



Title	海苔の原料であるスサビノリにおけるエチレン前駆物質の役割について
Author(s)	宇治, 利樹
Citation	アグリバイオ, 6(11), 38-41
Issue Date	2022-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/86911
Type	journal article
File Information	agribio_vol.6(11).pdf



海苔の原料であるスサビノリにおけるエチレン前駆物質の役割について

The role of ethylene precursor in *Neopyropia yezoensis*.

宇治 利樹

北海道大学大学院水産科学研究院

Keywords: エチレン、1-アミノシクロプロパンカルボン酸、スサビノリ、有性生殖

要約

栄養生長から生殖生長の切り替えは、海藻類の生活環において最もダイナミックなイベントの一つである。海藻類は日長や水温といった外界の環境を感知することで、栄養生長から生殖生長の転換を調節していると考えられているが、それらを制御する内在性因子については長らく不明であった。近年、筆者らは海苔の原料であるスサビノリの有性生殖やストレス耐性に、エチレンの前駆物質である 1-アミノシクロプロパンカルボン酸 (ACC) が重要な役割をしていることを明らかにしつつあるため、それらの知見について概説したい。

はじめに

スサビノリは紅藻に分類される海藻で、海苔の原料として私たちの食卓には欠かせないものとなっている。本種の生活環は長らく不明であったが、1950年代にその全容が明らかにされたことによって、海苔の養殖が可能となり、現在、我が国において、その生産額は1000億円近くにも及ぶ。スサビノリは葉状の配偶体（葉状体）として冬を過ごし、春先になると雄の生殖器官である造精器と、雌の生殖器官である造果器を形成し、これが受精することで果胞子ができる。果胞子は放出後、発芽することで糸状の胞子体（糸状体）となり、夏の間はこの体で貝殻の中で過ごすと考えられている。糸状体は秋になると胞子（殻胞子）を放出し発芽することで葉状体へ戻る。ちなみに海苔の原料として利用されているのは葉状体である。

一般的に生長と繁殖の資源配分はトレードオフの関係にあると考えられるため、生長と生殖の切り換えを制御することによって、多収性品種の作出が期待される。実際に海苔養殖で利用されている株としては、野外から選抜されたナラワスサビノリが用いられてきたが、この株は成熟が遅い分、生長が良好であることが知られている。しかしながら、スサビノリを含む海藻における生長と生殖の制御機構に関しては不明な点が多い。そこで、筆者らはスサビノリの有性生殖機構の解明に向けて研究を行ってきたので、その成果について紹介したい。

1. 1-アミノシクロプロパンカルボン酸による有性生殖の誘導

スサビノリは室内培養において、春の条件、すなわち高水温と長日条件下で有性生殖が促進

されるが、これを制御する内在性因子については不明であった。そこで筆者らは藻類においては未だ機能がはっきりしない植物ホルモンに着目し、スサビノリの有性生殖を誘導する植物ホルモンを探索した。エチレンは気体の植物ホルモンで、陸上植物では果実の成熟や老化を制御することが古くから知られている。植物のエチレン研究では、エチレン処理方法として、気体のエチレンを直接作用させる代わりに、水への溶解性が高い前駆物質である 1 アミノシクロプロパンカルボン酸 (ACC) が使用されることがある。そこで、エチレンの前駆物質である ACC を培地中に添加してスサビノリ葉状体を培養したところ、生長の抑制と共に造精器と果胞子の形成が促進されることが明らかとなった (1)。また、培養フラスコの気相中のエチレン量を測定した結果、通常培養条件下では、エチレンは検出されなかったが、ACC 処理区においては、エチレンの発生が検出されたため、当初はエチレンがスサビノリの成熟を促進したものと考えられた。しかしながら、ACC の類縁体である α -アミノイソ酪酸 (AIB) や 1-アミノシクロブタンカルボン酸 (ACBC) を葉状体に処理した場合においても造精器と果胞子の形成が促進された (2,3)。そのため、ACC 処理による成熟誘導効果は、ACC から生成されたエチレンではなく、ACC 自体の応答による可能性が考えられた。この可能性を裏付けるように、エチレン発生剤であるエテフォンで処理した場合は、ACC 処理により見られた成熟の促進は観察されなかった (図 1)。

ACC がどのような作用により本種の有性生殖を制御するかは不明な点が多いが、ACC 処理藻体において、NADPH オキシダーゼをコードする *respiratory burst oxidase homolog (Rboh)* 遺伝子の発現上昇と共に活性酸素種 (ROS) の生成が促進される (2)。陸上植物では NADPH オキシダーゼにより産生された ROS は、植物ホルモンのシグナル伝達系に作用し、ストレスや防御応答だけでなく、細胞分化や細胞周期などの様々な生理応答に関与することが知られている (4)。また、ROS はシグナル分子としての働きだけでなく、細胞壁を構成する多糖類の切断を引き起こし、細胞壁を柔軟にさせる役割も知られているため、生殖細胞放出時に起こる細胞壁分解にも ROS が関与している可能性がある。さらに最近の研究において、動植物の細胞内シグナリングとして重要な役割をもつホスホリパーゼ D が、ホスファチジン酸の産生を介してスサビノリの ACC シグナル伝達系に関与する証拠が得られている (図 2) (5)。

2. 1-アミノシクロプロパンカルボン酸によるストレス耐性の向上

有性生殖の誘導に加えて、ACC やその類縁体である AIB や ACBC をスサビノリ葉状体に処理することによって、酸化ストレスや高温ストレスに対する耐性が向上することが示されている (1,2,6)。シグナル分子として重要な働きをする ROS だが、光合成生物にとって、過剰な ROS は酸化的損傷を引き起こし、光合成装置、特に光化学系 II (PSII) に深刻な損傷を与えるため、葉緑体における ROS の発生量を制御することは非常に重要である。ACC 処理により成熟誘導させたスサビノリ葉状体では、抗酸化物質であるアスコルビン酸 (AsA) の合成が促進される (2)。陸上植物では、AsA は葉緑体に豊富に存在し、PSII の電子供与

体として機能することが知られており、それによって植物は、高温や高光量条件下で PSII の不活性化を抑制している (7)。スサビノリは、一般的に春先に有性生殖し、高温ストレスに曝される夏の時期には糸状体として過ごすため、有性生殖時に AsA が増加することで、次の世代である糸状体の生育環境に適応している可能性が示唆される。

おわりに

スサビノリにおいて、生長が抑制されることで有性生殖とストレス耐性が促進されることが明らかとなり、限られた資源を適切に配分することが、本種の生殖の成功に必要な不可欠であることが示された。今後、ACC がこのようなトレードオフをどのように制御しているかを理解していくことで、海苔の生産性や品質を向上させる新しい育種、例えば、生殖やストレス応答の資源配分を生長へ人為的に転換することで、高収量な品種を作出することが期待される。

文献

- 1) Uji, T., Matsuda, R., Takechi, K. *et al.* (2016): J. Appl. Phycol. 28: 3501-3509.
- 2) Uji, T., Endo, H., Mizuta, H. (2020): Front. Plant Sci. 11: 60.
- 3) Endo, H., Mizuta, H., Uji, T. (2021): J. Appl. Phycol. 33: 1081-1087.
- 4) Mittler, R. (2017): Trends Plant Sci. 22: 11–19.
- 5) Uji, T., Kandori T., Konishi S. *et al.* (2022a): BMC Plant Biol. 22: 181.
- 6) Uji, T., Mizuta, H. (2022b): J. Appl. Phycol. 34: 1527-1536.
- 7) Tóth, S. Z., Nagy, V., Puthur, J. T. *et al.* (2011): Plant Physiol. 156: 382-392.

謝辞

本研究は、科研費（19K15907, 22K05779）による助成を受けて行われたものである。

図 1. 1-アミノシクロプロパンカルボン酸 (ACC) 依存的なスサビノリの有性生殖誘導

スサビノリ未成熟葉状体を 50 μM あるいは 500 μM の ACC で処理した場合には、生長が抑制されると共に、造精器（色素が抜けている細胞）の形成が見られるが、エチレン発生剤であるエテフォンで処理した場合にはその効果は見られない。(文献 2 より転載、一部改変)

図2 1-アミノシクロプロパンカルボン酸によるスサビノリの有性生殖誘導メカニズム

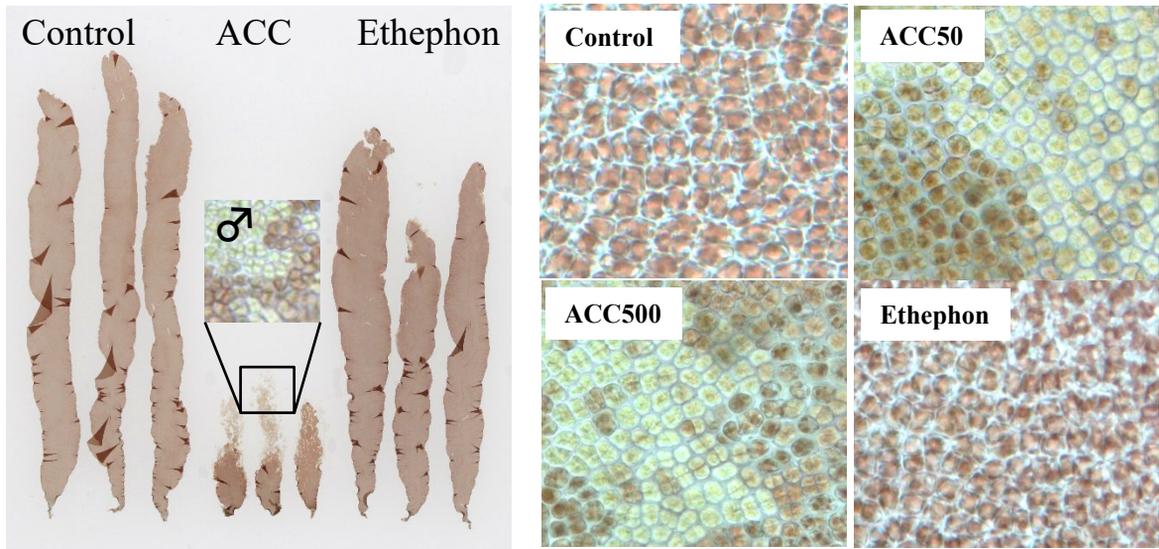


図1. 1-アミノシクロプロパンカルボン酸(ACC)依存的なスサビノリの有性生殖誘導

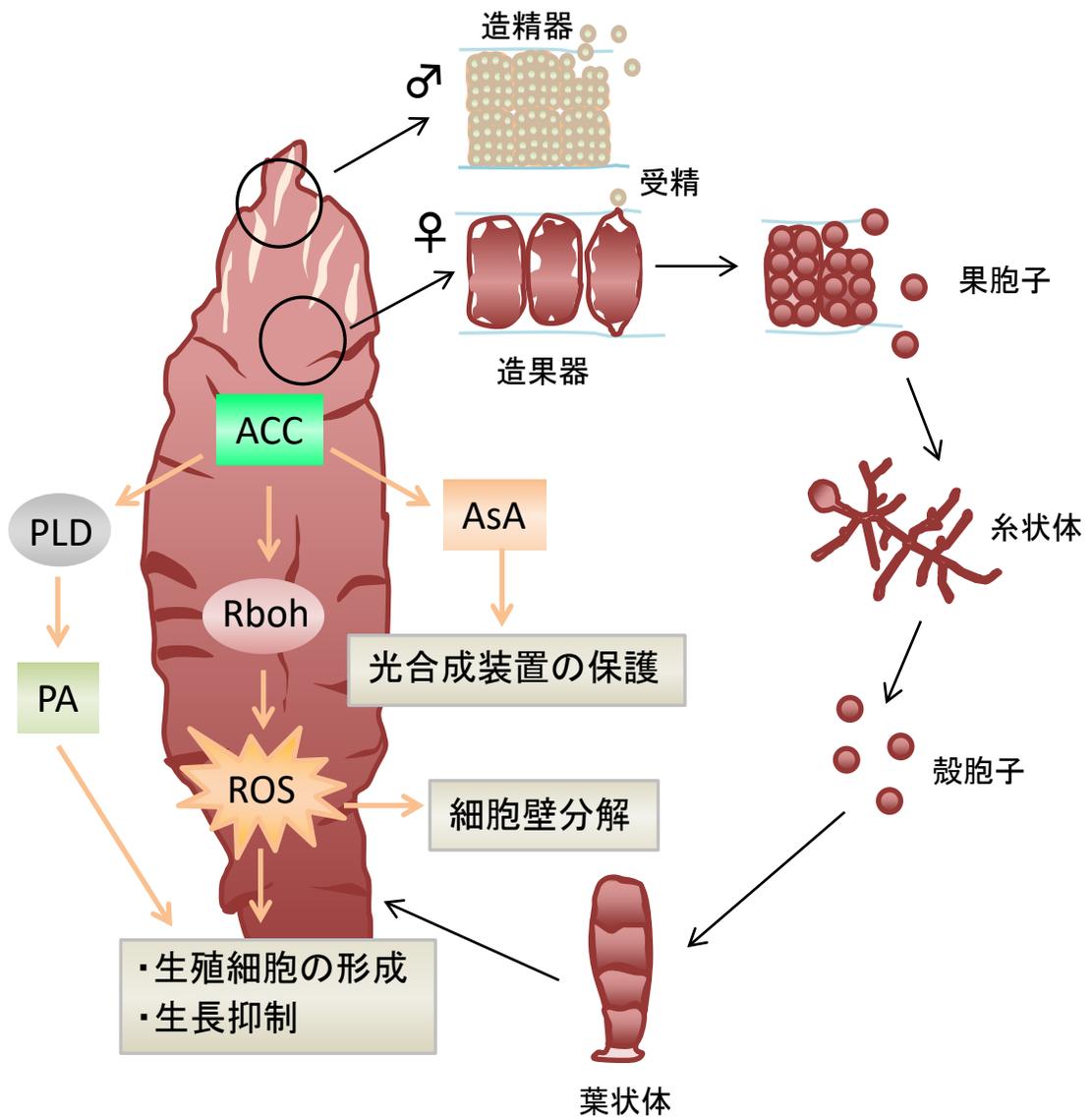


図2. 1-アミノシクロプロパンカルボン酸によるスサビノリの有性生殖誘導メカニズム