

ピカルブトラゾクスの植調作用について



日本曹達（株） 圃場評価研究部 アグロ製品研究グループ
福島 悠介 池田 庸二 山田 茂雄
Yusuke Fukushima Yoji Ikeda Shigeo Yamada

1. はじめに

ピカルブトラゾクス（Picarbutrazox）は日本曹達株式会社が発明した新規系統のテトラゾリルオキシム系殺菌剤であり、べと病菌、疫病菌、ピシウム属菌などの卵菌類由来の病害に対して優れた効力を示す。本剤の作用機構は新規と推定されており（FRAC code：U17）、既存剤の耐性菌にも有効である。

さらに、ピカルブトラゾクスは殺菌作用だけでなく根の生育促進を中心とした植物生長調節作用（以下、植調作用）の登録を有する（表1）。作用メカニズムを解明することによって、ピカルブトラゾクスの特徴をより広く理解いただけるものと期待し、研究を開始した。当初は手掛かりが乏しく、その解明は非常に困難であると予想された。しかし、近年急速に発展した遺伝子解析技術（RNA-seq）を活用し、従来の研究手法と組み合わせることで興味深い知見を得ることができた。

本稿では農薬学会第49回大会（福島ら、2023）での報告内容に加え、一部新たな知見を紹介する。

2. 植調作用の特徴

ピカルブトラゾクスの植調作用は主に根の生育促進作用である。社内外で実施された複数の試験において、イネ育苗期の灌注処理によって根張り促進作用が認められている（図1）。また、移植後の活着促進作用も示す。西洋芝に対しては、生育期の散布により根重の増加が観察されており（図2）、特に、夏季の高温ストレスによる根部衰退を軽減する作用が期待できる。

3. 植調作用メカニズムの解析結果

イネを用いた遺伝子解析の結果より、ピカルブトラゾクスは（1）植物ホルモンの生産および輸送の促進、（2）栄養吸収の促進、という主に2つの作用メカニズムを持つことが示唆された。

（1）植物ホルモンの生産および輸送の促進

ピカルブトラゾクスを処理したイネでは植物ホルモンの「オーキシン」および「エチレン」の生産が増加した（図3）。また、オーキシンの輸送が促進

表1. ピカルブトラゾクスを有効成分として含む殺菌剤の適用作物と植調作用（一部抜粋）

ナエファイン® フロアブル適用表

作物名	使用目的	希釈倍数	使用液量	使用時期	使用方法
稲（箱育苗）	根の生育促進、移植後の活着促進	1000～2000倍	育苗箱（30×60×3cm、使用土壌約5L）1箱当り0.5L	は種時から緑化期	土壌灌注

クインテクト® 顆粒水和剤適用表

作物名	使用目的	希釈倍数	使用液量	使用時期	使用方法
西洋芝（ベントグラス）	根重の増加	1000～2000倍	0.5L/m ²	生育期	散布

イネ

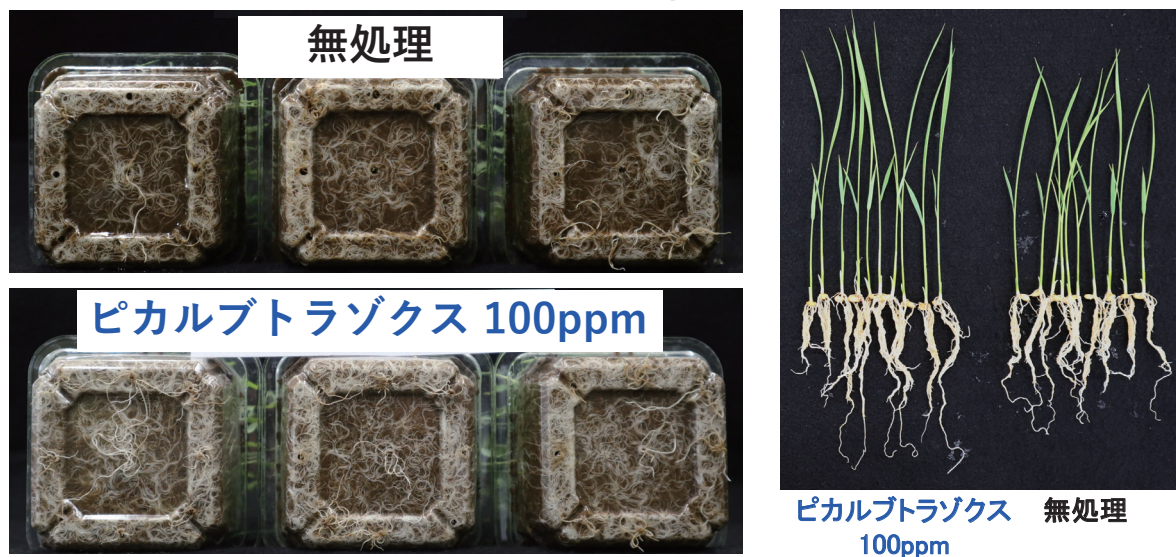


図1. イネに対する植調作用 (播種時灌注処理後の根張り促進作用、薬剤処理 14 日後)
左: ポット底面の様子 右: 引き抜き調査

西洋芝

平均気温: 25℃



ピカルブトラゾクス 100ppm 無処理

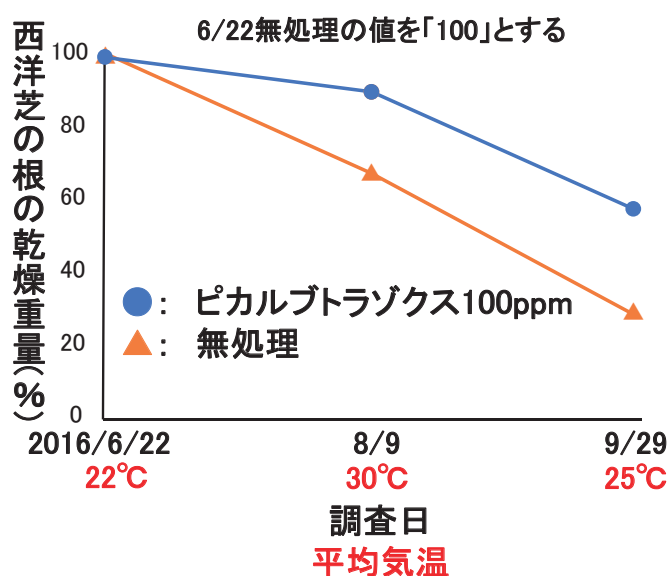


図2. 西洋芝に対する植調作用
左. 人工気象器で設定した高温条件での西洋芝の根重の増加 (散布 2 週間後)
右. 西洋芝ナーセリーにおける夏越し時の根部衰退抑制作用 (7/11、8/9 および 9/1 散布)

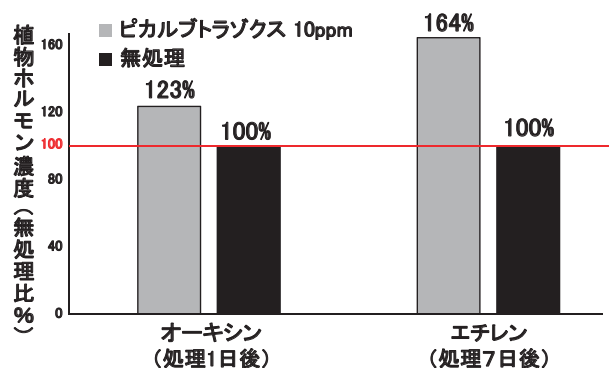


図3. 植物ホルモンの生産促進作用

された。

オーキシンには植物の根の形成や伸長を促進し、重力に逆らって茎葉部を屈起させる働きなどがある。エチレンには根の形成を促進し、日照不足による徒長を抑制するなどの働きがある。それぞれの植物ホルモンには複数の異なる作用があるが、オーキシンおよびエチレンは共に根の生育を促進する働きがある。

ピカルブトラゾクス処理によって、これらの植物

ホルモンの作用が実際に増強されるか検証する実験を行った。その結果、オーキシシンに特有の茎葉部屈起の増強（図4）、およびエチレンに特有の日照不足条件下での徒長抑制作用（図5）が観察された。

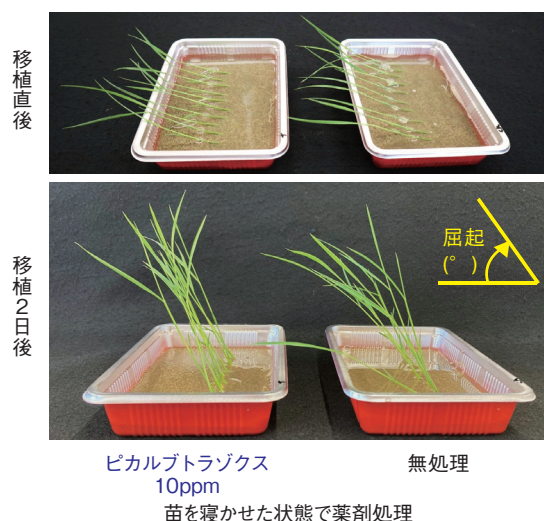


図4. イネの屈起の増強

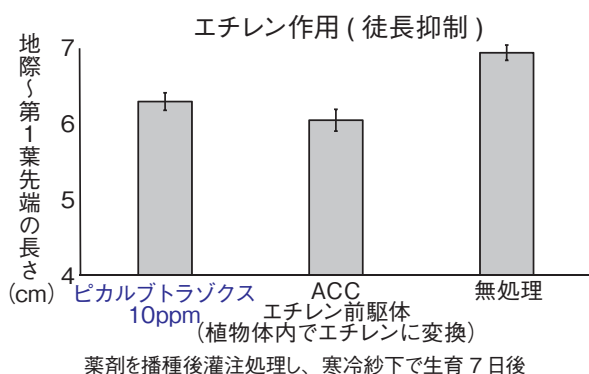


図5. イネの徒長抑制

(2) 栄養吸収の促進

① 有機酸の生産と分泌

土壌中の栄養素の多くは水に溶けにくい形態で存在しており（図6）、植物は様々な方法でそれらを可溶化し吸収する。その方法の1つにリンゴ酸やクエン酸のような有機酸の分泌が挙げられる。ピカルブトラゾクスはこれら有機酸の生産や分泌を促進する。

ピカルブトラゾクスを処理したイネの根における有機酸の生産量を測定した結果、クエン酸およびリンゴ酸が増加していた。また、酸性で黄色に呈するpH指示薬を含んだ培地内でイネを生育させると、ピカルブトラゾクスを含む培地では黄色の範囲が広がった（図7）。これらの結果から、ピカルブトラゾクスを処理したイネの根から有機酸が多く分泌されたと考えられる。

根圏への有機酸分泌が有効な難溶性栄養素のうち、最も重要なのが鉄分（水酸化鉄（Ⅲ）など）およびリン酸（リン酸カルシウムなど）である。通常、植物栽培用の栄養培地には可溶性鉄分（硫酸鉄（Ⅱ））が含まれるが、難溶性鉄分（水酸化鉄（Ⅲ））に置き替えるとイネの生育は著しく悪化し、葉は黄化、根の発生および伸長が阻害される。しかし、ピカル

有機酸の植物における役割

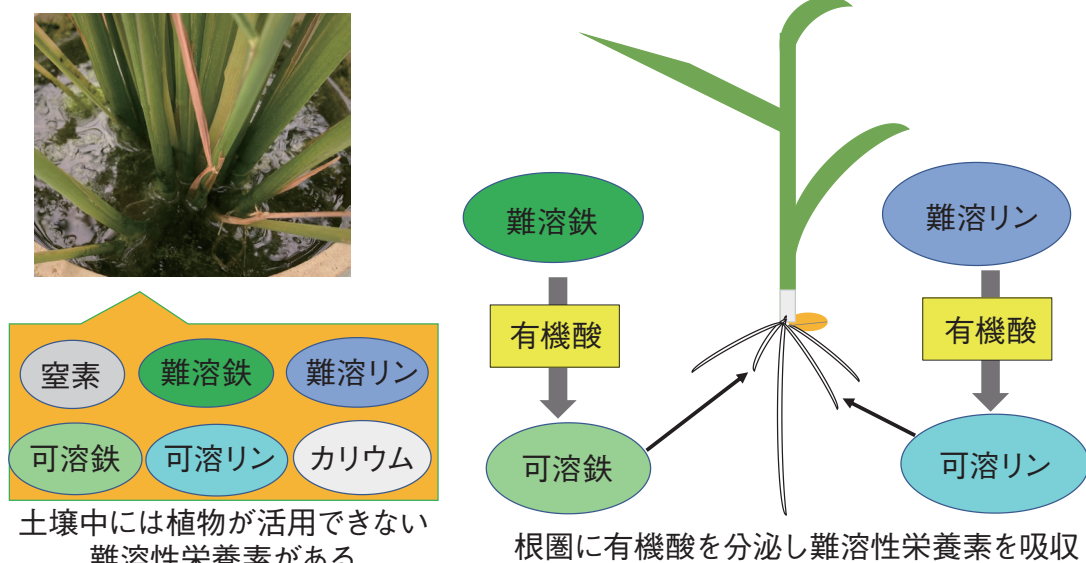


図6. イネにおける有機酸の役割

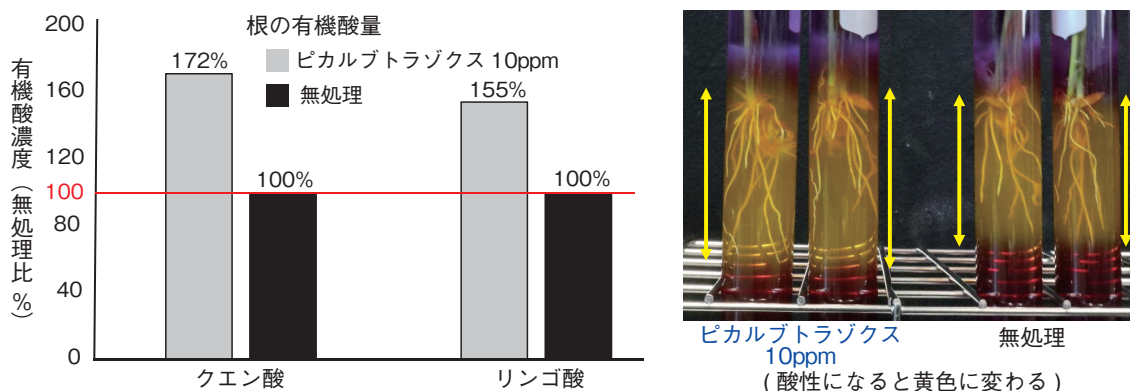


図 7. イネの根部における有機酸の生産促進
左：有機酸の定量（薬剤処理 6 日後） 右：根圏への有機酸分泌評価（薬剤処理 7 日後）



図 8 難溶性鉄分の吸収促進

ブトラゾクスを処理したイネでは生育が回復することが確認され、難溶性鉄分の吸収を促進することが示唆された（図 8）。また、可溶性リン酸（リン酸カリウム）を難溶性リン酸（リン酸カルシウム）に置き替えた栄養培地でも同様の実験結果が得られている。

②アンモニア態窒素の毒性軽減

窒素は他の栄養素同様に様々な形態で土壤中に存在するが、湛水された水田などの酸素の乏しい環境下では、主にアンモニア態窒素として存在する（図 9）。

アンモニア態窒素はイネの栄養となるが、過剰になると毒性を示す。植物は毒性を回避するために、グルタミン合成酵素の働きによってアンモニア態窒素を無害なグルタミンに変換する。グルタミンは他

のアミノ酸合成に必要な窒素を供給するなど、窒素利用の起点となる重要な中間体である。

ピカルブトラゾクスを処理したイネではグルタミン合成酵素の活性が強く（図 10）、過剰なアンモニア態窒素の解毒が促進されることがわかった（図 11）。特に水田などのアンモニア態窒素の多い環境で、根の生育が促進されることが期待できる。

畑作土壤に多い硝酸態窒素が吸収された際も、植物体内でアンモニア態窒素に還元される。また、古くなった葉などに含まれるタンパク質やアミノ酸を再利用する際も、アンモニア態窒素に分解される。したがって、グルタミン合成酵素を活性化すれば、これらのような様々な形態の窒素栄養も効率的に利用できるようになることが期待される。

4. おわりに

本研究を通じて、殺菌剤ピカルブトラゾクスの植調作用（根部生育促進）は、植物ホルモンであるオーキシシンやエチレン、有機酸の生合成および分泌を介した難溶性養分の吸収促進、さらにはグルタミン生合成酵素の活性化によるアンモニア態窒素の毒性軽減などによることが明らかになった（図 12）。既存の殺菌剤にも植調作用を併せ持つものも存在するが（仲下、2021）、ピカルブトラゾクスの作用メカニズムはそれらとは異なる可能性がある。また、植物ホルモン自体（人工合成品を含む）を作物に投与すると、適正濃度域では好ましい作用が得られるが、高濃度域においては生育抑制などの負の作用が発生する。一方、本報告では詳細に触れていないが、ピカルブトラゾクスは高濃度域でもそのような作用は確認されず、作物に対する安全性が高い点も大きな特

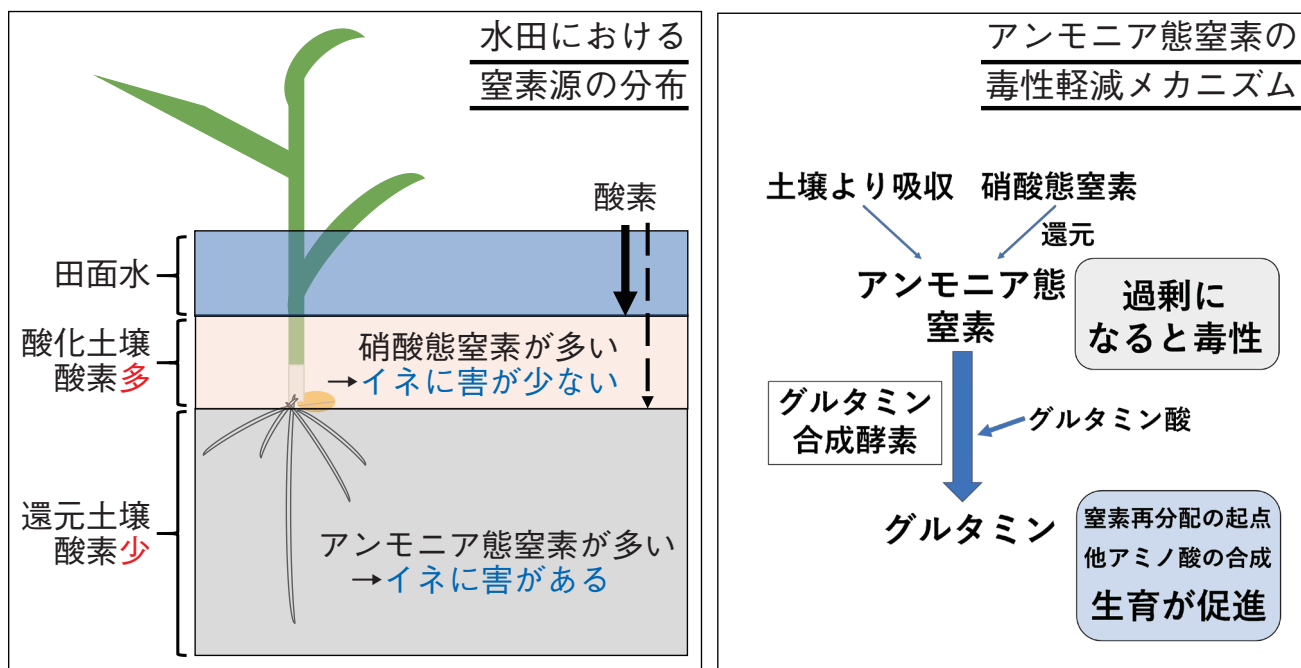


図 9. アンモニア態窒素について
左. 水田における分布 右. 植物における毒性軽減メカニズム

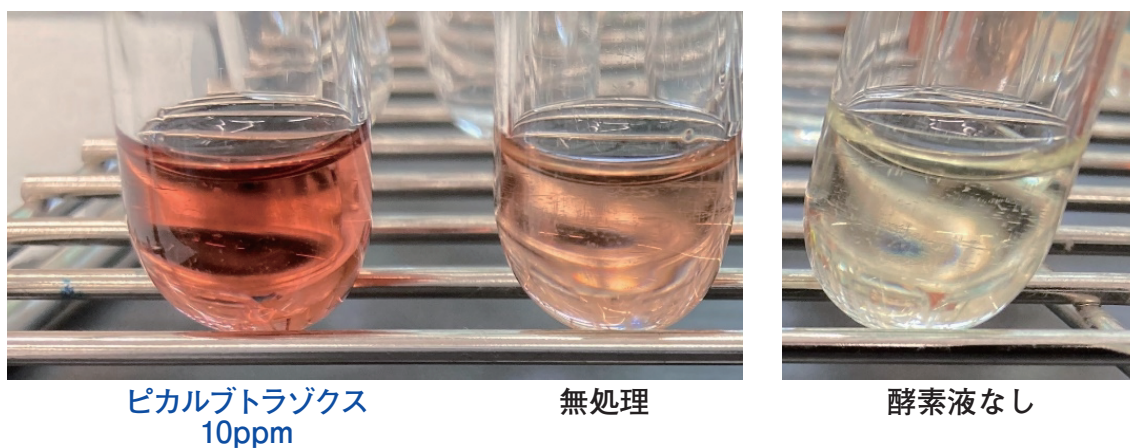


図 10. 一定量のイネの根から抽出したグルタミン合成酵素の活性測定（酵素活性が強いほど赤色が濃くなる、薬剤処理3日後）

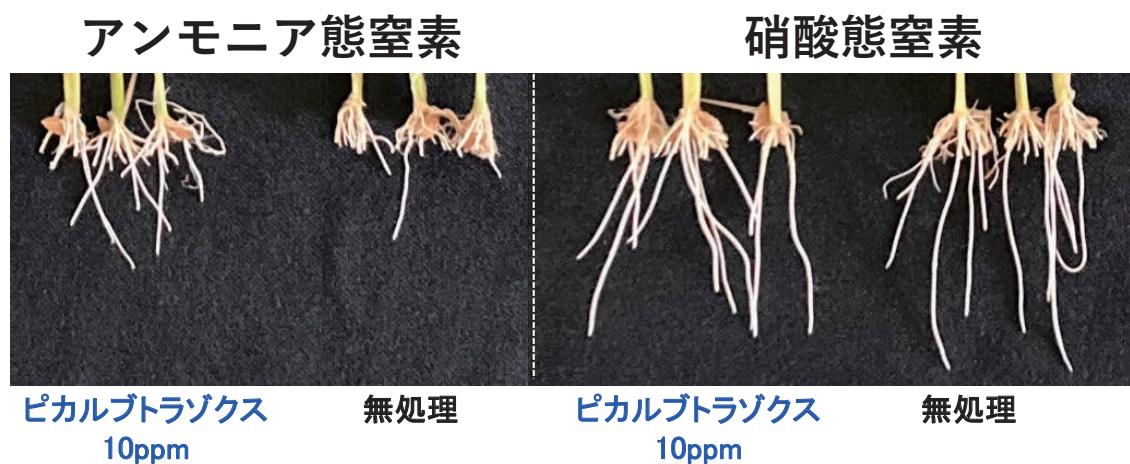


図 11. アンモニア態窒素の毒性軽減作用（薬剤処理6日後）

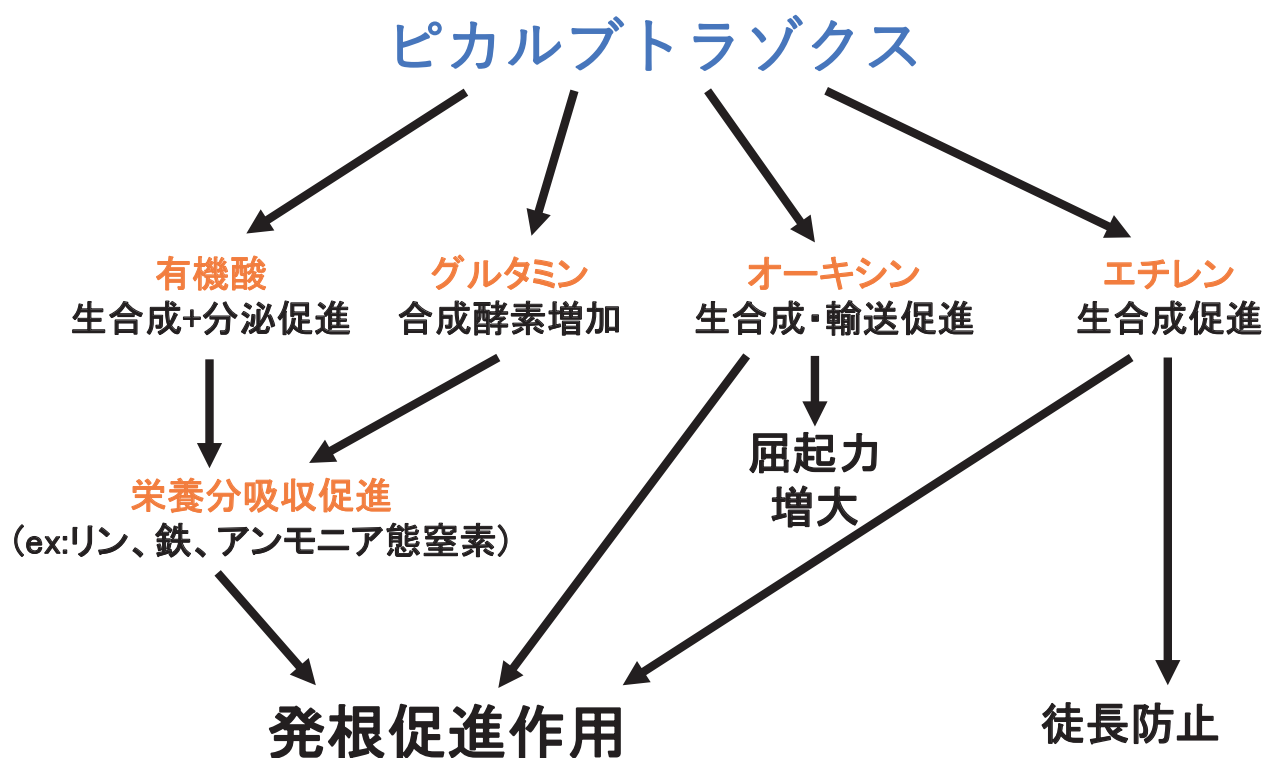


図 12. ピカルブトラゾクスの植調作用の想定メカニズム

長である。

その他、ピカルブトラゾクスには根の生育促進作用に加えて、低温、乾燥および塩ストレスを軽減する作用がある（特許出願中）。

近年、気候変動や化学肥料の高騰が問題となるなか、ピカルブトラゾクスは作物の生育を安定させ、農業生産の効率化に寄与することが期待される。

参考文献

- (1) 福島悠介ら, (2023). 日本農薬学会第 49 回大会要旨集, : 57
- (2) 仲下英雄, (2021). 日本農薬学会誌, 46 (2), : 75-76