ニホングリにおける雌花開花後の気温が果実の成熟に及ぼす影響と 収穫始期予測法について

門脇伸幸¹・多比良和生¹・杉浦俊彦^{2*}

¹ 茨城県農業総合センター園芸研究所 319-0292 茨城県笠間市安居

² (独) 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所 305-8605 茨城県つくば市藤本

Effect of Air Temperature after Full Bloom of Female Flowers on the Maturity of Japanese Chestnut (*Castanea crenata* Sieb et Zucc) and Predicting the Method of Harvesting Date

Nobuyuki Kadowaki¹, Kazuo Tahira¹ and Toshihiko Sugiura^{2*}

¹ Ibaraki Horticultural Research Insititute, Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292

² National Institute of Fruit Tree Science, NARO, Fjimoto, Tsukuba, Ibaraki 305-8605

Abstract

To develop methods of predicting the harvesting date for Japanese chestnut cv ‘Tanzawa’, ‘Tsukuba’ and ‘Ishizuchi’, full flowering and harvesting dates recorded for 44 years (1965–2009) were analyzed. There were positive correlations between the harvesting dates and full female flowering dates. Predictive formulas to calculate harvesting dates were obtained from the regressions. The RMSEs (root mean square error) were 4.3–4.9 days. There were inverse correlations between the number of days to maturity and the mean air temperatures for about 30 days from full female flowering dates. A second predictive formula of harvesting dates was obtained from the regressions. The RMSEs were 3.7–5.0 days. There were positive correlations between the number of days to maturity and the mean air temperature for a specific time in the late maturation period. A third predictive formula was obtained from the regressions. The RMSEs were 3.0–3.3 days. A practical technique consisting of three steps was developed as a method of predicting the harvesting date for Japanese chestnut.

Key Words : ‘Ishizuchi’, RMSE, ‘Tanzawa’, ‘Tsukuba’

キーワード : ‘石鎚’, ‘丹沢’, ‘筑波’, 予測誤差

緒 言

ニホングリは気象の影響を受けやすく、収穫期が年次によって約3週間の幅で変動するなど、果樹類の中でも出荷計画が立てにくい樹種である。また、クリは、毬果が自然に裂開して落果した後の果実を収穫することや、収穫後の品質低下も早いことから、生産現場において収穫・出荷調整を行うのが非常に難しい樹種である。一方、近年の市場流通では相対取引が主流となり、精度の高い出荷情報が強く求められている。特に、ニホングリは秋を代表する味覚であることから、クリ加工業において生産および販売計画を立てるうえでも、早期からの正確な収穫期予測が望まれている。さらに、昨今の地球温暖化が農作物に様々な影響を及ぼしているなか(杉浦ら, 2007)、ニホングリにおいても収穫期の変動がより顕著になるなどの影響が懸念されて

おり、このような変化にも対応可能な収穫期予測法を開発することの重要性が高まっている。

これまでもニホングリにおける気象要素と収穫期の関係の解析が試みられており(益田, 1981; 佐久間・渡辺, 1989)、1月および6月の気温などと収穫期との関連が指摘されている。しかし、これらの文献においては過去の生態データと気象要素との関係を単純に重回帰分析したものであり、生理的な裏付けはないとしており(佐久間・渡辺, 1989)、現在のところ、実用的な予測法の開発には至っていない。一方、ニホンナシなどでは、気温と果実成熟との関係が実験によって生理的に明らかにされている(杉浦ら, 1995)。また、近年は過去になかったような高温年があり、解析データの幅が拡大したことから、以上の知見も合わせて解析を行えば、クリの生産現場で利用可能な収穫期予測法が構築される可能性がある。

そこで、ニホングリの早生種‘丹沢’、中生種‘筑波’および晩生種‘石鎚’の過去44年間の生態データと気象データを用いて、雌花開花盛期やその後の気温が収穫始期の早晩に及ぼす影響を明らかにし、生理生態に即した実用的な収穫始期予測法の開発を試みた。

2011年2月11日 受付. 2011年3月9日 受理.

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発」の一部として行われた。

* Corresponding author. E-mail: sugi@affrc.go.jp

材料および方法

ニホングリの生態データとして、‘丹沢’、‘筑波’および‘石鎚’の3品種の雌花開花盛期と収穫始期の記録を解析に用いた。このうち、1965～1990年については、茨城県園芸試験場（茨城県稲敷郡阿見町、以下：阿見町）に栽植された5～22年生までの樹の観測値であり、当試験場が移転した後の1992～2009年については、茨城県農業総合センター園芸研究所（茨城県笠間市安居、以下：笠間市）に栽植された3～20年生までの樹の観測値である。但し、‘石鎚’における1984年の観測値は欠測であった。これらの観測においては、中心の小花の柱頭が開き始めた時を雌花の開花と判断し、雌花開花盛期は、小花が3つとも開花した雌花が達観で80%以上になった日とした。一方、収穫は自然落果したものを収集することによって行い、2日以上連続して収穫できた日のうち最初の日を収穫始期とした。なお、阿見町と笠間市では気象条件が異なり、供試したデータの阿見町と笠間市の平均値はそれぞれ、雌花開花盛期で‘丹沢’が6月9日と6月13日、‘筑波’が6月8日と6月13日、‘石鎚’が6月11日と6月15日であり、いずれも阿見町の方が4～5日早かった。収穫始期では‘丹沢’が9月2日と9月4日、‘筑波’が9月22日と9月25日、‘石鎚’が10月2日と10月4日で、阿見町の方が2～3日早かった。

阿見町の日平均気温については、高層気象台（茨城県つくば市長峰）の地上気象観測値を解析に用いた。笠間市における2001～2009年の日平均気温については、所内の気象観測露場での観測値を用いた。笠間市の2000年以前の気温については、所内での観測値が月単位でのみ記録されており、日平均気温が得られなかった。そのため、1992～2000年については、アメダス（笠間）の月平均気温値と所内の観測値との差を求め、この値によってアメダス（笠間）の日平均気温を補正して、同期間の笠間市の気温とした。なお、アメダス（笠間）の気温データが部分的に欠測していたため、この場合は欠測日前後5日間について、アメダス（笠間）と近隣のアメダス観測地の差を求め、この平均値からアメダス（笠間）の値を推定した。

解析方法としては、まず、雌花開花盛期において収穫始期を予測するための式を得るため、雌花開花盛期と収穫始期の関係を求めた（予測法1）。また、果実成熟日数（雌花開花盛期～収穫始期までの日数）を気温から推定可能にするため、雌花開花盛期直後の気温と果実成熟日数の関係を求めるとともに（予測法2）、予測法2の回帰残差と果実成熟後期の気温との関係を解析した（予測法3）。予測誤差（RMSE）は、 $\Sigma(\text{予測値} - \text{実測値})^2 / n$ の平方根として求めた。

結 果

1. 雌花開花盛期と収穫始期の関係（予測法1）

雌花開花盛期と収穫始期の関係について第1図に示した。3品種とも正の相関が認められ、また、その傾向には

阿見町と笠間市とでは大きな差が認められなかった。そこで、阿見町と笠間市の回帰式について併合検定した結果、いずれの品種においても0.1%水準で併合可能であった。以上により、両地点のデータを合わせて解析すると、雌花開

第1図 ニホングリの雌花開花盛期と収穫始期の関係
相関係数 r は1月1日を起算日とした通算日より算出
* 5%, *** 0.1%水準で有意差あり

第1表 雌花開花盛期と収穫始期の関係から求めた収穫始期
予測式と予測誤差（予測法1）

品種	収穫始期予測式（第1図の回帰式）	予測誤差（日）
丹沢	$y = 0.7378 x_0 + 127.11$	4.3
筑波	$y = 0.5526 x_0 + 178.2$	4.4
石鎚	$y = 0.4093 x_0 + 209.74$	4.9

y ：収穫始期（1月1日を起算日とした通算日）

x_0 ：雌花開花盛期（1月1日を起算日とした通算日）

第2図 雌花開花盛期後1～N日までの平均気温と果実成熟日数の相関係数
平均気温はそれぞれの期間における日平均気温を平均した値

第3図 雌花開花盛期直後の平均気温と果実成熟日数との関係
平均気温算出期間は‘丹沢’が雌花盛期後1～28日、
‘筑波’が雌花盛期後1～33日、‘石鎚’が雌花盛期後
1～37日
*** 0.1%水準で有意差あり

花盛期と収穫始期の関係は、‘丹沢’ $r = 0.663 ***$ 、‘筑波’ $r = 0.559 ***$ 、‘石鎚’ $r = 0.381 *$ で正の有意な単相関が得られた。

雌花開花盛期と収穫始期の関係の回帰式は第1表のとおりとなった。収穫始期は雌花開花盛期に強く依存しており、第1表の式を用いれば、雌花の開花盛期が観測された時点で収穫始期が予測できることになる。このときの予測誤差は、第1表のとおりであった。また、回帰式の傾きは、‘丹沢’ 0.7378、‘筑波’ 0.5526、‘石鎚’ 0.4093 であり、‘丹沢’、‘筑波’、‘石鎚’ の順、すなわち収穫期が早い順に大きく、かつ、いずれも1より小さかった。

2. 雌花開花盛期直後の気温と果実成熟日数の関係 (予測法2)

ニホンナシでは、開花期直後約1か月の気温と果実成熟日数には負の相関があり、気温が1°C 高くなれば成熟日数は約1.2日短縮することが明らかになっている(杉浦ら, 1995)。そこで、雌花開花盛期直後30日間の平均気温と果実成熟日数(雌花開花盛期～収穫始期までの日数)との関係を求めると、阿見町についても笠間市についても有意な負の相関関係が得られた(データ略)。

ニホングリでは、果実成熟日数が依存するのは開花後の何日間の気温であるかが生理的に知られてはいないため、雌花開花盛期直後20～50日間の各期間の日平均気温の期間平均と成熟日数との関係について、その相関係数を両地点のデータを合わせて求めた(第2図)。その結果、‘丹沢’では雌花開花盛期直後28日間 ($r = -0.557 ***$)、‘筑波’は33日間 ($r = -0.580 ***$)、‘石鎚’は37日間 ($r = -0.495 **$)で最も相関が高くなった。ニホングリの成熟日数は、この最も相関が高くなる期間の気温の高低に依存すると想定された。このときの平均気温と成熟日数の関係は第3図のとおりであり、阿見町と笠間市の2か所の回帰式を併合検定した結果、いずれの品種においても0.1%水準で併合可能であった。

両地域のデータを合併したときの回帰式を第3図に示した。収穫始期は雌花開花盛期の観測値に加えて、その日か

第2表 雌花開花盛期直後の平均気温を考慮した収穫始期予測式と予測誤差（予測法2）

品種	平均気温算出に用いる期間 ²	収穫始期予測式	予測誤差（日）
丹沢	1～28	$y = x_0 - 1.8231 x_1 + 122.47$	3.7
筑波	1～33	$y = x_0 - 1.9958 x_1 + 147.81$	3.9
石鎚	1～37	$y = x_0 - 2.0919 x_1 + 157.69$	5.0

y：収穫始期（1月1日を起算日とした通算日）

x_0 ：雌花開花盛期（1月1日を起算日とした通算日）

x_1 ：雌花開花盛期直後における平均気温（°C）

²雌花開花盛期後日数（日）

ら所定の日数の平均気温が得られれば、この回帰式により、収穫始期が予測できることになる。この回帰式を用いた収穫始期予測式およびその予測誤差は第2表のとおりであり、予測法1と比較すると、‘丹沢’と‘筑波’は誤差が1日程度改善されたものの、‘石鎚’では改善がみられなかった。また、回帰式の傾きは、‘丹沢’-1.82、‘筑波’-2.00、‘石鎚’-2.01であり、これらの値から、雌花開花盛期直後の約30日間の平均気温が1°C上昇すると、成熟日数は2日程度短縮することが示された。

3. 予測法2の回帰残差と果実成熟後期の気温の関係（予測法3）

前項の予測法2に関する解析から、雌花開花盛期直後約30日間の気温は、成熟日数に影響を及ぼすことが示された。しかし、第3図からわかるように、この予測式にはまだ一定の残差（観測された成熟日数とこの回帰式で推定された成熟日数との差）が存在する。このような回帰残差が現れる原因のひとつとして、雌花開花盛期30日以降の気温も、成熟日数の長短に影響している可能性がある。そこで、この期間の気温と回帰残差との関係を解析した。

まず、雌花開花盛期後31日～収穫始期の直前に相当する雌花開花盛期後76日（‘丹沢’）、98日（‘筑波’）、102日（‘石鎚’）までの期間を2日間ずつに分割し、各2日間の平均気温と予測式2の回帰残差との関係の相関係数を求めた。阿見町と笠間市のデータを合わせると、主として果実の成熟後期において、2日間の平均気温と回帰残差に有意な正の相関が認められた（第4図）。これらの期間は、気温が高いほど残差（観測された成熟日数－回帰式から推定された成熟日数）が大きくなることから、この時期の高温が果実成熟を遅延させることが示された。

この相関係数は、‘丹沢’では雌花開花盛期後65～66日、‘筑波’では81～82日、‘石鎚’では79～80日が最も高かった。相関係数が最も高い期間の前後で、連続して5%水準以上の有意差が認められた期間は、‘丹沢’が雌花開花盛期後59～66日、‘筑波’が73～90日、‘石鎚’が63～92日であった。そこで、この期間の気温が回帰残差の発生に関与していると仮定し、この期間の平均気温と回帰残差の関係を解析した（第5図）。ここで、阿見町と笠間市の2か所の回帰式を併合検定した結果、いずれの品種においても0.1%水準で併合可能であった。両地点のデータを合併したときの回帰式を第5図に示した。回帰式の傾きは

第4図 雌花開花盛期後31日以降における各2日間の平均気温と予測法2の回帰残差との相関係数
回帰残差は成熟日数の観測値から推定値を減じた値
* 5%, ** 1%, *** 0.1%水準で有意差あり

第5図 予測法2の回帰残差と果実成熟後期の平均気温との関係
回帰残差は成熟日数の観測値から推定値を減じた値
平均気温算出期間は「丹沢」が雌花盛期後 59～66 日、
「筑波」が雌花盛期後 73～90 日、「石鎚」が雌花盛期後
63～92 日
*** 0.1%水準で有意差あり

「丹沢」 1.0315, 「筑波」 1.7872, 「石鎚」 2.8182 であり、傾きの絶対値は予測法 2 と同様に「丹沢」, 「筑波」, 「石鎚」の順に小さかった。この回帰式と第 2 表の数式を合わせて、雌花開花盛期直後と果実成熟後期の気温を加味した予測式を作製した (第 3 表)。この予測式による予測誤差は「丹沢」が 3.3 日、「筑波」が 3.0 日、「石鎚」が 3.3 日で、いずれの品種においても予測法 2 より短くなり、収穫始期が 3 日程度の誤差で予測できることが示された。

考 察

1. 雌花開花盛期と収穫始期の関係 (予測法 1)

一般に、収穫期の早晩が開花期の早晩に依存することはよく知られており、現在、生産現場では、雌花開花盛期から収穫期がいつごろになるか推定している。今回の結果においても、雌花開花盛期と収穫始期との関係にはいずれの品種でも正の強い相関が認められ、現場での推定法の正当性を証明している。しかし、第 1 表の回帰式の傾きは、いずれの品種も 1 より小さかった。これは、雌花開花盛期が 1 日早くなったとしても、収穫始期は 1 日早くなることはなく、例えば、傾きが 0.4 である「石鎚」においては、雌花開花盛期が 2 日早くなったとしても、収穫始期は 1 日弱しか早まらないことを示している。以上のことは、雌花の開花期が早くなっても、その効果を打ち消す要因が開花期以降に存在する可能性を暗示している。また、この傾きが「丹沢」, 「筑波」, 「石鎚」の順、すなわち収穫期が早い順に大きかったことは、収穫期が遅い品種ほど、開花期以降の要因に大きく依存していると考えられた。

2. 雌花開花盛期直後の気温と果実成熟日数の関係 (予測法 2)

今回の結果から、どの品種においても雌花開花盛期直後の約 30 日間（「丹沢」で雌花開花盛期直後 28 日間、「筑波」で 33 日間、「石鎚」で 37 日間）の気温が高い年ほど、果実成熟日数が短縮することが示された。成熟日数が開花期直後の気温に依存することは、先に述べたようにニホンナシでは実験的に明らかにされており (杉浦ら, 1995)、モモでも経験的に知られている (羽山ら, 2007)。ニホンナシでは開花後約 1 か月が果肉の細胞分裂期であり、この期間が高温になるほど細胞分裂速度は速くなり、細胞分裂停止期

第3表 雌花開花盛期直後および果実成熟後期の平均気温を考慮した収穫始期予測式と予測誤差 (予測法 3)

品種	雌花開花盛期直後における 平均気温算出に用いる期間 ²	成熟後期における 平均気温算出に用いる期間 ²	収穫始期予測式	予測誤差 (日)
丹沢	1～28	59～66	$y = x_0 - 1.8231 x_1 + 1.0315 x_2 + 96.176$	3.3
筑波	1～33	73～90	$y = x_0 - 1.9958 x_1 + 1.7872 x_2 + 104.999$	3.0
石鎚	1～37	63～92	$y = x_0 - 2.0919 x_1 + 2.8128 x_2 + 90.397$	3.3

y: 収穫始期 (1 月 1 日を起算日とした通算日)

x_0 : 雌花開花盛期 (1 月 1 日を起算日とした通算日)

x_1 : 雌花開花盛期直後における平均気温 (°C)

x_2 : 成熟後期における平均気温 (°C)

² 雌花開花盛期後 (日)

も早くなることから、細胞分裂期間の短縮が成熟期間の短縮に寄与している可能性が指摘されている(杉浦, 1997)。一方、ニホングりは、柱頭で発芽した花粉管が胚珠に到達して受精するまで、約30日必要とされている(中村, 1994; 佐久間ら, 1995)。成熟日数と相関の高かった期間が約30日であることを考慮すると、この期間の気温が花粉管伸長の速度に影響を及ぼし、その早晩が成熟期間の長さに関与していると考えられた。

なお、予測法2で用いる雌花開花盛期直後の気温と雌花開花盛期には3品種とも有意な正の相関が認められた(データ略)。これは、雌花開花盛期が早い年次は、その直後の気温が比較的低いことを示す。前項では予測法1の傾きから、開花期が早くなっても、その効果を打ち消す要因が開花期以降に存在する可能性を示した。雌花開花盛期が早い年次は、直後の気温が低いことが打ち消し効果の原因のひとつであると考えられた。

3. 予測法2の回帰残差と果実成熟後期の気温の関係(予測法3)

雌花開花盛期直後一定期間の平均気温と成熟日数の回帰式の回帰残差が、果実成熟後期の平均気温との間に、正の相関があったことから、成熟後期の高温が成熟日数を長くすることが示された。その回帰式の傾きの絶対値の大きさや相関係数から判断すると、3品種の中で最も成熟期間が長い‘石鎚’は、特に成熟後期の気温の影響を受けやすいと考えられた。

気温が成熟日数に影響を与える期間は品種により異なり、笠間市における過去10か年の観測値から計算すると、‘丹沢’の雌花開花盛期後59～66日は暦日で8月11～18日ごろ、‘筑波’の雌花開花盛期後73～90日が8月25～9月11日ごろ、‘石鎚’の雌花開花盛期後63～92日が8月16～9月14日ごろであった。また、これらは概ね収穫始期の15～22日前(‘丹沢’), 13～30日前(‘筑波’), 17～46日前(‘石鎚’)に相当し、いずれの品種も収穫始期より約半月前までの数日間であった。ニホングリの生理的落果は、開花後に樹の栄養状態に影響されておこる早期落果(一次落果)、不受精が要因とされ8～9月におこる後期落果(二次落果)があり(荒木ら, 1972; 中村, 1991)、これらの期間は概ね後期落果前後にあたった。すなわち、後期落果前後においては、高温により収穫期を遅延させる時期が存在することを示している。

なぜそのような結果になったかは明確ではないが、ニホングりは後期落果の約2週間前から20個程度発達していた胚珠のうち、1個の胚珠のみが急速に肥大するとする報告がある(中村, 1991)。胚珠はニホングリの可食部である子葉となり、主な成分は葉で光合成された炭水化物が転流して蓄積したものである。温度が高いと、光合成で作られた炭水化物が呼吸で消費されて果実へ転流蓄積しにくいいため、子葉の生育が遅くなり成熟日数が長くなることも原因のひとつとして考えられる。

4. 実際の予測方法

今回の結果から、収穫始期予測は3つの段階で可能となった。まず、雌花開花盛期の6月中旬頃に最初予測を行う(予測法1, 予測誤差4.3～4.9日)。次に、その1か月後の7月中旬頃に‘丹沢’と‘筑波’では2回目の予測が可能である(予測法2, 予測誤差3.7～3.9日)。そして最後に、3品種とも収穫始期約半月前において、最も高い精度(予測法3, 予測誤差3.0～3.3日)で予測が可能である。このように、生育段階に応じて精度が向上してゆく収穫始期予測となっており、その誤差の大きさからも、十分実用的な予測法が開発されたといえる。

今回の研究では、茨城県内の2つの地点におけるデータを用いて解析した。この2つの地点では阿見町の方が暖かく、開花期や収穫期が早い。しかし、今回のいずれの解析においても両地点に明確な傾向の差がなく、すべて両方のデータを合併して解析した。この2地点は茨城県内のニホングリ主産地の近くにあり、このことから、県内の主産地はいずれも同じ予測式で運用可能と考えられる。しかし、茨城県と気候が異なる九州などで利用する場合は、その地域での過去のデータを当てはめ、係数などを補正する必要があるかもしれない。

ニホングリの収穫期は、平均気温のほか降水量にも影響される可能性が指摘されているため(佐久間・渡辺, 1989)、今後は降水量などの他要因も含めた収穫始期予測式の検討や、今回得られた予測式について、温度制御実験などによる実証試験の余地があると考えられる。

摘 要

ニホングリの収穫始期予測法を開発するために、‘丹沢’、‘筑波’および‘石鎚’における過去44年間(1965～2009年)の生態データを解析した。雌花開花盛期と収穫始期には有意な正の相関が認められ、雌花開花盛期が早くなると収穫始期も早くなった。得られた回帰式より収穫始期を推定したときの予測誤差(RMSE)は、4.3～4.9日であった。また、雌花開花盛期直後約30日間の平均気温と成熟日数の間には、有意な負の相関関係が認められ、その期間の気温が高いと成熟日数が短くなった。得られた回帰式より収穫始期を推定したときの予測誤差は、3.7～5.0日であった。さらに、果実成熟後期に、成熟日数と有意な正の相関関係が認められる時期が存在した。この関係を加味した予測式より収穫始期を推定したときの予測誤差は、3.0～3.3日であった。以上のように、3段階での予測が可能で、生育段階に応じて精度が向上してゆく収穫始期予測式が得られ、その誤差の大きさから判断して、十分に実用的な予測法が開発された。

謝 辞 本研究の遂行に当たり、44年間にわたり貴重なデータを積み重ねてこられた茨城県園芸試験場並びに茨城県農業総合センター園芸研究所の諸先輩方のご尽力に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 荒木 斉・中岡利郎・藤村 良. 1972. クリ樹の結実に関する研究. (第1報) 雌花着生および生理的落果に及ぼす2, 3の要因. 兵庫農試研報. 20: 31–36.
- 羽山裕子・藤丸 治・岩谷章生・伊東明子・阪本大輔・岡田眞治・樫村芳記. 2007. 果実発育期間中の気温がモモ‘あかつき’果実の発育に及ぼす影響. 園学研. 6: 201–207.
- 益田信篤. 1981. クリ生産と品質におよぼす異常気象の影響とその対策. 果実日本. 36: 80–84.
- 中村正博. 1991. ニホングリ (*Castanea crenata* Sieb. et Zucc.) の生理的落果と胚珠の退化. 園学雑. 60: 47–53.
- 中村正博. 1994. ニホングリ (*Castanea crenata* Sieb. et Zucc.) の花粉管伸長と胚珠の退化. 園学雑. 63: 277–282.
- 佐久間文雄・檜山博也・石塚由之・植田稔宏・多比良和生・保坂光良. 1995. クリ生育・成熟・収量予測に関する研究. (第2報) 胚の発育と果実生長解析について. 茨城農総セ園研報. 3: 11–17.
- 佐久間文雄・渡辺幸夫. 1989. クリの生育・成熟・収量予測に関する研究. 茨城園試研報. 14: 49–77.
- 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・本條 均・菅谷 博. 1995. ニホンナシの果実生育と気温の関係について. 農業気象. 51: 239–244.
- 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.