

研究紹介

北海道大学大学院理学研究院

北海道大学大学院理学研究院

佐藤 長緒
眞木 美帆

有機酸によるイネ子葉鞘の伸長促進について

●ポイント

- ・イネ種もみの乳酸菌培養抽出液処理により、冠水条件下での子葉鞘伸長促進効果を発見した
- ・乳酸やクエン酸といった有機酸にもイネ子葉鞘伸長促進効果があることが分かった
- ・有機酸処理により、イネ胚での嫌気代謝が活性化されている可能性が示唆された

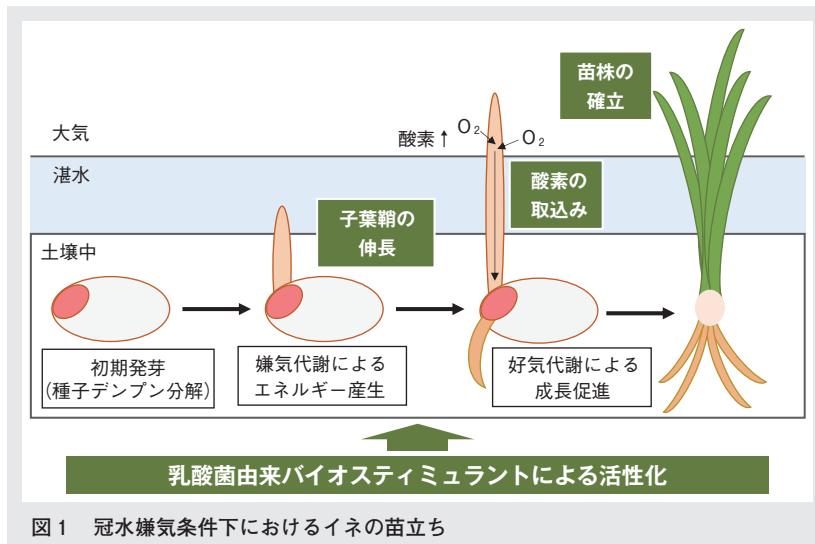
1. はじめに

米は、日本人の主食であると同時に、今後海外への有力輸出品として期待される農産物でもあります。しかし国内では、担い手の減少や高齢化問題が顕著となっています。加えて、近年様々な農業資材やエネルギーのコストが上昇しているため、農業の収益性の向上は重要な課題です。そのため、稲作の効率化はいずれの課題を解決する上でも喫緊の課題となっています。こうした状況下で注目されているのが「直播栽培」による稲作です。これまで国内で普及してきた稲作形態は移植栽培であり、これに必要な「育苗」と「田植え」作業は、全労働時間の4分の1を占めるため、稲作農家にとって大きな負担になっています^{1,2)}。著者自身も実家では稲作を行っていたため、春の田植え時期は幼少期の楽しい思い出であると同時に、その大変さも実感していました。こうした労働コストを大きく削減する方法として、水を張った湛水田に直接種子を播き生育させる直播栽培への期待が高まっています。実際に、水稻直播栽培の面積は、令和5年時点で水稻栽培面積の約2.9%である38,838haとなっており、年々増加傾向にあります²⁾。国際的には直播栽培が一般的であり、国内産米価の競争力を高める上でも我が国の環境に適った直播栽培技術の確立が求められています。

しかし、国内におけるイネ直播栽培の普及には幾つかの課題もあります。そのひとつは冠水嫌気条件（酸素欠乏条件）下での発芽・成長不良により、欠株率が増加することです。特に、東北や北海道のような直播栽培初期に低温となる地域ではより注意が必要になります。本稿では、近年私たちが取組んできた、冠水嫌気条件下でのイネの生育促進に関する研究から明らかになった乳酸菌培養抽出液成分の有用性やそれがイネにどのような影響を与えるかについて調べた結果について紹介させていただきます。直播栽培の課題としては、上記の他にも、土壌への定着率の低下や鳥類による食害、食味への影響等が挙げられており、その解決策も検討されていますが、詳しくは小鎧氏による報告³⁾をご参照下さい。

2. 乳酸菌培養抽出液由来成分によるイネ子葉鞘伸長促進効果の発見

上述のように、直播栽培をより効率的なものにする際に重要なのが、湛水に播種後の種子の発芽から苗株の確立（以下「苗立ち」）をより安定したものにすることです。湛水土壌では土の表面から数mmを除いて酸素量が不足した嫌気条件となります。こうした湛水・嫌気条件でのイネの苗立ちに重要なのが、「子葉鞘」という器官の伸長です（図1）。イネ種子は、低酸素状態を感知すると、酸素を使わずに糖を代謝する「嫌気代謝系」を駆動することでエネルギーを产生し、「子葉鞘」を伸長させる能力を有します。子葉鞘の先端が大気中に突出し、酸素を取り込むことができるようになると、種子貯蔵栄養と酸素を用いた好気代謝によるより活発なエネルギー产生を開始し、根の伸長や本葉の展開が行われます（図1）。このように、子葉鞘はいわばシュノーケルのような役割を果たし、イネ胚に酸素を供給する重要な役割を果たします。よって、直播栽培においても、湛水に播種した際にいかに子葉鞘の伸長を活発に行えるかが鍵となります。私た



ちは、雪印種苗株式会社との共同研究を通して、イネ種もみを乳酸菌培養抽出液で前処理することで、冠水条件下での子葉鞘伸長を促進することを見出しました（図2）⁴⁾。この実験では、計4日間の催芽処理において、水もしくは乳酸菌培養抽出液を希釈した溶液（ELM）で処理したところ、水での催芽処理に比べて、ELM処理した場合には、冠水嫌気条件での子葉鞘伸長が有意に促進されていました（図2）。こうした効果は、研究用のモデル品種である「日本晴」に加えて、直播指向品種である「大地の星*」でも同様に発揮されることも確認されました。また、この実験は、15°C、光照射を行わない暗黒化という条件下で実施されており、実際の湛水圃場での直播栽培条件に近い環境下で実施されることからも、乳酸菌培養抽出液に直播栽培効率化に資する有用成分が含まれていることが期待されました。そこでさらに、この有用成分の探索を実施しました。

3. イネ子葉鞘伸長促進効果を有する成分と作用機序について

乳酸菌培養抽出液中には様々な成分が含まれています。その特徴や過去の知見⁵⁾から、私たちは有機酸と呼ばれる代謝物に注目しました。例えば、乳酸菌の名前にあるように、乳酸は乳酸菌培養抽出液に含まれる主要な代謝物であり、これも有機酸の一種です。乳酸を希釈し、イネ種子の催芽時に処理した結果、子葉鞘伸長促進効果があることが分かりました（図3）。さらに、他の有機酸処理も実施し、TCA回路と呼ばれる代謝経路で主要な有機酸であるクエン酸にも子葉鞘伸長促進効果があることが分

かりました⁴⁾。では、こうした有機酸はどのようにして冠水中での子葉鞘伸長を促進するのでしょうか？その仕組みを理解するために、冠水中でのイネ胚におけるエネルギー生産に重要な役割を果たす嫌気呼吸経路に関わる遺伝子の発現変化について調べました。PCRという手法を用いて解析した結果、嫌気呼吸において主要な役割を果たす代謝酵素（アルコール脱水素酵素ADH等）の遺伝子発現量がクエ

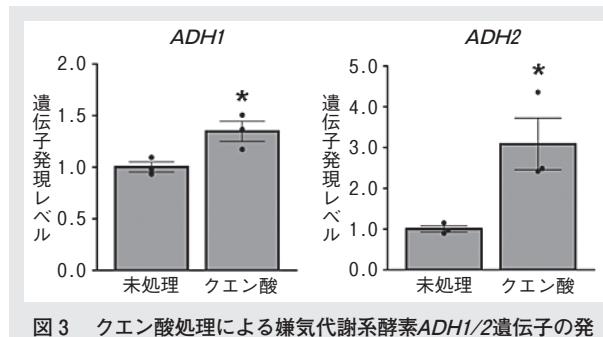
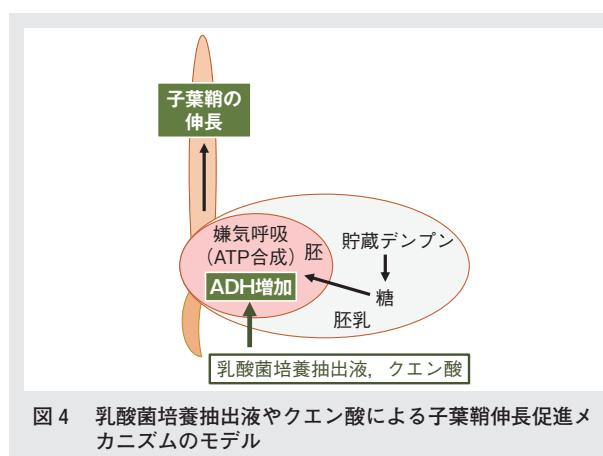


図3 クエン酸処理による嫌気代謝系酵素ADH1/2遺伝子の発現增加（文献4（Kubo et al., 2025, Plant Biotechnology）より改変）



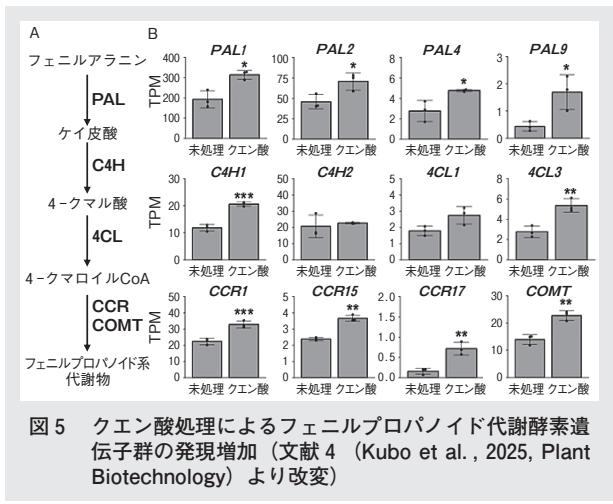


図 5 クエン酸処理によるフェニルプロパノイド代謝酵素遺伝子群の発現増加 (文献 4 (Kubo et al., 2025, *Plant Biotechnology*) より改変)

ン酸処理後のイネ胚で有意に増加していることが分かりました (図 3)。よって、クエン酸処理は、冠水中での嫌気代謝を活性化することで、子葉鞘の伸長を促進することが示唆されました (図 4)。さらに、RNA-seqという手法を用いて、イネ胚における遺伝子の発現を網羅的に解析した結果、フェニルプロパノイドと呼ばれる植物特化代謝物 (二次代謝物) の合成経路の酵素遺伝子発現が全体的に活性化していることも明らかになりました (図 5)。フェニルプロパノイドは、植物の細胞壁強度を高めるリグニンや紫外線からの防御物質であるフラボノールといった多様な生理機能を有する代謝物を含みます。しかし、フェニルプロパノイドが子葉鞘伸長に及ぼす影響はほとんど分かっておらず、今回の発見はこれまで分かっていなかったフェニルプロパノイド代謝物の生理機能を解き明かすヒントになるかもしれません。これについては今後の研究成果が待たれます。

4. おわりに

今回ご紹介させて頂いた研究の結果から、乳酸菌培養抽出液に含まれる成分が有する植物成長促進効果について新たな知見が得られました。私たちは、これまでにも雪印種苗株式会社との共同研究から、乳酸菌培養抽出液に含まれる植物成長活力成分を研究し、発根を促進する物質の単離に成功しています^{6, 7)}。今回見出された子葉鞘伸長促進効果を有する有機酸は、それとも異なるものであり、乳酸菌培養抽出液中にはまだまだ多様な有用成分が含まれる可能性が期待されます。また、本稿では子葉鞘伸長促進に焦点を絞った研究結果について紹介しまし

たが、イネ種子催芽処理時の乳酸菌培養抽出液処理は、湛水土壤ポッドにおける出穗促進効果や実際の農業現場である湛水田でのイネ収量増加にもつながるという結果が得られており、詳しくは小鎧氏による報告³⁾もご参照下さい。

今後、有機酸処理による子葉鞘伸長促進効果の詳細や新たな有用成分が発見されることで、イネ直播栽培のさらなる効率化に寄与し、日本の稻作の省コスト・省エネルギー化に役立つことが出来れば幸いです。

5. 参考文献

- 古畠昌巳 (2009) 湛水直播水稻の出芽・苗立ち向上に向けて. 日作紀. 78卷 2号 p153-162
- 農林水産省 (2025) 水稻直播栽培の現状について. <https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatsu/attach/pdf/chokuha-32.pdf>
- 小鎧亮介 (2022) 水稻直播栽培における苗立ちの確立に向けた鬚根242の利用. 牧草と園芸 第70卷第2号 p25-29
- Kubo A, Sanagi M, Maki Y, Koyari R, Sakuma F, Yamaguchi J and Sato T (2025) Citrate pretreatment promotes rice coleoptile elongation under submergence, *Plant Biotechnol.*, 42: 57-64
- Colmer TD, Kotula L, Malik AI, Takahashi H, Konnerup D, Nakazono M, Pedersen O (2019) Rice acclimation to soil flooding: Low concentrations of organic acids can trigger a barrier to radial oxygen loss in roots. *Plant Cell Environ* 42: 2183-2197
- Maki Y, Soejima H, Kitamura T, Sugiyama T, Sato T, Watahiki MK and Yamaguchi J (2021) 3-Phenyllactic acid, a root-promoting substance isolated from Bokashi fertilizer, exhibits synergistic effects with tryptophan. *Plant Biotechnol.*, 38: 9-16
- Maki Y, Soejima H, Sugiyama T, Watahiki MK, Sato T and Yamaguchi J (2022) 3-Phenyllactic acid is converted to phenylacetic acid and induces auxin-responsive root growth in *Arabidopsis* plants. *Plant Biotechnol.*, 39: 111-117