

リンゴ5品種における休眠特性と低温要求の評価

劉 嘉儀¹・小森貞男²・工藤静香²・熊谷初美²・伊藤大雄³・渡邊 学^{4*}

¹岩手大学大学院連合農学研究科 020-8550 岩手県盛岡市上田

²岩手大学農学部 020-8550 岩手県盛岡市上田

³弘前大学農学生命科学部 038-3802 青森県藤崎町藤崎

⁴岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター 020-0611 岩手県滝沢市菓子

Evaluation of Dormancy Characteristics and Chill Requirements of Five Apple Varieties

Jiayi Liu¹, Sadao Komori², Shizuka Kudo², Hatsumi Kumagai²,
Daiyu Ito³ and Manabu Watanabe^{4*}

¹The United Graduate School of Agricultural Science, Iwate University, Ueda, Morioka, Iwate 020-8550

²Faculty of Agriculture, Iwate University, Ueda, Morioka, Iwate 020-8550

³Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Fujisaki, Fujisaki, Aomori 038-3802

⁴Field Science Center, Faculty of Agriculture, Iwate University, Sugo, Takizawa, Iwate 020-0611

Abstract

In this study, to obtain basic information for developing new cultivation systems and shortening the term of breeding in apple, we investigated the dormancy process and chill units (CU) required to break endodormancy of ‘Fuji’, ‘Orin’, ‘Jonathan’, ‘Ralls Janet’, and ‘Rome Beauty’, which is used in a cultivation system to produce two crops per year by defoliation in Indonesia, during two or three years. As a result, the CU required to break endodormancy of ‘Rome Beauty’, ‘Ralls Janet’, and ‘Jonathan’ were higher than that of other varieties. In contrast, ‘Orin’, which tends to flower unseasonably in Japan, required low CU. The deepest period of endodormancy was longer in ‘Fuji’, ‘Jonathan’, and ‘Ralls Janet’ than in the other cultivars. The time to enter the deepest period of endodormancy and duration of the break period of endodormancy in ‘Fuji’ were the same as in ‘Ralls Janet’. The time to enter the deepest period of endodormancy was earlier and the duration of the break period of endodormancy was longer in ‘Jonathan’ than in ‘Fuji’ and ‘Ralls Janet’. The time to enter of the deepest period of endodormancy was the latest in ‘Rome Beauty’. The time to enter the deepest period of endodormancy in ‘Orin’ was comparable to that in ‘Rome Beauty’, while ‘Rome Beauty’ had more than twice the duration of the deepest period of endodormancy than ‘Orin’. These results suggest that cultivars with a low CU required to break endodormancy and short duration of the deepest period of endodormancy, such as ‘Orin’, and those which entered the deepest period of endodormancy late, such as ‘Orin’ and ‘Rome Beauty’, may be suitable for a cultivation system that produces two crops per year by defoliation.

Key Words : budburst, ecodormancy, endodormancy, paradormancy

キーワード : 萌芽, 自発休眠, 条件的休眠, 他発休眠

緒 言

温帯気候では、果樹は冬になると落葉と生長停止を伴う“休眠”と呼ばれる一種の自己防衛の状態に入る。Langら(1987)によって定義された休眠の3つの段階、すなわち条件的休眠、自発休眠および他発休眠は、温帯果樹において最も一般的な区分である。条件的休眠は、頂芽優勢現象や葉の植物ホルモンバランス (Crabbé・Barnola, 1996; Watanabeら, 2018) など植物の内的な要因によって調節されている。自発休眠は、植物が適切な生育環境下であって

も発芽することができない状態である (Langら, 1987)。亜寒帯および温帯の木本植物は、自発休眠から覚醒するためには、一定の低温に遭遇する必要がある (Hänninen, 2016)。自発休眠後、芽は正常に発育する能力を持っているが、低温や水分不足などの不適な環境条件のため、芽は休眠状態のままである (Montazeranら, 2018)。樹体は強制的な休眠状態にあるため、この状態は他発休眠と呼ばれている。

インドネシア西部ジャワの高地では、リンゴ ‘Rome Beauty’ が年2回、収穫されている (Janick, 1974; 湯田ら, 1981)。熱帯の高地で栽培されるリンゴ樹は果実を収穫後、落葉しない。そのため、4月に1回目の果実を収穫し、その1か月後にリンゴ樹のすべての葉を摘み取り、強制的に萌芽を誘導する。その結果、リンゴ樹は6月に開花し、10月に2回目の果実を収穫できる。再び、収穫の1か月後に

2020年9月30日 受付。2020年12月8日 受理。

本報告の一部は、園芸学会平成26年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: mwata@iwate-u.ac.jp

すべての葉を摘み取り、強制的に萌芽させる。その結果、リンゴ樹は12月に開花し、翌年4月に果実を収穫できる。摘葉の時期は、花芽付近に着生した葉の葉柄が結果枝に対して直角に傾いたときである (Janick, 1974)。もし、摘葉の時期が早過ぎた場合、頂芽は萌芽しても栄養生長のみを示す。このことから、花芽を強制的に萌芽させるための摘葉の適期は、結果枝に花芽が分化し、かつ花芽が条件的休眠期の状態のときであると推察される。従って、我が国においてもリンゴの休眠特性を把握することによって、収穫時期を調節した作型の開発が可能になると考えられる。例えば、リンゴ樹を自発休眠開始前の条件的休眠期に開花誘導できれば (Watanabeら, 2018)、加温や補光可能なハウス内で従来とは異なる時期に果実を収穫することができるだろう。また、これらの栽培技術は育種年限を短縮させることにも応用できると考えられる。

リンゴも含めた落葉果樹の休眠特性に関しては、いくつかの報告がある。リンゴにおいて葉芽の休眠状態の変化は、気温の変化と関連するため (Malagiら, 2015)、リンゴの休眠状態は積算気温に大きく影響される。また、モモの開花日は低温要求と高温要求により決定されるため、開花日はモモ栽培地の気候に影響される (Fanら, 2010)。さらに、中国南京においてウメ 69 品種の休眠打破に必要な低温要求および高温要求が評価され、高温要求はそれらの品種の原生地と関係がなかったが、栽培地域との関係がみられた (Zhuangら, 2016)。このように、休眠と気温の関係は栽培地域によって変化すると考えられる。加えて、これまでに多くのリンゴ品種の休眠特性が報告されているが、報告ごとに調査地が異なるだけでなくチルユニットモデルも異なるため、各品種の休眠特性の比較と利用は難しい (Campoyら, 2012; Funesら, 2016; Ghariani・Stebbins, 1994; Hauage・Cummins, 1991)。従って、品種ごとの休眠特性とそれらに及ぼす気温の影響を解明するためには、個別の地域ごとに対象とするリンゴ品種の休眠特性を同一圃場で数年間、調査する必要がある。また、オウトウ‘佐藤錦’では、自発休眠打破に必要な低温は1,650時間であるが、シアナミド処理による休眠打破と生育促進の効果は低温積算が1,650時間時より1,350時間時の方が高い (渡辺ら, 2006)。低温積算1,350時間時のシアナミド処理は、自発休眠覚醒期の休眠打破処理であったと推測される。従って、リンゴでも自発休眠の導入期、最深期および覚醒期を把握すれば、新しい作型の開発や育種年限の短縮に関する基礎的知見を得ることができると考えられる。

そこで本研究では、国内におけるリンゴの主要品種に加え、インドネシアでリンゴの二期作に使用されている‘Rome Beauty’ (Janick, 1974; 湯田ら, 1981) を含む5品種の休眠特性と低温要求を同一圃場において2または3年間調査した。

材料および方法

1. 供試材料および水挿し試験

岩手県滝沢市にある岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢農場 (北緯39度46分、東経141度7分) において、2012–2013年、2014–2015年および2016–2017年の3年間、以下の調査を実施した。23年生‘ふじ’ (英名‘Fuji’) (M.26台木)、23年生‘王林’ (英名‘Orin’) (M.26台木)、45年生‘紅玉’ (英名‘Jonathan’) (マルバカイドウ台木)、7年生‘国光’ (英名‘Ralls Janet’) (JM2台木) および7年生‘Rome Beauty’ (JM2台木) を各1樹供試した (いずれも2012年4月の樹齡)。2012年において、‘ふじ’、‘王林’、‘紅玉’、‘国光’ および‘Rome Beauty’ の萌芽所要日数は10月17日から翌年2月17日まで調査した。2014年における‘ふじ’、‘王林’、‘紅玉’ および‘Rome Beauty’ の萌芽所要日数は9月1日から翌年2月27日まで調査した。2016年において、‘ふじ’、‘王林’、‘紅玉’、‘国光’ および‘Rome Beauty’ の萌芽所要日数は10月3日から翌年2月22日まで調査した。各品種の長さ15~30cmの新梢7本を各年の調査開始期から2週間ごとに採取した。試験地の近隣にあるアメダス好摩観測所 (盛岡市玉山区好摩、北緯39度52分、東経141度10分) の1981~2010年における年平均気温は9.4°Cで、9月から翌年3月までの平均気温は4.3°Cである。

採取した新梢は、品種ごと、新梢ごとに区別し水挿し試験に供した。水と新梢の腐敗を防ぐために、試験瓶内の水道水に6%次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (キッチンハイター、花王(株)) を2,000倍希釈になるように添加した。水挿しした新梢は25°C、蛍光灯24時間照射の条件下において、3日おきに試験瓶内の水を交換し、新梢基部を水切りした。新梢の採取日から30日間、毎日、頂芽から基部に向かって7番目までの芽の萌芽を調査し、萌芽日を記録した。芽の鱗片の割れ目から生長した葉の長さが、鱗片と同じ長さになったときを萌芽と定義した (Meierら, 1994)。

2. 休眠段階の推定

品種ごとに、新梢の採取日と観察された萌芽日を用いて、新梢の採取日からの萌芽所要日数と萌芽率 (%) [(萌芽した新梢数/採取した新梢数) × 100] を算出した。萌芽率が減少し始め、萌芽所要日数が増加し始めたときを自発休眠導入期とみなした。ただし、新梢の採取開始日に萌芽率が既に減少し始め、萌芽所要日数が増加し始めていた場合、自発休眠導入期は新梢の採取開始日以前からとみなした。また、萌芽率が0%の期間を自発休眠最深期とした。ただし、新梢の採取開始日に萌芽率が既に0%であった場合の自発休眠最深期は、新梢の採取開始日以前からとみなした。また、萌芽率0%を示した時期が一採取日だけの場合、萌芽率0%を示した採取日の直前の調査日を自発休眠最深期の開始日とみなした。その後、萌芽率が50%以上になったとき、自発休眠覚醒期が完了されたとみなした。

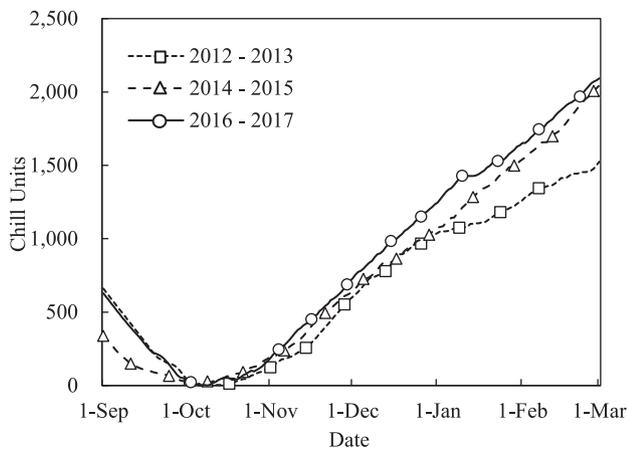


Fig. 1. Chill unit (CU) accumulation patterns of 3 years from September 1 to March 1 the following year at the experimental site. The sampling date pointed is shown. CU accumulation was calculated according to Guak • Neilsen (2013). When the CU changed from decreasing to increasing, it was considered as chill inception. These CU were recalculated and the CU of chill inception become 0.

3. チルユニットの算出

Guak • Neilsen (2013) がリンゴ ‘ガラ’ に適用した温度によって低温積算に対する寄与が異なることとみなす方法に従って、3年間の9月から翌年3月までのチルユニット (CU) を算出した。すなわち、 -2.1°C 以下と $13.1\sim 16.0^{\circ}\text{C}$ までは0 CU、 $-2.0\sim 5.5^{\circ}\text{C}$ までは1 CU、 $5.6\sim 7.0^{\circ}\text{C}$ は0.75 CU、 $7.1\sim 9.0^{\circ}\text{C}$ は0.5 CU、 $9.1\sim 13.0^{\circ}\text{C}$ は0.25 CU、 $16.1\sim 18.0^{\circ}\text{C}$ までは -0.5 CU、 18.1°C 以上は -1 CUの係数を付与した。1日ごとに、各温度帯の時間数にこれらの係数を乗じて、CUを算出した。CUを日ごとに積算し、CU積算が減少から増加に変化した時点が低温感受開始期とした。この低温感受開始期のCUが0になるように再計算し、新たにCU積算の推移図 (第1図) を作成した。また、低温感受開始期から自発休眠覚醒期の完了日までのCU積算を自発休眠打破に必要な低温要求とみなした。

結 果

1. 各調査年次におけるCU積算

試験地の近隣にあるアメダス好摩観測所における2012年、2014年および2016年の9月1日から翌年3月1日までのCU積算の変化を第1図に示した。低温感受開始日は、2012年では10月7日、2014年では10月4日、2016年では10月6日であった。2012年における低温感受開始日から11月1日、12月1日、1月1日、2月1日および3月1日までのCU積算は、それぞれ124, 604, 1,039, 1,263および1,525であった。同様に、2014年におけるCU積算は、それぞれ198, 636, 1,077, 1,541および2,044で、2016年におけるCU積算は、それぞれ189, 731, 1,248, 1,653および2,093であった。2016年のCU積算は他の年よりも多く、2012年のCU積算は最も少なかった。試験地において、最も効果

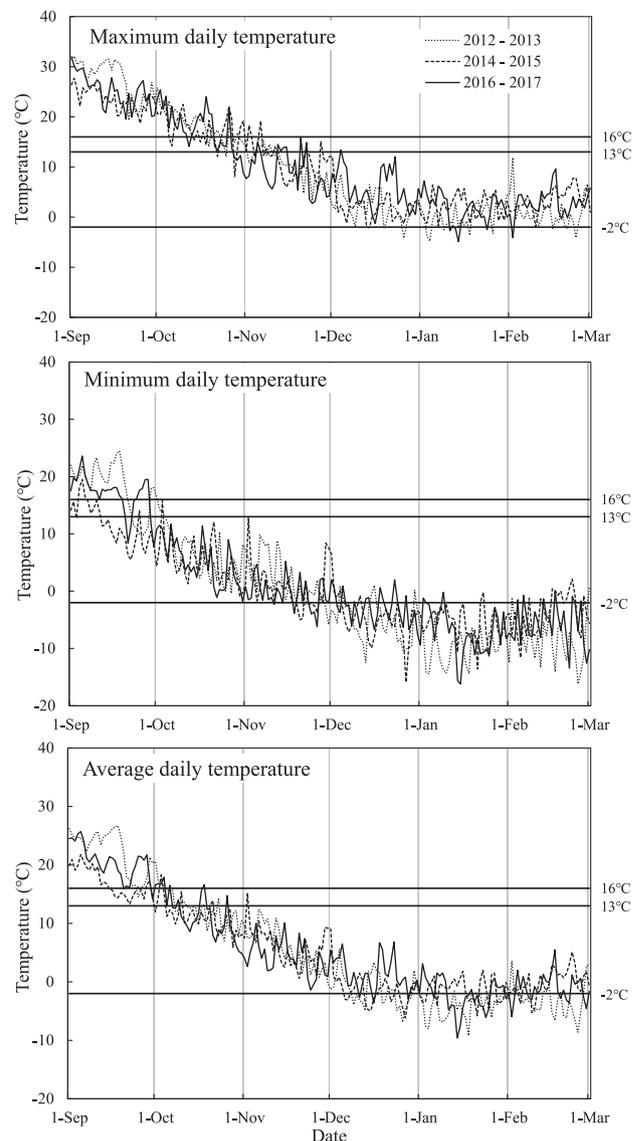


Fig. 2. Maximum, minimum, and average daily temperature from September 1 to March 1 the following year. The lines of -2°C , 13°C , and 16°C show the contribution of chill units. Chill units contributed 0 when the temperature was under -2°C or over 13°C ; and negative chill units contributed when the temperature was over 16°C , which meant that positive chill units contributed within a temperate range from -2°C to 13°C .

的な低温は11月および12月に多かった (第2図)。また、2013年1月および2月において -2°C 以下の低温が多く、この2か月間のCU積算は横ばいになった。

2. 水挿し試験におけるリンゴ5品種の萌芽率および萌芽所要日数の変化

2012年において萌芽率が0%に達した時期は、‘紅玉’では調査を開始した10月17日またはそれ以前であった (第3図)。「ふじ」および「国光」では、11月1日に萌芽率が0%まで減少した。「王林」および「Rome Beauty」の萌芽率が0%まで減少した時期は、それぞれ11月14日および11月28日であった。「王林」の萌芽率は12月13日に増加し、100%

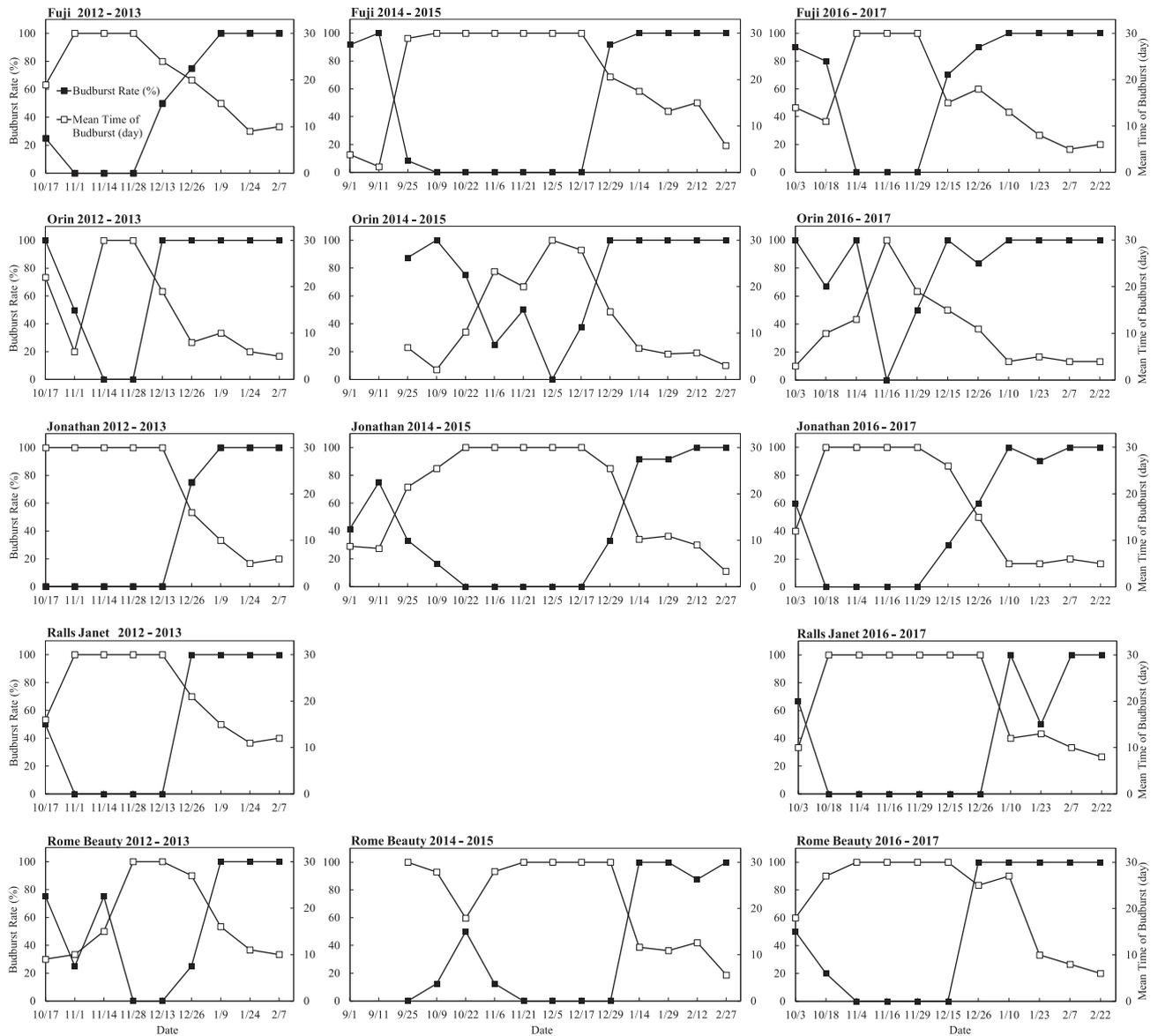


Fig. 3. Time-course changes in budburst rates and mean time of budburst during autumn to winter of 5 apple varieties in 2 or 3 years.

に達した。‘ふじ’の萌芽率は12月13日から増加し始め、2013年1月9日に萌芽率が100%に達した。‘国光’の萌芽率は、12月26日に増加し、100%に達した。‘紅玉’および‘Rome Beauty’の萌芽率は12月26日から増加し始め、2013年1月9日に100%に達した。

2012年において、‘紅玉’では調査を開始した10月17日またはそれ以前に萌芽所要日数が30日に達し、これは5品種の中で最も早かった(第3図)。「ふじ」と‘国光’では11月1日、‘王林’では11月14日に萌芽所要日数が30日に達した。‘Rome Beauty’の萌芽所要日数が30日に達した時期は11月28日で、5品種の中で最も遅かった。‘ふじ’と‘王林’の萌芽所要日数は12月13日から、‘紅玉’、‘国光’および‘Rome Beauty’の萌芽所要日数は12月26日から減少し始めた。12月26日以降、‘王林’の萌芽所要日数は横ばいに推移し、1月24日以降、‘ふじ’、‘紅玉’、‘国光’

および‘Rome Beauty’の萌芽所要日数も横ばいに推移した。

2014年において、萌芽率が0%まで減少した時期は、‘Rome Beauty’では9月25日、‘ふじ’では10月9日、‘紅玉’では10月22日および‘王林’では12月5日であった。‘王林’では12月17日から、‘ふじ’および‘紅玉’では12月29日から、‘Rome Beauty’では2015年1月14日から萌芽率が増加し始めた。萌芽率が100%に達した時期は、‘王林’では12月29日、‘ふじ’および‘Rome Beauty’では2015年1月14日であった。‘紅玉’は、2015年1月14日以降、100%に近い萌芽率を示した。

2014年において萌芽所要日数が30日に達した時期は、‘Rome Beauty’では9月25日またはそれ以前で、‘ふじ’では10月9日、‘紅玉’では10月22日および‘王林’では12月5日であった。‘王林’では12月17日から、‘ふじ’、および‘紅玉’では12月29日から、‘Rome Beauty’では1月14日

から萌芽所要日数が減少し始めた。‘王林’、‘紅玉’および‘Rome Beauty’では1月14日以降に、‘ふじ’では1月29日以降に萌芽所要日数が一時的に横ばいに推移し、その後さらに減少した。

2016年において萌芽率が0%まで減少した時期は、‘紅玉’および‘国光’では10月18日、‘ふじ’および‘Rome Beauty’では11月4日、‘王林’では11月16日であった。‘王林’では11月29日、‘ふじ’および‘紅玉’では12月15日に萌芽率が増加し始め、‘王林’は12月15日、‘ふじ’と‘紅玉’では2017年1月10日に萌芽率が100%に達した。‘Rome Beauty’および‘国光’の萌芽率は、それぞれ12月26日および2017年1月10日に増加し、100%に達した。

2016年において、‘紅玉’および‘国光’では10月18日、‘ふじ’および‘Rome Beauty’では11月4日、‘王林’では11月16日に萌芽所要日数が30日に達した。‘王林’では11月29日から、‘ふじ’および‘紅玉’では12月15日から、‘Rome Beauty’では12月26日から、‘国光’では1月10日から萌芽所要日数が減少し始めた。萌芽所要日数は‘王林’および‘紅玉’では1月10日以降、横ばいに推移し、‘国光’では1月10日以降一時的に横ばいに推移し、その後さらに減少した。‘Rome Beauty’の萌芽所要日数は1月23日以降、減少程度が緩やかになった。‘ふじ’の萌芽所要日数は2月7日以降、横ばいに推移した。

3. リンゴ5品種における各休眠段階の時期および期間ならびに自発休眠打破に必要な低温要求

第3図に示した萌芽率と萌芽所要日数から、2012–2013年、2014–2015年および2016–2017年におけるリンゴ5品種の各休眠段階の完了日を推定した(第1表)。調査開始日には、多くの品種で既に条件的休眠期が完了し、自発休眠導入期に入っていた。2年間または3年間の平均値と比較すると、自発休眠導入期の完了日は、‘紅玉’の10月20日で最も早く、次いで‘ふじ’および‘国光’の10月25日であった。‘Rome Beauty’および‘王林’の自発休眠導入期の完了日は、それぞれ11月17日および11月13日であった。

自発休眠最深期は、2年間または3年間の平均値で11~12月に完了し、13~56日間続いた。‘王林’の自発休眠最深期の完了日は最も早く11月26日で、次いで‘ふじ’の12月4日、‘紅玉’の12月9日であった。‘国光’と‘Rome Beauty’の自発休眠最深期の完了日は最も遅く12月19日であった。‘王林’の自発休眠最深期が最も短く13日間であり、次いで‘Rome Beauty’の31日間であった。‘ふじ’、‘紅玉’および‘国光’の自発休眠最深期は長く、それぞれ47日間、52日間および56日間であった。

自発休眠覚醒期は、2年間または3年間の平均値で12月~翌年1月に完了し、14~23日間続いた。‘王林’の自発休眠覚醒期の完了日が最も早く、12月13日であり、次いで‘ふじ’の12月19日であった。‘紅玉’、‘国光’および‘Rome Beauty’の自発休眠覚醒期の完了日は遅く、それ

ぞれ翌年1月1日、1月2日および1月6日であった。‘ふじ’および‘国光’の自発休眠覚醒期が最も短く14日間で、次いで‘王林’の17日間、‘Rome Beauty’の18日間であった。‘紅玉’の自発休眠覚醒期が最も長く23日間であった。‘ふじ’、‘王林’、‘紅玉’、‘国光’および‘Rome Beauty’の自発休眠打破に必要なCU積算は、2年間または3年間の平均値でそれぞれ930, 831, 1,133, 1,197および1,173であった。

考 察

リンゴにおける各品種の低温要求は、遺伝的に決まっている(Labuschagnéら, 2002)。しかし本研究では、すべての品種で2年間または3年間同一樹を調査したにもかかわらず、自発休眠打破に必要なCU積算は年次により異なった。2014年に調査していない‘国光’を除いた4品種で、自発休眠打破に必要なCU積算は2014年に最も多く、‘王林’を除いた4品種で、2012年に最も少なく、2016年ではその中間であった(第1表)。さらに、‘国光’を除いた4品種で、2014年の自発休眠最深期および自発休眠覚醒期の完了日が、2012年および2016年よりも遅かった(第1表)。2014年における低温感受開始後から自発休眠覚醒期の完了する翌年1月中旬までのCU積算の推移をみると、2012年および2016年の中間を推移していた(第1表)。リンゴ‘ガラ’では低温積算が少ない場合、休眠打破に必要なCU積算も少なくなる(Guak・Neilsen, 2013)。また、リンゴにおいて、少ない低温積算は休眠を浅くし、萌芽の再開を早くする(Malagiら, 2015)。一方、アンズとセイヨウナシにおいて、低温が少なく、低温積算の増加が遅い場合、翌春の開花が遅れることが報告されている(Campoyら, 2010; Browning・Miller, 1992)。しかし本研究では、自発休眠の進行が遅いと自発休眠打破に必要なCU積算が多くなったが、CU積算の推移と自発休眠の進行および自発休眠打破に必要なCU積算に関係はみられなかった。一方、2014年の低温感受開始前である9月におけるCU積算は、2012年および2016年よりも少なく推移した(第1図)。リンゴにおける芽の休眠程度の増大は、低温に遭遇する前に始まっているかもしれない(Hauage・Cummins, 1991)。従って、リンゴが低温感受開始前の気温に感応し、それが休眠の進行に何らかの影響を与えていた可能性がある。

本研究では、すべての供試品種における各温度の低温積算に対する寄与を同一とみなし、Guak・Neilsen (2013)の方法に従ってチルユニット(CU)を算出した。しかし、‘王林’のCU積算は2016年よりも2012年の方が多く、他の品種とは逆の年次変化を示した(第1表)。従って、‘王林’における各温度の低温積算に対する寄与は、他の4品種とは異なるのかもしれない。

Guak・Neilsen (2013)は、自発休眠打破に必要なCU積算に年次間差が生じる理由として、モデルに欠陥があることを挙げている。すなわち、Guak・Neilsen (2013)のチル

Table 1. The end date of each dormancy phase and the chill units required to break endodormancy.

Variety	Years	Paradormancy	Endodormancy			Chill Units required to break endodormancy ^v
		The release date ^z	The release date of onset period ^y	The release date of deepest period ^x	The release date of break period ^w	
Fuji	2012–2013	before 17-Oct	1-Nov	28-Nov (27) ^u	13-Dec (15)	779
	2014–2015	25-Sep	9-Oct (14)	17-Dec (69)	29-Dec (12)	1,026
	2016–2017	before 3-Oct	4-Nov	29-Nov (25)	15-Dec (16)	985
	Average	–	25-Oct	4-Dec (47)	19-Dec (14)	930
Orin	2012–2013	not judged	14-Nov	28-Nov (14)	13-Dec (15)	779
	2014–2015	22-Oct	21-Nov (30)	5-Dec (14)	29-Dec (24)	1,026
	2016–2017	18-Oct	4-Nov (17)	16-Nov (12)	29-Nov (13)	689
	Average	–	13-Nov (–)	26-Nov (13)	13-Dec (17)	831
Jonathan	2012–2013	before 17-Oct	before 17-Oct	13-Dec (57+) ^t	26-Dec (13)	966
	2014–2015	25-Sep	22-Oct (27)	17-Dec (56)	14-Jan (28)	1,283
	2016–2017	before 3-Oct	18-Oct	29-Nov (42)	26-Dec (27)	1,151
	Average	–	20-Oct (27)	9-Dec (52)	1-Jan (23)	1,133
Ralls Janet	2012–2013	before 17-Oct	1-Nov	13-Dec (42)	26-Dec (13)	966
	2014–2015	–	–	–	–	–
	2016–2017	before 3-Oct	18-Oct	26-Dec (69)	10-Jan (15)	1,428
	Average	–	25-Oct (–)	19-Dec (56)	2-Jan (14)	1,197
Rome Beauty	2012–2013	not judged	28-Nov	13-Dec (15)	9-Jan (27)	1,074
	2014–2015	not judged	21-Nov	29-Dec (38)	14-Jan (16)	1,293
	2016–2017	before 3-Oct	4-Nov	15-Dec (41)	26-Dec (11)	1,151
	Average	–	17-Nov (–)	19-Dec (31)	6-Jan (18)	1,173

^z The release date of paradormancy was defined as the sampling date just before the beginning of the onset period of endodormancy.

^y The release date of the onset period of endodormancy was defined as the sampling date just before the beginning of the deep period of endodormancy.

^x The release date of the deep period of endodormancy was defined as the sampling date just before the beginning of the break period of endodormancy.

^w When the budburst rate was over 50%, it was defined as when the break period of endodormancy was released.

^v CU accumulation from the chill inception until the release date of the break period of endodormancy was calculated according to Guak • Neilsen (2013).

^u Numbers in parentheses indicate the number of days in each dormancy stage.

^t '57+' indicates that the number of days exceeds 57.

モデルや Utha モデルでは、リンゴ‘ガラ’の自発休眠打破に必要な低温積算に貢献する可能性がある $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$ が考慮されていないことである (Guak・Neilsen, 2013). そこで、本研究における低温感受開始からすべての品種で自発休眠覚醒期の完了する翌年1月14日までの $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$ の時間を算出すると、2012年、2014年および2016年では、それぞれ254時間、282時間および227時間であった。このように自発休眠打破に必要なCU積算が最も多い2014年で $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$ の時間も多くなり、CU積算の年次変化を $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$ の時間で説明することはできなかった。リンゴの自発休眠打破には 6°C 一定よりも昼夜温 $14^{\circ}\text{C}/6^{\circ}\text{C}$ の変温設定の方が促進的であるが、昼夜温 $17^{\circ}\text{C}/6^{\circ}\text{C}$ および昼夜温 $20^{\circ}\text{C}/6^{\circ}\text{C}$ は 6°C 一定よりも抑制的であることが報告されている (Naorら, 2003). また、オウトウにおいて夜温を 5°C に設定した場合、昼温 25°C 処理区では昼温 15°C 処理区よりも休眠覚醒が遅れた (工藤・野口, 2003). このように高温が低温効果を打ち消すだけでなく (杉浦, 2014), 程度によっては高温が休眠覚醒を促進することも指摘されているため、気温の日較差も考慮した自発休眠打破に必要なCU積算の調査を検討すべきである。

芽の休眠打破に反応する温度は、休眠段階を通して一定ではなく、むしろ樹の生長ステージによって変化する (Parkesら, 2020). また、長さが同じ新梢でもその伸長停止期が同じとは限らないため (渡邊ら, 2018), 採取した新梢の伸長停止期の違いが休眠段階に影響したことも考えられる。さらに、自発休眠の長さは打破時期だけでなく、導入時期にも影響される。本研究において、2012年および2016年では10月から調査を開始したが、調査開始前に既に自発休眠導入期が開始していた場合が多く、その時期を推定できなかった (第1表). 従って、自発休眠の導入に対する温度の影響の品種間差を解明するためには、遅くとも9月初めから調査する必要がある。本研究では、供試品種により台木と樹齢が異なっていた。一般に、同じ品種でも若木の低温要求は成木よりも多い (Campoyら, 2011). しかし、成木における樹齢が低温要求に及ぼす影響について、ドイツトウヒ (*Picea abies* (L.) Karst.) では、樹齢が増加しても環境要因による自発休眠打破に大きな影響はないことが報告されている (Partanenら, 2021). リンゴ台木のM.7はM.26, M.9およびMM.106よりも自発休眠打破に必要なCU積算が低い (Webster, 1995). また、台木の低温要求量が満たされていて、穂木の低温要求量が不十分な場合、台木の低温要求量が穂木にかなり影響する可能性がある (Couvillonら, 1984). 今後、同一台木、同一樹齢の品種を供試し、リンゴ樹の休眠特性を調査する必要がある。

‘王林’における3年間の自発休眠打破に必要なCU積算の平均値は831CUであり、他の品種よりも100~300CU程度少なかった (第1表). また、‘王林’の自発休眠最深期はかなり短かった。低温要求の少ない果樹品種の花芽は、秋季の気温を高めたとき、休眠に入らない、または

徐々に休眠に入る (Campoyら, 2011). ‘王林’は台風の強風を受け落葉した場合、不時開花しやすいことが知られており、この性質には、‘王林’の自発休眠が浅く短いことが関係していると考えられる。ブドウは、自発休眠の最深期以外の時期であれば、薬剤処理によって自発休眠を打破させることができる (Vergara・Pérez, 2010). これらのことから、‘王林’は低温要求が少ないので、冬季に温暖な地域での栽培に適しているだけでなく (Ruizら, 2018), 温度処理や摘葉によって休眠を省略させ、開花日を早める作型に利用できる可能性がある。

‘紅玉’、‘国光’および‘Rome Beauty’の自発休眠打破に必要なCU積算の平均値は、それぞれ1,133CU, 1,197CUおよび1,173CUで、他の品種よりも多かった。また、‘紅玉’、‘国光’および‘Rome Beauty’の自発休眠覚醒の完了日は1月で他の品種よりも遅かった (第1表). これらの結果は、これらの3品種は、自発休眠打破により多くの低温積算を必要とすることを示している。

‘ふじ’、‘紅玉’および‘国光’の自発休眠最深期は、いずれも50日程度あり、他の品種よりも長かった (第1表). その中で‘ふじ’および‘国光’を比較すると、‘国光’の自発休眠最深期が‘ふじ’よりもやや長かったが、自発休眠最深期の開始日と自発休眠覚醒期間は同じであり、両品種の休眠パターンは似ていた (第1表). ‘紅玉’は‘ふじ’および‘国光’よりも自発休眠最深期の開始が早く、覚醒期が長かった (第1表). ‘Rome Beauty’は自発休眠最深期に入る時期が最も遅かった (第1表). ‘王林’の自発休眠最深期に入る時期も‘Rome Beauty’とほぼ同じであったが、‘Rome Beauty’の自発休眠最深期の期間は‘王林’の2倍以上長く、両品種の休眠特性の違いは明瞭であった (第1表).

‘Rome Beauty’は、インドネシアの高地において条件的休眠期の摘葉によって二期作されている (Janick, 1974; 湯田ら, 1981). 本研究では、各品種の条件的休眠期の完了日を明確に示すことはできなかったが、‘Rome Beauty’は自発休眠導入期の完了日が遅く、つまり自発休眠最深期に入る時期が遅かった (第1表). 自発休眠導入期は、摘葉後、環境条件が適していれば、ある程度萌芽を示す時期である。このように、自発休眠最深期に入る時期が遅い品種が摘葉を利用した二期作に適していることが示唆された。従って、‘Rome Beauty’および‘王林’は日本においても加温施設と摘葉を組み合わせた栽培体系の確立により二期作が可能になるかもしれない。

摘葉を利用した二期作において、摘葉時期が早すぎると頂芽が萌芽しても開花しないことから (Janick, 1974), 摘葉を利用した二期作に適した品種の特性として、摘葉時に花芽が十分に発達していることも重要である。自発休眠最深期に入る時期が遅いことは、摘葉を利用した二期作において摘葉時期を遅くすることができるため、花芽の発育期間をより長く確保できるので、二期作にとって重要な特性

と考えられる。今後、品種ごとの休眠特性と花芽分化ステージの関係を解明することにより、摘葉を利用した二期作に、より適した品種を選定することができると考えられる。

自発休眠の導入やその深さ、自発休眠後の生長速度には気温が大きく影響する (Malagi ら, 2015; Mohamed, 2008)。自発休眠最深期の開始日、完了日および自発休眠覚醒期の完了日について、‘国光’がいずれの暦日でも年次間差が最も小さかった (第1表)。しかし、‘国光’は2014年に調査しておらず、また、他の品種では2014年の自発休眠の最深期および覚醒期の完了日が2012年および2016年よりも遅かった (第1表)。従って、これらの結果から、‘国光’の休眠パターンが安定しているとは判断できなかった。‘王林’は自発休眠最深期間の年次間差が最も小さく、‘ふじ’は最も大きかった (第1表)。また、自発休眠覚醒期間の年次間差は、‘ふじ’および‘国光’で最も小さく、‘紅玉’および‘Rome Beauty’で大きかった (第1表)。このように気温の影響を受けやすい休眠段階が品種により異なることがわかった。

本研究では、リンゴ5品種の休眠段階の推移に加え、それらに対する気温の影響も示すことができた。また、低温要求が少なく自発休眠最深期が短い品種、または自発休眠最深期に入る時期が遅い品種が摘葉を利用した二期作に適していることが示唆された。今後、新たな作型の開発や育種年限を短縮するためには、品種ごとの条件的休眠期の完了日および自発休眠最深期の開始日と花芽分化ステージの関係を解明し、それらに対する気温の影響も調査する必要がある。

摘 要

本研究では、リンゴにおける新しい作型の開発や育種年限の短縮に関する基礎的知見を得ることを目的に、リンゴ‘ふじ’、‘王林’、‘紅玉’および‘国光’とインドネシアで摘葉による二期作に使用されている‘Rome Beauty’について、自発休眠の導入期、最深期および覚醒期の把握ならびに自発休眠打破に必要なチルユニット (CU) 積算を2または3年間調査した。その結果、自発休眠打破に必要なCUは‘Rome Beauty’、‘国光’および‘紅玉’で多く、我が国で不時開花しやすい‘王林’で少なかった。‘ふじ’、‘紅玉’および‘国光’の自発休眠最深期は、他の品種よりも長かった。‘国光’および‘ふじ’における自発休眠最深期の開始日と自発休眠覚醒期間は同じであった。‘紅玉’は‘ふじ’および‘国光’よりも自発休眠最深期の開始が早く、覚醒期が長かった。‘Rome Beauty’は自発休眠最深期に入る時期が最も遅かった。‘王林’の自発休眠最深期に入る時期も‘Rome Beauty’とはほぼ同じであったが、‘Rome Beauty’の自発休眠最深期の期間は‘王林’の2倍以上長かった。以上のことから、‘王林’のように低温要求が少なく自発休眠最深期が短い品種、または‘王林’および‘Rome Beauty’のように自

発休眠最深期に入る時期が遅い品種が摘葉を利用した二期作に適していることが示唆された。

引用文献

- Browning, G. and J. M. Miller. 1992. The association of year-to-year variation in average yield of pear cv. Conference in England with weather variables. *J. Hort. Sci.* 67: 593–599.
- Campoy, J. A., D. Ruiz, L. Allderman, N. Cook and J. Egea. 2012. The fulfilment of chilling requirements and the adaptation of apricot (*Prunus armeniaca* L.) in warm winter climates: an approach in Murcia (Spain) and the Western Cape (South Africa). *Eur. J. Agron.* 37: 43–55.
- Campoy, J. A., D. Ruiz and J. Egea. 2010. Effects of shading and thidiazuron+oil treatment on dormancy breaking, blooming and fruit set in apricot in a warm-winter climate. *Sci. Hortic.* 125: 203–210.
- Campoy, J. A., D. Ruiz and J. Egea. 2011. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Sci. Hortic.* 130: 357–372.
- Couvillon, G. A., M. Magnani and C. Freire. 1984. Rootstock influences the chilling requirement of ‘Rome Beauty’ apple in Brazil. *HortScience* 19: 255–256.
- Crabbé, J. and P. Barnola. 1996. A new conceptual approach to bud dormancy in woody plants. p. 83–113. In: G. A., Lang (ed.) *Plant dormancy: physiology, biochemistry and molecular biology*. CAB International, Wallingford, UK.
- Fan, S., D. G. Bielenberg, T. N. Zhebentyayeva, G. L. Reighard, W. R. Okie, D. Holland and A. G. Abbott. 2010. Mapping quantitative trait loci associated with chilling requirement, heat requirement and bloom date in peach (*Prunus persica*). *New Phytol.* 185: 917–930.
- Funes, I., X. Aranda, C. Biel, J. Carbó, F. Camps, A. J. Molina, F. de Herralde, B. Grau and R. Savé. 2016. Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. *Agric. Water Manage.* 164: 19–27.
- Ghariani, K. and R. L. Stebbins. 1994. Chilling requirements of apple and pear cultivars. *Fruit Varieties J.* 48: 215–222.
- Guak, S. and D. Neilsen. 2013. Chill unit models for predicting dormancy completion of floral buds in apple and sweet cherry. *Hort. Environ. Biotechnol.* 54: 29–36.
- Hauagge, R. and J. N. Cummins. 1991. Age, growing temperatures, and growth retardants influence induction and length of dormancy in *Malus*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 116–120.
- Hänninen, H. 2016. *Boreal and Temperate Trees in a Changing Climate: Modelling the Ecophysiology of Seasonality*. p. 1–13. Springer, Dordrecht.
- Janick, J. 1974. The apple in Java. *HortScience* 9: 13–15.
- 工藤 信・野口協一. 2003. オウトウ‘佐藤錦’の自発休眠覚醒時期と低温要求量. *山形園試研報.* 15: 1–10.

- Labuschagné, I. F., J. H. Louw, K. Schmidt and A. Sadie. 2002. Genetic variation in chilling requirement in apple progeny. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127: 663–672.
- Lang, G. A., J. D. Early, G. C. Martin and R. L. Darnell. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22: 371–377.
- Malagi, G., M. R. Sachet, I. Citadin, F. G. Herter, M. Bonhomme, J. L. Regnard and J. M. Legave. 2015. The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. *Trees* 29: 1365–1380.
- Meier, U., H. Graf, H. Hack, M. Hess, W. Kennel, R. Klose, D. Mappes, D. Seipp, R. Stauss and J. Streif. 1994. Phenological growth stages of pome fruit (*Malus domestica* Borkh. and *Pyrus communis* L.), stone fruit (*Prunus* species), currants *Ribes* species and strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Nachrbl. Dtsch. Pflanzenschutzd* 46: 141–153.
- Mohamed, A. K. A. 2008. The effect of chilling, defoliation and hydrogen cyanamide on dormancy release, bud break and fruiting of anna apple cultivar. *Sci. Hortic.* 118: 25–32.
- Montazeran, A., A. Khadivi and A. Khaleghi. 2018. The first report: Chilling and heat requirements of seedless barberry (*Berberis vulgaris* L. var. *asperma*). *Sci. Hortic.* 231: 188–193.
- Naor, A., M. Flaishman, R. Stern, A. Moshe and A. Erez. 2003. Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 636–641.
- Parkes, H., R. Darbyshire and N. White. 2020. Chilling requirements of apple cultivars grown in mild Australian winter condition. *Sci. Hortic.* 260: 108858.
- Partanen, J., R. Häkkinen, S. Sutinen, A. Viherä-Aarnio, R. Zhang and H. Hänninen. 2021. Endodormancy release in Norway spruce grafts representing trees of different ages. *Tree Physiol.* 41: 631–643.
- Ruiz, D., J. Egea, J. A. Salazar and J. A. Campoy. 2018. Chilling and heat requirements of Japanese plum cultivars for flowering. *Sci. Hortic.* 242: 164–169.
- 杉浦俊彦. 2014. 落葉果樹の休眠と低温要求性. p. 追録 29. 施設栽培 50 の 2–6, 50 の 7 の 1–6. 農業技術大系果樹編. 第 8 巻. 共通技術. 農文協. 東京.
- Vergara, R. and F. J. Pérez. 2010. Similarities between natural and chemically induced bud-endodormancy release in grapevine *Vitis vinifera* L. *Sci. Hortic.* 125: 648–653.
- 渡邊 学・猪田由莉・古川翔太・劉 嘉儀・村上政伸・小森貞男. 2018. リンゴ ‘Snowdrift’ の新梢伸長停止期と花芽発育の関係. 園学研. 17 (別 2): 18.
- Watanabe, M., S. Kogawa, Y. Inoda, R. Kagi, H. Kumagai, M. Murakami and S. Komori. 2018. Induction of bud breaking and flowering during paradormancy in apple trees. *Acta Hortic.* 1206: 169–174.
- 渡辺 伸・須藤佐藏・佐々木恵美・安孫子裕樹・野口協一・佐藤健治・工藤 信. 2006. オウトウの薬剤による休眠打破法. 山形園試研報. 18: 49–57.
- Webster, A. D. 1995. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity. *N.Z.J. Crop Hort. Sci.* 23: 373–382.
- 湯田英二・宇都宮直樹・久保田尚浩. 1981. インドネシアにおけるリンゴ栽培. 園学要旨. 昭 56 春 : 154–155.
- Zhuang, W., B. Cai, Z. Gao and Z. Zhang. 2016. Determination of chilling and heat requirements of 69 Japanese apricot cultivars. *Eur. J. Agron.* 74: 68–74.