

群馬KAZE酵母3号の尿素非生産性化と高品質清酒の製造

渡部貴志・佐藤勝也*・今井健夫**
大野 豊*・田島 創***・石田一成****

Breeding of non-urea producing Gunma KAZE3 yeasts to produce high-quality sake
WATANABE Takashi, SATOH Katsuya, IMAI Takeo
Oono Yutaka, TAJIMA So, and ISHIDA Kazushige

群馬KAZE酵母は、吟醸酒用酵母として開発され、群馬県内の多くの酒造会社に利用されている。清酒中の尿素は、カルバミン酸エチルの前駆物質であり、この物質は国際ガン研究機関（IARC）によりおそらく発がん性があるとされるグループ2Aに指定されている。我々は、イオンビーム照射により、群馬KAZE酵母3号（KAZE3）の尿素非生産性化に取り組んだ。選抜方法を修正することにより、17株の尿素非生産性候補株を取得した。本研究では、実用化に向けたKAZE3の尿素非生産性株の選抜を試みた。

キーワード：清酒、尿素非生産性酵母、カルバミン酸エチル、イオンビーム

Gunma KAZE yeasts, bred for ginjyo-sake brewing, are utilized in many sake-manufactures of Gunma prefecture. In Japanese sake, urea is a main precursor of ethyl carbamate which is classified in the group 2A “probably the cause of cancer” by International Agency for Research on Cancer. We attempted to breed a non-urea producing yeast from Gunma KAZE3 yeast by ion-beam irradiation. By modifying the selecting condition, we succeeded to isolate 17 candidates that did not produce urea. In this study, we tried to select non-urea producing KAZE3 for practical use.

Keywords: Japanese sake, non-urea producing yeast, ethyl carbamate, ion-beam

1 はじめに

全国の清酒の生産量は、従来大半を占めていた普通酒の割合が下がり、特定名称酒（本醸造酒、吟醸酒、純米酒等）の割合が増えてきている。これは、旅館や居酒屋向けの大量消費型のものから、清酒専門店や清酒愛好家向けの品質本位の清酒に転換していることを表している。清酒の中でも地域の特徴が出てくる地酒は、国内だけでなく国外でも高く評価されており、海外輸出量は11年間連続で毎年平均10%以上増加を続けている¹⁾。

光計測係

* 量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所

** 聖酒造株式会社 *** 食品化学開発係

**** 食品・バイオ係

清酒の個性を出させるものの一つに、清酒酵母がある。（公財）日本醸造協会が全国の酒造会社に頒布している「きょうかい清酒酵母」は、清酒の品質を向上させる上で非常に重要な役割を果たしてきた。一方で、各地の公設試等が開発した独自酵母も、その土地ならではの清酒造りに欠かせない役割を担っている。群馬県では、平成14年に実用化された群馬KAZE酵母²⁾、令和元年、令和2年に泡無し株が実用化された群馬G2酵母³⁾、群馬G1酵母⁴⁾がある。また、（国研）量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所と共同で、世界で初めてイオンビーム育種技術を活用して群馬227酵母を開発している⁵⁾。

群馬県独自酵母の中でも、群馬KAZE酵母を用いて作られる清酒の売り上げは、年

間6億円（小売店ベース価格で換算）を越える。群馬県の地酒の海外輸出量も増加傾向にあり、今後も増えることが期待される。一方で、海外輸出量が増えるにつれて懸念されているのが、清酒中に含まれるカルバミン酸エチルの含有量を規制する国が増えることである。カルバミン酸エチルは、国際がん研究機関（IARC）によって「ヒトに対する発がん性がおそらくある」とされるグループ2Aに属する化合物である。清酒中のカルバミン酸エチルは、清酒の火入れ・貯蔵中に尿素とエタノールが縮合して生成する。このことから、尿素を生産しない尿素非生産性酵母を用いることにより、清酒中のカルバミン酸エチルの含有量を低減させることができる。

尿素非生産性酵母の開発方法は、既に報告されており⁶⁾、各地公設試が独自酵母の尿素非生産性化の取り組みを行っている。群馬県でも2019年に群馬KAZE酵母1号、2号の尿素非生産性株の実用化を行っている⁷⁾。一方、群馬KAZE酵母の中で2号の次に使用量の多い3号（以下、KAZE3）は、既存の報告の手法では尿素非生産性化が行えなかったため、解決方法が模索され、2021年に初めて候補株が17株取得された⁸⁾。群馬KAZE酵母3号の特徴は、リンゴ様の吟醸香を生成するのみならず、有機酸の生産量が少ないため、綺麗でフルーティーな酒質の清酒造りに適している。

そこで本研究では、優れたKAZE3の醸造特性を維持しつつ、尿素非生産性となった候補株を選抜し、実用化に取り組むことにより、群馬県の地酒の海外輸出を促進することを目的とした。また、聖酒造株式会社で実地試験醸造を行い、得られた製成酒について評価を行ったところ、最終的に令和5年度に県内酒造会社の共通財産として実用化されたので報告する。

表1 総米200 gの仕込み配合

	酒母	一段目	一段目	追水	計
総米(g)			200		200
麴米(g)		40			40
掛米(g)			160		160
汲水(mL)	12	68	200	30	310

2 実験材料と方法

2.1 供試酵母

群馬県独自酵母KAZE3は、県内酒蔵に頒布しているスラントのものを使用した。また、2021年度にKAZE3から取得した17株の尿素非生産性候補株を用いた。

2.2 総米200 gの小仕込み試験

尿素非生産性候補株17株と親株KAZE3の合計18株について、令和2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200 gの小仕込み試験を行った。麴エキス（Brix 5°）2.5 mLに酵母を一白金耳接種し、23℃で4日間静置培養を行った。この培養液1 mLに滅菌酒母用汲水（リン酸二水素カリウム1.0 g/L、硫酸マグネシウム・七水和物0.2 g/L、塩化ナトリウム0.15 g/L、乳酸5 mL）11 mLを加えたものを酒母の代わりとして用いた。麴米はハイG（樋口松之助商店）を種麴として製麴したものをを用いた。掛米は洗米後、35%吸水率となるように浸水し、蒸籠で蒸したものをを用いた。また、汲水は水道水を用い、6、12、15日目に10 mLずつ追水を行った。仕込み温度15℃、18日後に上槽を遠心分離（7000×g, 15 min）で行った。

2.3 分析方法

得られた製成酒の尿素は、F-kit 尿素／アンモニア（Roche Diagnostics GmbH, Germany）を用い、アンモニアの値を差し引いて測定した。酸度、アミノ酸度、日本酒度、エタノールは国税庁所定分析法に従い、分析を行った。グルコース、マルトースは、高速液体クロマトグラフ、示差屈折率検出器を用い、分析を行った。香気成分（酢酸エチル、イソアミルアルコール、酢酸イソアミル、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で分析した。

2.4 総米1 kgの小仕込み試験

総米200 gの小仕込み試験で選抜した候補株6株と親株KAZE3について、令和2年度兵庫県産山田錦40%精米を用いて表2に示す条件で総米1 kgの小仕込み試験を行った。麴エキス（Brix 5°）2.5 mLに酵母を一白金耳接種し、23℃で4日間静置培養を行った。この培養液1 mLに滅菌酒母用

表2 総米1 kgの仕込み配合

	酒母	一段	二段	三段	追水	計
総米(g)		100	400	500		1000
掛米(g)			400	400		800
麴米(g)		100		100		200
汲水(mL)	61	69	500	770	200	1550
温度(°C)	-	20	15		-	-

汲水60 mLを加えたものを酒母の代わりとして用いた。麴米は、ハイG（樋口松之助商店）を種麴として製麴したものを用いた。掛米は、洗米後に35%吸水率となるように浸水し、蒸籠で蒸したものを用いた。汲水は水道水を用い、8、14、17日目に50 mLずつ追い水を行った。仕込み温度は8~20°Cで経日的に変化させ、20日後に上槽を遠心分離（7000×g, 15 min）で行った。

2.5 パイロットプラント試験醸造

総米1 kgの小仕込み試験で選抜した2-2株、7-4株および親株KAZE3に対し、令和3年産群馬県産舞風（50%精米）を用い、表3に示す配合で総米72 kgの試験醸造を行った。酵母の拡大培養は、麴エキス（Brix 5°）18 mLで23°C、4日間静置培養により行った。麴米は、吟麗（日本醸造工業株式会社）を種麴として製麴したものを用いた。掛米の吸水率は酒母が32%、添が33%、仲留が32%になるよう調整した。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1.0 g/L、硫酸マグネシウム・七水和物0.2 g/L、塩化ナトリウム1.5 g/L）、乳酸28.8 mL加えて5日間の中温速醸を行った。また、もろみの汲水は水道水を用いた。

2.6 官能検査

試験醸造を行った製成酒について、群馬産業技術センター職員2名で官能検査を行った。品温は20°Cに保ち、利き猪口を用

いて5点法の総合評価と短評を評価した。

2.7 実地試験醸造

パイロットプラント試験醸造で最終選抜した候補株（2-2株）と親株KAZE3を用い、令和3年度兵庫県産山田錦50%精米を用いた総米600 kgの実地試験醸造を行った。群馬産業技術センターで酵母の拡大培養を行い、冷蔵の宅配便で聖酒造株式会社に輸送した。拡大培養は、酒母は速醸もと造り、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200 gの小仕込み試験による一次選抜

尿素非生産性候補株は尿素生産性だけでなく醸造特性にも影響を与えている可能性がある。このため、KAZE3および候補株17株を用いて総米200 gの小仕込み試験を実施し、尿素生産性と醸造特性を調べることにした。

まず、酵母の発酵力を示す炭酸ガス発生による重量減少量の経時変化は、親株KAZE3に比べて発酵力が大きく低下している株が6株（2-3株、2-4株、3-2株、9-1株、11-1株、11-2株）あった（図1）。続いて、試験酒を分析したところ、KAZE3の試験酒には尿素が6.1 mg/L含まれていたのに対し、用いた全ての候補株のものは

表3 パイロットプラントでの仕込み配合と試験条件

	酒母	初添	仲添	留添	追水	計
総米 (kg)	3.6	12.0	22.8	33.6		72.0
掛米 (kg)	2.4	8.4	18.0	28.8		57.6
麴米 (kg)	1.2	3.6	4.8	4.8		14.4
汲水 (L)	4.8	13.2	41.0	45.4	10.8	115.2
温度 (°C)	18	12	8	6~12		

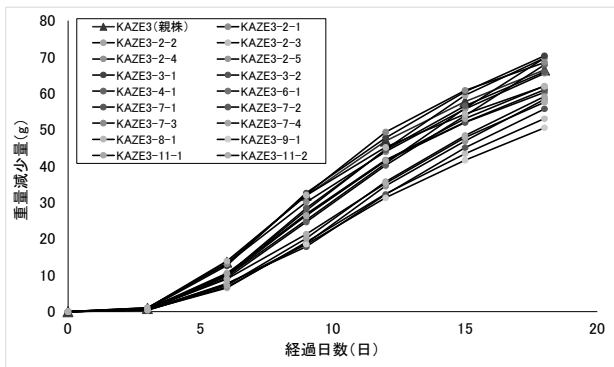


図1 総米200 gの小仕込み試験での重量減少量の経時変化

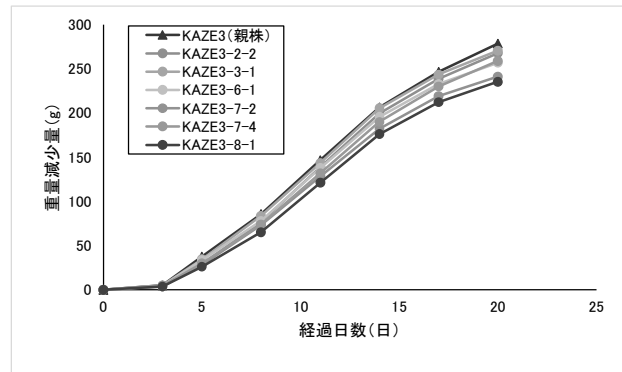


図2 総米1 kgの小仕込み試験での重量減少量の経時変化

尿素が検出限界以下であった（表4）。また、日本酒度は親株KAZE3の試験酒に比べて低いものがほとんどであり、発酵力が全体的に下がっていることが確認された。また、バナナ様の吟醸香を示す香気成分酢酸イソアミル、リンゴ様の吟醸香を示すカプロン酸エチルの値が大きく変化しているものもあった。醸造特性のバランスを踏まえ、2-2株、3-1株、6-1株、7-2株、7-4株、8-1株の6株を一次選抜した。

3. 2 総米1 kgの小仕込み試験による二次選抜

先の総米200 gの小仕込み試験では、一度に多くの本数を仕込めるが、仕込み段数を多く取れないため、細やかな水分調整や温度調整が行い難い。そこで、先に選抜した6株と親株KAZE3を用いて、総米1 kgの小仕込み試験を実施した。

まず、重量減少量の経時変化を見てみると、全ての候補株が親株KAZE3より低くめに推移しており、仕込みの段数を多くすることで発酵力に影響が出ることが分かった（図2）。特に2-2株、3-1株は、総米200 gの小仕込み試験の時に比べて、重量減少量が親株KAZE3と逆転していた。

続いて、試験酒を分析したところ、全ての供試株で日本酒度とアミノ酸度が総米200 gの小仕込み試験酒の値より下がり、より実醸造酒に近い成分値になっていた（表5）。また、総米200 gの小仕込み試験酒の香気成分値と比較すると、3-1株では酢酸イソアミルの生産性が高いことが、6-1株ではカプロン酸エチルの生産性が高いことが顕著になり、バランスが変わっていた。官能検査の結果より、2-2株と7-4株を二次選抜で選ぶことにした。

表4 総米200 gの小仕込み試験の結果のまとめ

	重量減少量 (g)	日本酒度 (-)	酸度 (mL)	アミノ酸度 (mL)	EtOH (%(v/v))	Glucose (g/100 mL)	Maltose (g/100 mL)	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 (-)	尿素 (mg/L)
KAZE3(親株)	66.46	-3.8	2.3	1.4	17.5	2.0	1.1	246.3	7.1	7.4	97.1	133.3	2.9	6.1
KAZE3-2-1	65.55	-12.1	2.4	1.5	16.2	2.8	1.5	242.4	6.0	5.7	59.0	114.9	2.5	ND*
KAZE3-2-2	69.79	-5.3	2.4	1.5	17.4	1.9	1.3	279.5	8.9	6.4	82.0	168.4	3.2	ND*
KAZE3-2-3	53.07	-34.0	2.3	1.8	13.3	6.0	1.8	204.2	5.3	5.7	71.3	111.0	2.6	ND*
KAZE3-2-4	58.41	-23.4	2.1	1.6	14.8	4.0	1.7	256.2	5.3	4.7	52.6	136.5	2.1	ND*
KAZE3-2-5	69.74	-16.1	2.1	1.6	15.4	3.2	1.5	223.0	4.6	4.7	39.1	109.0	2.1	ND*
KAZE3-3-1	70.36	-5.0	2.3	1.3	17.2	2.1	1.1	263.7	8.9	5.7	69.7	143.9	3.4	ND*
KAZE3-3-2	55.77	-21.6	2.0	1.4	14.6	4.2	1.4	257.4	8.7	1.4	95.1	160.3	3.4	ND*
KAZE3-4-1	67.91	-16.1	2.4	1.5	15.3	3.1	1.5	246.7	4.6	9.0	39.9	125.9	1.9	ND*
KAZE3-6-1	60.35	-20.0	2.7	1.5	15.5	3.8	1.6	270.3	8.7	8.9	71.0	157.8	3.2	ND*
KAZE3-7-1	61.01	-15.5	2.3	1.6	16.0	3.4	1.5	230.1	7.7	11.7	84.6	121.1	3.3	ND*
KAZE3-7-2	65.97	-9.1	2.4	1.5	17.2	2.5	1.3	254.3	8.2	10.2	79.0	134.9	3.2	ND*
KAZE3-7-3	68.56	-2.1	2.3	1.4	18.1	2.0	0.9	335.5	23.1	2.3	149.8	185.2	6.9	ND*
KAZE3-7-4	62.04	-11.3	2.2	1.4	16.4	3.1	1.2	279.3	10.3	6.6	83.0	143.2	3.7	ND*
KAZE3-8-1	61.96	-11.0	2.2	1.5	16.7	3.0	1.2	268.4	11.1	8.0	98.9	131.9	4.1	ND*
KAZE3-9-1	50.57	-33.0	1.8	1.7	13.4	6.1	1.6	187.6	2.6	9.8	48.3	107.4	1.4	ND*
KAZE3-11-1	59.14	-21.5	2.3	1.6	15.3	4.2	1.6	222.9	6.1	8.4	67.1	113.3	2.7	ND*
KAZE3-11-2	57.58	-21.8	1.9	1.5	14.8	4.1	1.3	245.6	7.2	1.9	104.9	150.0	2.9	ND*

*ND: 検出限界以下

表5 総米1 kgの小仕込み試験の結果のまとめ

	重量減少量 (g)	日本酒度 (-)	酸度 (mL)	アミノ酸度 (mL)	EtOH (%v/v)	Glucose (g/100 mL)	Maltose (g/100 mL)	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)	イソブチルア ルコール (ppm)	E/A (-)
KAZE3(親株)	278.7	-12.7	2.2	1.0	15.8	2.2	1.6	171.2	5.6	3.7	78.2	75.1	3.3
KAZE3-2-2	267.9	-11.4	2.1	1.0	15.8	2.2	1.6	174.1	7.4	5.8	83.3	85.9	4.2
KAZE3-3-1	270.6	-10.3	1.9	0.9	16.2	2.1	1.4	190.3	8.6	3.2	92.0	88.2	4.5
KAZE3-6-1	256.9	-15.4	1.9	1.0	15.3	2.6	1.7	164.1	5.8	12.5	60.4	71.6	3.6
KAZE3-7-2	241.3	-24.3	2.0	1.1	14.0	3.7	2.3	144.9	4.0	9.2	45.6	56.7	2.7
KAZE3-7-4	259.1	-13.1	1.7	1.0	15.8	2.3	1.6	203.4	11.0	4.2	95.2	94.4	5.4
KAZE3-8-1	235.3	-8.0	1.3	0.9	14.7	2.3	1.1	182.0	6.8	7.2	79.0	65.1	3.7

3.3 パイロットスケールでの試験醸造での最終選抜

育種酵母を実用化する場合、小仕込み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一連の清酒製造工程を行い、もろみ経過データと試験醸造酒を評価する必要があります。そこで、先の総米1 kgの小仕込み試験で二次選抜した2-2株と7-4株と親

株KAZE3を用いて、群馬産業技術センター内のパイロットプラントを用い、総米72 kgの試験醸造を行った。

試験醸造で用いた原料米は、群馬県で独自に開発された酒造好適米の舞風であり、小仕込み試験で用いていた山田錦と品種が異なる。舞風は、タンパク質を多く含み、米が溶けにくく、グルコースの供給が少な

表6 パイロットプラントでの試験醸造の経過のまとめ

KAZE3(親株)	酵母					もろみ													試験酒
	1d	2d	3d	4d	添加前	踊り	4d	6d	8d	11d	13d	15d	18d	20d	22d	25d	27d	28d	
ボーメ(日本酒度)	13.1	14.1	12.8	9.8	8.9	-	5.0	3.9	2.6	1.0	0.0	-0.6	-1.3	-1.6	-1.8	-2.0	-2.1		-2.1
酸度	3.8	4.8	5.7	6.2	5.9	-	0.8	0.7	1.1	1.2	1.2	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6		1.4
アミノ酸度	1.1	1.4	1.1	1.0	1.3	-	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0
エタノール(%)	0.0	0.1	2.1	6.1	6.8	-	2.4	4.1	6.8	10.8	12.4	13.8	15.4	15.9	16.4	16.9	17.2		17.0
グルコース(%)	10.0	13.9	13.4	10.4	9.3	-	6.7	5.3	3.6	1.9	1.1	0.9	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3		0.5
マルトース(%)	6.9	7.1	5.6	5.0	4.7	-	1.4	1.3	1.4	1.2	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0		0.0
マル+グル(%)	16.9	21.0	18.9	15.4	14.0	-	8.2	6.6	5.0	3.2	2.1	1.5	0.8	0.5	0.4	0.4	0.4	上槽済	0.6
イソアミルアルコール(ppm)	1.7	1.7	58.5	147.7	137.5	-	35.5	54.6	80.8	125.6	148.5	169.2	177.7	192.6	199.2	203.3	205.7		235.9
酢酸イソアミル(ppm)	0.1	0.1	0.1	0.7	0.9	-	0.1	0.1	0.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3	2.2	2.3		1.7
カブロン酸エチル(ppm)	3.0	2.4	1.7	1.7	1.7	-	1.3	1.5	2.9	4.3	4.7	5.7	5.8	6.8	6.9	6.7	6.9		4.5
酢酸エチル(ppm)	0.3	1.8	2.9	10.4	14.9	-	3.9	6.3	9.9	24.9	25.2	31.7	35.1	39.6	40.3	40.3	40.4		35.9
イソブチルアルコール(ppm)	1.5	1.5	36.1	88.9	77.7	-	13.2	19.8	28.5	44.6	51.9	57.2	61.6	64.2	66.3	67.3	68.1		78.5
E/A比	7.0	6.8	0.2	0.5	0.6	-	0.3	0.2	0.2	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1		0.7
KAZE3-2-2																			
ボーメ(日本酒度)	13.0	14.1	13.1	9.9	8.0	-	5.2	4.2	3.3	1.7	0.7	0.1	-0.7	-1.0	-1.3	-1.5			-1.4
酸度	3.5	4.4	5.6	6.6	6.1	-	0.9	0.9	1.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.8	1.7	1.9			1.7
アミノ酸度	1.2	1.5	1.1	0.8	0.9	-	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	1.4			1.2
エタノール(%)	0.0	0.0	1.5	5.5	7.4	-	2.6	4.7	7.3	11.2	13.0	14.4	15.7	16.5	17.0	17.5			16.8
グルコース(%)	9.5	14.2	14.4	10.4	7.7	-	6.6	5.3	4.0	2.2	1.6	1.2	0.8	0.7	0.6	0.6			1.1
マルトース(%)	7.0	7.0	5.8	4.9	4.7	-	1.7	1.7	1.8	1.7	1.4	1.1	0.8	0.6	0.5	0.3			0.2
マル+グル(%)	16.5	21.2	20.2	15.2	12.4	-	8.4	7.0	5.8	4.0	2.9	2.3	1.6	1.3	1.1	0.9		上槽済	1.3
イソアミルアルコール(ppm)	1.8	1.8	55.9	220.3	219.4	-	42.7	64.3	91.0	124.8	137.0	146.5	153.5	160.0	162.6	165.9			173.4
酢酸イソアミル(ppm)	0.1	0.1	0.1	0.6	1.7	-	0.1	0.1	0.1	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.7			1.3
カブロン酸エチル(ppm)	1.8	1.6	0.8	0.6	1.7	-	0.1	0.8	2.9	7.8	9.3	10.3	11.2	12.5	12.2	12.5			7.7
酢酸エチル(ppm)	0.3	2.0	1.6	11.8	22.3	-	4.0	7.5	11.1	19.9	19.9	23.9	27.6	30.3	36.1	33.1			29.5
イソブチルアルコール(ppm)	1.6	1.6	33.1	189.7	178.2	-	21.4	30.3	38.6	49.0	51.0	53.5	56.7	58.4	58.4	59.2			60.2
E/A比	6.4	6.5	0.2	0.3	0.8	-	0.3	0.2	0.1	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0			0.7
KAZE3-7-4																			
ボーメ(日本酒度)	13.2	14.4	14.1	11.4	9.6	-	5.3	4.5	2.6	0.0	-0.8	-1.4	-1.8	-2.0	-2.1	-2.2	-2.3	-2.3	-2.2
酸度	3.8	4.4	5.3	6.4	6.3	-	0.7	0.7	0.7	1.0	1.2	1.3	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4	1.2
アミノ酸度	1.1	1.6	1.5	1.2	1.2	-	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9
エタノール(%)	0.0	0.0	0.6	4.3	5.9	-	1.8	3.3	5.9	10.7	12.4	13.5	14.9	15.4	15.9	16.3	16.4	16.4	16.5
グルコース(%)	9.8	16.7	17.1	13.4	11.8	-	7.1	6.7	4.2	1.0	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
マルトース(%)	6.6	7.1	5.6	4.6	5.1	-	1.3	1.3	1.3	0.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
マル+グル(%)	16.4	23.8	22.7	18.0	16.9	-	8.3	8.0	5.5	1.8	1.0	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
イソアミルアルコール(ppm)	1.7	1.7	14.9	135.3	156.9	-	36.4	57.6	85.3	146.5	182.3	207.8	236.3	235.6	247.4	257.2	261.0	261.9	247.1
酢酸イソアミル(ppm)	0.1	0.1	0.1	0.1	1.5	-	0.1	0.1	0.1	2.1	2.9	3.5	4.0	3.8	3.8	3.8	3.8	3.6	2.4
カブロン酸エチル(ppm)	2.3	2.4	1.8	1.3	1.4	-	0.9	1.0	2.2	4.6	5.5	6.0	6.2	6.0	6.1	6.2	6.4	6.3	4.2
酢酸エチル(ppm)	0.3	1.8	2.5	7.3	14.6	-	2.9	5.2	10.6	22.9	27.9	33.6	37.1	37.3	37.2	43.5	40.5	39.6	31.2
イソブチルアルコール(ppm)	1.5	1.5	10.5	83.7	88.9	-	15.1	23.0	33.6	56.4	67.0	77.5	89.0	88.4	92.6	96.7	98.2	98.5	92.8
E/A比	6.9	6.7	0.8	0.1	0.9	-	0.3	0.2	0.2	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.0

表7 実地醸造試験酒の成分分析のまとめ

	KAZE3(親株)	KAZE3-2-2
日本酒度 (-)	0.0	0.0
酸度 (mL)	1.5	1.6
アミノ酸度 (mL)	1.1	1.2
EtOH (%(v/v))	16.4	16.5
Glucose (g/100 mL)	2.5	2.5
Maltose (g/100 mL)	1.0	0.9
イソアミルアルコール (ppm)	168.7	159.2
酢酸イソアミル (ppm)	1.6	1.6
カプロン酸エチル (ppm)	5.2	5.9
酢酸エチル (ppm)	59.2	48.5
イソブチルアルコール (ppm)	41.3	39.4
E/A (-)	1.0	1.0
尿素 (mg/L)	13.8	ND

い性質である。群馬KAZE酵母は、カプロン酸エチルを高生産するために高グルコース条件下が必要であり、舞風で酒造りするのが難しいとされてきた。一方、KAZE3は、群馬KAZE酵母の中でも増殖速度が遅いため、もろみ初期にグルコースを必要以上に消費せず、舞風に適しているのではないかと考えられた。

酒母造りにおいては、親株KAZE3と2-2株がほぼ同等の経過を示していたのに対し、7-4株はやや発酵が遅れる傾向を示した(表6)。一方、もろみ初期の品温を下げすぎていたため、最高ポーメが4日目の5.0~5.3と低くなってしまい、米が想定より溶けないもろみ経過となった。この影響が分からないが、小仕込み試験では酢酸イソアミルの生産性が良かった7-4株では、カプロン酸エチルの値の方が高くなっていた。尿素は、KAZE3が10.2 mg/Lであったのに対し、候補株2株とも検出限界以下で、小仕込み試験の結果を再現できた。粕歩合は、KAZE3が60.4%、2-2株が55.4%、7-4株が68.4%となり、品質と経済性から2-2株を最終選抜株にすることになった。

3. 4 実地試験醸造による試作

実用化研究の最終段階として、令和3年度産山田錦を用い、聖酒造株式会社で実地試験醸造を行うことにした。

2-2株の試作酒は、小仕込み試験やパイロットスケールでの試験醸造と同様に、親株KAZE3のものよりカプロン酸エチル

がやや高めだった(表7)。また、2-2株は、群馬KAZE酵母の中で酸度が低いというKAZE3の特徴を維持していた。さらに、実地試験醸造でも2-2株の試作酒は、尿素含有量が検出限界以下であった。

4 まとめ

本研究では、KAZE3の優れた醸造特性を維持した尿素非生産性株の選抜の実用化に取り組んだ。最終選抜株2-2株は、パイロットスケールでの試験醸造で親株KAZE3と同様のもろみ経過を示し、試験醸造酒の各種成分もカプロン酸エチルがわずかに高めで大差がなく、尿素非生産性であることが確認された。さらに聖酒造株式会社での実地醸造試験でも上記と同様の結果に加え、親株KAZE3がもつ酸度が低めとなる特徴を維持していた。本酵母は、群馬県酒造組合との協議により、令和5年度よりKAZE3-Argとして実用化し、県内酒造会社に頒布することになった。

謝 辞

本研究の一部は、令和2年度群馬県地域企業支援課の研究開発推進費、科研費基盤C(21K12528)、及び聖酒造株式会社との令和4年度群馬産業技術センター公募型共同研究により実施した。

文 献

- 1) 国税庁：第67回全国酒造技術指導機関合同会議資料(2022)
- 2) 上山 修ら：平成13年度群馬県工業試験場研究報告、39-43
- 3) 渡部貴志ら：令和2年度群馬産業技術センター研究報告、23-28
- 4) 渡部貴志ら：令和4年度群馬産業技術センター研究報告、56-61
- 5) 増渕 隆ら：平成21年度群馬産業技術センター研究報告、12-14
- 6) 北本勝ひこら：日本醸造協会誌、106-114(1993)
- 7) 渡部貴志ら：平成30年度群馬産業技術センター研究報告、1-4
- 8) 渡部貴志ら：令和4年度群馬産業技術センター研究報告、62-67