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

伊藤 寿*・市ノ木山浩道

三重県科学技術振興センター農業研究部 515-2316 松阪市嬉野川北町

Relationships between the Yearly Variation in the Developmental Phase and Fruit Qualities of Japanese Pear ‘Kosui’ and Climatic Factors

Hisashi Ito* and Hiromichi Ichinokiyama

Agricultural Research Division, Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center, Matsusaka, Mie 515-2316

Summary

We analyzed the relationships between the yearly variation in the developmental phase and fruit quality of the Japanese pear ‘Kosui’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and climatic factors in Mie Prefecture between 1987 and 2004. The annual mean air temperature tended to rise at an annual rate of 0.07°C. This uptrend in the mean temperatures was especially remarkable from September to February. Along with the rise of temperature, the estimated date of breaking of bud endodormancy in ‘Kosui’ pear tended to be delayed at a rate of 0.49 day per year, possibly due to the rising temperatures during late autumn and winter. The dates of full bloom were negatively correlated with mean air temperatures at 10-day intervals from early February to mid-April and some of these mean air temperatures increased with advancing years. As a result, the dates of full bloom became earlier each year at a rate of 0.37 day per year. The date of peak harvest was positively correlated with the annual and became earlier each year at a rate of 0.32 day per year. The number of days from full bloom to peak harvest was not correlated with the annual. These results suggest that the developmental phase of ‘Kosui’ pear in Mie Prefecture is being influenced by global warming. However, the sugar concentration in the fruit was influenced by mean air temperature and mean solar radiation from middle July to middle August and mean precipitation from late July to early August, although, the yearly variations in sugar concentration in the fruit did not parallel the variations in annual mean air temperature.

キーワード：地球温暖化，開化期，気象，ニホンナシ，収穫期

緒 言

近年，地球規模での気温上昇が各方面で問題になっているが，果樹でも，地球温暖化に起因すると推定される変化が全国的に出始めていることが指摘されている（本條ら，2002, 2003; 杉浦ら，2004; 杉浦・横沢，2004）。高木ら（2002）は，ウンシュウミカン果実の肥大および品質の年次変動と気温との関係を調べ，温暖な気候への変化に伴い，果実肥大量が増加し，糖度が低下していることを指摘するとともに，摘果方法の改善による品質向上の可能性を示した。また，Yokozawaら（2003）は，大気中の二酸化炭素濃度上昇に伴う気候変化の影響を評価するための気候変化メッシュデータを作成し，主要作物の栽培期間に相当する5月から9月までの積算気温，積算降水

量および平均日射量の将来的変化を示している。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）や気象庁の資料は，地球温暖化傾向の持続を予測している。このようなことから，果樹の生育が地球温暖化の影響を受けているかどうかを明らかにすることは，果樹栽培における地球温暖化対策を早めに講じるために有益であると考えられる。そこで，同一圃場で栽培されたニホンナシ‘幸水’の過去24年間にわたる生育調査データを用いて，自発休眠覚醒期，満開期，収穫最盛期および果実生育期間の年次変動と気温との関係を解析するとともに，果実糖度と気温，日射量および降水量との関係を調査した。

材料および方法

生育相のデータは，三重県科学技術振興センター農業研究部圃場で慣行的管理法に従って栽培されているニホンナシ‘幸水’3樹を用いて，1981年から2004年までの24年間にわたって調査されたデータを用いた。調査樹は，種々の実験に用いられていない樹を選んだため，調査年

2005年2月10日 受付，2005年5月9日 受理。

本報告の一部は園芸学会東海支部平成15年度研究発表会および園芸学会平成15年度秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: itouh13@pref.mie.jp

次によって4年生から33年生の樹が、暦年の経過とは無関係に不規則に混在した。なお、調査樹の果実にジベレリン処理は行っていない。

生育相のデータとして、満開期と収穫最盛期を用いた。樹全体の花の約80%が開花した日を満開期とし、積算収穫果実数が着果数の50%を超えた日を収穫最盛期とした。また、満開期から収穫最盛期までの日数を果実生育期間とした。別に、杉浦・本條(1997)が策定した推定モデルを用いて、自発休眠覚醒期を推定した。各生育相の期日は、当年度の1月1日を基点とする日数で表示した。

果実糖度は、果肉より搾汁した果汁を屈折糖度計またはデジタル糖度計(アタゴ、PR-100型)を用いて測定した。測定は収穫最盛期に行い、生育相調査樹1樹あたり10果を供試した。

気象データは、農業研究部圃場での観測値は欠測値が多かったので、圃場から約10 kmの距離にある津地方気象台の観測値を用いた。これらの観測値を農業研究部圃場の一部の観測値と比較すると、気温の絶対値は若干異なるが、日平均気温および旬平均気温は、両地点間の相関係数がそれぞれ0.989, 0.997(両者とも1%水準で有意)であり、気温の推移傾向はほぼ同じであった。日射量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)は、(財)日本土壌協会編の報告(1990)に示された関係式から、次式を用いて算出した。日射量 $= (A+B \times T \cdot T_0^{-1}) \cdot S_0$ 。AおよびBは係数で、津市における値はそれぞれ0.078, 0.602である。Tは日照時間($\text{hr} \cdot \text{day}^{-1}$)で、津地方気象台観測値を用いた。T₀は可照時間($\text{hr} \cdot \text{day}^{-1}$)で、津市における値は月単位で変わり、最大が6月の14.37, 最小が12月の9.63である。S₀は大気外日射量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)で、津市における値は月単位で変わり、最大が6月の42.13, 最小が12月の16.69である。なお、1987年に津地方気象台の日照計が太陽電池式から回転式に替わっており、機種によって日照時間から日射量への変換式の係数が異なることから、今回の解析には1988年以降のデータを用いた。

結果および考察

1. 平均気温の年次変動

1981年から2004年の間に年平均気温は年々上昇する傾向にあり、直線形回帰から求めたその上昇程度は、1年間に約0.07°Cであった(第1図)。気象庁の資料によると、我が国の年平均地上気温の全国平均値は、1898年から2003年までの間に年間約0.01°Cの割合で上昇しているが、1980年代後半から上昇程度が急速に大きくなっている(気象庁, 2003)。三重県の年平均気温も全国平均とほぼ同様に上昇していることがうかがわれた。

年平均気温を旬別に分けて年次変動を解析したところ、どの旬の平均気温も過去24年間の間に多少とも上昇していることが認められた(第2図)。このうち、年次との有意な相関を示したのは、1月中旬、2月下旬、4月中旬、5月下旬、7月上旬、9月中旬、10月中旬および下旬、11月下旬、12月上旬および中旬であった。特に、9月中旬から2月下旬までの気温上昇が大きく、この期間の温度変化量の平均値は0.09°Cであり、年平均値の0.07°Cの約129%であった。

2. 生育相の年次変動と気温との関係

ニホンナシ混合芽の自発休眠覚醒は低温によって引き起こされるが、秋季以降の12°Cより低い気温と発育速度との関係から、覚醒期を推定するモデルが構築されている(杉浦・本條, 1997)。このモデルを用いて推定した

第1図 津市における1981~2004年の年平均気温の年次変動
データは津地方気象台における観測値
**は、1%水準で有意であることを示す

第2図 津市における1981~2004年の旬平均気温の変化量と年次変化との相関
変化量は直線形回帰から算出したデータは津地方気象台における観測値
*, **は、それぞれ5%水準, 1%水準で有意であることを示す

第3図 ニホンナシ‘幸水’の自発休眠覚醒期推定値の年次変動
自発休眠覚醒期は1月1日を基点とした日数で示した
**は、1%水準で有意であることを示す

第4図 ニホンナシ‘幸水’の満開期の年次変動
満開期は1月1日を基点とした日数で示した
*は、5%水準で有意であることを示す

第1表 ニホンナシ‘幸水’の満開期と相関のある旬平均気温の特性値および相関係数

時期 (月/旬)	気温 (°C)			旬別平均気温 との相関係数
	最高	最低	平均	
2/上	7.1	0.9	4.7	-0.737**
2/中	8.8	2.3	5.5	-0.535**
2/下	10.3	1.9	5.9	-0.758**
3/上	9.0	3.3	6.9	-0.702**
3/中	11.9	5.0	8.5	-0.675**
3/下	12.0	6.7	9.9	-0.626**
4/上	15.1	9.3	12.1	-0.779**
4/中	18.1	9.7	14.1	-0.535**

**は、1%水準で有意であることを示す

‘幸水’の三重県での自発休眠覚醒期は、最も早い年と最も遅い年の間に25日の差があり、年次との間には正の相関が認められ、自発休眠覚醒が年々遅くなる傾向にあった(第3図)。このモデルは、気温データだけを用いているため、推定値が遅延していることは、これに影響する時期の気温が高くなっていることを示す。実際、9月中旬以降において、旬平均気温が有意に上昇している時期が多くあった(第2図)。自発休眠覚醒期の遅延は、施設栽培のニホンナシにおける発芽不良の発生を招いており(杉浦ら, 2004)、今後さらに気温上昇が続くと、露地栽培樹でも発芽不良の発生が懸念される。すでに、露地栽培‘幸水’の開花期が遅延している県があり(本條ら, 2002)、自発休眠覚醒との関係が示唆される。

満開期の平均値は4月16日で、最も早い年と最も遅い年の間に24日の差があり、年次との間に負の相関が認められ、満開期が年間0.37日の割合で早くなっていた(第4図)。また、満開期は2月上旬から4月中旬の旬平均気

第5図 ニホンナシ‘幸水’の果実生育期間の年次変動

第2表 満開期を基点として区分した期間平均気温の特性値とニホンナシ‘幸水’の満開期および年次との相関係数

満開後日数 (日)	気温 (°C)			平均気温との相関係数	
	最高	最低	平均	生育期間	年次
1~10	18.2	9.8	15.4	-0.073	0.266
11~20	19.8	10.4	16.3	-0.192	0.207
21~30	19.6	13.8	17.8	0.007	0.253
31~40	21.9	15.1	19.2	0.044	0.406*
41~50	22.9	17.7	20.4	-0.103	0.073
51~60	23.9	17.8	21.6	0.371	0.151
61~70	24.3	19.7	22.5	-0.115	0.438*
71~80	27.5	21.1	24.1	0.316	0.332
81~90	29.3	21.2	25.6	-0.293	0.253
91~100	29.3	22.7	26.5	0.178	0.280
101~110	30.8	24.1	27.5	0.264	0.268
111~120	29.6	24.6	27.4	-0.067	0.424*

*は、5%水準で有意であることを示す

第6図 ニホンナシ‘幸水’の収穫最盛期の年次変動
収穫最盛期は1月1日を基点とした日数で示した
*は、5%水準で有意であることを示す

第7図 ニホンナシ‘幸水’の果実糖度の年次変動

温と負の相関を示し(第1表)、これらの時期の気温が高いと開花期が早まることが示唆された。前川ら(1989)は、2月および3月の平均気温を用いた‘幸水’の開花期の予測式を策定しており、この予測式は、上述した期間の気温が高いほど開花期が促進されることを示している。本調査では、満開期の変動に影響する時期の気温、すなわち2月上旬から4月中旬の旬平均気温の中に、年次と正の相関を示すものがあったことから(第2図)、これらの時

第3表 ニホンナシ‘幸水’の果実糖度と気象要因との相関係数

気象要因	時期 (月/旬)	相関係数
平均気温	7/中	0.711**
	7/下	0.766**
	8/上	0.595**
	8/中	0.652**
日射量	7/中	0.596*
	7/下	0.691**
	8/上	0.769**
	8/中	0.811**
降水量	7/中	-0.334
	7/下	-0.529**
	8/上	-0.633**
	8/中	-0.368

*, **は、それぞれ5%水準、1%水準で有意であることを示す

期の気温の上昇が、満開期の促進に大きく関係したと考えられる。

果実生育期間の長さ(満開期から収穫最盛期までの日数)の平均値は123日で、最も長い年と短い年との間に14日の差があったが、年次との間に有意な相関が認められなかった(第5図)。満開後31日から40日、61日から70日および111日から120日の平均気温と年次との間に有意な相関が認められたが、果実生育期間の長さは、満開期を基点として10日間隔で区分した平均気温と有意な相関が認められなかった(第2表)。杉浦ら(1995)は、8℃から30℃までの温度処理を行った試験において、果実生育期間の長さと満開後33日間の平均気温との間に正の相関を認めている。本調査では、満開後30日までの平均気温の変動幅が5.8℃から9.5℃と小さかったため、果実生育期間の長さが気温と有意な相関を示さなかったと思われる。

収穫最盛期の平均値は8月17日で、最も早い年と最も遅い年の間に25日の差があり、年次との間に負の相関が認められ、収穫最盛期が年間0.32日の割合で早くなっていた(第6図)。収穫最盛期は、満開期と正の相関($r=0.818$ 、1%水準で有意)を示し、果実生育期間の長さの変動に年次傾向が認められなかったことから、収穫期の前進は、主として開花期の前進によって引き起こされたとみなすことができる。

本條ら(2003)は、‘幸水’、‘豊水’および‘二十世紀’の開花期および収穫期の年次変動の傾向が地域によって異なることを報告している。三重県では、‘幸水’の受粉樹として主に‘長十郎’や‘豊水’が用いられており、これらの品種の開花期の変動が‘幸水’と同調して変動しないと、‘幸水’の安定生産に支障を来す可能性がある。したがって、‘幸水’以外のニホンナシ品種の開花期が、気温上昇によってどの程度の影響を受けるかを明らかにする必要がある。

一方、収穫期が早くなることは、高価格販売が期待できる早期出荷にとって有利である。現在、三重県では、熟

期促進のためにジベレリン処理が多く取り入れられているが、収穫期がさらに前進するとこの処理が不要となり、作業労力や経費の上でも好都合となる。このように、現時点では収穫期が早まることの悪影響は考えられないが、将来さらに収穫期が前進すると未知の問題が発生する可能性も否定できないので、収穫期の今後の推移を注意深く見守る必要がある。

3. 果実糖度の年次変動と気象要因との関係

果実糖度の平均値は12.6 °Brixで、最も高い年と最も低い年との間の差は3.1 °Brixであったが、年次との間に有意な相関はなかった(第7図)。一方、果実糖度は、収穫前40日間に相当する7月中旬から8月中旬までの旬平均気温および日射量と正の相関を示し、7月下旬から8月上旬の降水量と負の相関を示した(第3表)。牛島ら(1995)は、‘幸水’の果実糖度と収穫前40日間の平均気温および日照時間との相関を報告している。また、遠藤(1975a, b)は、遮光や散水処理によって‘二十世紀’の果実糖度が低下することを認めている。さらに、著者らは、‘幸水’の樹体を遮光率30%のネットで収穫最盛期前40日間被覆し、気温の変化がほとんどない条件下で糖度が低下することを認めている(未発表)。本調査結果は、これらの調査および実験結果を支持し裏付けるものである。果実糖度と年次との間に相関が認められなかった原因として、果実糖度に影響する7月中旬から8月中旬の旬平均気温、日射量および降水量などが一定の経年変化しなかったことが考えられる。しかし、地球温暖化によって日射量や降水量に変化が起きることも予測されているので(Yokozawaら, 2003)、さらに調査を継続したい。

本調査の結果、三重県では過去24年間の間に年平均気温が徐々に上昇し、それは特に秋から冬にかけて大きいこと、および、こうした気温上昇の影響を受けてニホンナシ‘幸水’の芽の自発休眠覚醒期の遅れと満開期および収穫最盛期の早まりが起こっていることが示された。三重県では、現在のところ、このような生育相の変化による栽培上の問題は発生していないが、気温上昇は今後も続く可能性があるため、温暖化に対応した栽培技術や品種の導入の検討を始める必要がある。

摘 要

三重県で栽培されているニホンナシ‘幸水’の生育相および果実糖度の年次変化と気象要因との関係を解析した。データを解析した1981年から2004年までの24年間で、年平均気温は1年間に約0.07℃の割合で上昇していた。気温の上昇は、9月から2月の間で大きかった。自発休眠覚醒期の推定値は、1年間に0.49日の割合で遅くなった。満開期は年々早くなっており、その程度は1年間で0.37日であった。満開期は、2月上旬から4月中旬の旬平均気温と負の相関を示し、これらの旬平均気温の中には年次と正の相関を示すものがあつた。収穫最盛期は、満開期

と正の相関を示し、また、1年間に0.32日の割合で早くなった。果実生育期間の長さの年次変動には傾向は認められなかった。これらのことより、‘幸水’の生育相は、地球温暖化の影響を受けていると推察された。一方、果実糖度は、7月中旬から8月中旬の旬平均気温および日射量と正の相関を示し、7月下旬から8月上旬の降水量と負の相関を示した。しかし、果実糖度と年次との間には相関が認められなかった。

謝 辞 本稿の御校閲を頂いた三重大大学名誉教授 橘昌司博士に対し、深謝の意を表します。

引用文献

- 遠藤融郎. 1975a. 和ナシ果実の口肥大周期に関する研究. 第4報. 果実の口肥大に及ぼす遮光の影響. 園学雑. 43: 347-358.
- 遠藤融郎. 1975b. 和ナシ果実の口肥大周期に関する研究. 第6報. 果径の口肥大周期と土壌湿度との関係. 園学雑. 44: 248-259.
- 本條 均・小滝真知子・島田裕一・金原啓一・吉田 亮・福井 糧・杉浦俊彦. 2003. 冬季の温暖化が落葉果樹栽培に及ぼす影響. 第4報. ニホンナシ‘幸水’, ‘豊水’, ‘二十世紀’の開花・収穫日の年次変動. 園学雑. 72(別2): 338.
- 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. 第2報. ニホンナシ‘幸水’開花日の年次変動. 園学雑. 71(別2): 288.
- 気象庁. 2003. 気候変動監視レポート2003. p. 20-22.
- 前川哲男・服部吉男・小林 昇. 1989. ニホンナシの生育予測法の策定と着果管理および収穫適期判定法の確立. 三重農技研報. 17: 11-24.
- 杉浦俊彦・本條 均. 1997. ニホンナシの自発休眠覚醒と温度の関係解明およびそのモデル化. 農業気象. 53: 285-290.
- 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・吉岡博人・杉浦裕義・高辻豊二. 2004. 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状について. 園学雑. 73(別2): 309.
- 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.
- 高木信雄・加美 豊・政本泰幸・笹山新生・藤原文孝. 2002. 温暖化に伴うミカンの収量品質の年次変動の増大と生産対応. 園学雑. 71(別2): 303.
- 牛島孝策・林 公彦・千々和浩幸. 1995. ニホンナシ早生品種の果実糖度の年次変動と気象要因. 福岡農総試研報. 14: 142-145.
- Yokozawa, M., S. Goto, Y. Hayashi and H. Seino. 2003. Mesh climate change data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing atmospheric CO₂ concentration. J. Agric. Meteorol. 59: 117-130.
- 財団法人日本土壌肥料協会. 1990. 農業生産環境情報システム実用化事業報告書. p. 18-22.