

B20200730_03_MIT

植物の葉にナノセンサを埋込みストレスをスマートフォンで検出

MIT の研究者は、植物が、傷、感染、光損傷などストレスにどのように反応するかを、カーボンナノチューブ製センサを使うことで密接に追跡する方法を開発した。これらのセンサは、植物の葉に埋めこむことができ、センサはそこから過酸化水素信号波をレポートする。



図1 MIT の化学エンジニアは、植物の葉に組み込み、過酸化水素レベルを計測するセンサを設計した。過酸化水素は、損傷が起こったことを示している。信号は、近くのスマートフォンに送られる。

植物は、葉内では過酸化水素を使って情報伝達する。葉の細胞を刺激して化合物を生成する遭難信号を送り出す。これは、損傷の修復、昆虫のような捕食者をかわすのに役立つ。新しいセンサは、これら過酸化水素を使って様々なタイプのストレスの違い、また様々な種類の植物間の違いを区別することができる。

「植物には、非常に高度な内部情報伝達方式があり、われわれは初めてこれを観察することができた。植物が経験している特殊な種類のストレスを伝えることで、生きた植物の反応をリアルタイムで見ることができる」と MIT 化学工学、Michael Strano は話している。

この種のセンサは、植物が様々なタイプのストレスにどのように反応するかを研究す

るために利用でき、農業研究者が、作物の収量改善のための新たな戦略を開発する際に役立てられる。研究チームは、ホウレンソウ、イチゴ、ルッコラなど8種の植物でチームのアプローチを証明した。また、チームは、そのアプローチは、さらに多様性があると考えている。

埋込センサ

過去数年、Michael Strano のラボは、エンジニアリング「ナノバイオニック植物」潜在性を探究してきた。これは、発光あるいは水不足を検出するなど、新機能を賦与するナノマテリアルを植物に組み込んでいる植物である。新しい研究では、同氏は、植物の健康状態を報告するセンサの組込を始めた。

Strano は以前、過酸化水素を含む様々な分子を検出できるカーボンナノチューブセンサを開発した。約3年前、論文の主筆、院生 Tedrick Thomas Salim Lew は、これらのセンサを植物の葉に組み込むことに取り組み始めた。植物の分子研究によく利用される *Arabidopsis thaliana* の研究は、植物が信号伝達分子として過酸化水素を使う可能性を示唆したが、正確な役割は明らかになっていなかった。

Lew は、植物の葉にセンサを組み込むために脂質交換エンベロープ浸透(LEEP)という方法を利用した。LEEP は、Strano のラボが数年前に開発したもので、これにより植物の細胞膜に浸透するナノ粒子の設計が可能になる。Lew がカーボンナノチューブセンサの埋込に取り組んでいたとき、偶然発見した。

「その技術に精通しようと努力した。その努力の過程で偶然、植物を傷つけた。すると、過酸化水素信号がこのように発生するのを見つけた」。

葉が傷つくと、過酸化水素が傷口から放出され、葉に沿って広がる波が生成された。われわれの脳で、ニューロンが電気インパルスを出すのと似ている。植物の細胞が過酸化水素を放出すると、それが隣接細胞でカルシウム放出を始動する。つまり、さらに多くの過酸化水素を放出させるために、それらの細胞を刺激するのである。

「ドミノ倒し成功のように、これは、過酸化水素パフだけよりも遙かに遠くまで伝搬する波を作る。波そのものの原動力は、それを受けて伝搬させる細胞である」と Strano は言う。

過酸化水素のこの氾濫は、植物の細胞を刺激し、二次代謝産物と呼ばれる分子を作り出す、例えば香料あるいはカロチノイドなど。これらは損傷の修復に役立つ。植物の中に

は、捕食者を回避するために分泌される他の二次代謝産物を出すものもある。これらの代謝産物は、食品香料源となることがよくある。われわれが食べられる植物で望んでいるものである。また、それらはストレスを受けている時にのみ生成される。

新しいセンシング技術の主な利点は、それが多くの多様な植物品種で使用できることである。伝統的に植物生物学者は、遺伝子操作の影響を受けやすいある植物で分子生物学研究をしてきた。これには、シロイヌナズナやタバコ植物が含まれている。しかし、MITのアプローチは、潜在的にどんな植物にも適用可能である。

「この研究では、われわれは、8種の植物をすばやく比較することができた。旧いツールではそれはできないだろう」(Strano)。

研究者がテストしたのは、イチゴ、ほうれん草、ルッコラ、レタス、クレソン、カタバミ。また、研究チームは、異なる種は異なる波形を生成する、時間経過で過酸化水素濃度をマッピングすることで明確な形が生成されることを確認した。チームは、各植物の反応は、損傷に対抗する能力に関係していると仮定している。個々の種で、異なるタイプのストレスに対する反応が違って見える、これには機械的損傷、感染、熱あるいは熱損傷が含まれる。

「この波形は、個々の植物にとっての多くの情報を持っている。さらに、所与の植物に対するストレスのタイプがこの波形でエンコードされるのはすばらしい。植物が、どんな新しい環境でも経験する反応をリアルタイムで見ることができる」(Strano)。

ストレス反応

センサが生成する近赤外蛍光は、Raspberry Pi に接続された小さな赤外カメラを使って撮像できる。これは、35 ドル、クレジットカードサイズコンピュータで、スマートフォン内部のコンピュータと同じである。「非常に安価な計測器を使って、その信号を捉えることができる」。

この技術のアプリケーションに含まれるのは、様々な種類の植物のスクリーニング。機械的損傷、光、熱、それに他の形態のストレスに対する抵抗力を調べる。また、多様な種が、バクテリアなど病原体、柑橘類グリーンング病を起こすバクテリア、コーヒーサビの原因となるカビにどのように反応するかを調べるためにも利用できる

「関心の一つは、ある種の植物が、これらの病原体に一定の免疫があり、他のものがない理由の理解である」と同氏は話している。

シンガポール - MIT 研究技術アライアンス (SMART) Strano のグループ、シンガポール MIT の研究エンタプライズも、都市の農場で様々な生育条件に植物がどのように反応するかの研究に関心を寄せている。

研究グループが対処したい考えている一つの問題は日陰の回避である。これは、植物が成長して高密度になると、多くの種の植物に見られる。そのような植物はストレス反応をし、リソースを高く伸びることに向け、エネルギーを収穫高に向けない。これは、作物収量全体を下げるので、農業研究者は、そのような反応が作動しないように植物を改良することに注力している。

Strano は、「われわれのセンサによりそのストレス信号を阻止し、正確な状況とメカニズムの把握ができる。つまり日陰を避ける植物のアップストリームとダウンストリームが起こっているメカニズムの理解である」と攻めつしている。