

大豆白絞油と水素添加パーム油の脂肪酸組成、ヨウ素価、酸価、過酸化物価及び見かけの消化率に及ぼす揚げの影響

石 井 孝 彦

緒 論

食料需給表¹⁾によると脂質の供給量は一人一日あたり 84.8 g (油脂類 39.4 g) であり、国民栄養調査による脂質摂取量は 56.1 g (油脂類 17.9 g)²⁾ である。よって、かなりの食用油脂が食べられないで廃棄されている可能性がある。廃食用油を台所の流しから流すと排水管、下水道や下水処理場の設備に付着し、排水・下水処理能力が低下したり、下水道が未整備だと、河川、海などの水域環境に悪影響を与えることになる。固められて生ゴミとして捨てると、焼却炉³⁾の構造によっては焼損や処理量の低下につながる。このように、廃棄される食用劣化油を捨てることは環境負荷を増大させるので、揚げ物油から炒めものなどに使いきることが望ましいとされている。³⁾

しかしながら、揚げ物油を何度も使用したり、炒めものなどに使い回すことによって起こる食用油の劣化は、栄養価の低下や食品衛生的害毒物質の生成をひきおこす恐れがある。^{4,5)}そこで、本実験は、家庭で使用されている大豆白絞油と最近ファーストフード店で廃棄のしやすさから使用されている部分水素添加硬化油を繰りかえし使用した揚げ物油の性状と栄養価やラットの血清成分に及ぼす影響について調べることを目的とした。

実験材料と方法

1. 油脂：大豆白絞油とパーム油主体の水素添加硬化油を表 1 に示した揚げ

(2)

表1 試験油脂の揚げ条件

フライヤー	: 3 L 電気フライヤー
油 量	: 3 kg
揚げ温度	: 180 °C
加熱時間	: 9時から17時30分の8.5時間/日, 7月7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21日の11日間
揚げ種	: フライドポテト用冷凍ポテト (100 g/回)
揚げ時間	: 3分/回
揚げ間隔	: 5回/日 10, 11, 14, 15, 16時 総フライ回数55回
差し油	: フライ35回目終了時, 白絞油 491 g, 硬化油 464 g

条件により, 酸価2.50を目標に揚げ物に55回使用した油を調製した。大豆白絞油未使用油 (SFOと略す), 大豆白絞油揚げ物55回使用油 (SUOと略す), 硬化油未使用油 (HFOと略す) と硬化油揚げ物55回使用油 (HUO) を試料とした。油脂の脂肪酸組成はメチルエステル化後, ガスクロマトグラフィーで定量した。油脂のヨウ素価, 酸価, 過酸化値⁶⁾は, 常法で測定した。

2. 動物: 4週令のSD系雄ラット20匹を市販粉末飼料CE2 (日本クレア) で, 体重約200 gになるまで飼育し, その後, 表2に示した飼料で, 室温22±2 °C, 相対湿度55±10%, 12時間交代の明 (6時~18時) 暗期の動物室で4週間飼育した。飼料交換, 体重測定は毎日16時に行った。実験開始後4週目に5

表2 飼料組成 (g/kg)

	SFO	SUO	HFO	HUO
カゼイン	150	150	150	150
SFO	150			
SUO		150		
HFO			150	
HUO				150
α-コーンスターチ	150	150	150	150
しょ糖	460	460	460	460
セルロースパウダー	40	40	40	40
ミネラル混合 ^{*1}	40	40	40	40
ビタミン混合 ^{*1}	10	10	10	10

^{*1}: AIN76TM

日間代謝ケージで飼育し、後の3日間の糞、尿を分離採取した。実験最終日の8時に餌箱をはずし、14時に、ネンプタル麻酔下で、心臓より採血し、屠殺した。

3. 脂質の見かけの消化率：飼料と糞の粗脂肪量測定はソックスレー法で行い、次式によりみかけの消化率を算出した。糞は測定まで-20℃で冷凍保存し、凍結乾燥標品を使用した。

脂肪の見かけの消化率 = (摂取粗脂肪量 - 糞中粗脂肪量) × 100 / 摂取粗脂肪量

4. 血液検査：血清の総タンパク質、アルブミン、中性脂肪、総コレステロール、HDL-コレステロール、遊離脂肪酸、グルコース、カルシウム、リンは和光純薬(株)の常用臨床検査薬用試薬キットを用いて測定した。

5. 統計処理：データの統計処理は、一元配置分散分析を用い、等分散の場合には Duncan の Multiple range test で、等分散でなければ Cochran-Cox⁷⁾ の検定または Welch の検定で行った。

実験結果と考察

表3に使用した油脂の脂肪酸組成、ヨウ素価、酸価、過酸化値を示した。SFOの脂肪酸は18:2がもっとも多く、次いで18:1、16:0の順であった。HFOは16:0がもっとも多く、次いで18:1、18:0の順であった。SUOやHUOでは、16:0、18:0、20:0といった飽和脂肪酸や18:1の不飽和脂肪酸がSFOやHFOより増える傾向がみられ、18:2、18:3といった不飽和脂肪酸が減る傾向がみられた。Varela and Ruiz-Roso⁸⁾は、ほぼ同じ脂肪酸組成の複数の肉を同じ油で連続してフライすると、フライ油に含まれる飽和脂肪酸組成は20回のフライを繰り返す間に順次一定値になるまで増加し、肉とフライ油の間に飽和脂肪酸組成に差がなくなり、フライ油は飽和脂肪酸に富むようになると報告している。本実験の揚げ種はフライドポテト用冷凍ポテトで、食品中に脂肪はほとんど存在しないので、Varela and Ruiz-Rosoの結果のように食

(4)

品中の脂肪酸と揚げ油中の脂肪酸の置換は多くないと考えられる。したがって、揚げる、すなわち 180℃に加熱することにより、16:0, 18:0, 20:0 といった飽和脂肪酸や 18:1 の不飽和脂肪酸が相対的に増えたとおもわれる。18:2 が S U O で 11%, H U O で 32% 減少し, 18:3 が S U O で 32% 減少し, H U O では検出限界以下に減少した。この結果, n 6 系のリノール酸や n 3 系のリノレン酸が熱酸化されやすい傾向が見られた。このことは加熱調理の場合に問題になるとすでに報告⁹⁾されている。

H F O のヨウ素価は飽和脂肪酸が 50% 以上を占めているので 49.7 となり, S F O の 133.1 より低かった。揚げ物に使用した油のヨウ素価は, 脂肪酸組成で飽和脂肪酸が増えていたので, S U O 119.6, H U O 48.2 とわずかに低下した。酸価は S U O 2.68 (S F O に対して 38 倍), H U O 4.02 (H F O の 13 倍) であった。酸価 2.50 を目標としたため, 同じ揚げ回数でも硬化油の値が 4.0

表 3 試験油脂の脂肪酸組成, ヨウ素価, 酸価, 過酸化物価

	S F O	S U O	H F O	H U O
脂肪酸組成				
12:0			0.3	0.4
14:0	0.1	0.1	1.0	1.1
15:0	0.2	0.3	tr.	tr.
16:0	10.7	12.4	40.1	41.7
16:1	tr.	0.1	0.1	0.2
17:0	0.1	0.1	0.1	tr.
18:0	4.4	5.1	12.4	13.1
18:1 *	25.6	30.6	35.8	36.2
18:2	50.7	45.0	9.4	6.7
18:3	6.9	4.7	0.2	tr.
20:0	0.4	0.5	0.4	0.5
20:1	0.2	0.3	0.1	0.1
22:0	0.5	0.5	tr.	tr.
24:0	0.2	0.3	0.1	tr.
ヨウ素価	133.1	119.6	49.7	48.2
酸価	0.07	2.68	0.30	4.02
過酸化物価	0.4	5.1	0.3	4.1

* 18:1 はトランス酸を含む

を越えてしまった。過酸化作物価はSUO 5.1 (SFOに対して13倍), HUO 4.1 (HFOの14倍)であった。一般に食品のレベルでは、過酸化作物価が30以上だったら摂取が不適とされている。¹⁰⁾西ドイツでは食品法第2号に揚げ油の食用としての基準を石油エーテル不溶性酸化脂肪酸2.7%以下、酸化2.7以下、¹¹⁾発煙点170℃以上としている。¹²⁾下志万らは、廃油の過酸化作物価が30を越えるものはほとんどなく、酸価も3.0を越えるものはほとんど見られなかったと報告している。本実験のSUO, HUOは過酸化作物価では30よりかなり低いが、酸価では西ドイツの食用基準や下志田らの廃油の値かそれ以上であり、人間の食用には適さない油脂であった。

表4に体重増加と脂肪の見かけの消化率を示した。体重増加はHFO群が185gで、SFO群が170gであり、HFO群が多い傾向を示した。HUO群とSUO群では差がなかった。HFO群よりHUO群が、SFO群よりSUO群が少ない傾向がみられたが、各群間に有意差はなかった。4週目の3日間の飼料摂取量もSUO群とHUO群がSFO群とHFO群より少ない傾向であったことも関係するかもしれない。松尾は、¹³⁾空気中にて250±10℃で50時間加熱した菜種油20%飼料で60g前後の白ネズミを30日間飼育したところ、1匹

表4 試験期間中の体重増加と脂質の見かけの消化率

	SFO	SFO	SUO	SUO	HFO	HFO	HUO	HUO
初 体 重 g	201.0±	9.7	206.6±	13.3	200.8±	10.2	211.0±	10.8
終 体 重 g	371.4±	18.0	364.4±	31.6	384.2±	28.4	371.0±	25.9
増 体 重 g	170.4±	16.8	157.8±	21.1	185.4±	28.8	160.0±	16.9
飼料摂取量 g	62.0±	4.3	58.4±	14.6	68.8±	5.2	60.0±	5.8
脂 質 含 量 %	16.989		15.544		14.222		15.034	
脂質摂取量 g	10.52±	0.74	9.08±	2.28	9.78±	0.78	9.02±	0.88
糞 量 g	4.787±0.514 ^a		4.643±0.834 ^a		6.625±0.791 ^b		5.229±1.167 ^a	
脂 質 含 量 %	6.077±1.200 ^c		7.433±0.846 ^a		4.728±1.113 ^b		8.249±2.528 ^a	
脂質排泄量 g	0.290±0.059 ^a		0.342±0.052 ^b		0.317±0.099 ^b		0.422±0.121 ^c	
見かけの消化率%	97.25±	0.50 ^a	96.12±	0.67 ^{a c}	96.77±	0.93 ^a	95.29±	0.29 ^{b c}

a b c : 同じ文字間には差がなく、異なる文字間には有意差がある (p<0.05)。

(6)

が20日目に死亡し、他の4匹の体重増加が30日間 9.1 ± 5.4 gで、ほとんど成長を示さなかったことを報告している。本実験ではSUO、HUOの加熱時間は93.5時間であったが、揚げ温度が180℃であったためか、SUO群で1日当たり5.6 g、HUO群で5.7 g体重増加が見られたので、松尾の使用した菜種油ほど劣化しなかったと思われる。

4週目の3日間の糞重量はHFO群が他の3群より多かったが、この理由は不明である。糞中粗脂肪割合はHUO群が最も多く、次いでSUO群、SFO群であり、HFO群が最も少なかった。糞中粗脂肪量はHUO群が最も多く、次いでSUO群、HFO群であり、SFO群が最も少なかった。その結果、脂質の見かけの消化率はSFO群97.25%、HFO群96.77%、SUO群96.12%、HUO群95.29%の順であった。SFO群とHFO群がHUO群より有意に高かった。しかしながら、SFO群とSUO群間では差がなかった。Verela¹⁴⁾らは、大豆油および固体脂(1.2L)でポテト(500 g)を1回および10回フライした油脂のラットによる真の消化率を求め、大豆新鮮油99%、1回フライ油98% (新鮮油に対して有意)、10回フライ油97% (新鮮油、1回フライ油に対して有意)、固体新鮮脂96%、1回および10回フライ脂とも95% (ともに新鮮脂に対して有意)と報告している。

表5 血液検査値

	SFO	SUO	HFO	HUO
総蛋白質(g/dℓ)	5.96 ± 0.19^a	$5.98 \pm 0.12^{a,b}$	6.64 ± 0.55^b	$6.42 \pm 0.55^{a,b}$
アルブミン(g/dℓ)	3.57 ± 0.24^a	3.57 ± 0.28^a	4.03 ± 0.32^b	$3.85 \pm 0.36^{a,b}$
A/G	1.50 ± 0.20	1.51 ± 0.28	1.58 ± 0.27	1.59 ± 0.44
総コレステロール(mg/dℓ)	41.5 ± 7.3^a	42.7 ± 4.0^a	55.1 ± 8.5^b	62.1 ± 9.0^b
HDL-コレステロール(mg/dℓ)	31.5 ± 4.1	32.6 ± 6.4	32.5 ± 6.5	44.2 ± 17.3
HDL-/総コレステロール	72.1 ± 3.6^a	76.2 ± 12.3^a	58.8 ± 5.5^b	58.8 ± 15.5^b
中性脂肪(mg/dℓ)	145 ± 58^a	98 ± 21^a	295 ± 74^b	186 ± 93^a
遊離脂肪酸(μ Eq/ℓ)	$363 \pm 69^{a,c}$	256 ± 120^a	578 ± 147^b	$504 \pm 155^{b,c}$
グルコース(mg/dℓ)	263 ± 71	209 ± 29	230 ± 22	212 ± 32
カルシウム(mg/dℓ)	10.5 ± 0.3	10.5 ± 0.6	10.6 ± 0.4	10.6 ± 0.5
リン(mg/dℓ)	9.0 ± 0.8	9.2 ± 0.8	8.6 ± 0.4	8.7 ± 1.1

a b c : 同じ文字間には差がなく、異なる文字間には有意差がある ($p < 0.05$)。

生体に好ましくない油は臭いなどから摂取が抑えられると同時に吸収も抑制されると思われる。

表5に血液検査値を示した。血中の総タンパク質はHFO群が最も高く、SFO群より有意に高かった。また、大豆油の2群より硬化油の2群の方が高い傾向を示した。アルブミンもHFO群が最も高く、SFO群、SUO群より有意に高かった。また、大豆油の2群より硬化油の2群の方が高い傾向を示した。そのため、A/Gは、大豆油の2群より硬化油の2群の方が高い傾向を示したが、各群間に有意差はなかった。

中性脂肪と総コレステロールも大豆油の2群より硬化油の2群の方が高かった。中性脂肪はHUO群よりHFO群が有意に高かった。HDL-コレステロールには各群間に差がなかったので、HDL-コレステロール/総コレステロールは大豆油の2群が硬化油の2群より有意に高かった。遊離脂肪酸は大豆油の2群より硬化油の2群の方が高かった。グルコース、カルシウム、リンは各群間に差がなかった。

血液検査値から蛋白栄養状態は大豆油の2群より硬化油の2群の方が良好である傾向がみられた。脂質栄養状態は大豆油の2群が硬化油の2群より良好である傾向がみられた。

見かけの消化率でHFOとHUO間に差が見られたことから、本実験で使用した揚げ回数以内に揚げ物油の使用限界があると思われる。今後は、他の臨床検査値などで揚げ物油の使用限界を推定するつもりである。

要 約

本研究は、家庭で使用されている大豆白絞油(SFO)と最近ファーストフード店で廃棄のしやすさから使用されている水素添加硬化油(HFO)とそれらで冷凍ポテトを揚げ物に55回使用した油脂(それぞれSUO, HUO)の栄養価について調べることを目的とした。

SUOやHUOでは、16:0, 18:0, 20:0といった飽和脂肪酸や18:1の不飽和

(8)

脂肪酸がSFOやHFOより増える傾向がみられ、18:2、18:3といった不飽和脂肪酸が減る傾向がみられた。ヨウ素価はSUO 119.6、HUO 48.3とそれぞれ未使用油よりわずかに低下した。酸価はSUO 2.68 (SFOに対して38倍)、HUO 4.02 (HFOの13倍)であった。過酸化価はSUO 5.1 (SFOに対して13倍)、HUO 4.1 (HFOの14倍)であった。

SFO、SUO、HFO、およびHUOを各15%加えた4種の飼料をSD系雄ラットに与えて得た脂質の見かけの消化率は、それぞれ97.25%、96.12%、96.77%、95.29%の順であり、試験油脂の酸価の順と同じであった。

血清検査値から蛋白栄養状態は大豆油の2群より硬化油の2群の方が良好である傾向がみられた。総コレステロール、中性脂肪、遊離脂肪酸値も硬化油群が大豆油群より高かった。また、中性脂肪がHUO群がUFO群より低かった。

見かけの消化率でHFOとHUO間に差が見られたことから、本実験で使用した揚げ回数以内に揚げ物油の使用限界があると思われる。今後は、他の臨床検査値などで揚げ物油の使用限界を推定するつもりである。

本研究は、文部省科学研究費補助金05303012 (研究代表者阿部幸子本学教授)を受けた。

稿を終えるにあたり、大豆白絞油、パーム油主体の硬化油およびそれらの揚げ油を提供いただいた日清製油(株)に感謝いたします。実験に関与した学生、藤田真弓、星千代子、荒川千鶴の各嬢、山本千絵副手に感謝いたします。

文 献

- 1) 農林水産大臣官房調査課：食料需給表平成5年度，財団法人農林統計協会，東京，p. 19 (1995)
- 2) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修：平成7年版国民栄養の現状，第一出版，東京，p. 35，52 (1995)
- 3) 農林水産省食品流通局食品油脂課，環境庁水質保全局水質規制課，厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課監修：廃食用油の回収・再利用システム——ガイドラ

- イン——，社団法人日本油脂協会，p. 1, p. 34 (1991)
- 4) 湯木悦二，太田静行：改訂フライ食品の理論と実際，幸書房，東京，p. 61, p. 43 (1989)
 - 5) Clark, W. L. and Serbia, G. W. : Food Technol. 45, 84 (1991)
 - 6) 林寛，福澤美喜男，菊野恵一郎，箕口重義：図説食品・栄養学実験書，理工学社，3-，3-13, 3-17 (1973)
 - 7) 若林克己：実験データの整理，培風館，東京，p. 44 (1984)
 - 8) Varela, G. and Ruiz-Roso, B : 栄養学レビュー日本語版 No. 4, 41, (1993)
 - 9) 五十嵐脩：シンポジウム「植物油と健康」，社団法人日本植物油協会，東京，p. 105 (1992)
 - 10) 東島弘明：食品衛生研究，27, 489 (1977)
 - 11) Mankel, Von, A : Fette Seifen Anstrichmittel, 76, 20 (1974)
 - 12) 下志万千鶴子，赤井英子，坪野郁子，橋野泰子，橋本和恵，古野律子，矢野恭子，原節子，戸谷洋一郎，松尾登：栄養と食糧，34, 79 (1981)
 - 13) 松尾登：栄養と食糧，10, 118 (1959)
 - 14) Verela, G., Moreiras-Varela, O., Ruiz-Roso, B. and Conde, R. : J. Sci. Food Agric., 37, 487 (1986)

