大阪府羽曳野市における過去 48 年間の気温変化と ブドウ ‘デラウェア’ の発育との関係

上森真広*・三輪由佳・磯部武志・細見彰洋

(地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所 583-0862 大阪府羽曳野市尺度

Relationships between Changes in Air Temperature and Development of ‘Delaware’ Grape for the Past 48 Years in Habikino, Osaka, Japan

Masahiro Kamimori*, Yuka Miwa, Takeshi Isobe and Akihiro Hosomi

Local Independent Administrative Agency Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries,
Osaka Prefecture, Syakudo, Habikino, Osaka 583-0862

Abstract

To understand the influence of yearly changes in air temperature on the development of grapes, we analyzed the records of air temperature and phenological events (budding, blooming) of ‘Delaware’ grape under open field conditions from 1963 to 2010 in Habikino, Osaka Prefecture, Japan using a generalized linear model (GLM) and model selection with Akaike Information Criterion (AIC). In this study area, the average temperature tended to rise over the 48 years. The dates of budding and full bloom became earlier. The average temperatures in February, March, and April were important factors influencing the dates of budding based on the GLM using AIC. This suggested that the dates of budding became earlier because of yearly temperature increases in February and March. The average temperatures in April and May were important factors influencing the dates of full bloom based on the GLM using AIC. This suggested that the dates of full bloom became earlier because of the earlier dates of budding and yearly temperature increase in May. In conclusion, the budding and blooming of ‘Delaware’ grape in Habikino, Osaka Prefecture have accelerated over the past 48 years: budding has been influenced by the yearly temperature increases February and March, and blooming has been influenced by the earlier of budding and yearly temperature increase in May.

Key Words : dates of budding, dates of full bloom, generalized linear model (GLM), global warming, plant phenology

キーワード : 発芽日, 一般化線形モデル (GLM), 満開日, 温暖化, 植物季節

緒 言

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によると, 1880 年～2012 年の 132 年間で世界平均地上気温は 0.85°C 上昇しており, 今後も上昇が続く可能性が高いことが示唆されている (IPCC, 2013). 気温は植物季節と密接な関係を示すため, このような温暖化の影響と考えられる植物の発育の早期化や遅延が数多く報告されている. 例えば, 過去 60 年間に於いて国内のサクラの開花は 10 年単位で 1.0 日早まり, カエデの紅葉は 2.9 日遅くなっている (気象庁, 2017). また, イチョウでは 1953 年から 2000 年の間に発芽期が 4 日早まり, 落葉期が 8 日遅くなったこと (Matsumoto ら, 2003) が報告されている.

永年生作物である果樹はこのような温暖化の影響を最も受けやすい作物の一つである (杉浦ら, 2007). 実際, 国内ではニホンナシの開花期や収穫期の前進 (本條ら, 2002;

伊藤・市ノ木山, 2005), リンゴの発芽期と開花期の前進 (藤沢・小林, 2007) などが報告されている. さらに, ニホンナシ施設栽培において, 自発休眠期の低温不足が関連した発芽・開花不良障害である「眠り病」(藤丸, 2004; 松田, 2004) や, リンゴ, ブドウ, カキ, ウンシュウミカンにおいて果実着色の遅延・不良など, 温暖化に伴う被害が既に顕在化している (杉浦ら, 2007). 果樹栽培では作期の移動や植え替えなどが容易ではないため, このような気温変化による影響評価は長期的な対策の基盤となる. さらに, 高品質果実の安定生産には, 植物生長調節剤の処理や病害虫防除などを, 発育ステージに応じた適期に実施することが必要不可欠である. そのため, 長期的な気温変化が果樹の発育に及ぼす影響を把握することは栽培管理計画を策定するうえでも重要な課題である.

(地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所では 1963 年から 2010 年まで大阪府の主要品種であるブドウ ‘デラウェア’ の発芽日, 満開日のデータを蓄積してきた. これらの発育調査データと気温観測データを解析することで, 長期的な気温変化がブドウの発育に及ぼす影響を明らかにする

ことができると考えられる。そこで、本研究では、平均気温について過去48年間の観測データから年単位、月単位の経年変化を把握した。続いて、同一圃場内で栽培された‘デラウェア’の発芽日、満開日の発育調査データを用いて、気温変化と発育との関係性を解析した。

材料および方法

1. 調査地

大阪府南河内地域に位置する(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所(北緯34度32分、東経135度35分、標高70m、大阪府羽曳野市尺度442、以下当所とする)内を調査地とした。

2. 気温観測値

果樹の発育に影響する気温要素として平均気温が重要であるという報告(村尾ら, 2002; 野呂ら, 1986; 岡田ら, 1984; 佐藤・竹澤, 2014)を考慮し、平均気温を解析に用いた。当所内の気温観測方法は、1988年までは百葉箱内の最高・最低気温温度計による目視観測で、1989年以降は自動観測で日平均気温は毎正時観測値の平均を取ったものであり、観測方法が変更されている。そこで、1963年から1988年までの観測値は、1989年から2010年にかけての大阪管区気象台の観測値と当所内の観測値から回帰式を作成し、1963年から1988年までの大阪管区気象台の観測値を回帰式に当てはめて算出した推定値を用いた。日平均気温の年平均値(年平均気温)の回帰式は次のようになり、推定値として使用できると考えられた。

年平均気温(°C)

当所の観測値 = $1.088 \times \text{大阪管区気象台の観測値} - 3.119$
($r = 0.924, P < 0.001$)

日平均気温の月別の平均値(月別平均気温)についても、月別に同様の方法で算出した推定値を用いた。欠測が生じた場合は、近隣の気象庁アメダス観測所の観測値で補った。

3. ブドウ‘デラウェア’の発育調査

当所内の露地ブドウ圃場(1園、約10a)で、長梢剪定で栽培する樹齢5年以上の‘デラウェア’3樹を用いて、1963年から2010年の48年間に渡って発芽日、満開日を調査した。調査樹は他の実験の都合や植替えなどの事情から、調査年によって園内から随意に決めた。発芽日の定義は、落葉果樹育成系統適応性検定試験 特性検定試験において定められている調査方法(農林水産省果樹試験場, 1984)に従い、調査樹の葉芽がバルーン状になり、鱗片から80%以上露出したものが概ね80%に達した日とした。同じく、満開日の定義は、ジベレリンなどの植物生長調節剤処理を行わなかった花穂のうち80%が満開となった日とした。発芽日は当年度の4月1日を、満開日は当年度の5月1日を基点とする日数を用いて、以下の解析を行った。

4. 解析

年平均気温、月別平均気温および発芽日、満開日について48年(1963年から2010年)に渡って回帰分析により経年変化を把握した。次に、発芽日、満開日と月別平均気温との関係を一般化線形モデル(GLM)によって解析した。発芽日、満開日をそれぞれ目的変数とし、これらがポアソン分布に従うことと仮定した。説明変数は月別平均気温とし、発芽日は前年5月から当年4月まで、満開日は前年6月から当年5月までのデータを用いた。総当たり法により月別平均気温のそれぞれの有無を説明変数として組み合わせた4,096個のモデルの中から赤池情報量基準(Akaike Information Criterion, 以下AIC)によるモデル選択を行い、AICが最小となるモデルを最適モデルとして選択した。本研究におけるすべての統計解析にはR-3.4.1(R Core Team, 2017)を用い、モデル選択にはglm関数およびMuMInパッケージのdredge関数を用いた。

結 果

1. 平均気温の経年変化

1963年～2010年までの48年間の年平均気温の経年変化を第1図に示す。本調査地において、年平均気温に上昇傾向が認められた。1963年～2010年までの毎年の月別平均気温から算出した回帰式の傾きと相関係数を第1表に示す。月別平均気温は4月、7月以外の月で有意な上昇傾向が認められた。

2. ‘デラウェア’の発芽日、満開日の経年変化

年次と発芽日、満開日との関係を第2図に示す。解析に用いた期間内の発芽日の平均値は4月9日、最も早い年が3月31日、最も遅い年が4月22日であった。満開日ではそれぞれ5月26日、5月11日、6月6日であった。経年変化の傾向をみると発芽日、満開日ともに早まる傾向が認められ、回帰式に当てはめたところ48年間で発芽日は年当

第1図 過去48年間(1963年～2010年)の年次と年平均気温との関係
***は0.1%水準で有意であることを示す(ピアソンの相関係数の検定)

第1表 過去48年間（1963年～2010年）の毎年の月別平均気温から算出した回帰式の傾きと相関係数

	傾き (°C/年)	相関係数 r^z
1月	0.034	0.446 **
2月	0.050	0.491 ***
3月	0.053	0.581 ***
4月	0.020	0.234
5月	0.023	0.398 **
6月	0.033	0.493 ***
7月	0.021	0.268
8月	0.027	0.410 **
9月	0.053	0.570 ***
10月	0.056	0.684 ***
11月	0.039	0.507 ***
12月	0.036	0.470 ***

^z **は1%水準, ***は0.1%水準で有意であることを示す
(ピアソンの相関係数の検定)

たり0.15日、満開日は年当たり0.16日の速度で早まっていると推測された。

3. 発芽日、満開日と気温との関係性

GLM解析の結果から発芽日を目的変数とした場合の上位10モデルを第2表に示す。上位10モデルのうち、3月平均気温、4月平均気温はすべてのモデルで選択され、2月平均気温は5モデルで選択された。この中でAICが最も低いモデルは、2月平均気温、3月平均気温、4月平均気温を説明変数とした場合であった。AICが最も低かったモデルを最適モデルとして採用し、そのモデルの解析結果を第3表に示す。説明変数である2月平均気温、3月平均気温、4月平均気温の偏回帰係数は負の値であった。また、最適モデルからそれぞれの説明変数を除いた際のAICの増大量 (Δ AIC) は、3月平均気温を除いたときに最も高い値を示した。

満開日を目的変数とした場合の上位10モデルを第4表に示す。上位10モデルのうち、4月平均気温、5月平均気温はすべてのモデルで選択され、この両者のみを説明変数としたモデルのAICが最も低かった。この最適モデルの解析結果を第5表に示す。このモデルにおいて、4月平均気温、5月平均気温の偏回帰係数は負の値であった。また、 Δ AICは4月平均気温を除いたときに最も高い値を示した。

考 察

まず、本調査地の1963年から2010年までの気温の推移について、年平均気温に上昇傾向が認められた。これを月単位で分析した結果、3月および9月、10月で上昇傾向が強いことも認められた。西日本では春や秋の気温の上昇率が高い（気象庁, 2017）ことが指摘されており、本調査地でも同様の結果であった。このように、本調査地でも西日本全体の傾向と同様の気温上昇が認められた。

一方、植物については気温上昇が進むと、発育の早期化が予想される。本研究のブドウ‘デラウェア’でも発芽日、満開日の両方で早期化していた。このうち発芽日については、GLMの上位10モデルにおいて3月平均気温、4月平均気温がすべてのモデルで選択されるとともに、最適モデルでは2月平均気温、3月平均気温、4月平均気温が選択され、これらの偏回帰係数はすべて負の値であった。これは発芽の早晚において2月平均気温、3月平均気温、4月平均気温が高いと発芽日は早くなることを示している。中でも、3月平均気温の Δ AICが高く、最も重要な説明変数だと考えられる。本調査地での経年変化として、2月平均気温、3月平均気温に明らかな経年上昇がみられたことを勘案すると、この間の気温上昇が発芽日の早期化をもたらしたと考えられる。これはリンゴでは3月（藤沢・小林, 2007）、カキでは2月、3月（長谷川・尾形, 2007）の気温が発芽に最も関与しており、その上昇に伴って早期化の傾

第2図 過去48年間（1963年～2010年）の年次と発芽日、満開日との関係

は1%水準, *は0.1%水準で有意であることを示す（ピアソンの相関係数の検定）

第2表 発芽日を目的変数とした場合の上位10モデルとそのAIC

説明変数 ^z	AIC
2月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	239.3
1月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	239.5
前年8月平均気温+前年10月平均気温+1月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	239.8
3月平均気温+4月平均気温	239.9
前年12月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	240.2
前年8月平均気温+2月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	240.3
前年10月平均気温+1月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	240.3
前年10月平均気温+2月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	240.4
1月平均気温+2月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	240.5
前年12月平均気温+2月平均気温+3月平均気温+4月平均気温	240.5

^z 単位は℃

第3表 発芽日を目的変数とした場合の最適モデルの解析結果

説明変数	偏回帰係数	標準誤差	Z値	P値 ^z	ΔAIC
切片	5.455	0.520	10.484	<0.001 ***	—
2月平均気温(℃)	-0.064	0.040	-1.618	0.1057	0.6
3月平均気温(℃)	-0.176	0.044	-3.996	<0.001 ***	13.7
4月平均気温(℃)	-0.128	0.044	-2.896	0.0038 **	6.7

^z ** は1%水準, *** は0.1%水準で有意であることを示す

第4表 満開日を目的変数とした場合の上位10モデルとそのAIC

説明変数 ^z	AIC
4月平均気温+5月平均気温	261.2
1月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	262.6
3月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	262.6
前年12月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	262.8
2月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	263.0
前年7月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	263.0
前年10月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	263.1
前年9月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	263.1
前年11月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	263.1
前年8月平均気温+4月平均気温+5月平均気温	263.2

^z 単位は℃

向がみられたという報告とも一致する。一方、4月平均気温については、経年の上昇傾向は比較的小さかったことから発芽日の早期化への影響は2月平均気温、3月平均気温と比較すると限定的だったと推察される。なお、冬季の気

温上昇は休眠打破を阻害して、発芽の遅延をもたらす一面も懸念されるが(杉浦, 2001), 少なくとも本調査地の露地「デラウェア」にはその影響は今のところはみられないことも併せて示されたといえるだろう。

次に、満開日は「発芽日の早晚」と「発芽から満開までの日数の長さ」で決定されるため、上述の発芽日の早期化は、満開日の早期化に影響を及ぼしているだろう。また、満開日のGLMの上位10モデルにおいて、発芽日と関連性が高いと推察された2月平均気温、3月平均気温が、比較的上位のモデルで4月平均気温、5月平均気温に次ぐ3番目の説明変数として選択されたことは、満開日と発芽日の関連性を示していると考えられる。次に、最適モデルは、GLMの上位10モデルのすべてで選択された4月平均気温、5月平均気温の2つの説明変数からなるモデルであった。開花日が発芽日以降の気温の影響を受けることは、多くの落葉果樹で知られている(野呂ら, 1986; 伊藤ら, 2006)。ブドウでも「巨峰」において同様のことが報告されており(杉浦ら, 1995), 本調査地の「デラウェア」で

第5表 満開日を目的変数とした場合の最適モデルの解析結果

説明変数	偏回帰係数	標準誤差	Z値	P値 ^z	ΔAIC
切片	6.715	0.651	10.311	<0.001 ***	—
4月平均気温(℃)	-0.099	0.028	-3.548	<0.001 ***	10.51
5月平均気温(℃)	-0.118	0.041	-2.900	0.0030 **	6.44

^z ** は1%水準, *** は0.1%水準で有意であることを示す

も発芽から満開までに相当する4月平均気温、5月平均気温が満開日の早晩に強く影響したものと考えられる。 ΔAIC をみると、4月平均気温が最も重要な説明変数であった。4月平均気温は発芽日の最適モデルとも共通の説明変数であり、発芽日の早晩にも影響するため強い説明力をもつと考えられる。ただし、繰り返すとおり4月平均気温の経年上昇の傾向は比較的小さく、満開日においても経年の早期化という観点での4月平均気温の関与は小さいと考えるべきであろう。一方、本調査地での経年変化として5月平均気温には上昇傾向がみられた。ここで、「発芽から満開までの日数」は、この期間の気温が高いほど短くなることが報告されていることから(杉浦ら, 1995; 伊藤ら, 2006)、本調査地の「デラウェア」における「発芽から満開までの日数」を短くすることを介した早期化は、5月平均気温の上昇による影響を受けたと考えるのが妥当だと思われる。

以上をまとめると、大阪府羽曳野市においても1963年から2010年の間に気温上昇が生じており、この変化に呼応するようにブドウ「デラウェア」の発芽日が早期化していた。満開日も同様に早期化しており、これは発芽日の早期化と5月の平均気温の上昇の両方の影響を受けていると考えられた。温暖化は地球規模の傾向で、ブドウの発育への影響については、海外でも複数の事例が報告されているほか(Wolfeら, 2005; Vujadinovićら, 2012)、国内でも新潟県において「巨峰」で発芽期、開花期の前進(本永ら, 2000)が知られており、本研究の結果はこれらと一致する。気温上昇を中心とした気象変化は今後も継続することが予想されており(IPCC, 2013)、樹体生育への影響については、このような過去の経験をふまえた発育予測モデルで評価する必要があるだろう。また、自然状態では気温以外の気象要因が、土壌水分や樹体栄養を介して発育の早晩に影響することも考えられ、各種の気象条件を含めた総合的な解析が必要だと考えられる。

摘 要

大阪府羽曳野市において、長期的な気温変化が露地栽培のブドウ「デラウェア」の発育に及ぼす影響を明らかにするため、1963年から2010年までの48年間に渡る気温と発芽日、満開日との関係を一般化線形モデル(GLM)により解析し、赤池情報量基準(AIC)によるモデル選択によって各関係を評価した。本調査地において気温の上昇傾向が認められた。48年間で発芽日、満開日はともに早期化していた。AICによるモデル選択の結果、発芽日には2月平均気温、3月平均気温、4月平均気温が関与しており、2月平均気温、3月平均気温の上昇により発芽日が早期化していることが示唆された。一方、満開日には4月平均気温、5月平均気温が関与しており、その早期化は、発芽日の早期化と5月平均気温の上昇の影響を受けていることが示唆された。以上より、大阪府羽曳野市のブドウ「デラウェア」

の発芽日は2月、3月の気温上昇、満開日は発芽日の早期化と5月の気温上昇の影響を受けて早期化していると推察された。

謝 辞 本研究の気温観測データ、発育調査データは(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所の歴代の職員の方々により取得されたものである。GLM解析に関して同所の幸田良介氏にご助言をいただいた。2名の匿名査読者には貴重なコメントをいただいた。この場を借りて御礼申し上げます。

引用文献

- 藤丸 治. 2004. 熊本県における加温ハウスナシの「眠り症」. p. 62–65. (独)農業・生物系特定産業技術研究機構果樹研究所編. 平成15年度果樹農業生産構造に関する調査報告書. 中央果実基金調査資料. No. 189.
- 藤沢茉莉子・小林和彦. 2007. 日本におけるリンゴの発育早期化にみられる温暖化の影響. 農業気象. 63: 185–191.
- 長谷川耕二郎・尾形凡生. 2007. 高知における最近20年のカキの萌芽、開花および満開期と気温との関係. 植物環境工学. 19: 175–181.
- 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. (2) ニホンナシ「幸水」開花日の年次変動. 園学雑. 71 (別2) : 288.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers. p. 3–29. Cambridge University Press, United Kingdom and New York.
- 伊藤 寿・市ノ木山浩道. 2005. 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. 園学研. 74: 329–333.
- 伊藤 寿・西川 豊・前川哲男・輪田健二. 2006. ハウス栽培されたカキ「前川次郎」の生育および果実品質に及ぼす暖房温度の影響. 園学研. 75: 337–343.
- 気象庁. 2017. 気候変動監視レポート2016. <<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/>>.
- 松田和也. 2004. 福岡県におけるナシの発芽・開花不良障害(仮称: 眠り病). p. 59–61. (独)農業・生物系特定産業技術研究機構果樹研究所編. 平成15年度果樹農業生産構造に関する調査報告書. 中央果実基金調査資料. No. 189.
- Matsumoto, K., T. Ohta, M. Irasawa and T. Nakamura. 2003. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. Global Change Biology 9: 1634–1642.
- 本永尚彦・藤巻伸一・松本辰也. 2000. ブドウ「巨峰」の開花期予測法. 新潟農総研報. 2: 71–72.

- 村尾昭二・丸尾勇治郎・福田哲生. 2002. 平均気温と日照時間によるもも「あかつき」の収穫盛期予測. 香川県農試研報. 55: 33–36.
- 農林水産省果樹試験場. 1984. 落葉果樹育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法.
- 野呂昭司・小原信実・工藤仁郎・斎藤貞昭・一戸治孝. 1986. 発芽後の有効積算温量によるリンゴの開花日の予測. 園学研. 54: 405–415.
- 岡田正道・鈴木晴夫・牧田好高・大野文征・小中原 実. 1984. ウンシュウミカンの発芽期および開花期に及ぼす気象要因の影響. 静岡柑試研報. 20: 1–10.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<http://www.R-project.org/>>.
- 佐藤 守・竹澤邦夫. 2014. 四倍体無核ブドウ‘あづましずく’の発芽, 開花および着色期の予測. 園学研. 13: 193–201.
- 杉浦俊彦. 2001. 温暖化が果樹生産環境に及ぼす影響と求められる課題. 農林水産技術研究ジャーナル. 24: 23–30.
- 杉浦俊彦・黒田浩之・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.
- 杉浦俊彦・前島 勤・本條 均. 1995. ブドウの開花予測モデルについて. 園学雑. 64 (別2): 210–211.
- Vujadinović, M., A. Vuković, V. Djurdjević, Z. Ranković-Vasić, Z. Atanacković, B. Sivčev, N. Marković and N. Petrović. 2012. Impact of climate change on growing season and dormant period characteristics for the Balkan region. Acta Hortic. 931: 87–94.
- Wolfe, D. W., M. D. Schwartz, A. N. Lakso, Y. Otsuki, R. M. Pool and N. J. Shaulis. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. Int. J. Biometeorol. 49: 303–309.