大豆蛋白質の消化度に及ぼす加熱の影響 (Effect of Heat on the Digestibility of Soybean Proteins.)

(昭和 32 年 5 月 9 日受理)

林 寛 有 山 恒
(Yutaka Hayashi) (Hisashi Ariyama)

The influence of heat-treatment on the nutritive value of soybean protein was studied by measuring the effect of heat on the digestibility of soybean protein and the degree of liberation of "nutritive limiting factors", methionine, cystine and lysine, by *in vitro* pancreatic digestion.

The digestibility of soybean protein was increased as the digestion period was prolonged and the autoclaving at 110°C as heat-condition showed the highest digestibility and was followed by the autoclaving at 130°C and boiling. The dry-heating decreased the digestibility as compared with the control (raw) and the dry-heating at 150°C showed the lowest digestibility.

The degree of methionine liberation showed the same tendency as digestibility, the autoclaving at 110°C was the highest, twice as high as the control and was followed by the autoclaving at 130°C and boiling. The dry-heating was lower than the control and the dry-heating at 150°C showed the lowest value.

The degree of liberation of cystine and lysine were almost the same as that of methionine.

緒 言

大豆蛋白質の栄養価に関する研究として古くは 1917 年 Osborne および Mendel¹⁾ は蛋白源として大豆を使用してシロネズミを飼育し、生のものでは成長しなかったが、煮るとよく成長し大豆蛋白質の栄養価は水とともに加熱することによって向上することを観察した。同じような報告がほかの研究者たちによっても発表されているが、何故に改善されるかその機構についてはまだ決定的に解明されていない。

この問題に関する従来の説を紹介するならば、以下 3 つの主張があるように思われる。すなわち (1) Ham²⁾ および Bowman³⁾ が発見し、Kunitz⁴⁾ が結晶化した trypsin inhibitor が蛋白質の利用を阻害する上に大きな役割を演じ、このものが熱により破壊あるいは不活性化されることが *in vivo* ならびに *in vitro* の実験で証明されている。(2) 最近 Liener および Pallansch⁵⁾ によつて脱脂大豆から分離された有毒蛋白質である soyin も阻害の一つの原因として考えられ、このものも加熱によつて破壊される。(3) アミノ酸活性化説⁶⁾ で大豆蛋白質の栄養制限因子である含硫アミノ酸は加熱によつて活性化する。などである。

Melnick ら⁷⁾ は加熱処理による大豆蛋白質の栄養価の向上を pancreatin による *in vitro* の消化試験によ

つて証明しているが、Evans⁸⁾、Jones⁹⁾、Riesen¹⁰⁾ も水の存在で調理した時あるいは加圧加熱した場合に消化度が著明に向上することを観察している。一方、生大豆の蛋白質には cystine が不足することが Mitchell ら¹¹⁾ により古くから指摘されており、これに対して Hayward ら⁶⁾ は生大豆の cystine はおそらく栄養的に無効の形で存在し、それが加熱により有効化して栄養価の向上することを栄養実験によつて証明している。かれら¹²⁾ はまたほかの含硫アミノ酸である methionine が生大豆蛋白質には的確に不足し、このものは cystine より一層制限アミノ酸となつており消化の際に蛋白分子から遊離する速度は湿熱で増大し過激な加圧加熱で低下すると報告している。また、大豆の lysine については過熱処理がその栄養価を低下する原因と考えられており、過熱した大豆の栄養価が lysine¹³⁾ の添加で改善されるし、また methionine と lysine¹⁴⁾ あるいは methionine, cystine, lysine¹⁵⁾ の添加でそれぞれ改善されることが *in vivo* の試験で明らかにされている。

従来、蛋白質の栄養価を論ずる場合にはもつぱらその構成成分たるアミノ酸の量および質に重点が置かれたが、栄養の窮極における蛋白質を考える場合には消化度ということも見落してはならない重要な項目である。

本実験においては生大豆蛋白質を湿熱、乾熱など温度

の異なる各種の加熱条件で加熱処理した後人工消化試験をおこない、このような加熱条件における大豆蛋白質の水解速度および制限因子たる methionine, cystine および lysine の遊離度を測定して Hayward らの in vitro の試験を裏付けする結果が得られたのでここに報告する。

実験方法

(I) 供試料 供試原料としては 1954 年東北大学農学部実験農場において収穫した「奥羽 13 号」の完熟大豆を使用した。大豆は整粒した後粉碎し、30 mesh/inch のふるいを通過させた後、エーテルで脱脂し、これを供試料とした。なお対照は生大豆をそのまま用いた。供試原料の成分組成は水分 13.15%, 粗蛋白質 45.54%, 粗脂肪 17.19%, 粗繊維 4.20%, 無機質 4.80% である。

(II) 加熱処理 上記試料の加熱方法は次のごとくで、加熱時間はいずれも 30 分とした。

- (1) 水煮沸
- (2) 加圧釜湿熱加熱 110°C (6 lb)
- (3) 加圧釜湿熱加熱 130°C (20 lb)
- (4) 乾熱加熱(常圧) 105°C
- (5) 乾熱加熱(常圧) 150°C

(III) 人工消化試験 蛋白質の人工消化試験は大体 Melnick ら⁷⁾の方法に従った。すなわち、蛋白質 6g に相当する試料をとり、上記の各条件で加熱処理した後これを 50~60ml の水に懸濁し pH 8.4 に調整して 0.0075M 磷酸緩衝液* 30 ml. を加え水で 130 ml. とする。つぎにこれに pancreatin** 200mg 含有する緩衝液 20ml. を加え充分に混合した後、トルエン 10 ml. を加え、37°C の恒温器中に放置した。測定時には沸湯水浴中に 15 分加熱して酵素力を停止させた。消化度は次のようにして測定した。消化液*** 5 ml. をとり、formol 滴定の N を測定する (a)。なお不活性にした pancreatin を加えたものを盲値として測定し (b)、また不活性化した pancreatin を加え 8 N H₂SO₄ で 24 時間水解したものを極大値として測定して (c)、これらの値から消化度を次式により算出した。

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

* M/5 KH₂PO₄ 750 ml. + 1M NaOH 144 ml., 水で 1l. に希釈, pH 8.4.

** 日本薬局方 pancreatin.

*** 測定は 24. 48 および 120 時間の 3 回であるので、同じ処理の消化液をおのおの 3 本づつ作って置き、測定の都度酵素力を消滅させ、トルエンを除き、水で 200 ml. に希釈して濾過し、定量用の消化液とした。

(IV) Methionine の定量 Methionine の定量は

Sullivan-McCarthy 法の Bolling 改良法⁶⁾によった。すなわち、消化液 5 ml. をとり、5 N NaOH および 10 % glycine 溶液をそれぞれ 1 ml. ずつ加えた後、10 % nitroprusside 溶液 0.2 ml. を加え、37°C~40°C の水浴中に 15 分、ついで氷浴中に 5~7 分置いた後、6 N HCl 20 ml. を加えれば発色する。15 分放置後、日立 EPO-B 型光電比色計で 540 mμ のフィルターを用いて比色定量した。

(V) Cystine の定量 Cystine は燐 18 タングステン酸を発色剤として用いる Folin の方法¹⁷⁾によつて定量した。すなわち、消化液 2 ml をとりこれに水 0.5 ml., 10 % LiSO₄ 溶液 0.5 ml., 飽和重炭酸ソーダ溶液 2.5 ml., 発色剤溶液 1 ml., 10 % Na₂SO₃ 溶液 0.5 ml. を加え、よく混和して 30°C の水浴中に 5~8 分置いた後、溶液を水で 25 ml. に稀釈し、光電比色計で 540~525 mμ のフィルターを用いて比色定量した。

(VI) Lysine の定量 Lysine の定量は Gale らの lysine decarboxylase を用いる方法によつたが、酵素製品は近藤氏の方法¹⁸⁾によつて得た。すなわち Bact. cadaveris (N. C. T. C. ref. No. 6578) をペプトン水に 37°C で 24 時間培養し、これを次の組成の培地 15 ml. を分注したシャーレに 0.5 ml. ずつ接種する。

培地組成: 3% polypeptone, 2% KH₂PO₄

2% glucose, 2.3% agar-agar,

培養温度は 25°C, 培養時間は 48 時間とした。培養終了後、菌体を集め、acetone powder を作った。遊離 lysine 量は decarboxylase によつて発生する CO₂ をワールブルグ検圧計で測定してもとめた。

実験成績とその考察

(I) 加熱条件と消化度 実験成績は第 1 図に示すごとくどの処理大豆においても時間とともに消化度は上昇し、湿熱したものは乾熱のものよりはるかに消化度が高く、湿熱の最高は 110°C の加圧釜加熱、ついで 130°C の加圧釜加熱、常圧水煮沸となつている。これに反して乾熱は対照の生と変わらないかあるいはそれより低い消化度を示し、150°C 乾熱加熱は最低値を示した。

これらの結果から、加熱処理は蛋白質の栄養価を良くする場合もあるが悪くする場合もあることが理解される。すなわち水の存在下での加熱が望ましく乾熱加熱は栄養価の低下が甚だしい。

(II) 加熱条件と制限アミノ酸の遊離度 pancreatin により遊離されてくる methionine, cystine および lysine をそれぞれ時間的に定量した。その成績は第 2 図、第 3 図および第 4 図のごとくで、アミノ酸の遊離度は消化度と同様に消化時間が長くなるに従つて高くな

第1図 加熱条件による消化度の比較

第3図 加熱条件による遊離シスチン量

第2図 加熱条件による遊離メチオニン量

第4図 加熱条件によるリジン量

り、加熱条件による遊離度も大体消化度の消長と傾向を同じくした。すなわち methionine の遊離度は 110°C 加圧釜加熱がもつとも高く、ついで 130°C 加圧釜加熱、水煮沸の順となり、乾熱加熱はきわめて悪く対照の生よりも低かつた。cystine および lysine の遊離度もやはり湿熱の加圧加熱がもつとも高く、乾熱ははなはだ悪く methionine とほぼ同じ傾向を示した。

以上の実験結果から Hayward らのいわゆる加熱による制限アミノ酸有効化説を裏づけ証明することが出来た。すなわちかれらは生大豆に cystine あるいは methionine を添加すると加圧釜加熱処理の大豆と同様にシロネズミやヒナの体重を増加させることが出来ることから、大豆の cystine や methionine は生の形態では動物によって利用されないが、湿熱処理すると利用されるようになると報告しているが、今回は消化の点から *in vitro* にこれを証明することが出来た。

いうまでもなく大豆は栄養価の点では植物性食品中白眉的のものであるが、わが国における従来の食用法は加工が行き過ぎ本来の栄養素の活用において多くの欠点が見出される。大豆の持つ栄養素を損失なくもつとも有効に利用するにはなるべく原料に近い粉末の形態で複合的に使用するのが最善の策と思われる。蛋白質と脂質資源に乏しいわが国の食糧事情からみて大豆の活用は国民栄養の点から焦点の問題の一つであるといえよう。この意味において本実験の成績は大豆の使用法に対して一つの示唆と科学的根拠を与えるものと思惟する。

要 旨

(1) 大豆蛋白質の加熱による栄養価の差異をみるために、蛋白分解酵素による人工消化試験法によつて各種加熱条件における大豆蛋白質の消化度を測定し併せて栄養制限因子たる methionine, cystine および lysine の遊離度をそれぞれ時間的に測定した。

(2) 大豆蛋白質の消化度は時間と共に上昇し一般に湿熱によつて向上して 110°C の加圧釜加熱は最も消化度が高く、ついで 130°C の加圧釜加熱、水煮沸の順となる。乾熱は対照の生よりむしろ消化が悪く、特に 150°C 乾熱は最も低い消化度を示した。

(3) Methionine の遊離度は消化度とほぼ軌を同じくし、110°C 加圧釜加熱が最も高く生のものの約2倍に達し、130°C 加圧釜加熱および水煮沸がこれにつづいた。乾熱は生より低く 150°C の乾熱は最低値を示した。

(4) Cystine および lysine の遊離度は methionine と殆んど同一の傾向を示した。

終りに臨み、lysine の定量に種々援助を頂いた本学 家畜飼養学研究室の近藤富美雄氏に厚く謝意を表する。

本論文の一部は第 10 回栄養食糧学会総会において発表した。

文 献

1. Osborne, T. B., & Mendel, L. B.,: J. Biol. Chem., 32, 369 (1917)
2. Ham, W. E., et al.: J. Biol. Chem., 154, 505 (1944)
3. Bowmann, D. E.,: Proc. Soc. Exper. Biol. Med., 57, 139 (1944)
4. Kunitz, M.,: Science 101, 668 (1945), J. Gen. Physiol., 29, 149 (1946)
5. Liener, I. E., & Pallansch, M. J.,: J. Biol. Chem., 197, 29 (1952)
6. Hayward, J. W.,: J. Nutrition 11, 219 (1936), 12, 275 (1936)
7. Melnick, D., et al.: Science 103, 326 (1946)
8. Evans, R. J.,: Arch. Biochem., 11, 15 (1946)
9. Jones, D. B.,: Federation Proc., 3, 116 (1944)
10. Riesen, W. H., et al.,: J. Biol. Chem., 167, 143 (1947)
11. Mitchell, H. H.,: J. Biol. Chem., 95, 263 (1932)
12. Hayward, J. W., et al.: Poultry Sci. 20, 139 (1941)
13. Parsons, T. H.,: J. Home Econ., 35, 211 (1943)
14. Clandinin, D. R., et al.,: Poultry Sci., 26, 150 (1947)
15. McGinnis, J., & Evans, R. J.,: J. Nutrition 34, 725 (1942)
16. Block, R. J., & Bolling, D.,: The amino acid composition of proteins and food. (Springfield, Second Edition. 1951) p. 221.
17. 有山恒, 志村憲助: 蛋白質化学(朝倉, 3版. 1953) p. 123
18. 近藤富美雄: 日本畜産学会東北支部大会講演. 1956年9月)

(東北大学農学部栄養科学研究室)