‘カワヅザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils. ‘Kawazu-zakura’) の他発休眠期における 発育速度モデルの作成ならびに切り枝での開花および花の品質に及ぼす気温の影響

村上 覚^{*a}・加藤智恵美・稲葉善太郎・中村新市

静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター 413-0411 静岡県賀茂郡東伊豆町稲取 3012

Modeling the Developmental Rate in the Ecodormancy Stage and the Effect of Temperature on Cut Flowers of ‘Kawazu-zakura’ Cherry Tree

Satoru Murakami^{*a}, Chiemi Kato, Zentaro Inaba and Shinichi Nakamura

Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry Izu Agricultural Reserch Center, 3012, Inatori, Higashiizu, Shizuoka 413-0411

Abstract

To develop a flowering forecasting model in ‘Kawazu-zakura’ (*Prunus lannesiana* Wils.) cherry tree, short stems in the ecodormancy stage were exposed to six contact temperatures (0, 5, 10, 15, 20 and 25°C) under dark conditions. The developmental rate (DVR) and temperature showed a high correlation. DVR and temperature (T) were used to develop a model, $DVR = 0.045T$ ($0 < T \leq 25$) $DVR = 0$ ($T \leq 0$). It was confirmed that the model was suitable under outdoor conditions in Minamiizu region. Cut branches were cultivated in a greenhouse that controlled the daily minimum temperature at 5, 10, 15, and 20°C under natural day length. Higher temperature hastened the blooming date but decreased the flowering rate, flower size and quality. The optimal temperature for obtaining the cut flowers of ‘Kawazu-zakura’ was thought to be a daily minimum temperature of 10°C.

Key Words : crop growth model, cutting branch, developmental rate, temperature

キーワード : 発育速度, 気温, 切り枝, 生育モデル

緒 言

‘カワヅザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils. ‘Kawazu-zakura’) は静岡県河津町で発見された伊豆半島を代表するサクラである。本種は伊豆半島での開花期が2月上旬から3月上旬となり、花は淡紅色で花径は約3 cmと大きく、花木としての鑑賞価値が高い(水戸, 2002; 村田, 1997)。河津町で毎年2月10日から3月10日まで開催される「河津桜まつり」と、ほぼ同時期に南伊豆町で開催される「みなみの桜と菜の花まつり」には多くの観光客が訪れ、‘カワヅザクラ’は南伊豆地域の重要な観光資源として注目されている。

静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センターでは‘カワヅザクラ’を伊豆地域の観光資源として産業的に活用する上で必要となる基礎的知見を得るための研究を進めており、これまでに本種は伊豆地域では7月上旬には花芽形成を開始し11月中旬には花芽形成をほぼ完了していること

(村上ら, 2007a), 花芽の自発休眠は12月上旬には完了していること(村上ら, 2007b), 開花期の気温と開花の関係(村上ら, 2006)を明らかにしてきた。

‘カワヅザクラ’では開花時期に大きな年次差が見られるため、地域の観光関係者や自治体から開花予測法の確立が要望されている(水戸, 2002; 村田, 1997)。ニホンナシでは自発休眠覚醒後から開花までの発育速度と気温との関係がモデル化され、開花時期の予測に役立てられている(小野ら, 1988; 杉浦ら, 1991)。サクラでは青野(1993)が‘ソメイヨシノ’において花芽の成長と気温との関係をモデル化し、そのデータを活用して開花時期を予測した。このように、落葉樹において自発休眠覚醒後から開花までの温度反応をモデル化することは、開花予測モデルを開発する上での重要な基礎データとなる。

また、河津町をはじめとする南伊豆地域では開花を促成させた‘カワヅザクラ’の切り枝を観賞用として駅や旅館で利用したいとする要望があり、一部では既に市場出荷もされている。花木の切り枝生産では促成時の温度が花の品質や出荷時期を決定する重要な要因となっている(勝木, 1989)。しかしながら、‘カワヅザクラ’では切り枝の開花に及ぼす促成時における温度の影響は明らかになっていない。

そこで本研究では‘カワヅザクラ’の産業的利用の促進

2007年5月30日 受付。2008年4月28日 受理。

本報告の一部は園芸学会平成18年度春季大会において発表した。

^{*} Corresponding author. E-mail: satoru1_murakami@pref.shizuoka.lg.jp

^a 現在: 静岡県果樹研究センター落葉果樹拠点 浜松市北区都田町 9450-1

を目的に、試験1として他発休眠期における花芽の発育速度モデルを作成し、さらに試験2では露地条件下におけるその適応性について調査した。また、試験3では自然日長下にある温室における日最低気温が切り枝の開花に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1. ‘カワヅザクラ’の他発休眠期における開花率に及ぼす気温の影響説明および発育速度モデルの作成（試験1）

自発休眠が十分に覚醒したと考えられる2004年12月15日に河津町田中に植栽している23年生の‘カワヅザクラ’から枝を採取した。採取した枝は長さを15 cm程度に調整し、枝ごとに花芽の数を数え、枝1本あたりに着生していた花芽は3から6芽であった。切り枝を調整後、枝物用水揚げ剤（ハイフローラ/BRC、パレス化学製 有効主成分50%ブドウ糖）を50倍に希釈した水溶液に水挿した。翌12月16日に、暗黒条件で0、5、10、15、20および25°Cの一定温度に設定した恒温器（0°C: Program Incubator IN602W, Yamato製 5～25°C: MULTI THERMO INCUBATOR MTI-201, EYELA製）に切り枝を1処理区につき8本ずつ搬入した。温度処理期間中は毎日、花芽の観察調査を行い、花芽の鱗片葉が開き始めた日から最初の一輪が完全に開き終わった日（以下、開花日）までの日数（以下、到花日数）を花芽ごとに求めた。到花日数の逆数をそれぞれの処理温度における発育速度とし、処理温度との間で回帰分析を行い、発育速度モデルを作成した。

2. 発育速度モデルの露地条件下における適応性の調査（試験2）

調査は南伊豆町青野川堤防に植栽してある21年生の‘カワヅザクラ’を対象に、2004年は1月7日から3月9日、2005年は1月15日から3月13日に行った。調査で得られた花芽の観察結果と気温データ（村上ら、2007a）から、花芽の鱗片葉が開き始めた日から開花日までの日平均気温の積算値を算出した。次に、この日平均気温の積算値を試験1で得られた発育速度モデルに適用して、発育速度の積算

値（発育指数）を算出した。なお、調査対象とした花芽の数は、2004年は3樹から選んだ30芽、2005年は4樹から選んだ40芽であった。

3. 促成時の日最低気温が‘カワヅザクラ’の切り枝に与える影響の説明（試験3）

2004年12月15日に河津町田中に植栽してある23年生の‘カワヅザクラ’5樹から花芽が着生した2年生枝を1樹につき16本、合計80本を採取した。採取した枝は、長さを1 m程度に調整して、試験1と同様に水挿した。この際、枝ごとに花芽と葉芽を数え、枝1本あたりには花芽と葉芽あわせて40から130芽が着生していることを確認した。水挿した枝は同日中に日最高気温を25°C、日最低気温を5°C、10°C、15°Cおよび20°Cに設定した環境温室に1処理区につき20本ずつ搬入した。なお、日最高気温の制御は側窓を自動開閉し換気することで行い、光条件は自然日長とし、温室内の乾燥を防ぐため毎日打ち水を行った。環境温室に搬入後は数日おきに開花した花芽の数と完全に展葉した葉芽の数を数え、花芽数と葉芽数の合計に対する百分率として開花率と展葉率をそれぞれ算出した。また、開花直後と判断された花について処理温度ごとに30個ずつ花径と花色を調査した。花色については色彩色差計（CR-200, MINOLTA製）を用いて、L値、a値、b値をそれぞれ測定した。

結 果

1. ‘カワヅザクラ’の他発休眠期における開花率に及ぼす気温の影響説明および発育速度モデルの作成（試験1）

処理温度が‘カワヅザクラ’の開花率、到花日数および発育速度に及ぼす効果を第1表に示した。開花率は10°C処理で74%と最も高くなった。これより処理温度を上げると開花率は15°Cでは57%、20°Cでは30%、25°Cでは11%となり、処理温度を下げた場合は5°Cでは52%、0°Cでは0%となった。到花日数は25°Cでは9日であったが、温度を下げると長くなり、5°Cでは55日となった。実測の発育速度をY、処理温度をXとして、5°Cから25°Cの範囲で回帰分析を行った。その結果、回帰式 $Y = 0.0045X - 0.0034$

第1表 暗黒恒温条件下での‘カワヅザクラ’の切り枝における開花率（%）、到花日数および発育速度（試験1）

処理温度	調査花芽数	正常開花花芽数	開花率（%） ^z	到花日数 ^y	発育速度 ^x
25°C	45	5	11	9 ± 2 ^w	0.112 ± 0.022
20°C	44	13	30	12 ± 2	0.087 ± 0.011
15°C	37	21	57	16 ± 3	0.063 ± 0.010
10°C	35	26	74	27 ± 3	0.037 ± 0.004
5°C	29	15	52	55 ± 7	0.019 ± 0.003
0°C	32	0	0	—	0 ^v

^z 開花率（%）=（正常開花花芽数／調査花芽数）×100

^y 鱗片葉が開き始めた日から各花芽中の最初の一輪が完全に開き終わった日までの日数

^x 発育速度 = 1／到花日数

^w 平均値 ± 標準偏差

^v 0°Cの発育速度は0とみなした

第1図 暗黒恒温条件下における‘カワヅザクラ’の花芽の発育速度（DVR）と気温（T）との関係

—は発育速度モデル

図中の縦線は標準偏差を示す

発育速度モデルは0°C以下の発育速度を0と仮定し、0°Cから25°Cまで直線的に増加するとみなしモデル化した

が得られ、回帰係数は0.9922となり、5°Cから25°Cでは発育速度と気温の関係が直線的に近似できることが示された。回帰分析ではY切片がほぼ0に等しくなったことから、‘カワヅザクラ’の切り枝は0°Cでは開花しなかったことから、0°C以下における発育速度を0と仮定し、0°Cから25°Cまで温度上昇に伴い発育速度が直線的に増加するとみなした。その結果、発育速度をDVR、気温をTとした発育速度モデルとして $DVR = 0.0042T$ ($0 < T \leq 25$), $DVR = 0$ ($T \leq 0$) が得られた（第1図）。

2. 発育速度モデルの露地条件下における適応性の調査（試験2）

試験2における花芽の観察結果をみると（第2表）、鱗片葉が開き始めた日は2004年が1月13日、2005年は1月15日であり、開花日は2004年が2月16日、2005年は2月20日であった。また、鱗片葉が開き始めた日から開花日までの日平均気温の積算値を求めると、2004年は234°C、2005年は259°Cであった。

試験1で得たモデル $DVR = 0.0042T$ ($0 < T \leq 25$), $DVR = 0$ ($T \leq 0$) のTに2004年と2005年に実測した日平均気温の積算値をあてはめた結果、花芽の鱗片葉が開き始めた日から開花日までの発育指数は2004年は0.98、2005年は1.09

第2表 南伊豆町青野川堤防の‘カワヅザクラ’における花芽の鱗片葉が開き始めた日から開花日までの発育指数と日平均気温の積算（試験2）

調査年 ^z	開花日 ^y	鱗片葉が開き始めた日	日平均気温の積算値（°C） ^x	発育指数 ^w
2004	2月16日 ± 6 ^v	1月13日 ± 8	234 ± 28	0.98 ± 0.11
2005	2月20日 ± 4	1月15日 ± 5	259 ± 39	1.09 ± 0.16

^z2004年は30個、2005年は40個の花芽について調査

^y開花日は各花芽中の最初の一輪が完全に開き終わった日とした

^x日平均気温の積算値（°C）は鱗片葉が開き始めた日から開花日までの日平均気温を積算して得た

^w発育指数は $0.0042 \times$ 日平均気温の積算値により算出した

^v平均値 ± 標準偏差

となり、両年とも1.00に近い値となった（第2表）。

3. 促成時の日最低気温が‘カワヅザクラ’の切り枝に与える影響の解明（試験3）

日最低気温の違いが‘カワヅザクラ’の切り枝の開花率に及ぼす影響を第2図に、展葉率に及ぼす影響を第3図に示した。開花率が最大に達したのは、日最低気温20°Cでは温室搬入後23日目、日最低気温15°Cでは28日目であったのに対して、日最低気温5°Cでは温室搬入後37日後、日

第2図 自然日長下における日最低気温の違いが‘カワヅザクラ’の切り枝の開花率^zに及ぼす影響

^z開花率（%）=（開花済み花芽数 / （花芽数 + 葉芽数））× 100

第3図 自然日長下における日最低気温の違いが‘カワヅザクラ’の切り枝の展葉率²に及ぼす影響
²展葉率(%)=(展葉済み葉芽数/(花芽数+葉芽数))×100

最低気温 10°C では 34 日目であり、処理温度が高いほど開花率が最大に達するのに要した日数は短縮された。開花開始日についても処理温度が高いほど早まった。一方、開花率の最大値は日最低気温 20°C と日最低気温 15°C では 30% 前後、日最低気温 10°C と 5°C では 45% となり、処理温度が低いほど最終的な開花率は高くなった。展葉開始日と展葉率についても開花開始日や開花率とほぼ同様の傾向を示し、気温が高くなるほど展葉開始日は早く、展葉率は低くなった。日最低気温の違いが切り枝の花の形質に与える影響を第 3 表と第 4 図に示した。花径は日最低気温 20°C では平均で 2.3 cm であったのに対し、日最低気温 5°C では 2.9 cm で、気温が高くなるほど花径は小さくなる傾向を示した。花色は日最低気温 20°C では L 値は 88.7, a 値は 9.2, b 値は 0.0 であったのに対し、日最低気温 5°C では L 値は 80.2, a 値は 19.5, b 値は -3.5 で、気温が下がるほど L 値と b 値の値は下がり、a 値は上昇し、花色は濃くなる傾向を示した。

考 察

一般に生物反応では、ある温度(転換温度)で折れ曲がる 2 直線、あるいは 2 つの転換温度で折れ曲がる 3 直線になる場合などが報告されている(鍵谷, 1970)。落葉樹における花芽の発育についての温度反応はニホンナシ(小野ら, 1988)と‘ソメイヨシノ’(青野, 1993)で明らかになっているが、いずれも転換点については報告されていない。今回の試験では 0°C から 25°C の範囲においてはニホンナシ等と同様に‘カワヅザクラ’でも発育速度モデルの変換点を設定せず、発育速度(DVR)と気温(T)の関係は $DVR = 0.0042T$ で直線によりモデル化することが可能であった。イネ(堀江・中川, 1990)、ダイズ(鮫島・岩切, 1987)、ニホンナシ(杉浦, 1997)では、実験的に明らかにされた発育速度モデルについて露地条件下において適合性が確かめられ、生育予測に活用されている。今回の試験で得られた発育速度モデルは 0°C から 25°C の範囲で行った試験結果に基づき作成したが、南伊豆地域では年間を通して日平均気温が 0°C 以下になる日はほとんどない(村上ら,

2006)。さらに、この発育速度モデルに 2004 年および 2005 年に実測して得られた日平均気温をあてはめた結果、両年とも発育指数はほぼ 1.00 となったことから、本試験で得られた発育速度モデルは南伊豆地域の露地条件下における適合性が高いと考えられた。今後、露地条件下での適合性をさらに調査し、‘カワヅザクラ’の開花予測に実用化していくことが期待される。

高等植物における発育と気象要因との関係については幾つか報告がある。古くは De Wit ら(1970)がトウモロコシにおいて、日長時間を一定とした条件下で発育速度と気温との関係を求めた。イネ(川方・岡田, 1989)やダイズ(鮫島・岩切, 1987)においても発育速度と日長・気温との関係が報告されている。サクラでは、石井(1992)は他発休眠期における花芽の発育速度について、水分の供給が十分な場合には、温度のみに左右され、光の有無や日長は影響しないと報告している。試験 1 は暗黒条件下での一定温度、試験 3 は自然日長下で日最低気温のみ制御して行っているが、そのいずれにおいても処理温度が高いほど開花速度が早まることが認められた。従って、‘カワヅザクラ’の開花においても、石井(1992)の報告と同様に温度の影響が大きいことが考えられた。

石井(1992)は‘コヒガン’、‘ミクルマガエシ’、‘ソメイヨシノ’、ヤマザクラ、‘カンザン’のサクラ 5 品種の切り枝を 5°C の恒温条件下で処理した結果、比較的早咲きである‘コヒガン’のみが開花したと報告している。試験 1 での結果をみると、‘カワヅザクラ’では処理温度 10°C で開花率がピークに達し、処理温度 5°C でも開花率は 52% と高かった。また、処理温度 0°C では開花はみられなかったものの、花芽の成長は確認された。さらに切り枝を開花させる際の日最低気温については(試験 3)、日最低気温が 5°C から 20°C の範囲では、開花開始日は気温が高くなるほど早くなるのに対して、開花率は日最低気温が低いほうが高くなった。これらの結果は、他のサクラと比較して‘カワヅザクラ’では開花可能な温度が低い可能性を示唆しているといえる。

前川・中村(1979)はモモ、ボケ、‘ジュウガツザクラ’

第3表 自然日長下における日最低気温が‘カワヅザクラ’の切り枝の花径および花色に与える影響 (試験3)

日最低気温 ^z	花径 (cm)	花色 ^y		
		L 値	a 値	b 値
20°C	2.3 ± 0.4 ^a ^w	88.7 ± 2.7a	9.2 ± 4.2a	0.0 ± 0.3a
15°C	2.6 ± 3.4b	82.9 ± 4.5b	16.9 ± 6.5b	-3.0 ± 2.0b
10°C	2.9 ± 5.2c	80.0 ± 2.8c	21.4 ± 3.1c	-4.8 ± 0.9c
5°C	2.9 ± 0.4c	80.2 ± 3.6c	19.5 ± 5.0b	-3.5 ± 1.5b
露地 ^v	3.4 ± 0.2d	76.5 ± 4.0d	26.1 ± 5.7d	-5.1 ± 1.8c

^z 気温の上限は 25°C^y MINOLTA 色彩色差計 CR-200 による測定値^x 平均値 ± 標準偏差 (n = 30)^w 異なるアルファベット間には Tukey 法により 5%水準で有意差あり^v 河津町田中に植栽してある‘カワヅザクラ’の樹より採取 **第4図** 自然日長下における日最低気温が‘カワヅザクラ’の切り枝の花径と花色に及ぼす影響
露地は河津町田中に植栽してある‘カワヅザクラ’の樹より採取

を材料として切り枝を開花させた結果、促成温度が高くなるにつれて花卉のアントシアニン生成量は減少し、花色が薄くなることを報告している。このことはモモなど(前川・中村, 1979)と同様に, ‘カワヅザクラ’でも花のアントシアニン生成は気温の影響を受けることを示唆していると考えられた。

試験3において、開花開始日は日最低気温 20°C が最も早く、最低気温が下がるに従って遅くなった。しかし、日最低気温 5°C と 10°C では開花率は向上することが明らかとなった。また、試験3における花の形質についてみると、日最低気温 5°C と 10°C では、露地条件と比較すると若干花径は小さくなるものの、花色では大きな差は確認されなかった(第3表, 第4図)。従って, ‘カワヅザクラ’の切り枝生産を想定した場合、最適な促成温度は日最低気温 10°C 程度が適当と考えられた。

摘 要

他発休眠期にある‘カワヅザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils. ‘Kawazu-zakura’) の切り枝を用いて気温が花の発育と品質に及ぼす影響を調査した。0, 5, 10, 15, 20 および 25°C の恒温暗黒条件下で処理した結果、開花率は 10°C で最も高くなった。この処理の結果から、気温 (T) と花芽

の鱗片葉が開き始めた日から開花日までの発育速度 (DVR) に関し、 $DVR = 0.0042T$ ($0 < T \leq 25$), $DVR = 0$ ($T \leq 0$) とする発育速度モデルが得られ、露地条件下においても適合性が確認された。日最低気温を 5, 10, 15 および 20°C に制御した自然日長下での温室において切り枝を開花させた結果、日最低気温が高くなるほど開花開始日は早くなったが開花率は低下し、花径は小さくなり、花色は薄くなった。以上の結果から, ‘カワヅザクラ’ の切り枝で開花を促成させるのに最適な日最低気温は 10°C 前後と考えられた。

謝 辞 調査を行うにあたり、河津町、河津町観光協会、南伊豆町および南伊豆観光協会に協力を頂いた。ここに記して深謝する。

引用文献

- 青野靖之. 1993. 温度変換日数法によるソメイヨシノの開花に関する気候学的研究. 大阪府大紀. 45: 155–191.
- De Wit, C. T., R. Brouwer and F. W. T. Penning de Vries. 1970. The simulation of photosynthetic systems. Proc. of the IBP/PP Technical Meeting, PUDOC, Wageningen: 47–60.
- 堀江 武・中川博視. 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 日作紀. 59: 687–695.
- 石井幸夫. 1992. サクラの開花期に及ぼす温度と光の影響. 櫻の科学. 2: 29–36.
- 鍵谷 勤. 1970. 化学反応の速度論的研究法 上巻. p. 11. 化学同人. 京都.
- 勝木謙蔵. 1989. サクラ枝物の早期促成に関する研究. 山形園試特研報. 4: 45–51.
- 川方俊和・岡田益己. 1989. 発育指数を用いた水稻の幼穂形成期と出穂期の推定. 農業気象. 45: 137–142.
- 前川 進・中村直彦. 1979. 促成花木の花色発現に関する研究. 第1報. モモ, ボケ, サクラ切花のアントシアニン生成に及ぼす温度と光の影響. 神大農研報. 13: 181–184.
- 水戸喜平. 2002. 南伊豆地域における自生植物の利活用. 農及園. 77: 468–474.
- 村上 覚・末松信彦・水戸喜平・中村新市. 2006. 南伊豆地域における‘カワヅザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils. ‘Kawazu-zakura’) の開花期. 園学研. 5: 331–336.
- 村上 覚・末松信彦・水戸喜平・中村新市. 2007a. ‘カワヅザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils. ‘Kawazu-zakura’) の花芽形成と発達. 植物環境工学. 19: 27–33.
- 村上 覚・末松信彦・水戸喜平・中村新市. 2007b. ‘カワヅザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils. ‘Kawazu-zakura’) の自発休眠覚醒期. 植物環境工学. 19: 132–136.
- 村田治重. 1997. 南伊豆の早咲きサクラ. 静岡農試研報. 42: 67–75.
- 小野祐幸・金野隆光・奥野 隆・浅野聖子. 1988. 日本ナシの催芽・開花まで日数への温度の影響. 農業気象. 44: 203–208.

- 鮫島良次・岩切 敏. 1987. 気象と大豆の生育動態に関する研究(1) 開花までの期間における発育速度と日長・気温の関係. 農業気象. 42: 375-380.
- 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. 京都大学位論文.
- 杉浦俊彦・小野祐幸・鴨田福也・朝倉利員・奥野 隆・浅野聖子. 1991. 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. 農業気象. 46: 197-203.