シヨ糖脂肪酸モノエステルの消化性について

石 東 哲 男*, 中 村 楨 吾*, 鈴 木 愛 子**

* 第一工業製薬株式会社開発研究所

** 生産開発科学研究所食品工学研究室

Studies on Digestibility of Sucrose Mono-ester of Fatty Acid

Tetsuo ISHIZUKA*, Shingo NAKAMURA*, Aiko SUZUKI**

* Research Institute for Development, Dai-ichi Kogyo Seiyaku Co., Ltd., Shimokyo-ku, Kyoto

** Laboratory of Food Science and Technology, Research Institute for
Production Development, Sakyo-ku, Kyoto

In a previous paper, the digestibility of the sucrose ester of fatty acid in rats was found to be related to the HLB of the ester. This paper describes the situations in some detail by investigating the digestibility by rats of the sucrose mono-ester of fatty acid and the fatty acid composition of the ester undigested in the feces.

The sucrose esters were synthesized using stearic and behenic acids respectively as the fatty acid moiety. The mono-stearate and the mono-behenate were obtained after separating them from contaminants by the procedure of counter-current distribution. Rats were maintained for 10 days on the diet containing either one or both of these esters at 1% level.

The digestibility of sucrose mono-stearate and mono-behenate, when administered individually in the diet, was 97 and 30%, respectively. On the other hand, the digestibility of sucrose mono-stearate was 87% when sucrose stearate contained 50% of di- and poly-esters, and thus these results support the concept that the digestibility of the mono-ester depended on the amount of di- or poly-esters ingested together with the mono-ester. When an equal mixture of the sucrose mono-stearate and mono-behenate was ingested, the amount of the mono-behenate excreted in the feces was three times as much as that of the mono-stearate. And correspondingly the digestibility of the mono-stearate and the mono-behenate was 80 and 40%, respectively, the data were significantly different from those in which either of them was singly ingested; the stearate was less digestible in the presence of the behenate but the latter became more digestible by the presence of the former.

(Received April 15, 1974)

前報において¹⁾²⁾、シヨ糖脂肪酸エステルの消化性は画一的なものでなく、そのエステル型や脂肪酸残基の種類により異なることを明らかにした。すなわち、シヨ糖脂肪酸エステルを白ネズミに投与した場合に、糞中に排泄されるシヨ糖脂肪酸エステルのうち、モノエステル型はきわめて少なく、大部分はジエステル型やポリエステル型で、明らかに、モノエステル型の消化性はジエステル型などよりも良好であった。また、脂肪酸残基の鎖長が短いほど、また、不飽和結合を有するシヨ糖脂肪酸エステルほど、消化率は高くなった。このような消化性の難易は、シヨ糖脂肪酸エステルの HLB 値 (hydrophile-lipophile-balance) と密接に関連しており、親水性の高いシヨ糖脂肪酸エステルほど、消化率は高くなることを見いだした。

一方、糞中に排泄されるモノエステル型の中には、摂取したシヨ糖脂肪酸エステル中に含まれているジエステル型や、ポリエステル型の部分的消化、すなわち、エステル結合している2個以上の脂肪酸のうち、一部が加水分解して生じるモノエステル型が含まれているものと考えられる。本報告では、このような部分的消化物の影響を除くために、シヨ糖脂肪酸モノエステルを白ネズミに投与した場合の消化性について検討し、あわせて、未消化物として糞中に排泄されるシヨ糖脂肪酸エステルの脂肪酸残基組成をガスクロマトグラフィーにより分析し、その脂肪酸残基の種類による消化の選択性について検討した。

実 験 方 法

1. 試料の調製

下記の方法により Table 1 に示す組成のシヨ糖脂肪酸

* 〒 600 京都市下京区西七条東久保町 55

** 〒 606 京都市左京区下鴨森本町 15

Table 1. Composition of sucrose ester of fatty acid.

Sample	Purity (%)	Composition (%)		Fatty acid moiety (%)	
		SME* ¹	SDE+SPE* ²		
SMS* ³	98.7	93.9	6.1	stearate	92.1
SMB* ⁴	99.2	96.9	3.1	behenate	93.4

*¹ sucrose mono-ester, *² sucrose di- and poly-ester, *³ sucrose mono-stearate, *⁴ sucrose mono-behenate.

エステルを調製した。

1) ショ糖脂肪酸エステルの合成 ステアリン酸およびベヘン酸のメチルエステルを用いて、前報と同様に¹⁾、プロピレングリコールを溶媒とする方法により、おのおのの脂肪酸を脂肪酸残基とするショ糖脂肪酸エステルを合成し、アセトンにより再結晶して、純度 98% 以上、モノエステル型含量約 50% の精製品を得た。

2) ショ糖脂肪酸モノエステルの分別 前記の精製品を *n*-ヘキサンと 90% メタノールの混合溶媒に溶解して、Scheme 1 に示す分配を数回行ったのち、メタノール層を減圧濃縮および真空乾燥し、高モノエステル含量の標品を得た。

このようにして調製したショ糖ステアリン酸およびベヘン酸モノエステルのモノエステル型の純度は、94% および 97% であった。

2. 定量法

下記の方法によりショ糖脂肪酸エステルの定量を行った。

1) ショ糖残基の定量 前型と同様に¹⁾、クロロホルム：メタノール：酢酸：水 (81:9:8:2) を展開溶媒とする薄層クロマトグラフィーによりモノエステル型、ジエステル型およびポリエステル型に分離し、アンスロン法によって比色定量した。また、糞中のショ糖脂肪酸エステルはソックスレー抽出装置を用いて、エーテル：メタノール (1:1) 混液により抽出し、同様に定量し

た。

2) 脂肪酸残基の定量 糞中のショ糖脂肪酸エステルを前記のように抽出し、前報と同様に²⁾、ベンゼン：エーテル：エタノール：酢酸 (83:7:2.5:0.2) を展開溶媒とする薄層クロマトグラフィーにより分離し、ショ糖と脂肪酸に加水分解後、常法どおり脂肪酸をメチル化して、ガスクロマトグラフィーによりおのおのの脂肪酸組成を測定した。

3. 消化率の測定

用いた実験動物は Wistar 系白ネズミで、3 匹を 1 群とし、飼料組成は前報と同様とし¹⁾³⁾、ショ糖脂肪酸エステルを 1% 添加した飼料を test 飼料とした。

白ネズミの飼育は 125 g 前後のものより始め、最初の 2 日間は基礎飼料で、続いて feces marker として酸化第 2 鉄を 2% 添加した基礎飼料で 1 日飼育し、24 時間の絶食後、test 飼料を 10 日間自由摂取させた。そして、24 時間の絶食後、再び 2% 酸化第 2 鉄を添加した基礎飼料で 1 日飼育し、feces marker により標識されて排泄された糞と糞との間の全糞を採取し、飼料摂取量および体重を記録した。

結果および考察

1. ショ糖脂肪酸モノエステルの消化率

ショ糖ステアリン酸モノエステルを投与した場合の白ネズミの成長曲線を Fig. 1 に示す。ショ糖モノステア

リン酸エステル投与期間中の白ネズミの成育は順調で、運動性も基礎飼料の場合と同様に良好であった。また、ショ糖ベヘン酸モノエステルを投与した場合も白ネズミは順調に成育した。

糞中に排泄されたショ糖ステアリン酸、およびベヘン

Fig. 1. Changes in body weights of rats fed on the diet containing sucrose mono-stearate at 1% level.

酸モノエステルを、前記のように抽出し、分離後、アンスロン法により比色定量した。Table 2 にその結果を示す。

糞中に排泄されるショ糖ステアリン酸モノエステルはきわめて少なく、その消化率は 97~98% で、脂肪などの主栄養素と変わらないぐらいに高くなった。一方、ショ糖ベヘン酸モノエステルは消化管において加水分解されにくく、その大部分は糞中に排泄され、消化率は約 30% であった。

Table 3 にモノエステル型含量が約 50% のショ糖ステアリン酸エステルを先の場合と同要領で、白ネズミに投与した場合の各エステル型の消化率を示す。この場合のモノエステル型の消化率は約 87% で、モノエステル型のみを投与した場合の消化率 (97~98%) よりも低下している。これはジエステル型などを多く含むショ糖脂肪酸エステルを投与した場合には、これらのエステル型の部分加水分解物の 1 部がモノエステル型として糞中へ排泄されるためであるものと考えられる。したがって、ショ糖脂肪酸エステルの消化はポリエステル型からジエステル型へ、ジエステル型からモノエステル型へ、さらに、モノエステル型はショ糖と脂肪酸へと段階的に進行

Table 2. Digestibility of sucrose mono-ester of fatty acid.

Test diet	Ingested (mg)	Excreted (mg)	Digestibility (%)
1% SMS diet			
Rat A	1121	18	98.4
Rat B	1118	21	98.1
Rat C	1137	31	97.3
Average			97.9
1% SMB diet			
Rat A	1048	761	27.4
Rat B	1177	863	26.7
Rat C	1028	665	35.3
Average			29.8

Table 3. Apparent digestibility of sucrose ester of stearic acid.

Rat No.	Digestibility (%)		
	SME	SDE+SPE	Total
Rat A	86.5	30.5	59.7
Rat B	86.2	31.5	60.1
Rat C	89.3	36.9	64.2
Average	87.3	33.0	61.3

Test diet containing sucrose ester of stearic acid (52.2% mono-ester) by 1 % was fed to rats for 10 days.

するものと考えられ、また、各エステル型の消化率を測定するためには、おのおののエステル型を個別に投与する必要のあることが判明した。

2. 消化の選択性

脂肪酸残基の種類によるシヨ糖脂肪酸エステルの消化の選択性を検討するために、シヨ糖ステアリン酸およびベヘン酸モノエステルをおのおの0.5%添加した飼料を先の場合と同様に10日間白ネズミに投与し、糞中に排泄されるシヨ糖脂肪酸エステルの脂肪酸残基の組成を測定した。

Fig. 2は投与および糞中に排泄されたシヨ糖脂肪酸エステルの脂肪酸残基をメチル化して得られたガスクロマトグラムの1例であり、Table 4におおのの脂肪酸残基組成を示す。投与したシヨ糖脂肪酸エステルでは、ステアリン酸およびベヘン酸を脂肪酸残基とするものの割合はほぼ等しいが、糞中に排泄されるシヨ糖脂肪酸エステルでは、ベヘン酸を脂肪酸残基とするものはステアリン酸を脂肪酸残基とするものの3倍以上となり、明らかにシヨ糖ステアリン酸モノエステルは白ネズミの消化管において選択的に消化された。

糞中に排泄されたシヨ糖脂肪酸エステルのシヨ糖残基を比色定量し、Table 4に示す脂肪酸残基組成より、糞中のシヨ糖ステアリン酸およびベヘン酸モノエステル含

Fig. 2. Gas chromatogram of fatty acid constituent of sucrose ester ingested and excreted in case of rat No. B fed on diet containing 0.5% respectively of SMS and SMB.

Conditions: column; Silicone GE SE 305 % on Diasolid L 60/80 mesh, 0.75 m, temp. 190°C, carrier gas; N₂ 15 ml/min, detector; FID.

Peak: A; palmitate, B; stearate, C; arachidate, D; behenate.

— ingested sucrose ester,
--- excreted sucrose ester.

量を測定し、おのおのの消化率を求めた。その結果をTable 5に示す。

Table 4. Change in fatty acid constitution of sucrose ester by feeding test diet containing 0.5% respectively of SMS and SMB.

	Fatty acid composition (%)			
	Palmitate	Stearate	Arachidate	Behenate
Ingested SE*	2.7	44.	5.2	47.2
Excreted SE*				
Rat A	4.4	25.8	7.6	62.2
Rat B	3.4	16.8	9.7	70.1
Rat C	5.5	18.9	7.3	68.3
Average	4.4	20.5	8.2	66.9

* sucrose ester of fatty acid.

Table 5. Digestibility of sucrose mono-stearate and mono-behenate.

Rat No.	Digestibility (%)		
	SMS	SMB	SMS+SMB
Rat A	74.2	35.3	54.3
Rat B	87.4	45.3	65.9
Rat C	85.0	43.6	63.8
Average	82.2	41.4	61.3

シヨ糖ステアリン酸モノエステルのみを投与した場合の消化率は 97~98% であるが、シヨ糖ベヘン酸モノエステルを同時に投与すると約 80% に低下した。一方、シヨ糖モノベヘン酸エステルの消化率は約 30% から約 40% に上昇し、脂肪酸残基の種類によりシヨ糖脂肪酸エステルの消化には選択性が認められるが、おのおの個有の消化率を示さないことが判明した。

このことについて、著者らは、シヨ糖脂肪酸エステルの消化性はその消化管における乳化（可溶化）状態に関連しており、たとえば、本来水難溶性のシヨ糖ベヘン酸モノエステルは親水性の界面活性剤であるシヨ糖ステアリン酸モノエステルとともに複合ミセルを形成し、可溶化されて消化管内において消化酵素の作用を受けやすくなり、消化率が上昇すると考えている。

要 約

前報に引き続き¹⁾²⁾、シヨ糖脂肪酸エステルの *in vivo* での消化性について検討し、次の結果を得た。

1) シヨ糖ステアリン酸およびベヘン酸モノエステルをおのおの単独で白ネズミに投与した場合の消化率は、

97% および 30% であり、ジエステル型やポリエステル型を含むシヨ糖脂肪酸エステルを投与した場合のモノエステル型の消化率より高くなった。したがって、各エステル型の消化率を測定するには、おのおの個別に投与する必要があることが判明した。

2) シヨ糖ステアリン酸およびベヘン酸モノエステルの等量を同時に白ネズミに投与した場合には、後者は前者の 3 倍量糞中に排泄され、脂肪酸残基の種類により、その消化に選択性は認められたが、おのおの消化率は 80% および 40% で、おのおの個有の消化率を示さなかった。

最後に、ご懇篤なるご指導を賜りました京都大学農学部食品工学科満田久輝教授に深謝申し上げます。

文 献

- 1) 石束哲男, 中村愼吾: 栄養と食糧, 27, 65 (1974)
- 2) 石束哲男, 中村愼吾: 栄養と食糧, 27, 71 (1974)
- 3) Harper, A.E.: *J. Nutri.*, 68, 405 (1959)

(昭和 49 年 4 月 15 日受理)