

植物ホルモンがニホンカボチャの 単為結果と果実品質に及ぼす影響

龍谷大学農学部

滝澤 理仁

はじめに

受精なしで着果と果実の肥大が誘導される現象は単為結果と呼ばれ、単為結果により形成された果実は通常、種無し果実となる。単為結果には植物自身が単為結果を誘導する自動的単為結果と植物ホルモン処理などの刺激によって着果と果実肥大が誘導される他動的単為結果がある。

自動的単為結果は単為結果性とも呼ばれ、バナナ (*Musa* spp.), パイナップル (*Ananas comosus* (L.) Merr.), カキ (*Diospyros kaki* Thunb.) やカンキツ類では単為結果性の強い品種を用いて種無し果実が生産されている。また、近年、着果のための労働コストの削減や受精を阻害する不良環境条件下での果実生産といった観点から、果菜類でも単為結果性が大きな注目を集めている。トマト (*Solanum lycopersicum* L.), ナス (*Solanum melongena* L.) およびキュウリ (*Cucumis sativus* L.) ではすでに実用的な単為結果性品種が市場に流通しており、メロン (*Cucumis melo* L.) やニホンカボチャ (*Cucurbita moschata* L.) でも単為結果性品種の存在が報告されている (Takisawa *et al.* 2021; Yoshioka *et al.* 2018)。

他動的単為結果は、主に植物ホルモン処理によって誘導され、種なし果実の生産や着果促進に利用される。ブドウ (*Vitis* spp.) の種なし果実はジベレリン酸 (GA₃) 処理によって生産され、ナス科のトマトやナスでは着果

促進のために合成オーキシシンが利用されている。ウリ科の野菜ではオーキシシン、サイトカイニン、ジベレリンやブラシノステロイドなどの植物ホルモンが単為結果に関与することが知られており、キュウリでは、オーキシシン、サイトカイニン、ジベレリン、ブラシノステロイドが (Fu *et al.* 2008; Kim *et al.* 1992), メロンとスイカ (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) ではオーキシシンとサイトカイニンが単為結果を誘導することが報告されている (Camacho *et al.* 2003; Hayata *et al.* 2000; Li *et al.* 2002)。しかし、カボチャではオーキシシンが単為結果を誘導することが報告されているものの (Takashima and Hatta 1955), その他の植物ホルモンと単為結果との関連については全く明らかとなっていない。

果実品質は食味や栄養価、機能性などから構成されており、消費者の満足度や市場価値の決定に大きな役割を果たしている。キュウリやメロン、スイカでは植物ホルモン処理が果実品質に及ぼす影響が調査されており、キュウリではオーキシシン処理は果実品質に影響を与えないが、サイトカイニン処理による単為結果果実では貯蔵後のフェノール酸とアスコルビン酸レベルが低下することが報告されている (Qian *et al.* 2018)。また、3 倍体スイカやマスクメロンではサイトカイニン処理による単為結果果実で果実品質が低下する可能性が示されている (Hayata *et al.* 1995; Hayata *et al.* 2000)。一方、カボチャではそもそもオーキシシン

以外の植物ホルモンの単為結果に対する効果が明らかでなかったこともあり、植物ホルモンが果実品質へ及ぼす影響についても未知のままであった。

そこで本研究では、主にニホンカボチャを用いて、各種植物ホルモンがカボチャの単為結果誘導と果実品質に及ぼす影響を明らかにするため、まず初めに植物ホルモンの処理実験を実施し、次に植物ホルモンによって誘導された単為結果果実の果実品質を調査した。

カボチャにおける植物ホルモンと単為結果との関係

カボチャの単為結果に対する各種植物ホルモンの効果を明らかにするため、2018 年の春と秋に植物ホルモンの処理実験を行った。2018 年春の実験ではニホンカボチャ品種‘小菊’を、2018 年秋の実験ではニホンカボチャ品種‘小菊’とセイヨウカボチャ品種‘東京’を供試した。栽培は京都府木津川市の京都大学附属農場の圃場と温室で行い、春の栽培では 2018 年 5 月 22 日に‘小菊’の苗を圃場の畝に、秋の実験では 2018 年 9 月 20 日、21 日に‘小菊’と‘東京’の苗を温室内の畝に定植した。

雌花の受粉を防ぐため開花 1 日前に袋をかけ、開花時に植物ホルモン処理を行った後、再び雌花に袋をかけた。春の実験では受粉区、対照区 (水処理), 合成オーキシシンの 1- ナフタレン酢酸 (NAA) 処理区 (100 ppm), サイトカイニン様活性物質の CPPU

表-1 2018年秋の実験における‘小菊’の対照区、受粉区、NAA処理区、CPPU処理区の着果数および果実重 (Takisawa *et al.* 2021 の表を改変)

処理区	濃度 (ppm)	着果数/処理数	果実重 (g)
対照	-	3/5	565
受粉	-	7/7	1428
NAA	100	7/7	829
CPPU	20	3/7	763
	200	4/7	907
	2000	7/7	777

表-2 2018年秋の実験における‘東京’の対照区とCPPU処理区の着果数および果実重 (Takisawa *et al.* 2021 の表を改変)

処理区	濃度 (ppm)	着果数/処理数	果実重 (g)
対照	-	0/6	-
CPPU	20	0/6	-
	200	5/6	548
	2000	5/6	928

処理区(20 ppm)、ジベレリン酸(GA₃)処理区(10, 100, 1000 ppm)、ブラシノライド(BL)処理区(1, 10, 100 ppm)を設定し、秋の実験では受粉区、対照区(水処理)、NAA処理区(100 ppm)、CPPU処理区(20, 200, 2000 ppm)を設定した。

春の実験ではNAA処理した雌花はすべて単為結果果実を形成し、受粉果実とNAA処理果実の果実重に有意差はなかった。Takashima and Hatta (1955)はNAAがセイヨウカボチャ、ペポカボチャおよびニホンカボチャで単為結果を誘導することを報告しており、本研究でも同様の結果が得られた。一方、キュウリで単為結果の誘導が報告されているGA₃処理、CPPU処理およびBL処理では全ての処理区で単為結果の誘導が確認できなかった。特にCPPU処理区については、CPPUを主成分とするフルメット液剤(協和発酵バイオ株式会社、東京、日本)の説明書に、10～20 ppmの散布処理がカボチャの着果を促進すると記載されており、予想外の結果であった。そこでフルメット液剤の製造元に問い合わせたところ、カボチャの着果促進効果は受粉果実での効果であって、単為結果の誘導を意味していないことが分かった。そこで、秋の実験ではCPPUの単為結果に対する効果を複数の濃度で検討することとした。

秋の実験において、‘小菊’の単為

結果果実の着果率は、予想に反して対照区で3/5となり(表-1)、『小菊』が秋の環境条件下で自然に単為結果することが明らかとなった。Takisawa *et al.* (2021)は、秋の低温がニホンカボチャの単為結果性品種である‘宮崎早生1号’の単為結果性を高めることを示唆している。‘小菊’は弱い単為結果性を有しており、春の環境条件下では単為結果を誘導できないが、単為結果性が強まる秋の低温条件下では単為結果性を発現すると考えられた。CPPU処理区間で比較すると、CPPUの濃度が高くなるにつれて着果率が増加し、2000 ppmでは着果率が7/7となった(表-1)。同様の実験をセイヨウカボチャの‘東京’で行ったところ、対照区と20 ppmの処理区では単為結果果実は形成されなかったが、200 ppmおよび2000 ppm処理区では単為結果果実の着果率は5/6となった(表-2)。Li *et al.* (2005)は、500 ppmのCPPU処理がズッキーニの着果と果実肥大を誘導できることを報告しており、今回の我々の実験結果を合わせると、サイトカイニン属の着果と果実肥大において重要な役割を果たす植物ホルモンであると考えられた。さらに、キュウリではオーキシン、サイトカイニン、ジベレリンとブラシノステロイドが単為結果を誘導するのに対し(Fu *et al.* 2008; Kim *et al.* 1992)、ニホンカボチャではオー

キシンとサイトカイニンは単為結果を誘導したものの、ジベレリンとブラシノステロイドは単為結果を誘導しなかった。このようにウリ科の中で単為結果に関与する植物ホルモンが異なったことから、ウリ科の単為結果誘導機構には種間差が存在すると考えられた。

カボチャの単為結果果実の形態的特徴

Takisawa *et al.* (2021)はニホンカボチャの単為結果性品種‘宮崎早生1号’の研究において、受粉果実と単為結果果実の果肉厚と種子の形態に大きな違いがあることを報告している。そこで、植物ホルモンによって誘導された単為結果果実と受粉果実の果実と種子の形態の違いを明らかにするため、‘小菊’の受粉果実、NAA処理果実とCPPU処理果実の横径、果肉の厚さおよび種子形態を比較した。調査の結果、春と秋の両実験において全ての処理区の間で横径と果肉の厚さに有意な差は見られなかった(図-1)。また、NAAまたはCPPUによって誘導された単為結果果実の種子は中身が空であったものの、そのサイズは受粉果実とほぼ同じであった(図-2)。これらの結果から、自動的単為結果による単為結果果実と植物ホルモンにより誘導された単為結果果実で果実や種子の形態に差があることが明らかとなっ

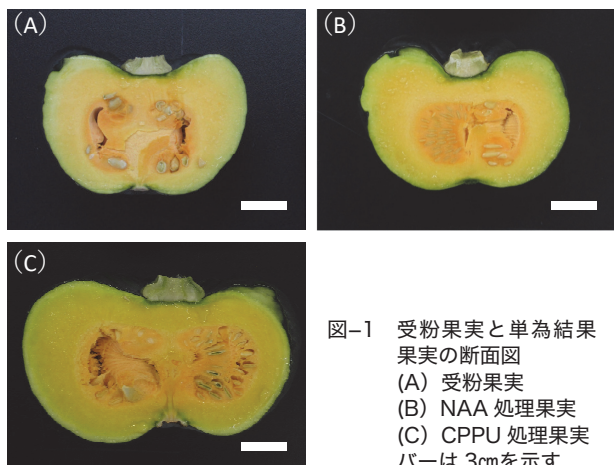


図-1 受粉果実と単為結果果実の断面図
(A) 受粉果実
(B) NAA 処理果実
(C) CPPU 処理果実
バーは 3cm を示す

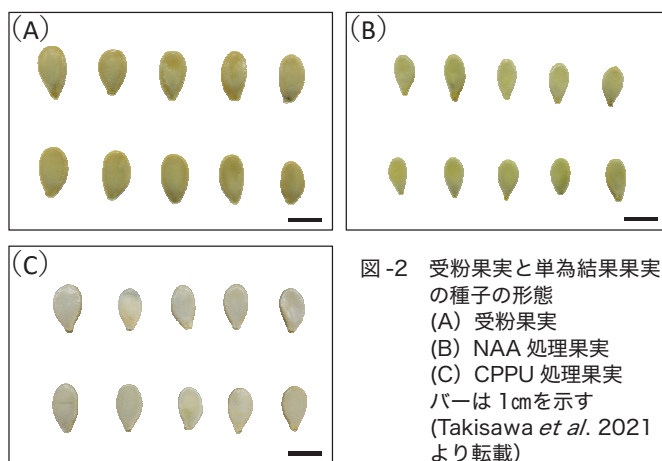


図-2 受粉果実と単為結果果実の種子の形態
(A) 受粉果実
(B) NAA 処理果実
(C) CPPU 処理果実
バーは 1cm を示す
(Takisawa *et al.* 2021 より転載)

表-3 2018 年秋の実験における‘小菊’の受粉果実, NAA 処理果実および 2000ppm CPPU 処理果実の含水率, 全可溶性固形物量 (TSS), 糖含量, β -カロテン含量およびアスコルビン酸含量 (Takisawa *et al.* 2021 の表を改変)

処理区	含水率	TSS	糖含量				β -カロテン	アスコルビン酸
			フルクトース	グルコース	スクロース	myo- イノシトール		
	(%)	(Brix)	(mg/gFW)				($\mu\text{g}/100 \text{ g FW}$)	(mg/100 g FW)
受粉	83.6	7.2 b ^z	12.4 a	7.3 a	1.7	8.2 b	732.1	7.7
NAA	81.0	8.9 a	9.0 b	5.2 ab	1.8	12.0 a	962.3	6.3
2000 ppm CPPU	82.1	7.4 ab	7.6 b	4.0 b	1.6	8.1 b	869.4	6.2

² 異なる文字間には Tukey の多重検定により 5% 水準で有意差があることを示す

た。この原因として、品種により単為結果果実の形態に差がある可能性と自動的単為結果と植物ホルモン処理による他動的単為結果という単為結果の誘導方法の違いが果実形態に影響を及ぼす可能性の両方が考えられ、今後、この点については詳細な検討が必要と考えられる。

植物ホルモンによって誘導された単為結果果実の栄養成分

植物ホルモンによって誘導された単為結果果実の栄養成分を明らかにするため、受粉果実, NAA 処理果実および CPPU 処理果実の含水率, 全可溶性固形物量 (TSS), 可溶性糖含量, β -カロテンおよびアスコルビン酸含量を調査した。調査の結果, NAA 処理果実の TSS およびミオイノシトール含量は受粉果実より高く, フルク

トース含量は低かった (表-3)。一方, CPPU 処理果実ではフルクトース含量およびグルコース含量の両方が受粉果実より低かった。これらの結果から, ニホンカボチャでは受粉果実と植物ホルモンによって誘導される単為結果果実で栄養成分の特徴が異なり, その特徴は誘導する植物ホルモンの種類によって変化することが示された。また, CPPU 処理による単為結果果実はキュウリで貯蔵後のフェノール酸とアスコルビン酸の量を, スイカとマスクメロンでは TSS を低下させることが報告されており (Hayata *et al.* 1995; Hayata *et al.* 2000; Qian *et al.* 2018), 本研究でも CPPU 処理による単為結果果実の品質が受粉果実より低かったことから, ウリ科の果菜類では品質面から CPPU 処理による単為結果誘導は推奨されないと考えられた。

まとめ

本研究により, ニホンカボチャにおいて, ジベレリンとブラシノステロイドが単為結果を誘導しないこと, サイトカイニンがオーキシンと同様にニホンカボチャとセイヨウカボチャの単為結果を誘導することが明らかとなった。また, オーキシンとサイトカイニンによって誘導された単為結果果実で果実品質に差があり, サイトカイニンにより誘導された単為結果果実の品質は受粉果実より低かったため, CPPU 単独の着果処理はカボチャの果実生産において推奨されないと考えられた。

参考文献

Camacho, F., E. J. Fernández and M. Díaz 2003. Greenhouse production of diploid watermelon without biological pollination: effects of 2,4-D and CPPU on yield and seedless fruit induction.

- Acta Hort. 614, 145–148.
- Fu, F. Q., W. H. Mao, K. Shi, Y. H. Zhou, T. Asami and J. Q. Yu 2008. A role of brassinosteroids in early fruit development in cucumber. *J. Exp. Bot.* 59, 2299–2308.
- Hayata, Y., Y. Niimi, K. Inoue and S. Kondo 2000. CPPU and BA, with and without pollination, affect set, growth, and quality of muskmelon fruit. *Hortscience* 35, 868–870.
- Hayata, Y., Y. Niimi and N. Iwasaki 1995. Synthetic cytokinin-1-(2-chloro-4-pyridyl)-3-phenylurea (CPPU)-promotes fruit set and induces parthenocarpy in watermelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120, 997–1000.
- Kim, I. S., H. Okubo and K. Fujieda 1992. Endogenous levels of IAA in relation to parthenocarpy in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Sci. Hortic.* 52, 1–8.
- Li, X. X., Y. Hayata and Y. Osajima 2002. p-CPA increases the endogenous IAA content of parthenocarpic muskmelon fruit. *Plant Growth Regulat.* 37, 99–103.
- Li, X. X., J. Yasukawa and Y. Hayata 2005. Role of endogenous indole-3-acetic acid in fruit set of zucchini. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 74, 167–169.
- Qian, C., N. Ren, J. Wang, Q. Xu, X. Chen and X. Qi 2018. Effects of exogenous application of CPPU, NAA and GA4+7 on parthenocarpy and fruit quality in cucumber (*Cucumis Sativus* L.). *Food Chem.* 243, 410–413.
- Takashima, S. and S. Hatta 1955. Effect of phytohormones on parthenocarpy in cucurbits. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 24, 29–61 (In Japanese with English abstract).
- Takisawa, R., M. Ogawa, E. Maai, K. Nishimura, R. Nakano and T. Nakazaki 2021. Characterization of parthenocarpic fruit of ‘Miyazaki-wase No. 1’, a tropical squash (*Cucurbita moschata* L.) cultivar. *Hort. J.* 90, 68–74.
- Yoshioka, Y., K. Shimomura and M. Sugiyama 2018. Exploring an East Asian melon (*Cucumis melo* L.) collection for parthenocarpic ability. *Genet. Resour. Crop. Ev.* 65, 91–101.