

気候温暖化が落葉果樹の休眠、開花現象に及ぼす影響

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	本條,均
発行元	園芸学会
巻/号	6巻1号
掲載ページ	p. 1-5
発行年月	2007年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



気候温暖化が落葉果樹の休眠、開花現象に及ぼす影響

本條 均

宇都宮大学農学部 321-8505 栃木県宇都宮市峰町 350

Effects of Global Warming on Dormancy and Flowering Behavior of Temperate Fruit Crops in Japan

Hitoshi Honjo

Utsunomiya University, Faculty of Agriculture, Mine, Utsunomiya, Tochigi 321-8505

はじめに

このまま温室効果ガス濃度の上昇が続けば、21世紀末に年平均気温で約1.4～5.8℃の温暖化が起これると予測されている (IPCC 第一作業部会報告書, 2001)。気候温暖化による果樹栽培への影響は、年平均気温と冬季の最低極温の変化予測から判断して栽培適地が北進し、逆に南部では夏季高温化の影響で品質不良が発生しやすく経済栽培が困難になると推測される (杉浦・横沢, 2004)。さらに、秋冬期の高温化がおこると落葉果樹の自発休眠覚醒に必要な低温に十分な時間遭遇しないことが予想され、その場合休眠が正常に終了せず、発芽や開花の不揃いや生育異常、開花期間の長期化などが顕在化するであろう。現に、一部地域のニホンナシ施設栽培では仮称「眠り病」と呼ばれる低温不足に関連した発芽・開花不良障害が発生し始めている (藤丸, 2004; 松田, 2004)。このように温暖化による将来の果樹栽培への影響を考える時、「休眠」と「開花」という植物季節現象は寒候期に起こる温暖化の影響を解析するのに有益な指標となる。

ここでは、想定される温暖化気候により落葉果樹の休眠と開花にどのような影響が生じるかを論議するため、ニホンナシを対象に温暖化時に休眠や開花現象はどのような影響を受けるかとともに、ある地点を対象に気温上昇時のニホンナシの開花に対する影響予測を行い、同時に現在のニホンナシ産地で開花日は実際にどのような変動を示し、果実生産にどのような影響が現れているのかを比較検討する。最後に将来の温暖化気候時における落葉果樹栽培への影響を緩和する試験・研究の一端を紹介したい。

我が国での温暖化を想定した気温上昇の影響予測

1. 低温遭遇時間の到達日の遅延

落葉果樹が自発休眠から脱して成長を再開するためには、一定期間低温に遭遇することが必要とされ、低温要求

量が満たされなければ、萌芽・開花の遅延や不揃いを招き、結局結実や果実の成長に影響がでる (Saure, 1985)。そのため、冬季温暖な地帯で落葉果樹を栽培すると自発休眠の覚醒が正常に終了せず、栽培上の阻害要因となっている (本條ら, 1998, 2006; Klinac・Geddes, 1995; Nakasu ら, 1995; Petri ら, 2002; White, 2002)。例えば年平均気温が2℃上昇したとすると、東京の気温が現在の鹿児島と同じになる。すると、自然条件下でのニホンナシの自発休眠覚醒時期は単純に試算すると東京では現在より2週間ほど遅れると推定される。また、芽の生理過程に対する低温の連続性の不足や高温の影響で、冬季が温暖なほど自発休眠の覚醒に必要な低温遭遇時間が長くなるといわれ (西元, 1991)、わが国の西南暖地ではより大きな影響が懸念される。さらに、施設栽培では自発休眠が終了したかどうか加温開始時期の決定、即ち開花や収穫期に関係し、経営戦略上非常に重要となる。

先ず、温暖化を想定した気温上昇が自発休眠の覚醒や開花現象に及ぼす影響を検討するために、ここでは宇都宮を例として取り上げ、日最高・最低気温の平年値 (気象庁観測平年値, 統計期間 1961-1990) に対して、それぞれ+1～+10℃まで、1℃ずつ上昇させた場合の自発休眠の覚醒に必要な低温遭遇時間の推移とニホンナシ‘幸水’の自発休眠覚醒と開花時期に及ぼす影響を解析した。自発休眠覚醒に必要な低温量の指標に用いられる7.2℃以下の低温遭遇時

第1表 宇都宮の平年気温 (最高・最低) の日別値から気温を+1～+6℃上昇させた場合の7.2℃以下低温持続時間の到達日の変化 (本條, 2004)

	800時間	900時間
平年値	1月 1日	1月 6日
+1℃	1月 7日	1月 12日
+2℃	1月 13日	1月 19日
+3℃	1月 20日	1月 26日
+4℃	1月 27日	2月 3日
+5℃	2月 5日	2月 13日
+6℃	2月 16日	2月 27日

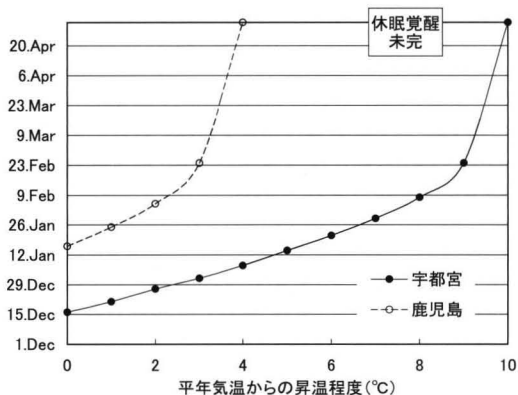
間を求めるには、日別の平年値（最高・最低気温）に清野ら（1981）の最低・最高気温を用いる推定式により、一日毎の7.2°C以下の低温持続時間を求め積算した。始めに平年値と+1～+6°Cの場合の7.2°C以下の低温持続時間の目標値への到達日を示した（第1表）。

このように7.2°C以下の低温持続時間は、現在の気温から+4°Cまでは、1°C上昇ごとに到達日が6～7日遅れるようであった。+4°Cでは約1か月遅延することになる。これは、あくまで平年値に対しての温度上昇を想定した結果であるが、年次変動をも考慮すると平均で1～2°Cの温度上昇があった場合には、樹種や品種により自発休眠覚醒時期が非常に遅延する場合も予想される。このような低温持続時間の到達日が遅延する影響は、宇都宮より暖地ほど深刻であり、温暖化した場合には自発休眠が覚醒しても、その後の樹体の生育反応（開花・発芽）に覚醒時期の遅れの影響が出てくることが予想される。

2. ニホンナシ‘幸水’における自発休眠覚醒時期の遅延

ここでは、自発休眠覚醒と開花現象についての動的モデルが開発されているニホンナシ‘幸水’を対象に、先ず自発休眠覚醒時期について、宇都宮と鹿児島を例として取り上げ、日最高・最低気温の平年値（気象庁観測平年値、統計期間1961–1990）に対して、それぞれ+1～+10°Cまで、1°Cずつ上昇させた場合の自発休眠の覚醒に及ぼす影響を解析した（第1図）。自発休眠覚醒時期の予測モデルは、Sugiura・Honjo（1997）を使用した。

ここで鹿児島では+4°C、宇都宮では+10°Cを想定した気温変化を与えると自発休眠は、5月1日までに完全に覚醒できないという結果となった（第1図）。鹿児島では+3°Cまでなら、2月中には何とか自発休眠が覚醒できるかどうかという限界に近づく。宇都宮では、現在12月中下旬には自発休眠が覚醒しているが、+1°C上昇毎に5～6日遅れるようになり、+5°C上昇で1か月遅延が予想される。それに対して、温暖な鹿児島と比較すると、鹿児島では現在の平年気温下では1月16日に自発休眠が覚醒し、これは宇都宮の+5°Cの場合に匹敵する。もともと年平均気温で



第1図 ニホンナシ‘幸水’の自発休眠覚醒時期に及ぼす気温上昇の影響（本條，2004）

4.6°Cの差異があるので当然の結果といえよう。ただ重要な点は、鹿児島では平均で+2°Cの上昇が起こると自発休眠覚醒時期が2月初旬となり、年によってはさらに遅延する場合も予想される。そのような場合には施設化による開花・成熟期の促進という最大のメリットは期待できなくなり、さらに露地栽培でも発芽や開花の遅れや不揃いなどの生育異常現象が多発すると考えられる（藤丸，2004；松田，2004）。

我が国のニホンナシ産地の平均気温は、例示した宇都宮（年平均13°C）と鹿児島（同17.6°C）の間に多くが分布し、対象地域が暖地であるほど気候温暖化による自発休眠覚醒時期の遅延の影響はより深刻な問題となる。

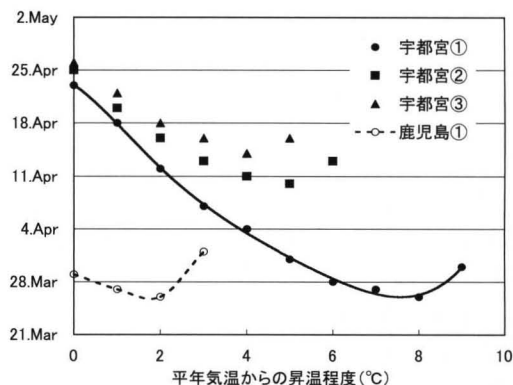
3. ニホンナシ‘幸水’における開花時期の変動

前項と同様にSugiura・Honjo（1997）の発育モデルを用いて、ニホンナシ‘幸水’の開花時期がどのような影響を受けるかを解析した（第2図）。

ここで、「宇都宮1」と「鹿児島1」は、自発休眠覚醒の発育指数（ DVI_1 ）が1.0の時から開花予測を行い、「宇都宮2」と「宇都宮3」はそれぞれ $DVI_1=1.9$ と2.2に到達後から予測を行った場合を示したものである（第2図）。

杉浦（1997）は、 DVI_1 が1.9から2.2に到達してから開花中央日を推定するほうが $DVI_1=1.0$ から推定するよりも精度が高いとし、特に $DVI_1=2.2$ の使用を推奨している。鹿児島では、現在の平年値では DVI_1 が2.2に到達するが、+1°Cの上昇で DVI_1 は4月末でも1.9未満となった。そのため、ここで提示した鹿児島の開花予測日は実際の開花中央日からやや早めの推定値であると考えられる。しかし、ここで重要なことは、+1、+2°Cまでは開花日がやや前進するが、+3°Cではかえって遅延する現象が予測されたことである。

この現象は、宇都宮においても同様に観察され、予測を開始した DVI_1 の値にもよっても変化するが、現在の開花状況の予測精度が最も高い「宇都宮3」においては+1°Cから+4°Cまでは開花日が前進するが、+5°Cになると逆に遅延しはじめ、それ以上の昇温を想定すると完全な開花に至らない結果が得られ、非常に予測が困難となる。ニホンナ



第2図 ニホンナシ‘幸水’の開花中央日に及ぼす気温上昇の影響（本條，2004）

シの生態調査資料が得られている九州から東北までの全国30地点で、同様に $DVI_1 = 2.2$ を用いて予測すると $+2^\circ\text{C}$ で正常な休眠覚醒と開花が限界に達する地点が10地点、 $+3^\circ\text{C}$ で8地点が、さらに $+4^\circ\text{C}$ で7地点が加わり、IPCCの予測上限値 $+5.8^\circ\text{C}$ が起こった場合には、3地点のみが辛うじて残るような状態となった。いずれの推定値においても、ある閾値以上の気温上昇が起こると開花日の前進は起こらず、かえって抑制的な面が強調されてくるので、果樹栽培への影響は重大なものとなる。さらに、発芽や開花の不揃いや生育異常、開花期間の長期化が多発するようになると推定される。

ところで、温暖化の影響を開花日と月平均気温 ($+1$, $+2$, $+3^\circ\text{C}$ を想定) のみを用いて行った解析例をみると、平均気温が 1°C 上昇する毎にサクラ‘ソメイヨシノ’の開花は2.7から4.8日促進され、 3°C 上昇すると3月20日以前に開花する地域が大幅に拡大し、ウメでは平均6.8日/°C開花が促進されるとされている(国立環境研究所, 1996)。しかし、このように自発休眠打破に必要な低温遭遇時間等を全く考慮しないで解析を行うと、温暖化による気温上昇に伴い開花日は全国で前進しつづけるような結果となる。このことは沖縄のヒカンザクラがより低温に遭遇しやすい北部から開花が始まるという観測例からも矛盾があるように思われ、生物季節の解析に生理現象を無視することが出来ないことを示している。

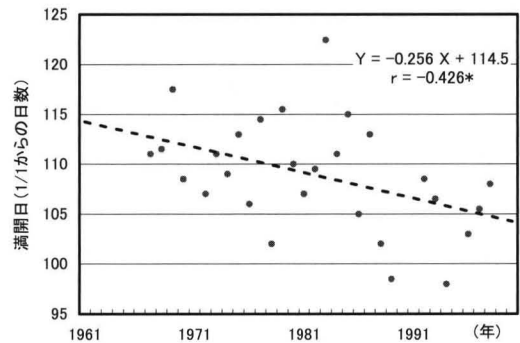
温暖化の影響は我が国で発現しているか？

1. 温暖化の影響調査と植物季節現象の重要性

ここまでの温暖化による冬季の気温上昇が落葉果樹の休眠や開花現象に及ぼす影響を予測してきた。しかし、現実に温暖化に伴う植物の開花など季節現象への影響はどのように顕れているかを検討するには、栄養繁殖され遺伝的に同一である果樹は気象庁の生物季節観測対象のサクラ‘ソメイヨシノ’と同様に非常に有益な情報を与える。例えば、この半世紀の間に中部ヨーロッパでは、温暖化と都市化の影響でアウトウヤリソウの開花が前進し(Roetzerら, 2000)、同様に米国北東部でもリンゴとブドウの開花前進が報告され(Wolfe, 2005)、今村(2006)の植物季節現象の傾向解析によれば、青森県のリンゴ‘ふじ’では発芽から開花までの生物季節現象の前進化が明らかという。また、気候温暖化と都市化の影響を分離して解析する手段として、ニホンナシの開花日の実測値と予測値の誤差の解析から逆に都市化の進行程度を明らかにする試み(Honjoら, 2006)も行っており、果樹の生態調査資料が気候変動に伴う生物季節現象に与える影響の解析に重要な役割を担うことに注目するとともに、毎年の生態調査に関わられた多くの関係者に感謝する次第である。

2. ニホンナシ開花日の年次変動の解析

温暖化による冬季の気温上昇の影響が現在の開花現象にどのように顕れているのか、全国あるいは地域により温暖



第3図 埼玉におけるニホンナシ‘幸水’開花日の推移(本條ら, 2002)

化の影響に差違はあるのかなどを明らかにしておかねばならない。そこで、ニホンナシの開花に関する東北から九州までの21地点の生態調査資料と、近傍の気象観測所の資料を用いて、開花日の変動の地域的な特徴と自発休眠の覚醒や開花を推定するモデルとの適合性の検討を行った。‘幸水’の開花中央日の年次変動をみると、埼玉県では10年間で -0.25 日/年程度の早期化が起こり、開花中央日の前進が認められた(第3図)。

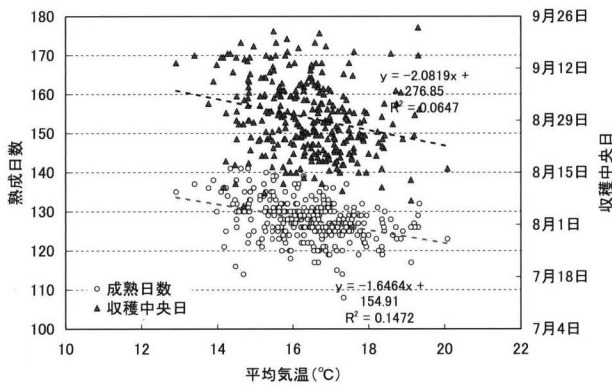
埼玉と同様に栃木・千葉など関東を中心とした地点でも‘幸水’の開花中央日の前進傾向が認められた。また、伊藤・市ノ木山(2005)によれば、三重県では‘幸水’における満開日の前進は -0.37 日/年と埼玉より大きい。

それに対して、四国・九州地域では、前進化傾向が明らかでないか、やや遅延傾向も認められる地点もあり、最近になるほど年次間の早晩の変動が大きいうであった。しかも、‘豊水’や‘二十世紀’では地点により‘幸水’とは異なる傾向も認められ、全国的な傾向は未だ確定していない(Honjoら, 2004)。

しかし、実気温で自発休眠覚醒時期を推定すると2/3の地点で遅延傾向が認められ、開花予測モデルによる推定開花日と実開花日の誤差(RMSE)をみると、四国・九州地域におけるRMSEは他地域に比べて変動が大きく、温暖な地域ほど推定精度が低下する傾向が認められた。さらに地球温暖化の影響と同時に、地域によっては都市の温暖化の影響があり、気象台や観測所と果樹園の気象環境との差異の影響等、数多くの未解決の問題があり、温暖化と都市化の影響を分けて評価すべく解明を進めている(Honjoら, 2006)。ただ、落葉果樹における温暖化に伴う開花の前進は、現在では逆に晩霜害の危険性を増大させていることを忘れてはならない。

3. 開花日の変動と収穫日・成熟日数との関係

開花期の変動に伴い成熟期も影響を受けている。例えば、‘幸水’と‘二十世紀’では、両品種ともに前進あるいは遅延傾向を示す場合と‘幸水’は前進し、‘二十世紀’は遅延する場合の3型に分類できそうである。また、前述の21地点のうち九州を除く代表的な12地点のデータを総合する



第4図 ニホンナシ‘幸水’の幼果期平均気温が果実成熟日数と収穫日に及ぼす影響(本條ら, 2005)

それぞれのデータは, 秋田, 宮城, 福島, 栃木, 茨城, 千葉, 新潟, 愛知, 長野, 岡山, 山口, 愛媛の12公立場所の調査データと近傍の気象観測資料に基づく。

と, ‘幸水’では幼果期平均気温の1°C上昇が平均して果実生育期間を1.6日短縮することが認められ, 関東以北でその短縮傾向が明らかであった(第4図)。

この結果は杉浦(1997)が提起した満開から収穫までの日数(Y)を求める $Y = -1.24T + 147.2$ (T: 満開後33日間の平均気温)の傾きに良く一致していた。しかし, 幼果期以降の平均気温と果実の生育期間には一定の傾向は認められなかった。ここでは, 暖候期に起こる開花や果実成長に及ぼす寒候期に起こる温暖化気候変動の影響の一端を解析したが平均的な傾向を示したに過ぎず, 最近顕著になりつつある夏季の高温問題や気候温暖化(Global warming)と都市の熱汚染(urban warming)の影響をどのようにに區別, 評価していくかが今後重要となろう。

温暖限界地での現状から今後の気候温暖化に備える

ここまで, 温暖化による冬季の気温上昇が落葉果樹の休眠や開花現象に及ぼす影響を予測してきた。我が国の果樹栽培が未だ経験したことのない状況であるが, 起こりうる事態を想定して対策を検討しておかねばならない。そこで, 気候が温暖にすぎためにニホンナシ栽培が深刻な影響を受けている地帯として, ブラジル南部の例を挙げる。当地での最大の栽培阻害要因である花芽異常(本條ら, 1998, 2006; Nakasuら, 1995; Petriら, 2002)に関与する気象要因の解析を行い, 旬別の7.2°C以下の低温持続時間との相関をみると, 花芽異常発生と7月下旬と, 7月中下旬の低温持続時間とはかなり高い負の相関が認められた。逆に, 8~9月初旬の25°C以上の高温遭遇時間との関係を見ると, 高い正の相関が認められたが, Nakasuら(1995)が推定した日較差と異常発生とは関係が低いようであった。生育モデル(Sugiura・Honjo, 1997)により推定した現地での自発休眠の平均覚醒時期は8月中旬であり, 各年の推定休眠覚醒時期と開花日の実観測値との関係から, 自発休眠の覚醒から開花へと生育相の転換が起こる時間がそれまでの低温遭

遇量に比例して変動すること, その相転換が起こる時間の長短が花芽異常の発生と負の相関関係があることが認められた。それ故, 現地の農家では7.2°C以下の低温が300から600時間と正常な休眠覚醒には大幅に不足しているため, Dormex等の薬剤散布によりかろうじて発芽・開花を促し, 花芽の確保に努めている状況である。しかし有効な散布時期や濃度については試行錯誤の状態にある(本條ら, 2006)。

ここで対象とする花芽異常の再現と制御のために露地で自発休眠の覚醒に不十分な低温遭遇時間(必要な低温要求量の50~80%)を与えた後, 20°C前後の人工気象室に移動し人為的に花芽異常発生の再現を試みた。花芽の内部で小花の原基が枯死(挫止)し, 混合花芽中の副芽が非常に遅れて新梢へと成長を開始する状態や花芽から貧弱な小花のみが1, 2輪出現した状態など, 現地で観察される異常症状を再現できた。遅れて成長を開始した新梢は發育不十分で, 充実した花芽を着生しにくいため, この障害の影響は当年だけにとどまらない。

そのような低温不足の状態での人為的な休眠打破には多くの方法が提案され, 気化冷却による低温付加や高温処理, 窒素施用と灌水処理, 化学物質処理などがある(Erez, 1995; Saure, 1985)。化学物質としては, 鉱油, DNOC, 硝酸カリとジベレリン等多くのものがあるが, 現在ニホンナシに対して休眠打破作用を持つ薬剤として農業登録されているのはシアナミド液剤だけである。しかし, シアナミド系薬剤も万能ではなく, 新たな休眠打破効果を持つものとして過酸化水素の効果が報告されている(Kurodaら, 2005)。著者らは反射資材被覆と気化冷却, 及び高温処理の組み合わせにより薬剤に頼らない環境負荷の少ない休眠の制御方法について検討を続けており, 一部はすでに報告した(Honjoら, 2002, 2005)。

おわりに

もし, わが国でニホンナシの開花数が十分に得られないような事態になれば, 亜熱帯低地の台湾中部で行われている「花芽接ぎ」等の方法も可能ではあるが現実的ではない(Linら, 1987; Lin・Liaw, 1990)。それ故, 栽培的な対策と同時に低温要求性の低い品種の育成も今後重要となろう。2002年にブラジルで開催された「熱帯・亜熱帯地域における温帯果樹栽培についてのワークショップ」では, 特に低低温要求性の品種やその育種計画が大きな話題となり, モモでは7.2°C以下の低温要求量が150時間程度で, 自発休眠覚醒後に発芽・開花するまでの高温要求量が少ない実用品種が注目されていた。ここでは触れなかったが, 温暖化に伴い害虫の世代数の増加や越冬困難害虫の北進, 病害発生による影響も大きく変化するであろう。専門分野を横断した広範な対応策の研究と実態調査の継続が望まれる。

引用文献

Erez, A. 1995. Means to compensate for insufficient chilling to

- improve bloom and leafing. *Acta Hort.* 395: 81-95.
- 藤丸 治. 2004. 熊本県における加温ハウスナシの「眠り症」. p. 62-65. (独) 果樹研究所編. 平成 15 年度果樹農業生産構造に関する調査報告書. 中央果実基金調査資料 No. 189.
- 本條 均. 2004. 気候温暖化が落葉果樹の休眠・開花に及ぼす影響. p. 22-32. (独) 果樹研究所編. 平成 15 年度果樹農業生産構造に関する調査報告書. 中央果実基金調査資料 No. 189.
- 本條 均・青木俊輔・金原啓一・吉田 亮・福井 糧・朝倉利員・杉浦俊彦. 2005. 冬季の温暖化が落葉果樹栽培に及ぼす影響. (5) ニホンナシ '幸水' 果実の発育・生長に及ぼす幼果期気温の地域・年次間変動. 園学雑. 74 (別 1) : 257.
- Honjo, H., R. Fukui and T. Sugiura. 2004. Ecophysiological effects of global warming on Japanese pear production in Japan. The 6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes (APGC2004). p. 201. Tsukuba, Ibaraki, Japan.
- Honjo, H., R. Fukui and T. Sugiura. 2005. Dormancy and flowering control for Japanese pear by micrometeorological modification. *J. Agric. Meteorol.* 60: 805-808.
- Honjo, H., R. Fukui, T. Sugiura and Y. Aono. 2006. The DTS accumulation model for predicting the flowering date of Japanese pear tree in Japan. *Acta Hort.* 707: 151-158.
- 本條 均・岸本 修・伊谷樹一・F. G. Herter・D. Camelatto・B. H. Nakasu. 1998. ブラジル南部におけるニホンナシの花芽異常現象. 熱帯農業. 42 (別 1) : 11-12.
- Honjo, H. Y. Kobayashi, M. Watanabe, R. Fukui and T. Sugiura. 2002. A new approach to controlling the flowering date for Japanese pear using reflective film technique. *Acta Hort.* 587: 389-395.
- 本條 均・島田裕一・金原啓一・鈴木信男・福井 糧・杉浦俊彦. 2002. 冬季の温暖化が落葉果樹栽培に及ぼす影響. (2) ニホンナシ '幸水' 開花日の年次変動. 園学雑. 71 (別 2) : 288.
- 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. (第 6 報) ブラジル南部におけるニホンナシの開花異常現象. 日本農業気象学会 2006 年春講要. 78.
- 今村友彦. 2006. 春季の気温とリンゴの植物季節現象の長期的傾向. 東北の農業気象. 第 50 号別冊. 10-16.
- 伊藤 寿・市ノ木山浩道. 2005. ニホンナシ '幸水' の生育相および果実品質の年次変動と気象要因との関係. 園学研. 4: 329-333.
- Klinac, D. J. and B. Geddes. 1995. Incidence and severity of the floral bud disorder "budjump", on nashi (*Pyrus serotina*) grown in the Waikato region of New Zealand. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 23: 185-190.
- 国立環境研究所. 1996. 地球温暖化が植物に及ぼす影響の解明に関する研究. 平成 5 ~ 7 年度環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書. pp. 169.
- Kuroda, H., T. Sugiura and H. Sugiura. 2005. Effect of hydrogen peroxide on breaking endodormancy in flower buds of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74: 255-257.
- Lin, H. S. and W. J. Liaw. 1990. Production of oriental pear at low latitude. *Acta Hort.* 279: 75-82.
- Lin, H. S., C. L. Lin and C. H. Lin. 1987. Production of high chilling Asian pear in Taiwan's lowland. *Acta Hort.* 199: 101-108.
- 松田和也. 2004. 福岡県におけるナシの発芽・開花不良障害 (仮称: 眠り病). p. 59-61. (独) 果樹研究所編. 平成 15 年度果樹農業生産構造に関する調査報告書. 中央果実基金調査資料 No. 189.
- Nakasu, B. H., F. G. Herter, D. L. Leite and M. C. B. Raseira. 1995. Pear flower bud abortion in southern Brazil. *Acta Hort.* 395: 185-192.
- 西元直行. 1991. 落葉果樹の休眠覚醒と低温要求量. 農業技術大系果樹編. 追録第 6 号. 施設栽培 50 の 4. 農文協. 東京.
- Petri, J. L., G. B. Leite and Y. Yasunobu. 2002. Studies on the causes of floral bud abortion of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) in southern Brazil. *Acta Hort.* 587: 375-380.
- Roetzer, T., M. Wittenzeller, H. Haeckel and J. Nekovar. 2000. Phenology in central Europe—differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *Int. J. Biometeorol.* 44: 60-66.
- Saure, M. C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. *Hort. Rev.* 7: 239-300.
- 清野 豁・木村 悟・岸田恭允. 1981. 最低・最高気温による低温時間・高温時間の推定. 農業気象. 37: 123-126.
- Sugiura, T. and H. Honjo. 1997. A dynamic model for predicting the flowering date developed using an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. *J. Agric. Meteorol.* 52: 897-900.
- 杉浦俊彦. 1997. ニホンナシの気象生態反応の解析と生育予測モデルの開発. 京都大学学位論文.
- 杉浦俊彦・横沢正幸. 2004. 年平均気温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.
- White, A. 2002. Asian pear production and research trends in New Zealand and Australia. *Acta Hort.* 587: 107-111.
- Wolfe, D. W., M. D. Schwartz, A. N. Lakso, Y. Otsuki, R. M. Pool and N. J. Shaulis. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *Int. J. Biometeorol.* 49: 303-309.