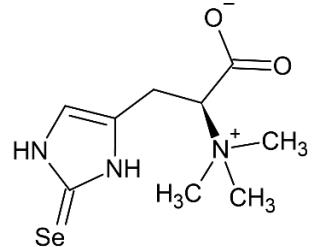


セレノネイン ～新規有機セレン化合物の機能と栄養～

はじめに

セレノネインとは、2010年にクロマグロの血液から発見された有機セレン化合物です。高い抗酸化能が認められており、体内での抗酸化作用や中枢神経系の保護など健康への寄与に期待されています。機能性成分として知られるエルゴチオネインのセレンアナログ(イオウがセレンに置き換わった構造)ですが、それよりも高いラジカル消去活性を有しています。



セレノネインは現在、以下のような機能が報告されています。

- ・血圧上昇に関わるアンジオテンシン変換酵素の阻害作用
- ・チロシナーゼ阻害を介したメラニン合成抑制作用
- ・非アルコール性脂肪性肝疾患モデルマウスの幹細胞障害と肝脂肪変性に対する改善 など

水産物のセレノネイン

マグロから発見されて以来、魚介類中のセレノネインの調査が進められ、主に回遊魚に含まれることがわかっています(図-1 参照)。回遊魚で発達している血合筋に多く含まれ、ミオグロビンやヘモグロビンにおける鉄の自動酸化防止に関わっていると考えられています。また、回遊魚の加工品においてもセレノネインは含まれており、加熱などの加工過程で消失しないことがわかっています。



図-1 水産物および水産加工品の総セレンとセレノネイン

セレノネインはメチル水銀の解毒作用にも関わっており、魚介類にとって重要な役割を果たしていると考えられます。メチル水銀の解毒では、脱メチル化によって安定した無機セレン化水銀錯体が形成されると推測されており、ヒトにおいてもセレンを介してメチル水銀が解毒される可能性が示唆されています。

キノコのセレノネイン

水産物に含まれるセレノネインが近年、食用キノコのポルチニタケから発見されました。細菌や酵母(真菌)がセレノネインを生合成することや、類似構造のエルゴチオネインがキノコに含まれることから、キノコにセレノネインが含まれることは想像に難くありません。しかしながら、セレノネインを含むキノコの種類はポルチニタケのほか、マツタケ、マッシュルームに限られています(図-2 参照)。なぜ、限られたキノコにしかセレノネインが存在しないのか、まだわかっていません。

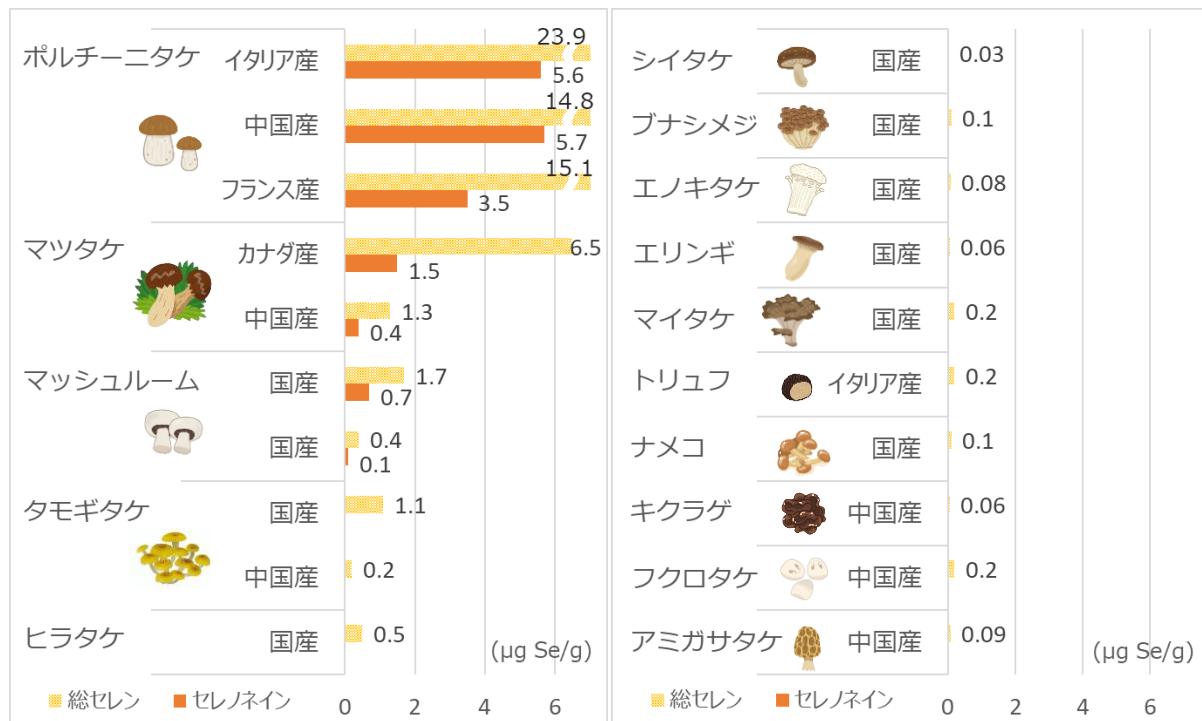


図-2 乾燥キノコの総セレンとセレノネイン

セレノネインの生成

セレノネインの生成に関しては、酵母(真菌)でエルゴチオネインの生合成経路と同じようにセレノネインが生成されることがわかっています。また、細菌では酵母と異なり、セレノネイン独自の生成過程が明らかにされています。よって、真菌であるキノコでは酵母に近いセレノネインの生合成経路を持つことが予想されます。しかしながら、エルゴチオネインを多く含むタモギタケやヒラタケで、セレノネインは検出されませんでした。今後の研究により、キノコにおけるセレノネインの生成過程が明らかになることが期待されます。

セレンとしての栄養

セレンは動物にとって必須微量元素ですが、セレノネインは従来の栄養素としてのセレンの役割を担っているのでしょうか。セレンは体内で主にセレンタンパク質となって、抗酸化作用による細胞維持、甲状腺ホルモンの調節などの機能を発揮しています。セレンは食事から、セレノシステインやセレノメチオニンなどの有機セレン化合物や、セレン酸や亜セレン酸など無機セレン酸の形で摂取されます。摂取後、セレニドになり、セレノシステインを介してセレンタンパク質に合成されます。セレンタンパク質のひとつであるグルタチオンペルオキシダーゼは、体内で抗酸化作用の役割を果たします。また、合成に利用されるセレニドは、セレン糖またはトリメチルセレノニウムに代謝されて排泄されます。

一方、セレノネインはこのセレニドの代謝経路をたどらず、メチル化されて排泄される独自の経路で代謝されることがわかっています。そのためセレノネインは、ほかのセレン化合物と同じようにセレニドになってセレンタンパク質の合成に関わる可能性が低いと考えられています(図-3 参照)。

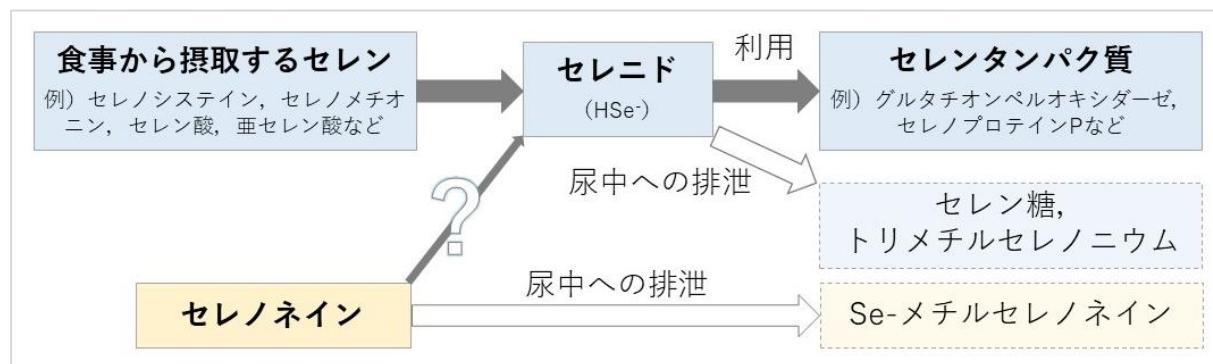


図-3 セレン化合物の代謝経路

(Seko, T., Yamashita, Y., Yamashita, M. Overview of the biochemistry and biology of selenoneine, Metallomics Research. 2025, 5(1), p. rev24-rev35 の Fig. 2 より改編)

したがって、セレノネインの代謝や生物学的機能、栄養学的重要性、そして毒性は、セレノシステインやセレノメチオニンなど、従来のセレン化合物とは異なる可能性が考えられています。セレノネインがセレンタンパク質の生成に寄与しないとなれば、従来のセレンの機能に関与する摂取量を、セレノネインを含めた総セレンとして評価することは妥当でない可能性があります。それぞれのセレン化合物の体内での機能を考慮して、摂取量を考えなければならないことになります。ただし、セレノネインの代謝に関しては未解明な部分が多く、さらなる研究が必要です。また、今回紹介したセレノネインを含む水産物やキノコでは総セレンに対するセレノネインの割合は低く、クロマグロの血合筋など特殊な食品を除けば、従来のセレンの機能に関与する摂取量に影響を与えることは少ないと考えられます。

また、セレノネインは他のセレン化合物より毒性が低いことが示唆されています。食事における耐容上限量についても、セレン化合物の種類を考慮する必要があります。イヌイットなどセレノネインを多く含む魚介類を特異的に摂取する集団では、上限量を超えることがあります。

おわりに

セレノネインの発見により新しい機能性が見出された一方で、食事におけるセレンの栄養や毒性の評価見直しの必要性が考えられています。今後、食品中のセレンや摂取後の体内のセレンについては、形態別の評価が必要になる可能性があります。現在、JFRLで受託しているセレンの形態別分析はセレノネインに限られていますが、そのほかのセレン化合物についても分析できるよう検討を進めています。ご要望の際は、お気軽にお問合せください。

参考文献(参考資料)

- Yamashita, Y., Yamashita, M. Identification of a novel selenium-containing compound, selenoneine, as the predominant chemical form of organic selenium in the blood of bluefin tuna. *J Biol Chem.* 2010, **285**(24), p. 18134–18138. doi: 10.1074/jbc.C110.106377.
- Matsumoto, E., Seko, T., Yamashita, Y., Yamashita, M. Determination of Selenoneine in Seafood and Seafood-Derived Products. *J. AOAC Int.* 2025, **108**(5), p. 779–785. doi: 10.1093/jaoacint/qsa062.
- Yamashita, M., Yamashita, Y., Suzuki, T., Kani, Y., Mizusawa, N., Imamura, S., Takemoto, K., Hara, T., Hossain, MA., Yabu, T., Touhata, K. Selenoneine, a novel selenium-containing compound, mediates detoxification mechanisms against methylmercury accumulation and toxicity in zebrafish embryo. *Mar Biotechnol (NY).* 2013, **15**(5), p. 559–570. doi: 10.1007/s10126-013-9508-1.
- Peer, F., Kuehnelt, D. High levels of the health-relevant antioxidant selenoneine identified in the edible mushroom *Boletus edulis*. *J Trace Elem Med Biol.* 2024 **86**, 127536. doi: 10.1016/j.jtemb.2024.127536.
- Pluskal, T., Ueno, M., Yanagida, M. Genetic and metabolomic dissection of the ergothioneine and selenoneine biosynthetic pathway in the fission yeast, *S. pombe*, and construction of an overproduction system. *PLoS One.* 2014, **9**(5), e97774. doi: 10.1371/journal.pone.0097774.
- Kayrouz, CM., Huang, J., Hauser, N., Seyedsayamost, MR. Biosynthesis of selenium-containing small molecules in diverse microorganisms. *Nature.* 2022, **610**(7930), p. 199–204. doi: 10.1038/s41586-022-05174-2.
- Little, M., Achouba, A., Ayotte, P., Lemire, M. Emerging evidence on selenoneine and its public health relevance in coastal populations: a review and case study of dietary Se among Inuit populations in the Canadian Arctic. *Nutrition Research Reviews.* 2025, **38**(1), p. 171–180. doi: org/10.1017/S0954422424000039.
- Seko, T., Yamashita, Y., Yamashita, M. Overview of the biochemistry and biology of selenoneine, *Metallomics Research.* 2025, **5**(1), p. rev24–rev35, doi: org/10.11299/metallomicsresearch.MR202414.