
ERAプロジェクト調査報告

December 2023

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・安全性・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的研究を行い、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。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所機構 (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

2023. 12
バイオテクノロジー研究会

2023年の調査報告書第4号（通算第65号）をお届けします。

本号では、遺伝子組換え作物の開発に関する基礎的な知見として、No.637で高温ストレス耐性トウモロコシの作出を、No.638でウイルス病害抵抗性オオムギの作出を、No.641でキシラン含量低減ポプラのほ場試験を、No.642で難分解性低減のためにリグニン及びフェルラ酸含量を低減させたスイッチグラスのほ場試験について紹介しています。

また、環境影響評価に関する論文として、No.640では世界の農業気候を視覚化したツール GEnZ エクスプローラーの開発を、No.643では韓国における遺伝子組換えトウモロコシの環境適応性についての調査結果を紹介しています。

さらに No.639では、2022年に逝去された Alan Raybould 氏による持続的発展目標に資するバイオテクノロジー政策を実現するための提言を取り上げています。

なお、これまでの調査報告書は、以下の URL で閲覧可能です。

<http://www.ilsi japan.org/ILSI Japan/COM/Rcom-bi.php>

目次

No.637	酸化還元操作によるトウモロコシの圃場熱ストレス耐性及び子実収量の向上 Redox-engineering enhances maize thermotolerance and grain yield in the field.....	1
No.638	オオムギの <i>PDIL5-1</i> 感受性遺伝子の標的変異導入によるビモウイルス BaMMV に対する 新規抵抗性 Novel resistance to the Bymovirus BaMMV established by targeted mutagenesis of the <i>PDIL5-1</i> susceptibility gene in barley	2
No.639	バイオテクノロジー的革新の政策的向上—食料の安全保障と他の持続的発展目標— Improving the politics of biotechnological innovations in food security and other sustainable development goals	3
No.640	GENZ エクスプローラー：研究及び規制リスク評価への情報提供を目的とした視覚化農業 気候ツール GENZ explorer: a tool for visualizing agroclimate to inform research and regulatory risk assessment	4
No.641	キシランがポプラの圃場生産性と材木の糖化特性に与える影響 Impact of xylan on field productivity and wood saccharification properties in aspen	5
No.642	難分解性を低減した組換えスイッチグラスの圃場における評価 Field performance of switchgrass plants engineered for reduced recalcitrance	6
No.643	環境中へ非意図的に放出された遺伝子組換え飼料用トウモロコシの自生植物の発生と環境 適応性 Volunteer plants' occurrence and the environmental adaptability of genetically modified fodder corn upon unintentional release into the environment	7

Redox-engineering enhances maize thermotolerance and grain yield in the field

酸化還元操作によるトウモロコシの圃場熱ストレス耐性及び子実収量の向上

Sprague SA *et al.*

2022

Plant Biotechnology Journal 20: 1819-1832

米国の大学・国研・研究所の研究者による原著論文である。2014～2021年は温暖化の傾向が顕著であった。生殖生长期の高温は熱ストレスと稔実不良によりトウモロコシを含む多くの作物の生育・収量に大損害を与えた。予測モデルでは今世紀末までに、トウモロコシを含む多くの作物の平均収量は46～82%低下するとしている。人口増による食料需要増加と熱ストレスによる作物収量低下は、将来における世界的食料不足に対する対策の必要性を示している。このため、特に世界最大の生産量を支えているトウモロコシについて、収量形成最重要期である生殖生长期における熱ストレス耐性が強化された品種の作出が重視されている。著者らは熱ストレス耐性因子の導入による多収トウモロコシの作出とその実際の圃場栽培における増収性の確認を目的に研究を行い、以下の結果を得た。

1. 供試組換えトウモロコシの作出

トウモロコシ自殖系統 B104に、グルタチオンを補因子とする酸化還元酵素（Glutaredoxin）をコードするシロイスナズナ由来の *AtGRXS17* 遺伝子がアグロバクテリウム法で導入された。

2. 組換えトウモロコシ系統の特性

1) 内生 *ZmGRXS17* の熱ストレスによる誘発

4つの自殖系統では熱ストレス処理2時間後に *ZmGRXS17* の発現量は通常の3～6倍に達し、以後漸減した。

2) *AtGRXS17* 発現系統の正常生育

この系統の生育・稔性は異常なく、正常であった。組換え13系統から3系統（S17-5、S17-6、S17-10）が精選され、各種調査が実施された。

3) 生殖生长期における耐熱性

37°C（昼）・32°C（夜）の温度処理を開花後10日間行った。S17-5、S17-6、S17-10の着粒率は対照の2倍以上であった。

4) 花粉の耐熱性

37°C・72時間処理により対照区の花粉は死滅したが、組換え区の花粉はなお20%の発芽率を維持した。

5) 着粒率（kernel set）

熱ストレスによる着粒率の低下は、対照が81%に達したが、組換え系統 S17-5は38%、S17-10は42%であり、1個体着粒数は対照：61、S17-5: 233、S17-10: 188であった。以上から、熱ストレス条件下において組換え系統は、対照より着粒率は高く、不稔率は低いことが示された。

3. 総括

シロイスナズナ由来遺伝子 *AtGRXS17* の導入により、組換え多収トウモロコシが作出された。同系統は、特に生殖生长期の熱ストレスに耐性を有し、圃場栽培において対照より有意に高い収量を示した。本結果は、トウモロコシ並びに他作物における熱ストレス耐性系統の作出に新しい情報・素材を与えることが期待される。

（林 健一）

Novel resistance to the Bymovirus BaMMV established by targeted mutagenesis of the *PDIL5-1* susceptibility gene in barley

オオムギの *PDIL5-1* 感受性遺伝子の標的変異導入によるビモウイルス BaMMV に対する新規抵抗性

Hoffie RE *et al.*

2023

Plant Biotechnology Journal 21: 331-341

ドイツの国研研究者による原著論文である。ドイツでは、オオムギは重要作物であるが、その育種は長年の慣行育種が一般的であり新しい成果は乏しい。オオムギ栽培では、2種類のウイルス (BaYMV と BaMMV) による病害が慣例的であり、現在栽培される大多数の品種は抵抗性遺伝子 (*rym4/rym5*) を有するため2種類のウイルスに対して耐性を有していたが、近年、この抵抗性遺伝子に非感受のウイルスの出現により、新しい抵抗性オオムギ品種の作出が急務となった。著者らは長年月・大費用の慣行的耐病性育種とは異なるゲノム編集手法を適用し、以下の結果を得た。

(1) 標的遺伝子

これまで抵抗性遺伝子としてよく利用された *rym4/rym5* は *EUKARYOTIC TRANSLATION INITIATION FACTOR 4E (EIF4E)* をコードする遺伝子である。在来種 HOR1363 及びロシア栽培品種 Russia57 から同定された抵抗性遺伝子は *PROTEIN DISULFIDE ISOMERASE LIKE 5-1 (PDIL5-1)* であった。本研究では、これを抵抗性獲得のための標的変異導入遺伝子とした。

(2) 冬品種「Igri」由来突然変異系統

冬品種「Igri」を用い、*PDIL5-1*を標的とした CRISPR 法による標的変異導入を行ったところ、11個体（再分化体全体の28%）において目的位置への変異導入が確認された。選抜した5系統について M_2 植物を得、BaMMV の接種試験を行ったところ、79個体中44個体がウイルス耐病性変異体であった。変異体の千粒重・一株粒数では対照との有意差は検出されなかった。

(3) 春品種「Golden Promise」由来突然変異系統

春品種「Golden Promise」を用いて同様の実験を行ったが、全体的に冬品種「Igri」と同様な結果であった。

(4) 総括

冬品種「Igri」及び春品種「Golden Promise」に対し、ゲノム編集手法により、新規耐性遺伝子 *PDIL5-1* に対する標的変異導入が試みられ、BaMMV に対する抵抗性系統の獲得に成功した。これにより本手法の実効性が確認され、関連分野にも有用な情報が提供されることが期待される。

(林 健一)

Improving the politics of biotechnological innovations in food security and other sustainable development goals

バイオテクノロジー的革新の政策的向上
—食料の安全保障と他の持続的発展目標—

Alan Raybould

2021

Transgenic Research 30: 613-618

著者 (Syngenta 英国及びエジンバラ大学 (晩年のみ)) のみによる単著論文である。

1. 序文

持続的発展のためのグリーンバイオテクノロジーには、「より良い政治 (better politics)」が必要である。これによりバイテク反対派を抑制し、新開発を奨励し社会の信頼を獲得する必要がある。

2. 選択

最近の EU による GM 作物の圃場栽培の承認は、科学尊重の良例である。一方、どの程度のリスクと科学的不確かさを許容しうるかに関する政治的選択がなされていない場合には、20年以上栽培承認が未決定の場合がある。これは政治的リーダーの責任回避であり、科学的根拠は乏しい。

3. 規制政策

持続的発展のためのイノベーションは、技術開発よりも、社会的必要性により推進されるべきである。しかし、遺伝子組換え作物に対する規制政策は、社会がイノベーションの恩恵を受けることよりも、新技術によるリスクを抑制することに重点を置く傾向が強い。一方、ゲノム編集作物は、従来の遺伝子組換え作物とは区別してイノベーションの恩恵を重要視する傾向がある。英国政府タスクフォースのアプローチが典型例である。

4. 市民

GM 反対論者が個人的興味に基づく場合には、資料・意見交換などにより反対の態度を緩和・変更させることは可能である。しかし、反対がイデオロギーに基づく場合には、変更は期待できない。

5. 結語

大多数の社会、特に西欧民主主義国家では、政府機関に対する信頼が長期にわたって低下している。この信頼の喪失は「非政治化」、つまり意思決定が政治家から技術官僚に移管され、人々が自分たちの生活を左右する問題について発言権がないと感じることによるものともされている。グリーンバイオテクノロジーに対する議論を、一般的な社会全体として建設的なものとする、よりよい政治が要望される。(訳者註：著者は本論文発表後、間もなく逝去された)

(林 健一)

GEnZ explorer: a tool for visualizing agroclimate to inform research and regulatory risk assessment

GEnZ エクスプローラー：研究及び規制リスク評価への情報提供を目的とした視覚化農業気候ツール

Melnick R *et al.*

2023

Transgenic Research 32: 321-337

米国、カナダ、英国の公的研究機関、大学、民間の科学者による報文。新規遺伝子組換え作物を利用する際の承認審査は国や地域毎に実施され、隔離は場試験（CFT）に基づく環境リスク評価（ERA）情報の提出が要求される。以前は、審査が行われる国や地域でCFTを実施することが求められたが、現在では、他地域の同一農業気候で実施されたCFTにもとづくERA情報の可搬性が認められつつある。そこで筆者らは、ERA情報の可搬性を支援する世界各地の農業気候を視覚化するツールを開発した。

筆者らが新しく構築した GEnZ (Global Environmental Zones) エクスプローラーは、既存の全球環境階層化システム (The Global Environment Stratification System, GEnS) の公開データの視覚的な検索を可能としたツールであり、21の主要作物と対象とし、以下のことが実施できる。

- (a) 各作物の農業気候帯ごとの栽培面積をヒストグラムとして視覚化、
- (b) 各作物の栽培分布を地図上に視覚化、
- (c) インタラクティブマップで特定の位置の農業気候情報を取得

GEnZ エクスプローラーは、これまでに実施済みの CFT の ERA 情報と新たに承認申請をする地域とのマッチングを容易にしたり、新たな組換え作物についてどこで CFT をすべきかといった計画を立案したりする等に利用することができる。

GEnZ エクスプローラーは、<https://foodsystems.org/resources/genz/> で公開され、誰でも無料で使用することができる。

(小口太一)

Impact of xylan on field productivity and wood saccharification properties in aspen

キシランがポプラの圃場生産性と材木の糖化特性に与える影響

Derba-Maceluch M *et al.*

2023

Front. Plant Sci. DOI: 10.3389/fpls.2023.1218302

スウェーデンの大学・公的研究機関による報文。キシランは、広葉樹の木質バイオマスの約25%を占めるが、木質バイオマスの酵素処理による糖化を阻害することからバイオリファイナリー利用を妨げる要因となっている。そこで遺伝子組換え手法により、キシラン含量を低下したポプラが開発されている。先行研究により、キシラン低減組換えポプラは実験室内で酵素糖化性が改善することが明らかにされているが、野外条件下で試験されていない。そこで筆者らは、キシラン低減組換えポプラの圃場試験を実施し、以下の結果を得た。

1) 植物材料

ポプラ（交雑アスペン：*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx., T89株）において、キシランの重合に関わる *GT43BC* 遺伝子、キシランの還元末端配列の合成に関わる *GALT1.1* 遺伝子、及びキシラン生合成との関連が指摘される非定型アスパラギン酸プロテアーゼ (*ASPRI*) 遺伝子の3遺伝子を個別に RNAi により発現抑制した形質転換体を用いた。

2) 圃場試験

3か月間鉢植え栽培した苗を、2014年8月にスウェーデン南部ラホルムの圃場に移植し、4年間栽培した。

3) 生産性

*ASPRI*抑制系統は圃場において非組換え体よりも生産性が10%有意に小さく、節足動物による葉の食害が多かった。他2系統の圃場における生産性は非組換え体と有意な差がなかった。

4) 木質品質特性

*ASPRI*抑制系統及び *GT43BC* 抑制系統の木材は、細胞壁が非組換え体よりも薄かった。キシラン含量は、3種類の組換え系統全てで非組換え体よりも低かった。*GALT1.1*抑制系統及び *ASPRI*抑制系統のヘミセルロースのサイズは非組換え体と比較して高分子量に偏っていた。

5) 酵素糖化性

前処理なしの酵素糖化では、3種類の組換え系統全てで非組換え体より8~11%高いグルコース収量が得られた。酸前処理後の酵素糖化では、*GT43BC*抑制系統で非組換え体より10%高いグルコース収量が得られた。

6) 総括

供試した組換えポプラ3系統は、圃場栽培でも木材におけるキシラン含有量の低下及び酵素糖化性の向上が確認された。これらはポプラ木質バイオマスのバイオリファイナリーに利用に向けた有益な一歩として評価される。

(小口太一)

Field performance of switchgrass plants engineered for reduced recalcitrance

難分解性を低減した組換えスイッチグラスの圃場における評価

Eudes A et al.

2023

Front. Plant Sci. DOI: 10.3389/fpls.2023.1181035

米国の公的研究機関、大学の研究者による報文。スイッチグラス (*Panicum virgatum* L.) は、少ない栄養素の投入で高い収量を達成する優秀な多年生バイオエネルギー作物である。しかし、細胞壁に多く含まれるリグニンやフェルラ酸エステルは、バイオマスの酵素処理による糖化を阻害することからバイオリファイナリー利用を妨げる障害となっている。そこで、遺伝子組換え手法による改良がおこなわれ、圃場試験による評価が行われた。

1) リグニン又はフェルラ酸エステル低減組換えスイッチグラスの作出 (先行研究)

リグニンの前駆体であるシキミ酸の低減をもたらす微生物由来のデヒドロシキミ酸デヒドロターゼ遺伝子 (*QsuB*) 又はキシランへのフェルラ酸のエステル化を阻害するイネ由来のBAHDアシルトランスフェラーゼ遺伝子 (*OsAT10*) の過剰発現カセットをアグロバクテリウム法によってスイッチグラスに導入した。*QsuB* は、3-デヒドロシキミ酸をリグニン合成の前駆体となるシキミ酸ではなく、リグニン合成とは関連しない別の代謝物に変換することで、リグニン合成を阻害する。

2) 温室試験 (先行研究)

温室で栽培した *QsuB* 過剰発現スイッチグラスでは、リグニン含量が12~21% 有意に低下し、酵素糖化性が5~30% 増加した。同じく温室で栽培した *OsAT10* 過剰発現スイッチグラスは、フェルラ酸含量が21~27% 低下し、酵素糖化性が33~40% 増加した。

3) 圃場試験

圃場試験は USDA APHIS-BRS の承認に基づき、カルフォルニア州デービスの試験圃場で実施された。*QsuB* 過剰発現体3系統、*OsAT10* 過剰発現体2系統、非組換え体1系統 (Alamo) の6系統を4反復のランダムプロットによる栽培試験を、2018~2020年の3作期で実施した。

4) *OsAT10* 過剰発現体

フェルラ酸含有量及び酵素糖化性とともに、非組換え体との間で有意な差は検出されなかった。

5) *QsuB* 過剰発現体

リグニン含量に非組換え体との間で有意な差は検出されなかったが、バイオマス収量及び酵素糖化性は、非組換え体よりも増加した。

6) 総括

圃場栽培条件における *QsuB* 過剰発現体のバイオマス増産及び酵素糖化性の改善が実証された。一方、温室での栽培試験で観察された細胞壁成分の変化が屋外では再現されず、遺伝子組換え植物の特性評価試験において圃場での栽培試験の必要性が強調された。

(小口太一)

Volunteer plants' occurrence and the environmental adaptability of genetically modified fodder corn upon unintentional release into the environment

環境中へ非意図的に放出された遺伝子組換え飼料用トウモロコシの
自生植物の発生と環境適応性

Choi H-Y *et al.*

2023

Plants (Basel) 12: 2653

韓国の大学及び公的研究機関の研究者による報文。遺伝子組換え作物の利用において、FFP利用における輸送中にこぼれ落ちた種子による非意図的な環境放出の可能性は以前から懸念されている。韓国は日本同様、コメ以外の穀物の自給率は非常に低く多くのトウモロコシや大豆を輸入しており、その大部分は遺伝子組換え体である。筆者らは、韓国に流通しているGM飼料用トウモロコシ粒が意図せず環境中に放出された場合に、雑草や自生植物が発生する可能性を検証し、以下の結果を得た。

1) 種子の発芽温度

韓国の非組換えトウモロコシ品種の Daehakchal (食用) と Gwangpyeongok (飼料) を用い、温度と発芽を調査した。10°C、20°C、30°C、40°C での発芽率は、Daehakchal で $49.3 \pm 13.6\%$ 、 $99.3 \pm 1.2\%$ 、 $89.0 \pm 5.6\%$ 、 $32.3 \pm 2.3\%$ 、Gwangpyeongok で $18.0 \pm 6.1\%$ 、 $98.0 \pm 2.0\%$ 、 $92.0 \pm 6.9\%$ 、 $23.7 \pm 5.5\%$ であった。

2) 農業特性

韓国の品種 (Daehakchal, Gwangpyeongok) と海外品種 (KM5) を圃場で栽培し、農業特性を比較した。稈長は KM5 が最も長く、Daehakchal が最小であった。雌穂長は Daehakchal が最も長く、収量は Gwangpyeongok が最多であった。

3) GM 飼料トウモロコシ由来の自生植物の生存率

GM 飼料トウモロコシとして輸入された種子約20万粒及び5.7万粒を無処理圃場に播種したところ、28粒及び39粒が発芽し、その発芽率は0.01% 及び0.07% であった。しかし、発芽した全ての個体は雑草との競合により枯死した。

4) 種子の休眠性

GM 飼料トウモロコシとして輸入された種子100粒を強制的に吸水させたところ、97粒が発芽した。発芽しなかった3粒は腐敗していた。このとから、輸入 GM トウモロコシに休眠性は非常に低いと結論した。

5) 総括

トウモロコシの発芽は低温下では非常に低く、また実生の雑草との競合においても弱いことから、韓国で輸入 GM 飼料トウモロコシのこぼれ落ち種子由来の自生植物が定着する可能性は低いと結論された。

(小口太一)

ERA プロジェクト調査報告

2023年12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・理事長 宮澤陽夫

〒135-0004 東京都江東区森下3-13-5
ゴーベルビル5F
TEL 03-6284-0877
FAX 03-6284-0878
[http:// www.ilsijapan.org](http://www.ilsijapan.org)