

植物成長調整剤として利用される アブシシン酸

住友化学株式会社

汀 恵子

アブシシン酸は、ジベレリンやオーキシンなどと同じ植物ホルモンの一種で、多くの植物に含まれており、植物体内では休眠、発芽、萌芽、開花、成熟、気孔閉鎖、ストレス耐性、離層形成など植物の成長過程で多くの役割を担っていることが知られている。農業園芸分野では、他の植物ホルモンとは異なり実用化がなかなか進まなかったものの、近年、国内では二度目となる農薬登録を取得したことから、アブシシン酸について研究の歴史や主な作用、海外および国内での活用を紹介したい。

1. アブシシン酸の研究の歴史

アブシシン酸は休眠・発芽阻害物質として見いだされ、1950-1960年代に単離と同定が活発に行われた。1963年にアディコットらのグループに参加していた大熊がワタ未熟果実から葉柄離脱物質を単離し、1961年にカーンスが単離した「アブシシン」よりも強い作用を示したことから「アブシシン II」と命名し、1965年に構造を決定した(浅見・柿本 2016)。一方、ウェアリングらのグループがセイヨウカジカエデの葉から休眠誘導物質として「ドルミン」を単離、命名したが、「アブシシン II」と「ドルミン」が同一物質であることが分かり、1967年の第6回国際植物成長物質会議で「アブシシン酸」という名称に統一された(浅見・柿本 2016)。

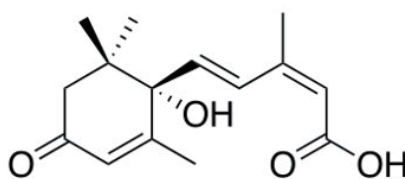


図-1 天然のアブシシン酸の構造

読者の多くが「アブシシン酸」ではなく「アブシジン酸」という名称で習われたと思うが、1998年に発行された日本動物学会・日本植物学会編による『生物教育用語集』で「アブシジン酸」から「アブシシン酸」に変更された(日本動物学会・日本植物学会 1998)。そのため現在は「アブシシン酸」が正式名称となっている。

アブシシン酸はセスキテルペンに分類される構造となっている。ラセミ体のため化学合成すると、S体/(+)-ABAとR体/(-)-ABAが合成されるが、天然のアブシシン酸はS体/(+)-ABAである(図-1)。

2. アブシシン酸の役割、作用

冒頭で述べた通りアブシシン酸は植物体の成長過程で多くの役割を担っているため、植物の成長に関わる5つの役割と国内の農薬登録に関連する作用2点について述べたい。

(1) 気孔の閉鎖

気孔は光合成による二酸化炭素の吸収や酸素の放出、植物体内の水分調節のための蒸散を行っている。アブシシン酸は気孔の閉鎖に関与しており、小

麦や大麦の葉にアブシシン酸を処理すると気孔が閉じて蒸散が抑制される(Mittelheuser and Van Stevaninok 1969)。アブシシン酸合成量が少ないトマト変異体は気孔を閉じることができず、普通のトマトよりも早く萎れる(Chen *et al.* 2003)。この気孔の閉鎖は、アブシシン酸が受容体を介して孔辺細胞にあるイオンチャネルをリン酸化(活性化)することで、イオンおよび浸透圧水が流出し、その結果、孔辺細胞の膨圧と体積が減少することによって引き起こされる(小林・田中 2017; Hsu *et al.* 2021)。

(2) 乾燥ストレス耐性

植物は乾燥や塩、高温など様々な環境に対する応答機構を備えており、アブシシン酸は特に乾燥や塩などによる水分ストレス耐性に関与している。植物が乾燥ストレスにさらされると、内生アブシシン量が劇的に増えるが、ある一定のところでアブシシン酸の蓄積はプラトーになり、乾燥した植物に水を与えてストレスから解放するとアブシシン酸量が減少する(岡本 2016)。

水分ストレス条件下で増加するアブシシン酸は、先に述べた気孔閉鎖によって蒸散を抑制する。低湿度と高湿度条件下ではシロイヌナズナの孔辺細胞中のアブシシン酸含量が異なり、それによって気孔の開閉度が調整される(岡本 2016)。その他、プロリンや糖などの適合溶質の蓄積や、アブシシン酸受容体などを介した遺伝子発現を制御するタンパク質である転写因子

のリン酸化（アブシシン酸の情報伝達）によってストレス応答遺伝子の発現を誘導し（Fujita *et al.* 2011），細胞を乾燥から保護する役割を担う late embryogenesis abundant（LEA）タンパク質やヒートショックタンパク質を発現させる（岡本・鹿妻 2015）。

(3) 種子の成熟

種子の成熟過程において，内生アブシシン酸は種子成熟の中期から高まり，貯蔵物質の蓄積，水分放出に伴う乾燥耐性や種子休眠への獲得に働いている（西村・杉本 2021）。トウモロコシのアブシシン酸関連変異体では，*LEA* 遺伝子やグロブリン-1 などの貯蔵タンパク質遺伝子が発現しないものの，外部からアブシシン酸を与えるとこれら遺伝子の発現が回復する（服部 1995）。また，変異体種子の未熟胚は早熟発芽するが，アブシシン酸付与により早熟発芽が抑制される（服部 1995）。

(4) 種子の休眠と発芽

種子は温度や水分などの環境条件が適切な状態となってから発芽する必要がある。乾燥した種子には多くのアブシシン酸が蓄積しているが，種子に水分を与えて適切な環境に置くとアブシシン酸量が減少し，発芽できる状態となる（岡本・鹿妻 2015; 岡本 2016）。トマトやシロイヌナズナなどのアブシシン酸欠損変異体あるいは非感受性変異体の種子は完熟時でもほとんど休眠性を示さず，また発芽するには不適切

な高温下でも高い発芽率を示す（川上 2005）。

(5) 老化

アブシシン酸は葉柄離脱（器官離脱）を促す物質として単離，同定されたため，老化や器官離脱が代表的な作用と思われるが，アブシシン酸の直接的な作用は判然としておらず，エチレン合成を誘導して老化するという間接的な作用が分かっている（Riov *et al.* 1990; Nomura *et al.* 2013）。また葉は齢によってアブシシン酸感度が異なり，外部からアブシシン酸を若い葉に処理しても感受性が低く，古い葉は感度が高く老化する（Riov *et al.* 1990; Lee *et al.* 2011）。

(6) 農業登録に関連する作用：

① 水稲直播栽培の苗立ちの改善

直播栽培は移植栽培よりも作業の省力化や分散化，労働時間の削減により担い手一人当たりの経営面積の拡大に有効というメリットがある（農林水産省）。その一方で，出芽，苗立ちの不安定さや雑草防除などが問題となっている。

一般的にアブシシン酸は出芽や生育を抑制する働きがあると知られているが，アブシシン酸の処理濃度次第では出芽と初期生育を促進させる働きがある。イネ種籾を 1ppm 以下の低濃度アブシシン酸溶液に 24 時間浸漬処理後に播種すると，種子根長の生育が促進する（禿 1994）。また湛水直播栽培における播種限界温度である 15℃ 前後でも，0.1ppm のアブシシン酸に

24 時間浸漬処理したコシヒカリ種子は出芽率が向上し，初期生育が促進する（林ら 1996）。

苗立ち改善のためにはイネ幼植物体の中茎の成長が重要と言われている。中茎の成長に係る多くの遺伝子のうち，細胞壁伸展を介して細胞成長を促すタンパク質としてエクспанシン遺伝子がある（Choi *et al.* 2003; Zhan *et al.* 2020）。アブシシン酸はこのエクспанシン遺伝子の発現量を増加させる作用がある（渡邊ら 2018; 渡邊ら 2019）。

② ぶどう果皮の着色

温暖化により，黒系や赤系品種の着色不良・着色遅延に悩む都道府県が年々増加している（農林水産省 2020）。ぶどう果皮の着色不良は品質低下，つまり生産者の減収に繋がる。その対策として環状剥皮や‘シャインマスカット’のような白系品種などが導入されているが，環状剥皮は樹皮を傷つけることから樹勢の劣化に繋がるというリスクがある。

ぶどう果皮の色素成分であるアントシアニンの生合成経路において，UDP グルコース：フラボノイド 3'-O-糖転移酵素（UFGT, Boss *et al.* 1996a, b）が鍵となる酵素で，アントシアニン前駆体からアントシアニンを生合成する。*UFGT* 遺伝子は，遺伝子発現を制御するタンパク質である *MybA* 遺伝子によって制御される（Kobayashi *et al.* 2002）。

アブシシン酸は，ぶどう果皮の着色

(a) 無処理区



(b) アブシシン酸処理区



図-2 外部からアブシシン酸を処理した場合のぶどう果皮の着色促進効果
 (a) 無処理区, (b) アブシシン酸処理区 (1000ppm)
 場所: 香川県農業試験場 府中果樹研究所
 試験実施年: 2020 年
 品種: ピオーネ
 栽培方法: 雨よけトンネル栽培
 アブシシン酸処理日: 2020 年 7 月 4 日
 写真撮影日: 2020 年 8 月 4 日

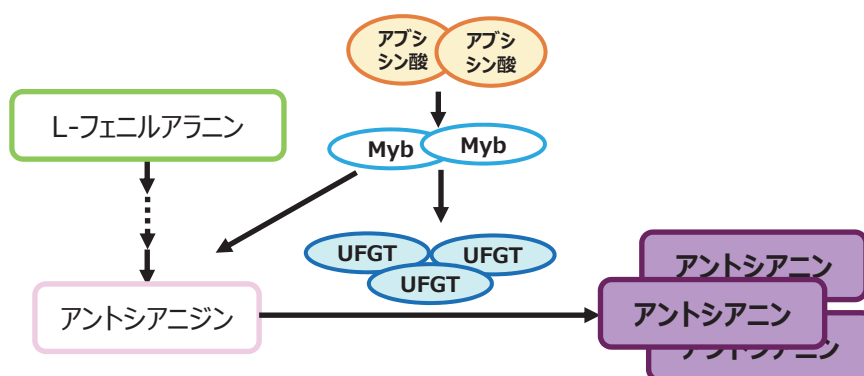


図-3 アブシシン酸処理時のぶどう果皮中のアントシアニン生合成反応アブシシン酸によって UFGT の産生などが促進され、アントシアニンの生成が促進されることで、ぶどう果皮の着色が促進する。

をはじめ果実成熟の主要な役割を担うとされており、果実中のアブシシン酸含量はベレーゾン期頃に急激に増加し (東 2016)、果皮中のアントシアニンの生合成を促進させる (Azuma 2018)。外部からアブシシン酸を処理すると、アントシアニン含量が増加し (Jeong *et al.* 2004)、着色が促進または無処理よりも向上する (図-2, Peppi *et al.* 2008 ; Koyama *et al.* 2018)。これはアブシシン酸処理により *MybA* 遺伝子と *UFGT* 遺伝子を含む複数のアントシアニン生合成関連酵

素遺伝子の発現が増加するためである (図-3, Jeong *et al.* 2004; Koyama *et al.* 2010)。

3. 海外でのアブシシン酸の実用化

海外の農業園芸分野において、アブシシン酸はチリ、アメリカ、南アフリカなどで農業登録されている。ぶどう果皮の着色促進、りんごとなしの摘果および果実肥大などを目的として使用されている。

4. 国内でのアブシシン酸の実用化

表-1 に国内におけるアブシシン酸の実用試験および農業登録に関する年表を示す。1993 年から水稻の健苗育成を目的にアブシシン酸の公的試験が開始され (財団法人 日本植物調節剤研究協会 1994)、1996 年 9 月に三共アグロ株式会社と北興化学工業株式会社が、アブシジン酸水溶剤として国内で初めて農業登録を取得した。この製

表-1 国内におけるアブシシン酸の実用検討および農薬登録の流れ

年	内容
平成 5 年（1993年）	水稻の健苗育成目的でアブシシン酸の作用性試験および適用性試験開始
平成 8 年（1996年）	三共アグロ株式会社および北興化学工業株式会社がアブシジン酸水溶剤「三共アブシジン酸水溶剤」および「ホクコーアブシジン酸水溶剤」の農薬登録を取得
平成20年（2008年）	「三共アブシジン酸水溶剤」および「ホクコーアブシジン酸水溶剤」の農薬登録失効
平成27年（2015年）	ぶどう（巨峰、ピオーネ）の着色促進目的でアブシシン酸の適用性試験開始
令和 4 年（2022年）	住友化学株式会社がアブシシン酸液剤「アブサップ液剤」の農薬登録を取得

品は湛水直播水稻での苗立ち改善・向上を目的にしたものだが、2008年に失効した。

再び農薬登録を目指した公的試験は2015年から行われ、2022年10月に住友化学株式会社が、ぶどう（巨峰、ピオーネ）の着色促進を目的にアブシシン酸液剤「アブサップ[®]液剤」として農薬登録を取得し、販売を始めた。本製品を使用することで、これまで着色不良による品質低下に悩んでいた生産者の問題解決の糸口となり、収益向上に寄与することが期待される。

引用文献

浅見忠男・柿本辰男 2016. 新しい植物ホルモンの化学 第3版. 株式会社 講談社, 53-54.
 東暁史 2016. 果樹研究のバイオインフォマティクス 第2章 第4節 ブドウゲノム・遺伝子発現解析による果実成熟機構に関する研究の進展. 農研機構 果樹研究所, 171-201.
 Azuma, A. 2018. Genetic and environmental impacts on the biosynthesis of anthocyanins in grapes. *Hort. J.* 87(1), 1-17.
 Boss, P. K. *et al.* 1996a. Analysis of the expression of anthocyanin pathway genes in developing *Vitis vinifera* L. cv Shiraz grape berries and the implications for pathway regulation. *Plant Physiol.* 111, 1059-1066.
 Boss, P. K. *et al.* 1996b. Expression of anthocyanin biosynthesis pathway genes in red and white grapes. *Plant Mol. Biol.* 32, 565-569.
 Chen, G. *et al.* 2003. Comparison of growth of *flacca* and wild-type tomato

grown under conditions diminishing their differences in stomatal control. *Plant Science.* 164, 753-757
 Choi, D. *et al.* 2003. Regulation of expansin gene expression affects growth and development in transgenic rice plants. *The Plant Cell.* 15, 1386-1398.
 Fujita, Y. *et al.* 2011. ABA-mediated transcriptional regulation in response to osmotic stress in plants. *J. Plant Res.* 124, 509-525
 服部東穂 1995. 総説 種子成熟過程におけるアブシジン酸応答性転写制御機構に関する研究. 日本農芸化学会誌 69(12), 1573-1580.
 林元樹ら 1996. 水稻湛水直播栽培のアブシジン酸利用による発芽向上. 愛知県農業総合試験場研究報告 28, 31-36.
 Hsu, P. K. *et al.* 2021. Signaling mechanisms in abscisic acid-mediated stomatal closure. *The Plant Journal.* 105, 307-321.
 Jeong, S. T. *et al.* 2004. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins. *Plant Science* 167, 247-252.
 禿泰雄 1994. アブシジン酸の実用化研究の現状と課題. 植物の化学調節 29(2), 155-165.
 川上直人 2005. 特集「時を超えて生きる－休眠のめ果ニズムとその応用－」種子の休眠・発芽と温度－発芽調節メカニズムの解明をめざして－. 日緑工誌 30(3), 514-517.
 Kobayashi, S. *et al.* 2002. *Myb*-related genes of the Kyoho grape (*Vitis labruscana*) regulate anthocyanin biosynthesis. *Planta.* 215, 924-933.
 小林勇気・田中寛 2017. 植物ホルモン・アブシシン酸の進化と機能 植物ホルモン・

アブシシン酸獲得のルーツ. 化学と生物 55(4), 256-262

Koyama, K. *et al.* 2010. Absciscic acid stimulated ripening and gene expression in berry skins of the Cabernet Sauvignon grape. *Funct. Integr. Genomics.* 10, 367-381.
 Koyama, R. *et al.* 2018. Exogenous abscisic acid promotes anthocyanin biosynthesis and increased expression of flavonoid synthesis genes in *Vitis vinifera* x *Vitis labrusca* table grape in a subtropical region. *Frontiers in Plant Science.* 9, 323.
 Lee, I. C. *et al.* 2011. Age-dependent action of an ABA-inducible receptor kinase, RPK1, as a positive regulator of senescence in Arabidopsis leaves. *Plant Cell Physiol.* 52(4), 651-662.
 Mittelheuser, C. J. and Van Steveninok, R. F. M. 1969. Stomatal closure and inhibition of transpiration induced by (RS)-abscisic acid. *Nature.* 221, 281-282
 日本動物学会・日本植物学会編 1998. 生物教育用語集. 東京大学出版会, 191.
 西村宜之・杉本和彦 2021. アブシシン酸を介する種子休眠制御の分子機構. 植物の生長調節 56(1), 7-13.
 Nomura, Y. *et al.* 2013. Role of ABA in triggering ethylene production in the gynoecium of senescing carnation flowers: changes in ABA content and expression of genes for ABA biosynthesis and action. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 82(3), 242-254.
 農林水産省 2020. 令和元年 地球温暖化影響調査レポート.
 農林水産省 最新の直播栽培の現状と技術の紹介（令和4年産）<https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatu/attach/pdf/chokuha-22.pdf> (2024/8/21 閲覧)

岡本昌憲・鹿妻良亮 2015. Physiological action and application of abscisic acid, which controls drought stress response in plants. Journal of Japanese Society for Extremophiles. 14(2), 78-88.

岡本昌憲 2016. アブシジン酸の代謝と受容に関する化学遺伝学的研究．植物の生長調節 51(1), 16-23.

Peppi, M. C. *et al.* 2008. Application of abscisic acid rapidly upregulated UFGT gene expression and improve color of grape berries. Vitis. 47(1), 11-14.

Riov, J. *et al.* 1990. Characterization of abscisic acid-induced ethylene production in citrus leaf and tomato fruit tissues. Plant Physiol. 92, 48-53.

渡邊肇ら 2018. アブシジン酸 (ABA) の中茎伸長促進作用における α -エクスパンシン遺伝子の発現．日本作物学会第 246 回学会講演会要旨集, 89.

渡邊肇ら 2019. アブシジン酸 (ABA) の中茎伸長促進作用における β -エクスパンシンとエクスパンシン様遺伝子の解析．日本作物学会第 247 回学会講演会要旨集, 172.

財団法人 日本植物調節剤研究協会 1994. 植調三十年史．財団法人 日本植物調節剤研究協会, 102.

Zhan, J. *et al.* 2020. Mesocotyl elongation, an essential trait for dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.): a review of physiological and gene basis. Planta. 251, 27.

統計データから

コメ・コメ加工品の輸出実績

2023 年のコメ・コメ加工品の輸出総額は 577 億円で、2020 年の 347 億円から 1.6 倍に伸びている。数量（原料米換算）についても同様である（表 -1）。2024 年 1～8 月の対前年同期比でみると、+ 7 % と増加傾向は続いている。主な輸出先は、米国、中国、香港がほぼ同じ割合で、それぞれが 2 割強を占める。

品目別に輸出額をみると、日本酒が最も多く、全体の 71.2% を占めている。中国が最大の輸出先で 30% を占め、米国 22%、香港 15% と続く。

次いでコメとなるが、輸出額は 94 億円で全体の 16.3%、輸出数量は 37,186 トン（精米・玄米・粳・碎米）である。主な輸出先は香港が 28%、米国 19%、シンガポール 12% で、日系の中食・外食を中心した需要が増え、輸出は大きく伸びており、2020 年に比べると約 1.8 倍となっている。

なお、以下の品目も数量・金額ともに増加している。米菓（あられ・せんべい）は、輸出数量（原料米換算）3,880 トン、輸出額 61 億円（全体の 10.6%）で、主な輸出先は米国 27%、台湾 20%、香港 16% である。パックご飯等は、輸出数量（同）837 トン、輸出額 10 億円（全体の 1.7%）で、輸出先は米国 34%、香港 18%、台湾 17% である。米粉及び米粉麺は、輸出数量 125 トン、輸出額 0.8 億円（全体の 0.1%）で、輸出先はタイ 29%、米国 18%、台湾 14%、シンガポール 12%、ドイツ 9 % となっている。

なぜ、ドイツで米粉？ と思って調べて見ると、米粉は小麦などに含まれるグルテンを含んでいないグルテンフリーの食品素材である。小麦アレルギーがあるヨーロッパの人々にとって、日本から輸入した米粉を使つてのグルテンフリーのパンやお菓子が人気が出て、一定量の米粉の消費が生じているようである。（K.O）

表 -1 コメ・コメ加工品の輸出実績

品 目 名	2020年		2023年						
	数 量 (t)	金 額 (億円)	数 量 (t)	金 額 (億円)	主な輸出先国と全体の輸出金額に占める割合（数字は%）				
					1	2	3	4	5
合 計	36,569	347	58,473	577	米国 22.3	中国 22.2	香港 21.8	台湾 8.6	韓国 5.7
コ メ	19,781	53	37,186	94	香港 27.9	米国 18.8	Singapore 12.3	台湾 9.4	カナダ 4.2
米 菓	3,589	45	3,880	61	米国 26.8	台湾 20.1	香港 15.5	韓国 5.1	Singapore 4.8
日本酒（清酒）	12,257	241	16,445	411	中国 30.3	米国 22.1	香港 14.7	韓国 7.1	台湾 6.5
パックご飯等	634	7	837	10	米国 34.2	香港 17.6	台湾 17.0	韓国 5.6	Singapore 5.2
米粉及び米粉製品	308	0.7	125	0.8	タイ 29.2	米国 17.5	台湾 13.5	Singapore 12.3	ドイツ 8.9

注）出典は米に関するマンスリーレポート。
表中の数量は原料米換算。また、コメ（精米・玄米・粳・碎米）は援助米を除いたもの。