

## 在来アーモンドの鹿児島県における休眠および開花特性

香西直子<sup>1\*</sup>・井山尚紀<sup>1</sup>・濱田康平<sup>1</sup>・山本雅史<sup>1</sup>・福留弘康<sup>2</sup>・廣瀬 潤<sup>2</sup>・西澤 優<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>鹿児島大学農学部果樹園芸学研究室 〒890-0065 鹿児島市郡元

<sup>2</sup>鹿児島大学農学部附属農場唐湊果樹園 〒890-0081 鹿児島市唐湊

<sup>3</sup>鹿児島大学農学部園芸作物生産学研究室 〒890-0065 鹿児島市郡元

### Characteristics of Bud Dormancy and Flowering of Local Almond Varieties Cultivated in Kagoshima

KOZAI Naoko<sup>1\*</sup>, IYAMA Naoki<sup>1</sup>, HAMADA Kohei<sup>1</sup>, YAMAMOTO Masashi<sup>1</sup>, FUKUDOME Hiroyasu<sup>2</sup>, HIROSE Jun<sup>2</sup> and NISHIZAWA Yu<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Fruit Science, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

<sup>2</sup> Toso Orchard, Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Toso, Kagoshima 890-0081

<sup>3</sup> Laboratory of Horticultural Crops Production Science, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

#### Summary

This study investigated the bud dormancy, flowering period, and flower morphology of four local almond varieties growing in the Toso orchard, Faculty of Agriculture, Kagoshima University. The estimated chilling requirements of these local varieties were 1000 to 1200 hours, which tended to be higher than for foreign cultivated varieties. Their estimated heat requirements were 4800 to 6700 Growing Degree Hours (GDHs). The flowering season depended on the variety, and was mid- to late March in 2017–2018 and mid-March to early April in 2019–2020. Some varieties had a high percentage of imperfect flowers. Our observations suggest that local almond varieties do not have uniform traits, and some of the characteristics differ from those of cultivated varieties. Further research should examine other traits of local and cultivated varieties, such as fruit setting and fruit characteristics.

**Key Words:** Bud burst, chill requirement, flower morphology, flowering period, heat requirement

キーワード：発芽, 開花期, 花器形態, 高温要求量, 低温要求量

#### 緒言

アーモンド (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) はバラ科の果樹であり、核果類が含まれる *Prunus* 属に分類される。遺伝的にはモモなど他の核果類と類似するが、中果皮はコルク状で人間の食用には利用されないため、核果類よりも堅果類として分類されることが多い (Socias i Company ら, 2017)。主要生産国はアメリカで年間約219万トンを生産し、世界全体の生産量の約55%を占める (FAOSTAT, 2021)。日本はアーモンドのほとんどをアメリカから輸入しているが、近年、特産果樹としての栽培が注目されている。とくにアーモンドは利用部分が種子

のため、摘果や袋掛けのような集約管理を必要とせず省力・低コストでの栽培が可能である点でも期待される。しかし国内で販売されるアーモンドの苗は、品種名が付されていないことが多く、開花に関する情報も少ない。一般にアーモンドは自家不和合性品種が多い (Dicenta ら, 2017) ため、収量を得るには開花期が重なる他の品種と混植する必要がある。商業的に生産するには開花期を把握しておく必要がある。

開花期は、花芽の自発休眠覚醒に必要な低温要求量と、休眠覚醒後の高温要求量によって決まる (Dicenta ら, 2017)。アーモンドのような温帯落葉果樹は冬季に休眠するため、冬季間に一定の低温に遭遇しなければ正常に休眠覚醒せず、春季の発芽が不安定になる。低温遭遇量は一般に、7.2℃以下の温度に遭遇した時間数を積算した低温積算時間で示され、休眠覚醒に必要な低温積算時間を低温要求量という (Weinberger, 1950)。休眠覚醒後

2023年10月31日 受付日

2023年12月22日 受理日

\*Corresponding author. Email: nkozai@agri.kagoshima-u.ac.jp

は高温域の温度に遭遇することで花芽の発達を促すが、これを高温要求量という。高温要求量は休眠覚醒後の積算温度により算出し、アーモンドの場合、1時間の平均気温から4.5を差し引いた数値を積算する (Dicenta ら, 2017)。

本研究では、アーモンドの開花特性を把握するため、鹿児島県に位置する鹿児島大学農学部附属農場で試験栽培しているアーモンド4系統について、露地条件での花芽および葉芽の発芽期と開花期を調査した。さらに低温要求量と高温要求量を求め、花器の形態と花粉発芽率を調査した。なお、今回の調査で用いた植物材料は国内で入手した系統であり、海外で育成された栽培品種と区別するため「在来アーモンド」と呼ぶこととする。

## 材料および方法

### 植物材料および気温の観測

本研究は鹿児島大学農学部附属農場唐湊果樹園 (鹿児島市) で実施した。植物材料には露地栽植されている在来アーモンドの4年生樹を4個体供試した。これらは接ぎ木繁殖されているが、クローンであるかどうかは未確認であるため、列植図の番号 (1-3, 1-11, 1-13, 1-15) で区別し、各系統についてデータを収集した。

唐湊果樹園内の百葉箱にデータロガー (おんどとり TR-52, T and D Corp.) を設置し、調査期間中 (2017-2018年, 2019-2020年) の気温を30分毎に記録した。

### 実験1. 露地条件での芽の発芽および開花特性 (2017-2018年, 2019-2020年)

花芽と葉芽の発芽率および開花率の調査を2017-2018年と2019-2020年の2シーズンにわたり実施した。2017-2018年は2018年2月9日から4月3日, 2019-2020年は2020年1月7日から4月13日にかけて調査した。1樹 (系統) につき3~5本の1年生枝を選んで印をつけ、これらの枝に着生している花芽と葉芽数を記録し、それぞれの発芽率を算出した。開花率は、花芽数に対する開花数で算出した。各枝の平均値をその系統のデータとした。

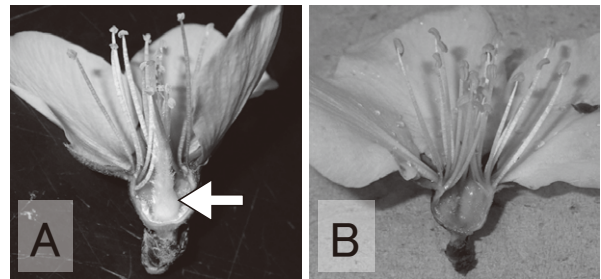
### 実験2. 低温要求量および高温要求量の調査 (2017-2018年)

各系統の低温要求量および高温要求量を調査するため、2017年12月21日, 2018年1月25日, 2月7日, 2月22日に各樹より樹冠の中部に着生している20~30cm程度の長さの1年生枝を1~3本採取した。先端部と基部を5cm程度切除して中間部分の部位を1~2節に切り分け、水道水で湿らせた吸水性スポンジにまっすぐ立てて挿した。調査対象の切り枝に着生した花芽と葉芽の総数は系統により多少があり、12~60芽であった。枝を挿した吸水性スポンジをタッパーに入れ、保湿のためビニル袋をかぶせ、20℃暗黒条件のインキュベーター内に静置した。加温開始から約4週間、花芽および葉芽の発芽率を3~4日毎に調査した。花芽の発芽率が50%を超えた採取日を休眠覚醒日とみなし、採取日時点での低温積

算時間をその系統の低温要求量と推定した。低温積算時間の計算は7.2℃以下の時間数の積算値 [低温積算時間: Chill Hour (CH)] とした。また、各系統の休眠覚醒日を起算日とし、露地条件での開花率が50%に達した日 ( $F^{50}$ ) までの積算温度 [Growing Degree Hours (GDH)] をその系統の高温要求量とした。GDHには、4.5℃を基準温度とし、1時間の平均気温から4.5を引いた値の積算温度を求めた。平均気温が4.5℃以下であった場合は一定で0を、25.1℃以上であった場合は一定で20.5を積算値として計算した (Egea ら, 2003)。

### 実験3. 花器形質の調査 (2017-2018年)

本調査は2018年の開花期に実施した。開花当日の新鮮花を各系統で5花ずつ採取し、花器の形態 (雌ずい長, 子房長, 花弁の長径と短径) と花粉発芽率を調査した。また、調査中に雌ずいを欠く不完全花 (第1図) が頻繁に観察されたため、採取した5花について不完全花の有無も記録し、不完全花率として算出した。花粉発芽率の調査には、開花前日の花蕾から採取した薬を開花させて得た新鮮花粉を用いた。花粉を得るための花蕾は3花採取した。シヨ糖15%を含む1%寒天培地に花粉を置床し、20℃で2~3時間培養した後に光学顕微鏡下で50粒程度を数えて発芽率を調査した。花粉発芽調査は最大3回おこない、平均値をその系統の花粉発芽率とした。



第1図 在来アーモンドの新鮮花の内部の様子。

矢印は雌ずいを示す。A: 正常花, B: 不完全花。不完全花では雌ずいが形成されていない。

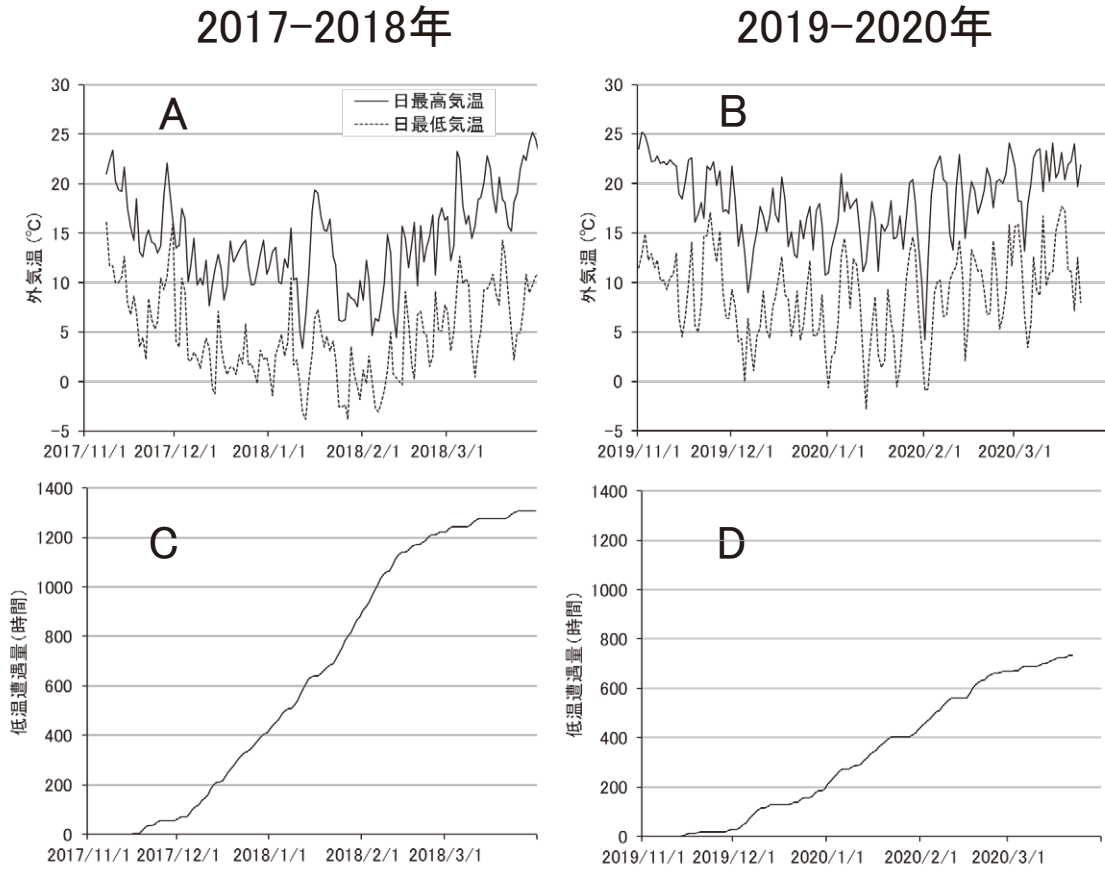
## 結果

### 気温環境

2017-2018年と2019-2020年の日最高気温と日最低気温および低温積算時間の推移を第2図に示した。2017-2018年に比べて2019-2020年は温暖な傾向であった。2017-2018年は、平均気温は12月が7.3℃, 1月が6.3℃, 2月が6.9℃であったのに対し、2019-2020年の平均気温はそれぞれ、10.8℃, 10.4℃, 13.2℃であった (第2図A, B)。3月下旬までの低温積算時間は、2017-2018年では約1300時間であり、2019-2020年では約730時間であった (第2図C, D)。

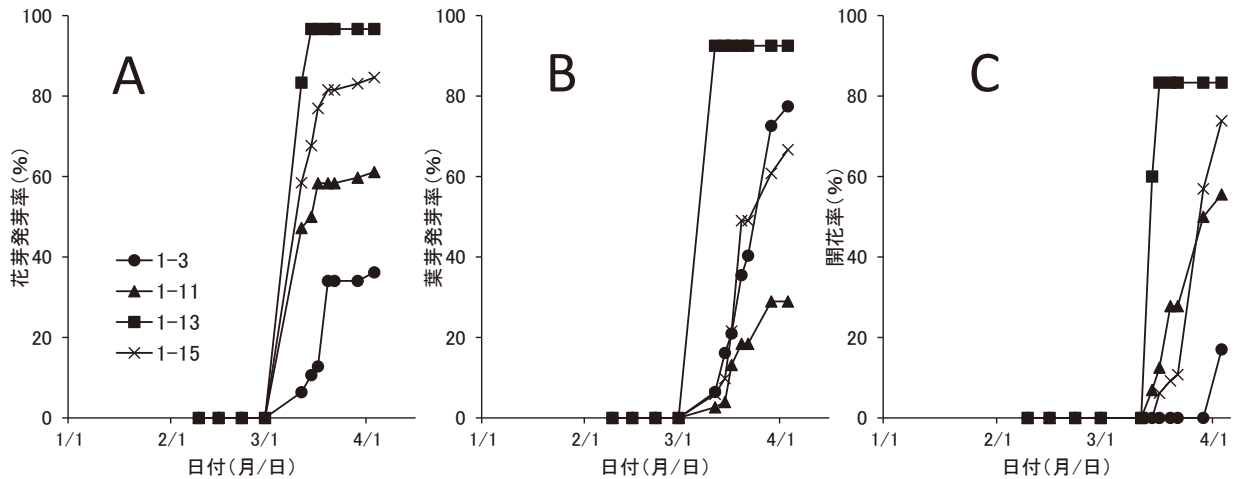
### 実験1. 露地条件での発芽特性と開花特性 (2017-2018年, 2019-2020年)

2017-2018年の調査では、花芽はいずれの系統も3月上旬に発芽し始めた (第3図A)。1-11, 1-13, 1-15では3月12日までに50%以上の花芽が発芽したが、1-3では3月下旬でも発芽率は約34%にとどまった。葉芽の発芽



第2図 鹿児島市における2017-2018年と2019-2020年の外気温と低温積算量。

A, B: 日最高気温と日最低気温, C, D: 7.2°C以下の低温遭遇量(時間)。



第3図 鹿児島市で露地栽培されている在来アーモンド各系統の花芽および葉芽の発芽率と開花率(2017-2018年)。

A: 花芽発芽率, B: 葉芽発芽率, C: 開花率

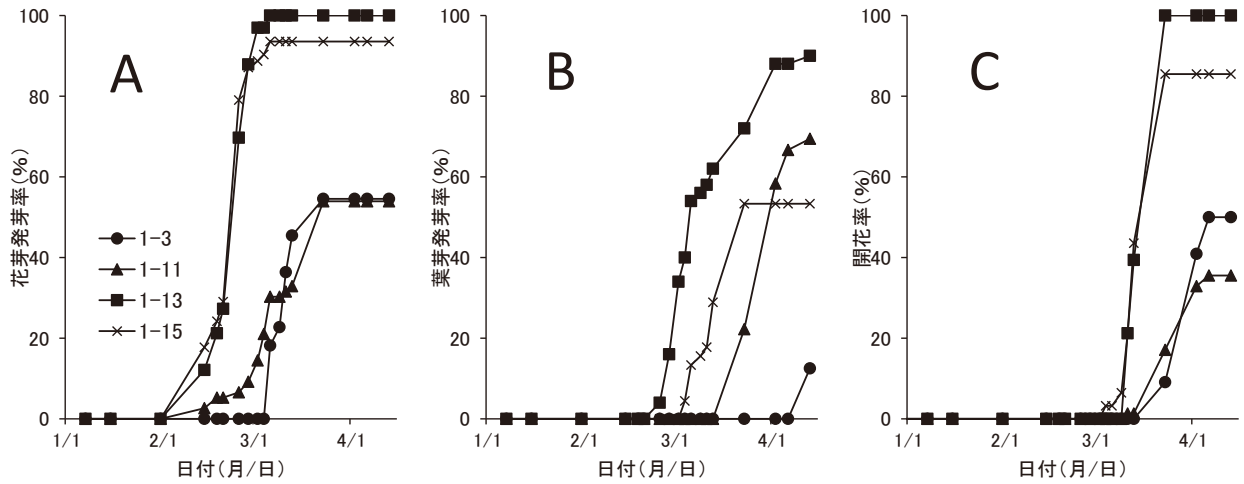
も1-13で最も早く、発芽率は3月上旬までに約92%に達した(第3図B)。1-11では葉芽発芽率が低かった。開花は1-13で最も早く見られ、3月15日までに開花率が50%を超えた(第3図C)。1-11と1-15では3月29日までに開花率が50%を超えたが、1-3では開花率が50%に達しなかった。

2019-2020年では、1-13と1-15で花芽が2月中旬に発芽し始め、2月下旬までに発芽率は87%以上に達した(第4図A)。葉芽の発芽も1-13が最も早く、3月上旬ごろに発芽しはじめた(第4図B)。1-15、1-11、1-3では葉芽の

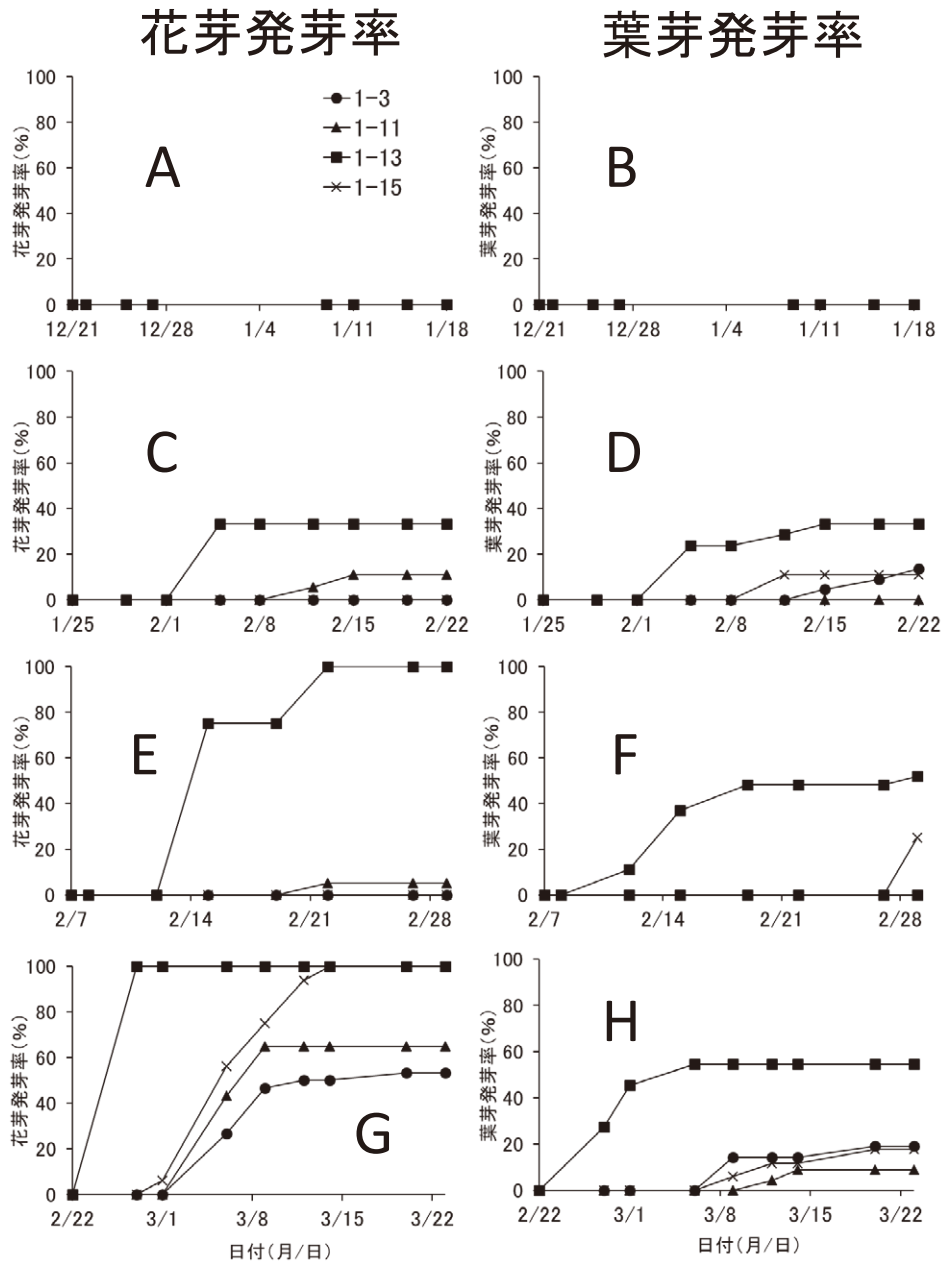
発芽が遅く、発芽し始めた時期は全ての系統で異なった。開花は1-13と1-15で早く、3月23日までに85%以上が開花した(第4図C)。1-3と1-11では開花がやや遅れ、1-3では4月6日までに約50%に達したが、1-11では調査終了までに開花率は50%に達しなかった。

**実験2. 低温要求量および高温要求量の調査(2017-2018年)**

切り枝法による低温要求量の調査結果を第4図に示した。切り枝を採取した各日の時点での低温遭遇量は、2017年12月21日で約300CH、2018年1月25日で約



第4図 鹿児島市で露地栽培されている在来アーモンド各系統の花芽および葉芽の発芽率と開花率 (2019-2020年).  
A: 花芽発芽率, B: 葉芽発芽率, C: 開花率



第5図 鹿児島市で栽培されている在来アーモンド各系統における切り枝の花芽発芽率と葉芽発芽率 (2017-2018年).  
2017年12月21日 (A, B), 2018年1月25日 (C, D), 2018年2月7日 (E, F), 2018年2月22日 (G, H) に1年生枝を採取し, 20℃でインキュベートした.

第1表 在来アーモンド各系統の鹿児島市における休眠覚醒期と低温要求量および高温要求量 (2017-2018年)

系統名	休眠覚醒期 (2018年)	低温要求量 <sup>z</sup> (時間)	F <sup>50y</sup> に達した時期 (2018年)	高温要求量 <sup>x</sup> (GDH)
1-3	2月22日	1180	—	—
1-11	2月22日	1180	3月29日	6676
1-13	2月7日	1030	3月15日	4798
1-15	2月22日	1180	3月29日	6676

<sup>z</sup> 休眠覚醒期までに7.2℃以下の気温に遭遇した時間数の積算値。

<sup>y</sup> 各系統の休眠覚醒期を起算日とし、露地条件での開花率が50%に達した日。

<sup>x</sup> 休眠覚醒期を起算日にF<sup>50</sup>に達するまでの積算温度。1時間の平均気温から4.5を差し引いた値の積算値。

第2表 在来アーモンド各系統における花器形質 (2017-2018年)

系統名	調査花数	雌ずい長 (cm)	子房長 (cm)	花弁長 (cm)		不完全花率 (%)	花粉発芽率 (%)
				長径	短径		
1-3	5 <sup>z</sup>	1.63b <sup>x</sup>	0.29	2.18	1.78ab	20.0	24.3
1-11	5 <sup>y</sup>	1.13a	0.22	2.03	1.67ab	40.0	42.8
1-13	5	1.47b	0.25	2.22	1.90b	0	37.5
1-15	5	1.50b	0.31	1.95	1.58a	0	32.9

<sup>z</sup> 1-3では採取した花に不完全花が含まれていたため、雌ずい長と子房長のデータはそれぞれn=4となった。

<sup>y</sup> 1-11では採取した花に不完全花が含まれていたため、雌ずい長と子房長のデータはそれぞれn=3となった。

<sup>x</sup> 同一カラム内の異なる英小文字間には、Tukeyの多重比較検定において5%水準で有意差があることを示す。

750CH, 2月7日で約1030CH, 2月22日で約1180CHであった(第2図C)。

12月21日に採取した枝では、花芽と葉芽ともに発芽は認められなかった(第5図A, B)。1月11日に採取した枝では1-13で花芽と葉芽の発芽が認められたが、発芽率はいずれも約30%にとどまった(第5図C, D)。2月7日に採取した枝では、1-13で花芽と葉芽ともに発芽率が50%を超えた(第5図E, F)。2月22日には1-3, 1-11, 1-15でも花芽の発芽率が50%を超えた(第5図G)。1-13以外の葉芽発芽率は15~20%であった(第5図H)。1-13では2月7日、それ以外の系統では2月22日をこのシーズンの休眠覚醒期と推定した。

2017-2018年にF<sup>50</sup>に達した日は、1-13で3月15日、1-11と1-15では3月29日であったことから、1-13では2月7日を起算日として3月15日まで、1-11と1-15では2月22日を起算日として3月29日までの高温要求量を求めたところ、それぞれ4798 GDHと6676 GDHであった(第1表)。1-3では2017-2018年に露地条件での開花率が50%に達しなかったため(第2図C)、高温要求量を算出できなかった。

### 実験3. 花器形質の調査 (2017-2018年)

雌ずい長は1-11が1.13cmで他の系統に比べて有意に短かった(第2表)。花弁の大きさは1-13が最も大きく、1-15が最も小さかった。花弁短径は1-13が1-15に比べて有意に長かった。子房長と花弁長径では系統間による有意な違いは見られなかった。1-3と1-11では不完全花率がそれぞれ20%と40%であり、その他の2系統は0%であった。花粉発芽率は24.3~42.8%の範囲であった。

## 考 察

今回の調査に供試したアーモンド樹はいずれも国内で

入手した在来系統であり、品種名や開花期はよくわかっていない。切り枝法により低温要求量を調査したところ、およそ1000時間(1-13)から1200時間(1-3, 1-11, 1-15)の範囲であり、系統により低温要求量が異なることが分かった。高温要求量はおよそ4800~6700 GDHと推定された。低温要求量については、Egeaら(2003)がスペインの品種について調査し、'Achaak'の266 Chill Unit (CU)から'R1000'の996 CUまで幅があったと報告している。「CU」はRichardsonら(1974)により提唱されたモデルに基づく単位であり、低温積算量の計算に用いる数値が温度域によって異なる: 1時間あたりに積算する値を1.5~2.4℃の範囲では0.5 CU, 2.5~9.1℃では1 CU, 16~18℃では-0.5 CU, 18.1℃以上では-1 CU, これ以外の温度域では0 CUとして計算。本実験で供試した各系統の低温要求量をCUで再計算すると、1-13ではおよそ1480 CU, それ以外の3系統ではおよそ1745 CUであり、Egeaら(2003)の用いた栽培品種に比べて高いことが分かった。高温要求量については、スペインの品種では5942 GDHから7577 GDHの範囲であり(Egeaら, 2003), 本実験に供試した系統と大きな違いはなかった。Egeaら(2003)も報告の中で、高温要求量には大きな差はなかったと述べている。

今回の調査に供試した在来アーモンドでは、低温要求量が1000時間から1200時間と推定されたが、2019-2020年に露地圃場で行った調査では、1-13と1-15で2月中旬、1-3と1-11では3月上旬にそれぞれ花芽が発芽し始めた。これらの時点での低温遭遇量はそれぞれ560時間と670時間であり、推定された低温要求量よりも低温遭遇量が少なかったにもかかわらず発芽し始めている。杉浦ら(2010)は、モモ'白鳳'を用いて0, 3, 6, 9, 12, 15℃で温度処理し、処理時間数と自発休眠覚醒との関係を5か年にわたり調査した。考察において彼らは、自発

休眠覚醒した時間数と自発休眠覚醒しなかった時間数を分離することが難しい処理区があり、自発休眠覚醒に必要な時間の閾値が判定しにくかったことを述べている。本実験では、調査対象が各系統で1樹のみで、また、調査方法は杉浦ら(2010)の場合と違い、切り枝法での調査であった。2019-2020年の実験結果から低温要求量は1000時間から1200時間と推定されたものの、1シーズンのデータのみから低温要求量を確定することは困難と考える。

花器形質についても系統間で異なる傾向が見られた。1-11では雌ずいが欠如した不完全花の発生率が高く、雌ずいを有していた場合でもその長さは有意に短かった。雌ずいが短い花器では、花柱の長さが短く、さらに子房がほとんど肥大していない奇形であった(データ未掲載)。不完全花の発生はウメ(Suzukiら, 1995)やモモ(井上, 1982)で報告があり、収量低下の要因となる。アーモンドについては、海外の栽培品種で花芽分化の形態的発達を調査した報告(Lampら, 2001)があるが、彼らの報告では雌ずいの發育不良については述べられていない。

以上のことは、国内で販売される在来アーモンドは形質が一定ではなくクローンではない可能性が高いことと、さらにそれらの在来系統は海外の栽培品種とは異なる特性を有することを示唆している。在来アーモンドについては、今後、自家不和合性など結実特性や果実品質についても調査する必要がある。

## 要 約

本研究では、鹿児島大学農学部附属農場で栽培されている在来アーモンド4系統について、休眠特性と開花期、および花器の形質を調査した。圃場から切り枝を経時的に採取して低温要求量を調査したところ、およそ1000~1200時間であると推定され、系統間により差があるとともに、低温要求量は海外の栽培品種に比べて高い傾向が見られた。休眠覚醒期から花芽発芽率が50%に達するまでの高温要求量は4800~6700 GDHと推定された。開花期は2017-2018年で3月中旬から下旬ごろ、2019-2020年では3月中旬から4月上旬ごろで、系統により異なった。また、花器形質の調査から不完全花の発生率が高い系統があることが分かった。以上より、在来アーモンドは形質が均一ではなく、そして栽培品種と異なる特性があることが示唆された。今後は、結実性や果実品質特性についても調査する必要がある。

## 謝 辞

本研究は鹿児島県始良郡湧水町と鹿児島大学農学部による「湧水町アーモンド植栽等研究業務委託」(平成27年度~令和元年度)の予算で実施した。ここに感謝の意を表す。

## 引用文献

- Dicenta, F., R. Sanchez-Perez, I. Batlle and P. Martinez-Gomez. 2017. Late-blooming cultivar development. In: Almonds – Botany, production and uses. p.168–187. R. Socias i Company and T. M. Gradziel (Eds.). CABI International. Boston.
- Egea, J., E. Ortega, P. Martinez-Gomez and F. Dicenta. 2003. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environ. Exp. Bot.* 50: 79–85.
- FAOSTAT. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online] <https://www.fao.org/home/en> (2023年10月閲覧)
- 井上弘明・伊東秀夫・高橋敏夫・武田昌敏. 1982. モモにおける不完全花の発現と落花果の分離層に関する研究. *日大農獣医学研報* 39: 24–34.
- Lamp, B. M., J. H. Connell, R. A. Duncan, M. Viveros and V. S. Polito. 2001 Almond flower development: Floral initiation and organogenesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126: 689–696.
- Okie, W. R. and B. Blackburn. 2011. Increasing chilling reduces heat requirement for floral budbreak in peach. *HortScience* 46: 245–252.
- Richardson, E. A., S. D. Seeley and D. R. Walker. 1974. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience* 9: 331–332.
- Socias i Company, R., J. M. Anson and M. T. Espiau. 2017. Taxonomy, Botany and Physiology. In: Almonds – Botany, production and uses. p.1–42. R. Socias i Company and T. M. Gradziel (Eds.). CABI International. Boston.
- 杉浦俊彦・坂本大輔・朝倉利員・杉浦裕義. 2010. モモ '白鳳' の花芽における温度と自発休眠覚醒効果との関係. *農業気象*. 66: 173–179.
- Suzuki, N., X. Wang and H. Inoue. 1995. Effects of temperature on fruit development in Japanese apricot cv. Nanko. *Environ. Control in Biol.* 33: 245–251.
- Weinberger, J. H. 1950. Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 56: 122–128.