イチゴの果実肥大に及ぼす温度の影響

熊倉裕史・宍戸良洋

野菜・茶業試験場 盛岡支場 020-01 盛岡市厨川

The Effect of Daytime, Nighttime, and Mean Diurnal Temperatures
on the Growth of 'Morioka-16' Strawberry Fruit and Plants

Hiroshi Kumakura and Yoshihiro Shishido

Morioka Branch, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea, Morioka 020-01

Summary

Strawberry plants of 'Morioka 16' were grown in growth environments in which the daytime and nighttime temperatures were such that the mean temperatures were : 15° (A), 20° (B) and 25 °C (C). The diurnal subset temperatures for sets (A), (B), and (C) were : 15°/15 °C, 20°/10 °C, and 25°/5 °C ; 20°/20 °C, 25°/15 °C, and 30°/10 °C ; 25°/25 °C, 30°/20 °C, and 35°/15 °C, respectively. The photoperiod for all chambers were : day (12 hr) and night (12 hr).

1. Fruits from (A) required the most days from anthesis of the primary flower to harvest; but they were largest, had the highest Brix values, and Brix/acidity ratio, compared to fruits from sets (B) and (C). Within a set in which the mean diurnal temperature was constant, fruits on plants exposed to warmest daytime temperatures were the first to ripe even though the night temperatures were the lowest. In sets (B) and (C), the time required from anthesis to harvest became shorter, but the daytime temperatures had less influence on fruit size.

2. Comparisons among plants in sets (A) 15°/15 °C, (B) 20°/20 °C, and (C) 25°/25 °C revealed that the whole plant, terminal inflorescence, and roots in (A) accumulated the most dry matter; those from (B) were intermediate; whereas the plant and its parts from set (C) accumulated the least assimilates.

3. Within any set, the position of the flowers on the terminal inflorescence had a significant effect on the final size of the fruit and the number of days from anthesis to harvest. Among the subset, the day- and nighttime temperatures had the greatest effect. Fruits, resulting from the primary flowers, especially those exposed to the coolest daytime temperature, were always the largest and required the most days from anthesis to harvest.

緒 言

近年、わが国においては、夏秋期でも気温が比較的低い寒・高冷地の気象資源を有効利用してイチゴの作期を拡大し、夏秋期に品質の良い国内産イチゴを供給しようとする動きが進行している。しかしながら、寒・高冷地においても夏秋期の気温条件には地域差があり、暖地・平坦地の秋～春期より高温であることが多く、作期によっては果実肥大が不良となることが指摘

されている。この点を改善するためには、イチゴの果実発育期の生長に対する温度の影響について基礎的な知見を得ることが必要である。果実の肥大と温度との関係については、昼間を低温条件として育てた場合に果実肥大が良好となること (Went, 1957; 斎藤・伊東, 1970) や、促成栽培のイチゴでは開花から成熟までに品種ごとに固有の積算温度を要すること (森下・本多, 1985) などが明らかにされているが、制御環境下で行われた実験は非常に少ない。そこで本報では、昼夜温を制御した環境下で果実発育期のイチゴを育て、果実および他の各器官の生長に及ぼす昼夜温の影響を明ら

1993年7月9日 受理。本報告の一部は園芸学会平成4年度秋季大会および園芸学会東北支部平成4年度大会において発表した。

かにしようとした。

材料および方法

供試品種は‘盛岡16号’とし、株冷蔵抑制栽培用に調整した冷蔵苗を供試した。すなわち、1989年7月に採苗し、夏～冬にかけて野菜・茶業試験場盛岡支場内の圃場で育苗した後、1990年3月に強制休眠期にある苗を掘り下げ、下葉および地際部の側芽を除去した後、20～30gの苗を選んで -1°C で冷蔵した。同年5～8月に出庫し、順化後、直径18cmのポットに定植した。ガラス室で頂花房の第1番花開花期まで育ててから温度処理に供した。温度処理は昼/夜温を $15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}/10^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}/5^{\circ}\text{C}$ （以上、平均気温 15°C ）、 $20^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}/10^{\circ}\text{C}$ （以上、平均気温 20°C ）、 $25^{\circ}/25^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ 、 $35^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ （以上、平均気温 25°C ）とした屋外型ファイトロン（12時間日長）内で行った。温度処理施設数の制約から、各区の苗の冷蔵期間を同一にできなかったが、冷蔵状態は良好であり、冷蔵期間の違いによる苗質の差は小さいものと判断された。

第1図に示したように、頂花房の花数は7花、1次側花房数は1株当たり2花房、1次側花房の花数はそれぞれ3花に制限した。また、確実な着果を期するため筆を用いて人工受粉を行った。

温度処理開始時から頂花房の第1番果完熟時までの間に2～5回、4株ずつを採取して、果実、茎葉および根の乾物重を調査した。さらに、各温度処理区にお

いて7株を選び、その頂花房の果実について、開花日の早いものから順に1～7の番号をつけ（以下、果実順位という）、それぞれの開花から完熟までの日数（以下、成熟日数という）と完熟時の新鮮重を調査した。収穫した果実を -40°C で凍結保存した後、糖度および酸度を測定した。測定方法は宍戸ら（1991）に準じ、解凍時の浸出液を試料として日園連酸糖度分析装置（NH-1000、堀場製作所）により測定した。試料浸出液を得る際には、供試した各区7株の第1番果、第2番果、第3番果（各7果）をそれぞれあわせて解凍した。

結果

1. 各器官の発育に及ぼす温度の影響

頂花房の第1番花の開花から完熟までの期間（以下、果実発育期間という）を昼夜一定の温度処理区間で比較すると、 $15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}/25^{\circ}\text{C}$ 区でそれぞれ41、25、23日であった。この期間における1株全体の乾物増加量はそれぞれ24.7、8.5、3.1gであり、低温区ほど大きかった。乾物重増加速度は、各区の果実発育期間を前半期と後半期に二分した場合、 $15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ 区では前半期に比較して後半期に大きかったが、 $25^{\circ}/25^{\circ}\text{C}$ 区では後半期に小さかった。また、前半期の乾物重増加速度を温度処理区間で比較すると、 $20^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}/25^{\circ}\text{C}$ 区に比較して $15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ 区で大きかった（第2図a）。

果実発育期間中の頂花房の乾物増加量は、 $15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}/25^{\circ}\text{C}$ 区でそれぞれ8.7、4.1、

Fig. 1. A schematic diagram of a flowering strawberry plant.

A : axillary branch subtended by uppermost leaf on the main crown, B : axillary branch subtended by second leaf on the main crown, Ft : terminal inflorescence; Fa and Fb : inflorescence at the respective apices of axillary branches.

Fig. 2. Dry matter accumulation from primary flower anthesis to harvest in whole plant (a), terminal inflorescence (b) and root (c) at day/night temperatures of $15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}$ (○), $20^{\circ}/20^{\circ}\text{C}$ (●) and $25^{\circ}/25^{\circ}\text{C}$ (●).

^zIncrease in dry weight from primary flower anthesis.

1.6 g であり、1 株全体の乾物増加量の場合と同様に、低温区はど大きかった。後半期の頂花房の乾物重増加速度は、15°/15℃、20°/20℃ 区に比較して 25°/25℃ 区では小さかった (第 2 図 b)。根の乾物重は 15°/15℃ 区では果実発育期間中増加したが、20°/20℃ 区ではほぼ同じ値を維持し、25°/25℃ 区では減少した (第 2 図 c)。

2. 果実の肥大及び品質に及ぼす昼夜温度条件の影響

1) 成熟日数: 昼夜温度条件の違いが頂花房に着生した果実の発育に及ぼす影響を第 1 表および第 3 図に示した。第 1 表から、第 1 番果の成熟日数は 23.0~40.4 日の範囲にあり、平均気温が低いほど長く、特に平均 15℃ のとき平均 20°、25℃ に比較して長かった。また、平均気温が同じとき、昼夜温度差が小さい区、すなわち昼温が低い区ほど、第 1 番果の成熟日数が長かった。この傾向は平均気温 15℃ のとき顕著に現れ、平均気温 20℃ では昼夜温度差の影響は比較的小さく、また、平均気温 25℃ では昼夜温度差の影響が認められなかった。

次に、第 3 図から、果実順位ごとの成熟日数は約 23~42 日の範囲にあり、果実順位によって若干変動し、第 1~3 番果では、第 4~7 番果に比較して短い傾向があった。これはすべての昼夜温度条件に共通であった。同一順位の果実の成熟日数に及ぼす昼夜温度差の影響は第 1 番果におけるものと同様であった。

2) 果重: 昼夜温度条件の違いが頂花房果実の果重に及ぼす影響を、頂花房内の果実順位ごとに第 3 図に示した。1 果重は果実順位および昼夜温度条件により変動し、約 1~35 g の範囲にあった。すべての区で、果実

順位が早いほど果重が大きい傾向があり、第 1 番果に対して、同一区の第 2, 3 番果は約 40~70%, 第 4~7 番果は約 10~50% の果重を示した。同じ果実順位の果実について比較すると、平均気温が低いほど果重が大きかった。また、平均気温が 15℃ のときには、昼夜温度差が小さい区ほど果重が大きかった。この傾向は平均気温 20℃ のときにも認められたが、平均気温 25℃ のときには明瞭でなかった。

3) 収量: 頂花房の収量に及ぼす温度の影響を第 2 表に示した。1 株当たりの果実収量は低温区ほど多く、15°/15℃ 区の収量を 100 とした場合、20°/20℃ 区では 49, 25°/25℃ 区では 22 であった。また、昼夜温度差の影響としては、平均気温が 15℃ のときには昼夜温度差が小さい区ほど収量が多く、15°/15℃ の収量を 100 とした場合、20°/10℃ 区では 87, 25°/5℃ 区では 63 であった。これに対し、平均気温 20°、25℃ 区では昼夜温度差の影響は比較的小さかった。さらに、頂花房の収量に占める第 1~3 番果の比率をみると、15°/15℃、20°/20℃、25°/25℃ 区でそれぞれ

Table 1. Days from anthesis to harvest of the primary flower as affected by day/night temperatures.

Mean set temperature (°C)	Subset day/night temperatures (°C)	Days from anthesis to ripening of the primary flower
15	15/15	40.4±0.6
A 15	20/10	32.7±0.5
15	25/5	27.3±0.2
20	20/20	24.5±0.2
B 20	25/15	23.3±0.3
20	30/10	23.0±0.0
25	25/25	23.0±0.2
C 25	30/20	23.0±0.2
25	35/15	23.0±0.2

Mean value ± standard error (n=7)

Fig. 3. Number of days from anthesis to harvest (upper) and fruit fresh weight (lower) in each flower rank (1 is primary) of terminal inflorescence as affected by day/night temperatures. Day/night temperatures were (A) 15°/15°C (○), 20°/10°C (△), 25°/5°C (□); (B) 20°/20°C (●), 25°/15°C (▲), 30°/10°C (■); and (C) 25°/25°C (●), 30°/20°C (▲) and 35°/15°C (■).

Table 2. Total fresh fruit yield of terminal inflorescence as affected by day/night temperatures.

Mean set temperature (°C)	Subset day/night temperature (°C)	Fresh fruit yield per plant		
		Total of 1 st-3 rd berries (g)	Total of 4 th-7 th berries (g)	Total of terminal inflorescence (7 berries) (g)
A	15/15	74.5±3.6	57.1±1.6	131.6±4.5
	20/10	66.5±1.6	47.4±3.7	113.9±4.4
	25/ 5	47.1±1.8	36.3±1.1	83.4±2.5
B	20/20	40.3±1.7	24.5±1.3	64.8±2.6
	25/15	36.3±1.8	22.8±1.0	59.1±2.2
	30/10	36.6±1.7	20.8±1.1	57.4±2.1
C	25/25	21.8±1.2	7.8±0.3	29.6±1.3
	30/20	21.2±1.5	7.8±0.4	29.0±1.4
	35/15	17.1±0.8	9.3±0.3	26.4±1.0

Mean value ± standard error (n=7).

Table 3. Brix, acidity and Brix/acidity ratio in fruit as affected by day/night temperatures.

Mean set temperature (°C)	Subset day/night temperature (°C)	Brix	Acidity (%)	Brix/acidity ratio
A	15/15	10.6	1.03	10.3
	20/10	9.0	0.95	9.5
	25/ 5	9.2	0.90	10.2
B	20/20	7.9	1.25	6.3
	25/15	7.4	1.09	6.8
	30/10	6.8	0.93	7.3
C	25/25	5.2	0.87	6.0
	30/20	5.4	0.93	5.8
	35/15	—	—	—

Data are mean value of first, second and third berries of terminal inflorescence.

57, 62, 74%であり、高温の区はど大きかった。

4) 品質：第3表に示すように、果実の糖度は10.6～5.2%の範囲にあり、平均気温が低い区ほど高かった。昼夜温較差の影響としては、平均気温が15℃と20℃の場合、昼夜温較差が小さい区では糖度が高くなる傾向がみられた。一方、酸度は0.87～1.25%の範囲にあり、昼夜温条件の影響は比較的不明瞭であったが、平均気温が15℃と20℃の場合には、昼夜温較差が小さい区で酸度が高い傾向がみられた。糖/酸比は、平均気温が15℃、20℃、25℃の区でそれぞれ10, 7, 6前後の値となり、平均気温が15℃の区で高かった。しかし、平均気温20℃と25℃の区の間には明確な差が認められなかった。

考 察

イチゴ果実の肥大・成熟に温度が大きく影響することは広く知られているが、制御環境下で果実および他の器官の生長を調査した報告は多くない (Went,

1957; 斎藤・伊東, 1970)。本実験の結果、果実発育期の温度条件は、第一に、成熟日数に大きく影響した。すなわち、昼夜一定温度の区について比較すると、頂花房の果実の成熟日数は温度が低いほど長く、特に昼/夜温が15°/15℃のとき20°/20℃、25°/25℃に比較して長かった。

既往の報告では、斎藤・伊東 (1970) が「ロビンソン」を用い、9°, 17°, 24°, 30℃一定条件下での成熟日数が、それぞれ102, 36, 26, 20日であることを報告している。また、森下・本多 (1985) は、促成栽培した「はるのか」および「宝交早生」を用いて開花から成熟までの日数 (成熟日数) とビニルハウス内の温度の変化を調査し、両者の関係式を得て、有効温度係数、温度当量および有効積算温度を算出した。森下らの報告は、より正確な収穫日予測を行うために積算温度の算出方法を改善しようとしたもので、作物の生長に各温度がそれぞれ固有の有効性を持ち、有効温度域の温度

にそれぞれ固有の有効温度係数を乗じた有効温度当量で置き替えると有効積算温度は期間内の有効温度当量の総和によって表わされるという概念(羽生・内島, 1962)に立脚したものである。これらの結果から、イチゴの開花後の発育と成熟に有効な温度は約5℃以上であり、16~20℃の温度は成熟に能率よく作用するが、それ以下の温度域では有効度が急激に低下し、また、それ以上の温度域でも有効度が緩やかに低下するものと考えられている。本実験の結果は、これらの報告とおおむねよく合致し、上記の考え方を支持するものであった。

次に、本実験では、平均気温が同じであっても、昼夜温度較差が異なれば成熟日数が異なり、較差が小さいほど成熟日数が長く、また、この傾向は平均気温15℃のとき顕著であることを示した。

森下・本多(1985)は、上記の報告において‘宝交早生’の温度域ごとの成熟有効温度係数を算出している。本実験の供試品種(‘盛岡16号’)とは異なるが、この係数を利用して平均15℃の3区について有効積算温度を求めた。この場合、昼夜温度較差が成熟有効温度係数によって補正されるために、3区の有効積算温度がほぼ一定の値になるものと期待された。しかし、実験結果をもとに計算した有効積算温度は、昼/夜温が15°/15℃, 20°/10℃, 25°/5℃区でそれぞれ約570, 420, 320℃日となり、3区間の差は大きかった。したがって温度域による有効度の違いだけでは、成熟日数に及ぼす昼夜温度較差の影響は説明できないと考えられた。

このことから、成熟日数に対する昼温と夜温の効果には違いがあり、昼温の影響は夜温に比較して大きいものと考えられた。また、昼温が15~20℃の範囲内では高温ほど成熟が早くなるが、昼温25℃以上の区では成熟日数はほぼ同じであり、25℃以上では成熟促進の有効度がさほど増加しないものと推察された。

成熟日数に対する昼温と夜温の効果が異なる場合、その原因として果実成熟の過程の中に、光条件下で促進される過程と光の有無に影響を受けない過程があるのではないかと考えられる。これらの過程に対する各温度域の有効度が異なるとすれば、昼温の影響が夜温に比較して大きいことが説明できると考えられるが、この点については知見が不十分であり、今後の検討が必要であろう。

次に、本実験では第1番花開花後の温度条件の違いがイチゴの各器官の生長に及ぼす影響について調査し

た。果実発育期間における各器官の生長速度は、1株当たりの光合成量、呼吸量および各器官への光合成産物分配率により左右されると考えられる。本実験では、1株当たりの乾物重増加速度は、果実発育期間の前半では、昼/夜温が15°/15℃区で最も大きく、これは低温のため呼吸速度が小さく、光合成産物の消費が少なかったためと考えられた。また、果実発育期間の後半においては、昼/夜温が25°/25℃の区の1株当たり乾物重増加速度が特に小さかった。これは呼吸消耗が大きかったこと、高温による生理活性の低下が生じたことを示すものと考えられた。

着果状態のイチゴの各器官への乾物分配については、果実は強いシンクであり、最終的に1株当たり乾物重のうち40~50%を蓄積することが報告されている(Forney・Breen, 1985; Olsenら, 1985)。本実験でも果実発育期間の頂花房の乾物増加量は1株当たり乾物増加量の36~60%を占め、果実への乾物分配が大きいたことが確かめられた。一方、この期間における根の乾物増加量は非常に小さく、これは既往の報告(John・Dana, 1966; 熊倉・穴戸, 1994; 西沢・堀, 1988; Schafferら, 1985)から、シンク器官間の光合成産物に対する競合が生じていることに由来すると考えられた。特に20°/20℃区および25°/25℃区では、根への光合成産物の分配が少ないことに加えて、果実発育段階の進行が15°/15℃区より早いために早期から花房のシンク力が高まり、また、呼吸消耗も大きいために根の乾物増加がみられないものと推察された。

各温度区の頂花房の果実順位ごとの果重を比較した結果(第3図)からは、平均気温が低いほど、また、平均気温が同じ場合には昼夜の温度較差が小さいほど同一順位の果重が大きく、この結果はWent(1957)および斎藤・伊東(1970)の結果とも共通した傾向であった。したがって、本実験の温度域では、同一順位にある果実の最終的な果重は成熟日数と密接に関連することが明らかであり、光合成産物が転流・分配される期間の長さが果重を決定する最も重要な因子の一つであると考えられた(熊倉・穴戸, 1994)。頂花房の収量をみても同様な昼夜温の影響が強くあらわれ、低温の区ほど多収となり、特に15°/15℃区では20°/20℃区に比較してはほぼ2倍となり、果実発育期間の温度が収量に大きく影響することが明らかであった。

果実品質と温度の関係について、西村ら(1990b)は、‘女峰’の促成栽培において、夜温を5℃で管理すると10℃に比較して糖度が明らかに上昇し、酸度も

上昇する傾向があることを報告している。本実験においては、成熟日数の長い区、すなわち平均気温が低く、さらに昼温が低い区ほど果実糖度が高く、光合成産物が供給される期間の長さが果実内での糖の蓄積量を左右するものと推察された。一方、果実酸度は成熟につれて低下することは知られているが、完熟時の酸度を決定する要因については知見が少ない（稲葉・中村，1978；二宮，1969；田辺ら，1972）。第3表から、完熟時の酸度は糖度とは異なった要因に左右されるものと考えられるが、酸度と昼夜温の関係については明確にできなかった。糖酸比については、平均気温が15℃のとき20°、25℃に比較して明らかに高く、また、昼温が同一であれば夜温が低いほど高く、従来の促成栽培の温度管理法の検討から得られた結果（二宮，1969；西村ら，1990a）を裏づけるものであった。

摘 要

異なる昼夜温条件下で果実発育期のイチゴを育て、各器官の生長及び果実肥大について調査した。

平均15°～25℃の温度域では、平均気温が低いほど、また、平均気温が同一であれば昼温が低く昼夜温較差が小さいほど、果実の開花から完熟までに要する日数（成熟日数）が長かった。成熟日数が長い区においては、収穫始期までにより多くの乾物が各器官に蓄積された。特に、花房における乾物の蓄積量に生育温度の影響が大きくあらわれ、果実生産量も成熟日数の長い区で明らかに増大した。また、完熟果の品質については、糖度は成熟日数の長い区において高い傾向が認められ、糖酸比も低温の区で高かった。しかし、酸度については一定の傾向は認められなかった。

引用文献

- Forney, C. F. and P. J. Breen. 1985. Dry matter partitioning and assimilation in fruiting and deblossomed strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 : 181-185.
- 羽生寿郎・内島立郎. 1962. 作物の生育と気象との関連に関する研究. (第1報) 水稻の出穂期と気温との関係. *農業気象*. 18 : 109-117.
- 稲葉昭次・中村怜之輔. 1978. 作型別ならびに追熟中のイチゴ果実の成熟様相. *岡山大農学報*. 52 : 25-36.
- Jahn, O. L. and M. N. Dana. 1966. Fruiting and growth of the strawberry plant. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88 : 352-359.
- 熊倉裕史・宍戸良洋. 1994. イチゴの果実発育期における光合成産物の転流・分配に及ぼす温度および葉位の影響. *園学雑*. 62 : 833-838.
- 森下昌三・本多藤雄. 1985. 促成イチゴの成熟に関する研究. *野菜試報*. C 8 : 59-69.
- 二宮敬治. 1969. イチゴの品質と栽培管理. *農及園*. 44 : 1103-1109.
- 西村仁一・吉岡 宏・中川 泉・河田 貢. 1990 a. イチゴの収量・品質に及ぼす光の強さ・夜温・土壌の影響. *園学雑*. 59 (別1) : 450-451.
- 西村仁一・吉岡 宏・河田 貢・中川 泉. 1990 b. イチゴの果実の糖及び有機酸含量に及ぼす夜温・光の強さ・土壌の影響. *園学雑*. 59 (別2) : 508-509.
- 西沢 隆・堀 裕. 1988. イチゴにおける¹⁴C光合成産物の転流・分配に及ぼす花房の発育段階の影響. *園学雑*. 57 : 433-439.
- Olsen, J. L., L. W. Martin, P. J. Pelofske, P. J. Breen and C. F. Forney. 1985. Functional growth analysis of field grown strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 : 89-93.
- 斎藤 隆・伊東秀夫. 1970. イチゴ果実の発育に関する研究. (第1報) 果実の発育過程ならびに花の発育と果実の発育との関係. *園学要旨*. 昭45春 : 176-177.
- Schaffer, B., J. A. Barden and J. M. Williams. 1985. Partitioning of [¹⁴C]-photosynthate in fruiting and deblossomed day-neutral strawberry plants. *Hort. Science* 20 : 911-913.
- 宍戸良洋・熊倉裕史・佐藤 俊・内海敏子. 1991. イチゴの糖・酸度の簡易測定法. *東北農業研究*. 44 : 277-278.
- 田辺賢二・佐藤一郎・田中重勝. 1972. イチゴ果実の発育生理に関する研究. 果実の発育に伴う呼吸量ならびに有機成分の変化. *園学要旨*. 昭47秋 : 190-191.
- Went, F.W. 1957. The experimental control of plant growth. p. 129-138. *Chronica Botanica Company*. Waltham, Mass., U. S. A.