

気象生態反応に基づく ニホンナシの収穫期,果実肥大,果実生理障害予測

大谷義夫

摘要 : 近年の異常気象は,ニホンナシの収穫期や果実肥大が平年より大きく異なったり,果実生理障害が多発するなど,果実生産や品質に大きく影響を及ぼしている.このため,安定生産のためには精度良く生育を予測できる技術開発が必要となっている.そこで,過去20年間の生育状況と気象データを分析し,異常気象にも対応できる栃木県に適応したニホンナシ幸水,豊水,にっこのり果実肥大,収穫期,果実生理障害予測プログラムを開発した.

細胞分裂期の高温により果実発育が早まり開花から収穫までの日数が短縮され,さらに収穫前の気温が低いほど収穫期が早まった.収穫期の予測は, $y=ax_1+bx_2+c$ の重相関式で示され,幸水,豊水では満開日から38日間,にっこのりは42日間の平均気温により予測でき,収穫予定日前の平均気温を加えることでさらに精度は高まる.

果実肥大は,細胞分裂停止期の果実体積と全天日射量を使用することで予測が可能で,

$$Vx = V0 + \sum_{d=0}^{x-1} Kn * Sd^b * V0^p$$
 (Vx : 果実体積, $V0$: 細胞分裂停止期の果実体積) 式により,果実体積を予測できる.
kn: 係数, Sd: 全天日射量

果実生理障害(豊水のみつ症およびす入り)は,満開日から38日間の平均気温(X_1)および収穫前60~41日の平均気温(X_2)を使用した重回帰式 ($\text{みつ症} = 0.3111 * X_1 - 0.4359 * X_2 + 6.9866$)
($\text{す入り} = 0.3432 * X_1 - 0.4982 * X_2 + 7.9979$) で発生を予測できる.

さらに,県内10カ所に設置してある現地ほ場の収穫期,果実肥大の予測式を作成するとともに,気象予報を用いることで栃木県内全域を網羅できるプログラムを開発した.

キ-ワ-ド : ニホンナシ, 生育予測, 収穫期, 果実肥大, 果実生理障害

Prediction Methods for Harvesttime, Fruit Enlargement and Fruit Physiology Disorder of Japanese Pears Based on Weather Habit Reactions

Yoshio OYA

Summary : Recently, unusual weather has significantly affected the fruit production and quality of Japanese pears; the physiology disorder of fruit occurred frequently. Additionally, the harvesttime and fruit enlargement varied markedly year by year. Therefore, the program based on the growth situation and weather data was developed, which can predict the above projects of Japanese pear 'Kousui', 'Housui' and 'Nikkori' even under unusual weather conditions.

The high temperature of cell division period hasten the growth of fruit, resulting in the shortening of the period from the anthesis to the harvest. Additionally, the harvesttime becomes earlier as the temperature before the harvest decreased. The predicting harvesttime of 'Kousui', 'Housui' and 'Nikkori' was expressed by the multiple regression equation of $y=ax_1+bx_2+c$. The former two pears and the latter were predicted by using the average temperature within 38 days and 42days after the full blossom, respectively. The addition of the expected temperature prior to the harvest yielded the more correct prediction of the harvesttime for the latter.

The prediction of fruit enlargement was as follows;

$$Vx = V0 + \sum_{d=0}^{x-1} Kn * Sd^b * V0^p$$

Where Vx was the fruit volume, $V0$ was the fruit volume during cytotaxis period, Kn was coefficient, Sd was daily solar energy, b was the coefficient used in the above multiple regression equation.

Fruit physiology disorder (glassiness and pithiness of 'Housui') was predicted using the following multiple regression equations.

The degree of glassiness = $0.3111 * X_1 - 0.4359 * X_2 + 6.9866$

The degree of pithiness = $0.3432 * X_1 - 0.4982 * X_2 + 7.9979$

where X_1 was the average temperature within 38 days after the full blossom, and X_2 was the average temperature between 60 days and 41 days before the harvest.

The predicting program based on a forecast is useful throughout the whole Tochigi prefecture by calculating the above three projects at ten monitoring sites where are located across the whole prefecture.

Key words : Japanese pear, growth prediction, harvesttime, fruit enlargement, fruit physiology disorder

緒 言

近年の地球温暖化に伴い、夏の天候は冷夏や猛暑等異常気象が頻発し¹⁰⁾、ニホンナシの収穫期や果実肥大は大きく変動している。冷夏では小玉果になりやすく、豊水ではみつ症等の果実生理障害が発生する⁸⁾。さらに、経営規模の大きい農家では収穫期が予想したよりも早まると雇用の手配が遅れて収穫遅れによる品質低下の原因にもなる。そのため、着果管理や作業管理の計画策定には的確な生育予測情報が必要となっている。また、幸水の出荷期間は2週間程度と短く、市場では南の産地から北の産地へリレー方式で相対取引や予約相対取引で97%が販売されている。販売価格は出荷情報と小売りからの注文で決定されるため出荷情報の重要性は高まっている。しかし、出荷情報は経験と勘に頼っていることから、情報よりも出荷量が多くなると、価格の下落を招き、供給が間に合わないと高騰する。このようにニホンナシの生産流通は気象変動に大きく影響され、農業者の経営不安定要因の一つになっている。

果実発育・生長と気象要因等の関係のモデル化に関する研究は、果樹類では他作物に比べて遅れている。果実肥大モデルの研究は気象要素と無関係にシグモイド曲線に成長曲線を模したり¹¹⁾、生育初期の果実の大きさからその後の肥大量を予測すること²⁴⁾から始まったが、これらは気象変動には対応していない。また、近年では金子・松浦⁹⁾、佐藤¹⁶⁾が果実の生長あるいは発育を気象要素等から動的に予測するモデルを報告しているが、極端な気象条件下では精度が問題となっている。

このような問題を解決するため、杉浦¹⁸⁾は生態実験によってニホンナシの発育・生長と関連する複雑な環境要因から単一の要因を抽出し、その要因と発育・生長を実証的に示し、ニホンナシの生態反応を実態に即して再現する機構的なモデルを作成した。しかし、モデル化は幸水のみでしか実現されておらず、モデルの実証件数が少ないことに加え、高等な数式で作成されていることから扱いづらく生産者や農業協同組合等の職員にはほとんど利用されていない。また、過去の気象データを用いた予測モデルであり、実際の予測場面でのプログラム化が図られていない等の課題も残されている。一方、豊水では年により果実生理障害(みつ症およびす入り)が多発することから、この予測式も必要となっている。

そこで、本県主要品種である幸水、豊水、にっこりを用いて、本県の気象要因を加味し冷夏や猛暑等にも対応できる収穫期、果実肥大予測プログラムを開発するとともに、豊水に関しては果実生理障害予測も加え、県内全

域を網羅できるニホンナシの生育予測プログラムを開発したので報告する。

試験方法

1. 収穫期予測式の作成

1) 気温と収穫期の関係

幸水、豊水は1984年～2003年の延べ20年間、にっこりは1994年～2003年の延べ10年間の日平均気温と成熟日数(満開日から収穫始、収穫盛までの日数)との関係について回帰分析により解析し、得られた予測日と実測値との誤差が小さく適合性の高い回帰式から収穫期予測式を作成した。ここで収穫始とは連続して収穫された始の日、収穫盛は総収穫果数の6割以上が収穫された日である。収穫は幸水の表面色カラーチャートで3、豊水の表面色カラーチャートで4、にっこりの表面色カラーチャートで5を基準として収穫した。

2) 収穫期予測式の有効性の検証

1. 1) で作成した収穫期予測式を用い、2005年に満開後60日、100日以降の気温を気象庁の長期予報により予測し収穫期を予測した。気温は宇都宮アメダスの日平均気温を用いた。その結果が実測値においてどのような値をとるかを解析した。また、松浦ら¹³⁾が作成し、現在生育診断予測事業で使用している収穫予測式と比較した。

2. 果実肥大予測式の開発

1) 果実肥大予測式

果実肥大は、杉浦¹⁸⁾の報告をもとに、本県の気象と果実肥大との関係からパラメーターを算出することで予測式を構築した。

杉浦のモデルは次のとおり、初期肥大量と全天日射量および光合成産物の果実への分配により求められる。

満開後x日の果実体積(Vx)予測式

$$V_x = V_{33} + \sum_{d=0}^{x-1} FVGR = V_{33} + \sum_{d=0}^{x-1} kn \cdot Sd^b \cdot V_{33}^p \quad (1)式$$

V₃₃: 満開後33日の果実体積(cm³)、

FVGR(Fruit Volume Growth Rate):

1日当たりの果実体積生長速度

kn: V₃₃とSdを関連づける係数

(満開後33～46日=0.025, 47～60日=0.030, 61～67日=

0.061, 68～74日=0.098, 75～81日=0.143, 82～88日=

0.260, 89～95日=0.355, 96～101日=0.387, 102～109日=

0.374, 110～116日=0.359, 117～123日=0.285)

b=0.639, p=0.580

Sd: 日全天日射量(MJ/m²/day), b, pはパラメーター

このモデルは幸水のみモデルであり、他の品種で適合するかについての検討はなされていない。また、(1)式をもとに果実肥大を推定した場合、推定値と農業試験場(以下、農試)の幸水の果実肥大との誤差は大きく、

本県においてそのまま利用できるものではなかった。

このことから，本県の果実肥大予測式は(1)式を基本としたが，初期肥大量としての V_{33} を細胞分裂停止期の果実体積(V_0)と見直し，(1)式のパラメーター(b, p)を新たに算出することで作成した。パラメーターの算出は， V_0 と果実生長量，全天日射量と果実生長量との関係について回帰分析により解析することで求めた。パラメーター算出に使用したデータは1984年～2003年の20年間（にっこりは1994年～2003年の10年間）の果径，果重および宇都宮地方気象台における毎日の全天日射量を用いた。また，実際の予測に用いる項目は，果径，果重であることから，これらを求める予測式も作成した。加えて，豊水，にっこりにおいても予測式が構築できるかについても検討した。

施肥は本県施肥基準に準じ，基肥として11月下旬に10a当り窒素15kg，りん酸10kg，加里12kg，苦土炭酸カルシウム60kg，ようりん60kgを，礼肥として10a当り窒素5kg，カリ3kgを施用した。着果管理は第1表のとおりとした。その他の管理（病害虫防除，人工授粉，新梢管理，整枝剪定等）は慣行管理とした。全天日射量および気温は宇都宮地方気象台の気象データを用いた。

第1表 果実肥大予測式作成に供試した品種の着果管理

品 種	予備摘果	仕上摘果	補正摘果	最終着果数
幸 水	30 日	50 日	100 日	11 果/m ²
豊 水	40 日	60 日	110 日	12 果/m ²
にっこり	40 日	60 日	130 日	8 果/m ²

注．摘果日は満開後日数．予備摘果は1果そう1果に，仕上摘果は最終着果数の10%増しに，補正摘果で最終着果数とした。

2) 果実肥大予測式の検証

出荷等に活用するためには早期に予測可能なプログラムが必要である。このため，肥大予測プログラムは，満開後60日，90日時点においてそれまでの果実横径および縦径を用い，その後の全天日射量を気象庁の長期予報の日照時間により予測し，肥大予測式に代入することで算出できるプログラムとした。全天日射量は，日照時間が少ない予想の場合は，過去の平均から平年値に0.925を，多い場合は1.1を乗じた。その結果が実測値においてどのような値をとるかを解析した。検証に使用したデータは1984年～2003年の20年間（にっこりは1994年～2003年の10年間）の果径，果重および宇都宮地方気象台における毎日の全天日射量を用いた。また，松浦ら¹³⁾が作成し，現在生育診断予測事業で使用している果実肥大予測式と比較した。

3. 果実生理障害予測プログラムの開発

1) 気象要因等と果実生理障害との関係

これまでの本県の豊水のみつ症，す入りは7月の気温および満開後100日の果実比重，110日の果実硬度から予測されている¹³⁾が，近年の異常気象により精度が低下している。このため，再度，気温，果実硬度，果実比重，糖度等と収穫時の障害果発生程度との関係を明らかにした。また，簡易に予測することを目的に，気温から予測できる予測式を作成した。使用したデータは，1984年～2003年の20年間の，宇都宮アメダスの気温と豊水の果実硬度，果実比重およびみつ症，す入りの発生程度を用いた。みつ症，す入りの発生程度は，0なし，1微，2少，3中，4多の5段階とした。

2) 果実生理障害予測式の有効性の検証

3. 1) の気象要因等と果実生理障害との関係により作成した果実生理障害予測式をもとに，満開後100日時点での予測プログラムを開発した。有効性の検証は，気温および豊水の生育診断樹からそれぞれ25果（合計50果）ずつ採取し，果重および果実水中重をもとに求めた果実比重を調査することで予測し，収穫時（満開後140日，150日）の実測値と比較した。また，松浦ら¹³⁾が作成し，現在生育診断予測事業で使用しているみつ症予測式と比較した。

4. 県内全域を網羅できる収穫期，果実肥大予測プログラムの開発

1) 各診断ほのパラメーターの作成

収穫期予測は，1. 1) の気温と収穫期の関係から導き出された予測式をベースとして県内10診断ほでの収穫日とアメダスデータとの関係から，予測式の各パラメーターを求め診断ほ毎の予測式を作成した。調査地点および日平均気温を用いたアメダス地点は，農試（宇都宮アメダス），大田原市湯津上（以下，湯津上，大田原アメダス），高根沢町大谷（以下，高根沢，烏山アメダス），那須烏山市福岡（以下，南那須，烏山アメダス），河内町下田原（以下，河内，宇都宮アメダス），鹿沼市武子（以下，鹿沼，鹿沼アメダス），芳賀町稲毛田（以下，芳賀，真岡アメダス），佐野市上羽田町（以下，佐野，佐野アメダス），岩舟町静和（以下，岩舟，佐野アメダス），小山市東黒田（以下，小山，小山アメダス）とした。その結果が実測値においてどのような値をとるかを解析した。

果実肥大予測は，2. 1) の果実肥大予測式をもとにして，全天日射量，果径（果実横径，縦径）から各パラメーター(b, p, kn)を求め診断ほ毎の果実肥大予測式を作成した。なお，全天日射量はアメダスデータとして計測されていないため，宇都宮地方気象台全天日射量×（近隣のアメダス日照時間/宇都宮アメダス日照時間）

として全天日射量を計算した。なお、各診断ほの果実肥大予測は幸水のみで作成した。

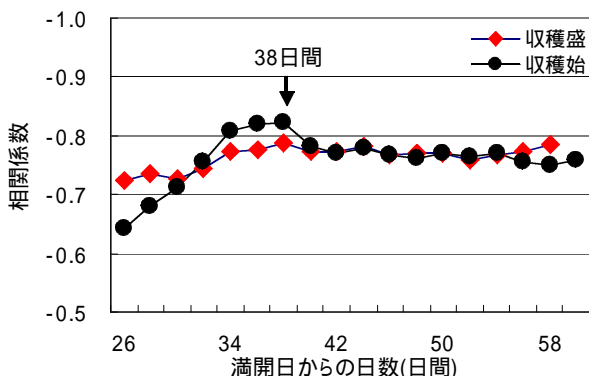
果実生理障害予測は、農試のみとし県全体を代表した。

試験結果および考察

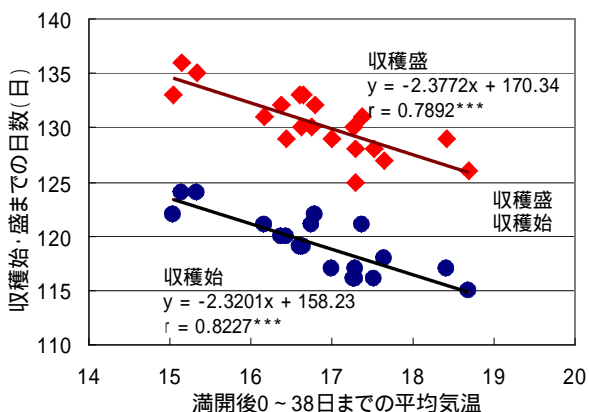
1. 収穫期予測式の作成

1) 気温と収穫期の関係

幸水で、満開日を基点とし26日間から60日間の平均気温の平均値と満開日から収穫始および収穫盛までの日数との相関を分析した結果、相関係数は満開後38日間の平均気温と収穫期までの日数（収穫始： $r = -0.8227^{***}$ ，収穫盛 $r = -0.7892^{***}$ ，***は0.1%水準で有意）が最も高く、また、この期間の気温が高いほど収穫期までの日数が短くなること明らかとなった。（第1，2図）。



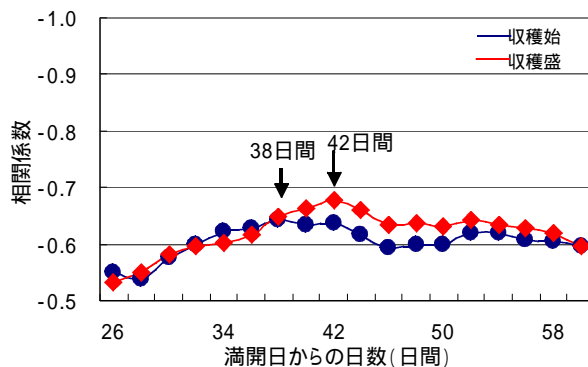
第1図 満開後の平均気温と収穫始・盛までの日数との相関係数（幸水）



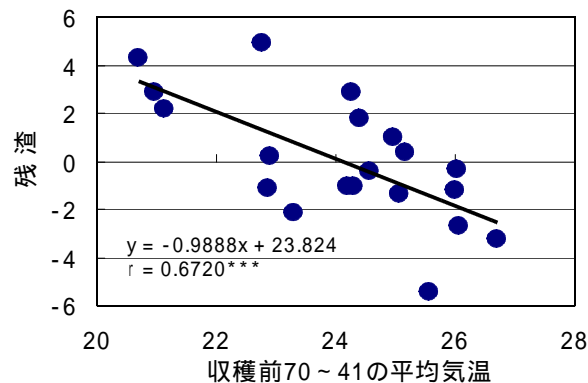
第2図 満開日から38日間の平均気温と収穫始・盛までの日数との関係（幸水）

豊水は、満開後38日間の平均気温（収穫盛は42日間）および収穫前70～41日間の平均気温（収穫盛は60～31日間）と成熟日数との重相関係数（始： $r = 0.8290^{***}$ ，盛 $r = 0.8345^{***}$ ）が最も高く、また、満開後の気温が高いほど、収穫前71～40日間（60～31日間）の気温が低いほど成熟

日数は短くなった（第3，4図，第2表）。



第3図 満開後の平均気温と収穫始・盛までの日数との相関係数（豊水）



第4図 収穫始予測式に満開後38日間の平均気温を代入した予測値と実測との残差と収穫前70～41日間の平均気温との関係（豊水；開花始）。

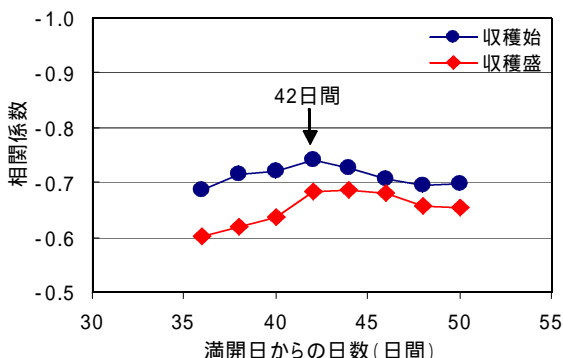
注．第3図より満開後38日間の相関がマイナスなので、収穫前70～41日間の平均気温と成熟期間は正の相関となる。

第2表 目的変数を満開日から収穫始・盛までの日数とした場合の重相関係数（豊水）

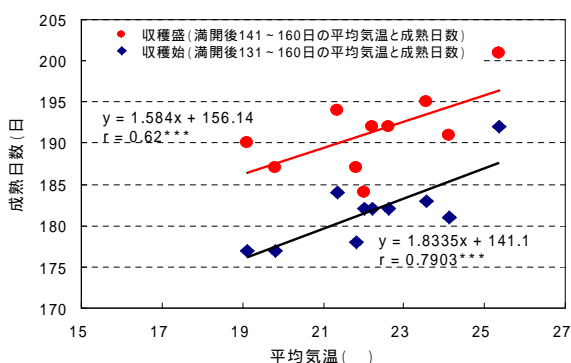
目的変数	説明変数		R ² の決定係数 (重相関係数)
	平均気温	平均気温	
満開日から 収穫始まで の日数	満開日から38日間	収穫前31～40日	0.6980
		収穫前31～50日	0.7219
		収穫前31～60日	0.8026
		収穫前41～60日	0.8117
		収穫前41～70日	0.8290
満開日から 収穫盛まで の日数	満開日から42日間	満開後71～100日	0.7269
		満開後81～100日	0.7440
		収穫前31～40日	0.7540
		収穫前31～50日	0.7979
		収穫前31～60日	0.8345
満開日から 収穫盛まで の日数	満開日から42日間	収穫前41～60日	0.8289
		収穫前41～70日	0.7923
		満開後71～100日	0.7240
		満開後81～100日	0.7895

にっこりは、満開後42日間および満開後131～160日間の平均気温（収穫盛は160～141日間）と成熟日数との重相関係数（始： $r = 0.9631^{***}$ ，盛 $r = 0.9433^{***}$ ）が最も高く、満開後の気温が高いほど、満開後131～160日間（141～1

60日間)の気温が低いほど成熟日数が短くなった(第5, 6図, 第3表)。



第5図 満開後の平均気温と収穫始・盛までの日数との相関係数(にっこり)



第6図 収穫前の平均気温と成熟日数との関係(にっこり)

第3表 目的変数を満開日から収穫始・盛までの日数とした場合の重相関係数(にっこり)

目的変数	説明変数		重相関係数
	平均気温	平均気温	
満開日から 収穫始までの 日数	満開日から42日間	収穫前21～50日	0.9286
		収穫前31～50日	0.8729
		満開後121～140日	0.8718
		満開後131～160日	0.9631
満開日から 収穫盛までの 日数	満開日から42日間	収穫前21～50日	0.9224
		収穫前31～50日	0.9186
		満開後121～140日	0.9038
		満開後131～160日	0.9139
		満開後141～160日	0.9288

第4表 収穫期予測式及び過去20年間に当てはめた場合の予測結果

品種	項目	予測時期	推定誤差 RMSE	相関係数	満開日から収穫期(始,盛)までの日数を 算出するための予測式	予測誤差(年数)				
						1日 未満	2日	3日	4日	4日 以上
幸水	収穫始	満開後 60日	1.49	r=0.8843***	$-2.32007 \times X1 + 158.2275$	9	7	3	1	0
	収穫盛	満開後 60日	1.72	r=0.7892***	$-2.37719 \times X1 + 170.3384$	8	7	4	0	1
豊水	収穫始	満開後 60日 満開後100日	1.84	r=0.8290***	$-2.60673 \times X1 + 1.026349 \times X2 + 157.8064$	9	6	2	3	0
	収穫盛	満開後 60日 満開後100日	1.82	r=0.8289***	$-2.40729 \times X1 + 0.789164 \times X3 + 172.1007$	6	9	3	2	0
にっこり	収穫始	8/下 9/下	1.11	r=0.9631***	$-2.8218 \times X4 + 1.720912 \times X5 + 189.8527$	8	0	2	0	0
	収穫盛	8/下 9/下	1.85	r=0.9426***	$-2.39541 \times X4 + 1.20146 \times X6 + 205.4467$	5	2	2	0	1

注1. 豊水の満開後60日, にっこりの8/下は1ヶ月予報(気温が高い, 平年並, 低い)を予測に用いる。
 注2. X1:満開日から38日間の平均気温, X2:収穫前70～41日間の平均気温, X3:収穫前60～41日間の平均気温。
 X4:満開日から42日間の平均気温, X5:満開後131～160日間の平均気温, X6:満開後141～160日間の平均気温。
 注3. 豊水の収穫前日数は, $Y = -2.24772 \times X1 + 176.6229$ から収穫始を予測し, 逆算して収穫前日数を算出する。

それぞれの品種における, 気温と収穫期までの日数を回帰分析した結果, 第4表の収穫期予測式が得られた。

回帰式をもとに収穫始および収穫盛までの日数を予測した結果, 実測値との誤差は, 概ね3日以内であり適合性が高く, 実用性は高いと考えられた(第4表)。

2) 収穫期予測式の有効性の検証

2005年に1.1)で作成した収穫期予測式を基に, 予測日以降の気象予報を利用し収穫期を予測した(第5表)。現行式は最大4日の誤差があったが今回作成した式は0～2日の誤差と良く適合した。そこで, 収穫期予測プログラムを作成した(第7図)。このプログラムは, 満開日以降の日平均気温と, 気象庁の気象予報による予想気温(平年差)を入力することにより, 幸水, 豊水, にっこりの収穫始, 収穫盛を予測することができる。

収穫期予測プログラム Ver.1

7月上旬時点での予測(概ね満開後70～80日) 2005/07/ 現在

品種	満開日	項目	予測日	平年差	生育日数(平年値)
幸水	4/28	収穫始	8/25	1日	119 (119日)
		収穫盛	9/5	3日	130 (130日)
豊水	4/25	収穫始	9/13	4日	140 (140日)
		収穫盛	9/24	3日	152 (151日)

注. (平年値)は過去20年間の平均値。

予測に用いた要素

品種	予測に用いた要素		平年差	(平年値)
幸水	収穫始	満開日から38日間の平均気温	16.8	0.0 (16.8)
	収穫盛	満開日から38日間の平均気温	16.8	0.0 (16.8)
豊水	収穫始	満開日から38日間の平均気温	16.4	-0.2 (16.6)
		収穫前70～41日の平均気温予想	24.3	0.0 (24.3)
	収穫盛	満開日から42日間の平均気温	16.6	-0.2 (16.8)
		収穫前60～41日の平均気温予想	24.9	0.0 (24.9)

注. 気温予想は, 宇都宮地方気象台発表の1ヶ月予報をもとに予想しています

第7図 収穫期予測プログラムの表示画面

第5表 収穫期予測式の子測値と実測値との誤差 (2005年)

			6月27日予測		8月3日予測		9月9日予測		実測値
	予測日	実測値との誤差	予測日	実測値との誤差	予測日	実測値との誤差	予測日	実測値との誤差	
幸 水	収穫始	現行式	8月23日	-2					8月25日
		新たな式	8月25日	0					8月25日
	収穫盛	現行式	9月1日	-4					9月5日
		新たな式	9月5日	0					9月5日
豊 水	収穫始	現行式			9月10日	-2			9月12日
		新たな式	9月12日	0	9月13日	1			9月12日
	収穫盛	現行式			9月23日	-3			9月26日
		新たな式	9月24日	-2	9月24日	-2			9月26日
にっこり	収穫始	新たな式					10月22日	0	10月22日
	収穫盛	新たな式					10月31日	0	10月31日

2. 果実肥大予測式の開発

1) 果実肥大予測式

果実肥大は日々の果実生長量の積み重ねと考え、満開後x日後の果実体積Vxは、

$$V_x = \text{初期肥大量} + (\text{日々の生長量}) \quad (2) \text{式}$$

と考えることができる。初期肥大量は細胞分裂停止期の体積(V0)、日々の生長量は初期肥大量と全天日射量から求めると、

満開後x日目の果実体積予測式

$$V_x = V_0 + \sum_{d=0}^{x-1} FVGR = V_0 + \sum_{d=0}^{x-1} Kn \cdot Sd^b \cdot V_0^p \quad (3) \text{式}$$

と表すことができる。ここで、FVGR(Fruit Volume Growth Rate)は、1日当たりの果実体積生長速度である。また、V0は、細胞分裂停止期の果実体積(cm³)であり、前年の貯蔵養分により果実の初期肥大量が決定し、V0が大きいかほどその後の果実生長は大きくなる。細胞分裂停止期は概ね細胞数が決定する時期で、

$$Y = 33 + (\text{収穫始予測日} - \text{収穫始平年値}) \quad (4) \text{式}$$

で算出した。

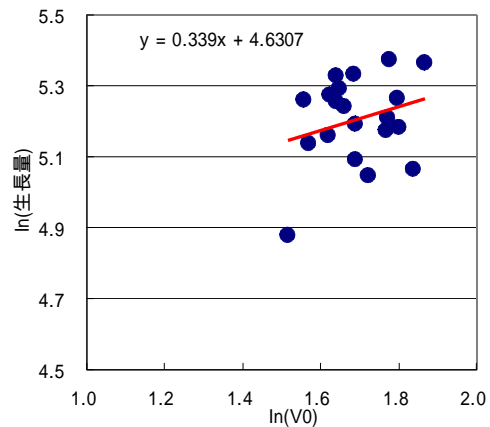
Sdは日全天日射量(MJ/m²/day)であり、当年の光合成に関係が深く、Sdが大きいかほど果実生長が大きくなる。

knは、V0とSdを関連づける係数で、果実への同化産物の分配率に関連深いパラメーターである。knは始め小さく、徐々に大きくなっていき収穫が近づくと再び低下する係数である。

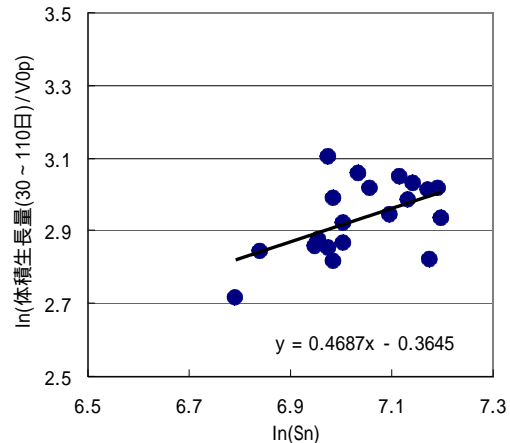
以上のことを踏まえ、栃木県における(3)式を完成させるため、品種毎のパラメーター(b, p, knの値および

果実横径と果重の関係式)を導きだした。

まず、幸水において細胞分裂停止期の体積と(V0)と満開後30日~110日の果実体積生長量との関係を第8図に両対数値で示した。回帰直線は右上がり、V0が大きいかほど(初期肥大量が大きいかほど)その後の生長量が大きかった。傾きは0.339で、(3)式のパラメーターpとなる。



第8図 V0(cm³)と満開後30~110日の果実体積生長量(cm³)の関係(対数値)



第9図 満開後30~110日の全天日射量Sn(MJ/m²)とV0pで標準化した果実体積生長量との関係(対数値)

一方，満開後30日から110日の全天日射量(Sn)とV0^pで標準化した満開後30日～110日の果実体積生長量との関係を第9図に両対数値示した．回帰直線は右上がりであり，全天日射量が多いほどその後の生長量が大きかった．傾きは0.4687で，(3)式のパラメーターbとなる．

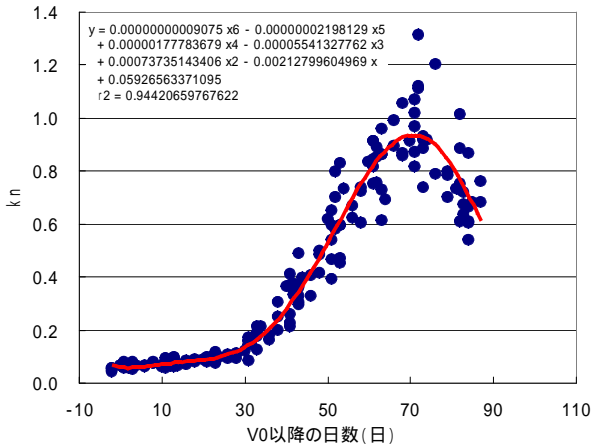
また，(3)式のパラメーターknは(5)式により求めた．

$$kn = An * Sn^b / \int_{d=0}^n Sd^b \quad (5)式$$

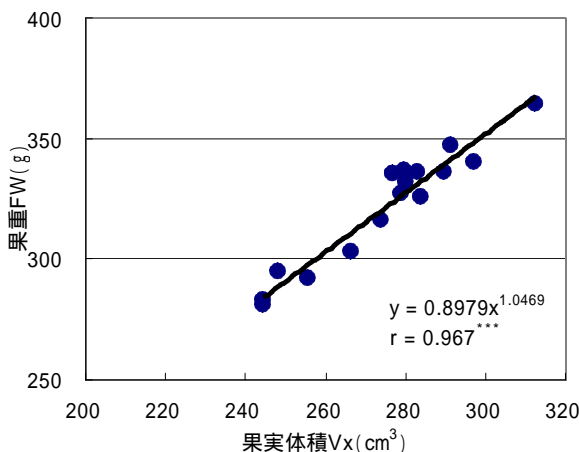
An: 期間の生長量/Sn^b/V0^p，
Sn: 期間の全天日射量，Sd: 日全天日射量

パラメーターknの変動を第10図に示す．knは始め小さく，徐々に大きくなってゆき，収穫期が近づくとき再び低下した．

果重を求めるため，果実体積と果重との関係を第11図に示した．



第10図 パラメーターknの変動 (幸水)



第11図 収穫期における果実体積と果重との関係 (幸水)

これらのことから，全天日射量から幸水の果実肥大に関連する項目を予測するための式は(6)～(9)式のとおりである．また，体積Vは瀧下ら²⁰⁾の方法に準じ，果実を

楕円体と仮定し求めた { 縦径h(mm)，横径w(mm) } ．

$$V = \pi * h * w^2 / 6,000 \quad (6)式$$

細胞分裂停止x日後の果実体積Vx，果実横径Wxおよび果重FWを求める式は，

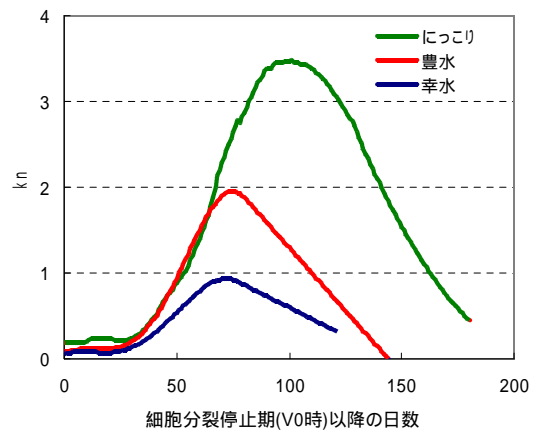
$$Vx = V0 + \int_{d=0}^{x-1} FVGR = V0 + \int_{d=0}^{x-1} Kn * Sd^b * V0^p \\ = V0 + Kn * Sd^{0.4687} * \int_{d=0}^{x-1} V0^{0.339} \quad (7)式$$

$$Wx = \{ 5.968 (V0 + \int_{d=0}^{x-1} Kn * Sd^b * V0^p) \}^{0.346} \\ = \{ 5.968 (V0 + \int_{d=0}^{x-1} Kn * Sd^{0.4687} * V0^{0.339}) \}^{0.346} \quad (8)式$$

$$FW = 0.8979 * Vx^{1.0469} \quad (9)式$$

同様にして，豊水，にっこのりのパラメーターを求めた(第6表，第12図)．

ここで，全天日射量にかかるパラメーターbは，豊水は満開後70日以降，にっこりは全期間0であり，全天日射量に関わりなく果実が生長した．成熟日数の長い中晩生品種では，全天日射量は短期間での影響を否定はできないが，長期間で見るとそれほど果実肥大に影響を及ぼさず，果実肥大は初期肥大によりある程度予測できると考えられた．



第12図 パラメーターknの変動 (幸水，豊水，にっこり)

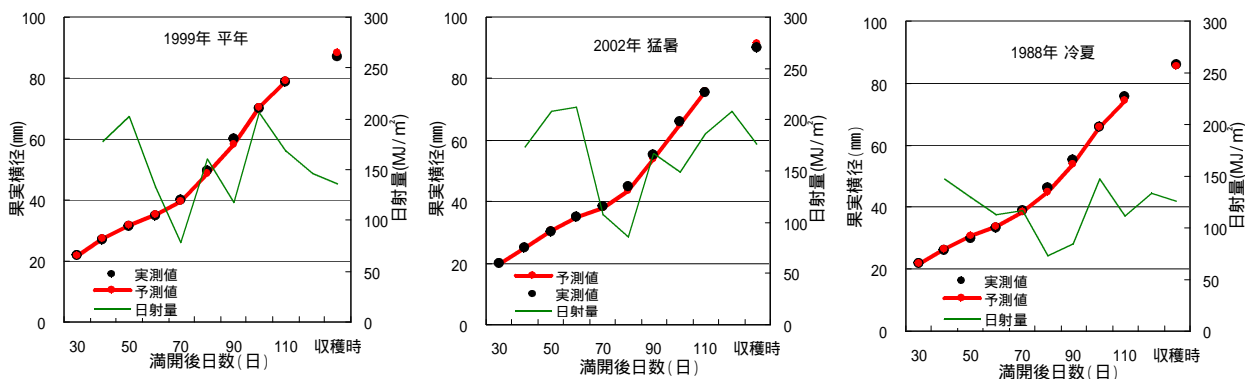
2) 果実肥大予測式の検証

作成した果実肥大(横径，果重)予測式に，過去20年間の果径および果重データと宇都宮地方気象台の気象データを代入して適合性を検討した(第7表)．幸水，豊水，にっこりとも収穫時の果実横径の実測値と予測式による

第6表 果実肥大予測式のパラメーター

品種	p	b	kn	縦径h(cm)	横径w(cm)	果重FW(g)
幸水	0.3390	0.4687	第12図	$1.005w^{0.886}$	$(5.968V/)^{0.346}$	$0.8979V^{1.0469}$
豊水	0.6475	30~70日:0.1219, 71日~:0		$1.067w^{0.89903}$	$(5.6232V/)^{0.3449}$	$124.54w-748.17$
にっこり	0.4042	0		$1.067w^{0.89903}$	$(5.6232V/)^{0.3449}$	$106.24w-417.44$

注.V:体積(cm³)



第13図 平年(1999年), 猛暑年(2002年), 冷夏年(1998年)における果実肥大予測値と実測値

予測値との誤差は5%未満であり良く適合した。特に、幸水、豊水では3%未満が75%を越えた。また、第13図に平年、猛暑年、冷夏年と気温が異なる年の幸水の予測結果を示したが、これらの年でも良く適合し、全天日射量による肥大予測式での適合性が高かった。

にっこりは、2002年から摘果日を慣行よりも25日早めた試験も同時に行った。にっこりの予測式は、第1表で示した着果管理で構築したが、今後は早期摘果により大玉の果実生産に向けた管理にすることとしているため、予測値に対する係数を求めた(第8表)。このパラメーターでの予測結果と実測値も良く適合した。

量×0.925, 平年並:平年の全天日射量×1.00, 多い:平年の全天日射量×1.10)を(7)~(9)式に代入し, 10日毎および収穫時の果径, 果重, 収穫始・盛の中心階級(果重)を予測することができる。予測結果は, 収穫時において果実横径は3%, 果重は2%の誤差であり良く適合した(第15図)。一方, 現行式は生育後半から収穫時にかけて誤差が大きくなり, 適合性が劣った。なお, にっこりは, 通常摘果の予測式を使用しているため, 早期摘果の場合は, 予測値に第8表の係数を乗じる。

農業試験場の果実肥大予測プログラム(幸水) Ver.1

2005/07/27 時点

第7表 過去20年間の果実肥大式の予測値と実測値との差

実測との差	±1%未満	±3%未満	±5%未満	±5%以上
幸水	6年	15年	20年	0年
豊水	7年	16年	20年	0年
にっこり	3年	7年	10年	0年

第8表 にっこりの早期摘果での係数

予測日	50	60	70	80	90	100	110
係数	1.05	1.07	1.08	1.13	1.12	1.13	1.14

注. 予備摘果:満開後15日, 仕上摘果:満開後40日

次に, 満開後60日, 90日での気象予報を用いた予測プログラムを作成した(第14図)。このプログラムは, 満開後60日(90日)の果径(果実横径)を計算のスタート地点とし, その後の果実生長は, V0時の果径と気象庁の長期予報(日照時間が平年より少ない:平年の全天日射

日射量予想

7月	平年並	天気が平年並(平年と同様に曇りや雨の日が多い。平年の晴れの日14日)
8月	平年並	天気が平年並(平年と同様に晴れの日が多い。平年の晴れの日18日)
9月	平年並	天気が平年並(平年と同様に数日の周期で変わる。平年の晴れの日13日)

7/22時点での3ヶ月予報より

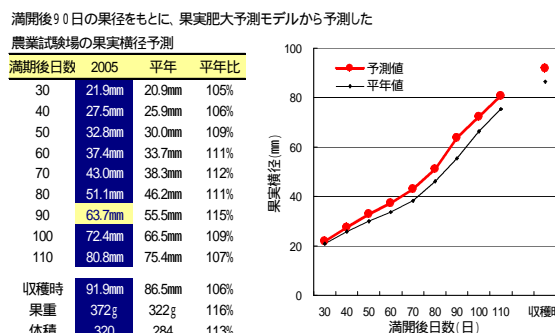
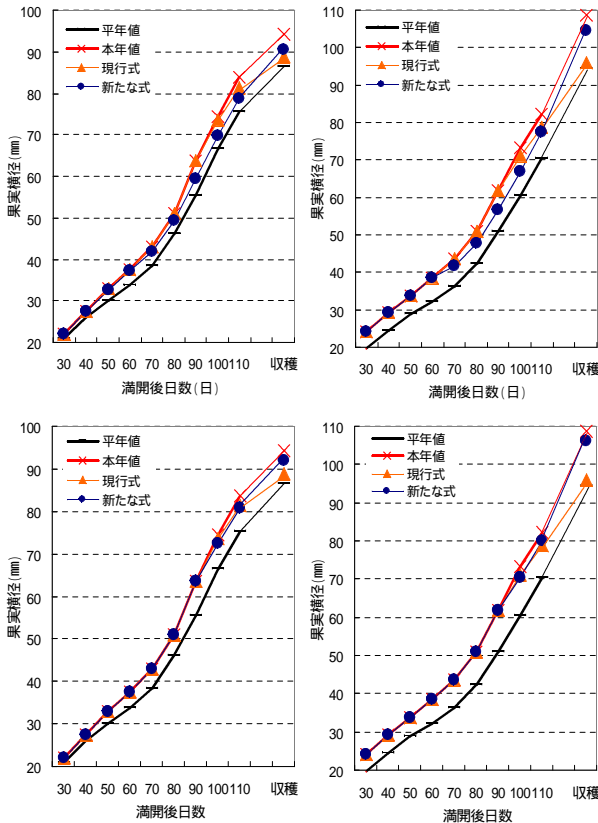


図 幸水の果実横径の予測

月/日	満開後日数	横径	果重	体積
8/25	119日	86.7mm	316g	270
32玉中心				
9/5	130日	91.9mm	372g	320
28玉中心				

第14図 果実肥大予測プログラムの表示例(満開後90日)



第15図 果実肥大予測式予測値と実測値との比較
(上段：満開後60日，下段：満開後90日に予測
左：幸水，右：豊水)

3. 果実生理障害予測プログラムの開発

1) 気象要因等と果実生理障害との関係

豊水のみつ症およびす入りと気象要因・果実品質との相関を解析した結果，収穫前60～41日の平均気温および満開後100日の果実比重との相関が高く，収穫前60～41日の平均気温が低いほど，満開後100日の果実比重が低いほどみつ症およびす入りの発生が多いことが明らかとなった(第9表，第16図)．また，収穫期予測同様，満開後38日間の平均気温を用いることで重相関係数が高くなった．

豊水の果実生理障害予測は，満開日から38日間の平均気温 (X_1) と収穫前60～41日の平均気温 (X_2) による重回帰分析の結果，

$$\text{みつ症} = 0.3111 * X_1 - 0.4359 * X_2 + 6.9866 (r=0.7799^{***}) \quad (10) \text{式}$$

$$\text{す入り} = 0.3432 * X_1 - 0.4982 * X_2 + 7.9979 (r=0.8026^{***}) \quad (11) \text{式}$$

の予測式が得られた(第9表)．

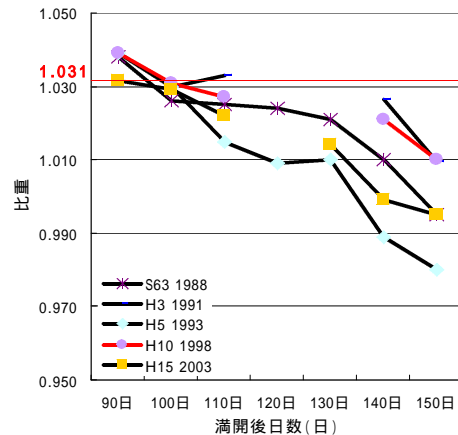
予測式の結果が，2以上の場合はみつ症およびす入りの発生が多，1.5以下の場合発生が少と予測される．また，1.5～2.0の場合は満開後100日の果実比重を調査し，1.031以下の場合発生が多となると予測できる．

予測式をもとにみつ症およびす入りの発生を算出した結果，予測値1.5以下の発生少発年が14年，予測値2以上の発生多発年が4年，予測値1.5～2.0の2年中1年が多発，1年が少発と予測し，全ての予測結果が実測と一致したことから，実用性は高いと考えられた(第9表)．

第9表 みつ症及びす入りと気象要因等との相関係数

	みつ症	す入り
みつ症	1.000	
す入り	0.937***	1.000
収穫始	-0.372	-0.443
収穫盛	-0.405	-0.462
満開0～38日の平均気温	0.214	0.212
収穫前60～41日の平均気温	-0.738***	-0.762***
満開後100日の果実比重	-0.847***	-0.814***
満開後110日の果実比重	-0.766***	-0.828***
満開後100日の果実硬度	-0.257	-0.318
満開後110日の果実硬度	-0.473	-0.532
収穫前70～51日の降水量	0.052	0.097
収穫前70～41日の降水量	0.199	0.223
収穫前60～41日の降水量	0.152	0.145

注：***は0.1%水準で有意



第16図 みつ症多発年の果実比重の推移

第10表 みつ症及びす入りの予測式と実測値との適合性

年号	59	60	61	62	63	1	2	3	4	5
西暦	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
みつ症 予測式	0.8	1.0	1.8	1.0	3.3	1.2	1.1	1.6	0.7	2.5
みつ症 実測	1	1	0	0	3	1	1	3	0	3
す入り 予測式	0.8	1.0	1.9	0.9	3.6	1.2	1.0	1.7	0.7	2.7
す入り 実測	1	0	1	0	3	1	0	3	0	4
満開後100日の比重	1.039	1.038	1.039	1.039	1.026	1.040	1.037	1.030	1.043	1.030
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
0.6	1.0	0.7	1.4	2.8	1.2	1.0	0.4	-0.2	3.1	
0	1	1	1	3	1	1	1	1	4	
0.5	0.9	0.6	1.4	2.9	1.2	0.9	0.2	-0.4	3.3	
0	1	1	1	3	1	1	1	1	4	
1.041	1.042	1.039	1.040	1.031	1.031	1.034	1.037	1.037	1.029	

$$\text{みつ症発生程度} = 0.311138 * X_1 - 0.43586 * X_2 + 6.986639$$

$$\text{す入り発生程度} = 0.343194 * X_1 - 0.4982 * X_2 + 7.997935$$

注1. X_1 : 満開日～38日間の平均気温, X_2 : 収穫前60～41日の平均気温

注2. 予測方法

まず，予測式でみつ症及びす入りの発生程度を予測する
発生程度が1.5以下であれば，みつ症及びす入りの発生は少ない
2以上であれば発生が多いと予想される。
1.5～2.0の時は，満開後100日の比重を測定し，1.031以下の時は発生が多いと予想されると判断する。

2) 果実生理障害予測式の有効性の検証

豊水の果実生理障害予測式をもとに、満開日から38日間の平均気温、収穫前70~41日の平均気温により果実生理障害の発生程度を予測した(第11表)。現行式と比較し、今回開発した新たな式は実測と良く適合した。そこで、果実生理障害予測プログラムを表示した(第17図)。このプログラムは、満開日から38日間の平均気温、収穫前70~41日の平均気温を入力することにより、みつ症、す入りを予測することができる。

第11表 豊水の果実生理障害予測式の予測値と実測値との差(2005年)

		8月3日予測		
		予測値	実測値との誤差	実測値
みつ症	現行式	2.1	1.1	1
	新たな式	0.9	-0.1	1
す入り	現行式	2.6	1.6	1
	新たな式	0.9	-0.1	1

注. 程度0:なし, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多

収穫期及び豊水果実生理障害予測プログラム Ver.1

7月下旬~8月上旬時点での予測(概ね満開後100日) 2005/08/03現在

品種	満開日	項目	予測日	平年差	生育期間 (平年値)
幸水	4/28	収穫始	8/25	1日	119 (120日)
		収穫盛	9/5	3日	130 (129日)
豊水	4/25	収穫始	9/13	4日	140 (138日)
		収穫盛	9/24	3日	152 (150日)

注.(平年値)は過去20年間の平均値。

項目	予測値	平年	発生程度	
豊水生理	みつ症	0.9	1.4	微
障害予測	す入り	0.8	1.4	微

予測に用いた要素

品種	項目	予測に用いた要素	平年差	(平年値)
幸水	収穫始	満開日から38日間の平均気温	16.8	0.0 (16.8)
	収穫盛	満開日から38日間の平均気温	16.8	0.0 (16.8)
豊水	収穫始	満開日から38日間の平均気温	16.4	-0.2 (16.6)
		収穫前70~41日の平均気温	24.6	0.3 (24.3)
	収穫盛	満開日から42日間の平均気温	16.6	-0.2 (16.8)
		収穫前60~41日の平均気温	25.7	0.8 (24.9)
豊水	みつ症	満開日から38日間の平均気温	16.4	-0.2 (16.6)
	及び	収穫前60~41日の平均気温	25.7	0.8 (24.9)
	す入り	満開後100日の果実比重	1.033	-0.003 (1.036)

第17図 豊水の果実生理障害予測プログラムの表示画面

4. 県内全域を網羅できる収穫期, 果実肥大予測プログラムの開発

1) 生育予測プログラムの開発と有効性の検証

1. 1)により構築した収穫期予測式および2.1)により構築した果実肥大予測式の算出方法をもとに、県内10診断ほそれぞれの収穫期, 果実肥大予測式のパラメータを算出した(第12, 13表)。収穫期の推定誤差は幸水で2~3程度と、予測値と実測の差は小さかった。満開後

38日間のみの豊水の予測は幸水よりもやや推定誤差が大きく2~4程度であったが、収穫前の気温も使用することで、2~3程度と推定誤差が小さくなった。

肥大予測は、診断ほおよび年次により着果数や摘果時期が異なっていたため、予測値と実測値の誤差は全て±5%未満とはならなかったが、多くの地点で10年間で8年以上が±5%未満で良く適合した。農試は着果数, 摘果時期を同一基準で実施していたため、20年間全て±5%未満と良く適合した。果重は、横径よりも誤差が大きかった。パラメーターbは全天日射量に係る係数, パラメーターpは初期肥大大量に係る係数である。第13表をみるとパラメーターbおよびpの値に0があるが、これは前述したように着果数や摘果時期等栽培条件が年によって異なったために、係数が小さくなったものと考えられた。

第12表 収穫期予測式のパラメーター

品種	項目	産地名	係数		定数	推定誤差 RMSE	説明変数	
			a	b			X ₁	X ₂
幸水	収穫始	湯津上	-1.089		134.6	1.856	満開日から38日間の平均気温	
		高根沢	-2.668		158.9	1.975		
		南那須	-1.963		148.4	1.342		
		河内	-1.669		142.8	1.844		
		農試	-2.214		156.2	1.265		
		鹿沼	-1.568		141.4	1.975		
		芳賀	-2.893		165.1	2.550		
		佐野	-2.579		160.6	3.406		
		岩舟	-2.301		155.2	2.366		
		小山	-7.101		231.0	5.523		
幸水	収穫盛	湯津上	-2.474		160.6	1.972	満開日から38日間の平均気温	
		高根沢	-3.444		178.7	2.345		
		南那須	-3.687		182.7	3.450		
		河内	-3.670		185.4	3.860		
		農試	-2.290		169.2	2.191		
		鹿沼	-2.066		159.3	1.140		
		芳賀	-2.322		164.4	1.844		
		佐野	-3.141		175.6	2.864		
		岩舟	-1.510		149.4	2.345		
		小山	-6.871		237.4	4.347		
豊水	収穫始	湯津上	-1.196		161.2	2.186	満開日から38日間の平均気温	
		高根沢	-3.779		199.8	2.470		
		南那須	-2.973		187.5	3.050		
		河内	-1.625		166.0	2.950		
		農試	-4.078		207.1	2.098		
		鹿沼	-4.714		214.1	3.098		
		芳賀	-4.153		208.7	3.098		
		佐野	-3.115		190.3	2.550		
		岩舟	-3.364		196.4	4.195		
		小山	-8.776		280.4	5.000		
豊水	第1式	湯津上	-2.834		195.3	2.309	満開日から42日間の平均気温	
		高根沢	-3.210		204.2	4.370		
		南那須	-4.848		226.4	3.987		
		河内	-1.408		173.5	4.336		
		農試	-3.284		207.4	2.121		
		鹿沼	-2.286		186.6	3.317		
		芳賀	-3.857		214.5	2.757		
		佐野	-4.502		222.9	3.256		
		岩舟	-3.998		214.5	3.633		
		小山	-7.616		274.5	5.536		
豊水	第2式	湯津上	-1.412	0.846	145.1	2.867	満開日から38日間の平均気温	収穫前70~41日の平均気温
		高根沢	-3.652	-0.125	200.5	2.387		
		南那須	-2.947	0.406	177.8	0.816		
		河内	-1.402	0.949	139.0	2.569		
		農試	-2.607	1.026	157.8	2.449		
		鹿沼	-2.249	1.297	146.4	2.121		
		芳賀	-3.330	0.978	172.2	2.864		
		佐野	-3.210	0.258	185.6	2.191		
		岩舟	-3.076	0.449	179.4	3.647		
		小山	-4.774	1.556	179.0	3.647		
豊水	第2式	湯津上	-2.400	1.032	163.5	1.826	満開日から42日間の平均気温	収穫前60~31日の平均気温
		高根沢	-3.478	0.344	198.6	3.742		
		南那須	-4.694	0.616	209.2	2.285		
		河内	-1.008	0.901	143.7	4.012		
		農試	-2.407	0.789	172.1	1.924		
		鹿沼	-0.941	1.459	131.4	2.627		
		芳賀	-4.032	0.872	195.8	2.510		
		佐野	-4.587	0.510	211.4	2.881		
		岩舟	-1.813	0.202	174.8	3.225		
		小山	-4.472	1.219	193.0	2.470		
にっこり	収穫始	農試	-2.822	1.721	189.9	1.110	満開日から42日間の平均気温	満開後131~160日間の平均気温
	収穫盛	農試	-2.395	1.201	205.4	1.850	満開日から42日間の平均気温	満開後141~160日間の平均気温

第13表 果実肥大予測式のパラメーター

品種	診断ほ	パラメーター			収穫時の横径 補正值	予測値と実測値の誤差(10年間)		
		b	p	kn		±5%未満	±5%以上	
幸水	湯津上	0.1701	0.2683	省	収穫盛+1日	横径	9	1
		果重=12.099x - 723.58		略	略	果重	7	3
高根沢	0	0	0	省	収穫盛+2日	横径	8	1
		果重=11.87*x - 706.96		略	略	果重	5	4
南那須	0	0	0.3715	省	収穫盛+2日	横径	10	0
		果重=9.2428x - 464.36		略	略	果重	8	2
河内	0.4917	0.2283		省	収穫盛-2日	横径	10	0
		果重=11.801x - 710.7		略	略	果重	4	6
農試	0.339	0.4687		省	収穫盛+0日	横径	20	0
				略	略	果重	20	0
鹿沼	0.5785	0.3565		省	収穫盛+0日	横径	8	1
		果重=8.6892x - 431.8		略	略	果重	3	6
芳賀	0	0	0.431	省	収穫盛+2日	横径	9	1
		果重=11.321x - 651.99		略	略	果重	4	6
佐野	0	0.4236		省	収穫盛+0日	横径	10	0
		果重=11.013x - 624.19		略	略	果重	7	3
岩舟	1.6729	0.6513		省	収穫盛+5日	横径	6	3
		果重=11.633x - 695.1		略	略	果重	2	7
小山	0	0.1066		省	収穫盛+2日	横径	8	2
		果重=10.938x - 624.44		略	略	果重	4	6
豊水	農試	0.6475	70日まで0.1219	省	収穫盛+0日	横径	20	0
		以降0		略	略	果重	20	0
にっこり	農試	0.4042		省	収穫盛+0日	横径	9	0
				略	略	果重	9	0

注1. 予測式 $Wx(x \text{日後の横径}) = (5.968 * (V0 + \frac{x-1}{d=0} * Kn * Sd^p * V0^k))^{0.346}$

FW = 0.8979 * Vx^{1.0469}

V0: 細胞分裂停止期の果実体積, kn: パラメーター, Sd: 日射量, Vx: 果実体積

注2. 収穫時横径補正值は、収穫盛時の予測値に加算する日数

総合考察

果実の生長は、温度による影響が大きく、特に幼果期の温度が収穫期に大きな影響を及ぼすことが知られている^{18, 19)}。ニホンナシの幼果に温度制御をした研究では、25 付近までは果実温を高めるほど果実の生長が早くなるが^{2, 3)}、30^{4, 5)}あるいは35⁷⁾では、果実生長がむしろ劣ることが知られている。杉浦¹⁹⁾は10~25 の範囲では、細胞分裂停止期の果実の大きさや細胞数に温度間差がなく、果実温を高めるほど細胞分裂停止期が早くなり収穫が早くなるが、細胞肥大期では果実生長に温度の影響はなかったと報告している。本研究の結果も、これらの報告と同様に細胞分裂期の気温が高いほど収穫期が早まる結果を得ている。

一方、本研究においては生育後半の温度も収穫期に影響を及ぼし、豊水、にっこりでは低温ほど収穫期が早くなった。松浦ら¹³⁾は、回帰分析により、豊水で満開後70日から30日間が低温の年は豊水の成熟が進み、早くから果実の比重や果肉硬度が低下し、みつおよびす入りの症状が多発しやすいと報告している。また、大谷ら^{14, 15)}は、幸水において収穫前1か月の気温を変えた試験により、低温では果肉先熟となり収穫期が早まる結果を得ている。このことから、適期に収穫するためには、収穫予測日より前から果肉の成熟（デンブン反応等）と地色の進み具合を調査し、収穫開始日を決定する必要があると考えられる。

収穫期の予測は、適期収穫や病害虫防除計画等の栽培管理および選果場の運営や雇用の確保、マーケティング情報の作成等販売戦略に欠かすことのできない情報である。本研究では、生育前半の気温だけでなく生育後半の気温を用いることでこれまでの予測よりも精度良く収穫期を予測することができた。正確な情報を提供することで、西南団地や千葉、茨城といった大産地に続き幸水、豊水の出荷の定位置を確保し、有利販売につながることを期待したい。

ニホンナシにおいて、幼果期に大きい果実はその後の生長量も大きいことはよく知られている²²⁾。これは細胞分裂停止期に大きい果実は細胞数が多く、また、細胞数が多い果実ほど大きくなる^{6, 23)}からである。本研究においても細胞分裂停止期の果実体積(V0)と果実生長量とは正の相関がみられ、幼果期の果実が大きいほどその後の生長が大きいことが示された。なお、予測式では杉浦¹⁸⁾が使用したV₃₃でなく、V0を使用した。初期肥大量は、前述の関係からも細胞分裂停止の体積V0を基準として予測式を組み立てた方が的確に表現でき、またV0での推定値の方が収穫時の誤差も小さかった。

ニホンナシの果実生長や収穫期の果重と気象要因との関係では、全天日射量または日照時間が果実の生長に影響をしているという報告^{1, 2, 12, 17, 21)}が多い。本研究においても、全天日射量と果実肥大は正の相関がみられた。しかし、診断ほごとに求めた肥大パラメーターでは、全天日射量に係るパラメーターb、および初期肥大に係るパラメーターpが0のものもあり、パラメーターkn（果実生長速度と全天日射量との仲立ちをする係数、全天日射量以外の果実への同化産物分配やLAI等の同化量に影響を及ぼし、季節変化を表す）にのみ支配される地点もみられた。農試では、過去20年以上、同一樹(2樹)で同一の摘果基準（摘果時期、着果数）に基づき肥大調査を実施してきているが、診断ほでは摘果時期や着果数は地域の基準で年によって変わっているため、パラメーターの数値を小さくしたと考えられる。今後、着果基準を同一にして年数を重ねることにより、更に精度の高い肥大予測式が作成できるものと示唆される。

本研究では、幸水に加え本県主要品種の豊水、にっこりの果実肥大予測式を作成するとともに、更に進めて県内10診断ほ毎に早期に予測可能な果実肥大予測プログラムを開発した。このプログラムは気象庁の長期予報に依存する部分も大きいですが、精度が向上している長期予報の信頼性も高く、精度良く収穫時の果実横径を予測できる。

果実肥大の予測は、着果管理や施肥管理等の栽培管理および市場への情報提供やマーケティング情報の作成等

販売戦略の樹立に重要な項目である。その年の生産者の収入や産地評価に直結する重要な項目でもあることから、より効果の高い予測値の活用方法は今後の課題である。

豊水のみつ症は数年に一度多発してきた。本県では、1988年、1991年、1993年、1998、2003年に発生しており冷夏の年に多く発生している。みつ症の発生と気象との関係では、5～6月の高温と7月の低温の影響が大きいとの報告が多く¹³⁾。5～6月の高温は、果肉細胞の充実不足、7月の低温は果肉の成熟（老化）を促進するためと考えられている。また、7月の低温により成熟が促進され、冷夏の年に果実比重の低下が早まったものと推察される。

これまでのみつ症の予測では、満開後100日の果実比重や110日の果実硬度を重回帰式に加えることで予測精度を高めていたが、今回の解析では、満開日から38日間の平均気温と収穫前60～41日間の平均気温により、果実生理障害の多少を予測することができ、測定の間略化が図られた。また、予測値が中程度（1.5～2）の場合は、満開後100日に果実比重を測定することで精度を上げることができ、その結果100%の適合率となる。

本報告では、前報の開花予測に加え、主要品種の幸水、豊水、にっこりの収穫期、果実肥大、豊水の果実生理障害を早期に精度良く予測できるプログラムを開発することができた。実際の栽培現場においては、毎年安定した収量、果実品質を確保し、経営の安定を図る必要がある。このためには、予測した数値よりも大きい果実の生産を要求される場面も多く、そのための技術の開発が必要となる。また、果実生理障害の多発が懸念される場面においては、発生を軽減する技術の開発が必要となってくる。さらに、アメダスデータの入力を軽減し、より扱いやすいプログラムとするために、インターネットを介してデータを自動的にダウンロードできるプログラムを組み入れることも検討していきたいと考えている。これらの技術が一体となって生育予測がさらに有効に活用されると考えている。

謝 辞

ニホンナシの収穫期、果実肥大、果実生理障害予測にあたっては、予測式の作成について懇切な指導を賜った(独)農業・生物系特定産業技術研究機構本部杉浦俊彦研究官(現農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所)に心より感謝する。また、常に温かい御指導と激励をいただいた(独)農業・生物系特定産業技術研究機構果樹研究所環境応答研究室(現農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所)の皆さまに厚くお礼申し上げる。

本研究は過去のデータに多く依存しており、各診断ほ

においてデータ収集に多くの農業改良普及センター、現地担当農家から多大な協力を頂いた。また、当場の生育データの収集には歴代の研究員、技術員に深謝する。

ここに記して心からの感謝の意を表する。

引用文献

1. 地寄誠・小野祐幸・竹澤邦夫(1992)ニホンナシの果実肥大予測に関する研究。園学雑。61別1:150-151。
2. 遠藤融郎(1973)和ナシ果実の日肥大周期に関する研究。(第1報)果径の日肥大周期と気象要因との関係。園学雑。42:91-103。
3. 遠藤融郎(1973)和ナシ果実の日肥大周期に関する研究。(第2報)果径の日肥大周期に及ぼす発育前期の也音の影響。園学雑。42:188-200。
4. 平田尚美・赤山喜一郎・林真二(1981)日本ナシの果実発育と温度環境に関する研究。(第1報)幼果期(果肉細胞分裂期)における温度の影響。園学要旨。昭56秋:74-75。
5. 平田尚美・赤山喜一郎・高橋英吉・平塚伸・新山俊昭(1983)日本ナシの果実発育と温度環境に関する研究。(第3報)幼果期における昼夜温の変化と幸水果実の発育特性。園学要旨。昭58春:142-143。
6. 細井寅三・門屋一臣・湯田英二(1964)細胞組織学的にみたナシ果実の発育と肥料三要素との関係。(第1報)4カ年継続の砂耕試験成績。園学雑。33:29-34。
7. 今井俊治・赤坂信二・藤原多見夫(1989)ナシ'幸水'幼果期の環境要因と果実、幹径の日変化。園学雑。58別2:164-165。
8. 果樹研究所(2004)果樹農業生産構造に関する調査報告書
9. 金子友昭・松浦永一郎(1990)気温によるニホンナシ幸水の果実肥大予測法。栃木農試研報。37:43-48。
10. 気象庁(2005)異常気象レポート2005
11. Lakso, A. N., L. C. Grappadelli, J. Barnard and M. C. Goffinet. (1995) An exponential model of the growth pattern of the apple fruit. J. Hort. Sci. 70:389-394。
12. 前川哲夫・服部吉夫・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。三重農技センター研報。17:11-24。
13. 松浦永一郎・金子友昭・三坂猛(1989)ニホンナシの生育予測法の策定と着果管理及び収穫適期判定法の確立:281-283。
14. 大谷義夫・杉浦俊彦・朝倉利員・緒方達志・杉浦

- 裕義(2005)収穫前の気温がニホンナシ‘幸水’のデンプン反応に及ぼす影響．園学雑．74別1:258．
- 15．大谷義夫・杉浦俊彦・朝倉利員・緒方達志・杉浦裕義(2005)収穫前の気温がニホンナシ‘幸水’果実の成熟に及ぼす影響．園学雑．74別2:362．
- 16．佐藤守(1992)地域に対応した気象要因によるナシ‘幸水’の生育予測．東北農研．45:195-196．
- 17．佐藤幸雄(1968)温度および日照が二十世紀ナシ樹の生育ならびに果実の肥大・品質に及ぼす影響．鳥取果樹試研報．6:1-19．
- 18．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．
- 19．杉浦俊彦・本條均・菅谷博(1997)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．
- 20．瀧下文孝・福田博之・工藤和典(1993)リンゴ果実重の推定法と理論曲線による生育特性の検討．果樹試報．
- 21．田辺賢二・林真二・伴野潔・村尾和博(1982)果樹園の光環境とナシ“二十世紀”の果実品質．園学要旨．昭57秋:64-65．
- 22．田中章雄・米山寛一・山田満男(1965)日本梨果実の発育と気象条件の統計学的関係．鳥取果樹試研報．3:48-62．
- 23．遠山正瑛・林真二(1957)和梨果実の発育に関する研究．(第2報)摘葉処理と果肉細胞分裂及び肥大について．園学雑．25:279-282．
- 24．Williams, M. W, H. D. Billingsley and L. P. Batjer. (1969) Early season harvest size prediction of 'Bartlett' pears. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94:596-598.