食品製造副産物の味噌醸造への利用

(エクストルーダー処理した米糠，オカラの麴化とその特性)

食品リサイクル法の施行により，食品製造副産物のリサイクル（資源循環）が推進されているが，現状において，その利用率はなお低い。殊に，大豆由来のオカラは，一部が肥料・飼料化，残りは依然として廃棄されている。筆者らは，新潟県で発生する食品製造副産物の中で量的に多い米糠とオカラをエクストルーダーを利用して，麴化し，米辛口味噌への利用方法を検討されたので，それらの結果について詳しく解説いただいた。

渡 辺 聡・佐 藤 和 人

1. はじめに

食品製造時に発生する副産物は，従前から原料利用率低下や処理コスト負担が懸案事項であり，その発生を低減する製造方法と発生物の有効利用が様々検討されてきた。

平成 13 年に施行された食品リサイクル法は，食品製造工程で発生する不可食部分を中心とする副産物のリサイクル（資源循環）を推進し，平成 18 年度までに再生利用率 20% を目標値としている。従って，この目標の達成は，いまや食品産業全体の急務といえる。

食品製造副産物の有効利用は肥料・飼料化を中心に，近年では機能性成分の分取などが多数研究されている。さらに最近では，バイオマスエネルギーとしても注目されている。食品製造副産物は廃棄物系バイオマスに分類されるが，現状においてその利用率は 10% 未満で，同分類の家畜排せつ物の 80%，未利用系バイオマスに分類される農産資源系（稲わら・もみがら等）の 30% などと比べて著しく低い状況¹⁾である。これは，食品製造副産物の発生が多種で分別回収が煩雑であること，水分が概ね 80% 程度と高いこと，種類によって性状や成分の差異が大きいことなどが要因²⁾となっている。

全国における主な食品加工残さの発生量を第 1 表³⁾

に示した。この中において精米糠（約 39 万トン，以下米糠と表記）の利用は，米油を搾油後，殆どが肥料・飼料化されている。機能性成分に関しては，青江ら⁴⁾は米糠中の食物繊維を詳細に分画し，ヘミセルロースの機能性を示している。また，早川ら⁵⁾はフィチン酸の有用性を見出している。このため，最近では米糠抽出物のサプリメント⁶⁾なども開発されているが，醸造食品への利用は殆ど例がない。

一方，大豆由来のオカラ（約 73 万トン）の利用は，一部がそのままあるいは乾燥後に肥料・飼料化され，残りは依然として廃棄処理されている。醸造食品への利用については，綾部ら⁷⁾はオカラと米麴を同量用い，塩分 5% 存在下で発酵・熟成させた甘味噌風の調味料について報告している。大竹ら⁸⁾は生オカラを蒸熟後，製麴し，これを醤油製造に準じて発酵・熟成させるこ

第 1 表 食品加工残さの事例

事 例	発生量(年)	水分(%)	従来の用途
ビール酵母	90 万 t	75	牛飼料
オカラ	73 万 t	80	堆肥・飼料
醤油粕	9 万 t	25	飼料
日本酒粕	8.7 万 t	50	かす漬け
精米糠	39 万 t	13	米糠油・飼料
馬鈴薯澱粉粕	78 万 t	90	堆肥・飼料
野菜漬物くず	16 万 t	90	堆肥

The Use for the Miso Brewing by the Food Manufacture by-Product
(Evaluation of *Koji* Made from Rice Bran and Okara by the Extruding Process)
(NIIGATA AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE, FOOD RESEARCH CENTER)
Satoshi WATANABE・Kazuhito SATOU

とで、白醬油風味の調味料を試作している。しかし、米糠は脂質の酸化が激しく、オカ라는微生物によって短時間で腐敗するなど保存性が悪く、さらに両方とも独特の風味やザラつきも問題となり、現状では食品に有効利用されることが少ない。

今回、筆者ら⁹⁾は、新潟県で発生する食品製造副産物の中で量的に多い米糠とオカラ取り上げ、エクストルーダーを利用し保存性や物性の改善を図り、その麴化と米辛口味噌への有効利用の可能性を検討した。

2. エクストルーダーの醸造食品への利用性

エクストルーダーは、原料の粉碎・混合・加熱・膨化・成形など多くの処理を一括して行えることが特徴である。また、蒸煮処理に比べて原料水分が少なくても加熱処理を行うことができる。このため、エクストルーダー処理（以下、EX 処理）によってアルファ化や蛋白変性した原料は内在酵素が失活したうえに低水分となり保存性も向上する。しかし、この多機能性のため処理条件の違いで処理品の性状が大きく異なり、実際に運用する際には原料に応じた最適な処理条件の設定を要する。

エクストルーダーの醬油等の醸造食品への利用は、EX 処理した高蛋白小麦粉や大豆粉で製麴した麴は広く実用化¹⁰⁾されている。また、EX 処理した米糠やオカラの利用に関しては、すでに藤田ら¹¹⁾や竹村ら¹²⁾の醬油様調味液についての報告があり、淡色で風味良好な調味料を得ている。

一方、味噌については、大澤ら¹³⁾は、澱粉の効率的アルファ化と製麴時の作業性に主眼をおき、国産米やタイ産米の米粉を使用し、EX 処理によって造粒化したものを製麴した結果、やや破精込みが弱く、アミラーゼ活性が低いものの、米麴とほぼ同等の品質であったと報告している。

今回筆者らは、米辛口味噌への利用を目的に、米糠とオカラを原料とし、EX 処理の特徴の一つである膨

第1表 原料の成分組成 単位：(%)

	水分	蛋白質	脂質	糖質	繊維	灰分
米 糠	12.8	13.2	18.3	38.3	7.8	8.9
オカラ	8.7	10.3	20.7	33.4	19.4	6.6
米 粉	12.1	6.5	1.3	77.6	0.3	0.4

*米粉は膨化助剤として使用

第1図 原料供給速度、スクリーの回転数と膨化度、出口圧力の関係

- 膨化度(原料供給速度 4 kg/h)
- △— 膨化度(原料供給速度 15 kg/h)
- 膨化度(原料供給速度 30 kg/h)
- 出口圧力(原料供給速度 4 kg/h)
- ▲— 出口圧力(原料供給速度 15 kg/h)
- 出口圧力(原料供給速度 30 kg/h)

原料配合比率(米糠：オカラ：米粉=20：20：60)

化によって表面積を拡大し酵素活性を向上させ、同時にザラつき感の強い原料の物性と風味の改善を図った。なお、使用した米糠は、玄米を91%精白時に生じたものを、オカ라는豆腐製造によって生じたものを、それぞれ水分約10%程度に乾燥させて使用した。供試原料の成分組成を第2表に示した。試験は二軸型エクストルーダー（㈱神戸製鋼所製 TCO-30）を使用した。

3. 供試エクストルーダー装置の運転条件

予備実験を行ったところ、米糠とオカ라는の混合物を種々の条件でEX処理しても見かけ上の膨化は確認されなかった。これは、膨化に必要な澱粉が不足している¹⁴⁾ものと思われた。そこで、以降の試験には、衝撃式粉碎機で粒度が約160 meshとなるように粉碎された米粉を併用した。

まず、米糠：オカ라는：米粉=20：20：60の原料配合比で供試エクストルーダー装置の運転条件の検討を行った。スクリーウの回転数と膨化及び出口圧の変化を第1図に示した。EX処理では、スクリーウの回転数の増加に伴って、バレル内部で原材料のせん断力の増加と温度上昇が起こり、処理品の膨化度が増加する¹⁵⁾とされている。本試験でも、スクリーウの回転数が上がるにつれて処理品の膨化度はほぼ直線的に増加した。また、スクリーウの回転数を固定し原料供給速度を増加すると、出口圧は原料供給速度の増加とともに上昇したが、膨化度は逆に減少した。以上のことから本試験機では、スクリーウ回転数350 rpm、原料供給速度15 kg/hの組み合わせが、適度に原料の充填がなされ、膨化に必要なせん断や摩擦作用による発熱が引き起こされていると考え、以後この条件で試験を

第2図 米粉の配合率及び原料水分と膨化度

- 米粉60%区(米糠：オカ라는：米粉=20：20：60)
- 米粉50%区(米糠：オカ라는：米粉=25：25：50)
- △— 米粉40%区(米糠：オカ라는：米粉=30：30：40)

米粉40%区*

米粉50%区

米粉60%区

第3図 エクストルーダー処理品の断面写真

行った。

4. 原料中の米粉の配合率及び原料水分の膨化への影響

前述のとおり、米糠とオカラだけでは澱粉が不足するために EX 処理を行っても膨化したものが得られなかった。そこで、先に決定した運転条件下で、膨化に必要な米粉の量と、同時に原料中の水分が膨化に与える影響について検討した。原料配合比率は、米糠：オカラ：米粉＝35：35：30，30：30：40，25：25：50，20：20：60（以下、それぞれを米粉 30%，40%，50%，60%区と略記）とし、これに加水を行って水分を調整した後、EX 処理を行った。

各条件での膨化度を第 2 図に示した。米粉 30%区では全く膨化せず（図中略），米粉 40%区ではわずかに膨化し，米粉 50%区及び 60%区では明確に膨化が認められた。また，水分はいずれの配合比率でも 20～25%に調整したものが膨化に適していた。EX 処理品の断面を第 3 図に示した。米粉 40%区では空隙はわずかで内部は緻密な構造となっていた。米粉 50%区は空隙が目立ち，米粉 60%区では空隙がはっきりと確認できた。すなわち，米糠とオカラを等量混合し，それと等量以上の米粉を加え，水分 20～25%に調整すると十分な膨化が得られることが分かった。この原料配合比率での計算上炭水化物含量は 64.0%（無水換算）で，精米の 89.1%（無水換算）の 71.8%であった。

EX 処理品の官能評価は，処理前の米糠とオカラの特異臭が大幅に低減されていた。また，処理前に感じられたザラつき感も低下していた。

5. エクストルーダー処理品の保存性

米糠やオカラには脂質が多量に存在する¹⁶⁾。この脂

質が長期保存により空気中の酸素で酸化され品質の劣化を招く¹⁷⁾。さらに，米糠にはリパーゼが多量に存在し，このリパーゼによって脂質が分解され遊離脂肪酸となり，より酸化が進み品質が劣化する¹⁶⁾。そこで，EX 処理の保存性への影響を脂肪酸度と過酸化価を指標として検討した。EX 処理品は米粉 60%区を使用した。

保存における脂肪酸度と過酸化価を第 3 表に示した。脂肪酸度は，米粉及びオカラは微増し，米糠は大きく増加した。これに対して，EX 処理品は脂肪酸度は殆ど変化しなかった。これは，リパーゼ活性そのものは測定していないものの，米糠中に存在するリパーゼが EX 処理の加熱によって活性を失い，脂質の分解が抑制されたものと考えられた。

一方，過酸化価は，米粉及びオカラはやや低下し，米糠及び EX 処理品は増加した。特に EX 処理品は絶対値が高く，これは膨化によって空気との接触面積が増加し，その結果，空気中の酸素による酸化作用が促進されたためと考えられた。この脂肪酸度の上昇抑制と過酸化価増加の現象は，ハトムギの EX 処理品でも同様の結果が報告¹⁸⁾されている。このため，EX 処理後であっても長期間保存は避けるべきと思われた。

6. エクストルーダー処理品の製麴

EX 処理品の麴化は米粉 60%区を使用し，概ね次のとおり行った。まず，直径約 1cm，長さ 30～50 cm の棒状の膨化物を約 5 cm に切断した。EX 処理品の水分は 10%前後で，このままでは水分が少なく麴菌が増殖しないため，霧吹きで均一に加水した。設定水分は，予備実験で理想的蒸米水分の 37～38%にしたところ吸水できない余剰水分が生じたことから，これよりやや少ない 35%とした。植菌は，種菌（ヒグチ

第 3 表 エクストルーダー処理が脂肪酸度・過酸化価に及ぼす影響

	脂肪酸度 (mg KOH/100 g)		過酸化価 (meq/Kg)	
	0 日	30 日	0 日	30 日
EX 処理品*	44.6	38.9	17.4	45.8
米粉	13.0	13.0	14.5	3.15
オカラ	9.63	11.0	9.67	7.25
米糠	337	2400	1.23	4.82

*米粉 60%区使用（第 2 図参照）

※保存温度 30℃

第4表 加水後の平衡時間の違いによる EX 処理品の麴の酵素活性

	アミラーゼ (u/g)	微酸性プロテアーゼ (u/g)	キシラナーゼ (mu/g)
米 麴 (対照)	24.0	60.0	20.0
加水直後に植菌	30.3	167.3	28.6
2 時間後に植菌	31.1	181.5	28.9
6 時間後に植菌	34.6	354.8	27.5

*EX 処理品は米粉 60%区使用 (第2図参照)

モヤシ BF 菌) に微量の米粉を増量剤として加え、均一に接種した。製麴は、恒温器にて湿度 90% になるよう加湿し、30°C にて 42 時間行った。製麴中、品温が 40°C 以上にならないよう、適宜手入れを行った。麴の評価のため、アミラーゼ、微酸性 (pH 5.7) プロテアーゼ、キシラナーゼについて活性測定を行い、米麴との比較を行った。

EX 処理品への加水は、霧吹き等を使って慎重に行っても水分が不均一であった。特に、加水直後は表層が多水分のためベタつき、この状態で植菌しても麴菌が正常に生育できないことが想定された。そこで EX 処理品に加水を行う際に、加水後放置し、表層と内部の水分をある程度平衡状態にしてから、植菌を行う方法を検討した。

加水後の平衡時間の違いによる麴の酵素活性を第4表に示した。EX 処理品の麴は対照の米麴に比べて、アミラーゼ活性、キシラナーゼ活性はやや高い程度であったが、米辛口味噌に必要とされる微酸性プロテアーゼ活性は増加が顕著であった。微酸性プロテアーゼ活性は、加水直後から 2 時間平衡後に植菌を行ったものでも、米麴の 3 倍近い値を示し、6 時間平衡後に植菌したものでは米麴の約 6 倍であった。EX 処理品の麴は、平衡時間にかかわらず、いずれにおいても米麴と比べて外見上は麴菌菌糸は少なかった。しかし、内部については 6 時間平衡後に植菌したものは、他に比べて菌糸がきわめて内部全体にむらなく生育していた。このことから、EX 処理品の製麴においては水分の均一化が重要なことが分かった。精白米をパUFFING・ガン処理した膨化米の製麴に関して松本ら¹⁹⁾ は、通常の米麴と比較して酵素の生成が速く、酵素活性も高かったと報告している。そしてその要因は、膨化処理によって原料内部が多孔性の構造を持ったこと、また澱粉のアルファ化が完全に行われ、麴菌の生育を促

進したものと推察している。筆者らの EX 処理品も、膨化によって内部は多孔性の構造となっており、同時に澱粉のアルファ化と蛋白変性も適切に進んでいる(データ略)。さらに 5cm 程度に切断した EX 処理品同士の空隙が多く、空気の流れが良いために適切な酸素供給と品温上昇抑制もなされ、通常の米麴に比べて麴菌生育を促進し、高い酵素活性を示したと考えられた。

7. エクストルーダー処理品による麴の酵素特性

大澤ら¹³⁾ は、米粉のみを原材料とした EX 処理品を製麴して、麴菌菌糸の生育の程度は通常の米を使用した場合と大きな差がなく、酵素活性のバランスも通常の米麴の活性と同程度であったと報告している。筆者らの EX 処理品の麴の酵素活性は、米麴に比べてアミラーゼ活性、キシラナーゼ活性はやや高い程度であるが、微酸性プロテアーゼ活性は顕著に高かった。これは、好井ら²⁰⁾ が麴の酵素生成は原料の全糖/全窒素比 (C/N 比) によって影響されることを報告しているように、筆者らの原料が精白米に比べ窒素成分を多く含む米糠とオカラを使用したためと考えられた。

米辛口味噌の醸造に必要な麴の酵素活性量については、松本ら²¹⁾、原山ら²²⁾ が精査している。その報告によれば、アミラーゼ活性は通常の米辛口味噌の場合必要十分である。微酸性プロテアーゼ活性は、淡色系米辛口味噌では 50~70 u/g 程度、赤色系米辛口味噌では 100~120 u/g 程度が必要とされている。一方、キシラナーゼ活性は細胞壁分解酵素の指標となり、この酵素活性が高いとアミノカルボニル反応性の高いペントースの生成が進み²³⁾、味噌の色調が濃化するため、過度の活性はマイナス要因となる。これらの報告は、米辛口味噌に用いる麴はその品質設計にあった酵素活性のバランスが要求されることを示している。

第5表 原料配合比率を違えたEX処理品の麴の酵素活性

原料配合比率 (米糠：オカラ：米粉)	全糖 (%)	全窒素 (%)	アミラーゼ* (%)	微酸性プロテアーゼ* (%)	キシラナーゼ* (%)
米粉40% (30：30：40)	49.8	13.0	156	295	112
米粉50% (25：25：50)	52.0	12.3	142	245	85
米粉60% (20：20：60)	57.2	11.1	145	197	101
米粉70% (15：15：70)	61.2	9.73	93	157	76
米粉のみ	77.1	6.08	20.9 (u/g)	68.4 (u/g)	28.4 (mu/g)

*酵素活性は米粉のみの処理品で製麴した麴の活性を100とした際の比(%)で示した。

第6表 試醸味噌の性状

仕込区	pH	色 調			ホルモール窒素 (%)	アルコール (%)
		Y (%)	x	y		
米麴区	5.25	16.7	0.478	0.428	0.47	1.75
半量代替区	5.14	15.2	0.492	0.411	0.56	1.69

そこで、米糠とオカラ及び米粉の配合比を変えて、任意のC/N比に調製したEX処理品を製麴し、麴の酵素バランスを調節することを試みた。

原料配合比を違えたEX処理品の麴の各種酵素活性を第5表に示した。米糠とオカラに対する米粉の比率が減少し、全糖含量が低下するに従い、微酸性プロテアーゼ活性は著しく増加した。これは、C/N比が小さくなるほど膨化度の絶対値も小さくなるが、それ以上に、窒素成分の増加が酵素生成に寄与したものと考えられた。また、米粉40%区の内部でも麹菌菌糸は十分に生育しており、僅かでも膨化していれば、麹菌への影響は少ないものと思われた。一方、アミラーゼ活性は微増傾向、キシラナーゼ活性は殆ど増加しなかった。これらの結果から、EX処理品の麴は、アミラーゼ活性及びキシラナーゼ活性に比べ微酸性プロテアーゼ活性がきわめて高く、米辛口味噌に適した酵素活性を有していた。また、EX処理する際の原料配合比を変えることにより、麴の酵素バランスを容易に調整可能であることが示された。

8. 試醸味噌の性状

EX処理品の麴を米麴の一部代替に使用して味噌を試醸した。味噌の仕込配合は麴歩合7歩、予定塩分12%、予定水分50%とした。EX処理品麴は米粉60%区を使用し、米麴の半量を代替して仕込み、30℃で45日間発酵・熟成を行った。仕込みに際してEX処理品麴は5mm目のチョッパーで播砕した。

試醸味噌の性状を第6表に示した。仕込時の味噌中の微酸性プロテアーゼ活性(計算上)は、半量代替区が米麴区に比べ約1.5倍高かった。このため、米麴区に比べ半量代替区は、Y(%)及びpHがやや低く、ホルモール態窒素が約20%向上した。官能評価では、半量代替区の方がやや色調が濃いものの、旨味が強く、香りは同等であった。懸念されたオカラの独特の風味やザラつきは全く感じられず、米麴の代替えが可能であった。

9. ま と め

今回、米糠とオカラ、米粉を使用し、EX処理によって膨化させたものが、米辛口味噌用の麴として有用であることが実証された。原料配合比を違えて酵素バランスを調整することにより、米麴の一定量を代替することも可能であることが示唆された。膨化させたEX処理品の実用化における問題点として、EX処理品の容積が蒸米の数倍とかさばること、水分散布を均一に行う必要があり、また平衡に時間を要すること、製麴時に手入れ機の攪拌によって粉碎され欠損が生じることなどがあげられる。欠損については、少量の製麴での状況ながら、割れた時に生じる欠片は数%程度と想定され、製麴装置の底面のパンチングのメッシュを密にする等の対策により実用上問題は少ないと考えられる。

本試験においては、原料の膨化を主目的としたため、米糠とオカラのほぼ等量の米粉を必要とした。しかし、

麴の酵素バランスや試醸味噌の品質から、この点を考慮しても、十分に有用と考えられる。一方、試験の過程において、EX 処理によりオカラのザラつきや独特な風味が大幅に低減されることが分かった。これは、本試験での EX 処理が低水分下で焙煎に近い 150°C 前後の加熱条件で行ったことが影響しているものと思われる。このオカラの独特な風味は、麴化することにより改善されることから、醸造食品のみならず、他の食品分野への利用も大いに期待でき、食品への有効利用が促進すると思われる。

また、EX 処理は粉碎、加熱、成形が瞬時に行われるため、原料処理が難しい玄米や雑糧穀物の麴化などに適していると考えられ、差別化製品開発の一助になるものと思われる。

おわりに、本稿をまとめるにあたり、ご指導ご助言を賜りました新潟県味噌工業協同組合連合会顧問 今井誠一博士に深謝致します。

＜新潟県農業総合研究所 食品研究センター＞

参 考 文 献

- 1) 農林水産省：「バイオマス・ニッポン総合戦略 骨子」(2002)
- 2) 財団法人食品産業センター：「今後の食品産業の技術開発の方向と効率的な産学官連携について」, 57 (2004)
- 3) 農林水産省：「平成 10 年食品産業の有機性廃棄物のリサイクルの推進方向」(1999)
- 4) 青江誠一郎：醸協, **89**, 48 (1994)
- 5) 早川利郎, 伊賀上郁夫：日食工誌, 39, 647 (1992)
- 6) 狩谷哲也, 門田めぐみ, 金谷由美, 築野卓夫：食品工業, 7.15., 52 (2002)
- 7) 綾部浩太郎, 舘 博, 菊池修平：味噌の科学と技術, 40, 254 (1992)
- 8) 大竹嘉尚, 中嶋 淳：茨城県工業技術センター研究報告, 24, 47 (1996)
- 9) 佐藤和人, 石川 淳, 平田康一, 太養寺真弓, 渡辺 聡：新潟県農業総合研究所食品研究センター研究報告, 36, 11 (2002)
- 10) 岸圭一：醸協, **76**, 223 (1981)
- 11) 藤田明男, 渡辺康久, 岸 圭一, 小川玄吾, 崎崎朋三：日食工誌, 27, 483 (1980)
- 12) 竹村真由美, 野田義治：日食工誌, 45, 589 (1998)
- 13) 大澤好明, 河野省一, 安平仁美：味噌の科学と技術, 43, 219 (1995)
- 14) 吉井洋一, 有坂将美：日食工誌, 41, 747 (1994)
- 15) 食品産業エクストルージョンクッキング技術研究組合編：エクストルージョン・クッキング, p. 346 光琳, 東京 (1987)
- 16) 横地虔三：その商品化と流通 米, 諫山忠幸編, p. 298 地球社, 東京 (1976)
- 17) 桜井芳人・荒井綜一：食品保蔵, 桜井芳人・満田久輝・柴崎一雄編, p. 230 朝倉書店, 東京 (1966)
- 18) 大坪研一, 柳瀬 肇：日食工誌, 32, 101 (1985)
- 19) 松本伊左尾, 大関太美男, 今井誠一：醸協, **70**, 63 (1975)
- 20) 好井久雄, 石原昭好：醸工, 40, 620 (1962)
- 21) 松本伊左尾, 今井誠一：日食工誌, 23, 362 (1976)
- 22) 原山文徳, 本藤 智, 安平仁美：醸協, **87**, 829 (1992)
- 23) 本藤 智：醸協, **88**, 41 (1993)