

# 甘藷のエクストルーダ加工特性および加工甘藷を用いた 本格いも焼酎の製造に関する研究

食品工業部 高峯和則, 亀澤浩幸, 下野かおり, 間世田春作

## Study on Properties of Extrusion-cooked Sweet Potato and Making Shochu Using Extruded Sweet Potato

Kazunori TAKAMINE, Hiroyuki KAMESAWA, Kaori SHIMONO and Shunsaku MASEDA

甘藷をエクストルーダを用いて80~140℃で加熱加工した。加工物の可溶性糖含量は,80℃では乾物当たり57.6%,100~140℃では15~18%程度であった。糊化度は80℃では93.2%と低く,120℃以上で完全に糊化した。分子量分布は,80℃では分子量100万以下が多く存在し,140℃では澱粉の低分子化が起きた。エクストルーダ加熱加工した甘藷を用い本格いも焼酎を製造した結果,常圧蒸留法で得られた焼酎は,青臭とアルデヒド系の臭いのある焼酎であった。しかし,減圧蒸留することで,減圧特有のエステリックな香りがあった。

**Keyword** : エクストルーダ, 甘藷, マルトース, いも焼酎

### 1. 緒言

エクストルーダは,混合,加熱工程および成形を連続的に行える装置である。食品産業においては,シリアル食品,キャンディー,膨化食品などに利用されている<sup>1)</sup>。エクストルーダを用いて甘藷を加熱加工した研究はごくわずかである。例えば,甘藷澱粉に小麦粉や大豆をブレンドした<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>ものや甘藷をいったんフレーク状に乾燥後,膨化食品の製造<sup>4)</sup>に関する研究が上げられる。生の甘藷の糊化を目的にエクストルーダを使用した研究は,林<sup>5)</sup>によって報告されているのみである。しかし,得られたエクストルーダ加工物の成分特性については全く報告していない。

一方,本格いも焼酎の原料である甘藷の加熱方法は,蒸煮が一般的であるが,高周波,遠赤外線,湯煮などがある。加熱方法が異なると得られる焼酎の風味に影響を与える可能性が高い。例えば,焼き芋焼酎がその例である。

そこで,本研究ではエクストルーダを用いて甘藷の加熱加工を行いその特性を把握することと,加熱加工した甘藷を用いた本格いも焼酎の製造工程や品質に及ぼす影響について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 材料および試薬

用いた甘藷の品種はコガネセンガンで,焼酎製造場より購入した。洗浄後,両端を切断し,榎村鐵工所製のさいの目カッターを用い5mm角に裁断した。裁断した甘藷は混合機で5分間混合した。

- アミラーゼはノボ社製のターマミル120Lを使用した。分子量分布測定のための標準試料は,昭和電工製のShodex STANDARDP-82(分子量が0.59,1.18,2.28,4.73,

11.2,21.2,40.4および $78.8 \times 10^4$ のプルラン)を用いた。

#### 2.2 エクストルーダ加工

エクストルーダのスクリュの概略図を図1に示す。エクストルーダはバレル直径が30mm,長さが1mの2軸式エクストルーダ(TCV-30-24-E型,川崎重工業社製)を使用した。スクリュは圧縮比12:1,ダイノズルは直径3mmのシリンドラ式を使用した。スクリュ回転数は50rpmで行った。エクストルーダの供給部の温度は40℃一定とし,バレルおよびダイノズル温度は80~140℃とした。甘藷の供給速度は1.8kg/h一定とした。

エクストルーダで加熱加工後,60℃で温風乾燥したものをエクストルーダ加工物とした。加工物の分析は500μm以下に粉碎したものをを用いた。

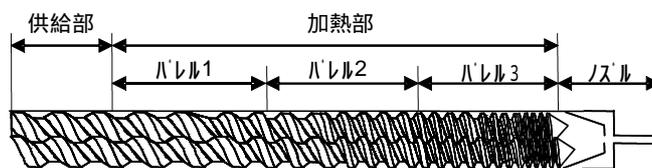


図1 エクストルーダ概略図

#### 2.3 加工物の物性評価

可溶性糖含量および糖組成の分析は以下の方法で行った。すなわち加工物5gと蒸留水50mlを100ml容の三角フラスコに入れ,ロータリーシェーカーで攪拌しながら室温で5時間抽出した。1670×gで10分間遠心分離し,得られた上澄み液は100mlのメスフラスコに移した。沈殿物は蒸留水20mlを添加し試験管ミキサーで十分に攪拌し遠心分離した。この操作を再度行った。得られた上澄み液は蒸留水で100mlとした。この溶液についてフェノール・硫酸法で可溶

性糖含量をグルコースとして求め、高速液体クロマトグラフィ（以後、H.P.L.C.）で糖組成を求めた。H.P.L.C.条件は、カラムが昭和電工製のShodex IonpakKS-801（8×300mm）、検出器が示差屈折計（日本分光社製RID-300）、溶媒が蒸留水、流速が0.8ml/min、カラム温度が40℃であった。

- アミラーゼ活性はエクストルーダ加熱加工直後の加工物15gを用いて、上述の方法で上澄み液を調製した。この溶液を粗酵素液として、Takedaら<sup>6)</sup>の方法に従って行った。粗酵素液1mlが1分間あたりに1μmolのマルトースを生じる活性を持って1単位とした。

糊化度測定は竹田ら<sup>7)</sup>の方法で加工物を調製した。すなわち、加工物10gをエタノール200mlに加え、ホモジナイザーで分散させた。ガラスフィルターで吸引濾過し、50mlのエタノール、ついで約50mlのエーテルで脱水乾燥後、塩化カルシウムが入ったデシケータ内で減圧乾燥した。乾燥試料を乳鉢で150μm以下に粉碎した。糊化度は外山ら<sup>8)</sup>の方法に従い、グルコアミラーゼ法で行った。

分子量分布は、日本ウォーターズ社製のウルトラハイドロジェル250および1000（7.8×300mm）カラムによるゲル濾過により、検出器は示差屈折計（日本分光社製RID-300）、溶媒は0.1mol硝酸ナトリウム、流速は0.6ml/min、カラム温度は45℃で行った。なお、試料は1molの水酸化カリウムで溶解後、日本ダイオネクス社の0nGuard-Hで脱アルカリし分析に供した。

#### 2.4 発酵試験

酵母は鹿児島5号を使用した。前培養は酵母エキス1%、ポリペプトン2%およびグルコース2%からなるYPD液体培地に斜面培地より一金耳植菌し30℃、48時間静置培養した。発酵試験は以下の方法で行った。すなわち、2L容ガラス製サンプル瓶に前培養液5gと米麹150gおよび水道水175gを添加し1次仕込みを行い、5日間発酵させた。これに、加工物の水分と生の甘藷の水分から加工物の添加量と水道水の添加量を求め加え2次仕込みを行った。発酵温度は恒温槽内で30℃一定とした。発酵経過は、発生する炭酸ガス重量をもろみの減少重量から算出することによって求めた。なお、サンプル瓶は濃硫酸の入った発酵栓を施した。対照として、蒸煮した甘藷を使用した。米麹の使用量は甘藷重量の20%、水の使用量は米麹および甘藷の総重量の67%で行った。発酵終了後のもろみをガラス製の蒸留器で常圧蒸留法または減圧蒸留法で行った。なお、減圧度は680～720mmHg、蒸留温度は45～55℃で行った。

#### 2.5 もろみの分析

発酵終了後のもろみ粘度は、もろみ200mlを300ml容のトルビーカーに取り、30℃の恒温にて、B型粘度計（東京計器（株）社製、BM形式）を用いて測定した。発酵終了後のもろみの保水力は、もろみ50.0gを精秤し遠心分離管

に加えた。1670×gで10分間遠心分離後、得られた沈殿物の重量を測定した。もろみを105℃で乾燥させもろみ水分を求め、乾物沈殿物単位重量当たりで求めた。

発酵終了後のもろみのアルコール濃度および試留酸度は、もろみをガーゼで濾過し、得られた濾液200mlを用いて国税庁所定分析法<sup>9)</sup>に従い行った。もろみの全糖の分析は、もろみの適量を乳鉢に採り緩やかにすり潰した後、20gを用いて国税庁所定分析法<sup>9)</sup>に従い行った。もろみ中の酵母の生菌数は、YPD寒天培地上に生育してきた菌体数から求めた。

#### 2.6 焼酎の香気成分

香気成分の分析はHP5890型ガスクロマトグラフを使用しカラムはキャピラリーカラムDB-WAX（60m×0.25mm×0.25μm）を用いた。注入口温度240℃、カラム温度40℃3分間保持後3℃/minで230℃まで昇温し、10分間保持した。スプリット比は1:30とした。キャリアガスはヘリウムガスで流速は2.0ml/minで行った。検出器はFIDを使用した。

#### 2.7 官能評価

発酵試験で得られた焼酎の官能評価は、蒸留して得られた焼酎を蒸留水でアルコール濃度25%に調整し、ADVANTEC社製のセルロースアセテート（開口径3.0μm）を用いて常圧下で濾過して味香りについて評価した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 加工物の外観

図2に各温度でエクストルーダ加熱加工後、60℃で温風乾燥した加工物を示す。

加工温度80℃の加工物は生の部分と糊化された部分が混在し、また、色調が褐色となった。下園ら<sup>10)</sup>はポリフェノールオキシダーゼ活性が95%で完全に失活すると報告している。このことから、加工温度80℃では、甘藷に含まれるポリフェノールがポリフェノールオキシダーゼによって分



図2 エクストルーダ加工物

解され褐変したものと考えられる。加工温度が100 では一部甘藷の粒が残った。120 では十分な加熱がなされ安定的に加工された。140 では加工物が激しい水蒸気と共に不連続的にダイから噴出し、加工物の一部は膨化した。

### 3.2 加工物の可溶性糖含量およびその成分

表1に甘藷を80~140 でエクストルーダ加工した加工物および蒸煮と生の甘藷の可溶性糖含量およびその組成を示す。可溶性糖含量は、80 で加工した加工物で乾物当たり57.6%と最も高かった。この値は、蒸煮甘藷と比べて2倍以上高い値であった。100~140 で加工したものは15~18%程度と生の甘藷と比べわずかに増加したに過ぎなかった。可溶性糖の糖成分のうちで、マルトースは80 において30.0%と最も高かった。フラクトース、グルコースおよびシュクロースはいずれの試料においても大差なかった。以上のことから、可溶性糖含量の差はマルトースの違いであることが分かった。

表1 可溶性糖含量および糖組成

加工温度( )	可溶性糖(%)	Frc <sup>*1</sup>	Glc <sup>*2</sup>	Suc <sup>*3</sup>	Mal <sup>*4</sup>
80	57.6	0.6	1.7	7.9	30.0
100	18.2	0.5	1.0	9.3	2.8
120	17.9	0.3	0.6	9.4	2.8
140	15.7	0.3	0.5	8.8	2.8
蒸煮いも	34.2	0.3	1.3	9.9	14.0
生いも	13.5	0.6	0.6	9.2	0.0
1:フラクトース	2:グルコース	3:シュクロース	4:マルトース		

馬場<sup>11)</sup>は、甘藷に含まれる  $\alpha$ -アミラーゼは、85 以上で失活すると報告している。また、竹田ら<sup>7)</sup>はサツマイモ澱粉の糊化開始温度は65 であると報告している。そこで、各温度でエクストルーダ加工した直後の  $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定した。その結果、80 では  $\alpha$ -アミラーゼ活性は生の甘藷の約15%であった。しかし、100 以上および蒸煮甘藷では活性が認められなかった。蒸煮処理では  $\alpha$ -アミラーゼが失活しているにもかかわらず、マルトースが30%生成した。これは、蒸煮処理は熱が甘藷の外部から中心部へ徐々に伝わるため、 $\alpha$ -アミラーゼが完全に失活する以前に澱粉が糊化しマルトースが生成したと考えられる。一方、100~140 でエクストルーダ加工すると、瞬間的に甘藷が設定温度に達するため、澱粉の糊化と酵素の失活が同時に起こり、マルトースの生成が抑えられたものといえる。

### 3.3 加工物の糊化度

加工温度80 の加工物は糊化度が93.2%と完全には糊化しなかった。100 の加工物においても98.8%と完全には糊化しなかった。しかし、120 と140 の加工物では完全に糊化した。竹田ら<sup>7)</sup>は、甘藷澱粉は78 以上で完全に糊化

すると報告している。これは、竹田らの分析方法が、精製した澱粉を用いて20分間糊化を行っているが、エクストルーダ加熱加工では、100 で約5分間の加熱条件では、十分に糊化できなかったものと思われる。

### 3.4 加工物の分子量分布

図3に各温度で加工した甘藷澱粉の分子量分布を示す。いずれの試料においても分子量が約200万にピークがあった。80 の加工物は分子量100万以下の分子量の部分でピークが最も緩やかに低下しており、澱粉の低分子化が生じていることがわかった。これは、澱粉が  $\alpha$ -アミラーゼで分解され様々な分子量の  $\alpha$ -リミットデキストリンとなったためと考えられる。140 の加工物において分子量が約60万にピークが観察されたが、100および120 の加工物では認められなかった。Chinnaswamyら<sup>12)</sup>やTakamineら<sup>13)</sup>はエクストルーダを用いてトウモロコシ澱粉の膨化加工物を製造すると澱粉が分解されることについて報告している。140 で甘藷を加工した場合、加工物は激しい水蒸気と共に不連続的にダイノズルから噴出し、加工物の一部は膨化したため、澱粉が分解されたものと考えられる。

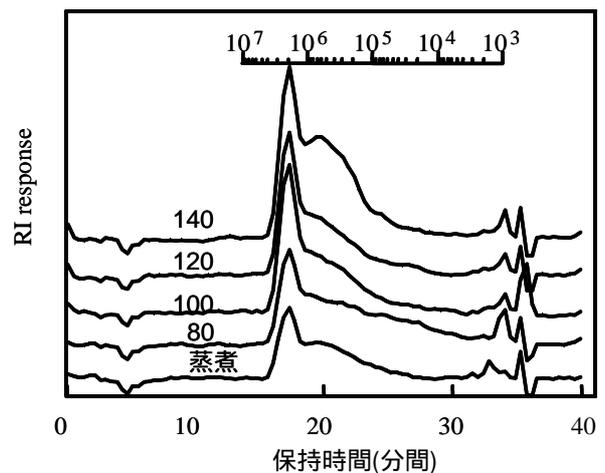


図3 分子量分布

### 3.5 発酵試験

120 でエクストルーダ加工した加工物を用いて、発酵試験を行った。その結果、図4に示すように2次仕込み後の発酵経過は、対照の蒸煮甘藷と比べて、発酵初期および中期にかけて遅れた。しかし、最終的には対照と同様の炭酸ガス発生量となった。

また、表2に示すように、発酵終了後のもろみアルコールはエクストルーダ加工物が13.9%と蒸煮甘藷の13.7%と比べ高く、残全糖は低い値であった。雑菌汚染の指標となる揮発酸度には大差は認められなかった。

ここで、発酵が遅れた原因について、蒸煮甘藷およびエクストルーダ加工物を50mMのクエン酸緩衝液(pH4.0)に懸濁させ、30 で耐酸性  $\alpha$ -アミラーゼを作用させることで

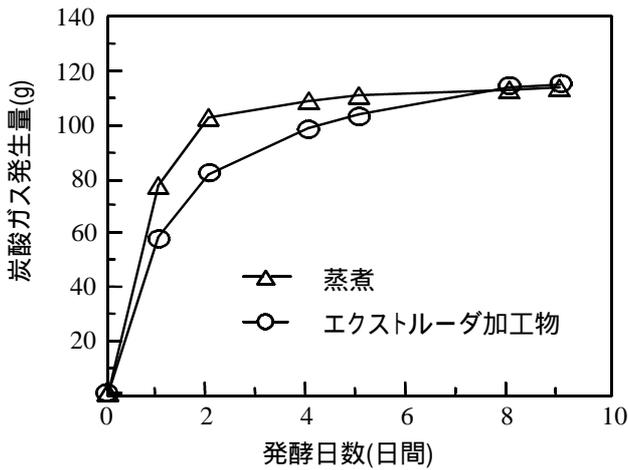


図4 2次もろみ発酵経過

表2 2次もろみ分析結果

	エクストルーダ加工物	蒸煮
エタノール(%)	13.9	13.7
揮発酸度(ml)	1.1	1.2
残全糖(%)	1.9	2.1

可溶化速度を検討した結果について図5に示す。エクストルーダ加工物は、蒸煮甘藷と比べ  $\alpha$ -アミラーゼによる可溶化が遅れることが分かった。これはエクストルーダ加熱加工後60℃で乾燥させているため、水への膨潤が遅れたためと考えられる。このことが発酵の遅れを引き起こす原因であると推察された。

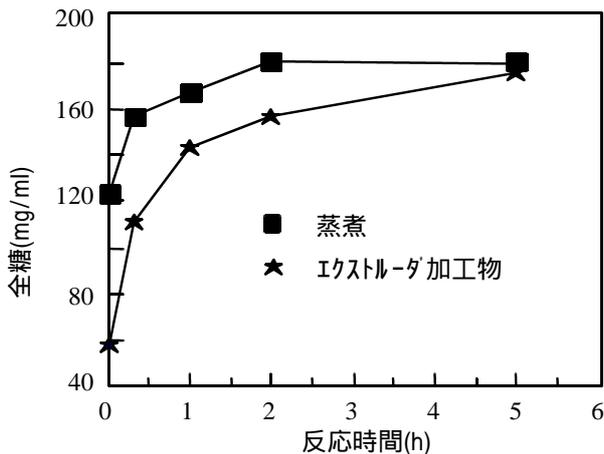


図5  $\alpha$ -アミラーゼによる可溶化

表3に発酵終了後のもろみを常圧蒸留して得られた焼酎の香気成分の分析結果を示す。エクストルーダ加工物から製造した焼酎は、イソアミルアルコールと活性アミルアルコールの合計値で示している値(アミルアルコール類)が、蒸煮した甘藷から製造した焼酎と比べ、1/3以下の生成量

であった。官能的にはエクストルーダ加工物の焼酎は、蒸煮した甘藷の柔らかな香りが無く、青臭のある焼酎であった。また、エクストルーダ加熱加工した後乾燥したためか、アルデヒド系の臭いがあった。

表3 焼酎の香気成分

	エクストルーダ加工物	蒸煮 mg/L
ルマル <sup>o</sup> ロビ <sup>o</sup> アルコール	140	116
イソ <sup>o</sup> チルアルコール	158	182
アミルアルコール類 <sup>*1</sup>	108	367
-フェニルアルコール	50	46
酢酸エチル	23.4	18.6
酢酸イソアミル	1.1	1.1
酢酸-フェニル	2.3	2.1

\*1:イソアミルアルコールと活性アミルアルコール

### 3.6 もろみの粘度および保水力

発酵終了後のもろみの粘度および保水力について測定した結果を表4に示す。なお、麦焼酎もろみについても合わせて測定した。蒸煮甘藷もろみの粘度は、麦焼酎もろみの30倍以上であった。エクストルーダ加工物を用いたもろみ粘度は1.4Pa・sと蒸煮甘藷のもろみの1/4以下であった。保水力は、エクストルーダ加工物もろみが5.9g/gと蒸煮甘藷もろみの約70%の量であった。

表4 もろみ粘度および保水力

	エクストルーダ加工物	蒸煮	麦焼酎もろみ
もろみ粘度(Pa・s)	1.4	7.8	0.25
保水力(g/g)	5.9	8.0	3.1

### 3.7 減圧蒸留による焼酎製造

本格いも焼酎は常圧蒸留法が主流であるが、麦焼酎は常圧および減圧いずれの方法も導入されている。これは、表4に示しているとおり、粘度が大きく異なるところに起因する。従来、蒸煮した甘藷を用いたもろみを減圧蒸留する場合、セルラーゼ処理やもろみに水を添加した後行う必要があるが、コストやもろみ量の増加といった問題がある。エクストルーダ加工物を用いたもろみは粘度が低いことから減圧蒸留の可能性が示唆された。

そこで、エクストルーダ加工物のもろみを減圧蒸留した結果、容易に蒸留できた。蒸留粕の粘度は8.8Pa・sと蒸煮甘藷もろみ粘度と同程度の値であった。得られた焼酎は、減圧特有のエステリックな香りがあった。更に、常圧蒸留で得られた焼酎に存在したアルデヒド系の臭いは感じなかった。

#### 4. 結 言

生の甘藷を5mm角に裁断後、2軸式エクストルーダでスクリュ回転数は50rpm、供給速度1.8kg/h、ダイノズル直径3mm、80~140 でエクストルーダ加熱加工した。加工物の可溶性糖含量は、80 の加工物で乾物当たり57.6%と最も高かった。一方、100~140 で加工したものは15~18%程度であった。この値の違いはマルトース含量の違いであった。 - アミラーゼ活性は80 の加工物は生の甘藷の活性に対し約15%で、100 以上では活性がなかった。糊化度は80 の加工物で93.2%と低かった。120 以上で完全に糊化した。分子量分布を測定した結果、80 の加工物は分子量100万以下の分子量の部分が多く存在し、140 の加工物は澱粉の低分子化が起きていることがわかった。

120 でエクストルーダ加熱加工した甘藷を用い発酵試験を行った結果、対照の蒸煮甘藷と比べ、発酵中期に遅れが生じた。この原因は、加工物が蒸煮甘藷と比べ - アミラーゼによる可溶化が遅れるためであることがわかった。しかし、最終的には対照と遜色ない発酵をした。加工物で製造した焼酎の香気成分は、アミルアルコール類が対照と比べ1/3以下の生成量であった。官能的には加工物の焼酎は、蒸煮した甘藷の柔らかな香りが無く、青臭とアルデヒド系の臭いのある焼酎であった。しかし、加工物で製造したもろみを減圧蒸留することで、減圧特有のエステリックな香りがあった。

#### 参 考 文 献

- 1) Y. Anderson : Cereal Chem., 58, 370 (1981)
- 2) E.M. Ahmed, F.C. Chang, M.O. Balaban and A.G. ARREOLA : J. Food Qual., 14, 229 (1991)
- 3) M. MUNEZO, M. Kishimoto and T. Kawano : T. Food Industry Center report, 15, 115 (1989)
- 4) M.O. Iwe, I. Walters, G. Gort, W. Stolp and D.J. van Zuilichem : J. Food Engin., 38, 369 (1998)
- 5) 林敏弘 : " エクストルーダジョンクッキング " 光琳 (1987) p. 134
- 6) Y. Takeda and S. Hizukuri : Biochem. Biophys. Acta., 268, 175 (1972)
- 7) 竹田千重乃, 檜作進 : 農化, 48, 663 (1974)
- 8) 外山忠男, 檜作進, 二国二郎 : 澱工誌, 13, 69 (1966)
- 9) " 第四回改正国税庁所定分析法注解 " : (財) 日本醸造協会 (1993) p. 229
- 10) 下園英俊, 田之上隼雄, 馬場透, 津志田藤二郎 : 食品科学工学会大会要旨集, 146 (1998)
- 11) 馬場透 : " 甘藷の高度加工利用に関する研究 ", 学位論文 (1988) p. 28
- 12) R. Chinnaswamy and M.A. Hanna : Cereal Chem., 67, 490 (1990)
- 13) K. Takamine, S. Bhatnagar and M.A. Hanna : Cereal Chem., 72, 385 (1995)