芽の保護効果試験

株活性度の経年変化を図7に示す。田辺Xではメタルラス区において「株全体に萌芽が多い」株の割合が増え、2018年に6割に達した。すさみではメタルラス区のみ「株の1/3~1/2の部分で萌芽が多い」「株全体に萌芽が多い」の割合が処理2年後に増加した。田辺Yではどの処理区も処理2年後の2018年に「株全体に萌芽が多い」が増加した。

初期の萌芽発生状態の違いと株の保護処理がその後の平均萌芽長に及ぼす影響を検討した(図8)。田辺X、田辺Yでは初期に瀕死状態だった株をのぞくと、メタルラス区、無処理区とも2年後の平均萌芽長は大きくなった。一方、すさみの無処理区はどの状態の株も平均萌芽長が小さくなったのに対し、メタルラス区は平均萌芽長が処理2年間ほとんど変わらなかった。シカ食圧の高低に関わらず、まばらにでも萌芽が発生している株をシカ食害から保護すれば株は生存を続けられる可能性があることが分かった。

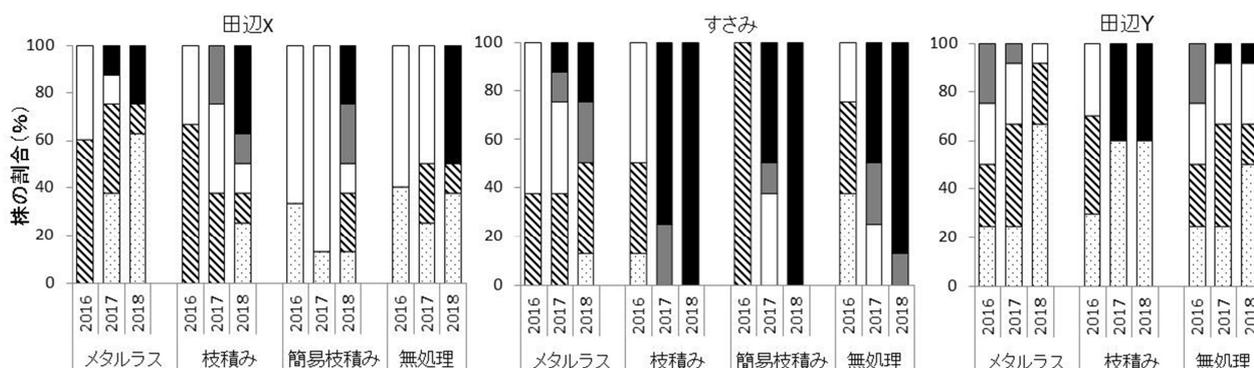


図7 シカ食害防止資材試験におけるウバメガシ伐採株の株活性度の経年変化

□株全体に萌芽が多い      ▨株の1/3~1/2の部分のみ萌芽が多い      ◻萌芽がまばらにしかみられない  
 ■生存萌芽が少なく枯死しかけている      ■枯死している

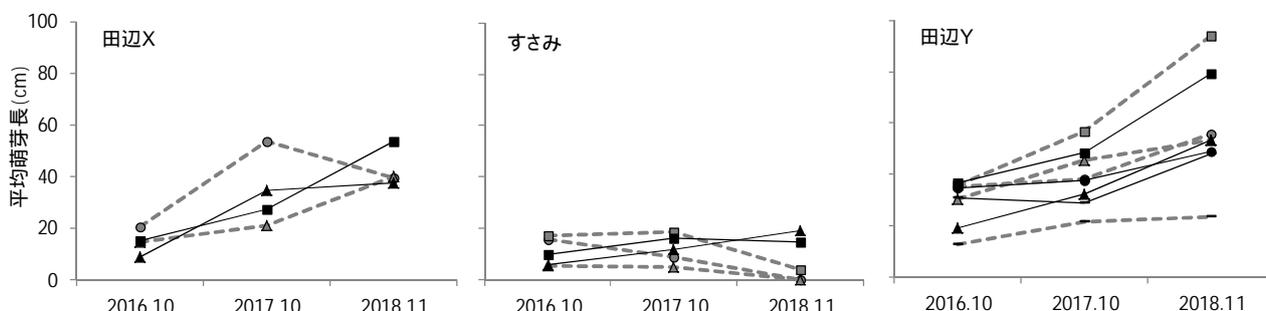


図8 ウバメガシ伐採株における初期(2016年10月)の萌芽発生状態の違いと保護処理がその後の平均萌芽長に及ぼす影響

実線(黒色)はメタルラス区、点線(灰色)は無処理区を示す。

○株全体に萌芽が多い、△株の1/3~1/2の部分で萌芽が多い、□萌芽がまばらにしかみられない、- - 瀕死

## 摘要

ウバメガシ林伐採地においてシカ食害からウバメガシの萌芽を保護する方法を検討した。

1. ウバメガシ伐採株の萌芽を保護する場合、スギ・ヒノキ植栽時に用いられる高さ1.8mの防護柵を伐採エリアに設置するという方法でも、高さ1m程度の資材で株を囲う方法でも株を保護できることが分かった。柵の設置期間は伐採後5年程度で株内最大萌芽長が1.5mに到達したか否かを目安にできると考えられた。
2. メタルラス(鉄製の建築資材)は、枝積み、簡易枝積みに比べて破損率が低かった。メタルラス

は株の枯死率が低く、1株あたりの萌芽数が21本以上の株割合が他の処理区よりも高かった。以上から、本調査地においてはウバメガシ萌芽のシカ食害からの保護資材として、比較的強度の高いメタルラスの保護効果が高いという結果が得られた。

3. 萌芽がまばらにでも発生している株をシカ食害から保護すれば株は生存を続け、成長する可能性があることが分かった。

### 引用文献

- 法眼利幸・山下由美子. 2018. ウバメガシ萌芽のシカ採食防止の技術開発 (3)萌芽枝へのシカ加害行動の解析. 和歌山県林業試験場業務報告 75:8-9.
- 松村秀幸・中屋耕. 2016. わが国における樹木の伐採後の萌芽抑制に関する文献調査. 電力中央研究所報告 V16001:1-24.
- 和歌山県. 2019. 令和元年度森林・林業及び山村の概況:77-82.
- 山下由美子・法眼利幸・濱田さつき・坂口和昭・坂本淳. 2020. ウバメガシ萌芽のシカ採食防止の技術開発. 公立林業試験研究機関 研究成果集 17:27-28.



# スギ幅はぎパネルを用いた床水平構面の性能評価

-面内せん断耐力と釘接合部の一面せん断耐力について-

濱口隆章<sup>1</sup>・岡本憲治

和歌山県林業試験場

**Performance Evaluation of Horizontal Planes Sheated with Edge Glued Panels  
Composed of Sugi(*Cryptomeria japonica*) Laminas  
- Study on In-plane Shear Strength and Single Shear Strength of Nailed Joints-**

Takaaki Hamaguchi and Kenji Okamoto

*Forestry Experiment Station, Wakayama Prefecture*

## 緒 言

和歌山県ではスギ人工林の高齢級化と原木の大径化が進んでおり、今後一般材（並材）向けのスギ大径材の供給増が予想される。このような大径材の利用を進めていくためには、効率的な製材方式を確立するとともに、柱材や梁桁材とともに生産される板材等の用途開発を進めていくことも重要と考えられる。一方、近年の木造軸組工法住宅では、床根太を用いずに、厚さ 24 mm 以上の構造用合板の四周を梁桁等に直接釘着する工法が普及している。本工法は施工の省力化とともに床構面の剛性を高めることにより住宅の耐震性の向上が期待できる。また「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（以下、品確法）による存在床倍率（建設省告示 1654 号，2000）では、最も高い値（3.0 倍）が設定されている。

そこで、スギ板材の用途開発を目的として、一般的に普及している構造用合板と同様に木造軸組工法住宅の床構面で使用可能な構造用スギ幅はぎパネル（以下、幅はぎパネル）の開発に取り組んだ。幅はぎパネルは幅はぎ用のプレス装置があれば製造することが可能であり、県内でも集成材・建具関係を中心に同装置を有する事業所が複数存在することから製品化の取組が比較的容易と考えられる。幅はぎパネルを用いた床水平構面の耐力性能に関しては、アカマツ幅はぎパネルを四周釘打ちした仕様において、構造用合板やスギ 3 層パネルとの比較を行った報告（関野ら，2016）や小幅広いスギ集成パネルによる検討事例（飯田ら，2013）などがあるが、構造用合板等と比べると報告事例は少ない。

本報告では、厚さ 30mm 以上の幅はぎパネルを用いた床構面の耐力特性を明らかにすることを目的として、床構面試験体による面内せん断試験と、釘接合部の一面せん断試験を実施し、幅はぎパネルの厚さによる影響や、スギ 3 層パネルや構造用合板との性能の相違について検討を行った。

<sup>1</sup> 現在：和歌山県西牟婁振興局農林水産振興部林務課

## 材料および方法

## 1. スギ幅はぎパネルの仕様

幅はぎパネル用のラミナは、和歌山県産スギの人工乾燥材を用いた。幅はぎパネルの寸法は910mm×1,820mm(3×6サイズ)で、厚さの異なる3タイプ(30, 36, 40mm)を作製した。

ラミナは縦振動法により動的ヤング係数を測定し、日本農林規格(以下、JAS)の機械等級区分製材のE70, E90, E110相当のものを予め選別した。動的ヤング係数の平均値がE90(7.8~9.8kN/mm<sup>2</sup>)相当になるよう、幅はぎパネル1枚あたりE90を5本、E110, E70を各2本ずつ計9本のラミナを用いた。なお、ラミナ幅はすべて105mmとし、パネル最外側はE90のラミナを配置した。幅はぎ接着には水性高分子・イソシアネート系接着剤(光洋産業(株):主剤KR-134, 架橋剤AX-200)を使用した。吸放湿による反りを少なくするため、幅方向のラミナ配置は木表と木裏の交互配置とした。

## 2. 床水平構面の面内せん断試験

## 1) 床構面試験体の仕様

品確法の存在床倍率の告示仕様を想定し、面材3枚を用いて、四周打ち仕様(A仕様)と川の字打ち仕様(B仕様)の床構面試験体を作製した。試験体の概要図を図1に示す。

軸材は県産スギでJAS製材のE70, SD15を用いた。軸材(梁, 桁, 小梁)の仕口は大入れ蟻掛けとし、面材の留めつけは鉄丸釘N90またはN75を用いて縁端距離20mm, 間隔150mmで釘着し、A仕様 B仕様とも試験体長手方向に対

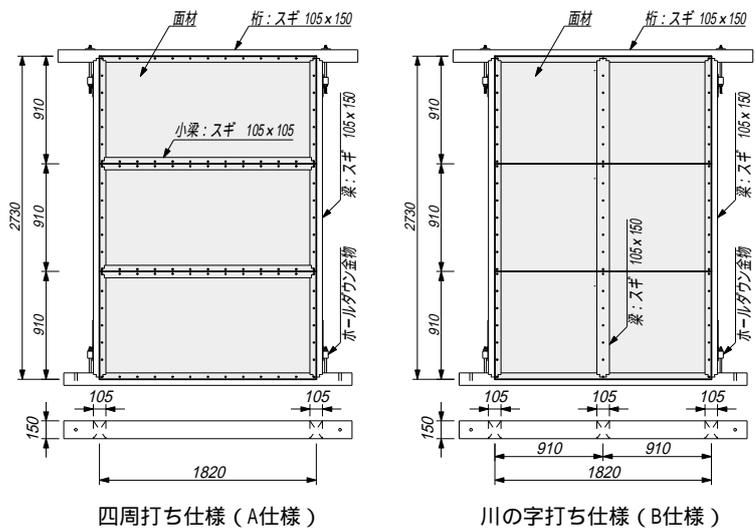


図1 床構面試験体の概要図

して、直交・イモ張りとした。A仕様については幅はぎパネルの厚さによる比較や、スギ3層パネルや構造用合板との比較を行うため、計6タイプの試験体を作製し、B仕様については、幅はぎパネルの厚さによる比較を行うため、計3タイプの試験体を作製した。試験体数は各仕様につき1体ずつとした。表1に試験体の一覧を示す。なお、幅はぎパネルの比較対象として用いたスギ3層パネルは、直交集成板と同様の構成で、ラミナ厚さ10mm, 幅方向接着ありで県産スギを用いて作製した。構造用合板はJAS特類2級で表裏単板がヒノキ, 中層単板がスギのものを使用した。

表1 床構面試験体の仕様

試験体記号	面材の種類	施工仕様	面材厚さ(mm)	釘仕様	試験体数	面材密度 <sup>z</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	面材含水率 <sup>z</sup> (%)
Se30-N75-A	スギ幅はぎパネル	四周打ち	30	N75@150mm以下	1	407±10	12.4±0.2
Se30-N90-A			30	N90@150mm以下	1	386±12	12.3±0.2
Se36-N90-A			36	N90@150mm以下	1	385±7	12.1±0.2
Se40-N90-A		40	N90@150mm以下	1	391±12	12.1±0.1	
Se30-N75-B		川の字打ち	30	N75@150mm以下	1	400±3	12.3±0.2
Se36-N90-B			36	N90@150mm以下	1	398±9	12.2±0.1
Se40-N90-B	40		N90@150mm以下	1	385±10	12.2±0.3	
Tri30-N75-A	スギ3層パネル	四周打ち	30	N75@150mm以下	1	387±13	9.5±0.3
Ply28-N75-A	構造用合板	四周打ち	28	N75@150mm以下	1	435±7	11.1±0.6

<sup>z</sup> 面材密度・面材含水率の数値は平均値±標準偏差(3枚/体)を示す。面材含水率は全乾法による。

## 2) 面内せん断試験の方法

面内せん断試験は(公財)日本住宅・木材技術センターの木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)(以下、グレー本)の試験方法に基づき、柱脚固定式で実施した。試験方法を図2に示す。加力は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30radの正負変形時で1回ずつとした。試験は最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するまで加力するか、試験体の見かけの変形角が1/15rad以上に達するまで加力を行った。1/15radを超えても最大荷重の80%まで荷重が低下しない場合は、見かけの変形角1/15radを終局変形角とした。

得られた荷重と変形角曲線の最終加力側の包絡線から、荷重変形曲線の特徴点抽出の自動化ツール(PickPoint 3.292, 軽部, 2010)を用いて、最大荷重  $P_{max}$ , 降伏耐力  $P_y$ , 終局耐力  $P_u$ , 初期剛性  $K$ , 最大荷重時の変形角  $\gamma_{max}$ , 降伏変形角  $\gamma_y$ , 降伏点変形角  $\gamma_v$ , 終局変形角  $\gamma_u$ , 塑性率  $\mu (\gamma_u/\gamma_v)$ , および構造特性係数  $D_s (1/\sqrt{2\mu-1})$  を求めた(図3)。

短期基準せん断耐力  $P_0$  は、降伏耐力  $P_y$ , 終局耐力  $P_u \times (0.2/D_s)$ , 最大荷重  $P_{max}$  の2/3, 特定変形角(1/120rad)の耐力  $P_{120}$  の4指標のうち最小値で決定した。なお、本報告では試験体数が各仕様1体のため、 $P_0$ の算出では、ばらつき係数を乗じていない。また床倍率の算定では、低減係数を乗じていない。

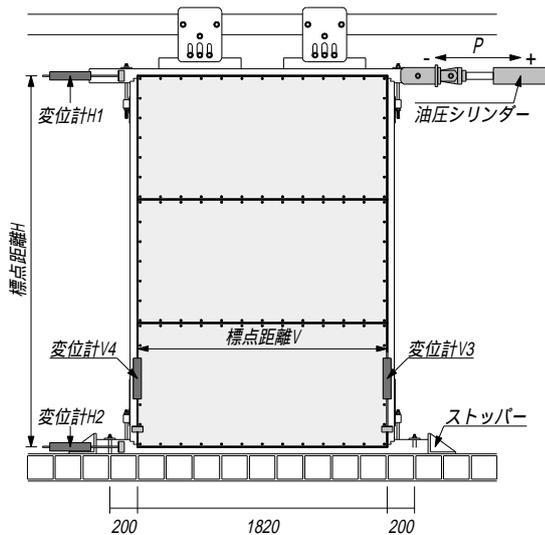


図2 面内せん断試験の方法

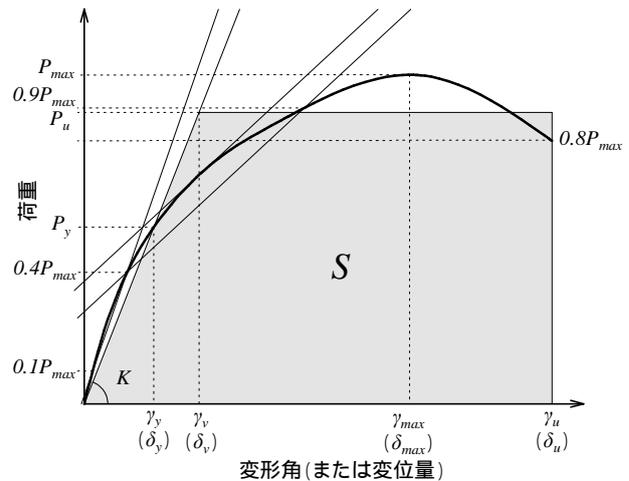


図3 完全弾塑性モデルによる各特徴点の求め方

## 3) 試験終了時の試験体の状況確認

終局変形角(1/15rad)時の試験体の各面材(計3枚)の左右縦列の釘(14箇所/枚, 42箇所/体)を対象に釘頭めり込み量(試験前との差)を、デジタルデプスゲージで測定した。また、試験終了後に0radに戻した時点の各面材隅部(4箇所/枚, 12箇所/体)の軸材からの浮き上がり量を、テーパーゲージで測定した。

## 3. 釘接合部の一面せん断試験

面材と釘の組み合わせによる、釘接合部のせん断耐力特性の詳細を明らかにするとともに、床構面試験体の試験結果と比較することを目的に、釘接合部の一面せん断試験を実施した。床構面試験

体で用いた面材と同じ仕様のもを用いて、図4に示す形状の試験体を作製した。作製した試験体の仕様を表2に示す。試験は単調圧縮加力方式(5mm/分)で実施し、最大変位が50mm付近に達するまで加力を行った。なお、加力方向は面材・軸材の繊維方向(または強軸方向)と平行とした。変位量は主材と側材の相対変位とし、試験体側面に取り付けた2台の変位計で測定した。

試験で得られた荷重と変位曲線から、完全弾塑性モデル(図3)により、最大荷重 $P_{max}$ 、降伏耐力 $P_y$ 、終局耐力 $P_u$ 、1mm変位時の荷重 $P_{1mm}$ 、初期剛性 $k_N$ 、最大荷重時の変位 $\delta_{Nmax}$ 、降伏変位 $\delta_{Ny}$ 、降伏点変位 $\delta_{Nv}$ 、終局変位 $\delta_{Nu}$ について、平均値と75%信頼区間の50%下限値および5%下限値を求めた。これらの値を用いて、グレー本の詳細計算法による床水平構面の許容せん断耐力の算定を行い、前節の床構面試験体の試験結果との比較を行った。なお、詳細計算法で用いる釘のせん断耐力要素( $k$ ,  $\Delta P_v$ ,  $\delta_v$ ,  $\delta_u$ )は、正式には同文献に規定されている「面材くぎ等1本あたりの一面せん断耐力要素を算定するための試験」で求めることになっているが、釘接合部の一面せん断試験のデータを用いて同様の検討を行った既往研究の事例(青木ら, 2014)を参考として、本試験で得られた値( $k_N$ ,  $P_u$ ,  $\delta_{Nv}$ ,  $\delta_{Nu}$ )の50%下限値をそれぞれ読み替えた。なお、 $\Delta P_v$ (面材釘1本あたりの降伏耐力)への読み替えの際、低減係数は乗じていない。釘配列諸定数( $I_{xy}$ ,  $Z_{xy}$ ,  $C_{xy}$ )は、床構面の面内せん断試験の釘配列条件で計算した値を用いた。またせん断弾性係数 $G_B$ については文献記載の値を用いた(表3)。詳細計算法による許容せん断耐力 $\Delta Q_a$ は、降伏耐力 $P_y$ 、特定変形時の耐力 $P_{150}$ 、終局耐力 $0.2\sqrt{2\mu-1} \times P_u$ の3指標のうち、最小値で決定した。

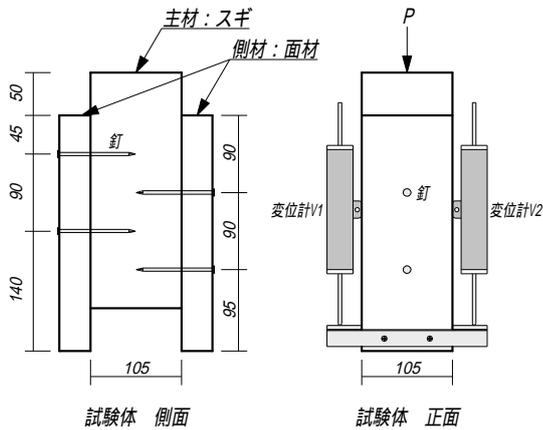


図4 釘の一面せん断試験体の概要図

表2 釘接合部の一面せん断試験体の仕様

試験体記号	面材の種類	接合具	試験体数	面材密度 <sup>z</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	軸材密度 <sup>z</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Se30-N90		N90	6	388 ± 35	408 ± 13
Se36-N90	スギ幅はぎ	N90	6	380 ± 46	401 ± 19
Se40-N90	パネル	N90	6	399 ± 31	413 ± 17
Se30-N75		N75	6	392 ± 19	413 ± 16
Tri30-N75	スギ3層パネル	N75	6	404 ± 18	416 ± 26
PIy28-N75	構造用合板	N75	6	433 ± 12	416 ± 17

<sup>z</sup> 面材密度・軸材密度の数値は平均値±標準偏差(面材データは2枚/体)

表3 釘配列諸定数・せん断弾性係数

	記号	単位	四周打ち	川の字打ち
単位面積あたりの釘配列2次モーメント	$I_{xy}$	cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>	2.41	0.92
Y方向中立軸に対する釘配列2次モーメント	$I_x$	cm <sup>2</sup>	158585	110396
X方向中立軸に対する釘配列2次モーメント	$I_y$	cm <sup>2</sup>	53404	17661
単位面積あたりの釘配列係数	$Z_{xy}$	cm/cm <sup>2</sup>	0.061	0.023
Y方向弾性中立軸に対する釘配列係数	$Z_x$	cm	1786	1243
X方向弾性中立軸に対する釘配列係数	$Z_y$	cm	1228	406
釘配列降伏終局比	$C_{xy}$	-	1.10	1.26
単位面積あたりの塑性釘配列係数	$Z_{Pxy}$	cm/cm <sup>2</sup>	0.067	0.029
Y方向塑性中立軸に対する釘配列係数	$Z_{Px}$	-	1141	524
X方向塑性中立軸に対する釘配列係数	$Z_{Py}$	-	1223	496

< 釘配列諸係数の計算条件 >

- ・面材寸法910mm × 1,820mm  $A_w$  16562cm<sup>2</sup>
- ・面材の短辺をX方向、長辺をY方向とする
- ・釘の縁端距離を20mmとし、X方向の釘間隔を145mm、Y方向の釘間隔を148mm(四周打ち)とする
- ・四周打ちは中通りの釘着は行わない

	スギ幅はぎ パネル	スギ 3層パネル	構造用合板
せん断弾性係数(kN/cm <sup>2</sup> ) $G_B$	46.6 <sup>z</sup>	65.4 <sup>y</sup>	40.0 <sup>z</sup>

<sup>z</sup> 日本建築学会・木構造設計基準・同解説

<sup>y</sup> ㈱ドット・コーポレーション(平成27年度林野庁委託事業報告書)

## 結果および考察

### 1. 床水平構面の面内せん断試験

1) 面内せん断試験における力学的特性の比較

各試験体の荷重-せん断変形角曲線を図5に、荷重-せん断変形角曲線の最終加力側の包絡線と完全弾塑性モデルを図6に、面内せん断試験の試験特性値を表4に、短期基準せん断耐力  $P_0$  の算定結果を表5に示す。

幅はぎパネルのA仕様(四周打ち・鉄丸釘N90)の比較では、最大荷重  $P_{max}$ 、降伏耐力  $P_y$ 、終局耐力  $P_u$  については、面材厚さの増加に伴い数値が高くなる傾向が見られたが、その差は小さかった。初期剛性  $K$  については36mm厚が最も高くなった。 $P_0$  については、30, 36, 40mm厚とも  $0.2P_u/D_s$  により決定され、36mm厚が最も高い値(16.9kN)となったが、面材厚さによる性能差は小さく、床倍率換算で4.4~4.7の範囲であった。

幅はぎパネルのB仕様(川の字打ち)の比較では、30mm厚が鉄丸釘N75のため、単純比較はできないが、 $P_{max}$ 、 $P_y$ 、 $P_u$  については、面材厚さの増加に伴い、数値が高くなる傾向が確認されたが、 $K$  については40mm厚が最も小さくなり、構造特性係数  $D_s$  は40mm厚が最も高い値を示した。 $P_0$  については、30, 36, 40mm厚とも、四周打ちと同様に  $0.2P_u/D_s$  により決定され、36mm厚が最も高い値(7.11kN)となったが、面材厚さによる差は小さく、床倍率換算で1.7~1.9の範囲であった。

B仕様に対するA仕様の  $P_0$  の比は2.3~2.5倍であったが、これは単位面材に打たれた釘の配列の違いによるもので、釘配列諸定数  $I_{xy}$ 、 $Z_{xy}$ 、 $C_{xy}$  (表3)等を用いた算定式から想定される結果の範囲内と考えられた。

面材の種類別(A仕様・鉄丸釘N75)の比較では、 $P_{max}$ 、 $P_y$ 、 $P_u$  については、構造用合板が最も高く、幅はぎパネル30mm厚は、それぞれ約10%程度低い値となり、スギ3層パネルについては、その中間的な値を示した。 $P_0$  については、幅はぎパネル、スギ3層パネル、構造用合板とも降伏耐力  $P_y$

表4 床構面試験体の試験特性値

試験体記号	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$K$ ( $10^2$ kN/rad)	$\mu$	$D_s$	$\gamma_{max}$ ( $10^{-2}$ rad)	$\gamma_y$ ( $10^{-2}$ rad)	$\gamma_v$ ( $10^{-2}$ rad)	$\gamma_u$ ( $10^{-2}$ rad)
Se30-N90-A	31.0	17.9	26.4	19.7	4.97	0.33	6.67	0.91	1.34	6.67
Se36-N90-A	31.7	18.4	27.2	21.7	5.33	0.32	6.67	0.85	1.25	6.67
Se40-N90-A	32.1	18.5	27.8	19.9	4.77	0.34	6.63	0.93	1.40	6.67
Se30-N75-B	12.4	7.44	10.8	7.81	4.82	0.34	6.58	0.95	1.38	6.65
Se36-N90-B	15.2	8.12	12.3	8.65	4.66	0.35	6.64	0.94	1.42	6.64
Se40-N90-B	17.9	9.50	15.3	6.49	2.83	0.46	6.58	1.46	2.35	6.65
Se30-N75-A	25.3	14.8	22.9	27.2	7.89	0.26	5.53	0.54	0.84	6.64
Tri30-N75-A	26.6	15.7	23.8	26.6	7.44	0.27	3.33	0.59	0.90	6.67
Ply28-N75-A	28.0	16.1	25.7	28.4	7.35	0.27	3.30	0.57	0.91	6.67

<記号>  $P_{max}$ : 最大荷重,  $P_y$ : 降伏耐力,  $P_u$ : 終局耐力,  $K$ : 初期剛性,  $\mu$ : 塑性率,  $D_s$ : 構造特性係数,  $\gamma_{max}$ : 最大荷重時の変形角,  $\gamma_y$ : 降伏変形角,  $\gamma_v$ : 降伏点変形角,  $\gamma_u$ : 終局変形角

表5 短期基準せん断耐力の算定結果

試験体番号	$P_y$ (kN)	$0.2P_u/D_s$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$P_{120}$ (kN)	$P_0^z$ (kN/m)	床倍率 $\gamma$
Se30-N90-A	17.9	15.8	20.6	17.1	15.8	4.4
Se36-N90-A	18.4	16.9	21.1	18.3	16.9	4.7
Se40-N90-A	18.5	16.2	21.4	17.5	16.2	4.5
Se30-N75-B	7.44	6.34	8.25	6.95	6.34	1.7
Se36-N90-B	8.12	7.11	10.2	7.62	7.11	1.9
Se40-N90-B	9.50	6.59	11.9	8.27	6.59	1.8
Se30-N75-A	14.8	17.6	16.8	17.2	14.8	4.1
Tri30-N75-A	15.7	17.8	17.8	17.8	15.7	4.4
Ply28-N75-A	16.1	19.1	18.6	18.4	16.1	4.5

<sup>z</sup>  $P_0$ の算定では、ばらつき係数を考慮していない。<sup>y</sup>床倍率の算定では、低減係数を考慮していない。

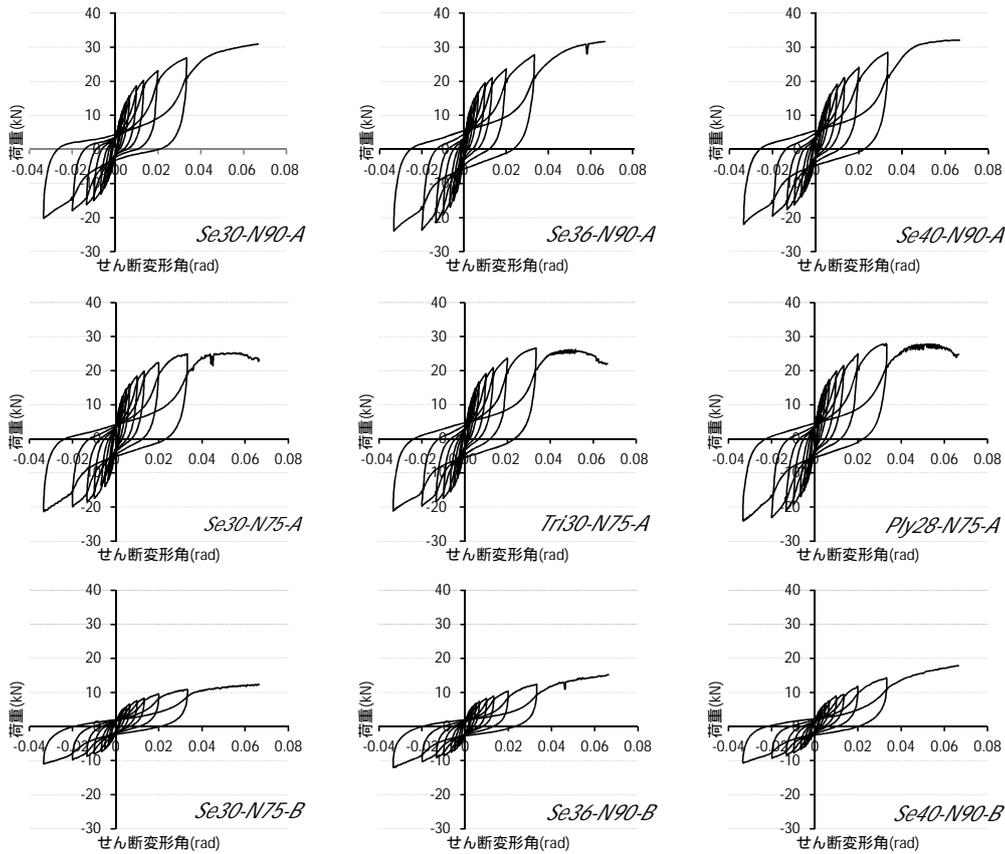


図5 各試験体の荷重-せん断変形角曲線  
(試験体記号は表1のとおり)

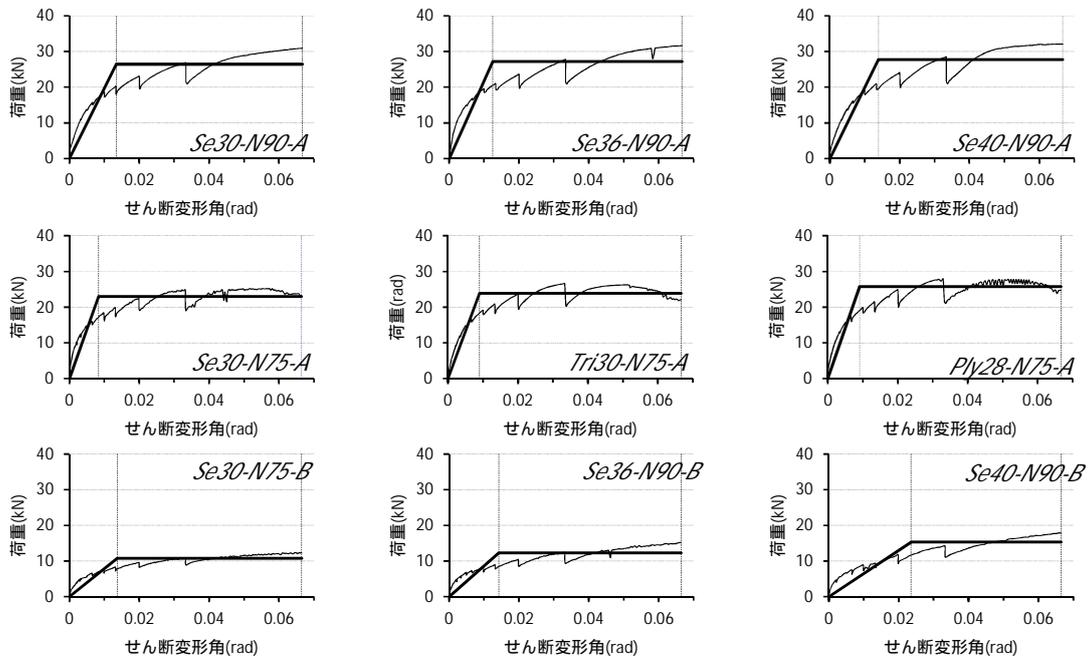


図6 各試験体の荷重-せん断変形角曲線の最終加力側の包絡線および完全弾塑性モデル  
(試験体記号は表1のとおり)

で決定され床倍率換算では、それぞれ4.1、4.4、4.5となった。幅はぎパネルと他の面材との試験結果の差は、面材密度の他、直交層の有無による面材の力学的特性の相違が要因と考えられた。

A仕様において、接合具にN90を用いた場合と、N75を用いた場合で短期基準せん断耐力の決定要因が異なる理由の一つとして、構造特性係数 $D_s$ の影響が考えられる。 $D_s$ は建築物の地震時における弾塑性挙動に伴うエネルギー吸収能力を評価した係数であり、数値が小さいほど靱性的（ねばりがある）と評価される。今回の試験では、N90を用いた試験体では、N75の試験体に比べ、全般的に靱性が低く評価されていた。一方、荷重-せん断変形角曲線では、N75を用いた試験体では、終局変形角(1/15rad)時に釘引き抜きによる耐力低下が生じているのに対し、N90を用いた試験体では $\gamma_{max}$ と $\gamma_u$ はほぼ一致しており、耐力低下は生じていない。今回は試験機のストロークの関係で1/15radを終局変形角としているが、最大荷重の80%低下時で終局変形角を決定した場合は、 $P_0$ の決定要因にも影響する可能性があると考えられた。

## 2) 試験終了時の試験体の状況確認

釘頭のめり込み量と軸材からの面材の浮き量の測定結果を表6に示す。また、試験終了後の床構面試験体の状態の一例を図7に示す。

釘頭のめり込み量については、全般的にばらつきが大きかったが、すべての面材で平均1mm未満であり、面材からのパンチングアウトは確認されなかった。破壊形態としては釘引き抜けが主であった。幅はぎパネルの四周打ち仕様では、変形角1/30radを越えた付近から、試験体の左柱脚部や右柱頭部付近の面材隅部の釘着部で割裂が見られた。これは柱頭・柱脚部の引き抜けにより、面材隅部で鉛直方向に強いせん断力を受けたためと考えられた。一方で、

表6 釘頭めり込み量と面材の浮き量

試験体記号	釘頭めり込み量 <sup>z</sup> (mm)	面材の浮き量 <sup>z</sup> (mm)
Se30-N90-A	0.90 ± 0.70	6.6 ± 1.6
Se36-N90-A	0.62 ± 0.64	8.5 ± 2.4
Se40-N90-A	0.35 ± 0.48	7.3 ± 1.8
Se30-N75-B	0.10 ± 0.41	10.6 ± 4.3
Se36-N90-B	0.15 ± 0.18	8.2 ± 2.3
Se40-N90-B	0.15 ± 0.19	7.7 ± 2.9
Se30-N75-A	0.40 ± 0.59	10.1 ± 8.5
Tri30-N75-A	0.36 ± 0.61	7.6 ± 3.7
Ply28-N75-A	0.36 ± 0.45	8.7 ± 6.5

<sup>z</sup> 数値は平均値 ± 標準偏差



全体 (1/15rad 変形時)



面材の水平方向のずれ (55mm 程度)



釘抜けによる面材の浮き上がり



柱脚部付近での面材の割裂



(比較として) 川の字仕様の場合

図7 試験終了後の床構面試験体 (スギ幅はぎパネル仕様) の状態

幅はぎパネルの川の字打ち仕様では、このような割裂は見られなかった。面材上下の釘本数の違いによる面材の回転挙動の相違により、面材隅部の鉛直方向に働くせん断力が四周打ちより小さいためと考えられた。スギ3層パネルや構造用合板で割裂が生じなかったのは、直交層の存在が大きく影響しているためと考えられた。

### 3) 床水平構面の面内せん断試験まとめ

幅はぎパネルの短期基準せん断耐力は、スギ3層パネルや構造用合板と同等程度の性能を有することを確認した。また、今回の試験条件において釘の種類と釘配列が同じであれば、幅はぎパネルの厚さの違いによる性能差は少ないことも明らかになった。

幅はぎパネルは、構造用合板に比べると釘接合した面材端部に割れが生じやすいので、縁端距離を多めに確保する必要がある。今回の試験では面材の縁端距離をすべて20mmに設定したが、同じ縁端距離でも面材が厚くなると面材の端部の割れや軸材の割裂が生じやすくなるため、面材厚に応じて面材、軸材の縁端距離も大きくすることが望ましいと考えられる。幅はぎパネルの厚さ設定に際しては、たわみ計算等の他、このような点にも留意する必要がある。

## 2. 釘接合部の一面せん断試験

### 1) 一面せん断試験における力学的特性の比較

各試験体の荷重-変位曲線を図8に、試験特性値を表7に示す。鉄丸釘N90で接合した幅はぎパネルの厚さ別の比較では、最大荷重 $P_{max}$ 、終局耐力 $P_u$ は30mm厚が40、36mm厚に比べ、1割程度高い値を示した。一方で、初期剛性 $k_N$ 、塑性率 $\mu_N$ は、30mm厚が最も小さくなり、40mm厚に比べると、それぞれ31%、32%程度低くなった。最大荷重時の変位 $\delta_{Nmax}$ 、終局変位 $\delta_{Nu}$ は、厚さの増加に伴い小さくなった。これは軸材に打ち込まれた釘の長さによる影響と考えられた。

鉄丸釘N75で接合した面材の種類別の比較では、 $P_{max}$ 、 $P_y$ 、 $P_u$ とも、構造用合板が最も高くなり、幅はぎパネル30mm厚は、それぞれ8%程度低い値になった。 $k_N$ は、スギ3層パネルが最も高い値を示した。またスギ3層パネルは他の面材と比べ、 $\delta_{Nu}$ が5mm以上小さくなり、早い段階で釘引き抜けによる耐力低下が生じていた。

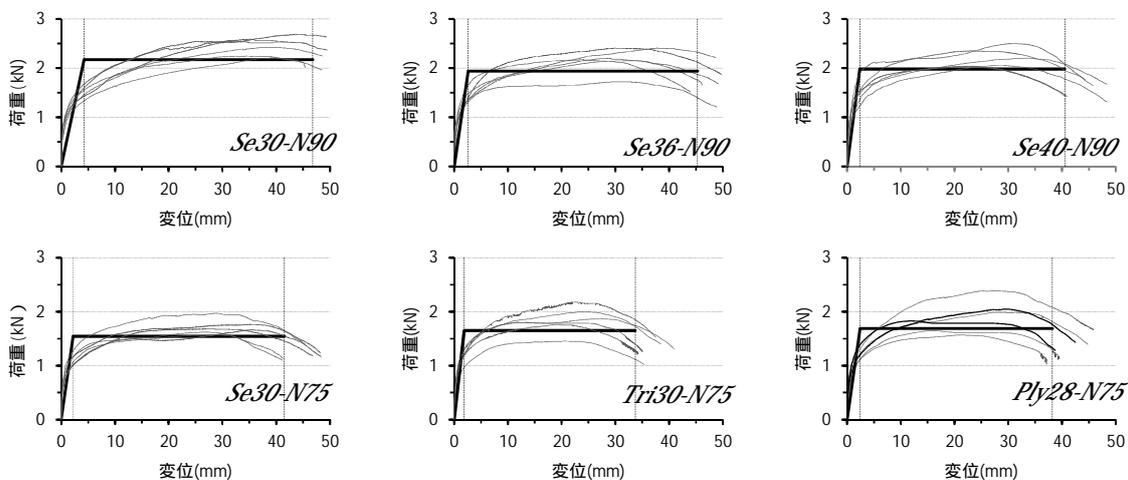


図8 釘接合部の一面せん断試験における各試験体の荷重-変位曲線

(試験体記号は表2のとおり)

表 7 釘接合部の一面せん断試験における各試験体の試験特性値

試験体記号	$k_N$ (kN/mm)	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$P_{1mm}$ (kN)	$\mu_N$	$\delta_{Nmax}$ (mm)	$\delta_{Ny}$ (mm)	$\delta_{Nv}$ (mm)	$\delta_{Nu}$ (mm)	
Se30-N90	平均値	0.51	2.45	1.34	2.22	1.05	10.8	37.3	2.75	4.55	47.5
	50%下限値	0.47	2.39	1.32	2.17	1.03	10.2	36.1	2.57	4.24	46.8
	5%下限値	0.25	2.00	1.18	1.81	0.88	7.4	28.0	1.30	2.88	43.3
Se36-N90	平均値	0.76	2.17	1.28	2.01	1.10	17.8	30.6	1.87	2.93	46.2
	50%下限値	0.69	2.10	1.24	1.94	1.07	15.8	29.2	1.67	2.60	45.3
	5%下限値	0.16	1.59	0.99	1.50	0.89	1.6	19.9	0.31	0.38	38.7
Se40-N90	平均値	0.85	2.20	1.40	2.03	1.17	17.2	26.9	1.81	2.62	41.5
	50%下限値	0.77	2.14	1.33	1.98	1.12	15.7	25.6	1.63	2.36	40.5
	5%下限値	0.19	1.74	0.82	1.62	0.79	5.4	16.4	0.36	0.60	33.3
Se30-N75	平均値	0.69	1.71	1.00	1.58	0.90	18.5	30.4	1.49	2.34	42.6
	50%下限値	0.65	1.67	0.97	1.54	0.87	17.7	29.2	1.41	2.22	41.5
	5%下限値	0.41	1.37	0.77	1.27	0.68	12.0	21.1	0.83	1.36	34.5
Tri30-N75	平均値	0.87	1.84	1.08	1.71	1.00	17.7	20.8	1.35	2.13	34.5
	50%下限値	0.79	1.77	1.04	1.65	0.97	16.1	19.2	1.20	1.90	33.7
	5%下限値	0.30	1.27	0.74	1.21	0.75	5.5	8.59	0.17	0.30	28.7
Ply28-N75	平均値	0.70	1.91	1.08	1.76	0.94	15.6	22.3	1.64	2.66	39.0
	50%下限値	0.64	1.82	1.05	1.68	0.91	14.4	20.2	1.51	2.43	38.2
	5%下限値	0.24	1.21	0.79	1.17	0.70	5.9	5.61	0.58	0.87	32.6

<記号>  $k_N$  : 初期剛性,  $P_{max}$  : 最大荷重,  $P_y$  : 降伏耐力,  $P_u$  : 終局耐力,  $P_{1mm}$  : 1mm変位時の荷重,  $\mu_N$  : 塑性率,  $\delta_{Nmax}$  : 最大荷重時の変位,  $\delta_{Ny}$  : 降伏変位,  $\delta_{Nv}$  : 降伏点変位,  $\delta_{Nu}$  : 終局変位

$P_{max}$ ,  $P_y$ ,  $P_u$  の大小関係については, N75 で接合した面材の種類別の比較試験では面内せん断試験と釘接合部の一面せん断試験で一致しているが, N90 で接合した幅はぎパネルの厚さによる比較試験では, 一致しない結果となった。これは, 繰り返し荷重履歴や軸材の変形等の影響を受ける面内せん断試験と, 単調加力方式の釘接合部の一面せん断試験では, 接合部の破壊挙動が異なることや, 釘引き抜けによる終局状態の違いも影響していると考えられた。

また,  $k_N$  が最も低くなった試験体 (Se30-N90) の荷重-変位曲線を見ると, 加力初期の立ち上がりは, 完全弾塑性モデルの剛性よりも勾配がきつくなっていることが分かる。そこで, 1mm 変位時の荷重  $P_{1mm}$  で比較してみると, 大小関係は大きく変わらないが, 30mm 厚の  $P_{1mm}$  は 40mm 厚の 8%減となり,  $k_N$  と比べると, その低下の割合は小さくなっている。

このように同モデルの初期剛性が, 実際の釘接合部の性能と比べて低く評価されているのは, 降伏点が荷重-変位曲線の勾配の変曲点より少し変位が大きいところで算出されたため, 小川ら (2018) が行った研究の中でも, この点について触れており, 妥当性のある初期剛性の算出方法の必要性について言及している。釘接合部の一面せん断試験における試験特性値の取り扱いでは, このような点にも留意する必要がある。

## 2) 詳細計算法による床水平構面の許容せん断耐力の算出

釘接合部の一面せん断試験の結果を用いて, 床構面試験体と同じ施工仕様における許容せん断耐力  $\Delta Q_a$  を算定した結果を表 8 に示す。

まず  $\Delta Q_a$  の決定要因については, 一部で降伏耐力  $P_y$  で決定されているのを除くと, 大部分が特定変形時の耐力  $P_{150}$  で決定される結果となった。また, 計算により求めた許容せん断耐力の相当床倍率は, 実験による床倍率より過大評価となるケースが多く見られたが, Se30-N90-A の計算値のみ過小評価となっているのは, 初期剛性  $k_N$  が低く評価されている影響と考えられた。また, 面材の厚さが増すと, 実験による床倍率との差が大きくなる傾向がみられた。これは面材厚の増加により,

初期剛性の値も高くなっていることが、計算結果に反映されたためと考えられた。

なお、表8のPly28-N75-A(\*)は、グレー本に記載されている、面材釘1本あたりの1面せん断の数値(構造用合板24mmまたは28mm、鉄丸釘N75)を用いて計算した結果であるが、 $\Delta Q_a$ は $0.2\sqrt{2\mu-1} \times P_u$ で決定され、相当床倍率は、実験による床倍率より18%程度低い値となった。

今回の計算に用いた釘接合部の一面せん断試験のデータは、先に説明したとおり、詳細計算法で使用する面材釘1本あたりの1面せん断耐力要素の数値を求める方法とは異なるため、この方法で許容せん断耐力の推定を行うのは精度面で課題があるが、初期剛性の算定方法の見直し等により、許容せん断耐力の推定にも活用できる可能性があると考えられた。

表8 釘接合部の一面せん断試験結果を用いた詳細計算法による許容せん断耐力 $\Delta Q_a$ の計算結果

計算する仕様に対応した 床構面試験体の記号	$\Delta M_y$	$\Delta K_0$	$\Delta M_u$	$\mu$	$\Delta Q_a$ の指標値			$\Delta Q_a$	詳細計算法 による 相当床倍率	実験による 床倍率
					$P_y$ ( $10^{-2}$ kN/cm)	$P_{150}$ ( $10^{-2}$ kN/cm)	$0.2\sqrt{2\mu-1} \times P_u$ ( $10^{-2}$ kN/cm)			
Se30-N90-A	0.132	10.5	0.146	10.4	13.2	<u>6.99</u>	13.0	6.99	3.5	4.4
Se36-N90-A	0.118	15.1	0.130	15.9	11.8	<u>10.1</u>	14.5	10.1	5.1	4.7
Se40-N90-A	0.121	16.9	0.133	15.4	12.1	<u>11.3</u>	14.5	11.3	5.7	4.5
Se30-N75-B	0.035	5.73	0.045	18.1	<u>3.54</u>	3.82	5.30	3.54	1.8	1.7
Se36-N90-B	0.045	6.10	0.056	16.8	4.46	<u>4.08</u>	6.42	4.08	2.0	1.9
Se40-N90-B	0.046	6.80	0.057	16.3	4.55	<u>4.55</u>	6.45	4.55	2.3	1.8
Se30-N75-A	0.094	14.1	0.103	17.1	9.39	<u>9.39</u>	11.9	9.39	4.7	4.1
Tri30-N75-A	0.101	17.4	0.111	16.3	<u>10.1</u>	11.6	12.4	10.1	5.1	4.4
Ply28-N75-A	0.102	13.6	0.113	14.1	10.2	<u>9.04</u>	11.8	9.04	4.6	4.5
Ply28-N75-A(*) <sup>z</sup>	0.099	13.8	0.109	6.12	9.88	9.17	<u>7.29</u>	7.29	3.7	4.5

<記号・数式>

$\Delta M_y$ : 面材釘による単位長さあたりの降伏耐力(kN/cm)

$$\Delta M_y = Z_{xy} \times \Delta P_v$$

$P_y$ : 水平構面の単位長さあたりの降伏耐力(kN/cm)

$$P_y = \Delta M_y$$

$\Delta K_0$ : 面材釘による単位面積あたりの回転剛性(kN·cm/rad·cm<sup>2</sup>)

$$\Delta K_0 = 1 / \left( \frac{1}{I_{xy} \cdot k_N} + \frac{1}{G_B \cdot t} \right)$$

$K_R$ : 水平構面の単位長さあたりのせん断剛性(kN/rad·cm)

$$K_R = \Delta K_0$$

$P_{150}$ : 水平構面の変形角1/150rad時の単位長さ当たりの耐力(kN/cm)

$$P_{150} = \frac{K_R}{150} = \frac{\Delta K_0}{150}$$

$\Delta M_u$ : 面材釘による単位長さあたりの終局モーメント(kN/cm)

$$\Delta M_u = C_{xy} \times \Delta M_y$$

$\mu$ : 水平構面の塑性率

$$\mu = \frac{\delta_{Nu} \cdot G_B \cdot t + \delta_{Nv} \cdot I_{xy} \cdot k_N}{\delta_{Nv} (G_B \cdot t + I_{xy} \cdot k_N)}$$

$P_u$ : 水平構面の単位長さあたりの終局耐力(kN/cm)

$$P_u = \Delta M_u$$

なお、 $I_{xy}$ 、 $Z_{xy}$ 、 $C_{xy}$ 、 $G_B$ は表3のとおり。 $k_N$ 、 $\delta_{Nv}$ 、 $\delta_{Nu}$ は表7のとおり(ただし $k_N$ の単位はkN/cm、 $\delta_{Nv}$ 、 $\delta_{Nu}$ の単位はcm)。 $\Delta P_v$ は表7の $P_u$ の50%下限値を読み替え。 $t$ は面材厚さ(cm)

<sup>z</sup> グレー本の面材釘1本あたりの1面せん断の数値を用いて計算( $k_N$ : 6.51,  $\delta_{Nv}$ : 0.25,  $\delta_{Nu}$ : 1.71,  $\Delta P_v$ : 1.62)

## 摘要

幅はぎパネルを用いた床構面の耐力特性を明らかにすることを目的に、床構面試験体による面内せん断試験と、釘接合部の一面せん断試験を実施した。

### 1. 床構面試験体の面内せん断試験

幅はぎパネルの厚さ(30, 36, 40mm)別に性能比較したところ、四周打ち仕様(N90@150mm)における短期基準せん断耐力 $P_0$ は、それぞれ15.8, 16.9, 16.2kNとなった。川の字打ち仕様(30mm厚のみN75@150mm, 36, 40mm厚はN90@150mm)における $P_0$ は、それぞれ6.34, 7.11, 6.59kNと

なった。面材厚さや釘の種類による多少の差はあるが、幅はぎパネルの四周打ちの床倍率換算値は4.1~4.7、川の字打ちで1.7~1.9となり、今回比較を行ったスギ3層パネルや構造用合板と同等程度の面内せん断耐力を有していること確認した。

## 2. 釘接合部の一面せん断試験

床構面試験体で使用した面材と釘の組み合わせにより、釘接合部の一面せん断試験を実施したところ、鉄丸釘 N90 で接合された幅はぎパネルの試験結果では、面内せん断試験と釘接合部の一面せん断試験で耐力の大小関係に相違が認められた。この試験結果を用いて詳細計算法による床水平構面の許容せん断耐力の算定を試みたところ、面内せん断試験の結果に比べて、全般的に過大評価となり、面材厚さの増加により実験値との差が大きくなる傾向が見られた。

床構面試験体の面内せん断試験については、近畿職業能力開発大学校で実施した。試験の実施に当たっては同大学校の藤村悦生特任教授より、試験装置の操作方法と試験データの解析等についてご指導を賜った。また、試験体の組み立てや試験に際しては、同大学校学生の皆様に多大なる協力を頂いた。この場を借りて関係者の皆様に御礼申し上げます。

## 引用文献

- 青木謙治・杉本健一・神谷文夫．2014．厚物構造用合板を用いた高強度耐力壁の開発．日本建築学会技術報告集．20(44)：111-114
- 飯田百合子・片山知実・富高亮介・佐々木義久・小泉章夫・平井卓郎．2013．スギ集成パネルを使用した床組の面内せん断性能について．第63回日本木材学会大会要旨集．H27-07-1430
- ㈱ドット・コーポレーション．2016．平成27年度林野庁委託事業 CLT等新たな製品・技術の開発普及事業 CLT等接合部データ等の収集 木質材料を用いたRC造建築物耐震補強工法開発報告書 第1編第3章．p.28
- 軽部正彦・原田真樹・林知行．2001．荷重変形曲線のモデル化とその問題点共有のための提案特徴点抽出の自動化ツールについて．日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）構造．215-216．
- 軽部正彦．2010．PickPoint 3.292．<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karube/PickPoint/index-j.html>（2016年12月12日アクセス）
- 建設省告示第1654号．2000．
- 日本建築学会．2006．木構造設計基準・同解説（第4版）．p.399，p.411
- 日本住宅・木材技術センター．2008．木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年度版）．pp.331-335, pp.342-347, pp.368-370, pp.380-382, pp.565-574, pp.588-590
- 小川敬多・原田真樹・渋谷龍也・宮本康太．2018．各種構造用面材を用いた釘接合部の一面せん断特性と変形性状の把握．木材学会誌．64（4）：139-147
- 関野登・玉木陽祐・日當和孝・田嶋由．2017．幅はぎパネルを四周打ちした水平構面のせん断耐力と釘の動き．岩手大学演習林報告48：17-31



# 海産白点虫の検出に用いる 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 *Cryptocaryon irritans* Brown Causing the White Spot Disease in Marine Fish

Masahide Katata

Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station

### 緒言

海産白点病は、繊毛虫の一種である *Cryptocaryon irritans* Brown が海産魚の鰓や皮膚の上皮組織内に寄生することによって引き起こされる (Lom and Dykova, 1992). *C. irritans* は宿主範囲が非常に広く、ほとんど全ての海産硬骨魚類に寄生する (良永, 1998).

本疾病に感染すると、外観症状として体表や鰭に白点が見られるようになるが、虫体の寄生が体表にほとんど認められず、鰓に集中する場合もある (Dickerson and Dawe, 1995; 小川, 2004). *C. irritans* に多数寄生された個体は、鰓や皮膚の上皮層が損傷・剥離し、浸透圧調整および呼吸機能が障害を受けて死亡する (良永, 1998).

従来から、本疾病は水族館、陸上飼育水槽、あるいは観賞魚愛好家の飼育水槽等の閉鎖的な飼育環境で多発するものとされてきた (江草, 1988). しかし、1980 年代になって海産魚の養殖が盛んになるにつれて、*C. irritans* の寄生による養殖魚の大量死が報告されるようになった (Kaige and Miyazaki, 1985).

本疾病の対策として、*C. irritans* の感染環を遮断するために、水槽替えや潮通しの良い海域への養殖生簀の移動が行われている (良永, 1998; 小川, 2004). これらの対策を講じる上で最も重要なことは、できるだけ早期に感染を発見することである (良永, 1998; 小川, 2004). 本疾病の診断は、体表あるいは鰓の患部組織を検鏡して虫体を確認することで行われるが (小川, 2004), *C. irritans* を魚体表面に白点として肉眼で観察できるのは夕刻から早朝の時間帯に限られる (良永, 1998). そのため、本疾病の早期発見は難しく、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.

*C. irritans* の同定・検出法として、rRNA 遺伝子の 18S-ITS1 領域を標的とした PCR 法が開発されている (今城ら, 2016). しかし、検査結果が出るまでに少なくとも 6 時間程度必要であり、サンプリングした当日に養殖業者へ診断結果を伝えられないのが現状である.

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 *C. irritans* 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

今城ら(2016)の PCR 法によって *C. irritans* に感染していることを確認したヒラメ0歳魚1尾(和歌山県内の中間育成場からサンプリング)の鰓患部組織から、QIAamp DNA Stool Mini Kit(株式会社キアゲン)を用いて、添付されている説明書に従って DNA 抽出を行い、LAMP 法に供した。また、今城ら(2016)の PCR 法によって *C. irritans* に感染していないことを確認したヒラメ0歳魚1尾(和歌山県内の中間育成場からサンプリング)の鰓組織からも同様に 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4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. LAMP 法プライマーの設計

LAMP 法のプライマーは、PCR 法(今城ら, 2016)により増幅される領域(*C. irritans* rRNA 遺伝子の 18S-ITS1 領域 GenBank アクセションナンバー KC357673 増幅サイズ 496bp)を標的配列として設計した。また、同遺伝子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、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1)。

表1 *C. irritans* 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
<i>C. irritans</i>	CI-F3	AAGTGCAAGTCATCAGCT
	CI-B3	GTTACCTACGGAAACCTT
	CI-FIP	CCGGATCACTCGAAATCGGTAAGTACGTCCTGCC
	CI-BIP	ACCTTCTGGACTGCGCTAACTACGACTTCTCCTTCTCT

### 3. LAMP 法の実施

Loopamp ④DNA 増幅試薬キット(栄研化学株式会社)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 ④蛍光・目視検出試薬(栄研化学株式会社)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 ④反応チューブ(栄研化学株式会社)を用いて、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)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) で 95 °C・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) 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 59 °C から 67 °C まで 2 °C 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、反応特異性を検証するため、表 4 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、*C. irritans* について、同一の抽出 DNA 溶液を 10<sup>6</sup> まで 10 倍段階希釈して LAMP 法と PCR 法 (今城ら, 2016) 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 2 に、反応時間の検討結果を表 3 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、61~65 °C 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 63 °C 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 63 °C 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、63 °C 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)

反応温度	<i>C. irritans</i>
59	-
61	+
63	+
65	+
67	-

表 3 LAMP 法の反応時間の検討  
(反応温度：63 °C)

反応時間	<i>C. irritans</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4に示す。前述した結果を受けて、検討は63・60分間の反応条件で行った。*C. irritans*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*C. irritans*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4 LAMP法の反応特異性の検討(63・60分間)

病原体等	<i>C. irritans</i>	病原体等	<i>C. irritans</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>	-	<i>Streptococcus parauberis</i>	-
<i>Kudoa lateolabracis</i>	-	RSIV	-
<i>Cardicola opisthorchis</i>	-	KHV	-

## 3. LAMP法とPCR法の検出感度比較

LAMP法とPCR法(今城ら, 2016)の検出感度比較の結果を表5に示す。反応特異性の検討と同様に、LAMP法の反応条件は63・60分間とした。*C. irritans*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および滑走細菌を検出するための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)、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 5 LAMP 法（63 ・ 60 分間）と PCR 法の感度比較： *C. irritans* 検出

希釈倍率	LAMP 法	PCR 法
10 <sup>0</sup>	+	+
10 <sup>-1</sup>	+	+
10 <sup>-2</sup>	+	+
10 <sup>-3</sup>	+	+
10 <sup>-4</sup>	+	-
10 <sup>-5</sup>	+	-
10 <sup>-6</sup>	-	-

以上の結果から，本研究で確立した *C. irritans* 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．

本疾病の対策として，*C. irritans* の感染環を遮断するために，水槽替えや潮通しの良い海域への養殖生簀の移動が行われている（良永，1998；小川，2004）．これらの対策を講じる上で最も重要なことは，できるだけ早期に感染を発見することである（良永，1998；小川，2004）．しかし，*C. irritans* を魚体表面に白点として肉眼で観察できるのは夕刻から早朝の時間帯に限られる（良永，1998）．そのため，本疾病の早期発見は難しく，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．そこで，高感度な分子生物学的検査手法が重要性を帯びてくるが，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，本疾病を早期に発見し，速やかに対策を講じ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、海産白点虫 *C. irritans* を検出するための LAMP 法を開発した。LAMP 法のプライマーは、既に確立されている PCR 法と同様に、rRNA 遺伝子の 18S-ITS1 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、63 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、上述した PCR 法の 100 倍の検出感度を示した。本研究で確立した *C. irritans* 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早期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県下のヒラメ中間育成施設の方々に感謝申し上げます。

## 引用文献

- Dickerson, H. W. and D. L. Dawe. 1995. *Ichthyophthirius multifiliis* and *Cryptocaryon irritans* (Phylum Ciliophora). pp.181-227. In: P. T. K. Woo (ed.). Fish diseases and disorders. Vol. 1. Protozoan and metazoan infections. CAB International. Wallingford.
- 江草周三 .1988. 原虫症 .pp.219-274. 江草周三 編著 .新水産学全集 .17-B. 恒星社厚生閣 .東京 .
- 今城雅之・森光一幸・助田将樹・梅崎拓也・門野真弥・合田 暉・久保栄作・大嶋俊一郎 .2016. 高知県野見湾における *Cryptocaryon irritans* の TaqMan リアルタイム PCR 検出と分子系統解析 . 魚病研究 . 51:103-111.
- Kaige, N. and T. Miyazaki. 1985. A histological study of white spot disease in Japanese flounder. *Fish Pathol.* 20:61-64.
- 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・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.
- Lom, J. and I. Dykova. 1992. Protozoan diseases of fishes. p.315. In: Developments in aquaculture and fisheries science. 26. Elsevier. Amsterdam.
- 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.
- 小川和夫 .2004. 白点病 (淡水・海水). pp.295-303. 江草周三・若林久嗣・室賀清邦 編著 . 魚介類の感染症・寄生虫病 . 恒星社厚生閣 . 東京 .
- 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.

- 良永知義．1998．海産白点虫 *Cryptocaryon irritans* の防疫と対策．pp.73-76．月刊 海洋 号外 No.14 総特集 魚類防疫 - 魚病と人間の関わり - ．海洋出版．東京．
- 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．



# 学会誌掲載論文抄録



## Large-scale field survey reveals overall yield loss in Japanese apricot possibly caused by two ampeloviruses

Koji Numaguchi<sup>1</sup> · Tomoaki Takeda<sup>1</sup> · Yasuhisa Tsuchida<sup>1</sup> · Ryoji Nakaune<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Japanese Apricot Laboratory, Wakayama Fruit Tree Experiment Station, 1416-7 Higashi-Honjo, Minabe, Wakayama 645-0021, Japan*

<sup>2</sup>*Institute of Fruit Tree and Tea Science, National Agriculture and Food Research Organization (NARO), 2-1 Fujimoto, Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan*

### Abstract

Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) is one of the most popular fruit tree species in Japan and is most densely cultivated in Wakayama Prefecture. Since the 1980s, graft-transmissible symptoms, such as leaf-edge necrosis and incomplete flower development, have been observed in Nanko, the major Japanese apricot cultivar in Wakayama. Two ampeloviruses, plum bark necrosis stem pitting-associated virus (PBNSPaV) and little cherry virus 2 (LChV-2) were detected in Nanko trees showing typical symptoms. However, there is currently insufficient epidemiological data to infer that these viruses cause the symptoms. In this study, we conducted a large-scale survey of symptoms and RT-PCR detection of the two viruses in midwestern districts, the major cultivation areas in Wakayama. Among 208 surveyed Nanko trees, two viral infections were significantly associated with incomplete flower development, low fruit bearing rate, and interveinal chlorosis. LChV-2 infection also affected Nanko fruit and stone sizes. Additionally, we showed that the two viruses were already widely distributed throughout the main cultivation area. These results imply that the two ampeloviruses cause overall yield loss in Japanese apricot in Wakayama Prefecture.

### 大規模現地調査により明らかになった2種アンペロウイルスによると思われるウメの収量減少

ウメ (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) は日本で最も親しまれる果樹の一種であり、和歌山県で最も多く栽培されている。1980年代より、葉縁のえそおよび花器の発育不全をはじめとする接木伝染性の症状が、和歌山県の主要品種である‘南高’において観察されてきた。先行研究において、典型的な症状を示す‘南高’から2種のアンペロウイルス、plum bark necrosis stem-pitting associated virus (PBNSPaV) および little cherry virus 2 (LChV-2) が検出された。しかし、現在のところ、これらのウイルスが本症状を引き起こすことを示すには、疫学的データが不十分である。そこで本研究では、和歌山県のウメ主産地である中西部において大規模な症状調査および2種ウイルスのRT-PCR検定を行った。調査した208樹の‘南高’において、2種ウイルスの感染は花器の発育不全、着果率の低下ならびに葉脈間黄化の発生と有意に関連していた。LChV-2の感染は‘南高’の果実および核の大きさにも影響を与えることが示された。さらに、2種ウイルスは既にウメ主産地に広く分布していることが明らかになった。これらの結果は、2種のアンペロウイルスが和歌山県のウメの収量減少を引き起こしている可能性を示唆するものと考えられた。

## Microsatellite Marker Development and Population Structure Analysis in Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.)

Koji Numaguchi<sup>1,3</sup>, Shogo Ishio<sup>2</sup>, Yuto Kitamura<sup>3</sup>, Kentaro Nakamura<sup>2</sup>, Ryo Ishikawa<sup>1</sup> and Takashige Ishii<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe 657-8501, Japan

<sup>2</sup>Tsukuba Research Institute, Sumitomo Forestry Co., Ltd., Tsukuba 300-2646, Japan

<sup>3</sup>Japanese Apricot Laboratory, Wakayama Fruit Tree Experiment Station, Minabe, Wakayama 645-0021, Japan

Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) is one of the major fruit tree crops in Japan. However, a paucity of molecular tools has limited studies on the species' genetic diversity and clone identification. Therefore, we newly designed 201 microsatellite markers using the *P. mume* reference genome and selected 20 highly polymorphic markers. The markers showed higher polymorphism detectability than those previously developed using peach and apricot genomes. They were used successfully for fingerprinting most of the *Prunus* cultivars examined (124 *P. mume* accessions and one accession each of *P. armeniaca*, *P. salicina*, *P. persica*, and *P. dulcis*), and the resulting genotype data were used to examine the genetic differentiation of six Japanese apricot cultivar groups, including those producing normal fruit, small-fruit, and ornamental flowers, as well as Taiwanese cultivars, putative hybrids of *P. armeniaca* and *P. mume*, and putative hybrids of *P. salicina* and *P. mume*. Phylogenetic cluster analysis showed three clades with high support values; one clade comprised the putative *P. armeniaca* × *P. mume* hybrids, and the two others included Taiwanese and ornamental cultivars. The rest of the accessions were grouped into two wide clusters, but not clearly divided into the respective cultivar groups. These complex relationships were supported by the principal coordinate and STRUCTURE analyses. Since Japanese apricot is thought to have originated in China, many factors such as human preference, geographical separation, introgression, and local breeding, may have been involved to form the present complex genetic structure in Japanese apricot.

### ウメ (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) におけるマイクロサテライトマーカーの開発および集団構造解析

ウメ (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) は日本の主要果樹の一つであるが、分子マーカーの開発が遅れていたために、その遺伝的多様性やクローン識別に関する研究は未だ少ない。そこで本研究ではウメゲノム塩基配列を基に 201 個のマイクロサテライトマーカーを新規に設計し、20 個の高多型性マーカーを選抜した。本マーカーセットは、過去にモモおよびアンズゲノムから開発されたマーカーセットよりも高い多型検出能を示し、これらを用いることで供試したサクラ属果樹（ウメ 124 系統、アンズ、スモモ、モモおよびアーモンドそれぞれ 1 系統）のうちほとんどの識別が可能であった。本マーカーセットによる遺伝子型データを用いて 6 系統群（実ウメ、小ウメ、花ウメ、台湾系統、アンズとウメの種間交雑由来とされる系統、およびスモモとウメの種間交雑由来とされる系統）における遺伝的分化の程度を調査した。系統解析の結果、高いブートストラップ値によって支持される 3 クレードが見いだされた。そのうちの 1 つのクレードは、アンズとウメの種間交雑由来とされる系統群からなり、残りの 2 つのクレードはそれぞれ台湾系統群および花ウメ品種群からなった。その他の系統は大まかに 2 つのクラスターに分類されたが、はっきりと系統群に対応するものではなかった。このような複雑な系統関係は主座標分析および STRUCTURE 解析においても支持されるものであった。日本のウメ品種群はもともと中国に由来するものとされているため、日本のウメ集団における現在の複雑な遺伝構造の形成には、人々の好み、地理的隔離、遺伝子移入、品種育成などの多くの要因が関与していると考えられた。

# アカマダラケシキスイ成虫（コウチュウ目：ケシキスイ科）の 雌雄にみられる分布様式と嗅覚反応の差異

貴志 学<sup>1a</sup>・岸 茂樹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構，農業情報研究センター

Sex differences in the distribution and olfactory response of the sap beetle *Phenolia (Lasiodites) picta*  
(Coleoptera: Nitidulidae)

Manabu Kishi<sup>1a\*</sup> and Shigeki Kishi<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Research Center for Agricultural Information Technology, National Agriculture and Food Resource Organization, Chiyoda,  
Tokyo 100-0013

## Abstract

The sap beetle *Phenolia (Lasiodites) picta* (MacLeay) (Coleoptera: Nitidulidae) is a pest that feeds on fallen Japanese apricots (*Prunus mume*). Understanding the spatial distribution and migration pattern of adults should contribute to developing sophisticated management methods for this species. We counted the number of adult beetles on each fallen ripe apricot in an orchard in early summer in 2015 and 2016. Then we calculated Morisita's  $I_{\delta}$  index, which is an index of the distribution pattern without an association with density: it was 1.31 for females, 0.62 for males, and 1.15 for both sexes. These scores suggest that females and males have aggregated and uniform distributions, respectively. To examine if they used sexual or aggregation pheromones that can affect their distribution patterns, we tested the olfactory responses of each sex to foods in plastic containers and to other individuals in a Y-tube olfactometer. Males were significantly attracted to females, while females showed a stronger response to food than to males. These results suggest that the sexual differences in the demands for food and mating partners cause the different distribution patterns in the field.

## 摘 要

アカマダラケシキスイ *Phenolia (Lasiodite) picta* (MacLeay) は、完熟した果実を好む地上徘徊性のウメの害虫である。本種の空間分布と移動パターンの理解は、本種の効率的な防除に貢献するものと考えられる。2015年と2016年の初夏に、ウメ園場において完熟落下したウメ1果毎の成虫数を計数し、Morisitaの $I_{\delta}$  指数を計算した。その結果、指数は雌で1.31、雄で0.62、雌雄併せて1.15であった。したがって、雌と雄がそれぞれ集中分布と一様分

布していることが示唆された。次に、ケシキスイが分布様式に影響を及ぼす可能性のある性フェロモン及び集合フェロモンを利用しているかどうかを調べるため、餌を配置した容器及びY字管オルファクトメータを用いた誘引試験を行った。その結果、雌は雄よりも餌に対する強い誘引反応を示し、また雄は雌に誘引された。これらの結果は、餌と交配相手に対する需要の性差が、雌雄でみられた分布様式の差異を生じさせている可能性を示唆している。

# 振動が誘発するアカマダラケシキスイ (コウチュウ目：ケシキスイ科) 幼虫の逃避行動

貴志 学<sup>1a</sup>・高梨琢磨<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所森林昆虫研究領域 305-8687 茨城県つくば市

Escape Behavior Induced by Substrate-borne Vibrations in Larvae of the Sap Beetle, *Phenolia (Lasiodites) picta*  
(Coleoptera: Nitidulidae)

Manabu Kishi<sup>1a\*</sup> and Takuma Takanashi<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Forest Entomology, Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 305-8687

## Abstract

We demonstrate that vibrations carried in a food substrate induced escape behavior in the larvae of the sap beetle pest, *Phenolia (Lasiodite) picta* (MacLeay), which infests Japanese apricot fruits. Accelerations of continuous vibrations from 8 to 32 m/s<sup>2</sup> at a frequency of 120 Hz within 30 min. induced escape behavior in 60 % of larvae. Pulsed vibrations of 1-s duration at intervals from 1 to 29 s induced escape behavior in 40 – 50 % of larvae at 120 Hz and 8 or 16 m/s<sup>2</sup>. Our findings suggest that the application of vibrations to a food substrate may prevent infestation of *P. (L.) picta* larvae.

## 摘 要

ウメを加害するアカマダラケシキスイ *Phenolia (Lasiodite) picta* (MacLeay) の幼虫について、餌に対する振動刺激で逃避行動を引き起こせるかを検証した。周波数120 Hz・加速度 8～32 m/s<sup>2</sup>の連続振動は、30分以内に60%の幼虫に逃避行動を引き起こした。また周波数 120Hz・加速度 8または16 m/s<sup>2</sup>の振動で1秒加振し、1～29秒の休止間隔を設けた間欠振動は、40～50%の幼虫の逃避行動を引き起こした。これらの結果は、餌に対する振動の適用によりアカマダラケシキスイ幼虫の定着阻害が可能かもしれないことを示唆する。

<sup>a</sup> 現在：和歌山県工業技術センター

# 山地性バラ科樹種の細枝に接種した クビアカツヤカミキリ孵化幼虫の発育

法眼利幸<sup>1</sup>, 北島博<sup>2</sup>, 勝木俊雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>和歌山県林業試験場 649-2103 和歌山県西牟婁郡上富田町生馬 1504-1

<sup>2</sup>森林総合研究所森林昆虫研究領域 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

<sup>3</sup>森林総合研究所多摩森林科学園 193-0843 東京都八王子市廿里町 1833-81

**Growth of an alien long-horned beetle, *Aromia bungii* hatchlings inoculated into smart twigs of montane rosaceous tree species**

Toshiyuki Hougen<sup>1</sup>, Hiroshi Kitajima<sup>2</sup>, Toshio Katsuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wakayama Prefectural Forestry Experiment Station, 1504-1 Ikuma, Kamitonda, Wakayama 649-2103

<sup>2</sup> Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687

<sup>3</sup> Tama Forest Science Garden, Forestry and Forest Products Research Institute, 1833-81 Todorii, Haschioji, Tokyo 193-0843

## 摘 要

外来種であるクビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* の, 山地性バラ科樹種に対する幼虫の寄主としての適合性を解明しておくことは, 被害拡大リスクの管理のために重要である。バラ科 16 樹種の細枝(切枝)にクビアカツヤカミキリ孵化幼虫を接種し, 41 日後の生存と発育状況から寄主適性について評価した。各樹種における幼虫生存率は 68~96%であった。各樹種における生存幼虫の生重は, 個体によるばらつきが大きかった。樹種間で比較すると, オオヤマザクラとバクチノキではほかの樹種に比べて幼虫生重が大きく, ビワがミヤマザクラより小さかったものの, その他の樹種の間には有意な差は見られなかった。以上から, クビアカツヤカミキリの孵化幼虫は, 日本の山地性バラ科樹木において穿孔・摂食して生存し続ける可能性があると考えられる。今回, 供試したカスミザクラを除くサクラ属樹種は, '染井吉野' と同等に幼虫の発育が良かったことから, クビアカツヤカミキリ幼虫の寄主としての適合性があり, クビアカツヤカミキリの分布が山地へ拡大すれば '染井吉野' と同様な被害が発生する可能性がある。

## ウバメガシの萌芽更新に及ぼす伐根直径と伐採高の影響

山下(中森)由美子

和歌山県林業試験場

**Effects of stump diameter and stump height on sprouting in *Quercus phillyraeoides*.**

Yumiko (Nakamori) Yamashita

*Wakayama Prefectural Forestry Experiment Station*

### Abstract

To examine vegetative regeneration in large-diameter *Quercus phillyraeoides* trees, we investigated the occurrence of sprouting 1–3 years after logging and their survival after 5–6 years in a clear-cutting area. We surveyed six stands, divided into two groups according to average stump diameter: 1) smaller-diameter stands and 2) large-diameter stands: the former was typical in their size and age for traditional use to make charcoal, and the latter was older than typical stands. The sprouting ratio was high in the typical stands at the beginning and end of the study, whereas the large-diameter stands exhibited a lower sprouting ratio at the end of the study. In the large-diameter stands, the sprouting rate decreased as the stump diameter increased, and as the stump height increased between the beginning and end of the study. No peak in stump diameter was found to maximize the number of sprouts, while a difference in stand age affected sprout regeneration. The number of sprouts increased with age, while the number of sprouting stumps, maximum sprout height, and sprout diameter decreased with increasing age. Therefore, *Q. phillyraeoides* has high sprouting ability, but the sprouting ability decreases with age and the number of non-sprouting individuals increased. These findings indicate that the conventional management practice of cutting trees 6–12 cm in diameter can benefit greatly from the sprouting ability of *Q. phillyraeoides*. Our results suggest that when stump diameter is large, reducing the stump height could enhance survival after cutting in this species.

### 摘 要

大径化したウバメガシの更新手法を検討するため、ウバメガシ林伐採地において伐採1~3年後の個体からの萌芽発生(期首)と伐採5~6年後の生残(期末)を調査した。調査した6林分を、平均伐根直径によって2つのグループに区分した(「利用適期林分」、「大径化林分」)。ウバメガシの萌芽が発生した個体の割合は期首・期末とも利用適期林分で高かったのに対し、大径化林分では期末に減少した。大径化林分の伐根の萌芽率は、期首・期末とも伐根直径が大きいほど、また伐採高が高いほど低下した。伐根あたりの萌芽数については、それが最大になるような伐根直径のピークはみ

---

られなかった。一方、萌芽数は高齢な大径化林分で増加したのに対して、有萌芽の伐根数、最大萌芽長、萌芽径は利用適期林分で増加した。以上から、ウバメガシは萌芽性が強い樹種であるが、高齢化によって大径化すると萌芽力は低下し、無萌芽個体が増加することが明らかになった。よって、従来から行っている原木径 6~12cm で更新することは、ウバメガシの萌芽性からメリットが多いことが分かった。原木径が大きい場合には、伐採高を低くすることで伐根の萌芽率の低下を抑えられると考えられた。

# カシノナガキクイムシ穿孔後に伐採された ウバメガシの萌芽再生の可能性

山下(中森)由美子<sup>1</sup>・栗生 剛<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 和歌山県林業試験場

<sup>2</sup> 和歌山県農林水産部

## Sprouting success of *Quercus phillyraeoides* attacked by *Platypus quercivorus*

Yumiko (Nakamori) Yamashita<sup>1</sup>, Tsuyoshi Kuriu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wakayama Prefectural Forestry Experiment Station

<sup>2</sup> Wakayama Prefectural Agriculture, Forestry and fisheries Department

### Abstract

Japanese oak wilt disease is caused by fungi, which are brought by *Platypus quercivorus* into the trunk, hinder water supply by filling vessels with its hyphae and then weaken/kill trees. To evaluate the regeneration of *Quercus phillyraeoides* stands damaged by Japanese oak wilt disease by cutting survived trees, we investigated the effects of infection and gallery formation by *P. quercivorus* on sprouting success of *Q. phillyraeoides*. We investigated gallery density and the proportion of xylem discoloration of stumps, and evaluated the sprouting success 1 year and more than 5 years after cutting in two stands in Wakayama Prefecture, Japan. Although there were no significant effects of gallery formation on individual-level mortality rates both 1 or more than 5 years after cutting, the individual-level mortality rate more than 5 years after cutting was larger than that 1 year after cutting. Moreover, there were no significant effects of gallery formation on number and size of sprouts both 1 or more than 5 years after cutting. The number of sprouts 1 year after cutting decreased as increasing in the gallery density. However, gallery density and the ratio of xylem discoloration were positively correlated with stump diameter, which is known to be one of the factors decreasing the sprouting success of *Q. phillyraeoides*. Therefore, we were not be able to quantify the net effect of the gallery formation on sprouting success of *Q. phillyraeoides*. In summary, cutting of survived trees of *Q. phillyraeoides* after attacks of *P. quercivorus* contributes to regeneration of the stand by sprouting, because most individuals can survive and generate sprouts.

### 摘 要

ナラ枯れは、カシノナガキクイムシの穿入により樹幹内に持ち込まれた真菌類の繁殖によって樹木の水分通道が阻害され枯死に至る萎凋病である。カシノナガキクイムシによる穿孔被害林分の更

---

新手法を検討するため、穿孔程度がウバメガシの萌芽更新に及ぼす影響を調べた。和歌山県串本町の穿孔被害林伐採地2林分において、ウバメガシの切株状態の個体を対象に穿孔状況と横断面に対する木部変色の割合を調査し、伐採1年後と伐採約5年後の萌芽更新状況を調査した。1年後と約5年後とも個体の枯死率に穿孔の有無による違いはみられなかったが、約5年後の枯死率は1年後よりも高かった。1年後と約5年後の萌芽数と萌芽サイズに穿孔の有無による違いはほとんどみられなかった。1年後の萌芽数は100cm<sup>2</sup>あたりの穿孔密度が高いほど少なかったが、伐根直径が大きいほど穿孔密度と木部変色の割合が高かったため、伐根直径と穿孔程度のどちらが萌芽数に影響するか分からなかった。以上から、ウバメガシの穿孔生存木を伐採した後も、直ちに個体は枯死せずに多くの個体で萌芽が発生し成長することが確認された。

---

和歌山県農林水産試験研究機関研究報告  
第 8 号

---

発行 令和 2 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

---