

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82305

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12528

研究課題名(和文) 清酒酵母のウラシル要求性株を用いたイオンビーム育種技術の遺伝子変異点の特性解析

研究課題名(英文) Genomic analysis of mutations in uracil auxotrophic mutants of sake yeast bred by ion-beam mutagenesis technology

研究代表者

渡部 貴志 (Watanabe, Takashi)

群馬県立産業技術センター・その他部局等・独立研究員

研究者番号：60727832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、イオンビーム照射前の試料調製方法を検討し、モデル変異として5-FOA耐性を指標とした選抜、および選抜株の全ゲノム解析を行った。その結果、UV照射に比べてイオンビーム照射では、5-FOA耐性株の染色体上の変異箇所が少ないことが見出された。また、線エネルギー付与(Liner energy transfer: LET)が高ければLOHと推測される大規模な変異が入りやすい傾向が確認された。さらに、本研究で得られた手法を利用し、尿素非生産性酵母、カプロン酸エチル高生産性酵母、ピルビン酸低生産性酵母などの群馬県独自の清酒酵母開発も実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イオンビーム照射を用いた清酒酵母の育種研究は少なく、また多くが条件検討を詳細にすることなく、実用化を重視したものであった。本研究では、全ゲノム解析により、イオンビームではUVに比べて変異点が少なくLOHが起きやすいこと、LETが異なるイオンビームでは変異の入りが異なることなど、多くの特徴を見出すことができた。また、本研究により開発した手法を用いることにより実用的な清酒酵母開発を行うなど、学術的だけでなく社会的にも有用な成果が得られていると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated conditions to prepare yeast cells for ion-beam mutagenesis isolated 5-fluoroorotic acid (5-FOA) resistant mutants as a model, and demonstrated whole genome analysis of selected strains. As a result, it was found that the number of point mutations in the genome of 5-FOA resistant mutants obtained by ion-beam irradiation was lower than those obtained by UV irradiation. It was also found that ion-beams with high liner energy transfer (LET) radiation tended to cause large-scale mutations inferred as a loss of heterozygosity (LOH). Additionally, we used ion-beam breeding method improved in this study to breed Gunma original sake yeasts such as, an non-urea producing yeast, an ethyl caproate high producing yeast, and a pyruvic acid low producing yeast.

研究分野：応用生物学

キーワード：イオンビーム 育種 清酒酵母 ウラシル要求性 全ゲノム解析

## 1. 研究開始当初の背景

イオンビーム育種技術は、線量エネルギー付与 (Linear energy transfer: LET) が高い放射線のイオンビームを照射することにより、ゲノム中の塩基配列を変異させることで、新たな形質を生み出す効率的な突然変異育種方法であり、注目されている育種技術である。従来の薬剤 (ethylmethansulfonate (EMS) など) 処理、紫外線 (UV) 照射、低 LET 放射線である線や X 線照射などでは、突然変異の誘発効率が低く、植物の育種が難しかった。これまでに、イオンビーム育種技術を用いることにより、様々な植物の品種改良の実績がある<sup>1)</sup>。

一方、イオンビーム照射は、国内で4箇所の研究施設でしか実施することができない。その内の一つが群馬県高崎市に拠点を置く量子科学技術研究開発機構 高崎量子技術基盤研究所 (量研高崎研) であり、前橋市にある群馬県立産業技術センター (当センター) と隣接している。当センターではこの立地条件を活かし、密接な連携を図りながらイオンビーム照射による清酒酵母の育種研究に取り組み、世界で初めてイオンビーム育種技術により改良酵母 No. 227 株を開発・実用化に成功している<sup>2)</sup>。

イオンビーム育種技術は、目的外の遺伝子に変異が入っていることが少ない変異株が取得しやすい手法と期待されている。しかしながら、これまでの群馬県での取り組みでは、優良酵母の作出に主眼を置いていたため、薬剤変異処理や UV 照射と比べたイオンビーム照射の優位性や独自性を評価できていなかった。また、出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* を用いたイオンビーム照射による遺伝子変異箇所の特異性が調べられているが<sup>3)</sup>、照射前試料の調製方法の検討が不十分で、目的外の遺伝子変異箇所数も調べられていない。

群馬県で従来行っていた照射前の試料調製方法では生存率が 0.1% 未満であり、開発された No. 227 株は、親株とのゲノム配列を比較すると 500 箇所以上の塩基置換があると推定されている。以上の背景から、我々は、酵母の生存率が安定して高い照射前試料の調製方法が見出すことができれば、イオンビーム照射のみによる塩基置換が起きた変異株を取得することができ、目的外の遺伝子変異箇所数の評価が可能となると仮説を立てた。

## 2. 研究の目的

前述の背景より、我々は、清酒酵母のモデルとして用いられる (公財) 日本醸造協会が頒布しているきょうかい酵母 701 号 (K701、以下同様) を用い、イオンビーム照射前の試料調製方法を検討したところ、生存率が 90% 以上まで上昇させることに成功した。また、変異株選抜のモデルとして、ウラシル要求性株のポジティブスクリーニングが可能である、5-フルオロオロチン酸 (5-FOA) 耐性を指標にした選抜を行った。全加速エネルギー 220 MeV の炭素イオンビーム (C220 とする、以下同様) を照射したところ、ウラシル要求性候補株が得られる線量は 250 ~ 350 Gy 付近であり、その生存率が 60% 以上であった。このことから、この条件では変異箇所が少なく、致死になる変異が少ないため、生存率が高いことが期待された。そこで本研究では、従来の変異処理手法より目的外遺伝子の変異箇所が少くなると予測されているイオンビーム照射による育種技術の利点を活かせる処理方法の構築を目的とし、様々な条件で選抜した 5-FOA 耐性株 (ウラシル要求性候補株) の全ゲノム解析を行う。また、本研究で見出したイオンビーム照射による清酒酵母開発の処理条件を用い、群馬県独自の清酒酵母の改良に取り組んだ。

## 3. 研究の方法

### (1) イオンビーム照射用試料の調製方法の検討

清酒酵母のモデルとして用いられる K701 で検討した次の方法を行った。YM 培地で 30、150 rpm、24 時間の前培養を行った酵母を、1 M のソルビトールを含む YPDS 培地に接種し、30、150 rpm、24 時間の本培養を行った。得られた培養液を YPDS 培地で適宜希釈し、減圧濾過ユニットを用い、酢酸セルロースメンブレンフィルター (47 mm、孔径 0.45 μm、ADVANTEC) 上で吸引濾過した。1/10 無窒素 YNBD 培地をメンブレンフィルター上に加え、吸引ろ過を行うことにより、捕集した酵母細胞を洗浄した。得られたメンブレンフィルターをプラスチック製シャーレ (54 mm × 13 mm、栄研化学) に入れ、クリーンベンチ内での 30 分間風乾を行った。シャーレに YPD 培地を 10 mL 加え、3 時間室温で静置して酵母細胞を乾燥状態から回復させ 1/10 無窒素 YNBD 培地で適宜希釈し、YM 寒天培地で生育してきたコロニー数から生存数を算出した。

### (2) イオンビーム照射方法

イオンビームは、プラスチックシャーレを透過できないので、エネルギー減速を極力抑えるためにポリイミドフィルム (7.5 μm 厚、東レデュボン) で覆い、イオンビーム照射用試料とし照射まで 4 にて保管した。照射用試料は、量研高崎の TIARA にて、AVF サイクロトロンを用いて加速した異なる LET の 6 種のイオンビーム (表 1) を室温で照射した。また、比較対照として、ポリイミドフィルムを外した照射用試料をクリーンベンチ内に設置し、30 cm 離れた高さから UV を照射 (30 ~ 120 秒で 30 秒間隔で増加) したものをを用いた。

表1 本研究で用いた各イオンビームの性質

Ion-beam	Ion	Total accelerated energy (MeV)	LET* at target surface (keV/μm)
He50	<sup>4</sup> He <sup>2+</sup>	50	16
C320	<sup>12</sup> C <sup>6+</sup>	320	76
C220	<sup>12</sup> C <sup>5+</sup>	220	107
C190	<sup>12</sup> C <sup>6+</sup>	190	123
Ne350	<sup>20</sup> Ne <sup>8+</sup>	350	317
Ar460	<sup>40</sup> Ar <sup>13+</sup>	460	1550

### (3) 5-FOA 耐性株の取得方法

改変 5-FOA 寒天培地 (YNB w/o amino acid 6.7 g/L、酵母エキス 0.5 g/L、ウラシル 0.25 g/L、5-FOA 1.0 g/L、グルコース 20g/L、寒天 20 g/L) を用いた。前述の照射前または照射後のフィルターメンブレンから回収した酵母懸濁液を改変 5-FOA 寒天培地に約  $1.0 \times 10^8$  cells/枚となるように塗布した。塗布した寒天培地を 30 °C でおよそ 10 日間静置培養を行った後、生育してきた 5-FOA 耐性株を計数し、新たな改変 5-FOA 培地に釣菌した。得られた 5-FOA 耐性株のうち、YM 寒天培地で生育し、YNB 寒天培地で 7 日間経っても生育しないものをウラシル要求性候補株として選抜した。

### (4) ウラシル要求性候補株の全ゲノム解析

各候補株のゲノム DNA は、Gen とるくん TM 酵母用 (High Recovery) (タカラバイオ) を用いて抽出した。抽出したゲノム DNA からライブラリーを調製し、次世代シーケンサー MiSeq (Illumina) を用いて全ゲノムの塩基配列を取得した。酒類総合研究所が公開しているきょうかい 7 号酵母 (K7) のゲノム配列<sup>4)</sup> を参照配列として用い、各候補株の得られた塩基配列をマッピングした。一塩基置換 (Single nucleotide polymorphism: SNP)、挿入/欠落 (Insertion/deletion: INDEL)、逆位 (Inversion) 及び転座 (Translocation) などの変異の検出は、Genome Analysis Tool Kit (GATK) HaplotypeCaller (ver. 4.2.0)、Pindel (ver. 0.2.4)、BreakDancer (ver. 1.4.5)、及び Manta (ver. 1.6.0) の複数のアルゴリズムを用いて実施した。検出した変異の中から、複数の検体で共通している変異は偽陽性として除外した。さらに、単一の検体でのみ検出された変異の内、変異頻度が 80% 以上の変異をホモ変異、変異頻度が 25~80% の変異をヘテロ変異とした。各酵母で検出された変異は、ゲノムブラウザ Integrative Genomics Viewer (IGV; ver. 2.16.0) を用いて確認し、それぞれユニークな変異とした。

### (5) 尿素非生産性候補株の取得方法

群馬 KAZE 酵母 3 号 (KAZE3) について、前述の手法により C220 のイオンビーム照射を行った。YPD 培地で 3 時間静置による回復培養を行った酵母懸濁液を無窒素 YNBD 培地で置換し、30 °C、150 rpm で 3 時間振盪培養を行うことで酵母細胞の窒素飢餓を誘導し、改良 CAO 培地 (YNB w/o amino acids and ammonium sulfate 1.7 g/L、カナバニン 5 mg/L、カナバニン硫酸塩 7.5 mg/L、アルギニン塩酸塩 0.105 g/L、オルニチン塩酸塩 0.42 g/L、グリセロール 20 g/L、寒天 20 g/L) に塗布した。カナバニン耐性となり改良 CAO 培地に生育した候補株について、Arg 培地で生育できず、かつ Orn 培地で生育できるものを尿素非生産性酵母として選抜した。得られた候補株は総米 200 g および 1 kg の小仕込み試験、72 kg のパイロット醸造試験を実施し、選抜を行った。なお、清酒中の尿素は、F-kit 尿素/アンモニア (Roche Diagnostics GmbH, Germany) を用いて定量した。

### (6) カプロン酸エチル高生産性候補株の取得方法

群馬 G101 酵母 (G101) について、前述の手法により C220 のイオンビーム照射を行った。YPD 培地で 3 時間静置による回復培養を行った酵母懸濁液を 1/10 無窒素 YNBD 培地で適宜希釈し、改変 Cer 培地 (酵母エキス 10 g/L、ペプトン 20 g/L、セルレニン 2 mg/L、グリセロール 40 g/L、寒天 20 g/L) に塗布した。セルレニン耐性となり改変 Cer 培地に生育してきた候補株について、濃縮麹エキスで液体培養を行い、アルコールとカプロン酸エチル生成量を指標に株を選抜した。得られた候補株は総米 200 g および 1 kg の小仕込み試験を実施し、選抜を行った。

### (7) ピルビン酸低生産性候補株の取得方法

群馬 G202 酵母 (G202) について、前述の手法により C220 のイオンビーム照射を行った。YPD 培地で 3 時間静置による回復培養を行った酵母懸濁液を 1/10 無窒素 YNBD 培地で適宜希釈し、3-FOP 培地 (YNB w/o amino acid 6.7 g/L、3-フルオロピルビン酸 1 g/L、エタノール 20 mL/L、寒天 20 g/L) に塗布した。フルオロピルビン酸耐性となり、3-FOP 培地に生育してきた

候補株について、濃縮麹エキスで液体培養を行い、アルコールとピルビン酸生産量を指標に株を選抜した。得られた候補株は総米 200 g の小仕込み試験を実施し、選抜を行った。なお、清酒中のピルビン酸濃度は、ピルビン酸簡易測定キット（新洋技研工業）を用いて定量した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 生存率の高い照射用試料の調製方法の確認

群馬県の従来の方法では、グルコースを 5%とした YM 培地 (YM5) に酵母を接種し、30 で 4~7 日間静置培養した酵母細胞を用いており、フィルターに固定後に凍結乾燥を経て照射試料としていた<sup>2)</sup>。前述した改善方法では、培地を YPD に変えたこと、浸透圧ストレスを与えるためにソルビトールを加えたこと、凍結乾燥からクリーンベンチ内での風乾に変えたことが挙げられる。優良清酒酵母とよばれている K7 系酵母のうち、(独)酒類総合研究所が分譲可能な 9 株 (K601、K701、K901、K10、K11、K14、K15、K1601、K1701) を用い、本方法の有効性を評価したところ、株間にばらつきはあったものの生存率は 76~95%であった。このことから、本方法は少なくとも優良清酒酵母には有効であることが確認された。

##### (2) 各イオンビーム照射と 5-FOA 耐性株の出現性の評価

イオンビームは、核種によって標的に与えられる LET を変えることができるため、LET によって変異の入り方が変わることが予測される。また、5-FOA は、オロチン酸のアナログ物質であり、酵母 *S. cerevisiae* は感受性を示す。一方、ピリミジン生合成経路の *URA3* あるいは *URA5* 遺伝子の欠損変異株 (*ura3*-変異株あるいは *ura5*-変異株) は、5-FOA を代謝しないため耐性を示す<sup>5)</sup>。*S. cerevisiae* の場合、*ura5*-変異株はオロチン酸をある程度利用することができるため、ウラシルなしでもゆっくりと生育することができるが、*ura3*-変異株はウラシル要求性となる。そこで我々は、K701 を用い、量研高崎研で照射することができる 6 種類のイオンビーム(表 1) を照射し、5-FOA 耐性株の取得を試みた。

その結果、He50、C320、C220 の比較的低い LET を与えるイオンビームでは 5-FOA 耐性株が取得できたのに対し、C190、Ne350、Ar460 といった高い LET を与えるイオンビームでは、ほとんど 5-FOA 耐性株が得られなかった。LET と生存率を評価したところ、LET が高くなるほど同じ線量でも生存率が低くなっていたが、Ar460 はオーバーキル効果のためか生存率は高めであった。各イオンビームでは、線量が高くなると生存率が下がる傾向を示した。また、He50、C320、C220 では、50~350 Gy の範囲では線量が高くなると 5-FOA 耐性株出現率が高くなる傾向が確認された。

##### (3) 各ウラシル要求性候補株のゲノム解析結果

本研究で取得した 5-FOA 耐性株 (ウラシル要求性候補株) は、He50 照射から 34 株、C320 照射から 16 株、C220 照射から 14 株、Ar460 照射から 1 株、そして UV 照射から 12 株の合計 77 株が得られている。これらの株と親株 K701 を用いて YM 培地での増殖性をしらべたところ、候補株はいずれも親株より遅くなっていることが分かった。特に He50 や C320 では株間の増殖速度の差が大きかった。また、Ar460 照射の株を除く 76 株について *URA3* および *URA5* 遺伝子の上流 600 bp、下流 300 bp までを含む領域を調べたところ、*URA3* 遺伝子の増幅が確認できなかったものや、遺伝子配列にヘテロな変異が入っていると推測される波形データのものが複数確認された。そこで、全ゲノム配列を解析し、*URA3*、*URA5* 遺伝子に変異が入っているか、また目的外遺伝子にどの程度変異が入っているか調べることにした。親株 K701 に加え、He50 から 10 株、C320、C220、UV からそれぞれ 5 株ずつの合計 26 株を実験に供した。

表 2 処理方法によるユニーク変異の比較のまとめ

	Number			
	He50	C320	C220	UV
Point mutation				
Base substitution				
Homo	1.4 ± 0.3	1.4 ± 0.5	1.4 ± 0.5	0.6 ± 0.2
Hetero	6.8 ± 1.4	9.0 ± 2.6	11.6 ± 2.0	15.8 ± 2.2
Deletion				
Homo	ND	ND	ND	ND
Hetero	0.1 ± 0.1	1.0 ± 0.5	0.2 ± 0.2	ND
Insertion				
Homo	ND	ND	ND	ND
Hetero	0.1 ± 0.1	ND	ND	0.8 ± 0.4
Total number	8.4 ± 1.5	11.4 ± 3.3	13.2 ± 2.3	17.2 ± 2.5
LOH	0.6 ± 0.2	1.6 ± 0.6	2.4 ± 0.7	0.2 ± 0.2

ND : Not detected

予想に反し、*URA3* 遺伝子上流 600 bp、下流 300 bp を含む領域で変異が入っている株は 25 株のうち 1 株もなかった。これは、前述の *URA3* 遺伝子が増幅できなかった株も含まれており、PCR で増幅できなかった原因は分からなかった。以上のことから、変異株はウラシル要求性とは別の要因により、5-FOA 耐性を獲得したものと推定された。一方、各酵母の変異処理によるユニークな点変異は、変異株あたり C220 が平均 13.2 個、C320 が 11.4 個、He50 が 8.4 個であり、UV では 17.2 個であった（表 2）。また、親株 K701 の染色体上である程度の長い領域（100 bp 以上）で点在するヘテロな塩基（3 か所以上）が、変異処理によってホモ化が確認されたものを Loss of Heterozygosity (LOH) とみなし、その数を調べた。変異株あたり C220 が平均 2.4 個、C320 が 1.6 個、He50 が 0.6 個であり、UV では 0.2 個であった。なお、本研究の LOH 内の点変異数は、表 2 のユニークな点変異数には含めていない。以上のことから、イオンビーム照射で得られた 5-FOA 耐性株は、UV 照射のものに比べてユニークな点変異数が少なく、LOH は多めであった。また、LET が高くなると LOH を検出される数が増える傾向が確認された。このことは、本研究により、変異遺伝子数が少ないというイオンビーム育種技術の特徴を生かして、発酵能などの醸造特性に悪影響を与える余計な変異が入ることなく、目的の酒質改善のみをさせる清酒酵母開発のための処理条件が見つけられたと考えられた。

#### （４）群馬 KAZE 酵母 3 号からの尿素非生産性酵母の育種

続いて、本研究で見出したイオンビーム照射による清酒酵母開発の処理条件を用い、群馬県独自の清酒酵母の改良に取り組んだ。酵母による尿素の生産は、火入れ・熟成中に清酒中のアルコールと重合し、発がん性が疑われているカルバミン酸エチルの生成につながる。このため、尿素非生産性酵母の育種方法が開発されているが、群馬 KAZE 酵母 3 号では既存の選択培地では耐性があり、上手いかなかった。研究の方法で述べたように、グリセロールを選択培地の炭素源に用いることにより、ダミーの出現を抑えることに成功したが自然変異株は得られなかった。そこで、C220 のイオンビーム照射により、尿素非生産性候補株を 17 株取得し、2 回の小仕込み試験とパイロット醸造試験により、尿素非生産性かつ親株と醸造特性がほぼ同等である株を選抜し、KAZE3-Arg と命名し実用化した。

#### （５）群馬 G101 酵母からのカブロン酸エチル高生産性酵母の育種

背景で述べた No. 227 株は、世界で初めてイオンビーム育種技術により開発した清酒酵母であるものの、群馬 KAZE 酵母と同じ親株 K901 を由来とし、セルレニン耐性を利用していること、酸度が高くなることなどから群馬県内での利用実績が高くなかった。そこで、群馬県独自の群馬 G1 酵母を泡なし化して群馬 G101 酵母を育種し、C220 のイオンビーム照射とセルレニン耐性によりカブロン酸エチル高生産かつ酸度が高くない株の育種を試みた。その結果、552 株のセルレニン耐性株から、液体培養により 32 株を選抜し、2 回の小仕込み試験によりカブロン酸エチル高生産性、酸度生産性を有する株を選抜した。選抜株は、QC13 株と命名し、実用化に向けた醸造試験を実施している。

#### （６）群馬 G202 酵母からのピルビン酸低生産性酵母の育種

清酒中のオフフレーバーであるジアセチルの生成量は、ピルビン酸残存量と正の関係があるとされ、低アルコール清酒の製造には、ピルビン酸低生産性酵母の使用が有効と考えられている。しかしながら、日本醸造協会が頒布してきた K7 由来ピルビン酸低生産性酵母 TCR7 は、2020 年度で頒布を中止している。そこで群馬 G202 酵母に C220 のイオンビーム照射を行い、ピルビン酸低生産性酵母の育種を試みた。その結果、得られたフルオロピルビン酸耐性 216 株のうち、15 株が液体培養で親株よりピルビン酸残存量が低かった。さらに、小仕込み試験を実施したところ、4 株が親株よりピルビン酸残存量が低く、うち 1 株が親株と発酵力や香り成分分析値などがほぼ同等であった。

#### < 引用文献 >

- 1) Tanaka A. et al., Studied on biological effects of ion beams on lethality, molecular nature of mutation, mutation rate, and spectrum of mutation phenotype for mutation breeding in higher plants. *J Radiat Res*, 51, 2010, 223-233
- 2) 増淵隆、イオンビーム微生物育種による新規清酒酵母の開発と実用化、*日本醸造協会誌*、110, 2015, 544-543
- 3) Matuo Y. et al., Specificity of mutations induced by carbon ions in budding yeast *Saccharomyces cerevisiae*, *Mutation Research*, 602, 2006, 7-13
- 4) Akao T. et al., Whole-genome sequencing of sake yeast *Saccharomyces cerevisiae* Kyokai no. 7. *DNA Research*, 18, 2011, 423-434
- 5) Boeke et al., A positive selection for mutants lacking orthidine-5'-phosphate decarboxylase activity in yeast: 5-fluoro-orotic acid resistance, *Mol Gen Genet*, 197, 1984, 345-346

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 渡部貴志、佐藤勝也、増淵隆、大野豊	4. 巻 6
2. 論文標題 清酒酵母のイオンビーム育種技術に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 52 - 55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡部貴志、佐藤勝也、大野豊、田島創	4. 巻 -
2. 論文標題 群馬KAZE酵母のカナバニン感受性が抑えられている原因調査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 群馬県立産業技術センター研究報告（2022）	6. 最初と最後の頁 62 - 67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Watanabe, Katsuya Satoh, Yutaka Oono, So Tajima	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigation of uracil auxotrophic mutants of sake yeast bread by ion-beam mutagenesis technology	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report 2022	6. 最初と最後の頁 77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡部貴志、佐藤勝也、今井健夫、大野豊、田島創、石田一成	4. 巻 -
2. 論文標題 群馬KAZE酵母3号の尿素非生産性化と高品質清酒の製造	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 群馬県立産業技術センター研究報告（2023）	6. 最初と最後の頁 47 - 52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡部貴志、佐藤勝也、大野豊、吉野功、田島創	4. 巻 119
2. 論文標題 イオンビーム照射による清酒酵母育種技術の基礎検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本醸造協会誌	6. 最初と最後の頁 323 - 335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 渡部貴志、佐藤勝也、大野豊、田島創
2. 発表標題 ウラシル要求性を指標にした清酒酵母のイオンビーム育種技術に関する研究
3. 学会等名 日本農芸化学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部貴志、佐藤勝也、大野豊、田島創
2. 発表標題 イオンビーム照射による群馬G101酵母からのカプロン酸エチル高生産性酵母の育種
3. 学会等名 日本生物工学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部貴志、佐藤勝也、大野豊、尾形智夫、田島創
2. 発表標題 イオンビーム照射による群馬G2泡無し酵母からのピルビン酸低生産性酵母の育種
3. 学会等名 日本醸造学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部貴志、佐藤勝也、大野豊、田島創
2. 発表標題 イオンビーム育種技術で得られた5-FOA耐性清酒酵母のゲノム解析
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	柳澤 昌臣  (Yanagisawa Masaomi)  (30868930)	群馬県立産業技術センター・その他部局等・技師   (82305)	削除：2023年2月27日

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	佐藤 勝也  (Satoh Katsuya)  (90370402)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子技術 基盤研究所 量子バイオ基盤研究部・上席研究員   (82502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------