強化精麦の生化学的研究(Ⅱ) Biochemical Research of an Enriched Barley (II)

米・麦摂取の血清電解質および脂質に及ぼす影響

Effects of intakes of rice and barley on serum
electrolytes and lipids

(昭和41年6月15日受理)

柳 沢 文 正 小 笠 原 公
(Fumimasa Yanagisawa) (Kimi Ogasawara)

Enriched barley diet was given to the diseased and healthy men and experimental animals, and serum electrolytes and lipids were analysed in comparison with those on rice diet.

In the diseased men and healthy animals, enriched barley diet caused an increase of serum-dialyzable calcium and a decrease of inorganic phosphorus. This is completely reverse on rice diet.

Acidosis of the animals with low serum-dialyzable calcium and high inorganic phosphorus due to carbon tetrachloride liver damage or starvation became corrected more rapidly on enriched barley diet than on rice diet.

The healthy and high serum cholesterol animals were put on rice and enriched barley diet. The group on the latter diet showed lower level serum total cholesterol than those on the former diet.

われわれは長年カルシウムおよびマグネシウム代謝に関する生化学的研究¹⁾を続けてきた。とくに血清透析性カルシウムの消長は疾病と関係が深く、健康のときは高値を示し、無機リンおよびマグネシウムが低値であるが、不健康ではこの関係が逆になりアチドージス傾向であることを認め²⁾、さらに酸塩基平衡に関する実験的考察を行ってきた。

食品と健康については一般に副食の研究が多いが主食と血清電解質についての吟味が行なわれていない。そこで強化精麦の生体成分に及ぼす影響に関する研究の一環として、第1報血糖の吟味³⁾に引き続き今回は血清電解質と脂質について検討を加えた。すなわち健康、不健康のヒトならびに健康および四塩化炭素中毒、高コレステロール血症、飢餓などの実験的不健康動物を用い、強化精麦摂取による血清総カルシウム、透析性カルシウム、総マグネシウム、無機リンおよび総コレステロールに及ぼす影響を、精白米摂取とあわせ比較実験を行なったので報告する。

実 験 方 法

1. ヒトに対する実験

健康成人男女16名、病弱者7名(糖尿患者4名、胃弱者2名、肝腎炎経過者1名)を選び、強化精麦あるいは精白米を1人100gあて炊飯し、少量の食塩と梅ぼし1個を与えて食事させ、採血は空腹時と食後2時間に行なった。強化精麦と精白米の摂取試験は同一人につき1週間々隔で実施した。

2. シロネズミに対する実験

1) 強化精麦、精白米長期飼養試験

体重150g前後のウィスター系シロネズミ雄5匹を一群として1匹あて飼育箱にいれ、強化精麦または精白米を5gあて与え、食べ終わってからオリエンタル固型飼料15gと水を与えて3カ月間飼養し、再試験食投与開始前と投与3カ月後の空腹時に心臓穿刺により1.8mlあて採血を行なった。

2) コレステロール添加試験食の飼養試験

長期飼養試験と同じ条件のシロネズミ二群を用意し、ラノリン0.5gにコレステロール0.1gを溶解したものを強化精麦または精白米10gによく混合して毎日与え、食べ終わったのちにさらにオリエンタル固型飼料10gと水を給与して1カ月間飼養し、その前後に前項の試験同様の採血を行なった。

3. ウサギに対する実験

1) 無処置群の強化精麦, 精白米飼養試験

体重 2.7 kg 前後の健康ウサギ雄 4 匹を一群として, 強化精麦または精白米を 1 匹あたり 100 g 与え, 水を自由に給与して 1 カ月間飼養した。試験食投与開始前と 30 日後の空腹時に耳静脈より 2 ml あて採血を行なった。

2) 四塩化炭素中毒群の試験食飼養試験

無処置群と同条件のウサギに, 四塩化炭素と局方オリブ油を等量混和して, 0.25 ml あて腎部皮下に 1 週間 3 回注射を行ない, 血清総ビリルビン量が約 5~6 倍に増加した 8~10 日後から, 強化精麦または精白米 100 g あてと水を与えて飼養し, 四塩化炭素注射前, 試験食投与開始前および投与 20 日後に採血した。

3) 高コレステロール血症群の試験食飼養試験

ラノリン 1 g にコレステロール 0.25 g を溶解したものを, オリエンタル固型飼料 100 g に混合して毎日与え, 血清総コレステロール量が約 5~6 倍に増加した 8~10 日後から, 強化精麦または精白米を 100 g あてと水を与えて飼養し, コレステロール投与前, 試験食投与開始前および投与 20 日後に採血した。

4) 飢餓群の試験食飼養試験

オリエンタル固型飼料で飼育中の健康ウサギを水だけ自由給与して, 1・3・6 日間それぞれ禁餌する。この各飢餓群に強化精麦または精白米を 1 匹あたり 50 g 与える。採血は飢餓前, 試験食投与前および投与後 6 時間, 24 時間に行なった。なお試験食はいずれも約 4 時間で食べ終る。

各試験で採血した血液はただちに血清分離を行ない, 総カルシウム, 透析性カルシウム, 総マグネシウム, 無機リンおよび総コレステロール, 総蛋白を測定した。

(測定方法)

血清総カルシウム, 透析性カルシウムおよび総マグネシウム 柳沢法^{9) 6) 7)}

血清無機リン Fiske-SubbaRow 法⁹⁾

血清総コレステロール Zak-北村法^{9) 10)}

血清総蛋白 ビウレット法¹¹⁾

血清総ビリルビン Rappaport 法¹²⁾ による。

(試験食品)

実験に用いた試験食は, 日本強化精麦協会より提供された強化精麦(ビタパレー)と, 一般家庭配給の精白米であり, 精白米には強化精麦と同量のビタミン B₁・B₂ を添加して用いた。

実 験 結 果

1. ヒトに対する実験

健康成人男女 16 名に, 強化精麦または精白米を 1 人

につき 100 g あて炊飯して与え, 空腹時および試験食摂取 2 時間後の血清総カルシウム, 透析性カルシウム, 総マグネシウム, 無機リンを測定した。両試験食摂取は同一人について 1 週間々隔で行なったものであるが, いずれの物質も両試験食の差異が認められない(表 1)。

つぎに病弱者について同様の実験を行なった結果, 表 2 に示すごとく血清透析性カルシウムにおいて両試験食の差異を認めた。すなわち強化精麦食では変動がないが, 精白米食によりやや減少する傾向があった。

表 1 健康人の試験食 100 g 摂取 2 時間後の血清電解質量

	強化精麦		精白米	
	食前	食後	食前	食後
総カルシウム (mg/dl)	9.7	9.7	9.7	9.7
透析性カルシウム (〃)	4.1	4.0	4.0	4.1
総マグネシウム (〃)	1.3	1.2	1.5	1.3
無機リン (〃)	3.4	3.2	3.4	3.3

(平均値)

表 2 病弱者の試験食 100 g 摂取 2 時間後の血清電解質量

	強化精麦		精白米	
	食前	食後	食前	食後
総カルシウム (mg/dl)	9.6	9.7	9.7	9.5
透析性カルシウム (〃)	3.8	3.8	3.8	3.5
総マグネシウム (〃)	1.5	1.3	1.4	1.5
無機リン (〃)	3.7	3.6	3.6	3.5

(平均値)

さらに中等度の糖尿病患者に対する試験では, とくに血清透析性カルシウムにおいて精白米食ではいくらか減少するのに比べ, 強化精麦食はやや増加する傾向があった(図 1)。

図 1 中等度糖尿病患者の強化精麦・精白米 100 g を摂取前後の血清透析性カルシウムの変動

2. シロネズミに対する実験

1) 強化精麦・精白米投与による長期飼養試験

体重 150 g 前後の健康シロネズミに, 強化精麦また

は精白米を1匹あたり 5g 与え、食べ終ったのちオリエンタル固型飼料 15g を与えて3カ月間飼養し、両試験食の血清総カルシウム、透析性カルシウム、総マグネシウム、無機リンおよびコレステロールに及ぼす影響を検べた結果を表3に示す。すなわち無機リンおよび総コレステロールにおいて、強化精麦飼養では変動がないかまたはやや減少の傾向に比べ、精白米は逆に増加する傾向を認めた。

表3 シロネズミに試験食を毎日 5g 投与し3カ月間飼養の血清電解質および総コレステロール量

	強化精麦		精 白 米	
	試験前	試験後	試験前	試験後
総カルシウム (mg/dl)	9.3	9.3	9.6	9.4
透析性カルシウム (〃)	4.3	4.2	4.7	4.5
総マグネシウム (〃)	1.5	1.5	1.5	1.3
無 機 リ ン (〃)	4.7	4.4	4.9	5.2
総コレステロール (〃)	96	94	101	104

(平均値)

2) コレステロール添加試験食の飼養試験

両試験食の長期投与により、強化精麦食は血清総コレステロールが増量しないことを認めたので、抗コレステロールに関する試験として本実験を行なった。すなわち強化精麦または精白米 10g に、ラノリン溶解したコレステロールを添加して毎日与え、さらにオリエンタル固型飼料で1カ月間飼養したものについて血清電解質と総コレステロールを測定した結果、表4に示すごとく強化精麦食は総マグネシウムの減少と精白米食のような無機リンの増加がみられず、さらに総コレステロールについては試験食投与によって両群とも増加するが、しかし、強化精麦食は精白米食の増加率に比べて約 7 % 低値であった。

表4 シロネズミにコレステロール添加試験食を毎日10g 投与し1カ月間飼養の血清電解質および総コレステロール

	強化精麦		精 白 米	
	試験前	試験後	試験前	試験後
総カルシウム (mg/dl)	9.8	9.8	9.6	9.4
透析性カルシウム (〃)	4.3	4.2	4.5	4.4
総マグネシウム (〃)	1.6	1.2	1.4	1.4
無 機 リ ン (〃)	4.0	4.1	4.1	4.7
総コレステロール (〃)	95	120	96	128

(平均値)

3. ウサギに対する実験

1) 無処置群に強化精麦・精白米投与の飼養試験

体重 2.7 kg 前後の健康ウサギに、強化精麦または精白米を1日量1匹あたり 100g あて投与して1カ月間飼養し、試験食投与前後の血清電解質、総コレステロールおよび総蛋白を検べた。その結果を図2～7に示す。

すなわち試験食と水だけで1カ月間飼養すると総カルシウム、透析性カルシウム、総蛋白がやや減少する。しかし両試験食の比較では差異が認められない。総コレステロールは増加したが、両試験食を比較すると無機リンにおいて精白米食が高値であり、とくに総コレステロールの増加率は精白米食が明らかに高値であった。(図6)

2) 四塩化炭素中毒群の強化精麦・精白米飼養試験

四塩化炭素を局方オリーブ油に混合してウサギ腎部皮下に注射を続け、急性肝障害を起して血清総ビリルビン量が約 5～6 倍に増加した 8～10日後から、強化精麦または精白米を1日量1匹あたり 100g あて与え、20日後の血清電解質と総コレステロールを検べた。

四塩化炭素中毒により総カルシウム、透析性カルシウム、総蛋白が減少する。このときから両試験食を毎日与えると、強化精麦食により透析性カルシウムが増加する

図2 四塩化炭素中毒兎、高コレステロール血兎、飢餓兎を強化精麦・精白米で飼養したときの血清総カルシウムの変動(平均値)

図 3 四塩化炭素中毒兎，高コレステロール血症，
飢餓兎を強化精麦・精白米で飼養したときの
血清透析性カルシウムの変動（平均値）

図 4 四塩化炭素中毒兎，高コレステロール血症，
飢餓兎を強化精麦・精白米で飼養したときの
血清総マグネシウムの変動（平均値）

図 5 四塩化炭素中毒兎，高コレステロール血症，
飢餓兎を強化精麦・精白米で飼養したときの
血清無機リンの変動（平均値）

図 6 四塩化炭素中毒兎，高コレステロール血症，
飢餓兎を強化精麦・精白米で飼養したときの
血清総コレステロールの変動（平均値）

が（図 3），総蛋白は減少を示した。総マグネシウム，
無機リン，総コレステロールは，四塩化炭素注射により，
逆に増加する。このとき試験食を与えて飼養すると，

図7 四塩化炭素中毒兎、高コレステロール兎、飢餓兎を強化精麦・精白米で飼養したときの血清総蛋白の変動(平均値)

総マグネシウムにおいて精白米食はさらに増量するのに比較して強化精麦食は変動が少なかった(図4)。無機リンも精白米食がいくらか高値であったが、総コレステロールはやや精白米食による減少率が大であった。

3) 高コレステロール血症群の強化精麦・精白米飼養試験

飼料にコレステロールを添加して飼育し、血清総コレステロール量が約5~6倍に増加した8~10日後から、強化精麦または精白米を1日量1匹あたり100gあて与えて20日後の血清電解質と総コレステロールに及ぼす両試験食の差異を検べた。

コレステロール添加飼料投与により、総コレステロール、透析性カルシウムが増加し、総マグネシウムは減少する。このときより試験食を与えると、透析性カルシウムについては20日間の強化精麦の投与で、やや減少してコレステロール添加試験前の値にもどるとき傾向がみえるが、精白米食ではますます増加を示した(図3)。総マグネシウムに対しても両試験食の差異が認められた。すなわち強化精麦食により漸時増加して試験前の値になるのに比べ、精白米食はさらに減少が認められた(図4)。つぎに両試験食の総コレステロールに及ぼす差異の吟味では、強化精麦食による減少率が大であった(図6)。

4) 飢餓群の強化精麦・精白米投与試験

水だけを自由に給与して、1・3・6日間禁餌した飢餓

ウサギに試験食を50gあて投与して経時的に採血し、各飢餓日数の強化精麦と精白米摂取の血清成分に及ぼす差異を検べた。

禁餌により総カルシウムはあまり変動しないが、透析性カルシウムは1・3日飢餓では減少し、6日になると逆に増加する(図3)。このとき試験食を与えると、1日禁餌では強化精麦食による増加が大であり精白米食に比べて回復が早かった。3日間禁餌では試験食投与6時間後に強化精麦食による急速な増加があったが、以後減少して精白米食より低値になった。6日飢餓の場合は精白米食により透析性カルシウムがますます増加するのに比べて強化精麦食は一時減少を示した。

総マグネシウムは1日間禁餌によりやや増加し、3・6日飢餓により減少する。そこで試験食を与えると、1日間禁餌では強化精麦食による減少が明瞭であるが、3日以上飢餓では強化精麦食のほうが増加が大きく、逆の結果であった。

無機リンは1・3日禁餌によりやや増加するが、6日飢餓では逆に減少する。これらに試験食を与えると1日のものでは強化精麦食による減少があり、3日以上の場合は精白米食による減少が大きかった。総コレステロールは禁餌日数が多くなるに従い増量する。これらのおのの試験食を与えると、1日禁餌のものでは24時間値でみると精白米食がやや高値を示したが、3日以上飢餓の場合は総コレステロール減少率が精白米食においていくらか大であった。

総蛋白は禁餌によりやや低下する。その両試験食投与試験では差異がなかった。

考 察

実験に用いた強化精麦と精白米の成分組成は第1報⁴⁾に示したが、なおカルシウムとリンの含有量は強化精麦がカルシウム22mg/100g、リン140g/100gであり、精白米はカルシウム6mg/100g、リン150g/100gを含み、強化精麦がカルシウムの含有量では約4倍近く多い。その比率では強化精麦の1:7に対し、精白米は1:25でかなりリンが多い。

この試験食を健康者に与えてみると、両試験食の差異がないが、病弱者の試験では精白米食で血清透析性カルシウムがやや低い値を示した。このことは病弱者では生体のカルシウム対リンの平衡関係が健康者と異なっており、リン含量の多い酸性食品では血清カルシウム量に変動を与えるものと考えられる。

ヒトについては短時間内の試験であったのでさらにシロネズミおよびウサギを用いて長期の飼養試験を行なった。対照としてカルシウム176mg/100g、リン104mg

/100 g を含有するオリエンタル固型飼料で飼養したものは血清成分の変動がなかったが、強化精麦飼養では血清無機リンの減少があり、精白米投与では逆に増加する傾向であった。これは健康なものでもリン含量の多い食品を持続して摂取することにより漸時血液成分のアンバランスを生じて、酸性体質の招来になるものであり、食品中のカルシウムとリンの比率が重要と考える。

つぎに強化精麦と精白米食による血清成分に及ぼす差異をさらに明らかにするため、四塩化炭素中毒障害および飢餓試験を行なった。すなわち四塩化炭素中毒では血清総カルシウム、透析性カルシウムの減少に対し、総マグネシウム、無機リンが増加して酸性体質になり、また飢餓についてみると1日および3日間の場合には、血清透析性カルシウムの減少、無機リンの増加があるが、6日飢餓ではこれら栄養素の絶体不足のために、カルシウムと無機リンは全く逆の状態になる。これらの実験的不健康に及ぼす両試験食の差異は実験結果のところで詳述したごとく、強化精麦食のほうが改善的であり、飢餓試験では栄養の受給不足のために生ずる血清成分のアンバランスの回復が早い。この傾向は高コレステロール血試験でも同様に血清透析性カルシウム、総マグネシウムにおいて明瞭な差異を認めた。なおこれらの試験で興味あることは、6日間の飢餓試験で精白米投与により透析性カルシウムがさらに増加し、無機リンがなお減少することである。このごとく栄養素の絶体不足による長期間飢餓では、リン含量の高い食品を与えてもカルシウムの吸収利用がよくない。それ故さらにアルカリ性フォスファターゼ活性について考察する必要がある。

シロネズミに強化精麦また精白米 5 g あてを与えオリエンタル固型飼料で3カ月間飼養したとき、血清総コレステロールに及ぼす両試験食の差異がみられ、強化精麦飼養はその変動が少ないことに興味があったので、さらにシロネズミとウサギについて抗コレステロール試験を行なった。すなわちコレステロールを試験食に添加して飼養すると、血清総コレステロール増加率は強化精麦が低く、またあらかじめ高コレステロール血にしたウサギに対する試験でも、血清総コレステロールの低下率は強化精麦が大であった。このことは強化精麦は精白米に比較して脂質代謝を円滑に行なう何等かの作用があると考えられる。

総 括

強化精麦を健康、不健康のヒトならびに実験動物に与えて、血清電解質およびコレステロールに及ぼす影響を精白米とあわせ吟味した。

1. 健康のヒトでは両試験食の差異がみられないが、糖尿病患者および病弱者の試験では、強化精麦食により血清透析性カルシウムが増加し、精白米食は逆に減少する傾向であった。

2. 健康動物試験では、強化精麦投与により血清無機リンが減少し、精白米投与では逆に増加した。

3. 四塩化炭素障害ウサギの試験では、強化精麦投与により血清透析性カルシウムが増加し、精白米投与では総マグネシウムおよび無機リンが増加した。

4. 飢餓回復に対する試験では、短期飢餓のものは精白米に比較して強化精麦投与により血清透析性カルシウムが増加し、マグネシウムと無機リンが減少するが、長期飢餓ではこの関係が逆になった。

5. 健康動物に精白米を投与すると強化精麦よりも血清総コレステロールが増加する。コレステロール添加飼育や高コレステロール血動物では、精白米に比較して強化精麦投与の血清総コレステロールが低値であり、四塩化炭素障害のものでは強化精麦が高値を示した。飢餓動物では強化精麦による減少が緩慢であった。

以上を総括して糖尿病などの病弱者や実験的肝障害は、比較的血清透析性カルシウムが低く、無機リンが高値のアチドーシス傾向があるが、強化精麦食によって血清透析性カルシウムが増加し、精白米食にみられるごとき高無機リンがなく、マグネシウムや総コレステロールの増加が少ないことなどから考慮して、主食のとりいれ方に改善的役割があると思われる。

本研究に対してご支援を戴いた日本強化精麦協会に感謝の意を表する。本研究の要旨は第19回日本栄養・食糧学会総会（1965年）に発表した。

文 献

- 1) 柳沢文正：カルシウムおよびマグネシウム新定量法と代謝，（文光堂）（1955）
- 2) 柳沢文正：栄養と食糧，10, 99（1957）
- 3) 柳沢文正，小笠原公，渡辺 学：生化学，33, 216（1961）
- 4) 柳沢文正，小笠原公：栄養と食糧，19, 46（1966）
- 5) 柳沢文正：新潟医学会雑誌，65, 761（1951）
- 6) 柳沢文正：日医新，1475, 32（2352）（1952）
- 7) 江上不二夫編：標準生化学実験，（文光堂）（1953）
- 8) Fiske, C.H., SubbaRow, Y.: *J. Biol. Chem.*, 66, 375（1925）
- 9) Zak, B.: *Am. J. Clin. Path.*, 27, 583（1957）
- 10) 北村元仕：臨床病理，6, 200（1958）
- 11) Gornall, A.G., Bardawill, C.J., David, M.M.: *J. Biol. Chem.*, 177, 751（1949）
- 12) Powell, W.N.: *Am. J. Clin. Path., Tech. Sect.*, 8, 55（1944）

（東京都立衛生研究所）