
ERAプロジェクト調査報告

February 2019

バイオテクノロジー研究会



特定非営利活動法人

国際生命科学研究機構

International Life Sciences Institute Japan

International Life Sciences Institute, ILSI は、1978年にアメリカで設立された非営利の団体です。

ILSI は、科学的な視点で、健康・栄養・安全・環境に関わる問題の解決および正しい理解を目指すとともに、今後発生する恐れのある問題を事前に予測して対応していくなど、活発な活動を行っています。現在、世界中の400社以上の企業が会員となって、その活動を支えています。

多くの人々にとって重大な関心事であるこれらの問題の解決には、しっかりとした科学的アプローチが不可欠です。ILSI はこれらに関連する科学研究を行い、あるいは支援し、その成果を会合や出版物を通じて公表しています。そしてその活動の内容は世界の各方面から高く評価されています。

また、ILSI は、非政府機関（NGO）の一つとして、世界保健機関（WHO）と協力関係にあり、国連食糧農業機関（FAO）に対しては特別アドバイザーの立場にあります。アメリカ、ヨーロッパをはじめ各国で、国際協調を目指した政策を決定する際には、科学的データの提供者としても国際的に高い信頼を得ています。

特定非営利活動法人国際生命科学研究機構（ILSI Japan）は、ILSI の日本支部として1981年に設立されました。ILSI の一員として世界的な活動の一翼を担うとともに、日本独自の問題にも積極的に取り組んでいます。

まえがき

2019. 2

バイオテクノロジー研究部会

2019年の調査報告書第1号（通算第42号）をお届けします。

本号では、遺伝子組換え技術を用いた研究として、繊維調製の過程で発生する廃棄物をエネルギー・燃料へ利用するために低リグニンの組換えアマを作出しバイオガス産生を試みた事例（No.410）、高カロテノイド含有の組換えキャッサバを作出し栄養価向上を試みた事例（No.411）、高カロテノイドのトウモロコシによる慣行飼料の代替可能性の調査結果（No.416）をご紹介します。また、RNAi手法を用いた事例として、ポティウイルス病に対する高度抵抗性のダイズ（No.412）、コナジラミ抵抗性のレタス（No.414）、脂質生産性を向上させた藻類（No.415）を作出した研究をご紹介します。また、No.418では、遺伝子組換え油糧種子作物が産生するエイコサペンタエン酸やドコサヘキサエン酸に代表される長鎖多価不飽和脂肪酸の地上生態系に与える影響のリスク評価における留意点を考察した論文をご紹介します。

また、海外での状況における報告事例として、ウガンダにおける遺伝子組換え（GE）作物開発とバイオセーフティ規制の現状と課題をまとめたウガンダの国研及び規制当局者による総説（No.419）、さらに2016年5月に米国科学アカデミーが報告した包括的報告書「GE作物—経験と展望」について、同報告書の科学的価値及び将来方向に関して検討・集約された報告（No.413）をご紹介します。

今回は、作物分野以外の話題として、養殖漁業を主体とするゲノム編集手法の適用の最新状況とロードマップ（No.417）についてご紹介しています。

なお、これまでに調査報告でご紹介した文献抄訳は、以下の URL で閲覧可能です。

<https://ilsijapan.sakura.ne.jp/pnamazu/namazu.cgi>

目次

No.410	アマの CAD 抑制効果によるバイオガス産生の増大 Impact of CAD-deficiency in flax on biogas production	1
No.411	組換えキャッサバにおける導入 <i>crtB</i> 導入遺伝子及び内生 <i>psy2-y₁</i> 、 <i>psy2-y₂</i> 遺伝子の発現解析及びその根カロテノイド含量に及ぼす影響 Molecular analysis of the expression of a <i>crtB</i> transgene and the endogenous <i>psy2-y₁</i> and <i>psy2-y₂</i> genes of cassava and their effect on root carotenoid content	2
No.412	ダイズにおける <i>Nlb</i> 遺伝子イントロンヘアピン RNA の発現による RNA 干渉による 7 種類のポティウイルス病に対する高度抵抗性の獲得 Robust RNAi-mediated resistance to infection of seven potyvirids in soybean expressing an intron hairpin <i>Nlb</i> RNA	3
No.413	米国科学アカデミー報告書は広い支持を得ている National Academies report has broad support	4
No.414	GE レタス (<i>Lactuca sativa</i>) における RNAi によるコナジラミ (<i>Bemisia tabaci</i>) 抵抗性 RNAi-mediated resistance to whitefly (<i>Bemisia tabaci</i>) in genetically engineered lettuce (<i>Lactuca sativa</i>)	5
No.415	藻類油料生産性向上による脂質生産量の増加 Algal oil productivity gets a fat bonus	6
No.416	家禽における高カロテノイド組換えトウモロコシ由来のプロビタミン A の生理活性及び ゼアキサントンの β -カロテンの吸収阻害作用の不在 Provitamin A carotenoids from an engineered high carotenoid maize are bioavailable and zeaxanthin does not compromise β -carotene absorption in poultry	7
No.417	ゲノム編集手法：モデル及び非モデル魚種への適用の 最新の状況とロードマップ Gene editing tools: state-of-the-art and the road ahead for the model and non-model fishes	8
No.418	遺伝子組換え油糧種子作物と陸上では新規の栄養素：倫理的配慮 Genetically engineered oil seed crops and novel terrestrial nutrients: ethical considerations	9
No.419	ウガンダにおける遺伝子組換え (GE) 植物の環境放出の準備 Readiness for environmental release of genetically engineered (GE) plants in Uganda	10

アマの CAD 抑制効果によるバイオガス産生の増大

Impact of CAD-deficiency in flax on biogas production

Wröbel-Kwiatkowska M *et al.*

2015

Transgenic Research 24: 971-978

ポーランドの大学研究者による原著論文である。アマ（亜麻）は栽培歴の長い作物であり、繊維及び油が産生物である。繊維調製の過程で発生する廃棄物である Flax shives (FS と略記) は、繊維 1 トン当たり 2.5 トン発生する。FS の用途は、梱包用の緩衝材から、近年はエネルギー・燃料への新用途が示唆されている。FS 中のリグニンが機械的・化学的分解の障害であり、リグニン含量の低下が最重要とされている。著者らは低リグニン組換えアマによるバイオガス産生を試み、以下の結果を得た。

- (1) 供試材料：リグニン合成主要遺伝子 *CAD* を抑制した組換えアマ CAD27 及びその対照品種 Nike を 4 ヶ月ほ場栽培し繊維及び FS を調製した。次に 3 種類の前処理 (2M 水酸化ナトリウム・1M 硫酸・水) を 37°C、72 時間行った。その後 21 日間の嫌氣的発酵を経て、各種の主要成分が測定された。
- (2) バイオガス産生量：水酸化ナトリウム処理区の組換えアマ及び対照；水処理区の組換えアマ及び対照の 21 日間バイオガス蓄積量 (ml) は、約 125・117・100・80 であり、水酸化ナトリウム処理区の組換えアマが最大の産生量であった。硫酸処理区は約 70ml の最低産出量であり、組換えによる差はなかった。
- (3) リグニン含量：各処理後のリグニン残存量は、組換え・対照の非組換え系統の間には差がなく、水酸化ナトリウム処理区が最低であった (約 200mg/g 乾物重)。水処理区では組換え系統が対照より 27% 低かった。硫酸処理区では組換えによる差はなかった。
- (4) セルロース・ペクチン含量：セルロース含量は水処理のとき対照系統より組換え系統で減少、硫酸処理では両系統に有意な差は無く、水酸化ナトリウム処理は両系統で含量を低下させその低下幅は対照系統の方が大きかった。ペクチン含量は組換え系統で低下し、水酸化ナトリウム処理で両系統とも最も低下した。これらの結果はバイオガス産生量とは明瞭な関係を示さなかった。
- (5) Crystallinity Index：FS 中の結晶性セルロース含量は、全処理区を通じて組換え系統が対照より少なく、組換え系統の易分解性を示した。
- (6) 総括：組換え低リグニンアマは、構造的・化学的・酵素的易分解性を助長し、FS のリグニン含量を低下させ、バイオガス産生量を増大させた。本結果は再生可能バイオエネルギー計画の一環として期待される。

(林 健一)

組換えキャッサバにおける導入 *crtB* 導入遺伝子及び内生 *psy2-y₁*、*psy2-y₂* 遺伝子の発現解析及びその根カロテノイド含量に及ぼす影響

Molecular analysis of the expression of a *crtB* transgene and the endogenous *psy2-y₁* and *psy2-y₂* genes of cassava and their effect on root carotenoid content

Chavarriaga-Aguirre P *et al.*

2017

Transgenic Research 26: 639-651

国際熱帯農業センター (CIAT)・大学 (コロンビア・米国)・シンジェンタ (コロンビア) の共同研究原著論文である。キャッサバは世界第2のデンプン供給作物であるが、主要食用品種はカロテノイド・タンパク質などの微量栄養素含有量が低い。そこで、植物プラスチドにおけるカロテノイド生合成経路の鍵酵素であるフィトエン合成酵素 (PSY) の細菌由来ホモログ *crtB* 遺伝子の導入による組換えキャッサバが以前に作られたがカロテノイド含量は中程度にとどまった。そこで、著者らは *crtB* 導入組換えキャッサバ (選抜マーカーとして *hpt* 遺伝子も保有) とカロテノイド高含量在来系統との交雑を試み、以下の結果を得た。

- (1) 交雑供試系統：1) 母親：*crtB* 組換え1系統 (*crtB* 及び *psy2-y₁* (ホモ) を保有)；2) 父親：高カロテノイド含有の3在来系統 (*psy2-y₂* (ホモ) あるいは *psy2-y₁/psy2-y₂* (ヘテロ) を保有)。
- (2) 交雑後代の調製：交雑3ヶ月後の母株果実より種子を採取、発芽後の実生個体の葉を用いて *hpt* 及び *crtB* 遺伝子の有無を確認、12~13ヶ月生育個体より正常根を採取、洗浄・乾燥・粉碎してカロテノイド測定用試料を調製した。
- (3) 高カロテノイド系統の特定：全カロテノイド含量 ($\mu\text{g/g}$ 乾燥重) を測定した18試料 (含親系統) 中で、*crtB* を保持していたのは4系統、このなかの1系統1221-55は全カロテノイド含量が $33.55\mu\text{g/g}$ 乾燥重と他3系統 ($6.71\sim 22.74\mu\text{g/g}$ 乾燥重) 及び父親黄色系統 ($24.09\mu\text{g/g}$ 乾燥重) より有意に高い値を示した。1221-55は個別のカロテノイド9種類中4種類でも他系統より含量が有意に高かった。この1221-55における全カロテノイド含量の増加は、1交配による約39%の増加であった。
- (4) 高カロテノイド系統 (1221-55) の遺伝子型：母親は *crtB*、*psy2-y₁* (ホモ)；父親は *psy2-y₂* (ホモ)、従って交雑後代は *PSY2* に関してすべてヘテロ (*psy2-y₁/psy2-y₂*)、*crtB* に関してはヘミ接合となる。この様に交雑によりもたらされた3種類の遺伝子 (*crtB*、*psy2-y₁*、*psy2-y₂*) の同時発現 (1221-55)、とくに *crtB* と *psy2-y₂* の2遺伝子の同時発現が全カロテノイド含量の顕著な増加をもたらしたと考えられる。
- (5) 総括：組換えキャッサバの *crtB* 遺伝子と在来高カロテノイド系統由来の *psy2-y₂* アレルの交雑個体における同時発現により、高カロテノイド含有系統が作出された。本研究はキャッサバの栄養価向上のための慣行育種とバイオテクとの結合による好結果を示すものである。

(林 健一)

ダイズにおける *Nlb* 遺伝子イントロンヘアピン RNA の発現による RNA 干渉による7種類のポティウイルス病に対する高度抵抗性の獲得

Robust RNAi-mediated resistance to infection of seven potyvirids in soybean expressing an intron hairpin *Nlb* RNA

Yang X *et al.*

2017

Transgenic Research 26: 665-676

中国の省・国立研究所研究者の共同研究による原著論文である。ダイズモザイクウイルス (SMV) は、同属のマメモザイクウイルス (BCMD)、スイカモザイクウイルス (WMV) とともに一本鎖 RNA ポティウイルス科に属し、ダイズの収量・品質に大損害を与える。著者らは、成果が限定的である既往育種に対し、RNAi 手法による安定的・広範囲なウイルス病抵抗性ダイズの作出を試み、以下の結果を得た。

- (1) RNAi ダイズ系統の作出：SMV SC3 羅病ダイズ葉を材料に慣行品種 Shengnong9 に RNAi 手法を適用し、*Nlb* 遺伝子由来の intron hairpin RNA 配列を発現する組換えダイズ (T_0) 42個体を作成し、自殖により T_2 ~ T_4 系統を維持した。
- (2) RNAi ダイズの SMV 抵抗性検定 (ほ場)：予備的に選出したダイズ 3 系統の T_2 ~ T_4 世代をほ場で生育させ、幼葉に SMV SC3 羅病品種葉汁液を機械的に接種し、35日後の病徴を調査した。非 RNAi 対照区は、各世代とも巻葉・矮性などの顕著なウイルス病徴を示した。一方、組換え RNAi 区は各代・3 系統を通じて、正常な生育及び農業形質を発現し、安定的な SMV 抵抗性を示した。
- (3) RNAi ダイズの SMV 系統別の抵抗性検定 (温室)：温室生育の RNAi ダイズ (T_4) 3 系統に、7 種類のポティウイルス (5 種類の SMV 及び BCMV・WMV) を個別に接種し、35日後に病徴を調査した。非 RNAi 対照はすべてのウイルスに顕著な病徴を示した。一方、RNAi 系統は 7 種類のウイルス病原に対して病斑を示さず、広範囲・安定的抵抗性を示した。また病害指数も、非 RNAi の 40~55 に対し、RNAi 系統はすべて 10 以下であった。しかし、コモウイルス科の BPMV (bean pod mottle virus) に対して、RNAi 系統は抵抗性を示さなかった (ほ場試験結果と同様)
- (4) ウイルス RNA 蓄積量：7 種類のポティウイルスの外被タンパク質 (CP) の蓄積量を調査した結果、組換え RNAi 系統は対照よりすべてウイルスの CP 蓄積量が有意に低かった。
- (5) 総括：RNAi 手法により作出された intron hairpin *Nlb* RNA ダイズは、 T_2 ~ T_4 世代にわたり、5 種類の SMV を含む 7 種類のポティウイルスに対して、広範・安定的な抵抗性を示した。本成果は RNAi 手法による耐病性付与の一環として位置づけされると考えられる。

(林 健一)

米国科学アカデミー報告書は広い支持を得ている

National Academies report has broad support

Vincelli P *et al.*

2017

Nature Biotechnology 35: 304-306

要旨：米国科学アカデミー（The National Academy of Sciences, Engineering and Medicine）は2016年5月に包括的報告書「GE作物—経験と展望」を公刊した。これに対し2名の米国評論家は、GE作物成果の過少評価を不満とする激しい批判論文を公刊した。これを受けて同報告書筆頭執筆者は的確に反論し、同報告書の正当性を論述・刊行した。以上の経緯に基づいて、米国科学アカデミーはGE作物関連主要17学会の代表者を招聘し、同報告書の科学的価値及び将来方向に関する検討・集約を依頼した。代表者及び数千名の関係研究者・専門家の討議結果の主要点は以下のよう

- 1) 人間の健康安全性に関してGE食品と非GE食品との間には差異はない。
- 2) GE作物はその栽培者に一般的には経済的好結果をもたらしている。しかし変動性がある。
- 3) GE作物が与える便益は、GE技術が発展・普及する社会経済的領域の影響を受ける。
- 4) GE作物は、初期の反対論者の予想に反して、今日では健康・環境に深刻な悪影響を与えることなく広面積に栽培されている。
- 5) 米国における増収率（トウモロコシ、ダイズ、ワタ）は、GE作物の作付け以前と以後の期間で差異を生じていない。
- 6) 増収の大半は、雑草・病害虫による減収を最小限とすることによる本来的収量と現実的収量との間のギャップの縮小によるものである。
- 7) 現行GE作物による増収は、生物的圧力が強い環境では増大し、圧力が弱い環境では低下する。
- 8) 将来、真の遺伝的収量能力の向上（豊栄養価・高光合成能力など）による増収が期待される。しかし、該当品種はまだ作出されていない。
- 9) 規制に関しては、種々の理由により各種の制度が採用されていることが認識される、全体を通じて重要なことは、規制対象は「product」であり、「process」ではないことである。
- 10) 「omics」については、その微細情報分野での存在価値は認識される、しかしGE作物の安全性との関連は不明であり、直接的利用価値は認められない。
- 11) GE技術の消費者受入れのためには、今後公衆との科学的交信の増大が必須である。
- 12) 以上を総括して、報告書はGE作物の農業・保健・環境・社会経済的效果に関する科学的証拠について、最新の信頼性の高い結論を提供する包括的文書であると結語される。

（訳者註：米国における学術団体の科学的分野への公開的健康的支援は印象的である。日本では公衆へのオピニオンリーダーとなるべき学術分野はその責を果たすことなく既に久しい。）

（林 健一）

GE レタス (*Lactuca sativa*) における RNAi による コナジラミ (*Bemisia tabaci*) 抵抗性

RNAi-mediated resistance to whitefly (*Bemisia tabaci*) in
genetically engineered lettuce (*Lactuca sativa*)

Ibrahim AB *et al.*

2017

Transgenic Research 26: 613-624

ブラジルの公社・大学研究者による共同研究原著論文である。コナジラミ（シルバーリーフコナジラミ）は、ワタ・ダイズ・バレイショ・インゲンマメ・キャッサバ・ナス・キュウリ・コショウ・トマトなどの600種以上の作物に吸汁害を与える上に数種類のウイルス病を媒介する大害虫である。著者らは効果が限定的であった慣行育種に代る RNAi 手法による耐虫性レタスの作出を試み、以下の結果を得た。

- (1) 組換えレタスの作出：コナジラミ内在 *v-ATPase* 遺伝子をアグロバクテリウム法によりレタスに導入し、intron hairpin 構造を構築した。自殖 T₀ 個体より T₁ 種子を採取し、最終的に T₁ から 7 個体群を選出し、以下の検定を行った。
- (2) 組換えレタスのコナジラミ抵抗性：ポット生育 4 週間の *v-ATPase* 発現組換えレタス T₁ 7 個体群に発生直後のコナジラミを 20 匹 / 個体ずつ飼育させた。組換え区：非組換え対照区におけるコナジラミ生存率は、飼育試験 3 日後で、30~54.6%（致死率 56.4~70.0%に相当）：76.3~85.0%；5 日後で 9.6~16.3%（致死率 83.8~98.1%に相当）：56.3~56.7%；10 日後では 0%：5%以下であった。以上から組換えレタスはコナジラミ飼育 3 日間以降で対照より有意の高いコナジラミ致死率を発現させることが分かった。
- (3) 組換えレタス吸汁コナジラミの産卵・蛹化に対する影響：飼育 12 日後の産卵数・幼虫数は、組換え区が 24~66・13~52、対照が 227~231・107~125 であり、組換え区吸汁コナジラミが有意に低かった。同様に組換え区は蛹数及び発生幼虫数も対照より有意に低く、生存コナジラミ数は 13 日後で 2、以後は 0 であった。一方対照区の 17 日後の生存数は、11~17 匹であった。
- (4) コナジラミ内生 *v-ATPase* 活性：飼育 48 時間後の活性（相対値）は、組換え区がすべて 1.0 以下であったが、対照は 2.5 であり、組換えレタスを吸汁したコナジラミの *v-ATPase* 活性は有意に低かった。
- (5) 総括：RNAi 手法により、吸汁害虫コナジラミに対する抵抗性レタスが作出された。組換えレタスは、吸汁コナジラミの生存率、産卵・幼虫・蛹・発生幼虫数において対照より有意に低く、高いコナジラミ抵抗性を示した。今後、ほ場試験による再確認を経て、本 RNAi 手法の適用範囲の拡大が期待される。

(林 健一)

藻類油料生産性向上による脂質生産量の増加

Algal oil productivity gets a fat bonus

Posewitz MC

2017

Nature Biotechnology 35: 636-638

米国の大学研究者による報道短報である。従来、藻類による脂質生産は、効率向上とバイオマス減少とが相殺する場合が多かった。Ajjawiら（2017）は、海水生育藻類に新手法（ゲノム編集・RNAi）を適用して改良を試み、以下の結果を得た。

- （1）供試材料：従来の酵母・細菌などは給源として糖が必要であった。一方、光合成藍藻や真核微細藻類は、水・炭酸ガス・太陽光だけでバイオマス生産が可能である。数種の藻類は海水で生育し真水を必要とせず、人工太陽光で数ヶ月戸外生育する。これらの特性を兼備する材料として、真核微細藻類 *Nannochloropsis gaditana* が特定され、新手法による改良が試みられた。
- （2）新材料のバイオマス分配と脂質生産： i) 通常生育（対照）：バイオマスの40%はタンパク質へ、20%は脂質へ分配される。 ii) *ZnCys*（脂質蓄積の調節に関わる遺伝子転写制御因子）の発現と抑制：脂質の著増（55%）はタンパク質の激減（5%）による生育低下により相殺され、脂質生産量の増加は少ない。 iii) RNAi手法による調整：高脂質への分配（40%）は維持され、なお生育に十分なタンパク質への配分（20%）も確保された。RNAi手法による1系統は、5 g/m²/日の脂質生産を、養分充足・模擬太陽光条件で示した。
- （3）将来目標：市場化達成のためには、現在の5 g/m²/日を30g/m²/日のレベルに引上げる必要がある。
- （4）総括：海水生育真核微細藻類 *Nannochloropsis gaditana* にRNAi手法を適用し、海水・模擬太陽光下で正常バイオマスを確保しつつ5 g/m²/日の脂質を産出する新系統が作出された。今後の手法の改良により、脂質生産量の増加をはかる必要がある。

（林 健一）

家禽における高カロテノイド組換えトウモロコシ由来のプロビタミン A の生理活性及びゼアキサントンの β -カロテンの吸収阻害作用の不在

Provitamin A carotenoids from an engineered high carotenoid maize are bioavailable and zeaxanthin does not compromise β -carotene absorption in poultry

Diaz-Gomez J *et al.*

2017

Transgenic Research 26: 591-601

スペイン・ドイツの大学研究者による原著論文である。人間は必須カロテノイドを主として植物食品から摂取している。カロテノイドは、大部分はプロビタミン A (β -カロテン) としてビタミン A の供給源となる。また他部分 (ゼアキサントニン、ルテイン) は抗酸化物質として機能し、ビタミン A の給源とはならない。近年、南アフリカ原産白色自殖トウモロコシ M37W を変換・構築された高カロテノイド組換えトウモロコシは、前記 4 種類のカロテノイドの含量が高い。一方、慣行飼料は一部のカロテノイド含量が低く、種々の補充が必要である。著者らは高カロテノイドトウモロコシによる慣行飼料の代替可能性を調査して、以下の結果を得た。

- (1) 供試飼料 (4 種類): a) 組換えトウモロコシ、b) 非組換えトウモロコシ (対照) + (β -ゼアキサントニン・ルテイン・ β -カロテン)、c) 対照 + (ルテイン・ β -カロテン)、d) 対照 + (天然添加物)
- (2) 飼育試験: 発育 14 日 (初期 7 日 + 栄養平均化 7 日) の雄ブロイラーに、上記 4 種の給飼試験を 14 日行い、28 日後に屠殺して各部分を調査した。
- (3) 給餌前飼料の成分 ($\mu\text{g/g}$): β -カロテン: a) 3.06、b) 2.72、c) 2.41、d) 2.24; β -クリプトキサントニン: a) 1.04、b) 及び c) 不検出、d) 0.91。ルテイン: a) 3.45、b) 1.45、c) 0.95、d) 5.76; ゼアキサントニン: a) 9.80、b) 3.46、c) 0.83、d) 2.01。この結果、a) 組換えトウモロコシが、プロビタミン 2 成分及び抗酸化成分において最高値を示した。
- (4) 給餌試験結果: 1) ゼアキサントニン及びルテイン水準: 血清及び肝臓のゼアキサントニンは組換えトウモロコシ飼料飼育が、ルテインは対照 + (天然添加物) 飼料飼育が最高値を示した。2) ビタミン A 水準 ($\mu\text{g/ml}$): 給餌区間差は少なかったが、組換えトウモロコシ供飼区で血清において高い傾向であった。3) ブロイラーの生育: 個体重、摂取量、飼料利用率などに、飼料間差はなかった。
- (5) 総括: 遺伝子操作により作出された高カロテノイドトウモロコシは、各種の補完材料を要する慣行飼料と同様の飼育試験結果を示し、単独飼料として慣行飼料の代替となりうる可能性が示された。

(林 健一)

No.417

ゲノム編集手法：モデル及び非モデル魚種への適用の 最新の状況とロードマップ

Gene editing tools: state-of-the-art and the road ahead for the
model and non-model fishes

Barman H K *et al.*

2017

Transgenic Research 26: 577-589

インド国研研究者によるレビューである。養殖漁業推進のために、小型魚（ゼブラフィッシュ・金魚・メダカ）を用いた遺伝子組換え魚の研究は多数あるが人間の食用として市場化が認可されているのは、養殖大西洋サケの一種類だけである。近年のゲノム編集技術は従来の胚幹細胞レベルの研究を、体細胞レベルへと飛躍させた。著者らはゲノム編集技術を詳述し（省略）、最近の水産養殖における成果と展望をレビューした。

- (1) 研究成果： i) 体細胞突然変異：筋肉増強（ゼブラフィッシュ・メダカ）、 ii) 性転換：卵細胞発達；雄から雌への性転換（ニジマス）；生殖細胞発達抑制（大西洋サケ [外洋への遺伝子放出阻止]）；生殖巣欠除・雄化（テラピア）、 iii) 生産性向上：筋肉増強による体重増（コイ）。
- (2) 将来展望（研究領域の拡大）： i) 各種生理機能の理解推進； ii) 精子形成機能の理解推進（全雄化・侵入種抑制）； iii) 耐病性研究の推進（特に養殖水産）； iv) 食用魚の生産性増進； v) 効果的隔離養殖施設の整備拡大； vi) 安全性指針（米国 FDA2016）の留意
- (3) 総括：遺伝子組換え大型魚の外洋への直接放出は非現実的であるが、養殖漁業を主体とするゲノム編集手法の適用は将来性があると期待される。

（訳者註：成果産物ではなく研究領域に関するレビューであるが、水産業界発展への貢献が基本的方向と理解される）。

（林 健一）

遺伝子組換え油糧種子作物と陸上では新規の栄養素：倫理的配慮

Genetically engineered oil seed crops and novel terrestrial nutrients: ethical considerations

MacDonald C *et al.*

2018

Science and Engineering Ethics doi.org/10.1007/
s11948-018-0074-9

カナダの3大学の研究者による共同研究。エイコサペンタエン酸（EPA）やドコサヘキサエン酸（DHA）に代表される長鎖多価不飽和脂肪酸（LC-PUFA）は水生動物及び陸上動物の健康に不可欠であるが、地上の一次生産者によっては合成されず、海洋微細藻類やシアノバクテリアによってほぼ独占的に合成される。陸上植物は、LC-PUFAを産生できないが、藻類由来の遺伝子を植物に導入することでのLC-PUFAの産生が可能となる。しかし、LC-PUFAはこれまで地上には存在しなかった栄養素であり、地上の生態系に与える影響は未知である。筆者らは、EPA/DHA産生組換え油糧種子作物の栽培が地上生態系に与える影響のリスク評価における留意点を考察した。

- 1) EPA及びDHAによる生態系への影響の懸念：Hixsonら（2016）は、EPA及びDHAの供給がチョウ目昆虫に成長阻害をもたらすことを報告し、EPA及びDHA産生組換え作物の安全性に対して警鐘を鳴らした。
- 2) 陸上における新規性：栄養改変組換え作物は既に先行例が多数あるが、それらの栄養素は他の地上植物が既に産生しているものである。ゴールドエンライスを例とするならば、本来イネ種子においてβカロテンは豊富ではないが、緑黄色野菜等では一般的な栄養成分である。一方でLC-PUFAは、既存の陸生作物では生産するものが知られていない。故に新規の栄養素と定義される。
- 3) リスク要因の論点整理：Hixsonらの指摘はEPA及びDHAの生態系への潜在的リスクであって、EPA/DHA産生組換えナタネの組換え操作に起因するリスクではない。もし、EPA/DHAの生産が組換え以外の操作によって達成できたとしても、EPA/DHA成分への潜在的リスクに起因する影響は存在する。
- 4) 組換え作物を使用した試験の必要性：Hixsonらが影響を指摘したチョウ目は、主に葉や茎を摂食するので、商品となる種子ではなく葉や茎におけるLC-PUFAの蓄積量によって評価されるべきである。一方で、Hixsonらの報告は、人工飼料による結果であり、組換え作物そのものを使った評価実験が行われるべきである。

（小口 太一）

ウガンダにおける遺伝子組換え (GE) 植物の環境放出の準備

Readiness for environmental release of genetically engineered (GE) plants in Uganda

Zewedde BM *et al.*

2018

Frontiers in Bioengineering and Biotechnology doi.org/10.3389/fbioe.2018.00152

ウガンダの国研及び規制当局者による総説。ウガンダはアフリカの国々の中で比較的速い経済発展をしており、その主因は農業の技術改革による食料安全保障の確立にある。今後も食料安全保障を維持するためにバイオテク技術の導入は重要である。本稿では、ウガンダにおける遺伝子組換え (GE) 作物開発とバイオセーフティ規制の現状と課題がまとめられている。

- (1) 政治的環境：ウガンダは2001年にカルタヘナ議定書を批准、国内法整備をすすめた。ウガンダ国立科学技術会議 (UNCST) が GE 作物の研究開発を所管監督する。UNCST 議決1990号では、同国におけるすべての科学研究開発活動の透明化を義務付ける。GE 作物のバイオセーフティ制度枠組みについては、国家バイオテクノロジー及びバイオセーフティ政策 (2008) により暫定的に規定されていた。
- (2) ウガンダにおける GE 作物の研究開発の現状
 - キャッサバ：2種類のウイルス病 (キャッサバモザイク病、褐色条斑病ウイルス) 耐性組換えキャッサバの CFT 及び複数地点ほ場試験が展開される。褐色条斑病ウイルスは現在、同国のキャッサバ生産にとって最大の問題となっており、年間収量損失は、4,000万米ドル以上とされる。
 - トウモロコシ：干ばつ耐性及び害虫抵抗性トウモロコシの CFT、またそれらスタック系統の複数地点ほ場試験が進行中である。これらの研究開発は、WEMA (Water Efficient Maize for Africa) プロジェクトによって行われているものである。
 - ジャガイモ：ベト病耐性組換えジャガイモの複数地点ほ場試験が展開される。
 - ダイズ：Roundup Ready ダイズから土着品種への交雑育種による遺伝子移行が進行しており、安定系統が得られ次第ほ場試験が実施される計画である。
- (3) バイオセーフティ実務者の育成：過去20年間でウガンダ政府は、上記に示した CFT やほ場試験の審査を通じ、バイオセーフティ枠組みの運用経験を積んできた。さらに、バイオセーフティ実務者の育成にも力を入れてきた。ウガンダには現在、バイオテクノロジー関連教育を提供する大学が9つある。規制当局自身も、バイオセーフティ実務者育成研究プログラムを提供し、人材育成を支援する。
- (4) 今後の課題：これまでの審査は、関係省庁及び管轄当局ごとに個別に実施されており、今後は、より戦略的に省庁間の連携を強化するとともに、必要に応じた規制枠組みの見直しが必要である。

(小口 太一)

ERA プロジェクト調査報告

2019年2月 印刷発行

特定非営利活動法人
国際生命科学研究機構 (ILSI JAPAN)

会 長 宮澤陽夫

理事長 安川拓次

〒102-0083東京都千代田区麴町3-5-19

にしかわビル5F

TEL 03-5215-3535

FAX 03-5215-3537

[http:// www.ilsijapan.org](http://www.ilsijapan.org)