熱分析法による米菓製造工程解析

渡辺紀之*・城斗志夫**・早川利郎**

Characterization of the Manufacturing Process of Rice Crackers by Differential Scanning Calorimetry

Toshiyuki WATANABE*, Toshio JOH** and Toshiro HAYAKAWA**

* Kameda Seika Co., Ltd. Laboratory, 1-3-5, Motomachi
Kameda-machi, Niigata 950-0192

** Department of Applied Biological Chemistry, Faculty of Agriculture,
Niigata University, 2, Igarashi, Niigata-shi, Niigata 950-2102

Production process of rice crackers (arare, okaki, senbei) is time consuming and complicating. Therefore, it is difficult to explain the process scientifically. For the explanation of the manufacturing process and the changes of the gelatinized and retrograded rice starch gel produced in its process, we analyzed the products in the manufacturing process and the imitative manufacturing process of glutinous rice crackers by differential scanning calorimetry. As the result, it was proved that the steaming process was to break hydrogen bonds by the gelatinization phenomenon of starch, the refrigeration process was to create the reformation structure by the retrogradation phenomenon of starch; to create new hydrogen bonds, drying process was to create more thermostable reformation structure by the annealing phenomenon of starch and baking process was to break its reformation structure. Furthermore, it was proved that all process was related to each other and affect the glutinous rice crackers (final products). Namely, it was proved that DSC could analyze the manufacturing process of glutinous rice crackers and the changes of the gelatinized and retrograded rice starch gel produced in its process.

(Received Jul. 9, 1998; Accepted Oct. 17, 1998)

米菓(あられ,おかき,せんべい)の製造工程は長く複雑であるために,その製法の科学的解明は容易でない。著者らは,米菓の中間原料である餅(糊化米粉ゲル)の粘弾性特性解析を行い,米の品種・産地及び調製条件(練り時間,水分)と餅の疑似網目構造の関係を報告した¹⁾。さらに,製造工程における各々の生産物の性状を統一的に解析する手法として,熱分析法(示差走査熱量測定法)が有効であることを報告した²⁾。そこで,米菓製造工程産物及び米菓製造模擬工程産物の熱分析を行い,米菓製造工程とその工程中に生じている糊化・老化米澱粉ゲルの挙動を解析したので報告する。

実験方法

原料米には,水稻糯種,精白度90%の新潟県産こがねもちを用いた。

1. 糯米菓製造工程産物

糯米菓は一般的に,洗米,浸漬,蒸し,目潰し,餅つき,充填,冷蔵,成形(切断),乾燥,焙焼の工程を経て製造される。米菓製造実験機を用いて米菓(おかき)を製造し,その主要工程産物17種類の試料を調製した。調製した試料は,Table 1に示した。

(試料)

(1) 浸漬米

水道水に8時間浸して吸水を行なった。

* 亀田製菓株式会社研究室 (〒950-0192 新潟県中蒲原郡亀田町元町1-3-5)

** 新潟大学農学部応用生物化学科 (〒950-2102 新潟県新潟市五十嵐二ノ町8050)

(2) 蒸米

蒸圧 0.2 kg/cm² のセイロ (亀田製菓(株)製) を用いて 25 分間蒸した。

(3) 餅

餅搗き機 (小田商店(株)製 KLG 90-S) を用いて、4 分間、216 回搗いて餅を調製した。水分含量は 45% であった。

(4) 冷蔵餅

調製した餅を、水分含量の変化を防ぐため、サランラップで包んだ後、4℃ の冷蔵庫を用いて、6 時間、12 時間、24 時間、48 時間冷蔵した各々の餅 (4-1) (4-2) (4-3) (4-4) を調製した。

(5) 乾燥生地

48 時間冷蔵した餅を、縦 15 mm、横 40 mm、厚さ 2.2 mm の短冊状に切断した後、40℃ の定温乾燥機 (ヤマト科学(株)製 DP41) を用いて、水分含量 20% の 1 時間乾燥生地 (5-1) 及び 3.5 時間乾燥生地 (5-2) を調製した。さらに実際の現場想定的方式に準じて、50℃・10 分間通風乾燥 (いすず製作所(株)製熱風循環式定温恒温器) と、40℃・20 分間保持 (定温乾燥機ヤマト科学(株)製 DP 41) を繰り返して、水分含量 40% の乾燥初期生地 (5-3)、水分含量 30% の乾燥途中生地 (5-4)、水分含量 20% の乾燥後生地 (5-5) を調製した。さらに乾燥温度 45℃、50℃、55℃ で、乾燥時間 7 時間、水分含量 20% の各々の生地 (5-6) (5-7) (5-8) を調製した。尚、乾燥時間の調整は、生地を適宜、サランラップで包むことにより行なった。

(6) 焙焼生地

乾燥生地 (5-1) (5-2) を雰囲気温度 250℃ の煎り機 (亀田製菓(株)製) で 140 秒、焙焼して各々のおかし (6-1) (6-2) を調製した。

調製した各々の試料は液体窒素で急冷し、粉碎した後 100 メッシュのふるいを通した粉をエチルアルコールに一昼夜浸漬し、試料中の水分を除去した。その後 30℃ で通風乾燥 (いすず製作所(株)製熱風循環式定温恒温器) し、エチルアルコールを除去した上で、軽く粉碎後、よく混合し、できる限り均一な室温での平衡水分 (各試料 8~11%) の試料を調製し、熱分析 (示差走査熱量測定) を行った。測定には熱流速示差走査熱量計 ((株)島津製作所製 DSC-50) を使用した。測定条件は、昇温速度 5℃/min、試料量 7 mg (乾物)、水分含量 70% (小数点第一位四捨五入) とした。試料の水分含量は、マイクロシリンジで必要量、蒸留水を添加して調整した。実験は各 5 回ずつ行い、ピーク温度、吸熱量の平均値及び標

準偏差と変動係数を求めた。吸熱量 (J/g) は乾物重量に換算した値を示した。尚、試料の水分含量の測定は、試料約 10 g を 135℃、3 時間乾燥して恒量を求めることにより行った。

2. 糯米菓製造模擬工程産物 (米粉)

糯米菓の製造模擬工程産物として次の 16 種類の測定用試料を調製した。調製した試料は Table 2 に示した。DSC 測定は昇温速度 5℃/min で行った。実験は各 5 回ずつ行いその平均値及び標準偏差と変動係数を求めた。

(1) 生米粉

糯米粉 7 mg (乾物) をセルに秤とり、水分含量 50% になるようにマイクロシリンジで蒸留水を加えた。このセルを密閉したまま室温に 30 分間保持し、DSC の測定に供した。これは糯米菓製造工程産物の浸漬米に対応する。

(2) 糊化米粉

糯米粉 7 mg (乾物) をセルに秤とり、水分含量 70% になるように蒸留水を加えた。このセルを密閉したまま室温に 30 分間保持後、昇温速度 20℃/min で 80℃・90℃・100℃・110℃・120℃ に達した後、30 分間保持し糊化させた。その後 70℃ まで空冷した後、5℃/min で再度昇温させた。これは糯米菓製造工程産物の餅に対応する。

(3) 老化米粉

糯米粉 7 mg (乾物) をセルに秤とり水分含量 50% になるように蒸留水を加えた。このセルを密閉したまま 100℃ で 30 分間保持した後、4℃ の冷蔵庫に 6 時間、16 時間、24 時間、48 時間、72 時間保持した。さらに糯米粉を 80℃、110℃ に 30 分間保持後、24 時間及び 48 時間冷蔵を行った。これは糯米菓製造工程産物の冷蔵餅に対応する。

3. 糯米菓製造模擬工程産物 (澱粉)

糯米澱粉の調製は、精白米を粉碎後、5 倍量の 0.2% NaOH 溶液を用いて行った⁹⁾。調製した糯米澱粉を用いて、糯米菓製造工程に準じた糯米菓製造模擬工程産物 16 種類を調製した。尚、DSC 測定は昇温速度 5℃/min で行った。実験は各 5 回ずつ行いその平均値及び標準偏差と変動係数を求めた。

(試料)

(1) 生澱粉

糯米澱粉 7 mg (乾物) をセルに秤とり、水分含量 45% になるように蒸留水を加えた。このセルを密閉したまま室温に 30 分間保持して試料とし、DSC の測定に供した。これは糯米菓製造工程産物の浸漬米に対応する。

(2) 糊化澱粉

糯米澱粉 7 mg (乾物) をセルに秤とり、水分含量 45% になるように蒸留水を加えた。このセルを密閉したまま室温に 30 分間保持後、昇温速度 20℃/min で 80℃ (2-1)・100℃ (2-2) に達した後、30 分間保持し糊化させた。その後 40~70℃ まで空冷した後、5℃/min で再度昇温させた。これは糯米菓製造工程産物の餅に対応する。

(3) 老化澱粉

糊化澱粉と同様に調製した試料を、4℃ の冷蔵庫に、24 時間 (3-1) (3-3)、48 時間 (3-2) (3-4) 保存して試料とした。これは糯米菓製造工程産物の冷蔵餅に対応する。

(4) 乾燥澱粉

老化澱粉と同様に調製した試料を、熱重量測定計 ((株)島津製作所製 TGA-50) を用いて 40℃ (4-1) (4-2) (4-3) (4-4) 及び 50℃ (4-5) (4-6) (4-7) (4-8) の雰囲気下で水分含量が 20% になるまで乾燥した。これは糯米菓製造工程産物の乾燥生地に対応する。

(5) 焙焼澱粉

乾燥澱粉と同様に調製した試料を、熱重量測定計 (TGA-50) を用いて 250℃ の雰囲気下で焙焼した。これは糯米菓製造工程産物の焙焼生地に対応する。

尚、各試料の DSC 測定時の水分含量は、糯米菓製造模擬工程産物 (澱粉) の場合は、通常の米菓製造時の米粉の糊化時の水分含量 45% に準じたが、糯米菓製造模擬工程産物 (米粉) の場合は、水分含量が 45% では糊化が不均一でデータの再現性が悪いいため水分含量を 50% とした。さらに糯米菓製造工程産物の場合は、既に糊化が終了している試料のため、データの再現性が得られやすい 70% の水分含量とした。

実験結果及び考察

米及び米澱粉の糊化、老化の挙動の解析に熱分析は多用されている。北村⁴⁾ は、DSC において、澱粉-水系の場合観測される糊化に伴う吸熱は、基本的には、澱粉分子の結合 (おもに水素結合) の崩壊に伴う吸熱反応と、ばらばらになった澱粉分子への結合 (水和) の発熱反応の総和である、と述べている。SHIOTSUBO ら⁵⁾ は、糊化を澱粉ミセルへの水和とそれに伴う高次構造の協同的融解過程として捉え、DSC カーブを定量的に解析している。これらの見解から、DSC の吸熱量は水素結合の量に対応していると考えてもよいと思われる。高橋⁶⁾ は、DSC で種々の澱粉を糊化させた場合、吸熱ピークが測定でき、この過程で澱粉粒の形状は完全に崩れているにもか

かわらず、澱粉分子の分子量分布に変化が認められないことを発見した。このことから、DSC は澱粉の高次構造やミセル構造の熱転移反応のみを検知したものと考えられる、と述べている。これらの見解から、DSC の吸熱量は、水素結合からなる澱粉の構造変化を捉えたものと解釈してもよいと思われる。

1. 糯米菓製造工程産物の分析

Table 1 は、実際の糯米菓製造工程産物の DSC 特性値を示している。浸漬した糯米には糊化ピークが認められたが、蒸米及び餅にはなかった。これは糯米澱粉中の水素結合が、糊化の過程で崩壊するためと考えられる。冷蔵餅は冷蔵時間が長いもの程、吸熱量が大きかった。これは冷蔵とともに水素結合の量が増加していることを示している。すなわち、糊化により水素結合が崩壊した後、老化に伴う水素結合の再生成が起こっていると推定される。冷蔵餅のピーク温度は浸漬米に比較して約 20~25℃ 低かった。冷蔵工程において、生澱粉よりも強度の弱い水素結合が再生成していると考えられる。48 時間冷蔵餅を 40℃ で乾燥すると、乾燥時間の長い方が吸熱量が増加した。また現場想定 50℃ と 40℃ の繰り返し法による乾燥方式では、乾燥が進む程、ピーク温度と吸熱量の値が大きくなる傾向がみられた。さらに 45~55℃ の乾燥温度においては、乾燥温度が高い程、吸熱量が大きくなる傾向がみられた。乾燥条件は、水素結合の量に影響を及ぼすことが推測される。焙焼生地では、ピークが消滅することから、焙焼により水素結合が崩壊することがわかる。

2. 糯米菓製造模擬工程産物の分析 (米粉)

(1) 生米粉、糊化米粉

Fig. 1 は、糯米粉及び各温度で糊化させた糊化米粉の DSC 曲線を示している。ピークはブロードな偏りのある形状を示した。DONOVAN⁷⁾ は、水分が不十分な条件下における糊化状態は、澱粉の非晶質部分の糊化と結晶質部分の糊化の 2 つのピークに代表される、と述べている。BURT ら⁸⁾ は、水分が不十分な条件下における糊化は、糊化しやすい澱粉粒のピークと未糊化粒のピークの 2 つのピークからなる、と述べている。高橋⁶⁾ は、限定水分下では熱振動による澱粉ミセルの崩壊の場が奪われて、熱転移が抑制される、と述べている。これらの見解から、水分含量 50% の低水分系においては、米の澱粉分子間の水素結合状態は不均一であると推察される。糊化が不十分な 80℃ の場合、ピーク温度約 90℃ に未糊化澱粉由来の比較的大きなピークと、ピーク温度約 115℃ 付近に小さなピークが出現した。90℃、100℃ になると未

Table 1 DSC characteristic values of various products in the manufacturing process of rice crackers

Sample and product		Peak temp. °C	ΔH J/g	ΔH Standard deviation	ΔH C.V. ^{a)} %
(1) Rice flour		68.0	13.7	0.2	1.5
(2) Steamed rice		— ^{b)}	0.0	0.0	0.0
(3) Rice cake		— ^{b)}	0.0	0.0	0.0
(4) Refrigerated rice cake					
(4-1)	6 H	— ^{b)}	0.0	0.0	0.0
(4-2)	12 H	49.5	1.5	0.3	20.2
(4-3)	24 H	43.5	2.9	0.3	12.0
(4-4)	48 H	42.8	5.3	0.2	4.5
(5) Dried rice cake					
(5-1) 40°C	1 H	43.4	4.6	0.2	4.1
(5-2) 40°C	3.5 H	42.8	6.1	0.1	0.9
(6) Baked rice cake					
(6-1)	— ^{b)}	— ^{b)}	0.0	0.0	0.0
(6-2)	— ^{b)}	— ^{b)}	0.0	0.0	0.0
Dried rice cake					
(5-3) 50~40°C initial		45.0	5.0	0.2	3.6
(5-4) 50~40°C intermediate		50.8	5.0	0.1	2.0
(5-5) 50~40°C final		50.5	6.2	0.1	1.9
(5-6) 45°C	7 H	49.7	4.7	0.2	3.6
(5-7) 50°C	7 H	49.6	6.5	0.2	3.2
(5-8) 55°C	7 H	49.8	6.5	0.0	0.6

a) Coefficient of variation.

b) No values are shown for non-peak or broad peak.

Fig. 1 DSC curves of rice flour and gelatinized rice flour gel at different heating temperatures

Fig. 2 DSC curves of retrograded rice flour gel at different refrigeration time

* Coefficient of variation

Fig. 3 DSC curves of retrograded rice flour gel at different heating temperatures and refrigeration time

* Coefficient of variation

糊化澱粉由来のピークは約 115°C 付近に小さなピークが出現しただけである。さらに、糊化条件としては明らかに過激な 110°C 以上になると、この小さなピークはもはや出現しなかった。

(2) 老化米粉

Fig. 2 は、老化米粉の DSC 曲線を示している。冷蔵時間が長くなる程、吸熱量は増加した。老化の進行に伴い水素結合が再生成していくと考えられる。Fig. 3 は、糊化温度と冷蔵時間に対する老化米粉の DSC 曲線を示している。糊化温度 80°C は糊化としては不十分であり、100°C は標準的な条件、さらに 110°C は過激な糊化条件を想定している。不十分に糊化した餅より、十分に糊化した餅の方が 48 時間冷蔵餅の吸熱量が大きいことから、糊化の程度が大きい程、老化の程度は大きいと考えられる。ただし過激な糊化条件の場合、24 時間冷蔵餅の吸熱量が小さいことから、老化の進行は遅いと推察される。すなわち糊化条件は老化の程度及び速度に影響すること

Table 2 DSC characteristic values of various products in the imitative manufacturing process of rice crackers from rice starch

Sample and product	Peak temp. °C	ΔH J/g	ΔH Standard deviation	ΔH C.V. ^{a)} %
(1) Rice starch	66.0	14.2	1.4	10.2
(2) Gelatinized starch				
(2-1) 80°C	88.9	1.6	0.1	6.3
(2-2) 100°C	— ^{b)}	0.0	0.0	0.0
(3) Retrograded starch				
(3-1) 2-1-24 H	42.4 55.0	4.2	0.3	7.0
	89.9	5.6	0.2	3.6
(3-2) 2-1-48 H	40.3 54.8	5.9	0.3	5.8
	90.0	5.2	0.3	5.5
(3-3) 2-2-24 H	41.0 59.8	8.2	0.5	5.6
(3-4) 2-2-48 H	41.4 59.8	9.0	0.1	0.9
(4) Dried starch				
(4-1) 3-1-40°C	86.2	1.6	0.3	19.7
(4-2) 3-2-40°C	85.8	2.8	0.5	17.8
(4-3) 3-3-40°C	86.4	4.6	0.4	8.4
(4-4) 3-4-40°C	86.1	4.7	0.2	3.5
(4-5) 3-1-50°C	93.6	2.5	0.3	13.7
(4-6) 3-2-50°C	89.1	1.5	0.4	24.5
(4-7) 3-3-50°C	87.2	3.2	0.5	14.3
(4-8) 3-4-50°C	88.6	2.5	0.3	12.9
(5) Baked starch	— ^{b)}	0.0	0.0	0.0

^{a)} Coefficient of variation.

^{b)} No values are shown for non-peak.

Fig. 4 DSC curves of rice starch and gelatinized rice starch gel at different heating temperatures

(1): Rice starch, (2-1): Gelatinized starch gel at 80°C, (2-2): Gelatinized starch gel at 100°C,

* Coefficient of variation

がこれらの結果から明らかになっている。

3. 糯米菓製造模擬工程産物の分析 (澱粉)

Table 2 は、糯米菓製造模擬工程産物の DSC 特性値を示している。

(1) 生澱粉, 糊化澱粉

Fig. 4 は生澱粉及び各糊化条件の澱粉の DSC 曲線を示している。生澱粉の場合は、複数のピークが観察されるとともに、糊化終了温度は 110°C 付近であった。これは、単一ピークが観察される高水分系とは異なる不均一な糊化現象を示している。低水分下での糊化現象は不均一に起こり、様々な水素結合状態の澱粉が存在することが推察される。生米粉よりもピークが明確に観察されるが、これは澱粉以外の共存成分の影響がないために、澱粉の性状そのものが反映しているものと推察される。糊化澱粉の場合は、糊化が不十分な 80°C の場合、糯米粉と同様にピーク温度約 90°C に未糊化澱粉由来の比較的大きなピークが観察された。糯米粉の場合にも観察されるこの残存ピークは、澱粉由来の水素結合部分であることがわかる。糊化が 100°C の場合、ピークは全く出現せず、糯米粉にみられたピーク温度約 115°C 付近の小さなピークも出現しなかった。従って、逆に過激な糊化条件の解析は澱粉の測定からは不可能であると考えられる。

(2) 老化澱粉

Fig. 5 は老化澱粉の DSC 曲線を示している。通常の糯米菓の製造条件と対応する老化澱粉は、100°C で糊化

Fig. 5 DSC curves of retrograded rice starch gel at different heating temperatures and refrigeration time

(3-1): Heating temp., 80°C; Refrigeration time, 24 hours

(3-2): Heating temp., 80°C; Refrigeration time, 48 hours

(3-3): Heating temp., 100°C; Refrigeration time, 24 hours

(3-4): Heating temp., 100°C; Refrigeration time, 48 hours

* Coefficient of variation

させ、48 時間冷蔵した澱粉である。老化澱粉では、冷蔵後の高温側のピーク温度は生澱粉より約 6~10°C 低いことから、その再生成した水素結合は、生澱粉よりも量が少なく強度が弱いと考えられる。冷蔵時間が長いほど、老化に由来する吸熱量は大きかった。これは老化の進行に伴い再生成する水素結合の量が増加するためと推察される。ピーク温度は 40°C 付近と 55~60°C 付近に 2 つ出現した。ピークの形状は、高温部のピーク側に偏りがみられ、糯米粉の場合と同様に、より高温に安定な水素結合の再生成が早く起こり、低温に安定な水素結合の再生成は、冷蔵時間の経過とともに徐々に起こると考えられる。また、80°C で糊化させた場合の方が、100°C で糊化させた場合よりも、老化に由来する吸熱量は小さかった。これは、未糊化部分は、老化が進行しにくく、水素結合の再生成が不十分なために生じた現象と考えられる。また、未糊化部分のピークは冷蔵しても残存していることから、乾燥澱粉への影響が推察される。

(3) 乾燥澱粉

Fig. 6 は、40°C で乾燥した澱粉の DSC 曲線を示している。100°C で糊化させた場合の方が、80°C で糊化させ

Fig. 6 DSC curves of dried rice starch gel at 40°C

- (4-1): Heating temp., 80°C ; Refrigeration time, 24 hours
 (4-2): Heating temp., 80°C ; Refrigeration time, 48 hours
 (4-3): Heating temp., 100°C ; Refrigeration time, 24 hours
 (4-4): Heating temp., 100°C ; Refrigeration time, 48 hours

* Coefficient of variation

Fig. 7 DSC curves of dried rice starch gel at 50°C and baked rice starch

- (4-5): Heating temp., 80°C ; Refrigeration time, 24 hours
 (4-6): Heating temp., 80°C ; Refrigeration time, 48 hours
 (4-7): Heating temp., 100°C ; Refrigeration time, 24 hours
 (4-8): Heating temp., 100°C ; Refrigeration time, 48 hours
 (5): Baking temp., 250°C

* Coefficient of variation

た場合よりも、その乾燥澱粉の吸熱量は大きかった。また、冷蔵時間が48時間の場合の方が、24時間の場合よりも、その乾燥澱粉の吸熱量は大きかった。これは、糊化澱粉の水素結合状態は老化澱粉のみならず、乾燥澱粉の水素結合状態にも影響を及ぼすことを示唆している。Fig. 7は、50°Cで乾燥した澱粉のDSC曲線を示している。40°Cで乾燥した澱粉の場合と同様に、100°Cで糊化させた場合の方が、80°Cで糊化させた場合よりも、その乾燥澱粉の吸熱量は大きかった。40°Cと50°Cの乾燥澱粉を比較すると、50°Cの方が40°Cの場合よりもピーク温度は高温側にシフトし、その乾燥温度に安定な水素結合の再生成が推察される。中沢⁹⁾は水分含量50%のうるち米澱粉を使って、澱粉と水系の熱平衡状態について、澱粉はある保持温度に対応した平衡状態に向かって再配列を行い、その再配列の状態は、元の配列より高温まで安定な配列であると報告している。久下¹⁰⁾は、バレイショ澱粉を温水処理(50°C, 72時間)すると糊化温度が上昇し、糊化熱は増加する、としており、これは結晶性高分子である澱粉粒にアニーリング(固相における再組織化、不完全結晶の融解と再結晶化)が生じたものと報告している。従って、本実験で50°Cの方が40°Cの場合よりもピーク温度が高温側にシフトする理由は、澱

粉の再配列及びアニーリングという両者の見解から説明できると考えられる。また、40°Cと50°Cの乾燥澱粉の両者とも、老化澱粉の低温部分のブロードなピークはほぼ消失していた。また80°Cで糊化させた場合の未糊化部分のピークは、乾燥時のピークに吸収されたような形になっていた。従って、未糊化部分が乾燥澱粉の水素結合の再生成に影響を与えていると推測される。

(4) 焙焼澱粉

焙焼澱粉は、Fig. 7に示している通り、米粉と同様、ピークは全くなかった。これは、焙焼により水素結合が崩壊するためと考えられる。

以上のことから、米菓製造工程における蒸し工程は、澱粉の糊化現象による水素結合の崩壊のプロセスである。適度な糊化条件か否かは、蒸米のDSCに未糊化部分の吸熱ピーク(100°C以下)が生じるか、100°C以上の小さなピークまで消失するかが判断指標となり得る。冷蔵工程は、老化現象による再配列構造の生成すなわち新たな水素結合の生成のプロセスである。適度な老化条件か否かは冷蔵餅のDSCの吸熱量及びピーク温度がその判断指標となり得る。乾燥工程はアニーリングによる、さらに高温側に安定な再配列構造の生成のプロセスであ

る。適度な乾燥条件か否かは乾燥餅の DSC の吸熱量及びピーク温度がその判断指標となり得る。焙焼工程は再配列構造の崩壊のプロセスである。さらに各々の工程はお互いに関係しており、糯米菓の最終製品に影響していると推測される。従って、熱分析法を用いて、米菓製造工程とその工程中に生じている糊化・老化澱粉ゲルの挙動を解析することが可能であると結論できる。

要 約

米菓製造工程産物及び米菓製造模擬工程産物の熱分析(示差走査熱量測定)を行い、米菓製造工程とその工程中に生じている糊化・老化澱粉ゲルの挙動を次のステップで解析した。

- ① 実際の糯米菓製造工程産物の DSC 測定を行った。
- ② 糯米粉を使用した糯米菓製造模擬工程産物の DSC 測定を行った。
- ③ 糯米澱粉を使用した糯米菓製造模擬工程産物の DSC 測定を行った。

その結果、米菓製造工程における蒸し工程は、澱粉の糊化現象による水素結合の崩壊のプロセスである。冷蔵工程は、老化現象による再配列構造の生成すなわち新たな水素結合の生成のプロセスである。乾燥工程はアニーリングによる、さらに高温側に安定な再配列構造の生成

のプロセスである。焙焼工程は再配列構造の崩壊のプロセスである。さらに各々の工程はお互いに関係しており、糯米菓の最終製品に影響することが推測される。従って、熱分析法を用いて、米菓製造工程とその工程中に生じている糊化・老化澱粉ゲルの挙動を解析することが可能であると結論できる。

文 献

- 1) WATANABE, T., HASHIMOTO, Y., JOH, T., and HAYAKAWA, T.: *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, **3**, 1 (1997).
 - 2) WATANABE, T., HASHIMOTO, Y., JOH, T., and HAYAKAWA, T.: *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, **3**, 6 (1997).
 - 3) 中村道徳・貝沼圭二編・高橋幸資: 澱粉・関連糖質実験法, 学会出版センター, 東京, p 15 (1989).
 - 4) 北村進一: 澱粉, **37**, 174 (1992).
 - 5) SHIOTSUBO, T. and TAKAHASHI, K.: *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 9 (1984).
 - 6) 高橋幸資: 熱測定, **14**, 33 (1987).
 - 7) DONOVAN, J.W.: *Biopolymers*, **18**, 263 (1979).
 - 8) BURT, D.J. and RUSSEL, P.I.: *Stärke*, **35**, 354 (1983).
 - 9) 中沢文子: *New Food Industry*, **29**, 75 (1987).
 - 10) 久下 喬, 北村進一: 澱粉科学, **32**, 65 (1985).
- (平成 10 年 7 月 9 日受付, 平成 10 年 10 月 17 日受理)