和ナシ果実の日肥大周期に関する研究 (第2報)

果実の日肥大周期に及ぼす発育前期の夜温の影響

遠 藤 融 郎

(広島県果樹試験場)

Studies on the Daily Change of Fruit Size of the Japanese Pear II. Effect of Night Temperature on Diurnal Fluctuation of Fruit during Early Stage of Fruit Development

Michirō ENDŌ

Fruit Tree Experiment Station of Hiroshima Prefecture, Toyota, Hiroshima

Summary

In the previous paper significant correlations were reported between air temperature and diurnal increment or diurnal amplitude of fruit growth at Stage I. In the present investigation, young fruits of Nijusseiki pear were grown under different night temperature conditions, and effects of night temperature on the diurnal fluctuation of fruit diameter, mostly of transverse one, changes in organic components of fruit, period of maturation, and quality of harvested fruit were examined.

Night temperatures were regulated at 15, 20, and 30°C during the period of 65 days from fruit set to June 29. Trees exposed to natural temperature conditions served as controls. The results obtained are described as follows:

1) High night temperature exerted more prominent effects on the diurnal fluctuation of fruit diameter at the time of a month after anthesis (about May 25) than at the other periods of growth. The higher the night temperature the greater the amplitude of diurnal fluctuation (both expansion and contraction). These effects were more marked at earlier than at later stages of fruit development and they became more vague as the time progressed.

2) The higher the night temperature the more shortened the duration of the former half of fruit development (Stages I and II), and a distinct demarcation period from Stage I to Stage II was observed. Duration of fruit development at Stage I was 46, 44, 41, and 31 days in controls and 15, 20, and 30°C treatments, respectively, that is, decrease in maturing period was 5, 15, and 30 days in the 15, 20, and 30°C night temperature treatments, respectively.

3) In the 30°C treatment, high night temperature at early stages of fruit development stimulated the metabolism of organic components within the fruit, which may be due mainly to the maturation of fruit. Before the maturation period, the surface of the peel was kept quite smooth. The size of fruits harvested was uneven and most of them reached maturity with small sizes. Below 20°C, higher night temperature seemed to produce fruit of rather superior quality. In general, fruit exposed to night temperature of 20°C were most excellent in size, exterior appearance, and internal quality, though the maturing period (duration of development from fruit set to harvest) was not so shortened.

4) At a later period of fruit development, after Stage III, diurnal fluctuation of fruit diameter reflected the internal physiological features such as accumulation of elaborated materials and conversion of sucrose into inverted sugars. The relation between external phenomena and internal metabolic activity seems to be meaningful from the viewpoint of fruit development. When both the diurnal growth and the

contraction of fruit diameter were prominent, more reducing sugars were accumulated within the fruit, whereas nonreducing sugar (sucrose) was predominantly accumulated when the contraction was gradually diminished and finally stagnated.

緒 言

前報で、二十世紀ナシの幼果期（第Ⅰ期）の生長に対しては、気温が最大の制限因子となることを報告（9）したが、ほかの果樹についても、すでに数多くの成績（1, 3, 6, 7, 16, 18, 23, 24, 36, 39, 40, 43）が報告されており、いずれも幼果期の気温が果実の発育や成熟日数に顕著な影響を与えることを述べている。

ナシの幼果期に、自然気温が果実の発育や成熟日数に及ぼす影響を調査したものとしては、田中ら（37）、Mel-lenthin（26）などの報告があり、また、幼果期に樹体を温度処理し、その影響をみたものには佐藤（35）の報告がある。本報は、幼果期の夜温が果実の日肥大周期とともに、その発育量、成熟日数、収穫果の形質に及ぼす影響をみた実験結果である。

実験材料および方法

1968～1969年の間、慣行管理の10～11年生の二十世紀ナシを計6本用いて、日当たりのよい位置の垂主枝を供試した。処理区ならびに供試数は第1表に示すとおりである。すなわち、自然夜温区を除いて、2m³の木わくで垂主枝を囲み、夜間（日没から日の出まで）のみビニールとむしろで木わくを二重に被覆し、処理わく内は電熱器を用いて加温し、自動調節によつて所定の気温を保つようにした。1968年には、15°Cおよび20°C、1969年には15°C、20°Cおよび30°Cの各処理区を設け、自然夜温区の果実と比較した。湿度は電熱器上の容器の水蒸気により自然状態に近づくよう調節した。昼間は、全区一律に自然気象条件下においた。また、各年次とも、それまで無処理の木を供試し、処理以外は慣行による均一な管理を施した。

果径の測定に用いた個体数は、あらかじめ20果程度を選定しておき、その中から更に整一な個体を7果厳選して調査し、最終的に5個体の平均をとつた。第2表は

Table 1. Temperature treated and number of fruit examined.

Night temperature treated	1968		1969	
	Number of limbs	Number of fruits	Number of limbs	Number of fruits
Controls	2	30	3	80
15°C	1	20	2	55
20°C	2	35	3	75
30°C	—	—	3	70

Note: Treatment period; 1968; May 10 to July 10.
1969; April 25 to June 29.

処理間差異の乏しい時期の一例であるが、全期間を通じ、概して5個体で一応満足な結果が得られた。ただし縦径は横径に比べて、季節により、また個体によつて測定位置の決定が困難で誤差を生じやすく、数値の分散を大きくすることが多いので、縦横径を比較する場合を除いて果径はすべて横径で示した。その調査方法は第1報（9）で述べた。

果実温度の測定には、多点式高感度電気温度計を用いた。果実の水分は110°Cの乾燥による重量法、糖度はbrix 検糖計による示度、全酸度は中和滴定してリンゴ酸に換算して示し、糖分はベルトラン法、ペクチン質は塩酸・エタノールによる重量法で測定した。果汁の比重はGay Lussac's Pycnometerを用いた。成熟度を示す非還元糖歩合はC/R×100で表わした。

実験結果

1. 果実の日肥大周期の様相と果実肥大

(1) 1968年の結果

自然夜温および15°C、20°Cの各夜温処理の結果、果実の日肥大周期にみられる処理区間の相違はわずかであつた。肥大は高夜温区ほどすぐれ、しかも、この傾向は早い時期に顕著であつた。この果実発育初期の傾向をみると、夜温の低い日に加温効果が高く、また、夜間の湿

Table 2. Statistical significance of differences between mean values of five fruits at Stage II, with respect to fruit size and defined measurements of daily fruit growth (ten-year-old Nijusseiki pear trees).
(in 1968) (mm)

Night temperature treated	Item	Size of fruit		Contraction		Daily growth		Diurnal fluctuation	
		Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal
Controls		23.96	23.49	0.16	0.30	0.24	0.39	0.40	0.69
20°C		26.85	23.82	0.21	0.44	0.38	0.23	0.59	0.67
LSD (0.05*)		1.11	NS	NS	NS	0.06	0.06	0.09	NS
(0.01**)		1.84	NS	NS	NS	0.10	0.09	0.15	NS

度が低いと、肥大・収縮のいずれに対しても加温の影響が認められなかった。昼間に果実温が高まる日に、肥大および収縮はともに大であつた。自然夜温区では、昼温が高く、果実温の上昇する日の肥大がすぐれ、このような日でも特に夜間に雲が発生して、夜温の低下が少ない日に、肥大が著しく促進された。

6月10日ごろからは夜温が高まり、15°C区の肥大に及ぼす加温効果はみられず、同様に20°C区の効果は6月20日ごろまでであつた。ただし、6月になると間もなく、処理区間に发育ステージの相違を生じたので、夜温処理の効果を量的に比較することは困難になつた。

処理終了後は、いずれの区も自然気象条件下の同一環境におき、処理期間中に現われた大きさの優劣がそのまま成熟期まで続いた(第1図)。

Fig. 1. Size of harvested fruits as influenced by night temperature of early developmental stage.

(2) 1969年の結果

果実横径の日肥大周期ならびに果実发育の消長を全体としてみると、夜温20°C区、15°C区はともに自然夜温区に対して前年とほとんど同様の傾向であつた。30°C区においては、果実发育に及ぼす夜温の影響が著しく、その効果は主として发育期の著しい短縮にみられた。

特徴ある日肥大周期を、第2図に基づいて環境条件と対比しながら、以下順を追つて時期別に述べる。

a. 5月20日～21日(第2図, a) 開花後25日内外を経過した時期には、夜温を高めることにより、夜間の前半および後半の肥大がともに促進され、処理温15～30°Cの間では、夜温の高さにほぼ比例して肥大した。すなわち、図aにみられるように、最低気温が4.5°Cを示した自然夜温区の肥大量を100とすると、15°C区で125、20°C区で150、30°C区では200となつた。昼間の収縮量も同様に夜温が高まるにつれて大となり、

Table 3. Development of transverse diameter in Nijusseiki pear fruit as influenced by night temperature of early developmental stages. (in 1969) (mm)

Night temperature treated		Controls	15°C	20°C	30°C
Item	April 25	3.65 (100.0)	3.45 (94.5)	3.48 (95.3)	3.32 (91.0)
	May 19	15.67 (100.0)	16.01 (102.2)	16.41 (104.7)	17.54 (111.9)
Growth amount		12.02 (100.0)	12.56 (104.5)	12.93 (107.6)	14.22 (118.3)
Daily mean growth		0.50 (100)	0.52 (104)	0.54 (108)	0.59 (118)
Fruit diameter	June 1	21.02 (100.0)	21.59 (102.7)	23.62 (112.4)	23.55 (112.0)

Note: The figures shown in parentheses are the relative values as indicated by the controls of 100.

自然夜温区を100とすると、15°C区で106、20°C区112、30°C区124となつた。

開花直後(4月25日)から5月19日までの果加肥大量を比較すると(第3表)、自然夜温区で12.02 mm〔100〕であつたのに対し、15°C区12.56 mm〔104.5〕、20°C区12.93 mm〔107.6〕、30°C区14.22 mm〔118.3〕となり、やはり夜温の高さに比例して肥大量が高まつている。

b. 5月23日～24日(第2図, b) 前掲5月20～21日と対比すると(第4表)、この日は前回の平均2倍程度の相対的に著しく高い肥大量

を示した。両日の気象条件をみると(第5表)、昼夜温ともに後者において著しく高かつたが、空中湿度、風速および日照時間はほぼ同様であつた。調査日以前の降雨は5月17日の夜間に9.0 mmを記録したが、両日の肥大量の相違に対する影響は考えられない。また、両日の昼温を比較すると、5月20日(a)には最高気温21.0°C(日の出から日没までの昼温の平均は15.5°C)であつたのに対し、23日(b)には27.5°C(平均昼温は22°C)で、後者が6.5°C高かつた。この相違が、夜温処理とは無関係に、両日の肥大量の差異を大きくしたものと考えられる。

16時前後に始まつた急激な肥大は、自然夜温区で2時間、15°C区および20°C区でそれぞれ4時間、30°Cでは6時間継続した(第2図, b)。その後、30°C区および20°C区では肥大の一時的停止がなく、曲折のない一連の曲線を描いて、果径増加は次第に低下し日の出後に停止

した。しかし、15°C区および自然夜温区では、夜半に肥大が一時停止に近い状態となり、特に自然夜温区では、わずかながらも一時的に収縮した。すなわち、自然夜温区では日没とともに気温が徐徐に低下し、しかも湿度が十分に上昇しない時刻に肥大は一時的に停止し、湿度が飽和点に近づいたときから再び肥大し始めたことになる。この区は6時に1日の最大果径となり、その後、湿度の低下とともに再び収縮を開始したが、20°C、30°Cの両区は、なおわずかに肥大を続け、日の出後に処理を停止した時点、すなわち8時に1日の最大果径となつた。当日と前日の最大果径の差で表わした1日間の肥大量についての処理区間の相違(第4表)は、前掲5月20~21日の6時における差で比較した相違とほぼ同様の傾向であつ

たが、その差異は前回に比して小さく、最大の30°C区と最小の自然夜温区との肥大量の差は0.15 mmで、自然夜温区の日肥大量を100とすると30°Cでは131となつた。また1日の肥大量を、当日と前日の最小果径(この時期には10時)の差をもつて表わした数値で比較すれば、夜温の高い区ほど収縮が大きいために、処理間

Fig. 2. Diurnal fluctuations in transverse diameter of Nijusseiki pear fruit as influenced by several environmental conditions of different seasons. (Fig. 2. a~e, 1969)

Table 4. Comparison of diurnal fluctuations in transverse diameter of Nijusseiki pear fruit between two measuring dates at early stage of fruit development. (1969) (mm)

Date		May 20 (a)	May 23 (b)	b/a
Daily growth	Natural	0.20 (100)	0.49 (100)	2.45
	15°C	0.25 (125)	0.51 (104)	2.04
	20°C	0.30 (150)	0.57 (116)	1.90
	30°C	0.40 (200)	0.64 (131)	1.60
Contraction	Natural	0.17 (100)	0.15 (100)	0.88
	15°C	0.18 (106)	0.16 (107)	0.89
	20°C	0.19 (112)	0.17 (113)	0.89
	30°C	0.21 (124)	0.19 (127)	0.90
Amplitude of fluctuation	Natural	0.37 (100)	0.64 (100)	1.73
	15°C	0.43 (116)	0.67 (105)	1.56
	20°C	0.49 (132)	0.73 (114)	1.49
	30°C	0.67 (165)	0.83 (130)	1.24

Note : The figures shown in parentheses are the relative values as indicated by the controls of 100.

差異は幾分せばまり、自然夜温区と 30°C 区の肥大量の相違は 0.13 mm で、自然夜温区 100 に対して 30°C 区では 126 となつた。

肥大量を比数で比較した処理区間の相違が、前回 5 月 20~21 日に比べ、5 月 23~24 日に著しく小さかつた理由は、恐らく後者において昼温が著しく高かつたために、夜温の効果が軽減したためと考えられる。

Table 5. Comparison of weather conditions between two measuring dates shown in Table 4.

Date			May 20	May 23
Air temperature (°C)	Maximum		21.0	27.5
	Mean in the daytime		15.5	22.0
	Minimum		4.5	11.5
	Daily Mean	Controls	11.1	18.3
		15°C	14.0	19.5
		20°C	17.1	21.0
		30°C	21.2	26.0
Atmospheric humidity (%/9 : 00 am)		May 20 or 23	85	86
		May 21 or 24	84	86
Wind velocity			0	0
Hours of sunshine			9.8	9.0

Note : Precipitation immediately before the measurement is 9.0 mm (May 17).

以上の結果は、加温により肥大が促進されると同時に、湿度の飽和点においては、湿度条件が気温に優先して肥大に関与することを示している。

なお、第 2 図 a, b をみると、30°C 区では(日により 20°C 区でも)日没前と日の出後の双方に短時間ではあるが気温の低下する谷間を生じ、これを境に 30°C 区では昼低夜高型の気温パターンを示した。

c. 6 月 1~2 日 (第 2 図, c) この日には、30°C 区で著しく肥大が劣つた。すなわち、5 月下旬の後半より 30°C 区に代わつて次第に 20°C 区の肥大がすぐれ、本調査日における両区の果径実数は、ほぼ同じになつた (第 3 表)。

昼間の収縮は、処理区間に著しい差を生じたが、夜間の肥大量は処理間差異が少なく、15°C 区と 20°C 区の肥大量は同等で 30°C 区が最も劣り、自然夜温区はその中間であつた。すなわち、自然夜温区の果実は明らかに生長の第 I 期で、15°C 区および 20°C 区でも、いまだ第 I 期を脱していなかつたものと判断されるのに反し、30°C 区では明らかに第 II 期の日肥大周期型を示した。

d. 6 月 23~24 日 (第 2 図, d) 30°C 区の肥大は、すでに 6 月 10 日前後を境として再び盛んになつた。昼間の収縮は処理間に著しい差がなかつたが、夜間の肥大は、30°C 区においてのみ著しかつた。

30°C 区では、早くも明らかな果実最大肥大期の日周期型がみられ、第 III 期の初期から中期にかけての典型的な日振幅であつた。

この時期には、最高気温が 25°C を越える日が多くなり、20°C 区では昼夜の較差が開いて明らかな昼高夜低型となつた。しかるに、30°C 区では依然として昼低夜高型

であつたが、昼夜の較差は著しく小さくなつた。

e. 7月14～15日（第2図, e） 処理を6月29日で停止し、その後15日間、どの区も一律に自然気温下においた後の日肥大周期である。処理を6月末で中止した理由は、この時期以後には自然夜温の上昇によつて加温効果が不鮮明になるためと、同時に、ほ場条件下で15℃および20℃のような自然夜温より低い温度処理を続けることが不可能になつたためである。

この日の20℃区の収縮量は6月下旬におけると同様であつたが、肥大量は著しく大となり、いわゆる最大肥大期前半の日肥大周期型を示している。これに反し、30℃区の収縮量は著しく減退し、肥大量もやや低下して、第Ⅲ期後半の日肥大周期型となつてゐる。これは、30℃区では早くも成熟期に近づいたことを示すものである。

以上は、果実の横径について、幼果期の温度処理による日変化の消長をみた結果であるが、第Ⅰ期（6月上旬以前）には、果実にみられる夜温の反応は横径よりも縦径で著しかつた。第3図はその顕著な一例として、1968年の5月22～23日における果実縦横径の日肥大周期を示したものである。日振幅量についてみると、自然夜温区では横径で0.37 mm[100]に対し縦径では0.45 mm[122]であつたが、20℃区ではそれぞれ横径0.48 mm[100]、縦径0.69 mm[144]となり、また横径では自然夜温区0.37 mm[100]、20℃区0.48 mm[130]であつたのに対し、縦径では各々の区で0.45 mm[100]、0.69 mm[153]となつた。この傾向は初期ほど顕著で、6月

Fig. 3. Diurnal fluctuations in transverse and longitudinal diameters of Nijusseiki pear fruit as influenced by night temperature of early developmental stages.

Fig. 4. Seasonal trend of the fruit development in Nijusseiki pear as influenced by night temperature of early developmental stages. (1969)

中旬以降には縦横径間の日変化の量的な差異はほとんど認められなくなつた。

以上の結果を中心に、処理開始から成熟期までの横径肥大消長を发育曲線として示すと第4図のとおりである。20℃以下の各処理区では1968年の傾向と同様で、夜温の高い区ほど肥大がすぐれた。

これに反し30℃区においては发育が異常に促進され、6月上旬には早くも肥大緩慢期となつた。肥大は、処理終了後の7月下旬から8月上旬にかけて再び盛んになり、8月中下旬にはすでに劣り、9月上旬に停止した。このように、30℃区では发育期の短縮が著しかつたが、肥大過程に曲折も多く、充分な肥大を遂げずに小果のままに发育停止期に達した。

2. 果実成分の消長

1969年における果実成分の消長を第5図に示した。すなわち、自然夜温区では7月初ごろより還元糖の生成が始まり、8月中旬ごろに非還元糖の生成増加がみられ、9月下旬には還元糖と非還元糖の含量がほぼ同じになつた。また、15℃区および20℃区では、還元糖の生成開始が自然夜温区より幾分早く、非還元糖の増加が夜温の高さに応じてやや多くなつたほか、概して各成分ともに自然夜温区に比べて多いか、または消長過程が多少促進された程度であつて、各処理間に著しい相違はみられなかつた。しよ糖一還元糖比(C/R)を中心にして、各成分の変化および前掲の果実横径肥大曲線（第4図）より判定した熟期は、自然夜温区に対して15℃区で5日

Fig. 5. Seasonal trend in contents of water, sugars, water-soluble solids, free acid and pectic substances, and in specific gravity of juice of Nijusseiki pear fruit as influenced by night temperature of early developmental stages. (1969)

内外、20°C 区で 15 日内外それぞれ促進されたものと考えられる。

これに反し、30°C 区においては、20°C 以下の処理区に先んじて、6 月中下旬には主として還元糖から成る全糖の増加がみられ、7 月上旬には早くも還元糖が減少し始め、非還元糖の増加時期になった。しかし、7 月中旬から 8 月上旬にかけて一時、非還元糖の増加は停止し、再び他の各区と同様に還元糖が増加した。8 月中旬には再び還元糖が減少し、急激に非還元糖が増加して、8 月下旬ごろに成熟期に達したとみなされ、8 月末以後は一

Fig. 6. Exterior appearance of Nijusseiki pear fruit as influenced by night temperature of early developmental stage. Pear peel was kept quite smooth by night temperature of 30°C.

部の果実で過熟による落果がみられた。この糖分の消長は第 4 図の果実発育の消長と全く一致した傾向である。その後は逆に、非還元糖の減少による C/R 比の低下と全糖のわずかな減少がみられ、過熟期に入つたことが推測される。果汁の糖度(検糖計示度)および中和酸度の消長にもほぼ同様の傾向がみられる。

3. 果皮の外観変化

各処理区の果皮の状態を肉眼で観察すると、第 6 図のとおりである。すなわち、幼果期に夜温の高い処理区で果点コルクの発達が少なく、30°C 区では自然気温下の果実よりも、果皮がはるかに平滑で光沢に富んでいた。この状態は成熟期まで及んだ。

考 察

1. 肥大に及ぼす幼果期夜温の影響

実験の結果から、果実発育の第 I 期には、夜温を高めることにより、夜間の前半および後半の肥大と、翌日の収縮がともに促進され、日振幅がある程度大きくなることが初期の肥大を促進するために有効である。また、高温

であるほど夜間前半の肥大が急激で、その継続時間も長くなるが、これは昼間の収縮が大きいために、夜間にその日の収縮を回復する量の大きいことが関連している。また夜温効果は湿度条件と相乗的に現われ、特に湿度の飽和点においては、湿度が気温に優先して肥大に影響する。なお、夜温のほかに、昼温の高いことも肥大を促すが、30°C の高温が長時日続くともなく肥大は低下する。

この点に関し、Tukey (40, 41) はリンゴについて、落花後 31~38 日ごろまでは昼温より夜温の高い場合に急速に肥大し、この時期の果実の大きさには主として夜温が影響するが、昼夜温相互の影響も認められるとしている。また、夜間に肥大が促進すれば昼間の肥大は抑制される。適夜温の場合の肥大は主として夜温に支配され、夜温が適温から高低いずれかに離れている場合には昼温に支配されて昼間に肥大するとの見解を述べている。これは、本実験で処理当初 1 か月間にみられた果径の日肥大周期の様相とほぼ一致している。

また、Tukey (41) は、異常高温下では、肥大は一時的に著しく促進するが間もなく衰え、それぞれの処理温度に応じて異なった生長周期を示すと述べ、結局、落花直後は 81°F(27.5°C) 内外、4 日後から 38 日後までは 72°F(22.5°C) 付近、38~70 日目の間は 65°F(18°C 強) 前後が好適であるとしている。しかし、これは自然の昼

温との関係において夜間の適温が異なるのではないかと考えられる。

本実験で、1969年の5月20～21日および23～24日の日肥大量をそれぞれの日の気温と対比してみると（第4表、第5表）、前者における日最高気温は21°C、最低気温は4.5°Cであつて、日の出から日没までの昼温の平均は15.5°Cであつた。従つて、当日の6時から翌朝6時までの1日の平均気温としてみると、それぞれ自然夜温区で11°C強（最高、最低の平均は12.7°C）、15°C区ではほぼ14°C、20°C区で17°C内外、30°C区ではほぼ21°Cであつた。しかるに、後者では最高気温27.5°C、最低気温11.5°C、昼温の平均は22°Cで、1日の平均気温は、それぞれ自然夜温区で18°C、15°C区で19.5°C、20°C区で21°C、30°C区では26°Cであつた。従つて、日肥大量に及ぼす夜間の加温効果は前者で著しく、日肥大量は温度の上昇に比例して大となる傾向であつた。これに反し、後者では、加温効果は著しく劣り、自然夜温区は15°C区とほとんど変わらない肥大量であり、20°C区と30°C区との間にも前者に比し肥大量の相違が少なかつた。また、前者と後者の処理各区の日平均気温を比較すると、後者は昼夜温ともに著しく高かつたため、後者における自然夜温区（18°C）は前者の20°C区（17°C）に近く、後者の20°C区（21°C）は前者の30°C区（21°C）と同等であつた。後者における自然夜温区の日肥大量は前者の30°C区よりもすぐれ、両者の間の相対的な肥大量の著しい相違は、両日の日平均気温の相違に基づいたことは明らかである。そして、日平均気温が20～21°C付近からかけ離れて低いほど加温処理の効果が顕著にみられたことは、ブドウに関して調査した小林ら（18）の報告、アンズに関してのBrown（4）およびBrownら（5）の報告と一致している。

つぎに、本実験における最終的な果実の大きさをみると、4処理区のうち30°C区が最も小さかつたが、同様に佐藤（35）も二十世紀ナシで、幼果期に著しい高温条件を与えた区では、成熟期の果実の大きさが劣つたことを報告している。このことに関し、小林ら（18）は、ブドウ果粒の発育を細胞組織学的に観察し、結実後の著しい高温（35～27°C）は、果肉細胞の分裂と肥大の両方を促進し、一時的に果粒の肥大を促進するが、このような高温は細胞分裂の停止時期と果肉細胞の肥大の停止時期とともに早くし、従つて成熟果の果肉細胞数が少なく、しかも細胞の大きさが劣るために果粒が小さくなることを明らかにしており、本実験の結果で30°C区の肥大が劣つたのは、この理由に基づくものと考えられる。

なお、第6表は本実験における成熟果の大きさのばら

Table 6. Confidence limits of mean weight of sample fruits treated with different night temperatures of early developing stage of fruit (eleven-year-old Nijusseiki pear trees). (1969) (g)

Limb treated	Night temperature treated			
	Controls	15°C	20°C	30°C
A	246.1±8.5	252.0±19.3	286.6±13.6	238.9±33.0
B	216.3±21.1	246.1±30.2	283.7±9.3	122.4±26.1
Mean	231.2	249.1	285.2	180.7

つきを示したものである。20°C区の果実が最も整であつたことは、この区が適温範囲にあつたことを示し、30°C区の果実で最も分散が大きかつたことは、この区が適温環境から離れていることを示すものとみられる。そして20°C区を中心として上下いずれの夜温の区も果実の大きさの分散が大きくなる傾向であつた。

2. 果実成分および日肥大周期に及ぼす幼果期気温の影響

（1）糖 分 果実の発育過程を、糖分を主とした果実成分の変化と外部形態の動きの関係において検討してみたい。

小島（19）および林（13）はともに、二十世紀ナシについて、全糖は果実の発育後期になると次第に増加し、収穫期には頂点となる。全糖のうち、還元糖は7月上旬ごろより徐々に増加し、8月上旬には最高となつて、その後は減少する。非還元糖（しよ糖）は7月にはきわめて少ないが、8月中下旬には著しく増加して収穫期に達することを報じている。林（13）は、また、果実の糖分は栽培地の風土および年々の気象条件、さらに肥培管理の相違などによつてかなり変化し、冷涼な条件下では糖分の生成過程が遅れることを報じ、米山（42）は高温の果実袋では成熟が早いと述べている。

本実験の結果から、処理温度の高い区ほど全糖およびしよ糖の増加が促進されたが、促進効果は特に30°C区で著しかつた。この糖分の消長（第5図）と果実の発育曲線（第4図）との関係をみると、いずれの区においても、果実が著しく肥大した時期は還元糖を主成分とする全糖が急激に増加した時期に一致し、肥大が徐々に衰えた時期はしよ糖が急激に増加した時期に当たっている。これを、果径の日肥大周期と合わせて考えると、まず、糖の集積が始まると次第に肥大量が高まり、還元糖から成る全糖が急激に増加する時期には、収縮も著しいが肥大量も最大となる。しよ糖の増加が始まると、その増加につれて収縮は次第に小さくなり、しよ糖と還元糖の量

がほぼ等しくなるころに昼間の収縮は消失して肥大量も急激に低下する。この関係は、今後、果実の形態の変化から内部変化を診断するのに、ある程度は利用できる性質のものとする。

近藤 (20) は晩三吉ナシにつき、野村ら (31) はナツダイダイについて、ともに過熟期にはしよ糖が減少し、還元糖が増加することを報告している。本実験の 30°C 区において、8 月 20 日ごろから非還元糖が減少し、逆に還元糖が増加し始めたことから、この区では 8 月 20 日前後を完熟期としてそれ以後は過熟期に入つたものと考えられる。

Kozłowski (21) はオウトウにつき、完熟果では果実内の水分欠乏を生じて、昼間の収縮が再び始まることを述べているが、事実、本実験でも第 7 図に明らかなように、過熟期になると再び日振幅が認められた。これは、7 月下旬から 8 月上旬にかけて還元糖が増加する時期に収縮が大きかつたことと関連して考えられる。ただし、過熟期の日振幅はその日の収縮量を夜間に回復するだけで実際には肥大せず、むしろ日ごとにわずかながら果実が縮小した。これは、この時期の還元糖の増加が果実内の成分の変化に基づくもので、糖集積が行なわれなかつたことを示すものと思われる。

(2) 酸 度 全般的にみて、果実中の有機酸含量は夏の間には最大量に達し、その後の成熟の過程で減少することが報告 (8, 10, 11, 12, 33, 34) されており、本実験の結果では処理間に必ずしも一致した傾向がみられなかつたが、概して成熟期に近いころに最大となつている。

菊池ら (17) は、二十世紀ナシの果肉中の酸含量は 0.02~0.2% の範囲で、絶対量はもち論、含有歩合においても成熟期に近いころに増加することを認めており、

本調査における自然夜温区の傾向とよく一致している。松岡 (25) も、二十世紀ナシで収穫期の果肉中の酸含量は 0.2% 程度としている。大久保ら (32) は長十郎ナシにつき、果汁中の遊離酸は主としてリンゴ酸で、成熟期には 0.15% を示し、過熟期になると次第に低下して 0.11% 程度になることを報じている。

本実験で自然夜温区が最も高い酸度を示したが、栗原 (22) は温州ミカンにつき、酸の含量は低温で高く、逆に高温で低くなるが、酸の減少が低温でゆるやかなことは、果実の発育ステージの遅れによるものとしている。

本実験の結果においてもほぼ同様の傾向を示しているが、酸の消長には処理区間に相違があり、特に 30°C 区では早くも 8 月中下旬には酸含量の最高値に達し、その時点ではいずれの他区よりも高く、その後に急減するが、これは果実が熟期に入つたことを意味するものと思われる。

(3) ペクチン質 三浦ら (27) によれば、和ナシのペクチンは 0.1~0.2% であつて、熟度の進むにつれてわずかながら減少すると報じている。小島 (19) は、二十世紀ナシの果肉中のペクチン質含量は 8 月上旬で 0.17%, 8 月下旬から成熟期にかけては 0.14% を示している。本実験の二十世紀ナシにおける全ペクチン含有量は、発育中の果実では 0.1~0.2% を示し、成熟果では 0.05~0.01% の範囲にあり、成熟期には高温区で低含量を示し、特に 30°C 区では最も早く減少している。

(4) 水 分 含水率は、7 月上旬には自然夜温区で 82% 強であつたのに対し、30°C 区では 88% であり、その後、自然夜温区では成熟期に近づくに従い増加したが、30°C 区では変化が少なく、ほぼ同じ含有率が続けた。これは、幼果期の加温によつて、果実の発育が早期

に著しく進んだことを意味するもので、30°C 区の日振幅が著しく大であつたことと関連しているものと思われる。

3. 果皮の外観

果皮の外観を比較すると、夜温の高い区で果点コルクの発達が少ない、ことに 30°C 区では果面が著しく平滑であつた。

Fig. 7. Patterns of diurnal fluctuations in transverse diameter of Nijusseiki pear fruit at over-ripe stage as compared with those of mature fruit stage.

遠山ら (38) は、しや光度の高い果実袋を用いると、その程度に従つて果皮の黄色化が進むが、しや光度は必ずしも温度条件と一致しないとしている。米山 (42) は袋の種類が果皮の硬度に与える影響を調査し、高温条件では果皮が硬く厚くなり、低温ではその逆であることを認め、平野 (14) は陽光面では陰の部分に比しクチクラ層が 20~30% 厚く、き裂は少ないとし、Bell (2) はクチクラ層の薄い Golden Delicious では厚い McIntosh に比しサビを生じやすいことを指摘している。川口ら (15)、桃沢 (28)、永沢 (30)、森 (29) は、ともに袋掛け時期と果点発達の関係について、果実の発育初期にパラフィン小袋を掛けることにより、サビの発生が減少すると報じている。

気象条件がどのような機構で果点の発達に影響するものかは明らかでないが、30°C 区においてその発達が著しく抑制されたことは、高温環境が何らかの作用を及ぼした結果であることは明白である。

4. 発育期間に及ぼす幼果期気温の影響

実験の結果から、果径による日肥大周期の時期的変化と、糖分および全酸の含量の時期的変化とを中心にし、さらに果皮の外観の変化を考慮して、果実の発育相を区分すると第8図ようになる。すなわち、幼果期に高温で日振幅の大きい区で発育期が短縮された。

Batjer ら (1) はモモについて夜温処理した結果、満開から 25 日間高温処理した区の熟期は著しく短縮されたが、それ以後の高温処理の影響はきわめて少ないことを認め、Blake (3)、Tufts (39)、Cooper ら (6) も果実の生長期間に及ぼす幼果期の夜温の影響の大きいことを報告している。

Fig. 8. Duration of developmental stages of fruit as influenced by night temperature of early developmental stages (based on the data of 1968 and 1969). Note: * Middle flower of cluster

栗原ら (23) はモモ「錦」の幼木につき、開花後 5 月 31 日までの間、昼夜温に 5°C ずつの較差をつけた日平均気温の異なる 4 区の果実肥大を比較し、日平均気温が 20°C 相違する場合には熟期に 30 日間の差異を生ずることをみている。二十世紀ナシについての本実験の結果をみると、開花後から 5 月 31 日までの平均気温が、自然夜温区 17.0°C に対し、夜温 30°C 区で約 26.9°C であり、両区間にはおよそ 10°C の差があつたが、成熟日数はほぼ 30 日違つている。

Brown (4) および Brown ら (5) はアンズ Royal について、成熟促進に対しその効果の高い温度は約 72.5 °F (22.5°C) であるとしている。本実験の観測値から得た 30°C 区における 1 日の平均気温は、4 月下旬で 22~23°C、5 月上旬で 25°C 内外であつた。このことから、適夜温は季節の推移とともに次第に低下するという Tukey (41) の見解と、Brown (4)、Brown ら (5) の提唱する果実生長期間を通じて好適温は一定しているという意見とを総合して考えると、日平均気温を一定の適温まで高めるためには、冷涼である初期ほど高夜温を必要とするのではないかということになる。

つぎに、処理開始日（開花終日）より生長の第 II 期の開始日までの日数と、その間の有効積算温度をみると（第 7 表）、自然気温下では 46 日、325.6°C であつたが、夜間 15°C 区では 44 日、294.4°C、20°C 区では 41 日、376.5°C、30°C 区では 31 日、436.5°C であつた。数字の上では相当な開きをみせたが、この期間の有効積算温度は、実験地点（広島県西条町）における過去 3 年間の気温と発育状況から推して、自然気温下では 350°C 未満である。従つて、相対的にみて 30°C 区の 436.5°C は著

しく高い。Sullivan (36) はリンゴにつき、開花後 28 日間の積算温度および平均夜温は、早く開花した果実よりも遅れて開いた花の果実で大きく、その間に平均夜温の 1°C 強の相違により 10% を上回る積算温度を認めている。佐藤 (35) は二十世紀ナシで開花前からの補温処理の結果、処理開始から満開日までに要した積算温度は、処理温が高いほど著しく高まることを報じている。これは恐らく、高温処理により温度利用効率の低下をきたすためであらうと思われ、また 30°C 区において特に高い数値を示したことから、この温度は生態的にみて高温に過ぎるも

Table 7. Cumulative temperatures from flower abscission to the end of Stage I of fruit development (eleven-year-old Nijusseiki pear trees). (1969)
(°C)

Night temperature treated No. of days at Stage I	Controls	15°C	20°C	30°C
	46	44	41	31
Cumulative temp.				
Mean in the daytime	386.0	368.8	343.0	253.0
Mean at night	265.2	220.0	410.0	620.0
Daily mean	325.6	294.4	376.5	436.5

Note : Cumulative degree-days heat was calculated by subtracting 10 degrees C from mean temperature for each day.

のと考察される。逆に、著しい低温により発育抑制のはなはだしい場合にもまた、温度利用効率の低下が成熟日数の延長をきたし、高い積算温度を要するものと思われる。

なお、自然気象下の果実で最大肥大期以前に二つの時期を識別しえないのは、幼果期の肥大に長日数を要するため、発育曲線にした場合に1時期にみえるからと思われる。その点、高温区になるほど第Ⅰ期が短縮され、その間の肥大が急激になるため、肥大緩慢期に移動する時点がは握しやすく、同時に第Ⅱ期も高温区ほど短縮された。

本実験で、幼果期のうちでも、その初期ほど果実発育は高温に対し鋭敏な反応を示したが、初期には貯蔵養分が豊富に存在するため、高温で多量に呼吸消費しても、温度と同化・呼吸の関係にかかわりなく生長が可能なためではないかと思われる。ただし、養分転換期以後の最大肥大期になつて 30°C 区の肥大が著しく劣つたことは、代謝の補償点以上の高温であるために呼吸消費が激しいことと、成熟が促進されたために固形物の充分な蓄積が成されなかつたためではないかと考えられる。

結 論

和ナシの幼果期において、夜温 30°C の異常高温環境を長日数続けると、成熟日数の著しい短縮にはすこぶる有効であるが、品種本来の肥大を全うする上にはむしろ抑制的に働き、また、収穫果実重の分散を大きくすることからみて適温とはいえない。実際には、18~25°C の範囲に好適夜温があつて、この条件では発育の著しい短縮は望めないが、果実の充分な肥大と整一度の上で最もすぐれた結果が得られる。従つて、20°C ぐらいまで高めるような温度環境を与え、ある程度まで日振幅を大きくする（二十世紀ナシでは、収縮量 0.2~0.3 mm, 日肥大量 0.55 mm 程度）ような管理が、この時期の肥大

ならびに、品種本来の形質を備えた果実を前提とする成熟日数の短縮にとつて、有効といえる。

摘 要

1968~1969 年の間、二十世紀ナシの幼果期に夜温処理を行ない、果実主としてその横径の日肥大周期および果実成分の消長に及ぼす影響をみた。夜温処理は、自然夜温を対照として、15°C、20°C、30°C の各区を設け、結実直後から 6 月 29 日まで 65 日間行なつた。

1. 日肥大周期に及ぼす高夜温の影響は、開花後ほぼ 1 か月間（5 月 25 日ごろまで）に著しく、夜温が高いほど日肥大量がすぐれ、同時に収縮量、日振幅量も大であつた。この傾向は初期におけるほど明らかで、時期の推移とともに次第に不鮮明になつた。

2. 夜温処理による果実発育期間の短縮は、主に第Ⅰ期（幼果期）および第Ⅱ期（肥大緩慢期）の長さに関与し、第Ⅲ期（最大肥大期）以後の長さには、ほとんど影響がなかつた。第Ⅰ期に要した日数は、自然夜温区で 46 日、15°C 区で 44 日、20°C 区で 41 日、30°C 区で 31 日であり、短縮された成熟日数は、それぞれ自然夜温区に比べ 15°C 区で 5 日、20°C 区で 15 日、30°C 区では 30 日であつた。また、夜温が高いほど、第Ⅰ期から第Ⅱ期へ移る時点がはつきり認められた。

3. 幼果期の夜温処理により、夜温 30°C 区の果実は成熟に伴う果実成分の変化が著しく促進され、また成熟に達するまで果皮がきわめて平滑であつたが、収穫果の大きさは不ぞろいであり、小果のままで成熟した果実が多かつた。夜温 20°C 以下の各区では、処理温度が高いほど果実の大きさと成分がわずかにすぐれた。結局、20°C 区の果実において、成熟日数の短縮は著しくなかつたが、成熟果の形質は最もすぐれた。

4. 夜温処理を行なつた果実について、処理終了後すなわち第Ⅲ期（最大肥大期）以後の日肥大周期型と果汁中の糖分の消長との関係をみると、還元糖の著しい増加時期には肥大・収縮がともに大きく、しかも最大の肥大量を示し、非還元糖（しよ糖）の増加する時期には収縮が次第に低下し消失した。

謝 辞 研究に当たつて、懇篤なるご教示と校閲を賜わつた京都大学小林 章教授ならびに愛媛大学松本和夫教授、ご指導いただいた広島県果樹試験場吉原千代司場長、絶大なるご協力を仰いだ広島農業短期大学磯田竜三教授に対し、ここに深謝の意を表する。

引 用 文 献

- BATJER, L. P., and G. C. MARTIN. 1965. The influence of night temperature on growth and development of Early Redheaven peaches. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 87 : 139-144.

2. BELL, H. D. 1937. The protective layers of the apple. *Can. Jour. Res.* 15 : 391-402.
3. BLAKE, M. A. 1930. Length of the fruit development period of the Elberta and other varieties of peaches. *N. J. Agr. Expt. Sta. Bul.* 511 : 1-24.
4. BROWN, D. S. 1952. Climate in relation to deciduous fruit production in California. V. The use of temperature records to predict the time of harvest of apricots. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 60 : 197-203.
5. ———, and J. F. ABI-FADEL. 1953. The stage of development of apricot flower buds in relation to their chilling requirement. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 61 : 110-118.
6. COOPER, W. H., A. PEYNADO, J. R. FURR, R. H. HILGEMAN, G. A. CAHOON, and S. B. BOSWELL. 1963. The growth and fruit quality of Valencia oranges in relation to climate. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 82 : 180-192.
7. CROSSA-RAYNAUD, P. 1966. Les réactions des variétés de pêches au différentes conditions du milieu écologique. *Docum. tech. Inst. nat. Rech. agron. Tunisie.* 18 : 30.
8. EMMETT, A. M. 1929. An investigation of the changes which take place in the chemical composition of pears stored at different temperatures, with special reference to the pectic changes. *Ann. Bot.* 43 : 269-308.
9. 遠藤融郎. 1973. 和ナシ果実の日肥大周期に関する研究（第1報）果径の日肥大周期と気象要因との関係. *園学雑* 42(2) : 91-103.
10. FRÉMY, E. 1844. Recherches chimiques sur la maturation des fruits. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 19 : 784-792.
11. GATET, L. 1939. Recherches biochimiques sur la maturation des fruits. *Ann. Physiol. et Physicochim. Biol.* 15 : 984-1064.
12. GERBER, C. 1896. Recherches sur la maturation des fruits charnus. *Ann. Sci. Nat. Bot.* 8 (4) : 1-277.
13. 林 真二. 1961. 日本梨果実の発育に関する研究. 鳥取大学農学部園芸学研究室 : 1-137.
14. 平野英一. 1939. 二十世紀梨の黄痣斑に関する二、三の知見. *園学雑* 10(1) : 1-19.
15. 川口正英・青井 守・佐宗久雄. 1934. 栽培上より見たる青梨の果皮の色に関する研究（第1報）. *農及園* 9(4) : 891-908.
16. 菊池秋雄. 1915. 苹果の形状変異に就て. *農学会報* 151 : 147-195.
17. ———・小島 博. 1931. 梨果の発育に伴う化学成分の変化に就て. *農及園* 6(1) : 19-30.
18. 小林 章・行永寿二郎・福島忠昭・和田英雄. 1960. 葡萄の温度条件に関する研究（第2報）夜温が葡萄 Delaware の生長ならびに収量・品質に及ぼす影響. *京大食研報告* 24 : 29-42.
19. 小島 博. 1933. 梨果の発育と化学成分の変化に就て（第1報, 第2報）. *農化* 9(5) : 498-504, 9(5) : 504-510.
20. 近藤金助・伊藤俊雄. 1929. 生食品の化学（第5報）梨果中の有機酸に就て. *農化* 5 : 958-962.
21. KOZŁOWSKI, T. T. 1968. Diurnal changes in diameters of fruits and tree stems of Montmorency cherry. *Jour. Hort. Sci.* 43 : 1-15.
22. 栗原昭夫. 1968. 温州ミカンの果実の酸含量に及ぼす温度の影響. *園芸学会研究発表要旨* (昭和43年春) : 78-79.
23. ———・志村 勲・金戸橘夫. 1965. モモ果実の成熟に及ぼす温度の影響（第1報）果実の生育および成熟日数について. *園芸学会研究発表要旨* (昭和40年秋).
24. LILLELAND, O. 1936. Growth study of the apricot fruit. II. The effect of temperature. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 33 : 269-279.
25. 松岡仲助. 1926. 果実の成分の含量. *園芸之研究* 21 : 97-101.
26. MELLENTHIN, W. M. 1967. Effect of climatic factors on fruit maturity and quality of pears. *Proc. Wash. St. Hort. Ass.* : 67-69.
27. 三浦 洋・萩沼之孝・水田 昂. 1963. ナシベクチンの性状に関する研究. 主として洋ナシパートレットの生育ならびに追熟中におけるベクチンの性状変化について. *園学雑* 32(1) : 27-36.
28. 桃沢匡勝. 1937. 梨の外観に関する諸問題 (3). *日本園芸雑誌* 49(7) : 29-37.
29. 森 英男. 1938. 和梨二十世紀の袋に関する 1, 2 の実験. *園学雑* 9(1) : 23-42.
30. 永沢勝雄. 1937. 和梨果実の袋掛に関する生理学的研究（第2報）袋の掛替が果点コルクの発達に及ぼす影響. *園学雑* 8(1) : 109-119.
31. 野村男次・松原健一. 1952. 夏蜜柑果汁製造に関する基礎的研究（第3報）果汁中の糖について. *醸工* 30 : 417-423.
32. 大久保増太郎・前沢辰雄. 1964. 和ナシ長十郎の利用に関する研究（第1報）果汁の成分について. *日食工誌* 11(6) : 242-246.
33. RIVIÈRE, G., et G. BAILLACHE. 1908. Étude relative à la progression ascendente du sucre et à la progression descendente du l'acidité, dans les fruits poirier, depuis leur formation jusqu'à leur maturité. *Jour. Soc. Nat. Hort. France.* 4(9) : 284-289.
34. 崎山亮三. 1970. 数種の果実における発育中の酸含量の変化. *園学雑* 39(2) : 124-129.
35. 佐藤幸雄. 1968. 温度および日照が二十世紀ナシ樹の生育ならびに果実の肥大・品質に及ぼす影響. 鳥取県果樹試験場研究報告 6 : 1-19.
36. SULLIVAN, D. T. 1965. The effect of time of bloom of individual flowers on the size, shape and maturity of apple fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 87 : 41-46.
37. 田中章雄・米山寛一・山田満男. 1965. 日本梨果

- 実の発育と気象条件の統計学的関係. 鳥取県果樹試験場研究報告 3 : 48-62.
38. 遠山正瑛・小林 章. 1937. 袋の紙質が廿世紀梨に及ぼす影響に就て. 京大園芸学研究集録 2 : 156-174.
39. TUFTS, W. P. 1929. Seasonal temperature and fruit ripening. A preliminary report. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 26 : 163-166.
40. TUKEY, L. D. 1956. Some effects of night temperature on the growth of McIntosh apples. I. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 68 : 32-43.
41. ————. 1960. Some effects of night temperature on the growth of McIntosh apples. II. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75 : 39-46.
42. 米山寛一. 1967. 二十世紀梨果実の袋掛に関する研究. 鳥取県果樹試験場特別報告 : 1-98.
43. 行永寿二郎. 1964. ブドウの発育の温度条件に関する研究. 塩野義製薬 K. K. 植物薬品部 : 73-83.