

学術論文

地域・年次比較から考察したウンシュウミカンの 果実品質に影響する気候指標の選定

鵜久森英輔¹・大橋唯太^{2*}・千葉太一²・安保美奈子²・
藤井瑛美²・菊池啓介²・松田拓也²・北本勇也²

Selection of climate indices relating to fruit qualities of *Citrus unshiu*, discussed
by regional and annual comparisons

Eisuke UGUMORI¹, Yukitaka OHASHI^{2*}, Taichi CHIBA², Minako ABO², Emi FUJII²,
Keisuke KIKUCHI², Takuya MATSUDA² & Yuya KITAMOTO²

Abstract: In this study, the relationship between fruit qualities of Unshu mikan (*Citrus unshiu*) and annual climate conditions was surveyed by using the long-term measurement data at the Uwajima region in Ehime Prefecture, Arida in Wakayama Prefecture, and Ushimado in Okayama Prefecture. In the temporal analyses, brix, acidity, and diameter of fruits were traced every 10 or 15 days during the period from July to November before harvest in each year. These results revealed that, at three regions, the fruit brix increased with decrease in precipitation and increase in sunshine hours from late July to August in the enlarging period and the second half of October in the ripening period of fruits. The lower fruit acidity was observed with increasing precipitation in the first half of August. In addition, at three regions, the fruit diameter increased with increasing precipitation and decreasing sunshine hours from July to August in the enlarging period and with increasing exposure hours of temperature from 20 to 25 °C after late October of the ripening period. The results suggested that, for cultivation management, producers of Unshu mikan should pay attention to the climate indices correlated with fruit qualities.

I. はじめに

ウンシュウミカン(以降では、単にミカン)は、糖度などの品質が気象や気候の変化に大きく左右されることで知られる(農山漁村文化協会 2000)。関連する先行研究では、果実が大きく成長する7月中旬から9月までの「肥大期」、糖度や酸度が著しく変化する10月から11月までの「成熟期」のそれぞれ約2ヵ月間に対して、果実品質と月平均気温のような気候指標の関係を分析しているものが多く散見される(例えば、小林ら1968, 栗原1971, 1973, 川野ら1982, 田端1983)。ミカンの生産現場からすれば、数日間や週間単位の気象変化と果実成長の関係を把握できたほうが、水や温度環境を人工調整する際の有益な情報となり得る。しかし、ミカン果実の肥大から成熟までの期間を細かく追跡した結果はあまり整理されていない。

そこで本研究では、降水量・日照時間(日射量)・気温を気候指標として、10~15日間隔でミカンの品質との関係を追跡し、季節進行する気象変化の年次差がミカンの糖酸度などの品質へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。ミカンの一大産地である愛媛県宇和島

市と和歌山県有田郡、さらに独自に調査した岡山県瀬戸内市牛窓地域を解析対象とし、長年にわたり測定されたデータを解析し、3地域のそれぞれで得られた結果の共通性から、ミカンの生産現場において栽培時の気象環境に注意すべき期間を考察した。

II. 方法

1. 対象地域

本研究では図1に示す、愛媛県宇和島市(以降、宇和島)の愛媛県農林水産研究所果樹研究センターみかん研究所(圃場面積4.12ha)、和歌山県有田郡有田川町(以降、有田)の和歌山県果樹試験場(圃場面積5.52ha)、岡山県瀬戸内市牛窓地域(以降、牛窓)の一般農地(圃場面積0.0459ha)を対象とした。宇和島と有田は、各県が管理・運営するカンキツ類の試験場で、様々な品種の調査・研究が行われている。牛窓は、岡山理科大学生物地球学部・大橋研究室が6年間にわたって現地調査を実施してきた。

2. 解析データ

¹ 岡山理科大学大学院生物地球科学研究科生物地球科学専攻, 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1. Graduate School of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama, 700-0005, Japan.

² 岡山理科大学生物地球学部生物地球学科, 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1. Department of Biosphere-Geosphere Science, Faculty of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama, 700-0005, Japan.

*Correspondence: Yukitaka OHASHI, Email: ohashi@big.ous.ac.jp



図1. 本研究の対象地域. 地図は地理院地図より引用.



図2. 収穫した果実の (a) 糖度および酸度測定と (b) 横径測定の様子.

(1) 果実品質

ミカンの品種は、いずれの地域も「宮川早生」を対象にした。果実の品質指標としては、糖度(%)・酸度(%)・横径(mm)を利用した。宇和島は2001～2018年(2012年は除く)の17年間、有田は2007～2019年の13年間、牛窓は2015～2020年の6年間で得られた測定データを解析した。ただし、牛窓では、2015年は酸度測定を行っていない。宇和島は7月1日～11月21日の期間で10日間隔、有田は7月15日～12月15日の期間で15日間隔、牛窓は横径を7月1日～11月21日、糖度と酸度を9月21日～11月21日の期間に、それぞれ10日間隔に測定した。1回の測定について各地域で測定された果実の個数は、宇和島が5樹から15～20個、有田が2樹から6個、牛窓は5

樹から糖酸度測定に15個、横径測定に50個であった。

宇和島は、愛媛県農林水産研究所果樹研究センターみかん研究所ホームページ「成果情報」の「参観デー／公開セミナーの成果・情報パネル」(<https://www.pref.ehime.jp/h35120/kajyunanyo/report/report.html>;2021年9月2日閲覧可。ただし平成29年以前のデータは閲覧不可)、有田は和歌山県果樹試験場ホームページ「果実調査」(https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070100/070109/gaiyou/002/kajitu/kajitu_top.html;2021年9月2日閲覧可)で公開されている果実品質データを用いた。牛窓では、果汁の糖度と酸度をATAGO社製ポケット糖酸度計(柑橘)マスターキットPAL-BX|ACID1を用いて、果実横径を島津理化社製デ

表 1. 解析に用いた宇和島, 有田, 牛窓の気象データ(降水量・日照時間・気温・土壌水分量)の概要.

	宇和島		有田		牛窓	
	測定場所 測定年	データ精度	測定場所 測定年	データ精度	測定場所 測定年	データ精度
降水量 (mm)	宇和島 アメダス 2001~2018年 (2012年を除く)	分解能 0.5 mm	湯浅 アメダス 2007~2019 年	分解能 0.5 mm	圃場内 2015~2020 年	分解能 0.2 mm
日照時間 (hr) ※ 牛窓は日射量 (MJ/m ²)		測定間隔 2 min 分解能 0.1 hr	圃場内 2012~2019 年	分解能 0.1 hr		測定間隔 10 min 分解能 0.01 MJ/m ²
気温 (°C)		測定間隔 10 sec 分解能 0.1°C	解析なし			測定間隔 10 min 分解能 0.1°C
土壌水分量 (% : 体積含水率)	測定なし		測定なし		圃場内 2019~2020 年	測定間隔 1 min 分解能 0.0008 m ³ /m ³

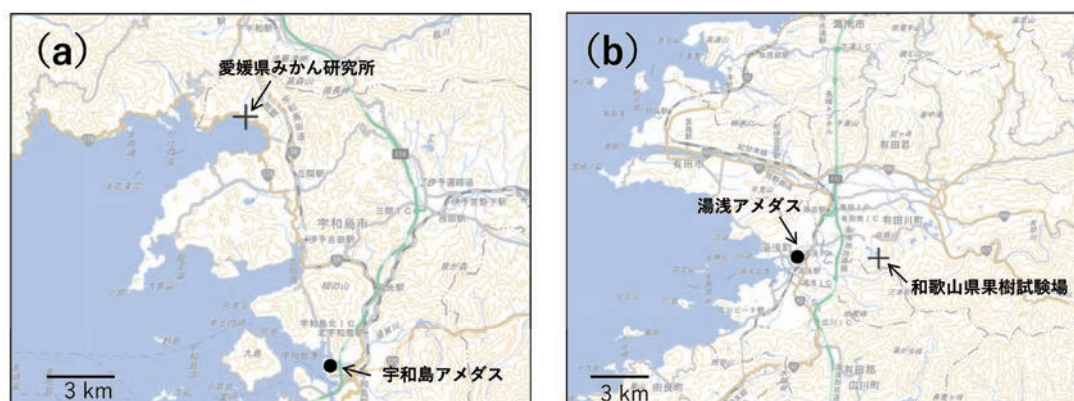


図 3. (a) 宇和島アメダスとみかん研究所の位置関係と, (b) 湯浅アメダスと和歌山県果樹試験場の位置関係. 画像は Google Mapより引用.

デジタルノギスSC-15SCを用いて, それぞれ独自に測定した(図 2). 糖度は果汁中に含まれるショ糖などの可溶性固形分のパーセント濃度を示し, 酸度は果汁中に含まれるクエン酸のパーセント濃度を示す. 横径は果実の赤道部直径(mm)とし, 各年, 毎回同じ果実の成長を追跡した.

(2) 気象データ

3 地域で解析に用いた気象データの概要を, 表 1 に示す. 本研究では, 圃場内に設置された気象測器または最寄りのアメダスで観測された気象データを解析に用いた. 宇和島は, みかん研究所から約10 km 南南東に位置する宇和島アメダスの気象データを用いた. 有田の果樹試験場内では, 降水量・気温・日照時間が2012年以降に観測されているが, 気温は旬ごとに平均された値しか一般公開されていないため, 本研究の解

析からは除外した. さらに有田の降水量は, 果樹試験場から約 4 km 西に離れた湯浅アメダス(降水量のみ測定)の2007~2019年(13年間)の観測データを用いた. それぞれのアメダスとみかん研究所または果樹試験場の位置関係を, 図 3 に示す.

アメダスの気象データは, 国土交通省気象庁ホームページの「過去の気象データ・ダウンロード」(<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>; 2021年9月2日閲覧)で一般公開されている. 有田の果樹試験場で観測された日照時間は, 果樹試験場ホームページの「気象データ」(<http://www.mikan.gr.jp/ftes/weather/weatherindex.htm>; 2021年9月2日閲覧)から引用した. 独自に観測を行った牛窓では, 圃場内に気象測器を設置して気象データを取得し, 土壌水分量については測定器の測定センサー部を地表面から深さ15~25 cm に埋めて測定した.

表 2. 本研究で行った解析の概要.

解析要素		宇和島		有田		牛窓	
		算出期間 区切り期間	測定個数	算出期間 区切り期間	測定個数	算出期間 区切り期間	測定個数
果実品質	増糖量 (%)	7/11 11/21	5 樹木 から 15~20個	7/15 11/15	2 樹木 から 6 個	9/21 11/21	5 樹木 から 15個
	減酸量 (%)					10日間隔	
	横径肥大幅 (mm) 横径が肥大した 大きさ					7/11 50個	
気候指標	積算降水量 (mm)	10日 間隔	/	15日 間隔	/	11/21	/
	積算日照時間 (hr) ※ 牛窓は積算日 射量 (MJ/m ²)			解析なし		10日 間隔	
	適温記録時間 (hr)						

3. 解析方法

表 2 に、本研究で行った果実品質と気候指標の解析概要を示す。前述の区切り期間ごとに積算降水量 (mm)、積算日照時間 (hr)、適温記録時間 (hr) をそれぞれ算出して、これらをミカン果実の成長に影響する気候指標とした。このうち適温記録時間は、小林ら (1968) や栗山・下大迫 (1969) による調査結果で示されるように、ミカン果実の成長と成熟が気温 20~25℃ で促進される事実を参考に、北本 (2016) が提案した気候指標である。

果実品質については、糖度の増加量を示す増糖量 (%), 酸度の減少量を示す減酸量 (%), 果実横径の肥大を示す横径肥大幅 (mm) をそれぞれ 10 日または 15 日間隔で算出し、先述の気候指標との単相関分析を行った。ただし、解析期間は 3 地域が重複する期間を選んで、宇和島は 7 月 11 日~11 月 21 日、有田は 7 月 15 日~11 月 15 日、牛窓は横径が 7 月 11 日~11 月 21 日、糖度と酸度が 9 月 21 日~11 月 21 日とした。図 4 に、宇和島についての分析例を示した。得られた相関係数に対しては無相関検定を行い、相関係数の統計的有意性も検討した。

ミカンの果実は、6~9 月にかけて細胞分裂期や細胞肥大期を経て、急激に肥大化していく。その後 10~11 月に成熟が進み、糖含量などの果実内成分が変化する (例えば、農山漁村文化協会 2000)。宇和島・有田・牛窓で測定された果実品質についても同様の推移が認められたため (図 5 を参照)、測定期の 7~9 月を「肥大期」、10~11 月を「成熟期」と本研究では定義した。果実の品質と気候指標の関係が、特に肥大期と成熟期でどのように変化しているのかについても、年ご

とに比較した。

III. 結果と考察

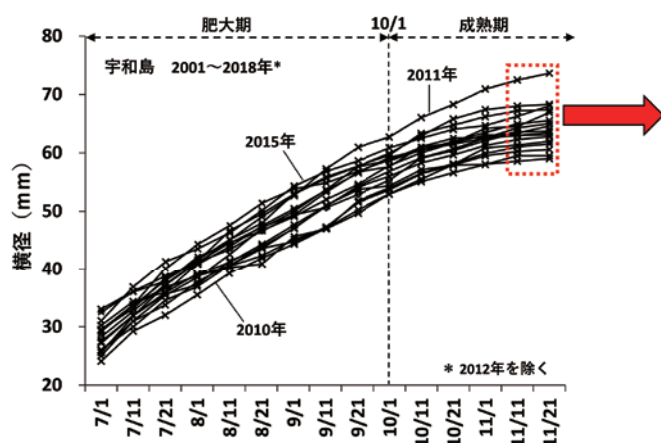
1. 果実品質の変化

3 地域で測定された糖度・酸度・横径の変化を図 5 に示す。これらの果実品質を表す項目の全てが、3 地域で類似した推移を示した。糖度 (図 5 a) は、肥大期中の 7 月と成熟期の 10~11 月に上昇する年が多かった一方、酸度 (図 5 b) は同期間に減少が緩やかとなっていた。横径は肥大期に一定の速度での成長がみられ、成熟期に入ると肥大化は緩やかになっていた (図 5 c)。図 5 a の 2020 年に牛窓で測定された糖度は、他の年に比べて 2~3% ほど高く推移していた (最も高く推移する黒い実線)。これは 2020 年の成熟期に降水量が少なかったことが影響していると考えられ、横径も他の年に比べて小さく推移している特徴からも (最も小さく推移する黒い実線)、そのことが類推できる。

3 地域の中では宇和島が最も糖度が高く、酸度が低く推移し、宇和島と牛窓を比較すると、糖度で 1.0~1.5%、酸度では 0.4~1.3% ほどの違いがみられた (図 5 a, b)。地域ごとに施肥や剪定、摘果など栽培管理状態の違いによって、地域による糖度や酸度の数値に一定のバイアスが生じていると予想される。一方で、区切り期間ごとの各数値の変化量に対しては、そのようなバイアスよりも気象条件の違いによる影響の方が大きいと考えられるため、以降の地域間の比較を議論する際には変化量を用いることとした。

ミカンは、隔年で果実を多く (少なく) つける生理現象

(a) 宇和島で測定された果実横径の変化



(b) 横径肥大幅と積算降水量の相関

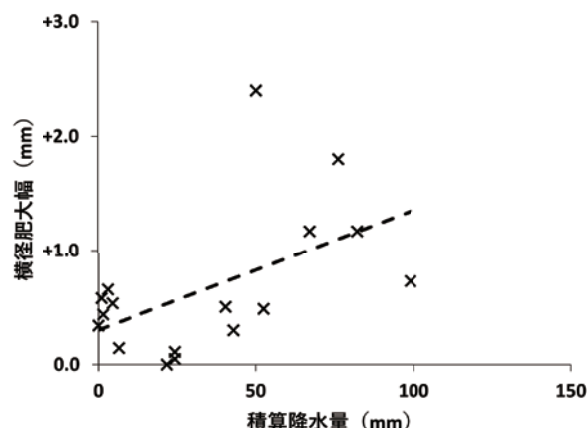


図4. 相関分析の方法. (a) 宇和島で測定された果実横径の10日間ごとの変化と、そのうち(b) 11月11日～11月21日の区切り期間に対して行った横径肥大幅と積算降水量の単相関分析.

をもつことで知られる(例えば, 大垣ら 1963). いずれの圃場でも, 複数の樹木を対象に測定データの平均を施す点や, 上述の期間ごとの変化量を扱う点によって, 隔年結果の影響は小さくなると考える.

2. 果実品質と気候指標の関係

(1) 糖度

糖度の測定結果(図5 a)をもとに算出した増糖量と気候指標の相関係数について, 10日または15日間隔の変化を図6 に示す. 3 地域とも肥大期から成熟期までを通して, 増糖量は降水量との間に負の相関をもつ期間が多くみられた(図6 a). 一方, 日照時間(または日射量)とは正の相関, つまり日照時間の多かった期間ほど糖度の上昇は大きくなっている(図6 b). これらは特に, 測定を開始した7月中旬から8月までと10月の後半付近で, 危険率5%で有意な相関が現れた(図7).

ミカン果実の糖度上昇は, 光合成で生産されたショ糖が果実内に蓄積することで生じる(伴野ら 2013). その際に, 土壌水分の低下に伴い果実内の水分量が減少し, 物理的な濃縮効果や光合成産物の代謝の変化が加わり, 糖度はより上昇しやすくなる(門屋 1973, 川野ら 1982). また, 岩崎(2015)は, 7月中旬から8月にかけて土壌の乾燥に起因する糖度上昇が顕著になることを指摘している. 本研究の解析においても, 降水量が少ない年ほど日照時間は多くなっており(図8 a), 無降水日が続くと土壌水分も減少していく様子が測定データからも確認された(図8 b). したがって, 降水量が少ない日照条件の良好な年は, 土壌水分量が減少して果実内に蓄積する水分も少なくなり, 糖度が上昇しやすくなったと考えられる.

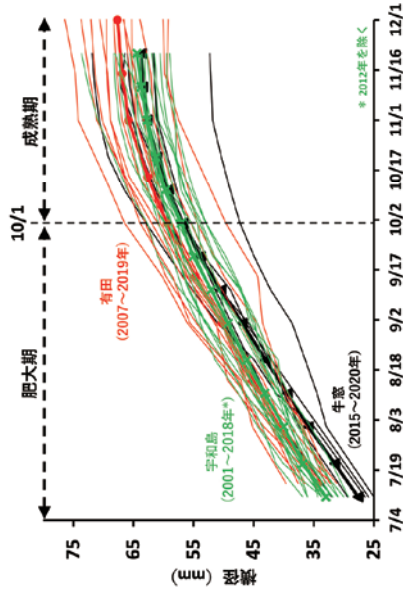
一方, 増糖量と適温記録時間(気温 20~25°C の積算時間)の間には, 宇和島で7月中旬~9月上旬の期間に負の相関がみられた(図6 c). 新居ら(1970)や小林ら(1968)は, 気温20~25°C 付近でミカン果実の糖度が上昇しやすいことを指摘しているが, 本研究からは適温記録時間が長いほど糖度が上昇しにくくなる傾向がみられた. さらに9月11日以降には, 相関係数の絶対値は0.2よりも小さくなり, 相関が弱まっていた(図6 c). したがって, 適温記録時間と糖度変化の因果関係は明らかとは言えない.

(2) 酸度

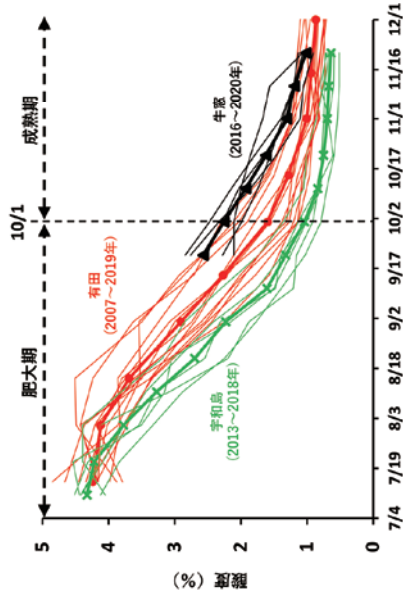
減酸量と気候指標の相関係数について, 10日または15日間隔の変化を図9 に示す. 宇和島と有田の両地域とも, 肥大期から成熟期までを通して, 減酸量は降水量と正の相関をもつ期間が多かった(図9 a). 一方, 日照時間(または日射量)とは負の相関がみられている(図9 b). 坂本・奥地(1968)でも, 降水量が多い年ほど果実の酸含量が低下することが確認されており, 降水量が多く, 日照条件が不良な年になるほど酸度は減少しやすいといえる. この関係性は, 特に8月前半に危険率5%で有意となっていた(図10a). しかし, 成熟期の10~11月になると, 減酸量と降水量または日照時間の間の相関は弱まるか, 不明瞭であった(図9 a, b). これは, 10~11月はもともと減酸の変化が停滞する時期にあたり(図5 b), 減酸量の年ごとの差異も小さくなるためだと考えられる.

一方, 減酸量と適温記録時間の関係は, 肥大期である7~9月に正の相関をもつ期間が宇和島で多くみられた(図9 c). 特に9月1~11日の期間と9月21日~10月1日の期間に危険率5%で有意な正の相関となって

(c) 横径の変化



(b) 酸度の変化



(a) 糖度の変化

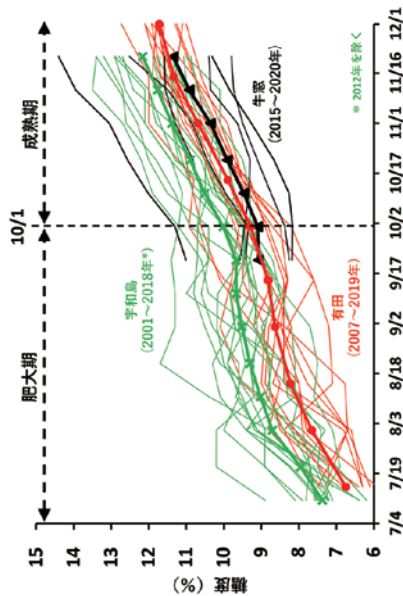
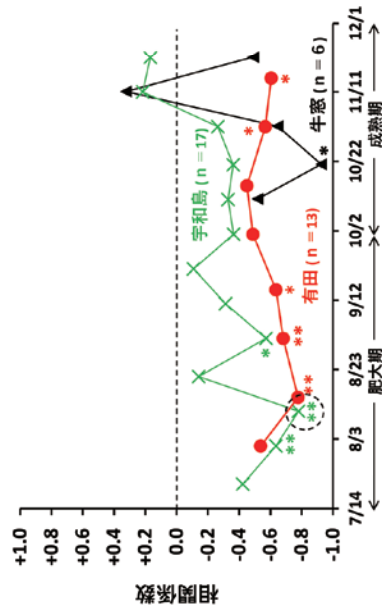
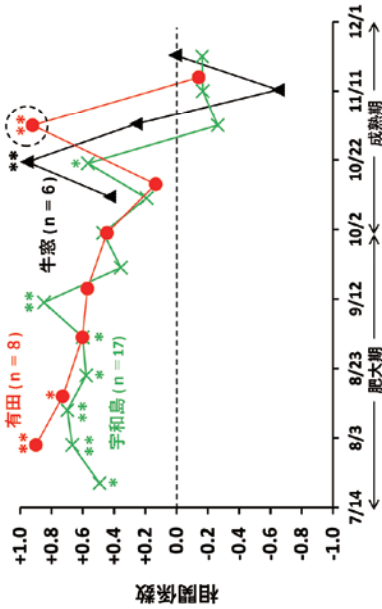


図5. 宇和島・有田・牛窓で栽培される「宮川早生」で測定された(a)糖度, (b)酸度, (c)横径の変化. 実線は一年ごとの変化, シンボルの太い実線は各地域の平均を示す.

(a) 増糖量と降水量の相関



(b) 増糖量と日照時間(日射量)の相関



(c) 増糖量と適温記録時間の相関

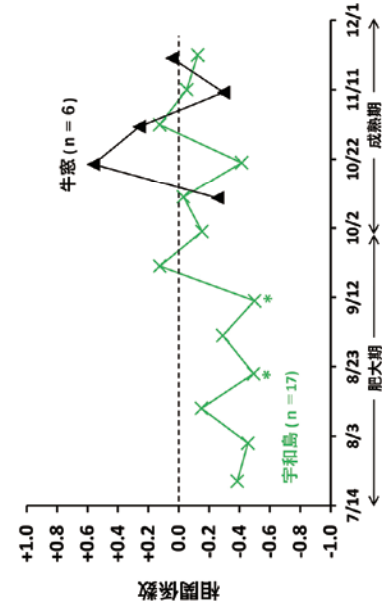


図6. 増糖量と気候指標の相関係数の変化. (a) 降水量, (b) 日照時間または日射量, (c) 適温記録時間. 括弧内のnはサンプル年数. 無相関係数において有意な相関係数を*(危険率5%), *(危険率1%)で表す. (a)と(b)にある破線の丸印は図7の相関図の時期を示す.

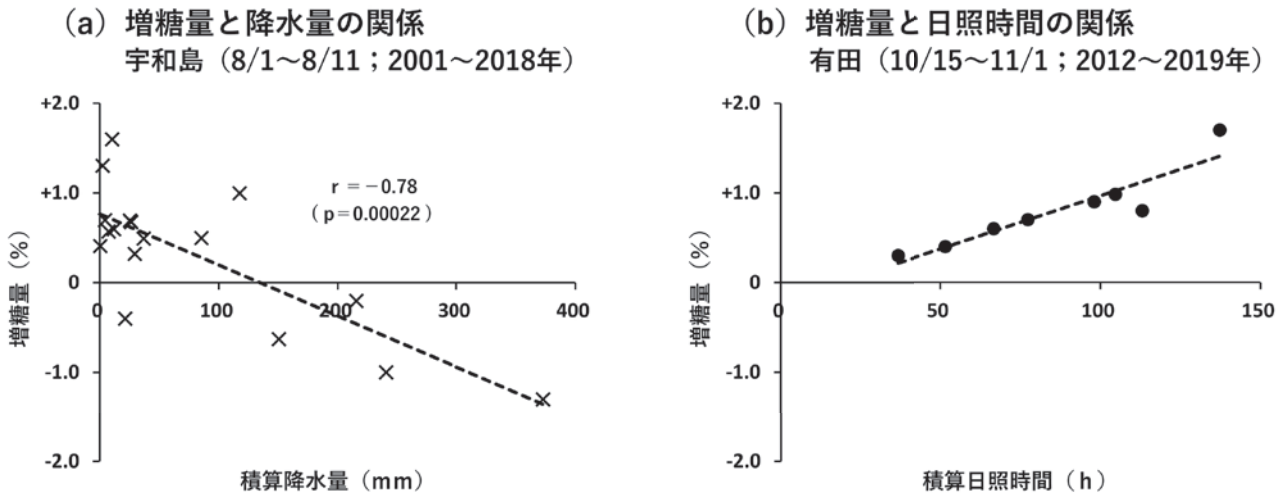


図7. 図6において危険率5%で有意な相関を示した期間でみられた増糖量と気候指標の各年の関係. 1つのプロットが1年を示す. (a)宇和島の肥大期中8/1～8/11における増糖量と降水量の関係, (b)有田の成熟期10/15～11/1における増糖量と日照時間の関係.

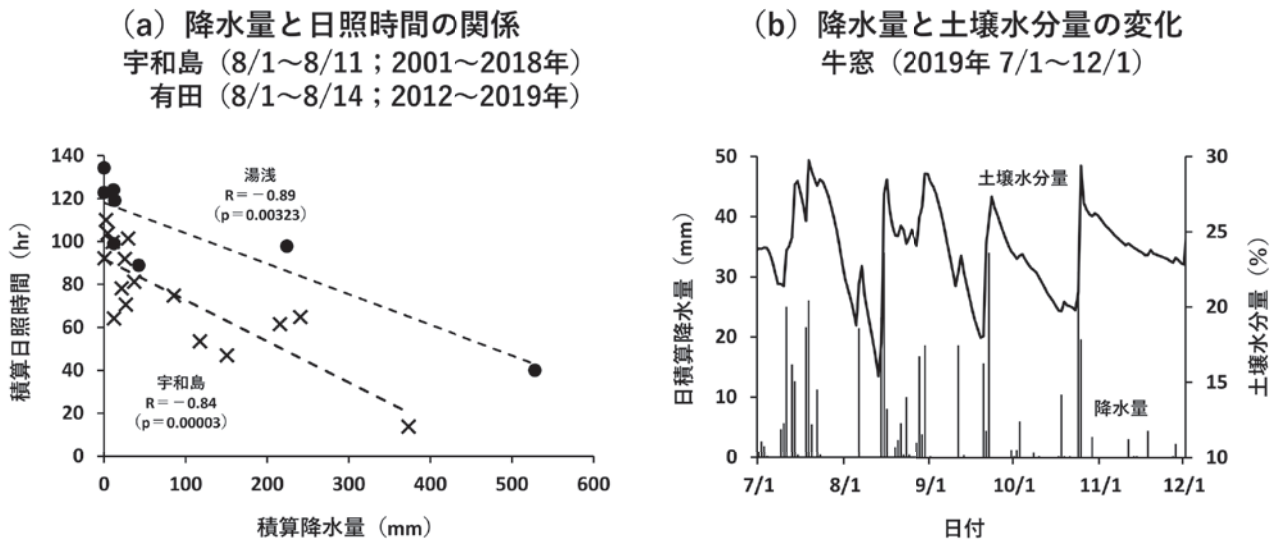


図8. (a)宇和島と有田で観測された降水量と日照時間の相関(肥大期8月前半)と, (b)牛窓で観測された降水量と土壌水分量の日変化(肥大期から収穫期まで). 土壌水分量は, 地表から15～25 cmの深さで測定した値.

いた. このうち9月1～11日の期間の相関事例を図10bに示す. 新居ら(1970)や小林ら(1968)は, 20～25℃付近でミカン果実の酸度が減少しやすい結果を示している. したがって, 9月の適温記録時間(気温20～25℃の積算時間)が多い年ほど減酸は進むことが考えられる.

(3) 横径

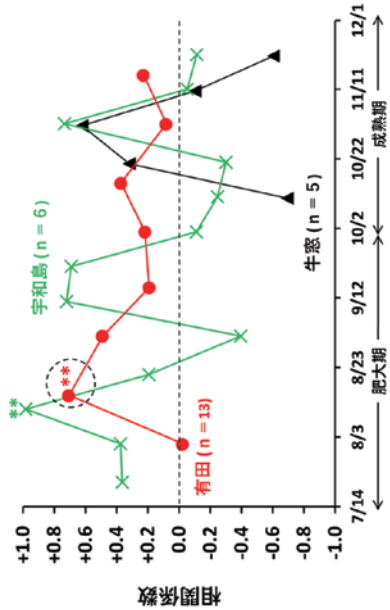
横径肥大幅と気候指標の相関係数について, 10日または15日間隔の変化を図11に示す. 3地域とも, 肥大期から成熟期までを通して, 横径肥大幅と降水量または日照時間間に正または負の相関をもつ期間が目立つ(図11a, b). つまり, 降水量が多く, 日照条件が不良になる年ほど果実は肥大しやすいことを示唆している. 特に肥大期の8～9月には, 有意な相関をもつ期間が多くみられた. その一例として, 肥大期8月上旬の日照時間と肥大幅の相関を図12aに示す. 果実内に水分や光合

成産物が蓄積すると肥大化は進むが, とりわけ水分蓄積が肥大を促進させやすいといわれる(農山漁村文化協会 2000). 上述の解析結果からも, 多照による光合成産物の蓄積効果よりも, むしろ多雨による水分蓄積の影響のほうが果実の肥大を顕著にしているといえる.

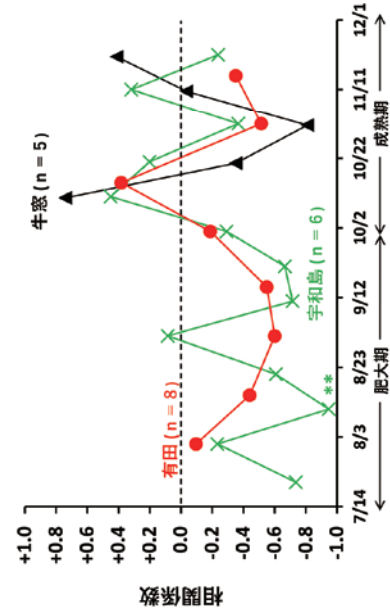
一方, 横径肥大幅と適温記録時間の間には, 特に宇和島で肥大期から成熟期までを通して正の相関をもつ期間が多く認められ, 適温記録時間が多かった年ほど果実の肥大が促進するとわかる(図11c). このうち成熟期の10月下旬以降には, 危険率5%で有意な正の相関がみられた. 例として, 相関の高かった11月中旬の結果を図12bに示す. 中川(1984)は, 晩秋で低温環境となりつつある成熟期11月頃に, 晴天で高い気温の続く条件がミカン果実の肥大に有効であることを述べている.

3. ミカン生産への活用

(a) 減酸量と降水量の相関



(b) 減酸量と日照時間(日射量)の相関



(c) 減酸量と適温記録時間の相関

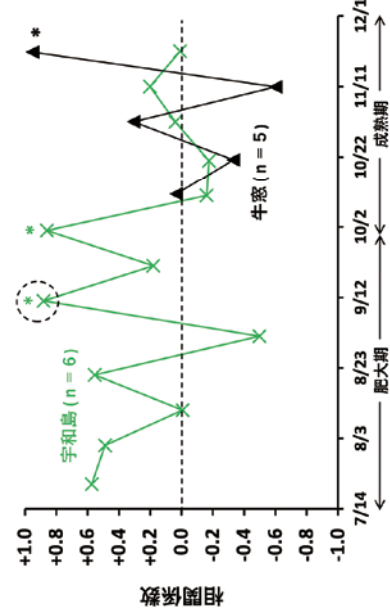
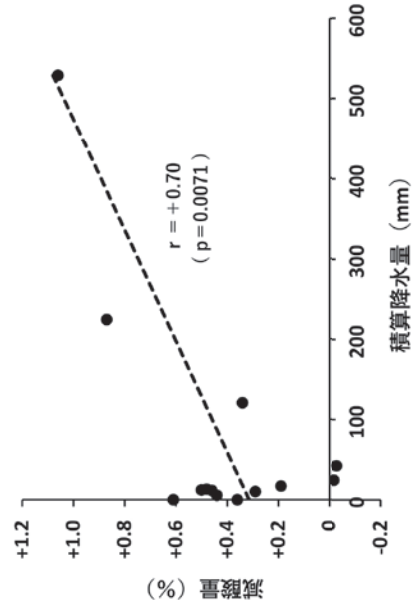


図9. 減酸量と気候指標の相関係数の変化。(a) 降水量, (b) 日照時間または日射量, (c) 適温記録時間. 括弧内のnはサンプル年数. 無相関係数において有意な相関係数を* (危険率5%), ** (危険率1%)で表す. (a)と(b)と(c)にある破線の丸印は図10の相関図の時期を示す.

(a) 降水量と減酸量の関係
有田 (8/1~8/15; 2001~2019年)



(b) 適温記録時間と減酸量の関係
宇和島 (9/1~9/11; 2013~2018年)

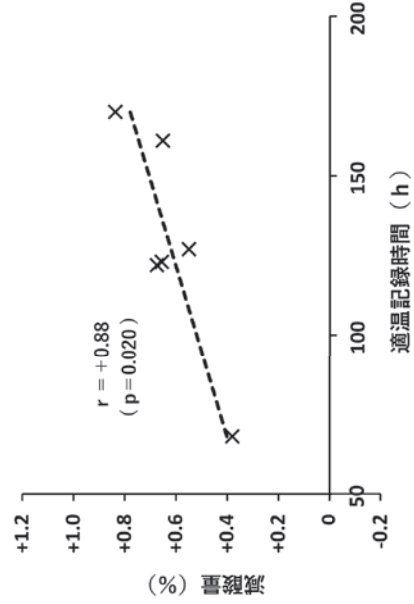
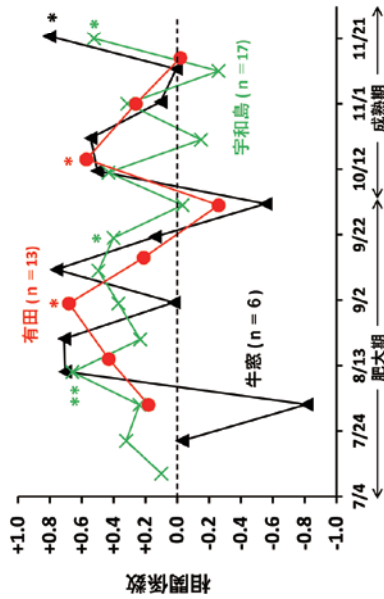
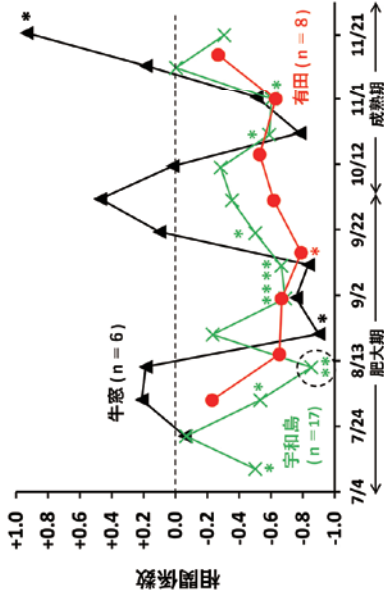


図10. 図9において危険率5%で有意な相関を示した期間でみられた減酸量と気候指標の各年の関係. 1つのプロットが一年を示す. (a) 有田の肥大型中 8/1 ~ 8/15における減酸量と降水量の関係, (b) 宇和島の肥大型 9/1 ~ 9/11における減酸量と適温記録時間の関係.

(a) 降水量と肥大幅の相関



(b) 日照時間(日射量)と肥大幅の相関



(c) 適温記録時間と肥大幅の相関

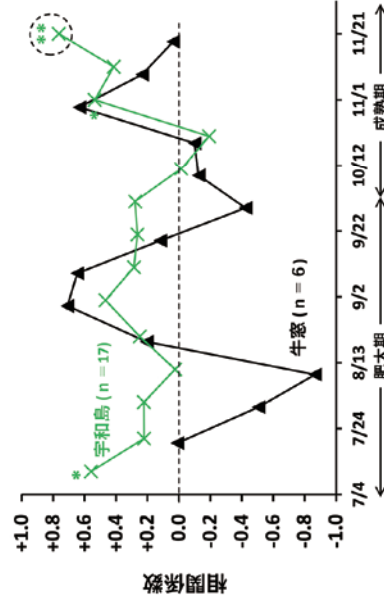
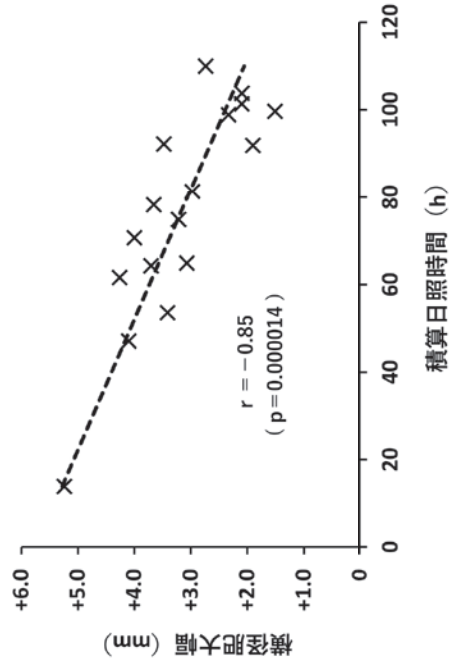


図11. 横径肥大幅と気候指標の相関係数の変化。(a)降水量, (b)日照時間または日射量, (c)適温記録時間. 括弧内のnはサンプル年数. 無相関係数において有意な相関係数を* (危険率5%), ** (危険率1%)で表す. (a)と(b)にある破線の丸印は図12の相関図の時期を示す.

(a) 日照時間と肥大幅の関係

宇和島 (8/1~8/11; 2001~2018年)



(b) 適温記録時間と肥大幅の関係

宇和島 (11/11~11/21; 2013~2018年)

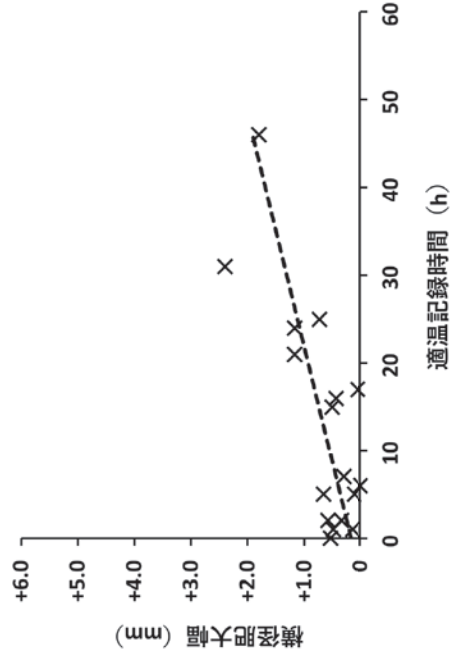


図12. 図11において危険率5%で有意な相関を示した期間でみられた横径肥大幅と気候指標の各年の関係. 1つのプロットが一年を示す. (a)宇和島の肥大中8/1~8/11における肥大幅と日照時間の関係, (b)宇和島の肥大期11/11~11/21における肥大幅と適温記録時間の関係.

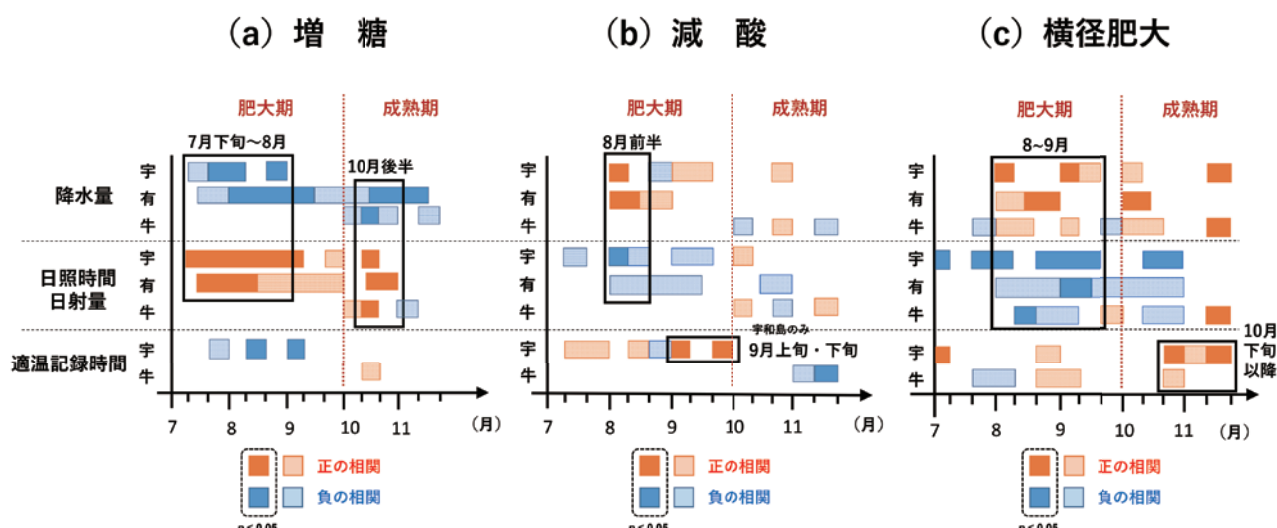


図13. 果実品質と気候指標の相関のまとめ. (a) 増糖, (b) 減酸, (c) 横径肥大. 「宇」は宇和島, 「有」は有田, 「牛」は牛窓を示す. 橙色は正の相関, 青色は負の相関を示し, 濃い色は無相関検定において危険率5%で有意性を示した期間を表す.

表 3. 宇和島・有田・牛窓で観測された気候指標の間の相関係数 (10日間隔または15日間隔の変化). 色塗り (赤色と水色) の値は, 危険率5%で統計的に有意な相関係数を表す.

	区切り期間		降水量と日照時間			降水量と適温記録時間		日照時間と適温記録時間	
	宇和島 牛窓	有田	宇和島 (17年間)	有田 (8年間)	牛窓 (5年間)	宇和島 (17年間)	牛窓 (5年間)	宇和島 (17年間)	牛窓 (5年間)
肥大期	7/11- 7/20	7/15- 7/31	-0.54		-0.94	+0.50	+0.40	-0.49	-0.97
	7/21- 7/31	7/31	-0.70	-0.55	+0.89	+0.36	-0.55	-0.54	-0.47
	8/1- 8/10	8/1	-0.84	-0.89	-0.97	+0.29	-0.17	-0.12	+0.68
	8/11- 8/20	8/15	-0.62		-0.88	+0.36	0.0	-0.65	+0.62
	8/21- 8/31	8/16- 8/31	-0.58	-0.69	-0.25	+0.29	+0.40	-0.53	-0.97
	9/1- 9/10	9/1	-0.50	-0.82	-0.86	+0.28	+0.60	-0.73	-0.92
	9/11- 9/20	9/15- 9/16	-0.63		-0.52	+0.26	+0.53	-0.59	-0.97
	9/21- 9/30	9/21- 9/30	-0.51	+0.21	-0.74	+0.44	+0.20	-0.52	-0.41
	成熟期	10/1- 10/10	10/1	-0.62	-0.80	-0.78	+0.29	-0.32	-0.62
10/11- 10/20		10/15- 10/16	-0.07		-0.93	+0.12	-0.73	-0.14	+0.60
10/21- 10/31		10/31	-0.23	-0.76	-0.72	+0.13	-0.60	-0.06	-0.02
11/1- 11/10		11/1	-0.62	-0.59	-0.98	+0.11	+0.39	-0.25	+0.78
11/11- 11/20		11/15	-0.45		-0.64	+0.71	+0.22	-0.35	+0.74

ここまでの単回帰分析によって明らかとなった, ミカン果実の品質と気候指標の相関を図13に示す. 一方で, 解析で用いた3つの気候指標(降水量・日照時間・適温記録時間)の間にみられる相関を, 表3にまとめた. 7~11月全ての解析期間を通して, 降水量と日照時間, 日照時間と適温記録時間の間でそれぞれ負の相関がみられ, 降水量と適温記録時間の間では正の相関がみられた. つまり, 降水量が多い年には日照時間が少なく, また適温記録時間は多くなる特徴がある. 適温記録時間は, 降雨の日には気温の日較差が小さくなる結

果, 20~25℃ の温度帯を記録する時間が増えるため, 降水量と正の相関が現れやすくなる.

したがって, 本解析で用いた3つの気候指標(降水量・日照時間・適温記録時間)には, 相互相関がみられたため, このうち一つを選択してミカンの品質を示す予測指標にできる可能性がある. 本研究の解析結果からは, 降水量と果実品質の間に有意な相関がある期間が多くみられた. III-2 (1)でも述べたように, 果実内の水分変化と品質の関係を調査した先行研究は多く存在し(例えば, 門屋 1973, 川野ら 1982), 水分不足によ

って果汁中の糖分比率が高くなる濃縮効果や代謝の変化が発生することで、糖度が上昇しやすくなる生理過程も明らかとなっている。実際にミカン栽培の現場でも、土壌に浸透する水分量を抑制する目的で透湿性マルチシートを敷設する方法や、任意の期間に灌水を行う点滴灌水法などの農法が確立されている(例えば、森永ら2004a, 2004b)。このように降水量は、ミカンの品質に及ぼす影響が大きい一方で、農法によって制御しやすい気候指標ともいえる。本研究で明らかとなった降水量とミカンの品質の関係からは、糖度が7月下旬～8月と10月後半、酸度が8月前半、横径は8～9月に複数の地域で相関が強まっていたため、特にこれらの期間中の降水量に対して土壌水分の管理を重要視することで、品質低下の予防が期待できる。

謝辞

本研究の実施にあたり、ウンシュウミカンの公開データを解析して結果を公表する許可と、測定方法の情報提供を頂きました。愛媛県農林水産研究所果樹研究センターみかん研究所、ならびに和歌山県果樹試験場の関係皆様、心より感謝申し上げます。また、牛窓地域にあるミカン栽培地で長年にわたる調査をさせて頂きました。高畑伸一様に心より感謝申し上げます。本論文の修正にあたっては、査読者の皆様からは、多くの貴重なコメントや助言を頂きました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 伴野潔・山田 寿・平智(2013)農学基礎シリーズ果樹園芸学の基礎。農山漁村文化協会, 東京。
- 岩崎光徳(2015)美味しい早生温州ミカン作りには果汁蓄積初期から約2か月間の乾燥ストレスが効果的。日本政策金融庫技術の窓 No.2043。 <https://www.jfc.go.jp/n/finance/keiei/pdf/2043.pdf>(2021年9月2日閲覧可)
- 門屋一臣(1973)温州ミカンの光合成産物の転流および分配に関する研究(第3報)水分供給の多少が果実内の糖の代謝におよぼす影響。園芸学会雑誌 42(3): 210-214。
- 川野信寿・柴茂・白石利雄(1982)早生温州の加温ハウス栽培における土壌水分管理に関する研究。九州農業研究 44: 252。
- 北本勇也(2016)岡山県牛窓地域におけるウンシュウミカンの成長条件と気象条件の関係について。平成7年度岡山理科大学卒業研究論文。
- 小林章・新居直祐・原田公平・門脇邦泰(1968)温度が温州ミカンの果実の肥大ならびに成熟、品質に及ぼす影響。農業および園芸 43(5): 103-104。
- 栗原昭夫(1971)制御環境下における温州ミカン果実の生長反応。Ⅱ。秋季における夜間温度が果実の発育ならびに着色・品質に及ぼす影響。園芸試験

場報告A 10: 29-37。

- 栗原昭夫(1973)制御環境下における温州ミカン果実の生長反応。Ⅲ。秋季における昼夜温度日較差が果実の発育ならびに着色・品質に及ぼす影響。園芸学会雑誌 42(1): 13-21。
- 栗山隆明・下大迫三徳(1969)温州ミカンの品質に関する研究(第2報)。局地気象(気温)と果実の品質について。福岡県立園芸試験場研究報告 8: 1-13。
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・村松昇・長谷川美典(2004a)露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の開発。園芸学研究 3(1): 45-49。
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・関野幸二・村松昇・長谷川美典(2004b)露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の効果。園芸学研究 3(1): 33-37。
- 中川行夫・真子正史・原節夫(1984)ウンシュウミカンの着花、生理落果、果実肥大に及ぼす気象の影響。農業気象 40(1): 59-62。
- 新居直祐・原田公平・門脇邦泰(1970)温度が温州ミカンの果実の肥大ならびに品質に及ぼす影響。園芸学会雑誌 39(4): 309-317。
- 農山漁村文化協会(2000)果樹園芸大百科, 1カンキツ。農山漁村文化協会, 東京。
- 大垣智昭・藤田克治・伊東秀夫(1963)温州ミカンの隔年結果に関する研究(第3報)温州ミカン園の隔年結果状態、その収量構成、ならびに結実と翌春の着花率、結果枝率について。園芸学会雑誌 32(1): 13-19。
- 坂本辰馬・奥地進(1968)温州ミカン果実の可溶性固形物、酸に及ぼす降水量の影響。園芸学会雑誌 37(3): 28-36。
- 田端市郎(1983)気象条件がカンキツの生育および果実に及ぼす影響。三重県農業技術センター研究報告 11: 23-31。

要約

本研究では、愛媛県宇和島市・和歌山県有田郡・岡山県瀬戸内市牛窓地区の3つの地域を対象に、長期間にわたるウンシュウミカンの品質状態と気候条件の関係を調べた。7月から11月の収穫までの期間を10～15日間隔で追跡し、その変化を時系列で分析した。肥大期の7月下旬～8月末と成熟期の10月後半に、少雨・多照の年となるほど果実の糖度が上昇している特徴が、複数の地域で確認された。一方の酸度は、肥大期の8月前半に多雨になった年ほど減酸が進む傾向が、複数地域で認められた。果実の横径成長は、肥大期の8～9月に多雨・寡照の年となるほど顕著になり、また成熟期の10月下旬以降に低温となり過ぎない20～25℃の適温記録時間数が多くなった年ほど顕著になる特徴が、複数の地域でみられた。これらの該当期間において、果実の品質状態と相関がみられた気候指標の変化に対してミカンの生産現場では注意しながら栽培管理を行う必要がある。

(2021年9月13日受理)