

群馬県オリジナルのカプロン酸エチル高生産酵母の実用化検討

武田文宣・山本真揮・西岡義彦・石田一成

Feasibility Study on practical application of Gunma original sake yeast
with high ethyl caproate production

TAKEDA Ayanobu, YAMAMOTO Masaki, NISHIOKA Yoshihiko, ISHIDA Kazunari

近年、県独自酵母 G101 株を親株にイオンビーム照射を利用して、新規カプロン酸エチル高生産酵母の選抜を行ってきた。スクリーニングにより得られた候補株 5 株から、小仕込試験、パイロットプラントでの試験醸造を経て、最終選抜株の実用化を検討した。その結果、実用可能性が確認できたので、県内製造場の実地醸造の結果も添えて、報告する。

キーワード：清酒、群馬清酒酵母、カプロン酸エチル、イオンビーム

In recent years, ion beam irradiation has been used to select new yeast strains with high ethyl caproate production, using Gunma original sake yeast G101 as the parent strain. From the five candidate strains obtained through screening, small-scale brewing tests and test brewing using the pilot plant were carried out, and the practical application of the final selected strain was considered. As a result, the practical feasibility was confirmed, and we report the results of the actual brewing at sake factories of Gunma prefecture.

Keywords : Japanese sake, Gunma sake yeast, ethyl caproate, ion-beam

1 まえがき

当県では、平成 11 年より供用を始めた群馬 KAZE 酵母群¹⁾、及び令和元年、2 年にそれぞれ泡なし株が実用化された群馬 G2 酵母²⁾、群馬 G1 酵母³⁾がある。また、過去には(国研)量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所(以下、量研)と共同で、世界で初めてイオンビーム照射を変異源に活用して群馬 227 酵母を開発している⁴⁾。近年では、量研のイオンビームを利用して KAZE 酵母の尿素低生産性酵母の育種、実用化を行っている^{5),6)}。

これまで育種してきた KAZE 酵母群及び 227 酵母は、カプロン酸エチル高生産酵母であるが、カプロン酸エチルや有機酸の生成能などの醸造特性から、県内製造場において鑑評会出品酒となる大吟醸酒にはほとんど使用されていない状況である。

そこで、新規なカプロン酸エチル高生産株

の育種を目指して、令和 3 年以降、県独自酵母として頒布している泡なし G101 株を親株として用い、イオンビーム照射を変異源として、セルレニン耐性を指標に選抜を進め、独自性が高いカプロン酸エチル高生産性酵母の育種に取り組んできた⁷⁾。

本研究では、上述セルレニン耐性によるスクリーニングから得られた候補株の絞り込みを進めた中から、最終選抜株の実用性を評価することを目的としている。最終選抜株によるパイロットプラントでの試験醸造や実地醸造を通して醸造特性の把握や製成酒の評価を行い、当該酵母が実用性を備えていると判断したので、試験結果等を報告する。

2 方法

2.1 供試酵母及び培地

前年度までにスクリーニングを進めていた中から候補株 5 株を用いた⁷⁾。対照には、日本醸

造協会より分譲されたきょうかい酵母®1801号（以下、対照株）を使用した。

酵母培養には（株）秋田今野商店より購入した冷凍濃縮麹エキスを Brix 1.7° 程度となるように希釈し、グルコース 50g/L、グルタミン酸ナトリウム 2g/L、リン酸二水素カリウム 0.15 g/L、リン酸水素二カリウム 0.15 g/L を加えた希釈麹エキス培地を用いた。

2. 2 総米 1 kg の小仕込試験

候補株 5 株及び対照株について、令和 4 年度兵庫県産山田錦 40%精米を用いて表 1 に示す条件で総米 1 kg の小仕込試験を行った。希釈麹エキス培地 5 mL に酵母を一白金耳接種し、25°C で 4 日間静置培養を行った。この培養液を遠心分離し、上清を除いた菌体を汲水で流し入れ添仕込を行った。麹は、Roots36（（株）秋田今野商店）を種麹として製麹したものをを用いた。掛米は、洗米後に 35%吸水率となるように浸漬し、蒸籠で蒸したものをを用いた。汲水は水道水を用い、添用の汲水には、リン酸二水素カリウム、硫酸マグネシウム、塩化ナトリウム等のミネラル塩添加を行った。三段仕込により 7°C で留仕込後、1°C/日ずつ昇温させ、最高温度 13°C とし 26 日後に上槽を遠心分離（旧工機ホールディングス（株）製 CR21N、5000rpm、20min）により行った。

表 1 総米 1kg の仕込配合

	添	仲	留	計
総米(g)	195	315	490	1000
蒸米(g)	140	250	410	800
麹米(g)	55	65	80	200
汲水(mL)	260	410	730	1400
仕込温度(°C)	15	9	7	

2. 3 分析方法

日本酒度、アルコール分、酸度、アミノ酸

度は国税庁所定分析法に従い、分析を行った。

グルコースは、グルコース CII-テストワコー（富士フィルム和光純薬（株））を用いて分析を行った。香気成分（酢酸エチル、酢酸イソアミル、イソアミルアルコール、カプロン酸エチル、イソブチルアルコール）は、ヘッドスペースガスクロマトグラフ（（株）島津製作所製 GC-2030AF）で分析した。ピルビン酸は、メガザイム社製ピルビン酸分析キット（日本バイオコン販売）を用いて既報⁸⁾に従い測定した。

2. 4 パイロットプラント試験醸造

総米 1kg の小仕込試験で選抜した③大-16 株及び対照株に対し、令和 4 年産及び 5 年兵庫県産山田錦 40%精米を用い、表 2 に示す配合で総米 80kg の試験醸造を行った。酵母の拡大培養は、前培養後、希釈麹エキス培地 500mL で 30°C、3 日間静置培養により行った。麹は、Roots36（（株）秋田今野商店）を種麹として 2. 2 小仕込試験用と同時に製麹したものを冷凍保存し使用した。掛米は、吸水率概ね添仲 36%、留 34% で吸水したものを 60 分蒸きょうで使用した。なお、酒母の汲水は水道水を加工し（リン酸二水素カリウム 0.4g/L、リン酸二水素カルシウム 0.2g/L、硫酸マグネシウム・七水和物 0.3 g/L、塩化ナトリウム 0.2g/L）、乳酸 30mL を添加した中温速醸酒母により 8 日目使用とした。また、もろみの汲水には全量水道水を用いた。

2. 5 官能評価

試験醸造を行った製成酒について、群馬県酒造組合主催の令和 6 年 9 月実施の持寄研究会（純米吟醸酒部門）に参考出品した。国税局鑑定官、県内清酒製造技術者及び当センター職員で構成する 13 名の審査員により、県内酒蔵の出品酒を交えて官能評価を受けた。品温は約 20°C、プラスチックカップを用いて 5 点法の総合評価と短評により評価した。令和 7 年 3 月実施の県清酒品評会（舞風の部）に出品したもの

表 2 パイロットプラントの仕込配合と試験条件

	酒母	添	仲	留	追水	計
総米(kg)	5.4	13.6	26	35		80
蒸米(kg)	3.6	10.4	21	29		64
麹米(kg)	1.8	3.2	5	6		16
汲水(L)	6	16	32	50	10~13	114~117
仕込温度(°C)	24	12	8	6		

は、上記同様の方法で、国税局鑑定官、近県公設試験研究機関職員、県内清酒製造技術者及び当センター職員で構成する 15 名の審査員により評価した。

2. 6 実地醸造

パイロットプラント試験醸造に用いた最終選抜株（③大-16 株）の使用を希望された 5 製造場において、精米歩合 60%以下の令和 6 年群馬県産舞風などを用いた総米 260~690 kg の実地醸造を行った。酵母は、当センターにて拡大培養を行い、使用希望製造場に提供した。酒母は、速醸もと、もろみは三段仕込みの通常の市販酒を造る方法で行った。

3 結果と考察

3. 1 総米 1kg の小仕込試験による最終選抜

既報のとおり⁷⁾セルレニン耐性株の一次、二次スクリーニングを行い選抜した 5 株による総米 1kg の小仕込試験の結果を参考に、発酵初期の立上りが遅く酸度が高くなった株を除き、総米 200g 小仕込試験で次点としていた株を加えた 5 株を用いて、再現性を含め候補株の醸造特性を評価するために、仕込配合等の条件を変えて、総米 1kg の小仕込試験を実施した。

まず、重量減少量の経日変化を見てみると、もろみ中盤以降対照株の発酵速度の鈍化に対して、全ての候補株が良好な重量減少を維持しており、対照株より発酵力が高いことが示された（図 1）。特に 2-22 株、⑦大-14 株は、もろみ初期か終始対照株を上回る発酵力であった。製成酒の成分値（表 3）から、2-22 株、⑦大-14 株の日本酒度が対照より大きくプラスに、アルコール分も高くなっており、発酵力の高さが見て

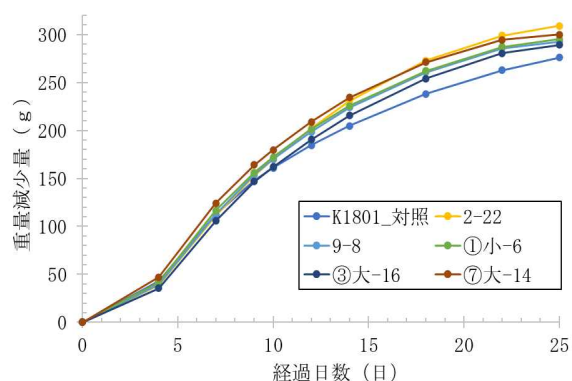


図 1 総米 1 kg 小仕込試験の重量減少経過

とれる。酸度は、全て候補株で対照より高かったが③大-16 で 0.05 差と僅かな違いであった。アミノ酸度も、対照に比して候補株が高い傾向にあった。グルコースは候補株ごとに差が見られた。一つの要因として、発酵初期の糖化と発酵のバランスの違い、即ち酵母の増殖速度、立上りの差による影響の可能性を考えている。その他、糖の資化性の違いや仕込ごとの原料や品温のバラツキの可能性も否定はできない。カブロン酸エチルは、全ての候補株で 8ppm 程度と同等であったが、対照よりはやや低かった。これらの結果は、条件の違いもあり既報⁷⁾と全く同じ結果とは言い切れないが、総合的な判断としては、③大-16 が最終選抜株として最適であることを確認できた。

3. 2 パイロットスケールでの試験醸造

一般に、育種した酵母を実用化する場合、小仕込試験の検討で候補株を選抜した後、パイロットプラントでの試験製造を行い、酒母やもろみの経過や製成酒等の評価を行う必要がある。そこで、先述の総米 1kg の小仕込試験で最終選抜した③大-16 株と対照株を用いて、当センター内のパイロットプラントを用い、総米 80 kg の試験醸造を行った。

表 3 総米 1 kg の小仕込試験の結果

	重量減少量 (g)	日本酒度	アルコール分 (%(v/v))	酸度	アミノ酸度	グルコース (g/100mL)	イソアミルアルコール (ppm)	酢酸イソアミル (ppm)	カブロン酸エチル (ppm)	酢酸エチル (ppm)	E/A
K1801 (対照)	276.0	-7.4	16.7	1.96	1.15	3.2	108	1.9	10.6	54	1.7
2-22	309.0	8.8	18.4	2.24	1.13	1.9	109	2.6	7.7	67	2.4
9-8	292.8	-1.1	17.4	2.12	1.42	3.2	98	1.8	7.8	54	1.9
①小-6	295.0	±0	17.5	2.06	1.40	2.7	100	2.0	7.7	62	2.0
③大-16	289.1	-9.4	17.3	2.01	1.32	4.3	98	1.9	8.2	59	2.0
⑦大-14	300.2	6.5	17.8	2.04	1.51	1.9	103	2.0	7.1	63	1.9

酒母の仕込、品温管理を両株同様に言い、4日目ボーマはともに10.4であった。その後、同じタイミングで分けを行い、8日目に使用した。使用時の分析値は、対照株に比べ選抜株の酸度及びアミノ酸度がやや高かった（表4）。

もろみにおいても、両株とも同様の仕込、品温管理を行った。もろみ前半から中盤の経過は、両株で顕著な違いは見られなかったが、もろみ末期のボーマ（BMD）の切れは、選抜株の方が品温を下げてでも順調であった（図2）。グルコースは、サンプリングや分析のバラツキもあるだろうが、両株で大きな差はなく推移していた。一方、ピルビン酸は、選抜株の方が終始やや高めに推移し、もろみ末期、対照より品温を下げていっても高めであった（図3）。

表4 使用時酒母の分析結果

	日本酒度	アルコール分(%(v/v))	酸度	アミノ酸度
K1801 (対照)	6.5	10.0	5.0	0.4
③大-16 (選抜株)	6.7	9.3	5.3	0.6

製成酒の分析値（表5）より、日本酒度、アルコール分、酸度、カプロン酸エチル及び酢酸イソアミルには顕著な差はないと見ている。他方、ピルビン酸、イソアミルアルコールには酵母の特性の違いが出ていると考えている。グルコースについても、発酵力や糖資化性などの性質差が影響している可能性も考えている。その点については、今後の検討評価が必要かもしれない。

また、県持寄研究会で他の県産出品酒31点に交えて審査したところ、酸味、苦渋、ざらつきや香りクセなどの指摘も一部あったが、5点法で平均評点2.85点と無難な評価は得られ、及第点には達したといえる。

表5 パイロットプラントでの試験醸造酒の分析結果

	日本酒度	アルコール分(%(v/v))	酸度	アミノ酸度	グルコース(g/100mL)	ピルビン酸(ppm)	イソアミルアルコール(ppm)	酢酸イソアミル(ppm)	カプロン酸エチル(ppm)	酢酸エチル(ppm)	イソブチルアルコール(ppm)	E/A
K1801 (対照)	-4.8	16.0	1.65	0.75	2.5	147	90	1.0	4.7	51	32	1.1
③大-16	-5.2	16.2	1.65	0.90	2.8	169	74	1.2	5.2	55	24	1.6

これらの結果から、最終選抜である③大-16株は、吟醸酒用のカプロン酸エチル高生産酵母として実用性が高いとの判断に至った。今後も、試験醸造等を通して、更なる醸造特性の把握、製造条件の最適化などを検討し、県内製造場での利用促進に繋げたいと考えている。

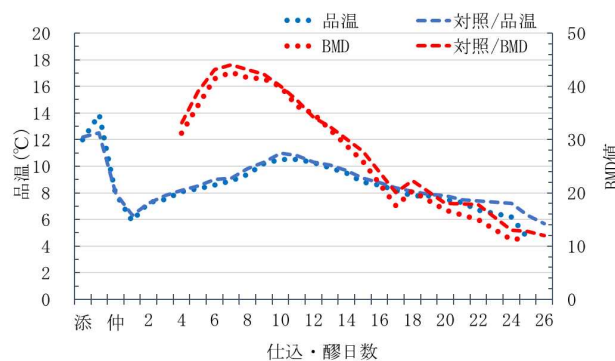


図2 パイロット試験の品温、BMD経過

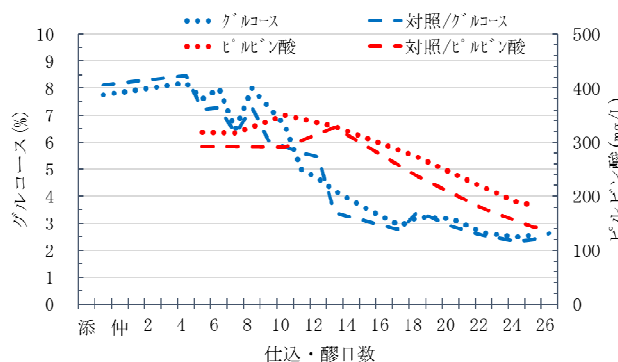


図3 パイロット試験の成分値経過

3.3 県内製造場での実地醸造

実用化への最終段階として、最終選抜株の使用を希望された製造場に酵母を提供し、製成酒並びに製造に関する情報提供をいただいた。製造経過についてはA~E場では、それぞれ原料米

表 6 実地醸造による製成酒の分析結果

	日本酒度	アルコール分(%(v/v))	酸度	アミノ酸度	グルコース(g/100mL)	ピルビン酸(ppm)	イソアミルアルコール(ppm)	酢酸イソアミル(ppm)	カプロン酸エチル(ppm)	酢酸エチル(ppm)	イソブチルアルコール(ppm)	E/A
製造場A	+2.7	16.5	1.45	1.00	1.4	135	88	1.5	3.0	69	32	1.7
製造場B	±0	16.5	1.95	1.65	3.4	132	107	3.1	1.8	94	39	2.9
製造場C	-4.3	16.2	2.00	1.85	2.7	334	111	2.6	3.0	77	36	2.3
製造場D	+5.5	16.1	1.50	1.05	1.9	348	132	2.7	3.8	64	45	2.0
製造場E	+0.8	15.6	1.65	1.35	1.0	203	121	1.5	3.9	48	39	1.2

が異なっていたが、13～26日のもろみ日数で上槽されており、選抜株の発酵力には実用的に問題無いことが確認された。製成酒の分析値(表6)より、B社ではカプロン酸エチルが低いものの、溶けにくい米質の舞風を使用したC～E場の製成酒では3.0～3.9mg/Lであり、一定のカプロン酸エチル生成能を示していた。また、C～E場のピルビン酸濃度は200ppmを超えており、ジアセチルやアセトアルデヒドなどのオフフレーバーが危惧される結果であった。県清酒品評会舞風の部に出品した審査においても、カプロン酸エチル、華やかとのコメントがある一方で、ジアセチルの指摘がある製成酒もあった。原因として米質や製造条件の影響もあると思われるが、今後の製造時には留意すべき点であることが明らかになった。

4 まとめ

本研究では、新規カプロン酸エチル高生産酵母の最終選抜及び実用化に向けた醸造試験に取り組んだ。

総米1kgの小仕込試験の結果から選抜した③大-16株は、パイロットスケールで対照としたK1801と同様の発酵経過を示し、製成酒の分析値もカプロン酸エチル、酸度など概ね同等程度であることが確認された。さらに、実地醸造でも良好な発酵力と一定のカプロン酸エチル生成能があることは明らかであった。

以上より、最終選抜株は、十分実用性がある

と判断に至った。なお、最終選抜株は、既報⁷⁾に掲載のとおり群馬QCI3酵母(QCI3株)と命名しており、今後、群馬県酒造組合との協議を進め、令和7年度より正式な県酵母ラインナップとして、県内製造場に広く頒布する方向で準備中である。

謝 辞

群馬県持寄研究会及び群馬県清酒品評会の審査員、並びに最終選抜株を使用いただいた製造場の皆様には、ご協力感謝申し上げます。

文 献

- 1) 上山修ほか：平成13年度群馬県工業試験場研究報告、39-43(2002)
- 2) 渡部貴志ほか：令和2年度群馬産業技術センター研究報告、23-28(2021)
- 3) 渡部貴志ほか：令和4年度群馬産業技術センター研究報告、56-61(2023)
- 4) 増淵隆ほか：平成21年度群馬産業技術センター研究報告、12-14(2010)
- 5) 渡部貴志ほか：平成30年度群馬産業技術センター研究報告、1-4(2019)
- 6) 渡部貴志ほか：令和5年度群馬産業技術センター研究報告、47-52(2024)
- 7) 渡部貴志ほか：醸協、120、288-298(2025)
- 8) 三井俊ほか：あいち産業科学技術総合センター研究報告2021、98-101(2022)