温暖化が果樹生産に及ぼす影響と適応技術

Effects of global warming on fruit tree production and adaptation techniques

杉浦 俊彦*・杉浦 裕義・阪本 大輔・朝倉 利員
Toshihiko SUGIURA*, Hiroyoshi SUGIURA, Daisuke SAKAMOTO and Toshikazu ASAKURA

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所
National Institute of Fruit Tree Science

摘　　要

他の農作物と比べ、果樹は温暖化により大きな影響を受ける。本稿ではその影響の現状や適応技術等について報告する。リンゴ、ウンシュウミカン、ブドウの果実着色不良、果実軟化、貯蔵性低下、ほとんどの樹種で発生する日焼けなどの果実障害の問題がすでに顕在化している。また、休眠期の温暖化により、施設栽培での発芽不良、地域によっては凍霜害などが増加している。このまま、対策をとらなければ、栽培適地が北上し、今世紀後半には現在の主産地で栽培が難しくなることも考えられる。したがって、これらに対し、品種や栽培技術による様々な対策が研究、実施されている。

キーワード：休眠、着色不良、適応策、凍霜害、日焼け
Key words：endodormancy, coloring disorder, adaptation techniques, freezing injury, sunburn

1. はじめに

農業は気象環境への依存性が高い産業であり、農業技術が進歩した現在でも、年々の豊凶や品質の良否は、多くの部分がその年の気象条件に左右されている。とりわけ、果樹は北のリンゴ、南のミカンというように気候を選ぶ作物であり、北海道から沖縄まで栽培可能な水稲と比べると、気候への依存度は非常に高い。

温暖化に関する最新の科学的知見をとりまとめているIPCCは、2007年の「第4次評価報告書」で、過去100年間に、世界平均気温が約0.7℃上昇したと報告し、温暖化はすでに始まっているとしている。気候に敏感な果樹生産においては、すでにその影響が顕在化している。すなわち果樹への影響を考える場合、温暖化は決して遠い未来の問題でも、外国の出来事でもない。温暖化は現在、国内で起きている問題である。ここでは、顕在化している果樹への影響や、将来の影響予測および対策について検討する。

2. 果樹生産の気候変動に対する脆弱性

果樹は他の作物と比べ、気候に対する適応性の幅が狭い。例えば、水稲や野菜など一年生作物では気温の影響を受ける期間が短い。春に播種し夏季に収穫する作物であれば、播種期を早めることにより全体に作期を前進させれば基本的に温暖化に対応できる。降水量など気温以外の気象要素との相互作用や、他作物との作付け体系の問題があるので簡単にはいかない場合も多いが、気候変動の影響を緩和する手段として、作期移動は有効な方法である。一方、永年性作物である果樹は毎年、播種することはしないため、播種期を変えることによって人為的に作期移動することはできない。しかも生育期だけでなく、休眠期も明確な温度反応があり、温暖化の影響は年中受けることになる。

また、永年作物である果樹は一度栽植すると、数十年間は同一樹での生産を続けなければ経営的に不利となる。樹種にもよるが、30年以上栽培することは珍しくない。したがって、果樹は他の作目と比べて温暖化の影響が著しい上に、他の作目より10年以上早くからその対策をとる必要がある。

3. 温暖化の影響の顕在化

筆者らは、温暖化の影響を網羅的に明らかにすることを目的として、すでに顕在化している温暖化の影響およびその対策についてのアンケート調査を各都道府県の農業関連研究機関を対象に実施した[1),2)]。調査の結果、果樹については全47都道府県から何らかの影響が報告された。他の作物についても温暖化が原因で発生している現象がひとつでもあるとし

受付；2008年12月22日，受理：2009年5月7日
* 〒305-8605　つくば市藤本2-1，e-mail：sugi@affrc.go.jp

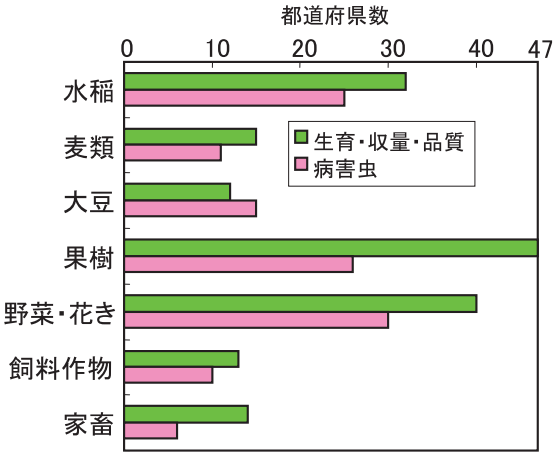


図１　温暖化が原因で発生・増加している現象がひとつでもあるとした都道府県数.

た都道府県数は、野菜・花き９割、水稲７割であった(**図１**)。果樹などではその影響はすでに全国に広がっていることが明らかとなり、また、稲作・畑作・畜産のいずれにおいても、温暖化による様々な影響が生産現場ですでに顕在化している。

わが国の果樹栽培面積は1950年頃から急増し、ピークを迎える1975年頃までに約３倍になった[3]。このころまでに多くの果樹産地が形成されたと考えられるが、わが国の気温は1990年代以降、顕著に上昇している[4]。近年の温暖化の影響の顕在化は、この産地形成後の気温の変動が基本的な原因になっている可能性がある。この気温上昇は、北日本、東日本、西日本、南西諸島のいずれにおいても同程度であり[4]、地域によらず、全国的に影響が現れたことと一致している。

具体的な影響は以下に詳細を示すように、開花の前進、着色不良、果実品質の変化、気象災害の変化等である。

3.1　発芽・開花における影響

温暖化の影響として各地でみられるのが、発芽・開花期の前進である。春季あるいは自発休眠覚醒後の気温が高いと発芽・開花期が前進することは、樹種によらずよく知られている。秋冬季の高温は落葉果樹の自発休眠覚醒を遅延させ、発芽・開花期を遅延させる可能性もあるが、日本では露地栽培において、発芽・開花期が遅延しているという報告はほとんどない。しかし、低温期間が短縮する加温施設栽培では、自発休眠期の低温不足が顕在化しており、加温栽培が盛んな落葉果樹であるブドウ、オウトウ、ニホンナシ、モモにおいて、施設内における自発休眠覚醒遅延や発芽不良が指摘されている。亜熱帯地域で温帯果樹を生産している場合には露地栽培でも自発休眠覚醒不良が顕在化している場合があり[5]、わが国でも、今後、自発休眠覚醒不良について注視する必要がある。

カンキツでも、花芽分化するためには低い温度が有効である[6),7)]。施設内で発芽不良が発生している。

3.2　果実着色の不良、遅延

アントシアニンやカロテノイドといった色素により果皮が着色する果実では、リンゴ[8),9)]、ブドウ[10),11)]、カキ[12)]、ウンシュウミカン[13)－15)]などで、高温によって果皮の着色が遅延もしくは阻害されることが知られており、この現象が各地の生産現場において発生している。着色不良は温暖化の果樹への影響でも最も大きな問題といえる。

一方、ニホンナシ、ウメ、モモなどのように、特定の色素の発現よりも、クロロフィルの消失が熟期の判断材料として重要であるものは、果実着色の遅延・不良が目立ちにくい。このような特定色素の発現が顕著でない樹種では、収穫期が前進傾向である。これは開花期が前進した結果、果実の発育ステージ全体が前倒しに進行し、成熟期の早期化として現れているものと推察される。

特定の色素の発現が明確なリンゴ、カキ、ブドウ、ウンシュウミカンでは、開花期の前進にもかかわらず、成熟期は必ずしも前進していない。リンゴやカキでは、開花期が早いほど、収穫までの日数が長くなるという報告もあり[16),17)]、温暖化により、これらの樹種では果実の生育期間が延長している。この理由として、リンゴ、カキ、ブドウ、ウンシュウミカンなど、盛夏期以降に成熟する樹種は、開花期が前進し、発育ステージが前倒しになると、その分、着色期が高温期に遭遇することになる。しかも、温暖化により、果実生育期間全体が高温になっている場合がある。この２つの理由により、色素の発色が遅延し、果実の生育期間が延長することが考えられる。

以上のことから、温暖化の影響は大きく２つの類型に分類できるものと考えられる。すなわち、ニホンナシ、モモ、ウメなどは、開花期と成熟期がともに前進する、果実生育期前進型である。一方、リンゴ、カキ、ブドウ、ウンシュウミカンなどは、開花期が前進する一方で、必ずしも収穫期は前進しない、果実生育期延長型である(**図２**)。

3.3　果実品質等に関する影響

果実品質に関する変化は、果実生育期前進型よりも、果実生育期延長型で顕著である。果実生育期が長くなれば、その分、大玉化する可能性があるため、リンゴ、カキ、ウンシュウミカンなどの生育期延長型では大玉化が指摘されている。これはウンシュウミカンのように大玉が好まれない果樹を除けば、有利な販売につながる。

果肉軟化および貯蔵性低下についても、生育期延長型のみに発生しており、生育期間の延長がこれらの大きな要因のひとつと考えられる。

リンゴ[18)]やカンキツ[14),15)]の減酸およびカキの脱渋[12),19)]は、果実生育期が高温になると促進される傾向がある。食味の向上にもつながるそれらの現象は

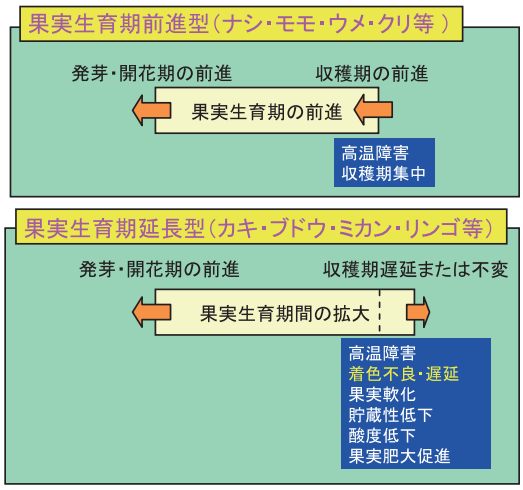


図２　温暖化が果実に与える影響.

生育期延長型で顕在化しており、減酸や脱渋の促進は高温で果実の生育期間が長くなっていることで発生していると考えられる。一方、果実の日焼けについては、果実表面温度の上昇が主な原因である。気温の上昇が表面温度上昇を助長している可能性があり、このような高温の直接の影響については両タイプの樹種ともに発生する。

その他の果実への影響としては、ニホンナシおよびモモ果実のみつ症やブドウの縮果症の発生増加が顕著である。ニホンナシ「新高」では８、９月の高温・乾燥がみつ症発生の重要な要因であり[20]、これが近年のみつ症多発の原因であると推察される。「豊水」でも、幼果期の高温がみつ症の原因のひとつであり[21]、このため、温暖化で発生が増加する可能性はある。しかし、「豊水」の場合、夏季の低温も原因のひとつと報告されており[22]、単純ではない。

モモのみつ症の発生原因については不明な点が多く、明確ではないが、成熟期の高温も発生に関与している可能性が指摘されている[23]。ブドウの縮果症の発生原因もまだ明確になっているとはいえないが、高温の関与が示唆されている[24),25]。

カンキツでは、ウンシュウミカンの生理落果と浮皮が増加している。生理落果に対する気象の影響は単純ではないが[26]、高温がひとつの要因となっている[27]。浮皮については、完全着色に近づくにつれて増加が目立つことから[28]、果実生育期間の延長が原因のひとつであると推察される。

3.4　気象災害等に関する影響

比較的低温に弱く、低温障害が栽培地域の広がりを阻害していた常緑果樹やイチジクでは、凍害が減少し、温暖化による大きなメリットとなっている。一方、落葉果樹では、凍害の増加も指摘されている。耐凍性の誘導には秋季の低温が必要なこと[29]や、いったん耐凍性が高まっても数日の高温で低下する[30),31]ことから、暖冬が凍害を増加させていると推察される。また、地際部は生理的に樹体の中で耐凍性が低い部位であるが[32]、積雪の減少により、この部分が保温されにくくなることも、凍害発生の原因となっている可能性がある。

落葉果樹の晩霜害は、東日本以北で増加が指摘されている。降霜期よりも発芽・開花期が遅ければ晩霜害は発生しない。この降霜期と発芽・開花期の関係は気象条件により異なるため、晩霜害の発生頻度には地域差がある[33]。そのため、気候の変動により、以前より発生しやすくなる地域と、発生しにくくなる地域が、樹種ごとに分かれると推察される。今後は、危険性が増減する条件を詳細に検討してゆく必要がある。

果樹の雪害は樹上の積雪荷重や積雪の沈降荷重が主原因である[34]。気象庁は、多雪地域である日本海側の年最深積雪の変化を分析し、1990 年代の初め以降、北日本ではわずかに減少し、東日本と西日本では大きく減少したとしている[4]。また、降雪量は東日本で急減しているが、北日本では微増した[35]。一方、果樹の雪害も北日本では変化が小さいが、東日本、西日本では減少傾向にあり、降雪量の変化を反映していると考えられ、温暖化のメリットのひとつとなっている。

樹体や葉の日焼けの増加が顕著であるが、盛夏期における枝幹の温度や葉温の極端な上昇は樹の日焼け[36]あるいは葉やけ[37]の主要な原因である。温暖化に伴い、極端な高温日の増加がその被害を助長しているためと推察される。

4.　栽培適地に関するシミュレーション

以上のように果樹は温暖化の影響を強く受けるため、栽培適地が変動する可能性がある。果樹では伝統的に年平均気温で適地を推定してきた歴史があり、気象変動予測値から、ある程度推定できる。そこで農業環境技術研究所が開発した「気候変化メッシュデータ」を用いて、ウンシュウミカンとリンゴの栽培環境の変化を試算した[38]。

4.1　シミュレーション

ウンシュウミカンの栽培適温は年平均気温 15℃～18℃と仮定した。これはウンシュウミカン栽培に適する地域に係る年平均気温として「果樹農業振興基本方針」に示されている温度域である。この温度域は現在、南関東以南の太平洋・瀬戸内海の沿岸部および九州の沿岸部が主に該当し、ウンシュウミカンの主産地とおおむね一致している(**図 3**)。年平均気温 15℃以上となる地域は 2020 年代には山陰地方を中心とした本州の日本海側にも出現し、2040 年代には関東および北陸の平野部全域が 15℃以上となり、2060 年代には南東北の沿岸部まで広がる。一方、南西諸島を除くと現在、18℃以上の地域は九州の南端部のみであるが、この地域は徐々に北上し、2060 年代には現在のウンシュウミカン主産地のほ

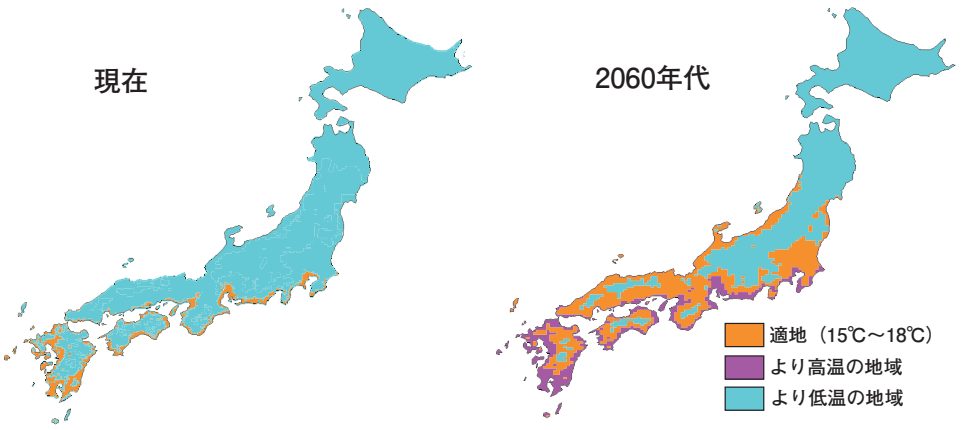


図３　温暖化によるウンシュウミカン栽培適地の変化.

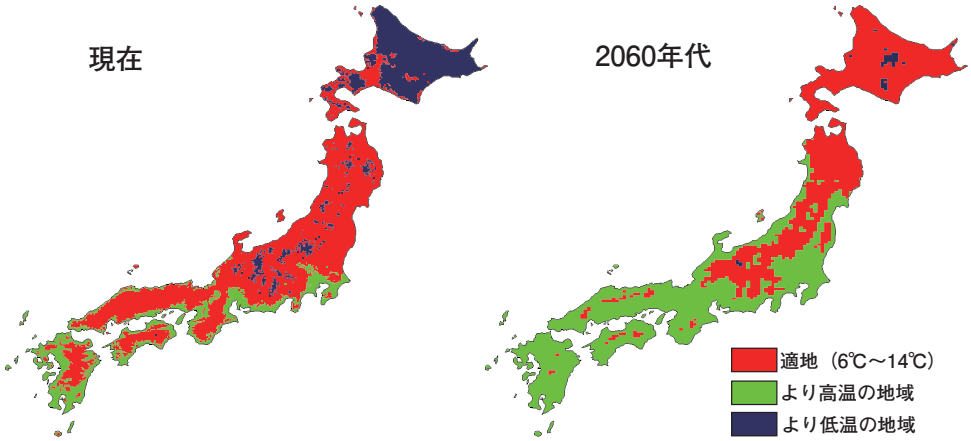


図４　温暖化によるリンゴ栽培適地の変化.

とんどが現在の鹿児島市と同等か、より高温になる可能性がある。

リンゴ栽培に適する地域に係る年平均気温として「果樹農業振興基本方針」に示されている温度域は6℃～14℃である。現在この地域は道北、道東および西南暖地の平野部を除く広い地域に広がっているが、2040年代に東北南部、2060年代には東北中部の平野部まで14℃以上となる一方、北海道はほぼ全域が適地になると予想される(**図4**)。

4.2　予測の精度と留意点

以上のウンシュウミカン、リンゴに関する適地変動のシミュレーションは、このまま何もしなければ少なくとも今世紀後半には、各産地で甚大な影響を受ける可能性を示している。しかし、これは果樹生産に与えるインパクトを概観したものに過ぎず、実際には、果樹の栽培適地が年平均気温のみで決まるわけでは決してないため、栽培適地がこのように変動してゆくわけではない。例えば、ウンシュウミカンでは収穫期に降水量が多いと果実が必要以上に吸水し、糖度が低下し、浮き皮の発生原因にもなる。高品質果実を生産するには、収穫期の多照、小雨は重要な条件である。この観点でみると山陰、北陸地方は秋季の多雨が問題となりそうである。

果樹の適地判定に関する研究は、1960年代を中心にわが国の果樹生産が急速に拡大していく過程で進められてきた。年平均気温の他にもいくつかの指標が適地判定に利用されている。この中で生育期(4月～10月)の平均気温、温量指数、積算気温などは、果実が正常に生育、成熟するためにはどのくらいの期間および気温が最低必要であるかを示す指標であり、主に北限の推定に有効なものである。また果樹は永年作物であるので、生育期の温度のみならず、厳冬期の低温の極温が北限の推定には必要な指標である。樹種・品種にはそれぞれ固有の耐凍性があり、また冬季に果実があるカンキツでは果実の低温限界も適地判定の指標として必要である。

一方、南限については、樹種・品種に固有の低温要求性を満足させる低温が必要条件のひとつとなっている。またリンゴやウンシュウミカンは高温によって果皮の着色が抑制されることから、着色期の気温が南限を決める重要な要因のひとつである。

上記のシミュレーションでは、北限および南限双方の推定が同時にできる比較的簡便な指標として年平均気温を用いたが、より詳細な予測を行っていく

上で、果実生育期間の温量、着色期の低温、厳冬期の低温の極温、芽の低温要求性等の果樹栽培に必要な条件を網羅的にかつ慎重に検討していくことが肝要である。さらに温度だけでなく、降水量、日射量、二酸化炭素濃度など、果樹の生育に深く係る気象要素の検討も必要である。

また将来の栽培適地判定を行おうとする場合、これらの北限、南限に係る要素をそれぞれ独立に検討するだけでは不十分である。例えば、温暖化によって開花期が前進すれば、果実の着色期、成熟期、休眠導入期、耐凍性の獲得時期なども変化する可能性があり、その相互の関係も検討する必要がある。以上については今後の検討課題である。

5. 温暖化適応策

ここまでで、温暖化の影響はすでに現れていること、将来的には適地が移動する可能性があることを示した。しかし、この適地北上の予測は、現状の品種、栽培技術のまま変化しないことが前提である。果樹は植え替えが難しいだけでなく、産地ごとのブランドが確立しており、容易に別の樹種や作物に変更はできない。したがって、今後、温暖化に対応し、現在の産地がそのまま継続できる技術の確立が期待されている。

温暖化は始まっているといっても、実際には温暖化の影響が毎年確実に大きくなっているわけではない。気象には年々変動があるからである。高温による被害は過去にも当然発生していた。現在ではその頻度や程度が増しているということであり、被害がでない年や、逆に低温の被害が多発する年もある。高温対策については、かねてより各地の試験研究機関や生産の現場等で研究・実践されてきた。これらを温暖化対策として活用できる場面は多いと考えられる。なお、このような温暖化の影響に対する対応策は、温暖化適応策と呼ばれる。

5.1　休眠期の低温不足への対策

加温施設における基本的な発芽・開花不良対策は、温度観測により低温要求量を満たしたことを確認してから、加温開始することである。自発休眠覚醒後、ただちに加温開始し、開花期を遅らせないようにするためには、自発休眠覚醒期の推定精度を高める必要がある。

眠り症と呼ばれるハウスニホンナシの開花不良(**図 5**)は、樹勢低下の園に発生する傾向があるので、一時的な露地栽倍への転換、土づくり、土壌改良による細根の増加と活性化等により樹性回復、強化を図る必要がある。

5.2　果実着色の不良、遅延への対策

果樹の着色の不良対策として、着色のよい品種や系統、着色時期が早い品種の導入がある。着色は低温の他に、光線が重要な要因となっているので、反射マルチ敷設による受光状態の改善が有効である。果実表面を緑色にしている葉緑素が消失しやすいように、施肥法や施肥時期の改善による窒素の遅効き防止や、排水をよくし、土壌を乾燥させることも効果がある。園地の温度を下げるために、散水や、噴霧、草生栽培などが検討されている。傾斜地ではより標高の高い場所に栽植するのも当然、有効な方法である。加温施設栽培では、梅雨期までに収穫する作型や熟期が遅い作型など、低温期に収穫する作型を取り入れる。リンゴでは袋掛け、カキやブドウなどでは環状剥皮(**図 6**)によって色素の原料となる光合成産物の果実への流入を促すのも着色対策として有効である。

図 5　ニホンナシに発生した発芽不良(手前の樹).

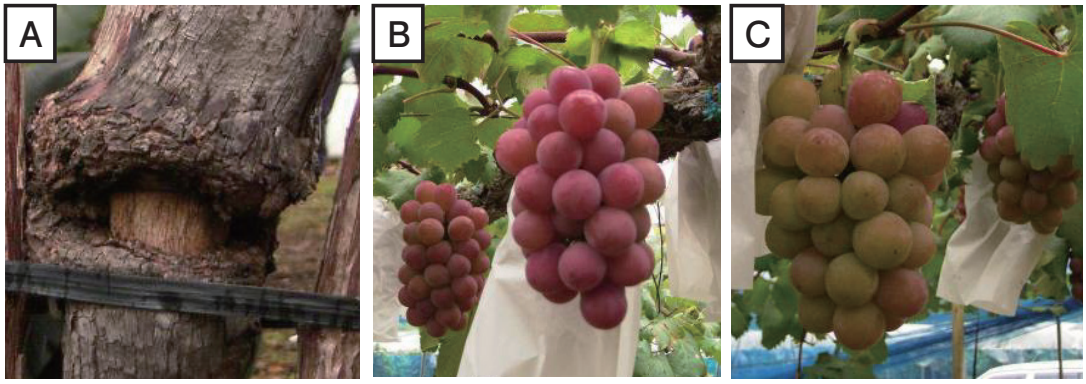


図 6　環状剥皮(A)とその効果(B).((C)は無処理，品種は「安芸クイーン」)

5.3　果実品質等に関する影響への対策

果実生育期延長型果樹は着色の遅延が大きな原因であるため、前述の着色対策が、有効な対策となる。また適期収穫の徹底あるいは早めの収穫に努める。リンゴ等では果肉の成熟を遅らせる効果があるとされるカルシウム剤の葉面散布などが行われている。また将来的には開花遅延技術の検討も必要である。

果実の成熟・老化や軟化の促進には、果実自体が発生させるホルモンのエチレンが関与している。近年開発されたエチレンの作用抑制剤を利用した貯蔵法などが検討されている。貯蔵果実は出荷前に光センサーによる全量検査や、貯蔵中に定期的な品質検査を行う努力も必要である。

日焼けのように果実が高温になることによる直接の障害に対しては、遮光率の高い果実袋の使用、新梢を多く配置し、果実に直射日光、特に西日を当てないようにする。ブドウのハウスでは棚面と被覆との間隔を広くする。カンキツでは樹冠上部摘果や表層摘果により、日陰になりやすい部分に多くの果実を着果させることが検討されている。樹に水ストレスがかかると葉や果実の気孔が閉じて蒸散がなくなり、このことが果実温度を高めることになる。したがって日焼けの危険がある時期は、土壌を乾燥させないよう注意する。

モモのみつ症対策としては、高果実温対策の他、みつ症が発生しやすい大玉生産を抑制する、果肉硬度が2kgになるまでに収穫するなどがある。

ナシの新高では、収穫前1カ月間や開花後1カ月間の高温によるみつ症に対しては、収穫前の遮光資材による遮光や、かん水により水ストレスを与えないことが対策として有効である。

ウンシュウミカンの浮皮に対しては、着色対策の他、房状着果等による大玉抑制（大果は果皮が厚く浮皮になりやすい）、果実温度を低下させる表層摘果、樹冠上部摘果、蒸散を促進するためのカルシウム剤散布（粒子が果実の気孔に入り込み、気孔が閉じるのを阻害する）、着色促進効果のあるエチクロゼートの葉面散布、完全着色を待たずに早期に収穫すること、「石地」、「させぼ温州」など浮皮が発生しにくい品種の導入などが対策として検討・採用されている。

5.4　気象災害等に関する影響への対策

主幹部に日射が当たると、表面の温度は気温に比べて著しく高くなる。このようなことが低温順化期に起これば、樹幹日射面の耐凍性増大が遅延することになるし、脱順化期に起こった場合には、樹幹日射面の耐凍性は急速に低下することになる。したがって、暖冬時には低温順化期と脱順化期のいずれにおいても、樹幹日射面（南西面）は凍害を受けやすくなるものと考えられる。

この問題を緩和するため、白塗剤の塗布が有効である。日射面の温度は樹皮の色によって影響を受け、光吸収が多い色ほど樹温は高くなる。モモ樹がリンゴ樹より日射面の凍害を受けやすいのは、樹皮の色が赤みを帯びていることにより光を吸収しやすく、樹温が高くなるためと考えられる。白塗剤は光の吸収を低下させる。また白塗剤は主幹部や太枝の日焼け防止にも有効である。

このほか、ワラや遮光資材（反射マルチや段ボールなど）で主幹部を被覆すれば日射を遮ることができるほか、接ぎ木部の保温にも有効である。

クリでは、暖冬が引き金となって早期に吸水を開始してしまった個体は凍害を受けやすくなると考えられている。そのため、凍害の予防策として、断根処理（株ゆるめ処理）や吸水阻害物質の土壌処理（糖蜜処理）など人為的に吸水を阻害する方法が開発されている。またモモでは、吸水を遅らせるために、自発休眠覚醒が遅い台木の普及が始まっている。

その他、凍害対策として、樹体への貯蔵養分蓄積を増加するような肥培管理は重要である。また、主幹部のせん定傷を減らすようなせん定法、樹幹病害虫対策の強化、排水対策の徹底、施肥法の改善による窒素の遅効き防止等も対策として考えられる。

晩霜害対策としては、防霜ファンの設置、資材の燃焼による加温、スプリンクラー等による散水、開花期の遅い品種の導入、被害を受けた場合は人工受粉の徹底などがある。

6.　結論

果樹に対する温暖化の影響は甚大である。今後は、温暖化の進行に応じて、樹種更新も含めた対策技術の導入や適応品種の開発をはじめとしたより効果的な対策技術の開発を進めることが重要であることは明らかである。温暖化はグローバルな問題であり、世界各地で同様な事態が発生していると考えられる。我が国においては、今後、温暖化のメリットを十分生かしつつ、問題点にいち早く対応してゆけば、国際競争において有利に販売戦略を展開する商機でもある。生産者のみならず、農業をとりまく業界、研究機関、指導機関、行政など各方面での積極的な対応を期待したい。

引用文献

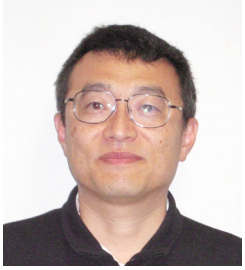
1）杉浦俊彦・住田弘一・横山繁樹・小野 洋（2006）農業に対する温暖化の影響の現状に関する調査．研究調査室小論集，7，1-66.（http://www.fruit.affrc.go.jp/kajunoheya/ondan/ondanka.pdf）

2）杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義（2007）温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状．園学研，6, 257-263.

3）農林水産省（1994）果樹生産出荷累年統計．農林統計協会.

4) 気象庁(2005)異常気象レポート 2005．気象庁，145-165.
5) 本條 均・杉浦俊彦・朝倉利員・F. G. Herter・G. B. Leite・J. L. Petri(2006)冬季の温暖化が落葉果樹栽培に及ぼす影響－(6)ブラジル南部におけるニホンナシの開花異常現象．農業気象講演要旨，78.
6) 井上 宏(1990)ウンシュウミカンの芽の休眠と花芽分化の温度条件．園学雑，58，919-926.
7) 大垣智昭・伊東秀夫(1972)温州ミカンの花芽分化誘起条件としての冬の低温．農及園，47，1455-1457.
8) Albrigo, L.G. and N. F. Childers(1970)Effect of succinamic acid, 2-2-dimethyl hydrazide and late-season night temperature on the maturity indices of 'Stayman' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*., 95, 482-484.
9) Creasy, L. L.(1968)The role of low temperature in anthocyanin synthesis in 'McIntosh' apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci*., 93, 716-724.
10) 内藤隆次・山村 宏・村田清美(1986)ブドウ‘巨峰’果実の着色に及ぼす気温および日照の影響．島根大農研報，20，1-7.
11) 苫名 孝・宇都宮直樹・片岡郁雄(1979)樹上果実の成熟に及ぼす温度環境の影響－(2)ブドウ‘巨峰’果実の着色に及ぼす樹体及び果実の環境温度の影響．園学雑，48，261-266.
12) 中条利明・橋本忠幸・葦澤正義(1973)カキ果実の生長，品質に及ぼす温度の影響－Ⅱ果実肥大期における昼夜温処理．香川大農学報，25，25-34.
13) 井上 宏･銭 長発(1988)生理落果終了後のウンシュウミカン果実の肥大と品質に及ぼす温度の影響．香川大農学報，40, 31-36.
14) 栗原昭夫(1969)制御環境下における温州ミカン果実の生長反応－Ⅰ．9月以降の温度が果実の発育ならびに着色･品質に及ぼす影響．園試報，A8，15-30.
15) 宇都宮直樹・山田 寿･片岡郁雄・苫名 孝(1982)ウンシュウミカン果実の成熟に及ぼす果実温度の影響．園学雑，51，135-141.
16) 福田博之(1985)気象条件とリンゴ果実の生育および成熟－(1)リンゴの開花期の早晩と成熟期との関係．農及園，60，775-778.
17) 鄭 国華・平 智・米森敬三・杉浦 明(1990)温度条件の異なる地域におけるカキ果実の発育および成熟様相の相違．園学雑，59，471-477.
18) 山田 寿･浜本 清・杉浦 明・苫名 孝(1988)リンゴ果実の成熟に及ぼす果実温度の影響．園学雑，57，173-177.
19) 原田 久・板村裕之・平 智・鄭 国華(1990)異なる地域での甘ガキ‘次郎’の自然脱渋過程の解析．園学雑，58，807-811.
20) 岡田眞治・大崎伸一・北村光康(2005)ニホンナシ‘新高’のみつ症発生に及ぼす環境要因．熊本農研センター研報，13，83-92.
21) 佐久間文雄・梅谷 隆・多比良和生・片桐澄雄・檜山博也(1995)ニホンナシ‘豊水’のみつ症発生に及ぼす果実生長初期の高温とジベレリンの影響．園学雑，64，243-249.
22) 猪俣雄司・村瀬昭治・長柄 稔・篠川偲雄・及川悟・鈴木邦彦(1993)ニホンナシ‘豊水’のみつ症の発生条件の解明に関する研究．園学雑，62，257-266.
23) 藤丸 治・東 光明・岡田眞治(2005)中晩生モモの「みつ症」の発生要因．熊本農研センター研報，13，93-99.
24) 高木伸友(1991) 生理障害. 吉田義雄・長井晃四郎・田中寛康・長谷嘉臣(編)，最新果樹園芸技術ハンドブック，朝倉書店，560-563.
25) 若菜 章・花田信章・中川幸夫・鳥飼芳秀・福留功・朴 成敏(2003)ブドウ(*Vitis vinifera* L. と *V. complex*)における縮果病の発生程度とカルシウム，マグネシウム及びホウ素の発生予防効果．九州大農場研報，11，27-35.
26) 岡田正道・小中原 実(1985)ウンシュウミカンの幼果期における生理落果の波相に影響する要因．静岡柑橘試研報，21，1-8.
27) 谷口哲微(1983)カンキツの施設栽培における環境と発育生態ならびに果実品質に関する研究－(2)生理落果終了までの温度，湿度，日照量が早生ウンシュウの結実性に及ぼす影響．静岡柑橘試研報，19，21-28.
28) 河瀬憲次(1984)ウンシュウミカン果実における浮皮発現の要因と防止法に関する研究－(2)果実周辺の湿度条件と浮皮発現．果樹試報，D6，41-55.
29) 酒井 昭(1982)植物の耐凍性と寒冷適応. 100-104. 学会出版センター.
30) Howell, G. S. and C. J.Weiser(1970)Fluctuations in the cold resistance of apple twigs during spring dehardening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*., 95, 190-192.
31) Proebsting, E. L. Jr.(1959)Cold hardiness of Elbelta peach fruit buds during four winters. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci*., 74, 144-153.
32) 黒田治之(1988)寒冷地果樹の凍害．北海道農試研究資料，37，1-101.
33) 小林 章(1975)果樹環境論．養賢堂.
34) 鈴木 宏(1984)リンゴの雪害とその対策．農業技術，39，255-260.
35) 気象庁(2002) 20世紀の日本の気候．財務省印刷局, 23-24.
36) 岡本 茂(1961)桃樹の日焼障害に関する研究．静岡大学農学部園芸学教室，13-19.
37) 飯塚一郎・渡部俊三・山本隆儀(1973)西洋ナシの葉やけに関する研究－Ⅳ葉やけの微気象的調査．農業気象，28，181-184.
38) 杉浦俊彦・横沢正幸(2004)年平均気温の変動から

推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響．園学雑，73，72-78.



杉浦　俊彦
Toshihiko SUGIURA

1963 年、愛知県生まれ。安城東高校、京都大学農学部卒業後、1987 年、農林水産省入省。同省果樹試験場において気象と果樹生育との関係に関する研究を開始。1997 年、果樹の生育予測に関する研究で京都大学より博士（農学）を授与される。2005 年、農研機構本部において日本農業における温暖化の影響の現状調査。2006 年より現職（上席研究員）。現在は、果樹等農業生産への温暖化影響評価や対策技術の開発に関する研究を進める。専門は農業気象学。

杉浦　裕義
Hiroyoshi SUGIURA

1975 年、鳥取県生まれ。九州大学大学院生物資源環境科学研究科博士課程中退後、2002 年、（独）農業技術研究機構果樹研究所入所。気象と果樹生育との関係に関する研究に従事。専門は農業気象学。

阪本　大輔
Daisuke SAKAMOTO

1978 年、北海道生まれ。千葉大学自然科学研究科博士前期課程修了後、2004 年、（独）農業技術研究機構 果樹研究所入所。同研究所において落葉果樹の結実成熟生理を解明するための研究を開始。現在は、落葉果樹の休眠生理に関する研究を進める。専門は栽培生理。

朝倉　利員
Toshikazu ASAKURA

1957 年、愛知県生まれ。千葉大学園芸学部卒業後、1979 年、農林水産省入省。同省果樹試験場において気象と果樹生育との関係に関する研究を開始。その後、野菜試験場（現：野菜茶業研究所）で施設環境、果樹試験場（現：果樹研究所）で貯蔵・加工、ブドウ・カキ栽培、気象生態等の研究を実施。2006 年より現職（上席研究員）。現在は、果樹の気象災害、温暖化影響評価等に関する研究を進める。専門は農業気象学。