

## 研究論文

## 高精白白糠を利用した麴液化仕込法による単行発酵酒の開発

伊藤彰敏\*1、山本晃司\*2、三井俊\*1、相羽美香子\*3、續順子\*3

## Development of the Single Line Fermentation Liquor by the Process of Koji-Liquefaction Used High Polished Rice Gran

Akitoshi ITO\*1, Koji YAMOMOTO\*2, Shun MITSUI\*1, Mikako AIBA\*3  
and Junko TSUDZUKI\*3

Food Research Center\*1\*2 Faculty of Human Life Science, Sugiyama Jogakuen University\*3

愛知県産酒造好適米「夢山水」から副生する高精白白糠を原料とし、焼酎麴を利用した麴液化仕込法を導入した単行発酵酒を開発した。高精白白糠は  $75\mu\text{m}$  以下の粒子が全体の 71% を占める、炭水化物 93% 以上（乾物あたり）の素材で、糊化割合が高いため、酵素反応を利用する液化仕込原料として適していた。麴液化仕込の仕込配合について、液化物の Brix、酸度及び呈味性の観点から精査し、汲水歩合、麴歩合及び糖化酵素添加量を決定した。高精白白糠の麴液化処理スキームを利用し、発酵試験を実施した結果、アルコール 5%、酸度 5mL で甘味と酸味のバランスのとれた濁酒タイプの製成酒が得られた。

## 1. はじめに

近年清酒業界では、消費者の高級志向から、純米吟醸酒をはじめとする高級酒の製造が増加している。一方で、原料米の精米歩合を 50% 以下にした時に副生する高精白白糠が年々増加し、その有効利用が業界の課題となっている。高精白白糠は、平均 30 円/kg という低価格で流通し、一部が焼酎、料理酒原料、大部分が家畜飼料に使用されているが、精米コストに見合った新たな利用法が模索されている。

近年、韓国の伝統酒であるマッコリが日本市場に定着した。マッコリは、①小麦粉を主原料とし、②低アルコール（6~7%）、③高クエン酸濃度（40mg/100mL）という特徴がある。低アルコールで疲労回復効果等を有するクエン酸を含んだ酒類であることが、消費者の健康志向に合致したものと推察される。一方、高精白白糠は小麦粉に比べてでんぷん比率が高いことや雑味成分（たんぱく質、ミネラル、色素等）が少ないことから、小麦粉よりも優れた酒類の発酵原料と考えられる。

そこで、本研究では低価格の高精白白糠を有効利用し、地域で生産される原料を使用して、コストパフォーマンスが高く、消費者ニーズ（低アルコール、爽やかな風味で若者や女性をターゲットにした）に対応した濁酒タイプの単行発酵酒の開発を目標とした。

## 2. 実験方法

## 2.1 試料

愛知県産酒造好適米「夢山水」<sup>1)</sup>（平成 23 年産）の米糠を使用した。なお、精米歩合 50-22% の際に発生する米糠を高精白白糠とした。

## 2.2 米糠の栄養成分分析

水分は 135℃ 常圧恒量乾燥法、灰分は直接灰化法、脂質は酸分解法により測定した。たんぱく質はケルダール法によって得た窒素に係数 5.95 を乗じて算出した。炭水化物は計算により算出した。

## 2.3 米糠の粒度分布

粒度分布測定装置（ロボットシフター 85（セイシン企業（株）））により測定した。

2.4 粘度特性試験<sup>2)</sup>

ラピッドビスコアアナライザー（RVA）（RVA3D+（ニューポートサイエンティフィック社））を使用した。使用試料量は 3.5g でイオン交換水 25mL を添加して試験を行った。

## 2.5 走査型電子顕微鏡（SEM）による観察

導電テープを貼った試料台の上に、米糠試料を振り掛け、白金蒸着後、走査型電子顕微鏡（JSM-8200（日本電子（株）））を用いて観察した。

2.6 高精白白糠の液化処理<sup>3)</sup>

高精白白糠、焼酎麴及び水を混合した液化反応槽を恒温水槽に入れ、5 分後にグルコアミラーゼ（アマノエン

\*1 食品工業技術センター 発酵バイオ技術室 \*2 食品工業技術センター 発酵バイオ技術室（現分析加工技術室）

\*3 椋山女学園大学 生活科学部

ザイム(株)) を添加し、攪拌しながら温度変化させ、液化物を調製した。なお、攪拌機の回転速度は 280rpm に設定した。液化パターンは図 1 の温度経過とした。

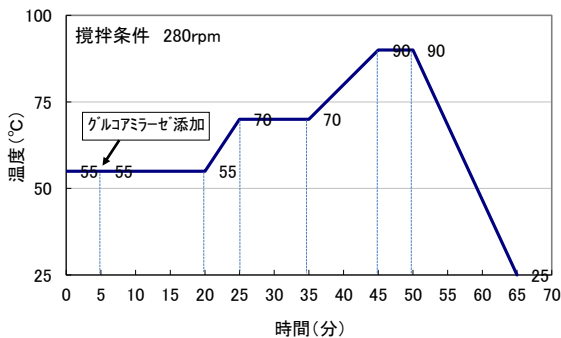


図 1 液化プログラム

## 2.7 発酵試験

麹エキス培地 5mL 中で 30°C、48 時間前培養した酵母を、液化物に投入し、15°C で 7 日間アルコール発酵させて製成酒を得た。酵母は白ワイン酵母 W3、清酒酵母 K701 号及びアデニン要求性赤色酵母 (Ade<sup>+</sup>)<sup>4)</sup> を使用した。

## 2.8 製成酒の成分分析<sup>2)</sup>

製成酒を 3000rpm、20 分の条件で遠心分離し、得られた上清について成分分析を行った。アルコール、Brix、グルコース、全糖、酸度及びアミノ酸度については、国税庁所定分析法に準拠した。有機酸はイオン排除クロマトグラフィー法、遊離アミノ酸はアミノ酸アナライザー、香気成分はヘッドスペースガスクロマトグラフィー法により定量した。

## 2.9 色調分析

色差計により、a\*値、b\*値及び L\*値を測定した。

## 2.10 酵母数

火入(70°C、15 分)前後の製成酒の酵母数を測定した。試料を滅菌水により適宜希釈し、これらの溶液をクロラムフェニコールを添加 (100mg/L) したポテトデキストロース寒天平板培地 (Difco 製) に均一に塗抹した。25 °C で 7 日間培養後、発生した集落数をカウントし、希釈倍率を乗じて、試料中の酵母数を算定した。

# 3. 実験結果及び考察

## 3.1 高精白白糖の栄養成分評価

精米時に副生する各種米糠の栄養成分を評価した (表 1)。精白度が高くなるにつれて、炭水化物以外の各種栄養成分の数値が低くなることが確認された。特に、高精白白糖はたんぱく質や脂質含量が低く、炭水化物が極めて高い素材であることが分かった。炭水化物はアルコール発酵原料や味の調整 (甘さ) に有効利用できる。よ

って、高精白白糖は化学特性 (栄養成分) の観点から、醸造適性に優れていることが示唆された。

表 1 米糠の栄養成分比較

項目/糠種と精米歩合		赤糠	中糠	白糖	高精白糖
		玄米-85%	85%-70%	70%-50%	50%-22%
水分	%w/w	11.30	11.10	12.00	13.80
たんぱく質	%w/wDRY	15.20	11.05	6.85	5.95
脂質	%w/wDRY	13.18	2.38	0.43	0.15
灰分	%w/wDRY	7.97	1.53	0.65	0.43
炭水化物	%w/wDRY	63.65	85.04	92.07	93.47

使用米: 平成23年産夢山水 (愛知県産酒造好適米)

水分以外は乾物換算した値を示した。

## 3.2 高精白白糖の物理特性評価

高精白白糖の粒度分布は、53-150  $\mu\text{m}$  の比率が高い傾向を示した。20  $\mu\text{m}$  以下の糠粒度比率は 25% を超えていた。なお、75  $\mu\text{m}$  以下の糠粒子は全体の 71% を占めていた (図 2)。

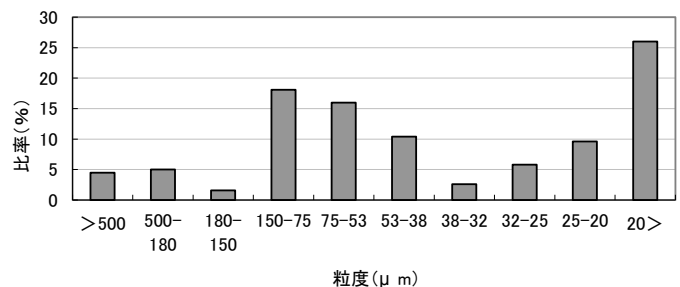


図 2 高精白白糖の粒度分布

SEM 観察の結果、高精白白糖は粒子が細かく、表面は糊状を呈し、デンプン粒は認められなかった (図 3)。

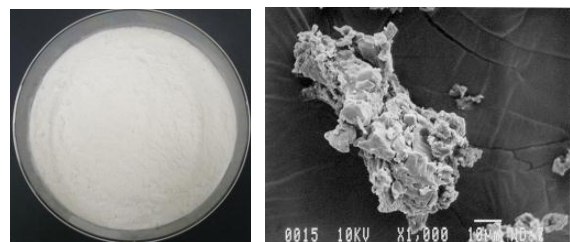


図 3 高精白白糖の外観及び SEM 観察

粘度特性試験において、高精白白糖は米粉や白糖と比較して、著しく粘度が低い結果が得られた。高精白白糖の表面は糊化している状態が観察されたが、長時間の精米処理により熱が加えられ、粒子内部のデンプンも  $\alpha$  化 (糊化) しているものと推察される。そのため、加熱による粘度上昇 (糊化) が認められなかったものと推察される (図 4)。以上、SEM 観察及び RVA 分析の結果から、高精白白糖はデンプンが糊化している割合が高いため、酵素反応を利用する液化仕込原料に適していることが分かった。

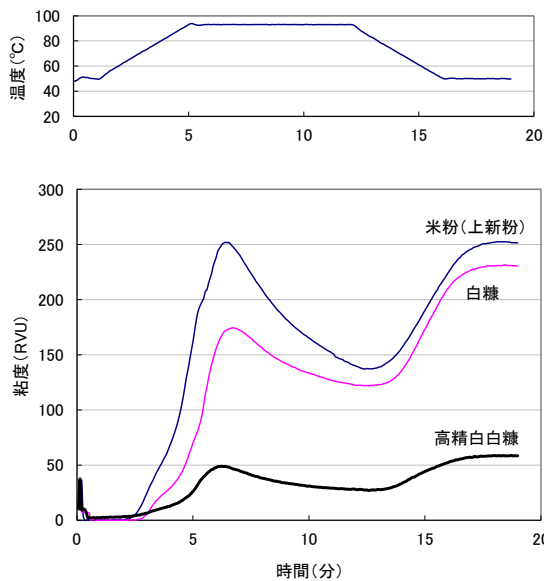


図4 粘度曲線の比較

### 3.3 麴液化処理条件の確立

#### 3.3.1 汲水歩合の検討

汲水歩合の影響を検討した(表2)。液化物は乳白色を呈し、液化中の加温による変色は認められなかった。pHが酸性にシフトしているのは、クエン酸を含有する焼酎麴を使用したためである。Brixは汲水歩合の低下に伴い上昇した。なお、汲水歩合300%での液化処理においては、白糠が水中に完全に分散せず、攪拌棒にデンプン粘質物として付着した。グルコースは汲水歩合350%までは、汲水歩合の低下に伴い増加したが、300%では減少に転じた。これは、白糠が水中に完全に分散しなかったことから、焼酎麴由来の糖化酵素の反応が進まず、液化処理が不完全であったことが原因と推察された。以上より、汲水歩合はアルコール発酵基質となるグルコース濃度が最も高くなる350%に決定した。

表2 汲水歩合の違いによる液化物の成分比較

汲水歩合 %	pH	Brix %	グルコース mg/mL
480	4.08	13.1	11.53
400	4.07	14.7	11.66
350	4.06	16.5	14.20
300	4.06	18.8	13.84

#### 3.3.2 グルコアミラーゼ添加量の検討

グルコアミラーゼ添加量の影響を検討した(表3)。汲水歩合は前項の結果に従い350%とした。液化物のBrixはグルコアミラーゼ添加量を増やすことで増加したが、グルコース濃度は1/3000量で最大値に達した。よって、グルコアミラーゼ添加量を総米の1/3000に設定することが最適であると考えられた。なお、pHとグルコアミラーゼ添加量の間に関連性は認められなかった。

表3 グルコアミラーゼ添加量の違いによる液化物の成分比較

酵素添加量 (総米比率)	pH	Brix %	グルコース mg/mL
無添加	4.06	16.5	14.20
1/5000	4.27	17.6	15.71
1/3000	4.22	18.4	25.37
1/2000	4.16	19.0	21.34
1/1000	4.18	19.3	20.96

以上、汲水歩合及びグルコアミラーゼ添加量の検討結果より、高精白白糠の麴液化仕込配合を確立した(表4)。

表4 液化仕込配合

総米	g	50
(高精白白糠)	g	35
(焼酎麴)	g	15
汲水	mL	175
グルコアミラーゼ	g	0.017
麴歩合: 30%、汲水歩合: 350%		

### 3.4 酵母の違いによる比較発酵試験

白ワイン酵母(W3)、清酒酵母(K701)及びアデニン要求性赤色酵母(Ade<sup>+</sup>)による発酵試験を行った(表5)。Ade<sup>+</sup>の製成酒は淡いピンク色を呈した。他の酵母より増殖が緩慢であるため、到達アルコール濃度は5.20%と最も低い値を示し、残存グルコース濃度は最も高かった。また、酸度は5.0mLで最も高い値であった。有機酸組成ではクエン酸濃度が、他と比較して高かった。以上、マッコリの特徴である、1)低アルコール、2)高酸度・クエン酸濃度に最も適合する製成酒は、アデニン要求性酵母(Ade<sup>+</sup>)を使用した製成酒であった。また、呈味だけでなく、ピンクの色調も斬新であった。

表5 各種酵母による製成酒の成分比較

酵母		W3	K701	Ade <sup>+</sup>
アルコール	%v/v	6.00	6.90	5.20
Brix	%	14.8	9.7	17.2
グルコース	mg/mL	3.1	1.0	4.5
酸度	mL	4.2	3.7	5.0
アミノ酸度	mL	0.4	0.8	0.5
クエン酸		52.4	38.8	90.2
リンゴ酸	mg/100mL	49.1	29.5	32.7
コハク酸		40.4	35.2	36.6
乳酸		0.0	1.7	3.3

15°C、6日間発酵させた後、4°C、2日間保存後の成分値

### 3.5 新規単行発酵酒の品質評価

本研究により開発した製成酒は酒税法上、清酒に分類され、有機酸やアスパルテームなどの添加物を使用しない米成分を有効利用した新規酒類である。酵母が生残した生酒状態での流通では、各種成分の変化が著しいことが考えられるため、70°Cで15分間の加熱処理を行うこ

とした。加熱処理した製成酒（以下、新規単行発酵酒）の品質について、市販マッコリ（n=12）及び市販にごり酒（n=4）との比較を行った。

### 3.5.1 官能及び成分評価

新規単行発酵酒には加熱による酵母臭等のオフフレーバーは認められず、爽やかな酸味と柔らかい甘さを有し、低アルコールであるため飲みやすい酒質であった。市販対照酒との成分比較では（表6）、アルコールが最も低く、酸度が最も高い値を示した。特徴としてクエン酸、リンゴ酸及び全糖濃度が高かった。果実香の主となる香気成分（エステル類）は低濃度であった。

表6 新規単行発酵酒と市販対照酒との成分比較

項目/酒類名		新規単行発酵酒	市販マッコリ	市販にごり酒
		Ade <sup>+</sup>	n=12	n=4
アルコール	%v/v	5.2	7.78±0.92	12.28±3.74
Brix	%	17.2	5.41±1.95	12.6±3.40
酸度	mL	5.0	2.48±0.51	1.88±0.69
アミノ酸度		1.2	1.45±0.50	1.40±0.31
全糖	mg-Glu/mL	85.8	12.5±15.7	68.7±17.0
グルコース	mg/mL	4.5	0.97±0.60	44.9±5.39
クエン酸		90.2	41.5±30.4	1.41±0.31
リンゴ酸	mg/100mL	32.7	8.32±5.46	20.0±6.67
コハク酸		36.6	22.5±8.96	20.1±3.22
乳酸		3.3	24.6±15.1	37.7±13.9
遊離アミノ酸	mg/100mL	54.5	68.0±22.3	79.3±26.3
イソアミアルコール(A)	ppm	147.8	160±19.9	148±20.8
酢酸イソamil(E)	ppm	0.1	0.97±0.60	2.80±1.63
カロン酸エチル	ppm	0.3	0.01±0.04	0.60±0.41

### 3.5.2 色調及び菌数評価

新規単行発酵酒は加熱処理されたことにより、Ade<sup>+</sup>酵母の菌体から色素が遊離し、鮮やかなピンクの色調を呈した（図5）。色差もa\*値が3.98から16.41に上昇していた（表7）。加熱処理することにより、酵母数は30以下（実質0）となり、流通過程におけるアルコール発酵の延長、炭酸ガスの発生に伴う体積膨張・瓶破裂の危険性を防御できることが確認された。



図5 新規単行発酵酒の外観

左：市販マッコリ、右：新規単行発酵酒

表7 加熱処理による色調及び菌数変化

		K701酒		Ade <sup>+</sup> 酒	
		生	加熱後	生	加熱後
L*	明るさ	78.84	82.1	73.93	69.52
a*	赤色み	-0.58	0.93	3.98	16.41
b*	黄色み	12.13	14.18	10.65	12.22
酵母数	CFU/g	1.0×10 <sup>8</sup>	30以下(0)	3.0×10 <sup>7</sup>	30以下(0)

### 3.5.3 機能性成分の評価

遊離アミノ酸分析を行った結果（表8）、新規単行発酵酒のγ-アミノ酪酸（GABA）及びアルギニン（Arg）含量は市販対照酒と比較して、1.5～2倍高い値を示した。GABAは、「抑制性」の神経伝達物質といわれ、リラックス効果や血圧上昇抑制効果等の機能性が提唱されている。また、Argは生活習慣病を予防改善する効果が注目されている。新規単行発酵酒の含有アミノ酸を中心とする機能性の評価が今後の課題である。

表8 新規単行発酵酒と市販対照酒の特定アミノ酸含量の比較

項目/酒類名		新規単行発酵酒	市販マッコリ	市販にごり酒
		Ade <sup>+</sup>	n=12	n=4
遊離アミノ酸総量	mg/100mL	54.5	68.0±22.3	79.3±26.3
GABA	mg/100mL	3.0	1.3±0.5	1.4±0.5
Arg	mg/100mL	12.2	7.6±3.2	4.6±3.5

## 4. 結び

本研究により、ラボレベルにおける高精白白糖を利用した新規単行発酵酒の製造スキームを確立することができた。現在、実用化・技術移転を視野に入れ、高精白白糖の供給元である山崎合資会社と共同でスケールアップ試験を検討している。高精白白糖をより効率的に液化処理を行うため、麴の粉末化が重要である。

## 付記

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構平成23年度研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）フィージビリティスタディ【FS】ステージ探索タイプの成果である。

## 謝辞

高精白白糖の提供ならびに発酵試験の遂行に対し、ご助言、協力を頂いた山崎合資会社 山崎厚夫社長に深く感謝致します。

## 文献

- 1) 伊藤、深谷、西田、鳥居、工藤、杉浦、井上：日本醸造協会誌，**99**，5，355(2004)
- 2) 伊藤、山本、北本：愛知県産業技術研究所研究報告，**8**，92(2009)
- 3) 深谷：日本醸造協会誌，**83**，4，218(1988)
- 4) 石川、渋谷、山本、長沢、大内、西谷、佐藤：日本醸造協会誌，**79**，10，691(1984)