精製トウモロコシ外皮 (RCB) のラットの成長および 消化率に及ぼす影響と消化管内での形態変化

竹内政保*, 川村三郎*, 田中進**

太田富貴雄**, 綾野雄幸**

* 日本食品化工株式会社研究所

** 千葉大学園芸学部農芸化学科

Effect of Refined Corn Bran (RCB) on Growth Rate in Rats and Its Morphological and Chemical Changes in the Gastrointestinal Tract

Masayasu TAKEUCHI,* Saburō KAWAMURA,* Susumu TANAKA,**

Fukio OHTA** and Yūkō AYANO**

* Research Laboratory, Nihon Shokuhin Kakō Co., Fuji, Shizuoka 417

** Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Horticulture, Chiba University,
Matsudo, Chiba 271

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) 41, 35~42 (1988)

Wet milled corn bran (pericarp) was mechanically refined for use as a new source of dietary fiber. Refined corn bran (RCB) was found to contain 85.2% of neutral detergent fiber (NDF) as its main component. The effect of RCB on both growth rate and the digestibility of certain nutrients, and the changes in its chemical and morphological properties were examined in rats fed diets containing RCB at 5% or 10% as NDF for 4 weeks. Dietary RCB at either level did not depress the growth of weaning rats, but showed a tendency to decrease dietary protein efficiency. The dietary addition of RCB at higher levels significantly reduced the food efficiency. In addition, RCB exerted weak inhibitory effects on the intestinal absorption of protein and other components. Apparent digestibility of NDF in RCB was estimated to be 18.5% and 13.8% at lower and higher levels, respectively. Observation of intact and fecal RCBs by scanning electron microscopy indicated that the RCB was made thinner and rough on the inner surface during passage through the digestive tract. The latter finding seems to demonstrate that some non-cellulosic substances were removed from the intact RCB in the gut.

(Received January 27, 1987)

コーンスターチ工業の副製品であるトウモロコシフスマ (corn bran, 以下 CB と略す) は、現在、大部分が飼料用に向けられている。しかし、CB は他の穀物外皮に比べて、食物繊維 (dietary fiber, 以下 DF と略す) 含量が高く、食品添加用 DF 素材としてその利用が注目されている。

CB の DF 分析例¹⁾を neutral detergent fiber (NDF) として示すと、wet milling 工程から採取したもの 59.5%, dry milling 工程から採取したもの 42.1% で、組成はヘミセルロースが大半を占めている。このように DF 含量の高い CB について綾野ら¹⁾は、コレステロー

ル代謝との関連をラットを用いて研究したが、CB を粉化したままの状態を高コレステロール飼料に NDF 含量 5% レベルで添加してラットに投与したところ、血清コレステロールの上昇抑制作用は認められなかった。しかし、NDF 標品の形態にして投与すると血清コレステロールの上昇をいくらか抑制することを認めた。さらに CB から“ヘミセルロース B”を主体とする画分を抽出分離し、その DF 標品を高コレステロール飼料に 0.5% レベルで添加してラットに投与したところ、血清コレステロールの上昇を有意に抑制した。このことから CB はたんに粉化しただけの形態で食品素材として利用するよりも、DF 含量を高め、物理特性と生理機能を素材に付与することが望ましいと考えた。そこで、筆者らは CB

* 〒417 富士市田島 30

** 〒271 松戸市松戸 648

を化学薬品を用いずに物理的処理により DF 含量を 85% 以上に高めた DF 素材（以下、精製コーンブラン、refined corn bran と称し、RCB と略す）を開発した²⁾。

本研究は、RCB がラットの成長や可消化栄養素の消化吸収にどのような影響を及ぼすか、また、RCB がラットの消化管を通過したとき、DF 成分や形態にどのような変化が現れるかについて調べたので、以下、結果を報告する。

実験方法

1. 実験材料

1) RCB yellow dent corn の wet milling 工程から採取したトウモロコシ外皮を篩別、攪拌、洗浄を繰り返して、表面に付着したデンプン、タンパク質などの夾雑物を除去して DF 含量を高めたのち、脱水、乾燥、微粉化した RCB（日本食品化工(株)、市販名、“セルフイー”）を用いた。粒度は 100 mesh pass の微粉末で、分析値を Table 1 に示す。

2) アルカリ処理 RCB の調製 走査型電子顕微鏡写真撮影時の対比試料として、RCB を希アルカリで処理した。RCB 100 g に 0.5 N 水酸化ナトリウム液 1 l を加え、20°C で一夜振盪したのち、遠心分離して回収した残渣を水に懸濁し、塩酸で中和したのち、水洗、凍結乾燥して調製した。得られた標品は、NDF 83.2%, ADF 48.5% であった。なお、この処理により 36.7% のヘミセルロースが抽出された。

2. 動物実験

1) 飼料 実験飼料の組成を Table 2 に示す。おもな糖質源はトウモロコシデンプンとし、試験飼料は、対照飼料のしょ糖の一部を RCB で NDF 含量が 5% ならびに 10% レベルとなるようにそれぞれ置換した。

2) 実験動物および飼育方法 体重 55~65 g のウィスター系雄ラット（日本クレア(株)）を Table 2 に示した

Table 1. Component of Refined corn bran (RCB).

	(%)
Moisture	2.7
Crude protein	4.6(4.8) ^b
Crude fat	2.2(2.3) ^b
Starch	4.1(4.2) ^b
Ash	0.7(0.7) ^b
Neutral detergent fiber ^a (NDF)	85.2(87.6) ^b
Acid detergent fiber ^a (ADF)	24.0(24.7) ^b
ADF-lignin ^a	3.0(3.1) ^b

^a Determined by method of Van Soest.

^b Percent on dry matter basis.

Table 2. Composition of diets. (%)

	Control	RCB	
		5%	10%
Corn Starch	45	45	45
Casein	22	22	22
Lard	9	9	9
Corn oil ^a	1	1	1
Salt mixture ^b	4	4	4
Vitamin mixture ^b	0.85	0.85	0.85
Choline chloride	0.15	0.15	0.15
Test substance ^c	—	5.87	11.74
Sucrose	18	12.13	6.26

^a One gram of corn oil contained 300 I.U. of vitamin A palmitate, 30 I.U. of Vitamin D₂ and 10 mg of *dl*- α -tocopherol. ^b Harper's mixture (*J. Nutr.*, 68, 405 (1959)). ^c Corresponding to 5% and 10% of NDF, respectively.

た対照飼料で 3 日間予備飼育したのち、各群 10 匹ずつ 3 群に分け、各試験飼料を投与して 28 日間飼育した。なお、各群の平均体重ならびに予備飼育期間中の体重増加量は、ほぼ等しくなるように配慮した。飼育室の温度は 22±1°C に保ち、飼料および水は自由に摂取させた。飼育期間中は、体重ならびに飼料摂取量は毎日定刻に測定した。実験終了日に、ラットは安全カッターを使用して断首、採血したあと、開腹し、肝臓、小腸、盲腸、大腸、後腹壁脂肪組織を摘出して重量を測定した。血清中の総コレステロールの定量は、コレステロールオキシダーゼによる酵素法で行い、「デタミナ TC」（協和メデックス(株)）を用いて測定した。各測定値は平均値±標準誤差で示した。実験群間平均値の差は、Student の *t*-test による検定を行い、有意差の有無は危険率 5% で判定した。

3) 見かけの消化吸収率の測定 本飼育開始 10 日目から 26 日目までの糞をラットごとに集め、これを 50°C で通風乾燥して粉化し、糞中のデンプン、タンパク質および脂肪を測定した。デンプンは糞 200 mg に 0.2 M 酢酸塩緩衝液 (pH 4.8) 10 ml、グルコアミラーゼ液（長瀬生化学工業(株)、1×10⁴ GUN/g、120 mg を蒸留水 100 ml に溶かし遠心した上澄液）5 ml を加え、蒸留水で 50 ml に定容し、これにトルエン数滴を加え、37°C で 24 時間インキュベートした。次に濾過し、濾液の一定量について生成還元糖をソモギー・ヨード滴定法でグルコースとして定量し、係数 0.9 を乗じてデンプン量とした。タンパク質は、糞 500 mg を採取し、ケルダール法で窒素量を求め、6.25 を乗じてタンパク質量とした。

脂肪は、糞 2~4g を秤取し、ソックスレー抽出法により定量した。飼料中の上記成分の含量も同様の方法で定量した。各成分の見かけの消化吸収率は次式により求めた。

見かけの消化吸収率 (%)

$$= 100 \times (\text{摂取量} - \text{糞中排泄量}) / (\text{摂取量})$$

4) 糞中 DF の消化率の測定 上記(3)で集めた糞について、DF 成分を NDF として測定した。NDF は、糞 500 mg を秤取し、Van Soest の detergent fiber 法³⁾により定量した。飼料中の NDF 含量についても同様に測定し、DF の消化率は 3) で示した式により求めた。

3. 糞より回収した RCB 標品の調製と分析

RCB 投与群について、本飼育開始 8 日目から 10 日目までの糞を群ごとに集め、水を加えて糞形を崩し、水で洗浄を数回繰り返し、RCB 以外の異物を流去し、ほぼ RCB の分離ができたことを確認したのち、30 mesh の篩を通し、エタノール、次いでエーテルで洗浄し、減圧デシケーター中で乾燥した。回収した RCB 標品は、Southgate の多糖類分別定量法⁴⁾によりセルロース、非セルロース多糖類、リグニンを定量した。

4. RCB 標品の走査型電子顕微鏡による観察

RCB 標品は、粉体のまま試料台に両面テープで付着し、日立 E-10N スパッターにより金パラジウムをコーティングし、日立走査型電子顕微鏡 (S-530 型、分解能、50 Å) を用いて 5 kV の加速電圧で観察し、写真撮影した。

実験結果

1. RCB 投与によるラットの飼育試験

RCB を飼料中に NDF 含量が 5% および 10% レベルになるようそれぞれ添加してラットに投与し 28 日間の飼育試験を行った。

成長経過を群平均体重で比較した結果を Fig. 1 に示す。各群ともなめらかな成長曲線を示し、成長は恒常であった。成長結果、屠体重および各臓器重量の屠体重比を Table 3 に示す。両 RCB 投与群は対照群に比し、体重増加量、飼料摂取量では有意差は認められなかったが、飼料効率⁵⁾は RCB 10% 群において有意な低下を示した ($p < 0.05$)。タンパク質効率⁶⁾は、両 RCB 投与群は対照群より有意に低く、RCB 10% 群は RCB 5% 群よりも有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。内臓摘出屠体重は各群間に差は認められなかった。臓器の内臓摘出屠体重比については、両 RCB 群は、対照群に比し、胃、小腸、盲腸において有意に低い値を示したが、大腸では逆に有意に高い値を示し大腸の肥大が認められた ($p < 0.05$)。後腹壁脂肪組織は各群間に有意差が認められな

Fig. 1. Growth curves of rats fed diets containing RCB.

I Control, II 5% RCB group, III 10% RCB group.

かったが、両 RCB 群は対照群より低くなる傾向を示した。

次に、飼料ならびに糞中の各栄養素、DF 成分を測定し、各栄養素の見かけの消化吸収率ならびに DF 成分の消化率をそれぞれ求めた結果を Table 4, Table 5 に示す。糞の排泄量(乾物量)は、対照群が 1 日平均 0.34 g であるのに対し、RCB 5% 群は約 4 倍、RCB 10% 群は約 7 倍強と多く、RCB 投与量が多くなると糞は軟らかく形状は大きくなった。飼料成分の実測値から算出した各栄養素の平均摂取量は、RCB 10% 群において脂肪の摂取量が対照群より有意に高かったほかは、各群間に差は認められなかった。しかし、1 日平均排泄量は、両 RCB 群は対照群よりいずれも有意に高くなった ($p < 0.05$)。これらの結果から見かけの消化吸収率を求めた場合、両 RCB 群は対照群に比し、RCB 投与量が多いほど低い値を示し、両 RCB 群間にも有意差が認められ ($p < 0.05$)、とくにタンパク質の消化吸収への影響が大きかった。RCB 中の DF 成分について NDF を測定して求めた消化率は、RCB 5% 群 18.5%、RCB 10% 群 13.8% で、RCB 5% 群のほうが高い消化率を示した。これは、RCB 投与量の違いが腸内滞留時間などに影響し、RCB の分解に相違をもたらしたとの想像される。

2. 糞より回収した RCB 標品の DF 分析

糞より回収した RCB 標品の DF 構成成分を、South-

Table 3. Body weight, food intake, protein efficiency ratio, relative weight of organs* and serum cholesterol level of rats fed a diet containing RCB. (mean±S.E.)

	Control**	RCB	
		5%**	10%**
Initial weight (g)	76.6±0.5	76.6±0.5	76.7±0.5
Final weight (g)	286.8±6.0	293.0±4.2	285.7±6.5
Weight gain (g)	210.2±5.6	216.4±3.9	209.0±6.4
Food intake (g)	439.0±12.5	459.9±9.4	470.1±12.8
Food efficiency	0.47±0.01	0.47±0.01	0.44±0.01 ^{a,b}
Protein efficiency ratio	2.43±0.02	2.33±0.02 ^a	2.33±0.01 ^{a,b}
Eviscerated carcass (g)	218.9±3.9	224.9±3.0	216.8±4.9
Carcass weight/Body weight (%)	76.7±0.3	76.7±0.3	75.9±0.5
Liver (%)	6.15±0.10	6.30±0.12	6.15±0.11
Stomach	0.61±0.01	0.55±0.01 ^a	0.55±0.01 ^a
Small intestine	1.74±0.06	1.47±0.04 ^a	1.41±0.03 ^a
Cecum with contents	1.37±0.03	1.22±0.06	1.48±0.08 ^b
Cecum	0.39±0.02	0.29±0.01 ^a	0.32±0.01 ^a
Large intestine	0.26±0.01	0.37±0.02 ^a	0.42±0.01 ^a
Retroperitoneal fat	2.64±0.28	2.37±0.18	2.22±0.19
Serum cholesterol (mg/dl)	121±5	105±5 ^a	114±6

^a Significantly different from the control group ($p<0.05$). ^b Significantly different from the 5% RCB group ($p<0.05$).

* Organ weight was expressed as relative weight to eviscerated carcass. ** Each experimental group consisted of 10 rats.

gate 法で分析した結果を Table 6 に示す。ラットの消化管を通過した RCB は非セルロース多糖類が減少してセルロース、リグニンが増加する傾向を示した。

3. 糞より回収した RCB 標品の走査型電子顕微鏡による観察

RCB 5% 群および RCB 10% 群の糞からそれぞれ回収した RCB 標品をラット投与前の RCB 標品、アルカリ処理 RCB 標品と対比して走査型電子顕微鏡により観察した。その結果を Fig. 2(1~4) に示す。投与前の

RCB 標品 (Fig. 2-1) は細胞内容物が洗い流され、CB の細胞壁部分がほぼそのままの形でとり出されていることが認められた。消化管を通過した両 RCB 標品 (Fig. 2-2, Fig. 2-3) は細胞壁が薄くなっており、細胞内壁の平滑さが失われ、アルカリ処理 RCB 標品 (Fig. 2-4) の細胞内壁に近似した様相を示した。この観察ならびに回収した RCB 標品の DF 分析結果から RCB はラットの消化管を通る間に、細胞壁マトリックスからヘミセルロースなどの非セルロース多糖類の溶出が起こり、細

Table 4. Digestibilities of starch, protein and fat in

Group*	Analytical data for diets			Weight of feces**	Starch		
	starch (%)	protein (%)	fat (%)		Daily intake (g)	Daily output (mg)	Apparent digestibility (%)
Control	43.8	19.7	10.1	0.34±0.02	8.07±0.25	7.0±0.4	99.9±0
5% RCB	42.5	20.1	10.2	1.38±0.03 ^a	8.07±0.15	14.3±0.3 ^a	99.8±0 ^a
10% RCB	44.5	19.8	10.4	2.50±0.07 ^{a,b}	8.71±0.28	21.4±0.6 ^{a,b}	99.7±0.1 ^{a,b}

^a Significantly different from the control group ($p<0.05$). ^b Significantly different from the 5% RCB group ($p<0.05$).

Table 5. Digestibility of dietary fiber in rats fed diets containing RCB, assayed as neutral detergent fiber* (NDF) for the final 14 days. (Mean±S.E.)

Group**	NDF intake (g/day)	NDF in feces (g/day)	Digestibility (%)
5% RCB	1.04±0.02	0.84±0.02	18.5±1.1
10% RCB	2.04±0.07 ^a	1.75±0.06 ^a	13.8±0.5 ^a

* Determined by method of Van Soest. ** Each experiment group consisted of 10 rats.

^a Significantly different from the 5% RCB group ($p<0.05$).

胞壁面に形態的な変化を受けていることが認められた。

考 察

トウモロコシデンプンを糖質源とした飼料に、RCB を NDF 含量 5% および 10% レベルでそれぞれ添加して、幼若ラットに 4 週間投与した。

成長度を体重増加の面からみた場合、本実験の RCB 投与レベルでは、体重の低下は認められず、RCB 5% 群では、むしろ体重増加の傾向を示した。これは一次的には、飼料中の RCB がもたらすエネルギーの低下を補填するため代償的に飼料摂取量が増加したことによると考えられる。RCB の投与が多くなると RCB 10% 群に見られるような飼料効率、タンパク質効率の有意な低下が見られ、RCB 投与量により成長に対する影響をさまざまに変化することを示している。解剖時にみられる内臓摘出屠体重比で、RCB 投与群は対照群に比し、大腸の肥大が認められたが、水不溶性 DF であるセルロースを投与すると大腸が肥大するという報告とも一致³⁾、水不溶性 DF である RCB の性格を反映している。また、RCB 投与群の蓄積脂肪量は対照群より低い傾向を示したが、内臓摘出屠体重比が対照群と差がなかったことから、RCB 投与により脂肪の蓄積が抑制されたもの

と考えられる。

RCB が各栄養素の消化吸収に及ぼす影響について調べた結果、RCB 投与群は対照群に比し、各栄養素の見かけの消化吸収率は有意に低下した。RCB 投与による影響は、デンプンは受けにくく、両 RCB 群とも 99% 以上の消化吸収率を示したが、タンパク質および脂質は糞中への両栄養素の排出が増加し、とくにタンパク質に及ぼす影響は大きかった。この結果は、穀物 DF の場合、タンパク質の糞中への排泄を増加させ、見かけの消化吸収率を低下させるという報告^{6,7)}と一致した。タンパク質の消化吸収率低下の機構については、RCB がもたらす内因性窒素の排出増加、消化過程における消化酵素や栄養素の吸着、腸管内容物の「カサ」の増大、腸内滞留時間の短縮などの諸作用が複雑に関与しているものと考えられる。

腸管を通った RCB の見かけの消化率を NDF として求めると 13~18% で、消化を受けた DF 成分は糞から回収された RCB 残渣の分析結果から非セルロース多糖類と推定された。これは RCB の細胞壁マトリックスから“ヘミセルロース B”を主体とする画分が消化管通過中に溶出したものと考えられる。CB がヒトの消化管内で受ける変化を調べた Dintzis ら⁸⁾の研究では、CB は小麦ふすまや大豆外皮と比べて、消化管内で受ける変化は少なく、投与前と比べて成分的に変わらず、また、走査型電子顕微鏡による観察でも形態的に目立った変化はなかったと報告している。この研究での CB は、dry-milling 工程から採取された 18~30 mesh の粗い粒子のものである。また、Olson ら⁹⁾は、CB を人間に与えて糞便から回収した CB 残渣を加水分解後、単糖類を測定したところ、アラビノース、キシロース、グルコースなどその構成糖がほとんどそのまま検出されたことから、CB は腸内細菌によりほとんど分解を受けないと報告している。

今回、実験に用いた RCB は 100 mesh pass の微粒子で、しかも細胞壁が露出した形態をしているため、消

rats fed diets containing RCB.

(Mean±S.E.)

Protein			Fat		
Daily intake (g)	Daily output (mg)	Apparent digestibility (%)	Daily intake (g)	Daily output (mg)	Apparent digestibility (%)
3.61±0.11	123.0±11.1	96.4±0.2	1.84±0.05	24.3±1.1	98.6±0.1
3.83±0.07	211.0±6.7 ^a	94.3±0.1 ^a	1.92±0.03	36.3±1.3 ^a	98.1±0.1 ^a
3.87±0.12	328.0±12.2 ^{a,b}	91.4±0.2 ^{a,b}	2.03±0.06 ^a	56.0±2.2 ^{a,b}	97.2±0.1 ^{a,b}

* Each experimental group consisted of 10 rats. ** Daily excrement per rats. Feces were collected for the final 14 days.

Fig. 2-1. Scanning electron photomicrograph of RCB. (a $\times 1000$, b $\times 3000$)

Cell walls are stripped off almost all of adhering protein and starch granules by mechanical refining of corn bran.

Fig. 2-2. Scanning electron photomicrograph of RCB recovered from feces. (5% RCB diets)
(a $\times 1000$, b $\times 3000$)

Thin, uneven and brittle cell walls are observed after gastrointestinal passage.

Table 6. Composition of dietary fiber in RCB preparations recovered from feces of rats fed diets containing RCB. (%)

	RCB (before feeding)	RCB recovered from feces ^a	
		5% RCB	10% RCB
Non-cellulosic polysaccharides ^b	62.2 ^c (71.0) ^d	64.7 (68.9)	63.8 (68.1)
Cellulose ^b	21.2 (24.2)	24.5 (26.0)	23.7 (25.3)
Lignin ^b	4.2 (4.7)	4.7 (5.0)	6.1 (6.5)
Total dietary fiber	87.6 (100)	93.9 (100)	93.6 (100)

^a Feces were individually collected from ten rats for each diet. ^b Determined by Southgates' fractionation procedure. ^c Percent on dry matter basis. ^d Percent in total dietary fiber was given in parentheses.

Fig. 2-3. Scanning electron photomicrograph of RCB recovered from feces. (10% RCB diets)
(a $\times 1000$, b $\times 3000$)

Same as Fig. 2-2.

Fig. 2-4. Scanning electron photomicrograph of RCB treated with 0.5N NaOH. (a $\times 1000$, b $\times 3000$)
Thin and uneven cell walls are observed after chemical treatment.

化液や腸内細菌などにより影響を受けやすく、CB とは異なった挙動を示すものと考えられる。これは走査型電子顕微鏡での観察結果からもうかがわれる。消化管を通過した RCB は投与前の RCB と比べ、全体の形態もしくは総体の寸法にめだった変化はないが、細胞壁は薄くなり、壁面に凹凸が観察された。この様相は、RCB を希アルカリで処理し、ヘミセルロース画分を 36.7% 抽出したアルカリ処理 RCB 標品に近似していた。このことから細胞壁マトリックスからヘミセルロースを主体として非セルロース多糖類がいくらか溶出していることがうかがわれる。

RCB は NDF の形態に近づけるべく調製されているため、DF 含量が高く、しかも消化管中でヘミセルロースが溶出されやすい組織であるということは、不溶性 DF の機能以外に腸管中で溶出したヘミセルロースの生

理作用を期待することができる新しい DF 素材といえよう。

また、筆者らは、微粒子で細胞壁が露出した形態をとっている RCB は、ヘテロサイクリックアミンなどの変異原物質の吸着能が高いことや¹⁰⁾¹¹⁾、顕著な便秘改善効果のあることを¹²⁾認めており、食品素材としての有用性を確認している。

要 約

wet milling 工程から採取した CB を精製して DF 含量を高めた RCB (NDF として 85.2%) をラットに投与し、成長や可消化栄養素の消化吸収に及ぼす影響、および RCB の消化管内での形態変化について調べた。

1) RCB を飼料に NDF 含量として 5% および 10% レベルで添加して投与したところ、両群とも成長は恒

常であった。しかし、飼料効率 は 10% 群で、タンパク質効率は両群において対照群より有意に低い値を示した。

2) RCB は可消化栄養素の消化吸収を阻害したが、タンパク質の消化吸収に与える影響が大きかった。RCB の見かけの消化率は、NDF として求めると、5% 群 18.5%、10% 群 13.8% であった。

3) ラットの消化管を通過した RCB を走査型電子顕微鏡で観察した結果、RCB は細胞壁が薄くなり、細胞内壁の平滑さが失われていた。このことは、観察結果と糞から回収した RCB 標品の分析から、消化管内において非セルロース多糖類が溶出すると推定された。

文 献

- 1) 綾野雄幸, 太田富貴雄, 渡辺幸雄, 中村 進, 滝沢まゆみ: 栄養と食糧, **35**, 431 (1982)
- 2) 川村三郎, 竹内政保: ニュー・フード・インダストリー, **26**, 5 (1984)
- 3) Goering, H.K. and Van Soest, P.J.: Forage Fiber Analysis (Agric. Handbook 379) (1970) Agric. Res. Serv., U.S. Dept. of Agric., (Washington, D.C.)
- 4) Southgate, D.A.T.: Determination of Food Carbohydrate, 137 (1976), Applied Science Publishers (London)
- 5) 奥 恒行, 小西史子, 細谷憲政: 栄養と食糧, **34**, 437 (1981)
- 6) Stephen, A.M. and Cummings, J.H.: *Proc. Nutr. Soc.*, **38**, 141A (1979)
- 7) Cummings, J.H., Hill, M.J., Jenkins, D.J.A., Pearson, J.R. and Wiggins, H.S.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**, 1468 (1976)
- 8) Dintzis, F.R., Legg, L.M., Deatherage, W.L., Baker, F.L., Inglett, G.E., Jacob, R.A., Reck, S.J., Munoz, J.M., Klevay, L.M., Sandstead, H.H. and Shuey, W.C.: *Cereal Chem.*, **56**, 123 (1979)
- 9) Olson, A.C., Gray, G.M., Chiu, M.C. and Fleming, S.E.: Unconventional Sources of Dietary Fiber, 221 (1983), American Chemical Society
- 10) 竹内政保, 原 雅子, 賀当恒夫: 日本環境変異原学会講演要旨集, 104 (1985)
- 11) 竹内政保, 原 雅子, 賀当恒夫: 日本農芸化学会講演要旨集, 192 (1986)
- 12) 竹内政保, 川村三郎, 鈴木陽子, 蔀 花雄, 尾形ひろ美, 綾野雄幸: 日本食品工業学会講演集, 27 (1986)

(1987 年 1 月 27 日受理)