

気候変動に対応した晩生ウンシュウミカン‘春しずか’の 育成とその特性

中村茂和^{1)a}・中畠輝子²⁾・平井実季^{3)a}・小林康志^{4)a}・加々美 裕^{5)a}・

澤野郁夫^{6)a}・稲葉元良^{6)a}・神尾章子^{7)a}・寺岡 毅^{8)a}・馬場明子^{5)a}・

荒木勇二^{6)a}・青島加奈子²⁾・吉川公規^{9)a}・土田友香^{10)a}・

福西暢尚¹¹⁾・龍頭啓充¹¹⁾・阿部知子¹¹⁾

¹⁾賀茂農林事務所, ²⁾農林技術研究所果樹研究センター, ³⁾農業局農業ビジネス課,
⁴⁾公益社団法人静岡県農業振興公社, ⁵⁾志太榛原農林事務所, ⁶⁾静岡県静岡市,
⁷⁾富士農林事務所, ⁸⁾中遠農林事務所, ⁹⁾静岡県経済農業協同組合連合会, ¹⁰⁾中部農林事務所,
¹¹⁾理化学研究所仁科加速器科学研究センター

Breeding and Characteristics of Satsuma Mandarin

‘Harushizuka’ (*Citrus unshiu* Marcow.) Adapted to Climate Change.

Shigekazu Nakamura^{1)a}, Teruko Nakajima²⁾, Miki Hirai^{3)a}, Yasushi Kobayashi^{4)a},

Hiroshi Kagami^{5)a}, Ikuo Sawano^{6)a}, Motoyoshi Inaba^{6)a}, Akiko Kamio^{7)a},

Tsuyoshi Teraoka^{8)a}, Akiko Baba^{5)a}, Yuji Araki^{6)a}, Kanako Aoshima²⁾,

Kiminori Yoshikawa^{9)a}, Yuka Tsuchida^{10)a},

Nobuhisa Fukunishi¹¹⁾, Hiromichi Ryuto¹¹⁾ and Tomoko Abe¹¹⁾

¹⁾Kamo Agriculture and Forestry Office, ²⁾Fruit Tree Research Center, Shizuoka Res. Inst. of Agric. and Forest,
³⁾Agricultural Business Division, Agriculture Bureau, ⁴⁾Shizuoka Agricultural Promotion Corporation,
⁵⁾Shidahaibara Agriculture and Forestry Office, ⁶⁾Shizuoka City, Shizuoka Prefecture,
⁷⁾Fuji Agriculture and Forestry Office, ⁸⁾Chuen Agriculture and Forestry Office,
⁹⁾JA Shizuoka Keizairen Co., Ltd., ¹⁰⁾Chubu Agriculture and Forestry Office,
¹¹⁾RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science

Abstract

In recent years, the physiological disorder of frequent occurrences of peel puffing and sunburned fruit has become apparent in domestic satsuma mandarin-producing regions due to the effects of climate changes. In order to promote regional agricultural

development in Shizuoka Prefecture through the introduction of new satsuma mandarin (*Citrus unshiu Marrow*) varieties adapted to climate change, the Shizuoka Prefectural Government in collaboration with the RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science successfully developed and registered a new variety named ‘Harushizuka’ (Variety Registration No. 30107) in March 2024. ‘Harushizuka’ was selected from a population of individuals derived by irradiating the scion of prefecture-bred line S1152, a nucellar seedling of ‘Aoshima Unshu’, with a neon-ion beam at the RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science. The harvest season of ‘Harushizuka’ is approximately one month later than that of ‘Aoshima Unshu’ ensuring no overlap between the two varieties. This allows for the decentralization of labor in orchard management. In addition, ‘Harushizuka’ has good storage characteristics and is well-adapted to climate change. The fruit has a low incidence of peel puffing, a factor that contributes to reduced eating quality and increased spoilage, along with moderate tartness and a sugar content comparable to that of ‘Aoshima Unshu’. Using 40 years of future temperature data (2030–2069) based on the Agro-Meteorological Grid Square Data provided by NARO, the potential cultivation areas for ‘Harushizuka’ were predicted. The results showed that the area suitable for the cultivation of Unshu mandarins, including the ‘Harushizuka’ variety, is projected to increase by approximately 30% under the RCP2.6 warming scenario when compared to the baseline period. Under RCP8.5, the suitable area is projected to increase during the first 20 years after 2030 at a rate comparable to that under RCP2.6, but in the following 20 years, it is expected to decrease by approximately 75% compared to the baseline period. Moreover, under both scenarios, potential cultivation areas—that is, suitable and unsuitable areas, are projected to shift northward and inland. When cultivating Unshu mandarins, including the ‘Harushizuka’ variety, in production areas within Shizuoka Prefecture, it is essential to develop and implement production plans that consider account for climate change.

キーワード：ウンシュウミカン、気候変動、新品種、重イオンビーム

I 緒 言

消費者がカンキツ果実に求める特性は、美味しいことであり、カンキツでいう美味しさとは、高糖度および糖度と酸度とのバランス、風味の良さ等があげられる⁸⁾。国内のカンキツの中でも栽培面積の約 6 割を占めているウンシュウミカンは¹⁰⁾、果実の美味しさに加え、皮が剥きやすく、種子がほとんど入らないことから食べやすい果実特性を持っている。国内の主要カンキツ産地である静岡県でも栽培面積に対するウンシュウミカンの割合は高い。本県を代表する‘青島温州’や‘寿太郎温州’の令和 4 年産の栽培面積は 3145ha であり¹³⁾、県内のウンシュウミカンの約 6 割を占めている。本県の基幹作物であるウンシュウミカンについて、生産者や消費者のニーズに応え、新たな品種を育成していくことは産地を維持し、発展させていく上で重要である。また近年、国内のカンキツ産地では気候変動により大きな影響を受け、ウンシュウミカンでは浮皮や日焼け果が多発する等の問題が顕在化している²¹⁾。浮皮果は高温条件の地域ほど発生しやすく⁹⁾、この症状になると食味が悪くなり、腐敗しやすくなるため、現在のウンシュウミカンの栽培では、ジベレリンとプロヒドロジャスモンを混合し散布する浮皮軽減技術は、欠かせない管理作業となっている²⁷⁾。また、浮皮を軽減する技術には炭酸カルシウムの

散布⁷⁾やマルドリ(マルチ被覆+ドリップ灌水)方式の導入¹⁹⁾による方法があり、これまでに生産安定に向けた技術開発が進んでいる。一方、‘青島温州’の優れた特性を活かし、浮皮になりにくい新たな品種を導入することは、今後のカンキツ産地の振興や気候変動に対応する有効な手段となり得る。このようなことから静岡県農林技術研究所果樹研究センターでは、2000 年から理化学研究所仁科加速器科学研究センター(以下、理研とする)と共同研究を開始し、重イオンビームを利用したウンシュウミカンの効率的な育種法について検討してきた²⁵⁾。本県と理研は、‘青島温州’と同等の品質を持ち合わせながらも浮皮になりにくく、気候変動に対応した新たなウンシュウミカン‘春しずか’の作出に成功した。また、カンキツ品種の普及には数十年の長い年月を要する²⁸⁾ため、‘春しずか’の栽培に適した県内の農用地について、将来に渡った評価は品種を普及する観点から有用な情報となる。そこで、‘春しずか’の育成過程や品種特性について報告すると共に、2030 年から 40 年間にわたる県内の栽培適地を評価した。

II 材料及び方法

1 育成経過

‘春しずか’の育成地である現在の果樹研究センター(静岡市清水区茂畑)は、2015 年に同市清水区駒越西から

移転したが、重イオンビームの照射に供試した穂木は移転前の旧果樹研究センター内ほ場で栽培管理されていた‘青島温州’の珠心胚実生である本県育成系統 S1152 の春枝から照射直前に採取した。理研にて穂木へ照射するため、葉や葉柄を除去し長さを調整した後、芽を一行に揃えてガムテープで留め、それらを照射用サンプル板(アクリル製)に固定した。2001年3月から2002年3月の間にネオンイオンビーム(61keV/ μm , 10~50Gy)を照射し、照射後の穂木は旧果樹研究センターにて速やかにカラタチ台に接ぎ木した。発芽後は、枝梢の切り返しを3回以上行い、以降は慣行の管理により育成した。ネオンイオンビームを照射した120個体のうち、56個体が生存し、2004年3月に旧果樹研究センター内ほ場へ定植した。ネオンイオンビーム照射による変異は、果皮や果形にみられ、変異を誘発した S1152 の個体集団から6個体が2009年に一次選抜され、中でも20Gyの照射が形態変異を誘発しやすいことが報告されている²⁰⁾。更に2011年には、上記6個体のうち、20Gyを照射し、果実の浮皮度や着色歩合が低く、酸度が高い1個体を二次選抜し、育成系統名 S1200 とした。その後、果樹研究センターの移転に伴い、2015年に移転先ほ場へ二代目の2年生苗木を定植し、S1200 の生育や果実の特性について調査した。2019年に形質が安定していることを確認し育成を完了した。2021年6月、種苗法に基づき出願(出願番号 第35533号)、2024年3月6日に品種登録された(品種登録番号 第30107号)。なお、‘春しずか’の指定地域は静岡県内としている。

2 育成地における特性

‘春しずか’の特性評価について、果樹研究センターで栽培した5年生の‘春しずか’を供試し、同地点で栽培され、本県を代表する品種である5年生の‘青島温州’と‘寿太郎温州’を対照として農林水産植物種類別審査基準(温州ミカン審査基準)¹⁰⁾に基づき生育や果実特性を調査した。調査に供試した果実は、いずれの品種も2018年12月25日に収穫し、センター内に設置された常温貯蔵庫で2019年4月24日まで貯蔵した。果実品質調査のうち、糖度はデジタル糖度計(PAL-1, 株式会社アタゴ)で測定し、酸度は0.156 mol/L NaOH 中和滴定により算出した。浮皮度は果実を半切し、垂直断面での発生程度を4段階(なし0, 少1, 中2, 甚3)に分け達観で評価した。

3 果実の糖度と酸度、着色歩合の経時変化

旧果樹研究センターで栽培された15年生の‘春しずか’の原木と9年生の高接ぎ樹(中間台 S1152)1樹を用い、2016年9月26日から同年11月28日にかけて、約1カ月毎、

以後2017年1月15日までは半月毎に果実を採取した。果実の品質調査は2017年1月15日のみ10果、それ以外は5果採取し、糖度や酸度、着色歩合を調査した。また、比較対照として用いた‘青島温州’は旧果樹研究センターで栽培され、県内の生産関係者向けに果実品質の推移について公表するために調査された生態情報のデータを用いた。ここでは2006年から2015年までの10年間の平均値を用い、この時の‘青島温州’の樹齢は12年生から21年生であった。果実の品質調査は前述した方法に基づき測定し、着色歩合は、未着色を0、完全着色を10として果実の表面積に対する着色面積率により達観で11段階に評価した。

4 栽培適地の評価

県内の農用地を対象に約1km四方のメッシュ毎、20年間の気温を使用し、‘春しずか’および既存ウンシュウミカンの栽培適地について評価した。国内におけるウンシュウミカンの栽培適地について、これまで行われてきた研究によると、果樹農業の振興を図るための基本方針¹⁰⁾(以下、果樹農業振興基本方針とする)に基づき、農研機構メッシュ農業気象データ¹⁷⁾から提供されている日平均気温と日最低気温を用いて評価している。その評価方法は、以下の条件式に従い、 T_{mean} と T_{min} の両方が適合するメッシュを適地としている²³⁾。

$$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{mean}} \leq 18^{\circ}\text{C}$$

$$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}}$$

ここで T_{mean} および T_{min} は、各メッシュの年間平均気温と年間最低気温で、 T_{mean} は日平均気温の20年間の平均値とし、 T_{min} は20年間で5番目に低い値を使用している。これはウンシュウミカンの栽培に適する自然的条件に関する基準について示した果樹農業振興基本方針に1年を通して最も低い最低極温がマイナス5°Cを下回る日が10年に1回又は2回程度(20年に2回又は4回程度)発生しても差し支えないとしているためである。一方、冬季における果実の耐凍性は葉や枝よりも弱いために樹上で結実中の果実が低温にさらされ、凍結した場合、果実品質や商品性が低下することが知られている¹⁰⁾。そこで本研究では、 T_{mean} および T_{min} の条件のうち、 T_{min} は20年間で最も低い値とし、マイナス5°Cを1度も下回らないメッシュを栽培適地Ⅰ、マイナス5°Cを下回る頻度が1~4回までのメッシュを栽培適地Ⅱとし、頻度が5回を超えるメッシュは栽培不適地とした。これまでの研究でウンシュウミカンの栽培適地として評価した区分を今回、細分化した栽培適地Ⅰは既存ウンシュウミカンの栽培適地であることに加え、低温にさらされるリスクが低いため、‘春しずか’の栽培適地とした。また、栽培適地Ⅱは既存ウンシュウミカンの栽培適地であ

る。‘春しずか’の栽培適地等の推定手順は図1に示したとおりであるが、ここでは T_{mean} の範囲から外れた農用地でウンシュウミカンの栽培は困難とし、評価対象メッシュから除外した。

T_{mean} の条件に適合するメッシュについて T_{min} の適合性を評価し、栽培適地ⅠやⅡ、栽培不適地とした。評価対象とした農用地は国土交通省の国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(平成21年度版)を用い、果樹等を含むその他

の農用地に加え、産地によっては新たに田への定植も想定されることから対象農用地に田も含めた。評価対象期間は2005年から2024年までの20年間を基準期間とし、将来の評価期間は2030年から2049年までの20年間および2050年から2069年までの20年間の2期間とした。将来の評価のため、農研機構メッシュ農業気象データの温暖化予測データ(気候モデル:Miroc5)を用いた。また、本研究では厳しい温暖化対策を実行した場合を想定し、今世紀末の気温上昇を 2°C 以内に収めるために可能な限りの対策を施すシナリオ(RCP2.6)と温暖化の影響が最も強く表れた場合を想定し、現状のままの温室効果ガスの排出水準が続いて今世紀末の気温上昇が 4°C 程度と予測されるシナリオ(RCP8.5)に基づいて計算されたデータを用いた。

Ⅲ 結 果

1 育成地における特性

育成地である果樹研究センターにおける‘春しずか’の樹体および花器の特性の概要を表1および図2に示した。樹勢は強く、樹姿は直立性と開張性の中間である。枝梢の太さは‘青島温州’と同程度であり、とげの多少は‘青島温州’や‘寿太郎温州’と同様、発生はない。葉身の形は紡錘形で、葉身の大きさは‘寿太郎温州’より大きく、長さは‘青島温州’と同じく長い。花は単生花を形成し、花の重さは約 0.5g であり、花弁は白色5枚である。花糸の数は平均22本程度で一部合一しており、花粉の量は少ない。開花時における子房の形は扁球である。隔年結果性は‘青島温州’や‘寿太郎温州’と同程度である。

2018年12月25日に収穫し、12月26日に果実を調査した結果を表2に、果実の外観および断面を図3に示した。

‘春しずか’の果実は 120g 程度で‘青島温州’とほぼ同程

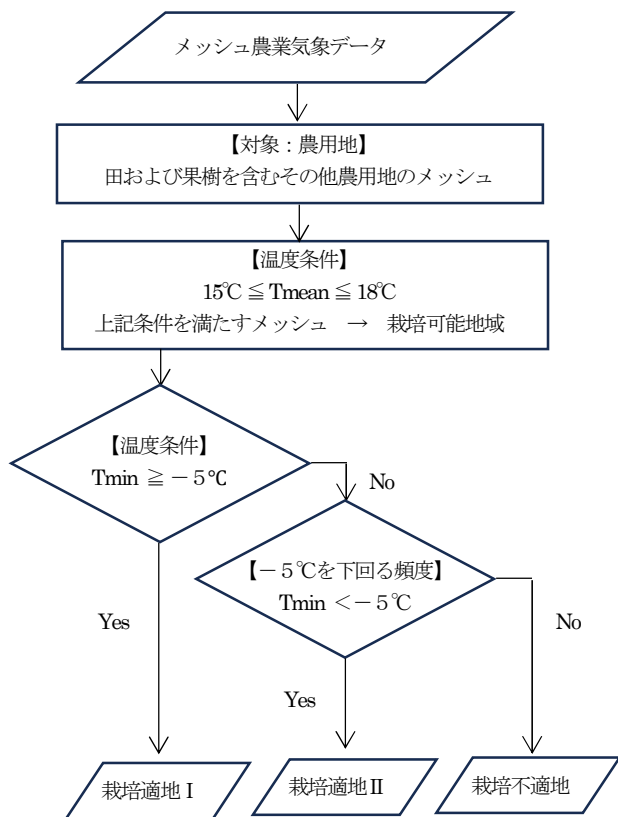


図1 ウンシュウミカンの栽培適地、不適地の評価フローチャート

図中の T_{mean} は各メッシュにおける日平均気温の20年間の平均とし、基準期間の評価では平年値を用い、図中の T_{min} は各メッシュにおける20年間の最低気温とし、栽培適地Ⅰは20年間の最低気温がマイナス 5°C を下回らないメッシュで、既存品種に加え‘春しずか’の栽培適地。栽培適地Ⅱは20年間にマイナス 5°C を下回る年間最低気温の頻度が1から4回までのメッシュで、既存品種の栽培適地。栽培不適地は前述した頻度が5回以上のメッシュで、既存品種の栽培に適さないことを示す

表1 ‘春しずか’の樹体および花器の特性

品種	樹姿 ^z	樹勢 ^y	枝梢の太さ (cm)	葉身		
				形	大きさ (cm ²)	長さ (cm)
春しずか	中間	強	太 (0.42)	紡錘形	やや大 (38.2)	かなり長 (11.0)
青島温州	中間	強	太 (0.44)	紡錘形	やや大 (38.4)	かなり長 (11.0)
寿太郎温州	中間	強	太 (0.34)	紡錘形	小 (20.1)	小 (8.2)

z: 枝条の水平に対する角度を観察による調査。中間は直立と開張の間、直立は枝と枝の分岐角度が狭く上向き枝が多く、開張は分岐角度が広く樹冠が横に広がりやすい

y: 枝梢の伸長程度等を対象品種との比較。観察による調査

表1 続き

品種	花序の形成	花の重さ (g)	花弁		花糸		花粉の多少	子房の形	隔年結果性
			色	数	数	分離の程度			
春しずか	単生	重 (0.52)	白	4.8	中 (21.8)	一部合一	少	扁球	高
青島温州	単生	中 (0.49)	白	4.9	中 (21.2)	一部合一	少	扁球	高
寿太郎温州	単生	中 (0.46)	白	4.8	中 (21.0)	一部合一	少	扁球	高



図2 ‘春しずか’の樹姿

度である。果形指数[(横径/縦径)×100]は140程度で果形は扁平である。果皮は濃橙色、果面の粗滑は中程度で‘青島温州’や‘寿太郎温州’と同程度であり、剥皮性は易である。果皮厚は‘青島温州’や‘寿太郎温州’と同程度であるが、果皮歩合[(果皮重/果実重)×100]は‘寿太郎温州’よりも高く、‘青島温州’と同程度であった。果実品質について、果汁の糖度(Brix)は2018年12月26日の調査時で11.3°，酸度は1.16g/100mLであり、糖度は‘寿太郎温州’より低かったものの、‘青島温州’と同程度であった。一方、酸度は‘青島温州’や‘寿太郎温州’より高かった。

前述した果実について、果樹研究センター内に設置された常温貯蔵庫で2019年4月24日まで貯蔵し、果実品質について調査した結果を表3に示した。‘春しずか’の果実重や果形指数、果皮歩合は‘青島温州’や‘寿太郎温州’と明らかな違いはみられなかったが、浮皮度は‘青島温州’や‘寿太郎温州’に比べて低かった。果汁の糖度は‘寿太郎温州’に比べて低かったが、‘青島温州’と同程度であ

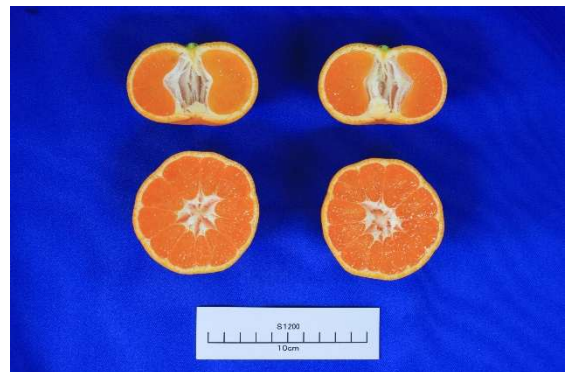


図3 ‘春しずか’の果実

り、酸度は‘青島温州’や‘寿太郎温州’に比べて高かった。

2 果実の糖度と酸度、着色歩合の経時変化

‘春しずか’の原木および高接ぎ樹における果実品質の経時変化を図4に示した。‘春しずか’の糖度は、2016年9月26日から10月25日にかけて8.4~8.6°で推移していたが、11月28日には9.6~10.0°に達し、それ以降も上昇

表2 ‘春しずか’の収穫直後の果実特性^z

品種	果実重 ^y (g)	果形 指数 ^x	果皮 の色	果面の 粗滑	剥皮性	果皮厚 ^y (mm)	果皮 歩合 ^x	糖度 ^y (° Brix)	酸含量 ^y (g/100ml)
春しずか	121a	やや大 (144a)	濃橙色	中	易	やや厚 (3.2ab)	26.5a	11.3b	1.16a
青島温州	114a	やや大 (147a)	濃橙色	中	易	やや厚 (3.4a)	26.2a	11.2b	0.86b
寿太郎温州	97a	やや大 (144a)	濃橙色	中	易	中 (3.0b)	21.7b	12.4a	0.75b

^z: 収穫日は2018年12月25日、調査年月日は2018年12月26日であり、表中の数値は平均値を表す(n=10)

^y: 異なる英文字間にTukey's HSD 多重比較による1%水準の有意差あり

^x: 異なる英文字間にSteel-Dwass 多重比較による1%水準の有意差あり

表3 ‘春しずか’の常温貯蔵後の果実特性^z

品種	果実重 ^y (g)	果形指数 ^x	果皮歩合 ^x	浮皮度 ^x	糖度 ^y (° Brix)	酸含量 ^y (g/100ml)
春しずか	105a	151a	27.7a	1.5a	11.2b	0.64a
青島温州	106a	157a	29.9a	2.8b	11.7ab	0.49b
寿太郎温州	98a	151a	26.8a	2.0b	12.4a	0.43b

z: 調査年月日: 2019年4月24日であり、表中の数値は平均値を表す(n=10)

y: 異なる英文字間にTukey's HSD 多重比較による1%水準の有意差あり

x: 異なる英文字間にSteel-Dwass 多重比較による1%水準の有意差あり

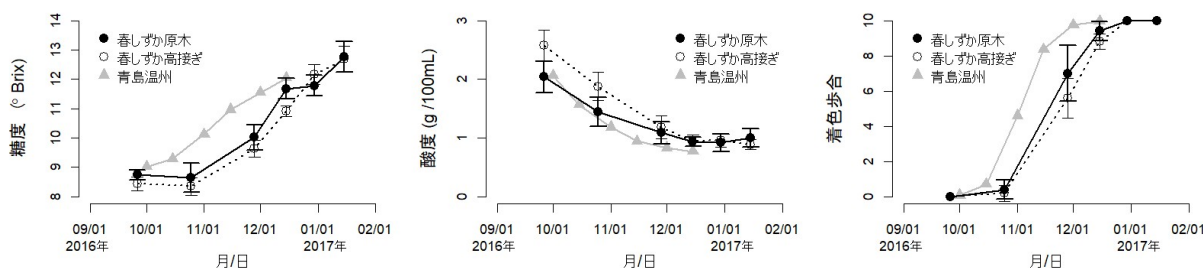


図4 ‘春しずか’の果実品質の経時変化

図中のバーは標準偏差を表す(n=5~10)

‘春しずか’ 原木および高接ぎ樹のサンプリングは2016年9月26日から2017年1月15日にかけて行った

‘青島温州’のサンプリングは10月1日から12月15日にかけて行った生態情報によるもので、2006年から2015年までの10年間の平均値を表す

する傾向がみられ、12月15日には10.9~11.7°で、2017年1月15日には12.7~12.8°となった。‘青島温州’の糖度は10月1日から10月15日にかけて9.0~9.3°で推移していたが、11月1日には10.1°に達し、それ以降も上昇し、12月15日には12.0°となった。‘春しずか’の糖度は‘青島温州’の場合に比べ、その値が上昇する時期は遅いが、年末から年明けにかけて‘青島温州’と同等の値まで上昇する傾向がみられた。‘春しずか’の酸度は9月26日には2.04~2.58g/100mLであったが、その後減少し、11月28日から翌年の1月15日にかけて0.89~1.09g/100mLで推移した。‘青島温州’の酸度は10月1日には2.06g/100mLであったが、その後減少し、11月15日から12月15日にかけて0.77~0.95g/100mLで推移した。‘春しずか’の酸度は‘青島温州’と同様、年末にかけて減少するが、年末から年明けにおける酸度は‘青島温州’より高い値で推移する傾向がみられた。‘春しずか’の着色歩合は、9月26日から10月25日にかけて0~0.4で推移していたが、その後着色が進み、12月15日には8.8~9.4に達した。‘青島温州’の着色歩合は10月1日から15日にかけて0.1~0.7で推移していたが、その後着色が進み、11月1日には4.6、11月15日には8.4に達した。‘春しずか’の着色歩合が進行し始める時期は‘青島温州’の場合より遅く、着色歩合が8割以上に達した時期は‘青島温州’より約1ヶ月遅かった。

3 栽培適地の評価

メッシュ農業気象データを利用し、県内農用地を対象にウンシュウミカンの栽培適地を評価した結果を図5に示した。基準期間である2005年から2024年までの栽培適地Ⅰは太平洋沿岸地域を主体に分布した(図5a)。2030年から2069年までの40年間で20年毎に評価した結果、用いた温暖化シナリオによって予測された地域の範囲は異なったが、栽培適地等を含む栽培可能地域は、いずれのシナリオとも北上する可能性が示された(図5b~e)。ウンシュウミカンの栽培適地について、温暖化シナリオごとのメッシュ数の経時変化を図6に示した。基準期間における栽培適地ⅠおよびⅡのメッシュ数は708, 509メッシュで、栽培不適地は1メッシュであった。RCP2.6に基づいた評価の場合、2030年から2049年までの期間で、栽培適地ⅠおよびⅡのメッシュ数は778, 839メッシュ、栽培不適地は71メッシュであり、基準期間に比べ、いずれの評価区分で増加した。また、その20年後には栽培適地Ⅰは更に161メッシュが増加し、939メッシュであったのに対し、栽培適地Ⅱは137メッシュが減少し、702メッシュとなったが、栽培適地Ⅰおよび栽培適地Ⅱを合計したメッシュ数は1641メッシュで、20年前に比べ24メッシュ増加した。栽培不適地は67メッシュが減少し、4メッシュとなることが予測された。RCP8.5に基づいた評価の場合、2030年から2049年までの期間で、栽培適地ⅠおよびⅡのメッシュ数は763, 850メッシュで、裁

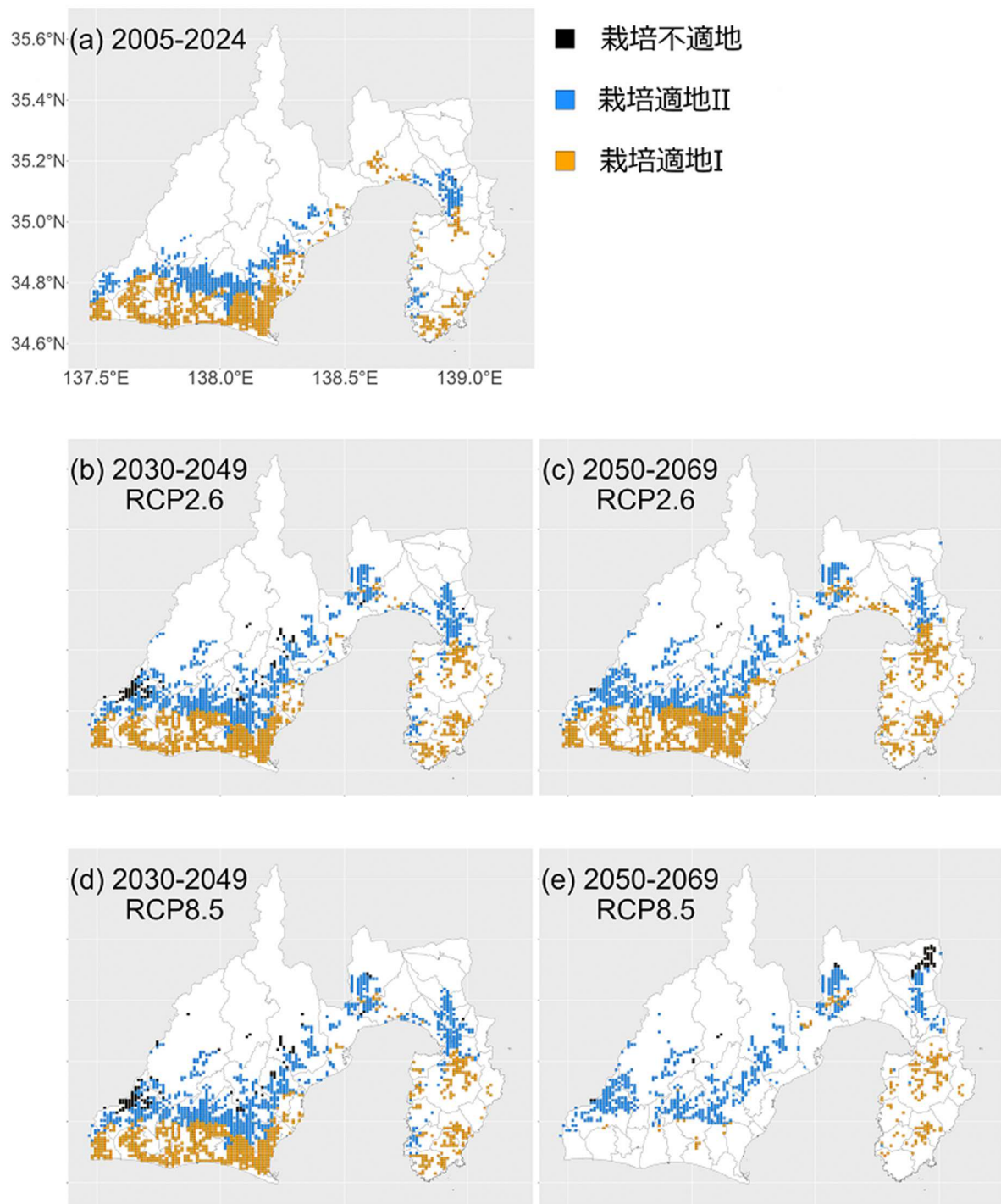


図5 ウンシュウミカンの栽培適地の評価

図中の2005-2024は基準期間(年), 2030-2049, 2050-2069は将来の評価期間(年)を示し, RCP2.6は厳しい温暖化対策を採った場合を想定する温暖化シナリオ(b, c), RCP8.5は温暖化の影響が最も強く表れた場合を想定する温暖化シナリオ(d, e)を示し, いずれのシナリオも気候モデルMiroc5を用いて予測した

橙色のメッシュ(栽培適地I)は低温にさらされるリスクは低く, 既存品種に加え‘春しずか’の栽培適地, 青色のメッシュ(栽培適地II)は既存品種の栽培適地, 黒色のメッシュ(栽培不適地)は低温にさらされるリスクが高く, 既存品種の栽培には適さず, 白色の背景はウンシュウミカン栽培に適する自然的条件である T_{mean} の範囲($15^{\circ}\text{C} \leq T_{mean} \leq 18^{\circ}\text{C}$)から外れ, 栽培が困難であることを示す

培不適地は89メッシュであった。また、この時の栽培適地IおよびIIを合計したメッシュ数はRCP2.6の場合とほとんど同じであった。しかし、その20年後には栽培適地IおよびIIはそれぞれ588メッシュ、230メッシュが減少し、裁

培適地Iは175メッシュ、栽培適地IIは620メッシュとなり、栽培不適地も47メッシュが減少し、42メッシュとなることが予測された。

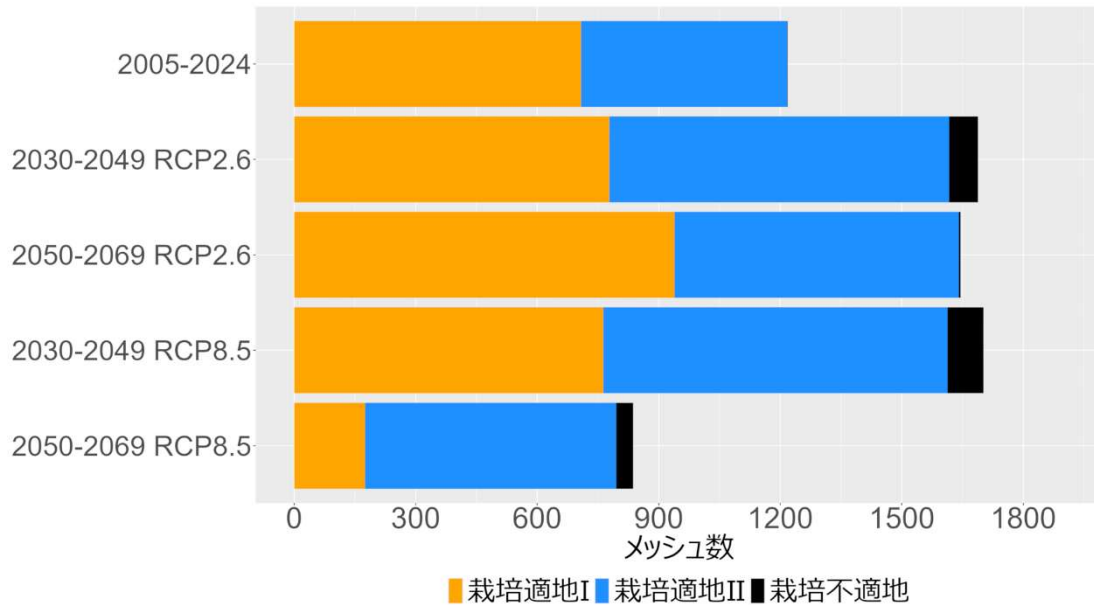


図6 ウンシュウミカンにおける評価区分のメッシュ数の経時変化

図中の評価期間および気候シナリオ、評価区分は図5と同じ

IV 考 察

1 重イオンビームによる‘春しずか’の育成

新たなウンシュウミカンを育成するためには多くの時間と労力を要するだけでなく、困難な要因が多く存在する²⁾。ウンシュウミカンには雄性不稔性を有し、単為結果性が強い³⁾ため、通常は無核となる。希に他種のカンキツとの交配により有核となったウンシュウミカンの種子は多胚性である。多胚性種子には数個から40個程度の胚があるが、そのうち1つだけが有性胚で、残りは無性胚である。有性胚と無性胚は外観上区別がつかず、無性胚は有性胚よりも生育が早いことから得られた種子を普通に蒔くと母親と同じ形質の個体(均一なクローン)が得られ、交雑による育種を困難なものにしている。一方、栽培されているウンシュウミカン等の樹の中から元の品種と異なった性質を持った「枝変わり」を見つける突然変異育種があり、本県東部地域を主体に栽培されている‘寿太郎温州’は‘青島温州’の枝変わりとして品種登録された。植栽数が多い品種ほど枝変わりを見つけ易いが、優良な形質を持った果実を発見、品種として育成する労力を考慮した場合、必ずしも効率的な手法であるとは考えにくい。ウンシュウミカンを含めたカンキツの育種を進めていく上で、育種法の選択や育種年限の短縮化は重要な課題になっている。重イオンビームによる育種は、照射個体の生存率に影響を与えない低線量で変異選抜が可能であり、元品種が持っていた農業上有用な形質はそのまま保つことが可能なため、変異個体その

ものが新品種となることが期待できる¹⁾。そこで、本県と理研は重イオンビームを利用したウンシュウミカンの育種法について検討した。重イオンビームによる育種の実用化は当初、花きの新品種作出に始まり、近年では、ヒエや食用ギク、タマネギ等の食用作物に展開しており²⁾、ウンシュウミカンの‘春しずか’もその一つである。また、理研は2004年から2005年に生物自動照射装置を整備し、現在、ウンシュウミカンの穂木への照射は改良され、穂木を調整した後の乾燥を防ぐためにパラフィルムで覆ったものを透明のスチロール角型ケース(75mm、横50mm、高さ18mm、アズワン株式会社)へ入れ、照射されている^{11,18)}。カンキツ類の突然変異率は十分な研究がなされていないものの、これまでの観察結果から40000本に1本の割合であることが報告されている²⁰⁾。‘春しずか’の場合、重イオンの一つであるネオンイオンビームを照射した120個体の中から選抜されており、今後の更なる検証は必要であるが、重イオンビームを用いたウンシュウミカンの変異率は高いことが推察された。

2 気候変動に対応した‘春しずか’の特性

ウンシュウミカンの収穫期を判定するにあたり、果実の生理的な成熟程度のみでなく、果実の外観や労働配分を考慮した経済性が重要視され²⁴⁾、果実の外観では着色歩合によって判断される³⁾。今回調査した‘春しずか’の糖度や果皮の着色歩合の経時変化は単年のみであり、今後、複数年に渡った年次変動による影響についても検証する必要があるが、今回の調査結果から‘春しずか’の収穫期は‘青

島温州’よりも約1カ月遅いことが示唆され(図4)、12月下旬から翌年の1月中旬までであると推察される。本県における‘青島温州’の収穫は、11月下旬から12月上旬に集中することに加え、近年、県内のカンキツ産地では収穫労力の確保が困難になっており、県外の産地でも同様であることから²³⁾、‘青島温州’に偏重した品種構成は生産者の経営規模の拡大を阻害する要因となっている。このため、‘青島温州’の収穫作業が終了した後に収穫期となる‘春しずか’は収穫作業に係る労力を分散でき、労力不足の解消や経営規模の拡大に寄与することが期待される。

県内の産地では収穫された‘青島温州’や‘寿太郎温州’等のウンシュウミカンは一般的に冷蔵装置がない常温貯蔵庫で貯蔵され、主に年明けから3月にかけて市場へ出荷される。このようなウンシュウミカンにおいて、温暖化の影響により貯蔵性の低下が指摘されており²⁴⁾、冬季の高温により貯蔵条件が悪化し、長期間の貯蔵が難しくなっている。そして貯蔵期間中の果実は呼吸作用により酸度が減少する⁶⁾ため、貯蔵庫内の温度管理や長期の貯蔵によっては著しい減酸によって味ボケとされる品質の劣化が起きる^{4,24)}。しかし、収穫直後の‘春しずか’の酸度は‘青島温州’や‘寿太郎温州’よりも高く(表2)、その果実を常温で4月まで貯蔵した時の酸度は‘青島温州’や‘寿太郎温州’に比べて高く維持され、糖度は‘青島温州’と同等であった(表3)。このことから‘春しずか’は味ボケしにくく、長期貯蔵に向けた品種であると推察される。また、‘春しずか’は‘青島温州’による市場出荷が終了した後の3月中下旬から4月にかけて出荷することができるため、出荷期間の延長による産地ブランドの向上に繋がることも期待される。更に、‘春しずか’は浮皮になりにくいことも明らかにした(表3)。そのため‘春しずか’は食味の低下や果実腐敗の原因にもなる浮皮になりにくく、気候変動によって高温、多湿になりやすい現在の栽培や貯蔵環境に対応した品種であると考えられた。

3 ‘春しずか’の栽培適地

露地作物である‘春しずか’の収穫期は‘青島温州’よりも約1ヶ月遅く、1月中旬まで行われる可能性があるため、収穫前の‘春しずか’は冬季の寒害に遭遇する危険性があり、その経済的被害は軽微であるとは考えにくい。また、永年性作物であるカンキツは、苗木を一度植栽すると容易に植え替えができず、同じ樹で数十年栽培し続けることが一般的であるため、これまでに計測した気温の平年値によって栽培適地を評価することだけでは不十分であり、将来の気候変動も考慮した検討が必要である。そこで、県内の農用地を対象に2030年から20年毎、2069年までの40

年間における‘春しずか’の寒害に対するリスクを考慮した栽培適地について評価した。今回、栽培適地Ⅰとして評価した農用地はマイナス5℃を下回らないことが予測されるため、‘青島温州’や‘寿太郎温州’等の既存ウンシュウミカンに加え、‘春しずか’は寒害に遭遇するリスクが低く、栽培に適していると推測された。一方、栽培適地Ⅱとして評価した農用地では、果樹農業振興基本方針によれば、既存ウンシュウミカンの栽培適地であると考えられるが、当該地では20年間で数回、マイナス5℃を下回ることが予測され、これまでのウンシュウミカンに比べ収穫期が遅い‘春しずか’の場合、果実が寒害に遭遇しやすいことが容易に想定されるため、栽培には適さないと推測された。そして栽培不適地として評価した農用地では、既存のウンシュウミカンにとって寒害に遭遇するリスクが高く、栽培に適さない。また、基準期間において太平洋沿岸地域を主体に分布していた‘春しずか’を含むウンシュウミカンの栽培適地や栽培不適地を含めた栽培可能地域は2030年以降、内陸側へ北上する可能性が示唆され、その範囲は予測に用いた温暖化シナリオによって異なった(図5)。Sugiura et al.²⁵⁾は今世紀半ば(2040年から2059年)および今世紀末(2080年から2099年)のミカンの栽培適地に関する移動を予測し、予測された適地は、現在のミカンの適地より内陸側に北上する可能性を認めており、今回の報告と一致する。温暖化シナリオRCP2.6に基づき評価した時のウンシュウミカンの栽培適地の面積は2030年から2049年までの評価期間において、基準期間に比べ約33%増加した。この時の面積は約162000haとなり、その約48%に相当する78000haにおいて‘春しずか’を含むウンシュウミカンの栽培が可能で、基準期間に比べ約10%増加することが予測された(図5b, 図6)。また、2050年から2069年におけるウンシュウミカンの栽培適地の面積は20年前とほとんど同じ約164000haであるが、その約57%に相当する約94000haにおいて、‘春しずか’を含むウンシュウミカンの栽培が可能となり、基準期間に比べ約33%増加することが予測された(図5c, 図6)。一方、温暖化シナリオRCP8.5に基づき評価した時のウンシュウミカンの栽培適地の面積は2030年から2049年までの評価期間において、基準期間に比べ約33%増加した。この時の面積は約161000haとなり、‘春しずか’を含むウンシュウミカンはこのうちの約47%に相当する76000haにおいて栽培が可能で、同時期のRCP2.6の場合とほとんど同じであった(図5d, 図6)。しかし、2050年から2069年ではウンシュウミカンの栽培適地はこれまでの面積に対して約50%減少し、その約22%に相当する17500haで‘春しずか’を含むウンシュウミカンの栽培は可能となるが、基準期間に比べ約75%減少することが予測された(図5e, 図

6)．‘春しずか’を含むウンシュウミカンの栽培適地が減少した主な要因は、これまで県内の西部地域から中部地域にかけて分布していた栽培適地のほとんどがTmeanの範囲から外れたためであり、温暖化による影響が強く表れたためであると推察された。このような気候変動への対応策として農林水産省¹⁰⁾は生産安定技術、品種の開発、普及等を推進し、農業生産へのリスク軽減に取り組むとしている。県内の産地では既に西部地域を中心に‘春しずか’の植栽が進んでおり、気候変動に対応する品種の一つとして期待される一方で、今回予測された栽培適地は温暖化シナリオによってその範囲や面積が大きく異なることが予測された。そのため、‘春しずか’の導入に加え、これまで開発されてきた生産安定技術との組み合わせについても検証する等、今後の気候変動対応策について産地毎で検討していく必要があると考えられた。以上のことから県内の産地で‘春しずか’を含めたウンシュウミカン进行植栽する際、将来の気候変動に対応した生産計画を策定し、実施していくことが求められる。

V 摘 要

近年、国内のウンシュウミカン産地では気候変動の影響により、浮皮や日焼け果が多発する問題等が顕在化している。静岡県内の果樹農業を振興するため、静岡県と理化学研究所仁科加速器科学研究センター(理研)は、新たなウンシュウミカンの作出に成功し、2024年3月、‘春しずか’として品種登録された(品種登録番号 第30107号)．‘春しずか’は理研において‘青島温州’の珠心胚実生である本県育成系統S1152の穂木にネオンイオンビームを照射し(61keV/ μm , 10~50Gy), 20Gyを照射して変異を誘発した個体の集団から選抜された。‘春しずか’の収穫期は、‘青島温州’より約1カ月遅いため、‘青島温州’との収穫期が重ならず、労力分散が可能である。‘春しずか’の果実は食味の低下や腐敗の原因となる浮皮の発生が少ない上に、適度な酸味と‘青島温州’並みの糖度を有していることから長期貯蔵向きで気候変動に対応した品種である。将来の‘春しずか’の栽培適地について、農研機構メッシュ農業気象データを用い、2030年から2069年までの40年間を評価した。その結果、温暖化シナリオRCP2.6に基づき評価した‘春しずか’を含むウンシュウミカンの栽培適地の面積は、基準期間の場合に比べ約30%増加する一方、RCP8.5のシナリオで評価した場合、2030年以降の20年間ではRCP2.6の場合と同等の面積が増加するものの、その20年後には基準期間の場合に比べ約75%の

面積が減少することが予測された。また、栽培適地や不適地等を含む栽培可能地域は、いずれのシナリオとも北上する可能性が示された。静岡県内の産地で‘春しずか’を含むウンシュウミカン进行栽培する際、将来の気候変動に対応した生産計画を策定し、実施していくことが求められる。

引 用 文 献

- 1) Abe, T., Bae, C.H., Ozaki, T., Wang, K. and Yoshida, S. (2000): Stress-tolerant mutants induced by heavy-ion beams. *Gamma Field Symp.* 39, 45~54.
- 2) 阿部知子・風間裕介・平野智也(2023): 重イオンビームによる育種技術の開発. *育種学研究* 25, 170~176.
- 3) 大東宏・佐藤義彦(1985): ウンシュウミカン果実の成熟に伴う呼吸及びエチレン発生量の変化. *園学雑* 53, 405~411.
- 4) 藤澤 弘幸・東中 真一・高原 利雄・緒方 達志(2004): 中晩生カンキツ‘清見’, ‘不知火’, ‘はるみ’, ‘はれやか’, ‘せとか’の内部品質と外観に及ぼす貯蔵の影響. *園学研* 3, 215~219.
- 5) 長谷川美典(2013): 我が国におけるカンキツの品種育成. *日食科工会誌* 60, 609~613.
- 6) 伊庭慶昭(1977): ウンシュウミカンの低温貯蔵. *ワールドチェーン研究* 3, 26~32.
- 7) 石井孝昭・水谷房雄・岩崎一男(1981): カルシウム化合物が温州ミカンの浮皮防止に及ぼす影響. *農及園* 56, 809~810.
- 8) 垣内典夫(1986): 美味しい果実. *農林水産技術研究ジャーナル* 9, 15~19.
- 9) 河瀬憲次(1984): ウンシュウミカン果実における浮皮発現の要因と防止法に関する研究. *果樹試験場研究報告* D. 6, 27~39.
- 10) 小中原 実(1984): カンキツ類の寒害とその対策. *農業気象* 39, 315~322.
- 11) 中村茂和・阿部知子(2022): 長期貯蔵に適した温州みかん新品種‘春しずか’の育成. *アグリバイオ* 6, 1106~1110.
- 12) 農林水産省(2025a): 面積調査(長期累年・耕地及び作付面積統計)-6. 果樹栽培面積累年統計-全国 <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/mens eki/index.html>, (参照 2025年6月28日)
- 13) 農林水産省(2025b): 特産果樹生産動態等調査(令和4年産特産果樹生産動態等調査)-果樹品種別生産動向調

- 査-1. うんしゅうみかん
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/, (参照 2025 年 10 月 10 日)
- 14) 農林水産省(2025c) : 審査基準・特性表 (区分順) - 農林水産植物種類別審査基準-ウンシュウミカン-温州ミカン審査基準
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/hinshu/info/sinsa_kijun_jp.html, (参照 2025 年 10 月 10 日)
- 15) 農林水産省(2025d) : 果樹農業の振興を図るための基本方針(果樹農業振興基本方針)
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/fruits/attach/pdf/index-198.pdf>, (参照 2025 年 10 月 10 日)
- 16) 農林水産省(2023) : 農林水産省気候変動適応計画
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/adapt/top.html>, (参照 2025 年 10 月 10 日)
- 17) 大野宏之(2016) : 実況値と数値予測, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象 16, 71~79.
- 18) Ryuto, H., N. Fukunishi, Y. Hayashi, H. Ichida, T. Abe, M. Kase, and Y. Yano (2008): Heavy-ion beam irradiation facility for biological samples in RIKEN. Plant Biotechnol. 25, 119-122.
- 19) 島崎昌彦・草場新之助・根角博久・森永邦久(2013) : 気象の極端化のウンシュウミカンへの影響を軽減する「マルドリ方式」. 水土の知 81, 285~288.
- 20) Shimizu, T. (2012) : Genomics Approaches for the Molecular Analysis of Citrus Mutants. Gamma Field Symp. 49, 57~68.
- 21) 杉浦俊彦(2007) : 地球温暖化が日本各地の果樹生育に及ぼしている影響. 農及園 82, 845~851.
- 22) 杉浦俊彦(2018) : 作物における気候変動の影響の顕在化と適応技術. 土肥誌 89, 461~467.
- 23) Sugiura, T., H. Sugiura, S. Konno, T. Date, T. Yoshimatsu, and K. Kisaki(2024) : Assessing the expansion of suitable locations for avocado cultivation due to climate change in Japan and its suitability as a substitute for satsuma mandarins. J. Agric. Meteorol. 80, 111~117.
- 24) 竹林晃男・片岡丈彦・行永寿二郎(1992) : ウンシュウミカンの樹上完熟栽培と普通栽培ならびに銘柄産地の果実品質の比較. 園学雑 61, 39~47.
- 25) 寺岡毅・澤野郁夫・中嶋輝子・加々美裕・神尾章子・林依子・龍頭啓充・福西暢尚・阿部知子(2009) : 仁科加速器研究センター応用研究開発室品種改良ユーザー会報告書, 73.
- 26) 椿真一(2018) : 柑橘産地における担い手経営の労働力確保の実態と今後の展開方向. 愛媛大学農学部紀要 63, 8~15.
- 27) 山家一哲・牧田好高(2023) : ジベレリンとプロヒドロジャスモンとの混合散布によるウンシュウミカンの浮皮軽減技術の開発と普及. 園学研 22, 115~123.
- 28) 吉田俊雄 (2003) : 高品質・単胚性カンキツ品種「清見」の育成. 育種学研究 5, 103~107.