

## 加熱에 의한 고구마의 糖의 變化

李 恩 熙, 安 承 堯

서울대학교 家政大學 食品營養學科

(1981년 12월 18일 수리)

### Studies on the Change of Sugars in Sweet Potatoes on Heating

Eun-Hee Rhee and Seung-Yo Ahn

Dept. of Food and Nutrition, College of Home Economics,  
Seoul National University, Seoul, Korea

#### Abstract

A study was conducted on the conversion of starch in sweet potatoes to sugar by the amylolytic enzymes during baking. Sugars were extracted with ethanol from the raw and baked sweet potatoes at the temperature of 55~57, 70~75, and 90~95°C. The individual sugars in the extracts was identified by thin-layer chromatography and the individual sugar content was determined by high performance liquid chromatographic analysis.

Sugars identified from the raw and baked sweet potatoes at the temperature of 55~57°C are glucose, fructose, and sucrose. Sucrose, maltose, glucose, and fructose were identified in the baked sweet potatoes at the temperature of 70~75 and 90~95°C.

There was no significant increase in glucose, fructose and sucrose content during baking. Maltose was formed only above the gelatinization temperature.

#### 緒 論

加熱에 의한 두드러진 고구마의 成分變化는 澱粉의 糖化로서 이에 대한 많은 研究가 보고되어 있다.<sup>1,14)</sup> 고구마에는 品種에 따라 다르지만 대개 18~25%의 澱粉이 함유되어 있는데 전분은 가열되는 동안 조직 내부에서 maltose와 dextrin으로 전환된다.<sup>2)</sup> Gore<sup>1)</sup>는 고구마를 60~100°C의 온도 범위내에서 서서히 가열할 때 상당량의 澱粉이 可溶化되며 이는 고구마내의 活性 diastase에

의한다고 하였다.

Sistrunk<sup>4)</sup>는 고구마를 가열할 때 maltose 만이 생성되었다고 하였고 Hoover와 Harmon<sup>8)</sup>도 고구마 flakes를 제조할 때 생성되는 糖은 maltose 뿐이라고 보고하였다. 그리고 Hoover<sup>1)</sup>는 고구마중의 澱粉은 그 糊化溫度 이상으로 가열되어야만 maltose와 dextrin으로 轉換된다고 하였다. 고구마를 加熱할 때 澱粉의 加水分解는 조직중에 주로 存在하는 amylolytic enzyme인  $\beta$ -amylase의 作用에 의하여 일어난다고 보고되어 있다.<sup>1,10,11)</sup> 그러나 일부에서는  $\alpha$ -amylase의 作用에 의한 것이

라고 보고된 바 있다.<sup>7,12-14)</sup>

본 연구에서는 加熱溫度를 달리하여 고구마 澱粉으로부터 maltose의 生成量을 비롯하여 glucose, fructose, 및 sucrose 들의 含量變動을 thin layer chromatography 및 high performance liquid chromatography를 사용하여 조사하였다.

### 材料 및 方法

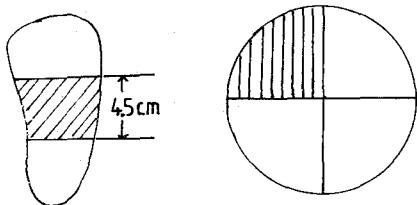
#### 1. 實驗材料

본 實驗에서 사용한 試料는 1981년도 철원產의 크기가 비슷하고 약 400g정도 되는 “충승 100호” 品種 고구마로서 수확 1日 後에 물로 씻은 다음 陰乾하여 사용하였다.

#### 2. 試料의 採取 및 加熱處理

Fig. 1 과 같이 고구마의 중간 部位에서 4.5cm 길이로 절취하여 이것을 다시 4등분하였으며 각 切片은 수분의 손실을 막기 위하여 알미늄 foil로 싸았다. 그리고 한 切片은 生으로 對照로서 남겨두고 나머지 세개의 切片에는 thermocouple을 꽂아 오븐 내에서 가열하였다.

各 切片의 中心溫度는 sensor indicator(Comark)를 사용하여 오븐 밖에서 측정하였으며 切片의 중심온도가 각각 55~57°C, 58~64°C, 70~75°C 및 90~95°C에 이르렀을 때 해당 온도에서 10분간 유지시켰다.



Vertical cutting                      Cross sectional cutting

Fig. 1. Preparation of sample

#### 3. 糖의 抽出

加熱된 고구마 切片중 thermocouple이 위치한 주위 1cm를 除外하고 모두 잘게 썰었다. 이중 10g 정도를 採取하여 끓는 무수 ethanol 50ml와 함께 homogenizer 로 15분간 마쇄하였다. 마쇄물을 250ml flask에 옮긴 後 80% ethanol 50ml를 더 넣고 냉각기를 부착하여 80°C 恒溫水槽에서 3시간 역류시켰다. Flask 내용물을 식힌 後 buchner

funnel로 흡입여과하여 100ml로 定容하였다.<sup>15)</sup>

#### 4. Thin layer chromatography (TLC)에 의한 糖의 확인

糖抽出液 30ml를 분액깔대기에 옮기고 petroleum ether 20ml와 함께 혼든 後 방치하여 분리시켰다. Ethanol 층으로부터 10ml를 取하여 50°C에서 減壓증발시켜 殘渣를 물 4ml에 녹였다.

이와같이 造製한 試料와 0.5% 既知糖용액을 TLC板에 나란히 도부한 後 ethyl acetate: methanol: acetic acid: water 60 : 15 : 15 : 10, (V/V)로 혼합한 전개용매로 2번 반복 전개하였다.<sup>16)</sup>

糖을 전개시킨 TLC板은 乾燥시켜 발색제를 분무한 後, 이를 風乾하고, 120°C 건조기에서 10분간 가열하였다.

발색제는 diphenylamine 1g 과 aniline 1ml 를 acetone 100ml에 녹인 後 사용직전에 이 용액 10 ml와 85% phosphoric acid 1ml를 混合하여 造製하였다.<sup>17)</sup>

#### 5. High performance liquid chromatography (HPLC)에 의한 糖의 定量

糖抽出液중 30ml를 取하여 petroleum ether 20 ml와 함께 흔들어 탈지한 後 ethanol 층에서 10 ml를 取하여 50°C에서 減壓下에 용매를 증발시켰다. 殘渣를 증류수 4ml에 녹여 0.5µm membrane filter에 여과시킨 後 ultrasonicator로 5분간 脫氣시켜 이중 40µl를 HPLC 장치에 주입시켰다. HPLC는 다음 조건에서 실시하였다.<sup>18)</sup>

Model: Waters Associates Model 244 (U.S.A.)

Column: µ Bondapack/carbohydrate column (42mm I.D.×30cm)

Solvent system: Acetonitrile: Water 84 : 16, (V/V)

Chart speed: 0.75cm/min

Flow rate: 3ml/min

Detector: RI detector

(Differential refractometer detector)

시료중의 個別糖의 定量은 표준 chromatogram 의 peak 면적과 비교하여 구하였으며 환원당과 총당은 個別糖의 sum으로 구하였다.

표준 chromatogram은 既知濃度 용액으로 순수한 glucose, fructose, sucrose 및 maltose를 각각 5mg/ml의 濃度로 造製하여 이중 40µl를 HPLC 장치에 주입하여 얻었다.

9. 고구마 澱粉의 分離

Waring blender에 고구마 100g, 증류수 250ml 와 0.2% NaOH 용액 250ml 를 넣은 다음 5분간 마쇄하고, 100과 270 mesh sieve로 계속적으로 걸러 殘渣를 제거한 後, 냉장고에 하루밤 방치하여 澱粉을 침전시켰다. 상등액을 제거하고 침전물에 0.2% NaOH 용액을 가한 後 다시 하루 방치하였다. 상등액을 제거하고 세척액이 中性이 될 때까지 물로 세척하였다. 얻어진 澱粉은 실온에서 2일간 風乾한 後 마쇄하여 100 mesh sieve로 쳐서 澱粉試料로 사용하였다.<sup>19)</sup>

7. 고구마 澱粉의 糊化溫度 측정

造製한 고구마 澱粉 0.2g을 증류수 100ml에 현탁시켰다. 현탁액을 5ml 씩 시험관에 取하여 恒溫水槽에서 30, 50, 60, 65, 68, 73 및 98°C로 5분간 가열 後 spectrophotometer로 625nm에서 투광도를 측정하여 糊化溫度를 구하였다.<sup>19)</sup>

8. 粗 amylolytic 酵素活性도의 測定

생 고구마 50g에 증류수 100ml를 넣고 homogenizer로 15분간 마쇄한 후 원심분리시켜 여과하였다. 可溶性 澱粉 1g을 sodium acetate buffer (pH 4.8, 0.01M)에 현탁시켰다. 각 시험관에 전분 현탁액 5ml와 효소 抽出液 2ml를 넣은 後 각각 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90°C의 恒溫水槽에서 흔들면서 10분 加熱 유지시켰다. 이것들을 곧 끓는 물에 넣어 효소를 不活性化시켰다.

이 용액들과 抽出한 효소액을 TLC板에 나란히 塗附하여 전개시킨 後 발색시켰다. 전개용매와 발색제는 앞의 TLC 조작과 동일하다.

9. 水分 測定

생 고구마 및 55~57, 70~75, 90~95°C에서 加熱한 고구마 시료 5g 정도를 칭량병에 取하여 105°C에서 16시간 건조시켜 그 減量으로부터 水分量을 구하였다.

結果 및 考察

1. 水分含量

생 고구마 및 55~57, 70~75, 90~95°C에서 加熱한 고구마 試料의 水分含量은 72.86, 71.39, 71.48 및 72.77%로 열처리 온도와 관계없이 Table 1과 같이 거의 비슷하였다. 加熱중 수분의

손실은 0.5~1.5%로서 시료를 알미늄 foil에 싸기 때문에 증발에 의한 수분 손실이 적었다고 생각된다.

Table 1. Moisture contents of the raw and baked sweet potatoes (S.P.)

Sample	Moisture content (%)
Raw	72.86
Baked S.P. at 55~57°C	71.39
Baked S.P. at 70~75°C	71.48
Baked S.P. at 90~95°C	72.77

2. 加熱중 澱粉의 加水分解

생고구마와 55~57, 58~64, 70~75 및 90~95°C에서 加熱한 고구마에서 抽出한 糖용액을 TLC로 분리한 결과는 Fig. 2와 같다.

생 고구마에서 抽出한 糖용액에는 glucose, fructose, sucrose 만이 검출되었다. 55~57°C에서 加熱한 고구마 試料중에는 maltose가 검출되지 않았으나 70~75°C와 90~95°C에서 加熱한 고구마 시료에서는 maltose가 검출되었다.

加熱한 고구마 시료에서 maltose가 검출된 것은 澱粉이 amylolytic enzyme의 作用을 받아 加水分解되었기 때문이며, 55~57°C로 加熱한 고구마 시

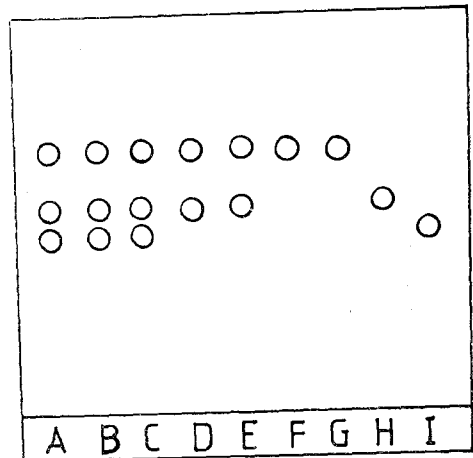


Fig. 2. Thin layer chromatogram of sugar extracts of the raw and baked sweet potatoes, solvent system, ethyl acetate: methanol: acetic acid: water=60:15:15:10 (V/V), A: 90~95°C, B: 70~75°C C: 58~64°C, D: 55~57°C, E: Raw, F: Glucose, G: Fructose, H: Sucrose, I: Maltose.

료에서 maltose가 검출되지 않은 것은 澱粉의 糊化가 아직 일어나지 않아 amyolytic enzyme의 적용을 받지 못하기 때문인 것으로 해석된다.

澱粉의 加水分解와 糊化溫度와의 관계를 조사하기 위하여 고구마 澱粉의 糊化溫度를 측정하였는데 Fig. 3에서와 같이 고구마 澱粉의 糊化는 60°C로부터 일어났다. 고구마를 가열할 때 amyolytic enzyme에 의한 전분의 가수분해는 전분의 糊化溫度이상의 온도에서만 일어난다는 사실은 Fig. 2에서 명백하게 알 수 있다. 전분의 加水分解에 의하여 生成되었다고 생각되는 maltose가 55~57°C에서는 검출되지 않았으나 58~64, 70~75 및 90~95°C에서 가열한 고구마 시료에서는 검출되었다.

고구마 澱粉의 糖化가 糊化溫度이상의 온도에서만 일어난다는 사실은 Hoover<sup>11)</sup>, Walter와 Purcel<sup>12)</sup> 등에 의하여도 보고된 바 있다.

3. 加熱溫度의 變化에 따른 糖의 變化

생 고구마 및 55~57, 70~75 및 90~95°C에서 加熱한 고구마 試料에서 抽出한 糖용액들과 표준 糖용액을 HPLC로 분리한 chromatogram 들은 Fig. 4, 5, 6, 7, 8과 같다. 그리고 각 HPLC chromatogram 들로부터 계산한 各 糖류의 濃度를

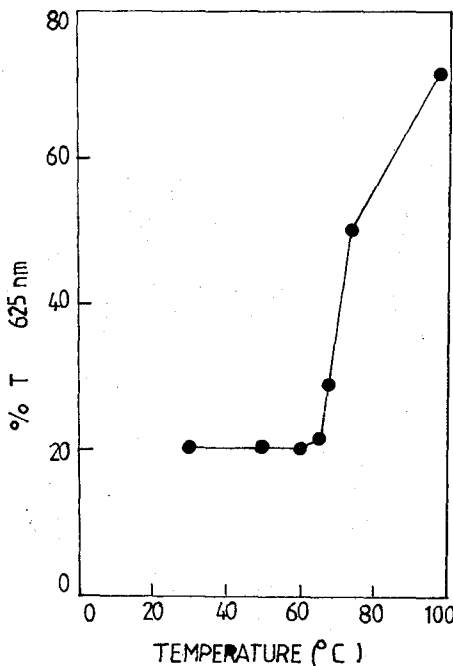


Fig. 3. Changes in transmittance at 625nm of 0.2% sweet potato starch suspension

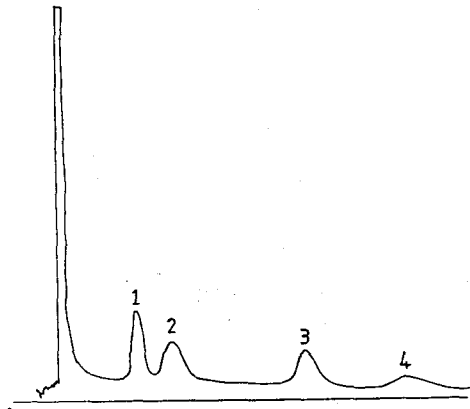


Fig. 4. HPLC chromatogram of standard sugar solution. 1: Fructose, 2: Glucose, 3: Sucrose, 4: Maltose

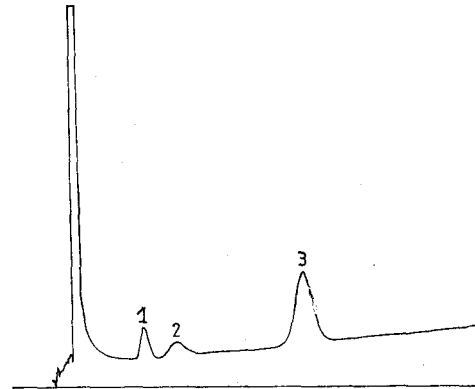


Fig. 5. HPLC chromatogram of sugar extract from the raw sweet potato, 1: Fructose, 2: Glucose, 3: Sucrose

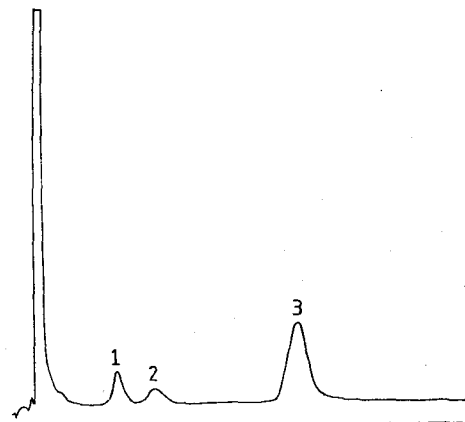
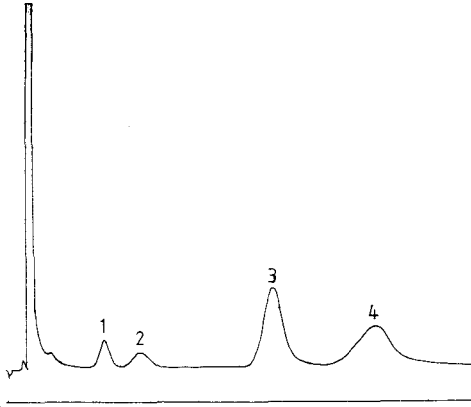
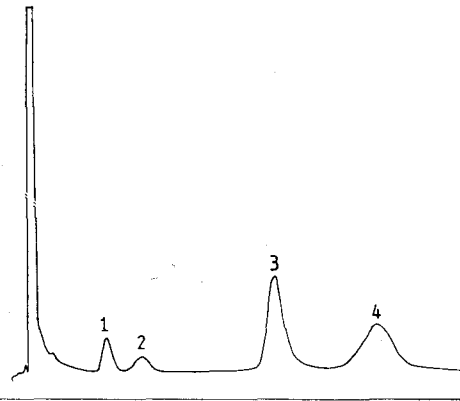


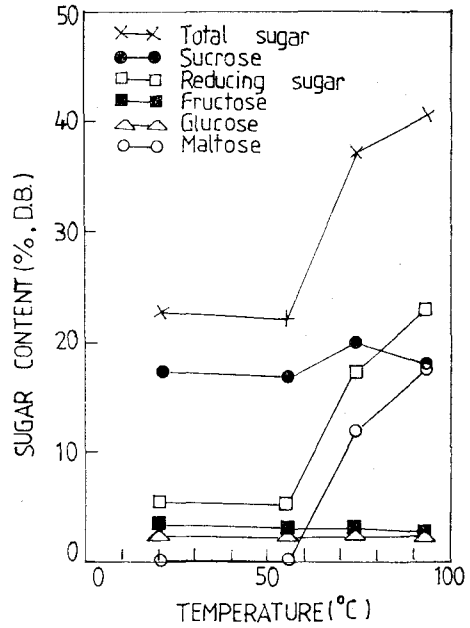
Fig. 6. HPLC chromatogram of sugar extract from the sweet potato baked at 55~57°C, 1: Fructose, 2: Glucose, 3: Sucrose



**Fig. 7.** HPLC chromatogram of sugar extract from the sweet potato baked at 70~75°C, 1 : Fructose 2 : Glucose, 3 : Sucrose, 4 : Maltose



**Fig. 8.** HPLC chromatogram of sugar extract from the sweet potato baked at 90~95°C, 1 : Fructose 2 : Glucose, 3 : Sucrose, 4 : Maltose



**Fig. 9.** Changes in sugar contents of sugar extracts with baking temperatures

Table 2에 실었다. 한편 加熱溫度에 따른 各 別糖, 환원당 및 총당의 含量 變化를 Fig. 9에 제시하였다.

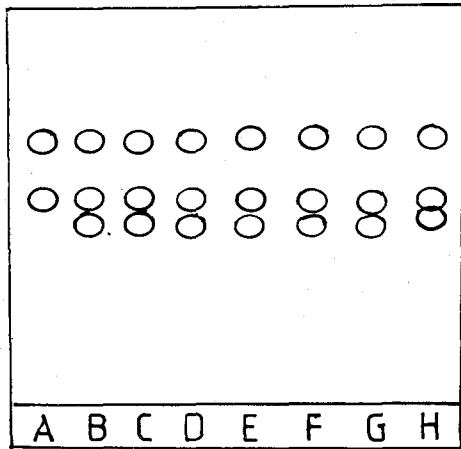
생 고구마와 55~57, 70~75 및 90~95°C로 加熱한 고구마 시료중의 glucose, fructose 및 sucrose의 含量은 加熱온도의 變化에 따라 거의 變化가 없었다. Hoover와 Harmori<sup>8)</sup>도 고구마 flakes의 제조시 hexose sugar와 sucrose의 含量에는 거의 變化가 없다고 보고한 바 있다. Maltose는 생 고구마 및 55~57°C로 加熱한 고구마에서는 전혀 生成되지 않았고 70~75와 90~95°C에서 加熱한

**Table 2.** Sugar content of the raw and baked sweet potatoes (S.P.)

(% weight basis)

Sugar	Heating temperature (°C)			
	Raw	55~57	70~75	90~95
Fructose	0.87(3.20)	0.82(2.92)	0.86(3.00)	0.77(2.81)
Glucose	0.57(2.12)	0.65(2.28)	0.62(2.18)	0.66(2.44)
Sucrose	4.64(17.11)	4.79(16.69)	5.73(20.10)	4.79(17.57)
Maltose	.	.	3.45(12.10)	4.89(17.94)
Reducing sugar	1.44(5.32)	1.48(5.16)	4.93(17.28)	6.30(23.19)
Total sugar	6.08(22.43)	6.26(21.89)	10.66(37.38)	11.10(40.77)

※ Figures in parenthesis are % in dry basis



**Fig. 10.** Thin layer chromatogram of sugars in the crude enzyme extract and the reaction mixture at different temperature. Developing solvent system; ethyl acetate: acetic acid: methanol: water=60 : 15 : 15 : 10 (v/v), A: Crude enzyme extract, B: 30°C, C: 40°C, D: 50°C, E: 60°C, F: 70°C, G: 80°C, H: 90°C.

고구마중에는 dry basis로 각각 12.10%, 17.94% 생성되었다.

Debald 등<sup>7,12)</sup>과 Ikemiya와 Deobald<sup>14)</sup>에 의하면 α-amylase의 존재가 보고되고 있지만 본 실험의 가열된 고구마중에서는 glucose의 함유변화가 없었고 maltose만이 생성되었다는 사실로 보아 그 존재가 의문시 된다. 그리고 β-amylase가 75°C 이후의 온도에서 활성이 급격히 감소한다는 Balls 등의 보고와는 다르게 90~95°C로 가열한 고구마에서는 勿論 Fig. 10에서와 같이 粗酵素抽出液중의 β-amylase는 90°C에서도 활성을 잃지 않음을 알 수 있다.

이러한 사실은 고구마의 β-amylase가 in vitro system과 in vivo system에서 서로 다른 耐熱性을 나타내며 in vivo system에서는 높은 온도에서도 활성을 유지하게 하는 어떤 보호 mechanism의 존재를 추측케 한다.

抄 錄

加熱에 의한 고구마 澱粉의 加水分解에 관한 실험을 하였다.

55~57, 70~75 및 90~95°C에서 加熱한 고구마

와 생 고구마로부터 ethanol로 糖을 抽出하였다. 糖抽出液중의 個別糖들을 thin layer chromatography에 의해 동정하고 個別糖의 含量을 high performance liquid chromatography로 측정하였다.

생 고구마와 55~57°C에서 加熱한 고구마 시료 중에는 glucose, fructose, sucrose만이 검출되었으며, 고구마 澱粉의 糊化溫度 이상인 70~75°C와 90~95°C로 加熱한 시료에서는 glucose, fructose, sucrose 및 maltose가 검출되었다.

고구마를 加熱할 때 澱粉의 加水分解는 糊化溫度 이상의 온도에서만 일어났다. 그리고 加熱된 고구마중에서 glucose의 含量에는 變化가 없었고 maltose만이 生成되었는데 가열도중 澱粉의 加水分解는 주로 β-amylase의 作用에 기인되는 것으로 믿어진다.

謝 辭

본 연구에 여러가지로 도움을 주신 金成坤박사와 인삼연구소의 成洵淳先生님에게 사의를 표한다.

參 考 文 獻

- Gore, H.C.: Ind and Eng. chem., 15 : 938~940, (1923)
- Hammitt, H.L. and Barrentine, B.F.: Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 78 : 421~426, (1961)
- Jenkins, W.F. and Gieger, M.: Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 70 : 419~424, (1953)
- Sistrunk, W.A., Miller, J.C. and Jones, L. G.: Food Technol., 8 : 223~226, (1954).
- Losh, J.M., Phillips, J.A., Aelerson, J.M. and Schulman, R.S.: J. Food Sci., 46 : 283~286, (1981)
- Walter, W.M. and Purcell, A.E.: J. Food Sci., 41 : 1374~1377, (1976)
- Deobald, H.J., McLemore, T.A., Hasling, V.C. and Catalane, E.A.: Food Technol., 22 : 627~630, (1968)
- Hoover, M.W. and Hamon, S.J.: Food Technol., 21 : 1529~1532, (1967)
- Sistrunk, W.A.: J. Amer. Soc. Hort. Sci., 102(4) : 381~384, (1977)
- Walter, W.M., Purcell A.E. and Nelson,

- A.N.: J. Food Sci., 40 : 793~796, (1975)
11. Gore, H.C.: J. Biol. Chem., 44 : 19~20, (1920)
  12. Deobald, H.J., Hasling, V.A., Catalano, E.A. and McLemore, T.A.: Food Technol., 38 : 548~549, (1973)
  13. Hoover, M.W.: Food Technol., 23 : 322~325, (1967)
  14. IKemiya, M.Y. and Deobald, H.J.: J. Agr. Food Chem., 14(3) : 237~241, (1966)
  15. Joslyn, M.A.: Methods in Food Analysis, Academic Press: 166~168, (1968)
  16. Adachi, S.: J. Chromat., 17 : 295~299, (1965)
  17. De Stefanis, V.A. and Ponte, J.G.: J. Chromat., 34 : 116~120, (1968)
  18. 최진희, 장진규, 박길동, 박명환, 오성기 : 한 국식품과학회지, 12(2) : 107~113, (1981)
  19. Wilos, L.A., Birmingham, V.A., Moom, D.P. and Snyder, H.E.: Cereal Chem., 55 : 661, (1978)