

2～3の放射性同位元素を用いる食品 消化率測定を試み

二階堂 融

緒 言

食品の栄養学的価値は従来食品分析によりおもにその化学的組成から論じられており、栄養素の代謝や代謝の上での意義により栄養所要量や栄養素の配合がきめられている。消化吸収の難易は *in vitro* での成績と食物の胃内停滞時間などを参考にする程度であった。最近 R I の進歩によりたとえば ^{131}I 標識脂肪および脂肪酸などが吸収試験に応用されているが、いずれも純粋な物質の形であって易消化性であり食品の生理的消化の直接の指標とはならない。

食品の真の栄養価値はその組成と消化率の両方から算定されなければならない。また疾患状態においては特定の栄養素の消化が選択的に障害されることも考えられる。また *in vitro* での実験結果が直ちに生体の消化管内での現象に適応するかも明らかでない。よって著者は R I を用いていくつかの食品のヒトの消化管内での消化率を測定せんと試みた。なお生理的な状態で食品の消化管内での消化を測定する試みはまだ行なわれていない。

原理：或種の R I を天然の状態に含む食品を作り、それをヒトに与えると消化管内で消化の程度は遊離する R I 量に相関する。その R I が遊離の状態では全部、あるいは必ずその一定量が吸収されるようなのであれば、食品をその R I をもって標識しておき、Tracer の吸収を測定するとその吸収率から消化の程度が定量できるはずである。

このような目的に用いられる R I は測定が容易な短半減期の γ -emitter であるべきであるが、現在そのような点で理想的な R I は知られていない。しかし Vit. B₁₂

はヒトでその吸収が最も詳しく調べられている標識し得る物質であるので、すなわち量と吸収率の関係^{1,2)} が確立されているので、主としてこのものを用いて食品のヒトの消化管内での消化を測定できるものか否かを検討した。

実験方法ならびに成績

1. 食品標識法の検討とその試験管内消化

無機 ^{59}Fe と ^{57}Co -B₁₂, ^{35}S -B₁ を用いてまずニワトリの肉および卵の標識を試みた。 $^{59}\text{FeCl}_3$ 120 μCi (比放射能: 10 $\mu\text{Ci}/\mu\text{g}$) を産卵中のニワトリ 1 羽の大腿筋肉内に注射し、毎日卵を採取し Well 型 2 インチ NaI 結晶の γ -カウンター (島津 A-5 型) の鉛内筒を外してピーカーを置きその中に卵を入れて Well の外側を奥田の設計した 4 cm 鉛シールドで被って測定した。その成績は図 1 のように注射 2 日目より放射能が検出され、5 日目

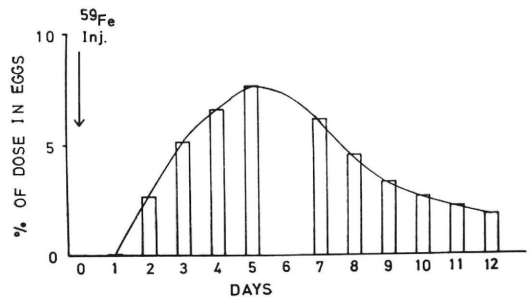


図 1 $^{59}\text{FeCl}_3$ の鶏大腿筋肉内注射後の鶏卵中への移行率。

の卵に最大の放射能を認めた。その卵を割り卵白と卵黄に分け水で均等化し、その 5 ml を同等の標準液と比較して放射能測定を行ない全卵中の放射能を注射量に対する比率に換算した。その結果放射能は全部卵黄にあることがわかった (図 2)。卵黄中の ^{59}Fe がいかなる状態で存在するかをうかがう目的で卵黄を水で 20 倍に稀釈しセロファン囊に入れて透析したが放射能は全部結合型で

久留米大学医学部第 2 内科

(主任: 奥田邦雄教授)

受付: 1971 年 3 月

別刷請求先: 久留米市旭町 67

久留米大学医学部第 2 内科

二階堂 融 (〒 830)

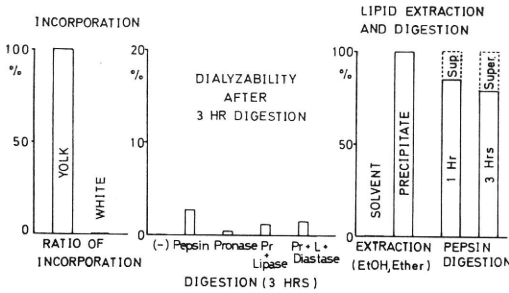


図 2 ^{59}Fe 標識鶏卵の試験管内消化と ^{59}Fe の遊離.

非透析性であった. 同じ卵黄液を 0.1N HCl 濃度で 10,000 倍ペプシンを 1ml 当り 10mg 加えて 3 時間消化すると僅かな放射能 (約 3 % 程度) が透析性となった. 中性の状態でプロナーゼを 5mg 用いたのではほとんど ^{59}Fe は遊離せず, リパーゼ, デアスターゼの添加でも ^{59}Fe は遊離せず, 卵黄を 4 : 1 のエタノール, エーテル混液で抽出すると放射能は全部沈渣中にすなわち非脂質部 (蛋白) の部にあり, それをペプシンで消化すると 3 時間で 20% 余りが上清に移行した. すなわち ^{59}Fe は卵黄の蛋白と結合しており脂質を除かないと蛋白分解酵素の作用を受けず, しかも極めて消化され難いことがわかった. なお卵をとった後のニワトリを殺して肝臓および筋肉を採取したが十分な放射能を有した.

^{59}Fe はその吸収率が多く因子に左右されて一定しないので消化率の測定には用いなかったが, 卵および注射したニワトリの肉の標識には極めて便利で食品標識の代表的な方法であるといえる. また試験管内消化実験の一モデルであることがわかった.

次に同じ要領で $^{57}\text{Co-B}_{12}$ (比放射能 $1\mu\text{Ci}/\mu\text{g}$) を $2\mu\text{g}$ 産卵中のニワトリに注射して卵への移行を ^{59}Fe と同じ要領で測定したのが図 3 の成績である. すなわち注射 2 日目から $^{57}\text{Co-B}_{12}$ は卵に現われ 5 ~ 6 日目に最大量に達したが, 1 個の卵の中への移行量は注射量の 5 % 以内

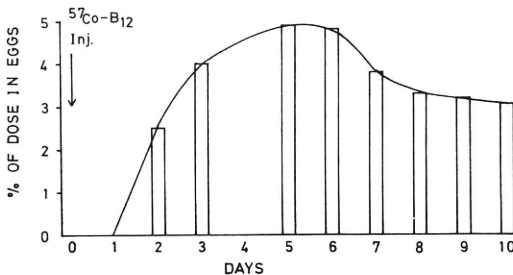


図 3 $^{57}\text{Co-B}_{12}$ の鶏大腿筋肉内注射後の鶏卵中への移行率.

に留まった. 卵を ^{59}Fe の場合に準じて卵黄と卵白に分けて調べると, 同じ様に B_{12} は全部卵黄中に移行しており, エタノール, エーテル混液で抽出しても放射能は抽出されず (蛋白結合), 抽出後の沈渣を ^{59}Fe の場合と同一条件で消化すると塩酸ペプシン 1 時間で大部分が上清へ移行した (図 4 の上段).

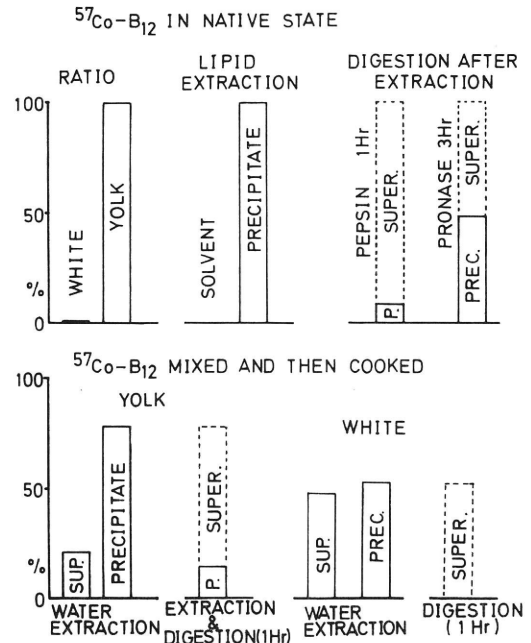


図 4 $^{57}\text{Co-B}_{12}$ 標識鶏卵と加熱調理した鶏卵 ($^{57}\text{Co-B}_{12}$ 添加) の試験管内消化.

次に非生理的な方法で $^{57}\text{Co-B}_{12}$ を卵に混じった後に加熱調理した場合の試験管内消化を調べた. すなわちニワトリに注射せずに $50\text{m}\mu\text{g}$ の $^{57}\text{Co-B}_{12}$ を 1 コ分の卵黄と卵白にピーカーの中で混じてから 100°C 10 分加熱固化し, その中に入った放射能が上清中に抽出される難易, すなわち粗消化を調べたのが図 4 の下段の成績である. すなわち固化した卵白と卵黄を細かく磨砕し水で抽出してみると卵黄では放射能は上清にほとんど移行しなかった. 卵白では約 50% が上清に移行した. 沈渣を塩酸ペプシンで 1 時間消化すると卵白では完全に卵黄でも大部分が上清に移行した. すなわち自然の形で在する B_{12} と添加した後, 固化化した卵の中に含まれる B_{12} とは消化による遊離の難易に大きな差があることがわかった. すなわち前者では B_{12} 分子は卵黄の成分と分子のレベルで或結合をしているが, 後者では B_{12} 分子がゲル化した卵白, 卵黄の中に閉じ込められた状態で, そのゲルが完全にほ

ぐれば B_{12} 分子は遊離するわけで、後者の消化はいわば粗消化と考えてよいであろう。

なお $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を雄ニワトリに $4\mu\text{g}$ 注射し12時間後に殺して肝臓、筋肉を採取したが、前者には注射量の数%が含有され、本実験に十分な量の放射能がえられた。筋肉ではカウントが少なく十分なカウントをうるためには比放射の高い B_{12} を大量用いるか、さもなければ筋肉を大量用いる必要があり、以下の実験では筋肉の量でカウントの不足を補った。なお注射した部位の近くの筋肉にはカウントがかなり残ったがその部は用いなかった。

次に植物性食品としてモヤシを標識しようと試みた。初めに $^{59}\text{FeCl}_3$ (比放射能 $11\mu\text{Ci}/\mu\text{g}$) を用いモヤシ豆を $60\mu\text{Ci}/\text{dl}$ の $^{59}\text{FeCl}_3$ 水溶液 100ml 中にて培養し7日目に約 40g のモヤシができた。この一部をとりよく洗滌した後 ^{59}Fe のモヤシへの移行率を測定したところ全放射能の11%が中に入っていた。すなわち実験に十分つかえることがわかった。同様に $^{35}\text{S}-B_1$ 標識モヤシは $^{35}\text{S}-B_1\text{HCl}$ (比放射能 $95\mu\text{Ci}/\text{mg}$) を用いモヤシ豆を $50\mu\text{Ci}/\text{dl}$ の $^{35}\text{S}-B_1$ 水溶液 100ml 中にて培養し約 40g をつくった。このモヤシ 1g 中 $^{35}\text{S}-B_1$ として $7.0\mu\text{g}$ 含まれており、測定には十分すぎる位の量であったので被験者1人当たり約 20g を使用した。次回からはモヤシに対する B_1 の量を半分に減じモヤシ 1g 中 $^{35}\text{S}-B_1$ として $1.7\mu\text{g}$ のものをえた。試験には被験者1人当たり 30～50g を用いた。なおモヤシ中の B_1 含量は BrCN 法³⁾にて定量したが、モヤシ湿重量 1g 中約 $1\mu\text{g}$ であった。

2. 天然の状態で標識された食品を用いる消化率測定 (Method I)

標識食品を調理してヒトに与えた後の放射能の吸収率と、その食品に含まれる物質の総量を、Tracer 単独を遊離の型で与えた場合の投与量と吸収の相関標準曲線に照して消化管内における食品からの遊離量を計算し、その%を消化率とした。いいかえると吸収された Tracer 量と食品中における Tracer の isotope dilution から吸収絶対量を計算、それから消化管内で被吸収状態となった(遊離した) Tracer の量をグラフから求め食品中の含有総量に対する比率が消化率である。

a) $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を標識に用いた食品の消化率測定

$^{57}\text{Co}-B_{12}$ を水溶液の型で単独投与し、投与量と吸収を Schilling 法⁴⁾ による尿中排泄量で表わし投与量と吸収率の関係⁵⁾ を調べると図5のようである。排泄(吸収)率曲線は $^{57}\text{Co}-B_{12}$ の経口投与が増加すると $8\mu\text{g}$ あたりまでは急峻なカーブをもって減少するので $8\mu\text{g}$ 以下の投与量では消化率の低下が吸収率の増加として明瞭

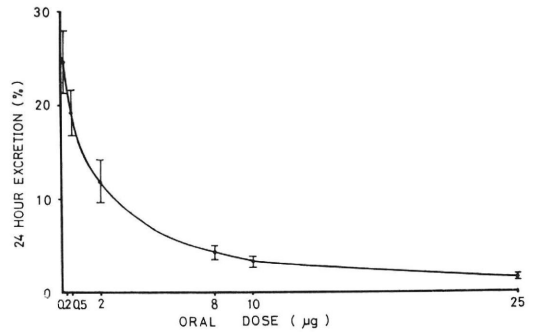


図5 $^{57}\text{Co}-B_{12}$ の投与量と吸収(尿中排泄)率の関係 (Schilling Test)

に表われることになり、この範囲内の量を用いる事が好ましいということになる。図5の投与量と吸収(尿中排泄)率の関係を尿中排泄絶対量と投与量の関係のグラフに書きかえると図6のようになる。なお B_{12} 量が $0.2\mu\text{g}$

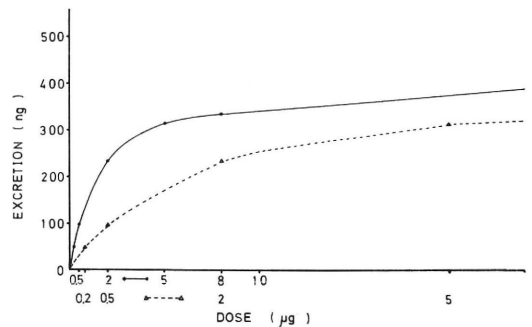


図6 $^{57}\text{Co}-B_{12}$ 投与量と尿中排泄絶対量の関係。

以下では吸収率(尿中排泄率)はほぼ一定でそれ以上増加しない⁵⁾。次に標識食品として標識卵の卵黄をゆでたもの、ニワトリの肝臓を焼いたもの、およびラットの肝粉末を用いた。ラットの放射性肝粉末は $^{57}\text{Co}-B_{12}$ (hydroxo型)を5回反覆筋注した後、最後の注射から2日後に取出した肝臓を細切して 160°C 乾熱滅菌器内で乾燥粉末化したものである。それぞれの B_{12} 含量は乳酸菌 ATCC 4797株を用いる微生物学的定量法^{6,7)}によって測定し、卵黄では B_{12} として $0.2\mu\text{g}$ (2コ分) ニワトリ肝臓は 4g , B_{12} として $1\mu\text{g}$, ラット粉末肝臓は乾燥重量として 1g (B_{12} $0.2\mu\text{g}$) を与えた。その成績は図7のようである。卵黄とラット肝は B_{12} としての総量が同じであるので左側に同じ scale で示した。すなわち吸収(尿中排泄)率 26%を 100%消化として消化率の scale を内側に示した。ラット肝を与えた5名の被験者における尿中排泄率をこ

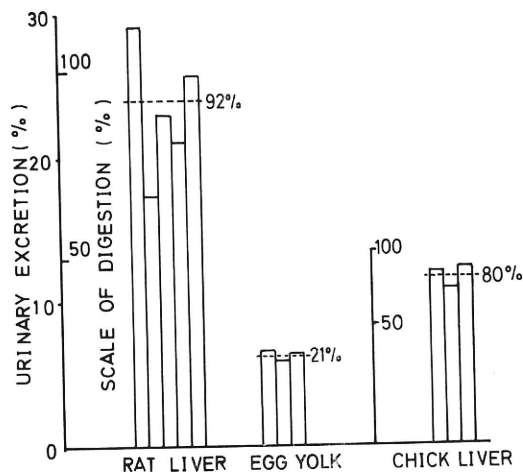


図 7 天然の状態で $^{57}\text{Co-B}_{12}$ が含まれる食品の消化率測定 (Method I).

の scale で測ると消化率は21%となり消化の悪いことがわかった。またニワトリの肝臓を与えた3名の平均は約80%でかなり良い消化率であった。

b) $^{35}\text{S-B}_{12}$ を標識に用いた食品の消化率測定。

種々の異なる量の $\text{B}_{12} \text{HCl}$ に $50 \sim 100 \mu\text{Ci}$ の $^{35}\text{S-B}_{12}$ を混じて経口投与し24時間尿中の ^{35}S を測定、投与量と尿中排泄率の関係を調べた成績は図8のようで、 $^{35}\text{S-B}_{12}$

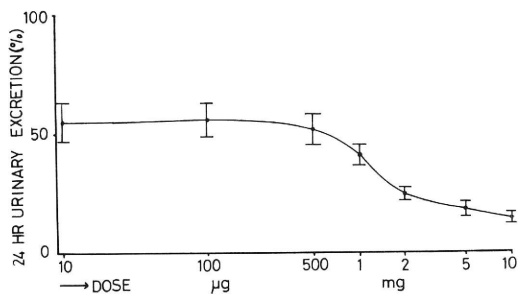


図 8 $^{35}\text{S-Thiamine}$ の経口投与量と吸収 (尿中排泄) 率の関係。

投与量が $500 \mu\text{g}$ までは尿中排泄率はほぼ一定で約56%であった。 $500 \mu\text{g}$ 以上になると吸収率は低下してくる。また吸収量と尿中排泄の関係を4日間蓄便した糞便を湿性灰化して奥田らの方法⁸⁾で液体シンチレーションカウンターで測定した。その結果図9に示すように $^{35}\text{S-B}_{12}$ 尿中排泄率は糞便回収から測定した $^{35}\text{S-B}_{12}$ 絶対吸収量の70~75%でかなり一定していたので、与える食品中の B_{12} 量が $500 \mu\text{g}$ 以下であれば目的にかなうと考えた。す

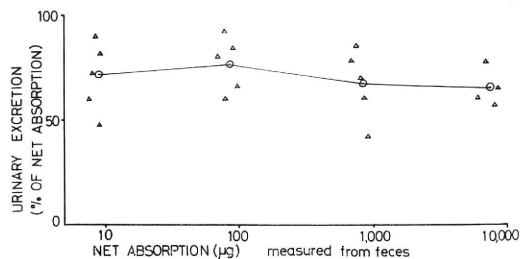


図 9 $^{35}\text{S-Thiamine}$ の吸収量と尿中排泄率の関係。

なわち $^{35}\text{S-B}_{12}$ 標識食品の消化率は、尿中排泄率が腸管で遊離して吸収される型になった B_{12} 量の56%として計算すればよいことになる。 $^{35}\text{S-B}_{12}$ 標識食品として鶏に筋注して1日後に取出した肉と肝、および $^{35}\text{S-B}_{12}$ 含有水で培養したモヤシを用いた。その結果は図10に示すように 60g までの鶏肉、鶏肝 (3g) の焼いたものはほとんど全部消化され、モヤシの消化率は約60%でやや悪かった。

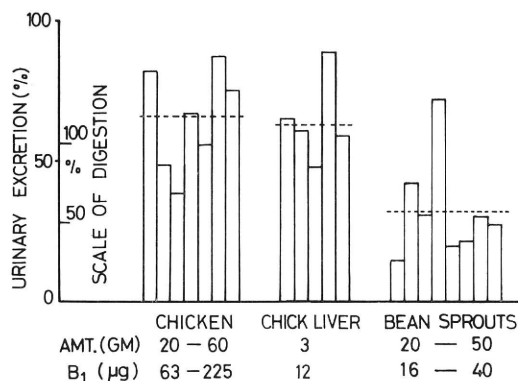


図 10 $^{35}\text{S-Thiamine}$ 標識食品の消化率測定 (Method I).

3. 食品に Tracer 物質を添加して行なう消化率測定 (Method II)

食品に含まれる栄養素と同一の標識 (たとえばビタミン) を、天然の形でその中に含ませることなく、調理した食品と一緒に合せて、あるいはその胃管内での消化の最中に別個に与えると、食品中から消化によって非放射性の同一栄養素が遊離することにより、添加した放射性栄養素が isotope dilution をうける。その場合稀釈によって吸収率が変化すれば、吸収率の変化から腸管内で遊離した当該物質の量すなわち吸収が測れるということになる (II a 法)。この目的には、さきに述べた投与量と吸収率の関係から $8 \mu\text{g}$ 以下の量の B_{12} が好適である。しかし

食物に Tracer として用いる栄養素と同一物質が含まれていない場合にはⅡa法が行なえない。その場合には Tracer のみを与えないで、その代りに食品に非放射性の同一物質たとえば B_{12} であればその $8\sim 10\mu g$ を均等に混じり、その食品の消化の最中に Tracer のみを経口的に与えると食品中の添加非放射性物質が消化により遊離し Tracer 量を稀釈し、それにより Tracer の吸収率が低下する。その低下率から粗な消化率が測定できる(Ⅱb法)。あるいは $8\mu g$ 以下の Tracer B_{12} を食品中に天然の状態ではないが均等に混じて調理し、その吸収(尿中排泄)率から消化遊離率を計算してもよい(Ⅱc法)。

a) $^{57}Co-B_{12}$ を用いる食品消化率測定。

先に述べたように $^{57}Co-B_{12}$ は Schilling 法により吸収測定が容易な上に消化により遊離した非放射性 B_{12} により稀釈されると吸収率が急減するので、その減少率から消化率が算定できる。 $^{57}Co-B_{12}$ 投与量と吸収率の相関標準曲線(図5)の横座標を対数軸とすればこの測定値は投与量が $10\mu g$ 以下では直線となる部分が多い(図11)。まずステーキの消化をⅡa法で調べた。すなわ

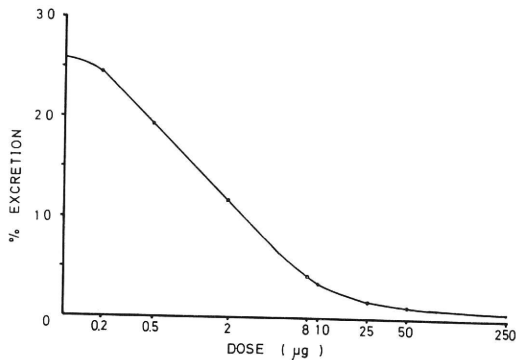


図 11 $^{57}Co-B_{12}$ 経口投与量の増加にともなう吸収率の低下 (Method II)。

ち牛肉に含まれる B_{12} を利用し微生物学的測定により牛肉 100g 中には $1.6\mu g$ の非放射性 B_{12} がある事を確かめた後、100gのステーキを3名の被験者に食べさせその消化の最中、すなわち1時間後に放射性 B_{12} $0.5\mu g$ を経口投与し24時間尿中排泄率を測定すると B_{12} 投与量合計 $2.1\mu g$ に対し被験者3名の尿中排泄率は図12に示すようにそれぞれ14.2%、4.9%、12.1%、平均10.4%で標準相関曲線(図11)での $2.1\mu g$ 排泄率11%から換算すると100%の消化率となった。同様に150gの肉では88.4%、200gでは71%、250gでは48%、300gでは40%となり被験者の数がそれぞれ2～3名で少なかったが、肉の量

が大きいほど消化率が悪いという成績がえられた。

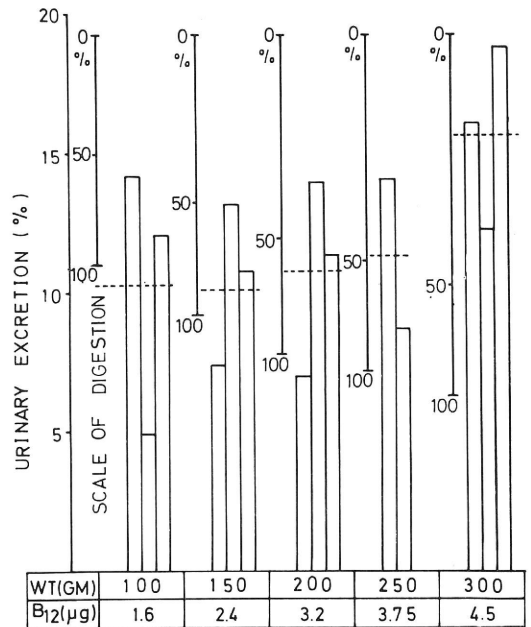


図 12 ステーキの消化率測定 (Method IIa)。

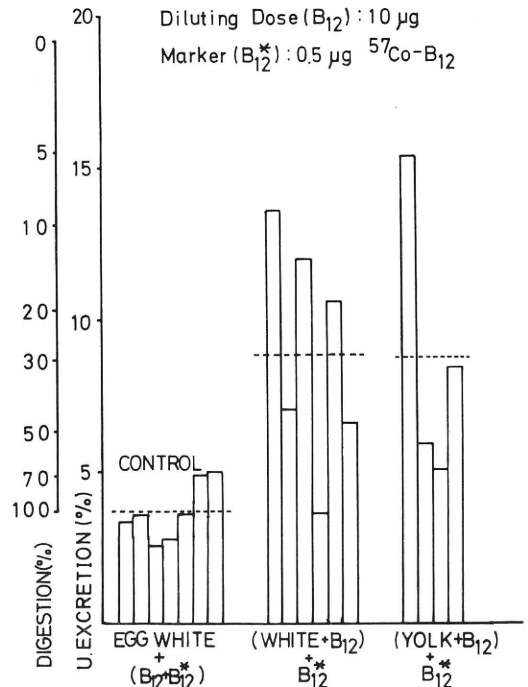


図 13 鶏卵の消化率測定 (Method IIb)。

次にⅡb法で鶏卵の消化率測定を試みた(図13)。対照としては非放射性 B_{12} を含まない卵白を焼いたものを被験者に与え、1時間後に非放射性 B_{12} $10\mu\text{g}$ と $^{57}\text{Co}-B_{12}$ $0.5\mu\text{g}$ を経口投与しその後2時間目に Flushing を行ない24時間尿中の $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を測ると平均3.8%という値がえられた(図13左)。すなわち $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を単独で $10.5\mu\text{g}$ g与えた時の吸収率とほぼ一致した。実験群においては卵白あるいは卵黄に非放射性 B_{12} $10\mu\text{g}$ を添加混合して焼いたものを被験者に与え1時間後に $^{57}\text{Co}-B_{12}$ $0.5\mu\text{g}$ を経口投与させると尿中排泄率は消化により遊離した B_{12} により isotope dilution を起こし放射能の吸収が減少した。その減少率から消化率を算定すると図13の右2組の成績のようで、卵白を6名、卵黄を4名に用いた結果の平均はほぼ30%で Method I の成績と類似し焼いた鶏卵は消化が悪いという結果がでた。次にⅡc法を米、卵、Gello、寒天、プリン、アイスクリームに応用してみた。すなわち $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を非放射性 B_{12} と混じて総量 $2\mu\text{g}$ としてそれを白米とともに炊き米飯の中に incorporate させ、その 100g を与え、また粉末 Gello を溶解し B_{12} を加えて固化させたもの、また卵黄、卵白にそれぞれ B_{12} を混じて加熱固化したものを与え尿中排泄(吸収)から消化率を測定(図14左)。また同じ量の $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を B_{12} で希釈し $10\mu\text{g}$ としてそれと卵黄、卵白、寒天、プリン、アイスクリームに調製前に加え同じ

成と消化吸収の難易に左右されるが、易消化性の程度については従来良い測定法が無かった。著者は Tracer の R I を食品に天然の形で incorporate させ、その吸収を測ることにより腸管内で遊離した R I の量すなわち消化の程度を測ることを試みた。また食品によっては測定に好都合な R I を天然の形に含んだものを作りえない場合が少なくないことから、Tracer を食品に調理の時に混和したり、あるいは Tracer を食品と別個に遊離の型で経口投与して、食品中に含ませた(又は含まれる)非放射性の同一物質が消化により遊離し Tracer を希釈する現象を利用し、すなわち腸管内で希釈される程度によって吸収率が減少する現象を利用して消化の程度を測定せんと試みた。

このような目的には、消化管内で遊離した Tracer が全量あるいは常にその一定量が吸収され、また半減期の短い γ -emitter が望ましい。しかし現在そのような物質が知られていないので、やむなく $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を主に用いてこのような考え方が実際の試験法として実施可能かどうかという事を調べてみた。 B_{12} を選んだのは、この物質の量と吸収率の関係が現在他のどの栄養素よりも良く調べられているということと、尿を用いて吸収が測定できるという理由からである。すなわち Schilling 法で flushing を行なった後の24時間尿中には吸収量の約1/3が排泄される⁹⁻¹³⁾。さらにこのビタミンを用いた理由の1つは $0.2\mu\text{g}\sim 8\mu\text{g}$ の間の量においては、量が増えることにより吸収率が著明に減少するという特長を有するからである。すなわち Tracer を食品と別に与えてその消化管内 isotope dilution を測定するのに好都合である。

なお本研究の前半は ^{59}Fe 、 $^{57}\text{Co}-B_{12}$ および $^{35}\text{S}-B_1$ を用いてこれら R I を incorporate させるモデル実験であるが、産卵中の鶏に注射して鶏卵中へ、またモヤシ豆培養によりモヤシの中にこれらの R I が極めて容易に入る事がわかった。しかし鉄はその吸収が色々な因子により影響をうけるため、また溶血貧血を起させたウサギに注射して $^{59}\text{Fe}-\text{Hb}$ を作ってヒトに与える実験も行なってみたが、その吸収率が著しく変動したため(成績は示さない)主目的である消化率測定に ^{59}Fe を用いることは断念した。最近有機鉄の吸収は無機鉄に著しく異なることが明らかとなってきた¹⁴⁾。

したがって主実験は主に $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を用いて行なった。すなわち卵白、卵黄、ステーキ、白米、Gello、寒天、アイスクリーム等につき、その中に天然の状態で含めた場合は食品中の B_{12} の総含量を予め微生物学的方法で測定しておいた後 Tracer の吸収率から消化遊離量を計算、

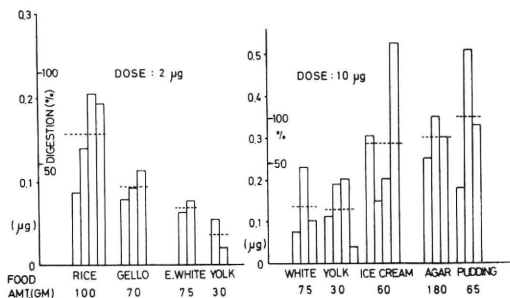


図 14 $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を人工的に添加による食品消化率測定 (Method IIc)。

ようにして incorporate させたものを与えて消化率を測定した(図14右)。その結果本法で測った消化率は米飯68%, Gello 40.8%, 卵白25%, 18%, 卵黄14%, 16%, アイスクリーム72%, 寒天80%, プリン100%という結果をえた。

考 按

はじめにも述べたように食品の栄養学的価値はその組

天然の状態に B_{12} を含めない場合は調理の時に B_{12} を混和し Tracer の吸収率が消化遊離の B_{12} より稀釈されて吸収率が低下する現象を利用して消化率を計算した。その結果ほぼ常識的な値がえられ、すなわち%で消化率を出した場合加熱固化した卵白、卵黄は15～25%位の低消化率を示したのに対し、調理肝臓、少量のステーキ、アイスクリーム、プリン、寒天等はほとんど100%に近い消化率を示したので、これらの試みは一応実用性があると考えられる。

なお $^{35}\text{S}-B_1$ を用いて B_{12} と同じように尿中排泄率と絶対吸収量（便中非吸収量測定）の関係から消化率測定に応用してみたが、 β -emitter であるところにより不利がある。すなわち液シンによる測定の関係で試料の量の制限、quenching の問題以外に、生体内の半減期が長いと β 線による放射線障害を無視できないこともある。なお本実験では吸収された B_1 を体外に早く出すため試験直後から易吸収性 B_1 を大量連続投与して置換による flush を行なった。

このようにして測定した消化率の値が正しいか否かをチェックする方法は現在のところ無い。したがってえられた値が常識的な値とひどく喰い違わないということが一つのチェックであり、本実験でことに一度にたべるステーキの量を増すと消化率が低下するような成績は、本法の信頼性を間接に立証したものであろう。なおB群ビタミンは天然には主に補酵素としてアポ酵素と結合した状態で存在するので、それが消化されて遊離することは蛋白の水解を意味するが、蛋白は必ずしも個々のアミノ酸にまで水解されなくてもビタミンは遊離するであろう。食品に調理の時に加えた場合は、たとえば寒天を例にとると、水に溶けた状態で分子がゲルの間に均等に存在しているので、それが遊離するということはゲルが細かくほぐれた状態を意味する。したがって Tracer の用い方によって消化という意味にも差があり、適切なものを用いれば固いものが細くほぐれるという物理的な消化と、蛋白が水解されて個々のアミノ酸になるいわば生化学的な消化を別々に測定できるということにもなる。

なおこれらの試みは定量性という点ではどうしても不十分で、それは現時点ではやむをえない。ことに II a, II b 法では Tracer を食品と同時に与えると、水溶性の状態で一部が未消化の食品に先行して腸内を下行するかもしれないし、逆に消化の最中すなわち投与1時間位の後に与えると、すでに消化された部分が先に小腸内に入り Tracer と接触しないことも考えられるので、I 法に比し定量性がずっと悪いであろう。

結 論

食品の栄養価はその化学的組成のみならず、消化の難易に左右される。ヒトの腸管内での食品の消化の程度を定量する試みとして数種の R I を Tracer として食品に incorporate させて与え、あるいは食品と別個に与えて消化管内での isotope dilution を利用して Tracer の吸収量から消化率が測定できるものか否かを検討した。

1) 天然の状態 R I を食品中に incorporate させるモデル実験としてニワトリに $^{59}\text{FeCl}_3$ や $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を注射し、卵黄、肉、肝臓をこれらの tracer で標識できること、またモヤシ豆を $^{59}\text{FeCl}_3$ や $^{35}\text{S}-B_1 \text{ HCl}$ に室温で接触させ、これらの標識を有するモヤシが容易にえられることを確かめた。

2) 投与量と吸収量の関係が確立されている $^{57}\text{Co}-B_{12}$ がこの目的に現在最も都合な Tracer である。すなわち Schilling 法を用いれば尿を検体として吸収が測定できる。よってまず $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を天然の状態に含む肝臓や卵黄を用いてその吸収率から消化率を測定した。また B_{12} は $8\mu\text{g}$ までは投与量が増すにつれて吸収率が急激に減少するので、消化 (B_{12} 遊離) により Tracer の吸収率が低下する。その特長を利用し、cold B_{12} を含む動物性食品とともに少量の $^{57}\text{Co}-B_{12}$ を与え、後者の吸収率の低下から消化率がいちおう測定できることを確かめた。また B_{12} を含まない食品についても、それを調理する時に B_{12} を均等に混和することにより消化管内で B_{12} の遊離する程度すなわち物理的消化の程度を同じ原理によって大まかに測定できることを確かめた。

3) $^{35}\text{S}-B_1 \text{ HCl}$ を天然の状態に含む肝臓、肉やモヤシを用いて、 β 線の測定さえ正確に行なえば吸収率から B_{12} のばあいと同様に大まかな消化率が測定できると思われる成績をえた。

以上の試みは定量性の点で未だ十分でないが、調べた約10種の食品についてみると、ほぼ常識的な値をえた。将来より良い Tracer を用いることにより、より正確な消化率測定が可能であろう。また特定の代謝障害の診断にも威力を発揮することが期待される。

(本論文の要旨の一部は第15回米国核医学会総会および第8回日本核医学会総会において報告した)。

(稿を終るに臨み、終始御懇切なる御指導、御校閲を賜った恩師奥田邦雄教授に深甚の謝意を捧げるとともに、本研究に御協力下さった高良勲博士、北崎徹郎、蔵重美都子、高松政利氏に感謝の意を表します)。

参 考 文 献

1) 奥田邦雄：ビタミン, **12**, 246 (1957)

2) Heinlich, H. G. : Aktuelle Gastroenterologie, p. 249, G. Thieme, Stuttgart (1968)

3) 松井清夫：ビタミン **6**, 143, 148 (1953)

4) Schilling, R. F. : J. Lab. & Clin. Med. **42**, 860 (1953)

5) 奥田邦雄：ビタミン **11**, 375, 381 (1956)

6) Rosenthal, H. L., Sarett, H. P. : J. Biol. Chem. **199**, 433 (1952)

7) Okuda, K., Lang, C. A., Wood, R. D, Chow, B. F. : Feb. Proc. **13**, 471 (1954)

8) 奥田邦雄他：最近医学 **22**, 997 (1967)

9) Swendseid, M. E. et al. : Proc. Soc. Exp. Biol. Med. **86**, 834 (1954)

10) 奥田邦雄：ビタミン **29**, 69 (1964)

11) Okuda, K., Tantengo, V. : Proc. Soc. Exp. Biol. Med. **110**, 396 (1962)

12) Wong, V. G., LaCombe, M., Beizer, L., Okuba, K., Chow, B. F. : Am. J. Clin. Nutr. **10**, 134 (1962)

13) Okuda, K., Chow, B. F. : Fed. Proc. **19**, 417 (1960)

14) Conrad, M. E. et al. : Gastroenterology **53**, 5 (1967)

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

