ニホンナシ混合芽の自発休眠覚醒を抑制する温度条件について

杉浦俊彦*・伊藤大雄**・黒田治之*・本條 均***

(* 農業技術研究機構果樹研究所
** 弘前大学農学生命科学部
*** 宇都宮大学農学部)

Temperatures Inhibiting Endodormancy Completion in Japanese Pear Flower Buds

Toshihiko SUGIURA*, Daiyu ITO**, Haruyuki KURODA* and Hitoshi HONJO***

(* National Institute of Fruit Tree Science, NARO, Tukuba, 305-8605 Japan
** Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Hirosaki, 036-8561 Japan
*** Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya, 321-8505 Japan)

Abstract

The effects of high temperature and subzero temperature on endodormancy completion in flower buds of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. 'Kosui') were investigated using potted trees. The trees were chilled in temperature-controlled (daily cycles of 6/6°C, 6/-3°C, 6/-6°C, 18/6°C, 21/6°C and 24/6°C) dark rooms from late October or from early November. After chilling for various lengths of time, they were forced in a growth chamber adjusted to 25°C. The endodormancy completion was judged from the percentage of flowering and normal flower after forcing.

Flower buds were released from endodormancy by exposure to 6°C for about 780 hours. It was clear that chilling efficiency at -3°C fell within the range of 1/2-1/3 of that at 6°C, while at -6°C, the endodormancy was not complete. High temperatures of 21°C or 24°C negated a part of the cumulative effect previously received from the chilling treatment, but 18°C did not negate it.

Key words: Chilling negation, Developmental stage, Endodormancy, Flower bud, Japanese pear.

キーワード: 休眠進行打ち消し, 自発休眠, ニホンナシ, 発育ステージ, 花芽

1. はじめに

果樹の芽には自発休眠期と呼ばれる発育ステージが存在する。このステージを進行させるためには低温が必要であり、樹種・品種ごとに決まった低温量に遭遇することによって自発休眠ステージの完了すなわち自発休眠覚醒に至る。樹や芽の外観によって自発休眠覚醒を判断することはできないため、果樹の加温栽培を行う場合、自発休眠から覚醒しているかどうかを気温の経過によって判定する必要がある。また開花予測を行う場合、自発休眠覚醒期について考慮すれば予測精度を高めることが可能となる (Aono and Sato, 1996; Sugiura and Honjo, 1997 a)。さらに果樹における栽培南限の判定や地球温暖化の影響予測を行う上でも自発休眠の進行や覚醒と気

温との関係を明確にしておく必要がある。

ニホンナシの自発休眠と低温に関してはこれまでに研究蓄積があるが (Maegawa *et al.*, 1989; Asano and Okuno, 1990; Nishimoto *et al.*, 1995; Tamura *et al.*, 1997), これらの研究は、主として圃場における気温の経過の分析を行ったり、切り枝に温度処理をした結果を分析したもので、必ずしも自発休眠覚醒と気温の関係を実証したものではなく、すべての結果が一致しているわけではない。それに対し、著者らは前報 (Sugiura and Honjo, 1997 b) でニホンナシの施設栽培における主力品種である '幸水' のポット栽培樹に 0~12°C の範囲で温度処理試験を行い、自発休眠覚醒までに必要な時間を温度ごとに明らかにした。またこの結果を基に作成した自発休眠覚醒モデルはつくば市における自発休眠覚醒期を気温の経過から高い精度で予測できることを示した。

上記モデルでは、実験の処理温度範囲外に当たる 0°C

以下の低温が自発休眠ステージを覚醒に向かって進行させる効果は 0°C と等しいとし、一方 12°C 以上の高温は自発休眠進行、覚醒に無効と仮定した。しかし核果類等では極端に低い温度は自発休眠のステージ進行に対して無効という報告がある (Brown, 1960)。また高温に遭遇することは自発休眠の進行に無効であるだけでなく、自発休眠ステージを逆進させる、すなわちそれまで蓄積した低温の効果を打ち消し、自発休眠覚醒を遅延させることが示されている (Erez and Lavee, 1971)。

したがってニホンナシにおいても前報 (Sugiura and Honjo, 1997b) の実験の範囲外の温度は、自発休眠進行に対して無効または逆進させる可能性があるが、このような自発休眠覚醒を抑制する効果について実証した研究例は少なく不明な点が多い。そのため自発休眠期に 0°C 以下または 12°C 以上の気温が多く出現する地域では開発したモデルの適合性に疑問があった。

以上のことから本報では、自発休眠の進行に対し無効あるいは自発休眠進行を打ち消すことにより自発休眠覚醒を抑制する温度条件を、 0°C 以下および $18\sim 24^{\circ}\text{C}$ の範囲において明らかにすることを目的とした。

2. 材料および方法

実験は 1997 年から 2001 年にかけて、ニホンナシ (*Pyrus pyrifolia* Nakai) ‘幸水’ のポット栽培樹を 37 樹供試して行った。供試樹のうち No. 1~3 を対照区、No. 4~19 は低温処理区、No. 20~37 は高温処理区とした。樹齢と処理年次は Table 1 に示した。

このポット栽培樹を 11 月 4 日 (1997 年)、10 月 19 日 (1998 年)、10 月 26 日 (1999 年)、10 月 20 日 (2000 年) から暗黒の恒温室に配置して温度処理を行った。これらの温度処理開始時点では、 12°C 以下の低温にはほとんど遭遇しておらず、またすべての樹はほとんど落葉していなかった。

2.1 対 照 区

No. 1~3 は対照として昼夜とも 6°C で恒温処理した。処理時間は $770\sim 790\text{ h}$ (Fig. 1) とした。これは前報 (Sugiura and Honjo, 1997b) で示した 6°C での自発休眠覚醒に必要な時間 ($720\sim 770\text{ h}$) よりもわずかに長い時間である。

2.2 低温処理区

自発休眠覚醒に対する 0°C 以下の温度の影響を調べるため、No. 4~15 は昼温 6°C 、夜温 -3°C 、No. 16~19 は昼温 6°C 、夜温 -6°C で処理した。昼温を 6°C としたのは氷点下の温度で長時間連続処理すると樹に障害が発生しやすいためである。日ごとの昼夜温の処理時間は Table 1 に示した。処理期間中の各温度の処理時間の合

計値は Fig. 1 に示した。

2.3 高温処理区

自発休眠覚醒に対する高温の影響を調べるため、No. 20~21 については温度処理を前期と後期に分けそれぞれ異なる温度処理をした。すなわち前期は夜温を 6°C とし、昼温は 18°C の高温として、夜間の低温時間の積算を昼間に中断した。処理前期の日ごとの昼夜温の処理時間は Table 1 に示した。処理後期については昼夜とも 6°C で連続処理した。前・後期を通じた処理期間中の各温度の処理時間の合計値は Fig. 2 に示した。

同様に No. 22~29 の処理前期については夜温 6°C 、昼温 21°C 、No. 30~37 の処理前期については夜温 6°C 、昼温 24°C とし、いずれも処理後期については 6°C で連続処理した。処理前期の昼夜温の処理時間は Table 1 に、前・後期を通じた処理期間中の各温度の処理時間の合計値は Fig. 3, 4 に示した。

なお No. 20~37 について温度処理を前・後期に分け、高温処理を処理前期のみとしたのは、もし高温処理中に自発休眠覚醒してしまうと次の自発休眠覚醒の判定に進む前に開花してしまう可能性があるからである。高温処理を短くすることにより、自発休眠覚醒したとしても処理後期の 6°C 連続処理中に覚醒するように区を設定した。

2.4 自発休眠覚醒の判定

自発休眠から覚醒しているかどうかの判定は、No. 1~37 と同前報と同じ方法で行った。すなわち上記の各処理区の樹を、処理後ただちに 25°C に設定した自然光人工気象室に移動して加温栽培し、開花および出葉状況を調査した。混合芽から 1 花でも開花または 1 葉でも出葉すれば、その混合芽は開花または出葉したと判断した。全混合芽数当たりの開花芽数を開花率と定義した。またひとつの混合芽より開花し、かつ出葉したものを正常花とし、全混合芽数当たりの正常花数を正常花率と定義した。開花率が 70% に到達し、かつ正常花率が 50% 以上であれば、その樹は自発休眠から覚醒したものとし、どちらかの基準に満たない樹は、十分に自発休眠から覚醒していなかったと判定した。

3. 結 果

3.1 対照区・低温処理区

対照区・低温処理区の自発休眠覚醒の判定結果を Fig. 1 に示した。 6°C で約 780 h 処理した対照区 (No. 1~3) はいずれも自発休眠から覚醒した。

次に対照区と比較して 6°C での処理時間を短縮し、その不足分を -3°C に置き換えた No. 4~15 の結果をみると、処理区によって自発休眠覚醒に差がみられた。すな

Table 1. Outline of the temperature treatments for potted Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. 'Kosui') trees.

Tree number	Tree age	Treatment year	Day time		Night time	
			Temp. (°C)	Dur. (h)	Temp. (°C)	Dur. (h)
No. 1	7	1997	6		6	
No. 2	2	1999	6		6	
No. 3	2	1999	6		6	
No. 4	6	1997	6	16	-3	8
No. 5	6	1997	6	16	-3	8
No. 6	2	1999	6	12	-3	12
No. 7	2	1999	6	12	-3	12
No. 8	6	1997	6	12	-3	12
No. 9	6	1997	6	12	-3	12
No. 10	2	1999	6	8	-3	16
No. 11	2	1999	6	8	-3	16
No. 12	6	1997	6	9.6	-3	14.4
No. 13	6	1997	6	9.6	-3	14.4
No. 14	6	1997	6	8	-3	16
No. 15	6	1997	6	8	-3	16
No. 16	3	1998	6	9.5	-6	14.5
No. 17	6	1997	6	8	-6	16
No. 18	6	1997	6	8	-6	16
No. 19	4	1998	6	8	-6	16
No. 20	3	1998	18	12	6	12
No. 21	3	1998	18	12	6	12
No. 22	2	1999	21	12	6	12
No. 23	2	1999	21	12	6	12
No. 24	2	1999	21	10.5	6	13.5
No. 25	2	1999	21	10.5	6	13.5
No. 26	2	1999	21	8.5	6	15.5
No. 27	2	1999	21	8.5	6	15.5
No. 28	2	1999	21	7.5	6	16.5
No. 29	2	1999	21	7.5	6	16.5
No. 30	2	2000	24	12	6	12
No. 31	2	2000	24	12	6	12
No. 32	2	2000	24	12	6	12
No. 33	2	2000	24	12	6	12
No. 34	2	2000	24	12	6	12
No. 35	2	2000	24	12	6	12
No. 36	2	2000	24	12	6	12
No. 37	2	2000	24	12	6	12

No. 20-37: Continuous 6°C treatment was added after the treatment listed above.

わち 6°C 処理時間の不足分 (約 260~380 h) をほぼ同じ長さの -3°C 処理に置き換えた No. 4~7 はこの温度処理により自発休眠から覚醒することはなかった。このことは -3°C の自発休眠覚醒に対する有効性は 6°C よりも劣ることを示している。また 6°C 処理時間の不足分 (約 260~380 h) の 2 倍程度の時間 (約 500~780 h) を -3°C 処理に置き換えた No. 8~11 も No. 4~7 同様に自発休眠から覚醒することはなかった。しかし 6°C 処理時間の不足分 (約 260 h) の 3 倍程度の時間 (約 750 h) を -3°C 処理に置き換えて処理した No. 12~13 およびその不足

分の 4 倍程度 (約 1,010 h) の時間を -3°C に置き換えて処理した No. 14~15 ではいずれも自発休眠から覚醒した。これらの結果は -3°C は自発休眠覚醒に対して有効な温度であるものの、その有効性は 6°C での有効性 1/2 よりは小さく、1/3 よりは大いことを示している。

一方、対照区と比較して 6°C 処理時間の不足分 (約 260 h) をその約 3, 4 倍程度の長さの -6°C 処理に置き換えて処理した No. 16~19 では自発休眠覚醒がみられず、-6°C の自発休眠覚醒に対する有効性は小さいことが示唆された。

Fig. 1. The relationship between total time of temperature treatments and endodormancy completion in flower buds of Japanese pear (○: completion, —: incompleteness). Potted trees were chilled in daily cycles of 6/6°C, 6/-3°C and 6/-6°C. The endodormancy completion was judged from the percentage of flowering and normal flower after forcing at 25°C.

3.2 高温処理区

18°Cの高温処理が自発休眠覚醒に及ぼす影響を Fig. 2 に示した。No. 20 は処理前・後期を通じて合計の 6°C 処理時間が対照区の 6°C 処理時間と同程度 (約 810 h) とし、かつ処理前期の昼間に 18°C で処理 (600 h) を行って低温積算を中断したものである。また No. 21 は処理前期の昼 (18°C)、夜 (6°C) の処理時間を No. 20 の 2 倍長くしたものである。これらの樹がいずれも自発休

眠から覚醒したことから、18°C で自発休眠期の低温積算を中断してもその影響は小さいことが示された。

一方、処理前・後期を通じて合計の 6°C 処理時間を対照区の 6°C 処理時間と同程度 (約 780 h) とし、かつ処理前期の昼間に 21°C (600 h) で低温積算を中断した No. 22~23 では、No. 20~21 と異なり、自発休眠から覚醒することはなかった (Fig. 3)。このことは 21°C の温度条件が自発休眠覚醒に効果がないだけでなく、自発休眠期の低温積算を打ち消していることを示している。No. 24~25 は処理前期の 6°C にさらした時間を No. 22~23 に比べて長くし、処理前・後期を通じて合計の 6°C 処理時間を約 950 h としたものであるが、やはりこの温度処理によって自発休眠覚醒することはなかった。No. 26~29 は処理前期の 6°C の時間をさらに延ばし、合計の 6°C 処理時間を約 1,280 または 1,500 h としたものであるが、このうち一部の樹が自発休眠覚醒した。

24°C の高温処理が自発休眠覚醒に及ぼす影響を Fig. 4 に示した。処理前・後期を通じて合計の 6°C 処理時間を対照区の 6°C 処理時間と同程度 (約 780 h) とし、かつ処理前期の昼間に 24°C (600 h) で低温積算を中断した No. 30~31 では、この温度処理により自発休眠から覚醒することはなかった。このことは 24°C も 21°C と同様に自発休眠覚醒に効果がないだけでなく、自発休眠期の低温積算を打ち消していることを示している。No. 32~35 は処理後期の 6°C の時間をより延ばし、処理前・後期を通じて合計の 6°C 処理時間を 960 または 1,250 h としたものであるが、自発休眠覚醒することはなかった。一方、合計の 6°C 処理時間を 1,560 h まで延長した No. 36~37 は自発休眠覚醒した。

4. 考 察

自発休眠覚醒と低温要求に関しては古くから研究がなされており、すでに 1932 年には 45°F (7.2°C) 以下の低温に遭遇した時間を積算することにより、自発休眠覚醒期を推定する方法が提唱され (Weinberger, 1950)、現在でも気温 7.2°C 以下に遭遇する時間数から自発休眠覚醒を推定する方法が、施設栽培の現場などで広く利用されている。

しかし、Erez and Lavee (1971) はモモにおいて、3°C および 10°C では 6°C に比べて自発休眠進行に対する効果が小さく、18°C では無効であり、21°C ではそれまで積算された低温を打ち消すことを実験的に示した。Richardson *et al.* (1974) がモモの自発休眠覚醒期を推定するために開発したチルユニットは、低温時間を単純に積算するのではなく、温度によって重み付けした係数を積算するモデルである。このモデルでは、自発休眠覚

Fig. 2. The relationship between total time of temperature treatments and endodormancy completion in flower buds of Japanese pear (○: completion, —: incompletion). Potted trees were chilled at first under 18/6°C daily cycle and later at continuous 6°C.

Fig. 3. The relationship between total time of temperature treatments and endodormancy completion in flower buds of Japanese pear (○: completion, —: incompletion). Potted trees were chilled at first under 21/6°C daily cycle and later at continuous 6°C.

Fig. 4. The relationship between total time of temperature treatments and endodormancy completion in flower buds of Japanese pear (○: completion, —: incompletion). Potted trees were chilled at first under 24/6°C daily cycle and later at continuous 6°C.

醒に対する効果は6℃付近が最も効力の高い温度とされて係数1が与えられ、2.4℃以下ではその有効性が劣り(係数0.5)、1.4℃以下では無効としている(係数0)。また16℃以上では自発休眠期のステージが覚醒に向かって、ある程度進んでいても、もとに戻ってしまうとしている(係数-0.5)。18℃を越えると最小の係数-1が与えられており、この温度に1h遭遇した場合の打ち消し効果は6℃付近に1h遭遇した場合の促進効果を無効にする大きさがあるとしている。

このように7.2℃以下でもすべての温度が自発休眠覚醒に有効とはいえないことが知られている。本研究では-3℃の自発休眠覚醒に対する有効性は6℃に比べて1/2~1/3程度であり、-6℃の有効性は小さいことが示された。したがってニホンナシにおいても極端な低温はモモ同様に自発休眠ステージの進行を遅らせるものと考えられる。

著者らは前報(Sugiura and Honjo, 1997b)においてニホンナシ‘幸水’について自発休眠ステージの進行に対する有効性を0~12℃の温度範囲で実験的に検討し、0~6℃が最も有効性の高い温度であり、9℃では有効性がやや劣り、12℃では有効性が小さいことを示した。このうち、0℃は6℃と同程度、自発休眠の進行に対して有効であったことと、今回示した-3℃が6℃よりも有効性は劣るものの、自発休眠覚醒に有効な温度であることからニホンナシではモモで示されているよりも低い温度でも自発休眠ステージの進行が促進されるものと推察される。

Tamura *et al.* (1997) は Richardson *et al.* (1974) によるモモのチルユニットを鳥取における過去5年間の気温の経過に適用し、ニホンナシ‘二十世紀’の自発休眠覚醒期を推定した。その結果、-4.0℃までを自発休眠ステージの進行に有効な温度とするなどの修正を行った方が、チルユニットの推定精度が高くなることを示した。今回の実験結果は Tamura *et al.* (1997) によるチルユニットの修正の一部の正当性を実験によって裏付ける結果となった。

本研究ではモモなどで知られている高温による低温積算の打ち消し、すなわち自発休眠ステージの逆進効果がニホンナシでは21℃以上に認められることが示された。今回の結果のみからではこの打ち消し効果の定量的評価を精度よく行うことは難しいが、次のように予想される。24℃を600h、6℃を約1,250h処理とした樹(No. 34~35)は自発休眠覚醒することにはなかったのに対し、24℃を600h、6℃を1,560h処理とした樹(No. 36~37)は自発休眠覚醒した。すなわち後者のように24℃遭遇時間に対する6℃遭遇時間の超過分を、対照

区(6℃で約780h処理)よりも長く設定しないと自発休眠覚醒しなかった。このことから24℃に1h遭遇した場合の打ち消し効果は6℃付近に1h遭遇した場合の促進効果を無効にする程度の大きさがあるものと考えられた。また21℃を約600h、6℃を約950h処理した樹(No. 24~25)は自発休眠覚醒することにはなかったのに対し、21℃を約600h、6℃処理を約1,280または1,500h処理した樹(No. 26~29)は一部の樹が自発休眠覚醒した。24℃の場合と同様に考えると、21℃の打ち消し効果も24℃と同程度の可能性がある。

Tamura *et al.* (1997) のチルユニットでは Richardson *et al.* (1974) と同様に16℃以上を打ち消し効果がある温度と仮定しているが、今回の実験では18℃では打ち消し効果は認められず、品種の違いの可能性もあるが、今後の検討の余地を残している。

またニホンナシ‘二十世紀’では45℃(Tamura *et al.*, 1993)、ブドウでは37℃(Nakagawa *et al.*, 1996)といった極端な高温は逆に自発休眠の進行を促すことが知られているが今回の実験範囲では高温による促進効果はみられなかった。

今回および前報の結果をまとめるとニホンナシ‘幸水’における自発休眠ステージが覚醒に向かって進行することに対する温度の寄与は次のように変動するものと推察される。-6℃以下は無効であり、-6℃付近から0℃付近まで有効性は徐々に高まる。0~6℃は最も有効性の高い温度であり、6℃付近から12℃にかけて、その有効性は徐々に低下する。12℃付近から18℃付近は無効であるが、21~24℃の高温ではそれまでに蓄積された低温積算の効果の一部を打ち消して、自発休眠ステージを逆進させる効果がある。

5. 摘 要

ニホンナシ混合芽の自発休眠ステージの覚醒に至るまでの進行に対し、低温にもかかわらず無効な温度およびそれまでの低温積算の一部を打ち消して、ステージを逆進させる温度条件を明らかにするため、‘幸水’のポット栽培樹に昼夜温 6/6, 6/-3, 6/-6, 18/6, 21/6, 24/6℃を処理し、次の結果を得た。

1. -3℃は自発休眠のステージ進行に有効であったが、その有効性は6℃の1/2~1/3程度であった。
2. -6℃は自発休眠ステージの進行に無効であった。
3. 18℃には低温積算の打ち消し効果が認められなかった。
4. 21℃および24℃は低温積算の一部を打ち消して、自発休眠ステージを逆進させる効果が認められた。

謝 辞

栽培試験，生態調査でのご助力のみならず数々の有用なご指摘を賜った愛知県農業総合試験場園芸研究所蒲郡支所 本美善央氏，鹿児島県果樹試験場北薩支場 木崎賢哉氏，長野県中信農業試験場 平林秀彦氏の各位に厚く御礼申し上げます。

References

- Aono, Y. and Sato, K., 1996: Estimation of flowering date for Japanese apricot tree (*Prunus mume*) in western Japan considering both processes of rest break and development. *J. Agric. Meteorol.*, **52**, 125-134.
- Asano, S. and Okuno, T., 1990: Period of breaking the rest and the quantity of chilling requirement of 'Kosui' and 'Hosui' Japanese pear. *Bull. Saitama Hortic. Expt. Sta.*, **17**, 41-47.
- Brown, D.S., 1960: The relation of temperature to the growth of apricot flower buds. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **75**, 138-147.
- Erez, A. and Lavee, S., 1971: The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I. Temperature. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **96**, 711-714.
- Maegawa, T., Hattori, Y. and Kobayashi, N., 1989: Establishments of Japanese pear's growth forecast and fruit management and timely harvest judgment methods. *Bull. Mie Agric. Technical Center*, **17**, 11-24.
- Nakagawa, S., Horiuti, S. and Matsui, H. (eds.), 1996: Science of Japanese grapes. Yokendo, Tokyo, 561 pp. (中川昌一・堀内昭作・松井弘之(編), 1996: 日本ブドウ学. 養賢堂, 東京, 561pp.).
- Nishimoto, N., Kisaki, K. and Fujisaki, M., 1995: Estimation of chilling requirement of using a grafting method in Japanese pear. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, **64**, 140-141.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D. and Walker, D. R., 1974: A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience*, **9**, 331-332.
- Sugiura, T. and Honjo, H., 1997a: A dynamic model for predicting the flowering date developed using an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. *J. Agric. Meteorol.*, **52**, 897-900.
- Sugiura, T. and Honjo, H., 1997b: The effects of temperature on endodormancy completion in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and modeling the relationship. *J. Agric. Meteorol.*, **53**, 285-290.
- Tamura, F., Tanabe, K. and Itai, A., 1997: A model for estimating rest completion for 'Nijisseiki' pear. *Environ. Control Biol.*, **35**, 185-189.
- Tamura, F., Tanabe, K., Banno, K. and Ikeda, T., 1993: Effect of high temperature treatment on breaking of bud dormancy in Japanese pear 'Nijisseiki'. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, **62**, 41-47.
- Weinberger, J. H., 1950: Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **56**, 122-128.