ニホンナシの自発休眠覚醒期から開花期までの 発育速度モデルについて

杉浦俊彦*・小野祐幸**・鴨田福也*・朝倉利員*・奥野 隆**・浅野聖子***

(* 果樹試験場栽培部気象研究室
** 果樹試験場安芸津支場栽培研究室
*** 埼玉県園芸試験場果樹部)

A Model for Developmental Rate from Rest Break to Flowering of Japanese Pear

Toshihiko SUGIURA*, Sukeyuki ONO**, Fukuya KAMOTA*,
Toshikazu ASAKURA*, Takashi OKUNO*** and Seiko ASANO***

(*Lab. of Agricultural Meteorology, Fruit Tree Research Station,
Tsukuba 305, Japan
**Akitsu Branch, Fruit Tree Research Station,
Akitsu 729-24, Japan
***Fruit Tree Division, Saitama Horticultural Experiment Station,
Kuki 346, Japan)

In order to estimate flowering dates of fruit trees by the developmental rate (*DVR*) and the developmental index (*DVI*), the relations between the *DVR* and temperature were experimentally examined, and the *DVR* from rest break to flowering was modeled.

Cultivars of Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehd.), 'Housui' and 'Kousui' planted on pots were exposed to eight constant temperatures (31°C, 26°C, 22°C, 18°C, 16°C, 13°C, 10°C and 6.8°C) from January 24, 1989. We assumed that *DVI* of the initiation of temperature treatment was 0 and of flowering 1.0. The measured *DVR* at each temperature can be calculated in the form of reciprocals of the number of days from the initiation of temperature treatment to the flowering. The relations between natural logarithms of the measured *DVR* and reciprocals of the absolute temperatures became linear, but the parameters in the model changed around 20°C (Fig. 1).

The models and their parameters obtained from the experiment was validated to the data observed in the open field. The difference between the observed and the estimated days to flowering was less than 3 days. The estimated time course of *DVI* was shown in Fig. 2.

To study the locational difference in the model parameters, the twigs of Japanese pear ('Housui' and 'Kousui') collected from 13 prefectures were exposed to several different constant temperatures. The *DVR* in this experiment was determined from the date of germination to the flowering date. The result did not show a clear difference of the model parameters (Fig. 4, Table 3).

In order to compare our model with the model of effective accumulated temperature, the latter was applied to measured *DVR*. MSR (mean square residual) of the former was less than of the latter.

Key words: Developmental index, Developmental rate, Flowering date, Fruit tree, Japanese pear.

キーワード: 開花期, 果樹, ニホンナシ, 発育指数, 発育速度

1. はじめに

果樹の開花期を予測することは、受粉作業や防霜対策、開花前の病害虫防除等を計画的かつ効果的に行うために重要である。また新しい樹種を栽植する場合や、今後予想される地球規模の気候変動に対応するために、適地判定の重要な要素のひとつである開花期を、地域・年次を超えて予測できるモデルの開発が望まれている。

落葉果樹の開花期の予測に関しては、これまでに開花期と気象要因または生物季節との関係を、重回帰式などによって解析した報告(築取ら, 1960; 鈴木・丹野, 1970, 1971; 中川, 1972; 泉谷・田中, 1972; 市田ら, 1976; 青木ら, 1985)や、有効積算温度を利用したモデル(Richardson *et al.*, 1975; 野呂ら, 1986)が発表されている。以上の研究は、いずれも過去の数年間の実測値から統計的にパラメータを求めたものであるが、この場合はデータを得た地域においては有効であっても、地域を超えての適用には限界がある。本報では、全国的に利用できるモデル作成のため、发育速度と気象要因とくに温度との関係を、実験的に解明した。また開花直前の気象変動に的確に対応できるように、日々の发育量を評価・予測できる動的モデルの開発を目的とした。

従来から果樹の发育と温度との関係は、有効積算温度によって表されることが多かった。これは发育速度を温度の1次関数で近似したモデルであるが、アレニウスの法則を引用して、生物活性と温度との関係を指数関数的に解析することの重要性も、金野・杉原(1986)によって提起されている。高等植物の发育速度と温度との関係を、指数関数的に捕らえた報告は、Nishiyama(1975)、金野(1976)、桃木ら(1983)、小野ら(1988)、小元・青野(1989)、青野・小元(1990)等多数発表されている。

落葉果樹は秋期に自発休眠期に入った後、自発休眠覚醒期、他発休眠期を経て開花期に至る(Fuchigami and Nee, 1987)。自発休眠期は、高温下においても発芽または開花しない期間であり、低温によって覚醒が促される。他発休眠期は、高温によって発芽や開花が促される期間とされている。本研究では、ニホンナシを材料として、自発休眠覚醒期から開花期までの发育速度と温度との関係を実験によって測定し、モデル化した。

また发育速度の感温特性について地域による変動を明らかにするため、ニホンナシを利用し、その感温特性の地域間差について実験的に検討した。

2. 材料および方法

実験材料としてニホンナシ(*Pyrus serotina* Rehd.)の品種‘幸水’および‘豊水’を用いた。

実験1 温度と发育速度の関係について

埼玉県園芸試験場(久喜市)で、ポット栽植(内径24 cm, 深さ30 cm)された4年生のニホンナシを供試し、自発休眠が完了したと思われる1月24日(1989年)に果樹試験場(茨城県つくば市)に移動して、温度処理を開始した。処理区は31℃, 26℃, 22℃, 18℃, 16℃, 13℃, 10℃, 6.8℃の8区とした。温度は微調整を繰り返し、処理の精度はどの区においても±1℃以内を保った。このうち10℃区と6.8℃区は冷蔵庫で、22℃区は恒温室で、その他は自然光人工気象室を利用して、開花期まで恒温状態を保持した。光は暗幕などを用いて遮り、全ての区とも暗黒とした。‘幸水’は各区2ポットずつ、‘豊水’は各区1ポットずつ供試した。生育調査は毎日行い、総開花数の3割以上開花した日を開花期とした。

対照として埼玉県園芸試験場内で露地栽培されている成木の開花期調査も併せて行った。同場の気象データとして、同場内で観測されているアメダスデータ(久喜)の毎正時ごとの気温データを用いた。

実験2 发育速度の地域間差について

发育速度に関する、感温特性の地域による変異の有無を調査するため、下記の公立研究機関からニホンナシの切り枝を送付してもらい、温度処理を行った。各機関で露地栽培されている成木から、よく充実した1年枝を自発休眠が完了したと思われる1月20日(1988年)ごろ採取し、果樹試験場に収集した。枝を採取した県は山形、福島、栃木、群馬、茨城、埼玉、千葉、富山、静岡、三重、愛媛、福岡、鹿児島である。

収集した枝は、約1℃の冷蔵庫で保管後、1月22日～1月27日(1988年)から恒温器を用いて温度処理を開始した。上位3個の混合芽を残して、他の芽はすべて除去し、枝長を45 cmに揃えて切断した。全区とも10本ずつ供試し、容器に水を深さ7, 8 cmまで入れ、水挿した状態で恒温器に配置した。処理区は20℃, 15℃, 10℃, 7℃の4区で、光条件はすべて暗黒とした。処理期間中は、数回枝の基部を切り換え、切断面の更新をした。水は水道水を用いて、適宜交換した。

生育調査は毎日行い、総芽の3割以上が催芽した日を催芽期、総芽の3割以上が開花した日を開花期とした。

3. 发育速度の解析法

发育速度や发育ステージの指標として、de Witら(1969)や堀江ら(1986)は、发育ステージを数値化し、发育速度をその変化率で表す方法を用いている。本研究においてもこの方法に従って、发育ステージを数値化した値を发育指数(Developmental Index, 以下DVIと略す)と称し、これを发育速度(Developmental Rate, 以

下DVRと略す)の時間に関する積算値と定義する。したがって起算日から n 日後のDVIは

$$DVI = \sum_{i=1}^n DVR \quad (1)$$

と表せられる。

3.1 DVRの実験的算出法

本報では、温度処理開始期のDVIを0、開花期のDVIを1.0とする。またニホンナシは、開花期以前は一般的に出葉しておらず、光がDVRに与える影響は小さいと考えられるため、DVRは温度のみによって決定される関数であると仮定する。この場合のDVR算出法は、鮫島・岩切(1987)の方法に従い、以下のとおりに行った。実験的に恒温状態で経過させた場合、各日のDVRはそれぞれ同値である。温度処理開始期から N 日後に開花したとすれば、(1)式は開花期において

$$1.0 = \sum_{i=1}^N DVR = N \cdot DVR \quad (2)$$

$$DVR = N^{-1} \quad (3)$$

つまりこの場合 N の逆数その温度におけるDVRの実測値となる。

3.2 DVRの指数関数的モデル

DVRは絶対温度の逆数 T^{-1} の指数関数であるとするれば、DVRは次式のように表される。

$$DVR = A \exp(B \cdot T^{-1}) \quad (4)$$

または両辺の対数を取り

$$\ln(DVR) = \ln A + B \cdot T^{-1} \quad (5)$$

ただし

DVR; 發育速度 [day⁻¹]

T ; 絶対温度 [K]

A ; 定数 [day⁻¹]

B ; 定数 [K]

またモデルのあてはめの際には、(6)式のように(4)式を24で除した1時間当たりの發育速度 $DVRh$ [hour⁻¹]を用いた。

$$DVRh = A \exp(B \cdot T^{-1}) / 24 \quad (6)$$

4. 結 果

4.1 發育速度のパラメータについて

実験1の結果をTable 1に示した。実測のDVRは、この処理開始期から開花期までの所要日数と、(3)式から求められる。また $\ln(DVR)$ と T^{-1} との関係をFig. 1に示した。この図から $\ln(DVR)$ と T^{-1} は、6.8℃から18℃まではほぼ直線関係にあることが示された。22℃以上はこの直線から外れるため、Fig. 1に示したように20℃付近を転換温度とする2直線で近似した。この2直線のそれぞれの回帰式と(5)式の係数を比較することに

Table 1 Number of days from the initiation of temperature treatment to the flowering date.

Temperatures (°C)	Number of days for flowering (day)	
	'Housui'	'Kousui'
31.0	9	11
26.0	12	14.5
22.0	13	15.5
18.0	20	23
16.0	26	30.5
13.0	37	44
10.0	61	70
6.8	105	124

Fig. 1. Relation between the natural logarithms of developmental rate (DVR) and the reciprocals of absolute temperatures.

Table 2 Values of parameters used to estimate developmental rate (DVR). The values changed at about 20°C. MSR is mean square residual.

	'Housui'		'Kousui'	
	$t < 18(°C)$	$t > 22(°C)$	$t < 18(°C)$	$t > 22(°C)$
$\ln A$	38.325	10.011	38.448	9.002
B	-12014	-3719	-12094	-3473
MSR($\times 10^{-5}$)	0.143	1.260	0.068	0.906
t_0	4.876	2.964	4.945	1.336
$a(\times 10^{-8})$	3.587	3.871	3.105	2.992
MSR($\times 10^{-6}$)	0.518	1.708	0.471	1.173

より、(4)式のパラメータ A 、 B が求められる。これらの値をTable 2に示した。またこのパラメータを用いて推定したDVRと、実測のDVRとの平均平方残差をTable 2に示した。

4.2 モデルの有効性の検討

4.2.1 モデルの圃場試験への適用

(4)式とそのパラメータの正当性を検討するために、埼玉県園芸試験場内の果樹園に栽植されているニホンナシの成木の開花期の推定を行った。この園の樹は、実験1で用いたポット栽植の樹と温度処理開始以前において同じ気象条件下で発育しており、その時点では実験に用いた樹と同一の発育ステージに達していたと考えられる。

まず(6)式に実験から得られたパラメータであるTable 2の値および同場内で実測された毎正時の気温データを代入してDVR_hを求め、これを24時間分積算してその日のDVRの推定値とした。この時Table 2の値は、気温の実測値 t が20℃以上の時は $t > 22℃$ の値を、20℃未満の時は $t < 18℃$ の値を適用した。ここで $t > 22℃$ の値は、実験のデータ数が3点と少ないため有意性に問題が残るが、実際には開花前に日最高気温が20℃を越えた日はほとんどなく、その影響は微小であった。次にDVRの推定値を、1月24日から積算してDVIの推定値を求めた(Fig. 2)。このDVIから得られた開花期の推定値は、'豊水'が4月10日(実測値4月10日)、'幸水'は4月12日(実測値4月15日)であった。推定値と実測値の差は3日以内となり、このモデルの有効性が証明されたといえる。

Fig. 2. Estimated development index (DVI) from January 24.

4.2.2 有効積算温度によるモデルとの比較

従来法のひとつである有効積算温度による発育モデルは、発育速度と温度の関係を1次関数によって表すものである。そこでこの場合の発育速度DVRを、次の式のような形で表示すれば、有効積算温度によるモデルと全く等しいモデルとなる。

$$t \leq t_0 \text{ のとき } DVR=0$$

$$t > t_0 \text{ のとき } DVR=a(t-t_0) \quad (7)$$

ただし

DVR; 発育速度 (day⁻¹)

t ; 温度 (℃)

t_0 ; 発育零点 (℃)

a ; 定数 (day⁻¹・℃⁻¹)

DVRと温度 t との関係をFig. 3に示した。Fig. 1の場合と同様に、20℃付近を転換温度とする2直線として2つの回帰式を得て、これらの回帰式と(7)式との比較からパラメータ t_0 および a を求めた。これらの値をTable 2に示した。またこのパラメータを用いて推定したDVRと、実測のDVRとの平均平方残差をTable 2に示した。この値から、(4)式の方が(7)式よりもより精度よく発育速度を推定できることが示された。

Fig. 3. Relation between developmental rate (DVR) and temperatures.

実際に開花予測をする場合、(4)式を用いても(7)式を用いても、6.8℃以下は外挿した値を用いることになる。Fig. 4からわかるようにDVRは緩い曲線を描いているが、これを(7)式のような直線で近似すると、直線の両端、とくに6.8℃以下の外挿した部分の誤差は大きくなってしまふ。また(7)式においてDVRは、例えば'豊水'では $t_0=4.876$ を転換温度として折れ曲がるが、実験で得られたデータのみからこの外挿部分の転換温度を推定することは無理がある。低温域でのDVRの推定は、(4)式の方が単純でかつ誤差が小さいと考えられる。

4.3 発育速度の地域間差について

実験2では、地域によって枝を採取した時点で発育ステージの差があると考えられるので、それぞれの催芽期を起点として開花期までの発育速度について検討した。各処理温度 T における催芽期から開花期までの所要日数

Fig. 4. Relation between the natural logarithms of developmental rate (DVR) and the reciprocals of absolute temperatures.

Table 3 Values of parameters used to estimate developmental rate (DVR). SE is a standard error of parameters. MSR is a mean square residual.

Prefectures	'Housui'					'Kousui'				
	$\ln A$	SE	B	SE	$MSR \times 10^{-5}$	$\ln A$	SE	B	SE	$MSR \times 10^{-5}$
Yamagata	39.51	6.40	-12296	1830	2.922	36.65	1.88	-11503	537	0.336
Fukushima						40.24	1.67	-12531	478	0.336
Gunma	41.54	1.37	-12839	391	0.257	42.67	2.84	-13212	812	0.960
Tochigi						43.36	4.51	-13399	1289	3.998
Ibaraki	40.86	0.94	-12649	270	0.083	43.62	4.85	-13498	1385	3.395
Saitama	40.05	1.67	-12427	478	0.480	42.96	3.52	-13291	1008	2.370
Chiba	43.11	0.82	-13269	234	0.136					
Toyama	45.95	1.42	-14065	405	0.518					
Shizuoka	34.53	4.06	-10848	1159	2.424	37.24	3.44	-11724	984	0.939
Ehime	45.15	4.91	-13883	1402	2.055	40.21	0.79	-12550	226	0.076
Kagoshima	37.87	4.00	-11806	1144	0.960					

の逆数を DVR として、品種および地域ごとに $\ln(DVR)$ と T^{-1} を Fig. 4 に示した。実験 1 と同様な方法で、(4) 式のパラメータおよび実測と推定の DVR の平均平方残差、またパラメータの標準誤差を求め Table 3 に示した。Fig. 4, Table 3 から判断する限り、パラメータの明確な地域間差は認められなかった。

5. 考 察

5.1 DVI の起算日について

実験 1 で温度処理に用いた樹と、モデルの有効性を検討する際に用いた露地栽培の成木は、温度処理前の发育ステージが等しいと仮定している。そのため DVI の起算日を温度処理開始日としてモデルの有効性を検証した。しかしこのモデルを実際に開花期の予測に利用する場合に、起算日をいつにするかは重要な問題である。 DVI を用いてイネやダイズなどの发育予測をする場合、起算日

を出芽期や播種期としている。しかし果樹の開花期の予測においては、起算日をいつにするかは明らかではなく、合理的なものとして自発休眠覚醒期をこれに当てるのが妥当であると考えられる。ただし自発休眠覚醒は外見的に明らかな現象ではない。したがって開花期予測を行うためには、自発休眠覚醒期の正確な予測との連結をしなければならない。この自発休眠覚醒期の予測については次報以降に譲るとして、今回は起算日の変動が予測の開花期に与える影響について検討する。

ニホンナシの開花期(関東では4月)ごろの気温に比べ、自発休眠覚醒期といわれている1月の気温は一般に低い。そのため自発休眠覚醒期付近の DVR は、開花期付近の DVR に比べてかなり小さい。したがって実際の開花期の予測においては、起算日のずれが開花期の予測誤差に与える影響は比較的小さくなる。例として実験1のモデルの検証に用いた気象データをもとに、起算日を変動さ

せて開花期の推定日を試算した。温度処理開始期である1月24日の1週間前にあたる14日、または1週間後にあたる31日を起算日とした場合、開花期の推定日のずれは、'豊水'では2, 3日、'幸水'では1日となった。

5.2 パラメータについて

(5)式やFig.1からわかるように、(4)式のパラメータのうちAは温度によらずDVRの大きさを決定し、BはDVRの温度勾配つまり温度がDVRに影響する強さを決める値である。以下にこれら(4)式のパラメータについて考察する。

5.2.1 A値について

(4)式のパラメータAは、式の形から明らかなように、Tが無限に大きいときの発育速度DVRである。つまりDVRの計算には有用な値であるが現実的な意味はない。そこで現実的な温度 T_E を標準温度とすると、この温度での発育速度 DVR_E はつぎの式で与えられる。

$$DVR_E = A \exp(B \cdot T_E^{-1}) \quad (8)$$

(4)、(8)式からAが消去できて

$$DVR = DVR_E \cdot \exp\{B \cdot (T_E - T)(T \cdot T_E)^{-1}\} \quad (9)$$

ただし

T_E : 標準温度 [K]

DVR_E : 標準温度でのDVR [day⁻¹]

このようにしてAの代わりに現実的な意味のある DVR_E をパラメータとして用いることができる。

5.2.2 B値について

いま T_E [K]の恒温状態で経過した場合、 N_E 日後に開花したとすると(3)式より

$$DVR_E = N_E^{-1}$$

であるから(9)式は次のように表せられる。

$$DVR = N_E^{-1} \exp\{B \cdot (T_E - T)(T \cdot T_E)^{-1}\} \quad (10)$$

ここで開花期においては(2)式、(10)式より

$$\sum_1^N DVR = 1.0 = \sum_1^N N_E^{-1} \exp\{B \cdot (T_E - T)(T \cdot T_E)^{-1}\} \\ N_E = \sum_1^N \exp\{-B \cdot (T - T_E)(T \cdot T_E)^{-1}\} \quad (11)$$

ただし

T_E : 標準温度 [K]

N_E : T_E で経過したときの開花期までの所要日数 [day]

この N_E は金野・杉原(1986)による温度変換日数(DTS)と同一のものである。つまり(4)式のモデルは、温度変換日数によるモデルと表裏を成している。温度変換日数を用いて開花期を予測する場合は、(11)式から示されるように $\exp\{-B \cdot (T - T_E)(T \cdot T_E)^{-1}\}$ の値を起算日より積算し、 N_E に到達した日を開花期とする。このと

きあらかじめ開花期付近の平均気温を T_E にしておけば、何日後に開花期に達するかが(11)式から直接概算できる。また温度変換日数の理論では、ベースとなる式にアレニウスの法則((12)式)を用いている。

$$k = A \exp(-E_a \cdot R^{-1} \cdot T^{-1}) \quad (12)$$

ただし

k: 速度定数 [day⁻¹]

A: 定数 [day⁻¹]

E_a : 見かけの活性化エネルギー [J·mol⁻¹]

R: 気体定数 [8314 J·K⁻¹·mol⁻¹]

T: 絶対温度 [K]

ここではkはDVRに相当するものであるので、(4)式と(12)式を比較すると(4)式のパラメータBは

$$B = -E_a \cdot R^{-1}$$

である。この E_a については小野ら(1988)がその意味付けを試みているが、実態については不明な点が多く今後の課題として残されている。

5.2.3 パラメータの変異について

小元・青野(1989)は、温度変換日数を用いて全国各地におけるソメイヨシノの開花期と日平均気温との関係を、過去の実績から解析した。このなかで、本報のパラメータBに相当する E_a の推定値は各地でかなりの差が見られたものの、全国同一の E_a 値による推定の可能性についても述べている。また今回の実験2の結果からもパラメータBの地域間差は認めることはできなかった。しかし地域間差以外にパラメータの変異が求められる可能性はある。とくに以下の要因については、今後検討の余地があると考えられる。

そのひとつは発育ステージによるパラメータの変動である。本報のモデルは、自発休眠覚醒期から開花期までパラメータに変化がないことを前提としており、またその前提の下でも開花期の予測が可能であることを示している。しかし自発休眠覚醒に有効に作用する温度は7℃以下(Chandler and Tufts, 1934ほか多数)であり、休眠覚醒後直ちに発育に有効な温度が20℃以上になることは考えにくいため、途中に移行期間つまりパラメータの変化があることが推測される。したがって例えば自発休眠覚醒期から催芽期および催芽期から開花期というように、発育ステージを区切ってそれぞれについてパラメータを与えれば、より厳密な予測が可能となると思われる。

また低温要求量を十分に満たさずなく自発休眠が覚醒してしまった場合にも、パラメータの値に影響を与えることが考えられる。

6. ま と め

果樹の開花期を動的に評価・予測できるモデルの開発

を目的として、ニホンナシの自発休眠覚醒期から開花期までの発育速度と温度との関係を実験的に検討した。

ポット栽植されたニホンナシに 6.8℃～31℃の温度処理を行い、各温度における開花期までの発育速度(DVR)を測定した。DVRは絶対温度の逆数の指数関数であるというモデルを用いて解析した。モデルのパラメータは、20℃を境に変化することが示された。またこのモデルを用いた方が、有効積算温度による推定よりも DVR の実測と推定の差は小さいことが示された。実験で得られたパラメータと圃場での気温の観測値から、圃場での開花期を推定した。この時の推定と実測の差は、‘幸水’で 3 日、‘豊水’で 0 日であった。パラメータの地域間差を調べるため、全国 13 県から切り枝を収集して温度処理(7℃～20℃)を行ったが、明確な地域間差はみられなかった。

謝 辞

貴重な研究材料の中から本研究のために試料を提供していただいた山形県立園芸試験場、福島県果樹試験場、茨城県園芸試験場、栃木県農業試験場、群馬県園芸試験場、千葉県農業試験場、富山県果樹試験場、静岡県柑橘試験場、三重県農業技術センター、愛媛県立果樹試験場、福岡県園芸研究所、鹿児島県果樹試験場の関係各位および気象データを転記・送付していただいた熊谷地方気象台の関係各位に厚く御礼申し上げます。また懇意なご指導・御助言をいただいた現四国農業試験場地域基盤研究部の金野隆光部長に心より御礼申し上げます。実験の実施にあたって甚大な御協力をいただいた現山形県尾花沢農業改良普及所の工藤郁也普及員並びに長野県果樹試験場栽培部の今川昌平技師に謝意を表します。

引用文献

- 青木秋広・金子友昭・山崎一義, 1985: ニホンナシの開花日の予測について. 栃木農試研報, **31**, 77-86.
- 青野靖之・小元敬男, 1990: チルユニットを用いた温度変換日数によるソメイヨシノの開花日の推定. 農業気象, **45**, 243-249.
- Chandler, W. H. and W. P. Tuftus, 1934: Influence of the rest period on opening of buds of fruit trees in spring and on development of flower buds of peach trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **51**, 169-178.
- Fuchigami, Leslie H. and Cheng-Chu Nee, 1987: Degree growth stage model and rest-breaking mechanisms in temperate woody perennials. *HortScience*, **22**, 836-845.
- 堀江 武・中川博視・吉良知彦, 1986: イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究(Ⅰ) 発育動態の気象的予測モデルについて. 日作紀, **55** (別 1), 214-215.
- 市田俊一・栗生和夫・高橋正治, 1976: リンゴの発芽期・開花始の予測法. 青森畑園試研報, **1**, 17-40.
- 泉谷文定・田中敏美, 1972: ナシの発芽および開花時期の予測について. 園学要旨, 昭 47 秋, 48-49.
- 桃木信行・田嶋公一・雨宮 昭, 1983: 低温によるイネの生育阻害の生理的研究(第一報), 冷温下の生長と代謝および苗の活着阻害生理. 農技研報, **D3**, 4, 1-68.
- 金野隆光, 1976: 種子発芽速度と地温. 北海道農試研究資料, **8**, 43-58.
- 金野隆光・杉原 進, 1986: 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農環研報, **1**, 51-68.
- 中川行夫, 1972: 果樹の開花・成熟期の予想. 園学要旨, 昭 47 春, 130-131.
- Nishiyama, I., 1975: A break on the Arrhenius plot of germination activity in rice seeds. *Plant Cell Physiol.*, **16**, 533-536.
- 野呂昭司・小原信実・工藤仁郎・斉藤貞昭・戸治孝, 1986: 発芽後の有効積算温度によるリンゴの開花日の予測. 園学雑, **54**, 405-415.
- 小元敬男・青野靖之, 1989: 速度論的手法によるソメイヨシノの開花日の推定. 農業気象, **45**, 25-31.
- 小野祐幸・金野隆光・奥野 隆・浅野聖子, 1988: 日本ナシの催芽・開花までの日数への温度の影響. 農業気象, **44**, 203-208.
- Richardson, E. Arlo, Schuyler, D. Seeley, David, R. Walker, J. LaMar, Anderson, and Gaylen, L. Ashcroft, 1975: Pheno-climatography of spring peach bud development. *HortScience*, **10**, 236-237.
- 鈴木 宏・丹野貞男, 1970: リンゴの開花結実に関する研究 第 1 報, リンゴの発芽および開花予想. 秋田果樹試研報, **2**, 19-37.
- 鈴木 宏・丹野貞男, 1971: リンゴの開花結実に関する研究 第 2 報, 各地における 3 月上旬の最低気温と発芽・開花予想. 秋田果樹試研報, **4**, 33-53.
- de Wit, C. T., Brouwer, R. and Penning de Vries, F. W. T., 1969: The simulation of photosynthetic systems. *Proc. of the IBP/PP, Technical Meeting, Trebon* (1969), PUDOC, Wageningen, PP47-60.
- 築取作次・三次 満・山田満男, 1960: 梨の人工受粉に関する研究. 鳥取果樹試研報, **1**, 1-27.