

持続可能な農業に向けて期待される農業用 バイオ製剤

—バイオ技術による農薬・化学肥料の代替資材開発—

2021/10

三井物産戦略研究所

技術イノベーション情報部コンシューマーイノベーション室

佐藤佳寿子

Summary

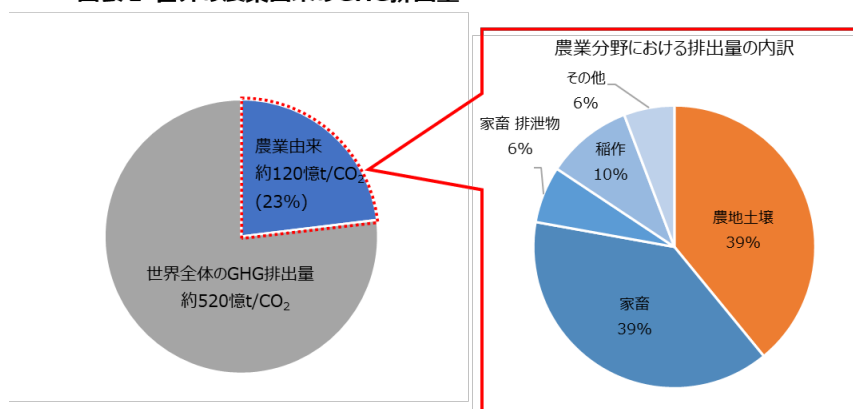
- 持続可能な農業を実現する手段として、バイオ農薬、バイオ肥料、バイオスティミュラントといった農業用バイオ製剤が注目を集めている。
- 農業用バイオ製剤は既存の農薬や化学肥料と作用機構が異なるため、農作物の生産過程におけるこれらの働きについての理解が重要となってくる。
- 農業用バイオ製剤の活用はスマート農業の推進に大きく影響される。今後、スマート農業における技術の進歩とともに新たなビジネスが展開される可能性があり、それに伴い農業用バイオ製剤の注目もいっそう高まっていくだろう。

1. 農薬・化学肥料からの転換

農業用バイオ製剤が注目される背景

2020年に77億人だった世界人口は2050年には97億人に達する見込みで、人口増加に対応するためには農作物の収量向上は不可欠である。そのため、農薬や化学肥料の使用は年々増加しており、2019年の使用量は2002年比で約1.5倍、2020年も同程度になると推測される。近年では環境への影響も大きな課題として挙げられている。世界全体のGHG排出量に占める農業由来の同排出量の割合は23%に至り、中でも農地の土壌からの排出量が家畜と並んで最大となっている（図表1）。これは化学肥料に含まれる窒素成分から発生

図表1 世界の農業由来のGHG排出量



出所：農林水産省「みどりの食料システム戦略」、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構「農業由来温室効果ガス排出削減技術の開発」を基に三井物産戦略研究所作成

する一酸化二窒素が主因のため、化学肥料の使用量削減によりGHG排出量削減が期待できる。また、農薬による人体への影響も懸念されており、毎年、世界の農業従事者のうち約44%にあたる約3.9億人が、生命に危険は及ばないまでも急性農薬中毒にかかっているという試算もある¹。

このような背景を受けて、EUでは政策面の対策が講じられている。2015～2017年の消費量をベースラインとして2030年までに農薬の使用量とリスクを50%削減、化学肥料の使用量を20%削減という目標を、2020年に策定された「Farm to Fork戦略」で掲げている²。さらに、農薬のリスク試算方法についても再検討され、より厳しい基準が設定された。しかし、生物多様性の状況改善、保全のために自然環境の30%を保護地区とすることを目指し、農地面積の増加が難しくなる中、農薬・化学肥料の使用量削減による農作物の収量減少が懸念される。その解決手段として、バイオ農薬・バイオ肥料・バイオスティミュラント（本稿では、これら3種を合わせて「農業用バイオ製剤」とする）が注目されている。日本でも、農林水産省が2021年5月に発表した「みどりの食料システム戦略」において、農薬、化学肥料の使用量削減に向けた技術開発の一環として、バイオ農薬、バイオスティミュラントの普及が指摘されている³。

農業用バイオ製剤は、2020年現在では3種それぞれが約20億～40億米ドルの市場規模で、今後の成長率は10～15%/年程度と予測されている⁴。すでに農薬・化学肥料を用いた農法が確立している欧米を中心とした先進国の中でも、環境保護・生物多様性保全に積極的に取り組む国々では需要が増加しており、今後もそうした国々を中心として市場が拡大していく見込みである。農業用バイオ製剤が利用される農作物はトウモロコシのように大量生産されているコモディティが主体となっているが、原則として適用作物は限定されていないため、研究・開発が進んでいく中で対象は拡大していくものと考えられる。今後は、先進国だけでなく途上国においても農作物の収量増加と環境保護という相反する課題が出てくることが予測され、解決手段の一つとして注視していく必要がある。

1 Wolfgang Boedeker et al :BMC Public Health 2020 Dec 7;20(1)
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33287770/> （アクセス日：2021年10月5日以下同）

2 Farm to Fork targets - Progress
https://ec.europa.eu/food/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress_en

3 「みどりの食料システム戦略について」（農林水産省）
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>

4 Biostimulants Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis
<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biostimulants-market-100414>
Global Biopesticides Market Size By Type, By Source, By Mode of Application, By Formulation, By Crop Application, By Geographic Scope And Forecast
<https://www.verifiedmarketresearch.com/product/biopesticides-market/>
Biofertilizers Market by Form, Mode of Application, Type, Crop Type And Region - Global Forecast to 2026
https://www.reportlinker.com/p04208111/Biofertilizers-Market-by-Type-Microorganism-Mode-of-Application-Crop-Type-Form-and-Region-Global-Forecast-to.html?utm_source=GNW

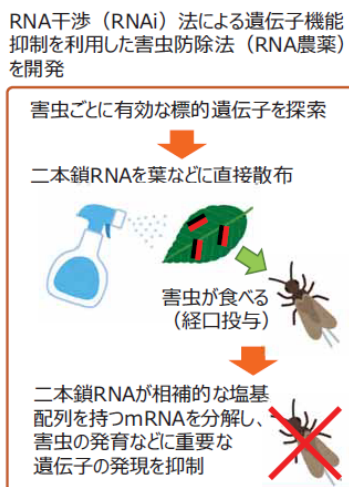
2. 農業用バイオ製剤の種類と特徴

2-1. バイオ農薬

バイオ農薬の定義は各国の規制により異なるが、多くは植物、微生物、生体物質などの天然物質を使用して製造された農薬を指す。雑草や害虫の成長を制御するために、葉面散布か、土壌への直接添加の形で使用される。従来の化学農薬と比較して、多くは対象害虫のみに毒性が作用するため人体への影響が少なく、生物多様性保全の観点において環境への負荷が小さいと考えられている。一方で、即効性や安定性に欠けるといった課題もある。

そのような課題の解決法の一つとして注目されているのは、COVID-19のワクチンでも活用されているRNAの利用である。特定の害虫のみに作用して、体内でのタンパク質合成を阻害するRNAを含む農薬を散布し、害虫がそれらを摂取することにより死滅する仕組みである（図表2）。（米）GreenLight Biosciences社では、ミツバチに寄生するダニを死滅させる成分を含むRNAの開発に成功している。特定の害虫のみを高い有効性をもって駆除する方法として期待されており、今後は他の昆虫への展開も目指して開発が進められている。

図表2 RNA農薬の作用の仕組み



出所：みどりの食料システム戦略について（農林水産省）

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-7.pdf>（スライド39）

2-2. バイオ肥料

バイオ肥料は植物に直接栄養を与える化学肥料とは異なり、藻類、真菌などの微生物で構成されており、土壌全体の肥沃度を向上させる作用がある。微生物が、植物の栄養素となる窒素、リン酸、カリウム成分を吸収しやすい形に変化させることで農作物の成長を促進する。化学肥料と比較して即効性には欠けるものの、土壌中に含まれる栄養素を長期的に効率よく農作物に与えることが可能となる。一方で、農地の土壌状態は地域、農作物により様々で、適用可能な微生物の種類が異なる点や、微生物を扱うという性質上、保管が難しいという課題がある。

(米) Indigo Agriculture社は農地の土壌分析を実施し、その土地土地に適した微生物を提供するというビジネスを展開している。保管が難しい微生物は種子にコーティングすることで、農作物の成長過程で効率よく作用させることができる。また、(米) 3Bar Biologics社は、種子コーティング以外にも、乾燥状態に弱い微生物を粉末化して農地で活性化させるという技術を保有しており、さらなる技術開発を進めている(図表3)。

図表3 バイオ肥料を開発する主要企業一覧

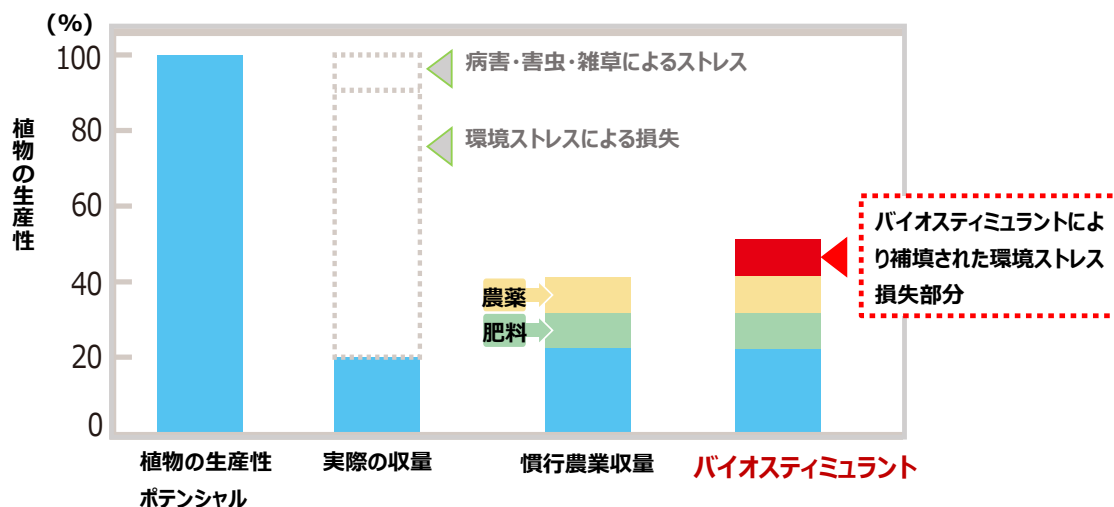
企業名	概要
(米)Locus Agricultural Solutions	汎用性のある土壌改良微生物の探索、販売。微生物の作用により土壌炭素量貯留量の増加も企図。Noriと共同にてカーボンクレジット事業を実施。
(米)Indigo Agriculture	農地の土壌を採取し微生物叢を分析。農作物、土壌に最適化した微生物を種子にコーティングし販売。カーボンクレジット事業も展開。
(米)Pivot Bio	種子コーティングおよび播種時の窒素固定細菌の散布により高効率な活用を促す。
(米)3Bar Biologics	微生物が含まれるバイオ肥料を長寿命化させるシステムを保有。Pivot Bioと提携。
(米)Azotic Technologies	窒素固定細菌(空気中の窒素を土壌中に固定化する作用をもつ細菌)を種子にコーティングすることにより、窒素系肥料の施肥量を25~50%削減することに成功。

出所：各種資料を基に三井物産戦略研究所作成

2-3. バイオスティミュラント

バイオスティミュラントは栄養効率、非生物的ストレス耐性、および/または作物の品質特性を高め、本来、植物が保有する能力を最大限に活かすために利用される物質または微生物のことを指す。この言葉が最初に科学文献に用いられたのは2007年であり、比較的新しい農業用バイオ製剤と言える。バイオスティミュラントを用いることにより、農作物の収量増加が見込める(図表4)。具体的な成分と作用については図表5に示す通りである。

図表4 バイオスティミュラント利用時の収量増加イメージ



出所：(株) 誠文堂新光社「農耕と園芸」(<https://karuchibe.jp/read/12459/>) を基に三井物産戦略研究所作成

図表5 バイオスティミュラント物資と作用例

	作用	腐植質・有機酸	海藻・多糖類	アミノ酸・ペプチド	ミネラル・ビタミン	微生物(生菌)	天然抽出物
向上・促進系	ストレス耐性	○	○	○			○
	代謝向上		○	○	○		○
	光合成促進			○	○		
	開花・着果促進			○			○
調整・コントロール系	蒸散調整		○		○		
	浸透圧調整		○	○			
根の賦活系	根圏環境改善	○				○	○
	根量増・根活性高	○	○		○	○	○
	ミネラル可溶化	○				○	○

出所：「高木篤史 2019年度 日本生物工学会北日本支部 仙台シンポジウム」を基に三井物産戦略研究所作成

一方で、対象とする作物、生育環境などによって有効成分は変わるため、最適化された圃場で農業を行うには生物群を分析し、バイオスティミュラント成分との相互作用解明が必要となってくる。現状で開発が進んでいるのは、農作物の中では比較的単価の高いトマトやコモディティであるトウモロコシ、小麦などの穀物への適用に限られている。(イスラエル) Lavie Bio社は植物の育成状態と環境データに関連する微生物13万株のデータベースを保有しており、圃場ごとに最適な効果を発揮する成分を特定し、顧客に情報提供している。

3. 今後の展望

スマート農業と農業用バイオ製剤

農業用バイオ製剤は持続可能な農業を実現する手段として期待が高まる一方で、まだ研究・開発途上にあると言えよう。現状では、農薬・化学肥料の使用量を減らして農業用バイオ製剤を利用することで収量が減少する可能性もある。しかし、環境負荷の少ない農業への転換の流れは強く、課題解決に向けて政策的な支援が検討されている。EUでは農業用バイオ製剤を含む、気候変動・生物多様性保全に関する課題解決のための研究と新技術に対して100億ユーロの資金を提供する予定である⁵。

技術的な面で未解明な点を明らかにすることが、農業用バイオ製剤普及の一助になると考えられる。圃場の日照量、雨量、気温、湿度といったデータ採取と収量情報から農作業を最適化するスマート農業や、農作物、微生物、土壤中の生体分子を網羅的に分析するオミクス解析、植物の形状や成長状態を解析するフェノミクスといった技術を用いて得られたデータを総合的に活用することが、現在試みられている。これらの技術による開発・最適利用が推進されれば、農業用バイオ製剤は農薬・化学肥料の代替資材、ある

⁵ Factsheet: From farm to fork: Our food, our health, our planet, our future
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_908

いはそれを凌駕する作用を発揮するものとなる可能性もある。例えば理化学研究所では、これまで経験的に行われてきた農業現場にオミクス解析を導入することによって、実際に土壌中の微生物細菌叢が最適化されていることが可視化できるようになり、今後、より高効率な農業用バイオ製剤の開発が期待されている⁶。また、最適な利用方法についての検討も推進されていくと予想される。

上述したように、現在、農業用バイオ製剤は、使用量や使用時期を最適化するスマート農業、効能を的確に把握する解析技術を活用し、研究開発が進められている。将来的にはトータルソリューションとして、それぞれの圃場、農作物に最適な農業用バイオ製剤を開発し、使用時期を提案していくスマート農業ビジネスが展開されると考えられる。それに伴い、農業用バイオ製剤への注目もいっそう高まっていくだろう。

6 農業生態系のデジタル化に成功－作物生産における土壌有機態窒素の重要性を解明－（理化学研究所）
https://www.riken.jp/press/2020/20200609_2/

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できるとされる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。