

難消化性炭水化物,ソルボースによる摂食および脂質代謝の 制御

誌名	栄養生理研究会報
ISSN	02864754
巻/号	342
掲載ページ	p. 113-130
発行年月	1990年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



難消化性炭水化物、ソルボースによる摂食および脂質代謝の制御

古瀬 充宏・奥村 純市 (名古屋大学農学部)

1. はじめに

L-ソルボースは、ショ糖の甘味の80-90%を具備する六炭糖であり、D-フルクトースの第3位と第4位の位置の水酸基と水素が入れ替わった構造を有している (Fig. 1)。ソルボースは天然に存在する糖であり、身近には林檎酢や果実中に含まれることが知られている (Tabl 1)。また一方では、

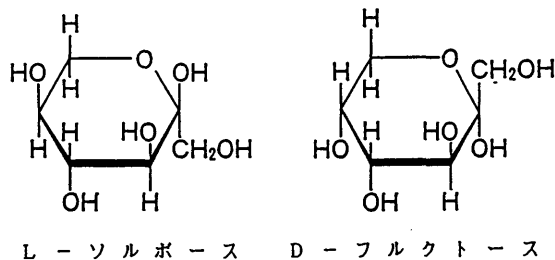


Fig.1. L-ソルボースの構造

Table 1. 天然にソルボースを含有している食品一覧

商品名	種類	販売業者	Sorbose (mg/l)	他の種類 (mg/l)
デルモンテ アップルジュース	天然果汁	キッコーマン	960	Glc; 47200, Frc; 42500, Suc; 9100, Mal; 11000, Man; 140, Gal; 38
Passion Orange	天然果汁	Aloha	10	Frc; 43400, Glc; 30100, Suc; 5880
Apple Cider Vinegar	林檎酢	Heinz	140	Frc; 1150, Glc; 700, Suc; 350, Man; 56, Lac; 14, Gal; 8.4
Obstessig aus ganzen Äpfeln	林檎酢	Schneekoppe	400	Frc; 1260, Glc; 330, Suc; 120, Gal; 170, Man; 25
純粋りんご酢	林檎酢	マルカン酢(株)	2700	Frc; 195000, Glc; 183000, Mal; 7800, Man; 3100, Gal; 1700
りんご酢	果実酢	正直村(株)	390	Glc; 1830, Frc; 1600, Lac; 29, Mal; 11
秘伝「りんご酢」	林檎酢	(株)山路 平林醸造店	980	Glc; 86400, Frc; 66000, Mal; 1400, Lac; 94, Man; 0.2

Frc;フルクトース, Man;マンノース, Suc;シュクロース, Lac;ラクトース
Glc;グルコース, Mal;マルトース Gal;ガラクトース,

酢酸菌によりソルビトールから、あるいはグリセルアルデヒドとジヒドロキシアセトンからも合成される。その生理学的ならびに栄養学的特徴としては、吸収速度の遅いこと^{1,15)} や微生物により発酵を受けにくいこと²⁾ が報告されている。このソルボースにより家畜および実験動物の摂食量ならびに脂質代謝が制御できることが一連の研究で明らかになった。ここではソルボースによる摂食量と脂質代謝の制御を中心として、その他に得られた知見も併せて報告する。

2. ラットの摂食行動と脂肪蓄積に及ぼすソルボースの影響

2-1. 飼料中のソルボース含量の影響^{7,8)}

コーンスターチを唯一の炭水化物源とする対照飼料にソルボースを1kg当り、100、200ならびに300g配合した飼料を26日齢のウイスターラットに6週間自由摂取させた。脂肪、蛋白質ならびにエネルギーの蓄積量は屠体分析により求めた。増体重、飼料摂取量および屠体分析の結果をTable 2に

Table 2. Body weight gain, food consumption, food efficiency, fat, protein and energy retentions of rats fed diets containing various levels of sorbose⁷⁾

	Dietary sorbose levels (g/kg)				Pooled SEM
	0	100	200	300	
Body weight gain (g/6 weeks)	275 ^a	259 ^a	210 ^b	169 ^c	8.2
Food consumption (g/6 weeks)	779 ^a	753 ^a	655 ^b	555 ^c	18.9
Food efficiency	0.353 ^a	0.344 ^a	0.320 ^b	0.304 ^b	0.0068
Fat retained (g/6 weeks)	54.0 ^a	42.2 ^b	28.0 ^c	18.3 ^d	2.44
Protein retained (g/6 weeks)	54.6 ^a	51.4 ^a	44.2 ^b	35.0 ^c	1.62
EPU	0.397	0.388	0.397	0.369	0.0011
Energy retained (kJ/6 weeks)	3405 ^a	2866 ^b	2144 ^c	1544 ^d	118.5
Digestible energy (kJ/g)	16.0 ^a	15.7 ^b	15.5 ^c	15.6 ^{bc}	0.045
Metabolizable energy (kJ/g)	15.5 ^a	15.0 ^b	14.6 ^c	14.7 ^c	0.049
EEU	0.280 ^a	0.253 ^b	0.222 ^c	0.189 ^d	0.00072

Means not sharing a common superscript letter are significantly different at $P < 0.05$.
 Food efficiency = body weight gain/food intake.
 EPU (efficiency of protein utilization) = protein retained/protein consumed.
 EEU (efficiency of energy utilization) = total energy retained/ME intake.

示した。増体重、飼料摂取量および飼料効率は飼料ソルボース含量の増加に伴い直線的に減少した。体脂肪、体蛋白質および体エネルギーの蓄積量も同様の傾向を示した。エネルギーの利用効率はソルボース含量の増加に伴い低下したが、蛋白質の利用効率はソルボース含量の増減によりなら影響を受けなかった。飼料の可消化エネルギー値と代謝エネルギー値もソルボースの増加により低下した。

これらの結果はソルボースが難消化性糖類であることを示唆している。ソルボース自体の可消化エネルギー値と代謝エネルギー値を算出したところ、それぞれ14.1kJ/gと12.4kJ/gとなった。Fig. 2には飼料給与後、0、7、14、21、28ならびに35日における1日当りの飼料摂取量および飲水量に及

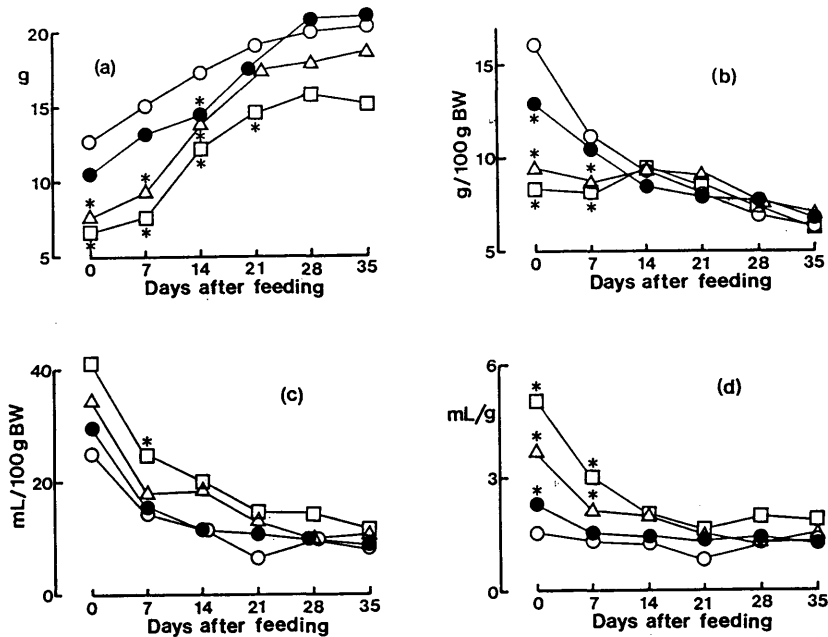


Fig. 2. Food and water intake of growing rats fed diets containing graded levels of sorbose. Symbols are; control diet (-○-), 100 g sorbose/kg diet (-●-), 200 g sorbose/kg diet (-△-) and 300 g sorbose/kg diet (-□-).⁸⁾ (a) absolute food intake (g/day/head); (b) relative food intake (g/day/100 g body weight); (c) relative water intake (mL/day/100 g body weight); water intake:food intake ratio (mL/g). * Significantly different from the control diet at $P < 0.05$.

ぼす飼料ソルボース含量の影響を示した。1日当りの飼料摂取量は飼料ソルボース含量の増加により減少した。しかしながら日齢が進むにつれ各区の体重に開きが生じ、ソルボース含量が高い区の体重が著しく低くなったので体重100g当りの相対摂取量で比較した。7日齢までは相対摂取量に差が認められるものの、それ以後はどの区においてもほぼ同等の摂取量を示した。飲水量も体重100g当りの相対飲水量で示すと、飼料中のソルボース含量が高まるに従い増加することが判明した。また飲水量と飼料摂取量の比もソルボース給与により飼料給与後7日目までは高まること示された。この飲水量の増加には、吸収されたソルボースのかなりの部分が尿中へ排泄される事実^{7,8)} から、浸透圧の調節に絡んでいる可能性がある。またソルボースは水を多く含む性質があり、胃内容物重量の増加も確認

されている⁷⁾。この実験からソルボース給与により血清インシュリンレベルが直線的に減少することも判明し、以下の血清インシュリンと飼料ソルボース含量に関する回帰式が得られた。

$$\text{血清インシュリン } (\mu\text{U/ml}) = 60.7 - 0.124 X$$

ここでXはソルボースの飼料中含量 (g) を表わしている。

2-2. 種々の炭水化物源とソルボースの比較^{8,13,14)}

コーンスターチを唯一の炭水化物源とする対照飼料と、その対照飼料の一部 (100g/kg) をシヨ糖、ブドウ糖、マルチトールならびにソルボースで置き換えた飼料を作製した。これらの飼料を26日齢のウイスターラットに6週間自由摂取させ、脂肪、蛋白質ならびにエネルギーの蓄積量を屠体分析により求めた。増体重、飼料摂取量および屠体分析の結果をTable 3に示した。増体重ならびに飼料

Table 3. Body weight gain, food consumption, food efficiency, fat, protein and energy retentions of rats fed diets containing different carbohydrate sources¹³⁾

	Dietary carbohydrate sources (100 g/kg)					Pooled SEM
	Control	Sucrose	Glucose	Maltitol	Sorbose	
Body weight gain (g/6 weeks)	273 ^a	303 ^b	262 ^{ac}	295 ^{ac}	242 ^c	8.1
Food consumption (g/6 weeks)	770 ^{ab}	811 ^a	776 ^{ab}	728 ^{bc}	704 ^c	19.5
Food efficiency	0.354 ^{ab}	0.373 ^a	0.337 ^b	0.356 ^{ab}	0.343 ^b	0.0063
Fat retained (g/6 weeks)	66.1 ^a	68.2 ^a	71.1 ^a	55.1 ^{ab}	50.2 ^b	4.90
Protein retained (g/6 weeks)	52.9 ^a	59.2 ^b	51.0 ^a	50.7 ^a	48.8 ^a	1.71
Energy retained (kJ/6 weeks)	3544 ^{ab}	3772 ^a	3694 ^a	3065 ^{bc}	2826 ^c	189

Means not sharing a common superscript letter are significantly different at $P < 0.05$.
Food efficiency = body weight gain/food intake.

摂取量は対照区に比してソルボース区で有意に低下した。脂肪ならびにエネルギーの蓄積量はソルボース区が最も低い値を示した。蛋白質の蓄積量はシヨ糖区が最も高く、他の4区間に有意な差は認められなかった。この実験の結果からソルボースとマルチトールは共にラットの脂質ならびにエネルギーの蓄積を抑制できることが判明した。Fig. 3に飼料給与開始後24時間における飼料の累積摂取量を示した。給餌後6時間目からソルボース区は他の区に比して摂取量が減少した。先の屠体分析の結果からソルボースのエネルギー利用性はブドウ糖より劣ることが判明したので、ソルボースの体内での利用性をラジオアイソトープを用いてブドウ糖と比較検討した (Table 4)。ソルボースは代謝され呼吸に出てくる割合が、ブドウ糖に比して約半分であり、残りの大部分は尿と糞に排泄されること

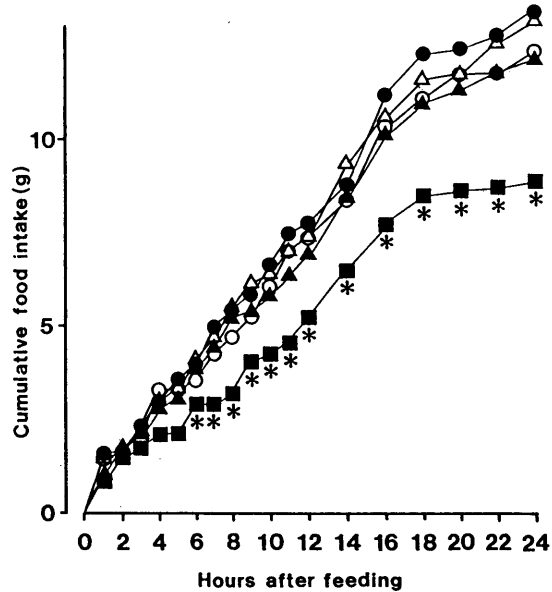


Fig. 3. Cumulative food intake of growing rats fed diets containing various carbohydrate sources. Control diet (-○-), glucose diet (-●-), sucrose diet (-△-), maltitol diet (-▲-), sorbose diet (-□-).⁸⁾ * Significantly different from the control diet at P<0.05.

Table 4. Recovery of radioactivity in respiratory CO₂, urine and feces over 24h after oral administration of [U¹⁴C]-sorbose and [U¹⁴C]-glucose to rats¹⁴⁾

	Sorbose	Glucose
CO ₂	32.8 ^A ± 1.1	66.1 ^B ± 0.6
Urine	16.6 ^A ± 0.9	2.7 ^B ± 0.2
Feces	32.7 ^A ± 2.6	1.8 ^B ± 0.4

Values are means (%) ± SEM.

Means not sharing a common superscript letter are significantly different at P<0.05.

が示された。またソルボースとマルチトールは脂肪やエネルギー蓄積の抑制効果に関してほぼ同等な効能を示したので、体内での代謝についてラジオアイソトープを用いて検討した(Table 5)。マルチトールは投与したアイソトープの70%以上が24時間以内に呼気に排泄され、ソルボースとは体内での代謝が異なることが示唆された。

Table 5. Recovery of radioactivity in respiratory CO₂, urine and feces over 24h after oral administration of [U¹⁴C]-sorbitol and [U¹⁴C]-maltitol to rats¹³⁾

	Sorbitol	Maltitol
CO ₂	42.5 ^A ± 2.2	71.6 ^B ± 3.1
Urine	16.2 ^A ± 1.1	4.0 ^B ± 0.1
Feces	18.3 ^A ± 1.1	3.4 ^B ± 0.2

Values are means (%) ± SEM.
Means not sharing a common superscript letter are significantly different at P<0.05.

3. マウスの摂食行動、脂質代謝ならびに糖尿病の発症に対するソルボースの影響

3-1. 腹内側核 (VMH) 破壊マウスにおける飼料摂取量と脂質合成に及ぼすソルボースの影響¹⁰⁾

ソルボースによる飼料摂取量の減少が中枢を介して起こっているのかどうかを明らかにするために、満腹中枢であるとされているVMHをゴールドチオグルコース (GTG) を用いて破壊し肥満を誘発したマウスを用いて実験を行なった。同時に脂肪の合成速度がソルボースにより影響を受けるかを調査した。VMH破壊により過食し肥満となったマウス (約49g) と正常のマウス (約42g) をそれぞれ2群に分け、1群には対照飼料 (200gシヨ糖/kg) をもう1群にはソルボース飼料 (200g/kg) を2週間給与した。Table 6 に最終体重、飼料摂取量、肝臓および副睾丸脂肪組織への脂肪酸の

Table 6. Influence of dietary sorbitol on food intake, and incorporation of 1-[¹⁴C] sodium acetate into fatty acids of liver and epididymal white adipose tissue (EWAT) in normal and gold-thioglucose (GTG)-injected obese mice¹⁰⁾

Treatment	Sugar source	Final body weight (g)	Food intake (g/14 days)	Incorporation of ¹⁴ C (10 ³ dpm)			
				/g liver	/liver	/g EWAT	/EWAT
Normal	Sucrose	40 ± 0.9	80 ± 6.5	15.9 ± 3.2	28.5 ± 5.9	3.4 ± 1.5	2.8 ± 1.3
	Sorbitol	35 ± 1.4	70 ± 6.0	28.7 ± 7.0	43.8 ± 9.7	4.9 ± 0.1	1.9 ± 0.2
GTG	Sucrose	56 ± 1.1	92 ± 3.6	157.7 ± 15.8	408.0 ± 43.7	56.4 ± 9.8	140.5 ± 23.5
	Sorbitol	39 ± 2.0	53 ± 5.5	35.9 ± 11.9	58.3 ± 18.6	1.8 ± 0.8	2.3 ± 1.1

Analysis of variance

Treatment (T)	**	**	***	***	***	***
Sugar (S)	***	NS	***	***	***	***
T x S	**	*	***	***	***	***

Significance levels: NS, not significant; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001.
Values are means ± SEM.

取り込みの結果を示した。最終体重はソルボース給与により低くなった。対照飼料区とソルボース飼料区との差はGTG処理区で大きくなった。飼料摂取量はソルボース給与により有意に低下した。またVMH破壊マウスにおいて、その低下は著しかったことから、ソルボースによる飼料摂取量の低下には末梢組織における受容体が関与していることが示唆された。ブドウ糖など多くの糖の受容体が腸に存在することが知られているが¹²⁾、ソルボース受容体も存在する可能性がある。肝臓ならびに副腎組織への脂肪酸の取り込みは、組織の単位重量当たりまたは組織当りの両者において正常マウスでは飼料による影響は見られなかった。VMH破壊マウスでは、対照飼料摂取によりソルボース飼料摂取のものに比して脂肪酸の取り込みが顕著に高くなったが、これには飼料摂取量の違いが反映しているものと考えられた。

3-2. 非肥満型糖尿病 (NOD) マウスにおける糖尿病の発症予防に対するソルボースの効果⁴⁾

糖尿病はインシュリンの要求性からインシュリン依存型と非インシュリン依存型に分けることができる。この実験では前者の疾患モデルとして認識されているNOD マウスを用い、糖尿病の早期発症の予防にソルボースが有効であるかどうかを明らかにするために行った。5週齢の雌NODマウス20匹を2群に分け、1群には対照飼料(200gショ糖/kg)を、他の1群にはソルボース飼料(200g/kg)を6週間給与した。血糖値は試験期間を通じ、ソルボース区で低かった(Fig. 4)。また対照

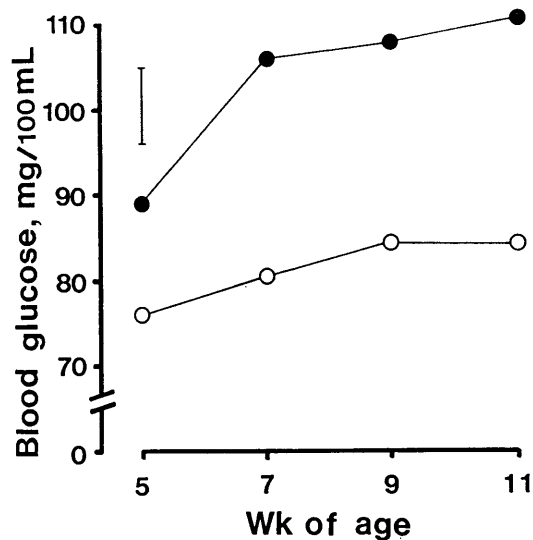


Fig. 4. Changes in blood glucose level of NOD mice fed diets containing 200 g/kg sorbose (○) or sucrose (●) as carbohydrate sources from 5 to 11 wk of age.⁴⁾ * Significantly different from the control value at the same age. Vertical bar represents pooled SEM. Number of mice was 10 per treatment. Effects of ANOVA: diet $P < 0.01$; age $P > 0.05$; diet x age $P > 0.05$.

区では数例に糖尿が確認されたが、ソルボース区では糖尿は見受けられず (Table 7)、ソルボースは糖尿病の発症予防に効果があることが示唆された。

Table 7. Urinary glucose excretion in NOD mice fed diets containing 200 g/kg sucrose (control) or sorbose as carbohydrate sources⁴⁾

Diet	Urinary glucose	Wk of age						
		5	6	7	8	9	10	11
Control	Negative	10 ¹	10	7	9	6	6	7
	Positive ²	0	0	3	1	4	4	3
	Total	10	10	10	10	10	10	10
Sorbose	Negative	10	10	10	10	10	10	10
	Positive	0	0	0	0	0	0	0
	Total	10	10	10	10	10	10	10

¹Figures indicate the number of mice.

²Glucose level is between 0.1 and 0.25 g/100 mL urine.

4. 鶏の摂食行動と脂肪蓄積に及ぼすソルボースの影響

脂肪の過剰蓄積を抑制することは、産卵鶏・ブロイラーを問わず生産効率の面から重要な課題である。先に述べたようにソルボースをラットに給与すると体脂肪の蓄積が減少することは明らかとなったので、本実験ではソルボース給与が鶏の摂食行動と脂質代謝に如何なる影響を及ぼすかを調査した。

4-1. 産卵鶏の摂食行動と脂質代謝に及ぼす飼料中のソルボース含量の影響⁵⁾

単飼ケージ飼育の12ヶ月齢の白色レグホーン種産卵鶏を用い、1区当り10羽で3区設けた。各区の鶏は体重と産卵率が等しくなるようにした。対照区には飼料中にコーンスターチを20%配合し、実験区には対照区のコーンスターチをそれぞれソルボースで10%と20%置換した2区を設けた。実験は4週間行い、1週毎に体重ならびに飼料摂取量を測定した。実験最終日に翼下静脈より血液を採取し、グルコース、トリグリセライド、総コレステロール、LDL、VLDLおよびカイロミクロンを測定した。血液採取後、鶏を屠殺し腹腔脂肪と肝臓を取り出し、腹腔脂肪は重量を測定し、肝臓は色差計を用いて明度 (L*)、赤色度 (a*) ならびに黄色度 (b*) を測定した。L*、a* ならびに b* の値は、数値が大きいほど明るく、赤色で黄色味を帯びていることを示している。飼料採取量はソルボース含量が高まると減少したが、日程が進むにつれ飼料間の差は小さくなった (Table 8)。Table 9 に血清中

Table 8. Effect of dietary sorbose on feed intake of laying hens⁵⁾

Sorbose levels (g/kg)	Feed intake (g/day)				
	0 - 1 wk	1 - 2 wk	2 - 3 wk	3 - 4 wk	Average
0	95.3 ^A	106.1 ^A	101.4 ^A	107.8 ^A	102.7 ^A
100	81.2 ^{AB}	94.7 ^{AB}	92.2 ^A	92.6 ^B	90.2 ^{AB}
200	63.5 ^B	80.4 ^B	87.4 ^A	87.7 ^B	79.8 ^B
Pooled SEM	7.6	6.2	5.6	4.5	5.5

A-B Means within a column not having the same superscript letter are significantly different (P<.05).
N=10/dietary treatment.

Table 9. Effect of dietary sorbose on serum glucose, triglyceride, cholesterol, low density lipoprotein (LDL), very low density lipoprotein (VLDL) and chylomicron of laying hens⁵⁾

Sorbose levels (g/kg)	Glucose (mg/100 ml)	Triglyceride (mg/100 ml)	Cholesterol (mg/100 ml)	LDL (mg/100 ml)	VLDL (mg/100 ml)	Chylomicron (mg/100 ml)
0	223 ^A	1657 ^A	139.2 ^A	1419 ^A	636.5 ^A	2814 ^A
100	211 ^A	446 ^B	55.2 ^B	700 ^B	398.2 ^{AB}	767 ^B
200	201 ^A	386 ^B	57.8 ^B	684 ^B	89.4 ^B	788 ^B
Pooled SEM	8	131	12.2	88	117.7	327

A-B Means within a column not having the same superscript letter are significantly different (P<.05).
N=10/dietary treatment.

のグルコース、トリグリセライド、総コレステロール、LDL、VLDLおよびカイロミクロン濃度に及ぼすソルボースの効果について示した。グルコース濃度はソルボースによる影響を受けなかったが、血清トリグリセライド、総コレステロール、LDLならびにカイロミクロンはソルボースを10%添加することにより有意に減少した。しかしソルボースを20%添加してもそれ以上の添加効果は得られなかった。血清VLDLはソルボースの添加により直線的に減少した。総コレステロール、LDLならびにVLDL濃度は血中インシュリン濃度と正の相関を示すことが知られているが¹¹⁾、先にラットの結果において述べたように、産卵鶏においても血中インシュリン濃度がソルボース給与により低下した可能

性が示唆される。腹腔脂肪重量、肝臓色ならびにヘンデイ産卵率に及ぼすソルボースの効果を Table 10 に示した。腹腔脂肪は絶対重量ならびに相対重量の両者でソルボースの10%添加により有意に減少したが、20%添加ではそれ以上の減少は認められなかった。肝臓の色彩で赤色度はどの区にも差は見られなかった。明度および黄色度はソルボースの10%添加により低くなったが、20%添加ではそれ以上の変化は認められなかった。この結果はソルボースにより肝臓脂質含量が低められたことを意味している。試験期間中のヘンデイ産卵率は各飼料間に差は認められなかった。以上の結果は、加齢に伴い生産性が低下した産卵鶏にソルボースを給与すれば、余剰の脂肪を減少させ再び生産性を向上させる可能性があることを示唆した。

Table 10. Effect of dietary sorbose for 4 wk on abdominal fat weight, liver color and hen-day egg production rate of laying hens⁵⁾

Sorbose levels (g/kg)	Abdominal fat		Liver color ¹			Hen-day egg ² production rate
	Absolute (g)	Relative (g/kg body weight)	L* color	a* color	b* color	
0	67.3 ^A	.037 ^A	61.3 ^A	17.6 ^A	23.0 ^A	.641 ^A
100	39.7 ^B	.024 ^B	57.4 ^B	17.4 ^A	17.5 ^B	.659 ^A
200	33.7 ^B	.022 ^B	55.4 ^B	17.1 ^A	15.8 ^B	.582 ^A
Pooled SEM	5.6	.003	1.1	.7	1.7	.1

A-B Means within a column not having the same superscript letter are significantly different (P<.05).

¹ Liver color shows: L* color, lightness; a* color, redness; b* color, yellowness. Units were CIE (Commission International de l'Eclairage) standard.

² Egg production/number of hens.
N=10/dietary treatment.

4-2. プロイラーの摂食行動と脂質代謝に及ぼす飼料中のソルボース含量の影響³⁾

単飼ケージ飼育の4週齢のプロイラーを用い、1区当り雌雄各5羽で4区設けた。各区の体重が等しくなるように分配した。対照区には飼料中にコーンスターチを9%配合し、実験区には対照区のコーンスターチをそれぞれソルボースで3、6ならびに9%置換した3区を設けた。実験は4週間行なった。実験最終日に鶏を屠殺し腹腔脂肪、肝臓ならびに深胸筋を取り出し、重量を測定し、肝臓と深胸筋は蛋白質と脂肪含量を測定した。対照区とソルボース9%区の腹腔脂肪については脂肪酸組成を測定した。Table 11に増体重、飼料摂取量ならびに飼料効率について示した。増体重と飼料摂取量は共に交互作用が見られ、雌では飼料ソルボース含量による影響がほとんど見られないが、雄では9%ソルボース添加により急激に低下した。飼料効率はソルボースによる影響が認められなかった。Table 12には肝臓、深胸筋ならびに腹腔脂肪の絶対重量と体重1kg当りの相対重量についての結果を示し

Table 11. Body weight gain and feed intake of broilers fed diets containing graded levels of sorbose³⁾

Parameters	Sex	Sorbose level (%)				Mean	Residual mean square
		0	3	6	9		
Body weight gain (g/d)	Male (M)	87.7	88.1	82.5	70.3	81.9	43.7
	Female (F)	65.9	63.0	68.2	65.9	65.7*	
	M - F	21.8*	25.1*	14.3*	4.4		
	Mean	76.8 ^A	74.4 ^A	76.0 ^A	68.1 ^B		
Feed intake (g/d)	Male (M)	168	169	161	140	159	134
	Female (F)	140	133	143	138	138*	
	M - F	28*	36*	18*	2		
	Mean	154 ^A	150 ^A	153 ^A	139 ^B		
Feed efficiency	Male	.522	.521	.514	.498	.513	.00096
	Female	.472	.473	.478	.480	.476*	
	M - F						
	Mean	.497	.495	.498	.489		

Experiment was done from 28 to 56 days of age.

^{A-B} Means within a row not having the same superscript letter are significantly different at P<.05.

* Significantly different at P<.05.

Table 12. Absolute and relative weights of liver, pectoral muscle¹ and abdominal fat in 56 days old broilers fed diets containing graded levels of sorbose³⁾

Parameters	Sex	Sorbose level (%)				Mean	Residual mean square
		0	3	6	9		
Liver weight (g)	Male	55.8	51.8	60.5	54.3	55.8	54.7
	Female	42.5	44.0	46.2	47.2	44.9*	
	Mean	49.1	47.6	54.0	50.8		
Relative liver weight (g/kg body weight)	Male	17.7	16.6	20.2	20.5	18.8	4.34
	Female	17.4	18.8 ^{AB}	18.5 ^{BC}	19.6 ^C	18.5	
	Mean	17.5 ^A	17.8 ^{AB}	19.4 ^{BC}	20.0 ^C		
Pectoral muscle weight (g)	Male (M)	93.0	98.9	90.7	79.2	90.1	81.5
	Female (F)	75.8	81.1	87.2	82.2	81.3*	
	M - F	17.2*	17.8*	3.5	-3.0		
	Mean	84.4	89.2	89.1	80.7		
Relative muscle weight (g/kg body weight)	Male	29.7	31.7	30.5	29.9	30.4	7.72
	Female	30.9	34.4	34.8	33.9	33.5*	
	Mean	30.3	33.2	32.5	31.9		
Abdominal fat weight (g)	Male	58.1	55.0	34.0	37.1	45.7	221
	Female	69.6	55.8	53.2	47.7	56.7*	
	Mean	63.9 ^A	55.5 ^{AB}	42.7 ^B	42.4 ^B		
Relative abdominal fat weight (g/kg body weight)	Male	18.4	17.6	11.3	14.1	15.3	26.7
	Female	28.3	23.8	21.2	19.6 ^{BC}	23.3*	
	Mean	23.4 ^A	21.0 ^{AB}	15.8 ^C	16.8 ^{BC}		

¹ Weight of bilateral pectoral muscles.

^{A-C} Means within a row not having the same superscript letter are significantly different at P<.05.

* Significantly different at P<.05.

た。肝臓は絶対重量においてはソルボースの影響を受けないものの、相対重量ではソルボースの給与レベルの増加に伴い重くなった。深胸筋の絶対重量はソルボース含量が低いと雌雄間の差が大きいが、ソルボース含量が高まるにつれて雌雄間の差が小さくなった。また相対重量においてはソルボースの効果は認められなかった。腹腔脂肪重量は絶対および相対重量の両方で、ソルボースの増加に伴い減少することが示された。ここに結果は掲載してないが、飼料の代謝エネルギー値はラットで見られたように飼料中のソルボース含量が高まるにつれて低下した。ブロイラーでもソルボース自体の代謝エネルギー値を計算したところ10KJ/gとなった。この値はラットのもの(12.4KJ/g)よりかなり低いが、これは家禽における飼料の通過速度が速いことに起因していると思われる。Table 13に肝臓ならびに

Table 13. Protein and fat contents of liver and pectoral muscle in 56 days old broilers fed diets containing graded levels of sorbose³⁾

Parameters	Sex	Sorbose level (%)				Mean	Residual mean square
		0	3	6	9		
Protein in liver (%)	Male	21.6	21.1	21.5	20.0	21.1	1.1
	Female	21.3	21.3	21.1	20.6	21.1	
	Mean	21.5A	21.2A	21.3A	20.3B		
Fat in liver (%)	Male	3.1	3.4	3.6	3.3	3.4	.57
	Female	3.5	3.6	3.5	4.4	3.8	
	Mean	3.3	3.5	3.6	3.9		
Protein in pectoral muscle (%)	Male	23.5	24.0	23.6	24.1	23.8	.37
	Female	23.5	23.8	24.2	24.1	23.9	
	Mean	23.5	23.7	23.9	24.1		
Fat in pectoral muscle (%)	Male	.59	.35	.40	.28	.41	.039
	Female	.47	.27	.41	.31	.36	
	Mean	.53A	.31B	.40AB	.30B		

A-C Means within a row not having the same superscript letter are significantly different at $P < .05$.

深胸筋の蛋白質と脂肪含量について示した。肝臓の蛋白質含量はソルボース9%添加区でその他の区に比して有意に減少したが、脂肪含量はどの区においても差が認められなかった。深胸筋の蛋白質含量に及ぼすソルボースの効果は認められなかったが、脂肪含量はソルボースの添加により減少した。Table 14には対照飼料とソルボース9%飼料を給与したブロイラーの腹腔脂肪の脂肪酸組成について示した。ソルボースの添加により、パルミチン酸とパルミトレイン酸の含量が低下し、逆にリノール酸の含量が高くなった。全体的にみるとソルボース添加により飽和脂肪酸の割合が減り、不飽和脂肪酸の割合が高くなった。その結果飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の比も減少した。一般に血中インシュリンレベルの低下により、脂肪酸の de novo 合成が低下することが知られているが、ソルボースによる腹腔脂肪の重量ならびにパルミチン酸組成の低下は血中のインシュリンレベルとなんらかの関係があるかも知れない。

Table 14. Fatty acid composition (%) of abdominal fat in male and female 56 days old broilers fed diets containing sorbose at 0 or 9% leve³⁾

Parameters	Sex	Sorbose level		Mean	Residual mean square
		0%	9%		
Myristic(14:0)	Male	.6	.5	.5	.003
	Female	.5	.5	.5	
	Mean	.5	.5		
Palmitic(16:0)	Male	22.9	20.5	21.7	1.01
	Female	22.9	19.3	21.1	
	Mean	22.9 ^A	19.9 ^B		
Palmitoleic(16:1)	Male	6.5	4.5	5.5	.85
	Female	6.4	5.2	5.8	
	Mean	6.4 ^A	4.8 ^B		
Stearic acid(18:0)	Male	5.8	6.9	6.4	.60
	Female	5.2	6.0	5.6	
	Mean	5.5	6.5		
Oleic(18:1)	Male	44.7	43.7	44.2	1.82
	Female	45.6	46.8	46.3*	
	Mean	45.2	45.3		
Linoleic(18:2)	Male	18.5	22.8	20.6	1.14
	Female	18.4	20.8	19.6	
	Mean	18.4 ^A	21.8 ^B		
Linolenic(18:3)	Male	1.0	1.1	1.1	.05
	Female	1.1	1.4	1.2	
	Mean	1.1	1.3		
Saturated fatty acid (S)	Male	29.3	27.9	28.6	.90
	Female	28.5	25.8*	27.2*	
	Mean	28.9 ^A	26.8 ^B		
Unsaturated fatty acid (U)	Male	70.7	72.1	71.4	.90
	Female	71.5	74.2	72.8*	
	Mean	71.1 ^A	73.2 ^B		
S/U ratio (%)	Male	41.4	38.7	40.1	.03
	Female	40.0	34.8	37.4*	
	Mean	40.7 ^A	36.8 ^B		

A-B Means within a row not having the same superscript letter are significantly different at P<.05.

* Significantly different at P<.05.

4-3. ニワトリヒナにおけるソルボースの利用性に及ぼす腸内細菌の影響⁹⁾

無菌ならびに通常環境でふ化し飼育した4日齢の単冠白色レグホーン種ヒナをそれぞれ2群に分け、対照飼料とソルボース10%添加飼料を10日間自由摂取させた。脂肪、蛋白質ならびにエネルギーの蓄積量を屠体分析により求めた。Table 15 に増体重、飼料摂取量、飼料効率ならびに体組成につい

Table 15. Body weight gain, feed consumption, feed efficiency and body composition in germ-free (GF) and conventional (CV) chicks fed a control or a sorbose diet⁹⁾

	Diet	GF	CV	Mean
Body weight gain (g/d)	Control	6.8	4.5	5.6
	Sorbose	5.8	5.0	5.4
	Mean	6.3 ^A	4.8 ^B	
	Pooled SEM	0.61		
Feed consumption (g/d)	Control	16.3	11.8	14.1
	Sorbose	15.6	12.4	14.0
	Mean	15.9 ^A	12.1 ^B	
	Pooled SEM	0.68		
Feed efficiency	Control	0.417	0.355	0.386
	Sorbose	0.368	0.403	0.386
	Mean	0.399	0.379	
	Pooled SEM	0.036		
Body fat content (g/kg)	Control	58	54	56
	Sorbose	51	46	49
	Mean	54	50	
	Pooled SEM	3.9		
Body protein content (g/kg)	Control	167	170	169
	Sorbose	166	167	167
	Mean	167	168	
	Pooled SEM	2.5		

Means not sharing a common superscript letter are significantly different at $P < 0.05$.

て示した。増体重と飼料摂取量は無菌ヒナが通常ヒナに比して有意に高かった。しかしながら、その他の項目については腸内細菌の影響は見られなかった。またソルボースの効果はどの項目についても認められなかった。Table 16 に無菌および通常ヒナの体脂肪、蛋白質ならびにエネルギーの蓄積量と代謝エネルギーに及ぼす飼料ソルボースの効果について示した。脂肪ならびにエネルギーの蓄積量はソルボース区で低い傾向にあったが、有意な差は認められなかった。また腸内細菌の影響も認められなかった。体蛋白質の蓄積量は無菌ヒナで有意に高かった。代謝エネルギー値はソルボース添加によ

Table 16. Fat, protein and energy retentions and metabolizable energy value in germ-free (GF) and conventional (CV) chicks fed a control or a sorbose diet⁹⁾

	Diet	GF	CV	Mean
Fat retained (g/d)	Control	0.28	0.26	0.27
	Sorbose	0.20	0.17	0.18
	Mean	0.24	0.21	
	Pooled SEM	0.05		
Protein retained (g/d)	Control	1.09	0.96	1.03
	Sorbose	1.05	0.91	0.98
	Mean	1.07 ^A	0.93 ^B	
	Pooled SEM	0.06		
Total energy retained (kJ/d)	Control	37	33	35
	Sorbose	33	28	30
	Mean	35	30	
	Pooled SEM	3.17		
Metabolizable energy (kJ/g)	Control	11.3	11.5	11.4 ^A
	Sorbose	10.7	10.8	10.8 ^B
	Mean	11.0	11.1	
	Pooled SEM	0.16		

Means not sharing a common superscript letter are significantly different at P<0.05.

り有意に減少したが、腸内細菌の影響は見られなかった。以上の結果により、ニワトリヒナのように飼料の消化管通過速度の速い動物では、ソルボースの利用性に腸内細菌は大きく関与しないことが示された。

5. 豚の血清脂質含量に及ぼすソルボースの影響⁶⁾

137日齢の交雑種豚 (WL×D) の雌雄各8頭を2群に分け、それぞれに対照飼料とソルボース5%飼料を57日間自由摂取させた。試験最終日に血液を採取し、血清中のトリグリセライド、総コレステロール、LDL、VLDLおよびカイロミクロン濃度を測定した。Table 17 に増体重と各種血清脂質含量についての結果を示した。増体重、血清トリグリセライド、総コレステロール、LDLおよびカイロミクロン濃度については飼料ならびに性別による影響は認められなかったが、VLDL濃度はソルボース給与により顕著に低下した。

Table 17. Effect of dietary sorbose on the serum lipid content of gilts and barrows⁶⁾

	Gilt		Barrow		SED	Analysis of variance		
	Sorbose	Control	Sorbose	Control		Diet	Sex	Diet x Sex
Body weight gain (kg/57 days)	41.8	39.2	40.4	41.9	9.2	NS	NS	NS
Serum lipid (mg/100 ml)								
Cholesterol	100	103	101	90	9.8	NS	NS	NS
Triglyceride	23.0	31.5	25.5	22.0	5.24	NS	NS	NS
Low density lipoprotein	356	328	336	311	32.0	NS	NS	NS
Very low density lipoprotein	18.5	46.0	20.0	37.8	5.57	***	NS	NS
Chylomicron	8.3	29.3	12.3	13.0	10.3	NS	NS	NS

Significance levels: NS, not significant; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001.

6. まとめ

以上のように、ソルボースを用いることにより飼料摂取量の調節や脂質代謝の制御が可能であることが各種の動物で明らかになった。これまで家畜飼養学の課題は、畜産物を如何に効率よく生産するかという点に絞られてきたが、しかしこの問題はほぼ解決されたと言えるであろう。市場には豊富に畜産物が出揃い、国民一人当りの消費量も飛躍的に増加の一途をたどった。現在は逆に畜産物の摂取、特に動物性脂肪による健康阻害の問題が多々取りだされていることを考慮すると家畜の脂質代謝を制御することは重要であろう。またそれも家畜の体内に蓄積し、それを摂取することにより人体に影響の可能性がある薬剤に依存するのではなく、天然に存在し、人間にとっても安全である物質を

用いることは大きな意義を持つであろう。ここで用いたソルボースはこれらの点を考慮すれば、すぐれた飼料原料になりうると結論される。

7. 謝 辞

この一連の研究を行なうに際し、多大なる援助と協力を得た旭化成工業食品事業部、豊橋飼料株式会社、藤田学園保健衛生大学実験動物学教室ならびに名古屋大学農学部家畜飼養学教室の皆様がこの場をかりて感謝致します。

引 用 文 献

- 1) Annegers, J. H. (1964) Intestinal absorption of hexoses in the dog. *Am. J. Physiol.* 206 : 1095-1098.
- 2) Czerkawski, J. W. and Breckenridge, G. (1969) Fermentations of various soluble carbohydrates by rumen micro-organisms with particular reference to methane production. *Br. J. Nutr.* 23 : 925-937.
- 3) Furuse, M., Ishii, T., Miyagawa, S., Nakagawa, J., Shimizu, T. and Watanabe, T. and Okumura, J. (1990) Effect of dietary sorbose on lipid metabolism in male and female broilers. *Poultry Sci.* In press.
- 4) Furuse, M., Kimura, C., Takahashi, H. and Okumura, J. (1990) Prevention of incidence of diabetes by supplementing dietary sorbose in the nonobese diabetic mouse. Submitted.
- 5) Furuse, M., Nakajima, S., Nakagawa, J., Shimizu, T. and Okumura, J. (1990) Regulation of lipid metabolism by dietary sorbose in laying hens. *Poultry Sci.* In press.
- 6) Furuse, M., Tagishi, T., Narita, H., Shimizu, T. and Okumura, J. (1990) Effect of dietary sorbose on lipid metabolism in growing pigs. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 61 : 371-374.
- 7) Furuse, M., Tamura Y., Matsuda, S., Shimizu, T. and Okumura, J. (1989) Lower fat deposition and energy utilization of growing rats fed diets containing sorbose. *Comp. Biochem. Physiol.* 94A : 813-817.
- 8) Furuse, M., Tamura, Y., Matsuda, S., Shimizu, T. and Okumura, J. (1990) Feeding behavior in growing rats fed diets containing sorbose. Submitted.
- 9) Furuse, M., Yang, S. I., Niwa, N., Choi, Y. H. and J. Okumura (1990) Effect of dietary sorbose on the performance in germ-free and conventional chicks. Submitted.
- 10) Kita, K., Furuse, M., Yang, S. I. and Okumura, J. (1990) Influence of dietary sorbose on lipogenesis in goldthiogluucose-induced obese mice. Submitted.
- 11) Koritnik, D. R., Wood, L. L., Shandilya, L. N. and Rudel, L. L. (1984) Lipids,

- lipoproteins, and endocrine profiles during pregnancy in the African green monkey (*Cercopithecus aethiops*). *Metabolism*, 33 : 840-844.
- 12) Mei, N. (1985) Intestinal chemosensitivity. *Physiol. Rev.* 65 : 211-237.
 - 13) Tamura, Y., Furuse, M., Matsuda, S., Shimizu, T. and Okumura, J. (1990) Energy utilization of sorbose in comparison with maltitol in growing rats. Submitted.
 - 14) Tamura, Y., Furuse, M., Matsuda, S., Shimizu, T. and Okumura, J. (1990) Energy utilization of dietary sorbose in growing rats. In preparation.
 - 15) Verzar, F. and Laszt, L. (1935) Die Resorption aus dem Darm von isotonischen Lösungen von Glucose und Sorbose, verglichen mit der von Natriumsulfat. *Biochem. Z.* 276 : 28-39.