

いわゆる「酵素食品」の有用性評価

長谷 (田丸) 静香 (工学部生命環境科学科)

奥野 ちひろ (工学部生命環境科学科)

宮脇 里菜 (工学部生命環境科学科)

井上 和也 (工学部生命環境科学科)

田中 一成 (長崎県立大学大学院人間健康科学研究科)

宮野原 聖一 (スターワールド株式会社)

The *in vitro* and *vivo* evaluation of products so called ‘enzyme-foods’

Shizuka HASE-TAMARU (Department of Life, Environment and Materials Science, Faculty of Engineering)

Chihiro OKUNO (Department of Life, Environment and Materials Science, Faculty of Engineering)

Rina MIYAWAKI (Department of Life, Environment and Materials Science, Faculty of Engineering)

Kazuya INOUE (Department of Life, Environment and Materials Science, Faculty of Engineering)

Kazunari TANAKA (Graduate school of Human Health Science, University of Nagasaki)

Seiichi MIYANOHARA (Star World Corporation)

Abstract

The enzyme-food contained abundant functional ingredients, i.e., polyphenols, dietary fiber, and indigestible dextrin. The enzyme-food indicated high antioxidant activity and suppression of AGE (glycated protein) formation, which is thought to be responsible for the pathogenesis of various lifestyle diseases. The feeding of enzyme-food in rats suggested that the possibilities of body fat reduction, improvement of bowel movements, and improvement of carbohydrate and lipid metabolism. So the products commonly called ‘enzyme-foods’ may be beneficial for health maintenance because of functional ingredients, not food-enzyme, contained in them.

Keywords: enzyme-foods, polyphenols, antioxidant activity, improvement of carbohydrate and lipid metabolism

1. 背景と目的

エドワード・ハウエル氏が提唱する「酵素栄養学」⁽¹⁻³⁾によると、酵素は生体内で生成される潜在酵素と生体外から摂取される食物酵素に大別され、潜在酵素はさらに消化酵素と代謝酵素に分別される。このうち、消化酵素という用語は当該分野における専門用語であるが、潜在酵素、食物酵素、代謝酵素という用語は世間一般に使用される俗語であると筆者は判断している。

消化酵素は生体内における栄養素の消化に必要な酵素であり、代表的なものとして、炭水化物を分解するアミラーゼ、タンパク質を分解するプロテアーゼ、脂肪を分解するリパーゼなどがある。アミラーゼは主に唾液や膵液に多く含まれ、米やパンなどの炭水化物をブドウ糖やマルトース、

オリゴ糖などに分解する。プロテアーゼは、タンパク質に作用して最小単位であるアミノ酸にまで分解することができる。胃液に含まれるペプシンや、膵液に含まれるトリプシンやキモトリプシンなどがプロテアーゼのカテゴリーに含まれる。リパーゼは胃液や膵液に多く含まれ、食事由来の脂質を分解して脂肪酸を生じる。消化酵素により分解された各栄養素は、小腸上皮細胞で吸収され、肝臓に至り代謝・利用される^(4,5)。

俗に言う代謝酵素には、エネルギー産生に必要なATPアーゼや、酸化還元酵素で薬物代謝(解毒)に関わるチトクロムP450などの酵素が分類される。消化酵素により分解された栄養素のエネルギー利用には、これら代謝酵素が必要である。同氏の提唱および一般的な見解によると、消化酵素と代謝酵素の必要量は相補的で、消化酵素の不足を補う

ために生体外から食物酵素を摂取する必要がある⁽¹⁻³⁾とされているが、科学的根拠に乏しい。また、俗に言う食物酵素は野菜や果実などの生鮮食材に豊富に含まれるが、食物酵素の摂取により消化酵素を補給することで、栄養素の消化促進や代謝酵素の節約などの効果があり、このことが疾病予防となる⁽¹⁻³⁾といった非科学的な情報が散見される。さらに、酵素は一般に加熱処理により失活することから、食物酵素を摂取するには生鮮食材を調理・加工せずにそのまま摂取する必要がある⁽¹⁻³⁾とされているが、そもそも酵素は構造上タンパク質であることから、食物酵素は摂取後に生体内の消化酵素によって分解されるため、食物酵素が生体内でそのまま消化酵素として作用するとは考えにくい。

以上のように、一般に認識されている「酵素栄養学」は、専門分野からの知見によると科学的根拠に乏しい内容であるにも関わらず、これを是正しない現状は極めて重大な問題であると考えられる。

近年、商品名に「酵素」という用語が用いられている食品（いわゆる「酵素食品」と称する）が多く販売されている。酵素食品は一般に、多種の野菜、果実、穀物などを混合して発酵・熟成させて製造されるため、上述した俗に言う食物酵素が豊富に含まれているとされる。酵素ドリンクと呼ばれる液状や、水などに溶解して飲用する粉末状、サプリメントのような錠剤やカプセル状、ペースト状やゼリー状などの様々な形状が存在する。一般消費者は、前述した「食物酵素の摂取による消化酵素の補給」といった誤った認識の下、これら酵素食品を健康維持・増進に有効であると考えて利用している。さらに、酵素食品の利用により、酸化防止や老化予防、美肌、ダイエット効果などが期待されているが、学術的な報告はない。

一方、酵素食品は、多種の食材由来の機能性成分が豊富に含まれていると考えられるため、食物酵素としてではなく、これら機能性成分としての効果は大いに期待できる。そこで本実験では、いわゆる酵素食品の有用性について検討するため、酵素食品のポリフェノール含量を測定し、抗酸化活性や糖・脂質代謝に及ぼす影響について、*in vitro*（試験管内）試験および *in vivo*（生体内）試験により評価した。

2. 実験方法

〈2.1〉実験試料

本実験では、スターワールド株式会社（福岡）から供与頂いた粉末状の酵素食品 X を試料として用いた。酵素食品 X の配合を表 1 に示す。一日 3 g を水や牛乳に溶解して飲用する。表 2 に酵素食品 X の一般成分組成を示す。

〈2.2〉*in vitro* 試験

(1) 総ポリフェノール量の測定

1 g の酵素食品 X を純水 10 mL に溶解し、ミリポアフィルターでろ過したものを原液として、10、100、200 倍希釈溶液を作製した。各溶液の総ポリフェノール含量について、

表 1. 酵素食品 X の配合表

原材料名	mg/100 g
難消化性デキストリン	62541.3
植物発酵乾燥粉末 [*]	100
穀物発酵エキス末 [*]	200
野草発酵エキス末 [*]	600
植物発酵エキス末 [*]	100
コラーゲンペプチド	50
ローズヒップ末	40
桑の葉エキス末	30
アセロラ末	25
ブタプラセンタエキス末	2
フィッシュエラスチン	1
ビタミン C	33329.1
香料（レモン）	2000
甘味料（アスパルテーム）	600
甘味料（スクラロース）	55
L-シスチン	120
ナイアシン	110
パントテン酸カルシウム	55
ビタミン B1	12.8
ビタミン B6	12.8
ビタミン B2	11
葉酸	2
ヒアルロン酸	1
ビタミン B12	2
計	100000

^{*}多種食材を混合後、発酵熟成させた後、乾燥粉末処理をしたもの（乾燥粉末）、もしくは成分を抽出後、抽出液の凍結乾燥粉末により得られた抽出物（エキス末）

表 2. 酵素食品 X の一般成分組成（100 g あたり）

エネルギー (kcal)	302.33
タンパク質 (g)	0.67
脂質 (g)	0.00
炭水化物 (g)	67.33
食物繊維 (g)	29.33
ナトリウム (mg)	2.00
ビタミン C (g)	33.33

フェノール試薬希釈液、10%(w/v)炭酸ナトリウム溶液、80% (v/v)エタノール溶液、没食子酸溶液を用いてフォーリン・デニス法^(6,7)に準じて測定し、没食子酸相当量として算出した。

(2) DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ラジカル消去活性の測定

抗酸化活性の指標として DPPH ラジカル消去活性を測定した。1 g の酵素食品 X を 80%エタノール水溶液 10 mL に溶解し、ミリポアフィルターでろ過したものを原液として、10 および 500 倍希釈溶液を作製した。200 mM MES

(2-morpholinoethanesulphonic acid) 緩衝液 (pH 6.0)、800 μ M DPPH 溶液、80%エタノール水溶液、160 μ M Trolox ((\pm)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) 溶液を用いて、既報^(6, 8)に準じて 96 穴マイクロプレート法にて吸光度を測定した。DPPH ラジカル消去活性は Trolox 相当量として算出した。

(3) AGE (Advanced Glycation End Products) 生成抑制能の測定

抗酸化活性の指標として糖化タンパク質 (AGE) 生成抑制能を測定した。1 g の酵素食品 X を純水 10 mL に溶解し、ミリポアフィルターでろ過したものを原液として、10、100、500 倍希釈溶液を作製した。基質は既報⁽⁹⁾に従って作製した。糖質源として 500 mM Fructose、タンパク質源として 2%仔牛血清アルブミン (BSA) を用い、これに 15 ppm puroclin-200、200 mM P-K buffer (pH7.4) を加えた混合溶液 980 μ L に各試験溶液 20 μ L を加え、37°C で 3 日間、攪拌しながらインキュベートした。コントロールには、各試験溶液の代わりに 200 mM P-K buffer 20 μ L を加えて同様に反応させた。反応が終了した各溶液を非酵素的糖付加反応-後期反応生成物 (AGE) とした。各溶液の AGE 産生量は、測定キット (OxiSelect™ Advanced Glycation End Product Competitive ELISA kit, Cell Biolabs, Inc., USA) を用いて、抗原抗体反応を利用した ELISA 法により、450 nm における吸光度をマイクロプレートリーダーにて測定・算出した。

(2.3) *in vivo* 試験

(1) 実験動物用の飼料調製

実験動物用の飼料組成を表 3 に示す。飼料は AIN-93G 組成⁽¹⁰⁾に基づく純化食を調製した。酵素食品 X を含まない対照食をコントロール食とし、2.5%もしくは 5.0%の酵素食品 X を加え、 β -コーンスターチの量を減じて 100%となるように調整した。

(2) 実験動物の飼育

実験動物は Sprague-Dawley 系ラット (4 週齢、雄) を日本クレア株式会社 (大阪) より購入した。ラットは温度 23 \pm 1°C、湿度 50 \pm 5%、12 時間明暗サイクル (明期: 8-20 時) の条件下で飼育した。個別ケージにて 1 週間予備飼育後、コントロール食群、2.5%もしくは 5.0%酵素食品 X 添加食群に一群あたり 6 頭ずつ分けた。各飼料および蒸留水を 30 日間自由摂食させた。飼育期間中は 2~3 日おきに体重および摂食量を測定し、解剖前 2 日間分の糞を回収した。飼育期間終了後、摂食下で解剖を行い、血液、肝臓、盲腸、白色脂肪組織 (腎臓周辺、睪丸周辺、腸間膜周辺) を採取し、重量を測定した。肝臓は液体窒素で急速冷凍し、分析で使用するまで -80°C で保存した。血清は 3000 rpm \times 15 分の遠心分離により上清 (血清) を得て、分析に供するまで -80°C で保存した。

なお、本実験は、長崎県立大学にて承認を得て実施した (承認番号 28-17)。また、「長崎県立大学動物実験指針」な

表 3. 飼料組成 (g/100 g)

	コントロール食	酵素食品 X 添加食	
		2.5%	5.0%
β -コーンスターチ	39.75	37.25	34.75
カゼイン	20	20	20
α -コーンスターチ	13.2	13.2	13.2
スクロース	10	10	10
セルロース	5	5	5
大豆油	7	7	7
ミネラルミックス	3.5	3.5	3.5
ビタミンミックス	1	1	1
L-シスチン	0.3	0.3	0.3
重酒石酸コリン	0.25	0.25	0.25
t-ブチルヒドロキノン	0.0014	0.0014	0.0014
酵素食品 X	-	2.5	5.0
エネルギー (kcal/100 g)	394.8	392.4	389.9
合計	100	100	100

らびに「実験動物の飼養及び保管等に関する基準」(平成 25 年環境省告示第 84 号) に則って実施した。

(3) ラットの血清分析

ラット血清中の AGE 濃度は、前述の *in vitro* 試験で用いた ELISA キットにて測定した。糖質 (グルコース) および脂質 (中性脂肪、遊離脂肪酸、コレステロール) の濃度は、それぞれ和光純薬工業株式会社のテストワコーを用いて酵素法にて測定した。インスリンおよびレプチン濃度は、それぞれ株式会社森永生科学研究所の測定キットを用いて、アディポネクチン濃度は大塚製薬株式会社の測定キットを用いて、いずれも ELISA 法により測定した。脂質分解酵素であるリパーゼの活性は、DS ファーマバイオメディカル株式会社の測定キットを用いて測定した。すべてのパラメータは、マイクロプレートリーダーによる比色 (吸光度測定) により分析し、標準品の検量線から濃度を算出した。

(4) ラットの肝臓分析

ラット肝臓の総脂質は Folch ら⁽¹¹⁾の方法により抽出・純化した。肝臓を 0.5 g 分取し、氷冷下でメタノール:クロロホルム=1:2 の混合溶液でホモジナイズし、50 mL に定容した。40°C で 30 分間加温して総脂質を抽出後、ろ過し、20%量の蒸留水を加え転倒混和した。静置後、上層 (蒸留水及びメタノール層) を除去し、下層 (クロロホルム層) を総脂質抽出液としてバイアル瓶に分取し、分析に供するまで -20°C で保存した。抽出液の一部を試験管にサンプリングし、メタノールで洗浄・純化しながら窒素乾固後、ヘキサソール溶液として保存した。その一部を再び窒素乾固後、100 μ L のイソプロパノールに溶解した。この溶液について、中性脂肪およびコレステロール濃度を上記血清と同様に測定した。

〈2.4〉統計解析

in vitro 試験のデータは平均値±標準偏差 (n=3) で、*in vivo* 試験のデータは平均値±標準誤差 (n=6) で示した。群間の有意差は、統計処理ソフト SPSS (ver.23.0, IBM, USA) を用いて Tukey-Kramer 法による一元配置分散分析を行い、有意水準 5% で検定した。

3. 実験結果

〈2.1〉*in vitro* 試験

表 4 に酵素食品 X の総ポリフェノール量および DPPH ラジカル消去活性を示す。酵素食品 X は、表 1 に示す通り多種の食材由来のポリフェノールを多く含み、これに伴い高い DPPH ラジカル消去活性を示した。

表 5 に AGE 生成量および生成抑制率を示す。AGE は、酵素食品 X を作用させていないコントロール群において $58.8 \pm 7.6 \mu\text{g/mL}$ 生成されたのに対し、酵素食品 X を作用させるとその濃度に依存して生成が抑制された。

表 4. 酵素食品 X の総ポリフェノール量および DPPH ラジカル消去活性

総ポリフェノール量 ($\mu\text{mol/g}$)	865 ± 9
DPPH ラジカル消去活性 ($\mu\text{mol-Trolox/g}$)	87.6 ± 7.2
平均値±標準偏差 (n=3)	

表 5. 酵素食品 X による AGE 生成抑制率

酵素食品 X 溶液 (mg/mL)	AGE 生成量 ($\mu\text{g/mL}$)	AGE 生成抑制率 (%)
0 (Control)	58.8 ± 7.6	0.0 ± 5.3
0.2	52.2 ± 8.1	10.7 ± 7.9
1	51.1 ± 4.3	12.9 ± 4.2
10	44.4 ± 4.8	24.3 ± 4.7
100	11.8 ± 7.3	79.0 ± 7.2

平均値±標準偏差 (n=3)

〈2.2〉*in vivo* 試験

表 6 にラットの成長パラメータを示す。酵素食品 X の 30 日間にわたる継続自由摂取による成長異常は認められなかった。体重増加量、摂食量、摂取エネルギーおよび肝臓重量において各群間に有意差は観察されなかった。内容物を含む盲腸重量は、コントロール食群に対して酵素食品 X の 2.5% の添加で増加する傾向を示し、5.0% の添加で有意に増加した。しかし、湿糞重量に及ぼす酵素食品 X の影響は明確ではなかった。白色脂肪組織重量は、腸間膜周辺、睾丸周辺、腎臓周辺のいずれの部位も各群間で有意差は認められなかったが、酵素食品 X の添加量依存的に低下する傾向を示した。

表 7 にラットの血清および肝臓パラメータを示す。血清中の AGE 生成量およびグルコース濃度に及ぼす酵素食品 X の影響は明確ではなかった。各種ホルモン濃度（インスリ

ン、レプチン、アディポネクチン）は、コントロール食群に比べ酵素食品 X の 5.0% の添加により低下する傾向を示した。血清脂質濃度については、中性脂肪および遊離脂肪酸濃度に及ぼす酵素食品 X の影響は明確ではなかったが、コレステロール濃度は酵素食品 X の 5.0% の添加により低下する傾向を示した。リパーゼ活性は、酵素食品 X の 2.5% 添加で低下傾向を示し、5.0% 添加で有意に低下した。肝臓脂質濃度に及ぼす酵素食品 X の影響は明確ではなかった。

4. 考察

いわゆる「酵素食品」と呼ばれる商品は一般に、野菜、果実、穀物などの多種食材を混合発酵・熟成して製造される。原料由来の食物酵素は、商品の製造過程で分解されるか、もしくは摂取後に生体内の消化酵素により分解されるため、食物酵素としての機能性は期待できない。一方、酵素食品には原料由来のポリフェノールや食物繊維、発酵熟成により生成した成分などが豊富に含まれるため、本実験ではこれらの成分による効果について検討した。

ポリフェノール（多価フェノール）とは、同一分子内に 2 個以上のフェノール性水酸基（ベンゼン環、ナフタリン環などの芳香族環に結合した水酸基）をもつ化合物の総称である。ポリフェノールのうち、特にアピゲニン、クリシン、ルテオニンなどのフラボン類、ケルセチン（ルチン）などのフラボノール類、イソフラボン類、フラバノール（カテキン類）、フラバノン類、アントシアニン類などのフラボノイド系に分類される成分が酵素食品 X の原料に多く含まれていると考えられる。これらの成分には、抗酸化、抗変異原（抗イニシエータ）、抗ガン（抗プロモータ）、血圧上昇抑制、抗糖尿病、抗アレルギーなど種々の生活習慣病予防効果があることが報告されている⁽¹²⁻¹⁴⁾。

本実験において、酵素食品 X に含まれる総ポリフェノール量 ($865 \mu\text{mol/g}$) は、一例として未熟の温州ミカン単独 ($140 \mu\text{mol/g}$) と比較して高値であった。また、酵素食品 X の DPPH ラジカル消去活性 ($87.6 \mu\text{mol-Trolox/g}$) も、未熟の温州ミカン単独 ($17.9 \mu\text{mol-Trolox/g}$) と比較して高値であり、高い抗酸化活性を示した (表 4)。さらに、酵素食品 X の添加により AGE 生成量が抑制された (表 5)。AGE は酸化ダメージにより食品中および生体内で生成する毒性物質であり、老化促進の一因とされ、種々の生活習慣病の発症に関与していると考えられている⁽⁹⁾。総ポリフェノール量と DPPH ラジカル消去活性の間には正の相関があることが報告されており^(6,8)、さらに我々は、総ポリフェノール量と AGE 生成量との間に負の相関があることを確認している。よって、酵素食品 X は多種食材由来のポリフェノールを多含し、強い抗酸化活性を有することから、AGE 生成抑制を介した生活習慣病の発症抑制に寄与する可能性が試験管レベルで示された。しかし、本実験では酵素食品 X を摂取したラットの血清 AGE 濃度は抑制されなかった (表 7) ことから、抗酸化活性を有する成分が生体内で実際に

表 6. 酵素食品 X を 4 週間摂取したラットの成長パラメータ

	コントロール食群	酵素食品 X 添加食群	
		2.5%	5.0%
初体重 (g)	111.0 ± 2.1	111.1 ± 1.9	111.3 ± 1.4
終体重 (g)	379.5 ± 9.8	379.3 ± 6.9	373.6 ± 7.1
体重増加量 (g)	268.5 ± 8.0	268.3 ± 5.9	262.3 ± 6.5
摂食量 (g/day)	19.1 ± 0.4	19.8 ± 0.4	20.0 ± 0.3
摂取エネルギー (kcal/day)	79.0 ± 1.7	81.7 ± 1.7	81.8 ± 1.2
肝臓 (g)	16.6 ± 1.1	17.8 ± 1.0	16.7 ± 1.0
盲腸※ (g)	3.51 ± 0.34 ^a	4.49 ± 0.24 ^{ab}	7.75 ± 0.50 ^b
湿糞重量 (g/2 days)	4.51 ± 0.31	4.80 ± 0.32	4.67 ± 0.53
白色脂肪組織重量 (g)			
腸管膜周辺	4.66 ± 0.47	4.45 ± 0.22	4.02 ± 0.35
睾丸周辺	4.81 ± 0.35	4.68 ± 0.26	3.90 ± 0.37
腎臓周辺	6.57 ± 0.82	6.56 ± 0.47	5.40 ± 0.57
合計	16.0 ± 1.6	15.7 ± 0.9	13.3 ± 1.2

平均値±標準誤差 (n=6)

a,b, 異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey-Kramer, $p<0.05$)

※内容物を含む

表 7. 酵素食品 X を 4 週間摂取したラットの血清および肝臓パラメータ

	コントロール食群	酵素食品 X 添加食群	
		2.5%	5.0%
血清パラメータ			
抗酸化能			
AGE 生成量 (μg/mL)	152 ± 3.58	147 ± 2.82	165 ± 3.89
血糖値			
グルコース (mg/dL)	153.7 ± 5.6	156.2 ± 4.4	147.7 ± 8.1
ホルモン濃度			
インスリン (ng/mL)	0.39 ± 0.09	0.47 ± 0.13	0.19 ± 0.07
レプチン (ng/mL)	3.99 ± 0.79	4.84 ± 1.35	1.91 ± 0.26
アディポネクチン (μg/mL)	2.10 ± 0.43	1.65 ± 0.17	1.50 ± 0.15
脂質濃度			
中性脂肪 (mg/dL)	155 ± 25.0	209 ± 29.4	206 ± 23.2
遊離脂肪酸 (mEq/L)	1.10 ± 0.11	1.36 ± 0.14	1.18 ± 0.10
コレステロール (mg/dL)	80.8 ± 6.7	91.5 ± 8.8	66.6 ± 5.9
酵素活性			
リパーゼ活性 (IU/L)	31.0 ± 6.87 ^a	15.7 ± 1.49 ^{ab}	14.0 ± 3.19 ^b
肝臓パラメータ			
脂質濃度			
中性脂肪 (mg/g liver)	25.1 ± 2.0	36.7 ± 6.6	33.6 ± 6.2
コレステロール (mg/g liver)	3.02 ± 0.2	3.76 ± 0.4	3.83 ± 0.3

平均値±標準誤差 (n=6)

a,b, 異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey-Kramer, $p<0.05$)

AGEの生成を抑制するためには他の因子が必要であると考えられる。なお、酵素食品 X に含まれるポリフェノールの組成については、製造(発酵熟成)過程で生成するポリフェノール重合体やポリフェノール分解物も含めて分析する必要がある。

本実験において、酵素食品 X を摂取したラットの血糖値(グルコース濃度)は変動しなかったが、血糖調節ホルモンであるインスリン濃度は5.0%酵素食品 X の摂取により低下傾向を示した(表7)ことから、インスリン感受性(インスリンの応答が良いこと)の向上が示された。インスリンは、血糖の各組織への取り込み促進や、グリコーゲン(糖質の貯蔵型)や脂肪の合成促進などにより血糖上昇を抑制するため、インスリンの分泌低下は脂肪蓄積抑制や脂質パラメータ改善にも寄与する^(4,5)。よって本実験では、酵素食品 X の摂取によるインスリン濃度の低下傾向が、白色脂肪組織(いわゆる体脂肪)重量の減少傾向(表6)に関与していると考えられた。しかし、脂質パラメータ(血清・肝臓中性脂肪濃度と血清遊離脂肪酸濃度)は酵素食品 X の摂取により改善されなかった(表7)。また、酵素食品 X には難消化性デキストリンが多く含まれている(表1)が、難消化性デキストリンは、デンプンをアミラーゼにより加水分解した後に生じる難消化性の水溶性食物繊維であり、これによる内臓脂肪低減効果が報告されている⁽¹⁵⁾。

一方、レプチンは脂肪組織から分泌される善玉ホルモンで、食欲抑制や脂肪のエネルギー消費促進により肥満を抑制すると考えられている^(4, 16, 17)。また、アディポネクチンも脂肪組織から分泌される善玉ホルモンで、ヒトにおいては内臓脂肪重量の減少(脂肪細胞数の減少もしくは細胞サイズの縮小)により分泌が亢進することが報告されており、インスリン感受性の向上さらには糖尿病予防に寄与すると考えられている^(15, 16)。本実験では酵素食品 X の摂取によるレプチンおよびアディポネクチンの分泌亢進は観察されなかった(表7)ことから、本実験で観察された脂肪組織重量の減少傾向ならびにインスリン濃度の低下傾向は、レプチンやアディポネクチンの関与では説明できなかった。さらに、アディポネクチンは動脈硬化の原因となる酸化コレステロール(LDLコレステロール)の血管壁への沈着、次いでマクロファージへの取り込みとプラーク形成を抑制することが知られている^(16, 17)。本実験では、酵素食品 X の摂取により血清コレステロール濃度の低下傾向が観察された(表7)が、これもアディポネクチンの関与では説明できなかった。

リパーゼは膵臓から分泌され、食餌由来の脂肪分解に関わる酵素である^(4,5)。本実験では酵素食品 X の摂取によりリパーゼ活性が有意に低下した(表7)ことから、酵素食品 X は脂肪分解さらにはその後の脂肪吸収を抑制する可能性が考えられた。血中の遊離脂肪酸は、肝臓から血中への脂質分泌と末梢組織(脂肪組織や筋肉など)への取り込み、もしくは末梢組織からの脂肪誘導と肝臓への取り込みの指標となるが、本実験では酵素食品 X の摂取が遊離脂肪酸濃度

に及ぼす影響は観察されなかった。

加えて、本実験では酵素食品 X の摂取により盲腸組織(内容物を含む)の重量が有意に増加したことから、糞便形成量の増加による便通改善の可能性が示された。これは、酵素食品 X に豊富に含まれる食物繊維や難消化性デキストリン(表1および表2)によるものであると考えられる^(4,18)。しかし、排泄後の糞重量の増加が観察されず一致しなかったことについては今後検討が必要である。

以上のように、ラットにおける酵素食品 X 摂取の効果としては、脂肪分解酵素活性の低下による脂肪分解・吸収抑制の可能性と、盲腸重量の増加による便通改善の可能性が示された。また、明確な有意差は観察されなかったものの、体脂肪低減傾向、インスリン分泌の低下傾向(感受性の向上傾向)、血清コレステロール濃度の低下傾向が示された。酵素食品 X の食餌への添加レベル増加や摂食期間の延長により、より明確な効果が観察されると考えられる。これらの効果は、酵素食品 X に含まれる食物酵素によるものではなく、主にポリフェノール、食物繊維、難消化性デキストリンといった機能性成分によるものであると考えられることを強調したい。したがって、いわゆる酵素食品は、豊富な機能性成分による抗酸化を介した老化抑制、体脂肪低減(ダイエット効果)、糖や脂質の代謝改善による生活習慣病予防、便通改善など、一般的に期待される効果を有する可能性が示された。今後、酵素食品の利用について栄養補給・強化の観点からも併せて検討したい。

(平成30年6月30日受付)

文 献

- (1) エドワード ハウエル 著, 今村光一 訳: 医者も知らない酵素の力. 中央アート出版社 (2016)
- (2) 鶴見隆史 著: 最強の福音! スーパー酵素医療. グスコ出版 (2012)
- (3) ディッキー・フェラー 著, 竹内進一郎 監訳: 病気を癒し、老化を防ぐ酵素の治癒力. 現代書林 (2011)
- (4) 柳田光良, 福田亘博, 池田郁男 編著: 新版 現代の栄養化学 (第2版). 三共出版株式会社 (2015)
- (5) 霜田幸雄 著: 代謝ガイドブック. 株式会社技術評論社 (2014)
- (6) 須田郁夫, 沖智之, 西場洋一, 増田真美, 小林美緒, 永井沙樹, 比屋根理恵, 宮重俊一: 沖縄県産果実類・野菜類のポリフェノール含量とラジカル消去活性. 食科工, 52, p.462-471 (2005)
- (7) 平成20年度農林水産省補助事業(食糧産業クラスター展開事業) 食品機能性マニュアル集第III集. 社団法人日本食品科学工学会, p.1-7 (2008)
- (8) 平成19年度農林水産省補助事業(食糧産業クラスター展開事業) 食品機能性マニュアル集第III集. 社団法人日本食品科学工学会, p.71-78 (2009)
- (9) 山口佑子, 岸敦, 小浜恵子: 糖化タンパク質生成抑制能の測定法の構築と機能性に優れた県産食品素材の検索. 岩手県工業技術センター研究報告, p.15-18 (2004)
- (10) Philip G, Reeves Forrest H, Nielsen George C, Fahey Jr.: AIN-93 purified diets for laboratory rodents: Final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr*, 123 (11), p.1939-1951 (1993)
- (11) Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH: A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem*, 226 (1), p.497-506 (1957)
- (12) 津志田藤二郎: 機能性成分, 食品製造・流通データ集. 産業調査会,

- p.234-241 (1998)
- (13) 寺尾純二：フラボノイドの抗酸化活性，抗酸化物質のすべて．先端医学社，p.121-128 (1998)
- (14) 川岸舜朗 編：食品中の生体機能調節物質研究法．学会出版センター (1996)
- (15) 山本卓資，山本國夫，福原吉典，福井俊弘，岸本由香，大隈一裕，松岡康浩，山本孝江，徳永勝人：難消化性デキストリンの内臓脂肪蓄積に及ぼす影響．日本肥満学会誌，13, p.34-41 (2007)
- (16) Esther Dos Santos, Fabien Duval, François Vialard, Marie-Noëlle Dieudonné: The roles of leptin and adiponectin at the fetal-maternal interface in humans. *Horm Mol Biol Clin Investig*, 24, p.47-63 (2015)
- (17) López-Jaramillo P, Gómez-Arbeláez D, López-López J, López-López C, Martínez-Ortega J, Gómez-Rodríguez A, Triana-Cubillos S: The role of leptin/adiponectin ratio in metabolic syndrome and diabetes. *Horm Mol Biol Clin Investig*, 18, p.37-45 (2014)
- (18) 里内美津子，若林茂，大隈一裕，藤原啓子，松岡瑛：難消化性デキストリンのヒト便通に及ぼす影響．栄養学雑誌，51, p.31-37 (1993)