

SPECIAL BULLETIN
OF THE
TOTTORI PREFECTURAL AGRICULTURE AND FOREST RESEARCH INSTITUTE
HORTICULTURAL EXPERIMENT CENTER

No. 1

March, 2009

鳥取県農林総合研究所園芸試験場特別報告

第 1 号

平成21年 3 月

ニホンナシの気温に対する応答反応の解明と
高糖度果実の生産技術に関する栽培生理学的研究

池 田 隆 政

鳥取県農林総合研究所園芸試験場
(鳥取県東伯郡北栄町)

Agro-Physiological Studies on the Elucidation of Ecology Reaction for Temperature
and the Technology of Sugar Content Improvement of Japanese Pear

by Takamasa Ikeda

TOTTORI PREFECTURAL AGRICULTURE AND FOREST RESEARCH INSTITUTE
HORTICULTURAL EXPERIMENT CENTER
(HOKUEI, TOHAKU, TOTTORI, 689-2221 JAPAN)

鳥取農林総合研園試特報 1 : 1 - 72 (2009)

ニホンナシの気温に対する応答反応の解明と
高糖度果実の生産技術に関する栽培生理学的研究

Agro-Physiological studies on the elucidation of ecology reaction for temperature
and the technology of sugar content improvement of Japanese pear

2 0 0 9

池 田 隆 政

鳥取県農林総合研究所園芸試験場

目 次

緒 言	1
第1編 温度変化に対する樹体の応答反応に関する研究	3
第1章 ‘二十世紀’の開花予測技術の検討	3
第2章 温度変化による成育時期の変化がニホンナシの花芽分化期および自発休眠期に及ぼす影響	6
第1節 温度変化による成育時期の変化がニホンナシの花芽形成時期に及ぼす影響	6
第2節 温度変化に伴う成育時期の変化がニホンナシの自発休眠に及ぼす影響	11
第3章 ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’の新梢成長初期における温度反応	15
第1節 成育初期（展葉後約40日間）の温度条件が樹体成育に及ぼす影響	15
第2節 成育初期（満開後約40日間）の温度条件が果実および樹体成育に及ぼす影響	19
第3節 植物成長調節物質の散布が新梢成長に及ぼす影響	23
第4章 第1編 総合考察	28
第2編 高糖度果実の安定生産技術に関する研究	30
第1章 ニホンナシ短果枝葉の光合成能力の季節変化	30
第2章 非破壊糖度センサーによる果実糖度の推定と糖度予測技術の検討	42
第3章 葉果比が果実品質に及ぼす影響	46
第4章 高品質果実生産のために必要な短果枝葉の確保技術	51
第1節 高品質果実生産に必要な葉果比の確保技術	51
第2節 短果枝の安定確保技術	53
第5章 第2編 総合考察	57
総合考察	59
総合摘要	62
Summary	64
謝 辞	66
引用文献	67

ニホンナシの気温に対する応答反応の解明と 高糖度果実の生産技術に関する栽培生理学的研究

池田 隆 政

緒 論

鳥取県は1904年（明治37年）に千葉県からニホンナシ‘二十世紀’を導入して以来、本品種を柱として産地が発展し、長い間、栽培面積、生産量ともに日本一のニホンナシ産地であった。しかし、栽培面積は1983年（昭和58年）をピークに減少に転じ、2008年（平成20年）には、1,230ha（農林水産省統計、2008）で全国第3位となっている。全国的に見てもニホンナシの栽培面積は伸びていない。今後、産地を維持していくためには、生産者が確実に所得を上げていくことが大切であり、そのためには毎年安定した生産量を確保することならびに消費者の求める高品質な果実を作り、高値で販売することが必要である。

永年性作物である果樹の場合、干ばつや低温といった気象災害は、当年のみならず翌年の樹体成育や収量に影響することから、安定生産や果実品質の向上にとって重大な問題である。近年の気象は、地球温暖化の傾向が顕著である。2007年2月に発表された「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の報告では、20世紀中に地球の平均地上気温は約0.74℃上昇しており、今後さらにこの傾向が顕著になることが予測されている（IPCC、2007）。これらの報告を受け、まず水稲など穀物類について影響予測が行われ（林、2001；Horieら、1995；清野、1995；米村ら、1998）、果樹においても、これまでに起こってきた現象の解析や影響予測が活発に行われ始めた（杉浦・横沢、2004；本條ら、2002；伊藤・市ノ木山、2005；杉浦ら、2007）。また、温暖化との関係は明確でないが、近年の日本の気象は不安定である。2005年に発表された気象庁の報告では、1998年から2004年の間に発生した気象の特徴として、異常高温や異常多雨の頻発、春の異常多照、異常寡照の多発などが挙げられている（気象庁、2005）。その後も2005年1月は異常低温、翌2006年12月から2007年1月は一転して記録的暖冬と変化が激しい。温暖化の影響により栽培適地が移動するという報告（杉浦・横沢、2004）もあることから、このような気

象変動への対応策としては、樹種の変更が考えられる。しかし果樹栽培の場合、樹種の変更は作業が大規模となる上、変更には時間がかかり、その間の収入減を考えると容易ではない。出来る限り栽培技術による対応が望まれる。

果樹栽培において、花芽数を確保するための樹体管理と開花期における人工受粉作業は、収量と果実品質に直接結びつくため、栽培上非常に重要である。ニホンナシの花芽形成制御については、植物成長調節物質の利用に関する研究が行われている（伴野ら、1984、1985a、1985b；Itoら、1999、2000、2001）。ほか、花芽分化時期に関する報告も多い（伴野ら、1985b；弦間ら、1989、林、1960；堀内ら、1973；川口、1933）。しかし、今後、温暖化が進行した際に予想されるような、成育時期の移動に伴う分化時期の変化について検討された例は、弦間ら（1989）が、ハウス栽培の‘幸水’腋花芽の分化・発達に関して報告しているのみである。一方で、新たに形成された花芽は秋期から冬期にかけて、自発休眠に入る。自発休眠は品種固有の低温要求量が満たされることで打破され（Westwood、1978；Saure、1985）、やがて春の開花に至る。ところが、近年、九州地区を中心に自発休眠の打破に必要な低温量の不足と思われる発芽不良が報告されている（黒田、2004）。この現象はニホンナシ栽培の中で温暖化の影響がはっきり現れている例であろう。また、温暖化に伴って開花時期にも変動が見られており（本條ら、2002；伊藤・市ノ木山、2005；杉浦ら、2007）、開花予測技術が注目されている。開花予測の精度を向上させる上で自発休眠の導入期および打破時期は重要な知見となる。開花予測や花芽分化から自発休眠の覚醒にいたる花芽のライフサイクルに対し、気温が及ぼす影響を明らかにすることは、気象変動に対応しながら花芽の確保や確実な受粉作業を行うために非常に重要な部分である。

ニホンナシの果実発育や成長に対し温度が影響してい

ることは古くから知られており（遠藤、1973a、1973b；本條ら、1989；今井ら、1989；佐藤、1968）、特に満開後約1ヶ月間の気温の影響が大きいことが明らかにされている（平田ら、1981、1982、1983；杉浦ら、1995）。しかしながら、温度と樹体成長の関係を調査した研究は、本條ら（1983）がガラス室で行った試験を除き、ハウス栽培樹の成育特性を述べているものが多く、被覆による遮光の影響と温度の影響の整理がされていない。また、ニホンナシの果実肥大に関しては、すでに植物成長調節物質による肥大および成熟促進技術が実用化されている（平田ら、1982）が、樹体成長を制御するための植物成長調節物質は実用化されていない。植物成長調節物質による制御は、低温時における果実肥大促進（井上ら、2001）のように気象災害の影響を最小限に抑えるために有用であり、枝葉の発育についても植物成長調節物質による制御技術確立が期待される。

次に果実品質に対する気象の影響に関する研究例をみると、ニホンナシの果実品質を決定する重要な要素（町田、1965）として知られる糖度は、気象の影響を受けやすいことが報告されている（積田、1972；牛島、1995）。しかし、異常気象年においても鳥取県内各産地で行われる栽培反省会の席上では好成績を残している優秀園がある。この事実は、栽培技術により気象変動の影響を最小限に抑えることが出来ることを示すものである。一方、鳥取県産のニホンナシ‘二十世紀’は、1935年（昭和10年）頃から現在に至るまで常に糖度不足による食味不良が問題となっている（井上、2004）。全体的な糖度のレベル向上は、高品質果実の生産が求められる中、‘二十世紀’生産の最重要課題である。

果実品質評価に関連する技術で、近年著しく進歩したものに近赤外分光法を用いた果実糖度の非破壊測定がある。この技術は、1989年に初めてモモの選果場に導入され、現在ではモモ、ナシ、リンゴ、柑橘およびカキで利用されている（水野、1999）。糖度による内部品質の保証は、産地の信頼性を高めるとともに、測定データに基づいた栽培指導を可能にして、産物の品質向上に寄与している。しかし、低糖度年には、センサーによって低糖度果実が多く判別された結果、製品率を下げている事例

や高価格で導入したセンサーを一部の高糖度果実の選別のみに使用している事例もあり、高糖度化技術開発に関する要望をさらに強くしている。こうした中、重量約5kgの携帯型非破壊糖度センサーが開発され、その長所を生かした、圃場における糖度測定法の開発が求められている。

そこで、本研究では、近年の気象変動の中で特に顕著な傾向を示す、温度変化に対応したニホンナシ高品質果実の安定生産技術を確立することを目的に、以下の試験を行った。

まず、第1編では、温度変化への対応技術確立を目的として、温度変化に対する樹体の応答反応を詳細に調査した。第1章では、異常気象下において精度が不安視されている現在の‘二十世紀’の開花予測法に変わる方法を検討した。第2章では、果実生産を左右する花芽について、分化から自発休眠覚醒までの温度変化が花芽のライフサイクルに及ぼす影響を調査し、樹体管理や開花予測の精度向上のための基礎的知見を得ることを試みた。第3章では温度変化が新梢成長と果実発育に及ぼす影響を明らかにし、温度変化に対応するための成育制御技術確立に向けた知見を得ようとした。

次に、第2編では、高品質果実の安定生産技術の開発を目的として、葉と糖度の関係を詳細に調査した。第1章では、果実生産に重要な働きを果たす短果枝葉について光合成能力の季節変化を調査し、新たな技術開発の可能性を模索した。第2章では、ほ場における携帯型非破壊糖度センサーの精度を調査するとともに、収穫前1ヶ月間の糖度変化を5年間に渡って調査し、収穫時期前の糖度予測技術の可能性を検討した。第3章では、糖度11度以上の‘ゴールド二十世紀’の果実を安定生産するための葉果比を携帯型非破壊糖度センサーにより調査し、糖度と葉枚数の関係を従来の報告よりも明確にすることを試みた。第4章では第3章で得られた知見に基づいて、労力負担を増やさずに目標葉果比を得るための剪定技術について検討を行い、技術の体系化を図った。

最後に総合考察においてこれらの試験を総括し、気象変動下においてニホンナシを安定生産するための方向性について考察した。

第1編 温度変化に対する樹体の応答反応に関する研究

地球温暖化への対策は、今後、作物栽培を行う上では避けて通れない課題である。特に永年性作物である果樹栽培は、気象の影響を1年中受ける上、作期の移動や品目の変更が1年生作物に比べて難しいため、影響予測や

対策について、早急な取り組みが求められている。そこで、本編では温度変化に対する樹体の応答反応を詳細に調査し、温度が樹体成長に及ぼす影響の解明とその温度変化対応技術への応用を目的とする研究を行った。

第1章 ‘二十世紀’の開花予測技術の検討

ニホンナシ (*Pyrus pyrifolia* (Burm. f) Nakai) は、自家不和合性の品種が多く、高品質果実の生産のためには人工受粉作業が不可欠である。最適な受粉時期は開花後3日以内(林, 1960)であり、この間に効率よく作業を行うためには、花粉の確保や雇用労力の確保、受粉前後の防除計画等、開花にあわせた準備が必要である。そこで、古くから開花予測技術の検討がなされてきた(福井ら, 1994; 泉谷・田中, 1972; 熊木, 1980)。鳥取県においては、ニホンナシ ‘二十世紀’の開花予測(満開日)が、3月の日々の最高気温から7℃を引いた値を積算して算出する方法(築取ら, 1960)によって行われてきた。しかし、これらの予測方法は、過去の統計から予測式のパラメータを決定しているため、冬季～春季に過去に例のない気象条件が発生した際には精度が落ちる場合があった。鳥取県で用いられてきた築取ら(1960)の方法の場合、2月以前の気象条件が評価されないことや、予測日を4月1日以後は修正することが出来ない、といった欠点があった。前述のように、近年は、地球温暖化の傾向が顕著である。特に冬季～春季における温度上昇が大きいと報告されており(気象庁, 2005)、この影響によりニホンナシも開花期が変化している(本條ら, 2002, 2003)。

これらのことから、冬季～春季の温度条件を考慮できるような精度の高い開花予測法が望まれている。發育速度モデルを利用したニホンナシ ‘幸水’の開花予測法(杉浦ら, 1991; 杉浦・本條, 1996, Sugiura・Honjo, 1997)は、実験によって得られた生体反応に基づいて作られているため、先に述べたような統計処理に基づく予測法の欠点をカバーできる。そこで、このモデルの鳥取県における適応性を調査するとともに ‘二十世紀’の開花予測への利用を検討した。

材料および方法

1. 満開日の發育指数値の検討

1996年～2002年および2007、2008年の鳥取県園芸試験場内で観測した毎正時の気温データおよび満開日の調査データを用いて、ニホンナシ ‘幸水’の自発休眠覚醒期予測モデル(杉浦・本條, 1996)と開花期予測モデル(杉浦ら, 1991)を統合した開花予測モデル(Sugiura・Honjo, 1997)により發育指数(Developmental Index: 以下、自発休眠期の發育指数をDVI₁、他発休眠期の發育指数をDVI₂と略)を計算し、‘幸水’および ‘二十世紀’の満開日のDVI₂を求めた。發育指数は、自発休眠期あるいは他発休眠期における發育速度(芽の1時間あたりの發育量: Deveropemental Rate、以下DVRと略)の積算値である。DVI₁およびDVI₂を求めるためのDVRの計算式は以下の通りである。

DVI₁を求めるためのDVR計算式(杉浦・本條, 1997)

t (気温 [°C]) ≤ 6 のとき

$$DVR = 750^{-1} = 1.333 \cdot 10^{-3}$$

$6 < t \leq 9$ のとき

$$DVR = 2.276 \cdot 10^{-3} - 1.571 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

$9 < t \leq 12$ のとき

$$DVR = 3.448 \cdot 10^{-3} - 2.874 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

$12 < t$ のとき

$$DVR = 0$$

DVI₂を求めるためのDVR計算式(杉浦ら, 1991)

$t \leq 20$ のとき

$$DVR = 2.078 \cdot 10^{15} \exp \{-12094 (t + 273)^{-1}\}$$

$20 < t$ のとき

$$DVR = 338.2 \exp \{-3474 (t + 273)^{-1}\}$$

2003年から2006年のデータは気象観測装置の故障により異常値が多く認められたため用いなかった。なお、杉浦ら(1991)は、果樹系統適応性・特性検定試験成績検討会資料[落葉果樹](果樹試験場編)のデータをもとに、開花始日と開花終日の中間の日がほぼ満開期に相当する

と定義し、この日を「開花中央日」と表記して予測を行っている。しかし、本試験では実測の満開日（80%開花時）データを用いたので、以下の本文中では満開日と表記した。

2. 満開日の予測精度の従来法との比較

試験1で得られた満開日DVI₂値を用いて、試験1で検討した年の‘二十世紀’の満開日を4月1日に予測し、従来行ってきた築取ら（1960）による予測値（以下従来法と表記）と精度を比較した。本モデルの計算は前年秋からの毎時の気温データを用いて行われる。本試験では予測を行う年の前年9月から当年3月31日までの気温データにより3月31日時点の実測DVI₂をもとめた。4月1日以降は園芸試験場気象観測データ1996年～2007年の平均値を用いて計算し、DVI₂が試験1で得た満開日を示す数値となった日を満開の予測日とした。

結 果

1. ‘幸水’の満開日DVI₂と‘二十世紀’の満開日DVI₂

調査期間中における‘幸水’満開日の最も早かった年は、2002年で4月10日、最も遅かった年は2000年で4月22日であった。満開日DVI₂は8年間の平均値で0.9となり、その標準偏差は0.025であった。‘二十世紀’満開日の最も早かった年は、2002年で4月8日、最も遅かった年は2000年で4月20日であった。満開日DVI₂は平均値0.83となり、その標準偏差は0.038であった（第1-1表）。

なお、2002年における鳥取県の‘二十世紀’の平均満開日は4月7日であり、統計開始（1966年）以来最も早い開花であった。

2. ‘二十世紀’満開日の予測精度の比較

従来法は、2001年と2002年を除き、予測日が実際の満開日より早くなり、発育速度モデルを利用した新しい予測の方が実際の満開日に近い値となった。予測の精度を示す満開日の推定誤差（RSME）は、発育速度モデルによる予測法が1.5日、従来法は2.7日であった（第1-2表）。

考 察

鳥取県で従来行われてきた‘二十世紀’の開花予測は、3月の気温と‘二十世紀’の満開日の関係から統計処理によってパラメーターを決定して作られたモデルである。過去のデータから統計処理を用いて作られたモデルは、データの範囲を超えるような異常気象年には精度が劣ることが指摘されている（高見、1994）。温暖化に伴い、近年は、冬季から春季の気温が高い年が増加していることから、気象変動に対応できる予測精度の高いモデルが求められていた。

Sugiura・Honjo（1997）の開花予測モデルは、‘幸水’の生理生態反応を基に作られたものであり、従来の統計処理に基づく予測法に比べ、予測精度が高いと考えられている。杉浦ら（1996）の報告の中で、‘幸水’の満開日の予測精度は、埼玉県（久喜）、新潟県（魚津）、

第1-1表 ‘幸水’と‘二十世紀’の満開日^zにおけるDVI₂

品種	調査年	満開日	満開日のDVI ₂
幸 水	1997 (H9)	4月20日	0.89
	1998 (H10)	4月16日	0.90
	1999 (H11)	4月17日	0.89
	2000 (H12)	4月22日	0.96
	2001 (H13)	4月16日	0.89
	2002 (H14)	4月10日	0.89
	2007 (H19)	4月20日	0.89
	2008 (H20)	4月20日	0.92
	平均		
標準偏差			0.025
二十世紀	1997 (H9)	4月16日	0.81
	1998 (H10)	4月13日	0.78
	1999 (H11)	4月16日	0.86
	2000 (H12)	4月20日	0.90
	2001 (H13)	4月14日	0.83
	2002 (H14)	4月8日	0.86
	2007 (H19)	4月17日	0.83
	2008 (H20)	4月17日	0.87
	平均		
標準偏差			0.038

^z 鳥取県園芸試験場

第1-2表 発育速度モデルと従来法^zによる‘二十世紀’の満開予測日（4月1日に予測）の比較

調査年	実際の満開日 ^y	発育速度モデル	従来法
1997 (H9)	4月16日	4月15日 (-1) ^x	4月12日 (-4)
1998 (H10)	4月13日	4月14日 (+1)	4月11日 (-2)
1999 (H11)	4月16日	4月16日 (0)	4月12日 (-4)
2000 (H12)	4月20日	4月18日 (-2)	4月16日 (-4)
2001 (H13)	4月14日	4月15日 (+1)	4月14日 (0)
2002 (H14)	4月8日	4月8日 (0)	4月10日 (+2)
2007 (H19)	4月17日	4月16日 (-1)	4月13日 (-4)
2008 (H20)	4月17日	4月16日 (-1)	4月17日 (-4)
推定誤差 ^w		1.2日	3.1日

^z 築取ら (1960) の方法

^y 鳥取県園芸試験場の‘二十世紀’満開日

^x かっこ内は実際の満開日との差

^w 実際の満開日と予測日の差を2乗し、その総和を予測回数で除した値の平方根 (RMSE)

鳥根県（出雲）において検証されており、実用に十分な精度が認められている。本試験では鳥取園試のデータで検証したところ、8年間の推定誤差 (=RMSE) は、1.22日であり、このモデルの適用性の高さが鳥取県においても確認された。一方、‘二十世紀’の自発休眠打破に必要な低温要求量は、‘幸水’より多いことが認められている（田村、1998）ことから、‘二十世紀’の開花予測をDVRモデルを用いて正確に行うためには、‘二十世紀’の温度に対する生理生体反応を調査する必要がある。しかし、そのためには、温度制御可能な施設が多く必要であり、数年間のデータの蓄積が必要である。そこで、本試験では、簡便な方法として杉浦らのデータを利用した‘二十世紀’の満開日予測の可能性を検討した。

試験1の結果、‘二十世紀’の満開日DVI₂は‘幸水’に比べるとややばらつくものの安定していた。また、この値を利用して4月1日時点において満開日の予測を行ったところ、従来法（築取ら、1960）よりも推定誤差は小さく、予測精度の高さが確認された。従来法は本試験で調査した範囲では、実際の満開日より早い満開日を予測する場合が多かった。調査期間の鳥取県倉吉市の気象観測データによると（鳥取地方气象台、1996～2001、2007、2008）、予測日が実際の満開日より早い年における3月の最高気温は平年より高い日が多かった。差の少なかった2年のうち、2001年は3月の最高気温が平年並みであった。2002年は、3月の最高気温は平年より高かったが、2月も平年を上回る最高気温の日が多かった。これらのことから、3月の最高気温を基に予測を行う従来法の精度が劣ったのは、3月の気温が従来法を作成した時期に比べ、高くなっていることが原因と考えられた。3月の気温が高かった2002年に従来法の予測日と実際の

満開日の差が少なくなったのは、2月の異常高温が実際の開花を前進させたためと考えられる。以上の結果は、統計処理による予測の限界を示しており、実験による生体反応を基にしたDVRモデルによる予測の汎用性の高さを示したものと見える。園芸試験場の満開日は、県平均の満開日と毎年ほぼ一致しており、本試験結果により鳥取県の‘二十世紀’満開日予測を行うことができるものと考えられる。しかし、今後より一層精度を高めるためには、地域ごとの予測を行う必要があると考えられる。また、先に述べたように、本試験の予測モデルは‘幸水’の生体反応を基に作られたものである。満開日DVI₂の値が幸水に比べ、ばらついた原因は、‘幸水’と‘二十世紀’の低温要求量や温度反応の違いによるものと考えられる。将来的には‘二十世紀’の生体反応を考慮したモデルの作成が望まれる。‘二十世紀’モデルの作成については須藤ら（2008）が検討を始めており、今後の発展、活用が期待される。

摘 要

ニホンナシ‘二十世紀’の開花予測法について検討した。

Sugiura・Honjo (1997) の‘幸水’の発育速度モデルを利用して鳥取園試の‘幸水’の開花予測を行った。その結果、予測精度は高く、このモデルが鳥取県においても高い適用性を持っていることが確認された。また、同じモデルを用いて、8年間のデータから二十世紀の満開日DVI₂を求めた。これを利用して4月1日時点において満開日の予測をしたところ、鳥取県で従来行われてきた方法より精度の高い予測が可能であった。

第2章 温度変化による成育時期の変化がニホンナシの花芽分化期および自発休眠期に及ぼす影響

落葉果樹を栽培する上で花芽の分化・発達および自発休眠の導入・打破の生理機構を知ることは、栽培技術を組み立てる上で重要である。しかし、現在に至るまでニホンナシでは、この生理機構に関する理解が不足したまま栽培が行われている。一方、冬季の温暖化に伴い、ニホンナシの開花時期が前進あるいは遅延傾向を示すことが明らかにされている（本條ら、2002、2003）。また、被覆により開花時期を前進させるハウス栽培では、露地栽培より大幅に成育ステージは前進する。このような成育時期の変化に伴う花芽分化期と自発休眠期の変動の様相を知ることは、上述の生理機構を明らかにし、その知見を栽培管理技術へ応用する上でも重要となる。そこで、本章ではハウス内で成育時期を前進させた樹と露地栽培の樹を用い、花芽分化時期および発達程度（第1節）、自発休眠導入期および打破時期（第2節）の差異を比較した。

第1節 温度変化による成育時期の変化がニホンナシの花芽形成時期に及ぼす影響

ニホンナシの促成栽培樹の果実発育および樹体生理、並びに花芽着生の特徴に関しては比較的多くの報告がなされている（廣田、1987；及川ら、1987；佐藤、1968；渋谷・服部、1986；内野ら、1989；山本、1986）が、花芽分化の時期について調査した例は、弦間ら（1989）が、腋花芽の分化・発達に関して報告しているのみである。鳥取県で栽培されている主要なニホンナシ品種‘二十世紀’の着果部位として一般的に利用されている短果枝の花芽に関する詳細な研究はみられない。さらに、花芽の分化開始の要因も不明である。そこで本節では、成育時期の変化が花芽分化期および花芽の発達に及ぼす影響について調査を行った。

材料および方法

試験には鳥取大学附属農場栽植のニホンナシ‘真寿’および‘秋栄’の10年生樹および鳥取県園芸試験場栽植の‘ゴールド二十世紀’（高接ぎ樹：接ぎ木後17年、中間台‘二十世紀’33年生）のハウス栽培樹と露地栽培樹を供試した。試験年（2005年）の各品種の満開日は、‘真寿’のハウス栽培樹が4月4日、同露地栽培樹が4月18日、‘秋栄’のハウス栽培樹が4月2日、同露地栽培樹が4月16日、‘ゴールド二十世紀’のハウス栽培樹が

4月6日、同露地栽培樹が4月18日であった。なお、ハウス栽培樹は、3月から5月までハウスを被覆（POフィルム）し、保温することで成育を促進した。ハウス内が5℃以下になった場合のみ防霜のため重油式ボイラーによる加温を行った。また、園芸試験場のハウスは、5月中旬以後被覆フィルムは除去し、露地栽培と同条件で栽培した。鳥取大学のハウスは、5月中旬以降サイドフィルムを全開としたが、天井部のフィルムは周年被覆状態で管理した。

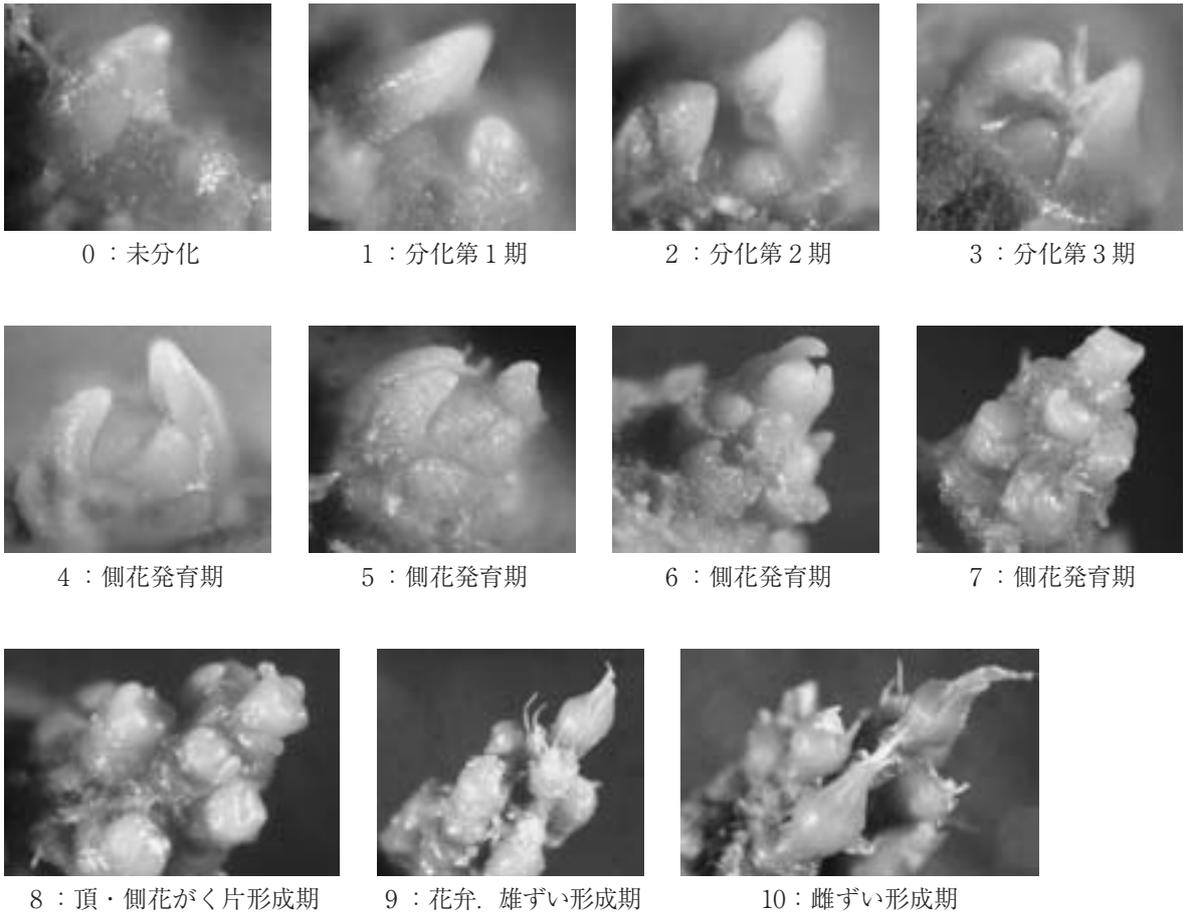
5月中旬から8月中旬にかけて、3品種のハウス区並びに露地区から2年生枝上の短果枝の直上に向いている10芽を満開後約40、50、60日目、それ以降は約5日毎に、100日目まで採取した。

採取した芽は直ちにFAA（70%エタノール：ホルマリン：酢酸＝90：5：5）で固定した。観察時には、ピンセットおよび柄つき針を用いて、芽のりん片および包葉を花芽の成長点が観察できるように取り除き、解剖顕微鏡下にて花芽の分化程度を調査した。花芽の分化程度は堀内ら（1973）の評価方法を用いて、第1-1図に示した0～10段階で評価した。花芽分化の写真は、鳥取県園芸試験場のデジタルマイクロスコープ（VH-8000：（株）キーエンス製）を使用して撮影した。

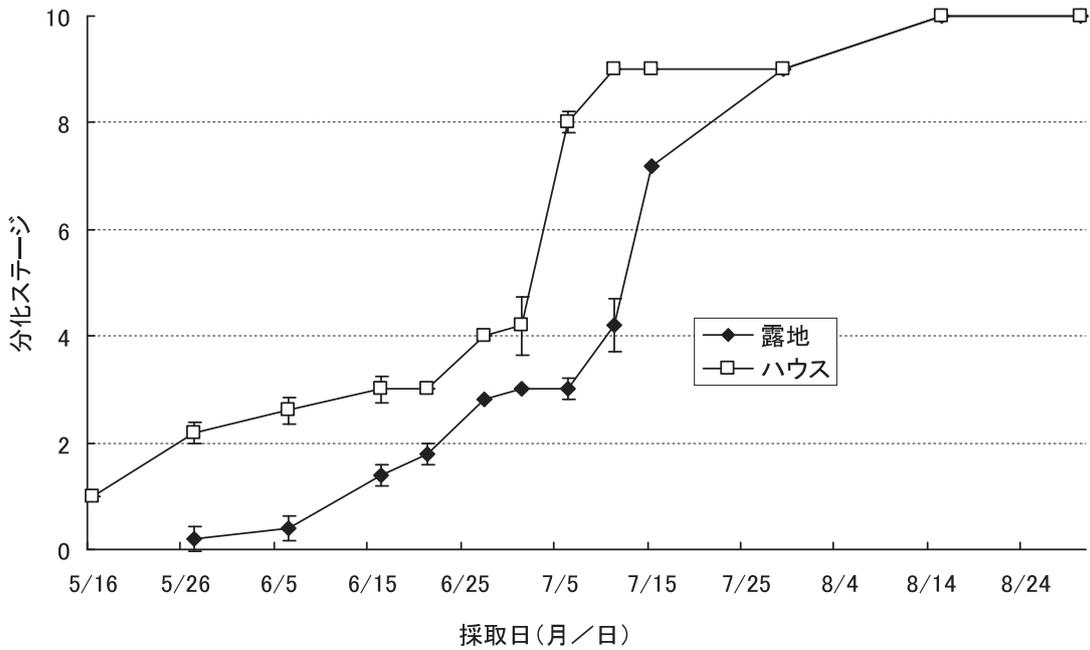
結 果

1. ‘真寿’

花芽の発育の経時的変化を第1-2図および第1-3表に示した。ハウス区の分化程度は5月16日（満開後42日目）には、すでに分化程度‘1’であった。一方、露地区の分化はハウス区から約一ヵ月遅れて6月15日（満開後58日目）頃に開始された。ハウス区は分化開始後、緩やかに発育が進行し、露地区より約10日早く6月27日（満開後86日目）に分化程度‘4’になった。その後、7月11日（満開後100日目）にかけて急激に進行し、露地区より約18日早く分化程度‘9’になったが、7月29日（満開後118日目）まで‘9’の状態が続き、この間に露地区の発育程度がハウス区に追いついた。両区とも8月15日（満開後ハウス133日目、露地117日目）に最終分化程度‘10’に達した。6月27日を除いて、5月27日から7月15日のハウス区と露地区の分化程度には有意差が認められた。



第1-1図 花芽の分化程度



第1-2図 ‘真寿’のハウス区並びに露地区における花芽の分化・発達
各シンボルの垂線は標準誤差を示す (n=10)

第1-3表 ‘真寿’のハウス区並びに露地区における花芽の分化程度

採取日 (月/日)	分化ステージ		差の有意性 ^z
	処理区		
	露地	ハウス	
5/16		1	
5/27	0.2	2.2	**
6/6	0.4	2.6	**
6/16	1.4	3	**
6/21	1.8	3	**
6/27	2.8	4	NS
7/1	3	4.2	**
7/6	3	8	**
7/11	4.2	9	**
7/15	7.2	9	**
7/29	9	9	NS
8/15	10	10	NS
8/30	10	10	NS

^z Mann-WhitneyのU検定 ** 1%レベルで有意差あり NS:有意差無し

2. ‘秋栄’

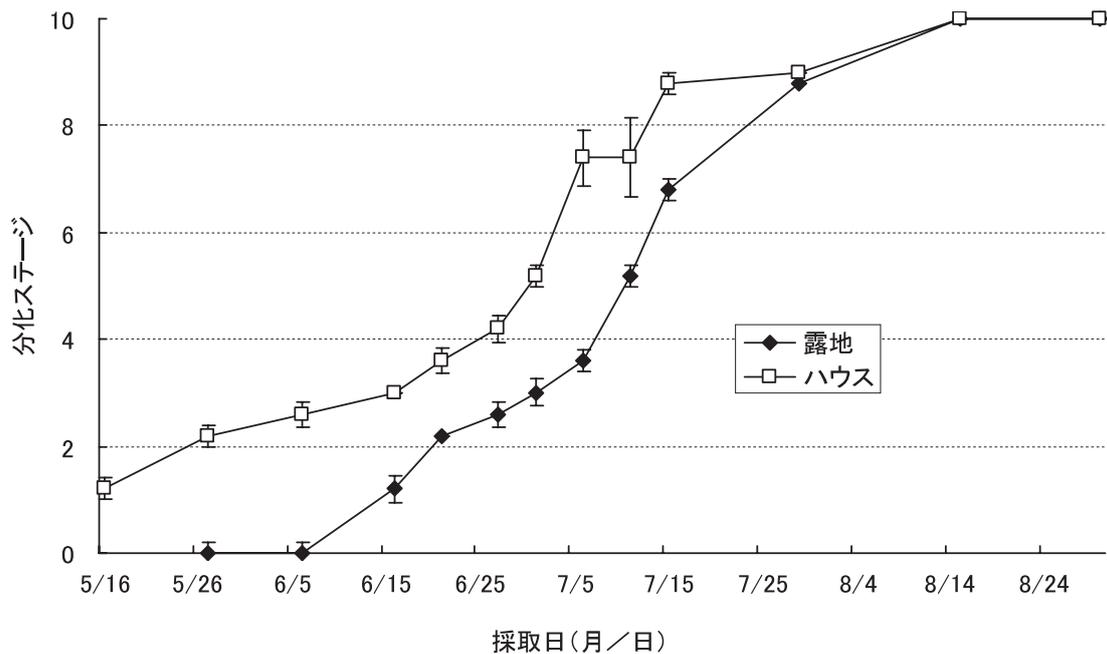
花芽の発育の経時的变化を第1-3図および第1-4表に示した。ハウス区の分化程度は5月16日(満開後44日目)には、すでに分化程度‘1’に達していた。一方、露地区の分化はハウス区から約一ヵ月遅れて6月15日(満開後60日目)頃に開始された。ハウス区は分化開始後、緩やかに進行しながら露地区より10日程度早く、6月27日(満開後88日目)に分化程度‘4’に達した。その後、

7月15日(満開後106日目)にかけて急激に進行し、露地区より約14日早く、ほぼ分化程度‘9’になった。露地区も7月29日(満開後104日目)にはハウス区に追いつき、分化程度がほぼ‘9’となった。両区とも8月15日(満開後ハウス137日目、露地121日目)に最終分化程度‘10’に達した。5月27日から7月15日のハウス区と露地区の分化程度には有意差が認められた。

第1-4表 ‘秋栄’のハウス区並びに露地区における花芽の分化程度

採取日 (月/日)	分化ステージ		差の有意性 ^z
	処理区		
	露地	ハウス	
5/16		1.2	
5/27	0.0	2.2	**
6/6	0.0	2.6	**
6/16	1.2	3.0	**
6/21	2.2	3.6	**
6/27	2.6	4.2	**
7/1	3.0	5.2	**
7/6	3.6	7.4	**
7/11	5.2	7.4	**
7/15	6.8	8.8	**
7/29	8.8	9.0	NS
8/15	10.0	10.0	NS
8/30	10.0	10.0	NS

^z Mann-WhitneyのU検定 ** 1%レベルで有意差あり NS:有意差無し



第1-3図 ‘秋栄’のハウス区並びに露地区における花芽の分化・発達
各シンボルの垂線は標準誤差を示す (n=10)

3. ‘ゴールド二十世紀’

花芽の発育の経時的変化を第1-4図および第1-5表に示した。ハウス区の分化程度は5月16日（満開後44日目）の採取日には、すでに分化程度‘1’であった。露地区の分化はハウス区から約1ヵ月遅れて6月15日（満開後58日目）頃に開始された。ハウス区は分化開始後、緩やかに進行しながら露地区より約15日早く6月20日（満開

後78日目）に分化程度‘4’となった。その後、7月11日（満開後78日目）にかけてやや急激に進行し、露地区より約20日早く分化程度‘9’になった。7月25日（満開後78日目）まで‘9’の状態が続き、露地区より約10日早く8月1日（満開後78日目）に最終分化程度‘10’に達した。5月26日から8月1日のハウス区と露地区の分化程度には有意差が認められた。

第1-5表 ‘ゴールド二十世紀’のハウス区並びに露地区における花芽の分化程度

採取日 (月/日)	分化ステージ		差の有意性 ^z
	処理区		
	露地	ハウス	
5/16		1	
5/27	0.2	2.2	**
6/6	0.2	3.2	**
6/20	2	4	**
6/25	2.4	4	**
6/30	3.4	6.2	**
7/5	3.6	7.2	**
7/11	6.4	9	**
7/15	7.2	9	**
7/20	8	9	*
7/25	8.4	9	*
8/1	9	10	*
8/13	10	10	NS
9/1	10	10	NS

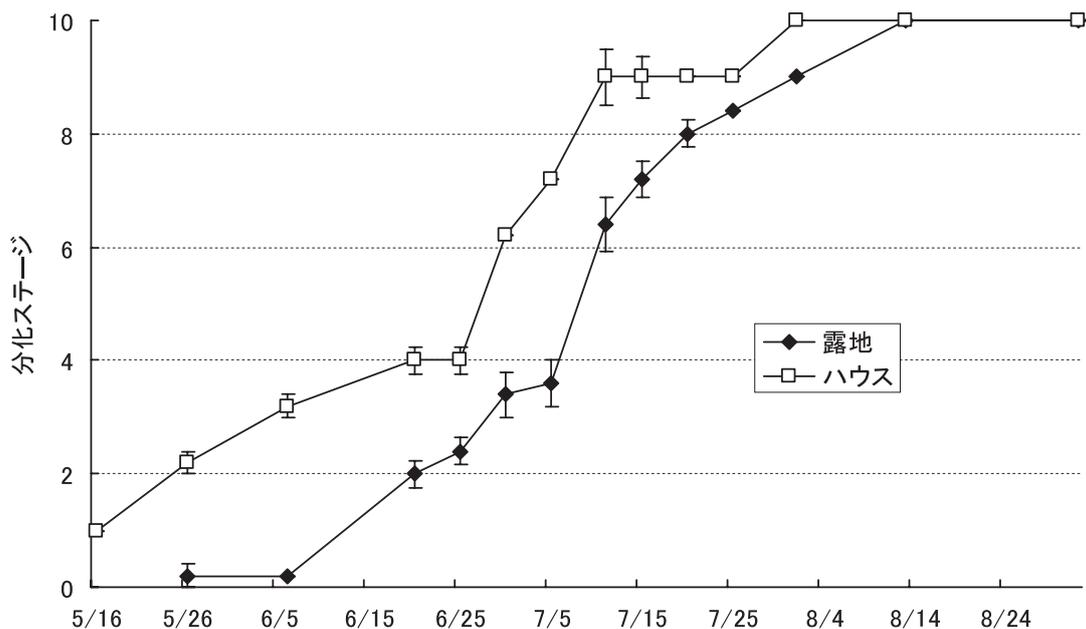
^z Mann-WhitneyのU検定 **、*それぞれ1%、5%レベルで有意差あり NS：有意差無し

4. 満開後日数からみた3品種および作型間の分化程度の差

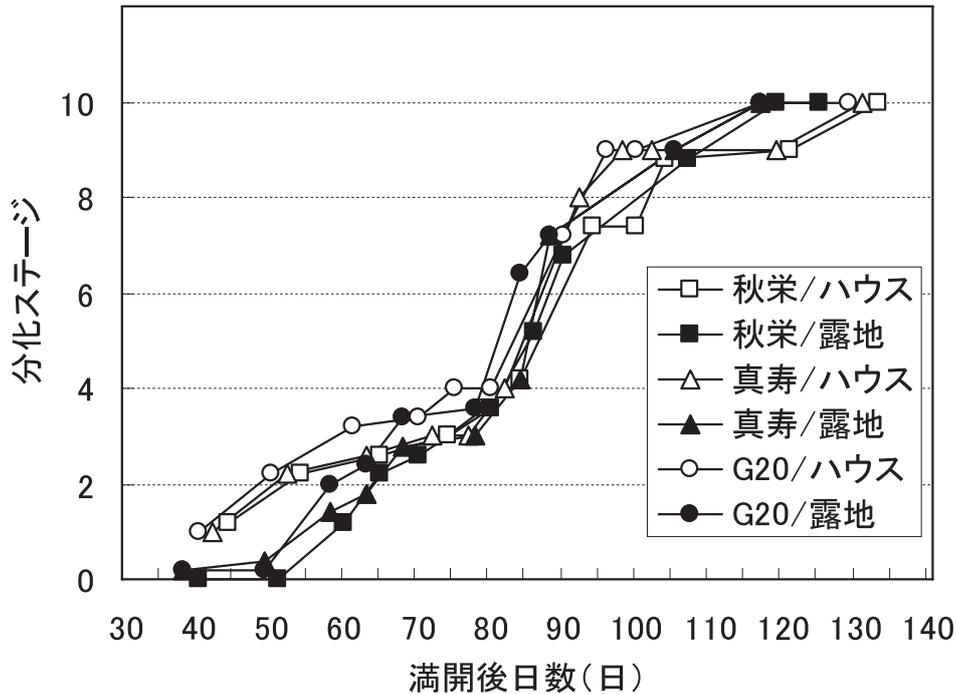
満開後日数の変化に伴う花芽分化程度の変化を第1-5図に示した。ハウス栽培の区は、各品種とも満開後40日目頃にはすでに分化が始まっていた。これに対し、露地区の分化開始は、満開後50~60日目であった。しかし、分化2~4の期間におけるハウス区の発達は各品種とも緩慢となり、分化9前後でハウス区、露地区の分化程度は満開後日数による差がほとんど認められなかった。

考 察

ニホンナシの短果枝花芽の分化・発達に関する研究は、これまで比較的多くなされている（伴野ら、1985b；弦間ら、1989；林、1960；堀内ら、1973；川口、1933；彭・岩堀、1994）が、その多くが露地栽培樹を対象としたもので、促成栽培樹に関する研究は少ない。弦間ら（1989）は‘幸水’を用いた研究で、促成栽培樹の腋花芽の発達過程は露地栽培樹と比較して明確な差があると述べているが、短果枝花芽に関しては明らかとなっていない。



第1-4図 ‘ゴールド二十世紀’のハウス区並びに露地区における花芽の分化・発達
各シンボルの垂線は標準誤差を示す (n=10)



第1-5図 各品種、作型の花芽分化ステージの推移

凡例のG20は‘ゴールド二十世紀’を示す

第1節では、短果枝花芽の分化・発達の過程を‘真寿’‘秋栄’‘ゴールド二十世紀’の3品種のハウス・露地区において調査・検討した。その結果、3品種全てにおいてハウス・露地区間の花芽の分化発達時期に差が見られた。露地区の花芽の分化は、林(1960)、伴野ら(1985b)の報告にあるように6月中旬から開始された。一方、ハウス区の花芽は露地区より約1ヵ月早い5月中旬にはすでに始まっていた。ハウス区と露地区の開花時期の差は約2週間だが、ハウス区は被覆中の気温が高いため、初期成育が早く、新梢伸長停止期の両区の差は約3週間となる(データ略)。花芽の分化開始期もハウス区は、樹体の成長と同様に前進したため、露地区との差が開花期よりさらに広がったものと考えられる。しかし、花芽分化開始期に約1ヶ月あった両区の発達程度の差は、その後、徐々に縮まった。ハウス区の花芽分化は露地区より20日程度早く推移しながら7月中旬まで急速に進んだが、その後緩慢となった。これに対して露地区の発達速度は最終分化程度に達するまで比較的急速に進む傾向が見られた。このためハウス・露地区の分化程度は、7月下旬にはほとんど差異が認められなくなった。満開後日数を中心にこれらの動きを見てみると、分化開始期はハウス区の方が早い、その発達は一時的に停滞し、急激な発達が見られる分化程度4~9の時期には作型間の差はほとんど認められなくなった。また、ハウス区は分化程度9~10においても成育の停滞が認められた。弦

間ら(1989)は、腋花芽について同様の傾向を認めており、被覆により花芽分化に必要な生理条件は早く整うが、枝葉の旺盛な成長による樹体生理のアンバランスが緩慢な花芽の発達傾向を示す要因ではないかと指摘している。ハウス栽培樹の成育は、被覆により早まるが、同時に新梢の発生量が増加することが報告されており(Ikedaら、2002; 内野ら、1989)、満開後50~70日目は新梢の発達が旺盛になる時期である。また、ハウス区では7月に過繁茂が原因と見られる早期落葉が観察された。これらのことから、ハウス区における分化初期および後期の発達停滞は、新梢の旺盛な発育による枝葉と花芽の養分競合が露地区よりも厳しかったことが原因ではないかと考えられた。

3品種間の花芽の分化程度は、いずれもほぼ同様の発達傾向を示したことから、調査した3品種間の花芽分化・発達時期に明確な差異は無いと思われた。

以上の結果より、花芽の分化開始時期は、促成栽培による成育期の前進に伴い前進することが明らかとなった。分化の開始時期は、満開後日数よりも樹体の成育程度に左右されているようであったが、分化開始のきっかけについて生理的な機構の解明は今後の課題である。また、分化後の発達速度は樹体成長の状態に左右されると考えられた。

第2節 温度変化に伴う成育時期の変化がニホンナシの自発休眠に及ぼす影響

ニホンナシをはじめとする落葉果樹は、自発休眠の打破に一定時間の低温を必要とする (Saure, 1985; Westwood, 1978)。ニホンナシの自発休眠に関しては、休眠打破に必要な低温要求量および芽の休眠の深さと内生成長物質との関連について報告されている (浅野ら, 1990; 池田ら, 1995; 鷹見ら, 1988; 田村ら, 1992, 1993) が、自発休眠導入、打破の機構は未解明である。気象変動が大きい近年、第1章において検討したように、ニホンナシの開花予測は重要である。しかし、開花時期の変動により自発休眠の導入、打破の時期が変動するのであれば、精度向上のためにはこの点を考慮する必要がある。また、近年ハウス栽培において低温不足が原因と思われる発芽異常が認められている (黒田, 2004)。このような状況に対応していくためには、これまで以上に正確な自発休眠の覚醒時期の判断が必要である。そのため、成育時期が変化した場合における自発休眠の導入、覚醒時期の変化を明らかにする必要がある。

本節では、ニホンナシの成育ステージの変化が芽の自発休眠時期に及ぼす影響を明らかにするためハウス並びに露地栽培したニホンナシの自発休眠の深さの推移について調査、検討を行った。

材料および方法

第1節と同様、ハウス栽培並びに露地栽培されている、

鳥取大学附属農場栽植の‘真寿’、‘秋栄’および鳥取県園芸試験場栽植の‘ゴールド二十世紀’を供試した。ハウスの管理についても第1節と同様である。側枝の2～3年生部分をハウス・露地区から経時的に採取した。採取後、枝上に2～3芽の短果枝花芽が残るよう側枝を細断し、合計12芽の短果枝花芽を調査した。‘真寿’、‘秋栄’は2005年1月19、31日および9月14日～2006年1月26日にかけて採取した。‘ゴールド二十世紀’は2005年1月20、29日および9月23日から2006年1月26日にかけて採取した。

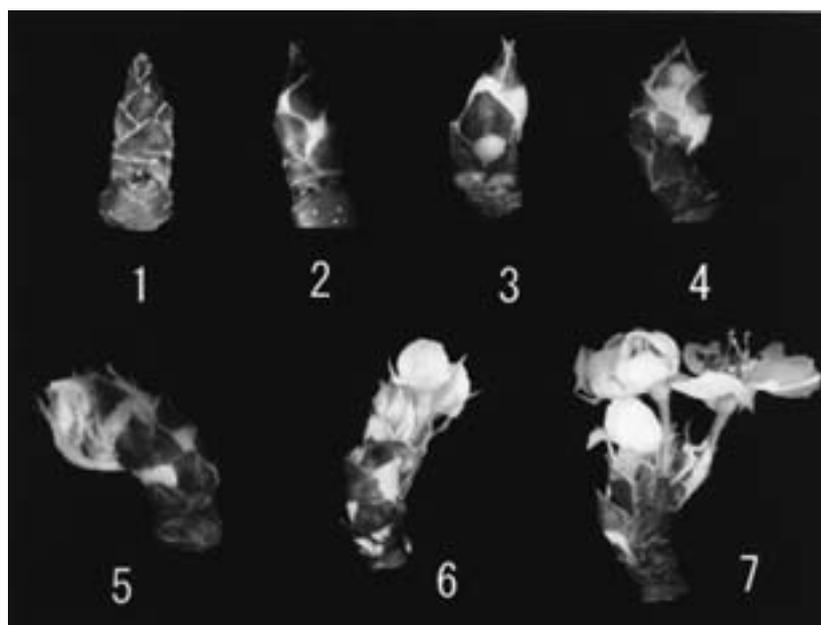
これらの枝を水差した状態で $23^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の恒温器に搬入し、葉芽並びに花芽の発育状態を21日間7日毎に観察、調査した。水挿しは、腐敗防止のために0.03%硫酸アルミニウムおよび0.3% 8-Hydroxy-Qinolineを加えた水を使用して行い、切り口は調査中、定期的に切り戻した。芽の発育程度は第1-6図で示す1～7段階で評価した。萌芽は4の段階とし、全芽数に対する萌芽に至った芽の割合を萌芽率とした。

採取日のChill unit (以下C. U.) は、浅野・奥野 (1990) の方法に従い算出し、連続して正の値が記録されるようになった日 (2004年: 11月13日、2005年: 11月8日) を起算日とした。

結 果

1. ‘真寿’

花芽の加温21日後の萌芽率を第1-6表に示した。9月14日～11月11日の調査では、わずかに動きのある芽が見



第1-6図 花芽の成育段階

「4」を萌芽とした

られたが両区とも低い値で推移した。露地区の萌芽率は11月24日から上昇し始め、2006年1月6日(C. U. 1190)に80%、27日(1670CU)に100%に達した。ハウス区の萌芽率は12月12日に71%になった後、一時停滞したが、100%に達したのは露地区より早い1月16日(1410CU)であった。

2. '秋栄'

花芽の加温21日後の萌芽率を第1-7表に示した。9月14日の萌芽率は露地区の方が有意に低かったが、9月20日には両区とも0%となった。その後は両区とも同様に

次第に上昇する傾向を示し、12月27日には両区とも90%を超えた。しかし、1月にはハウス区において萌芽率の低下傾向が見られた。

3. 'ゴールド二十世紀'

花芽の加温21日後の萌芽率を第1-8表に示した。9月から11月まで両区とも0%で推移し、12月26日(928CU)から徐々に上昇し、萌芽率が80%を超えたのは両区とも1月6日であった。また、100%に達したのは両区とも1月16日(1420CU)であった。

第1-6表 '真寿' の花芽のハウス区並びに露地区における加温21日後の萌芽率^z

処理区	萌芽率 (%) ^z														
	採取日 ^y (月/日)														
	(1189)	(1461)								(592)	(952)	(1192)	(1412)	(1674)	
	1/19	1/31	9/14	9/20	9/29	10/12	10/20	10/31	11/11	11/24	12/12	12/27	1/6	1/16	1/27
露地	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	14.0	8.0	33.0	42.0	57.0	80.0	67.0	100
ハウス	100.0	100.0	9.0	0.0	14.0	19.0	0.0	0.0	0.0	8.0	71	50	47	100	100
差の有意性 ^x	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	*	n.s.

^z 23℃で加温した

^y 2005年～2006年に採取。()内はChill unit

^x Z検定 ** 1%レベルで有意差あり * ; 5%レベルで有意差有り n.s.有意差無し

第1-7表 '秋栄' の花芽のハウス区並びに露地区における加温21日後の萌芽率^z

処理区	萌芽率 (%) ^z														
	採取日 ^y (月/日)														
	(1189)	(1461)								(592)	(952)	(1192)	(1412)	(1674)	
	1/19	1/31	9/14	9/20	9/29	10/12	10/20	10/31	11/11	11/24	12/12	12/27	1/6	1/16	1/27
露地	100.0	100.0	0.0	0.0	29.0	29.0	43.0	45.0	54.0	62.0	79.0	100.0	85.0	100.0	100.0
ハウス	100.0	100.0	58.0	0.0	7.0	18.0	28.0	40.0	44.0	67.0	93.0	92.0	43.0	40.0	75.0
差の有意性 ^x	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	n.s.

^z 23℃で加温した

^y 2005年～2006年に採取。()内はChill unit

^x Z検定 ** 1%レベルで有意差あり * ; 5%レベルで有意差有り n.s.有意差無し

第1-8表 'ゴールド二十世紀' の花芽のハウス区並びに露地区における加温21日後の萌芽率^z

処理区	萌芽率 (%) ^z													
	採取日 ^y (月/日)													
	(1213)	(1413)								(136)	(522)	(928)	(1144)	(1421)
	1/20	1/29	9/23	10/3	10/12	10/21	10/31	11/18	12/9	12/26	1/4	1/16	1/26	
露地	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	88.0	100.0	100.0	
ハウス	82.0	78.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	59.0	77.0	100.0	100.0	
差の有意性 ^x	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

^z 23℃で加温した

^y 2005年～2006年に採取。()内はChill unit

^x Z検定 * ; 5%レベルで有意差有り n.s.有意差無し

4. 3品種および各作型の休眠の深さ推移の比較

供試した3品種の各作型の萌芽率の推移を第1-7図に示した。3品種の中では、‘秋栄’の休眠が最も浅く、また最も早く打破された。‘真寿’の萌芽率の上昇時期は‘ゴールド二十世紀’より早かったが、萌芽率が80%を超え、完全に休眠が打破された時期は、‘ゴールド二十世紀’とほぼ同時期であった。作型間の打破時期は、露地区の方がやや早く萌芽率が上昇する傾向が認められたものの、萌芽率が80%を超える時期は各品種とも大きな差は認められなかった。‘真寿’‘秋栄’のハウス区の萌芽率は、打破の後低下する傾向を示した。

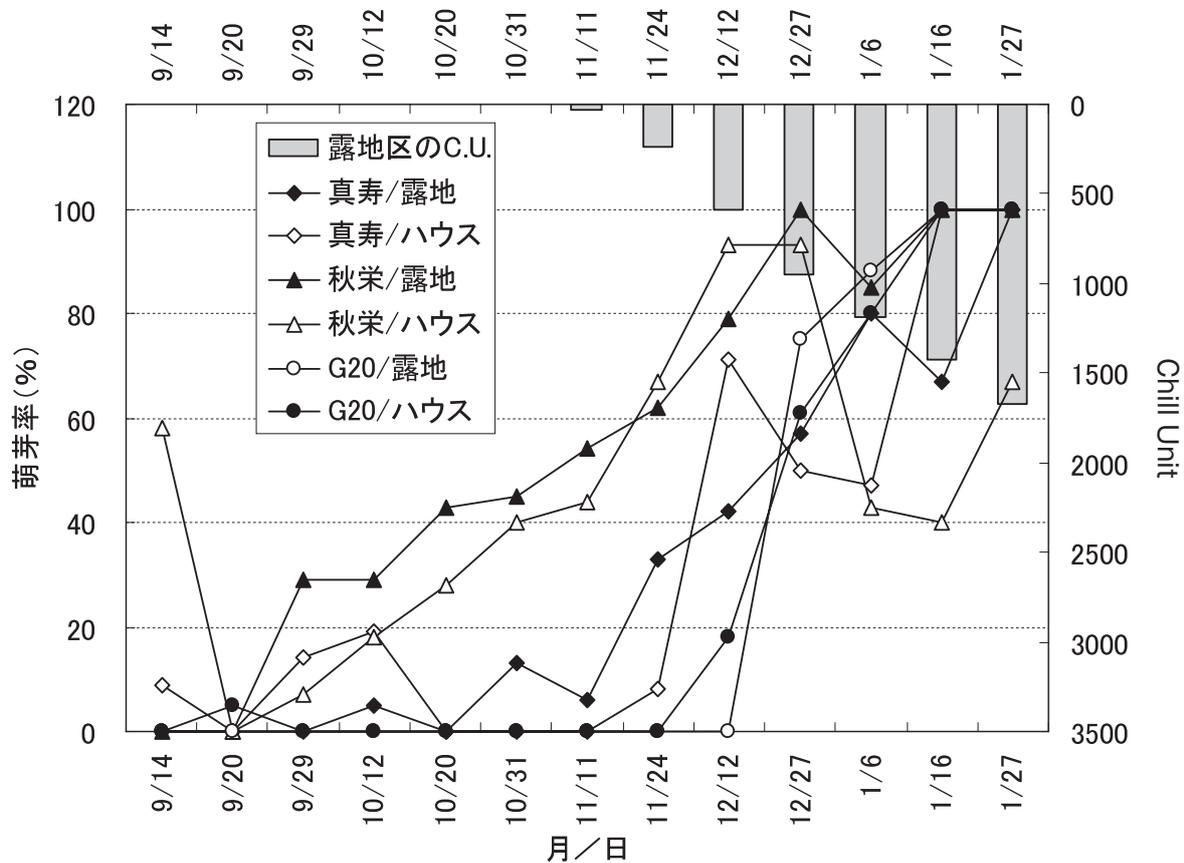
考 察

芽の休眠状態は気温21~24℃の条件下に14~21日間置いた場合の萌芽率により評価し、萌芽率が約80%以上に達した場合に休眠打破に達したとする研究例が多い(浅野・奥野、1990；堀内ら、1981；池田ら、1995；Mielke・Dennis、1978；Richardsonら、1974；田村ら、1992)。そこで、本研究でもこれらの報告を参考にして自発休眠の深さを評価することとし、ハウス栽培および露地栽培を行ったニホンナシ‘真寿’、‘秋栄’、‘ゴールド二十世紀’の短果枝花芽について、自発休眠導入・打

破期の差異を調査、検討した。

自発休眠導入期について萌芽率の推移から判断すると‘真寿’‘ゴールド二十世紀’は9月上旬にはすでに導入されており、‘秋栄’は9月中旬~下旬と考えられた。自発休眠導入期のハウス区と露地区の差については、‘秋栄’においてハウス区の方が1週間程度遅い可能性が考えられたが、他の2品種については両区とも初回の調査時点で萌芽率がすでに低下していることから、確認できなかった。池田ら(1995)は、‘二十世紀’の花芽、葉芽の自発休眠導入期は10月中旬頃と報告している。本研究において‘二十世紀’の枝変わり品種である‘ゴールド二十世紀’の自発休眠は8月から導入期に入っている可能性が考えられた。‘二十世紀’との導入時期の差は、枝変わりによる変異によって生じた可能性もあるが、導入期が年次変動する可能性も考えられる。今後、自発休眠導入期の差異を明らかにする為には、8月下旬頃から調査を始める必要がある。

自発休眠打破期は、‘秋栄’が最も早くChill Unit(C. U.)560頃と考えられた。‘真寿’は‘ゴールド二十世紀’より早い時期に休眠が浅くなったが、萌芽率が80%を超えた時期は、ほぼ同時(C. U.1190)であった。‘秋栄’は、最深期と思われる期間中も常に20~40%の萌芽率が認め



第1-7図 各作型および品種の萌芽率の推移

凡例のC. U.はChill Unit G20は‘ゴールド二十世紀’を示す

られ、C. U.の積算が始まると早い段階で萌芽率の上昇が認められ始めた。田村(1998)は‘豊水’の自発休眠は浅く、休眠打破に有効な温度域が広いことを報告している。本試験結果から‘秋栄’も‘豊水’と同様の休眠特性を持つと思われ、低温が不足しがちな地域での栽培に向く品種と考えられた。

ハウス区と露地区の打破期は萌芽率が80%を超えた時期という観点では‘真寿’および‘秋栄’において10日程度ハウス区の方が早かったが、前後の萌芽率の上昇程度を勘案すると、同様の動きを示しており、開花時期の違いによる成育の早晩の影響はないように考えられた。また、本試験で導入期の差については確認できなかったが、打破時期に差がないことから、ハウス区と露地区において低温要求量の差が生じていない限り、導入期の差もないものと考えられる。

‘真寿’および‘秋栄’のハウス区では、いったん上昇した萌芽率が再び低下する現象が認められた。これらの品種は調査中に芽が枯死してしまう例が多く観察された。これらの品種が栽培されているハウスは、周年被覆されていたことから、ハウスの被覆による光環境の悪化により、芽の充実が露地栽培樹より悪かった可能性が考えられる。また、自発休眠の深さの推移を調査する方法として切り枝を水挿しする調査法は、調査途中の黒変、花芽の落下が問題点であるとされ、これを解決する方法として接ぎ木法が有効であることが報告されている(西元ら、1997)。近年の研究では、リンゴの切り枝の開花促成に対し、市販の水揚げ剤が8-Hydroxy-Qinolineを用いた場合より有効であるとの報告もある(加藤・笹、2008)。今後は、これらの手法等を用い、調査中の芽の枯死を防ぐことで、より正確なデータが得られるようになると思われる。

以上の結果、自発休眠の導入時期について作型間の差は確認できなかったが、開花期の移動に伴う自発休眠の

導入、打破時期の変化は少ない可能性が高いと考えられた。このことから、自発休眠期の導入、打破は、樹体成育の早晩の影響よりむしろ外的環境により引き起こされるものと考えられた。

摘 要

ニホンナシの芽の自発休眠導入・打破の生理的な機構の特徴、並びに花芽分化開始の要因には不明な点が多い。本研究ではこれらの点を明らかにする基礎的研究として、ニホンナシ‘真寿’‘秋栄’‘ゴールド二十世紀’のハウス栽培樹・露地栽培樹の短果枝花芽について、自発休眠導入・打破時期および花芽の分化・発達時期について調査、検討した。

1. 短果枝花芽の分化・発達の過程を調査した。ハウス区の花芽の分化は3品種全てにおいて、露地区より1ヶ月から20日程度早く開始した。しかし、その後、発達は緩慢になり、雌蕊形成期はほぼ同時期となった。このことから、花芽の分化開始期は樹体の成育の早晩に影響を受けるが、その後の発達は樹体の栄養条件や成長の差等に影響されると考えられた。

2. 各品種とも自発休眠導入期は今回の調査では不明であった。しかし、打破時期にハウスと露地区に差が認められなかったため、自発休眠の導入および打破時期は、品種により差はあるものの、ハウス・露地区に明確な差異はないと考えられた。このことから、自発休眠の導入、打破は、成育時期の早晩に影響を受けておらず、外的な環境条件によって制御されているものと考えられた。

3. 以上の結果から、ニホンナシの短果枝花芽のライフサイクルの特徴として、春季から夏季の花芽の分化・発達は樹体の開花時期や成育速度の差による成育時期の移動に応じて変化するが、自発休眠は樹体成育の進み具合に関係なく、低温あるいは短日といった外的環境により導入、打破されるものと考えられた。

第3章 ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’の新梢成長初期における温度反応

第1節 成育初期（展葉後約40日間）の温度条件が樹体成育に及ぼす影響

気温がニホンナシの成育に及ぼす影響について検討した研究は主に果実発育のみに注目した報告が多い(遠藤、1973a、b；平田ら、1983；今井ら、1989；杉浦ら、1995)。これらの知見は、ニホンナシのハウス栽培の管理に生かされているが、枝の徒長、過繁茂、花芽の減少等の問題が生じていることも指摘されている(廣田、1987；及川ら、1987；佐藤、1968；渋谷・服部、1986；内野ら、1989；山本、1986)。永年性作物である果樹の場合、栽培技術の改善を考えるうえでは、果実への影響とともに、樹体が翌年の再生産に適した状態になっているかという点にも注目して検討すべきである。しかし、ニホンナシの成育と温度の関係について、樹体成育も含めて体系的に試験された例はない。

本節では、果実成育初期の温度条件が当年の樹体成育へ及ぼす影響について‘ゴールド二十世紀’を用いて検討した。

材料および方法

60Lポットに植栽した1年生のニホンナシ‘ゴールド二十世紀’（台木ホクシマメナシ：*P. betulaefolia* Bunge）樹を供試し、2003年および2005年に試験を行った。供試樹は各年とも枝の太さが揃った個体を仰角約60度の状態でポットに植え付けたものを用いた。各樹の葉

芽数は、26～34芽であり、各処理区の葉芽数の平均値が同程度になるように配置した。用土は淡色黒ボク土にパーライト（粒径5mm以下）を2割混合したものを使用した。鳥取県園芸試験場の単棟雨除けハウス（間口6m、高さ4m、奥行き120m）内に設けた小型ハウス（幅2.5m、高さ2.5m）を用いて、低温（昼間20℃を上限に換気、夜間無加温：以下低温区）、中温（昼間25℃を上限に換気、夜間無加温：以下中温区）、高温（昼間30℃を上限に換気、夜間無加温：以下高温区）、加温（昼間25℃を上限に換気、夜間10℃に加温：以下加温区）の各処理を行った（第1-8図）。2005年は低温区の代わりに、人工気象室を用いて昼夜20℃一定に管理する処理（以下20℃区）を行った。なお、単棟ハウスの屋根面肩部1mおよび側面は1mm目のメッシュによる被覆であるため、ハウス内の温度は常温よりやや高い程度であり、換気作業は不要であった。単棟ハウスのメッシュ以外の部分と小型ハウスは厚さ0.1mmのPOフィルムにより被覆した。処理を行った小型ハウスにおける温度管理は各処理区ごとにサイドフィルムを手動開閉して行い、夜間は換気部を閉じた状態で管理した。処理は兩年とも展葉開始期の4月5日から始め、5月16日まで行った。処理終了後、小型ハウスの被覆フィルムは除去し、各区とも同条件下で管理した。人工気象室の処理樹は施設から搬出後、他の処理区と同じ単棟ハウス内に搬入した。

温度以外の環境（光、土壤水分、施肥など）条件は各区とも同様に管理した。新梢伸長停止後に新梢長、新梢



第1-8図 第1節における温度処理の様子

本数、葉枚数を調査した。なお、当年発生した新梢は短果枝、中果枝、長果枝に分類されるがその区分は明確ではない。従来の報告（高橋、1989；林、1960；小豆沢・伊藤、1983；吉田ら、2006）に見られるように、ニホンナシの栽培において、新梢は短果枝と新梢に区別して扱われることが多い。そこで本試験では、吉田ら（2006）と同様、10cm未満の1年枝を短果枝、10cm以上の1年枝を新梢として調査した。

調査樹数は両年とも各区6樹としたが、2005年は温度処理終了後各区3樹について新梢、葉、旧枝、根幹、旧根および新根に解体し、通風乾燥機を用いて90℃で10日間乾燥後、新器官の乾物重を測定した。なお、旧器官の乾物増加量は、解体した旧器官（旧枝、根幹、旧根）の乾物重から植え付け時の苗木の生重に乾物率を乗じた値を引くことで求めた。

結 果

処理中の気温は第1-9表のとおりであった。2005年に

人工気象室を用いて行った20℃一定の処理区は、一時的に温度が上下したものの、概ね20℃±5℃に保たれた。また、無加温で管理を行った高温区、中温区、低温区の最低気温は低温区がわずかに低くなった。これは、昼の処理温度が高い区の方がハウスの柱や土壌などへの蓄熱量が多く、夜間の放熱量が多くなったためと考えられる。各区の総新梢長は2年間とも高温区が最も長く、最低気温を高く管理した区において短くなる傾向であった（第1-10表）。新梢発生率は、高温区において高く、最低気温を高く管理した区において低くなる傾向であった。その差は、処理期間中に生じ、以後、新梢伸長停止期まで保たれた（第1-9図）。新梢発生率が最も少なかった加温区は、落葉後には2年枝部に短果枝が多く形成された（第1-10図）。葉枚数は、各区とも同程度であった（第1-11図）。以上の新梢の成長と処理中の気温の関係を単相関により検討した結果は第1-11表のとおりであった。旧枝に着生していた葉芽のうち新梢が発生した芽の割合（以下新梢発生率と表記）は気温の日較差（日最高気温と日

第1-9表 第1節の処理中の気温

試験年度	処理区	温度設定 ^z	平均気温 (℃)	最高気温 ^y (℃)	最低気温 ^x (℃)	日最高気温と 最低気温の差(℃)
2003	高温	30℃/-	17.1	28.0	9.8	18.2
	加温	25℃/10℃	18.5	26.0	13.2	12.9
	中温	25℃/-	16.5	25.5	10.0	15.5
	低温	20℃/-	15.6	24.1	9.2	14.9
2005	高温	30℃/-	18.7	28.7	10.4	18.3
	加温	25℃/10℃	18.0	26.1	11.3	14.7
	中温	25℃/-	17.2	25.9	9.5	16.5
	20℃一定	20℃/20℃	18.2	23.2	15.3	7.9

^z 施設の換気開始温度/加温温度（-は無加温）、温度処理期間は両年とも4月5日～5月16日

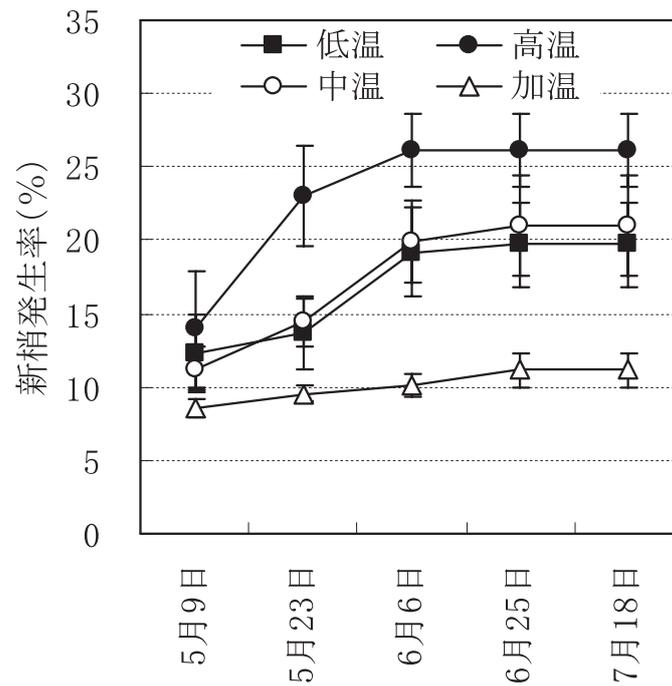
^y 処理期間中の日最高気温の平均

^x 処理期間中の日最低気温の平均

第1-10表 成育初期の温度処理が総新梢長に及ぼす影響

処理区	総新梢長 (cm)	
	2003年	2005年
高温	535 a ^z	411 a
加温	271 c	378 b
中温	504 b	400 ab
低温	499 b	-
20℃一定	-	247 c

^z 同一年における異なるアルファベットはTukeyの多重検定により5%レベルの有意差があることを示す



第1-9図 成育初期の温度処理が新梢発生率²に及ぼす影響 (2003年)

² 全葉芽数の内新梢が10cm以上に伸長した芽の割合

各シンボルのバーは標準誤差を示す (n=6)

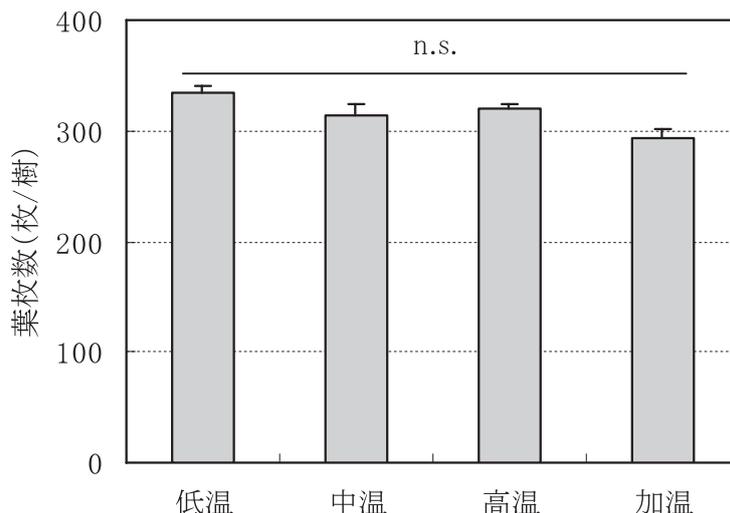
温度処理期間：4月5日～5月16日



加温区

高温区

第1-10図 加温区と高温区の落葉後の姿



第1-11図 新梢伸長停止後における各処理区の葉枚数 (2003年)

各カラムのバーは標準誤差を示す (n=6)

Tukeyの多重検定により各区の値に有意差は認められない

第1-11表 新梢の育成と温度処理期間中の気温との単相関係数

	最高気温 ^z		最低気温 ^y		日最高気温と最低気温の差		平均気温	
	2003年	2005年	2003年	2005年	2003年	2005年	2003年	2005年
新梢発生率 ^x	0.400	0.833	-0.847	-0.835	0.967** ^w	0.977**	-0.569	-0.212
総新梢長	0.088	0.922*	-0.967*	-0.636	0.833	0.922*	-0.796	0.077

^z 処理期間中の日最高気温の平均

^y 処理期間中の日最低気温の平均

^x 全芽数の内新梢が10cm以上に伸長した芽の割合

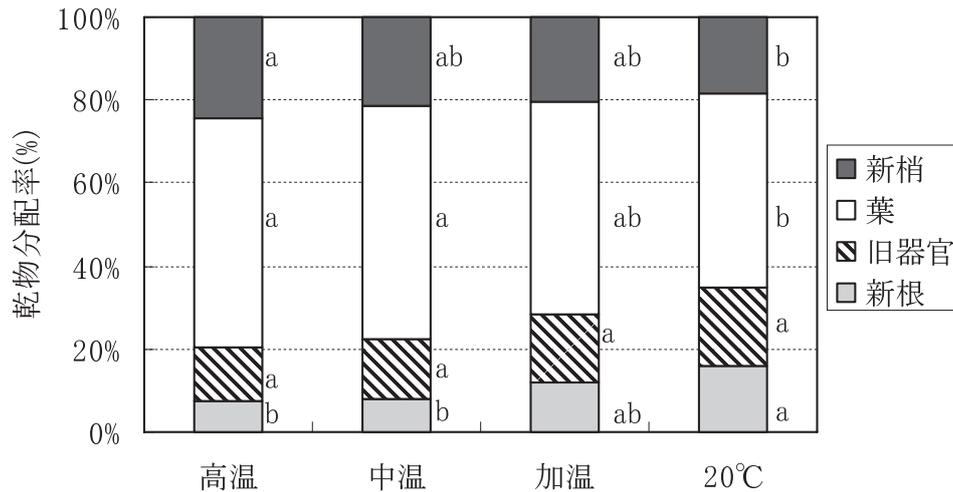
^w *, **はそれぞれ5%水準、1%水準で有意な相関があることを示すn=4

最低気温の差：Difference between day and night temperature、以下DIFと表記）との相関関係（正）が最も高かった。総新梢長は、2003年時に有意な相関関係は認められなかったが、日較差が大きい区ほど長くなる傾向を示した。温度処理終了直後における樹体各部の乾物分配率を第1-12図に示した。高温区、中温区、加温区に統計的な差は認められなかったが、最低気温と最高気温の差の最も小さな20℃区と最も大きな高温区の比較では旧器官を除き有意差が見られ、各処理区のデータを比較すると、1日の気温差が大きい処理区ほど地上部（新梢、葉）の分配率は高くなり、地下部（新根）の分配率は低くなる傾向が認められた。

考 察

果樹の安定生産技術について考えるためには、果実品質だけでなく、翌年の花芽への影響など、樹体への影響を知ることも非常に重要である。本試験において新梢発生率は、平均気温の上昇よりも、昼夜温度差の影響を強

く受けていることが認められた。各区の葉枚数に大きな差がないことから、高温区の新梢の伸びは、節数の増加によるものではなく節間の伸びに起因するものと考えられる。花き研究の分野では、Karlssonら（1989）が昼夜温度差（Difference:以下DIFと表記）によりキクの草丈に差が生じることを報告して以来、DIFは花き栽培の分野では草丈の成長制御技術として利用されている（腰岡・Moe, 1999）。本試験結果は、処理温度が限られた範囲であるものの、果樹もDIFに反応して枝の伸長量に変化する可能性を示唆している。Ikedaら（2002）は、ニホンナシの無加温ハウス栽培、加温ハウス栽培、露地栽培における新梢発生本数は、無加温ハウス栽培>加温栽培>露地栽培の順になることを報告している。この報告で行われている加温栽培は、‘二十世紀’の自発休眠が完全に破れた時期から行われている。一方各作型のDIFは、無加温ハウス栽培>加温ハウス栽培>露地栽培である（池田、未発表）ことから、この報告中の新梢発生本数の差は、休眠覚醒状態の差で生じているのではなく、作



第1-12図 温度処理終了直後における各処理区の新生部位の乾物分配率 (2005年)
 同じ器官において異なるアルファベットはTukeyの多重検定により5%水準の有意差があることを示す
 旧器官の値は処理期間中における旧枝、台木、旧根の乾物増加量を示す

型間のDIFの違いで生じている可能性が高いと考えられる。

以上の結果、ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’の10cm以上の新梢発生率は展葉から40日間のDIFの影響により変化することが明らかになった。

乾物分配量の違いについては次節で行った¹³Cの施用試験の結果とあわせて、次節で考察する。

第2節 成育初期（満開後約40日間）の温度条件が果実および樹体成育に及ぼす影響

第1節では、温度条件と樹体成育の反応を明確に示すため、成育のパラツキが少ない1年生苗を用いて試験を行った。第2節では、着果樹齢に達した樹を用いて果実成育初期の温度条件が当年の樹体および果実の成育へ及

ぼす影響について第1節と同様‘ゴールド二十世紀’を用いて検討した。

材料および方法

試験は2006年に鳥取県園芸試験場の3水準ガラス室内で根域制限栽培（長辺360cm、短辺90cm、深さ30cmの枠内に3樹を植え付け）した4年生の‘ゴールド二十世紀’18樹（1処理区に6樹）を供試して行った（第1-12図）。用土は第1節と同様のものを使用した。3室を加温区（夜：10℃に加温 昼：換気窓全開）、高温区（夜：換気窓全開 昼：33℃を上限に換気）、低温区（昼夜とも換気窓全開）に分け、人工受粉（4月6日）直後から5月10日まで温度処理（自動換気）を行った。処理終了後は換気窓を全開し、各区とも同条件で管理を行った。処理中の気温は、地上から180cmの高さに小型温度記録



第1-12図 第2節の試験における温度処理の様子

計（おんどとりJr、T&D社）を設置して記録した。供試樹の着果管理は、剪定時に短果枝数を強さの揃った10芽・m⁻¹に制限し、摘果時に着果数を8果・m⁻¹に調整する方法で行い、これにより摘果時における各区の葉果比をほぼ同程度にした。各区の3樹を用いて、1樹10果にラベルを付け、5月25日、7月12日、8月29日（収穫時）に横径を計測した。果実品質（果重、糖度、果皮色、硬度）の調査は、8月29日に調査樹の果実を全果収穫して行った。糖度は赤道部から直径1cm、深さ1cmの円筒状にくりぬいた果肉を搾汁し、屈折糖度計（アタゴ社DBX-55）を用いて測定した。果皮色は農林水産省果樹試験場基準カラーチャート二十世紀用を用いて平均的な部分の果皮色（表面色）を評価した。硬度は果実を縦に切断し果肉の中央部2カ所を硬度計（マグネステレーラ、10lb）を用いて測定した。落葉後、新梢の発生本数と長さを測定した。新梢については、試験1と同様、10cm以上に伸長した枝を調査した。なお、不定芽から発生した新梢は、通常の栽培管理に準じ、満開前と満開後に除去し、その後発生したものは放任した。

また、上記試験の温度処理時に、60Lポットに植栽された、同程度の枝量の3年生‘ゴールド二十世紀’4樹を供試し、¹³Cをトレーサーとして施用し、温度処理が光合成産物の転流に及ぼす影響を調査した。5月4日の7時から11時にかけて4樹に対し¹³Cを同化処理した。同化処理は樹体を容量約8m³のフレームで囲い、周囲をPOフィルム（厚さ0.1mm）で密閉し、この中で¹³Cを吸収させておこなった。フレーム内には直径20cmの小型扇風機をいれて内部の空気を攪拌した。¹³C含有炭酸バリウム（Ba¹³CO₃：¹³C純度99%）5gを入れたピーカー3つをフレーム内に用意し、1つめのピーカーへ80%乳酸液を注入して¹³CO₂を発生させた後、炭酸ガス濃度が概ね250ppm以下に低下した時点で順次2、3番目のピーカーへ注入し、¹³CO₂を発生させた。3番目のピーカーから¹³CO₂を発生させ、CO₂濃度が低下した後¹³Cを含有しないBa¹²CO₃からCO₂を発生させ¹³CO₂の完全な吸収

を促した。

供試樹は、処理後にフィルムを除去し、2樹を加温区、2樹を高温区に移し、3日間光合成産物を処理温度条件下で転流させた。その後、新梢葉、短果枝葉、新梢、旧枝、根幹、旧根、新根に分けて解体した。解体したサンプルを通風乾燥機で乾燥後、重量を測定し、サンプルの一部を粉碎し、¹³Cアナライザー（日本分光、EX-130S）を用いて赤外吸光分析法により¹³C含有量を計測した。

得られた¹³CAtom%から、¹³C無処理樹の同一器官の¹³Catom%を差引き¹³Catom%excessとした。各器官の¹³C含有量はその器官の炭素含量に¹³Catom%excess、乾物重を乗じて算出した。

結 果

処理期間中の気温は第1-11表のとおりであった。処理期間中の平均気温は加温区と高温区が同程度で、低温区が最も低くなった。最高気温の平均は、加温区と低温区が同程度で、高温区が最も高くなった。最低気温の平均は低温区が最も低く、次いで高温区、加温区の順であった。

平均新梢長は各区とも同程度であったが、新梢発生数は、加温区が少なく、高温区が最も多くなった。不定芽から発生した新梢の本数は少なく、達観調査では処理による差は見られなかった。総新梢長は加温区が最も短く、高温区が最も長くなった（第1-12表）。果実肥大は処理中から7月にかけて加温区が最も良好で、低温区が最も劣った。しかし、その後収穫までの期間は、低温区が最も良好となり、加温区が最も劣った（第1-13表）。果実品質の調査結果を第1-14表に示した。果重は、加温区および高温区が同程度で、低温区は有意に小さかった。糖度は加温区が有意に高く、高温区および低温区は同程度であった。果皮色は、加温区が高い値であり、高温区、低温区に有意差は認められなかった。硬度は低温区、高温区が同程度で、加温区はこれらの区より有意に低い値

第1-12表 第2節の処理中の気温

処理区 ^z	平均気温 (°C)	最高気温 ^y (°C)	最低気温 ^x (°C)	日最高気温と最低 気温の差 (°C)
低温区	16.1	24.1	9.7	14.4
高温区	18.3	29.6	10.8	18.8
加温区	18.9	24.0	14.1	10.0

^z 温度管理：高温区 昼間は33°C上限、夜間は換気窓開放
加温区 日中は換気窓開放、夜間は10°Cに加温
低温区 日中夜間とも換気窓開放

^y 処理期間中の日最高気温の平均

^x 処理期間中の日最低気温の平均

第1-13表 果実発育初期の温度処理が新梢伸長量および本数に及ぼす影響 (2006年)

処理区	平均新梢長 ^z (cm)	新梢本数 ^y (本・m ⁻¹)	総新梢長 ^x (cm・m ⁻¹)
低温	48.9 a ^w	7.4 ab	363 b
高温	48.3 a	9.6 a	465 a
加温	43.1 a	5.5 b	237 c

^z 10cm以上の新梢の平均長

^y 旧枝1mあたりから発生した10cm以上の新梢本数

^x 旧枝1mあたりから発生した10cm以上の新梢の総長

^w 同一項目内の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す

第1-14表 果実発育初期の温度処理が果実横径の成長に及ぼす影響 (2006年)

処理区	5月25日	7月12日	8月29日
低温	27.1 b ^z	52.8 c (0.54) ^y	77.8 b (0.52)
高温	27.4 b	54.9 b (0.57)	78.9 a (0.5)
加温	29.0 a	58.1 a (0.61)	80.9 a (0.48)

^z 同一調査日の異なるアルファベットは、Tukeyの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す

^y カッコ内の数値は調査日間の平均日肥大量を示す

第1-15表 果実発育初期の温度処理が果実品質に及ぼす影響 (2006年)

処理区	果重 (g)	糖度 (Brix)	果皮色 (カラーチャート値)	硬度 (1b)
低温	239 b ^z	11.5 b	3.0 b	5.1 a
高温	247 a	11.4 b	3.2 b	4.8 a
加温	252 a	12.0 a	3.5 a	4.4 b

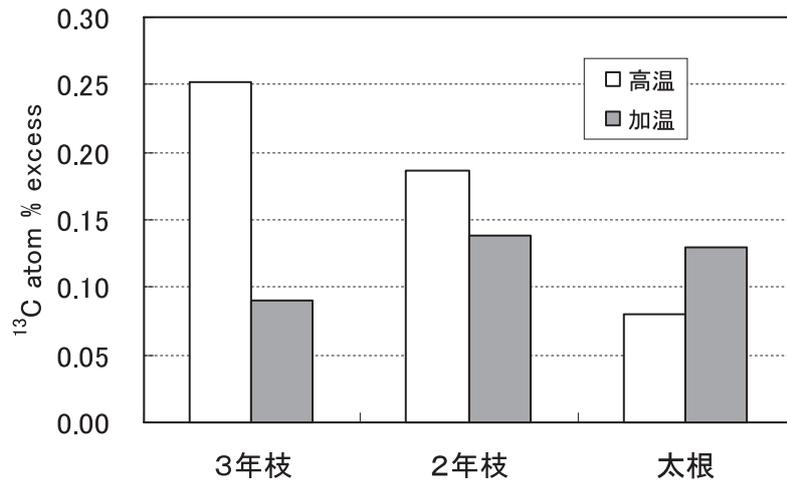
^z 同一項目内の異なるアルファベットは、Tukeyの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す

であった。

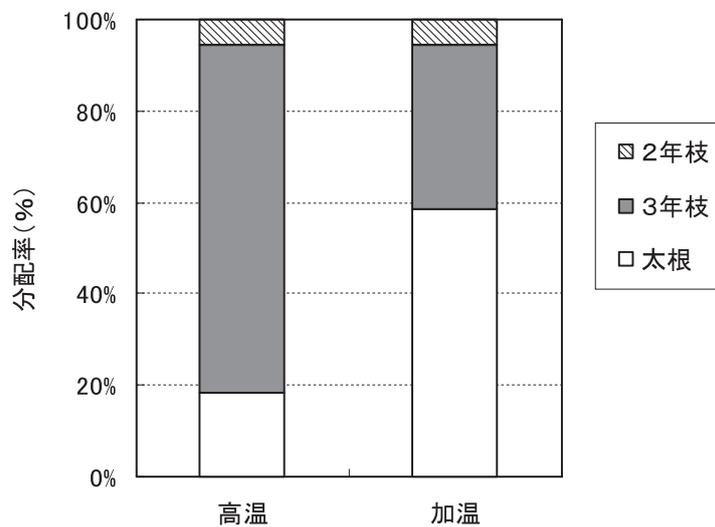
第1-13図に温度処理の違いが旧器官別の¹³Catom%excessに及ぼす影響について示した。新生器官(新梢、葉、新根)については分析試料の調整ミスにより測定できなかった。高温区では、3年枝の¹³Catom%excessが最も高く、太根において最も低い値となった。これに対し、加温区は、3年枝で最も少なく、2年枝、太根は同程度で、各器官の¹³Catom%excessの差は高温区に比べ少なかった。第1-14図に旧器官における¹³Cの分配率を示した。2年枝への分配率は両区とも同程度であったが、太根への分配は加温区が明らかに多く、3年枝への分配は高温区が明らかに多かった。

考 察

第1節の試験において、ニホンナシにおいてもDIFの違いが新梢や果実の成育および各器官への乾物分配率を変化させていることが認められた。また、本節の試験結果により、同化産物の分配量にも差があることが認められた。トマトでは、高夜温が根や果実への光合成産物の転流を促進することが報告されている(吉岡ら、1977)。本試験の処理期間は、成育が貯蔵養分に左右される期間であるが(林・脇坂、1956)、『二十世紀』個葉の光合成能力は、満開後2週間目から高く(Tengら、2002)、20℃~30℃では光合成速度に大きな差はないこと(中島・杉浦、2003)とも併せて考えると、乾物分配率の変化が生じた原因は、貯蔵養分や処理区間における



第1-13図 温度処理の違いが旧器官別の ^{13}C atom%excessに及ぼす影響



第1-14図 旧器官における ^{13}C の分配率

同化量の差というより、トマトと同様、高夜温による当年の同化産物の地下部への転流が促進された結果と考えられる。

岸本・清家（1972）はニホンナシの光合成系器官の重量（F：主として葉の重量）と非光合成系器官の重量（Cs：新梢の枝の重量）の比（新梢葉枝比：Cs/F）を適正な範囲にすることが、高い果実生産のために必要と報告しており、夏季や冬季のせん定によって枝の量を調節することで適切な樹相を目指す試験が行われている（文室・村田、1989；林ら、1995、佐藤；2002；高橋ら、1998）。一方、ニホンナシのハウス栽培は、収量や品質の向上にはつながっておらず、新梢の発育が旺盛になり過繁茂となる（廣田、1987；佐藤、1968；内野ら、1989）ことから、露地に比べて不利な栽培法と指摘されている（鴨田、1987）。ハウス栽培において温度は最も制御しやすい環境要因である。本試験結果は、ハウス栽

培において、昼温を無理に上げるより夜温を上げることが主体とした温度管理を行うことで、新梢の多発を抑えつつ、成育の促進を図ることが可能になることを示している。結果枝上に花芽の着生した短果枝を維持しながら栽培を行う‘二十世紀’では、10cm以上の枝の多発は花芽の減少につながることから、この知見は今後のハウス栽培における温度管理の改善に役立つものと考えられる。国内で最も多く栽培されている‘幸水’の場合、短果枝の維持が難しいため、着果数は、腋花芽を利用して確保されている。しかし、腋花芽の着生量は不安定であり、露地栽培では新梢が多発する樹に対して摘心処理による短果枝の着生技術が検討されている（吉岡・松波、2000）。本技術が適用出来れば、‘幸水’のような腋花芽を主体に利用する品種に対しても花芽の安定確保のために役立つものと考えられる。‘幸水’などの他品種や他の温度帯における検討を重ねることにより、温度管理に

よって余分な枝の成長を抑制し、品質向上と安定生産をはかることが可能になるものと期待される。ただし、品種によって根の伸長時期が‘二十世紀’と異なり、このことが枝の伸長にも影響している可能性が報告されており（浦木、1983）、品種間の成育相の違いにより反応に差がある可能性も考えられる。また土壌条件、被覆時期等も影響すると考えられ、栽培条件に応じた技術の検討が必要であろう。

地球温暖化に伴い、果樹栽培にも様々な影響が予想されているが、ニホンナシの果実発育に関しては、開花後約1か月間の細胞分裂期が、最も温度条件に左右される時期であることが知られている（遠藤、1973a、b；平田ら、1983；今井ら、1989；杉浦ら、1995）。この期間における果実発育の最適温度については、平田ら（1983）が、25℃と報告している。また、25℃付近までは、気温が高いほど果実肥大や熟期は促進されるが、この効果は夜温が高いほど大きいという報告もある（遠藤、1973 b）。一方、昼夜温度差について、平田ら（1983）は、成育適温の範囲内であれば幼果の成育に昼夜温度差の影響は少ないとしている。加温区と高温区の平均気温の差はわずか0.6℃であったが、果実の成育は加温区が早く、収穫果実の調査においても果皮色が進み、果肉硬度も低下していた。達観調査によると熟期は5日程度早いようであった。この結果は、同じ平均気温であれば、最低気温が高く、最高気温が低い（昼夜温度差が少ない）方が果実の成育は促進される可能性を示すもので、夜温が高い場合に成育促進効果が高いという遠藤ら（1973b）の報告とも一致する結果である。杉浦ら（1995）は、満開後33日間の平均気温から収穫期を予測する静的モデルを構築し、この期間における1℃の平均気温の違いは、収穫期までの日数を1.24日短縮させるとしている。この値は本試験の結果より小さい。この原因は、このモデルが一定温に制御された条件下で行われた試験をもとに作られたためと思われる。また、平田ら（1983）は果実の成育に昼夜温度差の影響は少ないとしているが、この結果は、果実のみに温度処理を行ったためと考えられる。実用化技術を目指すには、本試験のような、樹体全体への処理が重要であると考えられる。また、地球温暖化がニホンナシの栽培に及ぼしている影響として、生理障害の発生や収穫時期の前進が報告されている（杉浦ら、2007）が、これらの問題に対応するためには、温度変化に対応して適切な成熟期が把握できる成育予測技術の確立が今後重要になると考えられる。本試験の結果は、成育予測技術確立に向けた試験を行う際には、昼夜温度差を考慮することで、予測精度の向上が図れる可能性を示唆するものである。

以上の結果より、成育初期における気温の昼夜温度差（DIF）は同化産物の転流速度に差を生じさせ、樹体成育や果実発育に影響を及ぼすことが示された。今後、施設栽培の温度管理技術確立や温暖化に対応するための成育予測技術の検討を行うに当たっては、平均気温のみならず、昼夜温度差にも注目することが重要であると考えられた。

第3節 植物成長調節物質の散布が新梢成長に及ぼす影響

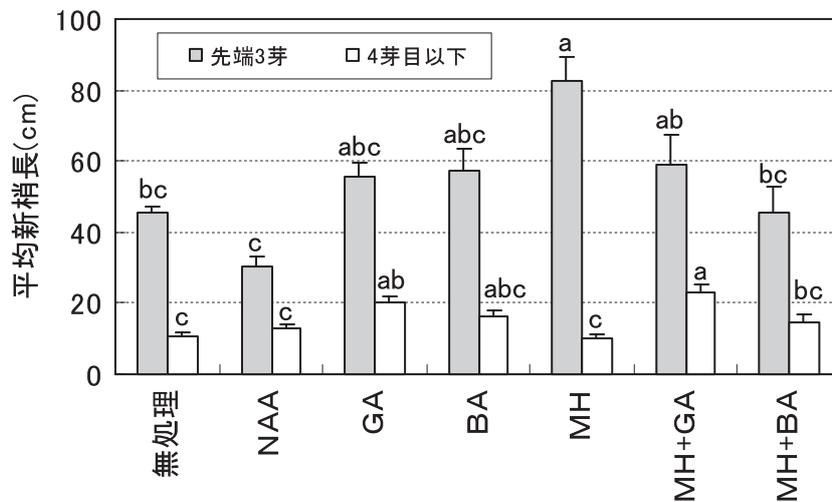
植物の成長には植物成長調節物質が深く関与しており、植物の成長・分化が環境要因の影響を受けるとき、媒介者として植物成長調節物質が働いているといわれている（高橋・増田、1994）。その作用を利用し、作物生産に利用されているものも多い（腰岡、2005）。第1、2節においてDIFの違いはニホンナシの乾物分配量を変化させ、新梢の成長を変化させることが明らかになった。Bangerth(1989)は、トマトを用いた試験から、オーキシンの輸出量が多い器官が競合関係で上位になり、小さい器官は相対的に順位が低くなるというモデルを提唱している。このように物質分配の優先性には植物成長調節物質が関与している可能性が考えられる。新梢成長を制御している植物成長調節物質を明らかにすることは、人為的な新梢成長制御技術への発展が期待され、気温変化に対応しながら安定的に生産を行うための重要な知見となる。ここでは、ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’の新梢成長と植物成長調節物質との関係を検討することを目的として、植物成長調節物質の散布が‘ゴールド二十世紀’の新梢成長に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

園芸試験場の雨よけハウス内で60リットルポットに植え付けられた‘ゴールド二十世紀’2年生樹を21樹供試した。主幹より発生した1年枝を剪定により2本に制限し、先端数芽を切除した。この枝を棚面に対し約45度の角度に誘引した状態で試験を行った（第1-15図）。誘引後、処理枝の芽数および長さを調査した。*a*-ナフタレン酢酸（以下NAAと表記）100ppm区、ジベレリンA₄（以下GA₄と表記）100ppm区、ベンジルアミノプリン（以下BAと表記）300ppm区、マレイン酸ヒドラジド（以下MHと表記）2600ppm区、MH2600ppm + GA₄300ppm区、MH2600ppm + BA300ppm区、無処理区の7区を設け実験を行った。葉芽の展葉始め（4月14日）およびその10日後（4月24日）に展着剤としてニーズ0.1%を添加した各液剤を樹全体にハンドスプレーを用いて散布処理した。各区の新梢の伸長が完全に停止した6月26日に



第1-15図 植物成長調節剤の処理を行った樹（1回目の処理時の状態）



第1-16図 植物成長調節剤の処理が‘ゴールド二十世紀’の平均新梢長に及ぼす影響

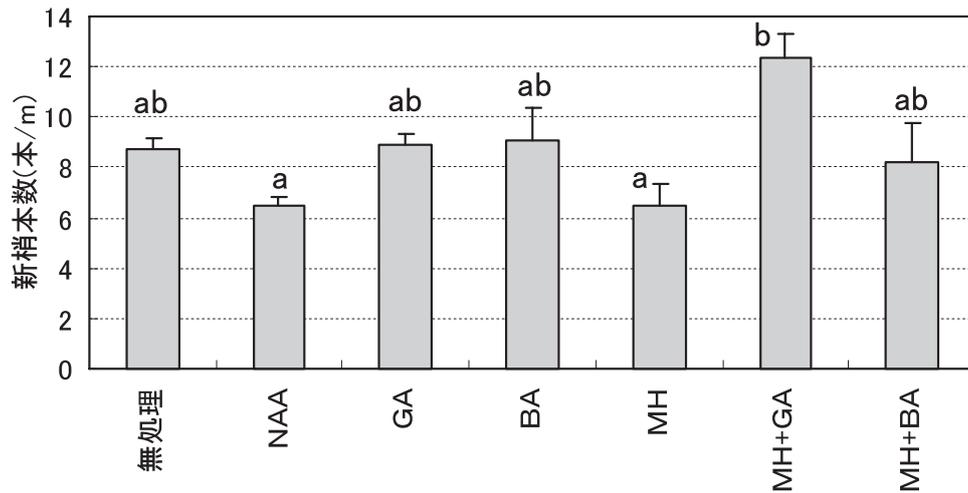
各カラムのアルファベットは、項目ごとにTukeyの多重検定により異符号間に5%レベルで有意差があることを示す

10cm以上に伸長した新梢本数とその長さを調査した。

結 果

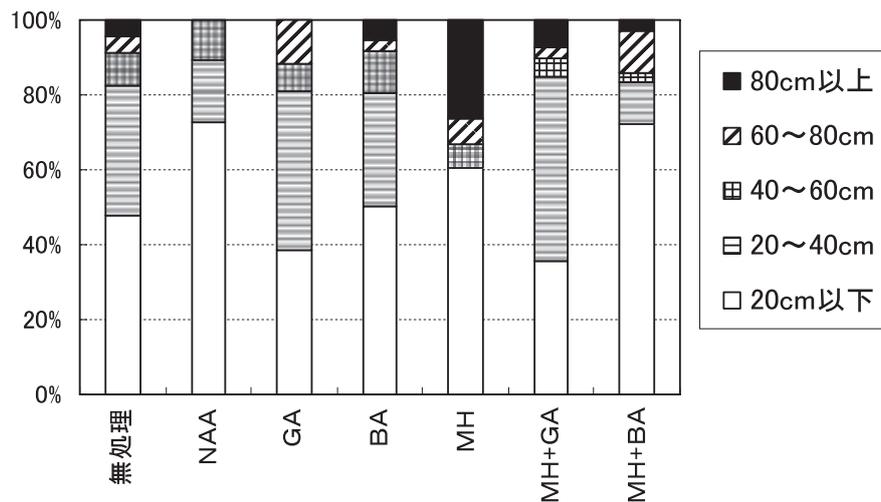
第1-16図に枝の先端3芽から発生した新梢および4芽目以下から発生した新梢の平均長、第1-17図に新梢発生本数、第18図に発生した新梢の長さ別割合を示す。GAおよびBA区は、平均新梢長、新梢本数とも無処理区よりやや長くなる傾向が認められた。MH処理区は先端側

の芽から発生する新梢の伸長が促進される一方、側芽から発生する新梢の伸長量は少なく、20cm以下の新梢割合が多くなった。MH+GA区は、側芽から発生する新梢の長さが長くなり、20cm~40cmの新梢本数が増加した。MH+BA区は、平均新梢長、新梢本数は無処理区と同程度であったが、60~80cmおよび20cm以下の新梢の割合が無処理区より多かった。NAA区は処理後、葉が上偏成長し（第1-19図）、伸長が一時停止した。そのため、



第1-17図 植物成長調節剤の処理が‘ゴールド二十世紀’の新梢本数に及ぼす影響

各カラムのアルファベットは、Tukeyの多重検定により異符号間に5%レベルで有意差があることを示す



第1-18図 植物成長調節剤の処理が‘ゴールド二十世紀’の新梢の長さ別割合に及ぼす影響

新梢長、新梢発生数とも処理区内で最も低い値であった。

考 察

果樹栽培の新梢伸長に対する成長調節物質の試験は、低樹高化や伸長抑制(久保田ら、1974; Niimi、1979; 野間ら、1989; 小原、1987)を目的として検討されており、成長阻害剤を用いた試験が多い。また、ニホンナシの新梢伸長に対する植物成長調節物質の影響については、花芽形成の制御に関する試験の中でいくつか報告されているが(伴野ら、1985a; Itoら、2000)、頂芽や側芽の伸長制御という観点からの調査は行われていない。この点について、他の樹種では側枝の発生が極端に少な

く、節間が短いという特性を持つカラムナータイプのリングを用いた試験がいくつか行われており(Lee・Looney、1977; Looney・Lane、1984; 渡邊ら、2003)、サイトカイニン、オーキシン、ジベレリンが関与してカラムナータイプ樹の特徴的な新梢成長を引き起こしていることが示されている。

本試験におけるサイトカイニン(BA)、オーキシン(NAA)、ジベレリン(GA_4)の単独処理は、NAA処理を除き無処理区と大きな差は生じなかった。NAA処理は葉が上偏成長を起し、成長が最も劣る結果となった。渡邊ら(2003)の報告では、カラムナータイプ品種‘Trajan’はNAA濃度が300ppm以上、‘ふじ’は



第1-19図 NAA処理区で見られた葉の上偏成長（左）と正常な状態（右）

50ppmで成育阻害が生じたとしている。ニホンナシの場合、NAAに対する抵抗性がカラムナータイプより弱く、‘ふじ’と同程度ではないかと考えられ、オーキシン処理への反応を調査するにはさらに低濃度域の試験が必要と考えられた。一方、抗オーキシン剤であるMH処理は、頂部優勢を強くするような作用を示した。Lee・Looney (1977) は ‘MchIntosh Wijick’ × ‘Golden Delicious’ の実生に対するオーキシン移行阻害剤 (TIBA) の処理が頂芽優勢の程度を強めたことを報告している。これに対し、渡邊ら (2003) はカラムナータイプ品種 ‘Trajan’ へのMH処理は頂芽優勢を弱めたとしている。渡邊ら (2003) の試験は処理時期が新梢の伸長中であり、本試験とは散布時期が異なるが、オーキシンが頂部優勢に及ぼす影響は、時期により異なる可能性が考えられる。サイトカイニン は、オーキシンと拮抗的に作用し (Cline 1991)、リングではBA剤を散布すると側枝の発生数が増加することが知られている (Wertheim・Estabrooks, 1994)。本試験でBA単独処理は、無処理区との差が明確でなかったが、MH+BA処理はMH単独処理で認められた頂部優勢が強くなる効果を打ち消すような作用を示した。また、MH+GA処理は、4芽目以下の側芽の伸長が多くなり、新梢本数が増加した。これらの結果は従来報告されているように、サイトカイニンは頂部優勢を弱める作用、ジベレリンは枝の伸長促進作用を持っていることを裏付けるものと考えられるが、単独処理では効果が不明確であったことも考えるとサイトカイニンやジベレリンの作用はオーキシン活性が落ちているときに強く働くという可能性が考えられる。また、MHの単独処理が頂芽優勢を強めるという結果は、新梢伸長前 (展葉期) の一時的なオーキシン活性の低下が、サイトカイニンやジベレリンの活性も低下させ側芽のシンク力を弱めた可能性を示している。Itoら (2001) はMHの散布が新梢の側芽のゼアチン (活性型サイトカイニン) の含量を増加させるこ

とを報告している。本試験から得られた推察とは逆の結果であるが、散布時期や調査部位の違いもあり比較は出来ない。しかし、これらの事実はオーキシンレベルの変化がステージに応じて芽あるいは枝中の他のホルモンレベルを制御している可能性を示唆するものと考えられ、今後、詳細な調査が期待される。

第1、2節では、DIFの違いによって新梢の発生量に差が認められた。DIFが小さい (夜温が高い) 場合は頂芽付近を除き、節間の伸びが抑えられ、本試験のMH処理区に近い形態となった。一方DIFが大きい場合は側芽の芽から発生する新梢の節間が伸びており、本試験のMH+GA区に近い形態であった。Hayataら (2001) は、ハツカダイコンにDIF処理を行ったとき胚軸の長さに変化し、その際IAA含量も変化することを明らかにしている。Patilら (2003) はキュウリの幼苗を用いてDIFを大きくした場合、GA₄に対する感受性が高まり、DIFが小さい場合はGA₄の代謝が高まると報告している。これらはDIFの変化が植物ホルモンのレベルに影響を与えていることを示唆している。第1、2節のDIFに対する枝の伸長反応をホルモン面から考えると、夜温を上げ、DIFを小さくした場合は、同化産物の転流促進に伴って、枝全体のホルモンレベル (特にオーキシン) がいったん低下している可能性が考えられる。また、昼を高温にし、DIFを大きくした場合は、枝内のホルモン移動が少なくなった結果、ホルモンレベルが高くなり、枝が発生しやすくなったのではないかと考えられる。これらについては、今後検証が必要である。

摘 要

開花期から約40日間の気温がニホンナシ ‘ゴールド二十世紀’ の新梢伸長および果実発育に及ぼす影響について調査した。側芽から発生する10cm以上の新梢本数は昼夜温度差が大きくなるほど増加した。同程度の平均

気温の場合、果実の成育は、昼夜温度差の少ない方が早くなることが認められた。このような成育の差が生じる原因は、同化産物の転流速度に差が生じていることが一因と考えられた。また、展葉期におけるオーキシン活性

の低下は頂芽優勢を強めることが明らかになった。以上の結果、昼夜温度差を考慮することにより、成育予測技術の精度向上およびハウス栽培における10cm以上の新梢本数や果実の成育速度制御の可能性が認められた。

第4章 第1編 総合考察

2007年2月に発表された「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の報告では、20世紀中に地球の平均地上気温は約0.74℃上昇しており、今後さらにこの傾向が顕著になることが予測されている(IPCC、2007)。果樹についても温暖化に伴って、リンゴおよびカンキツの栽培適地が北へ移動することが予測されている(杉浦・横沢、2004)ほか、ニホンナシでは、開花期や収穫期の有意な前進等様々な影響が現れていることが報告されている(本條ら、2002；伊藤・市ノ木山、2005；杉浦ら、2007)。このような状況に対応するための技術確立や影響予測を行う上で、温度に対する樹体や果実成育の反応に関する知見は、今後重要になると考えられる。

本研究では、まず、温暖化の影響が明確に現れやすいと考えられる開花期の問題に対応するため、開花予測技術の検討を行った。調査期間中に統計開始以来最も早い開花期が観測されたほか、2000年を除き鳥取県の平年開花日(4月18日)より早い時期の開花となった。このようなあまり過去に例のない状況下では、従来、高見(1994)が指摘していたように、統計的に求めたパラメータを用いていた従来法より、実験的な手法でパラメータを求めたDVR法による予測の精度が高いことが明らかになった。ただし、本試験で用いたモデルは、'幸水'の開花予測モデルであり、今後より精度の高い情報を提供していくためには、'二十世紀'を用いた試験を行い、'二十世紀'のモデルの作成が必要である。開花予測モデルは、温暖化の影響による開花期の移動シミュレーション等、温暖化の影響予測する手段としても利用が可能である。モデル作成には多くの施設が必要になるが、関係機関の協力により今後、様々な品種、樹種における取り組みが期待される。

次に、温暖化による成育時期の変化がニホンナシの芽の花芽分化から自発休眠の導入、打破に至る短果枝花芽のライフサイクルに及ぼす影響を明らかにすることを試みた。その結果、花芽の分化は、外的環境によって引き起こされるのではなく成育の進行に応じて引き起こされていること、自発休眠は芽のエージに関わりなく外的環境によって導入し、打破されることが明らかになった。花芽分化を誘導するシグナルとして草本植物では、一般的に日長や気温(低温)などの環境条件が働いている。ニホンナシでは、植物成長調節物質や栄養学的的な面から調査が行われている(伴野ら、1984、1985；Itoら、1999、2001)が直接的なシグナルは不明である。本試験結果により、分化時期は開花期とその後の成長の早さ

に応じて変化しており、日長や気温による影響を受けていないことが明らかになった。この結果を基にさらに花芽形成に関する研究が進むことを期待したい。一方、自発休眠の時期に作型間の差は認められなかったことから、開花期の移動に伴う自発休眠期の変化はないと考えられた。本試験では、導入期が従来報告されていた結果より早く始まっていたが、この原因については不明である。今後は、導入のシグナルについても解明を進める必要がある。自発休眠の打破時期を求めるには、DVRモデルやCUモデルを用いるが、その起算日は曖昧である。本試験結果は、起算日は開花期に関係なく、従来どおり気温のみに注目して低温の積算を行えばよいことを示す。しかし、田村(1998)も報告しているとおおり、品種により感応温度が異なることが示唆されたことから、精度の高い情報提供を行うためには、主な品種について、品種ごとの感応特性を明らかにしていくことが必要であろう。

通常、植物の同化産物生産量には限度があるため、シンク間では同化産物の取り合いが起こっている。永年性作物である果樹では、樹体の維持、当年の果実の発育、翌年の花芽等へバランスよく分配が行われる必要がある。ハウス栽培における枝の徒長、過繁茂、花芽の減少等の問題(廣田、1987；及川ら、1987；佐藤、1968；渋谷・服部、1986；内野ら、1989；山本、1986)は、当年の果実発育の促進に重点を置いた管理の結果と考えられる。枝の伸長量は、ニホンナシの栽培にとどまらず、果樹栽培において当年の果実品質や翌年の花芽の量を左右する重要な部分であるが、その制御は主に冬季あるいは夏季の剪定で行われていた。DIFによる成育制御は花き研究の分野において草丈の成長制御技術として多く利用されている(腰岡・Moe、1999)が、果樹においてこの現象はこれまで確認されていなかった。本研究で確認された結果は、今後温度制御が容易なハウス栽培において新梢量を制御する手段として活用が期待される。一方、DIFは、果実の成育にも影響していることが示唆された。温暖化に伴う生理障害の発生が報告されているが(杉浦ら、2007)、この防止には、成熟期の正確な把握が必要と考えられる。成熟期を予測するモデルはすでに報告されている(杉浦ら、1995)が、DIFの影響は評価されていない。本知見の利用により、精度の高い成熟期予測モデルが出来るようになると考えられる。

DIFによる新梢の成長量の変化は光合成産物の転流速度に差が生じていることや植物成長調節物質の関与が示

唆されたが、これがが転流速度を変化させた原因なのか結果なのかは本試験からは明らかではない。Bangerth (1989) は、より早く発達した器官がより遅く発達した器官を阻害する、という概念 (primigenic dominance 日本語訳：早期成長優勢：児島、2004) を提唱している。部分的な成長制御にとどまらず、樹体の相関的な優勢現象を制御するという概念での研究が進むことは、永年性果樹栽培にとっては、非常に重要な観点である。本研究

はその一助となることが期待される。

以上のように、本試験は温度変化がニホンナシの成育に及ぼす影響について、これまで未解明であった部分を明らかに出来た。温暖化の影響を評価、予測し、対策技術を構築する動きは今後益々加速すると考えられる。本試験の成果は今後の温暖化対策や影響評価に役立つ物と考えられる。