

市販ビートルート粉末に含まれる 硝酸塩量と抗酸化能の比較

Comparison of nitrate content and antioxidant capacity
in beetroot powder on the market.

藺田 邦博¹

Kunihiro SONODA

清水 彩子¹

Ayako SHIMIZU

河野 有華¹

Yuka KONO

柴 祥子²

Sachiko SHIBA

大竹 一男²

Kazuo OHTAKE

飯野 汐里²

Shiori IINO

加園 恵三²

Keizo KASONO

小林 順³

Jun KOBAYASHI

【はじめに】

ビートルート (*Beta vulgaris rubra*) は、根菜の一種であり独特の赤い色調をしている。ビートルートには、硝酸塩、ポリフェノール類 (ベタレインなど)、カリウム、葉酸、食物繊維が豊富に含まれていることから、健康食品や機能性食品として世界的に市場規模が拡大している¹⁾。特にビートルートに含まれる硝酸塩やベタレインが機能性成分として注目されている。硝酸塩は、生体内で一酸化窒素 (Nitric oxide: NO) に変換され血管拡張作用、抗炎症作用、抗酸化作用、血小板凝集抑制作用を示すことが知られており、高血圧²⁾、心血管疾患²⁾、腎疾患²⁾、加齢黄斑変性症リスク低下³⁾、認知能力の向上⁴⁾、筋肉機能の向上⁵⁾ に寄与する可能性があることが報告されている。また、ビートルートに含ま

れる主要な色素であるベタレインは、*in vitro* と *in vivo* の研究から強力な抗酸化作用、抗炎症作用を示す⁶⁾ ことが報告されており、臨床試験において内皮機能と動脈硬化の改善⁷⁾、2型糖尿病における炎症の改善⁸⁾、競技選手の運動パフォーマンスや回復の向上⁹⁾ に寄与する可能性があることが報告されている。

現在、健康食品や機能性食品として販売されているビートルート製品の形状はジュース、粉末、タブレット (錠剤型) がある。一般的に食材を原料とした製品に含まれる成分は旬や産地の違いにより含有量にバラツキがあることから、我々は英国と国内で販売されているビートルートジュースに含まれる栄養素 (硝酸塩、亜硝酸塩、カリウム、糖質、塩分) と抗酸化能の違いについて検討し、製品間で成分含量や抗酸化能が大きく異なることを報告している¹⁰⁾。さらに、2023年に報告された Bescosらの研究からも製品間で硝酸塩含有量が大きく異なることが示されている¹¹⁾。一方

¹ 金城学院大学 生活環境学部 食環境栄養学科

² 城西大学 薬学部 薬学科

³ 城西大学 薬学部 医療栄養学科

で、ビートルート粉末は国内で「ビートパウダー」や「ビートルートパウダー」という名称で販売されているが、我々が調べたところビートルート粉末に含まれる硝酸塩量や抗酸化能における製品間の違いについての調査や報告は見つからなかった。

そこで、本研究では国内で販売されているビートルート粉末に含まれる硝酸塩量と抗酸化能の違いについて検討した。

【方法】

1. サンプル調製

市販のビートルート粉末3種類を購入して各ビートルート粉末1gを100 mLの超純水で溶解したジュースをサンプルとした。調製したサンプルを以下の2)～4)の測定を実施した。

2. 硝酸塩と亜硝酸塩の測定

サンプル(50 μ L)を超純水で50倍希釈した後、同量のHPLC用メタノールを加え、15,000 gで5分間遠心分離することによって除タンパクと不純物の除去を行った。最終的に100倍希釈した上清を測定試料として用いた。サンプルの亜硝酸イオンと硝酸イオン濃度は、グリース法をもとにしたHPLCシステム(ENO-20, Eicom, Kyoto, Japan)を用いて行った¹²⁾。

3. DPPHラジカル消去活性(ORAC値: Oxygen Radical Absorbance Capacity)の測定

50%メタノール溶液(900 μ L)を1.5 mLマイクロチューブに分注し、そこに各サンプル溶液を100 μ L加え、不溶物を除去するために遠心分離(10,000 rpm, 室温, 1分間)した。DPPH溶液900 μ Lに対して各サンプル溶液100 μ Lを加え混和した後、室温で10分反応さ

せた。分光光度計にて517 nmの吸光度を測定した¹³⁾。Torolox(水溶性ビタミンE誘導体)量で検量線を作成し、各ビートルートジュースのORAC値を算出した。

4. 物理化学的特性

試料溶液の糖分含有量(Brix, %)をデジタル屈折計PR-100(アタゴ株式会社)、塩分含有量(%)をデジタル塩分計PAL-ES(アタゴ株式会社)、カリウムをカリウムメーターLAQUAtwin-K-11(株式会社堀場アドバンステクノ)を用いて測定した。

5. 統計解析

値は、すべて平均値 \pm 標準誤差で示した。3つのグループ間の差異は、one-way ANOVAで評価した。有意差が検出された場合、Tukey testにより多重比較検定を使用してグループ間比較を行い、 $p < 0.05$ を有意差有とした。これらの統計解析はStat Mate V(株式会社アトムス)を用いた。

【結果】

1) ビートルート粉末1g/100 mLに含まれる亜硝酸イオンと硝酸イオン量の比較

図1に3種類のビートルート粉末1gを超純水100 mLに溶解した際の亜硝酸イオンと硝酸イオンの含有量を示した。亜硝酸イオン含有量は、製品A(0.17 ± 0.02 mg/100 mL)、製品B(0.07 ± 0.01 mg/100 mL)、製品C(0.22 ± 0.01 mg/100 mL)であり、製品Aは製品Bに比べ有意に含有量が少なく、製品Cについては製品Aと製品Bに比べ有意に多く含まれていた。また、硝酸イオン含有量は、製品A(11.7 ± 1.2 mg/100 mL)、製品B(14.0 ± 0.1 mg/100 mL)、製品C(20.8 ± 1.3 mg/100 mL)であり、製品Aと製品Bでは有意な差はなかったが、製品Cは製品Aと製品Bに比べ有

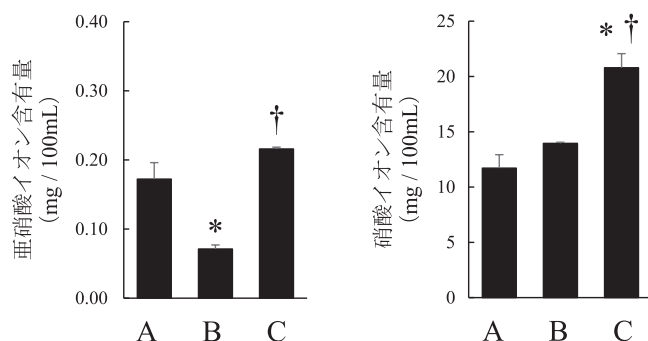


図1) ビートルート 1g/100 mLに含まれる亜硝酸イオンと硝酸イオン含有量の比較値は、すべて平均±標準誤差で示した（検体数=3）。* $p < 0.05$ v.s. 製品A
† $p < 0.05$ v.s. 製品B

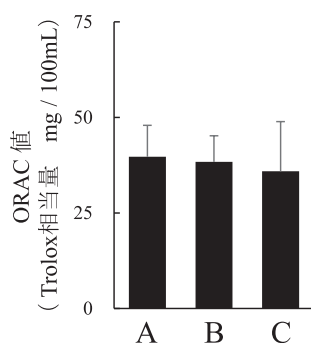


図2) ビートルート粉末 1g/100 mLのORAC値（Torolox値 mg/100 mL）の比較値は、すべて平均±標準誤差で示した（検体数=3）。

意に含有量が多かった。

2) ビートルート粉末 1g/100 mLのORAC値（Torolox相当量, mg/100 mL）の比較

図2に3種類のビートルート粉末 1gを超純水100 mLに溶解した際のORAC値（Torolox相当量, mg/100 mL）を示した。製品A (39.7 ± 8.2 mg/100 mL)，製品B (38.4 ± 6.8 mg/100 mL)，製品C (35.9 ± 13.0 mg/100 mL)であり、各群で有意な差はなかった。

3) ビートルート粉末 1g/100 mLの塩分、糖分、カリウム含有量の比較

図3に3種類のビートルート粉末 1gを超

純水100 mLに溶解した塩分、糖分、カリウム含有量を示した。塩分に関しては、製品Aは検出できず製品B (0.1 ± 0.0 g/100 mL)，製品C (0.1 ± 0.0 g/100 mL)となった。糖分に関しては、製品A (0.37 ± 0.03 g/100 mL)，製品B (0.43 ± 0.03 g/100 mL)，製品C (0.30 ± 0.00 g/100 mL)であり、製品Aに比べ製品Bと製品Cは有意な差はなかったが、製品Bは製品Cに比べ糖分の含量が有意に多かった。カリウムに関しては、製品A (27 ± 2.9 mg/100 mL)，製品B (33 ± 2.3 mg/100 mL)，製品C (31 ± 3.2 mg/100 mL)であり、各群で有意な差は無かった。

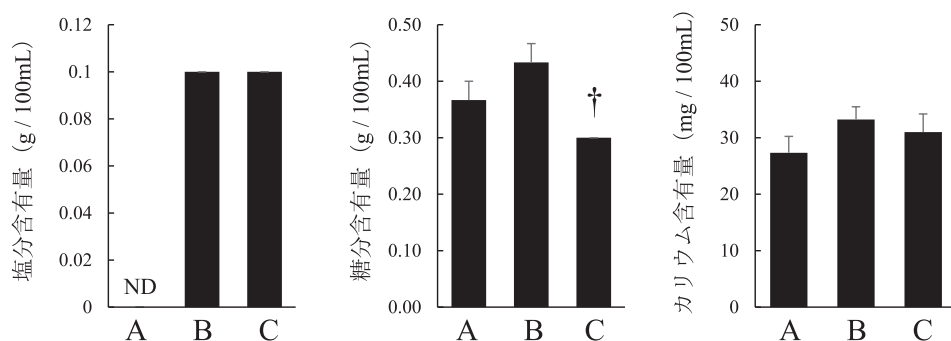


図3) ビートルート粉末 1 g/100 mLの塩分, 糖分, カリウム含有量の比較
 値は, すべて平均±標準誤差で示した (検体数=3)。† $p<0.05$ v.s. 製品B
 ND: 不検出

【考察】

近年, ビートルートは生体調節機能を有する硝酸塩や抗酸化成分 (ポリフェノール類など) が豊富に含まれ, 疾患に対する有効性^{2-4, 7, 8)} や運動パフォーマンスの向上^{5, 9)} など生体に対する効果が明らかになりつつあることから, 健康食品や機能性食品として広く用いられるようになってきた。しかし, ビートルートは旬や産地 (土壌) の違いで硝酸塩含量が大きく異なることが知られており, その加工品であるビートルートジュースに含まれる硝酸塩含有量においても製品間で異なることが報告されている^{10, 11)}。ビートルートジュースの成分含有量の違いについては報告があったもののビートルート粉末については無かったことから, 本研究ではビートルート粉末に含まれる硝酸塩含有量を中心に成分間の抗酸化能や成分含有量の違いを比較したので報告する。

亜硝酸イオンは酸化されることで容易に硝酸イオンに変換される。本研究においても, 硝酸イオン (3製品平均15.5 mg/100 mL) は亜硝酸イオン (3製品平均0.15 mg/100 mL) の約100倍含有量が多い結果であった (図1)。また, 製品Aと製品Bに比べ製品Cでは

硝酸イオンの含有量が約2倍高い値であった (図1)。我々の先行研究¹⁰⁾ におけるビートルートジュースの硝酸イオンの含有量の幅は27.3-469 mg/100 mLであり, 国内産のビートルートジュース間では約3倍, 国内産と英国産のビートルートジュースで比較すると最大約17倍含有量に違いがあった。ただし, 英国産のビートルートは濃縮されたものであったことから, その点は考慮する必要がある。また, Bescosら¹¹⁾ の行ったビートルートジュースの製品間比較における濃縮されていないビートルートジュース4製品の硝酸塩含有量は平均1.15 mg/mL, 100 mL当りに換算すると115 mgであった。Paglianoら¹⁴⁾ は, 生野菜に含まれる硝酸塩は105°Cで48時間乾燥させた場合においても分解されず, 生野菜を乾燥させると硝酸塩が約10倍に濃縮されることを報告している。この報告を基にBescosら¹¹⁾ の研究で測定されたビートルートジュース (硝酸塩含有量115 mg/100 mL) を粉末化した場合は10倍に濃縮されると仮定すると11.5 mg/gになり, 本研究の平均硝酸塩含有量15.5 mg/gと1.35倍の違いとなった。さらに, Paglianoら¹⁴⁾ の研究で測定されたビートルート粉末の硝酸塩含有量は約14.4 mg/gであり, 本研

究の15.5 mg/gと1.07倍の違いであった。日本食品標準成分表¹⁵⁾に記載されているビーツ（生）の硝酸塩含有量は300 mg/100 gであり、粉末化した場合（10倍濃縮）は30 mg/gであることから本研究結果に比べ2倍の含有量となる。これらのことからビートルートジュースやビートルート粉末に含まれる硝酸塩含有量は製品間で異なることが分かった。

今回測定したビートルート粉末中の硝酸塩含有量は平均15.5 mg/gであった。成人で硝酸塩を毎日60 mg以上摂取することで循環器系疾患予防に有効である可能性が示唆されている¹⁶⁾ことからビートルート粉末で硝酸塩を補給する場合は4 g程度の使用で到達する。ただし、硝酸塩は野菜や果物に普遍的に含まれており、日常的な食事からも摂取していることを考慮する必要がある。また、硝酸塩を豊富に含む食品摂取における注意点として硝酸塩から生成される亜硝酸塩の過剰摂取はメトヘモグロビン血症を引き起こす可能性があり、特に乳児で起こりやすい¹⁷⁾。食品中における硝酸塩から亜硝酸塩への変換は亜硝酸塩生成細菌の混入によって起こり、亜硝酸塩生成細菌は食品そのものにも付着している¹⁷⁾。したがって、硝酸塩を豊富に含むビートルート製品を小児に与える場合は細菌の増殖を抑制するため加熱調理の実施や調理後は速やかに喫食するなど衛生面に注意する必要があると考える。

一方で、抗酸化能の指標であるORAC値については、各群で有意な差はなかった（図2）。塩分については、本研究に用いた測定機器の検出限界に近い値であったことからほとんど含まれていないことが分かった（図3）。また、糖分含有量に関しては製品Bと製品Cに有意差があったものの含有量の差は0.1 g/100 mLであったことから1日に摂取する食事で考えると大きな差があるとは言い難

い（図3）。カリウムについては、各群で有意な差はなかった（図3）。

本研究の限界点として、本研究で比較したビートルート粉末が3製品であったこと、また1製品当たり3検体の測定であったことから製品数と検体数を多くして、より詳細に評価していく必要がある。また、硝酸塩や亜硝酸塩の食事からの適切な摂取量、摂取による有益性や有害性については依然として不明な点が残っていることから、さらなる研究に期待する。

【結論】

国内で購入可能なビートルート粉末3製品の硝酸塩含有量は製品によって2倍程度の違いがあった。一方で、ORAC値、塩分、糖分、カリウムについては各製品で大きな違いはなかった。硝酸塩含有量は製品ごとに異なる可能性があることから、硝酸塩の補給を目的とした製品に硝酸塩含有量を表示する場合、ロットごとに成分値を表示することが望ましいと考える。

【参考文献】

- 1) Zamani H. et al. The benefits and risks of beetroot juice consumption: a systematic review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2021. 61(5): 788-804.
- 2) Carlstrom M, Montenegro MF. Therapeutic value of stimulating the nitrate-nitrite-nitric oxide pathway to attenuate oxidative stress and restore nitric oxide bioavailability in cardiorenal disease. *J Intern Med.* 2019. 285(1): 2-18.
- 3) Broadhead GK. et al. Association of Dietary Nitrate and a Mediterranean Diet With Age-Related Macular Degeneration Among US Adults: The Age-Related Eye Disease Study (AREDS) and AREDS2. *JAMA Ophthalmol.* 2023. 1; 141(2): 130-139.
- 4) Vanhatalo A. et al. Network analysis of nitrate-sensitive oral microbiome reveals interactions with cognitive function and cardiovascular health across

- dietary interventions. *Redox Biol.* 2021. 41: 101933.
- 5) Sim M. et al. Dietary Nitrate Intake Is Positively Associated with Muscle Function in Men and Women Independent of Physical Activity Levels. *J Nutr.* 2021. 11; 151(5): 1222-1230.
- 6) Clifford T. et al. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients.* 2015. 14; 7(4): 2801-22.
- 7) Cheek A. et al. Betalain-rich dragon fruit (pitaya) consumption improves vascular function in men and women: a double-blind, randomized controlled crossover trial. *Am J Clin Nutr.* 2022. 1; 115(5): 1418-1431.
- 8) Karimzadeh L. et al. A randomized clinical trial of beetroot juice consumption on inflammatory markers and oxidative stress in patients with type 2 diabetes. *J Food Sci.* 2022. 87(12): 5430-5441.
- 9) Montenegro CF. et al. Betalain-rich concentrate supplementation improves exercise performance and recovery in competitive triathletes. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2017. 42(2): 166-172.
- 10) 河野有華 他. 英国と日本国内のビートルートジュースに含まれる硝酸塩と抗酸化能 (ORAC値) の比較. 金城学院大学論集自然科学編 2023. 20(1): 26-33.
- 11) Bescos R. et al. Content of nitrate and nitrite in commercial and self-made beetroot juices and the effect of storage temperature. *Food Sci Nutr.* 2023. 23; 11(10): 6376-6383.
- 12) 河野有華 他. 硝酸塩由来一酸化窒素補給を期待した市販野菜果実ジュース中の硝酸塩含有量と抗酸化能の比較. 金城学院大学論集自然科学編 2022. 19(1), 1-8.
- 13) Kim MJ. et al. Quality evaluation of fresh tomato juices prepared using high-speed centrifugal and low speed masticating household juicers. *Food Sci Biotechnol.* 2015. 24; 1: 61-66
- 14) Pagliano E. et al. Determination of elevated levels of nitrate in vegetable powders by high-precision isotope dilution GC-MS. *Food Chem.* 2019. 15; 286: 710-714.
- 15) 日本食品成分表2022八訂 (文部科学省 日本食品標準成分表2020年版八訂 準拠). 医歯薬出版株式会社 2022. p60, 61.
- 16) Bondonno CP. et al. Vegetable nitrate intake, blood pressure and incident cardiovascular disease: Danish Diet, Cancer, and Health Study. *Eur J Epidemiol.* 2021. 36(8): 813-825.
- 17) Park SM. et al. Prevalence and phylogenetic traits of nitrite-producing bacteria in raw ingredients and processed baby foods: Potential sources of foodborne infant methemoglobinemia. *Food Res Int.* 2024. 178: 113966.