
ERAプロジェクト調査報告

June 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

2023.06

バイオテクノロジー研究会

2023年の調査報告書 第2号（通算第63号）をお届けします。

本号では、ゲノム編集技術を利用した研究例として、No.618で飼料として重要なライグラスを、No.620でアフリカで重要な作物であるヤマイモを用いた研究を紹介しています。No.623は休眠性に関する QTL を標的としてゲノム編集を行った、オオムギの種子発芽の抑制に関する研究です。また、No.622において植物ゲノム編集のレビューを、No.625でゲノム編集食品の社会受容に関するレビューを紹介しています。

さらに、遺伝子組換え技術を用いた研究例として、No.617でタバコの葉における油脂産生を高める研究、No.619でイネにおいて品質低下を伴わない収量増加に関連する遺伝子の研究、No.621でアグロバクテリウム法において新たなベクターを用いたジーンターゲットングの効率化の研究、No.624で黒さび病抵抗性のオオムギ作出の研究、No.626で干ばつ耐性サトウキビの圃場試験における農業形質の評価試験を紹介しています。

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

<http://www.ilsijapan.org/ILSIJapan/COM/Rcom-bi.php>

目次

No.617	炭素代謝の変更—組換え葉油脂作物の生育及び収量の向上— Increasing growth and yield by altering carbon metabolism in a transgenic leaf oil crop	1
No.618	CRISPR/Cas9システムの適用によるライグラス (<i>Lolium</i> spp.) における標的的特異的突然 変異生成 Targeted mutagenesis in ryegrass (<i>Lolium</i> spp.) using the CRISPR/Cas9 system	2
No.619	<i>OsTPR</i> による品質低下を伴わない上部二次枝梗分枝の増加 <i>OsTPR</i> boosts the superior grains through increase in upper secondary rachis branches without incurring a grain quality penalty	3
No.620	ヤムイモ (<i>Dioscorea</i> spp.) に対する CRISPR/Cas9システムに基づくゲノム編集の適用 A CRISPR/Cas9-based genome-editing system for yam (<i>Dioscorea</i> spp.)	5
No.621	新設計ベクターによるアグロバクテリウム法を用いたトウモロコシのジーンターゲッティ ングの高効率化 Advances in <i>Agrobacterium</i> transformation and vector design result in high-frequency targeted gene insertion in maize	6
No.622	植物ゲノム編集に関する専門家の意見 Expert opinions on the regulation of plant genome editing	7
No.623	標的特定突然変異誘発によるオオムギ種子発芽の制御 Regulation of germination by targeted mutagenesis of grain dormancy genes in barley	8
No.624	コムギ <i>Sr22</i> 、 <i>Sr33</i> 、 <i>Sr35</i> 、 <i>Sr45</i> により授与されるオオムギの黒さび病抵抗性 The wheat <i>Sr22</i> , <i>Sr33</i> , <i>Sr35</i> and <i>Sr45</i> genes confer resistance against stem rust in barley	9
No.625	ゲノム編集食品の社会的受容と利害関係者の見解：グローバルな概要 Public acceptance and stakeholder views of gene edited foods: a global overview	10
No.626	サトウキビ近縁種由来の DREB2B を異所的発現させた組換えサトウキビの圃場試験によ る干ばつ耐性評価 Field evaluation of TaDREB2B-ectopic expression sugarcane (<i>Saccharum</i> spp. hybrid) for drought tolerance	12

No.617

Increasing growth and yield by altering carbon metabolism in a transgenic leaf oil crop

炭素代謝の変更—組換え葉油脂作物の生育及び収量の向上—

Mitchell MC *et al.*

2020

Plant Biotechnology Journal 18: 2042-2052

要旨：オーストラリアの大学及び国研の研究者による原著論文である。植物油脂は人間・家畜の栄養給源及びバイオ燃料などの工業的利用原料として重要である。植物油脂は種子に依存するのが一般的であるが、将来の需要増大に備えて種子以外、特に葉から生産・供給される植物油脂 (triacylglycerol: TAG) を増加する遺伝子工学が発展し、既に若干の成果が蓄積されている (ソルガム・サトウキビ・タバコなど)。しかし、一般に TAG は他の重要成分—デンプンや糖—と拮抗関係にあり、高葉油脂植物では生育・収量が低下する例が多い。以上の知見に基づいて、著者らは既存の高葉油脂 (HO) 組換えタバコについてその特性を精査し、これに基づいて新しい超高葉油脂組換え (ST) タバコの作出を試み、以下の結果を得た。

(1) 高葉油脂 (HO) タバコにおける相対生長率及びバイオマスの低下

生育6週間後のHO植物は、対照に対し、葉数・葉の大きさ・葉の厚さが低く、生長量は対照の25%であった。しかし花器形成期 (生育69日後) では、葉数は18に増加し (対照は15枚)、生長量は対照の60%に達していた。

(2) 生育に伴う炭素成分・窒素成分の分割及び油脂の蓄積

HO植物の炭素含量は、対照に対し花器形成期で12~19%高かった。デンプン含量は対照より40%低く、糖含量は栄養生長期では低く、花器形成期では高くなった。窒素含量及び水溶性タンパク質含量は、生育後期では高い値が維持されていた。葉緑素含量には大差はなかった。

(3) 超高葉油脂組換え (supertransformants; ST) タバコの生育及び油脂含量

最大生育の可能性を調査する目的で、関連遺伝子を操作し、ST系統が作出された。同系統は対照HO植物に対し、葉面積は1.7~4.8倍増加した。この増加は葉の油脂含量の増加によるものではなく、糖含量の増加によるものであった。バイオマスはST4系統中2系統では差がなかったが、2系統では対照HOより1.6~2.5倍高かった。葉バイオマス増加により、個体当たりの最終的油脂含量は対照HOより3倍の増加を示した。同様の、葉乾物重、地上部バイオマス、葉の油脂含量の増大は次世代に伝達されることが示された。

(4) 総括

既存の高葉油脂タバコについて、特徴的炭素分割に基づく生育・油脂蓄積が調査された。これに基づいて、最大生育量の可能性が調査され、通常の3倍の葉油脂含量を示す超組換え系統が作出された。本結果は、高葉油脂植物の育種に関する情報として利用されることが期待される。

(林 健一)

No.618

Targeted mutagenesis in ryegrass (*Lolium* spp.) using the CRISPR/Cas9 system

CRISPR/Cas9システムの適用によるライグラス (*Lolium* spp.) における標的特異的突然変異生成

Zhang Y *et al.*

2020

Plant Biotechnology Journal 18: 1854-1856

要旨：中国の国研及びデンマークの大学・国研研究者による短報である。ライグラスは世界の牛乳の8割、肉の7割の生産の基盤となる重要飼料作物である。ライグラスの育種は1920年代から開始され、さび病抵抗性、開花特性の改良などの成果がある。しかし、ライグラスは配偶体型自家不和合性が強く、慣行育種の適用には限界があった。一方、CRISPR/Cas9システムは多くの作物の特性向上に適用され、各種の成果が報告されているが、ライグラスには適用されていない。著者らはCRISPR/Cas9システムに活用し、同システムの適用により、新しい特性のライグラス系統の生成を試み、以下の結果を得た。

(1) 供試作物の選定

2種類のライグラス—一年生のイタリアンライグラス (*Lolium perenne* spp. *multiflorum*) 及び多年生のペレニアルライグラス (*L. perenne*) —が選定された。

(2) ゲノム編集ライグラスの作出

本研究では、減数分裂に特異的に機能をもつ *DMC1* (*DISRUPTED MEIOTIC cDNA1*) を標的とした。*DMC1*変異は植物の稔性を低下させるが、栄養成長には影響を与えない。ライグラス内生の *LpDMC1* に対し、3種のガイドRNAが設計され、CRISPR/Cas9システムによるゲノム編集が試みられ、最終的に8系統のゲノム編集系統 (T_0 ; 7種類はイタリアンライグラス、1種類はペレニアルライグラス) を得た。

(3) 変異の確認

8系統のうち、イタリアンライグラスの1系統 (G8-12) は9塩基欠失の同型接合、6種類は異型接合、1種類はモザイクであった。

(4) オフターゲット

ペレニアルライグラスのドラフトゲノム配列から3か所のオフターゲット候補サイトが見いだされたが、8系統いずれもこれらのサイトに変異がないことが確認された。

(5) 総括

2種のライグラスにCRISPR/Cas9システムが適用され、8系統の標的特異的突然変異系統が作出され、本手法の適用性が確認された。著者らは本手法を他の農業特性の改良に応用しつつある。今後、本手法が飼料作物の改良に適用されることが期待される。

(林 健一)

***OsTPR* boosts the superior grains through increase in upper secondary rachis branches without incurring a grain quality penalty**

OsTPR による品質低下を伴わない上部二次枝梗分枝の増加

Pasion EA *et al.*

2021

Plant Biotechnology Journal 19: 1396-1411

要旨：国際イネ研究所（IRRI、在フィリピン）の研究者による原著論文である。先年の「緑の革命」の功績は大きく、これは主として、少穂・疎穂から多穂・密穂への改良であった。しかし、多くの場合、密穂下部の穀粒の発育不良・稔実不良を伴っており、収量と品質との負の相関を打破することが長年の課題であった。一方、穂上部の二次枝梗分枝の増加による小穂増加に基づく増収の可能性は認識されていたが、穀粒品質との関係が未知であった。このため、上部二次枝梗分枝による着穂小穂の増加と小穂品質の維持の両面を制御する新規遺伝子の特定が重要課題となった。著者らはこの課題の研究とこれに基づく新規多収イネ系統の作出を試みて各種の研究を実施し、以下の結果を得た。

(1) 穂の主要特性と小穂 (spikelet) 数との関係

インディカイネ310品種の穂41特性について調査された。全二次枝梗分枝数 (TSRB) は変異幅が広く遺伝力 (heritability) は0.69を示した。さらに、TSRB は全小穂数 (TSP) と高い正の相関 ($r^2=0.97$) を有したが、全一次枝梗数と全小穂数との決定係数は0.64であった。穂の上・中・下部の二次枝梗分枝数は全小穂数と決定係数0.66、0.76、0.82の相関を示したが、一次枝梗数は相関が低く、0.40、0.35、0.55であった。

(2) 上部二次枝梗分枝：上部二次枝梗分枝 (upper secondary rachis branch; USRB) の遺伝的制御穂の立体的構造 (architecture) の変異の49%はUSRB、37%は全小穂数に関連していた。さらに遺伝子レベルの研究により、USRBと関連すると思われる10遺伝子が特定され、最終的に2遺伝子が特定された。最終的にこれら遺伝子は単一の遺伝子 *OsTRR* として集約されることが分かった。

(3) *OsTPR* ハプロタイプと穂分枝特性との関係

OsTPR には大きく4種類のハプロタイプがあり、そのうちハプロタイプ1はUSRB特性と最も相関が高く、他のハプロタイプは低いことが示された。さらにハプロタイプ1は乳白米比率が28%と低かったが、他のハプロタイプでは60%の高率であった。the 3000 Rice Genomes database の調査では、インディカ種の中では、ハプロタイプ1が最も代表的であり、ジャポニカ品種には存在していなかった。

(4) IRRI 系統の *OsTPR* 特性

優良 *OsTPR* ハプロタイプを持つ系統と高アミロース含量をもたらす *SBEIIb* ハプロタイプを持つ系統を掛け合わせた RIL 系統では、全小穂数 (66~403)、全一次枝梗数 (5~15)、上部二

次枝梗分枝数（1～17）と幅広い形質の違いが認められた。優良 *OsTPR* ハプロタイプと優良 *SBEIIb* ハプロタイプを併せて有する系統は、上部二次枝梗分枝数、収量、アミロース含量が高く、また各種の調理特性も高かった。さらに、低血糖指数を指標として集められた IRRI 系統中の優良5系統のうち2系統（IRRI 162及びIRRI 163）が特に優良系統として特定された。これら2系統は優良 *OsTPR* ハプロタイプを含有し、各上部二次枝梗分枝では2～5本、全粒数では50粒対照より多く、6.4～6.9トン/haの多収性を示した。

（5）総括

インディカ310品種について、穂の立体的構造、特に上部二次枝梗分枝の分化が精査され、関連遺伝子 *OsTPR* が特定された。*OsTPR* のハプロタイプ1は、上部二次枝梗分枝に着生する小穂の増加により収量が増加した。また優良 *OsTPR* ハプロタイプと優良 *SBEIIb* ハプロタイプを合わせて有する系統では収量の増加に加えて稔実粒のアミロース含量は高く、GI値は低く、高品質稔実粒が生成された。実際にこれらの優良特性を備えた育成 IRRI 系統、IRRI 162及びIRRI 163が育成された。本結果は、上位二次枝梗分枝着生小穂の増加に基づく、新しいタイプの多収良質インディカ稲系統の育種に有効な情報を与えることが期待される。

（林 健一）

A CRISPR/Cas9-based genome-editing system for yam (*Dioscorea spp.*)

ヤムイモ (*Dioscorea spp.*) に対する CRISPR/Cas9システムに基づく
ゲノム編集の適用

Syombua ED *et al.*

2021

Plant Biotechnology Journal 19: 645-647

要旨：国際熱帯農業研究所（IITA、在ケニア）・ケニアの研究所及び米国の大学・研究所の研究者による短報である。ヤムイモは多種・塊茎作物であり、世界各地、特にアフリカの人々に食料・収入を与える重要作物である。西アフリカの「ヤムベルト」は、ナイジェリア・ベニン・トーゴ・ガーナ・コートジボアールを含み、世界生産7,260万トンの92%を産出している。このような重要性にもかかわらず、ヤムイモの栽培・生産には生物的、非生物的な各種の障害がある。このため慣行育種の適用・成果は乏しく、ヤムイモの進歩は他作物に比べて大幅に遅れている。バイオテクノロジー、特に近年のCRISPR/Cas9システムはこれらの障害のいくつかを克服して、新しい進歩をもたらすことが期待される。このため著者らは初めての試みとして、ヤムイモに対してCRISPR/Cas9システムを適用した開発的研究を実施し、以下の結果を得た。

(1) 慣行育種の障害となるヤムイモの各種特性

ヤムイモの慣行育種の障害となる特性としては、雌雄異株、育種長年月、倍数性、異型接合性、少数着生種子、不同調開花などである。

(2) CRISPR/Cas9システムの適用

1) 対象品種：普及ヤムイモ品種：Amola

2) 標的遺伝子：*phytoene desaturase (DrPDS)*：phytoeneのカロチノイド前駆体あるいはカロチンへの転換因子

3) 新突然変異の発現：CRISPR/Cas9システム適用40時間後に標的部位に強い青色蛍光が発現し、新突然変異の出現が確認された。

4) ゲノム編集効率：6つのtransgenicイベントから、5つのmutantイベントが作出されたので効率は $5/6=83.3\%$ であった。

(3) 総括

CRISPR/Cas9システムをヤムイモに適用した結果、同システムがヤムイモのゲノム中の標的部位に安定的に変異を生成することが確認された。同システムが今後のヤムイモ育種に適用され、実用形質における特性の向上に貢献することが期待される。

(林 健一)

Advances in *Agrobacterium* transformation and vector design result in high-frequency targeted gene insertion in maize

新設計ベクターによるアグロバクテリウム法を用いたトウモロコシの ジーンターゲティングの高効率化

Peterson D *et al.*

2021

Plant Biotechnology Journal 19: 2000-2010

米国のバイテク企業（Corteva）の研究者による原著論文である。植物で高効率に特定の標的部位への遺伝子導入する技術（ジーンターゲティング）は長年の課題であったが、ゲノム編集技術はその鍵となりうる。つまり、「標的部位でのゲノム DNA の特異的切断」と「標的部位の塩基配列と相同な配列の中に外来遺伝子を組み込んだ DNA 断片（修復鋳型配列）による相同組換え」により、標的部位特異的な外来遺伝子の導入が可能とする（いわゆる SDN-3）。しかし現状、狙ったジーンターゲティングが発生する頻度は十分に高くない。著者らは、新設計のベクターによるアグロバクテリウム法を介したゲノム編集技術による高効率ジーンターゲティングに関する研究を行い、以下の結果を得た。

(1) 標的部位の設定

既往の結果から、比較的高いジーンターゲティングが期待される TS45と呼ばれる部位を標的とした。

(2) ベクター設計

ベクターaは、T-DNA 内に5つの発現カセット（Babyboom (Bbm)、Wuschel2 (Wus2)、Cas9、gRNA、Hra）と修復鋳型配列（外来遺伝子はNPTII）を含む。BbmとWus2は不定胚形成を強く誘導する遺伝子で、感染細胞からの不定胚形成を介した再分化の効率を上げる。Hraは除草剤耐性遺伝子で選抜マーカーとなる。また、ベクターaの修復鋳型配列の両端にゲノム編集の標的配列（TS45）を挿入したものをベクターbとした。

(3) ジーンターゲティング効率 (T_0)

ベクターaもしくはbを含むアグロバクテリウムをトウモロコシ未熟胚に感染し、343もしくは425の T_0 個体が再分化された。PCR解析の結果、6（1.7%）及び26（6.1%）が完全な遺伝子挿入を行ったと判定された。この結果は、反復試験によって高い再現性があることが確認されている。

(4) 次世代への伝達

目標遺伝子の次世代への伝達が調査された。68個体中で健全な49の T_0 個体が選出され、温室で野生型と交配され、 T_1 世代への伝達率は少なくとも30%以上と算出された。

(5) 総括

新設計したベクターによるアグロバクテリウム法による形質転換により、トウモロコシで既往法の100倍以上の効率のジーンターゲティング手法が報告された。これにより、トウモロコシ育種の効率の向上が期待される。

(林 健一)

Expert opinions on the regulation of plant genome editing

植物ゲノム編集に関する専門家の意見

Lassoued R *et al.*

2021

Plant Biotechnology Journal 19: 1104-1109

要旨：カナダ・サスカチュワン大学の研究者グループによるレビュー記事である。ゲノム編集とは、標的配列特異的に、ゲノム DNA へ塩基の挿入、欠失、置換を可能とする技術の総称である。これにより形質転換あるいは非形質転換産物が作出される。すでに多くの作物に適用され、質的・量的特性の改善がなされている。ゲノム編集の今後の発展のために、世界的・組織的レビューが実施された。

(1) レビューチーム及びレビュー対象専門家グループ（専門家と略記）の特定

同大学の農業資源経済部研究者によるレビュー実施チームを結成、レビュー対象専門家として、北米・欧州を中心（70%）に、その他地域（30%）より、約200名の専門家を、科学的及び社会的分野の専門家として特定し、ゲノム編集に関する意見・考察を2018～2019年にわたり聴取し集約を行った。

(2) 主要結果

1) ゲノム編集の実施と潜在的便益

専門家はゲノム編集が新育種技術のなかで多大の貢献・成果を果たしたと評価している。適用範囲は禾穀類（61%）、油糧種子（52%）、野菜（47%）、果実及びナッツ（34%）、マメ類（27%）である。調査対象の専門家の多くは、専門やバックグラウンドによらず、ゲノム編集産物を高く評価し、農業的成果、気候対応、品質向上などにより、将来の全世界的需要増に対応する方途を与えることを期待している。その一方で、一部の専門家は、ゲノム編集の価値を承知しつつも、なお一部の人々の理解不十分による社会的障壁を危惧している。

2) 経費

全体的経費には、慣行育種とゲノム編集との間には大差はないと判断されている。

(3) 結論

専門家を通じ各種の意見が収集・集約された。ゲノム編集に対する科学的意見は全体として好意的・支持的であった。2016年の米国 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine のバイオテク支持が再確認された。しかし、新技術の便益とリスクに関しては、北米派と欧州派との間には意見の相違があり、今後さらに討議を深めることが重要である。

(4) 総括

カナダ・サスカチュワン大学の研究者グループが北米・欧州・その他地域のバイオテク研究者約200名を対象にゲノム編集技術に関する、科学的及び社会的の両面からのレビューを行った。全般的には、ゲノム編集を含む新技術が今後の社会・気候の変動に対応することが可能と期待された。しかし一部には、今後のゲノム編集マーケットの発展には将来の規制環境の不透明性が課題となるという見解もあった。

(林 健一)

Regulation of germination by targeted mutagenesis of grain dormancy genes in barley

標的特定突然変異誘発によるオオムギ種子発芽の制御

Hisano H *et al.*

2022

Plant Biotechnology Journal 20: 37-46

要旨：日本の大学・国研及びドイツの国研の研究者による原著論文である。オオムギは広く栽培されている禾穀類であり、主用途は「麦芽」である。このため均一・迅速な発芽が要求されている。このため完熟前発芽を阻止する休眠性が必要であるが、オオムギはしばしば未完熟種子が発芽する穂発芽の特性を有する。このため、完熟のための休眠性と未完熟発芽性との均衡が重要であり、特に十分な休眠性による完熟種子の作出が重視される。特に最近のゲノム編集技術による誘発突然変異による休眠性延長突然変異の作出が期待される。この考えに基づいて著者らは休眠性延長系統の作出を試み、以下の結果を得た。

(1) 突然変異体 *qsd1* 及 *qsd2* の作出

オオムギの種子休眠に関連する QTL アレルの原因遺伝子として同定された *Qsd1* 及び *Qsd2* を標的としたゲノム編集が行われた。ゲノム編集には CRISPR システムを用いた。ゲノム編集用コンストラクトはアグロバクテリウム法によりオオムギ品種 Golden Promise に導入し、得られた変異体の自殖により T₁ 世代が作出された。

(2) T₂ (M3 世代) の種子休眠性

25℃ 6週間で後熟完了した種子の発芽力が調査された。対照は 1 週間で 90% 以上の発芽率を示した。一方、*qsd1* 変異体及び *qsd2* 変異体はおおむね不発芽であり、休眠性の延長が認められた。

(3) 二重突然変異体の発芽特性

qsd1 と *qsd2* の交配により、二重突然変異体が作出された。生育・開花期には変異はなかったが、25℃ 6週間から 40℃ 4週間の後熟後の発芽率は、対照の 70~100% に対し、単一変異体の *qsd1*、*qsd2* がそれぞれ 1.3~9.3%、2~5.3%、二重変異体は 0.6~6.7% であった。

(4) 突然変異系統の低温発芽性

一般に休眠性は低温により緩和される。4℃ 10日間浸漬による発芽率は対照が 90~100% に対し、単一変異体の *qsd1*、*qsd2* がそれぞれ 38~47%、6~13%、二重変異体は 12~20% であった。単一変異体の *qsd1*、*qsd2* は浸漬 20 日間後で発芽率はそれぞれ 80~90%、70~72% であったが、二重突然変異系統は 81~82% と、単一変異体よりやや高い発芽率を示した。

(5) 総括

オオムギ麦芽の有効利用のためには、種子休眠性の有効利用が要求される。このためには、標的特定突然変異誘発が要求される。このためゲノム編集技術による突然変異系統 *qsd1* 及び *qsd2* が作出され、その利用が調査された。今後これら遺伝子に関与するアレルの有効利用により、休眠性が調査された遺伝子源 (germplasm) の有効利用に貢献することが期待される。

(林 健一)

The wheat *Sr22*, *Sr33*, *Sr35* and *Sr45* genes confer resistance against stem rust in barley

コムギ *Sr22*、*Sr33*、*Sr35*、*Sr45*により授与されるオオムギの
黒さび病抵抗性

Hatta, MAM *et al.*

2021

Plant Biotechnology Journal 19: 273-284

要旨：英国・オーストラリアの研究所、マレーシア・米国の大学の研究者による原著論文である。黒さび病 (Stem rust) は1999年にアフリカ・ウガンダに発生以来、東アフリカ・中東へ伝播し、さらに欧州 (イタリア、ドイツ)、北米、アジア、オーストラリアにも伝播しているコムギ・オオムギの大病害である。これまでに同定されている黒さび病抵抗性遺伝子のバリエーションは、コムギでは60種類ある一方でオオムギについては10種類しかない。現在のオオムギ品種の70%は黒さび病罹病性である。抵抗性育種のための種間交雑は障害が多く、成果は乏しい。このため、目標遺伝子のみを導入する新しい手法—ゲノム編集—が有望視されている。これらの状況に基づいて著者らは黒さび病抵抗性オオムギ系統の作出を試み、以下の結果を得た。

(1) 黒さび病抵抗性コムギ遺伝子 *Sr22*及び *Sr33*のオオムギへの導入

オオムギ品種 Golden Promise に対し、*Sr22*及び *Sr33*がアグロバクテリウム法で導入され、単一コピー・同型接合体の T₀及び T₁が作出された。*Sr22*由来 T₁系統からは同型接合 4 系統及び null 3系統が得られた。同型接合 4 系統は黒さび病抵抗性であったが、null 系統は、罹病性であった。*Sr33*についても同様な結果であった。

(2) 黒さび病抵抗性コムギ遺伝子 *Sr33*、*Sr35*、*Sr45*のオオムギへの導入

*Sr33*がオオムギ品種 Golden Promise に導入され、同型接合体 5 系統、null 5系統が作出された。同型接合 5 系統は黒さび病抵抗性、null 5系統は罹病性であった。*Sr35*及び *Sr45*でも同様に、同型接合体は黒さび病抵抗性、null 系統は罹病性であった。

(3) *Sr* 遺伝子所有オオムギの特定の抵抗性

本研究により、同型接合体黒さび病抵抗性オオムギが作出された。この抵抗性は同型接合体に限定されており、全方位の抵抗性ではないことに留意する必要がある。

(4) *Sr* 遺伝子の農業形質への影響

分けつ数、千粒重、生長率などの農業形質に対する悪影響は認められなかった。

(5) 総括

黒さび病 (stem rust) 抵抗性コムギ 4 遺伝子が個々に導入された新しい黒さび病抵抗性オオムギ系統が作出された。単一抵抗性遺伝子・同型接合体のオオムギ新系統は、黒銹病に対する特定の・高度な抵抗性を発揮し、農業形質には異状なく、黒さび病抵抗性オオムギの育種材料として有効利用されることが期待される。

(林 健一)

Public acceptance and stakeholder views of gene edited foods: a global overview

ゲノム編集食品の社会的受容と利害関係者の見解：グローバルな概要

Strobbe S *et al.*

2023

Trends in Biotechnology

(DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.12.011>)

要旨：ベルギー、英国、ウガンダの大学の研究グループによる報文。一般に、植物におけるCRISPR/Casに代表されるゲノム編集技術は、所謂「従来の」遺伝子組換え技術よりも、迅速な商品化が可能なアプローチとして認識されている。著者らは、ゲノム編集食品に関する消費者及びステークホルダーの見解をマーケティング調査した34報の論文の精査により、以下の結果を得た。

(1) 調査対象文献

植物のゲノム編集技術に関するステークホルダー及び消費者の見解を調査した34報の文献を調査対象とした。対象文献での調査項目は、リスクと利益の認識（16件）、行動の意図（12報）、政策関連（10報）、知識（9報）、態度（9報）であった。調査対象は、消費者からの見解（24報）が最も多く、農家からの見解が1報、その他ステークホルダーからの見解が6報、また、それらの組み合わせが3報であった。対象地域は、欧州と北米に偏っており、中～低所得国を対象とした研究は殆どなかった。

(2) 消費者の受容

一般消費者の食品技術に関する一般的理解は低く、ゲノム編集技術も例外でない。調査文献でゲノム編集技術に対する知識がない又は低い消費者の割合は、それぞれ55～62%、50～96%であった。また、ゲノム編集食品に対して肯定的な消費者でも、購入に対して割引を要求する傾向があるものの、遺伝子組換え食品に対してよりも購入意欲は高い傾向がある。

(3) ゲノム編集に対するステークホルダーの見解

ステークホルダー（流通、製造、行政）は、消費者よりもゲノム編集食品からより多くの恩恵を受けるという一般的な認識が高い。コスト効率の観点から、ゲノム編集技術で改良した作物で利益を上げるために必要な市場面積は、従来の遺伝子組換え技術で行った場合の1/25～1/15に抑えられる。しかし、ゲノム編集作物が遺伝子組換え作物と同様の規制を受けると、開発コストは遺伝子組換え作物と同様になる。

(4) 科学界

農業目的でのゲノム編集に関する科学文献、特許刊行物は、過去10年間の間に、急激に増加しており、関心の高さがうかがえる。

(5) 持続可能な市場ソリューションに向けて

今後もゲノム編集技術が同様の消費者からの信頼を維持する方策として、トレーサビリティの導入がカギとなる意見が多い一方で、ゲノム編集技術由来の商品作物は、自然突然変異と

の見分けが困難なことが技術的な課題となる。

また、消費者の受容は多くの場合、一般の人々の科学的知識の深さと高い相関がある。今後ゲノム編集作物の普及を中～低所得国に広げるためには、コミュニケーションの取り組みの強化が重要である。特に、技術そのものではなく、強化された特性の情報に重点を置いたコミュニケーションが効果的である。

(6) 総括

マーケティング調査の手法により、ゲノム編集作物に対する社会的受容と利害関係者の見解を調査し、従来の遺伝子組換え技術に対するゲノム編集技術の優位性を明らかにした。ただ、現状では、消費者はゲノム編集技術に対して遺伝子組換え技術と同様、割引を要求する傾向があり、今後、プレミアへと意識転換が進められるかがさらなる市場拡大の普及のカギとなる。

(小口太一)

Field evaluation of TaDREB2B-ectopic expression sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) for drought tolerance

サトウキビ近縁種由来の DREB2B を異所的発現させた組換え サトウキビの圃場試験による干ばつ耐性評価

Xiao S *et al.*

2022

Frontier in Plant Science 13: 963377

要旨：中国・広西大学の研究グループによる原著論文。サトウキビは、精糖やバイオエタノールの原料として重要な作物であるが、干ばつにより世界的に収量が減少している。著者らは、さまざまな植物で環境ストレス応答に重要な転写因子としてはたらく DREB2B のオーソログをサトウキビ近縁野生種である *Tripidium arundinaceum* (和名ヨシススキ) より単離、これを異所的に発現した組換えサトウキビを開発し、圃場試験によりその干ばつ耐性向上を評価した。

(1) TaDREB2B 遺伝子 (既報)

シロイヌナズナ AtDREB2B アミノ酸配列をクエリーとした NCBI の BLAST 検索により、*T. arundinaceum* から相同配列を単離し、これを TaDREB2B とした。

(2) 組換えサトウキビ (既報)

TaDREB2B コード配列をシロイヌナズナ RD29A プロモーター下流につないだ発現カセットを含むコンストラクトをパーティクルボンバードメント法でサトウキビ (商業品種 Funong 95-1702) のカルスに導入、再分化によって得られた 4 系統 (T4、T13、T16、T44) を試験に用いた。

(3) 組換えサトウキビにおける TaDREB2B 発現

4 系統のうち 1 系統を用い、PEG 処理及び干ばつストレスによる TaDREB2B の発現誘導を調査した。PEG 処理では、処理後 6 時間で処理前の 15 倍に急増したのち、処理後 9 時間に処理前の 3 倍程度まで減少し、それ以降は 48 時間にかけて処理前の 8 倍程度まで増加した。干ばつストレス処理では中程度の干ばつで処理前の約 4 倍まで増加し、再給水によって減少した。

(4) ポット栽培試験

組換え 4 系統及び対照植物 (非組換え、空ベクター) をポット栽培し、4 葉期に 15 日間の灌水遮断による干ばつストレスを与えた。その結果、ストレス処理区では、MDA 量、電解質漏出、可溶性糖量、草丈のいずれも、組換え 4 系統は、対照と比較して有意なストレス影響の緩和が観察された。組換え 4 系統間の比較では、T4 が最も強い耐性を示し、次いで T16、T13、T44 の順であった。

(5) 圃場試験

ポット試験で最も高い耐性を示した T4 系統について、圃場での評価を行った。通常灌水条件では、T4 系統と非組換え体間で草丈、茎径、茎重、収量などに違いがなかったが、灌水制限条件では、草丈、茎径、茎重、収量が非組換え体に比べて T4 系統が有意に高く、収量は 40% 以上増であった。また、サトウキビの重要形質である繊維量、比重、Brix、水分率は T4 と非組換え体間で違いはなく、遺伝子導入による品質のトレードオフはないことが示唆された。

(6) 総括

RD29A プロモーター-TaDREB2B を導入した組換えサトウキビが開発され、温室でのポット栽培及びほ場の両方で、非ストレス条件での成長低下や品質低下なしに、干ばつ時の収量低下を抑制することが確認された。

(小口太一)

ERA プロジェクト調査報告

2023年 6 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 児島宏之

〒135-0004東京都江東区森下3-13-5

グローバルビル5F

TEL 03-6284-0877

FAX 03-6284-0878

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