

# ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤がペチュニアの草姿と複色模様 に及ぼす影響

日本大学 生物資源科学部  
東 未来

## はじめに

ペチュニア (*Petunia × hybrida*) は、花壇苗や鉢物として利用される場合が多く、草丈が低くコンパクトなものが求められる。そのため、ペチュニアの徒長を抑制させるためにジベレリン (GA) 生合成阻害剤を植物成長調整剤として処理する場合がある。しかしながら、GA 生合成阻害剤の種類や濃度によって徒長抑制効果が異なること、開花時期や花色等の草丈以外にも影響を及ぼす場合があることが他の花き類では報告されている。そこで本研究では、GA 生合成経路における作用点異なる GA 生合成阻害剤として市販の植物成長調整剤 4 種類を用い、何も処理していないペチュニア (対照区) と比較し、ペチュニアの草姿や花色に与える影響を調査した。植物成長調整剤は *ent*-カウレンから *ent*-カウレン酸、*ent*-カウレン酸から GA<sub>12</sub> への代謝を阻害するパクロブトラゾール (PBZ) を含むバウンティ、GA<sub>12</sub> から GA<sub>9</sub> への生合成に関わる GA20 位酸化酵素 (GA20ox) を阻害するダミノジッド (SADH) を含むビーナイン、GA<sub>9</sub> から GA<sub>4</sub> の代謝に関わる GA3 位酸化酵素 (GA3ox) および GA<sub>4</sub> から GA<sub>34</sub> の代謝に関わる GA2 位酸化酵素 (GA2ox) を阻害するトリネキサパックエチル (TNE) を含むプリモマックスおよびプロヘキサジオンカルシウム塩 (PCa) を含むビビフルフロアブルの 4 種類を使用した (図-1)。それ

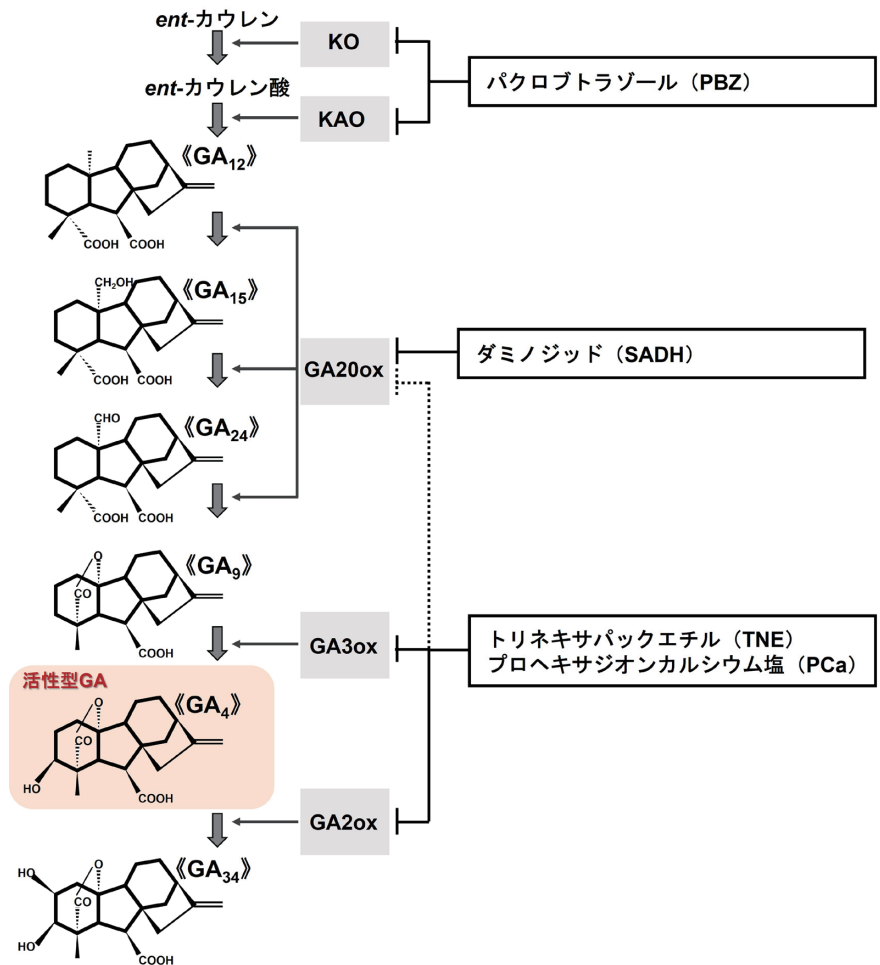


図-1 GA 生合成経路 (非水酸化経路) と GA 生合成阻害剤の作用点

4 種類の GA 生合成経路のうち、非水酸化経路の GA 生合成経路と、各 GA 生合成阻害剤の作用箇所を示す。GA<sub>4</sub> は植物体内で活性型 GA であり、他の GA は非活性型 GA である。KO: *ent*-カウレン酸化酵素, KAO: *ent*-カウレン酸酸化酵素, GA20ox: GA20 位酸化酵素, GA3ox: GA3 位酸化酵素, GA2ox: GA2 位酸化酵素

ぞれの植物成長調整剤は、推奨処理濃度に調整して用いた。また、GA の影響を調査するため、GA<sub>3</sub> を含む植物成長調整剤友友ジベレリンを用いた。ペチュニアの品種は、単色赤色の‘バカラレッド’、赤色グラデーション模様の‘レッドモーン’、赤色覆輪模様の‘バカラレッドピコティー’、赤色星形

模様の‘スターレッドアンドホワイト’の 4 品種を用いた。

## GA 生合成阻害剤および GA 処理が草姿に及ぼす影響

まず、各 GA 生合成阻害剤の効果を検証するため、4 品種のペチュニア

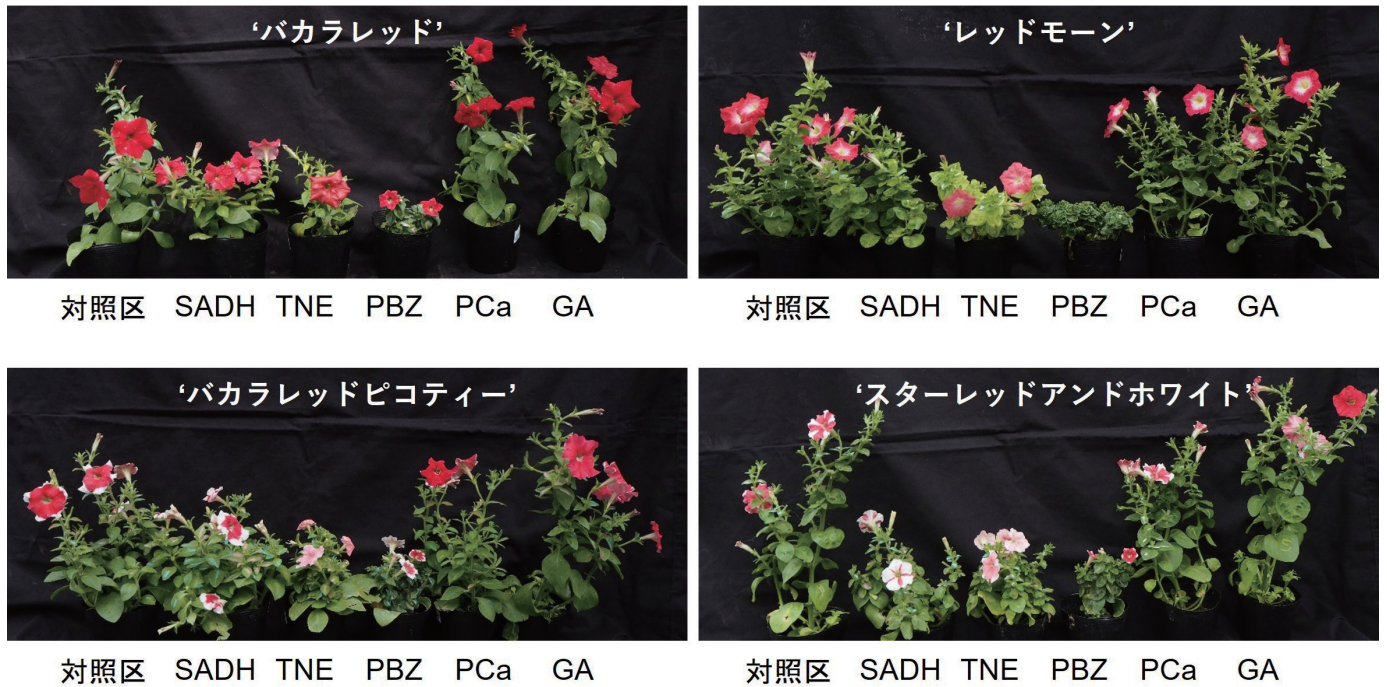


図-2 各植物成長調整剤を処理した時の植物体の草姿

花模様の異なる4品種のペチュニアに、SADH、TNE、PBZ、PCa、GAを処理した時の草姿の違いを示す。写真は各植物成長調整剤を処理してから36日後の様子である。

アに、4,000 ppm SADH、480 ppm TNE、2,300 ppm PBZ、50 ppm PCaの4種類のGA生合成阻害剤および100 ppm GAを葉面散布処理し、草姿への影響を調査した。SADH、TNE、PBZの3種類のGA生合成阻害剤では対照区と比較していずれも矮化し、特にPBZ処理区では葉の大きさや花の大きさも小さくなった(図-2)。SADH、TNE、PBZ処理は対照区と比較して、顕著な茎伸長の抑制が見られ、全ての品種で徒長抑制効果が認められた(表-1、図-3)。この茎伸長の抑制は、各植物成長調整剤処理後1週間から1ヵ月後まで持続することが確認された(図-3)。また、葉数についても調査した結果、いずれの品種においてもGA生合成阻害剤処理による枚数の変化に大きな差は無かった(表-1)。このことから、各植物成長調整剤によって成長そのものが抑制されたのではなく、茎伸長のみが抑制されたことが明らかになった(表-1)。一方で、PCa処理の場合には、処理

後36日の時点で、'バカラレッド'で若干の茎伸長の抑制が見られたものの、'レッドモーン'、'バカラレッドピコティー'、'スターレッドアンドホワイト'の3品種では対照区との違いはなかった(表-1)。GA処理は、対照区の場合と比較して、全4品種で茎伸長の促進が見られた(表-1、図-3)。この時の茎の表皮細胞の形状を走査型電子顕微鏡によって観察すると、茎伸長を抑制したSADH、TNE、PBZの3処理区では対照区と比較して表皮細胞が小さくなっていたのに対し、GA処理の場合には表皮細胞の大きさも大きくなっていった(Azumaら2025)。また、PBZ処理区では葉の大きさが著しく小さくなったが、SPAD値も他の処理区と比較して高くなっていったことから、細胞数の減少によるものではなく、細胞の大きさが小さくなったことによるものと考えられる(表-1)。このことから、PCaを除く各GA生合成阻害剤は、茎の細胞伸長を抑制するこ

とによって、茎伸長を抑制したことが示された。本研究における処理濃度においては、SADH、TNE、PBZを含む植物成長調整剤処理がペチュニアの徒長抑制に有効であることが示された。ただし、TNEおよびPBZに関しては花数が少なくなることがあるため、実用化する場合には注意が必要であると考えられる(表-1)。

### GA生合成阻害剤およびGA処理が花色・花模様に関与する影響

次に、4,000 ppm SADH、480 ppm TNE、2,300 ppm PBZ、50 ppm PCaのGA生合成阻害剤とGA処理を行った時の'バカラレッド'、'レッドモーン'、'バカラレッドピコティー'、'スターレッドアンドホワイト'の花色・花模様を調査した。'バカラレッド'および'レッドモーン'に関しては、SADH、PBZ、PCa、GA処理区の花色および花模様は対照区と同様であった(図-4)。「スターレッドアンドホワイト」

表-1 GA 生合成阻害剤を処理してから 35 日後の主茎長、葉数、SPAD 値、花数

	主茎長 (mm)	葉数 (枚)	SPAD 値	1 株当たりの花数
<b>‘バカラレッド’</b>				
対照区	266.0 ± 10.1 b	139.9 ± 7.2 a	46.4 ± 1.4 bc	18.1 ± 1.3 a
SADH	150.5 ± 3.4 d	153.5 ± 4.6 a	44.2 ± 1.4 bc	18.0 ± 1.2 ab
TNE	132.6 ± 7.3 d	147.0 ± 8.4 a	41.9 ± 1.4 c	13.7 ± 1.0 b
PBZ	96.4 ± 3.1 e	108.9 ± 3.6 b	60.0 ± 1.3 a	6.4 ± 0.6 c
PCa	235.9 ± 8.3 c	139.9 ± 4.4 a	48.2 ± 1.7 b	17.2 ± 0.9 ab
GA	313.6 ± 4.6 a	133.8 ± 5.8 b	46.8 ± 1.5 bc	16.9 ± 1.1 ab
<b>‘レッドモーン’</b>				
対照区	262.5 ± 9.8 b	163.9 ± 7.2 a	45.4 ± 2.3 b	22.4 ± 1.4 a
SADH	148.7 ± 7.7 c	185.9 ± 14.6 a	41.8 ± 1.5 bc	16.9 ± 2.0 ab
TNE	161.1 ± 8.0 c	165.3 ± 9.0 a	32.2 ± 1.7 d	13.7 ± 2.2 b
PBZ	84.4 ± 1.1 d	175.3 ± 5.6 a	53.3 ± 0.9 a	0.6 ± 0.2 c
PCa	266.5 ± 12.1 b	164.9 ± 7.2 a	43.1 ± 1.2 bc	20.2 ± 1.9 ab
GA	334.3 ± 8.4 a	154.1 ± 6.5 a	35.7 ± 0.9 d	21.7 ± 1.4 a
<b>‘バカラレッドピコティー’</b>				
対照区	268.3 ± 10.8 ab	180.6 ± 4.2 b	42.5 ± 1.0 b	19.5 ± 1.8 ab
SADH	118.5 ± 7.6 c	215.4 ± 6.0 a	42.7 ± 1.2 b	13.3 ± 1.4 bc
TNE	118.5 ± 7.6 c	193.7 ± 4.7 ab	46.1 ± 1.2 b	11.2 ± 2.0 c
PBZ	92.0 ± 2.4 c	175.4 ± 7.4 b	55.4 ± 1.8 a	8.6 ± 1.3 c
PCa	237.4 ± 9.8 b	188.6 ± 6.1 b	44.4 ± 0.8 b	22.2 ± 1.4 a
GA	306.4 ± 18.0 a	198.3 ± 4.6 ab	44.6 ± 1.4 b	21.7 ± 1.7 a
<b>‘スターレッドアンドホワイト’</b>				
対照区	278.1 ± 14.8 b	160.5 ± 4.5 b	48.9 ± 0.8 b	24.2 ± 1.5 ab
SADH	150.7 ± 5.4 c	195.7 ± 6.0 a	47.1 ± 1.2 b	28.5 ± 1.9 a
TNE	152.5 ± 5.8 c	194.8 ± 6.9 a	45.9 ± 0.7 b	24.1 ± 2.1 ab
PBZ	117.9 ± 4.0 c	168.4 ± 7.1 b	55.5 ± 1.2 a	21.5 ± 1.5 ab
PCa	248.8 ± 7.9 b	168.1 ± 5.0 b	48.8 ± 0.8 b	24.7 ± 1.1 ab
GA	326.6 ± 17.2 a	163.3 ± 5.8 b	41.5 ± 1.2 c	21.0 ± 2.1 b

注) 同列の異符号間には Tukey の検定で 5%水準で有意差があることを示す。

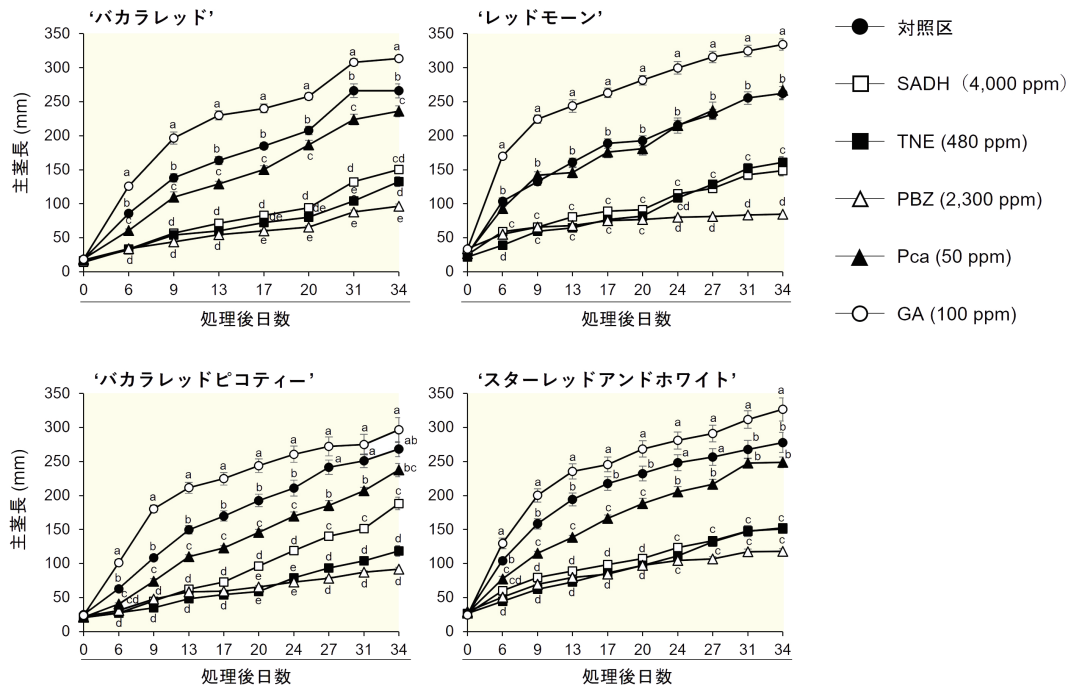


図-3 各植物成長調整剤を処理した時の主茎長の推移  
各植物成長調整剤を処理してから週に 2 回ずつ 34 日後まで主茎長を測定した。同日の異符号間には Tukey の検定で 5%水準で有意差があることを示す。

および‘バカラレッドピコティー’では SADH 処理区では、対照区と比較して赤色部位が減少し、ほぼ白色の花になった(図-4)。また、これらの現象は処理してからおよそ2週間後に開花した花で見られた。一方で、PCa 処理区および GA 処理区では、対照区と比較して、赤色部位が増加し、ほぼ赤色の花になった(図-4)。PBZ 処理区では全ての品種で対照区と比較して花の大きさが著しく小さくなるものの、花模様自体には影響を及ぼさなかった。また、TNE 処理区では、全ての品種で全体的に花色が薄くなった(図-4)。この現象は処理後1週間で見られ、GA 生合成阻害の影響ではなく、アントシアニンの合成を直接的に抑制したことによるものであると考えられる。アントシアニン合成の直接的な阻害は TNE だけでなく、PCa においても報告されている(Rademacher 2005)。

ここれらの花模様の変化は全ての花で同一に誘導されるわけではなく、同一株内であっても花ごとに個体差があった。また、夏場の高温条件下では全体的に赤色部位が増加し、栽培期間が長くなった老化した株においては白色部位が増加する傾向にある。このように、花模様の変化は安定的ではないため、花模様の変化が見られた2品種‘バカラレッドピコティー’および‘スターレッドアンドホワイト’に対し、赤色部位の比率別に各処理区の花の数を計測し、各処理区別に花の数の割合を算出した(図-5)。この際、植物成長調整剤は4,000 ppm および

2,000 ppm SADH, 480 ppm および 240 ppm TNE, 2,300 ppm および 1150 ppm PBZ, 50 ppm および 25 ppm PCa, 200 ppm および 100 ppm GA と2パターン濃度条件で花模様について調査した。その結果、‘バカラレッドピコティー’および‘スターレッドアンドホワイト’の2品種で同様に SADH 処理によって白色部位が増加した花の割合が高く、PCa あるいは GA 処理によって赤色部位が増加した花の割合が高くなること示された(図-5)。

以上の結果から、ペチュニアの覆輪模様や星形模様等の複色模様の変化には GA が関与している可能性が示唆された。GA は現在のところ少なくとも 136 種類が同定されており、この中で植物に直接作用する活性型 GA は GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>7</sub> 等が知られているが、どの活性型 GA が合成されるかは植物によって異なる。ペチュニアの花弁においては、活性型 GA として GA<sub>4</sub> が検出されている(Weissら 1995)。GA は主に非水酸化経路、早期 11 位水酸化経路、早期 13 位水酸化経路、早期 11, 13 位水酸化経路の4つの生合成経路が知られているが、GA<sub>4</sub> は非水酸化経路で合成される。非水酸化経路では、GA<sub>12</sub> から GA<sub>15</sub>, GA<sub>24</sub>, GA<sub>9</sub> を経て活性型の GA<sub>4</sub> が生合成され、さらに代謝が進むと非活性型の GA<sub>34</sub> が合成される。SADH は主に GA<sub>20</sub> 位酸化酵素 (GA<sub>20ox</sub>) の働きを阻害するため、GA<sub>15</sub> から GA<sub>24</sub> の代謝を抑制する。そのため活性型

GA である GA<sub>4</sub> の生合成を阻害する。一方で、PCa は濃度が低い場合には GA<sub>2</sub> 位酸化酵素 (GA<sub>2ox</sub>) の働きを主に阻害するため、GA<sub>4</sub> から非活性型 GA である GA<sub>34</sub> への代謝を抑制する。その結果、植物生体内には GA 生合成阻害剤を処理したにも関わらず、活性型 GA である GA<sub>4</sub> が蓄積することになる。‘バカラレッドピコティー’と‘スターレッドアンドホワイト’において、SADH 処理によって花卉の赤色部位が減少したことは、活性型 GA の生合成が抑制されたためであると考えられる。一方で PCa 処理あるいは GA 処理によって花卉の赤色部位が増加したことは、活性型 GA が蓄積したためであると考えられる。

## ダミノジッドとプロヘキサジオンカルシウム塩の併用処理が草丈・花模様に及ぼす影響

SADH 処理では茎伸長の抑制効果が得られたものの、複色模様品種では赤色部位が減少してほぼ白色の花になる現象が見られた。GA 処理では茎伸長が促進し、複色模様品種では赤色部位が増加してほぼ赤色の花になる現象が見られた。このように、SADH 処理では活性型 GA を阻害した効果が見られた。一方で、PCa 処理の場合には、草丈は対照区とほとんど変わらないにも関わらず、複色模様品種において GA 処理の時と同様に赤色部位が増加し、ほぼ赤色の花になる現象が見られた。このことから、SADH と PCa 処

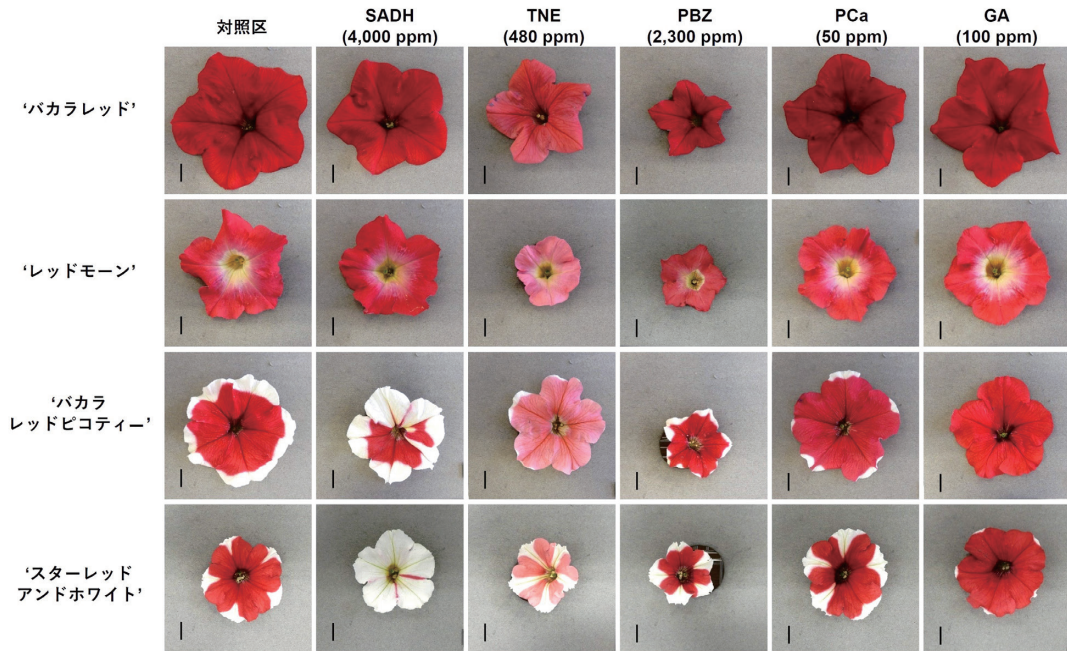


図-4 各植物成長調整剤を処理した時の花模様の変化

Scale Bar = 10 mm

4品種のペチュニアに4,000 ppm SADH, 480 ppm TNE, 2,300 ppm PBZ, 50 ppm PCa, 100 ppm GAを処理した時の代表的な花模様を示す。写真は各植物成長調整剤を処理してから14日後の様子を示す。

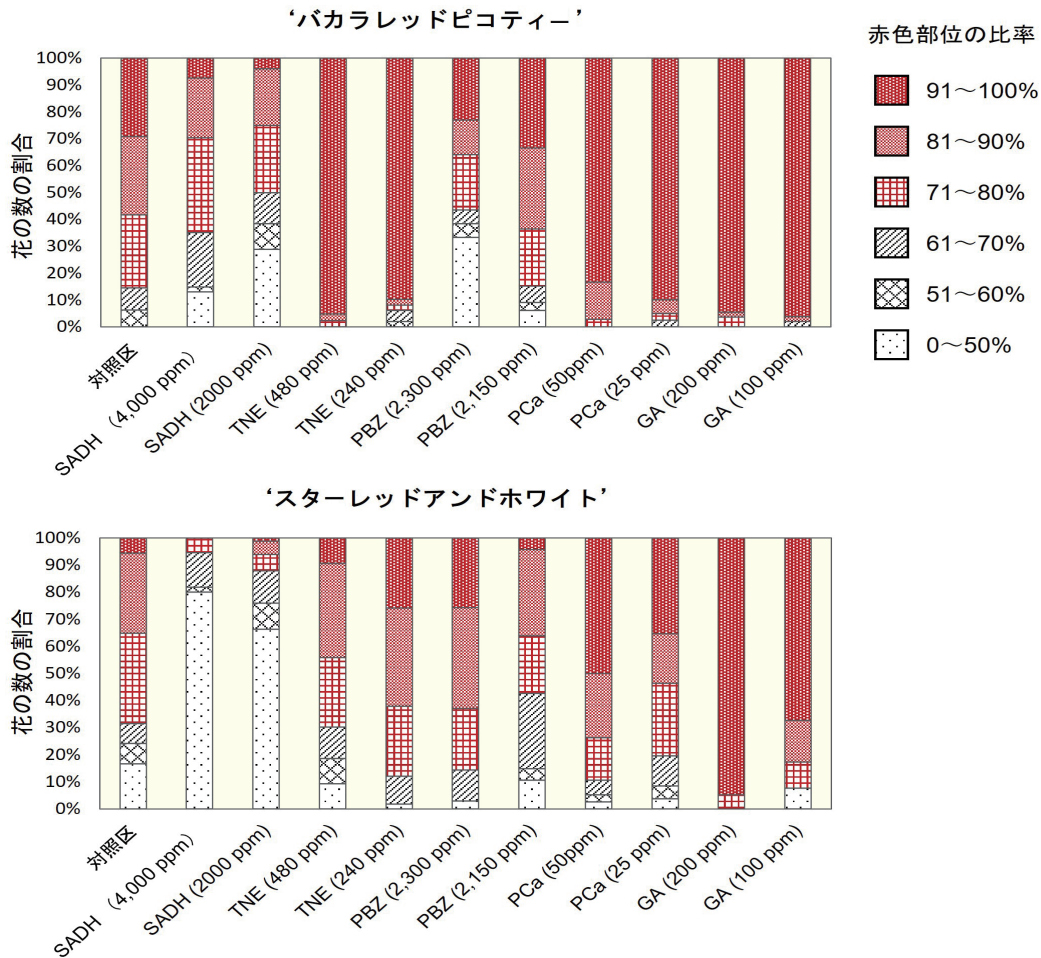


図-5 'バカラレッドピコティー'と'スターレッドアンドホワイト'における各GA生合成阻害剤を処理した時の各赤色部位の比率別の花の割合。赤色部位が0~50%, 51~60%, 61~70%, 71~80%, 81~90%, 91~100%の花の数を計測し、赤色部位の比率ごとの花数の割合を示す。

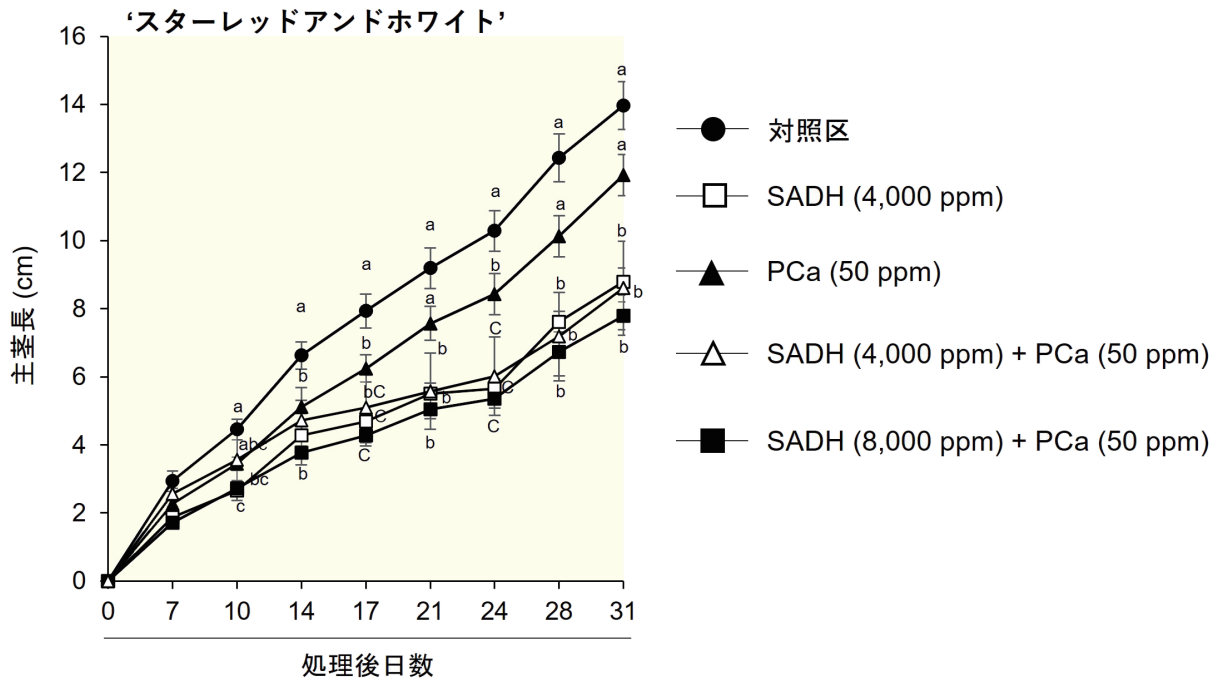


図-6 SADHとPCaを併用処理した時の主茎長の推移

各植物成長調整剤を処理してから週に2回ずつ31日後まで主茎長を測定した。同日の異符号間にはTukeyの検定で5%水準で有意差があることを示す。

理の併用処理を行う事により、花色を変えずに草丈のみ低くすることが可能になるのではないかと考えた。

そこで、‘スターレッドアンドホワイト’に8,000 ppmあるいは4,000 ppm SADH処理を行い、1日後に50 ppm PCa処理を行った。その結果、SADH処理の場合と同様に茎伸長を抑制し、対照区およびPCa処理区と比較して草丈が低くなった(図-6)。花模様に関しては、SADH処理区と比較すると、8,000 ppmあるいは4,000 ppm SADHと50 ppm PCaの併用処理を行うことで花模様が対照区と同様になった(図-7)。しかし、赤色部位が81%以上の花の割合は対照区ほど高くなく、全ての花において赤色部位の比率が対照区と同等になったわけではなかった(図-8)。8,000 ppm SADHと50 ppm PCaの併用処理、4,000 ppm SADHと50 ppm PCaの併用処理の2区間で比較すると、4,000 ppm SADHと50 ppm PCaの併用処理の方が、赤色部位が81%以

上の花の割合が高くなっていたため、今後処理濃度を検討することで、茎伸長を抑制しつつ、花模様には影響を与えない処理方法が確立できると期待される。

## まとめ

ペチュニアは花壇苗や鉢物として利用されることが多く、GA生合成阻害剤が植物体を矮化させるための植物成長調整剤として利用される場合がある。しかし、植物成長調整剤の種類によっては茎伸長の抑制だけでなく、花色および花模様に影響を及ぼす場合がある。本研究において、覆輪模様や星形模様品種のペチュニアにSADH処理を行うと、草丈が低くなるとともに、花卉の赤色部位が減少し、ほぼ白色の花になることを明らかにした。一方で、PCaやGA処理を行うと花卉の赤色部位が増加し、ほぼ赤色の花になることが示された。また、この時のPCa処理に関しては、ペチュニアの

草丈にはほぼ影響を与えなかった。これはGAの生合成の経路のどこを阻害するかによる違いであることが示唆された。そのため、GA生合成阻害剤をペチュニアで徒長抑制の目的で植物成長調整剤として利用する場合には、処理濃度や種類の選定が重要になる。実際に、SADHとPCaの併用処理を行うことにより、花模様に影響を及ぼさずに、茎伸長を抑制できる可能性を見出した。

ペチュニアの複色模様品種の中で覆輪模様および星形模様の品種では、アントシアニン合成に関わるカルコン合成酵素の遺伝子CHSの遺伝子の転写後抑制(PTGS)が模様の形成に関与していることが知られている。花冠全体でCHSが発現しているが、白色部位ではCHSのsiRNAが発現することによって、アントシアニン合成が抑制され、白色になることが報告されている(Moritaら2012)。ただし、なぜ、星形模様あるいは覆輪模様でsiRNAが蓄積するのかは不明な部分が多かつ

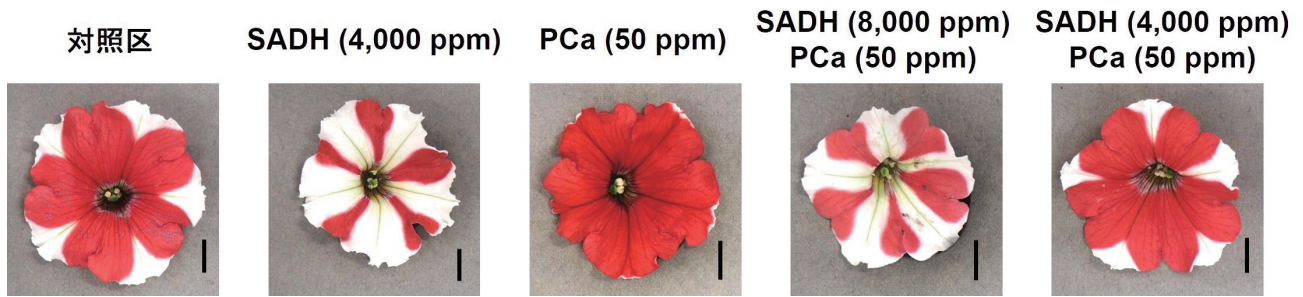


図-7 ‘スターレッドアンドホワイト’に SADH と PCa を併用処理した時の花模様  
 ‘スターレッドアンドホワイト’に 4,000 ppm SADH, 50 ppm PCa を単独処理, あるいは 8,000 ppm SADH と 50 ppm PCa, 4,000 ppm SADH と 50 ppm PCa の併用処理をした時の代表的な花模様を示す。写真は各植物成長調整剤を処理してから 29 日後の様子を示す。

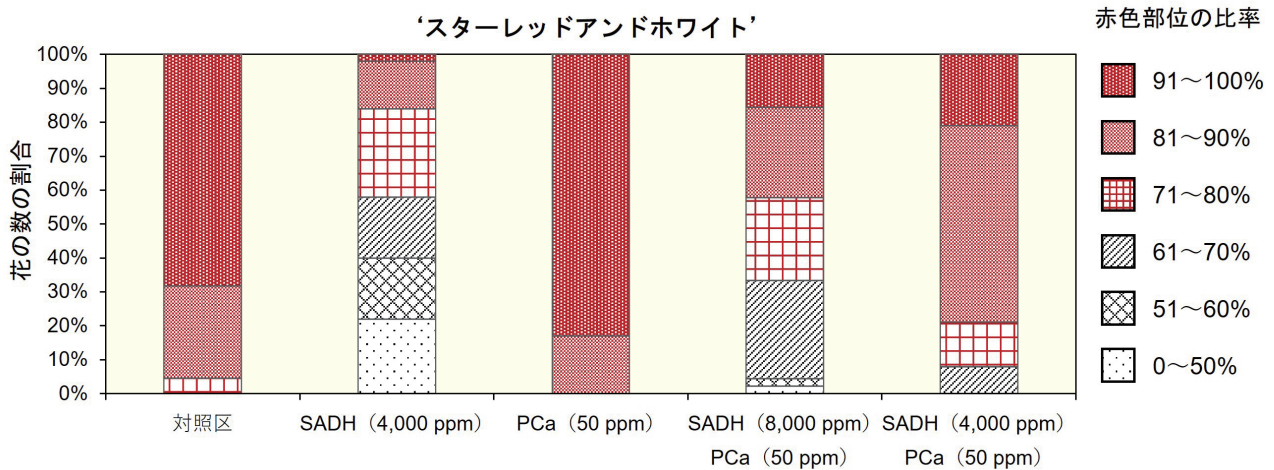


図-8 ‘スターレッドアンドホワイト’における SADH と PCa を併用処理した時の各赤色部位の比率別の花の割合  
 赤色部位が 0 ~ 50%, 51 ~ 60%, 61 ~ 70%, 71 ~ 80%, 81 ~ 90%, 91 ~ 100% の花の数を計測し, 赤色部位の比率ごとの花数の割合を示す。

た。今回の研究結果から、活性型 GA が蓄積すると赤色に、GA の生合成が抑制された場合には白色になることから、CHS の siRNA の蓄積には間接的に活性型 GA が関与している可能性が示唆された。より詳細なメカニズムが明らかになることで、植物成長調整剤が花模様のコントロールにも応用できるかもしれない。

### 謝辞

本稿で紹介した研究の一部は、

JSPS 科研費 JP19K15835 の助成を受けたものである。

### 引用文献

Azuma M, Tachi H, Muramatsu Y, Kubota S, Koshioka M, Momose H 2025. Effects of plant growth retardant and gibberellin on flower coloration patterns of *Petunia × hybrida*. *Plant Growth Regul.* 105, 389-401.  
 Morita Y, Saito R, Ban Y, Tanikawa N, Kuchitsu K, Ando T, Yoshikawa M, Habu Y, Ozeki Y, Nakayama M 2012. Tandemly arranged chalcone synthase

A genes contribute to the spatially regulated expression of siRNA and the natural bicolor floral phenotype in *Petunia hybrida*. *Plant J.* 70,739-749.  
 Rademacher W 2005. Prohexadione-Ca induces resistance to fireblight and other diseases1. *EPPO Bulletin* 34, 383-388.  
 Weiss D, van der Luit A, Knecht E, Vermeer E, Mol JNM, Kooter JM 1995. Identification of endogenous gibberellins in petunia flowers (induction of anthocyanin biosynthetic gene expression and the antagonistic effect of abscisic acid). *Plant Physiol.* 107, 695-702.