

Agave and Chicory Inulin as Enhancers of Mineral Absorption

ミネラルの吸収を高めるチコリ
及びアガベイヌリン含有食品

小嶋 良種^{a)} 吉川 豊^{b)} 安井 裕之^{b)} 小倉 哲也^{c)}
 Yoshitane Kojima Yutaka Yoshikawa Hiroyuki Yasui Tetsuya Ogura

^{a)} 株式会社アガベ
 大阪府和泉市鶴山台4-7-3
 Agave Inc.
 4-7-3 Tsuruyamadai, Izumi-shi, Osaka 594-0013, Japan

^{b)} 京都薬科大学分析薬科学系代謝分析学分野
 京都市山科区御陵中内町5
 Department of Analytical and Bioinorganic Chemistry, Division of Analytical and Physical Chemistry, Kyoto Pharmaceutical University
 5 Nakauchi-cho, Misasagi, Yamashina-ku, Kyoto 607-8414, Japan

^{c)} グアダハラ自治大学化学科
 Universidad Autonoma de Guadalajara, Av. Patria No. 1201, Lomas del Valle, Zapopan, Jalisco, Mexico
 Department of Chemistry, Universidad Autonoma de Guadalajara

Summary

Agave inulin extracted from the desert plant *Agave tequilana* is used as the starting material for production of tequila. Since it is not digestible by the human digestive system, it reaches the large intestine intact and is available for beneficial intestinal bacteria such as Bifidobacteria, consequently alleviating constipation and notably increasing mineral absorption. Since Agave inulin is an extraordinarily soluble fructan, in spite of its high molecular weight, it does not cause the diarrhea which is an inconvenience widely observed with indigestible sugars. In the present study, Chicory inulin supplemented Mexican papaya-zinc, Chinese papaya-

zinc without inulin and yeast-zinc were labeled with radioactive ⁶⁵Zn and fed to rats. It was found that the inulin supplemented Mexican papaya-zinc in particular elevated the blood Zn concentration and increased the AUC (Area Under the Curve) whereas the yeast-zinc exerted only limited effects. A similar enforcement effect of Agave inulin was observed for absorption of copper and promotion of calcium absorption could be confirmed for human using calcium gluconate. This second paper follows on from one published in October, 2007 in this journal.

1. はじめに

アガベイヌリンは、メキシコ国の乾燥した砂漠地帯で安定して栽培されているテキーラの原料植物アガベ（日本名：リュウゼツラン）から、本稿の執筆者の一人であり、40年前に渡墨した小倉哲也教授がメキシコ国の企業であるIMAG社を指導して、製造を立ち上げた水溶性食物繊維である¹⁾。本稿では、チコリイヌリンによる亜鉛の吸収効果およびアガベイヌリンによる銅とカルシウムの吸収効果について報告する。

カルシウムは日本人に不足している栄養素の一つで、骨や歯の形成などに大切な役割を担っていることが知られている^{2, 3)}。近年、骨粗鬆症の話題がマスコミ、メディアなどで報告されるようになり、本疾患は、骨量が減少し微細構造が変化することで骨が脆くなり、骨折しやすくなる病態であることが知られてきている⁴⁾。骨粗鬆症予防のためには、加齢に伴う骨量減少の

危険因子を取り除くだけでなく、骨量増加に貢献する因子を探求し、積極的に若年期の最大骨量を増加させることが重要であると考えられる⁵⁻⁷⁾。骨の硬さを示す骨量は骨塩（リン酸カルシウムなど無機成分）と骨基質（コラーゲン、オステオカルチンなど有機成分）の総和といわれている。実際の骨粗鬆症とそれに起因する骨折のリスクは、閉経後の女性で著しく高いことがすでに指摘されている。特に50歳代以上の女性では650～850万人が骨粗鬆症に罹患しているのではないかと考えられている^{8, 9)}。骨粗鬆症自体は他の疾患とは異なり自覚症状が少ない疾患であるため、早期発見が難しく、症状が進行してから気がつく症例も多い。骨粗鬆症治療の最終目標は、骨折の防止であり、このことから現在カルシウム・ビタミンDなどを積極的に食品から摂取する非薬物療法の重要性が再認識されている。しかし、カルシウムは食事から摂取した分すべてが吸収されるわけではなく、吸収されにくい栄養素であるため、より有効にカルシウムを体内に取り入れるにはどういった食品が有効で

あるかということに関心が集まっている。

一方、亜鉛は日本人に不足しがちなミネラルの一つで、亜鉛の代表的な欠乏症は、成長障害に代表される小人症や性的発育障害があげられる。最近では、亜鉛不足による味覚障害が話題になっている。亜鉛の1日の必要量は、大人で9~12 mgとごくわずかな量であるが、加工食品や精製食品を食べる機会の多い人々には、亜鉛を必要十分に摂取しているかどうか懸念されている。その上、亜鉛は動物性食品に多く含まれるが、日本人の食習慣は欧米人に比べて動物性食品が少ないので摂取不足が心配される。また、亜鉛は炭酸脱水酵素、カルボキシペプチダーゼ、ジンクフィンガー（DNAの読みとり）、アンギオテンシン変換酵素、活性酸素消去酵素（スーパーオキシドジスムターゼ：生体保護金属酵素）など体内の300種以上のタンパク質や酵素に欠かせないミネラルであり、かつ細胞が再生するために必須な元素で、鉄について多い必須微量（金属）元素である。成人男性で体内に約2 g存在し、毒性が低く、最も排泄され易く、欠乏し易いミネラルとしてもよく知られている。そのため、欠乏症が問題視されるミネラルである。一方、急性中毒症状としては、全身倦怠、下痢、白血球減少、四肢麻痺などを起こす。660 mgの硫酸亜鉛（16~26週間経口摂取）では、血液・肝・腎毒性はないが、6 gの硫酸亜鉛（経口摂取）では、嘔吐・腎障害・出血性すい炎で死亡するという報告もある。14年間の追跡調査の結果によると、1日に100 mgの亜鉛を続けて摂取すると進行性前立腺癌の罹患率が2.3倍に上昇する（1日に100 mg以下の亜鉛摂取では、同じ期間取り続けても問題はないことも明らかにされている）報告などもあり、過剰摂取に関しても注意をする必要がある^{10, 11)}。以上のように、これまでは栄養素として、亜鉛はその重要性がよく知られており、疫学調査などで、体内に対する有効量や中毒量などが数多く報告されてきたが、近年、栄養素としての役割以外にも亜鉛がカルシウムとならぶセカンドメッセンジャーとして体内で作用することが明らかにされ、非常に注目を浴びている元素の一つである¹²⁾。

銅は、成人男性の体内に、約110 mg存在している。銅タンパク質の多くは、生体内で重要な酵素作用を有し、電子伝達、酸化還元および活性酸素の消去（SOD）などに関与している。国民栄養調査によると、亜鉛と異なって、所要量に対して摂取量はほぼ充足しているが、幼児の場合、鉄の摂取量が多いと銅の吸収を阻害することがある。また、成人においても、亜鉛の取り過ぎは、銅の吸収を妨げ、銅の欠乏症を起こすことがある。銅が欠乏すると、貧血、骨の異常、毛と皮膚の脱色、エラスチン形成不全（皮膚の弛緩など）、中枢神経異常（精神障害、筋緊張低下、低体温など）などが起こる¹³⁾。

食物繊維摂取量は、男性で一日20 gが目標量であるが、一般にミネラルの吸収を阻害するものが多い¹⁴⁾。しかし、食物繊維の一つであるイヌリンはミネラルの吸収を高めることが知られている¹⁵⁾。イヌリンはチコリ、キクイモ、タマネギ、ニンニク、牛蒡、サツマイモ、プラタノ・マチョ、ヒカマなど多くの

惣菜に含まれており、自然界に広く分布する多糖類であり、加熱すると甘くなる^{16~18)}。キャベツやジャガイモなども調理すれば甘くなるが、これはイヌリンが分解されてフルクトース（果糖）になることによる。デンプンはグルコース（ブドウ糖）が繋がった高分子であるが、イヌリンは、分子の最初の単糖のみがグルコースで、それにフルクトースのみが繋がって構成されている。グルコース間の結合は加熱程度では切れないが、フルクトースの結合はかなり弱く、やや酸性程度で加熱すればその一部が加水分解されてフルクトースを生じる。

市場に出ている天然のイヌリンは殆どすべて、北ヨーロッパおよび南米チリで栽培されるチコリから採られており、植物中に15%程度含まれている。チコリのイヌリンは水に対する溶解度に従って分類されている。商品の中で一番溶けやすいSPと分類されたものでも、室温で、100 gの水に12 gしか溶けない。さらに、チコリイヌリンはその溶解性が低いために、イヌリンとしてよりもイヌリンを加水分解したオリゴ糖として販売されてきている¹⁹⁾。しかし、低分子化により、浸透圧が上がり下痢を起し易くなることが問題となっている。メキシコ原産のアガベから採られるアガベイヌリンは、植物中に25~30%と高濃度に含まれており、100 gの水に、少なくとも300 g溶け、チコリイヌリンの25倍以上の溶解度を持つ。その上、アガベイヌリンは浸透圧が低いことで、下痢を起こしにくいことが特徴である¹⁾。イヌリンの性質はデンプンとは異なり水に溶けるが、消化されない。近年、特にイヌリンは、水溶性食物繊維として、整腸作用、血糖値上昇抑制作用、血中脂質の低減作用など多くの生体効果が示されている^{1, 20~22)}。

以上のことから、ミネラルを効率よく吸収する食品を見出すことは重要な課題であり、早急に検討を行わなければならない懸念事項の一つである。そこで、亜鉛や銅の吸収率に及ぼすチコリやアガベイヌリンの効果を動物実験で評価した。さらに、アガベイヌリンの効果をヒトで確認するために、健康な大学生ボランティアを対象に、カルシウム出納試験を実施し、カルシウム吸収率および骨代謝マーカーの変動に及ぼす影響を調査した。同時に、有害事象の発生調査も実施した。

2. チコリイヌリンによるパイアヤ亜鉛錯体の吸収促進効果²³⁾

2004年4月には、「栄養機能食品」として、グルコン酸亜鉛の使用が認められたが、亜鉛含有食品としては、酵母亜鉛が多く上市されている。他には、中国産パイアヤ亜鉛とメキシコ産パイアヤ亜鉛が上市されているが、非常に僅かである。

これら食品の亜鉛の吸収に関しては、チコリイヌリンを亜鉛の10倍量入れたメキシコ産パイアヤ亜鉛含有食品、イヌリンを入れていない中国産パイアヤ亜鉛含有食品および酵母亜鉛について、ラットを用いて、亜鉛の吸収について比較検討した。

図1に示すように、⁶⁵Zn含有の各被験物質を投与すると、血中の亜鉛濃度は上昇した。上昇の割合は、チコリヌリン入りメキシコ産パパイヤ亜鉛が最も高く、それに続いてイヌリンなしの中国産パパイヤ亜鉛であり、酵母亜鉛はあまり血中亜鉛濃度を上昇させなかった。血中濃度時間曲線下面積 (AUC) で比較しても、チコリヌリン入りメキシコ産パパイヤ亜鉛は、中国産パパイヤ亜鉛や酵母亜鉛と比較して、有意に血中亜鉛濃度が上昇していることが確かめられた (図2)。

3. アガベイヌリンによるグルコン酸銅の吸収促進効果²³⁾

続いて、アガベイヌリンを用いたミネラル吸収促進効果の例

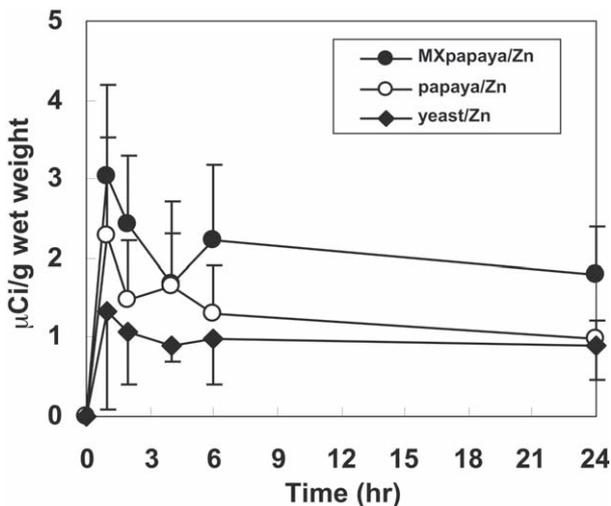


図1. ラットに各種被験物質 (チコリヌリン入りメキシコ産パパイヤ亜鉛 (MXpapaya/Zn: ●)、中国産パパイヤ亜鉛 (papaya/Zn: ○)、酵母亜鉛 (yeast/Zn: ◆)) を投与した時の血中亜鉛濃度の時間変化を示す。

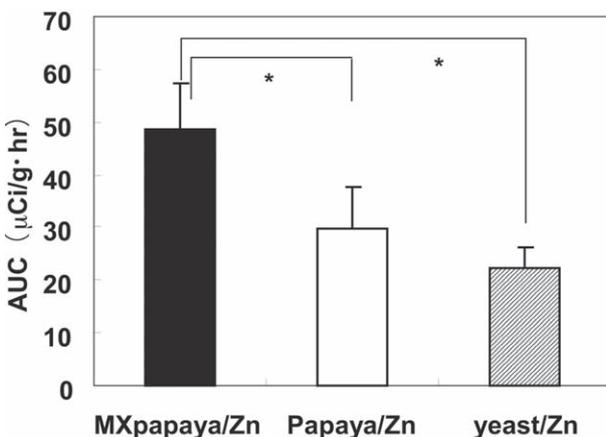


図2. チコリヌリン入りメキシコ産パパイヤ亜鉛 (MXpapaya/Zn)、中国産パパイヤ亜鉛 (Papaya/Zn) 又は酵母亜鉛 (yeast/Zn) からなる被験物質の投与24時間における血中濃度時間曲線下面積 (**p* < 0.05) を示す。

を以下に示す。図3および図4に示すように、グルコン酸銅をアガベイヌリンに対し、重量比1:6の比率で取り込ませた群が、最も吸収率が高い傾向を示し、アガベイヌリンの含量を増やすことで、その吸収率が増大する傾向が認められた。

しかし、グルコン酸銅とアガベイヌリンの重量比が1:1のときは、現在栄養機能食品として利用されているグルコン酸銅や酵母銅と比較して、吸収率に大きな変化は認められなかった。

4. ヒト試験によるアガベイヌリンによるグルコン酸カルシウムの吸収促進効果²⁴⁾

12名のボランティアをカルシウムのみ群 (C群)、および、

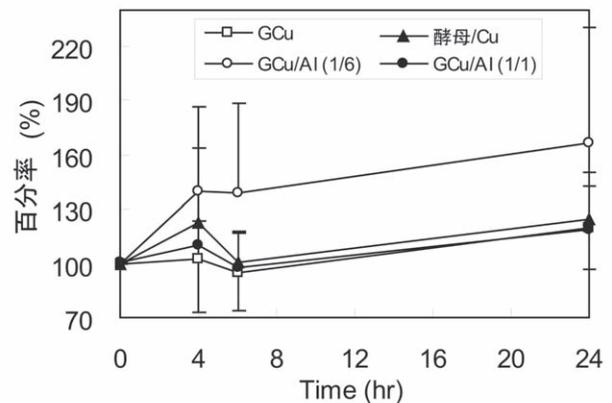


図3. ラットに各種被験物質 (グルコン酸銅 (GCu: □)、酵母銅 (酵母/Cu: ▲)、アガベイヌリン (Al) 含有グルコン酸銅 (重量比GCu: Al = 1:1; GCu/Al (1/1): ●)、又はアガベイヌリン含有グルコン酸銅 (重量比GCu: Al = 1:6; GCu/Al (1/6): ○)) を投与した時の血中銅濃度の時間変化を示す。

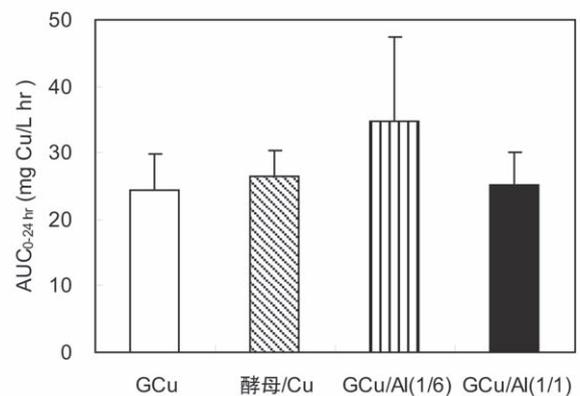


図4. グルコン酸銅 (GCu)、酵母銅 (酵母/Cu)、アガベイヌリン含有グルコン酸銅 (重量比GCu: Al = 1:1; GCu/Al (1/1))、又はアガベイヌリン含有グルコン酸銅 (重量比GCu: Al = 1:6; GCu/Al (1/6): ○) からなる被験物質の投与24時間における血中濃度時間曲線下面積を示す。

カルシウムに対するアガベイヌリンの重量比が10倍（グルコン酸カルシウムに対する重量比では1倍、低アガベイヌリン群；B群）および30倍（グルコン酸カルシウムに対する重量比では3倍、高アガベイヌリン群；A群）の混合物を食する3グループに分け、それぞれ朝昼晩の食前に1日3回、12日間服用させた。1日目から8日目までは、誘導期間として自由な食事を摂らせ、9日目から12日目までは、出納試験として被験者全員にカルシウム量を確認した同じ食事を摂らせた。この9日目から12日目の食事は、メニュー中のソースやスープもすべて分離して摂取量を測定し、残量測定から摂取カルシウム量を決定した。最後の4日間は、便尿をすべて回収し、カルシウム吸収率とカルシウム体内保有率を計算した。さらに、摂取開始日・9日目・12日目に採血採尿を行い、肝臓腎臓検査をはじめとする一般検査以外に、カルシウム・リン・マグネシウム・副甲状腺ホルモン（PTH）・オステオカルシン（OC）・尿中I型コラーゲンN端テロペプチド（NTX）・尿中デオキシピリジノリン（DPC）の骨代謝マーカー検査を行った。9日目から12日目はホテル室内にて観察を行い、出納試験の初日に服用したマーカー（カルミン：食品添加物赤色色素）が排出された便から回収を始め、12日目の朝食後に服用したマーカーが排出されたところで試験終了とした。

見かけのカルシウム吸収率は、 $((\text{カルシウム摂取量} - \text{便中カルシウム排泄量}) / \text{カルシウム摂取量}) \times 100 (\%)$ にて、カルシウム体内保有率は、 $((\text{カルシウム摂取量} - \text{便中カルシウム排泄量} - \text{尿中カルシウム排泄量}) / \text{カルシウム摂取量}) \times 100 (\%)$ にて計算した。

ヒト試験におけるカルシウム吸収率は、高アガベイヌリン群（A群）で $45.7 \pm 5.4 \%$ （平均 \pm 標準偏差）、低アガベイヌリン群（B群）で $39.4 \pm 48.9 \%$ 、カルシウムのみ群（C群）で $19.6 \pm 5.2 \%$ であり、高アガベイヌリン群においてコントロール群よりも有意に高い（ $P < 0.05$ ）カルシウム吸収が認められた。低アガベイヌリン群においても高いカルシウム吸収率が認めら

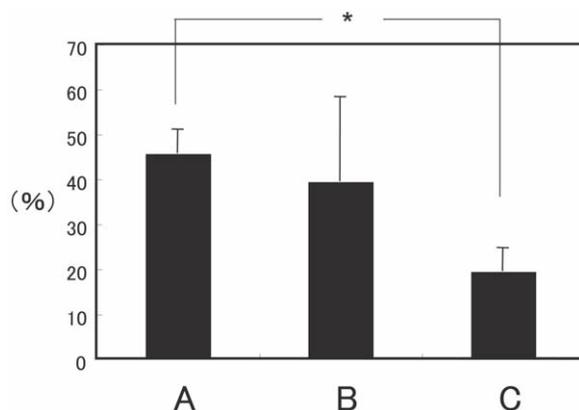


図5. カルシウムに対するアガベイヌリンの重量比が30倍（A）、10倍（B）、およびカルシウムのみ群（C群）のカルシウム吸収率（* $p < 0.05$ ）

れたが、コントロール群との間には有意な差を認めなかった（図5）。

一方、カルシウム保有率は、高アガベイヌリン、低アガベイヌリン、カルシウム群でそれぞれ、平均23.3、11.7、4.9%であったが、群間差は認めなかった。個体間差の変動が大きかったためと考えられた（図6）。

これまでに、食品毎のカルシウム吸収率に関する報告がなされているが、牛乳で38.8%、小魚34.5%、野菜24.6%とされている²⁵⁾。ただし、この数値はそれぞれの食品そのものの吸収を見たものではなく、食品毎のカルシウム吸収率を計算し直すと、牛乳40%、小魚33%、野菜19%となる²⁵⁾。これらの値と比較すると、コントロール群における19.6%というカルシウム吸収率は妥当な値と考えられる。それに比して、アガベイヌリンを含有する試験食では、高アガベイヌリン群で45.7%、低アガベイヌリン群で39.4%と非常に高いカルシウム吸収率を示した。つまり、アガベイヌリンをカルシウムに対して30倍含む場合には、カルシウムのみ群のコントロール群と比較して、有意に2倍以上もカルシウム吸収率を増加させた。高アガベイヌリン群では、カルシウム保有率においても高い値を示したが、群間差を認めるには至らなかった。

5. カルシウム摂取による生体パラメータの変動²⁴⁾

骨代謝関連検査では、インタクト副甲状腺ホルモン（iPTH）が経時的に有意に低下したが、群間差は認めなかった。血清カルシウムや血清リンは試験期間中有意な変動を示さず、群間差も認めなかった。骨粗鬆症の治療効果判定やリスク把握のために、骨代謝マーカーの測定がよく行われる。今回の研究で用いたマーカーのうち、骨型アルカリホスファターゼ（BAP）・OCが骨形成を、尿中および血中NTX・DPCが骨吸収を表す指標として使用されている²⁶⁾。また、iPTHはフィードバック機構に

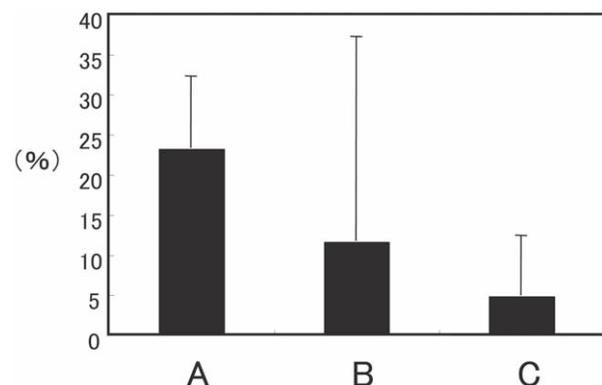


図6. カルシウムに対するアガベイヌリンの重量比が30倍（A）、10倍（B）、およびカルシウムのみ群（C群）のカルシウム保有率

より血中カルシウムが低下したときに上昇し、逆に上昇した際には低下すると考えられている。非カルボキシル化オステオカルシン (ucOC) は不活性型のOCであり、高値であれば骨形成障害が存在すると予測することが出来る。尿中カルシウム量は、必ずしも骨吸収を反映せず、経口カルシウム摂取の増加に伴い、尿中へのカルシウムの排泄も増加することがある。研究を開始する前の作業仮説としては、カルシウム吸収が増大すれば、その影響でiPTHは低下し、骨吸収系マーカーも全体的に低下するのではないかと考えた。投与期間が短いので、骨形成系マーカーには変動は生じないであろうと予測した。今回の実験においては、その予測通り、いずれのマーカーも群間で有意な変動は示さなかった。一方、iPTH・尿中カルシウム・DPCでは群間差は認めなかったが、個体内では明らかに有意な変動を示した。特にiPTHはいずれの群でも有意な低下を示している。この理由は、今回の研究期間中の1日カルシウム摂取量が平均で830 mgもあったことが原因と考えられる。試験開始前の平均カルシウム摂取量は調査していないが、大学生の食生活から想像して500 mgを切っているのではないかと考えられる。もしそうであれば、特に出納試験期間中には普段より相当に多いカルシウムを摂取していたことになり、そのために全体的にiPTHの値が低下したのではないかと考えられた。他の骨吸収系マーカーが似たような変動を示したこともこの仮説で説明できるのではないと思われる。骨形成系マーカーは予測通りに有意な変動を示さなかった。今回は若年男女を対象に行ったが、より高齢の健康者あるいは骨粗鬆症患者を対象に研究を行えば、違った結果が得られる可能性もある。コントロール群と比較して、アガベイヌリン服用群で、出納期間中にucOCが有意ではないが上昇を示した。例数も少なく、理論的に説明は困難であるが、興味ある結果であった。

一方、試験期間中に、便秘や下痢などの消化器症状を訴えたものはなく、その他にも有害事象を認めなかった。一般血液検査・肝機能・腎機能にも有意な変化を認めず、正常値を逸脱した被験者もなかった。

イヌリンは糖の一種であるために、大量に摂取すると下痢を生じる可能性がある²⁷⁾。しかし、本研究では高アガベイヌリン群においても、そのような有害事象は全く認めず、各種血液検査にも異常を生じなかった。したがって、カルシウム吸収を促進した事実とあわせて、アガベイヌリンは不足しがちなカルシウムバランスを改善する有用な補助食品と考えられる。ただし、今回の試験は若い健康な男女を対象とした12日間の試験であり、今後は、幅広い年齢層を対象とし、出来れば骨粗鬆症患者をも含めて、より長期で、基本食のカルシウム含量を変更した試験などが実施されることが望まれる。

6. これからの課題

これからの課題としては、QOL (生活の質) の向上に必要なヘルスケアに最も要求される「食品の評価」を如何に行うかが重要である。特に、体内では絶対に造れない必須ミネラルの体内への吸収をアガベイヌリンが高めるが、そのことを簡便にチェックする方法が必要である。血液中のカルシウム濃度はホメオスタシスにより、一定に保たれるため、血液によるカルシウム検査では、摂取充足あるいは不足を判別することが難しい。

ヒト体内へのミネラルの取り込みに関しては、ICP-MSにより、アメリカでは、30年以上前から、ミネラルの吸収効果が調べられてきた²⁸⁾。近年、日本でも、ICP-MSにより、必須ミネラルや有害ミネラルの量が調べられるようになってきたが、数十本から200本位の毛髪を必要とする²⁹⁾。

カルシウム摂取量が不足すると血液中のカルシウム濃度が下がり、それを補うために大切な骨や歯を溶かして、大量のカルシウムが血液に流れ込み、血液中のカルシウム濃度はホメオスタシスにより、一定に保たれるため、血液から溢れたカルシウムが血管や脳に溢れる。このように口から摂る経口カルシウムが不足すると、体の中ではかえってカルシウムが溢れるという不思議な現象を「カルシウムパラドックス」として、国内では、25年以上前に、藤田拓男教授が提唱された³⁰⁾。最近、そのことが放射光 (スプリング -8) を用いた蛍光X線分析により、毛髪一本で、実証された³¹⁾。カルシウムの経口摂取が十分なヒトの毛髪中のデータは摂取前と比較して、ほぼ同じ (低) 値になる。一方、カルシウム摂取不足のヒトは、カルシウムパラドックスにより、毛髪中のカルシウム値が高くなる。摂取不足が続くと乳がんの発症など疾病リスク率が高くなる可能性も指摘されている。

放射光での測定は、経費がかかり過ぎるため、国内で開発された卓上型蛍光X線分析装置を用いて、簡便に、低コストで、毛髪一本により、類似のデータを得ることが可能になった³²⁾。16人の被験者に対して、カルシウムの吸収を高めることを明らかにしたアガベイヌリン入りカルシウムサプリメントの摂取前と摂取後のカルシウム値を毛髪一本で検査したところ、サプリメント摂取後、カルシウム摂取が改善され、カルシウム摂取不足と思われる5人を含めて、全員のカルシウム摂取量が充足された³³⁾。

これまで吸収が良いとされてきた多くのカルシウムなどミネラルのサプリメントが販売されているが、筆者らの知る限りでは、簡便にミネラルの吸収を確認した知見はこれまで得られていない。今後、さらに多くの実施例を必要とするが、卓上型蛍光X線分析装置により、栄養素としてのカルシウムなどミネラルの充足・不足を毛髪一本で簡便に判断出来れば、栄養素としてのミネラルの経口摂取を明らかにし、健康を維持し、疾病

を減らすことで、QOL (生活の質) 向上に大いに貢献することが可能になる。

7. おわりに

本論文で紹介したアガベイヌリンは、メキシコの砂漠で、水を有効利用して安定に生産されるアガベ植物から、最も天然に近い状態で抽出される。アガベイヌリンを加水分解するとアガベシロップに、それを発酵して蒸留すると酒テキーラになる。他のイヌリンと比べてその含有率が25~30%と高く、難消化性で、プレバイオティクスとして働き、便秘を解消し、ミネラルの吸収を高める。100%アガベイヌリン粉末から造られた顆粒は冷水にも良く溶け、手軽に、不足しがちな食物繊維を補える食材である。

人間にとって腸の健康管理は生死を分かちほど重要である。動物では腸内の有用細菌(プロバイオティクス)の繁殖しやすい条件を作り、健康管理していることがよく知られている。たとえば、母乳の中にラクツロースという糖類が含まれており、人間には消化できないが、腸内でビフィドバクテリア(ビフィズス菌)という有用細菌の食べ物として使われている。人間を含め、殆どの動物はイヌリンを消化する酵素(イヌリナーゼ)をもたないので、食品中のイヌリンはそのまま腸に達し、そこでビフィドバクテリアを養う。2000年ごろから、このイヌリンなどの働き(プレバイオティクス)が大いに注目を集め始め、現在に至っている。ビフィドバクテリアは腸内環境を良くすると共に、蠕動運動を促し、便秘を解消する³⁴⁾。

植物中には、フィチン酸というリン酸化合物があり、結合してミネラルを不溶化しているが、イヌリンが細菌によって分解される中で乳酸、酪酸などを副生し、腸をやや酸性にするため、フィチン酸で不溶化されたミネラルを溶かす³⁵⁾。便秘やカルシウム不足は女性にとって特に大きな問題で、今回提案したアガベイヌリンはその解決への寄与が多いに期待される。なお、IMAG社(メキシコ)の正式名称は、Inulina y Miel de Agave S.A. de C.V. である。

引用文献

- 小倉哲也, 小嶋良種, アガベから造られるテキーラ, イヌリンなどの製品およびイヌリンの研究経過報告, FFIジャーナル, **212** (10), 872-884(2007).
- 桜井弘編, "生命元素辞典", オーム社, 2006, pp. 37-39.
- 曾我部夏子, 丸山里枝子, 五関・曾根正江, 男子および女子学生の骨代謝関連栄養素に対する認識とカルシウムまたはビタミンK給源食品の摂取頻度に関する検討, 日本食生活学会誌, **18**, 64-69(2007).
- 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会編, "骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年版", ライフサイエンス社, 2006.
- 大久保寛之, 中田由夫, 藤村透子, 宮内卓, 家光素行, 前田清司, 田中喜代次, 運動習慣と骨関連遺伝子多型が中高年者の超音波骨指標に及ぼす影響, 体力科学, **58**, 421-430(2009).
- National Institutes of Health, Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy, *NIH Consensus. Statement*, **17**, 1-45 (2001).
- 細井孝之, 骨粗鬆症の予防と治療, 日老医誌, **44**, 299-301 (2007).
- 内閣府, 平成17年度高齢者白書.
- E. Dennison and C. Cooper, Epidemiology of osteoporotic fractures, *Horm. Res.*, **54**, 58-63(2000).
- M. F. Leitzmann, M. J. Stampfer, K. Wu, G. A. Colditz, W. C. Willett and E. L. Giovannucci, Zinc supplement use and risk of prostate cancer, *J. Natl. Cancer Inst.*, **95**, 1004-1007(2003).
- G. J. Fosmire and Zinc toxicity, *Am. J. Clin. Nutr.*, **51**, 225-227(1990).
- S. Yamasaki, K. Sakata-Sogawa, A. Hasegawa, T. Suzuki, K. Kabu, E. Sato, T. Kurosaki, S. Yamashita, M. Tokunaga, K. Nishida and T. Hirano, Zinc is a novel intracellular second messenger, *J. Cell Biol.*, **177**, 637-645(2007).
- A. Wachnik, The physiological role of copper and the problems of copper nutritional deficiency, *Nahrung*, **32**, 755-765 (1988).
- K. M. Simpson, E. R. Morris and J. D. Cook, The inhibitory effect of bran on iron absorption in man, *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 1469-1478(1981).
- K.E. Scholz-Ahrens, J. Schrezenmeir, Inulin and oligofructose and mineral metabolism: the evidence from animal trials, *J. Nutr.*, **137**, 2513S-2523S(2007).
- I. Vijn and S. Smeeckens, Fructan: More than a reserve carbohydrate?, *Plant Physiol.*, **120**, 351-360(1999).
- H. Kikuchi, T. Nagura, M. Inoue, T. Kishida, H. Sakurai, A. Yokota, K. Asano, F. Tomita, K. Sayama and Y. Senba, Physical, chemical and physiological properties of difructose anhydride III produced from inulin by enzymatic reaction, *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 291-296(2004).
- S. Kolida, K. Tuohy and G. R. Gibson, Prebiotic effects of inulin and oligofructose, *Br. J. Nutr.*, **87**, S193-S197(2002).
- T. Oku, Oligosaccharides with beneficial health effects: A Japanese perspective, *Nutr. Rev.*, **54**, S59-S66(1996).
- F. Russo, G. Riezzo, M. Chiloire, G. De Michele, G. Chimienti, E. Marconi, B. D'Attoma, M. Linsalata and C. Clemente, *Curr. Pharm. Des.*, **16**, 825-831(2010).
- N. M. Delzenne, P. D. Cani, C. Daubioul and A. M. Neyrinck, Impact of inulin and oligofructose on gastrointestinal peptides, *Br. J. Nutr.*, **93**, S157-S161(2005).
- F. Brighenti, M. C. Casiraghi, E. Canzi and A. Ferrari, Effect of consumption of a ready-to-eat breakfast cereal containing inulin on the intestinal milieu and blood lipids in healthy male volunteers, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **53**, 726-733(1999).
- 小嶋良種, 小倉哲也, 吉川豊, 市村彰男, 安井裕之, 桜井弘, グルコン酸亜鉛及びグルコン酸銅を用いた保健機能食品の開発, グルコン酸の研究, 最終号, 2-15(2008).
- 小嶋良種, 平成19年度「健康・予防医療リーディングプロジェクト」に係る産学連携による新商品開発事業(経費負担; 大阪市, 大阪産業創造館)報告書.
- 上西一弘, 江澤郁子, 梶本雅俊, 土屋文安, 日本人若年成人女性における牛乳, 小魚(ワカサギ, イワシ), 野菜(コマツナ, モロヘ

- イヤ, オカヒジキ)のカルシウム吸収率, 日本栄養・食糧学会誌, **51**, 259-266(1998).
- 26) 斎藤充, 糖尿病・動脈硬化における骨質劣化機構, *Clinical Calcium*, **19**, 21-32(2009).
- 27) 大隈一裕, 松田功, 勝田康夫, 岸本由香, 辻啓介, 難消化性デキストリンの開発, *Journal of Applied Glycoscience*, **53**, 65-69(2006).
- 28) 今井良次著, 「毛髪分析」でズバリ健康度がわかる本, 中経出版, 1982.
- 29) 大森隆史著, 「毛髪ミネラル検査のすすめ」, コスモトゥーン, 2005.
- 30) 藤田拓男著, 「カルシウムバイブル」, あき書房, 1985.
- 31) 千川純一ら, 毛髪で分かる乳がんの前兆と発生, 放射光, **18**, 84-91(2005).
- 32) 小嶋良種, 小倉哲也, 吉川豊ら, 蛍光X線分析法による生体内金属元素検査方法, 特願2010-244805(2010).
- 33) 小嶋良種, アガベの特徴と機能, 食品と開発, **46**(4), 10-12(2011).
- 34) 細谷憲政, 浜野弘昭著, サプリメントと栄養管理, 第三章 第4節 プロバイオティクス, プレバイオティクス, 橘川俊明, 日本医療企画, 433-455(2006).
- 35) Monika Haros, Nils-Gunnar Carlsson, Annette Almgren, Marie Larsson-Alminger, Ann-Sofie Sandberg and Thomas Andlid, Phytate degradation by human gut isolated Bifidobacterium pseudocatenulatum ATCC27919 and its probiotic potential, *International Journal of Food Microbiology*, **135**(1), 7-14(2009).

PROFILE

小嶋 良種

 株式会社アガベ
 代表取締役
 理学博士

1965年大阪市立大学大学院理学研究科修士課程修了後、助手、講師、助教授、教授を経て、2002年定年退官、同年～2006年株式会社有田酵素化学研究所顧問、2003～2005年大阪市立大学特任教授、2006年起業株式会社アガベ、現在に至る。2009年株式会社エルハーブ設立、現在に至る。


吉川 豊

 京都薬科大学分析薬科学系代謝分析学分野
 講師
 博士(理学)

1996年岡山大学薬学部製薬化学科卒業、1998年同大学大学院薬学研究科修士課程修了、同年株式会社京都第一科学入社、2001年大阪市立大学大学院理学研究科博士後期課程修了、2002年株式会社有田酵素化学研究所入社、2004年京都薬科大学助手、2007年同助教、2008年より現職。専門は生物無機化学、生命錯体化学、代謝分析学、薬品物理化学


安井 裕之

 京都薬科大学分析薬科学系代謝分析学分野
 教授
 薬学博士

1989年京都大学薬学部製薬化学科卒業、1995年京都大学大学院薬学研究科博士後期課程修了、同年京都薬科大学助手、2004年同助教、2007年同准教授、同年10月より現職。専門は医薬品分析学、薬物動態学、代謝分析学、生命錯体化学、生体計測学。


小倉 哲也

 グアダラハラ自治大学化学科
 教授
 理学博士

1962年大阪市立大学理学部化学科卒業、1963年同大学理学部化学科助手、1970年同大学理学部より学位受理、1973年メキシコ国グアダラハラ自治大学教授、現在に至る。