技術論文

ゲノム編集を用いたマコンブの育種技術の開発

Development of *Saccharina japonica* Breeding Techniques Using Genome Editing

宮 架 蓮* Karen MIYA
吉 村 航 Ko YOSHIMURA
小 杉 知 佳 Chika KOSUGI
申 元 Yuan SHEN
本 村 泰 三 Taizo MOTOMURA
市 原 健 介 Kensuke ICHIHARA
松 田 祐 介 Yusuke MATSUDA
長 里 千香子 Chikako NAGASATO

抄 録

日本製鉄(株)は，CO_2 吸収源の安定かつ大量の創出を目的に，マコンブを対象としたゲノム編集による育種技術の基盤構築に取り組んでいる。今回，本研究では，マコンブ配偶体を対象に，ゲノム編集ツールである CRISPR–Cas9 RNP を用いた *APT* 遺伝子編集による 2-FA 選抜系を構築した。標的 gRNA を設計し，RNP をマイクロインジェクションで導入した結果，Cas9 濃度を高めることで編集効率が向上した。また，胞子体における 2-FA 耐性も確認できた。今後は，耐高温性と高生産性を併せ持つ株の作出を可能にする標的遺伝子の選抜とともに，標的遺伝子と *APT* 遺伝子とのダブルノックアウトに適した RNP 条件の最適化，胞子体および F2 世代までの選抜系の確立を進めることで，ブルーカーボン創出の加速に貢献する。

Abstract

We have been establishing a genome-editing breeding framework for *Saccharina japonica* to stably and massively generate new CO_2 absorption sources. In this study, we established an APT gene-editing and 2-FA selection system in *Saccharina japonica* gametophytes using CRISPR–Cas9 ribonucleoproteins (RNPs). After designing target gRNAs and introducing RNPs by microinjection, we found that increasing Cas9 concentration improved editing efficiency. We also confirmed 2-FA resistance at the sporophyte stage. Going forward, we will optimize RNP conditions suitable for double knockouts and establish selection schemes through the sporophyte and F2 generations to develop strains that combine high-temperature tolerance with high productivity, thereby accelerating blue-carbon generation.

1. 緒 言

近年，地球温暖化対策の一つとしてブルーカーボンが注目を集めている[1]。ブルーカーボンとは，地球温暖化に関わる温室効果ガスのうち，マングローブ，塩性湿地（海岸にある湿地，沼地であり，潮汐の影響により，海水に冠水するか，陸地となる地形），海草藻場，その他の沿岸および海洋の生態系の作用によって大気中から海中に吸収された CO_2 のことである。ブルーカーボンの活用については，2018 年に設立されたノルウェー，日本，インドネシア，豪州など計 12 ヵ国の海洋国家の首脳陣が会合する “Ocean high level panel” にて言及され，そのポテンシャルの大きさに期待が寄せられている[2, 3]。

これに対して，国内の動きとしては，環境省により 2025 年 2 月 18 日に “ 地球温暖化対策計画 ” が改訂され，その中で，ブルーカーボンについては，沿岸の海藻藻場，干潟，海草藻場の効果的な創出や沖合養殖等の吸収源対策の推進に加え，既に開始された海草，海藻のインベントリ反映を踏まえた算定，運用の充実を図る旨が言及された[4]。

日本製鉄(株)におけるブルーカーボンは，カーボンニュートラルビジョン 2050[5] の中で，CCUS（Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage）の一つとして位置付けられている。CCUS は，製鉄プロセスの脱炭素化を達成しても，熱源の確保等を目的に使用する石炭により排出される CO_2 を固定，有価化するものである。上述の国の動きに伴い，ブルーカーボンによる CO_2 固定量が，“ 温室効果ガスの排出量算定・報告・公表制度（SHK 制度）” に適用になれば，CO_2 排出量のオフセット手段としての活用が期待される。

* 先端技術研究所 環境基盤研究部 主任研究員 千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511

日本製鉄におけるブルーカーボン創出技術の主軸は，スラグ系鉄分供給材（ビバリー®ユニット）である。ビバリー®ユニットは，鉄鋼スラグの海域への利用拡大を目的に開発された技術であり，これまでに，日本各地の海域に施肥材として適用し，藻場の再生を進めている[6,7]。一方で，天然藻場は，高水温[8]，食植生魚類やウニによる食害[9,10]，光量不足などが複合的に起因して，全国的に減少傾向が続いている[11]。このため，天然藻場の再生に依拠したブルーカーボン創出には変動要因が多く，安定性の確保には課題が残る。

このような状況において，CO_2 吸収量の多いコンブは，国内のコンブ生産量の 3 ～ 4 割を養殖が占め，環境条件が厳しいながらも，養殖では安定した生産量が報告されている[12]。この安定性は，陸上における種苗生産から海域における本養殖，収穫までの工程を一定程度管理できることが一因であると考える[13]。ブルーカーボン技術をカーボンニュートラル技術の一つに位置付ける日本製鉄としては，安定的な生産が可能で，将来的には沖合にも広げることで大規模化が期待できる海藻養殖は，有望なブルーカーボン源と考え天然藻場の再生に加えて海藻養殖にも取り組みを広げている。

海藻養殖をブルーカーボン源として確立するためには，効率的な大量生産が不可欠である。これを実現するためには，海域環境が刻々と変化することを踏まえると，海藻に環境変動への適応力と高生産性を付与する育種が重要となると考える。具体的には，高水温に対する耐性を高めることで，高水温年における生産の安定化，南方での生産による規模の拡大が期待できる。生産性の向上としては，早期成長，大型化，炭素含有量の増大が考えられ，これにより単位面積当たりのブルーカーボン量の最大化に繋がる。これらの形質に着目して育種を進めることで，環境条件が厳しい海域，局面においても効率的な生産が期待される。

実際に，コンブの育種では，1962 年より中国において選抜育種やかけ合わせを用いて，高温耐性や光強度耐性，早期生育などの特性を持つ株の作出が成功している[14,15]。この育種により，中国では海水温の高い福建省など南方地域での養殖が盛んに行われるようになり，生産量が増大した。また米国では，ARPA-e（Advanced Research Projects Agency-Energy）により 2017 年に大型海藻の大量生産技術の開発を推進するプログラム “ARPA-e mariner” が立ち上げられ，その中で交雑によるコンブ類の収穫量の増加が報告されている[16]。このように海外では育種による養殖規模の増大，生産性の増加が示されている一方で，日本国内では，育種の取り組みは限られており，種苗は天然母藻に依存している[13]。

そこで日本製鉄では，まずは CO_2 吸収量の多いコンブを対象として，ゲノム編集技術を用いた育種を行うことにした。選抜や交雑は実験サイクルが長期化しやすく，効率的な編集が困難な一方，ゲノム編集技術は，遺伝子配列を狙った位置で切断し，配列の置換や欠損，挿入を行う技術であり，その有用性は陸上植物で示されている[17]。その反面，コンブへの適用例はないことから，まずはコンブを対象として編集の導入手法の確立を目指した。検討に当たっては，日本製鉄の目標である環境耐性や生産性向上などの性質は，遺伝子と表現型の関係が不明瞭であること，編集後の評価に時間がかかることから，褐藻のモデル生物である *Ectocarpus species 7* で編集実績[18] があり，成否確認が簡便であるアデニンホスホリボシルトランスフェラーゼ（*APT*）遺伝子を標的とした。*APT* 遺伝子は，DNA の構成要素の一つである塩基を再利用する酵素をコードする遺伝子である。本遺伝子が正常に機能する場合，塩基の類似物質である 2-フルオロアデニン（2-FA）は細胞に対して毒性を示す。一方，*APT* 遺伝子が失活するとこの毒性が発現しないため，遺伝子が破壊された細胞のみを選別することが可能となる。この性質を利用して，ゲノム編集処理後，2-FA 存在下で培養し，生死により *APT* 遺伝子が欠損していると考えられる細胞を選抜し，DNA 配列を解析することで変異の有無を確認した。なお，本報告書で扱う実験結果の一次公表は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）先導研究プログラムにおける北海道大学ならびに関西学院大学との共同研究成果として公表済みである[19]。

2. 本　　論

2.1 実験条件の設定ならびに方法

2.1.1 マコンブ配偶体の単離と維持培養条件

マコンブは 2014 年 11 月に北海道室蘭市母恋町の浜で採集したマコンブの成熟胞子体から，無菌培養の雌雄配偶体株を分離した株を野生株とした[20]。未成熟体で維持培養するため，鉄欠乏 ASP12NTA 培地（Aspartate ベース人工海水培地にニトリロ三酢酸（NTA）を添加した培地）中で 10℃，長日（14h 明期：10h 暗期），白色蛍光灯（20–40 μmol photons m^{-2} s^{-1}）下にて培養した[21]。成熟誘導時には，配偶体を 1/2 濃度の PESI 培地（Provasoli’s enriched seawater を改良した海水培地）へ移した[22]。

2.1.2 RNP 調製とマイクロインジェクションによる導入

APT 遺伝子は，*Ectocarpus species 7* において報告されている遺伝子であり，本研究では，その *APT* 遺伝子に相当する遺伝子をマコンブのリファレンスゲノム中から特定した（SJ15126）[23]。RNP（ribonucleoprotein）は，ゲノム編集ツールである CRISPR–Cas9（Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats–CRISPR associated protein 9）で用いられるもので，DNA を切る働きを持つ Cas9 タンパク質と，切る位置を指定する gRNA（ガイド RNA）から構成される。本研究では，Integrated DNA Technologies から crRNA,

tracrRNA，Cas9を購入し，プロトコルに従ってRNPを調製した。調製したRNPの効果は，マコンブ雌性配偶体から抽出したDNAを対象に*in vitro*で切断の有無で確認した。

RNPの細胞内への導入は，剃刀で細断した雌雄配偶体を対象に，マニピュレータを倒立顕微鏡Olympus IX71に装着し，レーザー熱マイクロインジェクターNepa gene LTM-1000を用いて実施した。RNPは，Badisらの報告[18]を参考にCas9濃度を6.2μMにした場合と，その2倍量である12.4μMの2条件とした。さらに，細胞内への導入を確認するため蛍光標識された高分子である40kDa FITC-デキストランをRNPに添加した。導入後，配偶体は鉄欠乏ASP12NTA培地で5日間，15℃，白色蛍光灯20–40μmol photons m^{-2}s^{-1}，長日条件下で培養した。

2.1.3 2-FA耐性株のスクリーニング

野生型配偶体の2-FA感受性を0，5，10，20，40μMの濃度で評価した。2-FAはDMSO（ジメチルスルホキシド）に20mMとして調製し，鉄欠乏ASP12NTAで希釈した。対照として，同量のDMSOを培地に添加し，DMSOによる影響を確認した。RNP導入5日後から，20–40μM 2-FAを含む鉄欠乏ASP12NTA培地で選抜し，野生型が生育できない条件下で耐性個体を選抜した。

2.1.4 2-FA耐性株における遺伝子解析

スクリーニング済みの配偶体に対して，10–20細胞片を鋳型として，プライマー（SjAPT1F/SjAPT1R，SjAPT1seqF/SjAPT1R）を用いて目的のDNA領域を増幅する方法であるPCR（ポリメラーゼ連鎖反応）で増幅し，サンガーシーケンスで解析することで，変異確認を行った。

2.1.5 受精およびF1胞子体の2-FA感受性

配偶体の受精能を評価するため，野生型雌×野生型雄，野生型雌×変異型雄，変異型雌×野生型雄，変異型雌×変異型雄の4つの組合せで交配し，交配により得られた第一世代（F1）胞子体を，1/2濃度のPESI培地，10℃，長日，20–40μmol photons m^{-2}s^{-1}の条件で培養した。また，単為生殖ではなく二倍体胞子体が得られていることを確認するため，既報[24-26]に基づき性特異的PCRプライマーを設計し，各条件の胞子体（0.5–1cm）3個体から抽出したDNAをプライマーでシーケンスした。さらに，胞子体の2-FA耐性を評価するため，各条件の胞子体3個体ずつを，2-FAを添加した1/2濃度のPESI培地で3日毎に培地交換しながら培養し，感受性を評価した。

2.2 結　果

2.2.1 野生株における2-FA感受性

雌雄の野生型配偶体に対する2-FA感受性を評価した結果，5–10μMで生長抑制が観察され，20–40μMでは致死となった。対照区である0.2%DMSOのみでは生長に影響はなかった。以上の結果から，以降の選抜工程では20–40μMの濃度で実施した。本設定により，野生型配偶体において2-FA変異を有する可能性のある株のスクリーニング効率の最大化が可能となった。

2.2.2 RNPの導入とRNPの濃度

調製したRNPが*in vitro*において，切断活性があることを確認した。続いて，マイクロインジェクションを用いて配偶体細胞へRNPを導入し，FITC-デキストランの蛍光によって，RNPの導入を確認した。2-FA 40μM下で薬剤耐性を確認したところ，RNP導入した細胞のみが生存，増殖し，導入していない細胞は淘汰された（図1）。このことから，2-FAによる選抜が有効であることが示された。雌性配偶体で23個体，雄性配偶体で12個体の2-FA耐性個体を単離することに成功した。

RNPのCas9濃度を6.2μMと12.4μMで比較したところ，6.2μM条件では雌雄とも1–2%台であったが，12.4μM条件で2-FA耐性個体の取得率が上昇した（雌：8.64%，雄：4.46%）。このことから，本研究で用いるCas9の濃度は12.4μMが有望であることが示唆された。

2.2.3 APT座位の遺伝子解析

上記スクリーニングで得られた2-FA耐性株35株に関して，*ATP*遺伝子を含む領域をシーケンスした結果，全ての耐性株で変異が見られた。PAM配列（Cas9が認識するDNA配列）や開始コドン（タンパク質合成が開始される部位）を含む大きな欠損も見られたが，最も多いパターンは，PAM配列の4塩基上流にグアニンが一塩基挿入されたも

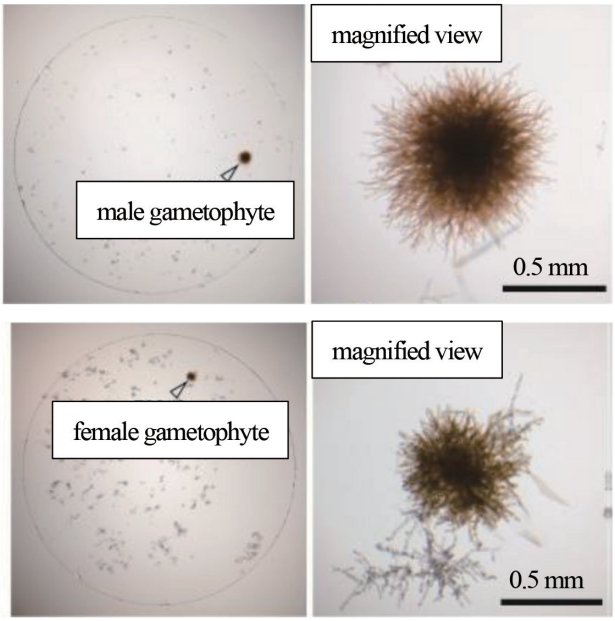

図1　ゲノム編集した雌雄配偶体における2-FA選抜
2-FA selection in genome edited male and female gametophytes

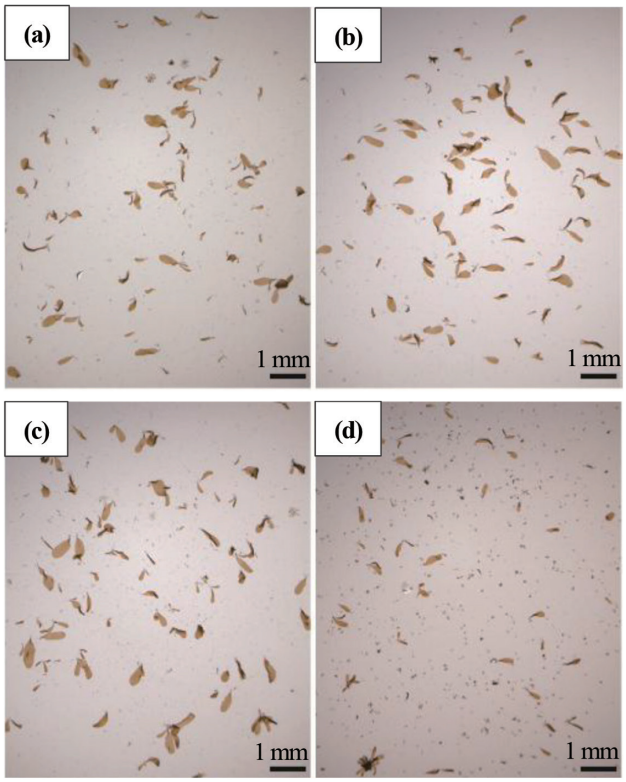

図２　野生型と変異型の組合せ受精実験
(a) 野生型雌 × 野生型雄，(b) 野生型雌 × 変異型雄，(c) 変異型雌 × 野生型雄，(d) 変異型雄 × 変異型雌
Fertilization experiments with combinations of wild-type and mutant strains
(a) Wildtype female × Wildtype male, (b) Wildtype female × Mutant male, (c) Mutant female × Wildtype male, (d) Mutant female × Mutant male.

のであった。

2.2.4 胞子体における表現型

野生型と変異型のすべての各組合せで交配が可能なことを確認した（図２）。交配した胞子体は，性特異マーカー（SJ00948，SJ05808）による PCR から，得られた胞子体がいずれも二倍体であることを確認した。

2-FA 感受性試験では，野生型 × 野生型が 10–40 μM で致死，ヘテロ接合体（野生型 × 変異型）は 10 μM で生残するものの 20–40 μM で致死，ホモ接合型（変異型 × 変異型）は全濃度で生残し，2-FA 含有下でも成長を示した。以上より，配偶体の *APT* 遺伝子の変異に基づく 2-FA 耐性が胞子体でも発現することが示唆された。また，ヘテロ接合体とホモ接合体により，2-FA 感受性が異なることが示された。

2.3 考　察

本研究では，マコンブ配偶体を対象に，CRISPR–Cas9 RNP を用いた *APT* 遺伝子の編集と，2-FA 選抜により，ゲノム編集体の取得が可能であることを示した。さらに，RNP の濃度や比率が編集効率を大きく左右すること，ならびに APT/2-FA 選抜系が遺伝学的な選抜指標として確実に機能することを確認した。以上より，配偶体の編集から選抜，交配，胞子体における評価までの技術的な妥当性が裏づけられた。

一方，日本製鉄の目的は，高温耐性など環境に強い性質および高生産性を有する株を創出することによる効率的な大量生産である。これを実現するには，*APT* 遺伝子のように導入確認が容易なマーカー編集に加え，上記の目的に資する遺伝子の 2 つの遺伝子を同時に不活性化するダブルノックアウトの確立，およびライフサイクル全体における表現型の評価系が不可欠である。

ダブルノックアウトでは，複数の gRNA を同時に導入するため，各標的座位の編集確率は分散し，低下すると考えられるが，今回の知見を踏まえると，RNP 濃度と比率の調整により編集効率の向上を望める可能性がある。一方，Cas9 の活性と切断の特異性にはトレードオフである。すなわち，RNP 濃度の上昇や曝露時間の延長により切断活性を高めると，gRNA と部分的にミスマッチを有する座位にも切断が許容されやすくなり，オフターゲット編集の誘発確率が相対的に高まる。そのため，編集特異性に関しても，評価を行うことが重要である。

今回の検討は配偶体に対する効果を検証したが，実際に養殖施設で育成するのは雌雄配偶体を受精することにより得られる胞子体であることから，胞子体における形質評価が重要である。配偶体は維持培養が容易であり，成長と切断を繰り返すことで変異体の増殖が可能であることから，編集や選抜の対象として有用だが，配偶体で得た変異が胞子体でも同様に発現するかは検証が不可欠である。ヘテロ／ホモの接合型によって表現型の強度が変化し得る点も踏まえ，配偶体から胞子体，F1 世代同士の交配で得られる F2 世代まで継続して現れる変異なのかを評価できるコンブのライフサイクル制御技術とライフサイクルの短縮が選抜において必須技術となると考える。

さらに，編集の効率化については，胞子体を対象とした編集も検討に値する。編集した胞子体の細胞をライフサイクル制御技術により，成熟誘導できれば，変異細胞から放出した遊走子は変異を有すると考えられ，一度に多くの変異体を得られる可能性がある。その反面，RNP 変異が入っていない細胞も同時に成熟誘導されるため，選抜が困難になる懸念もある。

以上を踏まえて，今後の展開としては，①ダブルノックアウトに適した RNP 条件（濃度，比率，投与時間）の最適化，②編集特異性の評価系の標準化，③胞子体における表現型評価系とライフサイクル技術の短縮化による F2 世代の評価系の確立を行う。これにより，ブルーカーボン創出に直結する形質の付与を図る。

3. 結　　言

本研究の知見を踏まえ，ダブルノックアウトにおける条

件の最適化と，配偶体，胞子体それぞれに適した選抜，評価系の標準化を進めることで，高温耐性を中心とする環境ストレス耐性と高生産性を併せ持つ株の作出に近づくと考えられる。

一方，日本製鉄が掲げるブルーカーボン源としての効率的な大量生産は，育種のみでの達成は現実的ではなく，養殖施設の運用にも課題がある。従来の養殖技術は食用を主目的とした運用であり，ブルーカーボンの創出を目的としたものではない。また，種苗生産時に天然の母藻を使用していることから，天然海域の海域環境により種苗生産が遅れること，それによる養殖の育成期間の短縮などが考えられる。そのため，単位面積当たりの生産量を向上させるための養殖施設の運用，施肥技術の最適化，運用に耐え得る施設の改良，養殖に適した海域環境の評価，大規模化に向けた自動化を検討し，上記育種技術と合わせることで，最終的に効率的な大規模生産に貢献する。

謝　辞

本稿で紹介したゲノム編集に関する技術は，NEDO のご支援のもと，先導研究プログラム“エネルギー・環境新技術先導研究プログラム／マリンバイオマスの多角的製鉄利用に資する研究開発”にて開発したものである。この場を借りて，多大なご指導，ご協力をいただいたことに深く感謝申し上げる。

参照文献

1) 環境省：ブルーカーボンに関する報告 令和 6 年度 地球温暖化防止に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会. 2025
2) 外務省：持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル第 2 回会合の開催. 2019
3) 堀正和：ブルーカーボンとしての藻場の評価に関する最新の国内動向. 2021
4) 環境省：地球温暖化対策計画. 2025
5) 日本製鉄(株)：日本製鉄カーボンニュートラルビジョン 2050. 2021
6) 日本製鉄(株)：北海道増毛町での鉄鋼スラグによる藻場造成事業で J ブルークレジット® 認証を取得 漁業組合と民間企業共同での認証を経たクレジット発行は全国初. ニュースリリース. 2022
7) 日本製鉄(株)：鉄鋼スラグを活用した藻場再生「海の森づくり」, 今年度は全国 21 カ所で実証試験開始. ニュースリリース. 2023
8) 村瀬昇：藻場が消えた？！～ 2013 年，夏から秋にかけての山口県日本海沿岸の藻場の異変～. 豊かな海. (32), 67-70 (2014)
9) 桐山隆哉，藤井明彦，藤田雄二：長崎県沿岸におけるヒジキ生育不良現象を摂食によって誘発している原因魚種. 水産増殖. 53, 419-423 (2005)
10) 桑原久実，綿貫哲，青田徹，横山純，藤田大介：磯焼け実態把握アンケート調査の結果. 水産工学. 43, 99-107 (2006)
11) 芳山拓，木下淳司：神奈川県沿岸における藻場の分布状況と変遷. 神奈川県水産技術センター研究報告. (13), (2025)
12) 前田高志：環境変動に対応したコンブ養殖技術の開発. 北海道立総合研究機構
13) 矢崎真澄：暖海性コンブ養殖の定着過程に関する研究. 新地理. 50 (2), 27-46 (2002)
14) 中国科学院海洋研究所：「国家藻类产业技术体系（CARS-50）工作简报. 第 1 期，总第 1 期，2018
15) 中国科学院海洋研究所：「国家藻类产业技术体系（CARS-50）工作简报. 第 1 期，总第 2 期，2019
16) Yaoguang Li, Schery Umanzor, Crystal Ng, Mao Huang, Michael Marty-Rivera, David Bailey, Margaret Aydlett, Jean-Luc Jannink, Scott Lindell, Charles Yarish: Skinny kelp (Saccharina angustissima) provides valuable genetics for the biomass improvement of farmed sugar kelp (Saccharina latissima). Journal of Applied Phycology. 34, 2551-2563 (2022)
17) Delight Hwarari, Yasmina Radani, Yongchao Ke, Jinhui Chen, Liming Yang: CRISPR/Cas genome editing in plants: mechanisms, applications, and overcoming bottlenecks. Functional & Integrative Genomics. 24, Article 50, 2024. DOI:10.1007/s10142-024-01314-1.
18) Badis, Y. et al.: Targeted CRISPR-Cas9-based gene knockouts in the model brown alga Ectocarpus. New Phytologist. 231, 2077-2091 (2021)
19) Shen, Y., Motomura, T., Ichihara, K., Matsuda, Y., Yoshimura, K., Nagasato, C.: Application of CRISPR-Cas9 genome editing by microinjection of gametophytes of Saccharina japonica (Laminariales, Phaeophyceae). Journal of Applied Phycology. 35, 1431-1441 (2023)
20) Nagasato, C., Kawamoto, H., Tomioka, T., Tsuyuzaki, S., Kosugi, C., Kato, T., Motomura, T.: Quantification of laminarialean zoospores in seawater by real-time PCR. Phycological Research. 68, 57-62 (2020)
21) Motomura, T., Sakai, Y.: Effect of chelated iron in culture media on oogenesis in Saccharina angustata. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 47, 1535-1540 (1981)
22) Tatewaki, M.: Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in Scytosiphon lomentaria. Phycologia. 6, 62-66 (1966)
23) Ye, N. et al.: Saccharina genomes provide novel insight into kelp biology. Nature Communications. 6, 6986 (2015)
24) Ahmed, S., Cock, J.M., Pessia, E., Luthringer, R., Cormier, A., Robuchon, M., Sterck, L., Peters, A.F., Dittami, S.M., Corre, E., Valero, M., Aury, J.-M., Roze, D., Van de Peer, Y., Bothwell, J., Marais, G.A.B.: A haploid system of sex determination in the brown alga Ectocarpus sp. Current Biology. 24 (17), 1945-1957

(2014)
25) Lipinska, A. P., Ahmed, S., Peters, A. F., Faugeron, S., Cock, J. M., Coelho, S. M.: Development of PCR-based markers to determine the sex of kelps. PLOS ONE. 10 (10), e0140535 (2015)
26) Lipinska, A. P., Toda, N. R. T., Heesch, S., Peters, A. F., Cock, J. M., Coelho, S. M.: Multiple gene movements into and out of haploid sex chromosomes. Genome Biology. 18, 104 (2017)

宮　架蓮　Karen MIYA
先端技術研究所　環境基盤研究部
主任研究員
千葉県富津市新富20-1　〒293-8511

吉村　航　Ko YOSHIMURA
先端技術研究所　環境基盤研究部
主幹研究員　博士(農学)

小杉知佳　Chika KOSUGI
先端技術研究所　環境基盤研究部
課長　博士(水産科学)

申　元　Yuan SHEN
元 北海道大学　博士研究員(環境科学)

本村泰三　Taizo MOTOMURA
北海道大学　名誉教授　博士(理学)

市原健介　Kensuke ICHIHARA
北海道大学　准教授　博士(理学)

松田祐介　Yusuke MATSUDA
関西学院大学　教授　博士(農学)

長里千香子　Chikako NAGASATO
北海道大学　教授　博士(理学)