

日常的な食物の腸内発酵と消化吸収

Digestability and intestinal fermentation of simple foods

加賀谷 みえ子* 松 谷 康 子* 堀 部 博*
高 開 井** 近 藤 孝 晴**

Mieko KAGAYA* , Yasuko MATSUTANI* , Hiroshi HORIBE*
Kai-Ping GAO** , Takaharu KONDO**

When unabsorbed carbohydrate enters the colon it is rapidly fermented to short chain fatty acids by anaerobic colonic bacteria, liberating carbon dioxide, hydrogen, and, in some people, methane. The hydrogen diffuses into the blood and is exhaled in the breath. Thus measurement of breath hydrogen yields an amount of unabsorbed carbohydrate in the meal. However, the amount of hydrogen by ordinary meal is not determined yet. In this study, we measured breath hydrogen after taking a simple food. 21 healthy young women were participated in the study. 21 foods of 9 food groups were examined with lactulose as a control. Breath samples were collected every 15 minutes and analyzed for hydrogen using a gas chromatography. Breath hydrogen increased after ingestion of potatoes, soy-milk, corn, broccoli, prune juice, bananas, and milk, but not after ingestion of rice, bread, green soybeans, eggs, cucumbers, carrots, mushrooms and seaweed. Unabsorbed portion of prune juice was about 8% of lactulose standard, and those of soybean juice and corn were about 3% and 2%, respectively. Unabsorbed portions of potatoes, broccoli and bananas were under 1%.

1. はじめに

日常的に摂取された炭水化物の約20%は消化吸収されず、そのまま大腸に到達すると言われている¹⁾。未消化の炭水化物は腸内細菌によって発酵され、二酸化炭素、水素、メタンあるいは短鎖脂肪酸となる。水素やメタンは血中に拡散し、呼気中へ排泄されるので、呼気中の水素とメタンを測定することによって、腸内発酵の程度が推定できる^{1)~4)}。呼気中には、常に水素が存在し、また、約50%の日本人ではメタンも存在する¹⁾。従って、腸内発酵は特殊な状況下のみならず、日常的に生じていると考えられる。しかし、日常どのような食物が発酵されやすいかは十分知られていない。

そこで我々は、日常頻繁に摂取されている食品を選択し、各食品をそれぞれ単品で摂取させ、呼気中水素濃度を測定し、それら食品の腸内発酵の程度と消化吸

収について検討した。

2. 対象および方法

対象

消化管疾患の既往のない健康な女子大学生21名を対象とした。対象者の年齢は 21.3 ± 0.1 (平均 \pm 標準誤差)歳、身長は 158.1 ± 0.9 cm、体重は 49.3 ± 0.9 kg、BMIは 19.7 ± 0.3 であった。

方法

11食品群、31食品についてスクリーニング検査し、呼気中水素の出現の多い食品とまったく出現しない食品を選択し、9食品群、21食品について検討した。各食品について4名を対象とした。実験前日の夕食は、午後9時までには摂取し、豆・大豆製品、乳・乳製品、繊維を多く含む繊維食、アルコールなど、呼気中に水

* 梶山女学園大学生生活科学部

** 名古屋大学総合保健体育科学センター

* Department of Food and Nutrition, School of Life Studies, Sugiyama Jogakuen University

** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

素を多く発生する可能性のある食品の摂取を避けるよう指導した。夕食後3時間は就寝せず、起きているよう指導した。検査前12時間以上は絶食とした。実験当日は午前9時に最初の呼気を採集後、直ちに試験食を摂取させた。試験食摂取後から15分間隔で呼気を採集した。午後0時（正午）の呼気採集後、昼食としてハンバーグと紅茶を摂取させた。ハンバーグと紅茶は呼気中水素のもととなる炭水化物を含まず、呼気中水素を発生させない食物であることが知られている⁵⁾。ハンバーグと紅茶の1人分の材料を表1に示した。その後、午後3時まで呼気の採集を続けた。実験中は積極的な運動は禁止し、眠らないよう求めた。

試験食

試験食は単品で用いたが、醤油など調味料は適宜使用した。量は普段食べる程度で無理のない量を設定した（表2）。なお、非吸収性二糖類のラクツロースをコントロールとした。

呼気中水素の測定

呼気採集方法は Bond ら⁶⁾ の方法に準じて、終末呼気を採集した。呼気中水素は MicroLyzer model 12i (Quintron 社製) で測定した。

呼気中水素総排出量 (AUC)

AUC は以下の式で求めた。
 $(A1+2A2+2A3+\dots+2An-1+An) \times 15/2$
 An は n × 15分後における呼気中水素濃度

呼気中水素排出量のラクツロース換算非吸収率

食品のラクツロース換算非吸収比率 (%) は食品 1 g 当たりの呼気中水素総排出量 (ppm・min/g) をラクツロース 1 g 当たりの呼気中水素総排出量 (ppm・min/g) で除した値の百分率で表した。

小腸通過時間

表1 昼食の材料

ハンバーグ	g	紅茶	ml
牛挽肉	100	紅茶抽出液	150
タマネギ	40		
塩	1.4		
コショウ	0.1		
ナツメグ	0.2		
ケチャップ	適宜		
マヨネーズ	適宜		

小腸通過時間は、呼気中水素が基礎値に比し 3 ppm 以上増加した時点を、小腸通過時間とした。

統計

2 群間の有意差検定は t 検定を用い、経時変化の比較の検定は 2 元配置分散分析を行い、いずれも p < 0.05 以下を有意差があると判定した。

表2 試験食の材料と調理法、摂取法

穀類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	うどん	加ト吉冷凍讃岐うどん ヤマキめんつゆ濃縮	220 適宜	うどんは茹で、めんつゆは2倍希釈で適宜。
	ソバ	ソバ (乾) ヤマキめんつゆ濃縮	80 適宜	ソバは茹で、めんつゆは2倍希釈で適宜。
	米飯	米 飯	200	おにぎり。
	パン	シキシマ食パン	80	
イモ類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	ジャガイモ	ジャガイモ 塩	240 適宜	茹でる。
	サツマイモ	サツマイモ	175	電子レンジで熱する。
豆類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	調整豆乳	マルサン調整豆乳	200	
	枝 豆	枝 豆 塩	60 適宜	茹でる。
卵類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	ゆで卵	鶏 卵 塩	60 適宜	12分間ゆでる。
野菜類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	トウモロコシ	トウモロコシ	130	茹でる。
	ブロッコリー	ブロッコリー マヨネーズ	130 適宜	ブロッコリーは茹で、マヨネーズは適宜。
	きゅうり	きゅうり マヨネーズ 塩	200 適宜 適宜	なま。
	にんじん	にんじん マヨネーズ 青じそドレッシング	200 適宜 適宜	なま。
果実類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	ブルーベリージュース	ボツカ ブルーベリージュース	160	
	バナナ	バナナ	200	なま
乳・乳製品	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	ヨーグルト	明治 ブルガリアヨーグルト 砂糖	160 適宜	
	牛乳	森永3.5牛乳	300	
キノコ類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	えのきだけ	えのきだけ 青じそドレッシング	80 適宜	茹でる。
	しめじ	しめじ 青じそドレッシング	75 適宜	茹でる。
藻類	試験食名	材 料	分量 (g)	調理法または摂取法
	ひじき	乾燥ひじき 醤油 砂糖 だし汁 油	10 25 10 25 3	乾燥ひじきを水でもどし、油で炒め、煮含める。
	塩蔵わかめ	塩蔵わかめ 青じそドレッシング	30 適宜	塩蔵わかめを水でもどす。

3. 結 果

1) 食品群別の呼気中水素濃度

- (1) 穀類(図1) うどんおよびそばでは摂取後呼気中水素が軽度増加したが、米飯、パンでは増加しなかった。
- (2) イモ類(図2) ジャガイモでは呼気中水素が有意 ($p < 0.05$) に上昇したが、さつまいもでは軽度の増加であった。
- (3) 豆類(図3) 豆乳では呼気中水素が増加したが、枝豆では増加しなかった。
- (4) 卵類 呼気中水素は増加しなかった。
- (5) 野菜類(図4) トウモロコシは呼気中水素が有意 ($p < 0.05$) に増加したが、ブロッコリーではわずかの増加でありきゅうり、にんじんでは増加

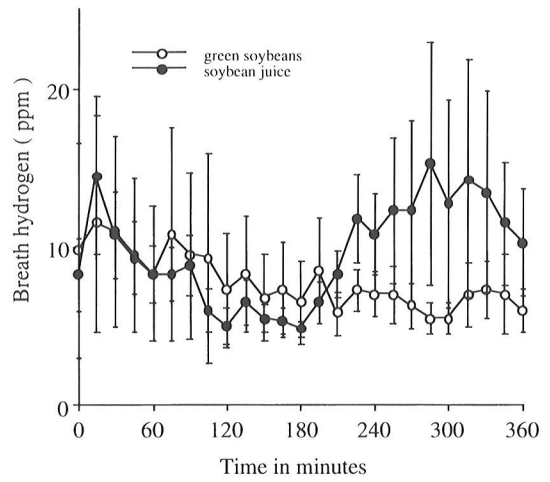


図3 豆類

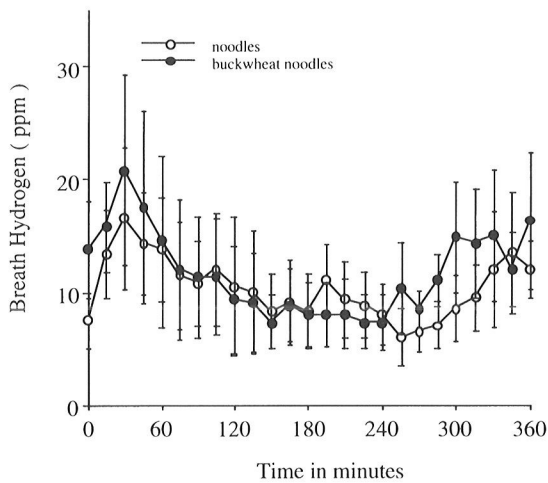


図1 穀類(うどんとそば)

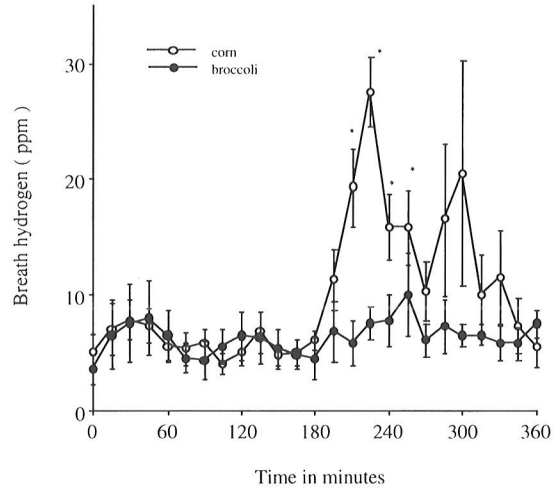


図4 野菜類

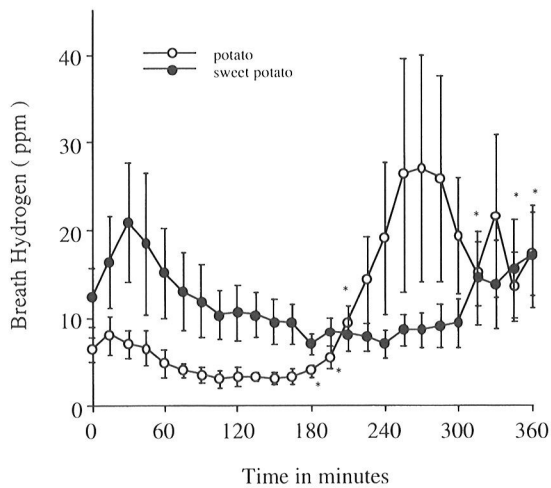


図2 イモ類

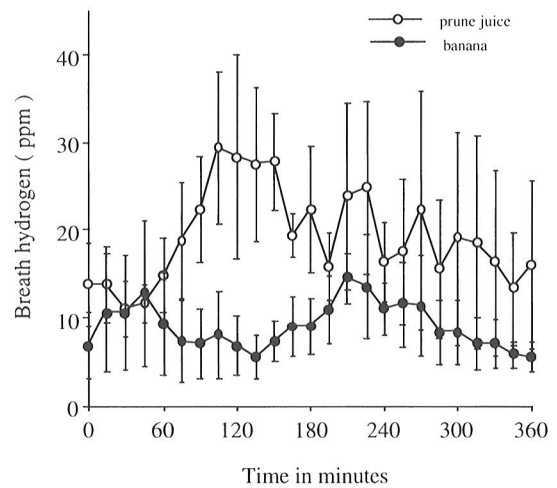


図5 果実類

しなかった。

- (6) 果実類 (図5) プルーンジュース、バナナともに呼気中水素が増加した。
- (7) 乳類 (図6) 牛乳では、以前報告したとおり、全員に呼気中水素の増加が観察された。ヨーグルトでは半数で増加したが、半数では不変であった。
- (8) きのご類 呼気中水素の有意な増加はなかった。
- (9) 藻類 呼気中水素の有意な増加はなかった。

2) 食品1g当たりの呼気中水素総排出量 (表3)

呼気中水素が有意に上昇した食品のAUCを表3に示した。プルーンジュースが $43.5 \pm 7.9 \text{g} \cdot \text{ppm} / 360$ 分と高値で、トウモロコシ、豆乳、ジャガイモ、バナナ、ブロッコリーの順であった。

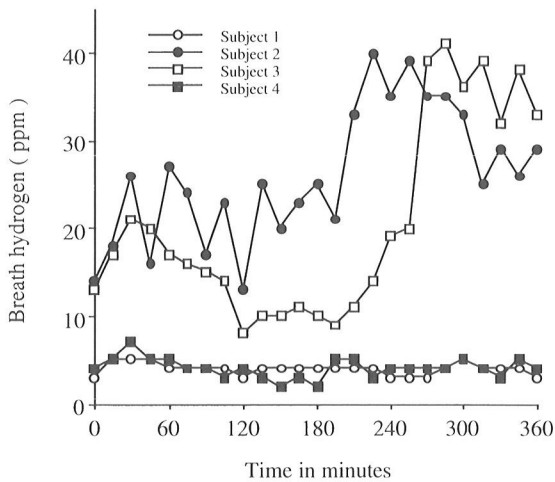


図6 ヨーグルト

3) 各食品のラクツロース換算非吸収比率 (表3)

ラクツロース換算による食品の非吸収比率ではプルーンジュースで約8%、調整豆乳は約3%、トウモロコシは約2%、ジャガイモ、ブロッコリー、バナナは約1%であった。

4) 小腸通過時間 (表2)

呼気中水素の上昇が、3 ppm以上、全員に観察された食品は調整豆乳、ブロッコリー、プルーンジュース、バナナの4種であった。小腸通過時間は、調整豆乳、ブロッコリー、バナナでは約200分であったが、プルーンジュースは86分と短かった。

4. 考 察

呼気中水素は、未消化の炭水化物が大腸の腸内細菌叢によって発酵をうけ、発生する。従って、消化吸収されずに大腸に到達した炭水化物量の指標となりうる。本実験では試験食を単品で摂取させ、食品の呼気中水素排出パターンを観察することによって、消化吸収の程度を推定した。

穀類である小麦は非吸収性のでんぷんを多量に含有していることが知られている⁵⁾⁷⁾。しかし、この小麦を主原料とするうどんやそばの摂取後には呼気中の水素の増加は軽度であり、また、パン摂取後には全く増加しなかった。米飯と同じく、日常の摂取量ではほとんどが消化吸収されてしまうものと考えられた。

イモ類では、ジャガイモを摂取後4~5時間後に呼気中水素が高値となったが、さつまいもは摂取後6時間過ぎてやや増加したに過ぎなかった。炭水化物の含量や食物繊維の量がほとんど変わらないことを考えると、ジャガイモに含まれる難消化性炭水化物の量が多

表3 各食品の小腸通過時間とg当たりの水素産生量

試験食	OCTT	AUC/g ppm/360min	AUC/g % lactulose
トウモロコシ	195.0 ± 6.1	27.8 ± 4.4	1.9 ± 0.3
ジャガイモ	217.5 ± 22.5	16.4 ± 5.5	0.8 ± 0.3
調製豆乳*	221.3 ± 21.5	17.4 ± 4.7	3.2 ± 2.2
ブロッコリー*	191.3 ± 36.9	13.3 ± 2.1	0.9 ± 0.1
プルーンジュース*	86.3 ± 18.8	43.5 ± 7.9	7.8 ± 4.5
バナナ*	180.0 ± 13.7	16.3 ± 7.2	0.9 ± 0.2

* 呼気中水素の上昇が、3ppm以上、全員に観察された食品

いのか、あるいは、それが腸内細菌によってより発酵され易いものかという可能性が考えられる。

大豆にはスタキオースやラフィノースというオリゴ糖が含まれ、発芽するための貯蔵エネルギー源となっている。豆類摂取後、呼気中に水素が大量に出現するのは、これらのオリゴ糖のためである²⁾。枝豆にはこれらの糖が含まれていない⁸⁾ことが知られていて、枝豆摂取後、呼気中水素が出現しなかったという今回の成績と一致する。一方、調整豆乳飲用後、呼気中水素が有意に増加した。調整豆乳には発酵を受けやすいオリゴ糖の含有が多いと考えられる。

動物性たんぱく食品である卵は食物繊維や難消化性炭水化物を含有しないので呼気中水素は、予測した通り、増加しなかった。

野菜は他の食品群に比べ、食物繊維や難消化性オリゴ糖を多く含んでいる。野菜の中で、ブロッコリーとトウモロコシでは呼気中に水素が増加したが、きゅうりとにんじんでは増加しなかった。食物繊維の量はトウモロコシの生で4.4 g、ブロッコリーの生で6.2 g、きゅうりの生で1.6 g、にんじんの生で4.8 gである。食物繊維の多寡が呼気中水素に影響したとは考えにくい。前2者は茹でて食し、後2者はなまで食しているが、その影響かもしれない。あるいは、食物繊維とは異なる難消化性の炭水化物との関連も考える必要がある。果実類は水溶性食物繊維のペクチンを多量に含むため、発酵を受け易い。バナナ摂取後は、少量ではあるが有意に呼気中水素の出現があった。プルーンジュースは飲用後2時間くらいから呼気中水素が高値となった。ジュースのような液体では固体食に比べて、速く小腸を通過するため、呼気中水素の出現が速くなったのであろう。

日本人の多くは乳糖分解酵素が少ないか、あるいは、全く持っていない。約20%はそのために牛乳摂取後下痢や腹痛を来し、乳糖不耐症と呼ばれている。日本人が牛乳を飲むと、ほぼ全員で呼気中に水素が増加する⁹⁾。ヨーグルトの中にも乳糖が含まれている。しかし、ヨーグルトは乳糖不耐症の患者であっても、症状を発生させることなく、飲用可能といわれている。これはヨーグルト中の乳酸菌に含まれるβ-ガラクトシダーゼが消化管内で作用し、乳糖を分解するからだと考えられている。本実験でも2名では水素は全く出現しなかった。しかし、他の2名では呼気中水素が増加した。両者の差については今後さらに検討が必要であらう。

今回検討した食品の中で呼気中水素が有意に増加したのは、トウモロコシ、ジャガイモ、調整豆乳、ブロッコリー、プルーンジュース、バナナであった。100%

消化吸収されないラクツロースと比較すると、最も消化吸収率の悪いプルーンジュースで7.8%、豆乳で3.2%、トウモロコシで1.9%、その他は1%以下であり、食品の栄養学的側面については考慮する必要はないであろう。しかし、ガス産生の面から見ると、特に放屁で悩む患者などでは、こういった食品は避けた方がよいと考えられる。他方、健康の面から考えると、これらの食品は、善玉の腸内細菌を増加させるとも考えられるので、積極的にとりたいた食品となる。ガス産生が多いかどうかを食品成分表から推測することが困難な食品も多いので、今後さらに食品の数を増やして検討したい。

5. ま と め

日常頻繁に摂取されている食品を選び、各食品を単品で摂取後、呼気中水素濃度を測定し、それら食品の腸内発酵の程度から消化吸収について検討した。

- (1) 呼気中水素は穀類のうどん、そば摂取後軽度が増加したが、飯やパンでは増加しなかった。イモ類ではジャガイモで増加したが、さつまいもでの増加は軽度であった。豆類では豆乳で増加したが、枝豆では増加しなかった。卵では増加しなかった。野菜類では、トウモロコシで著増し、ブロッコリーでは軽度が増加した。一方、にんじんやきゅうりでは増加しなかった。果実類のバナナやプルーンジュースでは著明な増加がみられた。牛乳では増加したが、ヨーグルトでは一定の傾向がなかった。きのこ類、藻類では増加しなかった。
- (2) 食品中のラクツロース換算非吸収比率はプルーンジュースが最も高く、豆乳、トウモロコシの順であった。
- (3) 小腸通過時間が200分以内の食品はプルーンジュース、バナナ、牛乳、ブロッコリー、トウモロコシであった。

引用文献

- 1) Stephen AM, Haddad AC. Passage of carbohydrate into the colon. Direct measurements in humans. *Gastroenterology*: 85, 589-595, 1983
- 2) Read NW, Al-Janabi MN, Bates TE, et al. Interpretation of the breath hydrogen profile obtained after ingesting a solid meal containing unabsorbable carbohydrate. *Gut*: 26, 834-842, 1985
- 3) Kondo T, Nakae Y. Breath hydrogen and methane excretion produced by commercial beverages containing dietary fiber. *J Gastroenterol*: 31, 654-658, 1996
- 4) 近藤孝晴、劉鳳、戸田安士：日本人における呼気中メタ

- ン排泄者 総合保健体育科学：16、55-57、1993
- 5) Levitt MD, Hirsh P, Fetzer CA, et al.: H₂ excretion after ingestion of complex carbohydrates. *Gastroenterology*: 92, 383-389, 1987
- 6) Bond JH, Levitt MD. Investigation of small bowel transit time in man utilizing pulmonary hydrogen (H₂) measurements. *J Lab Clin Med*: 85, 546-554, 1975
- 7) 印南敏、桐山修八：食物繊維、第一出版株式会社（東京）1995
- 8) 山内文男、大久保一良：大豆の科学、株式会社朝倉書店（東京）1992
- 9) Kondo T, Liu F, Toda Y. Milk is a useful test meal for measurement of small bowel transit time. *J Gastroenterology*: 29, 715-720, 1994

(1999年12月2日受付)