

米粉の粒度及び糖濃度が米粉の糊化に及ぼす影響

石田 欽一・大島 英也*

名古屋を中心とする愛知県の名物菓子の一つにういろうがある。ういろうは米粉の糖液懸濁液を蒸し上げ等の加熱処理をすることによって作られるが、使用する米粉の品質、糖や米粉の配合割合あるいは加熱時間がメーカーによって異なり、メーカー毎に特徴ある粘弾性を有するういろうが製造されている。

これは加熱による米粉の糊化、膨潤挙動がういろうの粘弾性に大きな影響を及ぼすことを示すものである。

米粉の糊化に及ぼす粒度の影響についてはMarshall¹⁾は米の粉碎粒子の粒径が小さいほどDSCによる糊化開始温度は低温側にシフトし、吸熱量は小さくなることを報告している。糖の影響についてはでん粉についての報告は多く見られ、Spiesら²⁾は糖液の水分活性が糊化温度に影響すること、またJohnsonら³⁾はDSCの糊化温度は糖濃度が高いほど、また、単糖よりも二糖の方が高いことを報告している。

本研究においてはういろうの製造における米粉の粒度及び糖濃度の影響について解明するため、濃度の異なる各種の糖類の糖液中における各粒度の米粉の糊化挙動をDSCを用いて測定した。

実験方法

1. 米 粉

昭和62年度愛知県産他用途利用米を原料としたロール式製粉法で製粉した上用粉（株吉村穀粉製）を用いた。米粉の粒度分布は第1表のとおりであった。

2. 糖 類

第2表に示した12種類の糖及び糖アルコールを使用した。なお、イソマルトース、マルトテトラオース、イソマルチトールについてはこれらの糖を主成分とする糖液を用いたが、本報告ではそれぞれの糖名で統一した。

3. 米粉の篩別

米粉（原米粉）100 gを直径20.5 cmの100, 115, 150, 170, 200, 250メッシュの標準篩を重ねた一番上の篩に乗せ、各篩の中に三角ロータを入れ、ロータップ式篩振盪器で30分間振盪した。振盪後それぞれの目開きの篩の上に残った区分をその目開き（メッシュ）の粒度の米粉とした。なお、250メッシュの篩を通過した米粉は250メッシュ以下とした。

4. 米粉の一般分析⁴⁾

水分は105℃乾燥法、灰分は550℃灰化法、たんばく質はケルダール法、脂質は酸分解法によってそれぞれ定量した。また、炭水化物は水分、灰分、たんばく質、脂質を100%から引き、その値とした。

5. アミログラフィ

米粉を無水物として8%になるようにボウルに秤取り、水を450 ml加えセットし、30℃から常法によりアミログラフィを開始し、95℃で10分間保持後、50℃まで冷却し、曲線からアミログラフ特性値を求めた。

6. DSCによる米粉の糊化測定

米粉3 mgをアルミニウムセル中に正確に秤りとり、蒸留水6 μ lを加えてふたをし密閉した。測定時の昇温速度は5℃/minで、リファレンスにアルミナを用い、空気中で行った。また、チャートスピードは10 mm

第1表 米粉の粒度分布

粒度（メッシュ）*	100	115	150	170	200	250	250以下
百分率（%）	13.6	11.4	15.8	15.8	9.1	10.4	24.2

*各目開きの篩上に残った区分を示す

第2表 使用糖類

糖 類	略称	規格等
グルコース	Glu	試薬特級
フラクトース	Fru	試薬特級
マルトース	Mal	試薬特級
イソマルトース	IMal	日研化学株式会社 IMO-900*
シュクロース	Suc	伊藤忠精糖株式会社 グラニュー糖
パラチノース	Pal	三井精糖株式会社 パラチノース*
マルトトリオース	Matri	試薬特級
ラフィノース	Raf	試薬特級
マルトテトラオース	Matetra	林原株式会社 テトラップ-H*
ソルビトール	Sor	化学用試薬
マルチトール	Ma-OH	東和化成工業株式会社 粉末マルチ*
イソマルチトール	IMa-OH	日研化学株式会社 IMO-900H*

*メーカー分析値 (%)

IMO-900	glucose: 2.7 isomaltose: 28.9 G ₄ 以上分岐糖: 20.2	maltose: 7以下 maltotriose: 1.2	kojibiose: 10以上 isomaltotriose: 7.0
IMO-900H	sorbitol: 2.7 isomaltitritol: 7.0	maltitol: 7以下 G ₄ 以上分岐糖アルコール: 20.2	isomaltitol: 1.2
テトラップ-H	glucose: 1.9 maltotetraose: 50.2	maltose: 6.6 maltopentaose: 1.5	maltotriose: 9.5 dextrin: 30.3
粉末マルチ	sorbitol: 0~3	maltitol: 88~92	maltotritol: 5~9
パラチノース	palationse: 99以上		

／min, サンプルングタイムは0.5secとした。記録されたDSC曲線から糊化開始温度 (T_o), ピーク温度 (T_p), 糊化終了温度 (T_c) 及び吸熱エネルギー量 (△H) を求めた。

また、米粉のDSC曲線にたいする糖類の影響を調べるときには、各濃度の糖液を蒸留水の代わりに使用し、米粉3mgに対し糖液6μlを添加した。

実験結果及び考察

1. 粒度別米粉の一般分析値

各粒度別米粉の一般分析の結果を第3表に示した。粒度別の分析値では細かい粉ほど灰分、脂質、炭水化物が多く、粗い粉ほどたんばく質が多い。水分は250メッシュ以下を除いて細かい粉ほど多かった。米粒は外側ほどたんばく質含量が高く、硬度も高いので粉碎

第3表 粒度別米粉の一般分析値

粒度(メッシュ)*	水分(%)	灰分(%)	たんばく質(%)	脂質(%)	炭水化物(%)
100	12.5	0.4	7.7	0.9	78.5
115	12.5	0.4	7.5	1.0	78.6
150	12.6	0.4	7.3	1.0	78.6
170	12.6	0.4	7.1	1.2	78.7
200	12.7	0.4	6.7	1.2	79.0
250	12.7	0.4	6.7	1.3	78.9
250以下	12.4	0.6	6.1	1.6	79.3
原米粉	12.5	0.5	6.9	1.2	78.9

*第1表に同じ

されにくく粗い粉となり、中心部分はたんぱく質が少なく柔らかいため細かい粉の区分にあると思われる。

2. アミログラム特性値

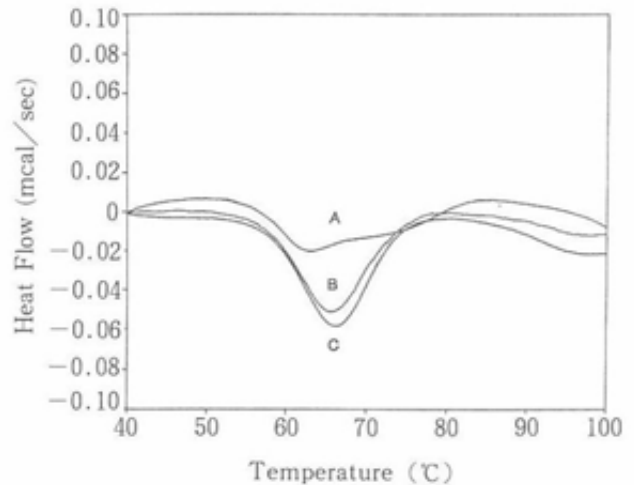
各粒度別の米粉のアミログラム特性値を第4表に示した。粒度の小さい米粉ほど糊化開始温度、最高粘度時の温度が低く、また最高粘度は高かった。これは細かい粉ほど膨潤、糊化が容易であり、逆に、粗い粉は膨潤、糊化が遅いことを示している。このことはアミログラフィ終了後の米粉の状態が250メッシュよりも小さい粒度の粉ではほとんど粒の形はなくなり団子生地状になっていたのに対して115メッシュ以上の粉では膨潤した粒の状態であったことから理解できる。粒度の大きな粉はたんぱく質含量が高く、糊化には粒子の大きさ以外に、たんぱく質含量も影響しているものと思われる。

3. 米粉のDSC

3.1 DSC測定の水加条件の検討

DSC測定時の米粉への加水量の影響を調べるため、100メッシュ、170メッシュ及び250メッシュ以下の米粉について、米粉の重量に対し1、2、3倍の水加条

件でDSC測定を行った。結果を第5表及び第1図に示した。加水比率1倍のDSC曲線はきれいな曲線を示さなかった。これに対して、2、3倍の水加比率ではき



第1図 加水比率の異なる米粉のDSC曲線

A 米粉：水＝1：1

B 米粉：水＝1：2

C 米粉：水＝1：3

第4表 粒度別米粉のアミログラム特性値

		米 粉 粒 度 (メッシュ)							
		100	115	150	170	200	250	250以下	原米粉
糊化開始温度	(°C)	67.0	66.0	65.0	64.5	64.0	62.5	62.0	64.0
最高粘度時温度	(°C)	95.0	94.6	93.8	93.2	92.5	92.0	91.4	91.2
粘度	(BU)	554	542	553	569	588	584	583	558
95°C粘度	(BU)	554	540	540	538	521	510	492	502
95°C, 10分後粘度	(BU)	328	329	328	332	326	322	300	316
最低粘度時温度	(°C)	86.5	90.0	90.5	92.2	92.0	91.3	90.0	92.0
粘度	(BU)	318	321	320	328	318	318	292	308
50°C冷却時粘度	(BU)	590	602	604	626	626	632	608	608

第5表 DSC熱曲線に及ぼす米粉と水の比率の影響

米粉粒度 (メッシュ)	加水比率 (米粉：水)	変位温度 (°C)				吸熱エネルギー ΔH (cal/g)
		T _o	T _p	T _c	T _c - T _o	
100	1：1	57.2	63.9	83.9	26.7	1.93
	1：2	57.8	65.7	73.5	15.7	2.19
	1：3	58.3	66.5	74.4	16.1	2.27
170	1：1	56.1	63.5	82.7	26.6	1.75
	1：2	56.6	65.5	73.5	16.9	2.56
	1：3	57.1	65.5	73.2	16.1	2.17
250以下	1：1	55.4	64.1	81.3	25.9	1.66
	1：2	55.1	64.3	73.1	18.0	2.28
	1：3	56.0	64.9	73.0	17.0	2.11

T_o：糊化開始温度

T_p：ピーク温度

T_c：糊化終了温度

れいなDSC曲線となった。加水量が多くなると糊化開始温度、ピーク温度は高くなる傾向にあり、糊化終了温度は逆の傾向を示したが、特に加水比率1倍と2, 3倍との差が大きかった。また、糊化の開始と終了の温度差も1倍が非常に大きく2, 3倍が小さくてよく似た値となっている。これらの結果から加水比率は2倍とした。

3. 2 粒度別米粉のDSC

各粒度の米粉のDSC測定結果を第6表に示した。糊化開始温度、ピーク温度、糊化終了温度とも粒度が粗いほど高い値を示し、アミログラフの測定結果と同様の傾向を示した。粒度間の差は特に糊化開始温度に顕著に見られ100メッシュと250メッシュ以下の米粉の間には2.3℃の差がみられた。原米粉の糊化開始温度は56.4℃で200メッシュの米粉と同じ値であった。アミログラフィの糊化開始温度においても原米粉と200メッシュの米粉とが同じ値であり、興味深い結果といえる。糊化の開始と終了の温度差は細かい粉の方が大きかった。また吸熱エネルギーは各米粉間の差は小さかったが170メッシュが一番大きく、これから粒度が粗くなっても細くなっても値が小さくなった。データの再現性を標準偏差で見ると、糊化開始温度、ピーク温度について標準偏差が一番大きいのが糊化開始温度における0.45で平均値56.6℃の0.8%であり再現性の高いデータが得られたと考えられる。

Marshall¹⁾は6~66%表面を研磨除去した米のDSC及び53~1,400 μ mの間で粒子径を8段階に分けた米粉のDSCを測定し、研磨度が大きくなると糊化開始温度が低くなること、また、米粉の粒子径が小さいほど T_0 、 T_p 、 T_c 、 ΔH が小さくなることを報告し、たんばく質、脂質を多く含む米粒の表面部分がでん粉の

糊化を遅くしている。また、250 μ m以下で ΔH が大きく低下するのは損傷でん粉の増加によると考察している。本研究においても粒度の大きい米粉はたんばく質含量が高く、DSCの糊化開始温度も高いという結果が得られていて、糊化に対したんばく質が影響しているものと推察される。また、 ΔH は粒度による変化はなく、製粉方式、測定方法などを比較検討する必要があると思われる。

4. 米粉のDSCに及ぼす糖類の影響

米粉の糊化に及ぼす糖類の影響を調べるために米粉に10, 20, 30, 40, 50%の濃度の糖液を加えてDSCを行った。

4. 1 米粉に糖液を加えてからの測定までの放置時間の影響

蒸留水の代わりに糖液を米粉に添加すると、米粉への糖液の浸透が水よりも遅いためDSCの測定値に影響が現れると思われた。そこで50%シュクロース溶液を用い、測定容器に米粉と糖液を入れシールした後の放置時間の影響を調べた。100メッシュ、170メッシュ、250メッシュ以下の3種の米粉について行った結果を第7表に示した。放置時間とDSC特性値にはあまり規則性がなく、また、放置時間の違いによる温度差もあまり見られないため、放置時間の影響は少ないと考えられた。従って以後の実験は米粉と糖液を容器に入れシールした後、ただちに測定を開始した。

4. 2 米粉のDSC物性値に及ぼすシュクロース濃度の影響

濃度10, 20, 30, 40, 50%のシュクロース溶液を100メッシュ、170メッシュ、250メッシュ以下の米粉に添加したときのDSC物性値を第8表に示した。いずれの粒度の米粉においてもシュクロース濃度の増加

第6表 粒度別米粉のDSC糊化特性値

米粉粒度 (メッシュ)	糊 化 温 度 (℃)				吸熱エネルギー ΔH (cal/g)
	T_0	T_p	T_c	$T_c - T_0$	
100	57.6(0.33)	65.9(0.28)	73.8(0.53)*	16.3(0.55)	2.20(0.21)
115	57.2(0.36)	65.7(0.26)	73.7(0.36)	16.5(0.40)	2.27(0.20)
150	56.9(0.32)	65.5(0.32)	73.5(0.42)	16.6(0.39)	2.33(0.14)
170	56.6(0.45)	65.4(0.33)	73.5(0.55)	16.9(0.32)	2.35(0.16)
200	56.2(0.22)	65.0(0.24)	73.3(0.22)	17.1(0.30)	2.27(0.17)
250	55.8(0.19)	64.9(0.21)	73.4(0.62)	17.6(0.65)	2.26(0.25)
250以下	55.3(0.18)	64.7(0.29)	73.1(0.25)	17.8(0.20)	2.11(0.17)
原米粉	56.4(0.36)	65.2(0.27)	73.6(0.52)	17.2(0.67)	2.20(0.21)

T_0 : 糊化開始温度 T_p : ピーク温度 T_c : 糊化終了温度

*: 標準偏差 (試料数11)

第7表 米粉に50%シュクロース溶液を添加し放置時間を変えたときのDSC糊化特性値

放置時間		米 粉 粒 度 (メッシュ)		
(時間)		100	170	250以下
T _o (℃)	0	81.8	80.7	79.9
	0.5	82.3	81.2	80.5
	1	81.9	81.6	79.8
	4	82.1	81.1	80.3
	24	82.5	81.8	80.4
T _F (℃)	0	89.4	89.1	88.7
	0.5	89.9	89.1	89.4
	1	89.7	89.5	89.1
	4	89.8	89.2	88.6
	24	89.9	89.4	89.0
T _c (℃)	0	97.2	98.7	97.1
	0.5	98.6	96.7	98.3
	1	98.7	97.9	98.7
	4	96.6	96.9	97.4
	24	97.3	96.9	97.4
T _c —T _o (℃)	0	15.4	18.0	17.2
	0.5	16.3	15.5	17.8
	1	16.9	16.3	18.9
	4	14.5	15.8	17.1
	24	14.8	15.1	17.0
△H (cal/g)	0	2.63	3.18	2.50
	0.5	3.54	2.59	2.56
	1	3.65	2.72	2.83
	4	2.35	2.74	2.56
	24	2.58	2.69	2.62

T_o: 糊化開始温度 T_p: ピーク温度 T_c: 糊化終了温度
ΔH: 吸熱エネルギー

第8表 米粉のDSC物性値に及ぼすシュクロース濃度の影響

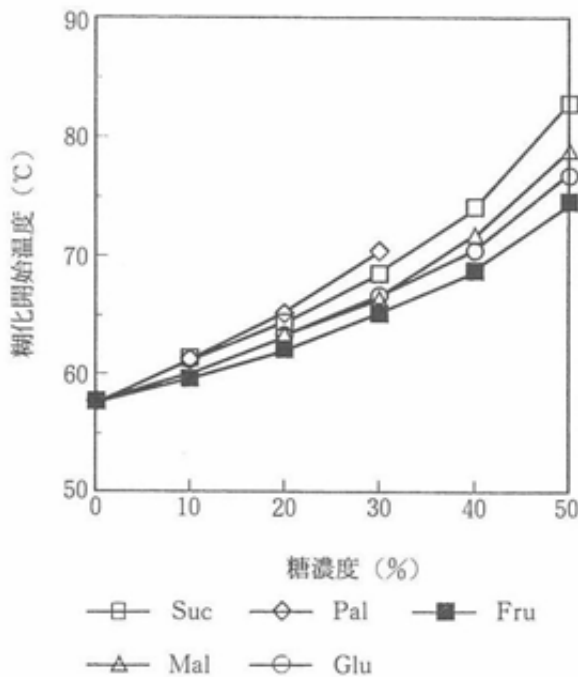
米粉粒度 (メッシュ)	糖濃度 (%)	T _o (℃)	T _p (℃)	T _c (℃)	ΔH (cal/g)
100	50	82.7	90.2	96.7	2.37
	40	74.1	81.9	90.6	2.80
	30	68.4	76.8	85.0	2.26
	20	64.3	72.2	80.6	2.41
	10	61.3	69.0	77.7	2.33
	0	57.6	65.9	73.8	2.24
170	50	81.6	89.9	98.9	2.94
	40	73.1	81.6	90.5	2.82
	30	68.0	76.1	84.6	2.46
	20	63.6	71.9	80.3	2.18
	10	59.9	68.2	76.7	2.26
	0	56.6	65.4	73.5	2.35
250以下	50	81.0	89.5	98.0	2.35
	40	72.2	81.3	90.7	2.74
	30	66.6	75.6	84.9	2.33
	20	62.2	71.2	80.2	2.08
	10	58.7	67.9	79.6	2.00
	0	55.3	64.7	73.1	2.11

T_o: 糊化開始温度 T_p: ピーク温度 T_c: 糊化終了温度
ΔH: 吸熱エネルギー

につれて糊化開始温度、ピーク温度、糊化終了温度が高くなる。糖濃度と糊化開始温度の関係をみると糖濃度10%と20%の糊化開始温度の温度差より、40%と50%の間の温度差の方が遥かに大きく、糖濃度が高いほど糊化開始温度を高くする作用が大きいことが認められた。米粉の粒度の影響を見ると糊化開始温度、ピーク温度は粗い米粉の方が高いが、糖濃度が高くなるにつれて粒度間の差が小さくなることが認められた。

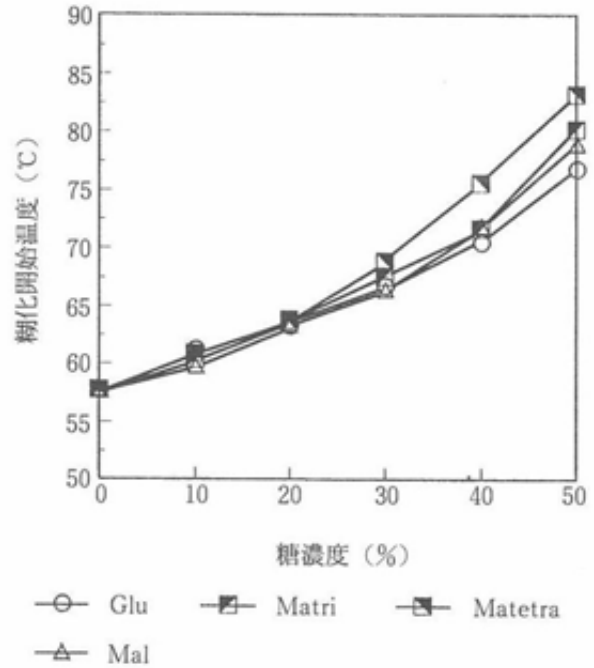
4. 3 米粉のDSC物性値に及ぼす糖類の影響

粒度100メッシュの米粉について0～50%濃度の糖類（パラチノースは30%まで、ラフィノースは10%のみ）を添加したときの糊化開始温度の変化を第2～6図に示した。糖の種類によって糊化開始温度に及ぼす影響が異なることが認められた。第2図に単糖類、二糖類の添加結果を示した。糖濃度50%の時の値を比較するとシュクロースが一番高く、次いでマルトース、グルコース、フラクトースの順であった。また、糖濃度30%のときにはパラチノースが他の糖よりも高い値を示した。第3図にグルコースの重合度と糊化開始温度の関係を示した。グルコース、マルトース、マルトトリオース、マルトテトラオースの順に糊化開始温度が高く、重合度が大きいほど米粉の糊化開始温度を高めることが認められた。第4図に糖と糖アルコールの影響を比較した結果を示した。グルコースとソル

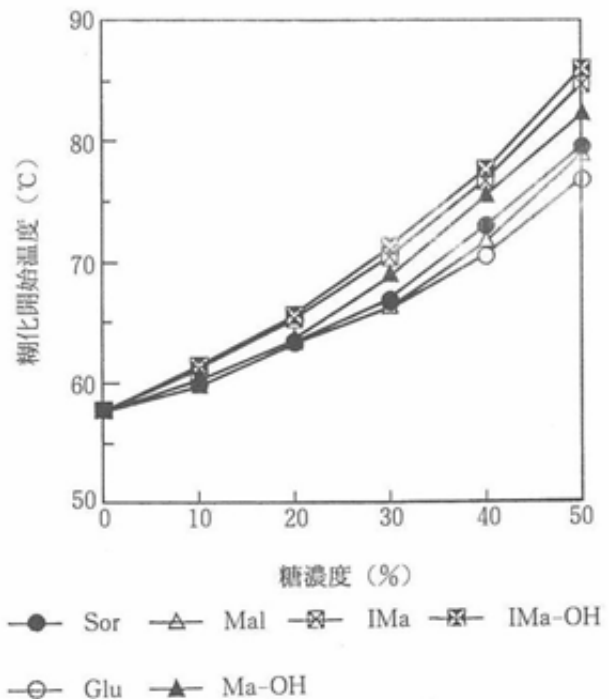


第2図 単糖類、二糖類の糊化開始温度に及ぼす影響

ビトール、マルトースとマルチトール、イソマルトースとイソマルチトールを比較すると、いずれも糖アルコールの方が糊化開始温度を高めることが認められ、糖濃度50%のときグルコースとソルビトールでは2.7

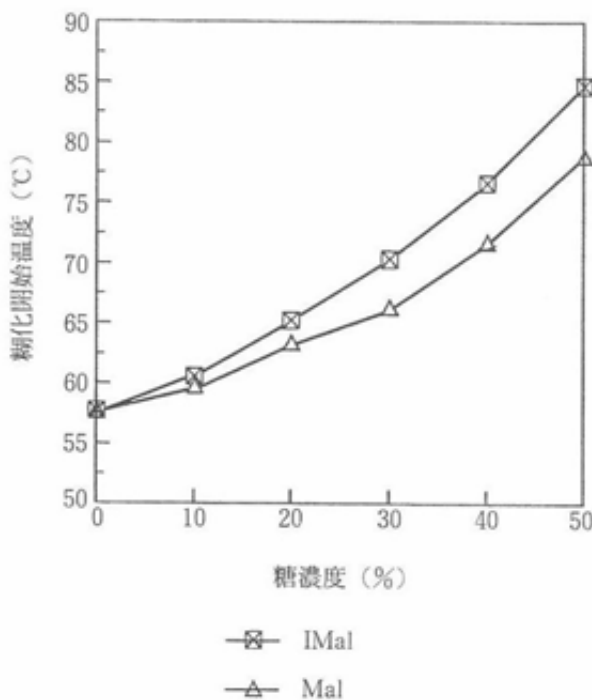


第3図 グルコースの重合度の糊化開始温度への影響



第4図 糖と糖アルコールの糊化開始温度への影響の比較

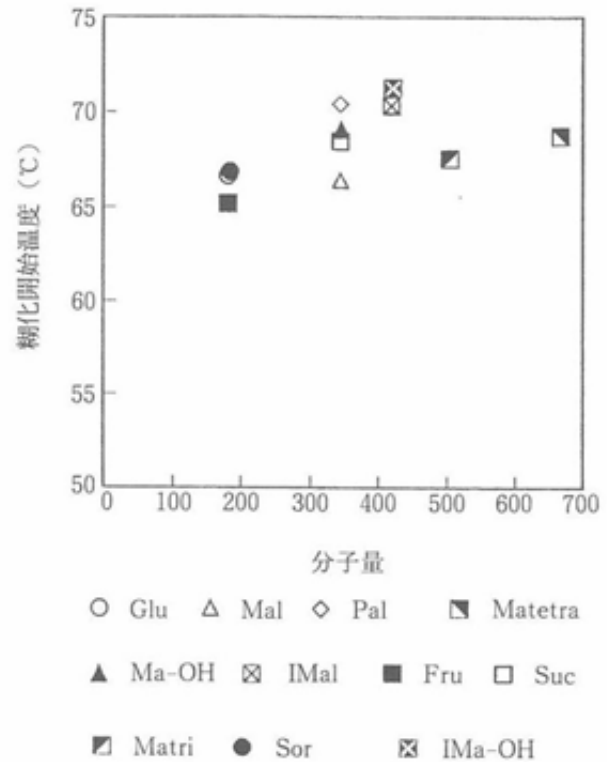
で、マルトースとマルチトールでは3.5℃の差がみられた。長谷ら⁵⁾は糖及び糖アルコールのでん粉の糊化に及ぼす影響を調べ、糖濃度20%におけるアミログラフィーの糊化開始温度はグルコースとソルビトールの間にはばれいしょでん粉では0.5℃、とうもろこしでん粉では差がなく、糊化開始温度への影響は少ないと報告している。アミログラフィーはでん粉の粘性抵抗の変化を調べるもので糊化開始への影響を調べるには無理があると考えられる。第5図にマルトースとイソマルトースの糊化開始温度を比較した結果を示した。



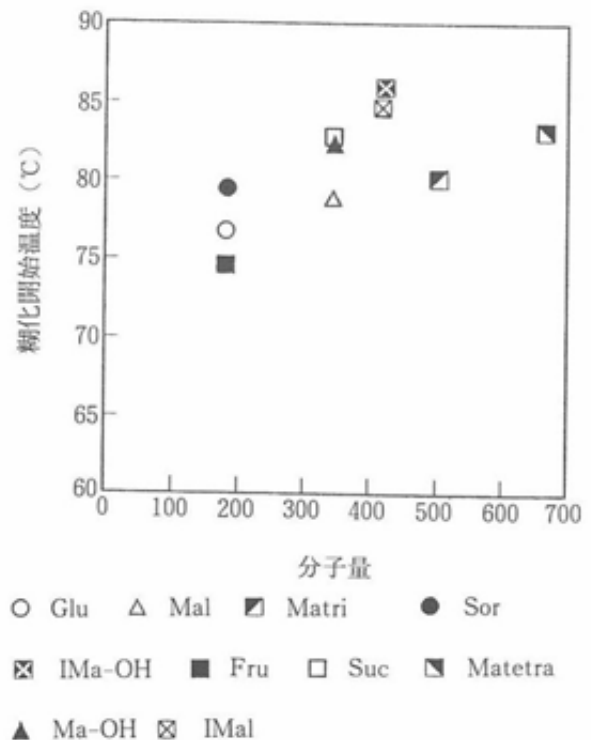
第5図 グルコースの結合様式の糊化開始温度への影響

α -1, 4結合のマルトースよりも α -1, 6結合のイソマルトースのほうが糊化開始温度を高くすることが認められた。本実験に使用したイソマルトースは約30%がイソマルトース、10%がコージビオース、約30%がG₃以上の分岐糖という糖組成を有していて、イソマルトースだけの影響ではないにしても、80%以上が α -1, 4結合以外の糖であるところから、結合様式が糊化開始温度に関係することを示している。第6図、第7図は糖濃度30%、50%のときの糖の分子量と米粉の糊化開始温度の関係を示したものである。いずれも、糖の分子量が大きくなると米粉の糊化開始温度が高くなる。また、フラクトースを除いてグルコースだけの直鎖結合の系列と比べて分岐糖、糖アルコール、あるいはグルコースと他の糖が結合した糖はいず

れも糊化開始温度を高くすることを明瞭に示している。図には示していないが、三糖類のラフィノースにおいても濃度10%のときの糊化開始温度はマルトリ



第6図 糖の分子量と糊化開始温度の関係 (糖濃度30%)



第7図 糖の分子量と糊化開始温度の関係 (糖濃度50%)

オースよりも1.3℃高いことが認められ、グルコース以外の糖の結合の影響があらわれている。

でん粉の糊化にたいする糖類の影響についてJohnsonら³⁾はコーンスターチについてでん粉：糖：水＝1：3：2の条件でDSCを行い、糊化開始温度がシュクロース＞マルトース＞グルコース＞フラクトースの順であることを報告している。この測定は糖濃度が60%と高く、測定前には糖は完全に溶解していないと思われるが、本研究の結果と同じ傾向を示している。

また、Spiesら²⁾は小麦粉を用いて、澱粉の偏光が50%消失する温度を糊化温度として各種糖の影響を調べている。そしてマルトース(α -1, 4結合)よりもゲンチオビオース(β -1, 6結合)の方が糊化温度が高く、結合様式によって糊化を遅らせる性質が異なること、糊化温度はゲンチオビオース＞シュクロース＞マルトトリオース＞マルトース＞グルコースの順に高く、また、糖液中の結合水量の増加と共に糊化温度も上昇し、糖液のAwが低いほど糊化温度は上昇するが、同じAwでも分子量の大きい糖の方が小さいものよりも糊化を遅らせると報告している。

本研究では米粉を用いているが糖の結合様式(本報では α -1, 4と α -1, 6)、糖濃度、分子量の糊化への影響は同じ傾向であった。

以上の実験結果はいろいろの製造時の蒸し時間に米粉の種類、糖の種類と濃度が大きく影響することを示唆するものである。

要 約

米粉の糊化・膨潤に対する米粉の粒度及び糖類の影響についてDSCを用いて検討した。

- 1) 米粉の一般成分を粒度別にみると細粒粉ほど灰分、脂肪、炭水化物が多く、粗粒粉ほどたんぱく質が多かった。水分は250メッシュ以下の米粉を除いて細粒粉ほど多い傾向にあった。
- 2) 各粒度別の米粉のアミログラム特性値は粒径の小さい米粉ほど糊化開始温度、最高粘度時の温度が低

く最高粘度は高かった。

- 3) 各粒度の米粉のDSC測定結果は糊化開始温度、ピーク温度、糊化終了温度とも粒度が粗いほど高い値を示した。吸熱エネルギーは170メッシュの米粉が一番大きかった。
- 4) 米粉のDSCに及ぼすシュクロース濃度の影響はシュクロース濃度が高くなるほど糊化開始温度等の特性値が高くなった。米粉の粒度の影響は糊化開始温度、ピーク温度は粒度が大きいほど高いが、糖濃度が高くなると粒度間の差は小さくなった。
- 5) 各種糖類の米粉のDSC糊化開始温度に及ぼす影響は次のとおりであった。
 - (1) いずれの糖においても糖濃度が高くなると糊化開始温度も高くなった。
 - (2) 単糖、二糖ではフラクトース、グルコース、マルトース、シュクロースの順に糊化開始温度を高めた。
 - (3) 糖の重合度が大きいほど、また、重合度が同じ糖ではグルコースのみの糖よりグルコースに他の糖が結合した糖の方が糊化開始温度を高めた。
 - (4) 糖と糖アルコールを比較すると糖アルコールの方が糊化開始温度を高めた。
 - (5) 糖の結合様式が糊化開始温度に影響することが認められた。

文 献

- 1) W.E. Marshall: Cereal Chem., 69, 632~639 (1992)
- 2) R.D. Spies and R.C. Hoseney: Cereal Chem., 59, 128~131 (1982)
- 3) J.M. Johnson, E.A. Davis and J. Jordan: Cereal Chem., 67, 286~291 (1990)
- 4) 永原太郎, 岩尾裕之, 久保彰治: 全訂食品分析法, 柴田書店 (1979)
- 5) 長谷 幸, 川村 潮, 安井 健: 食総研報, 38, 73~84 (1981)