

澱粉の加熱処理並びに糊化後の貯蔵温度が消化に及ぼす影響

綾 野 雄 幸

(農産製造学研究室)

Yūkō AYANO: The Effects of Heating Process and Storage Temperature on the Enzymatic Digestibility of the Gelatinized Starch

緒 言

澱粉質を食用として利用する場合、澱粉は必ず加熱して α 化せしめ、消化しやすい形態にして摂取する。しかし一度ミセルが崩壊して α 化した澱粉は放置条件によっては再び生澱粉と同じ構造に復帰する。すなわち老化現象を起して消化が悪くなる。

澱粉の老化機構に関しては内外で数多くの研究がなされているが、著者らは澱粉質を添加した食品を調理した場合、その澱粉が消化の面からみて如何なる意義を有するか、その研究の一部として、局方ジャスターゼによる人工消化試験を主体にして、糊化した澱粉と消化との関係を調べた。すなわち澱粉糊化の際の加熱温度ならびに加熱時間が消化に如何なる影響を及ぼすか、糊化した澱粉が貯蔵温度によつて老化が如何に進み、消化に如何に影響するかについて実験を試みたので、以下その結果を報告する。

実 験 の 部

1. 実 験 材 料

澱粉の種類は、バレイシヨ澱粉（北海道産、精粉1等市販品）、カンシヨ澱粉（市販1等品）、コムギ澱粉（市販品）およびトウモロコシ澱粉（市販品）を用いた。

消化用の酵素剤には局方ジャスターゼ、タカジャスターゼなどが考えられるが、タカジャスターゼは寺山¹⁾も指摘している通り、酵素力については局方規定がないため、試験に供するには不統一の危険が起こることが考慮されるので、局方ジャスターゼを採用することにした。なお局方ジャスターゼは小堺製薬製のものを用いた。

2. 実 験 方 法

人工消化試験は糊化した澱粉の局方ジャスターゼ加水分解による糖生成量によつてその消化の度合を見た。測定に先立ち局方ジャスターゼの添加量の検討、さらに作用温度を37℃にした場合の作用時間の検討を行なった。

(イ) 局方ジャスターゼ添加量の検討

二国ら²⁾の文献に基いて調製したバレイシヨの α 化澱粉 200mg を各共栓目盛付試験管にとり、蒸留水を加えて 10ml に定容した区と、バレイシヨ澱粉 200mg を各共栓目盛付試験管にとり、蒸留水を加えて 10ml に定容したのち中心温度65℃で15分間加熱して糊化した区をつくり、両区にそれぞれ局方ジャスターゼが澱粉 g 当り、100mg, 200mg, 400mg, 600mg および 800mg の割合に含まれるよう局方ジャスターゼの酵素液を調製して2ml ずつ添加し、全体を 12ml にしてこれを 37℃ 恒温水槽中で 90分間 incubate した。所定時間後これを取り出し手早く N-HCl 0.4ml を加え、20ml に定容したのち、その一定量を取り Willstätter Schudel 法で生成還元糖を測定し、2%澱粉液 10ml 当りの生成グルコース量で表示した。その結果は第1表の通りである。

第1表 局方ジャスターゼ添加量と糖生成量

局方ジャスターゼ添加量 (mg/澱粉 g)	糖生成量 (グルコースmg/2% 澱粉液 10ml)	
	α 化澱粉区	バレイシヨ澱粉区*
100	76.7	64.1
200	76.1	65.3
400	76.5	65.7
600	76.9	67.9
800	77.4	66.6

*中心温度65℃, 15分加熱処理して糊化

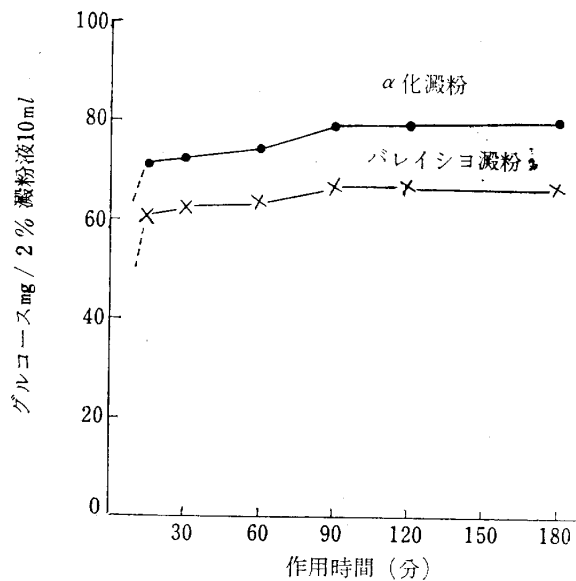
第1表より、 α 化澱粉区の糖生成量は局方ジャスターゼの添加量の差異による変化は余り見られないが、バレイシヨ澱粉区は局方ジャスターゼの添加量が多くなるにつれて糖生成量は僅かながら多くなっている。この結果から以後の実験における局方ジャスターゼの添加量は澱粉 g 当り 600mg を添加することにした。

(ロ) 局方ジャスターゼ作用時間の検討

(イ)と同様の試料について澱粉 g 当り 600mg の局方ジャスターゼを添加し、作用時間の影響を調べた。生成糖

量の測定は(イ)と同様に行なつた。その結果は第1図の通りである。

第1図 局方ジヤスターゼの作用時間と糖生成量



第1図より両区とも局方ジヤスターゼを作用させた場合、作用時間90分までは糖生成量は徐々に増加するが、それ以後はほとんど変化は認められないので、以後の実験における局方ジヤスターゼの作用時間は90分間とした。

(イ)、(ロ)の結果から酵素剤として局方ジヤスターゼを使用し、添加量は澱粉g当り600mgとし、作用時間は90分間として実験を進めた。

(ロ) 人工消化試験法

まず共栓目盛付試験管に各澱粉の2%液10mlを調製し、所定の加熱処理を施し、これを冷却後、局方ジヤスターゼを澱粉g当り600mgすなわち試験管1本に120mgずつ添加し（この場合局方ジヤスターゼを1ml中に60mgの割合で溶かして濾過した濾液2mlを使用）、37℃の恒温水槽中で90分間incubateしてから、手早くN-HCl 0.4mlを加え20mlに定容したのち、その中から一定量を取りWillstätter-Schudel法で生成還元糖を測定した。なお生成糖量は2%澱粉液10ml中のグルコース量で表示した。

3. 実験結果及び考察

(イ) 澱粉液の加熱処理温度と糖生成量

各2%澱粉液を60, 70, 80, 100および110℃の各加熱温度でそれぞれ15分間処理を施したのち、ジヤスターゼ加水分解を行なつた場合の糖生成量は第2表の通りである。なお110℃処理は沸騰水中で一旦糊化状態にしてから高圧釜に移し、所定時間加熱処理を行なつた。

第2表 加熱処理温度が糖生成量に及ぼす影響

澱粉 処理 温度℃	糖生成量 (グルコース mg/2% 澱粉液 10ml)			
	パレイシヨ	カンシヨ	トウモロシ	コムギ
60	59.4	21.6	56.6	60.3
70	66.6	59.4	60.3	63.0
80	67.5	63.9	63.0	64.7
100	69.3	66.3	65.9	67.5
110	70.2	66.6	67.5	66.9

各澱粉とも加熱処理温度が高くなるにつれ、糖生成量は僅かずつ高くなっている。しかし100℃と110℃処理の両者の間にはほとんど差が認められない。また各澱粉の糊化温度はコムギ澱粉以外は60℃以上であるが、60℃に加熱処理したもののでも相当量の糖生成量が認められる。ただしカンシヨ澱粉の場合は非常に低い糖生成量を示している。これは桜井ら³⁾の実験でも同じ結果を得ている。

(ロ) 澱粉液の加熱処理時間と糖生成量

各2%澱粉液を100℃および110℃で所定時間加熱処理を施し、ジヤスターゼ加水分解を行なつたときの加熱時間の糖生成量におよぼす影響を調べた。処理温度100℃のときの加熱時間はそれぞれ5分、15分、30分、60分および90分間行ない、110℃のときはそれぞれ15分および60分間行なつた。その結果は第3表の通りである。

第3表 加熱処理時間が糖生成量に及ぼす影響

(その1) 加熱処理温度100℃

澱粉 処理 時間(分)	糖生成量 (グルコース mg/2% 澱粉液 10ml)			
	パレイシヨ	カンシヨ	トウモロシ	コムギ
5	64.2	61.1	63.0	62.7
15	67.5	64.8	64.4	64.8
30	67.5	66.0	64.0	63.9
60	68.4	66.6	64.8	63.8
90	66.6	67.5	64.8	63.9

(その2) 加熱処理温度110℃

澱粉 処理 時間(分)	糖生成量 (グルコース mg/2% 澱粉液 10ml)			
	パレイシヨ	カンシヨ	トウモロシ	コムギ
15	—	69.4	65.1	62.6
60	66.4	67.3	61.9	61.2

加熱処理温度100℃のときは処理時間5分と15分の両者の間に差が認められるが、15分以上の加熱時間になるとほとんど変化が認められない。110℃のときは60分加熱処理したものは15分加熱処理したものより低い糖生成量を示している。このことから長時間高温での加熱で

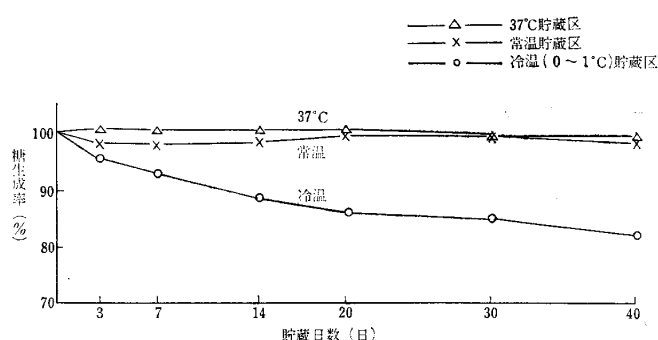
は糖生成量は幾分低下することがうかがえる。

(v) 澱粉ゲルの貯蔵温度による糖生成量の変化

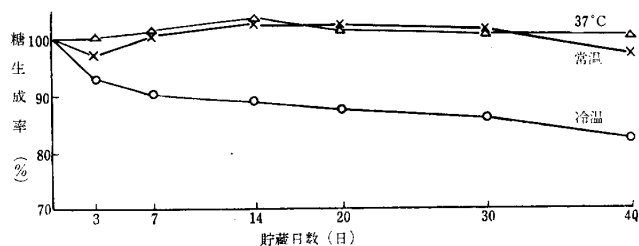
各2%澱粉液を110℃で15分間加熱処理を施したのち、これを冷温（電気冷蔵庫0～1℃）、常温（実験室内6月1日～7月10日）および37℃の恒温器中の3ヶ所に40日間貯蔵し、一定期間毎にこれを取り出し、ジヤスターゼ加水分解を行なつて糖生成量を測定し、貯蔵温度の糖生成量におよぼす影響について調べた。なお常温および37℃恒温器中に貯蔵したものは加熱後直ちに封蠟して微生物による汚染を防いだ。その結果は第2図（その

第2図 澱粉ゲルの貯蔵温度による糖生成率の変化

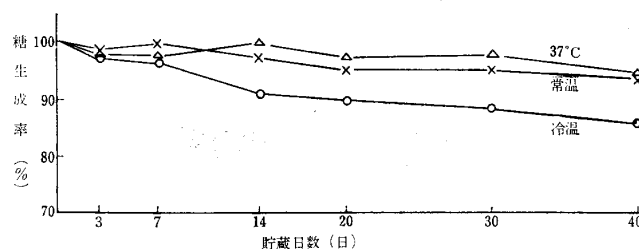
その1 バレイシヨ澱粉



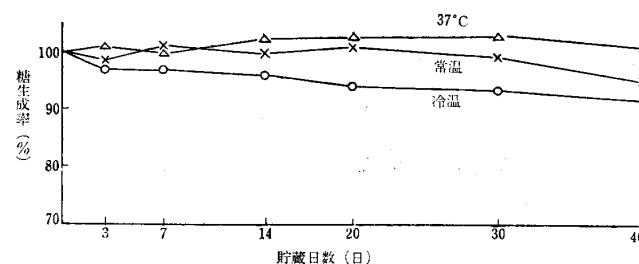
その2 カンシヨ澱粉



その3 トウモロコシ澱粉



その4 コムギ澱粉



1～4)の通りである。糖生成率は加熱直後の糖生成量を100として算出したものである。

各澱粉とも37℃貯蔵では加熱直後に比べて貯蔵による糖生成率の減少はほとんど認められず、むしろ糖生成率が100%以上になっているものもある。この事実はKalb⁴⁾が2%トウモロコシ澱粉ゲルを37℃に貯蔵した場合、老化は起らずむしろ solubilization を起したと、また Sterling⁵⁾が70℃に貯蔵した13%澱粉ゲルは室温中に貯蔵したゲルより老化の度合いが低いと報告していることから、澱粉の老化は貯蔵中に起らず、かえつて solubilization を起したためと考えられる。

常温貯蔵は実験期間中が気温の高い時期であつた関係上、37℃貯蔵とほぼ同じ傾向を示しているが、トウモロコシおよびコムギ澱粉の場合はわずかに糖生成率が低下している。

冷温貯蔵は最も澱粉の老化しやすい温度⁶⁾に保持したのであるが、各澱粉とも37℃および常温貯蔵の場合と異なり、一定の割合で糖生成率は減少を続け、特にバレイシヨおよびカンシヨ澱粉の糖生成率はかなりの減少を示している。

以上の事実より冷温に貯蔵したものは澱粉に相当の老化が進み、したがつて消化も悪くなることが考えられる。この場合澱粉ゲルの水分含量も大いに関係すると思われるが、これは以後の実験に俟ちたい。

各澱粉ゲルの貯蔵中における外観的性状は次の通りである。

バレイシヨ澱粉の冷温貯蔵では3日目すでに白濁が起り、時間の経過に伴い粘稠性を帯び、20日過ぎには凝固を来した。常温および37℃貯蔵では30日過ぎまでは透明状態を呈して加熱直後と変化なく、40日目に薄いコロイド状の白色懸濁が現われた。

カンシヨ澱粉の冷温貯蔵では3日目には白濁を生じて沈澱を来した。常温および37℃貯蔵では暗灰色の懸濁物を生じ沈澱を生じた。沈澱物は常温貯蔵より37℃貯蔵のほうが少なかった。

トウモロコシ澱粉の冷温貯蔵では3日目にはゲルの約4分の1は白濁沈澱物になり、残りは白濁状態を呈した。14日目頃より白色沈澱部の一部は横縞の入った白色の沈澱物に変化し、30日目頃になると上澄液は透明になった。常温および37℃貯蔵では3日目に白色沈澱を生じ、その上に流動性のある粘稠な沈澱物ができた。

コムギ澱粉の場合はトウモロコシ澱粉とほぼ同じような経過をたどつた。

以上、4種の澱粉に共通していることは白濁の度合いは貯蔵日数の経過に伴い大きくなり、37℃貯蔵より常温貯蔵のほうが大きく、さらに冷温貯蔵のほうが大きいこと

が観察された。

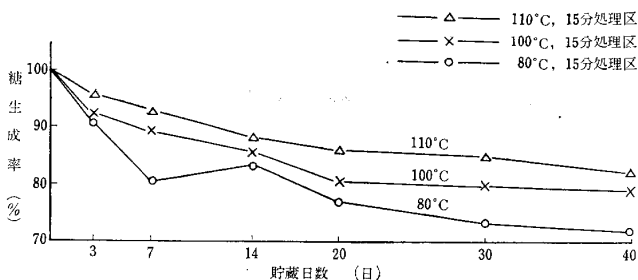
(二) 加熱処理温度を異にする澱粉ゲルの冷温貯蔵中における糖生成量の変化

(イ)の実験より冷温貯蔵は澱粉の老化を促進することがわかったので、つぎに各澱粉の2%液をそれぞれ80, 100および110℃にて15分間加熱処理して澱粉ゲルをつくり、これを冷温中に40日間貯蔵して一定期間毎に取り出し、ジャスターゼ加水分解を行なつて糖生成量を測定し、加熱処理温度の相違が糖生成量におよぼす影響について調べた。その結果は第3図(その1~4)の通りである。

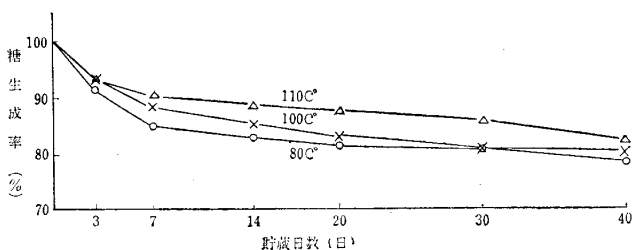
バレイショ澱粉は各処理温度による糖生成率の差が大きく、澱粉ゲル生成時の各加熱処理温度により糖生成率の開きが克明に現われている。カンショ澱粉は各処理温度により糖生成率の差は余りなく、80℃および100℃加熱処理では両者ほとんど一致し、110℃加熱処理のみわずかに高い糖生成率を示している。トウモロコシ澱粉は3者ほとんど糖生成率に差がなく、とくに80℃および100℃加熱処理においては全く一致した傾向を示している。コムギ澱粉もトウモロコシ澱粉と同じく3者の間に顕著な開きはなく、110℃加熱処理のものがわずかに高い糖生成率を示している。この場合80℃加熱処理のものが100℃加熱処理のものより僅少の差で糖生成率が高くなっている。各澱粉に共通していえることは澱粉ゲル生成の際の加熱処理温度が高いほど、冷温貯蔵による糖生

第3図 加熱処理温度を異にする澱粉ゲルの冷温貯蔵中における糖生成率の変化

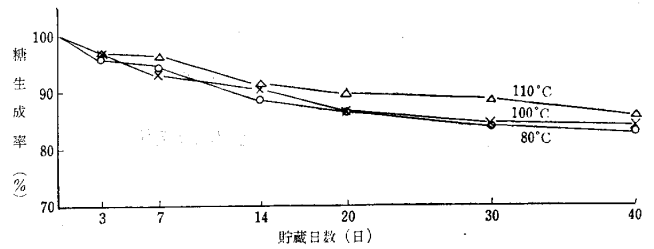
その1 バレイショ澱粉



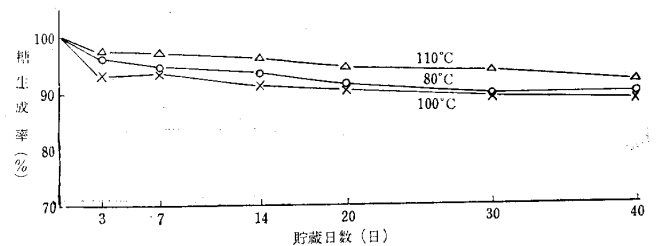
その2 カンショ澱粉



その3 トウモロコシ澱粉



その4 コムギ澱粉

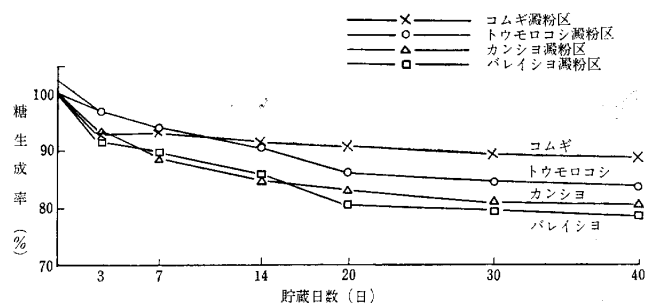


成量は高くなっていることである。すなわち老化が進みにくいことを示している。

Maquenne⁷⁾は120℃で糊化したバレイショ澱粉の老化は110℃で糊化したものより進みにくく、110℃で糊化した澱粉は100℃で糊化したものより老化度が少ないことを報告している。また Kalb⁴⁾はトウモロコシ澱粉を80, 90, 100, 110および127℃の各温度で糊化した場合、80℃で糊化した澱粉は最も大きな老化度を示し、127℃で糊化した澱粉は最も小さく、中間の温度で糊化した澱粉はその中間の老化度を示したと報告しているが、これらの結果と一致する。

次に100℃で15分間加熱処理を施した各澱粉ゲルの冷温貯蔵中における糖生成率の変化を比較すると、第4図の通りである。

第4図 各種澱粉ゲル(100℃, 15分処理)の冷温貯蔵中における糖生成率の変化



第4図より冷温貯蔵40日目の糖生成率はバレイショ澱粉が78%で最も低く、続いてカンショ澱粉の80%、トウモロコシ澱粉が84%でわずかに高く、コムギ澱粉は88%

と最も高い値を示している。このことよりバレイシヨやカンシヨの地下澱粉はトウモロコシやコムギの地上澱粉より老化が進みやすいことが認められる。この事実は木原⁸⁾がコメやムギなどの地上澱粉はイモなどの地下澱粉に比して、ジャスターゼで消化されやすいと報告しているのと一致する。

要 約

市販澱粉4種（バレイシヨ、カンシヨ、トウモロコシおよびコムギ）を用い、澱粉糊化の際の加熱処理（温度・時間）ならびに糊化後の貯蔵温度が澱粉の消化に如何に影響するかについて、局方ジャスターゼによる人工消化試験を行なった。

(1) 加熱時間を一定にして、60～110℃の各段階で糊化处理した澱粉ゲルの酵素消化による糖生成量は、糊化温度が高いものほど増加した。しかし100℃と110℃処理の両者の間ではほとんど差がなかった。

(2) 糊化温度を100℃にして処理した場合、処理時間が15分以上になると酵素消化による糖生成量の差はほとんどなかった。しかし110℃に処理したものは処理時間が長くなると糖生成量は低下した。

(3) 110℃で糊化した澱粉ゲルを37℃に貯蔵した場合、各澱粉の消化性は全貯蔵期間（40日間）を通じてほとんど一定であつたが、0～1℃に貯蔵したものは貯蔵によつて低下した。

(4) 80, 100 および 110℃の各温度で糊化した澱粉ゲルを0～1℃に貯蔵した場合、糊化温度の低いものほど消化性は低下した。

(5) 100℃で糊化した各澱粉ゲルを0～1℃に貯蔵した場合、バレイシヨおよびカンシヨ澱粉はトウモロコシおよびコムギ澱粉より消化性は低下した。

本実験は石田典生君の助力に負うところが多い。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) 寺山, 管山: 衛生試報, 68, 17 (1950)
- 2) 二国, 不破, 辰巳: 日本農化誌, 23, 90 (1949)
- 3) 桜井, 増原, 渡辺, 早川: 食糧研究所報告, 5, 41 (1951)
- 4) A.J. Kalb, C. Sterling: J. Food Sci., 26, 587 (1960)
- 5) C. Sterling: Stärke, 12, 78 (1960)
- 6) 左右田, 江上: 多糖類化学P171 (共立出版)
- 7) L. Maquenne: Ann. chim. et phys. VIII, 2, 109 (1904)
- 8) 木原, 川瀬: 食糧研究所報告, 2, 25 (1949)

Summary

In order to clarify the enzymatic digestibility of the gelatinized starch by jastase (Japan pharmacopoeia) in Vitro, the effects of heating process (temperature and time) on the gelatinization of starch solution and storage temperature of starch gels after gelatinization, were examined. In this experiment, commercial starch of four species (potato, sweet potato, corn and wheat) were employed. The results are as follows:

(1) When the starch gels were prepared at a series of gelatinization temperature (60～110℃) at the constant heating time, the contents of glucose, produced by enzymatic digestion of them, were increased as the temperature of gelatinization was elevated, but they were almost constant between the temperature degree from 100 to 110℃

(2) In the case of employing the fixed gelatinization temperature at 100℃, the difference of glucose amounts, produced by enzymatic digestion, were negligible at the heating time more than 15 minutes. However, at the gelatinization temperature of 110℃, the contents of glucose were declined according as prolonged processing time.

(3) Starch gels were prepared at a series of storage temperature (37℃, room temperature and 0～1℃) after gelatinization at 110℃. At 37℃ storage, the relative rates of enzymatic digestibility of each starch gels were almost constant, during all the period of storage. At 0～1℃ storage, enzymatic digestibility of them were lowered with storage time.

(4) Starch gels were prepared at a series of gelatinization temperature (80, 100 and 110℃) and stored at 0～1℃. The relative rates of enzymatic digestibility were lowered in proportion to the lowered degree of gelatinization temperature.

(5) When, after gelatinization at 100℃, the starch gels were stored at 0～1℃, the relative rates of enzymatic digestibility of potato and sweet potato starch were lowered as compared with those in corn and wheat starch.