

科学技術連携施策群「食料・生物生産研究」 (第2次取りまとめ) 生物生産研究の推進・強化に向けた推進方策

はじめに

世界の飢餓人口が10億人に達し、世界人口が2050年までに90億人に達すると予測される現在、発展途上国の経済成長による穀物需要の増大、気候変動による生産の不安定化、バイオ燃料生産との競合など、世界の食料をめぐる情勢は不安定化の度合いを高めている。このような、食料、エネルギー、環境等の諸問題は、人類社会が持続的発展を遂げるために解決しなければならない緊急の課題であり、科学技術の貢献が大いに期待されている。

このような中で、平成19年4月に開始した科学技術連携施策群「食料・生物生産研究」では、環境と調和のとれた安全な食料の生産・供給、ならびに生物機能活用による物質生産に関する研究の強化に向けた検討を行ってきた。

こうした本連携施策群としての検討結果は、先に第一次取りまとめ「円滑な屋外栽培試験の促進に関する推進方策」として報告した。

一方、地球温暖化等の環境問題への対応が求められる中で、原材料生産を含めた製造プロセスの二酸化炭素排出の削減など環境負荷の低減につながる技術として、生物機能を活用した物質生産技術の研究開発が重要となっている。またアジア、アフリカ等の発展途上国における食料不足問題の解決に資するためにも食料、生物生産研究は重要である。このことから、第一次取りまとめに続き、本報告では微生物、植物、昆虫、家畜、魚類に注目して、これらによる食料および有用物質に関する「生物生産」研究の現状を概観し、今後強化すべき問題について検討したものを取りまとめた。

微生物を用いた生物生産研究

「平成19年度バイオ産業創造基礎調査報告書」(経済産業省)によると、我が国のバイオテクノロジー関連製品の国内生産年間出荷額(約7兆1,461億円、平成18年度)のうち、発酵工業分野で我が国が独自の発展を遂げている「食品」(酒類、天然調味料、発酵食品等)が約4兆4,729億円(62.6%)と最も多く、次いで「医薬品・診断薬・医療用具」が1兆188億円(14.3%)、「その他の食品」(甘味料、酵素等)が4,381億円(6.1%)の順となっている。

特許出願の状況を見ると、バイオテクノロジーの基幹技術である糖鎖工学技術分野で日本は世界シェアの46%を占めて世界トップに立っている。また、微生物・酵素等を用いて有

用物質を製造する技術分野では31%、生物的手法による化学品分野では30%と、両分野とも米国と肩を並べるなど、非常に世界シェアが高い（「ライフサイエンスに関する特許出願技術動向調査報告」平成15年、特許庁）。このように微生物バイオテクノロジーは我が国が強みを持っている領域である。

微生物バイオテクノロジーは、1957年に日本の研究者がグルタミン酸生成手法を開発したことに示されるように、我が国でオリジナルの技術が発展してきた。また微生物バイオテクノロジーは、環境負荷の低い製造プロセスとして、グルタミン酸などのアミノ酸やビタミン、油脂、医薬中間体の生成などの工業的物質生産に役立っている。

また、化石燃料を原料として発展してきた化学工業が、植物などの再生可能な有機物資源の活用へと方向転換しようとしており、酵素や微生物等の生物触媒に大きな期待がもたれている。

さらに微生物バイオテクノロジーは、汚水浄化や下水汚泥・製鋼スラグ・発酵産業廃棄物などからのリンの回収など環境浄化技術の柱の一つを担う重要なテクノロジーであり、同時に次世代産業に必要な稀少重金属の回収（バイオリッチング）に関しても高い利用のポテンシャルを持っている。また、微細藻類の中には *Botryococcus braunii* など油を産生することが知られているものもあり、これらをバイオ燃料の原材料として用いるため、培養などの研究・技術開発や新規微細藻類の探索が進んでいる。

今後も微生物の未知の生物機能を発見することを通じて、微生物バイオテクノロジーが広くバイオテクノロジーをリードすることが期待される。さらに、メタゲノム解析や難培養微生物の研究を通じて、好熱菌などの極限環境微生物など新たな微生物資源の発見や、微生物-植物共生系、微生物-微生物間共生系、微生物-動物共生系に関する新たな研究が展開されている。

今後、微生物を用いた生物生産研究は、産業化に向けて以下のように、基礎研究から実用化研究にいたるまで産学官が連携して効率的に推進する必要がある。

1. 実用化に向けた微生物による工業的物質生産や、医薬・農薬等の創薬に向けた微生物の探索などは、研究戦略を明確にし、産学官の連携を推進する。
2. 微生物バイオテクノロジーを環境浄化や有機物資源の活用など、環境・エネルギー分野への積極的な応用を戦略的に推進する。
3. モデル微生物から産業用微生物まで幅広く遺伝子機能解析を行い、目的機能を持つ酵素・タンパク質の作成や遺伝子の組合せを最適化したゲノムの設計によって、生産性を極限まで高めた微生物の創製に役立てる。そのため、新規有用微生物の探索、保存、分類、分譲等の支援システムを構築するとともに、微生物ゲノム情報の蓄積・データベース整備と公開を図る。
4. 新たな微生物の可能性を切り開くために、メタゲノムや複合微生物群集の解析・利用

技術や難培養性微生物の培養法、土壌中の微生物間での遺伝子水平移動等の微生物生態学の基礎研究を推進する。

植物を用いた生物生産研究

植物は、光合成により大気中の二酸化炭素を吸収・固定し、物質生産を行う独立栄養型の生物種であり、天然エネルギー活用型の生物生産系である。それゆえ、地球上の生物学的エネルギーおよび物質循環は、その起点としての植物や藻類などの光合成生物にほぼ負っている。また、生産された植物バイオマスは、今後の石油、石炭資源に代わる再生産可能な低炭素社会、持続的社会構築に貢献する重要な素材である。

その植物バイオマス生産は、食料はもとより、未利用資源を含めてエネルギー資源としての活用が期待されている。また、工業・医薬を含む産業分野では、化学合成等の他の方法では生産が困難または高コストになる有用成分については植物由来物質が多く利用されている。さらには植物や樹木等の持つ二酸化炭素の吸収・固定能を活用して、現在地球規模で問題になっている温暖化を緩和する対策に貢献することも期待されている。

既にいくつかのモデル植物や樹木について全ゲノム解析が終了している。多種多様な実用作物のゲノム解析も現在進行しており、トウモロコシ、ダイズのように既に終了したものもある。また海外では遺伝子組換え作物の実用化も進められており、ゲノム情報を活用した植物二次代謝系の遺伝子解明や、遺伝子組換え技術の利用による物質生産能力の向上研究が世界的に進展している。さらには、他の生物に由来する遺伝子を導入して、機能性成分やワクチン、抗体などの医療用原材料や化粧品成分を生産する研究開発が、企業・公的研究機関において進められている。

我が国の基礎・基盤研究は、長い研究の歴史に支えられ、世界に先駆けてイネの全ゲノム配列を明らかにするなど世界のトップレベルにある。第1次取りまとめ「円滑な屋外栽培試験の促進に関する推進方策」において指摘したように、今後は遺伝子組換え技術に対する国民理解を深めながら遺伝子組換え作物の実用化研究を加速し、産業利用の促進を図ることが期待される。

今後、植物を用いた生物生産研究は、食料供給力の強化および産業化に向けて以下のように、基礎研究から実用化研究にいたるまで産学官が連携して効率的に推進する必要がある。

1. 植物における生物生産研究は、低コストで省エネルギー型の生産や大量生産が容易なこと、地域独自の資源があること等の特性を活かし、産学官連携のもと、実用化実証研究を進める。

2. より効率的な物質生産に向けて、目的遺伝子の高発現・制御技術、物質高蓄積技術、実用植物における形質転換技術や組織培養技術の確立を推進し、これらが連携した研究体制の構築を図る。
3. 物質生産を目的とする遺伝子組換え植物の栽培・生産のための体制および環境の構築・整備を推進する。
4. アジア、アフリカ等の発展途上国の食料不足問題の解決および砂漠緑化等の環境修復、バイオマスエネルギー問題に対応するため、生産性の向上、病虫害や不良環境耐性の付与等、気候変動に適応した農作物や樹木等に関する研究・開発を国際貢献の視点から行う。

昆虫を用いた生物生産研究

昆虫の研究においては、ショウジョウバエやハマダラカ、ミツバチ、カイコなどのゲノムが解読され、遺伝子組換え技術などの遺伝子工学手法の応用や開発も進み、中でも、カイコについては日本が主導的な役割を果たしている。平成12年に、日本の研究チームが遺伝子組換えカイコの作出技術を開発した。次いで、平成16年にゲノム配列の概要が解読され、平成21年には、中国との共同研究として、ほぼ完全なゲノム配列が解読された。

昆虫を用いた生物生産研究としては、遺伝子組換えカイコを用いた機能性絹糸や、診断薬用の酵素など有用物質の生産などの研究開発が、公的研究機関と企業、農業団体などの連携によって進められている。また、フィブロインやセリシンなどの絹タンパク質を人工血管や再生医療用細胞足場材料などのバイオマテリアルとして利用しようとする研究も進められている。これらの研究開発における我が国の優位性は、カイコや絹に関する長年にわたる研究蓄積や、カイコの絹糸腺で目的タンパク質を発現させるような新しい遺伝子組換え技術の進展にある。

また、昆虫に特有な機能を活用した研究開発も期待されている。例えば、乾燥状態で長期間生存できるネムリユスリカの能力を利用した生体保存法、シロアリ等に由来する効率的なセルロース分解酵素を利用したバイオ燃料生産技術、昆虫のフェロモン受容機構を応用した高感度バイオセンサやバイオリボットの開発など、今後の産業利用が期待されている。また海外ではマラリア対策のため、遺伝子組換え蚊の研究・開発が行われている。

今後、昆虫を用いた生物生産研究は、産業化に向けて以下の項目に留意して、基礎研究から実用化研究にいたるまで産学官が連携して効率的に推進する必要がある。

1. 遺伝子組換えカイコを用いた有用物質生産については、実用化に結びつけるために、産業界や社会のニーズに基づいて研究課題を選定する。

2. 神経細胞数の少ない脳とそれに適応した情報処理系や行動制御、脱皮・変態・休眠などの劇的な形態変化や行動変化を制御する内分泌系、ほ乳類の獲得免疫機構と異なり抗菌性ペプチドを使用する独特な生体防御、昆虫同士のみならず微生物や植物など他の生物種との密接な生物間相互作用などに着目して、多様な昆虫機能を活用するための基礎研究を推進するとともに、研究の初期段階から多様な研究者を結集する。

家畜や魚類を用いた生物生産研究

家畜の研究においては、ウシの全ゲノム解読、ニワトリおよびブタについては全ゲノムの概要解読が終了し、わが国はウシゲノム及びブタゲノムの解析に貢献してきた。わが国を含む各国では、安定的動物タンパク質の生産に向けたゲノム情報と生産能力との関係解析研究が行われている。

家畜研究分野では、ここ 20 年の間に家畜の受精卵移植や体外受精等の胚操作技術、体細胞クローン技術、これらを利用した遺伝子組換え技術等が開発されるなど技術の進歩が目覚ましい。体細胞クローン技術は基礎生物学、実験動物学、再生医学などに影響を与え、遺伝子組換え技術と組み合わせることにより、生活習慣病などのヒト医療モデルブタ等の研究開発に結びついている。また、家畜体細胞からの iPS 細胞開発技術は、生体細胞からの卵および精子の形成を可能とし、革新的育種技術に結びつくとともにヒト組織再生のモデルとしての家畜の有用性を高める。

これらの家畜研究を支える基盤として感染症対策が重要であり、ゲノム情報や遺伝子組換え技術を用いたワクチンや感染症に強い系統の開発が期待されている。

魚類については、水産物の安定供給および水産業の健全な発展のためには資源管理は欠かせない。魚類特有の発生機構の解明に基づいた、マグロ等大型魚類養殖のための革新的育種技術の開発が、世界に先駆けて我が国で進められているところであり、世界の魚類生産に貢献することが期待される。

今後、家畜や魚類を用いた生物生産研究は、産業化に向けて以下の項目に留意して、基礎研究から実用化研究にいたるまで産学官が連携して効率的に推進する必要がある。

1. 家畜、魚類における分子遺伝情報に基づいた生産性ならびに感染防御（ワクチンを含む）に関する遺伝子レベルでの研究を進める。またヒト医療モデル動物及びゼブラフィッシュ等のモデル魚類における幹細胞からの繁殖細胞の生成、組織分化等に関する基礎研究を進め、家畜や養殖魚種での応用研究との連携を進める。
2. 家畜を用いた有用物質生産や、ヒトの医療に貢献するモデルブタの研究開発については、実用化に結びつけるために、医学分野や産業界、社会のニーズに基づいて研究を

進める。

3. 家畜における生物生産を効率的に行うための基盤として感染症対策を進める。
4. 将来の産業応用の基盤となる家畜品種の多様性を確保するため、戦略的なバイオリソース増殖の研究を進めると共にその維持・保存を進める。

生物生産研究の推進・強化に向けた基盤の整備

ゲノム研究などの基礎研究から食料・生物生産に繋がる応用研究へ橋渡しするため、微生物、植物、昆虫、動物等を用いた研究の基盤となるバイオリソースを戦略的に整備するとともに、その活用をより一層推進することが必要である。また、総合的な整備に当たっては、国内はもとより海外機関との連携を図りつつも、我が国独自の戦略を一層推進・強化する必要がある。

また、実用化に向けては、基盤的な特許など、質の高い知的財産を戦略的に確保・活用することも重要である。