豆類蛋白質の消化度に関する研究

Studies on the Digestibility of Some Kinds of Leguminous seed Proteins

(第1報) 基本的加熱処理

(1) Fundamental Experiments on Heat-treatment

(昭和34年8月24日受理)

高 橋 己 幸
(Miyuki Takahasi)

The effect of heat treatment at 100°, 110°, and 130°C with water and at 105° and 150°C without water on the nutritive values of the proteins of kidney beans, green peas, and peanuts was studied by measuring the digestibility and the liberated amounts of methionine, cystine, and lysine, as the nutritive limiting factors, after the digestion with pancreatine.

The results were as follows:

1) On the green pea- and peanut proteins, the highest digestibility, was shown in the case of the raw materials, and this was followed by the materials heated at 130°C with water. Meanwhile, on the kidney beans, the reverse was shown. The materials heated at 150°C without water showed the lowest digestibility.

2) The materials heated at 130° and 110°C with water showed the highest liberation of methionine and cystine.

3) On the liberation of lysine, the highest value was shown by the raw materials and the lowest by the materials heated at 150°C without water.

序 論

1917年 Osborn & Mendel¹⁾ は蛋白源として大豆を使用して白ねずみを飼育して生大豆では生育不可能であったのに対し、水の存在下で加熱した大豆蛋白質はよく動物の生長を促進することを観察した。以来加熱処理による豆類蛋白質の栄養価の向上という問題が大きく取り上げられるようになりその研究も多くなされてきた。

Waterman はそら豆蛋白質 Phaseolin の栄養価が加熱により向上することを *in vivo*²⁾ 及び *in vitro*³⁾ 試験で認めている。更に John & Finks⁴⁾ らは加熱したものに Cystine を添加すると初めて rat が正常に生長することを観察している。

大豆については、Melnick⁵⁾, Evans⁶⁾, Jones⁷⁾, Riesen⁸⁾ らにより、いずれも加熱処理によりその栄養価を向上することが観察されているが、他の豆類では必ずしも栄養価は向上していない。加熱による大豆蛋白質の栄養価向上の機構については次の三つの説が提唱されているが未だに解明されていない。即ち

(1) Trypsin 阻害因子が熱により破壊あるいは不活性化される⁹⁾。

(2) Liener 及び Pallansch が脱脂大豆中より分離

した Soyin のごとき有毒成分が熱により破壊される¹⁰⁾。

(3) 多くの植物蛋白質の制限アミノ酸たる含硫アミノ酸が熱により活性化される¹¹⁾。

しかし Trypsin 阻害因子については Borchers & Ackerson¹²⁾ らの詳細な研究により、加熱による栄養価の向上と、Trypsin 阻害因子の存否との間に何ら平行関係のないことが明らかにされており、更に Soyin のごとき有毒成分は現在大豆のみに発見されているものであつて、これらは加熱による栄養価向上の原因の一つであるかもしれないが、これで全てを説明することは不可能である。

一方 Hayward は大豆を加熱すると生大豆に Cystine を添加した場合と同様の栄養価向上がみられること及び加熱大豆に Cystine を添加してもより以上の効果がないことから、生大豆中では Cystine は栄養的に無効の形で存在し、加熱により有効化されるのではないかと考えたのである。

又、林、有山¹³⁾ は Pancreatine を使って大豆の人工消化試験を行い、各種の加熱条件下での大豆蛋白質の消化度および含硫アミノ酸の遊離度を測定し、Hayward の含硫アミノ酸有効化説を裏付けるような成績を得てい

る。すなわち大豆蛋白質の消化度は一般に湿性加熱によって向上し、110°Cの湿性加圧加熱が最高で、130°Cの湿性加圧加熱、水煮沸の順となる。乾性加熱は対照の生より悪く、特に150°Cの乾性加熱は最低値を示し、同時に測定した Methionine Cystine および Lysine の遊離度は全くこれと同じ傾向を示している。

従来蛋白質の栄養価はもっぱら構成アミノ酸の質および量に重点がおかれて検討されてきた。しかし、一時間という僅かの時間のずれでもアミノ酸相互の補足効果は著しく低下し、体蛋白質の合成のためには、血中に必要なアミノ酸が必要な量だけ同時に存在していなければならないといわれている。これは蛋白質の栄養価がそのアミノ酸組成だけでなく、その消化度及び消化速度に大いに支配されることを意味するものであろう。

著者はわが国の豆類生産額および消費量において上位を占める3種の豆すなわちいんげん・えんどう・落花生を用いて加熱処理が豆蛋白質の消化速度と Methionine, Cystine, Lysine の遊離度に対する影響を検討したのでここにその成績を報告する。

実験材料及び実験方法

I 原試料

- (1) いんげん *Phaseolus vulgaris* L. 大手七
1955年北海道農業試験場十勝支場産。
- (2) えんどう *Pisum sativum* L var *arvense*
Poir 札幌青手無一号
1955年北海道農業試験場十勝支場産。
- (3) 落花生 *Arachis hypogaea* L. 千葉半立種
落花生。
1955年千葉県農業試験場落花生生育種試験場産

第1表 原試料成分組成 (試料 100 g 中)

	いんげん	えんどう	落花生
水分	14.8 (g)	13.4 (g)	7.8 (g)
粗蛋白質	20.78	23.41	22.91
粗脂肪	1.82	1.65	49.99
粗繊維	5.0	7.34	2.40
糖分	54.0	52.0	15.0
灰分	3.6	2.2	1.9

II 供試料調整

原試料はいずれも整粒後、落花生のみは脱皮してから乾燥、粉碎し、60mesh/inch の篩を通した後 ether で出来るだけ完全に脱脂、乾燥する。

III 加熱処理

上記供試料にそれぞれ次の加熱処理を施す。

- (1) 水煮沸

- (2) 湿性加圧加熱 110°C (6 lb.)
- (3) 湿性加圧加熱 130°C (25 lb.)
- (4) 乾性常圧加熱 105°C
- (5) 乾性常圧加熱 150°C

加熱時間はいずれも30分とする。

IV 人工消化試験

Melnick⁵⁾ らの方法を参考として、蛋白質 3g に相当する供試料を取り、それぞれの加熱処理を行った後、pH8.4 に調整し、0.0075 M phosphate buffer 溶液 15 ml を加え、(湿性加熱の試料には処理前に水 50ml を加え、乾性加熱および対照として用いた生の場合は処理後同量の水を加えておく) 更に 100mg の U.S.P. pancreatine を含む phosphate buffer 溶液 10ml を加えて充分混和した後、toluene 5ml を加えて 37°C の恒温器中で消化せしめる。

消化度の測定は、24時間、48時間、120時間の3回に亘って行うが、測定時には沸騰水中で15分間加熱して酵素力を停止させる。次にこれに水を加えて 200ml に稀釈し濾過して定量用消化液とする。

消化度の測定にあたっては、a) 消化液 20ml をとり formol 滴定法により遊離アミノ態窒素量を測定する。b) 不活性化した pancreatine を加えたものを盲検値として測定し、c) 同じく不活性化した pancreatine を加えて 8N H₂SO₄ で 24 時間水解したものを極大値として測定し、これらの値から消化度は次式に従い算出する。

$$\text{消化度}(\%) = \frac{a) - b)}{c) - b)} \times 100$$

V Cystine 定量法

Folin の方法に従い比色定量する¹⁴⁾。

VI Methionine 定量法

Sulliran-McCarthy の Bolling 改良法に従い比色定量する¹⁵⁾。

VII Lysine 定量法

Lysine-decarboxylase により分解生成する CO₂ 量を検圧的に測定する Gale らの方法による¹⁶⁾。

実験成績

第1図より第12図まで。(別掲)

1. いんげん

消化度 湿性加圧加熱 130°C が最高の消化度を示し、ついで生と乾性加熱 150°C が良好である。湿性加圧加熱 110°C、水煮沸がそれらに続くがこの二つは非常に接近した値を示している。乾性加熱 150°C は著しく悪い。

Cystine 遊離度 やはり湿性加圧加熱 130°C が最高の遊離度を示し、生と乾性加熱 105°C とがそれに次

栄養と食糧

いでいる。しかし加熱処理による差が非常に少ない。

Methionine 遊離度 湿性加圧加熱130°Cが最高で同じく湿性加圧加熱110°Cがそれについて良好である。乾性加熱150°Cを除く全ての加熱処理により遊離度は向上している。

Lysine 遊離度 生が断然他をひき離して良好である。ついで湿性加圧加熱130°Cと乾性加熱150°Cが良好であり、乾性加熱150°Cはやはり低い値を示している。

2. えんどう

消化度 生と乾性加熱105°Cが著しく良好である。湿性加圧加熱130°Cがそれに次ぎ、最低は乾性加熱150°Cである。

Cystine 遊離度 やはり湿性加圧加熱130°Cが最高値を示し、乾性加熱150°Cが最低であるが、いんげんの場合と同様に加熱処理による差が非常に少ない。

Methionine 遊離度 湿性加圧加熱130°Cが最も良好で生と乾性加熱105°Cがそれについている。乾性加熱105°Cは著しく悪い。

Lysine 遊離度 いんげんの場合と同様、いかなる加熱処理を施した場合よりも生が良好な遊離度を示している。乾性加熱150°Cはこの場合にも最低である。

3. 落花生

消化度 乾性加熱105°Cと生が最も良好である。次いで湿性加圧加熱130°Cであり、それに続く湿性加圧加熱110°Cと水煮沸とは殆んど同じ値を示している。やはり乾性加熱150°Cは著しく悪い。

Costine 遊離度 いんげん・えんどうの場合と同様湿性加圧加熱130°Cが最高の遊離度を示し、加熱処理による差が殆んどみられない。

Methionine 遊離度 湿性加圧加熱130°C、110°Cともに著しく高い遊離度を示している。この場合にも乾性加熱150°Cは非常に低い。

Lysine 遊離度 生および乾性加熱105°Cが最高の遊離度を示し乾性加熱150°Cが最低であるが、加熱処理の遊離度におよぼす影響は、いんげん・えんどうに比して比較的少ない。

考 察

以上の成績より明らかなことは、第一にいんげん・えんどう・落花生の場合加熱により必ずしも蛋白質消化度及びアミノ酸遊離度は向上していないということである。意外にも対照の生と乾性加熱105°Cとが良好である

という結果が得られた。大豆においては湿性加熱はいずれも消化度の向上をきたし、乾性加熱では低下したが、本試験の試料では湿性加熱必ずしも消化度の向上を示さず、湿性加圧加熱130°Cのみが良好である。

第二に大豆の消化試験では消化度並びに Methionine Cystine および Lysine 遊離度の加熱処理による影響がすべて、平行関係を示していたに対し、本試験の試料ではそれが殆んど見られない。すなわち消化度についてみると、えんどう・落花生ともに生が最高値を示し、ついで湿性加圧加熱130°Cである。いんげんはその逆であるが乾性加熱150°Cはどの試料についても最低値を示し、最高値の約60~65%の減少である。水煮沸と湿性加圧加熱110°Cが殆んど同じ数値を示し、いずれも生より悪い消化度を示していることは大豆と対比して頗る興味あることである。Cystine 遊離度については湿性加圧加熱130°Cがいずれも最高値を示しており、特に注目されるのは処理による差が他のアミノ酸に比して著して少ないことである。Methionine 遊離度は湿性加圧加熱130°C、110°Cともに著しく良く、ついで生、水煮沸の順であつて、乾性加熱150°Cは非常に悪く前者との差がはなはだしく大であることは Cystine と対照的である。Lysine については、生が断然他をひき離して良好であり、最低は上述の消化度、Methionine, Cystine の場合と同様に乾性加熱150°Cの試料である。

つぎに加熱処理による消化度並びにアミノ酸遊離度の向上および低下と、その機構について考察したい。

いんげんに関しては Osbone & Mendel を初めとし John & Finks ら多数の研究者¹²⁾により加熱により栄養価が改善されることが証明されており Trypsin 阻害因子の存在することが知られている。一方えんどう・落花生は加熱処理で栄養価は向上しないと報告されている。しかし、えんどうは Trypsin 阻害因子の検出が陰性であり、落花生は陽性である。且また Borchers らは30種の豆について Trypsin 阻害因子の存否と加熱処理による栄養価改善の間にはなんら平行関係がないと述べている。また、大豆の Trypsin 阻害因子と精製して chick, rat に与えても成長を阻止しない事実が認められている。

つぎに含硫アミノ酸たる Cystine, Methionine の加熱による活性化説との関係について考えると Cystine については前述の通りあまりはなはだしい差が認められないが、Methionine では明らかに加熱による改善がみられる。しかもあくまで湿性加圧加熱で効果が顕著であることは興味深い。Melnick らは乾性加圧加熱で遊離の Methionine および Cystine 量とともに減少することを報告している。本実験は湿性加圧加熱処理を施した試

料が Hayward の含硫アミノ酸活性化説を裏づけるのか
ごとき結果を与えている。

また peptide 結合の熱による変性が消化度を向上させる一因たりうることは化学構造上から明らかなことである。すなわち生蛋白質の形態保持に最も大切な peptide 間の水素結合や S-S 結合は互に堅く閉鎖し合っているが、加圧加熱とうの物理的処理は容易にこれらの結合を切断解離せしめ、その結果反応性を高め、水や酵素の蛋白質内への侵入を容易にする¹⁷⁾¹⁸⁾。

ところがどの試料においても乾性加熱150°Cの加熱処理は最低の消化度およびアミノ酸遊離度をもたらしめている。この理由としては150°Cという高温でアミノ酸が破壊するであろうとも考えられるが、Davis¹⁹⁾はこれについて興味ある実験を行つている。すなわち、生卵白と高温加熱卵白(140°C)で消化度と rat の生長とを比較した際、高温加熱により消化度、生長ともに低下したのに対し、卵白と同一組成のアミノ酸混合物を用いて同様処理しても生卵白との差は殆んどみられなかつたのである。この結果から考えるとアミノ酸そのものは高温加熱により殆んど変化しないが、peptide 結合が変化を受け消化酵素の作用を受け難くするのではないかと考えられる。しかし乾性高温加熱と湿性高温加熱でむしろ逆の結果であることは注目され、今後更に検討を要する点である。

加熱により必ずしも消化度およびアミノ酸遊離度の向上しないもう一つの理由として Maillard 反応が考えられる。加熱により明らかに色変が認められ、いんげん・えんどうともに50%以上の糖を含有しており、塩基性アミノ酸である Lysine に富んでいる豆では、充分に考えうる反応と思う。事実 Baldwin²⁰⁾ の報告によると蛋白質を還元糖の存在下で121°Cで3分間加熱すると rat の生長を25%減少させ還元糖を除くと、かような効果を示さない。また加熱処理前後のアミノ酸については特に塩基性アミノ酸の減少が甚しく Arginine 70%, Lysine 50% が分解したと述べている。結局、Maillard 反応には塩基性アミノ酸が関与し、酵素が作用し難しくなり消化が悪くなるものと思われる。Lysine の加熱による遊離度の低下はこの反応が生起したかのごとき結果として表われている。しかし湿性加圧加熱130°Cが110°Cの場合より Lysine 遊離量が多いことは Maillard 反応のみでは説明がむずかしく、今後更に検討すべき点である。

わが国の食糧構成上主食である穀類蛋白質の制限アミノ酸は Lysine とされている。動物性蛋白質に恵まれな
いわが国では豆類蛋白質を副食として供することにより Lysine, Methionine を初め他の必須アミノ酸を補足することが出来る。本研究の結果から考えると いんげん・えんどう・落花生の持つ蛋白質を損失なく利用する為には、理論的にはなるべく生に近い状態で食用することが好ましい。この意味において本実験成績は豆の使用法に對して一つの示唆と科学的根拠を与えるものと考えている。

終りに臨み終始御指導賜りました東北大学有山恒教授に謹んで感謝の意を表する。また大学院生林寛氏の有益な助言と御批判に對し深謝する。

文 献

- 1) T.B. Osborn & L.B. Mendel: J. Biol. Chem. **32**, 369 (1917)
- 2) H.C. Waterman & A.I. Finks: J. Biol. Chem. **41**, 379 (1920)
- 3) H.C. Waterman & C.O. Johns: J. Biol. Chem. **46**, 9 (1921)
- 4) C.O. Johns & A.J. Finks: J. Biol. Chem., **41**, 379 (1920)
- 5) D. Melnick, et al: Science, **103**, 326 (1946)
- 6) R.J. Evans: Arch. Biochem. **11**, 15 (1946)
- 7) D.B. Jones: Federation Proc. **3**, 116 (1944)
- 8) W.H. Riesen, et al: J. Biol. Chem. **167**, 143 (1947)
- 9) W.E. Ham, R.M. Sandstedt: J. Biol. Chem. **154**, 505 (1943)
- 10) I.E. Liener & M.J. Pallansh: J. Biol. Chem. **197**, 29 (1952)
- 11) J.W. Hayward: J. Nutrition **16**, 219 (1936)
J. Nutrition **12**, 275 (1936)
- 12) R. Borchers & C.W. Ackersod: J. Nutrition **14**, 340 (1950)
- 13) 林寛, 有山恒: 栄養と食糧 **10-3**, 134 (1953)
- 14) 有山恒, 志村憲助: 蛋白質化学 p. 123 (1953)
- 15) Block & Bolling: The amino acid composition of protein and foods p. 221
- 16) 近藤富美雄: 化学の領域増刊 No. **13**, 146 (1955)
- 17) 荒谷真平: 生化学 **21**, 1 (1949)
- 18) F. Haurowitz: Chemistry and Biology of Protein p. 127 (1950)
- 19) R.M. Davis: J. Nutrition **37**, 115 (1949)
- 20) R.P. Baldwin, J.R. Lowry & R. Thiersen: Food Res. **16**, 107 (1951)

(聖靈女子短期大学附属高校)

(経費著者負担)