

植物機能性研究グループの発足について — 根圏土壤中の生理活性物質との関係を例にして —

はじめに

弊社は創業者である黒澤西蔵翁が提唱した「健全な土作り」を理想としており、「健全な土作り」…今風に表現すれば「良好な根圏環境の制御技術」にも重点を置いて研究開発活動を行っております。以前から、堆肥や緑肥の投入は有機物補給という側面から、土壌の物理性・化学性・生物性の解析がすすめられてきておりましたが、近年では、有害線虫・有害微生物の抑制や生育促進作用といった機能性に関する効果が明らかにされてきております。このような機能性に関しては微量で効果を発現する生理活性物質が様々な形で関与していることが徐々に明らかにされており、本項ではその一部をご紹介しますと思います。

1. 植物の根が産生する物質が土壌中の生物に影響を与えているケース

一般的な土壌 1 g 中には 100~1000 万以上の微生物が生息しているとされておりますが、植物の根の周囲ではさらに 10~100 倍もの微生物が生息していることが知られており、このように根の影響が及ぶ範囲は「根圏土壌」と呼ばれております。根圏土壌に多くの微生物が生息できる要因としては、植物の根から大量の栄養分が補給されていることが指摘されています。その量は意外に多く、植物が光合成によって得た炭水化物の 6~21% の量が根から根圏土壌へと分泌されていることが報告されています (Lugtenberg 2015)。また、アミノ酸のような栄養源も根から分泌されていることも明らかにされています。

このため、根圏では植物病原菌も増殖しやすくなっていると考えられますが、根圏土壌中が健全な微生物相を維持できていると、他の微生物の影響により病原菌だけが爆発的に増殖することがなく、健全な作物栽培が可能となることが分かっています。

また、上記のような栄養源以外にも、植物の根は様々な生理活性物質を産生していることが分かっています。

(1) 根粒菌を招き入れる物質

ダイズをはじめ、マメ科植物の多くが土壌中の根粒菌を着生させ、空気中の窒素固定を行い、施肥量の少ない条件でも旺盛な生育を保てることはご存知のことかと思えます。ただ、ダイズの中にも根粒菌が一切着生しない遺伝的系統があります。そういった「非着生系統」と通常のダイズを接ぎ木した場合、根が通常のダイズであるにもかかわらず、地上部が「非着生系統」であると根粒菌が着生しません。反対に、地上部が通常のダイズであれば、根が「非着生系統」であっても根粒菌が着生します。このように、根粒菌を着生させるためには、地上部から根に送られてくる物質が重要で、根からダイゼイン (図 1) やゲニステインといった物質が分泌されることによって根粒菌の感染が起こることが分かっています。

(2) 肥料を節約する物質

土壌の肥沃度は一般的に CEC (陽イオン交換容量) で測定することからも分かる通り、土壌は陽イオン (プラスイオン) を保持することができます。反対に、陰イオン (マイナスイオン) の吸着容量は非常に低いのが一般的です。一方、元肥用肥料として一般的なアンモニア系肥料は溶解することでアンモニウムイオンを生じますが、尿素含有肥料や有機質肥料も土壌微生物によって分解されてアンモニウムイオンを生じます。アンモニウムイオン (NH_4^+) は陽イオン (プラスイオン) ですので、土壌に吸着されますが、畑地土壌中では硝化菌といわれる微生物によって徐々に酸化されて硝酸になります。ここで生じた硝酸 (NO_3^-) は陰イオン (マイナスイオン) ですので、土壌には吸着されにくく、降雨などによって流亡しやすいという欠点があります。

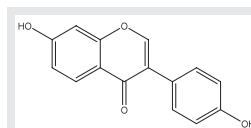


図1 ダイゼイン (ダイズが根粒菌を招き入れる際に分泌する物質)

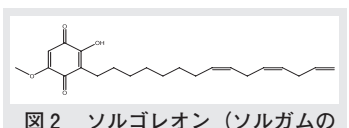


図2 ソルゴレオン (ソルガムの根から分泌され、嫌地現象や硝化菌による硝酸化作用を抑制する物質)

飼料用作物・緑肥などで活用されているソルガム類(弊社の品種ではつちたろう・ねまへらそうなど)の作物は根からソルゴレオン(図2)という物質を分泌するのですが、これが蓄積してくると、ソルガム自身が生育障害を起こすことが現場でも問題になっています。自らの生育を抑制してしまうような物質を根からなぜ分泌しているのでしょうか?近年になってこのソルゴレオンをはじめ、サクラネチンといった分泌物が硝化菌の作用を弱めることによって硝酸の流亡を防ぎ、肥料の有効活用につながっていることが分かってきました。どうやらソルガム類はこういった物質を分泌することによって肥料を有効利用しているという訳です。こういった現象は「生物的硝化抑制(BNI)」と呼ばれ、環境保全型農業という側面からも注目されてきています。

(3) シストセンチュウを呼び寄せる物質

ダイズシストセンチュウやジャガイモシストセンチュウはそれぞれ豆類・ナス科植物にしか感染せず、それらの根が近くになればシストから孵化さえしないという頑固さをもっています。また、シストの状態だと10年以上も生存できるため、一度発生してしまうと、根絶が難しいという問題点があります。一方で、10年以上も休眠していたシストに、豆類やナス科植物の根が近付くと数日以内に幼虫がふ化してきます。このメカニズムは、豆類の根からはグリシノエクレピンA(図3)というふ化促進物質が分泌されているため、それを感知したダイズシストセンチュウがすみやかにシスト内からふ化してくることによるとされています。同様に、ジャガイモの根から分泌されるふ化促進物質はソラノエクレピンA(図3)であるとされています。また、この物質によってジャガイモシストセンチュウがふ化してくることが分かっています。

(4) ダイズシストセンチュウ・ジャガイモシストセンチュウの緑肥による防除法

ダイズシストセンチュウの防除には緑肥として弊社のくれない(クリムソクローバ)などクローバ

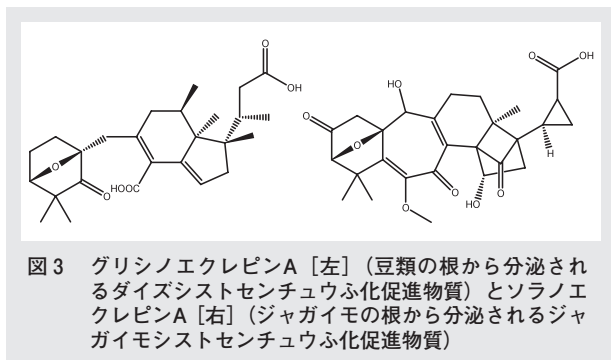


図3 グリシノエクレピンA [左] (豆類の根から分泌されるダイズシストセンチュウふ化促進物質) とソラノエクレピンA [右] (ジャガイモの根から分泌されるジャガイモシストセンチュウふ化促進物質)

類が利用されております。クローバもマメ科であるため、根からダイズシストセンチュウのふ化促進物質を分泌しています。このため、ダイズシストセンチュウはシストからふ化してきて、根に侵入するのですが、クローバの根の中では増殖することができません。これによって土壤中の密度を低減することができます。ただ、クローバ類の中でもふ化促進物質の分泌量には差がありますので、ダイズシストセンチュウを防除する目的では適した品種をご使用いただくことがポイントとなります。

また、ジャガイモシストセンチュウの防除には弊社のポテモン(野生トマト)をご活用いただいております(種子供給量の関係から現時点では地域限定とさせていただきます)。トマトもナス科であるため、ジャガイモシストセンチュウのふ化促進物質を分泌しており、ふ化を誘導します。普通のトマトですと、ふ化した幼虫は根の中で増殖してしまうのですが、このポテモンでは根の中で増殖できないことが分かっております(メカニズムは上記のクローバと似ています)。

こういった緑肥は栽培中も土壤中にふ化促進物質を分泌していますが、鋤き込んだ後も1年程度は根の残滓からふ化促進物質が土壤中に拡散していきます。このため、翌年にもシストセンチュウがふ化してくるわけですが、そこに宿主の植物がなければ、感染して栄養を取り込むことができずに数週間で餓死していきます。このことから、こういった緑肥を栽培した翌年は、宿主とならない作物を栽培していただくことも上手な使い方の一つと言えます。

これと同様に、ふ化促進物質を圃場に施用して、宿主以外の作物を栽培すれば餓死させることができます。ソラノエクレピンAは一見して分かる通り、化学構造が非常に複雑ですが、世界に先駆けて北海道大学の谷野教授のグループが化学合成に成功しました(Tanino et al. 2011)。これを1ヘクタール当たり3g施用すると80%ものジャガイモシストセンチュウを低減することができることが明らかにされています。しかしながら、この物質そのものを産業的に化学合成すると、コストが1グラム1億円程度になると想定されており、実用化には至っておりません。一方、ポテモンが分泌しているふ化促進物質は未だに明らかにされておらず、その解明が待たれます。

2. 根圏中の微生物が産生する物質が作物に影響を与えているケース

前掲の通り、根圏中では微生物が増加していますが、そういった微生物には病原菌(いわゆる「悪玉

菌)と有用微生物(いわゆる「善玉菌」)が共存していることが一般的です。それらの一部は、やはり生理活性物質を分泌することによって作物に影響を与えています。

(1) アズキ落葉病を引き起こす物質

北海道内のアズキ栽培ではしばしばアズキ落葉病が問題となります。初期生育時に病原菌が感染しているものの病徴はほとんど現れず一見問題なく生育しているのに、着蕾～開花期ころになって急に落葉症状を示すという厄介な病気です。この落葉症状を起こすのは落葉病菌が生産するグレガチンA(図4)であることが分かっています。

(2) ジャガイモそうか病を引き起こす物質

放線菌を培養すると独特の「土の香り」がしますが、このことから分かるように、肥沃な土壤には放線菌が高密度で生息していて、一般的には「善玉菌」として扱われています。しかしながら、例外的にジャガイモそうか病は放線菌(ストレプトマイセス属菌)によって引き起こされる病気で、感染するとジャガイモの表皮がガサガサになり、ひどい場合は陥没症状を起こしてしまい、商品価値が低下してしまいます。原因としては、前掲の菌が生産するサクストミンA(図5)がジャガイモの細胞壁を構成するセルロースの合成を阻害してしまうことによることが分かっています。この影響によりジャガイモの表面で細胞壁がうまく作ることができなくなり、結果的に表皮の異常となってしまいます(このメカニズムからも分かる通り、この物質はセルロースを合成する必要のない生物には影響がありませんの

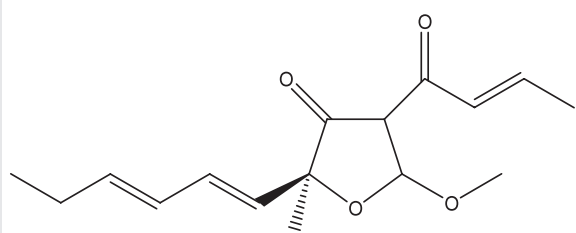


図4 グレガチンA
(アズキ落葉病が分泌し、落葉病を生じさせる物質)

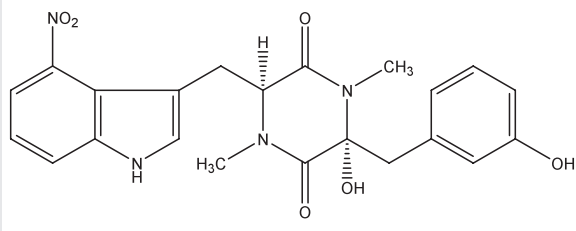


図5 サクストミンA(ジャガイモそうか病菌が分泌し、セルロース合成を阻害することによりジャガイモ表皮に異常を生じさせる物質)

で、そうか病のジャガイモを食べてもヒトに対して毒性はありません)。

(3) ジャガイモそうか病を抑制する物質

一方で、弊社の緑肥用エンバク野生種ヘイオーツを作付すると、跡作においてジャガイモそうか病が減少することが確認されています(平成16年北海道普及推進事項)。この原因について北海道農業研究センターの小林有紀先生のチームが検討を試みたところ、ヘイオーツの根圏定着微生物の中にジャガイモそうか病を抑制する微生物が存在していることが明らかになりました(Kobayashi et al. 2012)。また、それらの中にはジャガイモそうか病菌の生育を抑制する物質ボレリジン(図6)を産生する放線菌も存在することが弊社との共同研究によって明らかにされています(小林ら2014)。

3. 根圏へ施用する植物活力資材のご紹介

前記のように土壤中の諸環境は生物の活動によって変化しますが、それ以外に有機物の投入によっても変化します。しかしながら、粗大有機物の混和作業は作物の栽培が行われていない休閑期にしか実施できないという欠点がありました。

(1) 根真人232

そこで、日本の伝統的な発酵技術であるボカシ肥料の研究をヒントにして、乳酸菌の培養液を主体とした灌注用肥料**根真人232**を開発いたしました。本肥料は栽培中の作物の株元に灌注できるほか、灌水チューブでの施用も可能です。高濃度の有機物を補給できるという意味ではいわば「液体の堆肥」ともいえる資材です。施設栽培などで有機物補給が望まれている場合にお試しいただければ幸いです(詳しくは『牧草と園芸』2018年野菜特集号13-14頁をご参照ください)。

(2) 鬮根242

また、苗作り用の乳酸発酵液肥としては**鬮根242**をお勧めしております。育苗期や移植期にご使用いただき、すみやかに吸収され、根の良好な発達をサポートします。また、派生した使用方法として、水

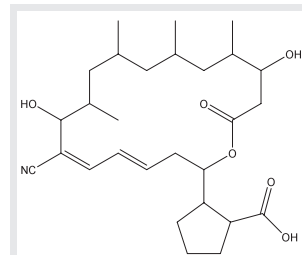


図6 ボレリジン(ヘイオーツの根圏に定着する放線菌が分泌し、ジャガイモそうか病を抑制する物質)

稲直播における種子浸漬でもご好評いただいております(クボタ2016)。

(3) 鬮根ゼオライト(仮称)

鬮根242の派生商品として乳酸菌培養液を多孔質鉱物であるゼオライトに吸着させ、土壤施用後

に継続的に効果を発揮するよう設計された**鬮根ゼオライト**も平成30年4月発売予定となっております。実はこの資材は培養土添加用として開発され、既に「**鬮根培土種まきの土**」「**鬮根培土えだまめの土**」に添加されており、高い評価を得ておりました。今回はその原料そのものをご提供させていただくことによって、自家製の培養土に混和したり、圃場作付時に作条施用したり、移植苗に植穴施用したりと、それぞれの現場に合わせて幅広くご使用いただけるようになりました。特にアスパラガス伏せ込み促成栽培に関しては長野県野菜花き試験場でも効果を確認していただいております（酒井2017）。

また、これら3資材のそれぞれの特徴と使い分けや現場情報に関しては『牧草と園芸』2017年第65巻第5号24-28頁に解説記事がありますのでご参照ください。

4. 植物機能性研究グループの発足

昨年6月、弊社は北海道研究農場に新研究棟を設立いたしました。そこでは、研究グループ間の壁をなくし、研究員をワンフロアに集め、個別課題に対して総合的に対策・提案を行いやすくすると共に、新たに植物機能性研究グループが発足いたしました。当グループは主として緑肥開発担当者と旧微生物研究グループの担当者から構成されており、微生物研究グループで培ってきた微量物質・微生物・遺伝子解析技術を、緑肥をはじめとして、様々な作物・微生物の機能性解明に役立てていくことを企図しております。

前項でご紹介したように、植物の根や土壌中だけでも様々な生理活性物質が複雑に絡み合って機能しています。これらの物質はいずれもその効果が極めて高く、ppm~ppbといった超低濃度で効果を示します。そのため、これらを分析しようとする高度な技術と精密な機器が必要となります。これに対応するために、新研究棟には液体クロマトグラフ質量分析計（LC-MS/MS）を導入しました。この分析機器を用いるとわずか1 μ gのサンプル中から1ppbといった低濃度の物質の分析が可能となります。これによって、これまで弊社の方法では2週間程度かかっていた生理活性物質解析がわずか1~2日で完了するといった形で既にその能力を大いに発揮しております。こういった機器も駆使しながら、緑肥・微生物のみならず、牧草・野菜・飼料などの機能性研究もすすめていく予定です。

現代の農業経営のコンセプトの一つとしてIPM（総合的病害虫管理）がありますが、最近ではさら

に一歩進んでICM（Integrated Crop Management、総合作物管理）という考え方も提出されてきております。病害虫管理にとどまらず、施肥法・灌水法・輪作順序・バイオスティミュラントを含めた資材の活用を含め、様々な技術を総合的に駆使することにより、持続可能で、かつ長期的にみると低コストな農業経営を目指すというものです。このためにはそれぞれ個別に技術開発をすすめるだけでなく、相互関係を含め総合的に研究開発をすすめることが必要になると考えられます。こういった取り組みも当グループの使命と捉え、これからの農業の発展に寄与していきたいと考えております。

おわりに

上記でご紹介した以外にも、弊社では農業生産現場の様々な場面でご活用いただける多数の緑肥用作物や植物活力資材をご用意しております。ご興味のあるものがありましたら、お気軽に弊社営業所にお問い合わせください。

文献

- 小林ら2014. ジャガイモそうか病抑制剤. 特願2014-82612.
- (株)クボタ2016. クボタからお客様への営農提案 No.10. 2頁.
- 酒井2017. 施肥改善だより 第57号2頁.
- Kobayashi et al. 2012. Isolation of antagonistic *Streptomyces* sp. against a potato scab pathogen from a field cultivated with wild oat. *J. Gen. Plant Pathol.* 78: 61-72.
- Lugtenberg 2015. Life of microbes in the rhizosphere. In "Principles of plant-microbe interaction" Springer.
- Tanino et al. 2011. Total synthesis of solanoeclepin A. *Nature Chem.* 3: 484-488



写真1 北海道研究農場新研究棟に導入した液体クロマトグラフ質量分析計