

植物性残渣の削減に向けた製造技術の開発

Development of Manufacturing Technologies for the Reduction of Plant Residues

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 松本大志 菊地伸広 中島奈津子

県産品加工支援センター 齋藤嵩典

福島県内の食品製造業において発生する動植物性残渣を削減する技術開発及び分析・調査を実施し、産業廃棄物排出量の抑制を目指す。本年度は低精白米を用いた清酒製造技術の開発、果実搾汁残渣の香りポテンシャル試験、ワイナリーで生じたワイン粕の機能成分調査を実施した。

Key words: 動植物性残渣

1. 緒言

食品製造に伴って発生する動植物性残渣の抑制のための技術開発、及び未利用資源の活用を目的とした分析・調査を実施した。

2. 実施試験

2. 1. 低精白米を用いた清酒製造技術の開発

玄米表面に存在するタンパク質は雑味の原因となり、脂質は吟醸香の生成を妨げることから、清酒製造においては原料米の表面を30～50%程度削った精米が用いられる。生じた米糠の一部は米油や米菓への利用、肥料への転化が行われているが、産業廃棄物としての廃棄も多く行われている。そういった米糠の削減を目的とした低精白醸造技術開発のため、小仕込み試験を実施し、課題となる脂肪酸エステルと原料臭（糠臭）の生成について試験した。また、原料米をリパーゼ浸漬処理することで酢酸イソアミル含量が増え、酒質が向上することが報告されているため、より低精白の醸造における香りへの影響を併せて試験した。

2. 1. 1. 試験方法

試験区及び仕込配合を表1、2に示す。使用した米麴の酵素力価を表3に示す。

総米200gの二段仕込とし、清酒酵母にはうつくしま夢酵母（F7-01）を使用した。醸造条件を均一化するため麴米は統一し、掛米に令和5年産福乃香をそれぞれの精米歩合に調整して使用した。また、酒米との対照区として精米済みの令和5年度産ひとめぼれを購入し使用した。発酵速度の調整のため、70%、50%精米試験区の仕込水は20ppmリン酸カリウム・硫酸マグネシウム溶液を調整して用いた。酵母は添え時に約 1.0×10^5

[cells/ml]となるように添加し、最高品温10℃で酵母数が約 1.0×10^8 [cells/ml]となるまで維持した後、醗中でのアルコールアセチルトランスフェラーゼ、エステラーゼ等酵素の作用期間を確保するため、30日程度の発酵期間を目標とした低温管理を行った。なお、追いを最高品温到達後一日5.0[ml]ずつ4日間添加した。

リパーゼ浸漬試験区は洗米工程の後、リパーゼ0.5%を含む水道水を米の倍量加えて浸漬を行った。

2. 1. 2. 成分分析及び官能評価

発酵試験中のアルコール濃度はアルコメイト（理研計器株式会社）を用いて測定した。

醸造試験製成酒のアルコール濃度はSD式迅速アルコール測定システム（京都電子工業株）、アミノ酸度と総酸度は総酸アミノ酸測定装置AT-710（京都電子工業株）にて測定した。一般香り成分はガスクロマトグラフ7890B（Agilent社）を使用し内部標準法を用いて定量した。ノンターゲット分析にはGCMS（GC7890B/5977BMSD、アジレント・テクノロジー社）、化合物の推定にはn-アルカンを用いたリテンションインデックス（RI）と、ライブラリとしてNIST14（アメリカ国立標準技術研究所）及びAromaOffice（ver. 6.02、西川計測株式会社）を使用した。

試験醸造酒の官能評価は担当者4名（男性3名、女性1名）により酢酸イソアミルの比較とオフフレーバーの検出を実施した。

2. 1. 3. 結果と考察

醸造試験生成酒の官能評価による指摘事項を表4、一般成分及びノンターゲット分析の結果を表5、表6に示す。

低精白米試験区においては高精白試験区の発酵不良を考慮しても十分に高い酢酸イソアミルが得られた。また、強い果実様香を持つ酢酸イソブチルも低精白試験区で多く生成した。半面、カプロン酸エチル及びカ

ブロン酸メチル、カブロン酸プロピル等のカブロン酸エステル生成については精米歩合に伴って増加しており、低精白による香气成分の阻害はカブロン酸のエステル化に影響したと考えられる。

官能評価（酢酸イソアミルの強度の識別）の結果、対照区（ひとめぼれ）でのみオフフレーバーによるマスキングが見られたが、その他試験区では酢酸イソアミルの低減は認められなかった。また、90%精米試験区においてはアルデヒド・青臭の指摘に繋がるリナロール、ゲラニオール等のテルペノイド、ヘキサナール等が有意に検出された。

高精白試験区についてはリパーゼ浸漬の効果はみられなかったが、90%試験区においては一部のエステル

の生成が見られ、官能評価における香りのにぎやかさ、複合的な香りの構成に影響を与えていると考えられる。

本試験では低温で醪日数を確保することによって低精白の福乃香、F7-01 を使用して酢酸イソアミルの高い清酒を醸造することができた。低精白清酒の香气特性については一定の知見が得られたが、他の酢酸イソアミル系酵母、カブロン酸系酵母でも同様の傾向がみられるのか更なる検証が必要である。また、オフフレーバーの原因としてテルペノイド及びアルデヒドが確認されたため、醪中でのこれら成分の低減試験を行い、より高品質な低精白清酒醸造技術の確立を目指す。

表 1 試験区

No.	品種	酵母	精米歩合(%)	リパーゼ浸漬	ミネラル添加
1	福乃香	F7-01	90	○	-
2				-	
3			70	○	○
4				-	
5			50	○	
6				-	
7	ひとめぼれ		-	○	-
8			-		

表 2 仕込配合

区 3 分	初添	仲添	留添	計
総米[g]	50		150	200
掛米[g]	40		120	160
麴米[g]	10		30	40
汲水[ml]	60		180	240
追水[ml]				20

表 3 麴米酵素力価

麴菌	Oriza1061
原料米	混合米(50%)
GA	246.1
α-アミラーゼ	1546.8
ACP	4190.6

表 4 官能評価

試験区	指摘事項	試験区	指摘事項
1	糠臭、低精白米、アルデヒド、青臭	2	糠臭、低精白米、DMTS
3	猫尿臭、麴臭い	4	酢酸エチル、糠、アルコール
5	猫尿臭、甘焦げ、熟れ香、甘酒	6	甘焦げ、熟れ香
7	安い酒の匂い、酢酸エチル、アルデヒド	8	香り浮き、アルコール感、アルデヒド

表 5 一般成分

	90%		70%		50%		ひとめぼれ	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alc.(%)	16.9	17.11	16.23	16.19	17.16	16.59	17.15	17.3
A	1.64	1.62	1.66	1.68	1.55	1.49	1.66	1.62
AA	1.42	1.44	1.28	1.33	1.45	1.34	1.38	1.38
日本酒度	4.61	5.09	-3.62	-3.31	-5.32	-8.52	4.91	4.81

単位はすべて[ppm]

酢酸イソアミル	12.3	12.1	8.0	9.0	8.2	8.8	10.7	11.0
カプロン酸エチル	1.3	1.2	1.9	2.0	2.2	2.3	1.5	1.4
アセトアルデヒド	20.8	23.3	18.6	13.8	19.2	19.5	23.3	19.2
酢酸エチル	79.9	77.1	78.3	82.9	86.7	96.2	80.1	76.4
イソアミルアルコール	190.8	193.8	132.6	137.5	117.1	119.6	154.8	152.6

表6 ノンターゲット分析

成分名	区分	90%		70%		50%		ひとめぼれ		ODP Coment
		1	2	3	4	5	6	7	8	
イソブチルアルコール		0.56	0.76	0.49	0.70	0.00	0.11	0.43	1.00	Fuel
2-エチルヘキサノール		0.94	1.00	0.32	0.22	0.16	0.00	0.44	0.32	Glass
ヘキサナール		0.56	1.00	0.54	0.10	0.22	0.51	0.62	0.98	Glass
オクタナール		0.00	0.05	0.26	0.36	0.41	0.37	0.37	1.00	Glass
酢酸アミル		0.96	1.00	0.26	0.73	0.02	0.09	0.01	0.00	Fruity
酢酸プロピル		0.11	0.14	0.34	0.20	0.51	1.00	0.00	0.67	Fruity
酢酸ブチル		0.67	0.52	0.34	0.00	0.65	1.00	0.50	0.27	Fruity
酢酸ヘキシル		0.00	1.00	0.52	0.81	0.32	0.21	0.17	0.29	Fruity
酢酸ヘプチル		0.00	0.33	1.00	0.71	0.70	0.67	0.32	0.35	Fuel
酢酸イソブチル		0.89	0.94	0.52	0.56	0.00	0.19	0.62	1.00	Fruity
酢酸オクチル		0.00	0.32	0.84	1.00	0.64	0.55	0.48	0.37	Fruity
酪酸エチル		0.17	0.00	0.68	0.72	0.87	1.00	0.04	0.25	Fruity
酪酸イソアミル		(1.41)	0.26	0.83	0.92	1.00	0.87	0.07	0.00	Fruity
2-メチル酪酸エチル		1.00	0.69	0.28	0.00	0.89	0.49	0.19	0.05	Fruity
プロピオン酸イソアミル		0.17	0.35	0.00	0.37	1.00	0.50	0.37	0.26	Fruity
プロピオン酸エチル		0.55	0.14	0.00	0.49	0.34	0.64	0.14	1.00	Fruity
イソ酪酸エチル		0.16	0.22	0.43	0.00	1.00	0.16	0.26	0.28	Fruity
カプロン酸		1.00	(1.64)	(1.64)	(1.64)	(1.64)	(1.64)	0.00	(1.64)	Floral
カプロン酸プロピル		0.00	0.02	0.43	0.49	1.00	0.89	0.16	0.16	Fruity
カプロン酸メチル		0.22	0.15	0.80	0.84	1.00	0.92	0.00	0.12	Fruity
オクタン酸エチル		0.02	0.00	0.80	0.65	0.98	1.00	0.31	0.05	Fruity
ヘプタン酸エチル		0.19	0.96	1.00	0.98	0.95	0.90	0.05	0.00	Fruity
デカン酸エチル		0.00	0.11	0.70	0.57	1.00	0.99	0.31	0.14	Floral
ミリスチン酸エチル		0.00	0.12	0.55	0.36	0.60	1.00	0.39	0.34	Floral
ラウリン酸エチル		0.53	0.15	0.94	0.42	0.88	1.00	0.18	0.00	Floral
ゲラニオール		0.76	1.00	0.03	0.14	0.00	0.02	0.70	0.91	Glass
リナロール		1.00	0.93	0.40	0.00	(1.30)	(1.30)	0.50	0.61	Fruity
安息香酸エチル		0.56	1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	0.11	Floral
フェニル酢酸エチル		0.00	0.45	0.70	0.26	0.54	1.00	0.48	0.47	Floral
フェネチルアルコール		0.99	1.00	0.35	0.16	0.00	0.34	0.91	0.39	Floral
フェネチルブチレート		0.00	0.21	0.42	0.45	0.85	1.00	0.40	0.24	Floral

内部標準の 3-Octanol で Abs. を補正した後、正規化を行った。

2. 2. 搾汁残渣香氣ポテンシャル試験

果実香氣として代表的なものにグラニオール、リナロールなどのベンジルアルコールなどの芳香族アルコール、ノルイソプレノイド系化合物であるβ-ダマセノン等があげられる。これらは果実中にグルコースやフルクトースの配糖体として存在しており、細胞壁間に存在する加水分解酵素や酸性条件での加熱加工に伴って遊離型となり、特徴的な香氣形成に寄与している。そのため、近年では香氣配糖体を多く含有した品種開発等の研究が行われている。

ペクチナーゼは果物や野菜の細胞壁に存在する多糖類(ペクチン)を分解する酵素であり、成熟中に生成され果実の軟化に寄与するが、果実加工の際に搾汁効率の向上や清澄化を目的として添加されている。

本試験では果実加工における加工残渣低減と残渣利用の可能性を調査するため、酵素処理による果汁の香氣成分組成の変化と果汁への香氣配糖体の回収率(ポテンシャル)を評価した。

2. 2. 1. 試験方法

試験には量販店で購入したリンゴ(ふじ)を用いた。試料は果皮、種子等を除去せずに粉碎し、50%(w/w)の超純水を添加した後、更に均一粉碎した。得られた粉碎果汁にペクチナーゼ(ヤクルト薬品工業)、米麴粉末をそれぞれ0.5%(w/w)、5.0%(w/w)添加した。その後、水浴中15度、24時間170rpmで振とうして反応させ、反応後の粉碎溶液を遠心分離した上清を試料溶液とした。また、ポテンシャル試験として硫酸(和光一級)5%(w/w)を添加し、同様の操作により試料溶液を調整した。更に得られた試験溶液への香氣配糖体の回収量を測定す

るため、試験溶液に対して硫酸5%(w/w)をそれぞれ添加し、水浴中15度、50rpm程度で緩やかに24時間振とうし、加水分解した。定温振とうにはウォーターバスインキュベーター(BT311, ヤマト科学株式会社)を用いた。

2. 2. 2. 成分分析

香氣成分分析にはガスクロマトグラフ質量分析(GC/MS、Agilent Technologies製、GC7890B/5977BMSD)及び加熱脱着装置(Gestel社製、TDU/CIS4)を使用した。香氣成分の抽出はTwister(Gestel社製)を用いたSBSE法で行った。なお、試料は5倍に希釈し、10%塩化ナトリウムによる塩析を行った。硫酸添加試験区は抽出時1.0M水酸化ナトリウム水溶液を添加して中和した後、同じく10%となるよう塩化ナトリウムを添加した。化合物の推定にはn-アルカンを用いたリテンションインデックス(RI)と、ライブラリとしてNIST14(アメリカ国立標準技術研究所)及びAromaOffice(ver. 6.02、西川計測株式会社)を使用した。米麴については2.1で使用したものを粉碎して使用した。

2. 2. 3. 結果と考察

分析結果を表7、8に示す。ペクチナーゼ、米麴共に酵素反応においてβ-ダマセノンを遊離型にすることができなかった。しかし、β-ダマセノン配糖体は酵素処理等を行わない場合半量、ペクチナーゼ処理ではほぼ全量が果汁へ移行することが分かった。従って、ビール等への副原料、エッセンシャルオイル抽出等への活用はペクチナーゼ処理をしていないものが望ましい。加えて、ペクチナーゼはエステル加水分解を進め、果汁の香氣を一部低減する事がわかった。

表7

項目	無添加	ペクチナーゼ	米麴	硫酸加水分解
歩留(%)	21.2%	12.2%	18.0%	21.7%
β-ダマセノン	0.01ppb以下	0.01ppb以下	0.01ppb以下	2.19ppb
ファルネセン	2,990,215	1,373,188	-	2,775,588
グラニオール	112,416	157,947	2,405,130	6,126,217
酪酸エチル	3,813,340	1,098,940	300,140	-
酪酸プロピル	1,451,951	1,939,292	1,486,498	-
カプロン酸エチル	13,954,781	6,418,762	-	-
オクタン酸エチル	694,548	381,422	-	-
オクタン酸	593,783	1,105,054	-	-
フェニル酢酸エチル	3,107,859	514,233	174,784	-
フェネチルアルコール	356,705	718,018	25,597	-

香氣成分は強度(Abs.)を内部標準で補正した。ただし、米麴試験区のみ5%米麴溶液のピーク強度を減算。

表8 香氣配糖体の回収量

無添加	ペクチナーゼ	米麴
1.14[ppb]	2.41[ppb]	1.01[ppb]

2. 3. ワイン粕活用

福島県内ではワイナリーが増えてきている。ワインの製造工程ではブドウの絞り粕やオリなどの副産物が発生する。これらの副産物にはポリフェノールやアルコールなど資源として有用な成分が含まれており、再資源化することは産業廃棄物の削減に有効である。そこで、県内ワイナリーから発生する副産物に含まれる成分の調査を行った。

2. 3. 1 試料及び試料調整

試料は(有)ワイン工房あいづ（福島県猪苗代町）から提供のあった令和6年産のブドウ9品種（ポートランド、ニューナイヤガラ、ナイヤガラ、ピノノワール、ベリーアlicant A、シャルドネ、スチューベン、ヤマブドウ、マスカットベリーA（収穫順））のもろみ搾り粕、オリ、収穫時に除去した軸を用いた。

試料を凍結乾燥（東京理化工機（株）、FDL-1000型）後、粉碎し、測定試料とした。

2. 3. 2 成分分析

水分は凍結乾燥時の重量の変化から計算し、アルコール分を除いて求めた。アルコールは試料を水蒸気蒸留し、留液を振動式密度計法（京都電子工業（株）、SDKシステム）で測定した。総ポリフェノールはフォーリンチオカルト法、アントシアニンはpH differential法、脂質はソックスレー抽出法を用いて測定した。

2. 3. 3 結果と考察

試料中の成分分析値を表9、吸水性及び消化性を表10に示す。アルコールは、もろみ搾り粕ではブドウ品種によりばらつきが見られた。ニューナイヤガラ、ヤマブドウ、マスカットベリーAの3品種のもろみ搾り粕の脂質は2.9~5.3%含まれており、種が大きいヤマブドウが最も多かった。

表9 成分分析値

ブドウ品種	アントシアニン※1		総ポリフェノール※2		
	[mg/g DW]		[mg/g DW]		
	搾り粕	オリ	搾り粕	オリ	軸
ポートランド	n. d	n. d	6.7	9.7	56.7
ニューナイヤガラ	n. d	n. d	14.6	13.0	67.9
ナイヤガラ	n. d	n. d	6.9	15.0	40.1
ピノノワール	0.2	0.3	7.3	21.4	44.4
ベリーアlicant A	0.2	0.8	10.9	12.3	-
シャルドネ	n. d	n. d	11.4	5.5	47.2
スチューベン	0.8	1.0	7.5	11.4	53.6
ヤマブドウ	1.6	-	7.2	-	15.9
マスカットベリーA	0.7	2.4	12.4	14.8	70.5

※1 シアニン-3-グルコシド換算

※2 没食子酸換算

n. d: 不検出、-: サンプルなし、または未測定

表10 吸水性及び消化性

ブドウ品種	アルコール		水分		脂質
	[v/w %]		[w/w %]		[% FW]
	搾り粕	オリ	搾り粕	オリ	搾り粕
ポートランド	2.3	11.9	70.6	78.8	-
ニューナイヤガラ	2.2	11.4	66.8	79.0	2.9
ナイヤガラ	8.1	10.6	69.2	80.4	-
ピノノワール	5.7	11.2	64.8	78.1	-
ベリーアlicant A	7.6	10.6	64.2	75.4	-
シャルドネ	8.3	10.2	65.2	73.9	-
スチューベン	5.2	10.3	71.1	75.8	-
ヤマブドウ	2.9	-	49.7	-	5.3
マスカットベリーA	8.1	10.7	61.7	78.5	3.1

-: サンプルなし、または未測定

もろみ搾り粕は蒸留酒やグレープシードオイルの原料として利用されることもあるが、多くは肥料や産業廃棄物として扱われている。そのため、県内ワイナリーからワイン醸造中に発生するこれらの副産物からアルコールや脂質を回収・再利用することで廃棄物の削減や新規事業開拓が期待できる。

赤用品種に多く含まれるアントシアニンはやまブドウが最も多く含まれていた。アントシアニンは、抗酸化性などの機能が期待できる成分であり、搾り粕やオリから回収し、素材化することで機能性食品資材に活用できる可能性がある。予備試験として測定した令和5年産ピノノワールやベリーアlicant Aは令和6年産と比較して5倍程度含まれている（データ未掲載）などほとんどの品種で令和6年産のアントシアニン含有量が少なかった。試料提供のあった圃場では令和6年産ブドウ品種は病害虫の影響が大きかったことから、品質にも影響が出た可能性があり、気候や栽培による年次差が大きいと考えられた。総ポリフェノールは白用品種でも多く含まれ、特に軸に多く含まれていた。軸そのものを食品素材として活用することは困難だが、色素としての活用は可能と考えられる。

もろみ搾り粕やオリ、軸にはアルコール、脂質、アントシアニン、ポリフェノールが含まれていた。アルコールや脂質は蒸留酒やグレープシードオイルなどの食品原料に、アントシアニンは機能性成分として活用できる可能性があった。軸に多く含まれているポリフェノールは色素としての活用が期待できると考えられた。

3. 結言

本研究課題においては、加工で生じる残渣の低減、利用につながる知見を得、今後の研究対象としての可能性を見出すことができた。得られた知見と技術は事業者提供し、県内の動植物残渣削減の一助としていきたい。