学会賞受賞論文要約

(業績賞・研究)

植物生理機能を制御する農薬の作用機構に関する研究

仲下 英雄*

福井県立大学生物資源学部

(2021年6月14日受理)

はじめに

植物ホルモンは、古典的な成長調節に加えて様々なストレス応答でも重要な働きを担っている。また、植物ホルモンシグナルが相互に作用して、種々の生理機能を調節している。一方、植物成長調整剤のほとんどは成長制御に関わる植物ホルモンの類縁体や生合成阻害剤であるが、植物の未知の生理機能を制御する農薬も存在する。農薬の開発と作用機作研究は対象生物におけるケミカルバイオロジー研究の源流であるが、筆者らは、殺菌・殺虫・除草活性や通常の植調作用以外の植物生理機能を制御する農薬の活性に着目して、その作用機構を解析し、同時に、農薬をツールとして植物免疫の制御機構や細胞分裂制御等の解明を進めてきた。それらの成果について、簡潔に紹介させていただく。

1. 植物の免疫機構を活性化する化合物

病原菌や害虫からの攻撃に対する植物の自己防御機構では、各種の植物ホルモンが働いている。病原菌の感染部位においても様々な反応が起こるが、この感染部位からシグナルが伝達されて全身で誘導抵抗性が活性化され、後から侵入してくる様々な病原体から身を守っている。この誘導抵抗性の誘導には、サリチル酸 (SA)、ジャスモン酸のほか、エチレン、ブラシノステロイド、サイトカイニン等の種々の植物ホルモンが関与している。その中でもSAを介して感染特異的タンパク質 (PRタンパク質) の発現を伴って誘導される全身獲得抵抗性 (SAR) は比較的強い抵抗性であり、そのメカニズムの解明に先んじて、これを活性化する抵抗性誘導剤プロベナゾール (PBZ) (1974) が日本で開発され、長年にわたってイネで利用されてきた。その作用機構についてもイネ

を用いた多数の生理学的解析が行われてきた。一方、海外ではSARを誘導するプラントアクチベーターとして、2,6-ジクロロイソニコチン酸 (INA) (1990)、アシベンゾラル-S-メチル (BTH) (1995) が報告され、タバコやシロイヌナズナを用いたSARのメカニズム解析に大きく貢献した。

筆者らは、タバコ、シロイヌナズナを用いて分子生物学的手法によりPBZの作用機構を解析して、やはり植物にPRタンパク質の発現を誘導して多様な病原体に対する抵抗性を付与していることを明らかにした。さらに、変異体等を用いた遺伝学的手法と合わせた解析から、PBZはSA生合成を活性化させてSA内生量を数倍に増加させることによってSARを誘導し、SAのミミックとして作用するINAやBTHとは異なる作用機構を有することを明らかにした。さらに、抵抗性誘導活性を有する他の化合物についても、各種の植物で解析し、N-シアノメチル-2-クロロイソニコチン酸アミド (NCI)、3-クロロ-1-メチル-1*H*-ピラゾール-5-カルボン酸 (CMPA)、チアジニル (TDL) およびその代謝物、置換基にカルボン酸を有さないピラゾール誘導体 (BAPP) は、SA生合成の活性化や蓄積を伴わずにSARを誘導することを明らかにした。これらの化合物はSA受容体NPR1を介してSARを誘導するが、NPR1受容体に直接作用している知見はまだ得られていない。今後は、多様なSAR誘導化合物の利用によって、NPR1受容体にどのように作用するかが明らかになることが期待される。

2. 環境ストレス応答による免疫機構の抑制機構

大きな冷害 (1993, 2003年等) の際には、稲作は低温障害に加えてイネいもち病の甚発生による被害を受ける。日照不足と低温によってイネ植物体が弱くなるためと考えられてきたが、植物の免疫機構やSARの観点から解析を進めた。シロイヌナズナにおいて、作用点の異なる抵抗性誘導剤を利用することにより、環境ストレスによって誘導されるアブシジン酸 (ABA) シグナルがSAシグナルを抑制することが明ら

* 〒910-1195 福井県吉田郡永平寺町松岡兼定島4-1-1
E-mail: nakashita@fpu.ac.jp
© 日本農薬学会

かになった。さらに、SAシグナルとABAシグナルの間には相互拮抗関係があること、その抑制は両植物ホルモンの生合成と下流のシグナル伝達の両方で起こることが明らかになった。その後にタバコやイネ等においても同様のメカニズムが明らかになり、植物に共通するメカニズムであることが示された。この結果により、冷害時の植物が病気に弱くなる現象が科学的に説明され、また、低温や乾燥などの環境ストレスへの応答と病害ストレス応答は強いトレードオフ関係にあることが明らかになった。

3. ブラシノステロイドによる植物の免疫機構の活性化

ブラシノステロイド (BR) は成長や環境ストレスにおける機能解析が進み、2000年前後には各種変異体や生合成阻害剤が利用できる環境が整っていた。病害抵抗性における機能解析を進めた結果、BR処理はタバコ、シロイヌナズナ、イネにおいて様々な病原体に対して病害抵抗性 (brassinosteroid-mediated disease resistance; BDR) を誘導することが明らかになった。BDRの誘導はSAに依存せず、PRタンパク質の発現を伴わない新規な抵抗性機構であることが示された。SAR誘導化合物とBRの共処理によりSARとBDRは互いに抑制することなく誘導され、病害に対して相加的な効果を発揮した。この結果から、両者の組み合わせにより効果的な防除技術を開発できる可能性が示された。

4. 植物の免疫機構の活性化に寄与する微生物

共生微生物の相互作用が宿主植物の病害抵抗性を活性化することが知られているが、解析例は少なく、詳細は不明の部分が多い。筆者らは、イネ、トマト等において、植物共生細菌 *Azospirillum* sp. B510 およびアーバスキュラー菌根菌 *Gigaspora margarita* の定着は様々な病原体に対する抵抗性を付与することを明らかにした。共生微生物が定着した植物は、PRタンパク質の発現は伴わず、生育にも影響しないが、病原菌が感染した際には通常よりも早く強く応答して抵抗性を発揮することが示され、病害抵抗性が準備されたプライミング状態にあることを明らかにした。

5. 植物の根の成長を促進する化合物

免疫以外の生理機能を制御する農薬として、真菌・植物・動物に異なる作用を示すイソプロチオラン (IPT) は真核生物に共通の分子をターゲットしている可能性があることから、植物の根の伸長作用のメカニズム研究を開始した。シロ

イヌナズナ変異株を用いた解析から、IPTの主根伸長促進作用には、根の成長に必要なオーキシシンに加えてエチレンおよびジャスモン酸が必要であることが明らかとなった。各種染色法を用いた組織学的解析から、IPTは根端メリステム領域のうち静止中心の上部の幹細胞付近の細胞分裂を促進するが、下部のコルメラ細胞の生成には影響を及ぼさないことが示された。この細胞分裂の促進もエチレンおよびジャスモン酸に依存していたが、両植物ホルモンは根の生育を抑制する作用を有していることから、根の伸長制御において両植物ホルモンが未知の役割を担っている可能性が示唆された。

おわりに

未知の生理機能を制御する農薬の作用から植物の生理機能を解明する研究成果の一端を紹介したが、これらの成果が免疫や成長促進の制御技術の更なる発展に貢献できることを期待している。近年のケミカルバイオロジーという概念により、従来の農薬等の有用物質の作用機作研究に留まらず、現在はケミカルライブラリーなども用いて、以前には想定していなかった生理機能に作用する化合物の発見や、新しい生理機能の解明が進められている。近い将来に、そこから新たな作用を有する農薬の開発が実現すると期待される。

植物科学研究を開始した時期に海外でSAR関連の成果が相次いで報告されたが、実は日本で実用化されていた技術であり、すぐ身近で抵抗性誘導剤を利用できる環境であった。理研の研究環境で、1995年という割と早い時期からシロイヌナズナを使用でき、各種阻害剤等を使用する機会も得て、植物の新たな生理機能を見出すことができた。それらの幸運な出会いの機会を与えていただいた多くの先生や研究者の方々、また、研究推進でご協力いただいた若手研究者の皆様に感謝申し上げる。

略歴

仲下英雄 (なかした ひでお)

生年月日: 1964年3月28日

最終学歴: 東京大学大学院農学系研究科農芸化学専攻博士課程

主な職歴: ブラウン大学化学科博士研究員

理化学研究所 研究員・ユニットリーダー等

東京農業大学 教授

福井県立大学 教授

趣味: 映画鑑賞, 釣り