

亜熱帯果樹の生育特性と温帯における栽培の可能性について

京都大学農学部 宇都宮 直 樹

Subtropical Fruit Trees; Their Growth Features and the Possibility of Growing Them in Temperate Zone

Naoki UTSUNOMIYA

Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606

果樹は永年作物であるため、その栽培適応範囲は温度、水分、土壌などの環境条件によって限定されてくるが、特に、温度によってその範囲が大きく左右される。我が国では熱帯・亜熱帯果樹の栽培は奄美大島以南や伊豆諸島など温度が十分に得られる地域でのみ可能である。しかし、亜熱帯果樹は熱帯果樹に比べると生育にそれほど高温を必要とせず、また、耐寒性も優れるため、本州、四国、九州の冬季に比較的温暖な地域では柑橘類の転換作物として亜熱帯果樹を導入栽培しようとする試みが最近盛んになってきている。ところが、このような地域では夏季は25℃以上の高温になり、冬季になると10℃以下の低温が数か月続くため、年平均気温が15～20℃で季節による気温較差のあまりないような条件を好む亜熱帯果樹類にとって必ずしも生育に適した温度条件が得られるとは限らない。このような好適とは言えないような条件下で導入栽培を行なうには導入しようとする果樹の生育特性を十分に理解し、その地域に適した栽培方法を確立することが大切である。亜熱帯果樹には多くの種類があり、これらを明らかにすることが温帯における亜熱帯果樹の栽培を行なう上で何らかの手掛かりを与えてくれると思われる。そこで、ここでは亜熱帯果樹における生育特性と温度との関係や耐寒性などについて述べてみる。

1. 花芽分化

果樹では花芽が枝の伸長が停止したあとその頂部の芽において形成される（頂生花芽）種類と枝が伸長しながらその葉腋部に形成される（腋生花芽）種類とに大きく分けることができる。亜熱帯果樹のうち前者にはレイシ、リュウガン、アボカド、マンゴーなどがあり、後者にはトケイソウ類、グアバ類、チェリモヤなどがある（写真1）。

頂生花芽タイプの果樹のうちレイシでは20℃以下にならないと花芽分化を行わず、花芽分化を更に確実にするためには15℃以下のような低温に遭遇しなければならない(2)（表1）。レイシは4～15℃の最低気温がある程度続くような地域で良い収量が得られるといわれており、花芽分化に低温が必要なことが示されている。花芽分化における低温要求性は品種によって異な

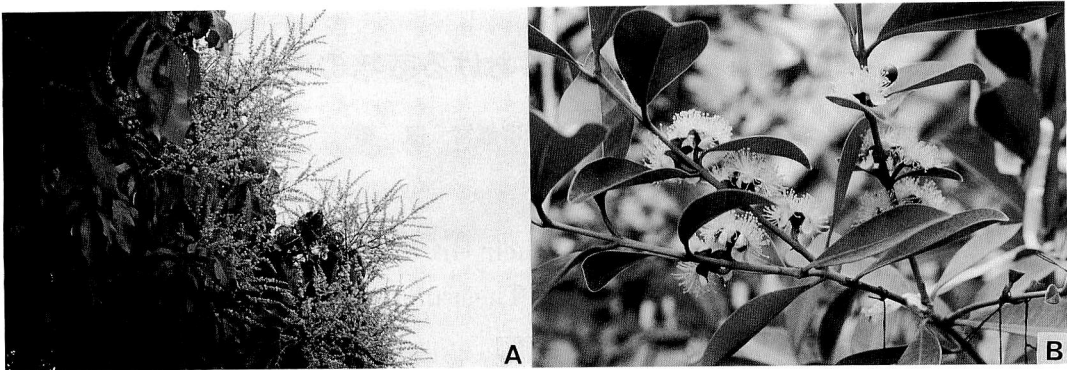


写真 1. 頂生花芽および腋生花芽タイプの果樹における開花状態。
A. リュウガンにおける開花状態（頂生花芽）
B. ストロベリーグアバにおける開花状態（腋生花芽）

表 1. レイシの花芽分化に及ぼす温度の影響

| 品 種 | 1 5 / 1 0℃ | | | 2 0 / 1 5℃ | | |
|---------------|------------|-------|-------|------------|-------|------|
| | 栄養芽 | 有葉花序 | 無葉花序 | 栄養芽 | 有葉花序 | 無葉花序 |
| Tai So | 0% | 93.0% | 7.0% | 50.0% | 49.8% | 0% |
| Bengal | 0 | 70.7 | 29.4 | 49.2 | 32.0 | 8.6 |
| Souey Tung | 0 | 39.4 | 60.7 | 58.3 | 3.2 | 28.3 |
| Kwai May Pink | 0 | 54.5 | 45.6 | 20.0 | 68.7 | 8.2 |
| Kwai May Red | 0 | 7.0 | 93.0 | 80.0 | 3.0 | 5.3 |
| Salathiel | 0 | 0 | 100.0 | 16.5 | 19.5 | 58.1 |
| Wai Chee | 0 | 0 | 100.0 | 4.0 | 13.5 | 80.5 |

2 5 / 2 0℃以上の温度ではいずれの品種も花芽分化を行なわない。
MenzelとSimpson (2)より引用。

り、一般に、早生種では12℃以下で、晩生種では6℃以下で花芽分化が促進されるといわれている。アボカドでは高温になると開花数や小花の分化が減少し、花芽分化は低温によって促進されることが報告されている(4) (表 2)。マンゴーにおいても同様に、花芽分化には低温が必要であることが示されている(5) (表 3)。しかし、マンゴーでは20℃以下の温度が1週間以上続けば花芽分化を開始し、その低温要求量はレイシやアボカドにおけるよりも少ないと考えられる。いずれにしても、このような果樹においては花芽分化の前に新梢生長が停止する必要があるが、低温以外の要因でその生長が停止しても花芽形成が行なわれるとは限らず、低温が直接的に花芽分化に作用していると考えられている。

一方、腋生花芽タイプの種類では、花芽は伸長する新梢の葉腋部に着生するため新梢生長が可能な温度条件が要求され、新梢生長ができないような条件下では花芽は形成されない。しかし、

表 2. アボカドの花芽分化に及ぼす温度の影響

| 温度(℃) | 品 種 | 開花した芽の数 | 小花数 |
|-------|--------|---------|--------|
| 33/23 | Fuerte | 3.4 | 66.9 |
| 33/23 | Hass | 8.8 | 679.2 |
| 25/15 | Fuerte | 16.0 | 857.5 |
| 25/15 | Hass | 12.7 | 1456.7 |

Sedgleyら(4)より引用.

表 3. マンゴーの腋芽の花芽分化に及ぼす温度の影響

| 温度処理 | 花芽数割合 | 栄養芽数割合 | 開花までの日数 |
|---------------|-------|--------|---------|
| 19/13 | 83% | 10% | 28 |
| 25/19 | 39 | 54 | 17 |
| 31/25 | 0 | 100 | — |
| 19/13-1-25/19 | 80 | 10 | 9 |
| 19/13-2-25/19 | 96 | 4 | 13 |
| 19/13-1-31/25 | 53 | 27 | 12 |
| 19/13-2-31/25 | 83 | 12 | 20 |
| 19/13-3-31/25 | 89 | 11 | 30 |

ShuとSheen (5)より引用.

高温によって新梢生長が急速になったり、連続して行なわれるようになると花芽分化は非常に困難になる。ムラサキクダモノトケイソウは15～20℃で新梢上に次々と花芽を形成して開花を行なうが、25℃以上になるとほとんど着花しなくなる。他の果樹の花芽分化に及ぼす温度の影響についてはあまり知られていないが、一般に、比較的緩やかに新梢生長が行なわれるような条件下で花芽分化が促進されるように思われる。また、グアバやチェリモヤでは低温や乾燥によって一時的に生長を停止させた後、あるいは、摘葉などによって一斉に萌芽させると、新梢数が多くなり、その結果として花芽数が増加することが知られている。このように亜熱帯果樹ではその花芽分化に低温を必要としたり、あるいは低温によって花芽形成が促進されることが示されている。温帯では冬季から春季にかけて十分な低温が得られ、頂生花芽タイプの亜熱帯果樹にとってはむしろ花芽分化に好適な温度条件が得られると思われる。

2. 花器構造, 開花, 受精

花芽分化の途中からあるいは完了後に花器形成が開始されるようになる。そして、好適な温度条件になると開花し、受精が行なわれる。このような一連の過程は結実に直接に関与しており、果実生産を向上させるためにはその機構を十分に理解しておく必要がある。しかし、このような花器構造やこれら一連の発達過程は果樹の種類によって異なっており、また、非常に複雑である

ためこれまでにその機構の解明はほとんどされていない。このため、亜熱帯果樹では開花後結実が非常に悪くなるようなことが多いが、それを防止する有効な手段は見出されていない。

結実のためには先ず受精が行なわれ、種子が正常に発達して行かなければならない。亜熱帯果樹では果実に種子が1個入るものと多く入るものがある（表4、写真2）。種子が1個入る果実では果実全体に占める種子の割合が大きく、50～70%に達するため、結実を確保するために

表4．亜熱帯果樹類の花器形態と果実内部構造

| 種子数 | 種 類 | 花器形態 | 可食部位 |
|-----|---------------|-----------|------|
| 1 個 | アボカド | 雌雄異熟 | 子房壁 |
| | レイシ | 雌雄異花（雑居性） | 仮種皮 |
| | リュウガン | 〃 （ 〃 ） | 〃 |
| | マンゴー | 〃 | 子房壁 |
| 多 数 | チェリモヤ | 雌雄異熟 | 花托など |
| | ムラサキクダモノトケイソウ | 完全花 | 仮種皮 |
| | フェイジョア | 〃 | 子房壁 |
| | グァバ | 〃 | 〃 |

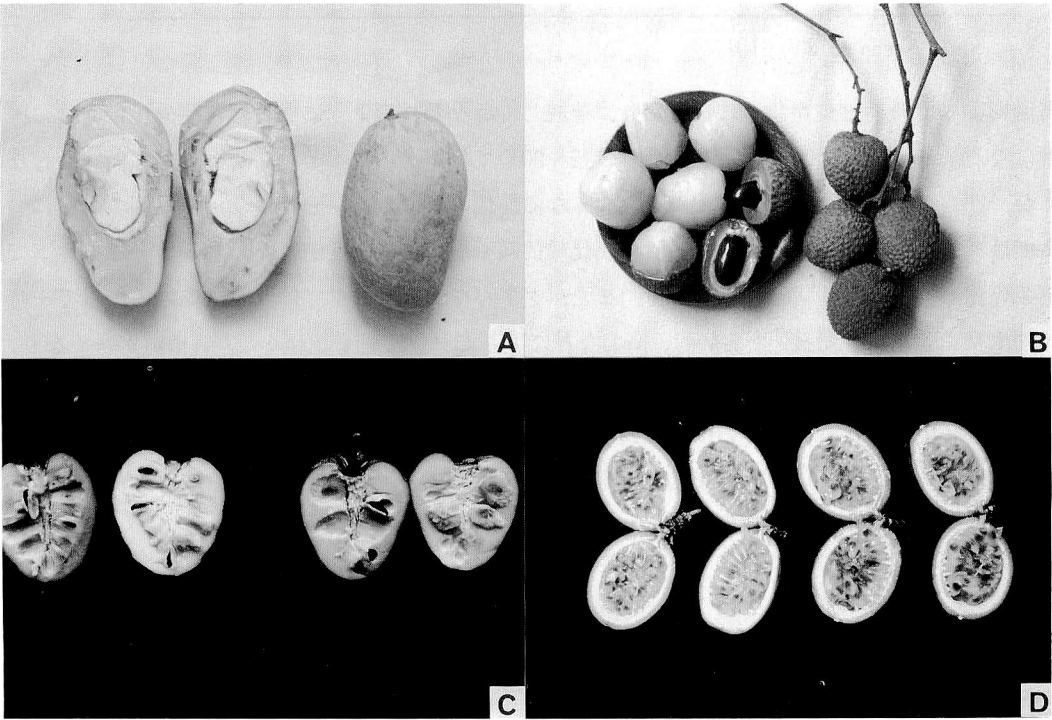


写真2．果実内部構造の違い。
A．マンゴー、B．レイシ、C．チェリモヤ、D．ムラサキクダモノトケイソウ。

は受精が完全に行なわれて充実した種子を得る必要がある。また、種子が多く入る果実では種子の数が多いほど果実の品質が良くなることが知られており、受精が多く行なわれることが望ましい。さらに、レイシ、リュウガン、ムラサキクダモノトケイソウのように、本来、種子を保護する組織である仮種皮を可食部位とする果実では、種子が発達しなければ可食部分も発達しなくなる。

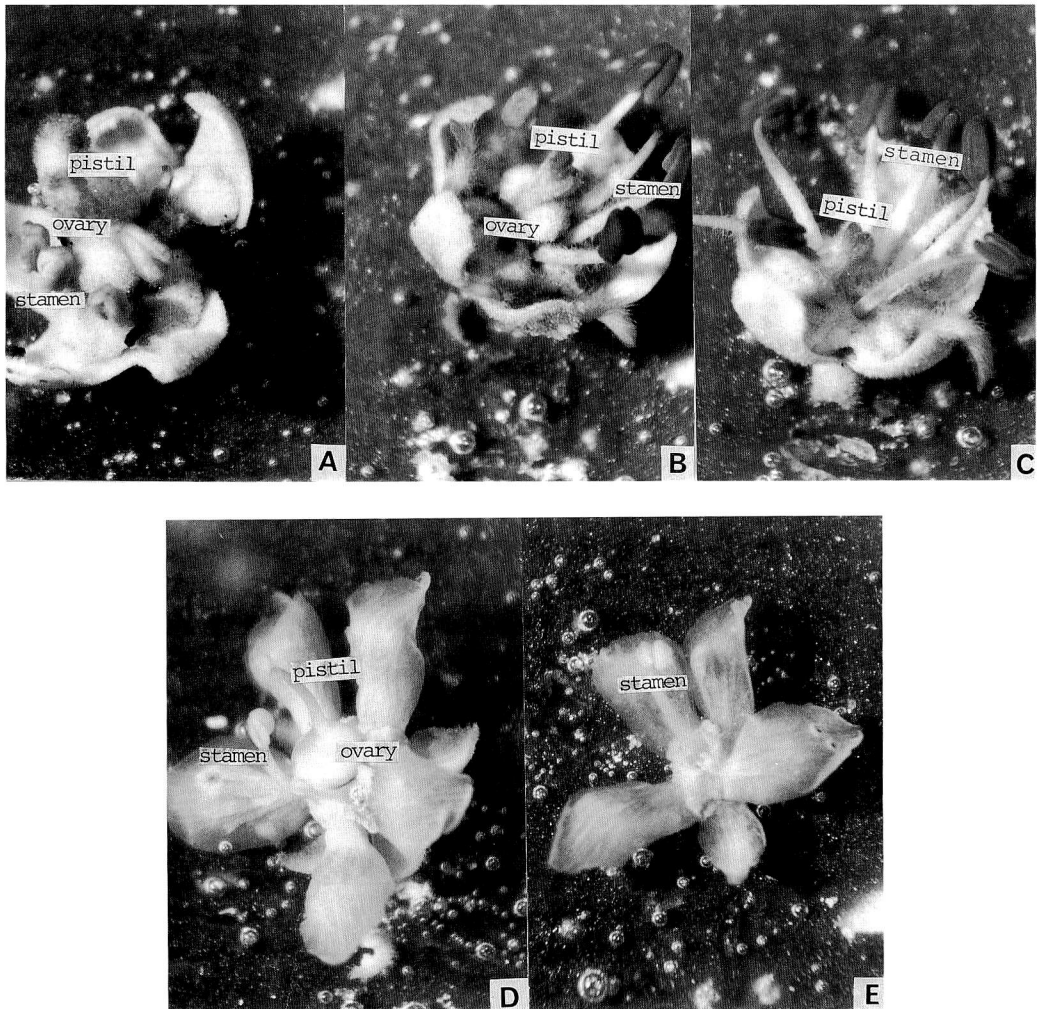


写真3. リュウガンとマンゴーにおける花器構造.

1. リュウガンにおける花器タイプ
 - A. 完全花,
 - B. 雄性花 (子房・雌ずいの不完全), C. 雄性花 (子房がまったく発達しない).
2. マンゴーにおける花器タイプ
 - D. 完全花 (雄ずいは1本だけ), E. 雄性花 (子房が発達しない).

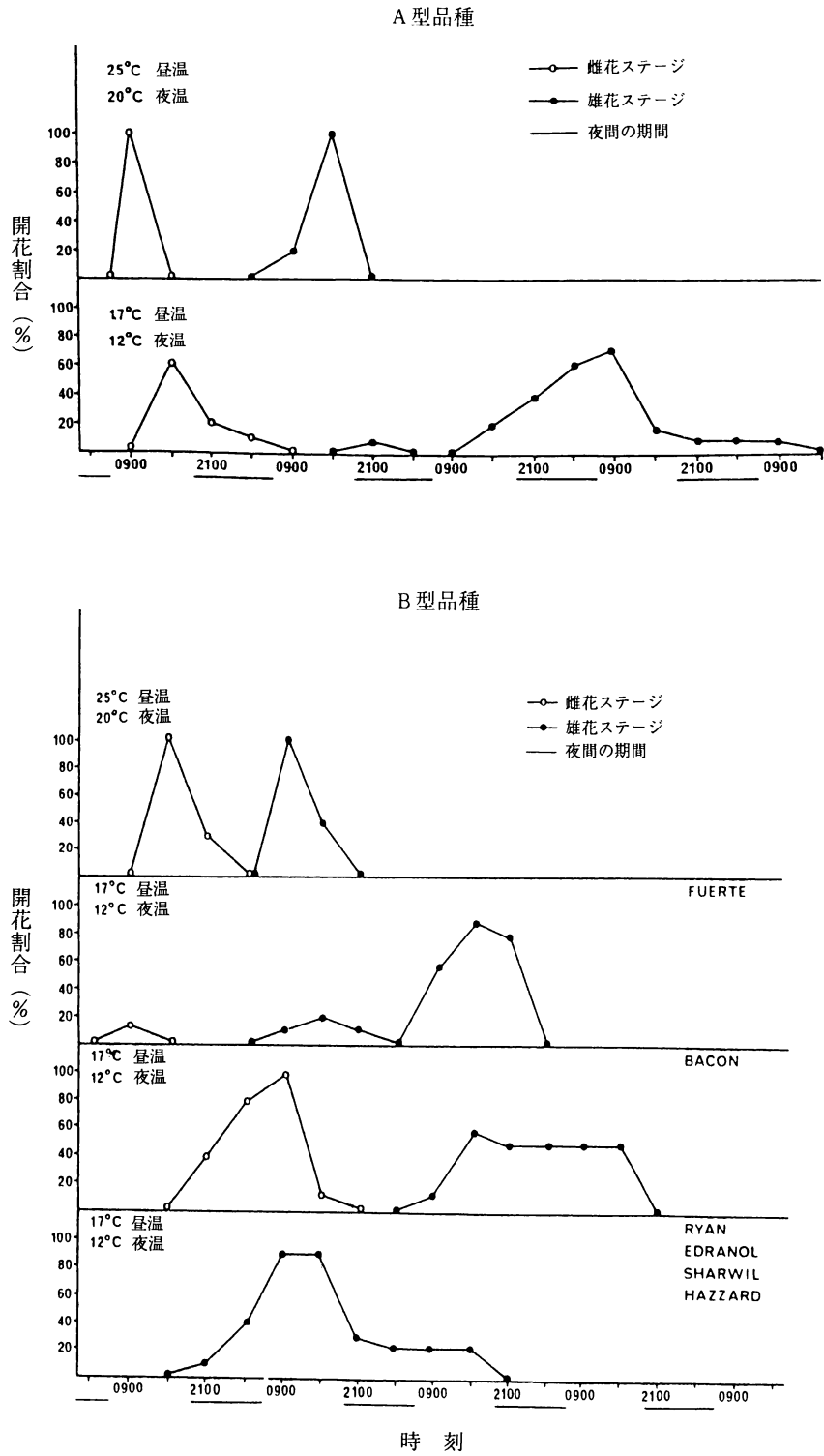


図 1. アボカドの開花サイクルに及ぼす温度の影響。
Sedgley と Alexander (3)より引用。

このように受精は果実の発達に非常に大切であるが、亜熱帯果樹では雌雄性や雌雄異熟性などによって受精機構が複雑になっているものが多い。レイシ、リュウガンではその花房上に1000以上の小花が分化してくるが、この小花には雌花と2タイプの雄花があり（写真3）、これら3つの花型的小花が同じ花房上に雑居している。果実が発達するためには雌花が形成されなければならない。しかし、全体の花数に占めるその数が多いほど結実する数も多くなる可能性が高くなる。しかし、どのような条件が雌花の形成に有利に作用するかについては明らかにされていない。マンゴーも同様に1つの花房上に1000以上の小花が着生する。この果樹の小花は完全花と雄花があり（写真3）、完全花が多いほど結実数が増加する可能性が高くなる。しかし、一般には、雄花の数が圧倒的に多い。インドでは高温下で開花すると完全花が多くなり、結実も良くなると報告されている。

チェリモヤの花では雌雄異熟性のため、本来、自家受精が可能であるにもかかわらず、人工受粉を行なう必要があり、栽培上の1つの問題点となっている。アボカドの雌雄異熟性は複雑で、午前中に雌しべが成熟し、翌日の午後に雄しべが成熟するタイプ（A型）と午後に雌しべが成熟して翌日の午前中に雄しべが成熟するタイプ（B型）の品種がある。そして、このA型とB型の品種を混植しておくとお互いに受精の機会に恵まれ結実するようになる。しかし、このような雌雄性のサイクルは20～25℃で開花する時に認められ、これより低温になると、A型の品種ではサイクルが長くなってくる(3) (図1)。一方、B型の品種では‘ペーコン’を除くほとんどの品種で雌ずいの成熟時期がなくなる。このため、開花時期が低温になるような温帯ではA型の‘ハス’やB型の‘ペーコン’の栽培が適していると思われる。

開花時期に30℃前後の高温が続くとほとんどの亜熱帯果樹では花芽が落下したり、開花しても受精が抑制される傾向が見られる。ムラサキクダモノトケイソウでは高温になるほど結実率が悪くなり、果実中の種子数も少なくなる（表5）。この種では30℃下で開花すると花柱が直立したままで、そのような花は受粉しても落下してしまう（写真4）。チェリモヤは高温下で受粉するとほとんど着果しないと言われている。高温によって花粉の活性が著しく低下することがこのような受精阻害の原因の1つになっているのかもしれない(8)(図2)。いずれにしても、これまでの観察結果から判断して、多くの亜熱帯果樹の受精に好適な温度条件は20～25℃であると思われる。

表5. ムラサキクダモノトケイソウの結実率と種子形成に及ぼす温度の影響

| 温度 (℃) | 23 / 18 | 28 / 23 | 33 / 28 |
|---------|---------|---------|---------|
| 結実率 (%) | 94.1 | 70.6 | 52.9 |
| 種子数 | 126.5 | 159.9 | 85.7 |

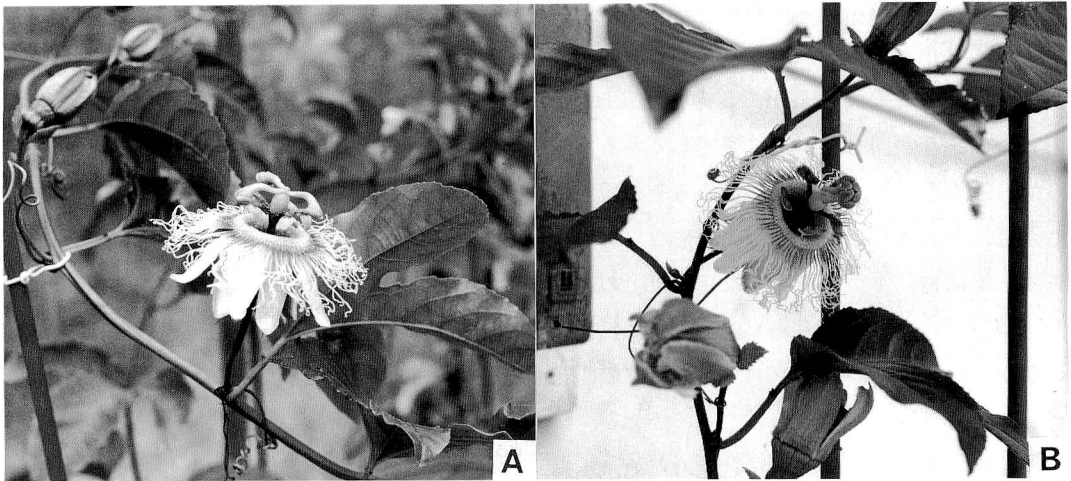


写真4. ムラサキクダモノトケイソウの雌ずいの開閉性.

- A. 正常花では開花後数時間すると雌ずいは開いて雄ずいに近づく
 B. 高温下に置くと雌ずいは直立したままで開いてこない

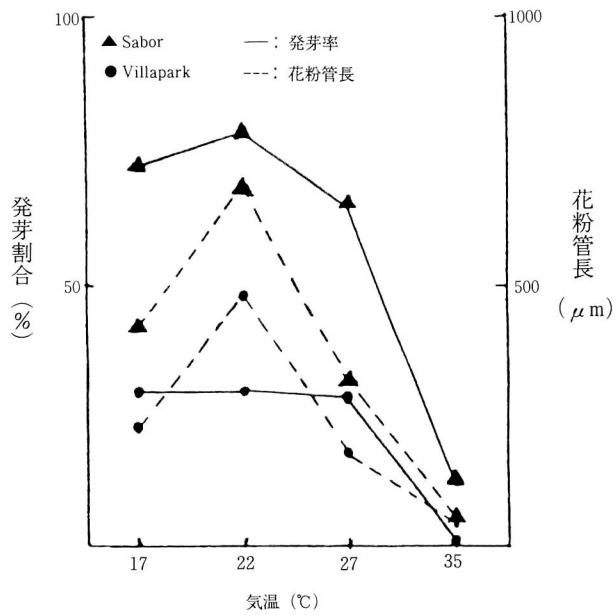


図2. チェリモヤの花粉発芽率と花粉管長伸長に及ぼす温度の影響.
 米本(8)より引用.

3. 果実の生長と成熟

温帯で亜熱帯果樹を生育させると数か月間に及ぶ果実生長期間中に温度条件が変化していき、季節的あるいは地域的なこの変化の違いが果実の収量や品質に何らかの影響を及ぼしていることが経験的に知られている。したがって、栽培地における適正な樹種や品種を選択し、良品質の果実を多く生産するためには、果実生長や成熟に及ぼす温度の影響を明らかにしておくことが大切である。しかしながら、亜熱帯果樹についてはこのような研究がこれまで余りなされていないのが現状である。

ムラサキクダモノトケイソウは開花後60～80日で収穫可能となるが、高温ほど成熟までの期間が短くなる。しかし、高温下では果実の肥大生長が抑制されたり、品質が低下してくる（表6）。一方、低温では成熟までの期間が長くなったり、酸含量が減少しにくくなり、この果実の生育や品質のためには25℃前後が好適と思われる。ストロベリーグアバ（赤紫色種：テリハノバンジロウ、黄色種：キミノバンジロウ）において果実肥大中期から温度処理を行なうと、果実肥大、収穫時期、品質などにその影響が見られた（図3、表7）。テリハノバンジロウでは高温よりも低温で果実重が優れたが、これは果実の肥大生長が遅くまで続けられたためと思われる。さらに、低温では糖含量が多くなり、着色も優れ果実の品質が良好となる。一方、キミノバンジロウでは低温で果実の肥大生長が抑制され、収穫時期も遅くなる。しかし、果実の品質には温度はあまり影響を及ぼさない。このようにわずか2例ではあるが亜熱帯果樹においても果実生長が温度の影響を受け、同時に、その影響の受け方が種類によって異なることが示された。

表6. ムラサキクダモノトケイソウの果実品質に及ぼす温度の影響

| 温度 (℃) | 23/18 | 28/23 | 33/28 |
|-------------|-------|-------|-------|
| 果実重 (g) | 37.8 | 36.8 | 23.5 |
| 果皮重 (g) | 20.8 | 16.5 | 10.7 |
| 果汁重 (g) | 10.4 | 13.0 | 8.6 |
| T S S | 16.1 | 17.4 | 13.5 |
| 酸(me/100ml) | 4.23 | 3.08 | 1.67 |

表7. ストロベリーグアバ果実の品質に及ぼす温度の影響

| 種 | 処理区 | 果実重 (g) | 可溶性固形物含量 (°Brix) | 滴定酸含量 (%) | アントシアニン (O.D., 520nm) | カロチノイド (O.D., 446nm) |
|--------|-----|------------|------------------|-----------|-----------------------|----------------------|
| 赤紫色果実種 | 低温区 | 10.8± 2.0* | 14.1± 0.5 | 1.03±0.04 | 0.71±0.05 | — |
| | 高温区 | 8.2± 1.2 | 9.4± 0.5 | 1.22±0.07 | 0.04±0.01 | — |
| 黄色果実種 | 低温区 | 18.4± 2.2 | 10.3± 0.5 | 0.99±0.05 | — | 0.19±0.03 |
| | 高温区 | 21.7± 1.4 | 10.5± 0.3 | 0.71±0.02 | — | 0.21±0.02 |

*平均±標準誤差

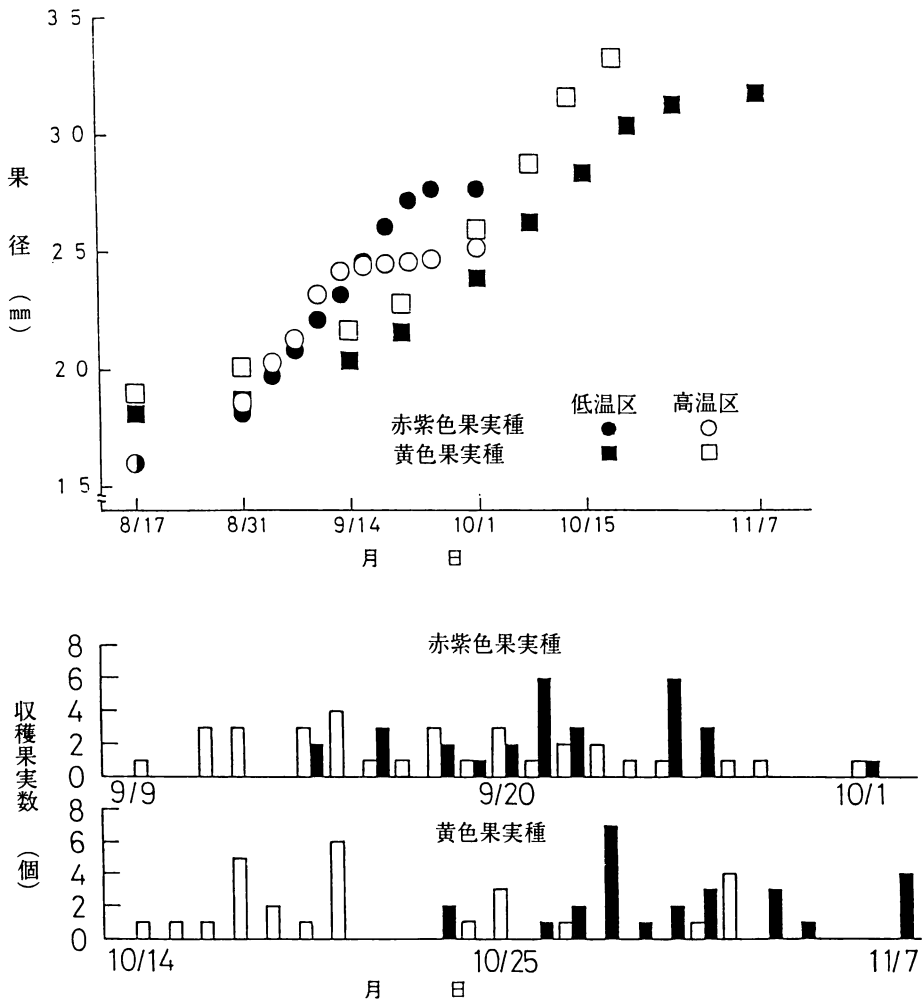


図3. ストロベリーグアバの果実肥大（上図）と収穫時期（下図）に及ぼす温度の影響.

これらの結果やこれまでの観察結果から、高温は果実の生育ステージを促進させ成熟を早めるが、果実の肥大生長や品質には余り良い影響を及ぼさないように思われる。一方、低温では果実の成熟が遅れるが、種類によっては品質が良くなる傾向が示されている。パパイヤやグアバの果実は成熟時に軽い低温ストレスを受けると品質が良くなるといわれており、成熟時に温度が低下し、それが軽いストレスとなるような場合は果実の品質が向上すると思われる。温帯で亜熱帯果樹を生育させると、普通は、高温な夏季に果実の肥大生長を行ない、その後成熟時期を迎えるようになる。したがって、成熟時になって高温が続くような条件下と、ある程度温度が低下する

ような条件下とでは、果実の品質が違ってくると考えられる。しかし、どのような低温が果実成熟に好適となるかについてはほとんどの果樹において明らかにされておらず、温度低下を利用して品質のよい果実を生産するためには、今後さらに、各果樹ごとに検討されなければならない。

京都におけるグアバやキミノバンジロウでは開花が5月中旬から始まり、それは1カ月以上続く。開花が早く行なわれ、比較的気温の高い10月中旬までに成熟時期を迎えるような果実は健全に発達して成熟する。しかし、開花が遅くなった果実は秋季になっても生育を続け、気温の低下とともにそれは緩慢になってくる。そして、平均気温が15℃以下となる10月下旬以降になると、果実は未熟なままでも着色して容易に落果しやすくなり、成熟が不十分になる。このような現象やキミノバンジロウの果実に及ぼす低温処理の結果は低温が果実の生長や成熟を阻害することを示している。ほとんどの亜熱帯果樹では10℃以下になると果実の生長は停止し、落果したり果皮が黒変したりするが、夏季から秋季にかけて開花した果実が冬季の低温に遭遇するとこのような低温障害が容易に発生してくる現象はよく知られている。したがって、開花時期が遅くなったり、あるいは、果実の生長期間が長いために果実を秋季や冬季の低温下で生長させなければならないような場合には、加温や保温などによってある程度以上の温度を確保する必要があるだろう。

このように温帯においては亜熱帯果樹の果実の生長や成熟は気温変化の影響を受け、それによって果実の品質が大きく左右されると思われる。特に、夏季を過ぎてからの気温低下は果実の成熟によい効果をもたらすが、反対にそれによって生長や成熟が阻害される危険性も大きいことが示され、果実が正常に発達していくためにはある程度以上の温度が必要であると思われる。

4. 耐寒性

亜熱帯果樹は無霜地帯であれば露地で栽培が可能であるといわれている。しかし、いくら暖かい地域といえども温帯では晩秋あるいは早春に降霜がある。また、冬季には氷点下以下にまで気温が低下することもある。亜熱帯果樹がこのような降霜や異常低温に遭遇すると凍害によって落葉、枝の枯れ込みなどが発生し、被害が大きいときには樹体全体が枯れ込んでしまう。さらに、冬季には冷たい季節風が吹き、落葉や枝の一部が枯死することもある。そして、低温が長期間続くと光合成能力が低下し、樹勢が低下するため、樹体は健全に發育しなくなる。このように、温帯では亜熱帯果樹は容易に寒害を受けやすい状況にあり、このことがこれらを栽培する上において最も大きな阻害要因の一つとなっている。したがって、温帯における亜熱帯果樹の栽培をより確実にするためにはこのような降霜や低温から樹体を守ることが大切となり、寒害を回避したり、耐寒性を増大させるような栽培方法の確立が望まれる。

1) ハードニングと寒害

植物は、気温が低下するようになると、その生長を停止して木化させたり、体内の代謝を変化させて糖、脂肪酸、アミノ酸などをより多く蓄積して、更に気温が低下しても生存できるようにする機能を持っており、このようにして耐寒性を増大させてゆく現象をハードニングという。そ

して、気温の変化に敏感に反応してより高い温度においてこのハードニング効果が得られるほど耐寒性は強くなる。しかし、亜熱帯果樹の中でも比較的耐寒性が強いといわれているアボカドでは15℃以上ではハードニングの効果が得られず、10℃以下の温度にあわなければ耐寒性は得られない(7) (表8)。地下部を5℃の低温にすると水ポテンシャルが低下し、糖含量が増加して耐寒性はかなり増加する(7) (表9～11)。おそらく秋季から冬季にかけてかなり気温が低下する時期になってからでないと亜熱帯果樹の耐寒性は増加しないと思われる。

しかし、このようにして得られる耐寒性の強さは樹種、樹齢、組織の齢などによって異なる。アボカド、フェイジョア、ムラサキクダモノトケイソウ、ストロベリーグアバナなどは非常に耐寒

表8. 樹体の温度環境がアボカドの耐寒性に及ぼす影響

| 温度区 | 葉の枯死率 (%) | 茎の枯死率 (%) |
|----------|--------------|--------------|
| 対照区 | 100 | 80 |
| 20℃/15℃* | 100 | 96 |
| 15℃/10℃ | 75 | 68 |
| 10℃/5℃ | 88 | 50 |

*昼温/夜温
山田(7)より引用。

表9. 地下部の温度環境がアボカドの葉の水ポテンシャルと蒸散に及ぼす影響

| 地 温 | 葉の水ポテンシャル (bars) | | 蒸散抵抗 (s/cm) | | 蒸散速度 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$) | |
|-----|---------------------|----------------|----------------|----------------|--|-----------------|
| | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 |
| 対照区 | -2.5 \pm 0.3* | -2.5 \pm 0.2 | 6.1 \pm 1.0 | 7.7 \pm 0.6 | 1.55 \pm 0.27 | 0.80 \pm 0.07 |
| 5℃ | -16.1 \pm 0.7 | -8.1 \pm 0.8 | 16.3 \pm 0.4 | 19.0 \pm 1.8 | 0.53 \pm 0.01 | 0.35 \pm 0.03 |

*平均±標準誤差
山田(7)より引用。

表10. 地下部の温度環境がアボカドの各組織の全糖とでんぷん、プロリン含量に及ぼす影響

| 組織 | 地温 | 全 糖 (乾物パーセント) | | でんぷん (乾物パーセント) | | プロリン (mg/g 乾物重) | |
|----|-----|------------------|---------------|-------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| | | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 |
| 葉 | 対照区 | 6.0 \pm 0.3* | 5.5 \pm 0.4 | 3.1 \pm 0.6 | 7.5 \pm 0.9 | 0.03 \pm 0.00 | 0.03 \pm 0.01 |
| | 5℃ | 6.5 \pm 0.3 | 6.7 \pm 0.1 | 4.7 \pm 0.1 | 6.2 \pm 0.7 | 0.05 \pm 0.01 | 0.04 \pm 0.00 |
| 茎 | 対照区 | 4.8 \pm 0.5 | 3.7 \pm 0.6 | 2.7 \pm 0.1 | 8.2 \pm 1.4 | 0.04 \pm 0.01 | trace |
| | 5℃ | 5.5 \pm 0.8 | 6.1 \pm 0.3 | 4.4 \pm 1.1 | 4.7 \pm 0.8 | 0.10 \pm 0.05 | 0.06 \pm 0.01 |
| 根 | 対照区 | 3.2 \pm 0.3 | 3.4 \pm 0.2 | 4.7 \pm 0.2 | 7.6 \pm 0.4 | 0.03 \pm 0.01 | trace |
| | 5℃ | 5.2 \pm 0.4 | 5.9 \pm 0.1 | 6.2 \pm 1.4 | 6.1 \pm 1.1 | 0.08 \pm 0.03 | 0.14 \pm 0.07 |

*平均値±標準誤差
山田(7)より引用。

表11. 地下部の温度環境がアボカドの耐寒性に及ぼす影響

| 地 温 | 葉の枯死率 (%) | | | | 茎の枯死率 (%) | | | |
|-----|-----------|-----|-------|-----|-----------|-----|-------|-----|
| | - 4 ℃ | | - 6 ℃ | | - 4 ℃ | | - 6 ℃ | |
| | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 | 10日 | 20日 |
| 対照区 | 33 | 7 | 100 | 100 | 1 | 0 | 100 | 99 |
| 5 ℃ | 16 | 30 | 68 | 100 | 0 | 1 | 30 | 58 |

山田(7)より引用.

性が強く、- 6 ~ - 7 ℃位まで耐えることができるが、レイシ、マンゴー、グアバなどはこのような低温に遭遇すると非常に大きな被害を受ける。そして、いずれにおいても樹齢が若くなるほど耐寒性は弱くなる。また、成熟した組織ほど耐寒性は強くなり、若い未熟な組織は容易に寒害を受ける。アボカドの1年生実生苗では、秋季に比較的温暖な条件が続き新梢が十分に充実していない状態であると、夜温が- 1 ℃に下がった程度で非常に大きな寒害を受ける。1958年にフロリダでは異常寒波によって多くの熱帯・亜熱帯果樹が寒害を受けたことが報告されている(1) (表12)。被害の程度は樹種によって異なるが、レイシやアセロラのような果樹では、生長を停止していた成木に比べ生長をすでに開始していた成木や若木において被害がより大きくなっている。このことは寒害の程度が生育状態によって異なることを示すものである。温帯では冬季の低温だけでなく秋季および春季の降霜によっても寒害を受ける可能性があり、樹体がどのような状態で低温や降霜に遭遇するかによって被害の受け方が異なってくると思われる。

表12. フロリダにおいて観察された熱帯および亜熱帯果樹の寒害程度 (1958)

| | |
|--|--|
| 温度条件：12月 9 ~ 12日 0 ℃以下 4時間 | |
| 1 月 8 ~ 9 日 2時間 | |
| 2 月 4 ~ 5 日 13時間 (最低気温 - 3.6 ℃) | |
| 1. 被害のほとんどなかった樹種 | |
| Strawberry guava, Feijoa, Indian jujube, Carambola (Purple passionfruit) | |
| 2. 被害が軽微であった樹種 | |
| Litchi*, Acelora*, Java apple*, Rose apple*, Tamarind* (Avocado, Cherimoya) | |
| 3. 被害が大きかった樹種 | |
| Sapodilla*, Jackfruit, Longan*, Guava (Mango, Yellow passionfruit) | |
| 4. 被害が甚大であった樹種 | |
| Cashew, Sugar apple, Atemoya, Soursop | |

*休眠期間中の成木は被害を受けないが生長をしている成木や若木は被害が大きい。
Ledin (1)より引用.

冷たくて乾いた季節風は葉に機械的な障害を与えるだけでなく、葉温を低下させ、その生理的機能を低下させる。また、亜熱帯果樹では冬季になっても日中は葉で蒸散が行なわれているが、地温の低下などにより吸収能力が低下しているため葉には水分ストレスが与えられ、離層が形成されやすくなっている。このような状態の葉に季節風が当たると葉は容易に落葉し、異常落葉の原因となる。したがって、季節風による寒害についても考慮する必要がある。

2) 土壌乾燥の効果

土壌乾燥によって植物体に適度なストレスが与えられるとその耐寒性が増加することが知られている。グアバにおいても土壌乾燥によって水ストレスを加えると－5℃下に置かれても枝の枯れ込みが著しく抑えられる(6) (表13, 14)。ストレスはある程度強い方が耐寒性の増加により効果的であるが、まだ枝葉が生長をしている時期から長期間にわたってストレスを与えるとその効果はなくなってしまう。耐寒性増大の効果は秋季からの土壌乾燥によって現われ始め、冬季になると短期間の土壌乾燥でも効果の得られることが示されている。このことから、気温が低下し始めると徐々に灌水量を減少させ、冬季にできるだけ灌水を少なくすれば耐寒性が増加すると思われる。

表13. 土壌乾燥の強さがグアバ実生の耐寒性に及ぼす影響

| 処 理 | 水ポテンシャル (-bars) | 枯れあがり程度(%)ごとの個体数 | | | | 枯れあがり 程度 ^y (%) | 葉の枯死 (%) |
|--------|--------------------|------------------|-----------|-----------|----------|---------------------------------|-------------------|
| | | 0 % | 0.1-9.9 % | 10-49.9 % | 50.0 %以上 | | |
| 乾燥処理 1 | 15.8 | 3 | 0 | 2 | 0 | 17.3 | 66.7 |
| 乾燥処理 2 | 29.5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 56.7 ^z |
| 対 照 | 8.7 | 0 | 0 | 1 | 4 | 63.7 | 100.0 |

^y程度は被害樹のみの平均。

^z乾燥処理中に14%の葉が枯死した。

Utsunomiya (6)より引用。

表14. 土壌乾燥の開始時期がグアバ実生の耐寒性に及ぼす影響

| 処 理 | 水ポテンシャル (-bars) | プロリン (mg/g fw) | 糖 (mg/g fw) | 枯れあがり程度 (%) |
|-------|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|
| 前期乾燥区 | 44.0±4.6 [*] | 0.40±0.10 | 64.6±4.6 | 64.1±23.6 |
| 中期乾燥区 | 30.9±7.2 | 0.72±0.25 | 81.0±9.2 | 5.6± 4.8 |
| 後期乾燥区 | 32.7±3.3 | 0.18±0.03 | 78.4±6.5 | 4.1± 3.5 |
| 対 照 区 | 6.6±0.9 | 0.23±0.16 | 63.7±4.3 | 48.6±20.5 |

乾燥処理. 前期：8月4日～12月23日，中期：10月15日～12月23日，後期：12月9日～12月23日。

^{*}平均値±標準誤差。

Utsunomiya (6)より引用。

3) 台木の効果

京都においてムラサキクダモノトケイソウの挿木個体とトケイソウを台木に用いた個体を無加温のビニールハウス内で越冬させると、挿木個体に比べて接木個体での葉はクロロフィル含量が多く保たれた(図4)。また、接木個体では寒害を受けた秋梢数も少なくなり、春には新梢の発生数が多くなり、形成される花数も多くなった(表15)。トケイソウはムラサキクダモノトケイソウに比べて耐寒性が優れており、それを台木として用いると何らかの作用を通じて穂木の耐寒性をも増加させると思われる。アボカドでは耐寒性の強いメキシコ系統の品種を台木に用いることによって温帯暖地での露地栽培が可能になったといわれている。台木利用による耐寒性の増大はオレンジ類においても報告されており、耐寒性の強い台木を見出して栽培に利用できるようにすることは温帯における亜熱帯果樹の栽培において非常に有効と思われる。

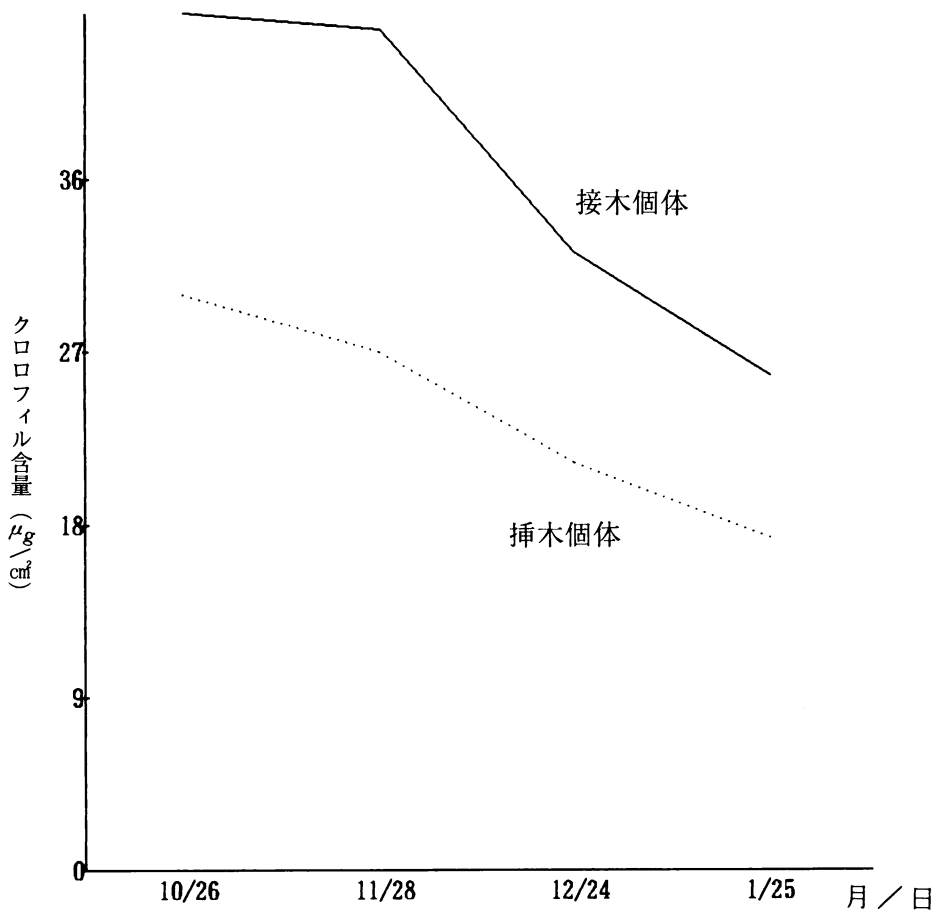


図4. 台木利用がムラサキクダモノトケイソウの葉のクロロフィル含量に及ぼす影響.

表15. トケイソウ台木がムラサキクダモントケイソウの新梢生長および開花に及ぼす影響

| | 秋梢の 発生数 | 秋梢の 伸長率 | 寒害を受けた 秋梢数 | 春梢の 発生数 | 着花した 枝数 | 開花数 |
|------|------------|------------|---------------|------------|------------|------|
| 接木個体 | 12 | 49.3cm | 2(16.0%) | 9.7 | 8.2 | 37.3 |
| 挿木個体 | 12 | 42.6 | 5(41.7%) | 8.3 | 5.3 | 20.5 |

4) N施肥の効果

レイシ、アボカド、マンゴーではN肥料を十分に与えないと耐寒性が弱くなることが報告されている。ムラサキクダモントケイソウにおいては冬季に無加温のままにしておくと葉のクロロフィル含量が減少していくが、秋季にN施肥を行なうと無施肥に比べてその減少量が少なくなる(図5)。そして、無施肥では葉が黄化していき、春になっても新梢はあまり発生しなかった。一方、N肥料を与えると春まで葉は緑色のままで、秋梢には寒害の発生が見られたものの、春梢

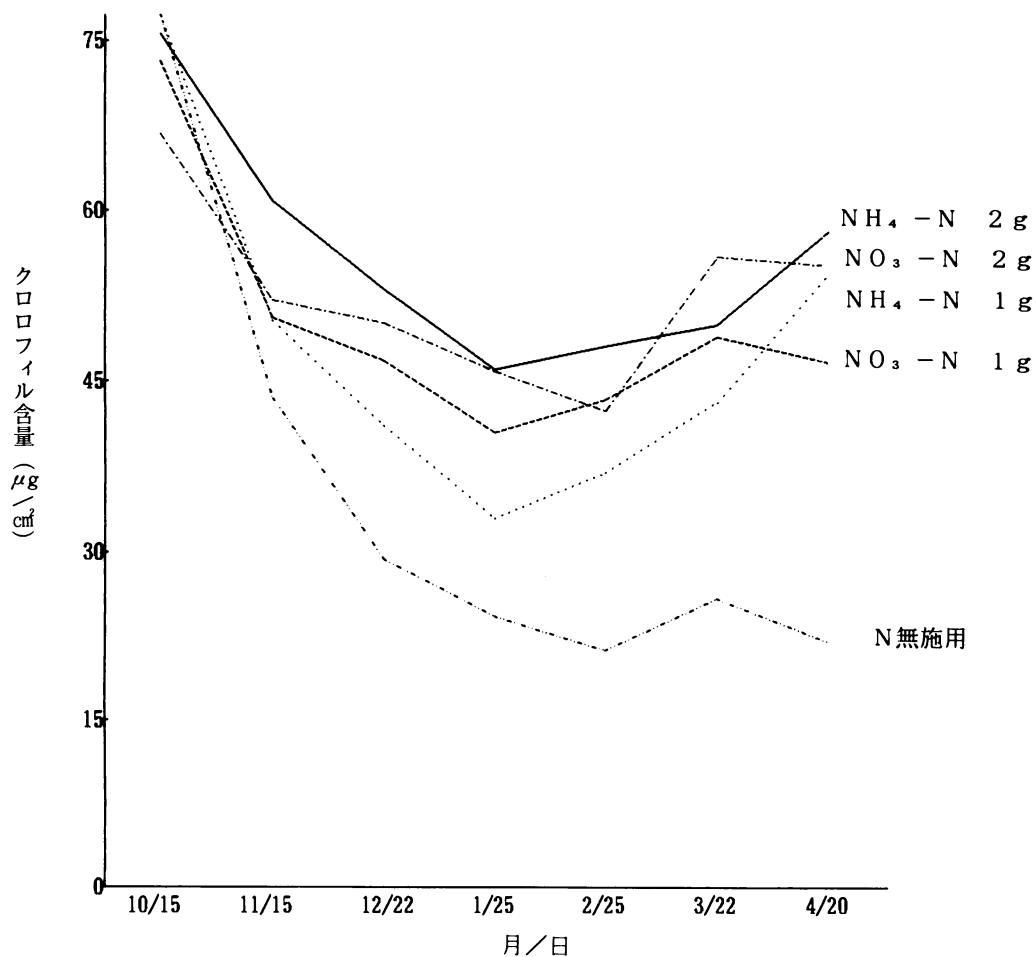


図5. N施用がムラサキクダモントケイソウの葉におけるクロロフィル含量に及ぼす影響。

表16. N施用がムラサキクダモノトケイソウの秋梢及び春梢の生長に及ぼす影響

| | | 秋梢発生数 | 秋梢伸長量 (cm／個体) | 秋梢における 寒害発生数 | 春梢発生数 | |
|---------------------|-----|-------|------------------|-----------------|-------|-------|
| | | | | | 全数 | 個体当たり |
| N H ₄ —N | 2 g | 15 | 132.6 | 3 | 69 | 13.9 |
| 〃 | 1 g | 14 | 106.0 | 3 | 74 | 14.8 |
| N O ₃ —N | 2 g | 12 | 115.2 | 1 | 60 | 12.0 |
| 〃 | 1 g | 12 | 122.2 | 6 | 64 | 12.8 |
| N無施用 | | 6 | 64.8 | 0 | 5 | 1.0 |

N施用は10月と11月に1 g及び0.5 gずつ行なった。

は多く発生した(表16)。レイシではNO₃-NよりもNH₄-Nがより耐寒性を高めるといわれているが、ムラサキクダモノトケイソウではそのような肥料形態による耐寒性の違いはあまり見られていない。いずれにしても、生長期にN肥料を十分に与えておいて樹体を充実させておくと、冬季の低温による寒害を少しでも軽くできると思われる。

耐寒性の弱い亜熱帯果樹を降霜や降雪のある温帯で栽培するためには、樹体を防寒するだけでなくその耐寒性を強めておく必要があろう。耐寒性は樹種によって異なっているが、それは生育状態や栽培環境などによっても変化する。気温の低下とともに亜熱帯果樹においてもハードニングによって或る程度は耐寒性を獲得するようになる。そして、生育期間中に十分に樹体を充実させておき、乾燥などによる適度なストレスを与えると更に耐寒性が強くなると思われる。また、生長している枝や葉は非常に耐寒性が弱いので、秋季から春季の降霜がなくなるまでの期間は生長を出来るだけ休止状態にしておくことも大切であろう。

5. 温帯での栽培の可能性

亜熱帯果樹における花芽分化、開花、結実、果実生長における温度要求性はそれぞれの樹種ごとに異なっている。しかし、一般に、高温が続くような条件下では、枝や葉の生長ばかりが行なわれ、開花・結実や果実生長が不良になるため栽培は非常に困難である。これに対して温帯では季節によって気温が変化し、それによって花芽分化に必要な温度条件あるいは結実や果実の成熟に適した温度条件などが得られるため、これらの栽培の可能性は十分にあると思われる。実際に、アボカドは静岡、和歌山、愛媛において栽培されており、マンゴー、チェリモヤ、グアバ、パッションフルーツ類なども栽培の可能性が示されている(写真5～7)。

しかしながら、温帯ではこれらを栽培する上において大きな制限要因となる冬季の低温や秋季及び春季の降霜などがある。これらの要因は落果や異常落葉を引き起こしたり、凍害によって樹体の一部あるいは全体を枯れ込ませてしまう。落葉や枝の枯れ込みが著しくなると、その後の開花や結実がまったく不可能となるために果実を生産することができなくなる。したがって、温帯において亜熱帯果樹の果実生産を確保するためには、まず、このような寒害を受けないような栽

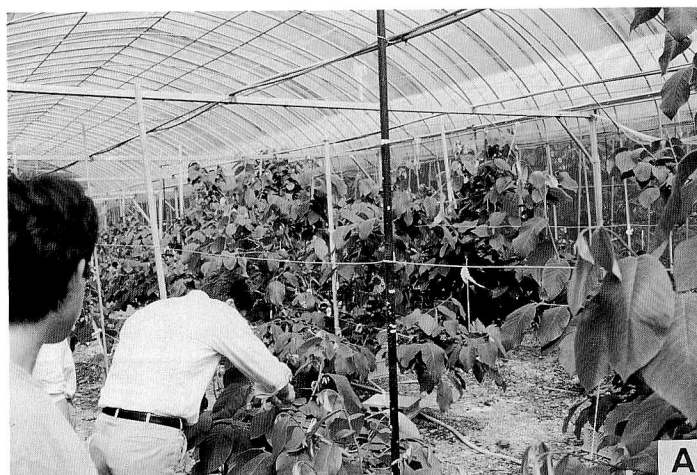


写真5. チェリモヤの栽培と結実状態（和歌山県において）.

A. 定植後1年目から開花結実するようになる

B. 結実状態

C. 落果防止のためネットで覆う



写真6. マンゴーの開花状態（和歌山県において）.

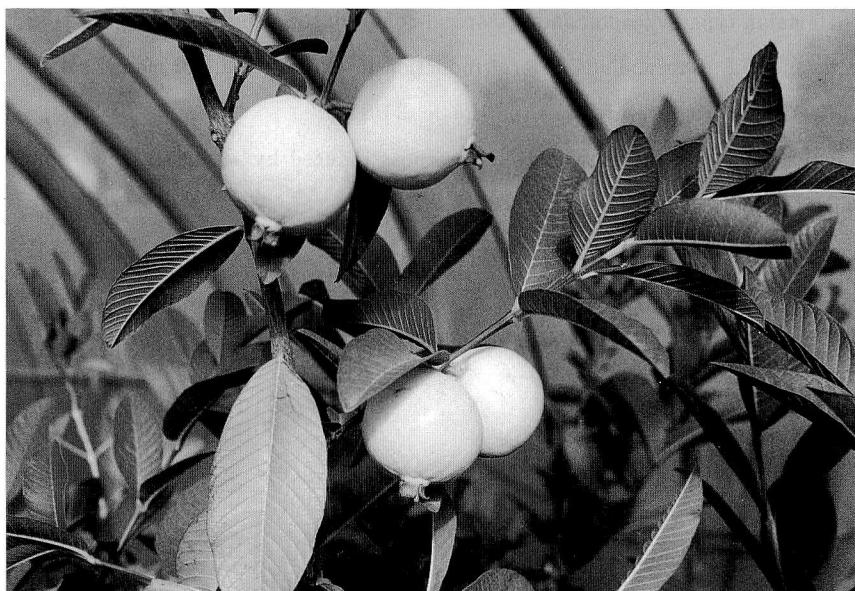


写真7. グアバの結実状態（京都において）.

培環境を作りだすことが大切であろう。

以上のように、栽培する樹種にもよるが、温帯のうち比較的温暖な地域であれば亜熱帯果樹の栽培は可能であると思われる。しかし、まだ亜熱帯果樹がそれぞれに持っている生理生態的な特性の不明な部分も多く、このような地域で栽培していくには解決すべき数多くの問題点が残されていることも事実である。今後は、これらの問題点を解決して温帯に適したそれらの栽培方法を確立する必要があるだろう。

引用文献

1. Ledin, R.B. 1958. Cold damage to fruit trees at the sub-tropical experiment station, Homestead. Proc. Fla. State Hort. Soc. 71:341-344.
2. Menzel, C.M. and D.R. Simpson. 1988. Effect of temperature on growth and flowering of litchi (*Litchi chinensis* Sonn) cultivars. J. Hort. Sci. 63:349-360.
3. Sedgley, M. and McE. Alexander. 1983. Avocado breeding research in Australia. Year Book Calif. Avocado Soc. 67:129-140.
4. Sedgley, M., P.B. Scholefield and D.McE. Alexander. 1985. Inhibition of flowering of Mexican and Guatemalan-type avocados under tropical conditions. Scientia Hortic. 25:21-30.
5. Shu, Z.H. and T.F. Sheen. 1987. Floral induction in axillary buds of mango (*Mangifera indica* L.) as affected by temperature. Scientia Hortic. 31:81-87.
6. Utsunomiya, N. 1988. Increase in cold hardiness induced by water stress in young *Psidium* seedlings. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 57:28-33.
7. 山田 寿. 1989. 熱帯・亜熱帯性常緑果樹の耐寒性に関する研究. 新潟大学農学部紀要. No.26, 1-92.
8. 米本仁巳. 1989. チェリモヤの施設栽培に関する研究. 第2報. 園学雑. 58 (別冊2): 174-175.