

ジベレリンとプロヒドロジャスモンによるカンキツ果実の果皮障害軽減

静岡県立農林環境専門職大学
短期大学部

山家 一哲

はじめに

近年、地球温暖化が農産物生産に大きな影響を及ぼしていることは広く知られている。我が国の果樹生産にもすでに様々な影響が出始めている。ブドウやリンゴの着色遅延、ニホンナシの蜜症や眠り症、生育障害や病害虫の多発などがそれに当たると考えられる。温暖化は果樹生産に多くの影響を及ぼしており、杉浦ら（2007）は、温暖化により全国の都道府県で果樹類の開花期や成熟期が前進し、着色不良、大玉化、低酸化、果肉軟化、貯蔵性低下などの品質変化が顕著になると報告している。

ウンシュウミカンを始めとするカンキツ栽培においても秋冬の気温上昇や降雨量の増加によって果実の浮皮が多発するようになった。ウンシュウミカンの果皮組織は2つに分かれており、熟すと橙色を呈する外側の組織をフラベド、果皮を剥いたときに現れる内側の部分をアルベドと呼ぶが、この浮皮は、果実の成熟過程でアルベドと果肉が分離する生理障害である。高糖度生

産が本格化する30年程前までは、糖度の低い果実が多かったため、浮皮の果実は剥きやすく酸味もあまりないのて、浮皮果を好んで食べていた人もいと聞く。しかし、浮皮が発生した果実は、選果、貯蔵、輸送中に外傷を受けやすくなり、その結果、腐敗の原因となる（図-1）。また、‘青島温州’や‘寿太郎温州’などの晩生ウンシュウミカンは、収穫後に出荷時期を調整するため、2～3か月間貯蔵されることが多い。しかし、浮皮が発生すると果肉周囲が嫌気状態になり、貯蔵中に異味や異臭が発生しやすく、食味が低下することが問題となる。

秋冬期の気温上昇や降雨量の増加は、ウンシュウミカンだけでなく、他の中晩生カンキツ類に対しても深刻な影響を及ぼし始めている。そのひとつが収穫前後の水腐れである（近泉2007）。特に2023年産の‘はるみ’や‘不知火’果実では、収穫前に降雨や温かい日が続いたため、収穫後の腐敗果が顕著に多くなったと聞いている。

それらの問題を軽減するためには、着果管理（摘果）や肥培管理、収穫前選果など総合的な栽培管理が重要なのは言うまでもないが、ここでは、我が国の研究機関とメーカーが共同で研究開発を進め、実用化に至ったジベレリンとプロヒドロジャスモンを用いた浮皮軽減技術と著者らが現在行っている研究事例、そして今後の展開について述べることにする。

1. ウンシュウミカン果実における浮皮発生のメカニズム

これまで気温の高い西日本（九州）の産地では、相対的に気温の低い東海地域と比べて浮皮の発生が多いことが指摘されていた。西日本の産地では、成熟期間中の果実周辺が高湿で結露しやすく、果皮からの水分吸収が多いため浮皮が多くなるとされている（河瀬ら1984）。しかし、近年全国的に浮皮の発生が増加傾向にあり、収穫時の‘青島温州’の果実比重が低下傾向にあると報告されている（牧田2008）。ウンシュウミカンのフラベドは果実横径30mm前後となる7月上旬まで細胞分裂を続ける一方で、内側のアルベドは6月中旬で細胞分裂を停止する。その後、各々の細胞が肥大していくがアルベドの細胞数はフラベドと比較して少ない。そのためフラベドの成長に伴って、アルベド組織は引っ張られる形となり多数の空隙を作ること組織を維持している。アルベド細胞壁の成長や変形には、ペクチン質や細胞壁内カルシウムの分布が関与していることが分かっている（倉岡ら1975）。ペクチン質は植物細胞壁の中層の主要成分であり、また細胞壁中の多糖類の一成分として、細胞壁の構成に重要な役割を果たしている。これは、植物の発育に伴う細胞の形態変化と密接に関係していることがよく知られている。植物の組織や器官に含まれるペクチン質の量は果実中に最も多く、果実の発育



図-1 浮皮の発生した‘青島温州’果実

に伴い、大きく変化する。特にカンキツ類では、アルベド組織中に多く含まれている。ウンシュウミカンでは、果皮の発育初期にアルベド組織の細胞間隙に多量のペクチン質が集積しているが、発育が進むにつれてペクチンの量に変化する。これがアルベド細胞の変形・発育の起点となり、その過程が進行することで浮皮が発現する。

2. 浮皮軽減へのアプローチ

浮皮軽減に対しては、これまで大きく分けて2つのアプローチが取られてきた。1つは炭酸カルシウムや塩化カルシウムを始めとするカルシウム剤である。ウンシュウミカン果実に対して栽培期間中に炭酸カルシウムを散布すると浮皮軽減効果が認められることが明らかとなり（石井ら 1981；真子・大垣 1975）、現地でも利用されるようになった。これは炭酸カルシウム粒子による細胞間膜の強化（広瀬・大東 1974）、粒子の気孔閉鎖阻害による果皮水分の減少（広瀬・鈴木 1976）、蒸散の促進（井上ら 1996）が要因であると考えられている。近年では、より展着性を改善した新たな商品も普及し始めている（神戸 2016）。そしてもう1つが、ジベレリンなどの植物成長調整剤により果皮の老化を抑制する試みである（Kuraoka *et al.* 1977）。ジベレリンによる果皮の老化抑制はこれまでに検証されてきたが、高濃度での処理が必要であり、その際に着色遅延が生じるなどの問題があった。この

ため、生産現場で実用化できる新たな技術の開発が求められていた。

3. ジベレリンとプロヒドロジャスモンを用いた浮皮軽減技術の開発

そこで著者らは、ジベレリン（以下、GA）に他の果樹類で着色効果が認められているジャスモン酸の一種であるプロヒドロジャスモン（以下、PDJ）を加えることで、着色遅延を軽減できる散布時期と濃度を検討した。PDJは処理濃度によって植物への影響が異なることが示唆されており、初期段階ではGAと同じ濃度（GA：3.3～10 ppm、PDJ：3.3～10 ppm）、処理時期を8月～11月まで変化させて、静岡県内の圃場にて検証を行った（以下、GAとPDJの混用散布をGPと表記する）。3年の試験期間の中で、①5ppm以上のGP剤散布により顕著な浮皮軽減効果を発揮する、②9月・10月散布は8月・11月散布よりも浮皮軽減効果が高い、③効果は常温貯蔵後も保持される、④散布時期が遅くなるほどあるいは高濃度になるほど緑斑症状が発生しやすい等の傾向がみられた（牧田・山家 2004；山家・牧田 2004）。次の段階では、高濃度処理による緑斑発生を回避するため、ジベレリンの濃度を3～5 ppmに減らし、プロヒドロジャスモンの濃度を25～50 ppmに上げて再検証したところ、着色遅延を起こさずに安定した効果が確認された。また散布時期（8～10月）をさらに詳

細に検討したところ、‘青島温州’（晩生）では9月上旬が最も効果的であることも判明した。その後、全国の産地で数年間の実証試験が行われ、ジベレリンとプロヒドロジャスモンの混用散布が浮皮に対して有効であることが確認された。この結果を受けて、植物成長調整剤としての登録が行われ、生産現場への導入が進んだ。さらに、生産現場ではジベレリン処理による着色遅延を最小限に抑えたいという強い要望があった。そこで佐藤ら（2015）は、ジベレリンとプロヒドロジャスモンの散布濃度と時期の影響について再検討を行った。その結果、ジベレリン濃度を1 ppm（プロヒドロジャスモンは25 ppm）とすることで浮皮が軽減され、着色遅延を1週間以内に抑えることができた。この結果、使用濃度の範囲が低濃度側に拡大された（ジベレリン濃度：1～5 ppm）。また、晩生ウンシュウミカン以外の系統に対しても効果的な散布時期を検証することで（散布時期の早期化）、貯蔵しない早生品種でも使用可能となり（中谷ら 2014）、西日本を中心とするウンシュウミカン産地での普及が進んだ。本剤は従来の浮皮軽減剤と異なり、1回の散布（収穫3か月前）で確実な浮皮軽減効果が得られるため、特に貯蔵ミカンの産地で積極的に導入されている。近年、気候変動による温暖化の影響が強まる中で、産地の浮皮対策として広く推奨されており、貯蔵ミカンの品質維持とブランド強化に大きく寄与している。さらに、貯蔵用品種だけでなく、早生系統ミカ

表-1 ジベレリン (GA) およびプロヒドロジャスモン (PDJ) が収穫時における‘宮川早生’の果実品質に与える影響

[収穫時]			果実比重	糖度	酸含量	糖酸比	果皮色		
処理区				(°Brix)	(%)		<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
GP	GA (+)	PDJ (+)	0.946 a	9.1 b	1.21 ab	7.6 bc	61.3 b	0.5 c	53.7 c
GA	GA (+)	PDJ (-)	0.951 a	9.7 ab	1.34 a	7.3 c	67.2 a	7.0 b	59.1 b
PDJ	GA (-)	PDJ (+)	0.924 a	10.1 ab	0.96 bc	10.7 ab	66.7 a	19.8 a	64.2 a
対照	GA (-)	PDJ (-)	0.928 a	10.8 a	0.91 c	12.1 a	67.0 a	24.6 a	65.5 a
有意性	GA (a)		*	*	**	**	*	**	**
	PDJ (b)		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*
	(a)*(b)		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

二元配置分散分析により**は1%水準, *は5%水準で有意差あり

Tukeyの多重検定により, 異符号間に5%水準で有意差あり

ンの完熟栽培にも利用されている。また, マルチ被覆やその他の貯蔵技術 (冷風, LED 貯蔵) と組み合わせることで, 短期貯蔵および長期貯蔵に対応した浮皮軽減や腐敗抑制が実現されており (山家 2021), 今後のミカン栽培および貯蔵にとって重要な技術となっている。引き続き, 関係機関と連携しながら浮皮軽減技術の普及と啓発に努めているところである (佐藤 2016; 2021; 山家 2014; 2015; 2019)。

4. GP 剤あるいは PDJ の活用事例

現在 (2024 年 6 月時点), ジベレリンとプロヒドロジャスモンの混用散布は浮皮軽減だけでなく, カンキツ類の花芽抑制による樹勢維持や落果防止などでも登録され, 利用されている。また, プロヒドロジャスモンを製剤化したジャスモメート液剤は, リンゴやブドウの着色向上やトマト, ミニトマトのアザミウマ忌避に利用されている。またジベレリン単独でも低濃度処理 (0.5-1 ppm) による‘はるみ’・‘不知火’の水腐れ軽減に効果があることが示され, 利用されている。

5. PDJ の役割を検証

PDJ は GA の作用を高めると推測されているが, 実用性が優先して検証されたため, PDJ を加えることによるカンキツ果実への作用機構は完全には解明されていない。また, ウンシュウミカンではリンゴと異なりプロヒドロジャスモンが着色を改善するという研究結果は得られず, GA の役割を補足するものという認識が広まった。PDJ は低温障害の軽減に関与していることがいくつかの果樹類において示されている (腰山ら 2006)。このことから, PDJ がカンキツ類の生育調整や成熟に重要な役割を果たしている可能性が考えられ, さまざまな条件下での生理現象を捉え, その役割を検証する必要がある。そこで著者らは現在, PDJ の役割を明らかにするための研究を進めている。今回は, GA 単独, PDJ 単独で処理した場合の果実品質への影響について, 混用処理および無処理との比較に焦点を当てて紹介する。

筆者らは, 樹上で栽培中の‘宮川早生’果実に対して, 8 月と 9 月に, ジベレリン (GA) とプロヒドロジャス

モン (PDJ) の混用 (GP), GA のみ, PDJ のみの処理を行った。その後, 収穫時の果実品質, 果皮色, アルベド (白い部分) の無機成分を調査した (本試験は PDJ の役割検証のため, GA(25 ppm), PDJ(100 ppm) ともに登録外の濃度を使用した)。ちなみに早生温州は, 晩生温州と比較して早期に収穫するため, 浮皮発生は少ないものの, 近年では早生温州も短期間貯蔵されており, 貯蔵中の果皮障害が顕在化している。

収穫時の GA 処理果実 (GP 区および GA 区) の比重は, 非 GA 処理果実 (PDJ 区および対照区) よりも高かったことが二元配置分散分析 (ANOVA) により確認された (表-1)。また, GA 処理果実は非 GA 処理果実に比べて糖度が低く, 滴定酸度が高く, 糖酸比が低かった。GA 処理果実の *L**, *a**, *b** 値は, 非 GA 処理果実よりも有意に低く, 特に GP 処理はすべての処理の中で最も低い値を示し, GA 処理よりも有意に低かった。PDJ 処理果実 (GP 区および PDJ 区) の *L**, *a**, *b** 値は, 非 PDJ 処理果実 (GA およびコントロール) よりも有意に低かった (二元配置分散分析)。このこ

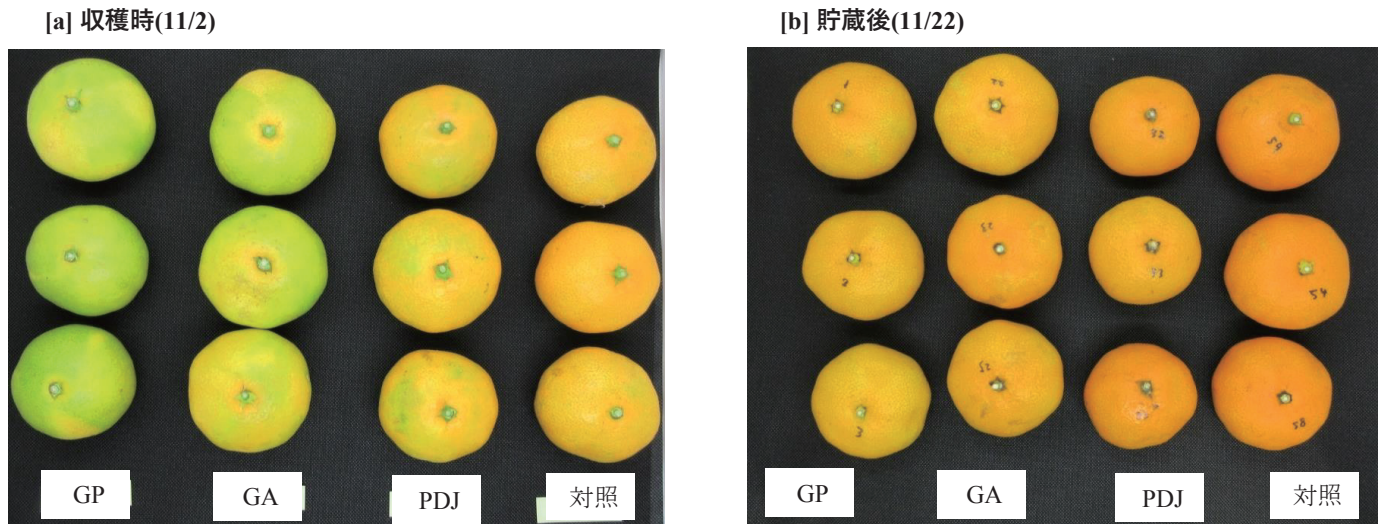


図-2 ジベレリン (GA) およびプロヒドロジャスモン (PDJ) が収穫時と貯蔵後における‘宮川早生’果実の外観に及ぼす影響

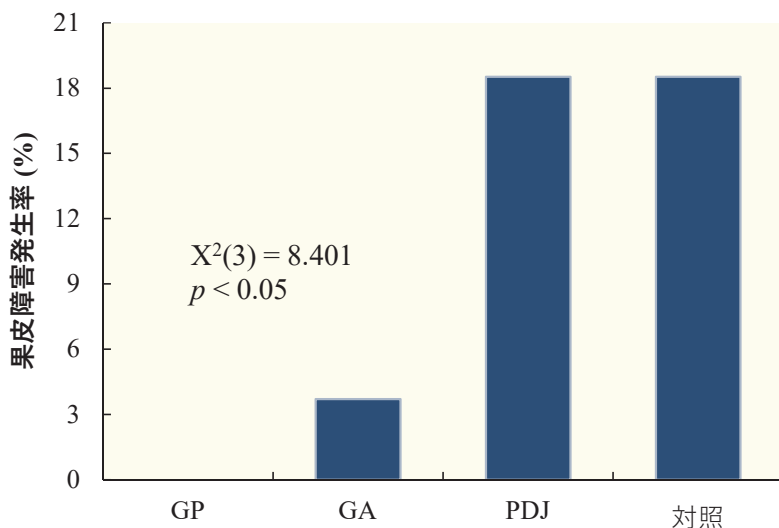


図-3 ジベレリン (GA) およびプロヒドロジャスモン (PDJ) が貯蔵後の果皮障害発生に及ぼす影響

とは、PDJ 単独処理でも果実の着色に影響を及ぼす可能性があることを示している (Yamaga *et al.* 2024)。貯蔵20日後についても処理区間の差は、収穫時と同様の傾向がみられたが、全体的に着色は進んでいた (図-2)。

貯蔵後の皮の障害率について、GP 処理では皮の障害が全く見られなかった (図-3)。GA 処理では皮の障害率が3.7%であったが、PDJ およびコントロール処理では18.5%であった。このことはPDJ のみでは果皮障害軽減に効果が小さいことを示している。

収穫果実のアルベドにおける無機成

分分析についても実施した。GA 処理果実ではリン、マグネシウム、マンガン、およびニッケルの分布が非 GA 処理果実よりも高かった (表-2, 表-3)。GA 処理果実ではケイ素およびコバルトの分布が非 GA 処理果実よりも低かった。PDJ 処理果実では炭素、窒素、ホウ素、およびケイ素の分布が非 PDJ 処理果実よりも高かった。また、カリウム、カルシウム、鉄、亜鉛、銅、およびモリブデンの分布には各処理間で有意差がなかった。このことから GA 処理はリンやマグネシウム、PDJ はケイ素などの無機成分含量に影響を

与える可能性が高いことが示された。一方、果皮の強度と関係性の高いカルシウム含量については、処理による違いがみられなかったことは意外であった。

これらの結果から推測されるのは、プロヒドロジャスモン単独処理でも果皮の成熟抑制に関与している可能性があるが、ジベレリンより強い作用を示すわけではないということが示唆される。植物の誘導抵抗性にサリチル酸やジャスモン酸が関わっていることは広く知られている (菅野 2013)。よって PDJ が成熟を抑制する作用を示しても不思議ではない。さらに、様々な果実 (クライマクテリック型果実、ノンクライマクテリック型果実) や処理濃度によって、結果が異なる可能性がある。また、上述のとおり GA 濃度を低く、PDJ 濃度を高く設定する散布条件により着色遅延を起こさずに安定して効果が得られることが明らかになったが、これは PDJ によって効果の調整が容易になった結果とも考えられる。

6. まとめ

言うまでもなく、植物ホルモンの相互作用は奥が深い。実験室内で行われ

表-2 ジベレリン (GA) およびプロヒドロジャスモン (PDJ) が‘宮川早生’アルペドの主要無機成分含量に与える影響

処理区			C	N	P	K	Ca	Mg
			(mg · g ⁻¹ DW)					
GP	GA (+)	PDJ (+)	443 ab	5.3 b	0.44 a	3.9	6.4	0.27 ab
GA	GA (+)	PDJ (-)	443 ab	5.4 b	0.42 ab	4.4	6.1	0.29 a
PDJ	GA (-)	PDJ (+)	447 a	6.2 a	0.39 ab	3.8	6.0	0.20 ab
対照	GA (-)	PDJ (-)	434 b	5.1 b	0.23 b	3.7	6.2	0.16 b
有意性	GA (a)		n.s.	*	*	n.s.	n.s.	**
	PDJ (b)		*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	(a)*(b)		*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

二元配置分散分析により**は1%水準, *は5%水準で有意差あり
Tukeyの多重検定により, 異符号間に5%水準で有意差あり

表-3 ジベレリン (GA) およびプロヒドロジャスモン (PDJ) が‘宮川早生’アルペドの微量成分含量に与える影響

処理区			Fe	Mn	B	Zu	Cu	Si	Ni	Co
			(μg · g ⁻¹ DW)							
[GP]	GA (+)	PDJ (+)	13.5	1.87	19.6	97.1	11.6	15.5 bc	3.16 a	0.10 b
[GA]	GA (+)	PDJ (-)	7.6	1.86	16.2	17.4	10.0	11.4 c	1.03 ab	0.18 ab
[PDJ]	GA (-)	PDJ (+)	12.1	1.12	18.5	15.9	6.1	21.1 a	0.28 b	0.23 a
[Control]	GA (-)	PDJ (-)	13.3	1.24	18.3	49.3	40.1	19.2 ab	0.25 b	0.21 ab
有意性	GA (a)		n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	*	*
	PDJ (b)		n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
	(a)*(b)		n.s.	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

二元配置分散分析により**は1%水準, *は5%水準で有意差あり
Tukeyの多重検定により, 異符号間に5%水準で有意差あり

る基礎研究とはかけ離れた結果が、現場の試験でみられることもある。そして、濃度によって異なる作用を示す物質であればなおさらその作用機構を解明することが困難になる。今回紹介したジベレリンとプロヒドロジャスモンの混用散布についても、登録までに実施した現地試験において傾向の異なる様々な結果をもたらした。異なる試験条件での GP 剤散布により、収穫時の果実酸含量が高くなる場合もあったが、有意な差がみられない場合も多かった。近年の温暖化の影響により、貯蔵後の果実の酸含量が低下し、それが食味の低下を引き起こすことがあ

る。実際、ウンシュウミカンの酸含量が 0.5% より低くなると食味を低下させることが知られている。このため、貯蔵用果実は収穫時にある程度高い酸含量を保持していることが望ましく、GP 剤の使用は果実の酸含量を保持する上で有益であるとも考えられる。

また本剤の登録後でも、産地や使用濃度、年度によって、GP 剤散布が果実へ及ぼす影響は実に様々であった(牧田 2016; 2017)。高濃度で散布した際に、果実を 2 か月間貯蔵した後でも着色が回復しない事例もみられ、改めて植物ホルモンの作用の不安定性を実感する場面もあった。上述したよう

に、GA の低濃度側への適用範囲の拡大も実施され、本剤登録から 10 年以上が経過し、今に至っている。気候変動が果樹生産に及ぼす影響は以前にも増して強くなっており、品種育成はもちろん重要だが、現場において農家が目的とする作物を安定して生産できる技術開発は今後ますます重要となってくるだろう。かつ、ビッグデータや AI を活用した研究事例も非常に多くなっており、どの産地も同じ画一的な技術利用に頼らず、地域や農家・生産法人に合わせたきめ細やかな生産方法を構築できるポテンシャルが、現在までの研究成果の中には十分あると思わ

れる。複数の研究と今回紹介した「ジベレリンとプロヒドロジャスモンによるカンキツ果実の果皮障害軽減技術」を組み合わせることで果実の安定生産レベルを数段階引き上げられることを今後も期待する。

謝辞

本文で紹介した研究の一部は、JSPS 科研費 JP22K14973 の助成を受けて実施した。

引用文献

- 近泉惣次郎 2007. ‘清見’果実の“水腐れ類似症”の特徴並びにその発生時期、農業生産技術管理学会誌 14 (2), 121-126.
- 広瀬和栄・大東 宏 1974. 炭酸石灰液の散布がウンシュウミカン果実におよぼす影響. 植物化学調節研究会研究発表記録集 9, 52-53.
- 広瀬和栄・鈴木邦彦 1976. ウンシュウミカン果実に及ぼす微粒炭酸石灰散布の影響. 植物化学調節研究会研究発表記録集 11, 37-38.
- 石井孝昭ら 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. 農業および園芸 56, 809-810.
- 神戸賢 2016. 新しい浮皮軽減剤クレント. 柑橘 68(6), 16-17.
- 菅野紘男 2013. 昆虫の加害によって植物に蓄積される植物ホルモンとフィトアレキシン 対病原菌誘導抵抗性の一側面. 科学と生物 51, 364-367.
- 河瀬憲次ら 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 (第 1 報) 九州・東海両地域における浮皮発現と気象要因. 果樹試報 D 6, 27-40.
- 腰山雅巳ら 2006. 植物成長調節剤プロヒドロジャスモンの開発研究 (技術賞, 受賞業績). 植物の生長調節 41, 24-33.
- Kuraoka, T. *et al.* 1977. Effects of GA3 on puffing and levels of GA-like substances and ABA in the peel of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102, 651-654.
- 牧田好高 2008. ジベレリンとジャスモン酸を用いたウンシュウミカンの浮皮軽減. 植調 42, 223-229.
- 牧田好高 2016. 平成 27 年の気候の推移と GP 剤の効果. 柑橘 68(3), 14-18.
- 牧田好高 2017. 平成 28 年の気候の推移と浮皮軽減剤の効果. 柑橘 69(11), 12-17.
- 牧田好高・山家一哲 2004. プロヒドロジャスモンを添加したジベレリン水溶液の秋季散布はウンシュウミカンの浮皮を軽減する. 園学雑 73(別 2), 106.
- 真子正史・大垣智昭 1975. 温州ミカンの貯蔵予措に関する研究 (第 9 報) 炭酸カルシウム (クレフノン) による予措促進効果について. 園学要旨, 昭 50 秋, 408-409.
- 中谷章ら 2014. ジベレリン・プロヒドロジャスモン混用散布による早生・中生ウンシュウミカンの浮皮軽減. 和歌山農林水試研報 2, 63-74.
- 佐藤景子 2016. 植調剤を利用した新たな浮皮軽減技術の体系化. 果実日本 71 (6), 34-39.
- 佐藤景子 2021. 柑橘栽培におけるジベレリンの利用について. 柑橘 73(4), 9-11.
- 佐藤景子ら 2015. ウンシュウミカン果実の浮き皮と着色に及ぼすジベレリンとプロヒドロジャスモンの散布濃度・時期の影響. 園学研 14, 419-426.
- 杉浦俊彦ら 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. 園芸学研究 6(2), 257-263.
- 山家一哲 2014. 静岡県における温州ミカンの出荷時期拡大に向けた貯蔵・栽培技術の動向. 果実日本 69 (10), 56-60.
- 山家一哲 2015. 温州ミカンにおける高温障害対策. 果実日本 70 (7), 50-55.
- 山家一哲 2019. 浮皮の中心で GP 剤を考える～今年の浮皮軽減剤使用に向けて～. 柑橘 71(9), 2-5.
- 山家一哲 2021. GP 剤散布および青色 LED 光照射による果実貯蔵性の向上. 最新農業技術 果樹 14, 99-105. 農文協. 東京.
- 山家一哲・牧田好高 2004. プロヒドロジャスモンを添加したジベレリン水溶液の秋季散布は産地が異なってもウンシュウミカンの浮皮を軽減する. 園学雑 73(別 2), 107.
- Yamaga *et al.* 2024. A comprehensive analysis of gibberellic acid and prohydrojasmon treatments for mitigating rind puffing and rind disorder of early-maturing cultivar of satsuma mandarin. Hort. Environ. Biotechnol. <https://doi.org/10.1007/s13580-023-00595-y>.