

植物性 단백질의 熱에依한 變性 (Dénaturation thermique des protéines végétales)

李 陽 熙*

단백질의 變性이란 生化學 및 食品化學分野에서 흔히 論議되는 하나의 단백질 구조형태의 變形現象으로 이는 또한 단백질의 특징적인 性質中的 하나이기도 하다. 그러나 이 現象을 正確하게 定義하기는 大端히 어려운 일이며 오히려 定義하기 보다는 變性現象을 밝히는 것이 쉬운 편이다. 그 理由는 變性이란 用語의 概念에 예측될 수 있는 단백질 분자구조의 變化限界를 正確하게 規定짓기 어려운 것으로 事實上 단백질은 단백질이 아닌 다른物質이 變質되지 않을 程度의 微弱한 처리로도 몇가지 特殊性에 있어서 쉽게 變化를 일으키며 이러한 delicate 한 變化現象은 여러 學者들에 의해 서로 多少의 差異가 있는 概念에 의해 解釋되어 오고 있다.

現在까지 이 分野의 문헌에 나타난 단백질 變性에 관한 定義를 몇가지 소개해 보면 :

단백질의 變性이란 단백질 본래의 分子形態에 어떤 變化가 생김을 말하며 이 變化는 이 단백질이 용해될 수 있었던 용매에 불용성으로 되게 한다.⁽¹⁾

단백질의 變性은 生단백질(native protein) 分子의 加水分解가 아닌 다른 變化現象으로서 단백질의 化學的, 物理的 및 生物學的性質에 變化를 가져오게 한다.⁽²⁾

단백질의 變性은 단백질의 物理化學的 性質의 微弱한 變化를 말하며 이 變化는 주로 Polypeptide linkage 의 形態의인 면에서 볼 수 있다.⁽³⁾

단백질의 變性은 단백질의 分子內 變化를 말하며 이는 같은 단백질의 표준형에 比하여 어떤 性質의 變化를 가져온 것이다.⁽⁴⁾

단백질의 變性이란 말은 단백질 분자구조에 變化를 일으킬수 있는 要素 卽 熱, 酸, 鹽基 및 여러가지 物理化學的作用에 對한 反應 結果를 말한다.⁽⁵⁾



以上과 같은 여러 學者들이 주장한 定義들을 Joly(19

* 理學博士. 韓國科學技術研究所 研究員

65)는 종합해서 한문장으로 結論 짓기를 “단백질의 變性이란 단백질 본래의 구조의 化學的이라기 보다는 오히려 物理的 또는 分子內의 재배열이며 이는 공유결합의 第一次 연쇄의 加水分解를 하지 않고 단백질 分子의 一定形態의 變化를 가져오게 하는 現象이다” 라고 하였다.⁽⁶⁾

이 Joly 의 정의는 가장 統一性있게 생각되며 우리들은 이 정의에 의해 단백질의 變性에 관한 論議를 理解할 수 있겠다. 그러나 사실상 단백질의 變性은 그 단백질의 origin 과 성분 또 그外 여러가지 환경조건에 따라서 無限한 多樣性을 지닐수 있고 또 이 단백질의 變性을 直接적으로 촉진하는 factor 도 여러가지가 있다. 그의 몇가지 例를 들어보면 우선 物理的인 factor 로서 熱, 壓力, 機械的 처리, Ultrasonic 및 Radiation 등이 있고 다음은 化學的인 要因으로 Aliphatic 化合物이나 Urea, Guanidine chloride, Detergent 等等 여러가지 有機化合物이 있으며 그리고 또한 pH, 금속 ion 역시 단백질의 變性에 相當한 영향을 끼친다. 實際上에 있어서 단백질의 變性은 단 한가지 要因의 作用에 의해서 일어나는 경우는 거의 없고 一般적으로 여러가지 要因이 同時에 作用되는 極히 복잡한 現象이다.

本文에서는 紙面의 제한으로 그 광범위한 단백질의 變性을 全部 紹介할 수는 없고 단지 熱에 依한 變性, 그 中에서도 植物性 origin 의 단백질에 限하여 그 一般의인 概論과 지금까지 研究된 實驗結果를 review 하여 植物性 단백질의 熱에 依한 變性現象을 大略 검토해 보기로 하겠다.

단백질의 熱變性에 관한 概說

1) 단백질에 對한 熱의 작용

熱은 단백질의 變性을 促進하는 重要한 要因中的 하나로 水溶液 形態의 단백질이 열에 의해 응고되는 현상, 단백질을 主成分으로 한 酵素나 種子의 배아 또는 Virus 와같은 微生物의 生物學的 性質의 열에 依한 不活性化等은 우리 生活 주변에서 흔히 目擊할 수 있는 現象들이다. 그리고 단백질은 우리들이 食用으로 하거나 그外의 用途에 적용시키기 爲해서 大部分의 경우 加熱

처리가 불가피한 것으로 단백질의 열에 의한 변질現象은 식품科學分野에서 大端히 의미있는 연구과제가 되는 것이다.

이와같이 熱은 어떤 限界의 溫度에서 단백질의 구조를 變化시킬 수 있는 能力을 가지고 있으나 大部分의 경우 더욱이 水溶液 狀態의 단백질에 對해서는 그 水溶液의 酸度나 단백질의 濃度가 熱의 作用에 相當한 영향을 끼쳐서 사실상 단백질의 熱變性は 極히 特殊한 경우를 제외하고는 순수한 열의 作用으로 취급될 수는 없다. 그러므로 一般적으로 단백질變성에 對한 열의 효과는 水溶液의 酸度나 또 그外 諸조건이 一定한 狀態에서 觀察할 수 있는 것이다.

2) 변성도중에 일어나는 단백질 성질의 변화

단백질 分子의 거의 全部의 物理化學的 性質은 변성도중에 있어서 作用을 받는것으로 兪체로 化學的 性質에 있어서는 reactive groups 卽 黃酸基, Disulfide, Phenolic 및 Carboxylic 基 등의 유리現象을 볼 수 있으며 이들 基들은 생단백질의 分子에서는 잠재상태로 있다가 변성 도중에 分子形態의 變形에 依해서 노출되는 것이다. 그리고 이 유리현상은 점차적으로 나타나며 또 이는 단백질의 生物學的 活性的 감소나 단백질 分子구조의 불균형과는 항상 正比例하지는 않는다.

다음으로 物理的 性質에 있어서는 大部分의 단백질에 있어서 우선 변성에 依해서 그 단백질의 溶解도가 감소된다. 또한 分子量의 變化, 分子量의 變化 없이 단백질 분자의 變形 및 分子의 分裂現象이 일어난다. 더욱이 分子의 電氣化學的, 光學的性質의 變化와 단백질 分子의 內部구조의 變化 등은 불가피한 現象이다.

끝으로 生物學的 性質으로는 酵素, Hormone 및 Virus 등의 不活性化 또 항생물질의 면역작용의 감소 등은 변성도중에 일어나는 一般의인 現象이다.

3) 熱變性的 防止

단백질은 그의 생화학적 性質을 생단백질의 狀態에서만 보존하고 있으므로 변성의 防止는 大端히 重要한 문제이며 또한 이 문제에 관해서는 많은 研究가 행해졌다. 단백질의 변성을 防止하는 化合物은 많은 數가 있으나 여기서는 熱에 依한 단백질의 변성에 防止效果를 가진 몇가지 物質의 例를 들어 보겠다.

Beilinson과 Fischer는 어떤種類의 糖類는 그의 一定한 濃度에서 단백질의 熱에 依한 응고를 저해한다고 밝혔고⁽⁷⁾⁽⁸⁾ Greenstein과 그의 공동연구자들은 D. N. A. 역시 단백질의 열에 依한 응고를 저해할 수 있다고 하였다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ Swirski는 α -Casein에 첨가한 β -Casein은 pH 7.2의 완충용액 중에서 加熱에 依한 α -Casein의 변성을 防止한다고 말하였고⁽¹¹⁾ Jirgensons 氏는 혈장

Albumin을 Sodium caprylate 나 Caprate의 존재下에서 50°~70°C로 加熱하였으나 변성現象을 發見하지 못하였으며⁽¹²⁾ Pauli와 Handovsky 氏는 단백질의 熱變性を 濃厚한 Thiocyanate로써 방지하였다.⁽¹³⁾ 그러나 Holtman과 Schultz 氏 등은 Thiocyanate보다는 Cyanate가 열에 對한 단백질의 安定性에 더 效果的이며 또한 금속이나 Alcohol에 依한 단백질의 변성에는 더욱 効果적이라고 주장했다.⁽¹⁴⁾ 酵素의 不活性化에 있어서는 플루오르가 그의 방지효과를 가졌다고 하였고⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾ Gorini와 Felix는 Mn^{++} 의 존재 하에서 熱에 依한 Lysozyme의 不活性化가 감소되었다고 하며 그 효과는 Mn^{++} 의 濃도에 따라 증가하였다고 하였다.⁽¹⁷⁾

以上에서 論議된 化合物 外에 단백질의 열변성은 物理的 條件, 처리용액의 酸度 및 濃度 등등에 依해서도 多少간 방지할 수 있다.

植物性 단백질의 熱變性

現在까지 動物性 단백질의 成分 및 변성現象에 關해서는 相當한 研究가 行해졌으나 植物性 단백질에 關해서는 그렇지 않아서 겨우 40년 以來 研究된 少數의 문헌 外에는 참고材料를 얻을 수 없다. 그러면 지금부터 이들 實驗結果를 다음과 같이 3部分으로 나누어 review 해 보겠다.

1) 검출 方法

植物性 단백질의 변성을 檢出하기 爲해서는 여러가지 方法을 使用하고 있는데 이 方法들은 변성도중에 일어나는 단백질의 性質의 變化狀態를 測定하는 귀납적인 方法들이다.

(1) 物理的性質에 依한 변성의 檢出

이 方法이 단백질의 변성狀態를 測定하기 爲해서 가장 많이 使用되는 方法으로 단백질의 응고度, 溶解度 및 Rheological properties를 測定함으로써 변성도를 決定하는 것이다.

Alsberg와 Griffing은 溫度에 따른 Gluten의 응고도를 Gluten의 弱酸에 依한 팽윤現象에 依해서 測定하였다.⁽¹⁸⁾ 이의 原理는 응고한 Gluten은 응고하지 않은 Gluten보다 弱酸에 依해서 적게 팽윤된다는 것으로 이 實驗을 爲해서는 우선 Gluten으로 小形의 圓板形을 만들고 이들의 重量을 測定하고 實驗溫度로 30分間 加熱한 다음 醋酸溶液에 담겨둔다.

다음에 이를 꺼내어 다시 重量을 測定한 다음 이 重量의 差異에 依해서 Gluten의 변성도를 測定하였다.

그리고 또 다른 여러學者들은 단백질의 변성도를 그 단백질의 어떤 溶媒에 對한 溶解度로서 決定하였다.⁽¹⁹⁻²⁴⁾ 이들은 溶媒로서 물, 醋酸, Potassium hydroxide, Trichloroacetic acid 등을 使用하였고 溶解

도는 可溶性 部分의 질소량을 定量함으로써 測定하였다. 一般적으로 단백질의 溶解度는 變性도에 比例하여 감소한다.

또 Circle 과 그의 공동연구자들은 대두 단백질의 變性を 그 水溶液의 粘度의 變化와 그의 반죽(dough)의 탄력성에 關連해서 研究하였으며⁽²⁵⁾ 그리고 그외 여러 學者들은 Gluten 의 變性を 그의 반죽의 物理的 實驗과 계량실험에 依해서 觀察하였다.⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾

(2) 酵素의 活性 및 단백질의 生理的 性質에 의한 단백질 變性的 결정

酵素의 不活性化 現象은 酵素를 구성하고 있는 단백질의 生理的 能力이 상실되는 것으로 이는 단백질의 變性に 比例한다고 生覺된다. 그런 理由로서 여러 學者들은 단백질의 變性도를 酵素의 活性를 測定함으로써 決定하였다.⁽²⁸⁻³²⁾ 酵素의 活性를 測定하기 爲해서는 이들은 各各 酵素의 特殊한 方法을 使用하고 있다.

그외 다른 學者들은 단백질의 生理的인 性質의 變化에 依해서 단백질의 變性を 觀察하였는데 Hutchinson, Braterskii, Kedrev 와 Tchington 氏等은 穀類의 배아의 단백질 變性에 따른 生活力 變化와 發芽率을 實驗하였다.⁽³³⁻³⁵⁾

(3) 단백질의 分子構造狀態에 의한 變性的 決定

단백질의 變性은 그 단백질의 分子構造에 變化를 준다는 것은 이미 말한바이며 이와같은 原理는 變性を 檢出하는데 應用되고 있다.

Kotljak 과 그의 공동연구자들은 단백질에서 解離된 Sulphuryl group 나 Disulphide link 를 定量함으로써 단백질의 變性を 測定하였다. 이 方法은 단백질이 變性時 reactive groups 가 解離된다는 事實에 基礎를 둔 것이다.⁽³⁶⁾

또한 Medvedeva 와 Mann 氏等은 Electrophoresis 分析으로 단백질의 分子構造의 變形을 觀察함으로써 變性도를 決定하였다.⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾

2) 穀類단백질의 變性에 關한 觀察

植物性 단백질에 關한 지금까지의 研究는 그 大部分이 穀類단백질에 關한 것이었고 그 內容은 主로 物理的 性質의 變化를 觀察한 것이다. 이에 關한 참고문헌을 몇가지 review 해 보겠다.

Alsberg 와 Griffing 氏等은 Gluten 의 熱에 依한 응고에 關해서 研究한 結果 같은 時間동안의 加熱을 할때 Gluten 의 응고는 溫度 50°~80°C 에서는 加熱溫度에 따라서 점차적으로 이루어지는 것을 觀察하였으며 특히 60°~65°C 에서는 응고는 급속하게 이루어졌고 30°~50°C 에서는 Gluten 의 變性은 일어나지 않았다.⁽¹⁹⁾ 그리고 Geddes 氏는 밀과 밀가루의 熱처리에 있어서 加熱時間, 加熱溫度 및 濕度 등이 밀과 밀가루의 Rheolo-

gical properties 에 끼치는 영향에 關해서 實驗하였는데 一般적으로 140°C 以上에서는 밀가루의 粘着을 爲한 Rheological properties 가 加熱時間 및 含有된 水分에 比例하여 저하된다는 것을 알았고 同一條件의 처리에 있어서는 밀의 경우가 밀가루의 처리보다 적게 變質된다는 것을 알았다.⁽³⁶⁾ 또 Mann 氏는 大豆粕으로부터의 Methanol 과 Ethanol 에 依한 可溶性 단백질의 추출에 있어서 熱처리의 영향에 關해서 研究한 結果 溶媒의 溫度가 높을때가 冷溶媒보다는 좋은 결과를 가져왔으나 加熱溫度가 너무 높거나 加熱時間이 길 때는 단백질의 침전을 초래하였다. 이와같은 침전현상은 아마도 加熱처리가 여러가지 다른 단백질간의 相互作用을 促進하는데 그 原因이 있는 것 같다. 왜그러나 하면 一般적으로 단백질은 여러가지 다른 단백질이 혼합되었을 때 그 응고현상이 빨리 일어나는 것으로 그 一例로는 Globulin 을 한가지만 加熱하면 그의 溶解度의 감소는 다른 단백질과 혼합되어 있을 때 보다 훨씬 느리게 일어난다.⁽³⁸⁾

Pence 와 그의 공동연구자들은 또한 Gluten 의 變性에 對한 加熱溫度, 加熱時間, 水分, 酸度 및 단백질에 混入된 鹽類의 濃度の 영향에 關해서 실험하였는데 그 결과로는 溫度가 낮은 경우에는 80°~90°C 의 加熱처리에도 Gluten 의 變性도에 큰 영향이 없으나 溫度가 높을때는 같은 溫度에서 相當한 變性이 일어남을 알았으며 습한 Gluten 의 變性은 酸度 pH 4 에서는 완만하게 진행되나 높은 pH 에서는 變性이 급속하게 일어난다. 그리고 一般적으로 鹽類의 濃度は Gluten 의 熱變性에 別 영향을 미치지 않으며 Gliadine 만의 熱變性은 Gluten 의 熱變性보다 완만하게 일어난다고 하였다.⁽²²⁾

또 Mc Guire 와 Earle 氏等은 常溫風乾한 옥수수과 50°~95°C 의 溫度에서 人工加熱 건조한 옥수수과의 水溶性 단백질의 量을 比較하였는데 이들은 高溫에서 人工 건조한 옥수수과에 있어서 유리질소의 量이 훨씬 감소된 것을 관찰하였으며 이의 감소는 熱에 依한 단백질의 물리적 變化라고 生覺하였다.⁽¹⁹⁾

Pollock 와 Geddes 氏는 7.9%의 水分을 가진 脫脂大豆粉末을 50°, 75°, 100° 및 125°C 에서 1時間동안 加熱하고 이들 단백질의 分散度(dispersibility)의 變化를 觀察하였는데 그 結果는 75°C 以下에서는 어떤 큰 變化를 發見할수 없었으나 100°C 내지 125°C 의 처리에 있어서는 단백질의 分散度는 현저하게 감소하였다(Fig. 1).⁽²⁰⁾ 또 Medvedeva 氏는 Gliadine 의 熱變性을 Electrophoresis 의 方法으로 研究하였는데 그의 實驗은 水分 18.1%와 20%의 Gliadine 을 40°, 50°, 60° 및 70°C 에서 15, 30, 60 分間 加熱하였다. 그 결과는 Fig. 2

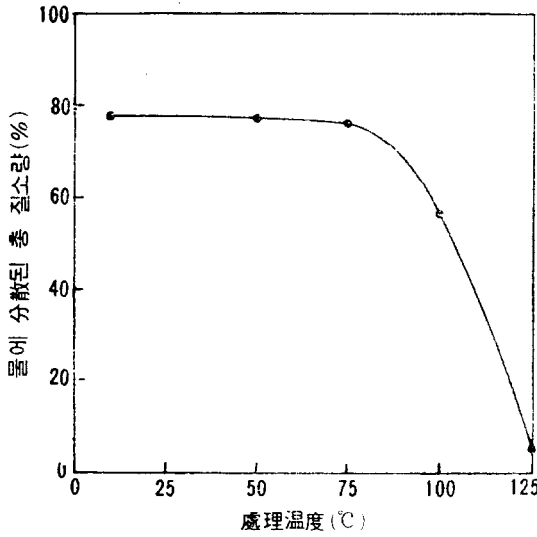


Fig. 1. 熱處理에 의한 脫脂大豆 蛋白質의 分散度 變化 (Pollock and Geddes)

에서 보는바와 같이 처리하지 않은 Gliadine의 Electrophoretic Diagram은 4분劃을 구성하고 있든것이 加熱함으로써 流動性있는 2분劃이 變化해서 그의 中間位置에 한 peak를 形成하였다. 이는 加熱에 의한 Gliadine의 變性を 視覺적으로 볼수있는 한 예이다(Fig. 2).⁽³⁷⁾

Zelter氏は 大豆粕 단백질의 營養價에 對한 調理時의 加熱作用의 영향에 關해서 실험하였는데 그의 實驗方法은 水分 5, 12, 20%, 處理溫度가 100°, 120°, 130°, 140°C 그리고 各各의 加熱溫度에 對해서 加熱時間은 10, 20, 40, 80分이다. 이의 實驗結果는 120°C 以上の 溫度에서의 熱처리는 단백질의 물에 對한 溶解度를 約 80% 감소시킨다는 것을 觀察하였다.⁽⁴¹⁾ 또 Jankiewicz氏は 밀의 熱처리에 의한 단백질 성질의 變化를 단백질의 溶解도와 Dough의 물리적 성질 및 제

빵실험으로 觀察하였는데 단백질의 溶解度の 감소는 加熱溫도와 加熱時間 및 麥粒의 最初의 溫度에 따라서 일어난다는 것을 알았다. 또한 氏는 醋酸으로 추출한 단백질의 성질의 變化를 Carboxyl methyl cellulose의 Column partition chromatography의 方法으로 관찰하였는데 同定한 10分劃中 3分劃에 많은 變化가 있었음을 發見하였다. 그리고 또한 질소 Gas中에서 건조한 麥粒은 空氣中에서 건조한 것보다 적게 變性되었음을 알았다.⁽²³⁾

Circle氏와 그의 공동연구자들은 大豆단백질의 Water dispersion의 Rheological properties에 關해서 實驗하였는데 이 dispersion의 응결과 이 Gel의 정도는 主로 溫度, 加熱時間 그리고 단백질의 濃도에 따른다는 것을 알았다.⁽²⁶⁾ 그리고 最近에 Kotjar氏와 그의 공동연구자들은 水分 22.5%, 27.5%, 34.7%의 麥粒을 40°, 50, 60°, 70°, 80°C에서 1時間동안 가열하고 단백질의 溶解度の 變化와 그들의 Sulphuryl Group와 Disulphide link의 含量을 觀察하였는데 그 結果는 水分 22.5%와 27.5%를 含有한 麥粒은 50°C에서 1時間 加熱한 後 $\frac{S-S}{S-H}$ 值의 增加가 始作되었으며 水分 34.7%의 麥粒은 40°C에서도 벌써 같은 現象이 일어났다. 이와같은 實驗으로 그들은 麥粒단백질의 熱變性은 水溶性 단백질의 分子內의 $\frac{S-S}{S-H}$ 值의 增加를 同伴한다는 것을 確認하였다.⁽³⁶⁾

以上과 같은 여러學者들에 의한 實驗結果는 方法의 差異는 있지만 結局 같은 結論을 가져오게 하다 이를 要約해 보면 穀類단백질의 熱變性은 加熱溫도와 熱처리 時間에 比例해서 進行되며 단백질에 接觸된 水分역시 큰 影響을 주는 것으로 一般적으로 水分이 많이 含有된 단백질은 40°C에서 벌써 變性を 일으킬수 있으나 水分이 적을때는 50°C 以上の 溫度에서 變性이 始作된다. 그리고 단백질의 열변성에 對한 pH의 영향

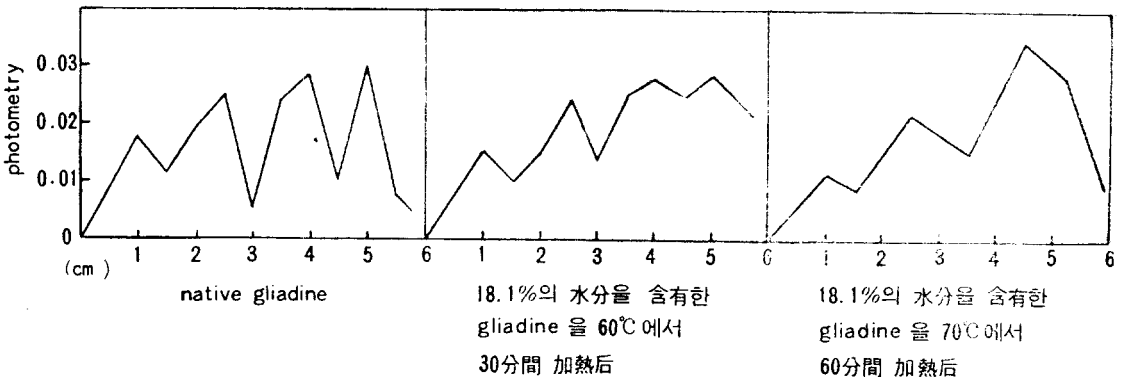


Fig. 2. Native gliadine과 變性된 Gliadine의 電氣泳動曲線 (Medvedeva)

은 仔細히 알려지지 않았으나 Pence 와 그의 공동연구자들은 pH 가 높을때 Gluten 의 變性이 促進된다고 주장하였다.⁽²²⁾ 一般적으로 단백질 水溶液에 含有된 鹽類의 濃度는 熱變性에는 別 영향이 없는 것 같다. 그리고 Mann 氏는 정제한 단백질은 여러가지 단백질이 혼합된 것 보다 열에 對한 저항성이 크다고 지적했으며⁽²³⁾ 이는 아마도 열처리에 依해 여러 다른 단백질간의 相互反應이 促進되는 결과인 것 같다.

3) 酵素의 活性과 단백질의 生物學的 能力에 對한 熱처리의 영향

穀類단백질에 關한 研究外에도 단백질의 열변성에 關한 實驗中에는 단백질의 生活能力의 熱처리에 依한 變化에 關해서 많은 研究結果가 있다.

Hutchinson 氏는 加熱에 依해서 人工적으로 건조한 麥粒의 發芽能力에 對한 溫度의 影響을 관찰하였다. 이는 14%의 水分을 含有한 麥粒을 63° 내지 73°C의 溫度에서 36分間 加熱한 후 처리한 麥粒의 發芽率을 조

(HutChiuson)

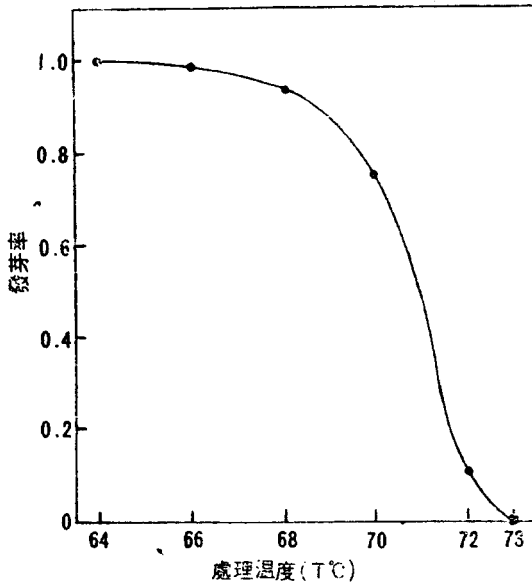


Fig. 3. 14%의 水分을 含有한 麥粒의 36分間 熱처리後의 發芽率變化 (Hutchinson)

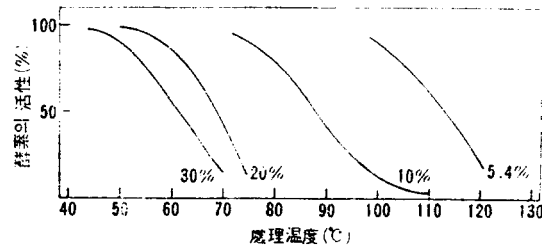


Fig. 4. 麥粒의 Phosphatase 活性에 對한 熱과 溫度의 影響 (Hutchinson et Booth)

사한 것으로 68°C까지의 加熱은 發芽率에 있어서 微弱한 影響을 주나 그 以上の 溫度에서는 이들 麥粒의 發芽率은 鈍저하게 저하되었음을 알았다.⁽²⁴⁾ 또한 同氏는 Booth 氏와의 공동연구에서 加熱건조한 麥粒에 存在하는 Phosphatase 의 活性에 對한 熱처리의 影響을 實驗하였는데 그들의 實驗은 5.4% 내지 34%의 水分을 含有한 麥粒을 40°~130°C로 加熱한 것으로 그의 결과는 水分을 많이 含有한 麥粒의 Phosphatase 는 水分이 적은 麥粒의 것보다 더쉽게 不活性化 되었다. 卽 Fig. 4에서 보는바와 같이 30%의 水分을 含有한 麥粒의 Phosphatase 는 70°C에서 거의 完全히 不活性化되나 5.4%의 水分을 含有한 麥粒의 Phosphatase 는 120°C에서나 같은 不活性化 現象을 나타낸다.⁽²⁵⁾

Dimick 氏와 그의 공동연구자들은 果實 Purée의 Polyphenolase 의 熱에 依한 不活性化에 關해서 發表하였는데 이 酵素에 對한 熱의 影響은 60°C 以上에서 大端히 예민하다고 한다.⁽²⁶⁾ Lenti 氏와 Di Bella 氏 역시 酵素에 關한 研究로 Amylase, Adenosine triphosphatase, Arginase 및 Succino-dehydrogenase 의 熱에 依한 不活性化를 實驗하였으며 이들 酵素는 60°~70°C의 열처리에서 10~60分 사이에 不活性化됨을 밝혔다.⁽²⁷⁾

種實의 發芽率에 關한 研究로는 Braterskii 氏는 옥수수 種實의 加熱건조에 依한 發芽率감소를 實驗한 結果 8.13%의 水分을 含有한 옥수수 種實은 60°C에서 2時間 동안 加熱건조한 後에도 發芽率 저하가 없었으나 40.6%의 水分을 含有한 種實은 40°C에서 1時間 30分間 加熱했을때 같은 결과를 내었다.⁽²⁸⁾ 또 Kedrev 氏와 Tchignon 氏는 水分 11.70%의 옥수수 種實을 50°~100°C의 溫度에서 1時間 동안 加熱한 후 그 種實에 對한 水分감소량, 生理作用, 酵素의 活性 및 植物體에 주는 影響 등에 關해서 觀察하였다. 그들의 實驗結果에 依하면 다음과 같은 結論을 얻을수 있다. (1) 水分이 8.43% 以上에 있어서는 50°~100°C의 熱처리는 種實의 生理的 能力(Vital capacity)을 저하시키지 않으나 水分이 그 以下の 경우에는 같은 온도의 열처리도 種實의 生理的 能力에 相當한 影響을 끼친다. (2) 一般적으로 50°C 以下の 熱처리는 酵素의 活性을 감소시키지 않으나 그 以上の 溫度에서는 酵素의 活性은 점차 감소해서 100°C에서는 Protease 는 完全히 不活性化되었고 같은 溫度에서도 Lipase 는 아직 약간의 活性을 보였다. (3) 熱처리에 依해서 變質된 種實로부터 發芽된 植物은 처리하지 않은 種實에서 發芽된 植物보다 熱에 對한 抵抗力이 강한 것을 觀察하였다.⁽²⁹⁾

Sisler 氏와 Johnson 氏는 담배잎을 0.1M 용액으로 추출해서 얻은 o-Diphenoloxydase 의 熱에 依한 不活性化 現象에 關해서 實驗하였는데 이 不活性化 現象은 Fig. 5

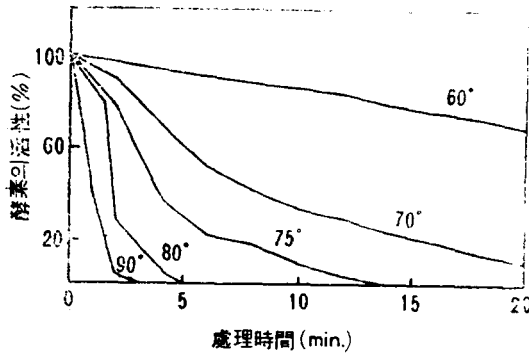


Fig 5. 熱처리에 의한 Diphenol oxidase의 불活性化 (Sisler et Johnson)

에서와 같이 처리溫도와 처리時間에 따라서 다르다.⁽³¹⁾ 그리고 Demeaux 氏와 Bidan 氏는 사과汁 Polyphenol oxidase의 열에 의한 불活性化를 관찰하였다. 그結果 이 酵素는 7°C에서 10~20秒동안 加熱을 하면 完全히 불活性化되는 것을 알았다. 이와같은 研究는 사과汁의 褐變을 促進하는 酵素의 파괴溫度를 지적하는 것으로 改變현상의 防止策으로도 應用될 것이다.⁽³²⁾ 또 最近에 Multon 氏와 Guilbot 氏는 麥粒의 Ribonuclease의 活性에 對한 熱처리의 影響에 關해서 실험한 것으로 이 酵素 또한 열처리의 溫도와 時間이 증가함에 따라 불活性化가 심해짐을 알았다. 그리고 이 麥粒의 發芽能力에 關한 結果는 酵素의 그것과 유사해서 열처리의 溫도와 時間이 증가함에 따라 불活性化가 심해짐을 알았다. 이는 또한 換言하면 麥粒의 發芽能力은 단백질의 變性에 따라 상실하게 되는 것으로 그는 또한 단백질의 生物學的能力은 그 分子구조의 變化에 따라 상실됨을 말하는 것이다.⁽³²⁾

以上的 여러學者들의 研究결과를 종합하면 酵素의 活性은 열처리의 溫度 및 時間에 比例해서 감소되며 또 水分은 酵素의 열변성에 큰 影響을 끼침을 알 수 있다.

結 論

지금까지 소개한 研究결과들을 종합 검토해 보면 다음과 같은 몇가지 結論을 얻을 수 있다.

(1) 단백질의 變性이란 生단백질 구조의 化學的 變化라기 보다는 오히려 物理的 또는 分子間的 變化라고 할수있다. 이와같은 變性現象은 단백질 가수분해효소의 作用이 없이 分子間的 形態의 變化를 가져오게 한다.

(2) 단백질의 變性은 단백질 용해도의 감소와 단백질의 生物學的能力의 상실을 동반한다.

(3) 植物性 단백질의 變性을 決定하는 方法은 a) 단백질의 物理的 性質에 依한 方法, b) 단백질의 生物學的 및 生理的 性質에 依한 決定方法 및 c) 단백질의 분

자구조 狀態에 依한 決定方法等的 3가지로 나눌 수 있다.

(4) 水分의 含量은 단백질의 熱變性에 相當한 影響을 끼친다.

(5) 단백질의 열변성은 加熱溫도와 加熱時間에 比例的으로 進行된다.

(6) 단백질의 열변성에 있어서 pH의 影響은 큰것 같다. 그러나 아직까지 그 자세한 것은 알려지지 않았고 一般的으로 단백질의 열변성은 높은 pH에서 더욱 촉진된다.

(7) 단백질의 열변성에 對한 鹽類의 影響은 가세히 알려지지 않았으며 大體로 큰 影響을 끼치는 것 같지 않다.

(8) 여러가지 단백질이 혼합되어 있을 경우에는 單一단백질의 경우보다 열변성이 더욱 쉽게 일어난다.

以上과 같은 단백질의 열변성에 關한 知識은 食品문제에 있어서 特히 食品의 熱처리에 依한 營養학적 및 Rheological properties의 變化, 長期보존을 爲한 酵素의 파괴 및 微生物의 살균 system 등에 大端히 광범위하게 應用될수 있는 것으로 앞으로 많은 研究가 必要하다.

參 考 文 獻

- (1) Wu H. Chim.; *J. Physiol.* 5, 321 (1931)
- (2) Neurath H., Greenstein J. P., Putnam F. W. and Erickson J. O.; *Chem. Rev.* 34, 157 (1944)
- (3) Foster J. F. and Samsa E. G.; *J. Am. Chem. Soc.* 73, 3187(1951)
- (4) Timasheff S. N. and Gibbs R. J.; *Archs. Biochem. Biophys.* 70, 547(1957)
- (5) Rice S. A., Wada A. and Geidushek E. P.; *Discuss Faraday Soc.* 25, 130 (1958)
- (6) Joly M.; *A Physico-chemical approach to the denaturation of proteins* (Academic Press, 1965)
- (7) Beilinson A.; *Biochem. Z.* 213, 399 (1929)
- (8) Fischer R.; *Experientia* 3, 29 (1947)
- (9) Carter C. E. and Greenstein J. P., *J. Natn. Cancer Inst.* 6, 219 (1946)
- (10) Greenstein J. P. and Hoyer M. L.; *J. Biological Chemistry* 182, 457 (1950)
- (11) Swirski M., Allouf R. and Cheftel H.; *Bull. Soc. Chim. Biol.* 43, 909 (1961)
- (12) Jirgensons B.; *Texas Rep. Biol. Med.* 17, 106 (1959)
- (13) Pauli W. and Handovsky L.; *Beitr. Chem. Physiol. Path.* 11, 415 (1907)

- (14) Holtman S. B. and Schultz F.; *Biochim. Biophys. Acta* **3**, 65 (1949)
- (15) London M., Mchugh R. and Hudson P. B.; *Arch. Biochem. Biophys.* **56**, 165 (1955)
- (16) Reiner J. M., Tsuboi K. K. and Hudson P. B.; *Arch. Biochem. Biophys.* **56**, 165(1955)
- (17) Gorini L. and Felix F.; *Biochim. Biophys. Acta* **10**, 128 (1958)
- (18) Alsberg C. L. and Griffing E. P.; The heat coagulation of gluten. *Cereal Chem.* **4**, 6, 411 (1927)
- (19) Mcguire and Earle F. R.; Changes in the solubility of corn protein resulting from the artificial drying of high-moisture corn. *Cereal Chem.* **35**, 179-187 (1958)
- (20) Pollock J. M. and Geddes W. F.; Soy flour as a white bread ingredient, 1. Preparation of raw and heat treated soy flour and their effects on dough and bread. *Cereal Chem.* **37**, 19 (1960)
- (21) Zelter S. Z.; Etude des effets thermiques sur la valeur nutritionnelle des proteines de tourteau de soja. *Ann. Biol. Animal., Biochem. Biophys.* **5**, No. 2, 189 (1964)
- (22) Pence J. W., Mohammad A. and Mecham D. K.; Heat denaturation of gluten. *Cereal Chem.* **30**, 115 (1953)
- (23) Jankiewicz M.; Changes of some protein properties during heat treatment of wheat. *Milling* **142**, 23, 609 (1964)
- (24) Schaeffer W. C., Wilham C. A., Jones R. W., Dimler R. J. and Senti F. R.; A note on an improved denaturation test for gluten based on solubility in acetic acid. *Cereal Chem.* **37**, 417 (1960)
- (25) Circle S. J., Meyer E. W. and Whitney R. W.; Rheology of soy protein dispersions. Effect of heat and other factors on gelation. *Cereal Chem.* **41**, 157 (1964)
- (26) Geddes W. F.; Chemical and physico-chemical changes induced in wheat product by elevated temperatures. *Canadian Journal of Research*, **528** (1930)
- (27) Becker H. A. and Sallans H. R.; A study of the relation between time, temperature, moisture content, and loaf volume by the bromate formula in the heat treat treatment of wheat and flour. *Cereal Chem.* **33**, 254 (1956)
- (28) Hutchinson J. B. and Booth C.; The drying of wheat. IV. Phosphatase activity as an index of heat damage in cereals. *J. Soc. Chem. Ind.* **65**, 235 (1946)
- (29) Dimick K. P., Ponting J. D. and Makower B.; Heat inactivation of polyphenolase in fruit purées. *Food Tech.* **5**, 237 (1951)
- (30) Lenti C. and Di Bella S.; The protective action of sodium caprylate on the denaturation of protein by heat. *Arch. Sci. Biol. (Italy)* **36**, 75(1952)
- (31) Sisler E. C. and Johnson W. H.; Effect of temperature on the inactivation of *o*-diphenol oxidase. *Plant and Cell Physiology* **6**, 645 (1965)
- (32) Hulton J. L. et Guilbot A.; Effets sur l'activite ribonucléasique du blé, d'un traitement thermique effectue sur le grain très humide. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **1**, **264**, 763 (1967)
- (33) Hutchinson J. B.; The drying of wheat. III The effect of temperature on germinating capacity. *J. Soc. Chem. Ind.* **104** (1944)
- (34) Braterskii F.; Thermal denaturation of corn protein in drying. *Mukomol'no-Elevat. Prom (Russ)*, **29** (6), 10 (1963)
- (35) Kedrev T., Tchington S.; Traitement thermique des semences séchées de maïs et influence de ce traitement sur les plantes. *Plant Science (Sofia)* **II**, No. 7. 35 (1965)
- (36) Kotljarski G. I., Lebedeva G. Ya., Zhuravskaya T. G.; Les groupes sulfhydryles et les ponts disulfures dans les protéines de grain du blé chauffé. *Izv. Vyssh. Zaved. Pischev. Tekhnol.* No. 3, 33-35 (1966)
- (37) Medvedeva E. I.; Etude de la thermo-dénaturation de la gliadine par la methode d'électrophorèse. *Biokhimiya Zefna. i Khletopechenija* **6**, 121 (1960)
- (38) Mann R. L. and Briggs D. R.; Effects of solvent and heat treatments on soybean proteins as evidenced by electrophoretic analysis. *Cereal Chem.* **27**, 258 (1950)
- (39) Demeaux M. et Bidan P.; Etude de l'inactivation par la chaleur de la Polyphenoloxydase du jus de pomme. *Am. Tech. Agri. (France)* **15** (4), 349 (1966)