農化 第 49 卷, 第 8 号, p. 435~437, 1975]

脂質の酸化に伴うたんぱく質の有効性

リジン量および消化率の変化:

モデル系における実験*

高 栄泰, 柳田晃良, 菅野道廣

(九州大学農学部食糧化学工学科)

昭和 50 年 4 月 10 日受理

Changes in Available Lysine and Digestibility of Proteins Accompanied with Lipid Oxidation : Experiments with a Model System [Note] (Effect of Oxidized Fats on Nutritive Value of Proteins Part VI)

By Young Tae KO, Teruyoshi YANAGITA and Michihiro SUGANO

The Laboratory of Nutrition Chemistry,
Department of Food Science and Technology,
Fukuoka University School of Agriculture, Fukuoka

The effect of lipid oxidation on the nutritive value of proteins was investigated using a model system composed of protein-ethyl linoleate-sugar. The mixture was kept at 50°C, RH 80.4% for 1~2 weeks under fluorescent light. Available lysine and digestibility *in vitro* by pepsin and trypsin were measured with defatted proteins.

1. The effect of sugars on casein : The decreases in the quantity of available lysine and the digestibility by trypsin were remarkable with glucose or alactose in comparison with sucrose, lactose, cellulose or corn starch. No differences were observed on the digestibility by pepsin though it was decreased.

2. The effect of the amounts of lipid on casein : The extents of the decreases in the three parameters measured were remarkable with the increasing amounts of lipid. Even without lipid but glucose was presented, there was a considerable deterioration of casein.

3. The effect on different proteins : The extent of deterioration of casein was remarkable in comparison with that of gluten or soy-bean protein.

(Received April 10, 1975)

* たんぱく質の栄養価に及ぼす酸化脂質の影響 (第 6 報).

食品成分は自ら変化すると同時に, 共存する他成分にも影響を及ぼす⁽¹⁾. 柳田らは, 脂質の酸化に伴うカゼインおよび卵アルブミンの変化を検討し, 有効性リジン量の減少, 人工消化率および生物価の低下を報告している^(2,3). Lea ら⁽⁴⁾は, グルコースとカゼインの混合水溶液の凍結乾燥物を保存した際, Lys, Arg, Tyr の損傷が著しいことを認めている.

たんぱく質-脂質, たんぱく質-糖質間の相互作用については, かなりの知見が集積されつつあるが⁽⁵⁾, 食品により類似した系での脂質の酸化に伴うたんぱく質の栄養価の変化に関しては, ほとんど知られていない. 本実験では, たんぱく質-脂質-糖質からなるモデル系を設定し, 糖質, たんぱく質の種類, および脂質含量を変えた場合の, 脂質の酸化に伴うたんぱく質の変化を検討した.

1. 実験系

(1) 糖質の種類の影響: カゼイン (Merck, Hammarsten), リノール酸エチル (東京化成, 純度 93%) および糖質の 4:1:4 (重量比) 混合物を相対湿度 (RH) 80.4%, 50°C, 蛍光灯照射下で放置した⁽²⁾. 糖質としてはセルロース (東洋製作所, 100 mesh), グルコース, ガラクトース, シュクロース (ともに試薬特級), ラクトースおよび, とうもろこしでんぷん (ともに試薬 1 級) を用いた. 一定期間放置後, エーテルおよびアセトンで十分脱脂し, 反応カゼインを得た. 対照カゼインとしては, 脱脂処理のみをほどこしたものをを用いた.

(2) 脂質含量の影響: カゼイン-セルロース (1:1) あるいはカゼイン-グルコース (1:1) 系に種々の量のリノール酸エチルを添加し, (1) と同様の条件で放置し処理した.

(3) たんぱく質の種類の影響: カゼイン, 卵アルブミン (Merck), 大豆たんぱく質 (和光純薬, 純度 54%) およびグルテン (東京化成, 純度 71%) を用いて, たんぱく質-リノール酸エチル-グルコース (4:1:4) 系を設定し, (1) と同様の条件で放置した.

人工消化率は, トリプシン (Miles-Servac, 牛脾臓) およびペプシン (Sigma, 豚胃粘膜) を用いて測定した⁽⁶⁾. 有効性リジンは, Carpenter⁽⁷⁾ の方法で定量した. なお, 各表に示した結果は 3 回の測定の平均値である.

2. 糖質の影響: Table I に示すように, セルロース, ラクトースおよび, とうもろこしでんぷん系に比べ, グルコースおよびガラクトース系では, 有効性リジン量

Table I. Effects of Different Sugars on Changes in Casein due to Oxidation of Lipid¹⁾

Sugars	Relative digestibility(%) ²⁾				Available lysine (%) ²⁾	
	Pepsin		Trypsin			
	7 days	14 days	7 days	14 days	7 days	14 days
Cellulose	66	58	71	65	74	70
Glucose	68	59	57	34	50	30
Galactose	67	59	65	54	60	38
Sucrose	63	57	68	61	69	66
Lactose	66	59	71	65	77	74
Corn starch	67	60	72	66	72	67

¹⁾ The mixture of casein : ethyl linoleate : sugar (4 : 1 : 4, w/w/w) was kept at 50°C, RH 80.4% for 7 or 14 days under fluorescent light. ²⁾ Relative values to those of the unreacted protein.

とトリプシンによる消化率の低下が顕著であった。シュクロース系で、これらの値にラクトース、多糖類の場合と差がないことから、糖の還元性の影響は必ずしも一律的なものとは限らないようであった。

ペプシンによる消化率も低下したが、トリプシンの場合と異なり、各系間で差はなかった。このことは、両消化酵素が作用する部位にあるアミノ酸⁶⁾の損傷の程度に差があるためかも知れない。

柳田²⁾の実験(カゼイン-リノール酸エチル, 5 : 1)結果と比較し、本実験のグルコース以外の系では各測定値に大きな差はなかったが、グルコース系ではトリプシンによる消化率と有効性リジン量の低下がより顕著であった。たんぱく質-脂質系にグルコースを添加すると、たんぱく質の栄養価の低下はさらに促進されることを示唆する。

3. 脂質含量の影響 : Table II に示すように、脂質含量が高い系ほど、あるいは脂質含量が低い場合にも反応時間が長くなると、カゼインの変化は著しくなった。この傾向は、糖質を含まない系での柳田²⁾の報告と一致する。測定した項目のうち、有効性リジン量の低下はもっとも顕著であり、トリプシンによる消化率の低下がこれにつぎ、ペプシンによる消化率の低下がもっとも軽度であった。

脂質を含まない系では、ペプシンによる消化率の低下は認められなかった。この場合、糖質としてセルロースを用いた系では、トリプシンによる消化率、有効性リジン量とも未処理カゼインの値と差がなかったが、グルコースを用いた系ではこれらの値はかなり低下し、褐変度も著しかった。7日間反応の場合、グルコース系では脂

Table II. Effects of Amounts of Lipid on Deterioration of Casein¹⁾

Systems ²⁾	Relative digestibility(%) ³⁾				Available lysine (%) ³⁾	
	Pepsin		Trypsin			
	7 days	14 days	7 days	14 days	7 days	14 days
1	98	98	95	95	98	96
2	75	69	69	63	82	67
3	98	96	54	39	29	29
4	89	81	65	37	48	23
5	74	69	57	33	42	23
6	63	57	41	29	28	18

¹⁾ At 50°C, RH 80.4% under fluorescent light.

²⁾ Systems Casein : Ethyl linoleate : Sugars

1	4	0	4 cellulose
2	4	1	4 cellulose
3	4	0	4 glucose
4	4	0.5	4 glucose
5	4	1	4 glucose
6	4	2	4 glucose

³⁾ Relative values to those of the unreacted protein.

質無添加で低レベル添加より有効性リジンの減少率は大きであった(トリプシンの結果も類似傾向にあった)。この原因は明らかでないが、脂質添加量が多い系では無添加系と同様の結果が得られたので、脂質添加の多少による反応系の物理的状態の影響が推察される。いずれにしても、14日間反応の結果と併せると、少なくとも糖とたんぱく質の反応は速かに進行することが示唆された。

4. たんぱく質の影響 : Table III に示すように、ペプシンおよびトリプシンによる消化率の低下の程度は、カゼイン、大豆たんぱく質、グルテンの順であった。トリプシンの場合とくに顕著であり、ペプシンの場合の差は大きくなかった。有効性リジン量の減少はカゼ

Table III. Effects of Lipid Oxidation on Different Proteins¹⁾

Proteins	Relative digestibility(%) ²⁾				Available lysine (%) ²⁾	
	Pepsin		Trypsin			
	7 days	14 days	7 days	14 days	7 days	14 days
Casein	71	65	46	30	39	30
Egg albumin ³⁾	—	—	—	—	46	40
Soybean protein	78	71	71	51	68	68
Wheat gluten	84	82	96	93	65	43

¹⁾ The mixture of protein : ethyl linoleate : sugar (4 : 1 : 4, w/w/w) was kept at 50°C, RH 80.4% for 7 or 14 days under fluorescent light.

²⁾ Relative values to those of the unreacted protein. ³⁾ Egg albumin was defatted with ethyl ether, acetone and methyl alcohol.

ンでもっとも著しく、ついでアルブミン、グルテン、豆たんぱく質の順であった。しかし、各たんぱく質の度を考慮すると、このような変化を一律的に比較するとは問題があらう。

以上のように、脂質の酸化に伴うたんぱく質の栄養価低下はきわめて複雑多様であり、より詳細な研究が必要であらう。

(1) 八木一文, 秋谷年見: 食品の酸化とその防止,

光琳書院, 1968, p. 96.

- (2) 柳田晃良, 菅野道廣: 農化, **47**, 73 (1973).
- (3) 柳田晃良, 菅野道廣: 栄養と食糧, **27**, 275 (1974).
- (4) C. H. Lea, R. S. Hannan: *Biochim. Biophys. Acta*, **4**, 518 (1950); *ibid.*, **5**, 433 (1950).
- (5) V. C. Sgarbieri: *J. Nutr.*, **103**, 1731 (1973).
- (6) 堀米隆男, 神立 誠: 農化, **40**, 449 (1966).
- (7) K. J. Carpenter: *Biochem. J.*, **77**, 449 (1960).
- (8) 芦田 淳: 栄養化学概論, 養賢堂, 1972, p. 135.