

イチゴ ‘アスカルビー’ における果実の成熟に関する研究 (第1報)

果実の成熟期間と温度との関係

東井君枝・信岡 尚・平山喜彦*

Studies on Fruits Maturing in Strawberry Cultivar ‘ASUKARUBY’ (1)
Relationships between fruit maturing period and temperature

Kimie Toi, Takashi NOBUOKA and Yoshihiko HIRAYAMA

Summary

1. The number of days from flowering to maturing changed seasonally in the 6 cultivars.
2. The use of accumulative temperature during fruit maturing period enabled to reduce seasonal changes, and that of ‘ASUKARUBY’ increased in low temperature period in comparison with the other cultivars, but it was reduced in high temperature period.
3. Further, the effective air temperature coefficients were calculated on each cultivar. On ‘ASUKARUBY’, the most effective temperature and the lowest effective temperature were 16.8°C and 3.8°C respectively, both of which were the highest among the other cultivars. The effective air temperature coefficients on ‘ASUKARUBY’ were smaller in low temperature region. These results suggest that ‘ASUKARUBY’ requires relatively high temperature for fruit maturation, compared to the other cultivars.
4. The maturation period was varied with flower ranks even in the same cultivars, and that of flower rank 1 (primary flower) was shorter than that of rank 2 or 3.

Key words : strawberry, cultivar ‘ASUKARUBY’, fruit maturing period, temperature.

緒 言

我が国におけるイチゴ栽培は、近年促成栽培が主流となり、栽培期間は9月から5月までの長期間にわたる。この間、イチゴの果実は、厳冬期から日射しの強くなる初夏まで、温度・光など様々な環境条件下で肥大・成熟することになる。このような環境条件の変化は、植物の生育を左右し、収量に影響を及ぼすだけでなく果実に直接作用し、肥大や成熟期間に影響を及ぼしていると考えられる。とりわけ温度はイチゴの果実成熟に及ぼす影響が大きく、このことに関する報告は多い^{9,11,15)}。

イチゴの果実は、品種によって開花から成熟までの日数が異なるだけでなく、同一品種においても、高温期には成熟日数が短くなり、糖含量が低

く、酸度が高くなり、収穫後の果実品質の劣化が激しくなる。逆に低温期には成熟日数が長くなり、着色不良果や発酵果を生じることがある。本県で育成された‘アスカルビー’は食味が良い、大果で収量が高いなどの長所を持ちながら^{13,14)}、低温期の発酵果の発生や高温期における日持ち性の低下など、果実の成熟・着色に起因する品質の低下が問題となっている。そこで、‘アスカルビー’の果実の成熟・肥大特性を明らかにするため、森下・本多がイチゴ果実の成熟把握に用いた有効温度係数の概念に基づいて、‘アスカルビー’の果実の成熟期間と温度の関係を検討し、果実成熟の面からハウス内の温度管理の指標化を試みたので、その結果を報告する。

※ 現 高田地域農業改良普及センター
本研究の一部は1999年園芸学会秋季大会において発表した。

材料および方法

1. 供試品種および栽培方法

供試品種として、‘アスカルビー’，‘とよのか’，‘女峰’，‘章姫’，‘さちのか’，‘とちおとめ’を用いた。1997年7月22日に親株から切り離して仮植育苗した苗を，9月12日に畝幅1.2m，株間23cm，2条植えで定植した。施肥は，元肥として窒素成分で1.2kg/a，追肥として10月23日に同0.4kg/a，12月26日に同0.5kg/a 施用した。ハウス被覆は10月20日に行い，10月30日に‘アスカルビー’，‘とよのか’，‘さちのか’にジベレリン10ppm溶液を散布した。11月10日に2重カーテンを被覆し，同日より日没後3時間の日長延長を行った。また，12月29日より灯油燃烧方式（植物用石油燃烧機‘いちご専科’松下電器産業製）による炭酸ガス施用を行った。

2. 測定方法

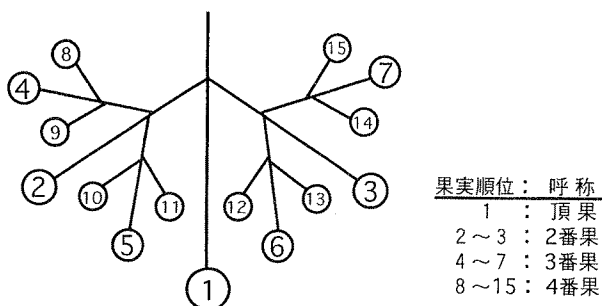
1997年11月1日から1998年3月20日まで，頂花房，1次側花房，2次側花房について，開花当日の花にラベルをつけ，果実が完全に着色した日に収穫し，開花からの日数，果房内果実順位（以下，果実順位）および果重を調べた。果実順位は第1図のとおりである。ハウス内気温の測定には小型データロガー（‘おんどとり’，株ティアンドデイ製）を使用し，30分間隔で測定した。各品種の調査果実数は次のとおりである。括弧内は，頂果，2番果，3番果，4番果の順に，果実順位別の調査果実数の内訳を示した。‘アスカルビー’で，770個

(155個，261個，264個，90個)，‘とよのか’で，525個（101個，188個，202個，34個），‘章姫’で，536個（94個，195個，203個，44個），‘女峰’で，275個（33個，67個，141個，34個），‘とちおとめ’で，314個（40個，151個，109個，14個），‘さちのか’で，157個（34個，49個，39個，35個）であった。

結果および考察

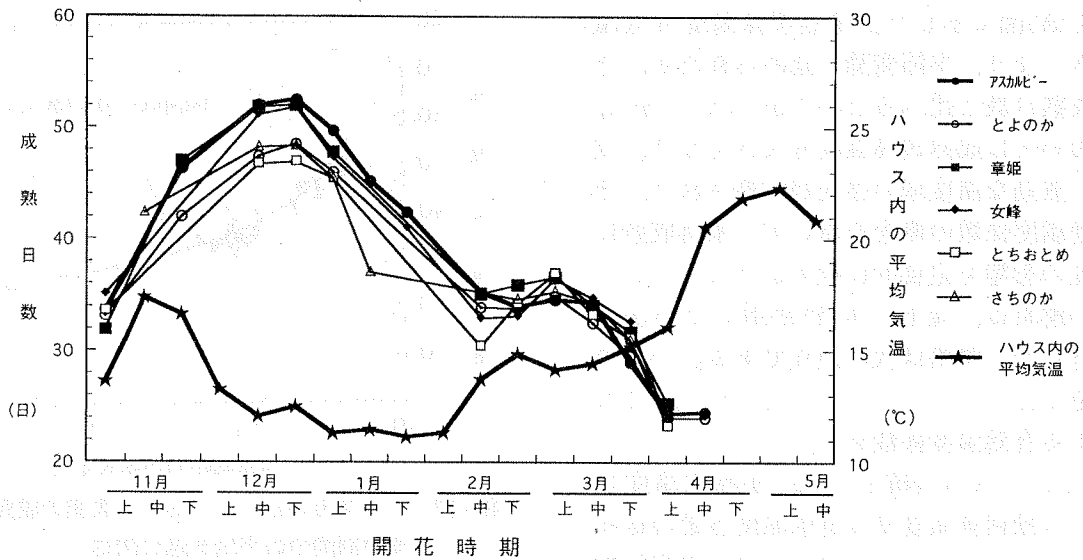
促成栽培において，イチゴの花房は秋から春まで数次にわたって出蕾開花するため，果実の成熟期間を品種間で比較する場合に成熟日数を用いると，季節変動が大きくなり，正確な評価ができない。このため，成熟積算温度を用いて比較している報告が多い^{7,8,11)}。しかし，成熟積算温度を用いた場合でも，低温期には数値が大きくなる傾向がある。このことに着目して，森下・本多⁷⁾は，果実成熟に対する無効な温度域の存在を提案した。低温期には，無効な温度も成熟積算温度に加算されているため積算温度が大きくなると説明し，この無効な温度域を6~7℃と設定した。そして，この無効な温度を成熟積算温度から引いた有効積算温度を品種ごとに求め，品種の成熟期間を定量的に示した。しかし，この方法は各温度を等価に評価していることから，果実の成熟を十分に表しているとは言い難い。そこで，森下・本多⁸⁾は，さらに有効温度係数の概念をイチゴの果実成熟に応用し，イチゴ果実の成熟日数と温度との間に一定の関係式を得た。有効温度係数の概念は，羽生・内島⁹⁾が，イネの生育を量的にとらえるために，各温度に重み付けをした有効温度係数を用いて，イネの出穂期の推定を行ったもので，江幡¹²⁾も有効積算温度を用いてイネの栄養生長を推定している。本研究では，これらと同様の方法を用いて解析を行い，‘アスカルビー’の果実成熟特性を他品種との比較の中で明らかにしようとした。

まず，開花時期と各品種の成熟日数およびハウス内気温の関係を第2図に示した。ハウス内気温が高いほど成熟日数は短く，ハウス内気温が低くなると逆に成熟日数は長くなった。‘アスカルビー’の場合，11月上旬に開花した花は，二重被覆直後のハウス内気温が高い時期に成熟するため，



第1図 供試した果実の果房内果実順位の模式図と本実験における呼称

Fig.1. A schematic diagram of fruit ranks in fruit bunch and the name of using this experiment

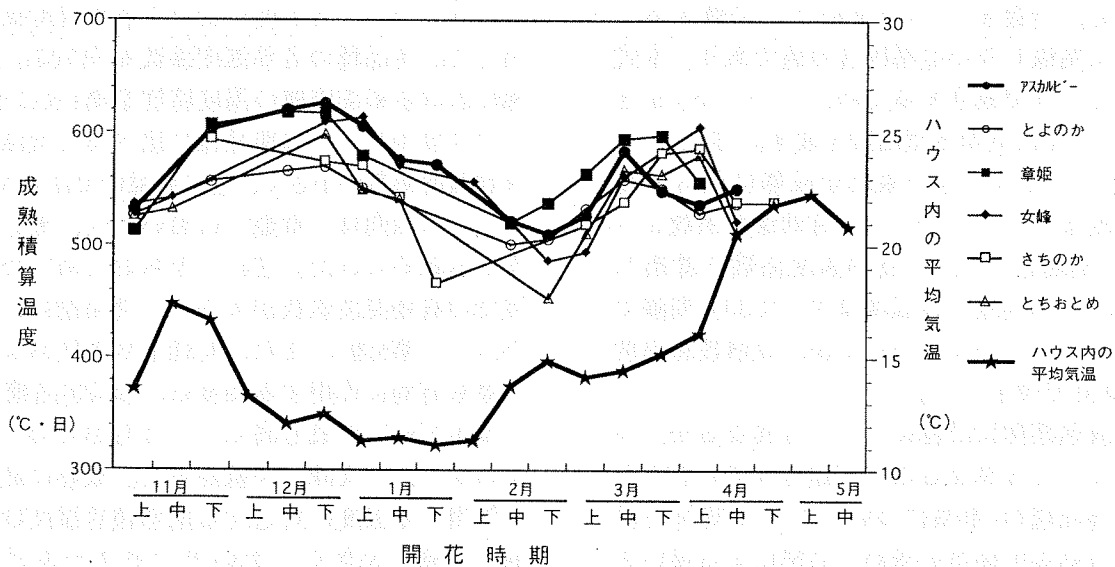


第2図 ハウス内平均気温の推移と開花時期に対応した成熟日数

Fig.2. Seasonal changes of the mean daily air temperature in plastic greenhouse and number of days from flowering to maturing in several strawberry cultivars

成熟日数は約34日であったが、果実成熟期が最も低温期にあたる12月中旬から1月上旬に開花した花は、成熟まで約50日必要であった。また、ハウス内気温が上昇し始める2月中旬以降に開花した花は約35日で成熟し、この後、温度の上昇とともに成熟日数は短くなり、4月中旬に開花した花の成熟日数は約24日であった。供試品種はいずれも‘アスカルビー’と同様の季節変動がみられた。

品種によって収穫開始時期や収穫する果実の大きさ、果実順位などが異なるため、同一時期を単純に比較することはできないが、‘アスカルビー’は他品種と比較して、低温期には成熟日数が長く、逆に高温期には短くなる傾向が見られた。‘章姫’はいずれの時期でも他品種と比較して成熟日数が長く、‘とよのか’は逆に短かった。果実の成熟に要する積算温度（以下、成熟積算温度）の



第3図 開花時期と果実成熟に要する積算温度との関係

Fig.3. Seasonal changes of the mean daily air temperature in plastic greenhouse and accumulative temperature for strawberry fruit maturing

季節変動を第3図に示した。成熟積算温度も低温期には大きくなり、季節変動が認められたが、その程度は成熟日数と比べると小さかった。しかし、低温期においては成熟積算温度も大きくなり、成熟に対して無効な温度域の存在が示唆された。そこで、有効温度係数の概念を用いて、果実成熟に対する温度の影響を定量的に捉えようとした。

データの解析は、森下・本多⁸⁾が用いた方法に基づいて行った。概略は次の通りである。一日の平均気温を t_1, t_2, \dots, t_n とし、これらに対応する有効温度係数を $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ とすると、これらの積 $t_n \times \alpha_n$ が有効温度当量となり、有効積算温度 θ は有効温度当量の総和により表される。それぞれの温度当量の出現回数を $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ とすると、

$$\theta = f_1 \cdot \alpha_1 \cdot t_1 + f_2 \cdot \alpha_2 \cdot t_2 + \dots + f_n \cdot \alpha_n \cdot t_n$$
 で表される。

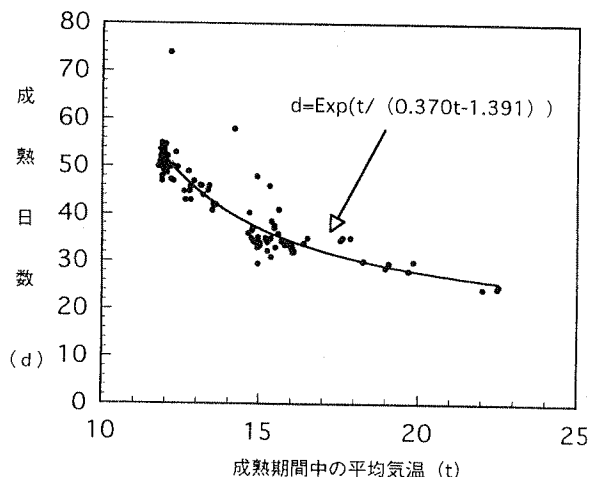
一方、個々の温度当量に対応する成熟日数を d_1, d_2, \dots, d_n とすれば、 $\alpha_1 \times t_1 \times d_1, \alpha_2 \times t_2 \times d_2, \dots, \alpha_n \times t_n \times d_n$ はほぼ一定になると仮定すると、これらは有効積算温度 θ と等しくなり、 $\theta = \alpha_i \times t_i \times d_i$ となる。そこで、有効温度係数を推定するために成熟日数と温度との間に双曲線式、

$$d = \exp(t / (a t + b))$$

を当てはめ、定数 a, b を求めた。定数 a および b は t に関係しない品種固有の値であり、本式は $a t + b > 0$ で成立するため、 $t > -b/a$ となり、 $-b/a$ は有効下限温度を表す。また、 $t_i \times d_i$ が最小となるときの温度が成熟に最も有効に働く温度なので、このときの有効温度係数 $\alpha = 1.0$ とし、各温度における有効温度係数を算出した。ただし、本実験では温度はすべて30分間隔で測定したものをそのまま用いたが、成熟積算温度は、1日単位で表示した。

果実の成熟期間は品種によっても異なるが、果実順位によっても異なることが知られている^{4,6,15)}。そこで、各品種の2番果について、上記解析方法に準じて有効温度係数を求め、品種による違いを調査した。

‘アスカルビー’における成熟日数と成熟期間中の平均気温との関係を第4図に示した。成熟日数



第4図 ‘アスカルビー’における果実の成熟日数と成熟期間中の平均気温の関係

Fig.4. Relationship between the maturing period (d) and the means of air temperature (t) during maturing period in ‘ASUKARUBY’

(d) と成熟期間中の平均気温 (t) との間に双曲線式 $d = \exp(t / (a t + b))$ を当てはめ、各品種ごとに以下のパラメーターを得た。

- アスカルビー : $a = 0.370, b = -1.391, R^2 = 0.896$
- とよのか : $a = 0.358, b = -1.164, R^2 = 0.905$
- 女峰 : $a = 0.354, b = -1.152, R^2 = 0.822$
- 章姫 : $a = 0.368, b = -1.324, R^2 = 0.905$
- さちのか : $a = 0.362, b = -1.217, R^2 = 0.917$
- とちおとめ : $a = 0.350, b = -1.072, R^2 = 0.704$

これらから、各温度における有効温度係数を算出した。各品種の有効温度係数を第5図に、各品種における果実成熟の温度特性を第1表に示した。

‘アスカルビー’は他品種に比べると低温域での有効温度係数が小さく、逆に高温域では大きくなった。この傾向は‘章姫’においても、幾分緩やかながら認められた。逆に‘とちおとめ’では低温域での有効温度係数が大きく、高温期には小さくなった(第5図)。また、有効下限温度および成熟に最も有効に作用する温度は、供試6品種中‘アスカルビー’が最も高く、‘とちおとめ’、‘とよのか’、‘女峰’が低かった。成熟に最も有効に作用する温度に対応する成熟積算温度は、‘女峰’が最も大きく、次いで‘アスカルビー’、‘とちおとめ’の順で、‘さちのか’、‘とよのか’が小さかった(第1表)。

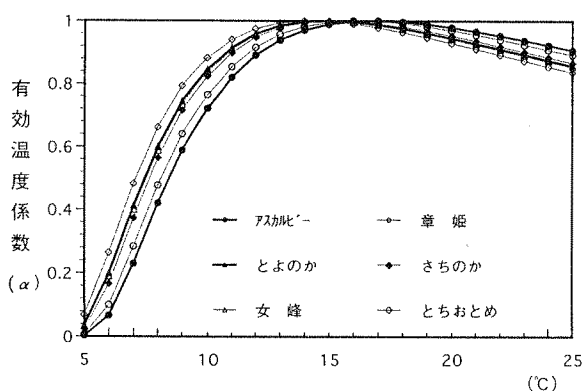
‘アスカルビー’では、低温期の有効温度係数

第1表 果実成熟に対して有効に作用する温度²⁾の品種間差異

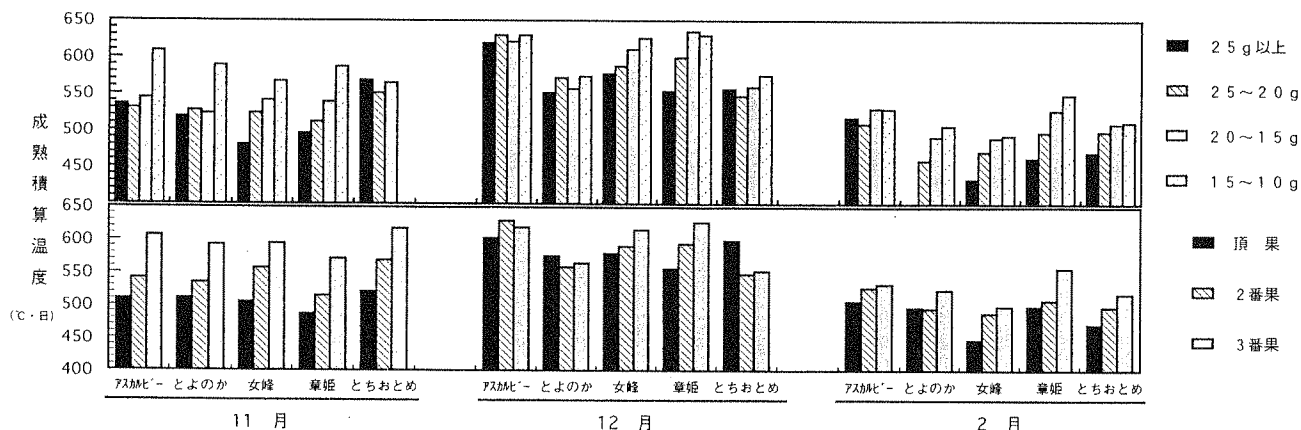
Table1. Varietal differences in effective temperature on fruit maturing in several strawberry cultivars

品 種	有効下限温度 (°C)	成熟に最も有効に作用する温度[A] (°C)	温度Aに対応する積算温度 (°C・日)
アスカルビー	3.8	16.8	542
とよのか	3.2	14.9	529
女峰	3.3	15.0	556
章姫	3.6	16.2	533
さちのか	3.4	15.2	525
とちおとめ	3.1	14.2	542

²⁾2番果について



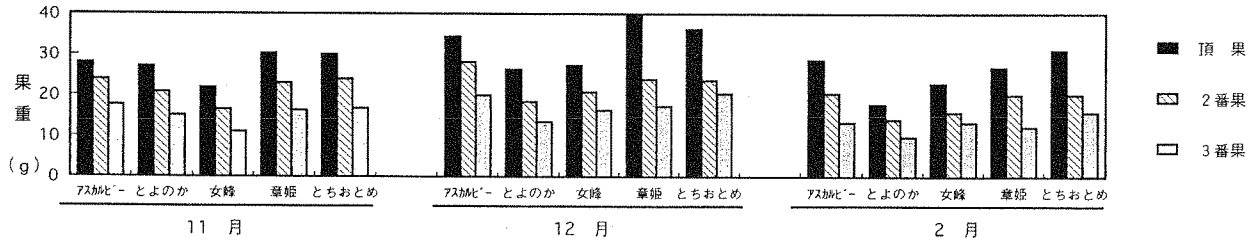
第5図 果実の成熟の有効温度係数の品種間差異
Fig.5. Varietal difference in the effective air temperature coefficient (α) on the fruits maturing



第6図 開花期が異なる場合の果実の果房内果実順位および果重と成熟積算温度の関係
Fig.6. Relationship among flower rank, fruits weight and accumulative temperature during fruit maturing in strawberry cultivars

が他品種よりも低いこと、有効下限温度が高いことから、特に低温期には成熟日数が長くなるため、やや高めの温度管理が適すると考えられる。また、‘とよのか’は、低温期には発酵果や着色不良果などの問題が生じるが、低温期の有効温度係数も高く、有効下限温度も低いため、成熟期間中の温度や成熟期間が直接それらに参与しているとは考えられなかった。

次に、同一品種、同一の開花時期であっても、成熟期間にばらつきが生じることから、果実の成熟積算温度と、果実順位および果重との関係を第6図に示した。‘さちのか’についてはサンプル数が少ないため省略した。いずれの品種も、時期により多少の違いはあるものの、果実が小さいほど、また、果実順位が大きいほど成熟積算温度は大きくなった。この傾向は、11月開花の果実で顕著であったが、他の時期では明確ではなかった。この原因として、11月に開花する花は頂花房であり、他の果房との間で同化産物の競合が生じないが、12月および2月に開花した頂花（1次または2次側花房）では、開花時にすでに頂花房に肥大中の果房があり、同一果房内のみならず果房間にも同化産物に対する競合が存在することから、果実順位による差が明確に現れなかったものと考えられる。また、果重と果実順位との間には第7図に示すように果実順位の小さい果実ほど果重が大きいという関係があるので、両者を切り離して考えることはできない。しかし、成熟積算温度と果実順位との関係は、成熟積算温度と果重との関係よりも明確であった。



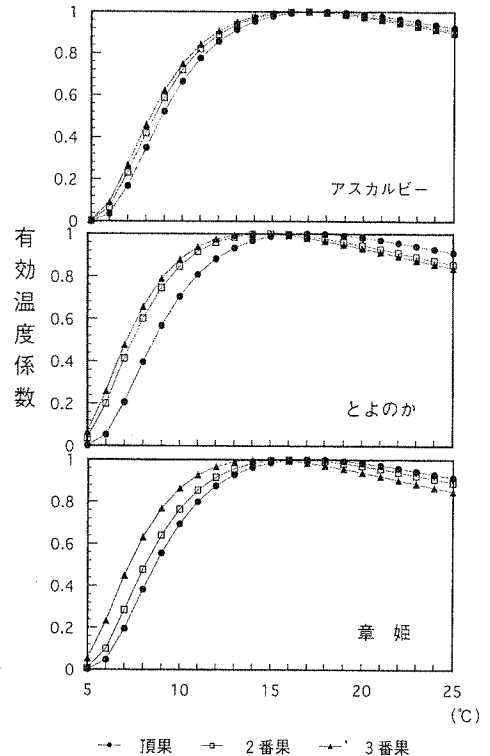
第7図 開花期が異なる場合の果房内果実順位と果重の関係

Fig.7. Relationship between flower rank and fruit weight on each cultivar

そこで、果実順位別の有効温度係数を算出した。上記と同様の解析方法で、‘アスカルビー’、‘とよのか’、‘章姫’の果実順位別について、成熟日数 (d) と気温 (t) の関係式 $d = \exp (t / (at + b))$ を求めると各パラメーターは以下のとおりとなった。

- アスカルビー 頂果: $a = 0.382, b = -1.523, R^2 = 0.884$
- 2番果: $a = 0.370, b = -1.391, R^2 = 0.896$
- 3番果: $a = 0.363, b = -1.314, R^2 = 0.878$
- とよのか 頂果: $a = 0.382, b = -1.476, R^2 = 0.799$
- 2番果: $a = 0.358, b = -1.164, R^2 = 0.905$
- 3番果: $a = 0.349, b = -1.072, R^2 = 0.883$
- 章姫 頂果: $a = 0.382, b = -1.490, R^2 = 0.773$
- 2番果: $a = 0.368, b = -1.324, R^2 = 0.905$
- 3番果: $a = 0.346, b = -1.079, R^2 = 0.903$

これらから、果実成熟の有効温度係数を算出し、温度特性を比較した。ただし、4番果は、サンプル数が少なく、サンプリング時期の偏りも大きかったので、本分析からは除外した。各品種の果実順位別の有効温度係数を第8図に、果実成熟の温度特性を第2表に示した。品種により多少の違いはあるものの、果実順位が大きいほど低温域での有効温度係数が低い傾向があった(第8図)。有効下限温度および成熟に最も有効に作用する温度は頂果が最も高く、3番果が最も低かった。また、成熟に最も有効に作用する温度における成熟積算温度は、頂果で最も小さく、果実順位が大きくなるにつれて大きくなり(第2表)、果実順位が大きくなるほど成熟期間は長くなることが示された。このことは、果実順位の小さい果実には開花直後から高率で分配されるのに比べ、果実順位の大きい果実では分配時期が遅れ期間が長くなるため、果実が小さいにもかかわらず成熟に長い期間を要すると推察された。このように、小さい果実の成熟



第8図 ‘アスカルビー’、‘とよのか’、‘章姫’における果実順位別の有効温度係数

Fig.8. The effective temperature coefficient (α) on fruit maturation for each ranks of ‘ASUKARUBY’, ‘Toyonoka’ and ‘Akihime’

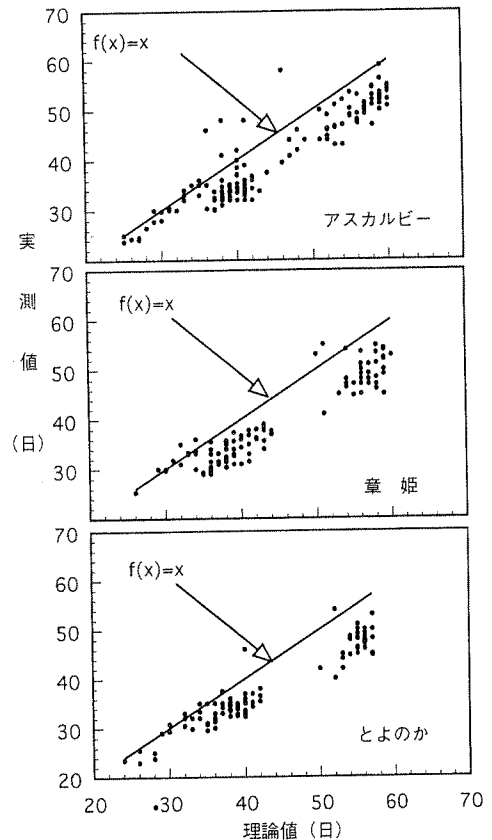
期間が長くなることは、イチゴの果実の大きさと温度の影響について調べたMiura・Yamasaki⁹⁾や熊倉・宍戸⁴⁾の報告とも一致する。西沢・堀¹²⁾は、同化産物の転流・分配に及ぼす果房の発達段階の影響を調べ、開花前では、¹⁴Cの施与17時間後の転流率も20%以下と低く、分配も根に40%、果房に20%であるのに対し、果実肥大期および着色期には転流率が40~50%に上がり、分配率は根に2%、果房に47~86%と、果房が強いシンク能

第2表 果実順位別の果実成熟に有効に作用する温度
Table2. Effective temperature on fruits maturing at different flower ranks in various strawberry cultivars

品 種	果実順位	有効下 限温 (°C)	成熟に最も有 効に作用する 温度[A] (°C)	温度Aに対応 する積算温度 (°C・日)
アスカルビー	頂果	4.0	17.5	522
	2番果	3.8	16.8	542
	3番果	3.6	16.4	563
とよのか	頂果	3.9	17.0	506
	2番果	3.2	14.9	529
	3番果	3.1	14.3	550
章 姫	頂果	3.9	17.1	509
	2番果	3.6	16.2	533
	3番果	3.1	14.6	577

を持つこと、頂花房内の果実間で比較すると、頂果および2番果では果実肥大期が同時期であったが、3番果はやや遅れたために、同化産物に対する両者間の競争が生じ、3番果への分配が遅れるのではないかと推察している。これらのことから、本実験における果実の果実順位による成熟期間の差は、同一果房内の果実間での同化産物に対する競争が関係しているのではないかと推察された。また、‘アスカルビー’では、果実順位による有効温度係数の違いが小さかったが、‘章姫’では大きく、‘とよのか’でも、頂花では2番果、3番果に比べて低温域での有効温度係数が低かった(第8図)。これらのことは、果梗の太さ、1果房あたりの果数、果房の形態などが品種により異なり、これらのことが影響していると思われる。

本研究で用いた解析方法の妥当性を評価するため、算出された有効温度係数を用いて、成熟日数の理論値を算出し、実測値と比較した結果を第9図に示した。いずれの品種も実測値に比べると理論値がやや長くなった。実測値と理論値にずれが生じた原因として、以下のようなことが考えられた。(1)本試験では、着果数の制限を行わなかったため、同化養分の競争が果房間と同一花房内の果実間で複雑に生じ、その結果個々の果実の成熟日数にばらつきが生じた。(2)実際栽培に準じ、連続して果実を収穫していくので、時期による草勢や着果負担の変化が転流速度に影響した。(3)本試験



第9図 果実の成熟日数の理論値と実測値の比較
Fig.9. The comparison between calculated maturing period and actual maturing period

では同一温度は等価に評価しており、昼夜の温度較差を考慮していない。このことについて、熊倉・宍戸^{4,5)}は、一日の平均気温が同一の場合でも、昼夜の温度条件により成熟日数はかなり異なることを報告している。本試験は自然条件下で行ったため、熊倉・宍戸が人工気象室内で行ったような極端な昼夜温の差は生じないものの、昼夜の温度較差と成熟日数の関係を考慮に入れる必要があろう。しかし、実測値と理論値の間で生じた誤差の最も大きな原因は次の点にあると考えられる。本試験は森下らの方法に準じて、成熟日数(d)と成熟期間中の平均気温(t)との間に双曲線式 $d = \exp(t / (at + b))$ を当てはめ、その式を元に分析を行っているが、この当てはめにやや無理があり、そこで生じた誤差が最終的に実測値と理論値の誤差につながったと考えられる。実測値と理論値の間には、ややずれが生じたものの、成熟日数が時期により25~70日まで3倍以上のばらつきが

あることから考えて、本実験から導かれた理論式は概ね満足のいくものであった。また、単純な成熟日数の比較では温度特性を明確にすることができないことから、有効温度係数を用いた本結果により‘アスカルビー’の果実成熟の温度特性は概ね把握することができたと考えられる。

摘 要

‘アスカルビー’の促成栽培における果実の成熟・肥大の特性を明らかにし、果実成熟の面からハウス内の温度管理の指標化を試みた。

1. 成熟日数は季節変動が大きく、低温期には長く、高温期には短くなった。
2. 成熟日数よりも成熟積算温度を使うことにより、季節変動を小さくすることができた。また、‘アスカルビー’の成熟積算温度は、他品種と比較すると低温期には長く、高温期には短くなった。
3. 各品種の有効温度係数を求め、それをもとに各品種の果実成熟の温度特性を調べると、‘アスカルビー’の果実成熟に最も有効に作用する温度は 16.8°C 、有効下限温度は 3.8°C と、供試品種中最も高かった。更に、‘アスカルビー’の有効温度係数は低温域では低く、‘アスカルビー’の果実成熟は、他品種と比較してやや高めの温度管理が必要と考えられた。
4. 同一品種でも、成熟期間は果房内の果実順位によって異なり、頂果は2番果、3番果に比べて短かった。

引用文献

1. 江幡守衛. 1990. 有効積算温度とイネの生育 第1報 有効下限温度の実験的算出法とイネの栄養生長への応用. 日作紀. 59 (2) : 225-232
2. ————. 1990. 有効積算温度とイネの生育 第2報 イネの出穂・開花および登熟における有効積算温度. 日作紀. 59 (2) : 233-238
3. 羽生寿郎・内島立郎. 1962. 作物の生育と気象との関係に関する研究 第1報 水稻の出

- 穂期と気温との関係 (1). 農業気象. 18(3) : 21-29
4. 熊倉裕史・宍戸良洋. 1994. イチゴの果実肥大に及ぼす温度の影響. 園学雑. 62(4) : 827-832
5. ————. 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(4) : 833-838
6. Miura, H. and A. Yamasaki. 1994. Effect of Temperature on the Size of Strawberry Fruits. 園学雑. 62(4) : 769-774
7. 森下昌三・本多藤雄. 1979. イチゴの果実成熟のための有効積算温度. 農及園. 54 : 1399-1400
8. ————. 1985. 促成イチゴの成熟に関する研究. 野菜試報. C8 : 59-69
9. ————. 1991. イチゴの品種. 作型. 収穫期による果実の糖及び酸度の変動. 野菜・茶試報. A4 : 41-55
10. ————. 1986. 我が国の露地栽培および路地抑制栽培イチゴの収穫始期への物理的変異に関する研究. 野菜試報. C9 : 13-22
11. 成川 昇 (1979) : 麗紅の生理・生態と栽培技術. 農業技術体系 (イチゴ). 農文協. 355-372
12. 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達段階の影響. 園学雑. 57(3) : 433-439
13. 信岡 尚・泰松恒男. 1997. イチゴ新品種‘奈良7号’ (仮称) の育成. 園学雑. 66別2 : 466-467
14. ————. 1998. アスカルビーの品種特性と栽培技術. 農耕と園芸編集部編. イチゴ-品種と新技術-. 誠文堂新光社. 82-94
15. 野口 祐司・山川 理. 1998. 高温期におけるイチゴの果実肥大能力の品種間差異. 野菜・茶試報. D1:19-28